



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de
l'Écologie, du
Développement
durable et
de l'Énergie

Ministère
de l'Égalité
des Territoires
et du Logement

PUCA

plan
urbanisme
construction
architecture



POPSU

PLATE-FORME D'OBSERVATION
DES PROJETS DE STRATÉGIES URBAINES

Îlots de chaleur urbains Stratégies des villes face aux changements climatiques

Session 2

26 & 27 mars 2015, à Vienne

Ouverture du séminaire

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

There are for instance two programmes, Eco-buy and Eco-Business Plan, I just want to mention it because their criteria for instance for catering – one-way bottles are forbidden, food must be organic and produced locally – so when you have the catering at lunchtime or break time, think about that.

One very important and growing focus point: sustainable spatial development. It's the section where I'm working together with my colleague Christian Härtel. He apologises but he can't be here today, but he will come and pass by later. And what are we doing in the last 10 years? The spatial development section intensively started with strategic work on greening buildings, rainwater management... A few years ago, a new focus was set on the climate situation of the town. The UHI strategy plan – I will present it later in the morning – is a project which intensively deals with the UHI phenomenon and tries to show how to achieve a better climate and of course a better life quality for the citizens in the town. The spatial development of city: ecological approach can give livelihoods and quality of life of present and future generations. This is of course a very important sentence which means a sustainable approach, how to deal with the future, giving them the chance to have also good conditions for living in the next decades.

So, spatial development is planning the future. What we are doing if we speak about urban heat islands... we have to consider that the climate changes within the next 50 or 100 years. We will hear later some presentations about how the situation is in Vienna, so all of what we are doing today, like constructions, buildings, town planning... It's very important that we consider what happens in 50 years. We bring issues such as roof and façade greening for the... (I've told you about it) and the sustainable use of rainwater in planning, training and professional discourse. Actually Christian Härtel is sitting in such a course. He has introduced it. It's called Environmental Aspects in Planning and Building where we put together experts from different disciplines from different courses, universities, architects, town planners, ecologists and so on. And we think it's very important to work in an integrated way and put different disciplines together.

In the Green and Open Space Planning, we show options for mitigation and adaptation to climate change, especially in terms of reducing summer heat islands in the city. We are committed to supplying the Viennese with natural and public recreation areas by analysing

the current situation of supply and developing policies to increase green space at street level.

Virginie Bathellier

Directrice de la plateforme POPSU – Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie – Ministère du Logement, de l'Egalité des territoires et de la Ruralité

Bonjour à tous et merci à Jürgen Preiss de nous accueillir pour ce deuxième séminaire consacré aux îlots de chaleur urbains. Je vous prie d'excuser Emmanuel Raoul qui ne peut pas se joindre à nous parce qu'il a été retenu à Paris au ministère.

Après Barcelone, la ville de Vienne a, je crois, beaucoup à nous apprendre. Considérée comme la ville la plus agréable à vivre au monde, elle est en tête de certains classements internationaux, que ce soit en termes de développement durable avec une empreinte écologique faible, en termes de qualité urbaine ou d'innovation. La question des îlots de chaleur, nous l'avons vu lors du dernier séminaire, est complexe et les réponses ne sont pas forcément évidentes, elle suppose aussi des politiques transversales. Les activités humaines et l'urbanisme en sont les causes principales. Dans un tel contexte, je me demande si la question des îlots de chaleur, qui pour certains peut être superfétatoire, ne peut pas aussi servir de focale pour essayer de réévaluer les politiques d'urbanisme ainsi que les stratégies à mettre en œuvre sur le court, le moyen et le long terme, à des échelles très différentes, depuis le bâtiment, l'îlot, le quartier, l'agglomération jusqu'à la Région et la Métropole.

Les chercheurs explorent de nouveaux terrains pour nous aider à comprendre ces phénomènes et leurs interactions et les collectivités territoriales engagent des actions. L'importance de la nature en ville est maintes fois soulignée, nous allons encore le voir aujourd'hui, elle est traitée à différentes échelles. La question des transports en commun et des mobilités douces, la gestion des eaux pluviales, l'utilisation de certains matériaux ou la morphologie urbaine dans les projets urbains sont également essentielles à considérer. Au-delà de ces questions, n'oublions pas non plus l'importance d'un changement de pratiques, la nécessaire co-construction entre des acteurs ayant des logiques et des cultures professionnelles différentes qui ne sont pas forcément habitués à se rencontrer. Il y a également la mobilisation citoyenne qui doit pouvoir accompagner la ville de demain.

Je ne vais pas vous en dire davantage car ce qui est important ce sont les échanges que nous allons avoir entre praticiens, chercheurs, collectivités territoriales, et ceci entre villes européennes, ce qui est aussi le fondement de ce programme voulu par le PUCA. Merci d'être venus si nombreux sur cette thématique et encore tous mes remerciements à Jünger Preiss qui a organisé ce séminaire avec Jean-Baptiste Marie et Jean-Jacques Terrin.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

Hello everybody. I will talk in English if you don't mind. Just to give a few words to those who don't know us and to explain how we've been working in the last six years. Every year we do these kinds of seminars: two seminars a year on a same topic on contemporary problems cities are facing. And as Jürgen just said, the idea of this programme is to bring together researchers and representatives of cities in order to exchange on these topics. It sounds very easy. Well it's not, because the points of view are quite different. Cities look at very wide questions; researchers look at very deep and well-organised questions and so it's not that easy to have them talk together on problems. We're very glad because we have been able to do it and the fact that some cities come back every year around the table means that (I think) we succeed in bringing those two worlds together. I hope today's seminar will be a nice way to show the interest of these exchanges.

Just to remind you, we started six years ago talking about High-speed railway and the city: how do speed and trains and HSR stations impact the city? That was a very interesting and still very actual question six years later, while the points of view may have changed. We worked on walking in the city: after speed, slowness. And then was a programme on creative activities in the city. The following year, we exchanged gardens, and last year on flooding cities. This year it is on heat islands. And I think it's very interesting to do this seminar on heat islands today because, as we noticed in Barcelona when we were there three or four months ago, there is a link between all the themes we have been working on. We cannot focus on speed, walking, gardens and nature, etc. We really have to bring all those topics together. And I think that what is nice about heat islands is that it is a way to focus on many different aspects of the city. I wanted to remind you what we've been doing these last years and tell you that we should go on doing it – hopefully – during the next years.

Vienne

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

This project was about urban climate simulations of future climate scenarios for Vienna and simulations of possible adaptation strategies. The project was funded by the Austrian Climate Research programme and finished in 2013. And it was done in cooperation with the City of Vienna and the German Weather Service. So, first problematic: we are witnessing climate change in our observational data over the last decades and we have future climate models on the global scale that are telling us that this warming trend is going to continue. How much warmer it will get depends on the scenario which we can't really know for sure, but the models show a really high increase in frequency and intensity of heat waves for all of Europe.

Now in the cities, we have different problems. So, we know that the urban heat island is actually an old phenomenon known in metrology for more than a hundred years, but in the scope of climate change it has a different meaning because this temperature increase that comes from the regional or global climate will combine with the urban heat island. And we also know that cities are growing – this is a global trend – and they can grow in just two directions: either they can get denser or they can spread to the surrounding area. And both trends have their advantages and disadvantages. The concentration of population in the city has the advantages of lowering energy consumption, mobility and traffic, but also decreasing green areas, it increases the heat island effect, and at some point one doesn't know where it is leading. On the other hand, urban sprawl spreads the heat island effect, increases energy consumption – which is again not good for global climate change because of the higher emissions – so everything is very coupled. And now we are ask ourselves how should cities be built? What is the best strategy? And before we answer that question, we need to understand the processes and somehow quantify the effects so we can make objective decisions.

Now what we use at the Austrian Weather Service is the Urban Climate Model from the German Weather Service. It's called the MUKLIMO_3 (Microscale Climate Model) which runs on the resolution of 100 metres. It is like a weather forecast model, it has some simplification, on the other hand it is made for the urban areas, so it has buildings inside that are parameterised, it calculates temperature, humidity and wind in the three dimensions, energy fluxes... It has a vegetation model and a soil model and we calculated, for the summer period, some idealised cases when heat load – excessive heat load in the city – can occur. Then we used observational data or regional climate model data and calculate climatic indices for the 30-year period. So it's not just a single simulation; it's really an average for the climate. And it takes into account such periods when heat load can happen.

So we are concentrated on the indices like summer days – number of days in a year where the temperature exceeds 25°C – or heat days where the maximum temperature increases to above 30°C, or warm nights when the minimum temperature is above 17°C, and then we

make 30-year averages. So, this model is used for several applications. It is used mainly in central Europe. In Eastern Europe, we have new applications. So, it used to downscale the future scenarios from the global/regional down to local scale. We make sensitivity simulations for climate change adaptation, so we change something in the land use and see how the city climate reacts. It is meant as a support for urban planning because we can simulate the full city at once. And this is a relatively new approach because most of the models use districts and buildings or they are at regional scale and do not really have cities explicitly resolved. We tried to reconstruct the urban climate in the past so we can know what happens, so we know that our model is actually right and we combine it with measurements so we can access heat load in the city on a very fine scale, which can help to improve heat warning systems and also on short time scales.

So first, downscaling future climate scenarios – the concept is this: we have global climate models which are at 100-kilometre resolution: the newest IPCC scenarios. I'm going to show the results from the last IPCC scenarios. We are now working with the new set of data published in 2013. These scenarios are downscaled with the regional climate models up to a resolution of practically 10 kilometres. And then we use this input data to simulate the city climate at 100-metre resolution. So this is what the model results look like for Vienna for the 1981 – 2010 period. We compared model results for mean annual number of summer days with the observational data. We do not have so many stations. We have like six to eight stations which have long-term time series. And we have an agreement with the station up to 10% error.

So this structure of the heat island is typical. On the western side, we have hills, Vienna forests which you can't see now. We have heat excess in the inner city, lower heat load in the area of the Danube and the Lobau – this is this blue area which is also like a recreational park – and very high heat load during the day in the flat terrain on the other side of the Danube which is not too populated but it has different reasons why it is so... And then we used this reference simulation and instead of observational data we took the regional climate model data. So these are three different scenarios taken from the REMO regional climate model: A2, B1, A1B. Are you familiar with these scenarios? This is how initial scenarios from IPCC see how the world will develop in the next 100 years, whether it will be more regional or more environmentally friendly focused. So it too is like... so consumption is the world, while B1 is a more environmentally friendly world and A1B is somewhere in between and maybe in that type of city, this was considered as a bit more realistic. So, we see the trend up to 2021 to 2050 – we always take 30-year averages – relatively similar climate, it depends on the scenario whether it will be a bit warmer or not. But when we look up to the end of the century we have really a significant increase in heat.

Now, the climate scenarios are very different and we didn't take just one model, we tried to take every model that was available at that time. And we see now these green points are the reference simulations. Already the model differs in the reference simulations because when you come to the local scale, the variability gets very high and then it depends on the model how the climate will develop. So, some that were cold become very quickly hot, but what is visible is that all these red points, they are all showing warming, so that it's very unlikely that we will have - from the climate perspective – a cooling effect.

Now, if we have the warming trend, what can we do in the city? There are some popular strategies that can be done. So we separated them into the Green city, the White city, the Shaded City, the Blue City and the Grey City. Green cities: if we increase green surfaces in the city in large parks or traffic corridors – in general, more vegetation. The White City is about reflection of surfaces, be it on roofs or walls. Shaded City: if we can build the geometry of buildings with the shading benefit... so not producing excessive heat load. Blue

City is where instead of green surfaces, we take water surfaces. And Grey City is if we don't do any of this, if we just continue building and decrease our green surface in the city.

Now, we did the experiments taking the reference simulation now only for the reference climate, not taking into account the future climate scenario, so this is just the effects of the land use and we modified the land use for different categories. We have 32 categories in these simulations from the city of Vienna. And we looked at the difference in the mean number of summer days. Now, we made some kind of scale to know what are strong effects, what are moderate effects... It is not a general scale; it is made for Vienna. One degree... One summer day, this is below model accuracy and above ten days is a significant change. These ten or twelve days are approximately a one degree difference in mean summer temperatures. But these are data from Vienna – we took it from the stations – so it doesn't mean it is like that for your city. And then we tried to do some virtual experiments, first decreasing building density, fraction of pavement for all built-up areas and traffic, so this was like a 10% decrease of all the buildings or 20% pavement. And we see that the density of the buildings are a higher factor in the heat island effect, so decreasing density of building by 10% will strongly decrease the urban heat load, while the pavement has an effect but it's not so strong.

Now, then we have the example for the roof albedo. In our simulation, the reference albedo is 0.2. And we tried to increase the roof albedo. Albedo is one of the measurements which is cheap to do; it can be applied on a big surface, for example to make new parks, so it has high potential. And we see that by increasing albedo to high values – up to 0.7 or 0.9 – we have a strong cooling effect. The question is whether this is realistic, whether we can achieve having all the roofs with 0.9 – this is the white colour – and whether it is applicable to cities that have cultural... or red roofs and whether we want something like that. Or whether there is some other method or materials that can keep this visual sense, but increase reflection. Now, then we tried to combine different effects. It is very unrealistic that we will decrease the fraction of buildings everywhere by 10%, but what if we concentrate just on the traffic corridors, if we make them more vegetated and decrease the pavement and buildings and still keep some realistic investment. And we see if we apply minor changes but which are combined and focused, we can have moderate cooling effects which we wouldn't have if we just applied one and we also have some influence on the environment because it is applied a little everywhere. If we combine not only traffic corridors but residential districts, we can get really strong cooling effects and impact the surroundings. So it is not just cooler where we applied it, but also in the surrounding area.

Now, then we tried to look at increasing the city parks. In Vienna, there are about 1,000 hectares of green area, which are simulated. So we tried to increase this by 10, 30 and 100%. It is already too much, as the parks in the city are expensive and 10% is already a significant investment; 100% is practically impossible. But only if we increase largely would we get a strong cooling effect. So, if we increase parks just locally, we have local effects, but it is not going to change the climate of the full city. If we take this 30%, whether it makes sense to put them in the inner city, or it makes sense to put them around in the residential areas where there is a better cooling effect. And we learned that concentrating the parks makes a bigger impact because they work like cool spots and mix with the wind. But it is

dependent on where the park is. If it is surrounded by the buildings it will probably just have a local effect. If we put it near the water where the wind is well ventilated then we have transportation of this cool air and so for the surrounding districts, they were really local effects, which again, are dependent on where the park is.

Then we also tried putting water instead of park and this for example in the inner city – again this is a virtual experiment – but with water we can get similar effects to green surfaces. The problem with water is the temperature. Water has a different daily cycle of temperature, so it has some so called damp oscillations. During the day, if it is cold, water will make a cooling effect, but if it gets hot and we have some just simple shallow pools, they will get warm and during the night we will have the heating effect. And also the daytime temperature which is not much lower will have a lower effect. So this is how the mechanism with water works.

And then we also tried some experiments: what would happen if we were to convince all the farmers around the city to become foresters? Because trees actually have the greatest effect on cooling. And if we just take all the surrounding area and make it forest, we see cooling effects, very strong cooling effects, and also an influence on the surroundings. It also cools down the residential area, not just where it is applied. But then there is an economical question. Is it beneficial for the economy to make such big forest areas around the city or is agriculture better? It's not just climate that makes the city dynamics; one needs to look at the city as a whole system to see what would be the best decision. But this is the climate effect. And then we tried to say if we take just these simple urban development trends like urban sprawl, urban densification, extreme urbanisation, what happens? So with urban sprawl we made some extra cities in the south and the south-east. And in urban densification we made the residential areas more dense and extreme urbanisation we just took... this is no plan for Vienna, this is just some mixture of buildings all around where there was forest before. So what happens is that with urban sprawl we have an increase in the area of urban heat islands and with densification we make the intensity higher. And then it was a question of: cities will grow somewhere but what is the influence on the surroundings. If we build now outside of the city centre does this make the temperature of the city centre higher or does this affect the cool air or does it stay there? And then we tried to do... these are just different sizes and different positions of new buildings, so these are like small parks, then there was one on the southern side, one on the western side, and we concluded that it actually depends where you build. It's what you build and where you build, because it depends on the topography, the prevailing winds, the size of the surface and the type of land use modification.

So we had an example where we had just a small area where ... if you look, the black lines are the modified area and the green is the heating effect. So we had for... on the far right, this was the modification that we got when we took out the Wienerwald forest from Vienna and put buildings and this is also in the prevailing wind direction. So we have changed from forests to buildings. From the higher level topography this heat spread to the city with the prevailing winds. So it is really not a good idea to build there. And then this extreme urbanisation scenario, we tried, instead of forests, to see how the heat island would look and we of course have an increase in heat, but there is a second effect and this is the decrease of the winds. Because in Vienna we have natural circulation that comes from the

hillside which is also vegetated and cools the city a bit, but on the other side of the city there is no nature or process that will produce wind circulation and once we build there we will decrease the wind speeds and increase the heat load. So it's really important to understand all these mechanisms before making strict plans regarding where to build. And then we tried to say ok, we have all these scenarios, whether they are realistic or unrealistic, but what really happened in Vienna? We took 18th-century maps from the Austrian Military Survey. If you look at the old map of Vienna, the city centre is like it is today. So 200 years ago those buildings were still there. The Danube was unregulated. We had a swamp area which was regulated in somewhere around 1850. This was before that. And we still have, thanks to the Austrian Monarchy, the meteorological measurements from that time. So this is the early instrumental period. And we see from the measurements the time series of summer temperatures in Vienna. The black one is a homogenised time series for the... in the residential district where the Austrian Weather Service is. The green ones are measurements in the city. At that time they had a measurement a problem because they didn't have proper shading but they show a practically similar level of temperatures to today – this is the red line. So in the inner city of Vienna the temperature level didn't change much.

We tried to use this map to reconstruct the land use. This middle picture is how the city of Vienna looked at that time and how it looks today. We tried to simulate the climate with today's data, so we are not taking into account any climate change; this is just man-made change by land use with the reference simulation that we have and the historical simulation. And you can see how the inner city shows a small heat island effect. And if we look in detail and look just at the differences between today and 200 years ago, we see where the changes happened. In the inner city there was not much change – actually there was a cooling effect because there was a wall around the city and this was taken out and now it is a green park area – but we have, due to the regulation of the Danube and high urbanisation, a very strong heat load increase. And this is also the residential area – this is not the most favourable in the city – and this was not naturally there. We also have cooling effects, for example in the forest areas, because before there was much more use of wood. Today this is park and it is protected, so we have some positive effects of restoration of natural resources. We also tried to compare with the data and we came to the conclusion that the model is able to produce this difference between the temperatures 200 years ago and today in the same order of magnitude. Really there are several problems: how to do that exactly but we think that at least the order of magnitude is okay. So when we look from the historical perspective and we look at this future climate scenario, now this future urbanisation doesn't even look so dramatic if we are talking about timescales of 100 years. Because what we build today will probably stay there for the next 100 years. And if we still think about the regional climate change or the global climate change – and that this will be an extra effect – then there is the question of what to do. So the urban heat island enhances the heat stress and the risk for the urban population. There is a regional and global warming trend and the city growth contributes to the excessive heat load in urban areas. We need sustainable urban development to mitigate changes to keep a high level of living standards in cities. And with the use of urban climate models, we can help to quantify these trends and estimate the changes which can be helpful for urban planning.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

I had a question about the series of measures that you had. It looks quite original to have such long time measures. Can you explain a bit more how you got that?

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

There was a station in 1767. They already had temperature measurements with the thermometer in the inner city. Then these stations, there were several ones in... Then they switched to the other location. And in 1850 the Austrian Weather Service was established and since then, there are continuous measurements. So we have daily data from there. And then these different time series was combined to homogenise with the surroundings to produce one representative measurement for Vienna.

Une intervenante

I had a question about the role of soils in the urban climate. So you said in your model that you have 15 layers of soil. But then in the different scenarios you tested, I wondered whether you analysed how much soil is natural soil and how much is artificial? Is that a significant factor you have looked at?

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

The model for each grid cell defines 32 different categories. The main categories are buildings, vegetation and water. And we have streets. Then, for each grid cell, we define the percentage of buildings, the percentage of paved surfaces, the percentage of vegetation and street surface. And then for the vegetated or free surfaces, is the soil more... Free surface is like sand – there are no plants – but it's also not sealed. And then for this there is a soil model with water content, temperature... We initialise and it runs... I can't explain the details. For the buildings, there is different model that applies for the building...

Bernhard Schaft

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Thank you very much for your very interesting presentation. I would just like to ask you if you could give some assumptions on what the role of traffic is in relation to all those thousands of heat spots, of mobile heat?

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

This model doesn't include anthropogenic effects. So we don't have heating of the buildings inside or traffic. So this is really just from the land use. We can't estimate it in this model.

Bernhard Schaft

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Do you have any experiments where this topic is concerned? Any examples of what if we could reduce the traffic inside the city?

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

For the heat excess? From Vienna I don't know any examples. There is some literature from Germany, but I can't help.

Alban Mallet

Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

Thank you for your presentation. My question is about urban heat islands. You used one index. You presented the number of summer days. Did you test with other indexes?

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

Yes. We tested with heat days: it's a more or less similar structure, it's just different numbers. The statistics are not so good, because we have like 15 heat days in mean, so if we have one or two it makes an extreme difference. In the future we have got a doubling of these heat days in trends. So these extreme temperatures increase. We looked at the warm nights and tropical nights of 17°C minimum and 20°C minimum. We have quantitatively good results from the model, qualitatively not so good. So we concentrated on the data and heat island.

Alban Mallet

Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

Okay, what is the big difference in the city of the number of summer days? What is the minimum or maximum?

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

There are two effects in Vienna: it is the topography, and this forest makes it very cold. So we have practically from 10 to 95. The stations show about 10 or 15 days' difference, but we don't have stations on the upper moors part and lower. And also they are on the standard surfaces somehow. We made measurements on...

Beatrix Gasienica-Wawrytko

Vienna University of Technology

I will talk about a project which was conducted from 2011 to 2014 and was also funded by the Austrian Climate Research. It was called Urban Fabric Types and Microclimate Reponse – Assessment and Design Improvement.

A small introduction: everybody already knows the urban heat island effect and we already know that it is also combined or caused also by open-space structures and combined also with building structures. So we have seen that... And we know just also that there is an urgent need for urban planning measures to ameliorate local climate conditions. We focused, on this project, on open-space structures and how we can ameliorate the outside and how we can design urban space structures in the future to have better climate conditions. Just a small introduction to the project team, the University of Technology conducted this project with the Department of Landscape Architecture and the Institute of Urban Design and Landscape Architecture. We also had the Department of Spatial Planning on our side with the Faculty of Architecture and Spatial Planning, the AIT (the Austrian Institute of Technology) and also the University of Munich.

The aim of the project was first to identify climate-sensitive urban patterns for the example of the city of Vienna and to suggest urban space design measures for the future. The project had a systematic approach and there were four fundamental steps in this project. First of all, we wanted to create an urban climate sensitive typology for the city of Vienna. With this typology we were able to identify open space structures which are vulnerable to heat stress or heat impact. And with these quadrants that were used we made some microclimate simulations to see the effects.

We were using microclimate simulations to see how open space structures influence microclimate conditions. And in the end we created a catalogue of measures. We also had a strong exchange, time with other specialists, the colleague from before, Maja Zuvella-Aloise, was also in our expert team, also Jürgen Preiss and other specialists.

So first of all we had to create an urban typology which is climate sensitive and which gives an overview of the open space structures for Vienna. We generated, we used, in fact, a grid which was done by the Austrian Statistics, a grid with measures of 500 to 500 square metres. So we had a lot of quadrants which was laid down on the city of Vienna. And I will show you later in the example. And we had about 2,500 quadrants for Vienna. And we chose some indicators that describe urban climate, terrain, built spaces and open spaces. So we collected a lot of indicators. We had about 200 indicators. We have chosen in the end 40 for analyses which were done by factor analysis. In fact, we merged all indicators together to have an idea about the most important indicators for factor analyses. Afterwards we used a class analysis to identify the urban fabric types. Now, just to have an idea what it

is: this is the end result. We created a typology for Vienna with several of the fabric types that describe the urban structure as well as climate sensitive zones for Vienna.

So we have found for example industrial and commercial areas as well as density built areas within the city, as you can see here. This is the density built inner urban areas. We have also the... the forest of Vienna is also coming out in the urban fabric types, agricultural land, water surfaces... But for us, we made a focus on areas that were very vulnerable to heat impact or heat stress. So we decided to subdivide this city centre which is described also by a lot of summer heat, summer nights, and many sealed surfaces, less vegetation forms... So we decided to subdivide them to have a more precise result and to have more detailed information about the urban fabric types. In addition, we also subdivided the urban expansion areas on level terrain which are in the eastern part of Vienna and also a little bit in the south. It's also described by more or less high sealed surface areas, the climate is hot – we can say this (not as hot as in the city core) – and the building structure was also more detached single houses, but also apartment block structures.

The next step was to pick out some... as I was telling you about the grid which was laid down on Vienna, so we have a lot of quadrants which were laid down on Vienna... and the next step was to pick out one representative quadrant for each urban fabric type to be able to use it for the simulation of microclimate conditions. So, how was it done? We had factors that just go round the sample analyses. We have chosen special amounts of quadrants which was dependent on the whole amount of the urban fabric types. After we picked up all of these representative... well, the sample quadrants. We used some data, for example the 'multi-purpose digital map', which gave us information about sealed surfaces, green surfaces... But also the Grünraummonitoring - it's a data set from the city of Vienna: 'green space monitoring' which gives some information about the functions of green spaces in Vienna. We characterised them; we made calculations of all these surfaces, the percentages of surfaces of special categories and we picked out about 5% of one category within a quadrant.

We also compared the most representative quadrants with aerial photos because we wanted to have the most characteristic open space structures, to have it in the centre of the quadrant to be able to perform microclimate simulations because of pondering reasons. So after picking out these representative quadrants which we used for our microclimate simulations, we have seen for the first urban fabric type – it was a commercial and industrial zone – we see here all big structures, a lot of sealed surfaces and also a high potential effect of green roofing. So the urban fabric type 2A, we see here that this is in the density zone, really characterised by parameter block structures, as we can see here, and street widths are not that large. We have also green structures, courtyards. And in comparison to the other urban fabric types, with the 2B we have here – which is also more or less in the centre of Vienna – large streets and also railways tracks. In comparison, we have, also as I said before: the 3A. We used it also for microclimate simulations. We see here more or less single detached houses with green spaces, agricultural land, and here we have the apartment block. The building structure is higher, but we have a lot of green spaces that separate the blocks from others.

The next step was to characterise the open space structures for each quadrant, to be able to have an idea what percentage of surfaces were sealed, which structures are there. So for example, we pick out one quadrant here and we identify its road systems, linear street systems... We have widenings; we have special crossroad situations, square situations and also courtyards which are closed for the entire block situation because it depends also on the shadings, if there is a small courtyard which the shade came on... So this is another impact of the microclimate condition.

We started also with our simulations. We can see it here. We worked with the ENVI-met model – maybe you know it already – it's a three-dimensional model which combines open space structures with microclimate conditions. We started to simulate the status quo situation of these quadrants to see (okay)... This is the PMV value – the predicted mean value – it combines humidity, it combines air temperature, mean temperature, wind speed, everything inside. And this is a value which says well (okay)... Here we have a scale from 1.5 to 4, in fact there is also a minus value, but we focused on the plus values. And this is neutral and this is “Oh my God, I feel really bad”. So, when a human being walks through these streets, it's really intolerable, it's hot, you don't feel comfortable at all. So we can see here, the simulation took place for a hot summer day, about 32°C at 3 p.m. in the afternoon, so this is the most radical situation which we simulated. So we did it for all quadrants. We had status quo situations and we started to design measures for these open space structures. So, for example with... At first I have to say we were limited by the design measurements. We wanted to also work with water elements, but this was not possible at the time with the ENVI-met model. So we concentrated ourselves on tree planting measurements, de-sealing of ground cover and roof greening. Tree planting: we were using variants on the diameter of the crown of the trees by placing the trees, by the orientation of the trees, on which side is it better on the east side, on the west side, to see the effect, in fact, to show up the fact that it doesn't depend on there just being a tree in the street, but it depends also on the site. We also focused on de-sealing and ground cover. Not only on de-sealing, but also we sometimes changed the whole structure of the ground to see if there was an improvement. We also did roof greening.

So, we can see here, for example, you already have maybe the image from the commercial and industrial zones quadrant. Here is the characterisation of this quadrant, characterised, for example, by extensive paved surfaces, paved parking areas, high potential roof greening. And we focused on design variants of de-sealing the ground surfaces and extensive paved areas, de-sealing the ground surfaces of streets, together with tree planting and building sites and parking areas and so on. So we created for each quadrant a certain number of variants. This looks like this. For example, this is the status quo situation. Here you have the mean radiant temperature, the temperature, wind speed, specific humidity and the PMV value. And by using these variants, for example we're planting trees along streets just in specific square situations or de-sealing places, de-sealing squares and planting trees, we got a lot of results and we analysed them. So we did all the simulations. In fact, we have done this for the whole day or more than the whole day – for 36 hours. And then we were able to do a catalogue of general recommendations for example, general recommendations say like this: Street planting: (we know already) the street orientation depends on the site

and the dimensions, the urban structures. De-sealing; in fact we have seen that de-sealing has a lesser impact on decreasing the temperature in urban spaces, but has a lot of neighbouring effects. It means that cooling impacts, if you de-seal surfaces, as my colleague said before, if you de-seal surfaces there is a cooling area and the impact on the surroundings is also quite high. We noticed this also. It also depends on the surface; tiny surface but they are really much bigger surfaces. Room planting: we haven't seen it in the PMV value because it was on a higher level, but we know that it has cooling downwind – if we just take the vertical analysis – we have seen that this has a cooling effect downwind, particularly on the lower buildings.

We also made some further recommendations due to literature reviews and also from the previous projects. And on the other side, we have made some packages of measures for each quadrant which we will be analysing based on the amount of their percentile amount of their surfaces of the open space structures. And on the effectiveness of the variants, we made some packages of measures. So we can see here for example, we have parking areas. Parking areas are just 13% of the whole surfaces of the quadrant, but it's the highest priority. We just made these categories in quite a prudent way. If you need parking areas in these kinds of zones, what can we do to ameliorate the microclimate simulations? The second priority was also the roof area, potential for roof planning. Paved areas were also 30%, but we said (okay) the priority is more or less not the highest priority. So we made this for all the quadrants and then we were able to say, okay, for open space structures: when you have these and these kinds of structures within the city, when you use these and these measures you will maybe be able to reduce this climate condition or this temperature or this PMV value, we will reach it.

So, some general conclusions: there were not surprisingly... we were not surprised... But we have seen with our simulations that at the end there is a close interrelationship between built environment, open space structures and local climate conditions, that urban green is important to decrease local temperature regime, to have higher irradiance, and other natural cooling. We have also seen that there is a correlation between width and orientation of open spaces and coming back to the tree planting, as I said before, it also depends on the height of the tree, but it causes a reduction, in fact a significant reduction, in the mean radiant temperature and also in the air temperature. We have to say also that in the morning the area was a little bit warmer because of the crown. The temperature was stuck together under the crown in the morning, but it was not that significant and at all rate able, you know, to say okay it's better to plant trees - but with the negative effect that the wind was not able to blow through the streets. Also we have seen that the minimum and maximum temperature was reduced and also the minimum air temperature occurs later. De-sealing, as I said before, has effects, especially a neighbouring effect and roof planting has a less direct influence on ground level. It has more a vertical distribution and a significant cooling effect at higher air levels and in a leeward direction from buildings.

Thank you for your attention. And if you want to have some more information, here we have our internet site where you can see a summary report in English, well the final report is in German, but I think the English report is quite interesting too.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

We started tackling the urban heat islands topic in about 2002 when we made some investigations with infra-red flights, analyses of thermal mapping; we also did in 2002 a climate map and so on. And then there was a very important moment in 2012 where we decided to take part in an EU project called Urban Heat Islands with partners from all over Europe. This was a very important point for us. First: just the content. What I want to tell you about is the Urban Heat Island Strategy Plan: how did we develop it? It would be a guideline for the town. How should it work? And the second point: an overview of the investigated measures in there, divided into three points, many technical measures, we also see information work – public relations is a very important measure. And then we see control levels.

As I already mentioned, I don't want to speak very much about the situation in the town. This is a thermal image of Vienna done in 2002. I think the picture shows what the actual situation is. This is a picture in the evening. We also have a picture in the morning. The morning picture shows the urban heat island effect very well. But I don't go into detail because I think my other colleagues have already talked about the situation in Vienna a lot, so I'll step over this chart.

The urban heat islands project was as I said an EU project. We had project partners from Vienna: the Department of Building Physics was involved, Wien's Environmental Protection Department. The lead partner was the Regional Agency for Environmental Protection in Italy and a lot of partners all over Europe. The colleagues from Stuttgart were also partners – you met them in Barcelona at the last meeting. The project finished in May 2014 with the conference and we are now still working on the Urban Heat Island Strategy Plan. When Jean-Jacques invited me last year in I think was March, I thought... I had planned to have the Strategy Plan finished, but unfortunately it's still in progress. We have a very good draft note, but it should be finished in May/June this year.

How did we organise to do such a master plan? First of all, the project partners were involved, external experts, not only the technical university, there were also other institutes – two of them you have already heard about today. We did set up a project team. The core team was the Institute of Landscape Development. There were some other institutes involved: the Institute of Meteorology, the Institute of Soil Bioengineering and Landscape Construction. Bernhard Schaft is from this institute. He gave us a lot of very important recommendations and the cross-over to other research work was very important to set up this master plan. Of course we did a Living Lab – what is this? A group of people sitting together, evaluating the measures, expert interviews, a platform... So you see a very

transdisciplinary approach. And then the staff from the other municipal departments who were also involved in the progress. I don't want to mention all of them: the Town Planning Department was very important, Gardening, Forestry, Town Development, Water Management and so on.

What should the Urban Heat Strategy Plan do? What is the purpose of it? It would be strategic in a way for Vienna to implement urban planning, open-space planning and urban ecological measures to reduce urban heat – that's quite clear. They wanted to identify the opportunities for actions for the city based on the tools of control levels. Control levels are planning instruments but also laws/rules of urban planning and urban development. We decided to identify opportunities to raise awareness and promote acceptance for measures to reduce urban heat. Not all measures are really automatically accepted by citizens. If you speak about cars and trees: what is more important? If you like your car, you need a space 5 x 2 m. If we want to have a tree we need a space of 9 m², so we have to handle and discuss what the better solution for the future is.

Now, I'm stepping through the Strategy Plan. The contents: we have altogether about 90 measures, described, evaluated very precisely and divided into technical measures. I will tell you just a few of them and how, if we present, how we describe it. Public relations and information and the control levels and instruments. So I'll just step into the technical measures overview. These are just chapters now, not specific measures. Green spaces are important, water, de-sealing, shading, buildings, mobility, albedo and other technical measures. What you can see here: what it can be in detail. Measures of buildings: – I won't read every line, but, very important for us – intensive and extensive green roofs, vertical greening of buildings. On the right hand you'll see one municipal department; it's the waste management department. They constructed a 850 m² living or green wall – I'll give you some details later. It was very important to find out what the effectiveness of such measures is and it was very important to show to the planners, citizens, to the persons responsible for town development what we can do. It was very important to make best-practice examples.

We also investigated very specific technical measures like the use of evaporative cooling towers, the use of PECW (passive evaporative cooling walls) and the use of evaporative cooling, for instance: spray – you can already find it in the public space, in Kärntner Strasse and some spaces in Vienna; one example will come later on.

This is what the Strategy Plan will look like. We have sort of spider graphs on the left side linked to a specific measure – sorry, this is in German; this means roof greening, façade greening, active and passive cooling measures of our buildings – and on the spider... Of course we always give examples for very good practice, like green roofs: what can green roofs look like? We described the functions of green roofs not only due to the microclimate and mesoclimate effectiveness, but we also considered biodiversity functions and health design/recreational use for the citizens.

These are the spiders (okay), let's read about the flies... nice. But I must tell you these are not native species, I didn't find native ones. But I will construct some. By the way this is the green roof of our department. It was approved in 2008. It's a private building. When the department rented the office rooms, they also rented the roof and changed it to a green roof. This is hard to understand: the different criteria evaluated and tackled with, as I said, not only the microclimate and mesoclimate function of each measure, but also economical questions – how expensive is the measure concerning maintenance and construction? Very important: biodiversity criteria and then life quality. And here you have a comparison of extensive roof greening and intensive roof greening and where the two colours overlap you can see the effectiveness or the strength of the measure if you also consider other criteria which are very important.

So, as said, the climatic criteria, biodiversity, economical criteria and life quality. In reality, we calculated how much the measure costs in relation to a certain area like a block of buildings and compared all costs of measures amongst each other. Here again, just an example of an intensive roof greening of our department. We used materials from not far away – local materials–, wood, which also has a positive carbon footprint – we have a sink of CO₂. We also made some investigations there with native plants. And there was one section where we compared different samples of species, native plants, grasses, and so on, and two different soil types. But I don't go into detail with this. Here: another example concerning the façade greening measure. Here again you have façade greening with climbers like ivy or different vines and so on which are growing from the bottom up on buildings or walls. And then façade related greening: these are the green wall systems with irrigation. Of course façade related greening costs much more. So here you have a more negative balance. Soil related greening is much cheaper, but on our level it looks a little bit – not very much but... – a step between... well two and three are very important and I think Bernhard Schaft can tell you something later on about what it means if we were to do a lot of façade greenings on buildings in the future. Here is an example. I would say this was a really good pilot action. This was constructed in 2010; we had elections in September and this wall had to be finished in, I would say, August. And planning started at the end of May. First, I proposed to do some climbers and some cheap, very easy wall greening and was informed that the wall had to be green in two months. So this was the solution then. Actually it works very well, it functions very well concerning cooling the outside climate, but also cooling the building itself. It's a very effective covering for the building. We do not know very much yet about habitat function. There are still a lot of evaluations from experts ongoing. We know a lot about life quality; a lot of buses are stopping there with tourists – Chinese people hopping off and trying to climb up the wall and investigate the construction there.

Bernhard Schaft has calculated the effectiveness to 850 m² mean. You can also take 50 units of cooling instruments with 3,000 watts running three hours a day. I think this is quite impressive how the evaporation, transpiration of the plants and of the system can keep energy away from the building. I will just hop over the other few measures concerning green spaces. There are quite a lot: installation and extension of roadside vegetation, green and open spaces – very important –, linking inner cities with green spaces... We're thinking about the temporary use of brownfields as green and open spaces. Very important: allowing

spontaneous vegetation. Planting additional woodlands: you wouldn't believe, but we're really planting woodlands in Vienna – at least 2,000 m² every year, but sometimes it's more. We have some actions; it's the Forestry department doing participation with our citizens who can plant the trees themselves. In the north-east of Austria, in the green belt, actually there is a project running with a bigger new forest, which will become many hectares.

We did deal with measures concerning water – increasing the amount of water. We heard a lot about the Blue City. It's also important to get the contact with water; I think it's not only the cooling effect for the surroundings, but also the possibility to put something into the water like your fingers or your feet, just to get contact and get some cooling. So, there are a lot of playgrounds for children where water is a very important aspect which is used. Also, the provision of drinking water; Vienna has a very dense grid of public wells.

Measures of shading: very important where you have dense crowds, people standing waiting at the entrances of some public buildings or at the public transport stations. Shading of open spaces is very important, shading of open spaces in streets especially.

The measures of albedo: these are the white measures. We're not sure how effective they can be and if it's easy to implement them. If we look at the building on the right-hand side, it's a Schauerwell building. It's rather black so maybe this is not really good practice. On the other side, if you see Die Seestadt Aspern, I'm surprised; the buildings are getting quite light again. There was a fashion from architects making buildings very dark and I think... I also recognised surfaces can produce temperatures up to 75/80°C. It might not be very good to have the infra-red radiation if you pass by the wall. Also surfaces could be lighter; of course there is some tradition with asphalt on the pavements. We tried to do our best to change it a little bit, to change it to brick pavements with lighter colours.

Public transport: here are some examples about de-sealing measures. You see here the greening from a tramway track. This is actually in Tokio strasse in the 21st district. It should be much better than having just the concrete or asphalt surface. So, I'm stepping through point B: public relations and information work. We do a lot of informations with local agencies. There are a lot of events with citizens where we give information about the topic and what citizens can do to prevent heat waves, to adapt to them, to work wind walks. We tell a lot about courts, yard greening... also behaviour within buildings, cross-ventilation, façade greening... And what's exciting is that many of the citizens didn't know very much about these measures. They were really surprised at what they can do, even children. There was a competition, the coolest summer walk. It was for children. They took part in this competition. It was organised by the local mobility agency where walking is very important, getting rid of cars and getting better contact with the public open space. And it was very interesting what ideas children had. This description is in German, but you can see the elements: this is one extract is about the second prize: 'what can you do if it is hot?' A lot of elements with water. Here you have a picture about the Old Danube. What did children tell you can do there? You can of course go swimming, diving, sailing and so on. Then when it comes to ice cream – very important – I'm not sure if this is a very good adaptation. Just it

was really funny to read the description of what children would do if it's hot in the town. Another example is these little pictures here. We can always see elements of water, then sometimes trees. Maybe not really perfect trees in terms of effectiveness – I mean the crowns are a little bit small, but childish. I think I remember this picture here from an eighty-year old guy – no he was seven maybe – he explained it: of course the tree, you have the shading and then the two swings, you get some air ventilation; it's very fun. And if it's still too hot, he can jump into the water, so the swing's situated close to the water here. It was really funny.

So one very important point now, Point C: it's the overview of control levels. These control levels are very important – why? Because all the urban heat island measures should be implemented into these control levels. What are these control levels? For instance, strategic tools and legal bases, master plans and urban planning concepts, the zoning and development plan in Vienna, developer competitions, housing initiative and public housing, also subsidies, we now have all the subsidies for façade greening. We have got a new town development plan, that's the STEP2025. The urban heat island became a key objective within the STEP. There are very important goals described inside: the importance of raising comfort levels in public space by ensuring protection from summer heat stress. We also have a climate protection programme where actually there is an evaluation running and urban heat island measures are going to be implemented into the protection programme. One control level we did by doing a feasibility study was the Master Plan at the Nordbahnhof town development area. There was a planning competition which appeared where a master plan was developed. We actively worked together with the Town Planning Department and other responsible departments. And they showed what can be done in this phase of town development. We detected these most important measures, of course trees, façade greening roof greening, development of extensive green areas. We found out that the concept of a very large central park and denser building areas was better in this case, or this situation than having a lot of very small parks. The Technical University also did some modelling and they found out that this area would be cooler during the day when it is built – why is this? One main reason is that the sky-view factor will be much lower because of the buildings and the second factor is the big, large park in the centre. It's a railway field actually and if you transform it to a park area, it is much more effective in terms of climate.

The last picture: it's our vision. You see the left-hand side, it's a Grey town and on the right-hand side a good mixture of a Green, Blue and maybe a little bit of a White town. We'll see if we can reach this goal.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Vous avez associé beaucoup d'experts, comment les architectes et les concepteurs de bâtiment sont associés à ce projet ? Puis vous parlez d'un master plan, est-ce qu'il y a des actions qui sont différentes suivant les lieux, les espaces et les échantillons que vous avez

montrés dans les études ? Comment prend-on en compte les contextes, les micro-contextes ?

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

We didn't have architects involved, except from Christian Härtel who himself has architected work in our department. I would say we are somewhat at the beginning of a process with handling the strategic approach and implementing it to different town planning procedures on different scales, as was the case on this scale with the Master Plan. What happened at the Master Plan which gave recommendations, there was rough modelling just to give an idea about the direction of very important measures like: what is important, how to divide the green and constructed areas. I think it would be important to go more much into detail and to work with specific instruments to implement the measures because it is not only the... There are a big number of measures you can count and tell apart; it's also the question about the combination of measures and there we still have a lot to learn and we need instruments which can figure out because sometimes measures might be counterproductive, so this is the process. And what was the second question?

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Je pensais à toutes les mesures que vous proposez sur les bâtiments, les façades vertes, les toits. Est-ce qu'il y a automatiquement un impact sur la réflexion de la construction ? Même si c'est une mesure générale, il me semble que l'avis ou le regard des architectes sur ces mesures-là serait intéressant. Ce n'est pas simplement un aménagement des espaces publics, c'est un aménagement lié aux bâtiments.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

Yes, that's right. We in German say: we woke up carving dogs. You know what I mean. We started tackling a topic which was new for architects concerning building physics. A new field has been opened up. It's very complicated to combine the technical solution of the greening itself and the techniques of the walls of the buildings. There were some problems with who guarantees about different systems that should be added? But that's our attitude. It's very important not to handle this topic just like an additive topic. So, like, here's the architecture and the building construction, then we come and tell them: "Put some greenery

on the building". That's not the way we want to ensure that this becomes a complementary system. We want architects, physicists, experts who work on insulation systems and construction and so on to work on intensively together with the developers of green walls or green systems.

Une intervenante

Yes as you said, there are many measures in your plan. And you mentioned at the end that you have developed a decision matrix to choose the measures. How far advanced are you on developing that decision matrix?

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

The matrix is a very complicated system. It's an Excel spreadsheet where you can combine measures relating to a town-scale situation. You have existing town areas. You have new town areas. And then you have different possibilities. That's one matrix you can use; it's only for internal use. I don't think it makes sense to publish it because private persons wouldn't be able to handle it. And then you also have the possibility to calculate the other criteria or effects: biodiversity effect, the cost effect, the use for recreation and design of the town. So it depends on a specific situation. You start with a given part of the town. Like, you have a block of buildings, you know that there should be some renovation work, then you type it in and you get all these measures which you can use in this situation. Of course we can't make green belts in the first district of Vienna and we can't make new rivers inside the town. So you can handle things from one step to the next. That's the idea of the matrix.

Virginie Bathellier

Directrice de la plateforme POPSU – Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie – Ministère du Logement, de l'Egalité des territoires et de la Ruralité

Les grandes interventions doivent aussi s'appliquer dans l'espace construit. Je voudrais savoir comment vous comptez les combiner avec les acteurs privés et notamment quelles aides peuvent être apportées, aussi bien financières qu'en termes de conseils. Parce que, par exemple, si l'on prend en compte la végétalisation des façades ou des toits-terrasses, cela peut être des acteurs privés, des copropriétés qui sont cause. Pour qu'il y ait une cohérence qui s'établisse à l'échelle du bâtiment mais aussi à l'échelle de l'îlot, si l'on veut aboutir à des résultats tels que préconisés dans le plan, comment comptez-vous articuler ces différents types d'interventions ?

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

Of course it's very important to reach the private owners. On the one hand, you can convince them that many of the measures mean that you achieve a very high quality of object. For example, if it is a building and you have intensive greening, if you can convince the developers that they can sell the object much better than without all these measures, that's one way. The other way of course... We have some rules and acts which say that roof greening and façade greening are compulsory in Vienna. Roof greening is compulsory everywhere; if it's a flat roof in some areas... Intensive flat roofs with intensive greening can be fixed by town planning law. The incentives, I repeat, they are just a bit of a teaser, we pay up to 2,200 euros for façade greening, the same amount for roof greenings or courtyard greenings, that's not really that much, especially for roof greenings if you have maybe 1,000 m² to be greened. Those 2,200 euros are just a 'drop on the stone'. Very important would be the environmental impact assessment where some measures can be fixed by the Environmental Plan. I must think about all the measures now. I have no idea, for instance, how to deal with albedo factors. We have not planned like it is in New York to fix white roofs on the buildings because we are not yet convinced whether it is a really good measure – if you have white roofs, you don't have green roofs and you have no ecosystem service function.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

There is a category of people you have not talked about in your presentations: the people in the city. I don't want to raise a question about it now, but I think it should be one of the themes of discussion tomorrow afternoon because I think if the users are not involved in these strategic plans they will be wrong, whether these users are living or working in the city, or whatever they do... As I know that the city of Vienna is very fond of gender mainstreaming, I guess you've thought about that and I would very much like to hear about it.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

It's not so easy to answer it in one sentence in a short time.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Do you have any financial plan for that? Because one thing about greening is that green is quite expensive, basically, for the greening itself and also for the maintenance. And this also comes back to the question of involving the people. Because if the people are not involved in maintaining all this green, who is going to maintain it? You know I really believe very much in the fact that people take care of green space, that they appropriate it in the courtyard or on the roof and there should be a big mobilisation because it is not public finance that is going to provide all this green everywhere. Pocket areas of green are highly expensive to maintain without the involvement of the whole population. Did you consider this?

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

There is no specific position for general UHI measurements in Vienna. I think there needs to be a process for it. But there is a very intensive discussion about what share of the costs citizens who are private persons should bear. There are some models with public-private partnership in combination with façade greening projects. The city pays part of the construction and the private person cares for the maintenance for instance. This is running quite well and the opportunities are that the private person also sees the responsibility for the public space and of course cares for it. And that's much cheaper for the community. Actually, you know, Vienna is growing. It also needs an appropriate green supply with parks and so on and constructing new parks, green areas, and so on, is becoming very expensive. You also need a lot of personnel resources. That's actually becoming a little bit of a problem, but I can't really answer how we will deal with it. Possibly starting constructing the green areas in a more extensive way, so with less infrastructure, is one possibility maybe.

Christelle Leproust

Responsable du Service environnement-énergie, Rennes Métropole

Dans l'image qui est projetée, il y a beaucoup de vert mais je vois qu'il y a aussi des bâtiments qui ont disparu. Est-ce que, dans votre master plan, il y a aussi une partie de réduction de la part bâtie ? Est-ce que vous intégrez l'idée d'une éventuelle réduction de la densité dans certains quartiers de votre ville ou est-ce que ce sont essentiellement des mesures qui sont ajoutées sans modifier la morphologie des îlots ou des quartiers ?

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

Generally, there is not the aim to de-densify parts of the city, but there are some exceptions, for instance, the Wilhelminen block building was a good example. Buildings were very often courtyards, also full with buildings – there we try to regulate it by the Building Plan and to get green into the courts. And very often we will have these courtyards here with more or less big buildings inside the courtyard. That's not an aim in the formal planning of these town areas. These were building constructions done later, sometimes illegally, and we try to strictly... to get strict about these buildings again. It can only be done if there is a big renovation of the whole block. But generally, I think the goal is more to control densification of the city, but implement other green structures like roof and wall greening to better use green open space. We have a lot of rural areas which are not used properly, which are not greened properly. And we have seen that there are chances to do densification without losing the quality of the town area in Vienna. Because we actually don't want to lose the 50% green area in the surroundings.

Christina Ipster

Danube University Krems – Department for Building and Environment – Center for Real Estate and Facility Management

I'm an architect so maybe I will try to bring in the architect's point of view a little concerning your questions. Maybe I can give some answers. I will focus on the building itself and I will focus on the cooling energy demand in building.

The cooling energy demand in building is rising all over the world right now even in regions and countries like Austria or central Europe with an actually rather moderate climate. There are three main reasons for this development. First of course: global warming. We heard this before that we have rising temperatures on average, but we have been able to observe in Austria that we not only have rising temperatures on average but more and longer heat waves and where keeping buildings cool and comfortable is concerned, long heat waves are very difficult. The second reason is the increasing urbanisation and connected urban heat island effect – more and more people live in cities all over the world. And the third reason is that technological and socio-cultural developments lead to a change in our user behaviour. We tend to spend more time indoors, we use a lot more electronic devices which produce heat inside our buildings, we have very high expectations concerning the thermal comfort within our buildings and we expect our buildings to function fully automatically.

So the solution to this problem very often looks like this or similar. This is in some aspects is a problem more than a solution, because these air conditioning devices produce a lot of heat themselves which they induce to the urban environment. They need a lot of energy so

they induce cost, they contribute to the emission of greenhouse gases so they contribute to the global warming effect and they can also hinder the use of so-called passive cooling strategies because they produce heat which they induce to courtyards or narrow streets. They can produce noise and it can be difficult to open windows at night if it's very noisy in the courtyard.

There are existing building examples which prove that it is possible to create buildings with very little or no cooling energy demand at all. To reach this goal, it is necessary to address this problem on different levels. First of all, of course, we need appropriate building design strategies and we need to use passive cooling concepts. The second level is optimised urban structures; we need to involve the urban environment. And the third level is the building design process itself which has to be optimised.

In our so-called smartKB project we addressed these three levels. Here you have some basic information about the smartKB project. The main objective of the project was to design guidelines with quite specific strategies and measures for all of these three measure levels. Another objective was to point out the interactions and potential conflicting objectives between the three levels, but also between planning targets on each of the levels themselves.

I will think I will not talk about the urban planning level; we have heard enough about that. I just want to point out that the interaction between buildings and their urban environment is very strong. On the one hand, urban heat island effects, for example, have a very strong influence on the energy demand of buildings – cooling as well as heating energy demand – on the other hand, the design of buildings can influence urban heat island effects. We identified four main strategies on the urban planning level which lead to specific measures and we heard a lot about those specific measures before.

I want to focus on the building design strategies. On this level, we identified ten main fields or areas for measures to reduce the cooling energy demand in buildings. The first area is location and climate. The specific climatic conditions of a location or specific location parameters are kind of the basis for every energy-efficient building design. In Austria, for example, we have locations at rather high altitudes where we have a lot of solar irradiation and at the same time outside air temperatures are rather low. So for these locations, for example, it is a very good strategy to open up the south façade of the buildings, to get a lot of sun inside the buildings in winter and at the same time it's quite easy to ventilate the unwanted heat load out of the building in summer because of the low outside air temperatures. But this is a strategy which would not work for locations at lower latitudes or, for example, for areas with urban heat island effects. If you look at this picture you can see the east-west oriented Mariahilfer Strasse in Vienna which is quite a broad street and orthogonally north-south oriented Neubaugasse which is much narrower. And if you walk these streets on a hot summer day, you will find that they have very different microclimatic conditions; you can feel that on a summer day.

These microclimatic conditions need to be taken into account for an energy-efficient building design. The orientation is also very important for energy-efficient building design: the orientation in relation to the ecliptic of the sun, but also the main local wind directions. For example, it is quite easy to protect windows and openings facing the south from unwanted sunlight, but it's quite difficult for windows and openings in the east and west. If you know this, you can orient your building in relation to the sun. It's also useful to know the local main wind directions; you can use striking winds to ventilate the building especially on hot summer nights if there is wind. In Vienna we are lucky we have a lot of wind.

The building geometry can be used with courtyards, or a structured building footprint, or even with a structured façade to shade the building using its own components. At the bottom left you see the Velux Sunlight House. This building was designed, or optimised, by my colleagues at Danube University and it was designed in a way to let a lot of sunlight into the building in winter and at the same time shade itself in summertime. The other building is the so-called Energybase – it's an office building – and you can see that the south façade of this building is 'folded' in a way to let the sunlight very deep into the rooms in winter and keep it out in summer. And at the same time these upper parts of the folds on the façade are used for photovoltaic energy production.

The size and orientation of windows and glazing in buildings is really essential for energy-efficient building design. Again, this picture shows the Velux Sunlight House. In this building, every window was sized and positioned very carefully. As I said before, it's quite easy to protect windows facing the south from sunlight, it's much more difficult for windows facing east and west and it's very difficult for sloped glazing or horizontal glazing.

The surface design of the building envelope is of course important for the cooling energy demand of the building, as well as for avoiding urban heat island effects. We heard before that light colours heat up much less and not as fast as dark colours. Some biologists think that zebras might have developed stripes during evolution to kind of regulate their body temperature. As the light and dark stripes heat up very differently, this creates a kind of little air movements on the surface, which helps them to remove heat. Maybe this could be a strategy for urban planning and building design as well.

If we are lucky we have been here, or at least most of us might know these pictures of those cute little towns and Greek islands here in white and blue. It's not only that it looks very romantic, but it also reflects a lot of solar radiation back to the sky. And this is not only important to avoid urban heat islands, the other effect is that it is very difficult, if the surface of the building gets hot, to avoid ventilating hot air inside of the building.

Sun shading is a must for cooling energy-efficient buildings. There are many different types of sun shading. It can be internal or external – external sun shading is much more effective than internal sun shading – it can be mobile, it can be fixed; it depends on the microclimatic conditions. Mobile sun shading is very difficult when there is a lot of wind for example. It

depends on the orientation. Sun shading on south facades works better if it's horizontal; on east-west facades, it works much better if it's vertical. As I said before, it's also possible to use parts of the building itself for shading. This is a picture of a street in Kerkyra on Corfu, in Greece. You can see that the buildings have little balconies on the south façade which puts shade on the openings during daytime, especially at noon.

Thermal storage is another strategy. It is possible to use massive materials or massive components of the building inside the building to avoid temperature peaks or to avoid temperature extremes during daytime. People knew this a long time ago. This is a picture of cave dwellings in Petra in Jordan where thousands of years ago people cut caves into the stone; some of them were used as tombs, but some of them were also inhabited. This is a very hot and dry climate and I think that these cave dwellings provided their inhabitants with rather cool temperatures during daytime and mild temperatures during night.

Plants: we heard a lot about that strategy today. They can be used outside of buildings to improve the microclimate. They can be used on the façade of buildings which, again helps to provide that hot air from the façade is ventilated inside the building. They can be used to shade openings of the building and they can also be used inside buildings to improve the air quality.

Passive cooling: passive cooling means to use natural ventilation and evaporative cooling to keep comfortable temperatures in buildings during hot summer days without the use of any additional energy. There are many examples of traditional or vernacular architecture which use passive cooling strategies. The picture on the right is a picture of traditional wind towers in Hyderabad, in Pakistan. You can see that these wind towers lead wind inside the building which is then used for passive cooling, sometimes combined with evaporative cooling. But this strategy is also used and can be used in modern buildings. Here again: the example of the Velux Sunlight House. Of course, using this passive cooling strategy is quite important in trying to avoid urban heat island effects.

Last but not least, interior design can help to optimise the perceived temperature. People tend to perceive different temperatures depending, for example, on colour, but also on texture and surface materials. Most people perceive cooler temperatures when rooms or surfaces are in blue and warmer temperatures when they are in red or warm colours. This can be used to make appropriate interior designs, so that the limit of which temperatures are comfortable for the users can be stretched a little.

The building design process itself is very important. We tried to define main measures for this level as well. The first thing is that it is very important to define the planning targets – zero or low energy demand – from the very beginning of the design process. It's important to consider aspects relating to the cooling energy demand very early, even in the requirement planning phase, in the site selection phase and in the very important site analysis phase. It is also very important to integrate specialist planners from the earliest

planning phase. The best way is to use a kind of an integral or integrated planning process – however you want to call it – because modern buildings need to meet very many high and different demands. So, to benefit from synergies and avoid conflict in the best way it is absolutely a must to bring specialist planners together in a very early planning phase.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

I liked your examples very much. Did you have a look at the inertia of buildings? Because all these 19th-century buildings done in stone have much more inertia than the buildings of the 20th century. So, it's just I was thinking about the cave dwellings and the buildings in Santorini which have massive structures and which have this inertia of the structure which has totally different behaviour in terms of energy efficiency than the buildings which shift more quickly in terms of climate or their relationship with the outside climate.

Christina Ipster

Danube University Krems – Department for Building and Environment – Center for Real Estate and Facility Management

I'm not sure if I got that question right. Do you mean regarding the construction of the building, whether it's more massive or...

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Yes. Looking at whether the mass of the buildings has a significant effect because one of the big changes between 19th-century construction – in Vienna, you have a great stock of 19th-century buildings which are quite massive in the core of the city – and buildings of the 20th century are much less massive. You know all these types of buildings full of glass and the behaviour is totally different in a sense and that should also be taken into account in an architectural point of view.

Christina Ipster

Danube University Krems – Department for Building and Environment – Center for Real Estate and Facility Management

Yes, of course. It should be considered. There is a huge discussion in Austria right now between the different lobbies. Actually thermal storage can also be used in buildings with wood construction. It always depends on how the thermal storage is made available, how the mass is made available toward rooms. Of course the construction influences the thermal behaviour of the building.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

I can add something to this question. There was an investigation by the Institute of Landscape Planning. They made a survey in two districts – one district, I think it was the 7th and the other was the 15th – and it was very interesting that you have the same situation – urban heat island effect – in the surroundings, but you have different buildings. You have what are massive buildings in the 8th and 7th district, like those you asked about, with brick constructions with old thick walls and outside... That's the Gürtel street – there are newer buildings; there are some areas with a lot of buildings from the 1970s with more or less thin walls. And people had more thermal stress in the 15th district, although the urban heat island situation is the same in this round of experiments.

Christina Ipster

Danube University Krems – Department for Building and Environment – Center for Real Estate and Facility Management

From the point of air temperatures, the 15th district was better than the 7th, but the other thing was the older apartments were bigger. So interior temperatures were just different – this we couldn't simulate with the model, but that's exactly... There was another effect which was that the people that live in these buildings also have more money and are outside of the city during weekends. So they don't have problems with the thermal comfort like those who need to stay in the city 24 hours a day, 7 days a week.

Une intervenante

I had a question about something that wasn't presented and I wondered if it was just because the conditions in Vienna aren't suitable. You haven't mentioned using geothermal... I wouldn't know what the technical word is... so, *les nappes souterraines*... so, underground cooling?

Christina Ipster

Danube University Krems – Department for Building and Environment – Center for Real Estate and Facility Management

Yes and no. In this study, we focused on design strategies and we regarded geothermal cooling as a partly active cooling strategy because you need at least some energy to ventilate the air or water, whatever you use for cooling. Of course this would be the next step: to use active or partly active cooling systems with very low energy needs.

Bernhard Schaft

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Just to give you some brief information: my expertise is vegetation technology and we are dealing with what we call green infrastructure. I think this is an international term already used everywhere. And the ecosystem services they derive from this and we think that they are decisive for liveable cities. I want to give you a short look back on what we did before and what we are doing now which is probably of interest to you. This is very old – even older than POPSU – when we sat in our research group and thought about a vision for future cities. And then, many years ago, we decided that a city has to include green infrastructure, otherwise it will not be very liveable in many aspects. And we did a short analysis of what we knew about green infrastructure at that time. We said “beauty is not enough” because 10 or 20 years ago the main feature of nature in the city was: “Oh, it's so beautiful and I can go for a walk”, and so on. We are using it as a technical device more than as a recreational natural area.

We said we need to quantify the effects of green infrastructure and make them plannable. We wanted to make them plannable to implement them. So, in the first step, we thought about which processes we could find in an urban settlement. You see a beautiful house there and there are a lot of things going on that impact that house: its ventilation, its solar radiation and its pollutants and of course its noise. We thought about what our plans could do in that context. And we found a lot of spheres where green infrastructure can improve the liveability of an area – these are the microclimate and the mesoclimate that were

mentioned before, the water balance, the building physics, the biodiversity, acoustics, habitat connectivity, air quality, health and, last but not least, property value – very important in the implementation process.

So we set up a project. It was an interdisciplinary project; this is how we work or normally, we are setting up projects with different proficiencies and fields of expertise. This project was started in 2010 and it included 30 partners and six researchers. With this project, we made our first simulations. Heidi did that actually for us. We wanted to know the effects of green infrastructure. This is our test site that we built and it was fourteen different green roofs and three standard roofings, like a tin roof, for instance or a gravel roof. We made a lot of measurements concerning microclimate, concerning temperature profiles going through the whole envelope of the building and so on.

Then, you have seen this project before. This is a project in Vienna. It's a demonstration project. It's an 850 m² living wall – a system that we have developed together with the company which provides it at the moment– and we had the honour to do a lot of research concerning, again, microclimate, building physical aspects and stuff like this. And to illustrate a little bit of the performance, I brought you this thermal photograph here, where you can see the surface temperature on a hot day. And it differs by 10 degrees from the light grey and by, I think, 20 degrees by the dark grey area on the surface. So, you can see the energy coming from the building is cut down dramatically by living walls.

Our next step was that we thought that plannability must be improved and we set up a project that is called Pro Green City, so you realise we always have “city” and “green” in our projects for some reason. This is the team that was formed: we joined with Bergische Universität in Wuppertal, who are experts in fine particulate matter, investigations and the Environmental Modelling Group at the Johannes Gutenberg University in Mainz who developed the ENVI-met model that you might know or already heard about before, and of course us. We installed three test sites throughout Europe. This is near Madrid, in Spain, where we implemented test buildings, again, equipped with a lot of measurement devices. This is the measurement design for the roof. So, again we made a lot of measurements concerning albedo that we heard about before, and many other factors of energy flow around the building and into the building and vice versa.

We also did a lot of research concerning the leaf area density which was very important for the modelling of green, or plants, in these physical models and we investigated plants of green roofs and living walls. And a very important thing was that my colleagues from Mainz – Professor Porz and his team – they improved their wall model. All those who know ENVI-met will know this wall model and probably how it works. It was added by the green wall model, so we call it the green building modelling tool. So we are now able to model a green envelope, green roofs and green walls, which was not possible until that day – basically, you took a tree and put it on the façade for modelling. So this is history now. I think it is already included in the freeware. At the moment, you can really simulate living walls, green roofs, and façade-climbing plants.

Here we can see on the bottom left in the diagram: it was calibrated with all those measurements that we did and all these leaf area densities and stuff that we made. Here you can see the test site in Vienna – it's actually in the Seestadt Aspern, the largest city development of Vienna – and our colleagues made some fine particulate matter measurements around the plants and on the back of the plants and so on. So we wanted to know the deposition of fine particulate matter – a really hard topic actually. The outcome of the project was that we are now able to model green building, building-integrated green, like green roofs or living walls and we can also give information on the fine particulate matter deposition of plants on buildings.

The next step was of course to try it. We selected certain areas in Germany and in Austria. For Austria we of course picked Vienna. This is the Mariahilfer Strasse near the Westbahnhof – the Westbahnhof, for all of you who know Vienna is up here; this is the Mariahilfer Strasse here – and we equipped all buildings with living walls, just to see what the impact would be. And here we have the difference in physiological equivalent temperature. This is what we actually feel – not the air temperature or the surface temperature – this is what we experience as temperature interpreted by a human being. What you can see there is that there is a broad variety of effects. In this small street here, we have a reduction in the PET of more than 12 degrees Kelvin. This is a lot. On the other hand, much less effects here on the street. So, we thought on that point, it was probably too much green infrastructure and on the other side it was too little green infrastructure.

So, the next thing we set up was to design a planning tool that is able to allow the targeted implementation of green infrastructure; this is the Green4Cities project that is actually still running. The aim of this project is the development of an evaluation tool for green infrastructure and the positive effects that derive from it. More specifically, we wanted to be able to show the microclimatic effects of green infrastructure, the reduction of fine particulate matter, the water retention and we also added resource demand indicators like investment cost or water demand, so that you know where you are going if you start a project and realise it.

One key thing in the set up of the project was that this tool should be able to correlate with the principles of planning, or urban planning and of object planning. This is the team and I'm proud to be here to represent this team as a whole; it includes our university, the University of Mainz again and their Environmental Modelling Group, the University of Kassel with Professor Kartchner, the University of Bonn, the Technical University of Graz and you also see some companies that are dealing with resources, architecture and green infrastructure. We were also able to find partners around the world to support this project. This was of course Vienna which was very helpful again. We also have as partners London, Cairo, Hong Kong and Santiago de Chile, who supported the project with datasets that we needed to develop all this.

So we named this tool that we developed GreenPass®, in accordance with energy paths for electronic devices. So the GreenPass' core feature is the combination of a mesoclimatic model and a microclimatic model. Based on this principle we decided to develop two planning possibilities. The first planning possibility is the Green Pass' potential and deficiency analysis. This Green Pass potential analysis allows us rapid identification of urban heat islands, for instance, to define measures to adapt to climate change at certain hot spots and to create a master plan that takes care of the vulnerability of existing areas and says "if you want to build there, make it cooler not hotter", as we've seen before in the project that Jürgen presented.

We also wanted to provide rapid information on the effects of green infrastructure and also to give advice on what would be needed or could be achieved in a certain areas and – as has been mentioned before – it's very important to have information about what urban typologies should be applied in a new settlement areas because it's very decisive, as we heard in a lot of detail before, how buildings are positioned, what kind of buildings are positioned in certain spots, and so on.

To achieve these goals, we developed urban standard typologies in correlation with the state of the art, for instance, the local climate zones from Stewart and Oak, but also existing work that has been done in Vienna, like the Urban Fabric Project which we heard about before, or some other work done here in Vienna, as well as in London and Hong Kong. We took all this information from our five partner cities and developed urban standard typologies. There are more than twenty at the moment. And then we took these urban standard typologies and put green in. This is not the planning process, just two scenarios of green: a maximum scenario where we put green in as much as possible to know what we can achieve at certain spots, and a more realistic, medium scenario where we put green in at an amount where you could say "yes, you could realise that".

So this, for instance, is the urban standard typology No 1. You can see it correlates with climate zone 1 from Stewart and Oak as usually certain amounts of surfaces are defined and so on. And what we did in the next step is that we put them on the computer and put green infrastructure in and you can see the yellow areas are extensive green roofs on the left picture, and on the right picture we have intensive green roofs. And we put a lot of trees in and façade greening and stuff. We have the standard typology as it is: the status quo. We have the medium scenario of putting green in and we have a maximum scenario of a lot of green in that urban standard typology.

So what we can do now is take a city map and we can define areas for different typologies. This is an example from the city of Cairo where our colleagues defined this map. You can see on the right-hand side all the typologies that they have found in this informal settlement of Cairo. When we have this, we can make mesoclimatic simulations and we can exchange the typologies, we can choose other typologies or we can choose the same typologies and add the green scenarios. This has been done by Lutz Kartchner for Singapore; it shows you the basic functionality. We can see the hotspots obviously and we can see what happens if

we put in the green. You can see that here there's a much darker green; these are climate topos with better thermal comfort. You can see much more green here. And I think you can also see that here there is less orange and red, in this area. So we can do this quite rapidly if we have the data for this simulation; that means the geographic information system data of the city.

This was the potential analysis. And of course we also used this tool to support the detailed planning process, that is, the microclimatic simulations. It is possible to use the tool to optimise projects. As we heard before, it's very important to have an integral planning process and to not start when the building has been finalised putting green in somewhere, somehow into this area, but to have a process that is integral so we can optimise projects towards climate change compatibility. We can simulate the effects. You can put trees in and as we heard before, it's not a matter of putting ten trees, but as a matter of fact it depends where I put the trees and what size the trees are going to be. We can optimise the thermal comfort for inhabitants. You can have resource input information; you can say "I have a maximum investment of 10 euros, how much green can I install?", and you can see how you can make the best of this money and what the future scenario is. You can have projects which comply with regulations like climate change development maps that may occur in the near future, where cities in the environmental compliance assessment process say that you must not harm the microclimatic model; you can simulate it with the detailed planning tool and find out if you are complying with the regulations.

So and finally of course, you can get a certificate for that. This is very important for building developers.

To be able to provide this tool, our programmers, Kassel and Mainz, developed a full forcing method. That means that the microclimatic model is driven by the mesoclimatic model. There is a data transfer from the mesoclimate to the microclimate and this is very important to make the accuracy and reliability of the microclimatic model much better. Another step was to define standard green infrastructure typologies. So we don't have 20 types of extensive green roofs, as may exist; we made an average green extensive roof and defined the properties with respect to building physics, water retention, the degree of coverage and so on. We did this for all types of green typologies. Then we defined the effects of standard green infrastructure in terms of the microclimate, building physics, the fine particulate matter, the position, investment cost, water demand and water retention potential. So quite a lot of things.

So here you can see an illustration of this full forcing process. This is a mesoclimatic model from Vienna. It's the 3rd district near the Wassergasse. And you can see here, the mesoclimatic model hands over information, for instance, concerning wind at 2m high and 10m high. So, here you have input points for the microclimatic model and they are driven by the information of the mesoclimatic model.

This is a settlement of Cairo. Everybody who knows ENVI-met knows we can re-build this and we can add green infrastructure. This is the status quo; this is what it looks like. There is

not a lot of green, but there is an open space. Also, here there is a little bit of open space that could be used. This is the model of this settlement version 1. And here my colleagues from Mainz added some trees and shrubs and the next step was like you have seen before: what is the difference in the thermal behaviour of this area? What is the microclimatic effect of this input of green? You can see here first the version 1 – the status quo – and here you can see this area with added green infrastructure. And this is the difference in mean radiant temperature, which is more or less the physiological equivalent temperature – that is, the core compartment of this PET that I mentioned before – and you can see at once that there are trees and shading. You can see the trees on the street side and the trees that have been implemented here between the two driving directions of the street.

Very much less impressive is usually the difference in air temperature. Unfortunately in public media, the air temperature is always mentioned as the most decisive factor, but actually the temperature that we experience is more important – the physiological equivalent temperature. And I just wanted to say that if we have here a difference in the temperature of the air that is not even one degree, it feels much better. We have here a much higher difference in the experience of this air. You can see, there are two, or almost, three degrees difference in what we can experience, even though the air temperature is not that different. What we also added is the resource output. This is more or less a post process. This is not a numerical model that we applied, but we know how much green roofing there is in the plan, we know the surface of green façades, we know where they are implemented, and so based on international research projects we can calculate the water demand, for instance, or the building physical impact.

So the certificate that I mentioned before is currently under construction. It will be in line with well-known building certificates like LEED or DGNB (German Sustainable Building Council), using categories and a certain way of giving points or percentages. And because we are applied scientists, this group of the Green4Cities project found a company that will provide this service to interested municipalities, architects and so on.

So I hope this wasn't too long. What we are doing at the moment, basically, is trying to bring green infrastructure into a plannable or implementable way in terms of preciseness and in terms of time to result.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

Bernhard, I have a hundred questions now. Of course, and I think we are all thinking about how we can use this tool – the GreenPass, like the EnergyPass – how can we implement it, to what planning process? If I think about the Environmental Impact Assessment, if the government tell us to develop software, part of a town, they have to use a tool to give evidence about their climate impact due to planning... I think they would answer with...

They have problems using this tool or any tool because it's not really proven in a certain way; there's no certification yet which is under rule, or something like this. And I think this is a very important discussion because it has to be developed. And it's very important to push it into a certain direction, to handle it, to use it... And I think it's very important that town planning departments try to deal with how it works and how it can work. That's my statement, but I think we should also maybe discuss this point tomorrow.

Marc Montlleo

Directeur de projet de l'environnement, Barcelona Regional

One question is when you are applying this to such different cities as Hong Kong, Cairo or Vienna which... I understand you use mesoclimate data and then go to microclimate data. But the problem is, or could be, when you are applying green roofs in Cairo, well, the species won't be or shouldn't be the same. Secondly, the water demand in Cairo, or in Vienna or in Hong Kong is going to be extremely different and probably the amount of soil or the surface that you need to build in Vienna or in Hong Kong or in Cairo would be extremely different. For example, Hong Kong has a tropical climate, but with a very compact and dense city, with very few roof surfaces and actually these are very used for refrigerating, or cooling machines or for those purposes because they have really high-rise skyscrapers. So, how do you work with all these differences? Because, for example, I think that Vienna has generally less rain than Barcelona, but you have it spread during the whole year round. So you're getting more rain every day or more often and we may get, for example, 100 litres per m² in only one day and then three months without rain. So, all this green infrastructure technology applied to walls or roofs in a city which is not a natural condition for vegetation or for this type of technology is going to be extremely different in Hong Kong, Cairo or here.

Bernhard Schaft

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Thank you for the question. It's definitely something that we worked a lot on. So, the intention of this tool is to be applicable worldwide and the development of these urban typologies was very important to this project and it's not able to take just Vienna for a worldwide tool. Actually there are some parallels concerning urban typologies, where Hong Kong is very different to Vienna – it's not really comparable in terms of typologies but we have them all. And these typologies are not a planning device like a CAD plan. It's just giving you information, rapid information about where your problem is and what green infrastructure could do. It's not about whether there is a sedum on the roof or whether there is a sesleria on the roof, or whatever; it's just giving information on basic properties of green infrastructure – this is the potential analysis. The detailed planning is always a planning process which is always connected to the framework conditions at the spot. So, we're not planning to provide this tool from Vienna worldwide; we're planning to have partners worldwide because all environmental conditions differ. For instance, the municipality in Hong

Kong is very differently organised to the one in Vienna and we're just giving a tool which can be applied everywhere, but has to be linked to the local area. So, there are green roofs for Hong Kong, but it's not the same species as for Austria, that's true. For instance, the sedums, they grow everywhere because they are used to growing, but many other species will not work in Hong Kong that work here and the other way round, but the principle effects – microclimatic effects – are not significantly linked to the species, but to the type of plant. Is it a C3, a C4, or a CAM plant, concerning the photosynthesis process? And most of these plants are C3 plants, and it doesn't matter a lot if it is a begonia or whatever, the process of photosynthesis and transpiration that is linked to this photosynthesis is important and the leaf area and stuff like this. But we have to distinguish the potential analysis that gives you rough information – this is not precise to the third number behind the dot, or the comma, but it tells you what measure could give you a good result and what amount of measure is needed to get rid of this problem – and the detailed planning, which is always the planning process with urban planners and with architects. We also had urban planners in the project and we had architects in the project that gave this input. So, this is very variable, but the tool is still applicable because it's adaptable to the local conditions.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

What is the next step?

Bernhard Schaft

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

The next step is for us to develop software that is available to planners and applicable for planners, that gives very brief, not modelling-based, information on your project and allows you to do a certificate as a second step. Or we can skip the first step, but at the moment the next step is to develop software that is able to allow the import of CAD plans quickly, that allows the manipulation of surfaces within this model very quickly and gives you rough information as a planner for open space, or a building, but not for a whole city.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

When?

Bernhard Schaft

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

One and half years. So this technology that I presented now is working. The next step is that we want to have the planners in... One and a half years.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

In parallel, he's looking for objects to test the model on and I think we will have one or two at least this year where we try really to implement the model; one is a building plan and another will be possibly a public open space, maybe a street, it seems to be very possible.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

Would you be interested in a French city?

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

In a French city? Sure. I've been to Nantes actually two years ago, to the World Green Infrastructure Congress when Nantes was European Green City – it was very nice.

Nantes

Comment aménager la ville avec le climat – Première approche opérationnelle et enjeux autour de la ressource en eau

Alban Mallet

Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

Il y a une grande question : comment construire la ville avec le climat ? C'est un sujet que nous avons voulu traiter sous forme d'interrogation ici pour POPSU. Il y a deux questions sous-jacentes : savons-nous construire avec le climat actuel ? Serons-nous construire avec le climat de demain ? La présentation va se passer en quatre grands points. Nous allons revenir sur la question du changement climatique et son intégration au niveau des territoires, la question de la mise en action avec notamment les Plans climat-énergie territoriaux, la question de l'aménagement de la ville avec quel climat, et l'intervention sur les îlots de chaleur urbains avec le rôle de la végétation et la question sous-jacente de la ressource en eau.

Nantes se trouve en France sur la côte ouest. Nous sommes une intercommunalité de 24 communes qui compte environ 600 000 habitants, 275 000 emplois, avec 50 % de la surface urbanisée et 40 % qui relèvent de l'espace naturel ou agricole. Nous avons voulu poser cela sur la table parce que la question de la lutte contre le changement climatique est une question complexe pour un territoire, on est sur des questions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'adaptation au changement climatique. Derrière tout cela, il y a énormément de choses : la mise en place d'une gouvernance, on a vu ce matin l'importance de la question des habitants, elle est présente au travers de nos questions d'îlots de chaleur urbains, d'économie, de société, de droit, et bien sûr de science qui est le fondement de l'action quand on parle de changement climatique.

A Nantes Métropole, nous travaillons depuis une dizaine d'années sur la mise en œuvre d'un Plan climat à l'échelle du territoire. Le Plan climat est déséquilibré aujourd'hui, c'est-à-dire que la plus importante partie concerne la réduction des émissions de gaz à effet de serre, donc la mitigation, et puis une partie plus faible, le parent pauvre, qui est la question

de l'adaptation au changement climatique. Aujourd'hui, c'est une décision politique, la priorité a été mise sur l'énergie, c'est-à-dire sur la question de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, il faut agir sur les causes, et dans un deuxième temps s'adapter à des modifications du climat à venir. Nous avons une expérience, à Nantes Métropole, qui est de savoir organiser les choses pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, on interroge les politiques publiques avec des méthodes, avec de la procédure et on veut répliquer cette méthode sur la question de l'adaptation et, bien sûr, la question de l'îlot de chaleur urbain.

Comment on fait ? Aujourd'hui, Nantes Métropole est compétente sur un bon nombre de domaines qui interpellent les questions d'adaptation au changement climatique. On a une lecture transversale des politiques publiques. Il y a une notion d'efficacité ou d'efficience des politiques publiques, un rapport entre les coûts et les ressources humaines et les moyens techniques engagés. Il y a toute une planification qui s'opère, il faut établir une stratégie, sur quoi on veut agir, là on est sur la réduction des émissions de gaz à effet des serre comme par exemple des actions sur le développement de transports propres. Il s'agit de mettre en œuvre des actions qui peuvent elles-mêmes se décliner en sous-actions, mais ce qui est important c'est la question du responsable de projet : vous voulez mettre en œuvre, alors il y a des professionnels, il y a des pratiques professionnelles, et il va falloir intégrer ces questions de climat, que ce soit de la mitigation, de l'adaptation, dans des pratiques professionnelles. Elles sont à l'intérieur de la collectivité mais aussi auprès d'opérateurs qui interviennent sur le territoire.

Sur l'adaptation au changement climatique, nous avons mis un focus sur quatre politiques publiques : la question de l'espace public, la question de l'urbanisme, la question de l'habitat et la question environnementale avec la question des forêts, de l'agriculture périurbaine et des espaces verts. Il y a une raison pour laquelle nous sommes moins en avance sur la question de l'adaptation c'est parce que nous ne sommes pas un territoire très sensible aux pics de chaleur, nous sommes une ville de l'Ouest avec un climat tempéré, océanique avec des moyennes de température relativement douces. Cela dit, dans une projection liée au changement climatique, les températures vont augmenter et la question de l'îlot de chaleur va être importante dans quelques décennies.

Sur la question de savoir si nous savons construire la ville avec le climat, notamment le climat actuel, nous avons eu une expérience réalisée sur un quartier en renouvellement urbain, Malakoff/Pré-Gauchet. Nous avons travaillé au début des années 2000 à la mise en place d'une recherche liée à un financement du ministère de la Ville et d'un opérateur énergétique pour essayer de travailler sur les questions de bioclimatisme notamment. Nous ne sommes pas uniquement sur les questions d'îlots de chaleur stricto sensu mais elles sont sous-jacentes parce que nous intervenons sur les questions de confort, sur les questions d'ambiance et sur des situations qui pourraient devenir compliquées à moyen terme. Ce travail a été réalisé avec un laboratoire, le Cerma.

En quoi cette recherche consistait-elle ? Nous étions sur un projet de renouvellement urbain avec à la fois de l'espace urbain existant et des zones qui allaient se développer et nous avons voulu travailler sur ces deux aspects. Avec le Cerma, il y a eu une modélisation 3D du site qui a permis de faire un certain nombre d'analyses, notamment sur les conditions

d'ensoleillement, les conditions aérodynamiques du quartier et les conditions acoustiques. Ce matin, la notion de la qualité de vie m'a interpellé, elle est très large, elle est multi-paramètres, multifactorielle. Les questions d'ambiance sont climatiques mais pas uniquement.

Ce premier travail était plutôt en aval du projet urbain. On a pu vérifier la pertinence de choix urbains, la pertinence des orientations des équipes d'architectes-urbanistes sur l'aménagement des espaces. On a pu confirmer des intentions urbaines notamment sur les conditions d'ensoleillement mais aussi les conditions aérodynamiques. Les bâtiments sont relativement hauts, ils font souvent plus de quinze étages, donc on a des effets venturi qui se créent sur ce type d'espaces. Sur le neuf, on avait un développement de quartier ex nihilo. On a fait un travail de modélisation, de projection urbaine et on a construit des indicateurs relatifs au bioclimatisme permettant d'interroger le côté soutenable ou pas du projet. L'indicateur des façades sud et ouest est intéressant parce qu'il nous montre que l'îlot qui va être construit est principalement orienté ouest. La façade ouest est une façade qui est très sensible aux charges énergétiques, en mi-saison le rayonnement solaire est plutôt bas, il pénètre dans les bâtiments, donc il faut privilégier une protection solaire. A travers ces indicateurs, on a également pu vérifier que la forme urbaine était favorable pour bénéficier d'apports solaires gratuits. On a pu vérifier un certain nombre de paramètres qui étaient reliés à ces conditions d'ensoleillement et d'accès au ciel visible.

Ce travail est intéressant parce qu'il interroge aussi la question de la trame urbaine. A l'époque, la question climatique n'a pas conditionné la trame urbaine, c'est l'orientation vers la Loire qui a conditionné le dessin de la ville et non pas le bioclimatisme en tant que tel. On est vraiment dans une construction a posteriori ou des corrections a posteriori.

Dans ce projet-là, on a essayé de construire un pont entre la recherche, les urbanistes et les équipes de la Ville de Nantes pour imaginer la ville de demain et choisir les meilleurs projets, notamment sur le volet bioclimatique. Un processus a été engagé avec des promoteurs, des constructeurs, des architectes. Dans la sélection des projets, il y avait un critère bioclimatique comme il y avait un critère énergétique. Cela a permis d'obtenir des résultats relativement satisfaisants dans le choix des projets. Un des projets présente une importante façade sud. Là, on a essayé de travailler sur la question des apports solaires gratuits, plutôt sur le volet énergétique, avec un petit bémol car ce traitement était intéressant mais très transparent, il y avait un problème d'intimité. Aujourd'hui, l'usage de ce bâtiment est un peu perturbé par des protections individuelles quelconques qui cassent un peu l'effet recherché.

On est toujours dans la balance entre l'adaptation et la mitigation, l'atténuation des gaz à effet de serre. Je pense qu'il y aura toujours un dilemme entre comment je me protège du soleil et comment j'en tire profit. Ce sont des questions que nous avons soulevé dans la recherche sur le GPV Malakoff/Pré-Gauchet.

Un autre projet de bâtiment était intéressant sur le plan bioclimatique mais il comportait des erreurs flagrantes qui ont été démontrées par le travail de recherche. Par exemple, on avait un bâtiment qui sortait en porte-à-faux sur un côté, ce qui dégradait les conditions d'ensoleillement à l'arrière de ce bâtiment, et on a demandé aux équipes d'architectes et à la promotion de corriger leur projet. Ce qui est intéressant c'est qu'on est vraiment dans un dialogue construit entre l'équipe de recherche, les opérateurs du projet urbain, les architectes et les décideurs locaux.

C'est un premier projet qui date un peu. Qu'avons-nous fait depuis ? Nous avons essayé de transmettre ce savoir, et ce n'est pas facile. La question de l'acculturation est évidente sur le volet adaptation au changement climatique mais c'est une question de temps, notamment vis-à-vis du changement des pratiques professionnelles, et surtout il faut que ce soit organisé parce que si on fait cela au coup par coup, ce n'est pas efficace. Organiser les ressources humaines, trouver les bonnes sensibilités, c'est compliqué. Voilà pourquoi nous sommes aujourd'hui dans une phase où l'on souhaite renforcer ce volet adaptation au changement climatique. Pour cela, nous allons nous appuyer sur des travaux plus récents sur les questions de compréhension du phénomène îlot de chaleur urbain, notamment au travers du projet VegDUD que va vous présenter Katia Chancibault.

Katia Chancibault

Chargée de recherche, Laboratoire Eau & Environnement, Département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre, IFSTTAR

En effet, il y a eu depuis un projet appelé VegDUD coordonné par Marjorie Musy. L'idée était de voir dans quelle mesure la végétation peut être une aide pour limiter l'îlot de chaleur urbain mais pas seulement. Je vais faire quelques rappels pour vous aider à bien comprendre les enjeux de ce projet. Nous avons d'une part le bilan en énergie, d'autre part le bilan en eau. Ces deux bilans sont très liés par le processus d'évapotranspiration qui apparaît dans le bilan en eau et le processus de flux de chaleur latente qui apparaît dans le bilan en énergie, ces deux paramètres étant directement proportionnels via un paramètre. Par conséquent, la végétation en milieu urbain a des impacts sur le bilan en énergie en modifiant les caractéristiques des surfaces, en favorisant l'évapotranspiration, en modifiant aussi le profil de vent dans les rues et peut donc servir de technique de réduction de l'îlot de chaleur urbain. De la même façon, la végétation urbaine a un impact sur le bilan en eau en favorisant l'infiltration de l'eau dans les sols et donc leur recharge en eau, en favorisant l'évapotranspiration, ce qui participe à la réduction de l'îlot de chaleur urbain. Elle présente également un intérêt dans la plupart des techniques de développement durable sur le drainage urbain (*sustainable urban drainage systems*) et a un impact sur la consommation en énergie en jouant sur l'isolation des bâtiments, les effets d'ombrage, permettant ainsi de réguler la température à l'intérieur des bâtiments.

Ce projet VegDUD avait pour but de comprendre et de modéliser la végétation urbaine en termes d'impact sur la microclimatologie, l'hydrologie et la thermique du bâtiment de la

façon la plus corrélée possible. Il avait pour but d'évaluer l'introduction de la végétation urbaine selon ces différentes thématiques mais aussi selon la question des ambiances, en particulier à travers l'acoustique mais pas seulement. Des campagnes expérimentales ont été mises en place en 2010 et 2012 sur la ville de Nantes, principalement sur une zone d'environ 50 kilomètres carrés représentative de l'occupation du sol de la ville et ciblées sur le quartier du Pin Sec.

Dans le cadre de ce projet, on a étudié différents systèmes de végétalisation : les arbres de rue ou les arbres par rapport à la végétation basse, les toitures végétalisées, les façades végétalisées et les noues qui sont un système de diminution du ruissellement en ville qui aide à la gestion de l'eau en ville. Ce projet nous a permis de développer ou d'améliorer des modèles numériques existant dans les différentes thématiques étudiées. Pour prendre en compte ces différents systèmes de végétalisation en ville, différents scénarios d'urbanisation utilisant un seul de ces systèmes de façon globale ou plusieurs de ces systèmes ont été étudiés et évalués, et ce à différentes échelles : l'échelle du bâtiment, l'échelle de l'îlot, l'échelle du quartier ou du bassin versant et l'échelle du secteur de ville à l'échelle de ce domaine d'environ 50 kilomètres carrés.

Je vais maintenant me focaliser sur un résultat important de l'expérimentation, il y en a eu d'autres. Cette expérimentation s'est basée sur un observatoire de long terme en milieu urbain qui est développé et géré par l'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV) qui regroupe de nombreux laboratoires qui travaillent sur la ville dans différentes thématiques à Nantes mais aussi au-delà de la région Pays de la Loire. Sur cet observatoire, nous avons des mesures plutôt microclimatiques (température, humidité à différentes altitudes sur des mâts météo, flux de chaleur latente/sensible) et un système de mesure sur les questions d'eau (mesure en débit dans les réseaux d'assainissement pluvial et des eaux usées, prélèvements pour la pollution, mesures de pluie). Nous avons aussi un réseau de capteurs de température et d'humidité qui a été développé en partie pendant ce projet. Lors des campagnes expérimentales, entre autres, il y a eu le développement d'un réseau de capteurs de mesure de chaleur latente par *eddy correlation*.

Vous avez les différents points de mesure des flux de chaleur latente triés du moins végétalisé au plus végétalisé. La fraction de végétation a été calculée autour du capteur sur un rayon d'environ 200 mètres. Là, c'est un site très urbanisé, on est sur un parking de supermarché avec seulement 7 % de végétalisation. Le flux de chaleur latente moyen sur une journée typique, entre 7 heures et 20 heures, présente la variation de chaleur latente indiquée ici. Au contraire, sur des sites beaucoup plus végétalisés, jusqu'à 45 % de végétalisation, on a une évolution du flux de chaleur latente durant la journée. L'intérêt du flux de chaleur latente c'est l'évapotranspiration qui est derrière, et donc, potentiellement, une diminution la température de l'air. On voit ici avec la mesure l'intérêt d'introduire la végétation en ville.

On a fait tout un travail de simulation numérique sur les différentes disciplines dont je vous ai parlé. Je vais vous présenter quelques résultats principaux à différentes échelles dans les

différentes disciplines. Ici, on est à l'échelle du bâtiment ou de la scène puisqu'on a pris en compte l'impact de la végétalisation autour du bâtiment et sur le bâtiment en regardant l'impact des toitures végétalisées. Sur une simulation de référence où l'on n'a aucune végétation, on voit l'impact sur le confort intérieur d'une personne habitant au deuxième étage de ce bâtiment : on a environ 20 % du temps dans la journée avec un inconfort de chaleur important, voire 30 % avec un certain inconfort. Quand on végétalise les bâtiments alentours, on voit une amélioration non négligeable. En revanche, les toitures végétalisées sur le bâtiment en question modifient le confort du bâtiment mais pas de manière vraiment importante. En revanche, dès qu'on végétalise les façades du bâtiment, on voit tout de suite un impact très fort où l'on n'a plus du tout de sensation de chaleur inconfortable. Ceci est encore renforcé avec la toiture végétalisée et encore un peu également quand on végétalise la scène alentours.

A l'échelle du quartier, on est là dans le quartier du Pin Sec où les bâtiments ont été reproduits, on a voulu regarder l'impact de ces bâtiments, de l'environnement climatique autour de ces bâtiments, de leur position les uns par rapport aux autres sur la demande en climatisation. L'échelle de couleur indique une différence relative de besoins en climatisation entre les bâtiments. On voit qu'il y a une demande beaucoup plus forte sur les bâtiments à la limite du domaine qui ne sont pas protégés par les autres bâtiments. Les bâtiments de plus petite taille ont une demande énergétique plus faible que la moyenne du fait de l'aérodynamisme lié à la disposition des bâtiments alentours. Malgré tout, on peut avoir à l'intérieur des bâtiments avec peu de circulation d'air qui sont impactés et pas forcément protégés par les autres bâtiments.

Nous allons maintenant voir l'intérêt de regarder le bilan en eau sur ces techniques de végétalisation en ville. Nous avons fait différents scénarios de végétalisation sur le bassin versant du Pin Sec en utilisant des toitures végétalisées sur les toitures-terrasses existantes – nous avons essayé d'aller sur des scénarios plutôt réalistes. Nous avons équipé les bâtiments de toitures végétalisées à 50 % ou 100 % et tenté de regarder l'introduction des arbres dans les rues dont la largeur le permettait ou en enlevant complètement les arbres. Puis nous avons des scénarios où l'on a introduit les noues, ces grands fossés végétalisés qui permettent de limiter le ruissellement des eaux pluviales.

On voit ici l'impact sur l'évapotranspiration par rapport à la simulation de référence, on est en termes de variations annuelles, et l'impact de chaque dispositif sur le ruissellement produit. On voit l'intérêt des toitures végétalisées pour favoriser l'évapotranspiration et diminuer potentiellement la température de l'air ainsi que le ruissellement pour améliorer la gestion de l'eau à la source. On voit qu'il y a un impact très faible des arbres sur ce quartier, à cette échelle, aussi bien sur le ruissellement que l'évapotranspiration. On voit également un impact assez faible sur l'évapotranspiration des noues, mais on s'y attendait parce que, dans les noues, on a plutôt de la végétation basse, mais on a en revanche un impact réel sur le ruissellement. Pour ces scénarios, nous avons remplacé tout le réseau d'assainissement pluvial par les noues.

Nous essayons de développer une modélisation microclimatique et hydrologique à l'échelle de la ville. Ici, nous nous sommes limités à un domaine de 50 kilomètres carrés parce que les données géographiques dans le cadre du projet étaient disponibles à cette échelle. Là, le domaine de référence a une végétalisation d'environ 44 % puisque Nantes est une ville plutôt végétalisée, avec 21 % d'arbres. Là aussi, nous avons fait différents scénarios. Nous avons choisi de plutôt diminuer la part de végétation puisqu'on partait déjà d'une part de végétation assez importante. Nous avons testé avec des taux de végétation à 30 %, 20 % et 10 % mais en conservant la distribution spatiale initiale de la végétation haute et de la végétation basse. Nous avons introduit des toitures végétalisées sur un certain type de bâtiments pour garder un certain réalisme. Pour les bâtiments végétalisés en centre-ville, on voit que c'est plus compliqué. Finalement, on n'augmente que de 7 % le taux de végétation par rapport à la simulation de référence. Puis nous avons testé un scénario où l'on a enlevé tous les arbres pour voir leur impact par rapport à la végétation basse puisque nous les avons remplacés par de la végétation basse.

Ici, vous pouvez voir l'impact de chaque dispositif de végétalisation par rapport à la simulation de référence en termes de flux de chaleur latente, de ruissellement et de drainage dans sol, le drainage dans le modèle étant directement lié à l'humidité du sol. On peut voir que, à cette échelle, compte tenu des 7 % ajoutés sur le domaine, les toitures végétalisées ont un impact très faible aussi bien sur le ruissellement que sur le flux de chaleur latente. Nous voyons que la végétation permet d'augmenter le flux de chaleur et de diminuer le ruissellement en surface et qu'elle joue également un peu sur l'eau dans le sol. Nous voyons un impact réel des arbres sur les flux de chaleur latente, donc une diminution potentielle de la température de l'air en plus des effets connus d'ombrage que peuvent produire les arbres. Ils ont également un impact non négligeable sur le ruissellement et, surtout, on voit qu'ils ont un rôle important sur la ressource en eau dans le sol. Cela doit nous poser question sur le choix des techniques que l'on souhaite mettre en place dans les villes. Il faut aussi se poser la question de la gestion de l'eau à l'échelle de la ville, on ne va pas faire ça localement, et à l'échelle de l'année.

Enfin, il y a eu une modélisation microclimatique à très fine échelle mais qui s'est faite cette fois sur une étude plus idéalisée. Nous avons représenté une scène avec de la végétation basse, une scène où l'on a ajouté quelques arbres, une scène totalement urbaine avec très peu de végétation basse (10 %), une scène où l'on a ajouté quelques arbres. Nous avons enfin végétalisé tous les toits des bâtiments sur la scène. On voit ici l'impact de ces différents aménagements sur le maximum de différence de température. Avec l'introduction des arbres sur une scène naturelle, on a un maximum plutôt en début de journée. Dans la scène très urbaine, on a un impact très fort au milieu de la journée. On voit l'impact de l'introduction des arbres par rapport à une scène où l'on n'a qu'un peu de végétation basse, on diminue fortement la température en milieu de journée, ainsi que l'impact des toitures végétalisées qui apparaît là encore de manière assez faible. On voit aussi un impact plus important au-dessus des toitures végétalisées plutôt que dans les rues.

Alban Mallet

Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

Le travail effectué sur VegDUD a été intéressant. En tant que maîtrise d'ouvrage, l'enseignement principal que nous en avons tiré a porté sur la question de la ressource en eau. On n'y avait pas pensé. Les conclusions de VegDUD que nous avons présentées à Nantes Métropole avec les équipes de la Ville étaient intéressantes parce qu'on voyait bien ce binôme indissociable entre le végétal et la ressource en eau. Des recherches qui ont été faites sur Paris ont montré que l'on pouvait utiliser plus de la moitié du débit de la Seine pour des scénarios d'hyper-végétalisation de la ville, ce qui est énorme ! Il faut savoir avancer sur une question telle que la végétalisation de la ville, oui, mais en prenant en compte l'ensemble des paramètres. On n'avance pas avec les décideurs locaux si on ne maîtrise pas l'ensemble des paramètres. Ça, c'était un enseignement fort de VegDUD qui a été bien capitalisé dans une session de travail recherche/Nantes Métropole.

Nous avons reposé un nouveau questionnaire pour POPSU. Dans le cas que j'ai présenté de Malakoff/Pré-Gauchet, dans ce que l'on voit à travers le programme VegDUD ou dans les recherches menées dans des villes européennes, on a une concentration d'expertises, de savoir-faire plutôt dans le domaine de la recherche. Rentrer dans l'opérationnel, dans le terrain, demande de transférer ce savoir, cette expertise de la recherche vers des opérateurs, des bureaux d'études, des gens qui font de l'ingénierie urbaine, des gens spécialistes de l'urbanisme. Ça, cela nous semble un challenge à relever pour arriver à bien traiter demain la question de l'adaptation au changement climatique. La fabrication de la ville est quelque chose de compliqué, le changement climatique c'est compliqué, mais c'est cette chaîne-là qu'il faut travailler a priori.

Du point de vue de la collectivité locale, de l'autorité locale, un des points de réussite pour faire ça c'est de penser les choses de manière organisée. C'est construire un master plan, organiser, mettre en place la gouvernance. Ça, cela se fait dans un cadre global. Puis il y a la question du temps qui est un facteur-clé. Les transformations des pratiques professionnelles, cela se compte en années et c'est compliqué, vous le savez tous. Un architecte complètement hermétique au sujet, vous n'allez pas le changer comme ça du jour au lendemain. C'est du point de vue de l'autorité locale.

Katia Chancibault

Chargée de recherche, Laboratoire Eau & Environnement, Département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre, IFSTTAR

Du point de vue de la recherche, ce qu'on ressent via nos échanges avec la Métropole, des échanges plus ou moins longs selon les chercheurs, c'est qu'on a besoin de l'aider à anticiper les questions qu'elle se posera demain sur, par exemple la question de l'îlot de chaleur urbain, de l'adaptation au changement climatique. Nous avons, nous, à apprendre à discuter avec les opérationnels et à aller vers les questions qu'ils se posent. Il y a vraiment un travail à faire des deux côtés pour se rejoindre dans le but de développer suffisamment tôt des outils qui soient utiles aux collectivités. Mais je persiste à penser que nous sommes là pour développer des outils d'expert, en lien éventuellement avec les bureaux d'études, des outils plus opérationnels qui puissent être utilisés par plus de monde.

Suite au projet VegDUD, nous avons ressenti le besoin d'aller vers des scénarios plus réalistes où l'on sent bien qu'il y aura une combinaison de différents systèmes de végétalisation mais aussi l'introduction de l'eau dans la ville à différentes échelles qui devront être mises en place en prenant en compte la gestion de l'eau à grande échelle, c'est-à-dire à l'échelle de l'année, mais aussi en termes d'échelle spatiale.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Dans vos modélisations, intégrant la végétalisation totale, on a l'impression que vos bâtiments sont neutres énergiquement. Est-ce que l'on considère le bâtiment comme quelque chose de neutre ? Parce que, entre un bâtiment passoire et un bâtiment passif, entre un bâtiment qui va avoir un effet de masse et un bâtiment qui n'en a pas du tout, l'impact, y compris sur la végétation qui est là, peut être complètement différent. Est-ce que c'est intégré dans vos modèles ?

Katia Chancibault

Chargée de recherche, Laboratoire Eau & Environnement, Département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre, IFSTTAR

Je tiens à préciser que VegDUD est un projet qui a fait intervenir beaucoup de chercheurs. Là, j'ai présenté les résultats mais ce n'est pas mon domaine, je laisse la parole à Marjorie Musy.

Marjorie Musy

Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

Effectivement, les résultats sont complètement différents si on utilise un bâtiment isolé, vitré, peu vitré. On a fait plein d'études de sensibilité. Dans ce cas-là, ce sont les bâtiments tels qu'ils sont à l'heure actuelle, c'est-à-dire non isolés. Mais on a fait les mêmes simulations en isolant les bâtiments, et là on n'a pas du tout les mêmes effets, on en aura beaucoup moins. On essaie toujours de regarder les effets d'adaptation et d'atténuation, de mitigation/adaptation, qui sont à regarder de manière couplée parce qu'on peut agir dans le sens d'un et moins de l'autre selon ce que l'on va faire. Là, on a fait beaucoup d'études de sensibilité et on voit surtout des résultats parce que ce sont ceux qui sont marqués.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Est-ce que vous avez plus d'intelligibilité sur le fait que certains bâtiments soient bleus, d'autres rouges alors que ce sont des bâtiments qui ont à peu près la même orientation et la même taille ? C'est très fascinant de regarder ce dessin-là.

Marjorie Musy

Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

C'est un schéma extrait de la thèse d'Adrien Gros, que l'on doit pouvoir récupérer sur Hal, donc ce schéma est un peu sorti de son contexte. C'est la difficulté quand on a beaucoup de résultats, on sort quelques images pour montrer ce que l'on sait faire. Là, on a des effets différents suivant les étages. Quand on est au rez-de-chaussée on n'a pas les mêmes besoins qu'en haut des bâtiments, puis il y a aussi des usages différents dans les bâtiments, donc pas les mêmes charges internes. Il y a des effets locaux de confinement du vent, donc des effets de températures plus élevées autour de certains bâtiments, etc. Il faudrait reprendre toutes les données pour pouvoir les analyser plus finement ici.

Un intervenant

Dans l'une des conclusions, on voit que, à l'échelle du quartier, les arbres ont un faible impact sur l'évapotranspiration alors que, à l'échelle de Nantes, on voit un impact positif des arbres sur le flux de chaleur latente. Pourquoi ?

Katia Chancibault

Chargée de recherche, Laboratoire Eau & Environnement, Département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre, IFSTTAR

Déjà, ce ne sont pas les mêmes modèles. Le modèle à l'échelle du quartier est un modèle typiquement hydrologique mais la végétation n'est pas traitée de la même façon et le flux d'évapotranspiration est calculé de manière un tout petit peu plus simplifiée qu'à l'échelle de la ville où, là, on part d'un modèle développé à la base par Météo France où l'évapotranspiration est calculée de façon explicite et dans lequel on améliore le bilan en

eau. Donc on a deux modèles différents, ce qui peut en partie expliquer certaines différences. Mais, surtout, à l'échelle du quartier les arbres représentent 8 % de végétation puisqu'il a été choisi de rajouter des arbres seulement dans les rues qui pouvaient les accepter sans modifier la circulation, alors qu'à l'échelle de la ville les arbres représentent 21 % de la végétation. C'est aussi pour cela qu'on a un impact plus fort.

Un intervenant

Localement, il n'y avait pas assez d'arbres pour pouvoir améliorer le phénomène d'évapotranspiration ?

Katia Chancibault

Chargée de recherche, Laboratoire Eau & Environnement, Département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre, IFSTTAR

Non, disons que 8 %, 21 % c'est une différence assez importante. Et puis il faudrait aller voir plus précisément mais le modèle joue probablement un peu. Il faudrait s'interroger sur la capacité du modèle à représenter l'évapotranspiration des arbres.

Rennes

ICU et changement climatique – Travaux de recherche appliqués à l’agglomération rennaise

Christelle Leproust

Responsable du Service environnement-énergie, Rennes Métropole

Nous allons vous présenter en particulier un travail de recherche mené en partenariat entre Rennes Métropole et l’Université de Rennes. Nous faisons une présentation à trois voix centrée sur le thème de l’îlot de chaleur urbain à l’échelle de l’agglomération, donc plutôt une grande échelle. Notre problématique était de comprendre l’îlot de chaleur urbain à Rennes et de voir, à l’échelle de l’agglomération et à l’échelle de la ville de Rennes, si on décelait des différences entre les quartiers de Rennes et si l’ensemble de la ville vivait de manière différente ce phénomène d’îlots de chaleur.

A Rennes Métropole, deux services sont impliquées sur ces questions. Mon service a en charge le volet Plan climat qui est en révision et qui va devoir mieux intégrer l’adaptation qu’il ne le faisait avant, comme Nantes. D’autre part, on entame la révision du programme local d’urbanisme (PLU) pour la ville de Rennes et le premier programme local d’urbanisme intercommunal (PLUI), c’est-à-dire à l’échelle de l’agglomération. La question de l’adaptation et des îlots de chaleur arrive à l’interface de deux grands plans dont la révision va démarrer dans la même temporalité. C’est la raison pour laquelle nous travaillons ensemble sur ce sujet.

Armelle Ecolan, qui représente le PLU, va vous présenter Rennes Métropole dans ses grandes dimensions. Xavier Foissard, doctorant, vous présentera les éléments climatiques et les résultats de sa thèse. Je conclurai sur la série de questions que nous avons suite à ce travail.

Armelle Ecolan

Chargée d'études en urbanisme, Rennes Métropole

Mon propos va être de vous présenter la dynamique urbaine que l'on rencontre à Rennes parce que cela est essentiel de comprendre le contexte avant de s'attacher précisément aux mesures de Xavier Foissard. Rennes compte environ 400 000 habitants, dont 200 000 sur la ville-centre. Elle a une influence sur un peu moins de 200 communes (relations domicile-travail). Sur cette carte, nous voyons comment Rennes s'inscrit dans son territoire : l'aire urbaine (gris), l'agglomération de 43 communes (orange) et le Pays de Rennes (contour rose) entre les deux, à l'échelle duquel s'établit un autre document de planification territoriale, le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT). Celui-ci définit notamment un certain nombre d'objectifs en matière de densité.

A l'échelle de l'aire urbaine, la densité de population est d'un peu moins de 200 habitants/km² alors que Rennes Métropole est à plus de 600 habitants/km². La densité de population est donc très différente. Autre chiffre important à retenir, en 2010 à peu près 20 % du territoire de Rennes Métropole était déjà urbanisé.

Un élément à comprendre est la dynamique démographique dans laquelle s'inscrit Rennes. C'est une dynamique démographique très forte qui est liée – c'est assez atypique à l'échelle de la France – à la fois au solde naturel et au solde migratoire. Les questions que le territoire de Rennes s'est posées sont celles de l'impact que cela peut avoir en termes de mobilité, et donc d'émission de gaz à effet de serre, et quelle politique publique permettrait de recentrer le poids de population et donc limiter les émissions de gaz à effet de serre par ce biais. Un certain nombre de réflexions ont été menées, notamment dans le cadre du Programme Local de l'Habitat (PLH) qui a défini combien de logements il fallait produire pour répondre au besoin de croissance démographique et comment ils allaient être répartis sur le territoire.

Ce PLH a conduit à une politique assez volontariste en matière de construction de logements et surtout, on en a vu les effets un peu avant 2010, à un recentrage de la population qui auparavant avait tendance à fuir à l'échelle de l'aire urbaine.

A Rennes, la croissance démographique est très forte, avec des soldes migratoires et naturels assez forts, auxquels le phénomène de desserrement des ménages vient s'ajouter (ce dernier est dû à la tendance au vieillissement de la population, généralisé, et donc à un nombre de personnes par ménage qui diminue). Il en résulte un besoin de logements accru pour pouvoir accueillir à la fois la population qui vient s'installer sur la Métropole et la population qui est déjà implantée et qui reste sur l'agglomération.

Au regard de ces tendances de croissance démographique, les chiffres qui ont été validés par les autorités locales visent une production d'environ 4 000 logements par an à l'échelle de la Métropole à l'horizon 2030. Ce qu'il faut retenir c'est que ce sont des objectifs de production de logements assez ambitieux. Mais il y a également en parallèle une volonté de limitation de la consommation de foncier. D'une part parce que les lois nationales nous obligent à être économes en espace, mais aussi parce qu'il y a une volonté politique forte à l'échelle locale d'accueillir la population mais également de préserver les terres agricoles, les espaces de loisirs, et ce à proximité de la ville.

Parmi les objectifs qui ont été inscrits à l'échelle du SCOT, à l'échelle du Pays de Rennes, il y a des objectifs de limitation de consommation de foncier et donc de densité de bâti avec, sur le cœur de Métropole, c'est-à-dire la commune-centre et quelques communes proches, un objectif de 45 logements à l'hectare. Sur les communes qui accueillent un certain nombre de commerces, services, un objectif de 30 logements à l'hectare et, pour toutes les autres communes, un objectif minimum de 20 logements à l'hectare. Tout cela pour dire que l'on doit aujourd'hui gérer à la fois la réduction des gaz à effet de serre (en éloignant le moins possible la population des pôles urbains), l'adaptation aux îlots de chaleur urbains et l'accueil de population en construisant avec une certaine densité.

Le modèle urbain qui a été développé sur l'agglomération rennaise est ce qu'on appelle la « ville archipel ». C'est un modèle ancré depuis les années 70 à Rennes, qui prend en compte la multipolarité du territoire, c'est-à-dire les zones d'agglomération denses, les pôles relais (pour des fonctionnements à l'échelle de réseaux de communes) et des "vides" dédiés à des usages bien particuliers que la collectivité souhaite conserver qui sont les espaces agricoles et les espaces de loisirs. Ils constituent des espaces de respiration au sens des usages mais peuvent également en constituer au sens de la chaleur.

La « ville archipel » permet la proximité du bâti dense et des espaces agricoles où l'on retrouve des espaces cultivés mais aussi réseau bocager et des hameaux, avec une volonté d'en faire des espaces vivants et des espaces de loisirs également. Le PLU a développé une politique assez volontariste en matière de production de logements. Il a défini une quantité de logements à produire à l'échelle de chaque commune, c'est-à-dire que l'effort de construction de logements ne se concentrait pas sur la ville-centre mais était réparti à l'échelle de toutes les communes. Voici quelques images d'ambiance sur les communes et centres-bourgs avec des extensions urbaines accrochées aux bourgs anciens et des traitements d'espace public très différents. Pour le centre historique, l'évolution de la morphologie des quartiers anciens est strictement protégée. Pour tout ce qui est de la prise en compte du phénomène d'îlot de chaleur urbain, la question de l'évolutivité du bâti se pose avec, en filigrane, la question du respect des objectifs de préservation patrimoniale de ce lieu. Dans ces illustrations, nous pouvons voir des façades urbaines assez hautes, des axes plantés pour apporter un certain confort. On note également la présence de l'eau en ville. On pense qu'il y a des pistes d'amélioration à trouver sur la prise en compte de cette présence de l'eau. Certains espaces publics sont très minéraux mais on a aussi quelques parcs et une prise en compte de la trame verte préexistante dans les projets d'aménagement avec un objectif de conservation de haies anciennes dans le cadre des opérations d'aménagement récentes et futures.

Xavier Foissard

Doctorant en géographie, climatologie urbaine – Attaché temporaire à l'enseignement et à la recherche, Université Rennes 2

Ma thèse, qui porte sur l'îlot de chaleur urbain et le changement climatique et leur application sur le territoire rennais, est une thèse de type CIFRE, en cofinancement avec Rennes Métropole, au sein du service environnement-énergie avec Christelle Leproust. Pour la partie universitaire, j'ai été encadré par Vincent Dubreuil et Hervé Quenol du laboratoire LETG Rennes COSTEL. Les objectifs de Rennes Métropole étaient d'avoir un état des lieux du climat urbain et, surtout, d'évaluer l'intensité de l'îlot de chaleur urbain et ses relations avec les formes urbaines.

Je vais tout d'abord faire un petit état des lieux du climat rennais. On va retrouver beaucoup de similitudes avec Nantes. Nous avons un climat océanique tempéré légèrement dégradé. L'ensoleillement en cumul annuel moyen est de 1 700 heures, ce qui est un peu moins que Nantes, pour environ 150 jours par an où la fraction d'insolation est relativement faible et 64 jours par an en moyenne où la fraction d'insolation est importante. Concernant les précipitations, elles sont réparties sur l'ensemble de l'année avec un petit peu plus en hiver et un petit peu moins en été. Les types de temps successifs sont très variables, ce qui donne environ 250 jours par an où il ne pleut pas, ou très peu, contre 19 jours où l'on a des précipitations supérieures à 10 millimètres.

Si nous regardons maintenant l'évolution de la température moyenne à Rennes sur un petit peu plus de cent ans – ce sont des données homogénéisées, il y avait des lacunes notamment avant 1930 et pendant la Seconde Guerre mondiale –, on constate une augmentation d'environ 1 degré en un siècle. Si on regarde la température moyenne en été, on observe une augmentation, on retrouve la sécheresse de 1976 et, surtout, on retrouve la canicule de 2003 qui sort du lot. Si l'on traduit par d'autres indices cette augmentation des températures en été (indicateur : températures maximales supérieures ou égales à 25°C qualifiées de nombre de journées d'été), en regardant par décennies on constate une augmentation du nombre de journées d'été. On était autour de 20 jours d'été en moyenne sur la décennie 1950-1960 et nous sommes sur les périodes actuelles autour de 40 jours en moyenne par an. A titre de comparaison, en 2003, année de la canicule, on a mesuré 72 jours avec des maximales supérieures à 25°C, on était à 50 jours en 2013 et à 43 jours en 2014.

Si l'on prend maintenant un indice qui va comptabiliser des événements plus rares, en tout cas pour Rennes, quand les maximales sont supérieures à 30°C on va qualifier ces journées de journées dites très chaudes. Sur la décennie 1950-1960, on était à 2, 3 jours en moyenne par an, alors que sur la période actuelle nous sommes à 9, 10 jours en moyenne

par an. A titre de comparaison, lors de la canicule de 2003 on a mesuré 23 jours en moyenne où la température a dépassé 30°C, 11 jours en 2013 et 1 jour en 2014.

Nous allons maintenant regarder les sorties de modèles du changement climatique. Si l'on regarde la température moyenne observée en été, on retrouve la référence de 2003. Dans le modèle Arpège A1B régionalisé à l'échelle du territoire rennais, on projette cette température moyenne estivale. Avec l'observation, on voit qu'on retrouve une plutôt bonne reproduction de la variabilité et, surtout, on retrouve l'année 2003 qui, si on la projette, devient quasiment une normale aux horizons 2060-2070. Si l'on regarde maintenant l'évolution de la température maximale moyenne avec la projection selon le scénario Arpège A1B, on voit que ces journées maximales où la température est supérieure à 30°C vont quasiment tripler à un horizon moyen à lointain avec un doublement du nombre de jours d'été.

On prend maintenant un autre indice, les degrés jour unifiés, qui permet d'avoir une projection de besoins potentiels en chauffage et en climatisation. La part actuelle de besoins potentiels en climatisation est de 12 % contre 88 % de besoins en chauffage. Si l'on projette selon le scénario Arpège régionalisé ces besoins en chauffage selon le scénario A1B et A2, on voit que la part de besoins en climatisation double à un horizon proche et triple voire quadruple à un horizon lointain. A l'inverse, les besoins en chauffage réduisent, passant de 2 200, 2 300 degrés jour à 1 500 degrés jour à horizon lointain. C'est donc une réduction en besoins de chauffage, mais moins proportionnellement aux besoins en climatisation qui augmentent bien plus. A titre de comparaison, sur l'année 2003 on a 24 % de besoins de climatisation selon l'indice de degrés jour unifiés.

Au regard de ces augmentations de température qui se traduisent par une augmentation des vagues de chaleur, se pose la question de la mise en place d'îlots de chaleur urbains, et surtout des conséquences qui peuvent être une augmentation en climatisation, un inconfort, voire une surmortalité.

Quelques rappels avant de vous présenter mon travail sur les îlots de chaleur urbains. On observe des écarts de température entre le centre et la périphérie avec une variabilité spatiale, on peut constater un îlot de fraîcheur dans un parc, et une variabilité temporelle car l'îlot de chaleur observé est essentiellement un phénomène nocturne. Si l'on hiérarchise les facteurs permettant la mise en place de l'îlot de chaleur urbain selon la classification de Tim Oke, on trouve la présence de surfaces verticales (phénomène d'absorption), le *Sky View Factor* (phénomène de canyon urbain), la nature des matériaux et la réduction des flux d'air (phénomène d'advection), la diminution de la chaleur latente au profit de la chaleur sensible (évapotranspiration) et l'activité anthropique (chauffage, trafic automobile, etc.).

Je vais maintenant vous présenter le travail qui a été réalisé sur Rennes. Suite à un programme pluridisciplinaire, un réseau de stations a été en partie installé ; j'ai installé de nouvelles stations durant ma thèse. Nous avons au total vingt-deux stations

météorologiques qui permettent de mesurer la température, l'humidité, la pluie, le vent dans différents quartiers et différents contextes, l'objectif étant d'observer la variabilité spatiale de l'îlot de chaleur urbain. Une station est installée en centre-ville, elle sert de référence pour le centre-ville, c'est une des stations les plus chaudes. Le centre-ville est un centre-ville ancien dont la fraction bâtie est évidemment importante et la fraction de végétation beaucoup plus faible, de l'ordre de 3 %. Si l'on regarde la station de Météo France située à l'aéroport, on a à l'inverse une station plus fraîche. La fraction bâtie est de 2 % et la fraction de végétation de l'ordre de 70 %. Ces deux stations permettent de mesurer l'amplitude complète de l'îlot de chaleur urbain.

A partir des mesures des températures, on a les écarts des températures minimales observées entre l'ensemble des stations et la station au nord qui sert de référence campagne afin de mesurer toute l'amplitude de l'îlot de chaleur urbain. A noter, la nuit du 23 mai 2011, que la station centre-ville de référence est à + 6,2°C, c'est le centre-ville ancien. Un peu plus au sud, le centre-ville plus récent, on est à 5,5°C. Au nord, à proximité du centre, on a un parc urbain où l'écart de température n'est que de 1,4°C. Ce parc est fortement végétalisé et correspond à une zone humide, donc un contexte topographique assez particulier. On trouve sur les autres quartiers des écarts de température d'environ 4°C et, quand on arrive en campagne, des écarts qui ne sont pas supérieurs à 1 ou 2°C. En fonction de ces observations spatiales, on a également une observation en fonction des types de temps. Selon les facteurs météorologiques tels que le vent, la pluie, l'insolation ou la nébulosité, on constate la présence ou l'absence d'îlots de chaleur urbains. Pour deux tiers des situations, l'îlot de chaleur urbain est relativement faible, inférieur à 3°C, voire nul – c'est l'écart maximal entre les températures minimales entre le centre-ville et la périphérie – et pour environ un tiers supérieur à 3°C. Pour environ une nuit sur dix, les écarts sont supérieurs à 5°C.

Si l'on regarde la variabilité de l'îlot de chaleur selon les saisons et selon les heures de la journée – là, ce sont les écarts de température observés entre le centre et la périphérie selon différentes heures du jour et de la nuit de janvier à décembre – on voit que l'îlot de chaleur est plus faible l'hiver, les types de temps sont moins favorables mais plus constants, et on le retrouve dès le printemps avec des écarts plus présents et exclusivement la nuit. Si l'on compare les écarts de températures minimales sur plusieurs années, on voit qu'ils sont d'environ 2°C. On voit que c'est vraiment un phénomène nocturne. Sur les maximales, les écarts sont plutôt faibles entre le centre et la périphérie. Sur la température moyenne, il est intéressant de voir qu'on a un écart de quasiment 1°C, cela dépend des années, entre le centre et la périphérie, ce qui correspond quasiment au changement climatique en un siècle à Rennes.

A partir du réseau de mesures, une analyse spatiale est réalisée. Pour cela, on avait besoin d'informations sur l'occupation du sol. Une partie a été produite par les services SIG de Rennes Métropole. Une autre partie qui concernait plus la partie de la végétation dans l'espace privé est issue d'une scène satellite QuickBird. La construction de l'analyse spatiale est faite à partir de la fraction bâtie, des surfaces imperméabilisées (parkings, voiries), la végétation basse, la végétation haute, le réseau hydrique, l'altitude, la distance au centre-ville, etc. A partir de cela, on voit une relation s'établir entre l'environnement des stations,

donc la température mesurée correspondant à l'îlot de chaleur urbain et, au vu de deux indices, la fraction bâtie ou la fraction de végétation. Evidemment, plus la fraction bâtie est importante, plus l'intensité de l'îlot de chaleur urbain est importante, et inversement pour la végétation. Il est intéressant de voir que ces facteurs n'expliquent pas toute la variabilité de l'îlot de chaleur mais une partie.

A partir de ces différents facteurs, il y a une classification des paramètres pour construire un modèle statistique afin de pouvoir spécialiser l'îlot de chaleur urbain à l'échelle de l'agglomération pour produire une cartographie. Là, vous voyez l'îlot de chaleur moyen sur huit nuits observé à Rennes. C'est un premier résultat à l'échelle de l'agglomération. Là, on va aller sur une échelle un petit peu plus fine car les besoins portent aussi sur les quartiers. Pour ce faire, on a intégré l'indice *Sky View Factor* qui donne l'ouverture du ciel à partir du sol et qui permet d'écrire en partie la morphologie des bâtiments et surtout de mesurer le phénomène de canyon urbain. Des capteurs ont été installés pour faire une campagne de mesures afin de voir la variabilité sur l'ensemble des quartiers et d'observer les nuances de l'îlot de chaleur urbain. Les écarts de température ont été mesurés, puis spatialisés selon la même méthode mais à une échelle plus fine afin d'observer la variabilité entre les différents quartiers.

La méthode de spatialisation permet de décrire 80, 90 % de la variabilité de l'îlot de chaleur et d'intégrer différents paramètres. Un seul indicateur n'expliquant pas intégralement l'îlot de chaleur urbain, il faut cumuler plusieurs indices. Enfin, une analyse spatiale a porté sur plusieurs échelles emboîtées afin de mieux observer et modéliser la variabilité spatiale de l'îlot de chaleur et donc produire des cartographies sur le territoire à partir desquelles plusieurs perspectives sont envisagées. Tout d'abord, l'analyse de la vulnérabilité du territoire au vu de l'îlot de chaleur urbain, à partir de laquelle on peut croiser avec les populations sensibles aux vagues de chaleur, par exemple les populations de plus de 75 ans. On peut également projeter le territoire selon différents scénarios : évolution de la végétalisation, étalement, ou, à l'inverse, augmentation de la hauteur des bâtis.

Ensuite, à partir de ces travaux de cartographie, des différents indices et des lieux de chaleur urbains observés, on a regardé par quartier, en faisant un test sur un des quartiers, comment peut évoluer l'îlot de chaleur urbain selon les différents scénarios.

Christelle Leproust

Responsable du Service environnement-énergie, Rennes Métropole

Ce travail réalisé par l'Université Rennes 2 et qui se termine amène pas mal de questionnements. D'abord, la question que l'on se pose à Rennes c'est de savoir s'il faut s'inquiéter de ce phénomène d'îlot de chaleur urbain ou plutôt s'en réjouir. En termes de consommation d'énergie, on voit bien que le fait qu'il fasse plus chaud dans les zones denses sera sans doute assez favorable l'hiver. Ce n'est pas négligeable car nous resterons

sous un climat avec encore un certain nombre de jours d'hiver... Inversement, la canicule de 2003, qui semble être quelque chose d'assez banal pour nos prochains étés, nous interroge sérieusement, à la fois en termes d'énergie mais aussi de confort et de bien-être des populations. On peut se dire que, après tout, des hivers plus cléments avec moins de gel, ce n'est pas désagréable en termes de confort. En termes d'attractivité commerciale, on peut aussi se dire qu'avoir des nuits douces n'est pas désagréable, la vie nocturne se développe et c'est finalement peut-être positif. Inversement, on peut s'interroger sur les cinquante jours de surchauffe. On a quelques places très minérales, on peut s'interroger sur leur attractivité. En termes de biodiversité, les hivers sans gel sont relativement favorables à une partie de la végétation. Inversement, on a déjà des oiseaux, des espèces invasives dont se plaignent les populations. L'augmentation de ce phénomène d'îlot de chaleur peut nous interroger en termes de faune invasive, oiseaux, insectes, etc. En tant que Ville, on se pose vraiment la question de la part favorable ou défavorable de l'îlot de chaleur et comment l'intégrer.

Sur l'énergie, pour la partie qui me concerne plus, il faut qu'on affine sur les hypothèses de baisse de consommation. A Rennes, il y a aujourd'hui assez peu de climatisation, excepté dans les commerces mais, pour nous, l'objectif est qu'il n'y ait pas de climatisation qui se développe dans les prochaines années. L'enjeu pour nous est le rafraîchissement sans climatisation ou, en tout cas, sans climatisation non renouvelable. Il faut que l'on travaille vraiment au développement de solutions.

Sur le projet urbain, la question que l'on se pose est de savoir si un delta de 6°C dans l'hyper-centre est problématique, surtout que ce sera sans doute un delta de 7°C. Est-ce que cela veut dire qu'une nuit d'été où la température ne redescend pas en dessous de 20°C est problématique ? Est-ce qu'il y a des quartiers pour lesquels cela va générer un réel inconfort pour les populations ? Faut-il qu'on se fixe un objectif à maximum delta 3 ? Pour se fixer cet objectif à maximum delta 3, vous avez vu la corrélation entre la fraction bâtie et la part de végétal, cela pose des questions car si on touche à la fraction bâtie dans certains quartiers denses, où la met-on dans le reste du territoire ? Est-ce que cela veut dire, par rapport à notre modèle de « ville archipel », que l'on crée de plus grosses îles autour de Rennes ? Cela renvoie à des questions de mobilité. La diminution des effets canyon est facile à dire mais un peu moins à faire sur des villes existantes. Puis, comme tout le monde, on se dit qu'une des solutions serait d'augmenter la part du végétal.

Une fois que l'on s'est dit que c'était sans doute cela, on arrive au comment, et le comment est nettement moins simple. Sur fractions bâties et canyons, vous comprenez bien que le comment est loin d'être évident. Pour autant, on peut se poser la question, quand on a des dents creuses qui se créent du fait de bâtiments qui tombent pour une raison ou une autre, de redensifier systématiquement sur ces espaces-là. Inversement, notre projet urbain prévoit des bâtiments de grande hauteur le long d'un certain nombre d'axes et l'on peut s'interroger aussi par rapport aux questions de *Sky View Factor*.

Sur la végétation, on se pose des questions sur la nature des végétaux et la typologie. On se pose aussi la question des espaces publics ou privés, à la fois pour des questions de moyens humains – vous connaissez les réductions d'effectifs et de moyens dans la fonction publique – mais aussi pour des raisons d'espace car, si on veut récupérer de l'espace public, il faudra en enlever à la voiture, ce qui est un sujet de tension assez fort. C'est en cela que l'exemple de Barcelone est particulièrement intéressant. Puis, si on se dit que ces espaces privatifs doivent faire le travail, se pose la question d'inciter ou d'imposer, en agissant via le PLU. Son volet réglementaire peut, pour partie, imposer une part de végétal qui pourrait éventuellement augmenter dans les prochaines années.

Cette diapositive nous sert de sensibilisation pour rappeler que, même si cela paraît assez lointain, la durée de vie d'un bâtiment c'est la durée de vie d'une forêt et qu'il est donc temps de s'inquiéter des bâtiments que nous construisons actuellement car ils seront toujours là en 2080,2090.

Aujourd'hui, on est dans une phase où l'on a fini ce travail d'appropriation, il faut que l'on passe l'étape de nos directions, puis celle des élus, avec pas mal de questions sur les suites puisqu'on voit que ce travail ouvre beaucoup de champs possibles. On a encore besoin d'acquérir pas mal de connaissances. On a eu un partenariat avec l'université et on aimerait que ce genre de partenariat se poursuive. Nous n'avons pas du tout travaillé sur les vents et les brises, cela fait partie des sujets qu'il faudra explorer. On a plutôt travaillé sur l'échelle urbaine et les collègues du Scot, donc de la grande échelle, s'interrogent sur les espaces agro-naturels et sur notre modèle de « ville archipel ». Au même titre que l'on a beaucoup travaillé à des rapprochements entre disciplines sur les formes urbaines, on voit bien qu'il y a aussi à travailler sur des cycles de conférences et d'échange, localement, sur la question de l'adaptation à l'îlot de chaleur.

Sur l'élaboration du projet urbain, nous aimerions regarder le projet 2030 tel qu'il est aujourd'hui, et simuler le projet urbain 2030 et ses impacts en termes d'îlot de chaleur. La stratégie de végétalisation est aussi à réinterroger à l'égard de cet îlot de chaleur. Nous avons un travail aujourd'hui sur ce que l'on appelle les zones de ressourcement, les îlots de calme, car on voit bien que l'on a aussi à y associer ces îlots de fraîcheur. Puis, on se pose des questions sur la traduction réglementaire dans le PLU et sur la faisabilité car la végétalisation est un concept intéressant mais la faisabilité opérationnelle ou financière de la végétalisation des façades m'interroge sérieusement. Quand je vois qu'on a énormément de mal à inciter les propriétaires privés à isoler leurs bâtiments, même avec un vulgaire polystyrène, j'ai du mal à penser qu'on arrivera à les inciter à mettre en place des façades végétalisées, vu leur coût.

Sur l'urbanisme opérationnel, comme tout le monde c'est un renforcement du bioclimatisme, notamment avec les outils de simulation thermique dynamique à l'échelle des bâtiments et les outils de modélisation à l'échelle du quartier. Cela fait partie de nos pistes de travail. Enfin, nous avons le travail avec la population. Nous sommes en train de mettre en place des guichets d'accompagnement à la rénovation, des guichets de conseil où l'on

prend les gens par la main pour les aider à monter leur projet de rénovation de bâtiment. On voit bien que l'éducation au climat est pour l'instant totalement absente dans nos projets et qu'il faut qu'on associe cette éducation à la rénovation, à l'éducation au climat, parce que c'est quelque chose qui a un peu disparu de l'univers mental des populations et qu'il faut que nous réintroduisons un savoir-vivre avec son climat.

Nous avons aussi une interrogation sur la sensibilité des Rennais au climat parce que, à Rennes, dès qu'il fait plus de 18°C dans un commerce, on enclenche la climatisation immédiatement. On a l'impression qu'il y a une sensibilité à la chaleur excessive et on aimerait bien mesurer la sensibilité parce que, comme le disait le représentant de Météo France sur Marseille, enclencher la climatisation à 20°C ou 23°C c'est complètement différent en termes de consommation énergétique. Si on a des populations extrêmement sensibles au moindre rayon de soleil, on risque d'exploser complètement nos consommations d'énergie sur les prochaines années.

Notre vécu c'est des limites de moyens, humains et financiers, c'est des limites de temps. Ce travail est absolument passionnant parce qu'on est à plusieurs, mais la transversalité est chronophage et n'est pas complètement intégrée dans nos organisations et nos plans de charges. Cette transversalité nous interroge très clairement, même si on la trouve très riche. Les questions que nous poserons dans les prochaines semaines à nos élus porteront sur les priorités données à ce sujet avec les moyens financiers qui y seront adossés.

Marc Montlleo

Directeur de projet de l'environnement, Barcelona Regional

Est-ce que vous avez fait des corrélations avec *Sky View Factor* et l'îlot de chaleur ?

Xavier Foissard

Doctorant en géographie, climatologie urbaine – Attaché temporaire à l'enseignement et à la recherche, Université Rennes 2

Sky View Factor a été utilisé uniquement pour l'observation à l'échelle des quartiers. Ont été croisées à l'échelle de l'agglomération les fractions bâties, l'imperméabilisation, l'ensemble des indices que j'ai détaillés, afin de voir quel était le degré de corrélation avec l'îlot de chaleur urbain, selon différentes situations, et aussi éliminer certains facteurs parce qu'il y a évidemment une certaine redondance lors de la construction du modèle de la spatialisation. *Sky View Factor* est un très bon indice mais ce n'est pas le seul qui va décrire la variabilité de l'îlot de chaleur urbain, d'où l'importance d'utiliser plusieurs indices.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Rennes est depuis longtemps une « ville archipel », c'est une volonté politique assez forte. Est-ce que toutes les études que vous avez faites et les questions qui se sont posées remettent en question ce modèle ?

Christelle Leproust

Responsable du Service environnement-énergie, Rennes Métropole

Pour l'instant, on n'en est pas à ce stade. On est dans la phase où le travail de Xavier se termine et où il commence à être présenté aux différentes instances. On n'est pas dans une phase de remise en question de ce modèle. On est vraiment dans la phase de questionnement sur les suites qui vont être élaborées, on en est au tout début. Je ne sais pas si cela interrogera ce modèle, je n'en suis pas complètement sûre mais, en tout cas, cela posera question obligatoirement.

Alban Mallet

Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

C'est un complément plus qu'une question. Souvent, on parle de stratégies d'adaptation au changement climatique. Il y a différentes formes de stratégies possibles, notamment dans les argumentaires que l'on peut développer, nous techniciens, vis-à-vis des décideurs locaux, par exemple en mettant en avant les co-bénéfices de la végétalisation, c'est-à-dire ne pas avoir forcément une entrée purement climat mais aussi sur des questions d'aménités positives, de bien-être dans la ville, de présence du végétal qui apportent d'autres choses au-delà du climatique. C'est parfois un argumentaire valable.

Montréal

Plan d'action canopée de la ville de Montréal

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

J'ai deux chapeaux que je trouve intéressants. Le premier est celui de gestionnaire. Je suis responsable d'une équipe de vingt-quatre personnes dans la section Biodiversité et Ecologie urbaine qui couvre plusieurs aspects : nous faisons le contrôle des insectes ravageurs, le verdissement, le suivi écologique dans les grands boisés, les parcs nature, l'accompagnement des promoteurs pour maintenir les espaces verts, et également la gestion de la faune. Je suis par ailleurs professeur associé à McGill où j'enseigne sur des projets appliqués à la ville de Montréal. C'est intéressant pour moi parce que je sors les étudiants de la tour d'ivoire et je les emmène dans la réalité.

Aujourd'hui, je vais vous présenter trois aspects. En premier, je vais traiter de la canopée, comment Montréal est arrivé à mettre en place un plan d'envergure de canopée de 50 millions d'euros sur dix ans. Ensuite, je vous parlerai de résilience des systèmes arboricoles parce que c'est bien d'investir autant d'argent mais, si les systèmes ne produisent pas, si on perd les arbres, ce sont les fonds publics qui sont gaspillés. La dernière partie va couvrir un traitement de données aéroportées pour voir si les actions que nous mettons en place sont performantes dans le temps.

Montréal se situe dans l'est du Canada. De Montréal au Pacifique, il y a environ 4 500 kilomètres, c'est un grand pays avec des systèmes écologiques qui diffèrent beaucoup d'est en ouest. Montréal a un patrimoine naturel très important : 25 grands parcs (12 parcs-nature et 13 parcs urbains), 1 410 parcs locaux, plus de 100 jardins communautaires dans l'agglomération ; plus de 2 900 hectares de milieux naturels protégés ; une faune et flore riches, incluant près de 60 espèces à statut précaire ; 1 200 000 arbres publics, dont 230 000 arbres de rue dans la ville. Malgré ce patrimoine extrêmement important, les îlots de chaleur, ça existe.

Montréal est sur une île qui fait environ 70 kilomètres de largeur et une trentaine de kilomètres du sud au nord. Montréal n'occupe pas l'entièreté de l'île en tant qu'unité administrative, elle occupe environ 75 % du territoire parce qu'il y a quatorze autres petites villes, principalement dans le secteur ouest. Du côté ouest et est, ce sont des quartiers de banlieue avec des parterres gazonnés, des arbres mis en place depuis plusieurs années, où l'on voit que l'on n'a pas tellement de problèmes d'îlots de chaleur. Au contraire, dans la partie centrale, donc les secteurs densément peuplés, on a un problème majeur d'îlots de chaleur qui est récurrent.

Que faire dans un premier temps pour contrer les îlots de chaleur ? D'un point de vue réglementaire, il y a le schéma d'urbanisme de l'agglomération. On le traitait depuis deux ans avec les gens de l'urbanisme et mon équipe de spécialistes pour identifier des territoires qui seraient protégés, pour mieux encadrer le développement urbain. Ce sont des secteurs qui, légalement, ne peuvent plus maintenant être développés. D'autre part, a été mise en place en 2004 une politique de protection et de mise en valeur des milieux naturels. Je pense que la première étape pour nos îlots de chaleur c'est d'éviter de perdre les espaces verts qui sont actuellement présents. Elle visait à maintenir la biodiversité dans Montréal, maintenir la viabilité des écosystèmes présents et intégrer les écosystèmes et les milieux naturels dans les milieux de vie.

Où sont situés ces territoires protégés ? La partie est est plutôt constituée de quartiers de banlieue, même s'ils sont à l'intérieur de la ville. La partie ouest est très riche financièrement, riche également en territoires, il y a des boisés anciens qui n'ont pas été coupés depuis 100 ou 150 ans, puis il reste quelques parties de terres agricoles. Un autre territoire, situé au cœur du centre-ville est la montagne du Mont Royal, elle est très chérie par les Montréalais et les touristes et accueille chaque été 5 millions de visiteurs.

Nous avons fait une comparaison sur deux quartiers qui ont été développés dans les mêmes années, fin des années 80, début des années 90. Un quartier n'a pas été planté, ou pratiquement pas, l'autre quartier a été très planté. On voit dans le quartier peu planté un accroissement des îlots de chaleur, alors qu'on a une diminution des températures dans le quartier planté. Ceci nous amène à la question de quelle est la valeur du patrimoine arboricole et de son atténuation au niveau thermique. Ce ne sont pas les unités qui font la différence, c'est la canopée, c'est-à-dire la couronne des arbres, pour contrer les îlots de chaleur. Dans la profession, avant on évaluait la performance d'une municipalité en fonction du nombre de tiges à l'hectare ou en totalité. Or on voit que 1 million d'arbres de 10 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine et 1 million d'arbres de 50 centimètres à hauteur de poitrine n'ont pas du tout la même réalité au niveau des services écologiques ni au niveau des îlots de chaleur.

A partir de 2011, on a développé une technique qui nous permet d'établir ce qu'on appelle la canopée. La canopée, pour nous, c'est la projection de la couronne de l'arbre au sol, en excluant l'ombre, qui donne la réalité de la performance d'un quartier, d'un district ou même

de la ville. L'analyse de la canopée a été faite à partir de photos aériennes. C'est intéressant d'avoir cette donnée-là maintenant. Pour la résumer : on prend un quartier central de Montréal, par exemple le plateau Mont Royal, on enlève toutes les parties gazonnée et les arbustes, on prend les arbres qui font au minimum 4 mètres de hauteur sur la superficie du territoire de l'arrondissement. Cela nous permet d'établir un pourcentage de canopée par arrondissement. Dans un premier temps, on l'a à grandeur ville, je ne m'étendrai pas là-dessus, on l'a au niveau d'un arrondissement et, ce qui devient intéressant, c'est qu'on l'a maintenant au niveau micro parce qu'on peut superposer, avec les systèmes d'information géographique, les couches d'occupation du territoire. En superposant les habitations, les commerces de détail, les services communautaires et les services industriels, on arrive à établir des cibles par arrondissement, par secteur, pour nous permettre de mettre en place un Plan canopée. Parce qu'il ne suffit pas d'investir 50 millions d'euros dans le plan sans avoir de structure et d'organisation dans notre plan d'action. Les indices cibles – cela vient d'American Forests – sont les indices que l'on devrait retrouver selon les différents secteurs d'occupation du territoire. Si l'on prend l'indice de la ville de Montréal, on voit comment cela peut varier selon les différents quartiers. Par exemple, au niveau résidentiel, il y a des valeurs qui sont à 42 % de verdissement, d'autres à 8 %. C'est le même principe pour les autres espaces.

Le cœur du Plan canopée c'est d'établir par arrondissement un état de la situation. Ainsi, pour chaque arrondissement, une fiche contient : leur indice de verdissement, l'analyse de la situation pour voir quel est l'état de leur forêt urbaine ; le bilan des plantations et des abattages ; la biodiversité ; puis des cartes, des tableaux et des recommandations. Cela a été fait pour les dix-neuf arrondissements de Montréal, ce qui a fini par amener le Plan canopée au niveau de l'agglomération.

Nous avons travaillé la photo aérienne sur l'ensemble de l'île. Nous avons fait une évaluation des besoins autres que ceux de Montréal mais ce n'est qu'une proposition aux collègues des autres villes parce que nous n'avons pas de liens administratifs ni hiérarchiques pour imposer cela. Nous avons divisé le programme en deux grands blocs : un programme municipal et un programme privé. Dans le programme municipal, ce sont des arbres qu'on a dans nos villes, en paniers de broche, de dix ans, qui font en moyenne 50 millimètres au tronc. Dans le domaine privé, ce sont des plantations dans des bretelles d'autoroutes, sur des sites d'hôpitaux, de ministères, donc des sites qui n'appartiennent pas à la ville. Dans ce cas-là, on plante de jeunes arbres de 2 mètres, donc des arbres qui ont quatre à cinq ans. Pourquoi cette différence ? Parce que, sur rue, on doit fournir des arbres de calibre pour éviter le vandalisme car si les arbres sont plus petits que 50 millimètres au tronc, c'est facile de les casser. Dans le domaine privé, comme c'est dans des bretelles d'autoroute, on n'a pas ce phénomène-là.

On a également établi des objectifs par rapport à chacun des sites d'occupation du territoire. Le plan de verdissement est établi en fonction de cela autant dans le domaine privé que dans le domaine public. Le programme c'est 300 000 arbres. Le Plan canopée a commencé il y a déjà deux ans et cette année il y a un effort de 5 millions d'euros de plantations qui vont se répéter pendant dix ans. Normalement, au niveau du domaine public c'est 6 000 arbres, et cette année on va en planter 13 000. Donc le Plan canopée double le

programme régulier. Tout cela, c'est énormément d'argent public en période de récession, Montréal est aussi pauvre que l'ensemble des villes, il faut donc trouver le moyen de mettre en place des façons de faire qui vont accroître la performance des arbres.

Je vais maintenant faire le tour des conditions que l'on retrouve principalement à Montréal mais aussi dans d'autres municipalités.

- On a un sol imperméable, la ville est très minéralisée, donc la part en eau pour la croissance des arbres est très limitée. La pente du trottoir est pensée pour amener l'eau à la rive de la rue et cela va ensuite dans le collecteur pluvial.

- Le volume de sol dans les fosses d'arbres est réduit. Il y a vingt ans, la norme arboricole pour un arbre de rue était de 1 mètre cube, autrement dit le volume d'un dé à coudre... Rien d'étonnant à ce que les arbres végètent en milieu urbain quand on a ces conditions-là.

- Les canyons urbains sont bien sûr existants dans les conditions de centre-ville, ce qui veut dire peu de lumière. On peut même se demander s'il est judicieux de planter là pour avoir des arbres qui végètent pendant des années parce qu'ils n'ont pas les conditions optimales.

- Montréal est une ville de vélos, et de plus en plus, mais malgré l'information du public les gens continuent d'attacher leur vélo aux arbres, ce qui conduit à blesser les troncs et donc leur système circulatoire.

- Le déneigement fait beaucoup de dommages mécaniques au pied des arbres. Les équipes de déneigement subissent une forte pression pour enlever la neige rapidement, vont donc très vite et ne respectent pas toujours la norme d'un mètre de couronne de neige autour des arbres.

- En hiver, on utilise énormément de sel de déglacage. Cette année, nous avons vécu l'hiver le plus dur depuis 150 ans avec une moyenne de -25°C à -30°C de janvier à mars. Sur les grandes artères, la vitesse de circulation fait qu'on a des brunes salines qui touchent les arbres. Par exemple, le tilleul européen qui est très sensible aux sels de déglacage est atteint tant dans sa portion aérienne que dans la portion souterraine. On pourrait penser que c'est la maladie du balai de sorcière mais, en fait, c'est parce que le bourgeon terminal des branches est asséché par les sels de déglacage et ce sont les bourgeons axillaires, les petits bourgeons qui sont sur le côté, qui prennent la relève, qui sont asséchés l'hiver d'après et ainsi de suite. On a donc une structure d'arbre complètement déficiente.

- Nous avons observé des racines de tilleul dans trois environnements : dans le premier où il n'y a aucun sel, on a une architecture très importante des racines dont certaines absorbent l'eau et les éléments nutritifs. Dans le deuxième, à 500 ppm, c'est ce qu'on retrouve dans les fosses d'arbres des secteurs commerciaux, on voit que la racine s'est nécrosée, l'architecture du système racinaire a diminué, les racines absorbantes ne sont pratiquement pas présentes. Dans le troisième, à 1 000 ppm, c'est le seuil de mortalité du tilleul européen, les racines sont totalement non opérationnelles. Quelquefois, on pense que tout ce qui se vit au niveau arboricole c'est ce qu'on voit. Mais ce qui est majeur au niveau du maintien des arbres, outre de les protéger contre les dommages mécaniques, ce sont les systèmes racinaires qui sont la clé d'un succès pour une campagne de patrimoine arboricole.

Un autre problème majeur que nous avons est l'infestation de la forêt urbaine par l'agrile du frêne, une espèce qui est arrivée au Canada sous forme de larves logées dans les pièces de bois venant d'Asie que l'on utilise pour stabiliser les chargements dans les bateaux. Cet insecte a été vu pour la première fois en 2004 dans le centre du Canada et migre principalement à cause du bois de chauffage. Il y a des transferts qui se sont faits comme ça sur 700, 800 kilomètres en très peu de temps avec le risque, pour nous à Montréal, de perdre 200 000 frênes, soit 20 % de la forêt urbaine. Cette année, nous en sommes rendu à faire des coupes à blanc sur rue. Nous sommes très accablés de ça, c'est épouvantable, il y a des rues avec des arbres de 40, 50 ans et les bûcherons sont au travail actuellement. La diversité dans le choix des espèces est vraiment majeure.

Nous avons fait un protocole de recherche avec des postdocs à la pépinière municipale. La Ville possède sa propre pépinière depuis 65 ans. En 2001, avec des collègues et avec l'aide des gens de la pépinière, j'ai mis en place un dispositif de différents niveaux de compaction des sols, je vous montrerai les résultats, et j'ai aussi cherché un moyen de faire contact entre une fosse d'arbre et le parterre gazonné qu'on trouverait normalement dans les rues. Dans les fosses d'arbres normales de construction en génie civil, on a sous le trottoir une structure avec un gravier compacté ; cette zone-là est totalement impénétrable pour les racines, c'est un mur. L'idée est d'arriver à trouver des moyens pour permettre le développement racinaire sous le trottoir avec différents matériaux, par exemple avec des mélanges de terre et de grosses pierres éprouvés dans d'autres pays, des systèmes qui sont fonctionnels et opérationnels. L'idée est de trouver le moyen de créer un pont sous le trottoir pour permettre une augmentation artificielle du volume de sol pour connecter au parterre gazonique qui est devant les maisons. En 2001, on a installé des arbres âgés de dix ans. En 2011, on a récolté une bonne partie d'entre eux avec une sonde supersonique qui permet d'extraire les systèmes racinaires et d'en voir l'architecture.

Quelques résultats pour vous montrer que le système racinaire a un impact sur le design du génie civil, la géométrie des rues et les îlots de chaleur. Là, ce sont les résultats d'un niveau de compaction qui rappelle la formation classique des trottoirs, donc un milieu fortement compacté. Comme vous le voyez, après dix ans, le système racinaire a totalement colonisé la fosse d'arbre mais n'est pas allé plus loin. Quand ces arbres-là vont vieillir, ils ont en

premier un défaut qui est la formation d'une spiralisation, c'est comme des spaghetti sur une assiette. Et, quand ils vieillissent, ils sont sensibles à la verse avec les vents forts. Là, on a un problème de sécurité civile.

Je vous parlais de la possibilité de créer un pont à partir d'autres matériaux. Avec le mélange terre-pierres, ce qu'on appelle nous maintenant sol à granulométrie discontinue, on a réussi à créer un pont sous le trottoir, celui-ci n'ayant pas de développement de système racinaire hiérarchisé, mais dès que la racine connecte au sol, elle se fascicule et reprend son architecture originale. C'est extrêmement intéressant d'avoir des résultats comme ça.

Je passe maintenant à la troisième partie de ma présentation. Une fois que l'on a établi un plan d'action par arrondissement, par district, par secteur, par zone et qu'on essaie d'avoir les meilleures conditions de croissance pour nos arbres, comment peut-on faire pour évaluer si on est performant ou non dans nos actions de verdissement ? Montréal, c'est 4 500 kilomètres de rues. Les arbres sont plantés à un peu plus de 8 mètres, ce qui équivaut de marcher en mesurant tous les 8 mètres de Montréal jusqu'au Pacifique. C'est un problème majeur, ce qui fait que, souvent, les grands inventaires arboricoles ne sont pas mis à jour compte tenu de la charge de travail et du coût humain que cela représente.

Au fil des ans, on a essayé de trouver une autre solution. On a utilisé la télémétrie aéroportée pour faire une étude dans cinq secteurs, qui représentent 13 kilomètres de lignes de vol, et on est allé chercher de la donnée panchromatique, proche infrarouge, multispectrale. L'idée au départ était d'utiliser des caméras hyperspectrales mais elles sont rares et coûteuses – je travaille très fort pour qu'on ait en 2016 un vol expérimental avec ces caméras. Nous avons utilisé un laser LIDAR, qui permet d'avoir la position x, y, z indépendamment de la densité du signal que vous voulez. Comment cela fonctionne ? Dans un avion, on a une station avec cinq GPS. C'est une station stabilisée, très précise. On a plusieurs possibilités de réflexion du laser, il peut y en avoir des millions. Habituellement, ce qu'on fait c'est qu'on prend seulement la première et la dernière réflexion laser pour pouvoir avoir des bases de données beaucoup plus réduites sur lesquelles on puisse travailler. Cela nous permet de faire des hauteurs mesurées sur la couronne de l'arbre et d'avoir de la donnée précise sur la hauteur des arbres.

Sur cette photo LIDAR d'un quartier de Montréal en 2D, on a enlevé les bâtiments et les autres éléments pour n'en garder que les arbres. Le laser LIDAR nous permet d'avoir une donnée qui peut être remesurée dans cinq ans, par exemple, car nous avons développé un algorithme qui permet de faire la mesure automatique des polygones. Il y a un intérêt à avoir la canopée et d'en faire une mesure répétée pour voir la performance de nos activités. Ce qui est intéressant, c'est de passer du 2D au 3D. A Montréal, les arbres sont gérés avec le diamètre à hauteur de poitrine (DHP). Quand on abat des arbres, on récolte des lamelles d'arbres – j'en ai une collection d'environ 700 –, on fait une mesure de la croissance radiale et comme ces arbres ont un numéro d'inventaire parce qu'ils sont référencés, on peut établir des paramètres de croissance par secteur. On a commencé comme beaucoup de villes à donner de la donnée ouverte et il y a évidemment des gens qui s'amuse avec et

nous disent, par exemple, que les arbres sont trop petits dans tel secteur et qu'on devrait faire un effort. Mais si les arbres sont petits, ce n'est pas parce que ce sont de jeunes arbres mais parce que ce sont des arbres qui ne poussent pas, donc qui n'ont pas de performance au niveau du bénéfice écologique et de l'îlot de chaleur.

Le problème avec le LIDAR c'est que, à cause de l'angle de la caméra, on peut avoir un modèle 3D mais, dans la réalité, si on zoome un peu sur chaque arbre, on peut voir la hauteur de la cime mais il est impossible de définir la hauteur du fût. Donc quand on veut évaluer les services écologiques, on peut prendre la hauteur de l'arbre, la projection 2D, mais le volume qu'on évalue c'est un cylindre qui va au sol, donc on surévalue les bénéfices écologiques. Une façon de faire est d'avoir des lasers dans des camionnettes et de faire une mesure au sol, ce qui nous donne une image très précise de la donnée. Le seul problème c'est que cela coûte un prix fou, je vous rappelle qu'il y a 4 500 kilomètres de rues, c'est de l'ordre de 700 euros le kilomètre. Donc c'est quelque chose qu'on ne peut absolument pas utiliser.

Alors comment s'en sortir ? Avec des modèles d'intelligence artificielle. Ce qu'on recherche, ce sont des seuils pour pouvoir établir certains comportements. Par exemple, au Québec, en été il fait chaud, on est en chemise, en manches courtes, le soleil est caché par des nuages, on apprécie ça mais on n'a pas de réaction parce qu'on apprécie une petite brise en période de chaleur. Tandis que, au mois de septembre, ou début octobre, quand on est dans la même situation, que le soleil est caché par des nuages, on rentre à la maison pour se mettre une petite veste. Il y a eu un seuil qui a été établi où l'on a une réaction au regard de ça. Autre exemple, depuis 25 ans à peu près, les modèles d'intelligence artificielle sont utilisés dans les lignes téléphoniques intercontinentales. Il y a eu des études de longueurs d'ondes et de fréquences d'à peu près toutes les voix, ce qui fait que quand on appelle la ligne est parfaite parce qu'il y a un filtre électronique avec des algorithmes mathématiques qui enlèvent les fréquences de bruits de fond liées à l'informatique ou aux équipements. Les modèles d'intelligence artificielle sont également très utilisés dans la prédiction de la bourse.

L'idée est donc de partir avec quelques paramètres qui coûtent le moins cher possible à acquérir pour prédire un élément quelconque. Je vous donne un exemple. Ce qui est intéressant en termes de gestion d'un patrimoine arboricole c'est d'avoir les bénéfices écologiques 3D d'une couronne. Pour faire cela, j'ai développé des modèles. J'ai pris deux seules données dendrométriques, la hauteur de l'arbre et le diamètre de la couronne, ne tenant pas compte d'une connaissance de la hauteur du fût. Pour pouvoir prédire cette partie-là, je suis allé extraire différents paramètres qui sont importants pour la croissance des arbres : l'irradiation, la distance de l'arbre au bâtiment, le dépôt géomorphologique de surface, le volume de sol de la fosse d'arbre, la distance de l'arbre à la rue, le type de zonage urbain et la largeur de la rue. Toutes ces données peuvent être extraites d'un système d'information géographique, seules les données de hauteur de l'arbre et de diamètre de la couronne sont extraites de données laser. J'ai fait le travail sur sept espèces qui sont fortement utilisées à Montréal sur rue pour essayer de voir si selon les quartiers, les secteurs, j'étais capable de prédire correctement le volume de la couronne en n'ayant que deux paramètres. Dans la totalité des cas, c'est 95 % de prédiction entre le modèle et la

réalité terrain. Là, on n'est plus obligés de travailler avec une masse de données extrêmement importante, on travaille juste avec deux données.

Qu'est-ce que l'on fait avec ça ? Montréal, on l'espère d'ici à peu près trois ans, aura une géobase 3D. Dans cet esprit-là, on digitalise tous les bâtiments – on doit en être à 60 000 bâtiments en 3D avec une précision au 5 centimètres – et l'intérêt est d'y amener les arbres. On est en train d'évaluer des systèmes pour les acheter car la gestion de notre patrimoine va se faire comme un jeu vidéo, on pourra survoler une rue en hélicoptère, et là les arbres seraient intégrés. Donc, en résumé, la captation, le traitement de données aéroportées et la modélisation des volumes réels sont inscrits dans la géobase qui va devenir une géobase 3D et, selon la dimension des arbres, on va faire une représentation virtuelle, qui ne ressemble pas parfaitement à l'arbre sur le terrain mais qui lui ressemble quand même beaucoup. Cela a un intérêt au niveau des opérations puisque les gens peuvent voir rapidement sur leur ordinateur quelle est la qualité de leur arrondissement et cela nous permet aussi de quantifier les bénéfices écologiques et la contribution à la lutte contre les îlots de chaleur. L'autre élément avec cette donnée-là est la mise à jour automatique de la canopée. Cela nous permet de voir si nos investissements sont rentables ou s'il faut corriger certaines choses.

Mais on a beau développer des techniques d'amélioration de la croissance des arbres, identifier les espèces, avoir de la biodiversité dans nos rues, il reste quand même que cette évolution se fait sur un long terme, comme l'évolution du bâti en architecture. Et puis il faudra tenir compte qu'il y aura toujours des arbres qui auront des problèmes lors de leur croissance et à qui il faudra apporter des soins beaucoup plus particuliers. J'ai développé des algorithmes qui font que, en fonction de suivis annuels ou de performance attendue des arbres, chaque arbre peut être identifié au niveau de la base de données avec une note de 1 à 3. Cela peut permettre, par exemple, de faire des rapports pour les opérationnels ou de cibler un programme d'irrigation ou de fertilisation, par exemple, de manière un peu plus serrée.

En conclusion, est-ce que tout cela fonctionne ? J'ai pris l'exemple de la rue Sainte-Catherine qui est l'une des plus grandes artères commerciales de Montréal, la plus fréquentée, matin, midi, soir, la nuit, il y a toujours beaucoup de monde dans cette rue. L'hiver, c'est déneigé avec beaucoup de sel de déglacage. C'est un îlot de chaleur l'été, c'est un îlot de fraîcheur l'hiver. Vous avez des Ginkgo biloba qui sont à la limite nordique de la distribution à Montréal et, quand on regarde leur performance, on voit qu'ils sont hyper performants alors qu'ils pourraient être gélifs. Pourquoi ? Parce qu'ils ne sont pas sur le trottoir, donc ils ne subissent pas de dommages mécaniques ; parce qu'ils ont un volume de sol vraiment important ; parce qu'ils ne subissent pas les sels de déglacage ; parce qu'ils ont de la lumière. On voit souvent des articles qui disent qu'un arbre en centre-ville ça vit 5, 6 ans. C'est peut-être vrai dans les conditions actuelles mais je pense que si on fait l'effort de modifier nos pratiques, de différentes façons, on peut réussir à voir des arbres comme ça qui amènent un élément paysager extrêmement important, des bénéfices écologiques et un îlot de chaleur réduit. Ce que nous visons maintenant à Montréal, à court, moyen et long terme, c'est d'arriver à des rues beaucoup plus conviviales pour les citoyens et puis qui permettent d'être apaisé et de pouvoir profiter un peu du milieu urbain.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

Comment est-ce que la ville de Montréal utilise au quotidien vos travaux, non pas dans la gestion du patrimoine vert, comme vous l'appellez, mais dans les projets ? Comment est-ce que l'on projette vos travaux dans un projet opérationnel en centre-ville ou en périphérie ?

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

C'est une lutte constante, même à l'interne, pour faire accepter à mes collègues que l'arbre ce n'est pas un lampadaire, ce n'est pas une poubelle, ce n'est pas un banc, c'est une chose qui est vivante et qui amène énormément.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

This was really interesting for us and I think we have a similar situation in Vienna with the condition of the trees. We have a tree cadastre – that's the difference maybe – which means that every tree in public spaces has a number, you can see it if you walk outside. I can't tell you what it costs, I have no idea about this; it's another department doing it. But what might be interesting, for me, is we have also this infra-red survey of trees; we have a green monitoring system where we have detected the tree, we know there is a tree and we can evaluate the condition of the tree just because of the information of the red, so the crown profile which reflects. I just wondered if it might be interesting to compare this sort of evaluation with the evaluation you are doing. I think you are going more into 3D and we have the problem of course: lower parts of the trees might be reflected anywhere which is not got by the aircraft. That's the main reason for the difference in opportunity of your model.

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

That's a good point and we are actually working on this. The thing is that on a given tree, for example, of whatever species, if you have a stressed tree it might be more yellowish than greenish, so the thing is you need to define the real spectral value of those conditions. The other thing also is that when you use this either multispectral or hyperspectral data, as you go across the tree crown you've got some noise or pollution from the reflection of whatever underground material there is, the sidewalk or asphalt or things like that. So, what we are trying to do now is to define some algorithms that will give some homogeneous pixels – what I mean is that you need to remove shadow, whatever that comes from – in order then to identify the different stresses of trees and then afterwards work with this signal. The thing we found with the multispectral data is that there are only four bands all over the spectrum from red, green and blue and here infra red and it's too wide bands. So we are really working hopefully next summer with hyperspectral data, which many cameras, 250 or 255 bands within the same spectrum and in this case you get a better idea of what the tree condition really is. But, what I tried to figure out... We tried to go this way, but the other way, I think that to go around and estimate the level of stress for a tree is really working on the 3D matrix. Because, for example, if crews go over the city of Montreal in a given year, you might have for example some diseases that make trees yellowish – you know it's a snapshot – and maybe that disease is not critical for the tree; it might be present only this year. But my feeling is that when you work out the 3D matrix, it's the cumulative effect of what happened to the tree since its beginning.

Since we are very lucky we have a municipal nursery, so I have defined the standard for a very high quality tree that comes out of the nursery – a Norway Maple or whatever species – and then afterwards you can estimate what is the best growth pattern, so you get the difference in the spectrum and then afterwards you can estimate the stress level or performance like this. This is one way actually that I do it. But we are going to go more into hyperspectral. The thing is that we still need to go on a test flight with hyperspectral to define what bands are significant and the thing is that it is very expensive; a complete flight over the city of Montreal would be something like 300,000 euros so you need to get somebody that uses the data. And what happens now is that some universities tried to figure out the thermal images for the heat island effect, but the thing is they need hyperspectral data to get the spectral value for a black body or a white body or whatever it is – I don't know if it's a good translation – in order to calibrate their thermal data, so then it might be possible as we go on to get more and more people to be interested in hyperspectral and get money. Because actually, in the city of Montreal, there's a flight over the city every second year, but it's always leafless trees because it's a very precise aerial photograph – precise is 6 cm – so it is put in the Geobase and everybody does metric measurements: what is the difference between the tree and the sidewalk? Or whatever. So, the main aerial photograph, as with many cities, is in spring time, but in spring time there are no leaves, so you cannot go with that or there's no reflection; you don't have any hyperspectral data, etc.

Jürgen Preiss

Ville de Vienne

Yes, it's the problem. We are doing it every five years this aircraft survey. Of course, it's expensive. The other problem is we depend on the weather; the situation is not similar, so it's hard to calibrate the pictures from one flight to the next and then we have a third problem: airspace is become more and more densely occupied by aircraft and it's not easy to get a green light to conduct private flights. It's really a big problem in Vienna.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

I'd like to make a comment and to ask a question. You have such a precise measurement of the volume of the trees that you could probably make an evaluation of the benefits of these trees in terms of reduction of the heat islands, in terms of less pollution, in terms of less energy load for cooling the city... Not only the qualitative assessment you have done at the end, but something more quantitative that would help to assess the cost of this greening programme and the monitoring of the greening programme and the benefits in terms of money that this greening programme brings. Did you try to do that?

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

Yes. It's very, very difficult for Montreal and it might be difficult for many cities also. Like in the US, if you're interested in that... Well, first in the US, there are three research centres on urban forests; this does not exist in Canada. So you have scientists that work on urban forests; there are two major ones on the west coast and one on the east coast. And they have developed some tree inventory software that you can download for free. And behind it, there is very strong science. So, they have developed hydrological software, tree inventory and benefits, whatever the ecological and social benefits of this are, and the reason why it's so powerful for them is that the US Government flies over the whole country every year. So you've got automatic data. The other thing is that the biotic measurements, like meteorological measurements and things like that, again, there's a very strong collection of data all over the US. So they have developed a very, very nice... If you're interested just go, it's "itree", for Intelligence Tree, or I don't know whatever, and it's very, very interesting. But the thing is in Montreal, we don't have the input data. We don't have any meteorological data or very few; we don't have any pollution data etc., etc. So one way to counter act this that we're looking at is to try to get the climate data for the northern US – Montreal is very close to the border. So this is the main concern, because I agree with you: when you are in

a municipal organisation, the key point is to say to the Mayor, or whatever, the councillors – and this is what they are doing in many scientific articles from the US – you invest one euro with your tree and your payback is three, four, five and things like that. So you go and define to go to really battle for money or increasing of the size of the tree pit...

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

But there might also be an issue about the way this value is captured because the city of Montreal is investing money in the trees, but then people save money on their cooling bill ; public health has money because people have less respiratory diseases. But this doesn't make money come into the city council. So, in a sense, it brings benefits for society or benefits in terms of energy saving or public health, but there should also be a mechanism, in a way, to bring money for the trees from the money saved by the trees. On the one side you have the measurement and on the other side there should be a mechanism for these savings to be partly used for the trees. Did you do some thinking on this somewhere?

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

I really agree with you because what happens, for example... There is a scientific article; again you can download this, it's on a free... It comes from the central northern US. And they did an analysis of the cardiac problems and the deaths in one zone where there were real cutbacks of ash trees because of the Emerald Ash Borer and they removed the social condition and things like that and they found out... I don't remember the figures, but I think there was 10% to 15% more death or cardiac problems where you had clear cuts. So, yes... But again, it's a constant battle. Montreal is a northern city so we have frost problems with the roads, so you battle for this. But I agree with you very strongly. There is real money that comes out of the investment from citizens because of the trees and there should be money back for the maintenance of the forest.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Vous avez une photographie assez précise de ce qui se passe sur toutes les plantations. Est-ce que cette photographie sert aussi à une prospective du plan de plantations. Est-ce qu'on part de votre travail pour définir un projet de plantation des arbres ? Qui décide ? Comment cela s'organise ?

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

Il y a eu le dépôt de la politique de l'arbre à Montréal en 2005 dans laquelle il y avait différentes actions, notamment le développement d'un plan arboricole par arrondissement. Avec les deux ingénieurs forestiers que j'ai dans mon équipe, on accompagne les arrondissements.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Vous faites des préconisations pour ça ?

Pierre Jutras

Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

Oui, tout à fait.

Lyon

Territoire du Grand Lyon : du phénomène d'îlots de chaleur urbains à la naissance d'une politique d'adaptation aux changements climatiques

Luce Ponsar

Chef de projet Plan climat, Grand Lyon – Stratégies d'agglomération

Cette année 2015 est assez particulière pour nous parce que nous avons dans l'objectif d'inscrire une vraie politique d'adaptation au changement climatique d'ici la fin de l'année. Quitte à écrire quelque chose, autant en profiter pour capitaliser tout ce qui a été fait ces dernières années.

Le territoire du Grand Lyon compte 1,3 million de personnes, ce qui correspond quand même à une grosse agglomération. Aujourd'hui, on est encore sur un équilibre entre le végétal et la ville de 50/50. C'est un équilibre que l'on espère garder avec le SCoT mais c'est un combat de chaque jour parce qu'on a une grosse pression sur ces espaces naturels, agricoles ou récréatifs. Nous avons un climat continental, la ville est plutôt plate avec des vents nord-sud dominants et on a très souvent des épisodes de canicule et des épisodes de pollution. Nous avons de l'air qui s'accumule régulièrement et donc un effet d'îlot de chaleur assez important.

Les premières prises en compte du sujet de l'îlot de chaleur sont venues d'un projet européen qui date de 2006. C'était il y a quasiment dix ans et on n'a toujours pas écrit notre plan d'adaptation... C'est aussi le temps d'évolution des mentalités. En tout cas, les trois plus grosses vulnérabilités de notre territoire ont été repérées, c'est-à-dire les vagues de chaleur, la ressource en eau parce qu'on a le Rhône qui vient des Alpes mais on sait que le débit va fortement baisser dans cinquante ans, puis un risque un peu moins certain que sont les inondations éclairées liées à de fortes précipitations. Contrairement à Copenhague où c'est sûr qu'ils vont en avoir 30 % de plus, nous on est encore dans la zone tempérée et on

ne sait pas si on en aura plus ou moins. Mais on va voir que toutes ces thématiques se retrouvent sur les îlots de chaleur, donc c'est intéressant pour nous d'avoir aussi ce risque en tête.

Je vais parler en quatre parties. La première porte sur la pédagogie et la connaissance. Pour nous, la connaissance du phénomène d'îlot de chaleur c'est la base pour pouvoir faire de la pédagogie et faire en sorte que cela rentre dans les mentalités. La deuxième porte sur les outils concrets que l'on peut mettre en place dans le cadre d'opérations d'aménagement. Dans la troisième partie, nous verrons les moteurs, le lien au végétal, à l'eau et le lien à nos services urbains, nos compétences. Enfin, nous verrons les pistes pour la suite.

Le fait que le végétal en ville permette d'avoir un cadre de vie et une ambiance thermique plus agréable est quelque chose qui n'est pas nouveau. Il y a déjà plus de dix ans, l'agence d'urbanisme faisait des projections d'images pour évoquer ce que pourraient être certains aménagements. Les premiers travaux qui ont été faits sur l'îlot de chaleur se sont basés sur des images, sur des couleurs. Nous voyons là un travail fait en 2006. On n'avait pas à l'époque les mêmes moyens qu'aujourd'hui. La personne qui a fait ce travail est partie des couleurs de photos aériennes croisées à l'occupation du sol et en a déduit des zones où l'îlot de chaleur avait des chances de se produire. Ce qui est intéressant c'est qu'il a tout de suite recoupé avec les hôpitaux, les établissements sociaux, les écoles, les établissements pour personnes âgées. Il y avait tout de suite l'idée de se dire que si on localise c'est aussi pour croiser avec les populations.

Le premier travail qui a été fait n'a été fait que sur quatre quartiers de Lyon parce que cela demandait pas mal de temps. A ce moment-là, la collectivité a souhaité aller plus loin sur le sujet, le creuser de manière plus scientifique et elle s'est tournée vers l'Agence d'urbanisme, qui n'est pas un organisme de recherche mais qui était un peu le bras armé de la collectivité sur ces sujets, qui a commencé à essayer d'exploiter des cartes Landsat. Ils ont publié ce profil où l'on voit, quand on traverse l'agglomération d'ouest en est, des pics qui correspondent aux zones d'activités, aux zones industrielles, toutes ces zones très bétonnées, et puis des trous qui correspondent à la présence de forêts, des deux fleuves et de parcs.

En 2011, on s'est dit qu'on allait aller un peu plus loin dans ces images parce qu'on avait besoin de comprendre un peu plus. Une thèse a été entamée en 2011, elle a encore regardé les images satellites, elle en a récupéré qui dataient de 1986, de 2001, de 2011 pour regarder l'évolution, même si avec les cartes satellites on ne voit pas encore grand-chose. Ce qui était intéressant c'est qu'on voyait la nuit et le jour. On voit que les zones les plus construites, le centre de Lyon, sont les plus chaudes. On voit apparaître la journée les zones d'activités qui chauffent beaucoup mais, par contre, on se rend compte que, la nuit, les zones d'activités refroidissent assez vite parce qu'elles ont un *Sky View Factor* qui est grand, donc elles évacuent facilement toute l'énergie qu'elles ont stockée. On voit la vallée de la chimie où on distingue les cheminées et les torchères, c'est de la chaleur anthropogénique.

On commence à voir un peu plus de choses. Dans le centre ancien, il fait plus chaud la journée et plus frais sur les zones périphériques, donc on voit que le type de bâti joue. On retrouve le fait que les zones d'activités chauffent beaucoup la journée mais se refroidissent plus rapidement la nuit. On voit aussi qu'un équipement comme le parc de la Tête d'Or, un de nos plus grands parcs, qui est assez cantonné, n'a pas forcément d'impact rafraîchissant très proche, son effet est très localisé. Cela nous a donné le message qu'avoir des puits de fraîcheur, c'est bien, mais cela ne suffit pas à climatiser une ville, il faut à un moment donné penser à répartir la verdure où on peut.

On franchit encore un niveau en termes d'outils. Là, c'est une carte plus récente qui utilise un modèle de Météo France Meso-NH, c'est l'échelle moyenne entre le quartier et la ville. On retrouve notre carte précédente avec un effet d'îlot de chaleur plus fort dans le centre mais on voit qu'on a des effets très liés à la topographie. Par l'exemple, le long de la vallée du Rhône, donc le long du fleuve, on voit que la chaleur a tendance à s'engouffrer dans cet axe. Ici, on a une colline et une zone plus basse et on retrouve de la même manière cet effet dissipatif de la chaleur qui prend des formes un peu plus homogènes de bulles.

Nous allons maintenant regarder les outils spécifiques à la prise en compte de l'îlot de chaleur urbain dans l'aménagement urbain. Ces outils sont très intéressants pour connaître le problème, pour arriver à la spatialiser, mais ce n'est pas forcément ça qui est parlant quand on va voir un aménageur ou un chef de projet d'aménagement de la collectivité. Quand on lui montre ces cartes-là, cela ne lui donne pas forcément le lien avec son projet et aux problèmes qu'il peut avoir. Il est donc important de développer des outils spécifiques. Je vais vous donner quelques exemples de ce qui a pu être développé. Nous voyons là un projet de renouvellement urbain sur un quartier très social de La Duchère. Une partie des grandes barres a été détruite, du végétal a été apporté, notamment un vallon qui a été complètement retravaillé pour devenir un lieu récréatif. Vous voyez des barrages qui récoltent les eaux pluviales de la zone environnante et il y a également un petit ruisseau qui peut devenir plus gros les jours d'orage. C'est donc un parc qui a aussi un rôle hydraulique. Le bureau d'étude qui a fait l'analyse environnementale de ce projet a proposé spontanément des indices d'impact sur l'îlot de chaleur : des coefficients d'îlot de chaleur, des coefficients de biodiversité et des coefficients de perméabilité. Pour chacun de ces indices, qu'ils ont déterminés avec des techniques assez simples d'analyse de la forme urbaine et de la présence de végétal, ils ont regardé quel était l'impact du projet. Là, on voit par exemple l'évolution entre 2003 et 2016 de l'indice sur l'albédo. Dans ce cas, c'était globalement bénéfique parce qu'on réintroduit pas mal de végétal et qu'on détruit certains bâtiments.

Un autre exemple est celui de la Confluence, un quartier qui était une friche industrielle sur laquelle on est venu recréer une ville pratiquement de toutes pièces, ce qui est assez rare dans les villes. Là, on est dans la phase 1 du projet et l'on voit qu'on a une architecture très dense, les bâtiments sont très proches les uns des autres. A l'époque, une modélisation a été faite avec le Cerma sur les masques solaires et les différents indices qui contribuaient à l'effet d'îlot de chaleur. L'échange avec les urbanistes a été intéressant pour les calculs du

design des bâtiments parce qu'ils se sont rendu compte qu'il y avait des zones, notamment en bas, qui ne voyaient presque pas le ciel, et puis des zones qui avaient des masques solaires très importants, ce qui allait jouer sur la thermique des bâtiments. Par ailleurs, ils mesurent depuis deux ans le climat dans cette zone ; les résultats sont en cours de dépouillement.

Un exemple, la place des Terreaux où l'on reconnaît l'œuvre de l'artiste Daniel Buren. Il a choisi de faire quelque chose de très noir, très sombre, très dénudé, avec un système de fontainerie, et puis il y a la grande fontaine centrale. Le problème c'est que, au bout d'un moment, le système de fontainerie n'a plus fonctionné et l'on se retrouve avec une place caniculaire alors qu'il y avait cette idée de mettre de l'eau pour rafraîchir...

Autre exemple, le quartier de la Part-Dieu, un quartier en plein renouvellement. Le projet est d'en faire un centre d'affaires avec des grandes tours, un quartier qui serait un hub métropolitain, avec tous les flux de voyageurs, de vélos, de piétons, de trams, de réseaux de chaleur qui se croisent en harmonie. Donc autant dire qu'il n'y a pas beaucoup de place aujourd'hui pour la partie végétale parce que c'est un site très contraint mais c'est quand même sur ce site qu'il y a eu beaucoup d'études récemment en lien avec les îlots de chaleur.

La première étude est une expérimentation qui a été faite entre 2012 et 2014 sur une rue assez typique de l'aménagement que l'on peut avoir aujourd'hui : une seule rangée de voitures, un grand trottoir et une largeur de rue qui correspond à peu près à la norme des quartiers. C'est un projet qui a été monté par la recherche de Veolia Environnement. Des buses d'arrosage ont été installées dans le trottoir dans le but de tester l'humidification de chaussée parce que les trois leviers pour réduire l'îlot de chaleur sont bien l'eau, le végétal et l'albédo. Il y a un système de capteurs qui mesurent la température du sol, la température à 1,50 mètre, l'humidité et la température de globe noir, donc l'indice de confort. Il y a également une station météo à 4 mètres de haut.

Pendant deux étés, Veolia a fait des tests pour voir ce que cela faisait sur la température en prenant la rue arrosée et une rue témoin qui est une rue parallèle juste à côté. On voit que, quand on n'arrose pas, les deux rues fonctionnent de la même manière. Quand on arrose, on voit que la température du sol baisse très rapidement et se maintient à 5 ou 7°C en dessous de la rue témoin. Donc au niveau du sol, cela fonctionne bien mais, au niveau du visage, on ne ressent quasiment plus rien. Et si on regarde l'indice de confort, on voit qu'on a 0,5°C de gain, ce qui n'est pas énorme. Pour reprendre l'exemple, il faut préciser qu'on a arrosé la rue sur 3 mètres alors qu'elle fait plus de 6 mètres de large et qu'on a un trottoir pratiquement aussi large que la rue qui chauffe aussi. On voit donc que le test a été limité à une portion. Cela a donné un résultat sur l'usage au niveau local mais, par contre, cela pose des questions sur l'usage qu'on pourrait en faire à plus grande échelle.

On a fait un suivi sociologique de cette expérience et on a eu les commentaires des habitants, des passants et puis des travailleurs parce que c'est un quartier où il y a des entreprises. C'était intéressant de voir comment les gens réagissaient à ça. On n'a pas précisé si c'était de l'eau potable ou pas pour ne pas influencer les réponses. La plupart nous ont dit que si c'était de l'eau de pluie c'était bien, que c'était une bonne façon de l'utiliser, mais que si c'était de l'eau potable, ils ne trouvaient pas ça bien parce qu'on les culpabilisait déjà pour qu'ils n'utilisent pas l'eau l'été. Dans le cadre de l'expérience, c'était de l'eau potable parce qu'on n'a pas le droit de pulvériser de l'eau d'origine non contrôlée dans un lieu où il peut y avoir des enfants qui jouent, etc. Mais on s'est quand même installés pas loin d'une cuve d'eau pluviale avec l'objectif de s'y raccorder si l'expérience était concluante. Elle est moyennement concluante, donc je pense qu'on ne continuera pas mais c'était en tout cas intéressant d'avoir ces résultats.

Là, nous avons un autre exemple de requalification près de la Part-Dieu. Avant, il y avait trois voies, deux voies et une contre-allée avec un parking. Le projet a été de transformer cette avenue en quelque chose d'un peu plus équilibré entre les piétons, les vélos, les transports en commun et le végétal. Ce qui est intéressant c'est qu'on a conservé les trémies de l'ancien tunnel qui passait sous la route pour en faire des bassins de stockage des eaux pluviales. Ce sont les eaux qui partent des voies piétonnes et cyclables qui sont réinfiltrées dans la noue plantée et dans le bassin de stockage. Cette eau est ensuite utilisée par les services propreté pour laver les rues. Comme là c'est dans le sol, on a le droit d'utiliser de l'eau non potable.

Le projet est d'équiper cette avenue de capteurs au niveau des arbres et du système racinaire pour suivre le lien entre la façon dont on arrose ou pas, la façon dont le système parvient à alimenter les arbres et le climat local. Aujourd'hui, on a encore une partie de la rue qui n'est pas transformée, qui est en mode autoroute, donc cela nous fera un état zéro.

En troisième partie, je voulais vous parler de l'importance de la transversalité dans une organisation et du lien très fort que peut avoir la thématique d'adaptation avec l'eau et les arbres. Cela s'est vraiment matérialisé dans la façon dont le sujet a été repris par la Direction de l'eau et le Service arbres et paysages de la voirie. Cela fait un moment que la direction de l'eau pense à végétaliser les fossés. Depuis 1995, on a interdiction de raccorder les eaux pluviales aux égouts, tout nouveau projet doit se débrouiller pour gérer les eaux pluviales à la source, que ce soit des projets de construction ou des projets de la voirie. Là, on voit une requalification de voirie où ils ont installé une noue qui gère le surplus d'eau. Il n'y a que dans les cas où le sol est très imperméable qu'ils autorisent une partie de raccordement. Gérer à la source est faisable, nous avons un territoire alluvionnaire. La Direction de l'eau développe des supports pédagogiques pour la voirie comme celui que nous voyons ici en expliquant qu'il peut y avoir une tranchée filtrante avec éventuellement un exutoire s'il y a un surplus mais, dans la plupart des cas, cela peut se gérer avec de l'infiltration et du végétal. Ce n'est pas seulement par volonté écologique, c'est aussi parce qu'ils se font taxer dès qu'il y a des débordements liés aux orages. Dès qu'il pleut et que ça fait déborder les égouts, on a des amendes, des mises en garde de l'Agence de l'eau, de l'Europe. Quelque part, il y a une pression pour décharger cette eau pluviale du réseau unitaire. Là, la pression est réglementaire.

Du côté de la voirie, le Service arbres et paysages, qui admire énormément ce qui se passe à Montréal, a une démarche pour promouvoir la place de l'arbre en ville depuis longtemps, avec une motivation de cadre de vie. On connaît la surface des arbres parce que c'est en fonction de cela qu'on fait travailler les entreprises d'élagage ; le prix d'élagage d'un arbre dépend directement de sa surface. C'est cet indice que nous suivons. En huit ans, on voit que le nombre d'arbres augmente mais on a aussi de plus en plus de voirie du fait des compétences et du développement de la ville. Finalement, le pourcentage de voirie ombragée a pas mal baissé mais il est en train de remonter parce qu'on a planté beaucoup d'arbres il y a dix ans qui sont en train de commencer à grossir. Il y a eu une période où on a coupé beaucoup de grands arbres et on en a planté beaucoup de petits, donc cela augmente en nombre mais pas forcément en surface. Je précise que nous n'avons pas pour l'instant les arbres privés, nous n'avons dans notre SIG que les arbres liés à la voirie. Ce sont les arbres d'alignement.

Nous avons essayé de conceptualiser tout cela avec mon collègue de l'Agence d'urbanisme et on s'est dit qu'un projet urbain, ou un plan d'aménagement, il y a plusieurs façons de l'influencer pour qu'il soit adapté au changement climatique. Quand on regarde, il y a déjà des choses qui se font. Pourquoi elles se font ?

Elles se font parce qu'il y a un moteur qui est la réglementation et la Direction de l'eau qui dit que tel réseau est saturé et demande que cette eau soit infiltrée et que des espaces de rétention soient créés. Dans ce cas-là, cela se transmet jusqu'au projet via également le soutien de la recherche car on a depuis une dizaine d'années une plateforme de recherche, l'OTHU, très opérationnelle, très appliquée, qui fait vraiment le lien entre problème des risques de réglementation et un projet urbain qui serait adapté.

Le végétal est également un moteur. Quand il y a une demande sociale ou une demande politique très forte de nature en ville, de qualité de vie – j'ai mis la charte de l'arbre comme organe de transmission mais il y a dans le milieu de l'agronomie et de l'arbre des associations comme Plante & Cité, par exemple –, il y a des organes de transmission entre de la recherche pure et des préconisations opérationnelles. Ça, c'est le deuxième moteur.

Le troisième moteur est le Plan climat qui débarque depuis 2012 et qui dit qu'il faut qu'on soit adaptés au changement climatique. Le problème c'est que la recherche, en tout cas à Lyon, n'est pas encore tout à fait d'aplomb sur ce sujet, il y a des choses qui se font à droite, à gauche, mais rien n'est capitalisé. Je vous ai parlé d'une thèse mais, finalement, après la thèse on ne sait pas trop ce qui se passe. On a de ce fait un peu de mal à faire des préconisations parce que l'on n'est pas sûrs de ce que l'on avance.

Dans les autres moteurs, il y a l'économie, bien sûr, qui peut modifier les belles idées de départ...

Un des constats qu'on a pu faire, c'est qu'on manque d'outils pour aller jusqu'au terrain. On a essayé quelque chose dans le cadre du nouveau PLU-H. On a commencé à essayer de croiser des cartes en se disant que cela pourrait nous aider à y voir plus clair. A l'échelle d'un projet de renouvellement, on a essayé de croiser l'îlot de chaleur, la présence de végétal et les zones d'accumulation des pluies en se disant que si on allait voir un aménageur avec ces cartes en lui disant que s'il voulait faire de son quartier quelque chose de plus agréable, autant qu'il mette ses espaces verts à des endroits où l'eau va s'accumuler naturellement parce qu'il va ainsi mieux gérer le risque d'inondation et sera certain que sa végétation aura de l'eau naturellement. On a testé ça sur deux zones. Pour l'instant, les aménageurs sont plutôt intéressés par ces cartes-là qui ont la vertu d'être assez pédagogiques et très proches de leur projet urbain, donc ils peuvent se l'approprier. Pour l'instant, notre carte d'îlots de chaleur est encore un peu basique, elle pourra largement être améliorée.

Voyons maintenant les pistes pour la suite. Là, on est entre nous, on est tous d'accord, c'est magnifique, on est tous convaincus, mais, à Lyon, il faut encore convaincre tout l'exécutif, les politiques, les services autres que ceux de l'eau et des arbres du fait que l'on va faire un grand voyage (à pied, parce qu'il n'y a plus de pétrole) de Lyon en 2000 à Alger en 2100, c'est Météo France qui le dit. Globalement, on va faire ce grand voyage en passant par Rome, Madrid et, pour finir, de plus en plus vers la Méditerranée.

Ce qu'il nous manque aujourd'hui c'est de reconnaître de manière politique qu'on va avoir un problème sur la ressource en eau, reconnaître de manière politique qu'on a un souci de santé publique avec les canicules. Pour que ce soit vraiment pris en compte dans notre collectivité, pas uniquement par le vice-président au Plan climat, on a envie que cette politique d'adaptation soit prise en compte par différents élus : celui de l'eau, celui de la voirie pour parler un peu plus de béton poreux et de végétal, celui de la propreté parce que c'est lui qui fait l'entretien des espaces en bordure de routes. Et c'est un peu plus compliqué que d'écrire trois axes stratégiques avec notre vice-président. C'est l'objectif de cette année, arriver à leur faire prendre cette décision de manière un peu collégiale en s'inspirant aussi des limites qu'ils pourront voir.

Le deuxième objectif est d'améliorer le lien avec la recherche locale et la population. Ce dont on se rend compte c'est qu'on manque de mesures de terrain, pas uniquement des mesures physiques, on manque aussi d'approches psychosociologiques, d'approches de ressenti des habitants. Parce qu'une ambiance urbaine n'est pas uniquement dictée par la température de l'air, l'humidité et la température de rayonnement, il y a plein d'autres choses qui jouent. Il peut y avoir le son qu'on entend, le visuel de l'endroit, les couleurs : même s'il fait la même température sous un abribus que sous un arbre, ce n'est pas le seul critère.

Sur ce sujet, on a démarré depuis six mois un poste de doctorat sur la mise en place de l'observatoire local du climat. Cet observatoire, on le voit plus comme un réseau qui

associerait des chercheurs, des praticiens, des collectivités. L'idée c'est, quand on a une question qui concerne le sujet de l'adaptation et notamment des îlots de chaleur, d'avoir ce pool de compétences au niveau local qui est en réseau avec d'autres pôles éventuels. Il aura sûrement un format un peu souple parce qu'on n'est plus dans une époque où l'on peut faire des investissements forts dans des structures, mais on aura en tout cas quelqu'un à qui parler qui pourra faire le lien et nous proposer de tester tel outil, de faire travailler tel groupe d'étudiants sur de la concertation, de faire le lien avec telle association. On a commencé à tester cette idée auprès des praticiens, des bureaux d'études, des architectes et des scientifiques et ça prend plutôt bien. Donc on se dit qu'il y a quelque chose à faire sur cet observatoire.

Il y a aussi une question que l'on s'est posée avec les collègues de la métropole, c'est qu'il y avait peut-être un souci au niveau de la gestion et de l'approche en silos que l'on peut avoir dans nos organisations. Car si l'on prend cet exemple de noue plantée encombrée par des détritrus, est-ce que c'est un tuyau à ciel ouvert qui devrait donc être nettoyé par la Direction de l'eau ? Est-ce que c'est un espace récréatif qui devrait donc être du ressort des communes ? Est-ce que c'est le prolongement du trottoir qui devrait donc être nettoyé par la propreté ? Est-ce que c'est un ouvrage d'infiltration de chaussée qui devrait donc être géré par la voirie ? Je crois qu'on arrive quand même à bien gérer maintenant mais il y a eu plusieurs cas par le passé où ces espaces-là n'étaient pas du tout entretenus parce que tout le monde se renvoyait la balle. Pour améliorer cela, il y a eu un travail entre tous les services qui essaient d'harmoniser les politiques. Accessoirement, ils vont faire un travail sur le coût global de ces aménagements car, certes, cela a eu un coût foncier d'avoir fait cette emprise mais, d'un autre côté il y a une économie en gestion de l'eau et on améliore la santé. C'est un peu ce travail, qui va durer deux ans, que l'on essaie de faire sur quinze projets qui vont être chiffrés de manière plus fine.

Pour finir, je pense que l'adaptation et le sujet des îlots de chaleur sont une très bonne occasion d'aller discuter avec la population. On a eu l'exemple il y a peu de temps sur un quartier très militant de Lyon, très cosmopolite, qui bouge beaucoup. La place que vous voyez était auparavant une zone un peu délaissée sur laquelle des habitants avaient monté un jardin qu'ils avaient autoproclamé jardin partagé et qui a ensuite obtenu le soutien de la collectivité. L'idée a été de transformer cette zone en un parc. Des bâtiments ont été démolis et le projet va avoir plus de verdure. Dans la concertation, la question des îlots de chaleur est remontée, il y a eu une approche pseudo-scientifique sur ce quartier mais je n'ai pas pu récupérer d'éléments. Du coup, on ne veut pas lâcher l'idée, on va équiper cette place de capteur de température. Outre l'intérêt scientifique, l'idée c'est aussi de profiter de cette expérience pour faire le lien avec les habitants, répondre à leurs questions, leur expliquer ce qu'on peut voir ou pas avec un capteur. Il y a aussi des collègues de l'université de Lyon qui sont intéressés dans la recherche participative, le fait que ce soit les habitants qui posent leurs questions pour axer le travail des chercheurs.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

J'ai été extrêmement impressionné par la transformation de cette artère en boulevard urbain planté. Est-ce que c'est envisageable, à une assez grande échelle, d'avoir un transfert de villes orientées vers la voiture vers des villes nettement plus orientées vers le transport en commun et de récupérer une partie de ces surfaces imperméabilisées ?

Luce Ponsar

Chef de projet Plan climat, Grand Lyon, Stratégies d'agglomération

Dès qu'il y a une requalification de voirie aujourd'hui, cela fait partie de l'axe de supprimer du stationnement, de mettre en place des continuités vélo si c'étaient des continuités qui manquaient par rapport au plan vélo. Même chose, s'il y avait besoin d'augmenter des fréquences, de mettre une voie bus à cet endroit-là, on profite de la requalification pour faire la voie bus. Ça, c'est quelque chose qui est déjà en marche. On voit déjà les résultats parce que le trafic baisse dans le centre de Lyon. Par contre, il augmente en périphérie. Du coup, cela fait à peu près zéro... En tout cas, c'est tout à fait faisable et c'est de plus en plus accepté, même si c'est toujours un sujet de débat dans les concertations, avec les commerçants notamment. De plus en plus, les gens savent que, de toute façon, la place de la voiture va être gentiment repoussée.

Marjorie Musy

Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

Je voulais revenir sur l'image de la voie qui semble apaisée, surtout qu'on a eu des contre-exemples à Nantes sur des artères pénétrantes où il y a eu le Chronobus plus de belles pistes cyclables. Les voies de Chronobus c'est moins de voies pour la voiture, mais quand ajoute les voies pour la voiture, certes réduites mais qui restent quand même, les voies de Chronobus et les pistes cyclables qui sont elles aussi en asphalte, on a un magnifique ruban noir qui fait une très grande largeur. Donc je pense qu'il y a une nécessité de diffuser la possibilité de faire ce genre de voies tout en conservant plusieurs modalités de déplacement.

Luce Ponsar

Chef de projet Plan climat, Grand Lyon, Stratégies d'agglomération

C'est l'objectif du guide avec les différents services dont je vous parlais parce que les freins que l'on rencontre aujourd'hui sont encore des freins internes. Même si l'on a quelques personnes motivées dans différents services sur ce genre d'aménagements, il y a encore plein d'idées reçues : certains pensent que les plates-bandes vont être mal entretenues parce qu'on ne sait pas qui entretient, que les pistes cyclables en béton drainant se colmatent, vieillissent moins bien, etc. L'objectif, une fois que l'on aura décortiqué comment ces aménagements passés ou récents ont vieilli, est d'avoir des profils de voiries-types que l'on puisse promouvoir et que cela devienne la référence.

Table ronde

“La parole aux experts”

Animée par Jean-Jacques Terrin

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

Nous arrivons au bout du programme, nous avons fait les deux séminaires. Avec Jürgen, nous allons vous poser un certain nombre de questions sur ce que vous avez pensé et quelles sont les idées-clés avec lesquelles vous revenez de ces deux séminaires.

Anne Peré

Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

On a vu beaucoup de modélisations et de connaissances produites aujourd'hui. On a également commencé à voir à travers différents Plans climat des préconisations de bonnes pratiques sur un certain nombre de thèmes, par exemple le thème de l'eau, de la végétation. Mais est-ce que tout cela fait projet ? Comment on arrive à rassembler l'ensemble de ces pratiques dans différents projets ? Je trouve plus compliqué de passer à cette étape où les projets que l'on va voir sont vraiment significatifs de ces bonnes pratiques qu'on a voulu instaurer. Comment s'opère le passage au projet ? C'est vrai pour le projet urbain, c'est vrai pour les projets de quartier, c'est vrai aussi pour les projets territoriaux où, finalement, on a vu très peu de plans territoriaux qui décrivent les endroits, les sites, les lieux et le comment faire à l'échelle des agglomérations.

Il y a aussi la question du patrimoine. Je vais prendre l'exemple des façades et des toitures végétales. Beaucoup de modélisations s'appuient sur les toitures-terrasses et je comprends aussi que toutes les recherches technologiques sur la protection du végétal pour les bâtiments sont intéressantes en tant que telles, mais quel est le vis-à-vis réel par rapport aux bâtiments, à l'existant ? Je pense que les bâtiments anciens vont difficilement accepter ce type d'interventions, ils constituent cependant l'essentiel de la ville.

Luce Ponsar

Chef de projet Plan climat, Grand Lyon, Stratégies d'agglomération

J'ai retenu deux choses par rapport à ce sujet des îlots de chaleur. Premièrement, il faut déjà que l'on continue à rechercher la transversalité et la montée en compétence à tous les niveaux, que ce soit sur la recherche de pointe ou sur le terrain. Cela peut être une mission que l'on peut se donner pour un Plan climat. Deuxièmement, je sens qu'on a un besoin de coopération entre les villes européennes. J'ai eu envie de tester des outils, de croiser des approches car, même si c'est technique, on a des approches qui sont un peu différentes et je me dis qu'il serait intéressant d'aller regarder sur cette coopération d'échange de pratiques.

Marjorie Musy

Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

Je voulais rebondir sur les façades végétales. Je pense qu'il y a eu beaucoup de recherches dans le domaine des façades et des toitures, il y a eu effectivement des développements mais il y a eu en premier lieu du développement plutôt industriel ou artistique, et pour les toitures les développements ont été amplifiés par les sociétés d'étanchéité des toitures. La recherche s'est aussi faite avec une volonté d'évaluer les performances réelles de ces dispositifs, comme c'est le cas pour tous les dispositifs ou toutes les études qui ont été faites, et d'amener une connaissance qui permet de justifier des choix. Je pense qu'il faut aussi voir les travaux de recherche dans ce sens-là, c'est-à-dire que le rôle de la recherche va être d'analyser d'une manière aussi neutre que possible, notamment par rapport aux industriels – j'ai entendu beaucoup de bêtises sur les façades végétales – et d'amener une évaluation si possible multicritère. Il faut donc voir la recherche comme un appui, et même si on a beaucoup étudié les façades végétales, cela ne veut pas dire qu'on est dans la promotion.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Au-delà de la notion de projet, j'ai été frappé par plusieurs choses. La recherche, c'est bien, je fais moi-même beaucoup de recherche sur les formes urbaines, mais il y a une sorte de consensus assez simple, finalement, qui se dégage dans les villes et qu'on pourrait résumer par la « ville blanche, verte et bleue » qui est un concept lisible pour développer des politiques urbaines et impliquer de nombreux acteurs du développement. Ce n'est pas

décrivant aux décideurs et aux habitants des équations très compliquées sur la canopée, le vent, la chaleur, le fait que l'on va gagner un demi- degré, etc., que l'on va arriver à les mobiliser. Je trouve que, au niveau de l'articulation d'un consensus autour d'une ville qui est rafraîchie par l'humidité, qui est rafraîchie par le verdissement, où l'on n'a pas d'aberrations comme le travail de l'artiste Daniel Buren à Lyon qui fait un four noir sur une place, c'est finalement assez lisible et simple, ce qui est quelque part rassurant pour faire des politiques publiques avec de nombreuses expérimentations concrètes.

Après, ce qui me frappe c'est qu'il manque un moteur économique pour changer d'échelle. C'est-à-dire comment passe-t-on de l'expérimentation de Veolia qui arrose une rue ou d'un morceau d'artère qu'on réhabilite en le rendant vert à quelque chose qui va engager l'ensemble de la transformation de la forme urbaine pour les prochaines décennies. Lyon devenant Alger en 2100, on a 85 ans pour s'y préparer, donc c'est de la longue durée et c'est un grand changement d'échelle, ce ne sont plus des projets expérimentaux. Mais, pour avoir un changement d'échelle, il faut un moteur et les moteurs sont généralement de nature économique. Là, je pense que la recherche est à faire sur les coûts et les bénéfices de l'atténuation du changement climatique. Par exemple, le rapport Stern a démontré que si l'on ne fait rien, cela va coûter un nombre très élevé de points de PIB mais il n'est pas décliné à des échelles urbaines, c'est-à-dire que l'on ne sait pas combien cela va coûter à la croissance économique de Lyon, de Nantes, de Rennes ou de Toulouse de ne rien faire ou de mettre en place des actions qui ne sont pas à l'échelle des enjeux. Qu'est-ce que cela veut dire une ville qui est plus chaude de 7°C ? Combien cela fait perdre de PIB ? Combien cela fait perdre d'attractivité à la ville ? Etc.

Au-delà-même du rapport coûts/bénéfices, la collectivité publique paye aujourd'hui pour des enjeux généraux, pour des bénéfices différés pour la collectivité, mais qui ne se traduisent pas par des bénéfices financiers immédiats. Or il y a des mécanismes très élaborés en termes financiers et de gouvernance, comme la capture de valeur foncière, qui sont utilisés en Asie, au Japon et à Hong Kong, mais aussi à Londres et à New York, qui permettent à la collectivité de récupérer immédiatement la hausse de valeur foncière pour financer les infrastructures locales de transport et des espaces verts de très grande qualité.

Pour l'atténuation de l'îlot de chaleur, les mécanismes qui pourraient financer la transformation des villes n'existent pas et la gouvernance est très fragmentée. J'ai été frappé par la question de qui nettoie la noue que l'on a vue dans l'exposé de Lyon. Là, on est vraiment au cœur du problème. Cela montre qu'il n'y a pas de transversalité et que, entre se demander qui nettoie la noue et faire remonter le sujet de l'îlot de chaleur au niveau d'un maire suffisamment responsable pour se dire que si on ne fait rien aujourd'hui sa ville va perdre en attractivité, en compétitivité internationale, que cela va dégrader la santé des habitants, que cela va créer de très nombreuses externalités négatives, il reste encore beaucoup de travail à accomplir sur la gouvernance.

Il faut réfléchir collectivement à comment décroisonner la question de l'îlot de chaleur et du changement climatique, ne pas en faire seulement une question technique mais une

question d'avenir des villes. Parce que des montées de 6 ou 7°C avec des glissements spatiaux qui font qu'une partie de l'Europe va se retrouver dans les conditions de l'Afrique du Nord d'un point de vue climatique, cela va avoir un impact économique et social considérable.

Christelle Leproust

Responsable du Service environnement-énergie, Rennes Métropole

Je pense que pour qu'il y ait une intégration et une prise de conscience, y compris de la valeur et de l'éventuelle dégradation de la valeur, on manque d'indicateurs et d'observations. Je dis cela parce que, par exemple sur la question de l'atténuation, on « vend » la rénovation des bâtiments en disant qu'il y aura une augmentation de la valeur verte. Or on n'a pas aujourd'hui d'observatoire de la valeur verte. Personne ne collecte la valeur des biens ni ne conduit d'analyse pour voir si performance énergétique et valeur des biens sont liées. On le dit sans aucun élément qui le prouve. Sur les questions de climat, on parle d'inconfort potentiel pour les populations, mais est-ce que quelqu'un sait évaluer l'inconfort réel ? De même, on se dit qu'il y aura peut-être un problème d'attractivité, mais est-ce qu'on a des indicateurs d'attractivité ?

Une des premières étapes c'est peut-être de décrire, par un certain nombre d'indicateurs, puis de mesurer les évolutions. Les agences d'urbanisme ont, je trouve, une force de frappe assez importante en France à travers la publication d'éléments descriptifs de la ville. Ce sont des éléments qui mériteraient d'être intégrés davantage dans l'ensemble des indicateurs publiés et qui nous aideraient à comprendre.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Les Américains font des études dans ce domaine-là, plus ou moins concluantes. Il y a des tentatives pour expliquer que les bâtiments qui sont Leed platinum ou gold, c'est le standard américain, ont une valeur immobilière supérieure. En vous écoutant, je pensais qu'il serait bon d'intégrer dans la discussion le Urban Land Institute qui a une section française maintenant. C'est une d'association de grands développeurs immobiliers. C'est intéressant parce que ce sont des gens qui sont vraiment au cœur de la création de valeur. Ils ont publié six ou sept ouvrages pour montrer et expliquer aux développeurs, qui développent des quartiers entiers, en quoi la taille humaine, la lisibilité d'un quartier, la qualité des espaces publics accroissent la valeur immobilière des réalisations. C'est dans une optique d'accroissement de la valeur immobilière. Ce sont de vrais professionnels de la valeur et s'il y a une valeur verte dans ce qu'on propose, ils y seront d'autant plus sensibles et ils la défendront d'autant mieux à travers leur réseau.

Céline Philipps

Service climat, Ademe

Par rapport aux interventions successives, je suis à la fois confortée mais cela ravive aussi une frustration que nous avons eue cette année à l'Ademe. De notre côté, nous avons analysé quels sont les besoins en recherche en ce moment sur la question du rafraîchissement urbain et nous avons décidé de focaliser sur la question du rafraîchissement par les écosystèmes, on a appelé cela l'approche écosystémique au rafraîchissement urbain. Nous avons lancé un appel à projet de recherche pour la communauté de recherche qui pourrait amener des réponses à toutes les questions socio-économiques qui sont évoquées aujourd'hui dans la discussion et ce matin pendant la visite de terrain.

On voit que, ces questions, ce n'est pas seulement à l'Ademe qu'on se les pose, vous vous les posez aussi. Je pense qu'il y a maintenant un vrai travail de nouveaux partenariats à construire si l'on veut avancer sur la question du rafraîchissement urbain. Les communautés qui ne sont pas forcément spécialistes des sciences naturelles et de la physique du climat peuvent avoir un autre regard et analyser les freins que l'on rencontre aujourd'hui.

Marc Montlleo

Directeur de projet de l'environnement, Barcelona Regional

About the indicators, several things: one in Stockholm. In the Royal Seaport Development they are using a green indicator for the amount of vegetation or greenery on buildings in the neighbourhood. So if you put trees that help give you shadow for the facades that are orientated south or getting, receiving more energy, you get some points and you can change maybe other things on the building, or if you do a green roof, also you get some benefits, so you get more points, so then you can save maybe other measures or save on other parts. In Barcelona right now, we have an agency which is the *Barcelona Ecologia* – it's *l'agence d'écologie urbaine de Barcelone*. They are working with several indicators, but I would say they are more like at city level or bigger scale, so not at block level or building level. There are some indicators related to green, but these are mainly m² per inhabitant or proximity to this green for citizens and which benefits they can get. And we are stating also to do an approach similar to yours, I understand, which is looking to environmental services or ecosystem services, but downscaling it to urban parks, so to see which benefits or environmental service benefits you get from the parks that you have close to the citizens, like thermal regulation but also cultural stuff, leisure, also biodiversity... All this is being looked at on parks to evaluate which part of the city has, for example, one park with a lot of environmental services and other parts of the city have parks with less environmental services, so you can design or change things on those parks to improve the diversity of environmental services.

Jean-Jacques Terrin

Responsable scientifique du programme POPSU Europe

J'ai deux, trois réactions par rapport à ce que l'on a entendu depuis hier mais également à Barcelone. La première c'est que je trouve que dans presque toutes les présentations et les discussions que nous avons eu, il y a un facteur qui est implicite mais pas explicite, c'est le facteur humain. Je dis le facteur humain pour ne pas dire l'habitant parce que c'est toute une chaîne humaine qui va depuis l'élu, dont certains ont dit qu'il était inculte sur le sujet, ce que l'on peut imaginer, en passant par toutes les forces économiques, que ce soit les commerçants, les gens qui font la maintenance de la ville et qui ont un savoir-faire important mais que l'on consulte beaucoup trop peu, que ce soit les habitants eux-mêmes. Le fait qu'on en parle aussi peu est le reflet d'une réalité, même si on se sent obligé de temps en temps de les sortir de sa boîte et de les rentrer aussitôt. Ça, c'est une question importante.

La deuxième, Anne l'a évoquée, c'est la question du patrimoine. Je la réévoque pour dire qu'il y a dans la notion de patrimoine celle de l'usage de l'espace public tel qu'il s'inscrit dans les centre-ville où l'on sait à peu près ce que veut dire un espace public. Mais dès qu'on sort de ces zones un peu privilégiées, on perd totalement cette notion d'espace public, en tout cas de bien public, on parle d'équipements, de machins non identifiés que l'on peut vandaliser le cas échéant. Comme gère-t-on les îlots de chaleur dans ce cas ?

La troisième porte sur le rôle des normes. Je me demande si l'on ne rajoute pas un risque de standardisation de plus à la construction de logements, mais pas seulement de logements, et si la norme n'est pas un poids supplémentaire et comment faire en sorte que cela ne le soit pas, et que la lutte contre les ICU puisse devenir le cadre plus de créativité plutôt que de contrainte pour la conception de projets.

Virginie Bathellier

Directrice de la plateforme POPSU – Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie – Ministère du Logement, de l'Egalité des territoires et de la Ruralité

Je vais en partie reprendre ce que vient de développer Jean-Jacques. De ces deux jours que j'ai trouvés très riches et qui m'ont beaucoup appris sur les îlots de chaleur, je trouve qu'on documente de plus en plus cette question, même si j'ai encore des interrogations concernant le rôle de la voiture, non pas sur les émissions de gaz à effet de serre mais sur la question des îlots de chaleur. Au-delà de cela, les expériences, les projets, les stratégies qui sont menés par les collectivités dans les différentes villes européennes montrent qu'il y a quand même une volonté de diversifier les approches, de faire du sur-mesure aussi, de la

dentelle selon les échelles, même si on n'a pas toujours les moyens de faire à la grande échelle.

Par rapport à ce qui est développé à Montréal, la question du financement se pose. Donc il y a une question de redistribution mais aussi peut-être d'implication habitante. Pour ce qui peut éventuellement être réalisé en cœur d'îlot, dans le rafraîchissement des trottoirs ou dans les espaces publics, ne pourrait-on pas réfléchir aussi à la manière dont on pourrait impliquer les habitants comme à Montréal où certains espaces publics (les trottoirs), à petite échelle, sont « entretenus » ou « jardinés » par les habitants ? Cela ne fait pas partie de notre culture mais, dans les pays du Nord cela existe. En même temps, on sent qu'il y a quand même une mobilisation citoyenne qui se fait à travers l'habitat participatif, les jardins partagés et ces petites cultures qui apparaissent sur les trottoirs qu'on pourrait voir de façon non pas microscopique mais de façon un peu plus généralisée.

Par ailleurs, ce que m'a évoqué la visite d'aujourd'hui ce sont peut-être les chaînons manquants. Je trouve qu'il y a des réflexions très intéressantes, il y a une maturation au niveau de la pensée sur ces questions mais, ensuite, dans le projet, j'avoue que j'ai été un peu surprise ce matin par rapport à ce qui a été développé ces deux jours. Il faut sans doute renforcer les liens entre les services d'une manière générale. Le chaînon manquant c'est aussi le chaînon politique, on l'a dit, les élus ne sont pas toujours très ouverts, ils peuvent être réfractaires à cette problématique, d'où leur nécessaire sensibilisation. Il y a aussi des questions économiques qui se posent mais qui, du coup, nous interrogent sur le devenir parce que quand il y a création d'une ville de 22 000 habitants et que certaines questions n'ont pas pu être posées compte tenu du type de programme, peut-être que c'est la transversalité des approches qui a du mal à se faire malgré la bonne volonté et l'avancée des recherches dans ce domaine. Donc comment peut-on arriver à faire bouger les choses pour que, concrètement, on puisse trouver des solutions qui soient à la hauteur des enjeux ?

Martine Koenig

Adjointe mission spécifique, Direction générale du développement urbain et durable,
Toulouse Métropole

Je voulais dire que ce séminaire, au départ, me laissait un peu sceptique parce que, finalement, je ne savais pas ce que c'était ces îlots de chaleur. Je suis généraliste. Et j'avoue que j'ai trouvé cela très intéressant parce que, pour moi, cela a été un peu une découverte. Je connaissais l'aspect réglementaire des Plans climat et autres et là j'ai mesuré tout le travail mené par les spécialistes, par les scientifiques, toutes les modalités, donc toute l'approche technique que je trouve très impressionnante, très éclairante sur le phénomène. Je dirais qu'on est encore un peu dans un domaine de spécialistes et que l'objectif que nous devons partager c'est d'en faire l'urbanisme banal, de le rentrer dans la pratique commune de l'aménagement. Je ne suis pas quelqu'un de pessimiste, donc je pense que c'est un phénomène d'acculturation et que nous sommes en bonne voie. Je ressors de ce

séminaire avec l'envie très forte de réinterroger nos projets, on a quelques projets expérimentaux sur Toulouse, sous l'angle de cette problématique.

Après, je dirais qu'il y a deux thèmes différents, c'est la ville qui existe et puis les projets. Pour les projets, je crois que ce sera plus facile parce que l'aménagement de projets nouveaux implique les habitants, cela a été dit, et que les habitants sont à la recherche d'un agrément, d'un bien-vivre qui passent par une certaine aménité urbaine. L'aménagement de la ville existante est plus délicat. Par expérience, je sais que l'on va se trouver confrontés, ne serait-ce que pour les plantations d'arbres, à toute une série d'obstacles dits techniques, dits insurmontables, qui ne le sont pas, bien sûr, mais qui vont nécessiter beaucoup de pression ou de pédagogie pour que cela aboutisse.

Alban Mallet

Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

J'ai l'impression qu'il y a un système en deux temps. Un premier temps qui n'a pas encore été abouti, qui est effectivement le temps de l'acculturation. C'est-à-dire qu'on a un jeu d'acteurs sur la fabrique de la ville qui aujourd'hui n'est pas sensibilisé. Ça, c'est une marge de manœuvre qui se présente devant nous. Puis, dans un deuxième temps, il y a les facteurs qui vont faire levier pour amener une meilleure qualité de ville avec le végétal, donc avec la valeur immobilière. Cela peut être un levier très très fort. Mais comme le premier temps n'est pas encore réalisé, le challenge va être de transférer l'expertise de recherche vers l'opérationnel, vers les gens qui fabriquent la ville, et c'est quelque chose qui peut prendre du temps. Puis, dans un deuxième temps, peut-être travailler sur des leviers qui ne sont pas encore totalement perçus.

Je voudrais revenir sur la question patrimoniale. Aujourd'hui, la ville est construite à 90 %, la ville nouvelle c'est au maximum 10 %. Même si on regarde la question de la ville nouvelle, si je prends l'exemple de Nantes, les projets publics représentent 30 % des projets, le reste c'est du privé. Si on détaille, on voit que la marge de manœuvre la plus directe et la plus forte est sur 30 % de 5 %. Après, c'est le diffus, c'est le privé, c'est la propriété privée, la maison individuelle, la copropriété, avec en France des systèmes très complexes, très longs. Sur les questions d'énergie, par exemple, prendre une décision pour réhabiliter une isolation de bâtiments, cela peut prendre deux ans. Ce sont des choses qu'il faut avoir bien en tête.

Serge Salat

Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Sur la question de la longue durée. On a tendance à ne pas percevoir la longue durée. Je pense que ce serait intéressant de regarder l'âge des bâtiments parce qu'il y a quelque

chose qui est frappant. A Paris intra-muros, la capitale du XIXe siècle, la moitié des bâtiments datent du XXe siècle. Certains sont de bonne qualité, ceux à peu près jusqu'aux années 50, d'autres sont très médiocres, ceux des années 60, 70. En tout cas, il y a un demi-siècle réellement de passage à vide. Si on regarde attentivement, et moi j'adore le patrimoine, on voit qu'il ne reste pas grand-chose de patrimonial dans la surface construite des villes contemporaines. Si on regarde Toulouse dans son intégralité d'aujourd'hui, la partie patrimoniale doit représenter très, très peu, la partie récente est immense. Qu'en restera-t-il en 2100 ? Que restera-t-il de ce stock de bâtiments qu'on a construits depuis les années 70 en 2100 ? Probablement pas grand-chose et il est à souhaiter qu'il n'en reste pas grand-chose parce que cela prouvera qu'il y a eu évolution technologique et croissance économique et qu'une nouvelle période morphologique est venue au XXIe siècle remplacer la période morphologique, assez médiocre dans l'ensemble, que nous a légué la deuxième moitié du XXe siècle. En plus, ces bâtiments ne sont pas faits pour durer. Un ouvrage d'art comme le pont de Millau est fait pour durer un siècle, pas plus ! Alors si on construit le pont de Millau pour durer un siècle, le pavillon de banlieue n'est sûrement pas fait pour en durer trois ! Donc, l'enjeu du renouvellement de la forme urbaine, si on l'analyse sur un siècle et pas sur les dix prochaines années, est absolument réel. Il va y avoir transformation.

Cela s'articule aussi sur l'idée du moteur économique et sur l'asphalt magic circle, le cercle magique de l'asphalte. Si on regarde les 4 500 kilomètres de rues qui mènent de Montréal au Pacifique, il y a eu un moteur, un cercle magique qui les a créées et qui, au passage, a très fortement agi sur la forme urbaine telle qu'elle existait. C'est le cercle magique de l'asphalte, qui a été théorisé dans les années 60 par l'Asphalt Institute, un institut qui promeut l'asphalte et qui existe encore de nos jours. Comme l'asphalte est notre ennemi, en quelque sorte, sachez qu'il existe depuis les années 60 l'Asphalt Institute qui promeut l'asphalt magic circle qui est redoutable de simplicité, c'est la simplicité qu'on adorerait tous avoir : vous êtes une ville, vous investissez dans de l'asphalte. Sur l'asphalte, il va y avoir des voitures et, s'il y a des voitures, des pavillons de banlieue, des supermarchés, etc., il va y avoir du développement économique. Sur ce développement économique, vous allez vendre du pétrole sur lequel vous allez lever des taxes et, avec ces taxes, vous allez mettre un peu plus d'asphalte. Donc, plus vous construisez d'asphalte et plus vous allez construire d'asphalte. Ça, c'est un cercle magique. Ce cercle magique n'existe pas pour les arbres, ce n'est pas plus vous plantez des arbres, plus vous allez générer du revenu, plus vous allez planter d'arbres.

C'est peut-être quelque chose d'aussi simple, au-delà de la recherche raffinée et sophistiquée que j'aime beaucoup et que je pratique, qu'il faut essayer de trouver. Je respecte les villes et je n'ai pas envie qu'on les détruise mais, eux, ils n'ont pas hésité à démolir des pans entiers de villes pour faire passer à travers des routes puis des autoroutes surélevées. Donc on se dit que planter des arbres cela va être compliqué, que les gens vont être contre, le patrimoine, les rues, la façade, ça va faire de l'ombre aux gens, mais les gens qui ont fait passer des voies rapides à l'intérieur de villes existantes, à l'époque ils ne se sont pas posés toutes ces questions. Pourquoi ? Parce qu'il y avait un moteur qui était aussi lié aux habitants, parce que ce n'étaient pas seulement des gens qui voulaient vendre des voitures et des gens qui voulaient vendre de l'asphalte, c'étaient aussi des gens qui voulaient des voitures pour se déplacer.

Il faut savoir ce que veulent les gens, s'ils veulent vivre dans des villes vertes, aérées, climatisées ou s'ils veulent avoir de l'asphalte, des voitures et des villes polluées. Ce changement sociétal peut amener ces changements physiques. Si on a des villes asphaltées, c'est parce qu'il y a eu ce changement sociétal plus des intérêts économiques. Aujourd'hui, on n'a pas de changement sociétal. J'ai été frappé par l'exemple de Rennes où les habitants n'arrêtent pas d'écrire au maire pour qu'on coupe les arbres. C'est encore : coupez l'arbre qui me dérange et créez un parking pour que je puisse mettre ma voiture. Il y a un travail à faire dans cette direction mais ce n'est pas du tout impossible, l'enjeu du renouvellement complet de la forme urbaine sur un siècle existe réellement. Et cette forme urbaine va forcément se renouveler.

Maja Zuvela-Aloise

ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics

I think the magic word that you need for your circle is 'life quality'. It's where the full circle changes. So, with green areas, you are increasing the attractiveness; with attractiveness, you make people feel more comfortable from the climatological perspective. You are then also indirectly increasing your real estate prices; there, comes the economical model of the city where you are pushing them in different directions. With green, you are starting to increase the value and then you can start the circle in the other direction. There is an example: there was a council of Austrian Sustainable Buildings – they tried to make a certificate for sustainable buildings that was copied from the German associations – and they put first some energy efficiency, economic values, biodiversity, all kinds of parameters, and microclimate was one of them, but it was still in the stage where it didn't play any role, so we are still in the phase where we need to raise awareness, that the people see the value in it. And the relationship between the green surfaces and the prices, the rental prices, is quite well established. There are economic models that you can calculate the value: what is the percent when you have a park in front of your window? It automatically increases the price and it's a couple circle.

Marjorie Musy

Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

Mon entrée a été de voir ce que l'on pouvait tirer de ce que l'on a, quelles questions cela pose sur les différentes villes et quelles questions cela peut me poser entre d'un côté la recherche et de l'autre côté les Villes. J'ai essayé de faire une sorte d'état de l'art de ce qui se passe en ce moment sur ces questions. Je me suis ensuite posé la question de ce qu'il se passerait dans une vie idéale, comment cela fonctionnerait, de quoi on rêverait chacun de notre côté, chercheurs et villes.

L'état actuel. Je vais essayer de faire une sorte de diagnostic sur deux points. Premièrement, on parle d'îlot de chaleur urbain mais est-ce que les villes connaissent bien leur îlot de chaleur urbain ? Certaines oui, mais ce n'est peut-être pas le cas de toutes. Deuxièmement, je me suis penchée sur la question de l'évolution des pratiques dans les villes. Cela a été exposé pour la ville de Nantes mais il faut voir où les villes en sont dans leur progression entre les questions d'atténuation et les questions d'adaptation. On a bien vu que, dans les documents du GIEC, il n'y a que les questions d'atténuation qui sont prises en compte sur la partie formes urbaines. Il y a là un changement de focale sur la question, tout le monde n'en est pas au même niveau dans ce changement. Il y a aussi l'échelle qui a changé, on parle de confort dans les espaces, et on est aussi passé à la question de la résilience quand on parle d'adaptation. On est sur deux changements de concept qui sont assez lourds à prendre en charge, en fait.

Sur le premier point, est-ce que les villes connaissent bien leur îlot de chaleur et son évolution au cours du temps ? On a vu quelques villes qui ont des données depuis longtemps. Rome, Barcelone, Vienne ont des données depuis longtemps. Nantes n'en a pas depuis très longtemps mais a un réseau assez étendu. On a un bilan déséquilibré. Il y a des villes et des chercheurs, certaines fois des villes sans les chercheurs, d'autres fois des chercheurs sans les villes, qui essaient tant bien que mal de connaître leur îlot de chaleur urbain. Ce n'est pas la majorité des villes, s'il n'y a pas une sensibilité côté recherche ou côté opérationnel, il n'y a pas cette connaissance. Cela va être des villes qui ont une certaine taille et une certaine culture du point de vue climat. Donc la question va se poser de quelles sont les villes et comment on peut avoir cette connaissance.

Puis, il va falloir passer d'une connaissance qui est spatiale, temporelle – pas facile à obtenir car, comme on l'a vu dans la présentation de Nantes, quand on a plein de valeurs temporelles et spatiales, comment fait-on pour les extrapoler ? – à quelque chose qui est digérable. Cela peut être sous forme de cartes, d'un indicateur qu'on représente dans des cartes. On spatialise, donc il y a tout un champ de recherche qui, pour la recherche comme pour les opérationnels, est un travail extrêmement important mais qui va devoir être fait si l'on veut aborder plus loin les questions d'aménagement d'une manière appliquée. On peut aborder ces questions d'aménagement d'une manière un peu plus intuitive, c'est ce que les villes font pour l'instant, mais il y a un moment où l'on aura peut-être besoin de tester des choses avant de projeter, car les phénomènes sont tellement complexes que l'intuitif et le bon sens peuvent mener à des contre-performances. Il y a donc un travail très important à faire pour mener à des outils de représentation des données de mesure.

Puis il y a la question d'extrapolation des données locales. On peut avoir des données qui sont prises en des points et avec un pas de temps. Comment peut-on les intégrer pour produire une information indépendante du temps ? Voici un exemple de travaux que l'on a menés sur Paris. Dans les parcs ou des zones vertes, on prend une mesure à 50 mètres, 100 mètres du parc, et on voit que suivant les points on a un effet ou pas du parc. Donc on voit bien que ce n'est pas si simple, on ne peut pas comme ça extrapoler la donnée, on ne peut pas avoir toujours partout quelque chose de systématique. Il y a des villes qui auront

les moyens d'instrumenter en permanence et de savoir ce qui se passe parce qu'on a directement la donnée, on arrive à l'analyser, et puis d'autres pour qui cela va être un peu plus compliqué. A Paris, ils ont fait ce travail et l'ont maintenant, mais l'analyse prendra du temps.

Là, il y a pour moi un travail énorme de recherche, de méthodologies qui seront applicables partout mais aussi des résultats qui seront vraiment très locaux. Parce que quand on dit à Paris que l'effet des parcs n'est valable qu'à une certaine distance, cela dépend de la forme urbaine, ce n'est peut-être pas du tout pareil à Montréal avec une forme urbaine très différente. Ce n'est peut-être pas pareil à Nantes, ville moins dense, moins fermée, le tissu est moins serré. Il y a donc un travail qui ne peut pas non plus se transposer d'une ville à l'autre. Puis, pour faire ce travail, les chercheurs ont absolument besoin des villes et ont besoin d'une vraie coopération et de travaux qui sont réellement utilisés derrière. Cela n'a d'intérêt que si cela se passe entre les deux.

Je me suis aussi posé la question de l'évolution des pratiques. Il y a effectivement un changement de focale entre ce que l'on a vu pendant une période sur la question de l'atténuation du changement climatique et prendre en même temps l'atténuation et l'adaptation. C'est très important de les prendre en même temps parce que, par exemple, la climatisation est une réponse à l'adaptation : on a trop chaud, on appuie sur le bouton... Mais cela ne marche pas pour l'atténuation. On voit bien que l'on ne peut traiter les deux questions isolément. On n'aurait pas de problème d'atténuation, on aurait tout de suite la solution, on mettrait beaucoup de panneaux solaires, on a beaucoup d'électricité, et on n'aurait pas de souci. Il faut faire attention en étudiant bien les contre-effets. Par exemple, la végétation aura-t-elle de l'eau ? Donc il y a des aspects à prendre en compte en faisant très attention à ce que l'on fait. Puis, il y a vraiment une question d'interdisciplinarité à laquelle on ne peut pas échapper. C'est aussi l'une des principales difficultés de la recherche sur la ville.

On l'a vu aussi, cela a été repris tout à l'heure, on a des solutions, on en a beaucoup, on ne les a peut-être pas toutes. Il y a aussi des aspects que l'on n'a peut-être pas encore très bien étudiés. Je me pose la question des panneaux solaires en ville car ça chauffe sacrément ! Quel serait l'impact d'une ville avec beaucoup de panneaux solaires ? Attention ! On a des solutions mais on est peut-être en train de mettre des éléments dans les villes qui sont des amplificateurs d'ICU. Il faut aussi avoir cette vision de l'ensemble de la surface urbaine et de l'ensemble des fonctions urbaines quand on regarde les dispositifs. On a ces solutions, elles sont plus ou moins efficaces. Pour moi, il y a un gros travail à faire d'évaluation des solutions, d'évaluation dans différents types de climats, différents types de villes, suivant là où elles sont. Il y a une vraie nécessité de connaissance de l'efficacité et des limites des solutions, il faut qu'on puisse donner à chaque fois des limites et puis, plus que donner des chiffres, raisonner sur ces solutions : comment elles fonctionnent, qu'est-ce qu'elles apportent, et donc comment on peut les utiliser suivant ce qu'elles apportent et comment elles fonctionnent dans le système urbain et le système thermique. Pour cela, il faut acquérir la connaissance du système urbain et de son fonctionnement. Ce serait intéressant de monitorer ce qu'on a vu tout à l'heure comme quartier parce que ce n'est que de l'isolation extérieure. Il y a moins de surface de stockage par rapport à la vieille ville,

cela ne va pas fonctionner de la même manière, les températures vont monter plus vite dans la journée mais elles seront moins chaudes la nuit. Donc on déplace un peu la problématique de l'îlot de chaleur urbain quand on met beaucoup d'isolation extérieure. Ça, ce sont des choses que l'on a besoin d'établir, d'étudier encore.

Au final, on se retrouve avec un problème qui est constitué de différentes échelles : dispositif, échelle du bâtiment, échelle de l'espace public, visions à l'échelle du quartier, visions à l'échelle de la ville – quand on parle de mettre en place un plan d'urbanisme, on raisonne sur de grandes notions qu'on décline un petit peu différemment suivant les zones mais qu'on ne peut pas donner par rue, on est donc bien obligé de raisonner à l'échelle de la ville. Quand on parle de forme urbaine, c'est aussi à l'échelle de la ville, des trames. Donc à chaque échelle on va décliner les problématiques. Les connaissances elles-mêmes ont été établies à différentes échelles. Les outils sont également à différentes échelles : on a besoin d'outils pour évaluer à l'échelle de la rue ou du quartier suivant les métiers qui vont être impliqués dans la chaîne de fabrication de la ville. Les urbanistes ont du coup besoin d'avoir la compréhension de ce fonctionnement, la compréhension de l'îlot de chaleur et des outils qu'ils ont à disposition pour le combattre. Il y a aussi un travail important de fabrication de ces outils.

Je me suis enfin demandé ce qu'il se passerait dans une vie idéale, dans un monde idéal. De mon point de vue de chercheur, ce dont j'aurais besoin pour étudier la ville, faire des mesures d'îlot de chaleur urbain, c'est de la donnée sur la ville. Par exemple, la donnée sur la végétation et l'eau. J'ai de la chance, j'ai une équipe qui m'a fourni une carte. Dans le projet, on a eu une carte avec des mesures hyperspectrales où l'on est capable de dire quels types d'arbres : feuillus, épineux etc., sont présents. Il y a des méthodes qui se mettent en place mais c'est un peu cher, on ne le refait pas tous les ans non plus, puis il y a également des limites. On a eu de la chance sur ce quartier et sur une grande partie de ville d'avoir cette étude-là. Mais on a besoin de savoir comment fonctionnent les sols, comment s'infiltrer l'eau pour avoir l'étude de l'îlot de chaleur urbain et, là-dessus, on n'a pas une grande connaissance. Quand on est allés faire des mesures dans les sols, on nous a dit que c'était du sol naturel, mais 50 centimètres plus loin il y avait du bitume et un ancien parking et personne ne s'en souvenait. Donc la connaissance du sol en ville n'est pas quelque chose de simple, quelquefois c'est plus imperméable qu'on ne le croit. Tous les matériaux des bâtiments vont jouer, mais on n'a pas cette donnée non plus. On ne sait pas si les bâtiments ont été réhabilités et encore moins comment ils utilisent l'énergie, s'ils ont des climatisations qui rejettent, et on ne va pas faire de relevés bâtiment par bâtiment. Donc, là, on est face à un vrai verrou, nous scientifiques.

Dans le monde idéal, qu'est-ce qu'on ferait sur une ville ? On expérimenterait des aménagements, on observerait les effets sur le long terme parce qu'on peut avoir des évolutions des aménagements sur le long terme, cela permet de comprendre. On peut aussi créer des modèles qui nous permettraient de projeter, d'évaluer des solutions plus ou moins réalistes, des solutions où l'on compose. On essaie d'arriver à un outil qui pourrait être un outil à l'usage des opérationnels des villes. Ce qui est également intéressant pour les chercheurs, c'est de savoir que ce que l'on fait est utile et utilisé, c'est-à-dire d'avoir du répondant : une forme de demande et d'échange avec les villes sur lesquelles on travaille

parce que cela fait se poser d'autres questions, avancer beaucoup plus la recherche vers les directions qui sont réellement intéressantes. Le chercheur a aussi quelquefois tendance à se noyer dans un verre d'eau, à creuser un sujet qui l'intéresse sans qu'il y ait d'application directe, c'est normal.

J'ai fait un exercice un peu plus difficile pour moi, même si j'observe beaucoup de terrains, pour me demander quelle serait la demande : avoir la connaissance et les outils dans les villes – on n'a pas trop de temps, même sur les bilans carbone j'ai bien vu que c'était difficile, vous avez des outils mais il faut aussi avoir du temps à investir pour fournir toute la donnée – pour pouvoir décider assez rapidement mais aussi convaincre que des mesures sont efficaces. Il faut aussi avoir la possibilité d'expérimenter des choses. C'était intéressant, à Lyon, de pouvoir expérimenter une rue. On en tire un résultat positif ou négatif mais, au moins, on l'a fait et on a une réponse. C'est important de pouvoir expérimenter sans trop de risques. Et puis voir si les politiques que l'on met en place vont dans les bonnes directions. Par exemple, quand on met des règles dans le PLU, pouvoir dire que je mets ça et que j'ai raison de le mettre parce que cela va être efficace, ce n'est pas simple. Et puis je vois que, sur le projet urbain, la plus grosse difficulté c'est de prendre en compte ces questions de climat au milieu de beaucoup d'autres choses : il y a l' élu qui veut absolument que telle école ou que le casino soit installés là, etc., ce qui fait qu'on peut se retrouver avec une pression qui fait que les bonnes intentions de départ sont difficiles à maintenir dans le temps du projet.

La question de l'usager, l'usager des villes, a été un peu absente – l'usager dans sa variété, on a des usagers très différents et on a du mal à raisonner pour l'ensemble des usagers. Dans leur monde idéal, est-ce que la question de l'adaptation climatique est importante ? La question de confort des espaces intérieurs et extérieurs l'est très certainement. La question du changement climatique est encore difficile à intégrer. Il y a de plus en plus de communication sur ce sujet, cela commence à rentrer dans les discussions un peu plus facilement mais on entend encore beaucoup, et c'est assez naturel : « Moi, ça me va bien si on a le climat de la Corse. » Il n'y a pas forcément de vision de ce que cela peut donner pour l'ensemble des populations car tout le monde ne va pas vivre de la même manière ce climat-là.

On peut se poser la question de la capacité des habitants à s'adapter. Il faut déjà avoir une approche socioculturelle parce que, les espaces verts, tout le monde ne les utilise pas de la même manière. On a de plus en plus différentes cultures dans une même ville. Il y a des pays où cela ne se fait pas de s'asseoir dans un espace vert, s'il n'y a pas le mobilier l'espace ne sera pas utilisé parce que cela ne se fait pas. On l'a vu dans les enquêtes que l'on a faites sur les espaces verts : « Je ne fais que traverser parce que cela ne se fait pas de s'asseoir dans l'herbe. » Et encore faut-il qu'il y ait de la pelouse pour s'asseoir. De la même façon, vous pouvez mettre des fontaines pour se rafraîchir, il y a une jeune population à qui cela va beaucoup plaire mais je doute que les papis que vous voyez ici, accablés par la chaleur, vont aller dans la fontaine. En fonction des âges, des cultures, des quartiers – quartier d'affaires, etc. –, il y aura différents espaces à proposer pour qu'ils puissent répondre à une forme d'adaptation.

Je pense qu'il y a des choses à apprendre des pays un peu plus chauds que les nôtres, même si l'adaptation ne va pas se faire très rapidement, dans cinquante ans peut-être. Mais si on a déjà dans dix ans un peu plus de canicules, il y aura des personnes qui ne seront encore pas adaptées. L'adaptation va se faire progressivement mais il faut aussi compter un petit peu dessus. Dans les villes, on va peut-être pouvoir, avec des solutions d'adaptation, gagner les 2, 3, 4, 5°C de l'îlot de chaleur urbain mais on ne rattrapera pas tous les degrés du changement climatique, ce n'est pas possible. Les gens n'iront peut-être plus à Nice, la Bretagne et la Région Nord seront peut-être plébiscitées... En attendant, pour ceux qui resteront et qui n'auront pas cette capacité d'adaptation, pour des raisons financières ou autres, il faudra bien trouver le moyen de leur proposer des espaces en ville.

Participants

Virginie Bathellier, Directrice de la plate-forme POPSU

Katia Chancibault, Chargée de recherche, Laboratoire Eau & Environnement, Département géotechnique, environnement, risques naturels et sciences de la Terre, IFSTTAR

Armelle Ecolan, Chargée d'études en urbanisme, Rennes Métropole

Xavier Foissard, Doctorant en géographie, climatologie urbaine – Attaché temporaire à l'enseignement et à la recherche, Université Rennes 2

Beatrix Gasienica-Wawrytko, Vienna University of Technology

Christina Ipster, Danube University Krems – Department for Building and Environment – Center for Real Estate and Facility Management

Pierre Jutras, Chef de section Biodiversité et Ecologie urbaine, Ville de Montréal

Martine Koenig, Adjointe mission spécifique, Direction générale du développement urbain et durable, Toulouse Métropole

Christelle Leproust, Responsable du Service environnement-énergie, Rennes Métropole

Alban Mallet, Coordonnateur du Plan Climat Energie Territorial de Nantes Métropole

Jean-Baptiste Marie, Secrétaire scientifique du programme POPSU

Marc Montlleo, Directeur de projet de l'environnement, Barcelona Regional

Marjorie Musy, Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

Anne Peré, Enseignant-chercheur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Toulouse

Céline Philipps, Service climat, Ademe

Luce Ponsar, Chef de projet Plan climat, Grand Lyon – Stratégies d'agglomération

Jürgen Preiss, ville de Vienne

Serge Salat, Président de l'Institut des morphologies urbaines et des systèmes complexes

Bernhard Schaft, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Jean-Jacques Terrin, Responsable scientifique du programme POPSU Europe

Maja Zuvela-Aloise, ZAMG – Central Institute for Meteorology and Geodynamics