

Forme urbaine, climat urbain et consommation énergétique

Manon Kohler, Benjamin Pohl, Justin Emery et
Cécile Tannier

Colloque du laboratoire ThéMA
Dijon, 10 janvier 2014

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus, agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus, agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Projets : ODIT-CEUP, Vilmodes

Statutaires : Pierre, Hélène, Jean-Philippe, Cécile

Thèses, post-docs : Marc, Maxime, Manon

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus, agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Projets : Vilmodes...

Statutaires : Thomas T., Hélène, Pierre

Thèses : Justin, Nicolas, Paul-Marie

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus, agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Projets : ODIT-CEUP

Statutaires : Anne GB, Cécile

Thèse : Joanne

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus, agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Projets : Movidia, ODIT-CEUP, TELEM

Statutaires : Benjamin M., Thomas T., Thomas B., Hélène

Thèses, post-docs : Nicolas, Maxime, David

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes,
autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus,
agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Projets : ETTIC, TELEM

Statutaires : Marie-Hélène, Thomas B., Philippe

Post-doc : Manon

Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine

Forme urbaine

Bâti, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Niveaux d'analyse : micro-local, local, agglomération

Comportements des habitants

Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Niveaux d'analyse : individuel, groupes d'individus, agglomération

Climat urbain

Températures, vents, humidité

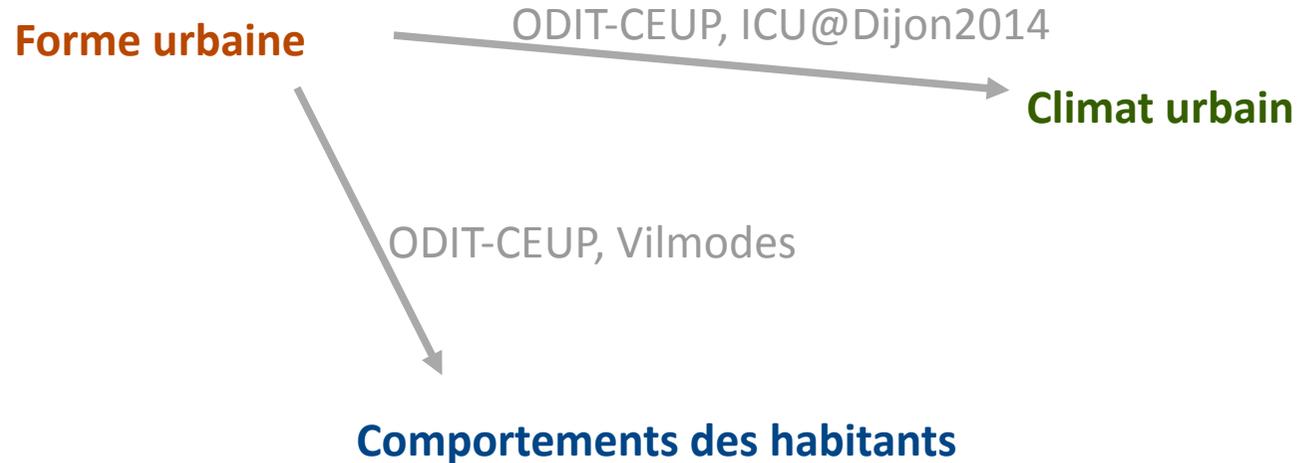
Niveaux d'analyse : micro-local, local, régional, national

Projets : ICU@Dijon2014, ODIT-CEUP

Statutaires : Benjamin Pohl, Yves Richard (CRC), Daniel

Thèse, post-doc : Manon, Justin

Relations étudiées



Modèles de simulation : Mobisim, WRF

Scénarios sur la forme urbaine : planification urbaine, aménagements (création ou modification des infrastructures, tarification...)

Scénarios sur des évolutions de contexte : hausse du prix du carburant, changements démographiques...

Objectif : estimation des dépenses énergétiques

Mobilités quotidiennes des individus

Chauffage des logements : prise en compte conjointe de la forme urbaine, du climat urbain et du type de ménage résidant dans le logement (caractéristiques démographiques)

Niveaux d'analyse : IRIS/communes, agglomération



« Colloque du laboratoire ThéMa »:

Un modèle pour un diagnostic rapide et prospectif des demandes énergétiques des bâtiments à l'échelle d'un territoire

Travaux réalisés dans la cadre de la thèse de Manon Kohler
Encadrement: A. Clappier, N. Blond (LIVE, Strasbourg)

Une problématique mondiale:

Changement climatique

- Le bâtiment: 21% des émissions de GES

Raréfaction des énergies fossiles Et des alternatives réellement durables?

global

Des villes...

Vulnérables?

- ~70% des dépenses énergétiques mondiales et 40% de l'énergie pour le bâtiment
- Concentre (population et les activités économiques) → pollution atmosphérique, canicule
- Climat urbain (notamment l'**îlot de chaleur urbain**)

Le lieu de stratégies d'adaptation ?

- Application politique nationale: Plan Climat Energie Territorial (PCET)
- Aménagement du territoire (demande et production de l'énergie)
- Structure et élément du tissu urbain (performance énergétique et climat urbain)

local



Deux préoccupations:

1) Diagnostic actuel et prospectif des dépenses énergétiques des bâtiments (évaluer les stratégies d'adaptation)

2) Quel est le lien entre les dépenses énergétiques des bâtiments, le climat urbain et la forme urbaine?



Evaluation des dépenses énergétiques

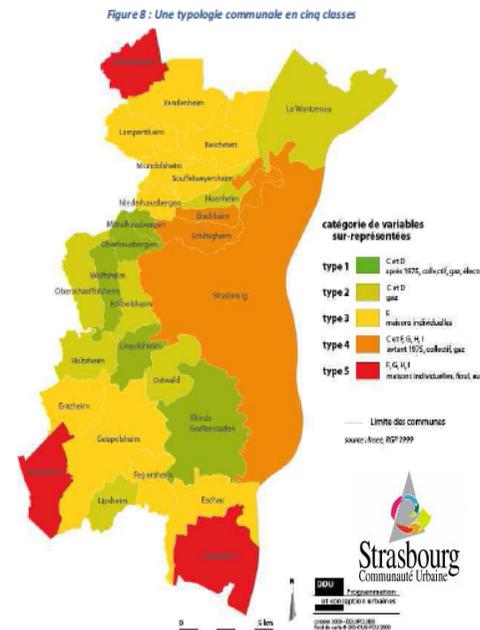


- Monitoring
- Agrégation de factures énergétiques
- Modèle numérique d'énergie de bâtiment

- via le caractéristiques du parc immobilier
- via la thermographie



Prototype INCAS
(Inès, LOCIE, CEA, LISTIC à Chambéry)



Le Courrier de l'ouest

Inconvénients majeurs:

- peu en compte les **conditions météorologiques locales** et les **comportements individuels**
- **prospectif** est **difficile!**
- **dépenses = demandes ou déperditions**

Le climat urbain



Facteurs astronomiques
et géographiques

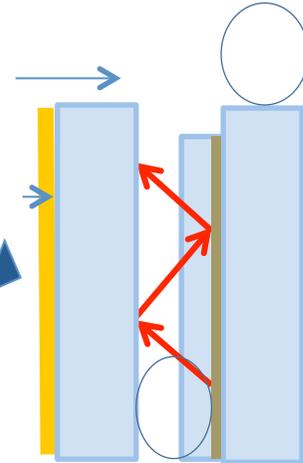


GLOBALE
(500KM)



Occupation du sol

VILLE
(100KM)



QUARTIER
(10M)

- Forme des bâtiments
- Densité du tissu urbain



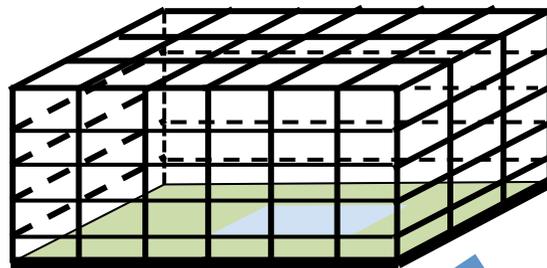
BÂTIMENT
(1M)

- Propriétés des matériaux
- Chaleur anthropique¹⁵

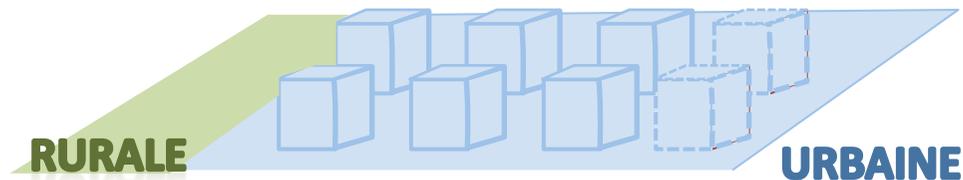
Le système de modèles météorologique

MODÈLE ATMOSPHÉRIQUE RÉGIONAL

(EX. Weather Research Forecasting WRF)



PARAMETRISATION DE SURFACE



Modèle NOAH LSM:
→ rugosité
→ modèle de sol et de végétation (humidité)

Modèles BEP + BEM:
→ Géométrie simplifiée
→ Effet des bâtiments sur l'atmosphère
→ Demande énergétique des bâtiments



Par maille:

- Fraction « urbaine »
- Fraction « rurale » ... sans interactions directes



Demande énergétique des bâtiments

Source de chaleur

Radiation solaire

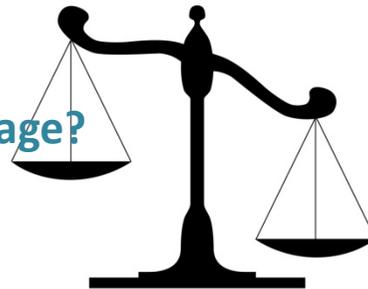
Occupants

Equipements

$$19.35^{\circ}\text{C} < T_{\text{confort}} < 20.2^{\circ}\text{C}$$

$T_{\text{room}} ?$

Chauffage?



Possible perte de chaleur

Ventilation

Conduction (mur et fenêtre)

→ Conditions météorologiques environnantes

→ ~Présence et comportement des individus

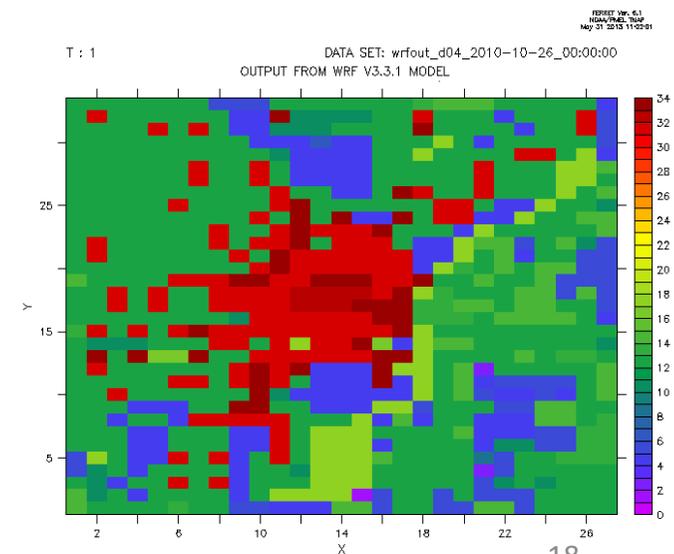
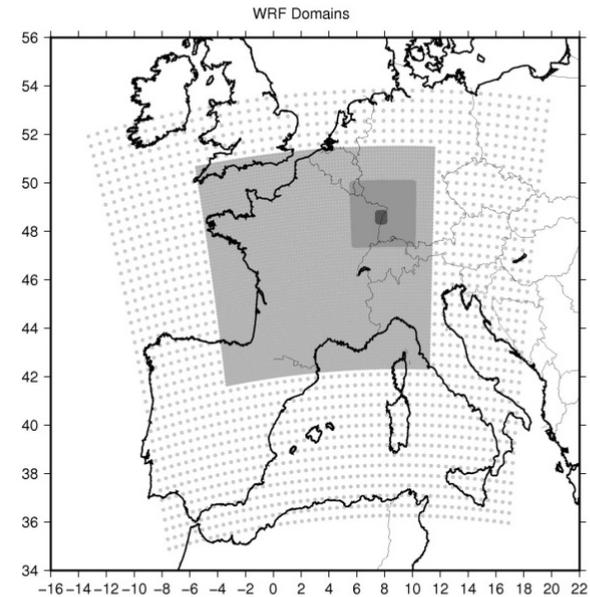
Application sur Strasbourg (1)

- Le modèle atmosphérique WRF :

- **La grille:** 4 domaines (45/15/3/1 km) et 28 niveaux verticaux → équations thermodynamiques
- **Les forçages météorologiques:** modèle atmosphérique global AVN toutes les 6 heures 
- **Les conditions aux limites de surface:**

* topographie, type de sol, température du sol annuelle, albédo mensuel...etc : NCAR

* occupation du sol/fraction urbaine: BDOCS 2008 CIGAL + MODIS (~950m)

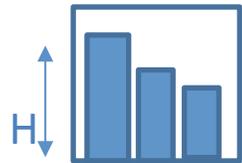


Application sur Strasbourg (2)

Le modèle urbain BEP (3 classes urbaines):

- morphologies du bâti (BDtopo2008, IGN):*

Profil de hauteur des bâtiments



H1,..., H7: % bâtiments

Dimensions des canyons

B: 30x25 m

W: 7x7 m

	High dense	Enveloppe (m ²)	Volume (m ³)
BD _{Topo}		7.097.212	29.477.530
WRF		7.062.336	29.303.536

- orientation des canyons (Google Earth)*

Le modèle bâtiment BEM :



Fenêtre
15%



Équipements
3.4 W/m²



T_{confort}
19.85°C (293°K)

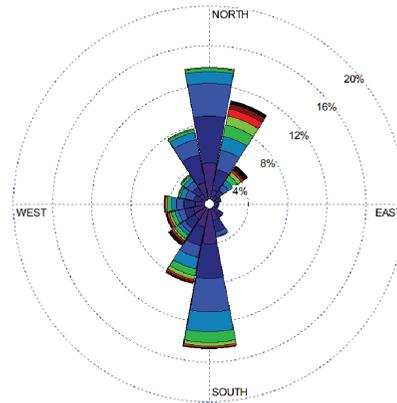


Personnes (60W)
~1.1 pers. / 100 m² d'étage

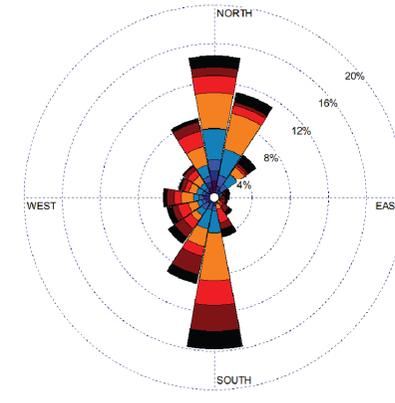
Validation et résultat sur Strasbourg

La vitesse et la direction du vent (Entzheim):

Entzheim-Observed windrose



Entzheim-Wind direction errors



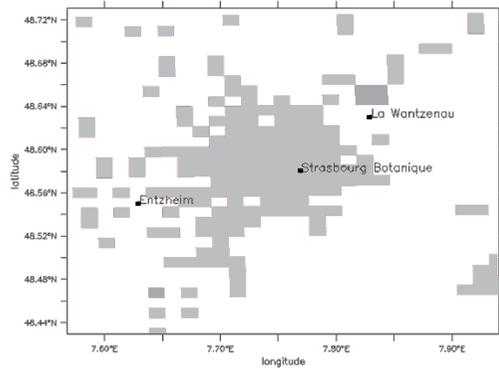
WIND SPEED (m/s)

- > 10
- 8.5 - 10.0
- 7.0 - 8.4
- 5.5 - 6.9
- 3.9 - 5.4
- 2.4 - 3.8
- 1.9 - 2.3
- 1.4 - 1.8
- < 1.4

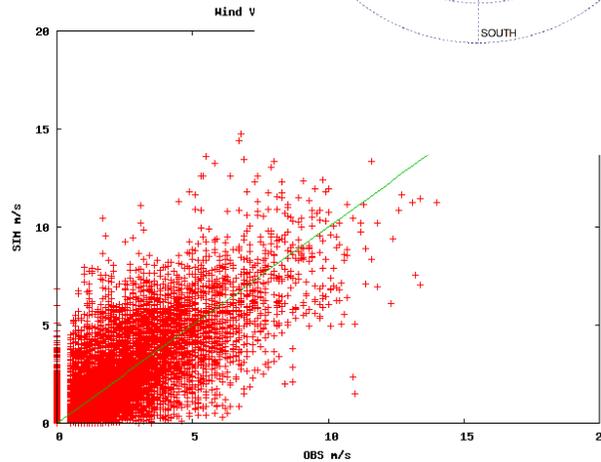
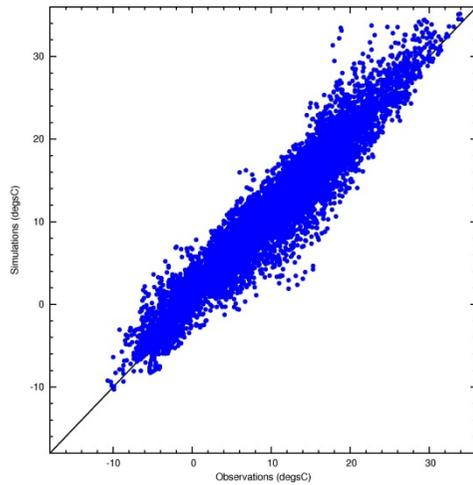
Calms: 10.21%

The smallest angle (°)

- >90
- 45 to 90
- 22.5 to 45
- 0 to 22.5
- 0
- 22.5 to 0
- 45 to -22.5
- 90 to -45
- >-90



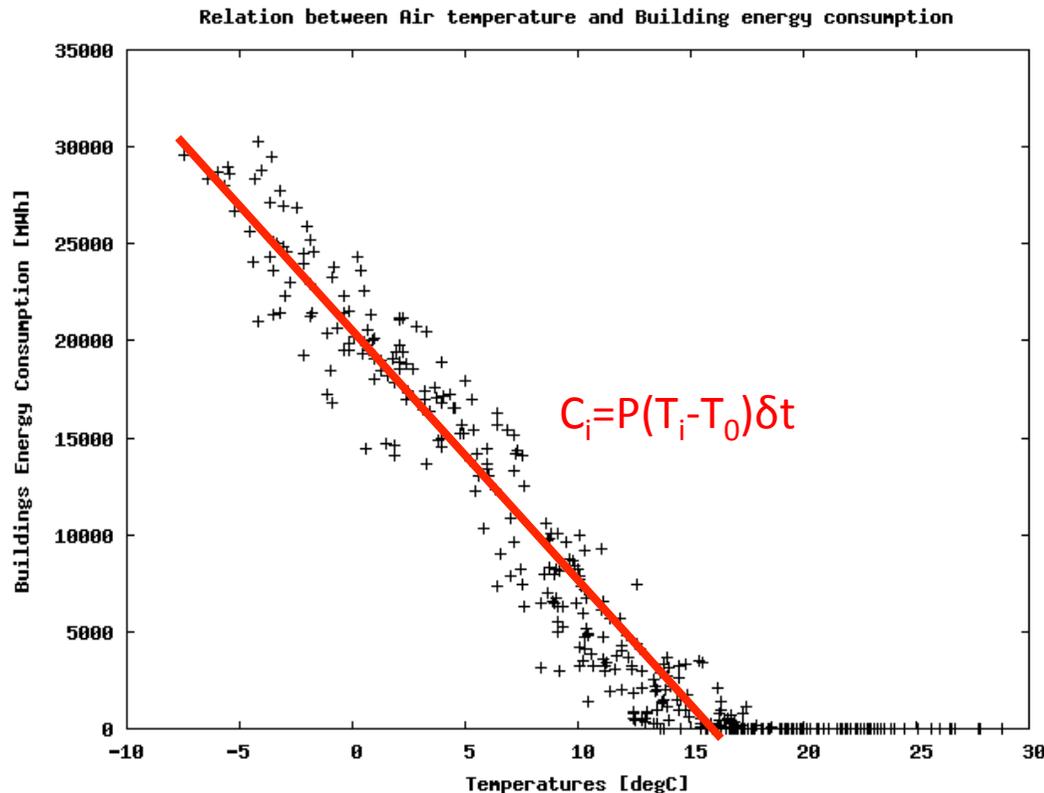
La température de l'air à 2m (Botanique):



→ Demande énergétique C:

	WRF	ASPA
C₂₀₁₀ (en GJ)	11,370,291.84	15,274,755.00

Le modèle linéaire d'évaluation des demandes énergétiques



$P = -1278.35 \text{ MWh}/^\circ\text{C}$

$T_0 = 15.92^\circ\text{C}$

$$C_{\Delta t} = \sum_{i=1}^{\Delta t} C_i \delta t = P \sum_{i=1}^{\Delta t} (T_i - T_0) \delta t$$

Degré Jour de chauffe $T_i < T_0$

→ Connaissant P et T_0 on peut calculer la consommation pour une durée déterminée

→ Relation également vraie pour type de tissu urbain donné!

	P	T_0
High dense	-736.49	15.80
Low dense	-775.02	15.84
Commercial estate	-936.00	15.81

→ Connaissant 2 températures moyennes annuelles et deux consommations annuelles moyennes => P et T_0

Sensibilité de P et T₀ (sans étalement urbain)

- Caractéristiques radiatives et thermiques des bâtiments (albédo et isolation)
- La morphologie et densité des bâtiments (fraction urbaine, taille des bâtiments)
- La chaleur anthropiques (température de confort)

Exemple: Résultats pour l'albédo des toits pour une année 2010

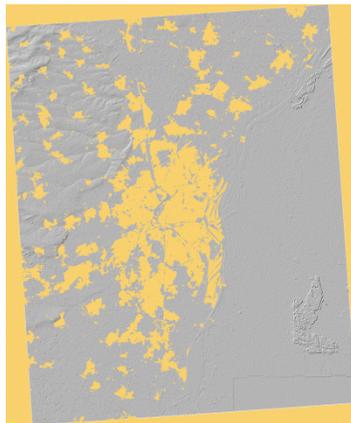
	Cas de base (0.1 tuile ou gravier)	Scénario 1 (0.3 ~tuile)
Demande énergétique	11,370,291.84 GJ	11,897,859 GJ (+4%)
MBS (°C)	-	-0.08°C

Conclusion et perspectives

Un outil de diagnostic des demandes énergétiques :

- Échelle de la **ville ou d'un quartier** (P, T₀)
- Prend en compte les **conditions météorologiques** locales
- Peut être **prospectif** en prenant en compte l'étalement urbain (*en cours...*)

Scénario de développement
urbain de Strasbourg



Avec et sans préservation

Etalement urbain diffus: 100% des pixels

Comblement des dents creuses: 100% des pixels

Etalement urbain radioconcentrique:

- 50% des pixels dans l'aire morphologique
- 50% des pixels à proximité des routes principales

Plusieurs étapes et collaborations (C.Tannier, JC Foltete et R. Aguejdad):

1. Cartographie des zones constructibles (logiciel MorphoLim, Graphab)
2. Estimation du taux d'urbanisation: OCSOL 2008 – OCSOL 2000= 749 ha en 8 ans
3. Développement urbain: SLEUTHR*
4. Affectation des nouvelles zones artificialisées : High, Low et commercial

Simulation numérique du climat urbain : Résultats Préliminaires

CRC & ThéMA

benjamin.pohl@u-bourgogne.fr
justin.emery@u-bourgogne.fr



BIOGÉOSCIENCES



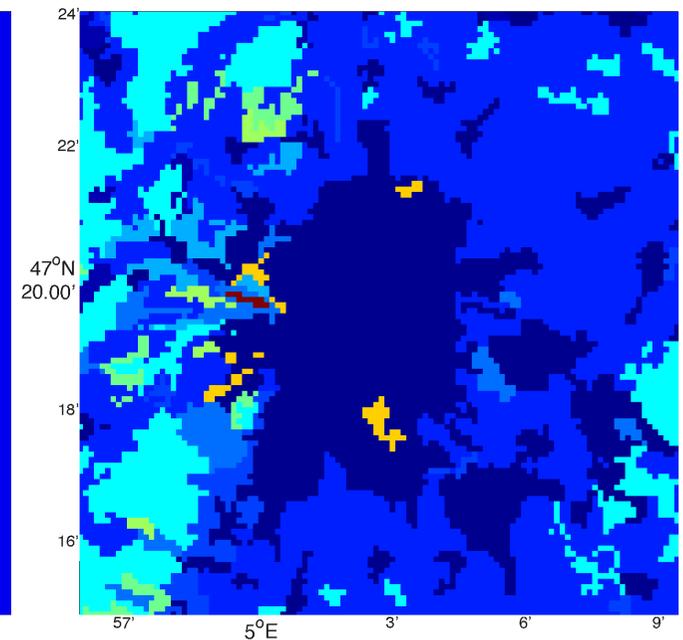
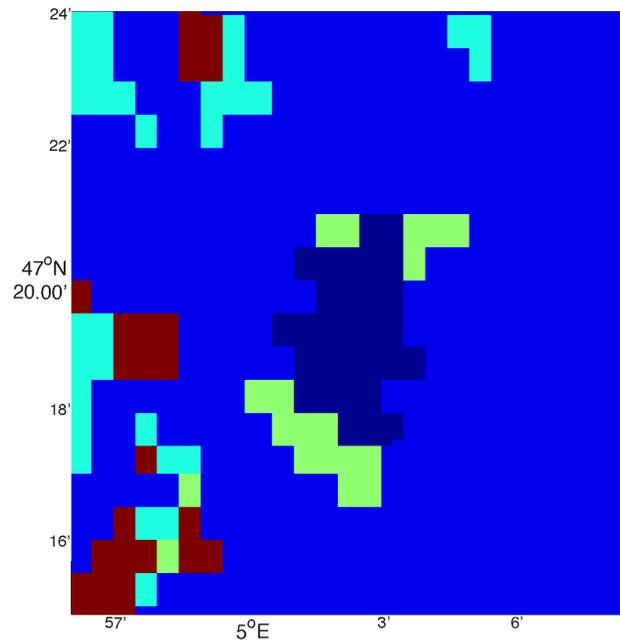
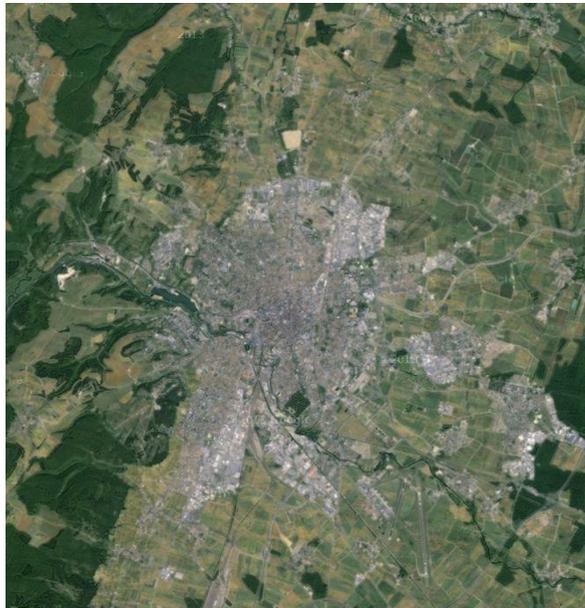
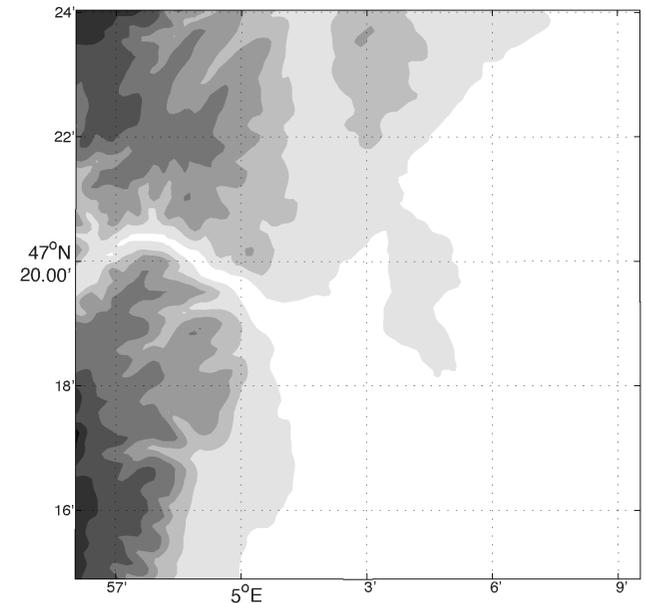
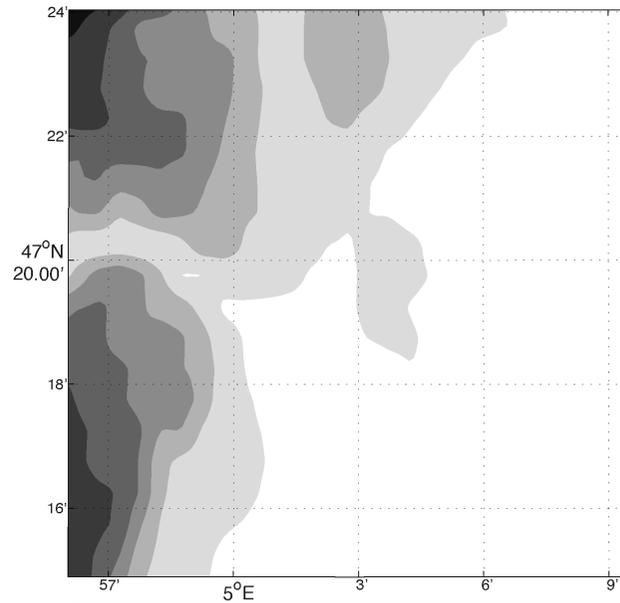


Partie 1 :
LA MORPHOLOGIE URBAINE
DIJONNAISE

Les besoins en terme de morphologie urbaine

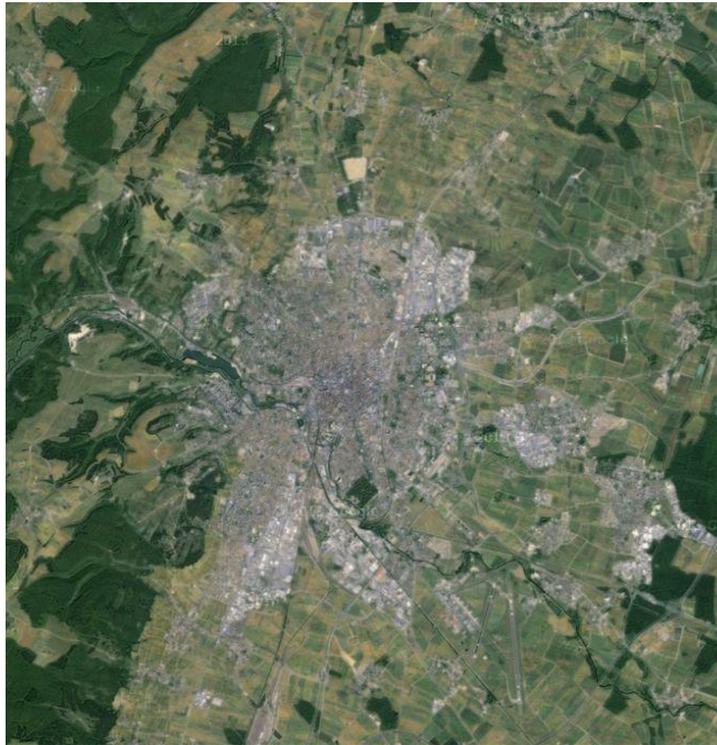
Vu la problématique, inclure d'une manière ou d'une autre la morphologie urbaine et le contexte topographique de la région d'intérêt.

Exemples : topographie (↗) et occupation du sol (↘) "par défaut" et "retravaillées" autour du Grand Dijon



La morphologie Dijonnaise :

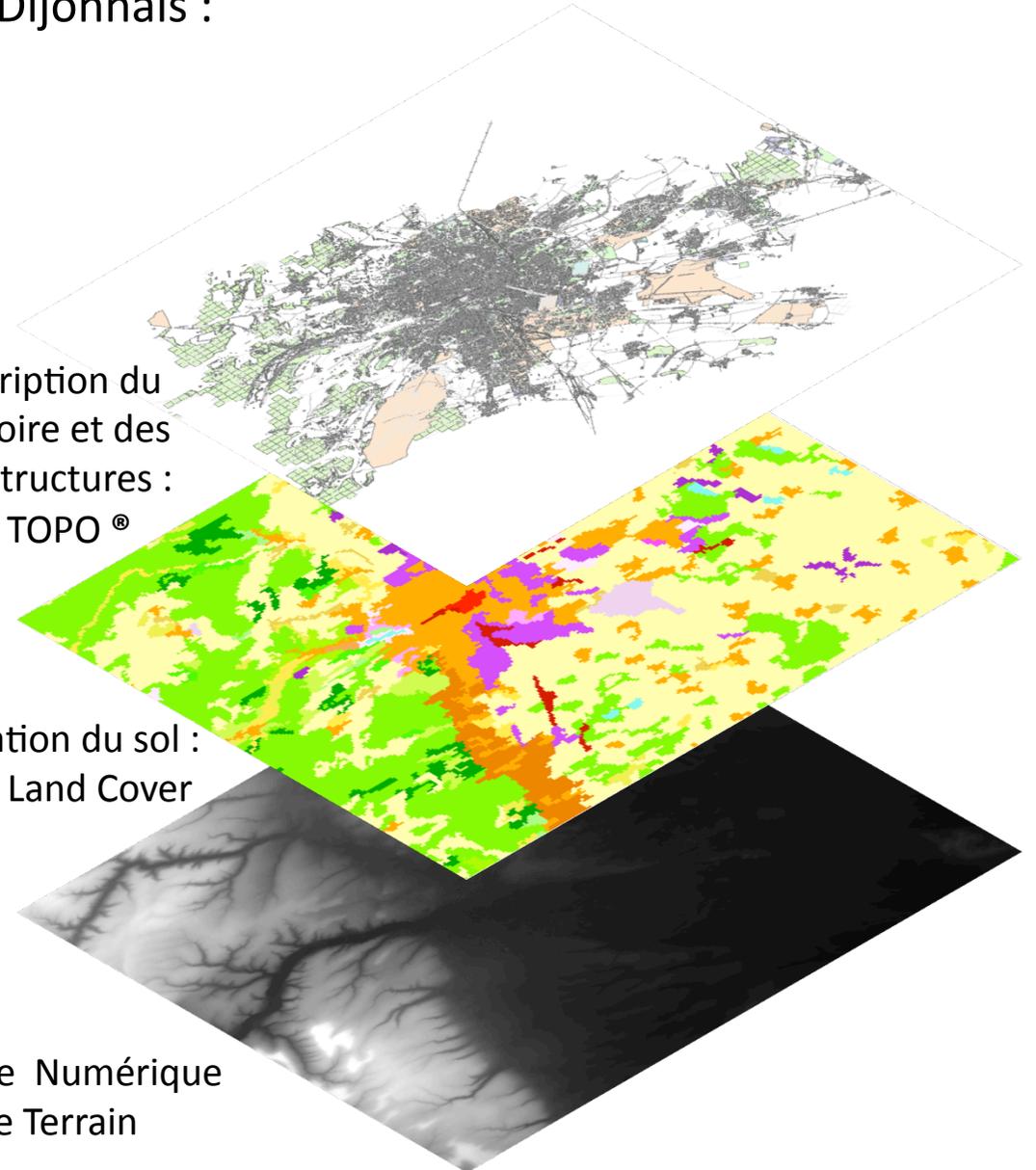
Un travail sur **trois types de jeux de données complémentaires** pour décrire l'espace urbain Dijonnais :



Description du territoire et des infrastructures :
BD TOPO®

Occupation du sol :
Corine Land Cover

Modèle Numérique
de Terrain



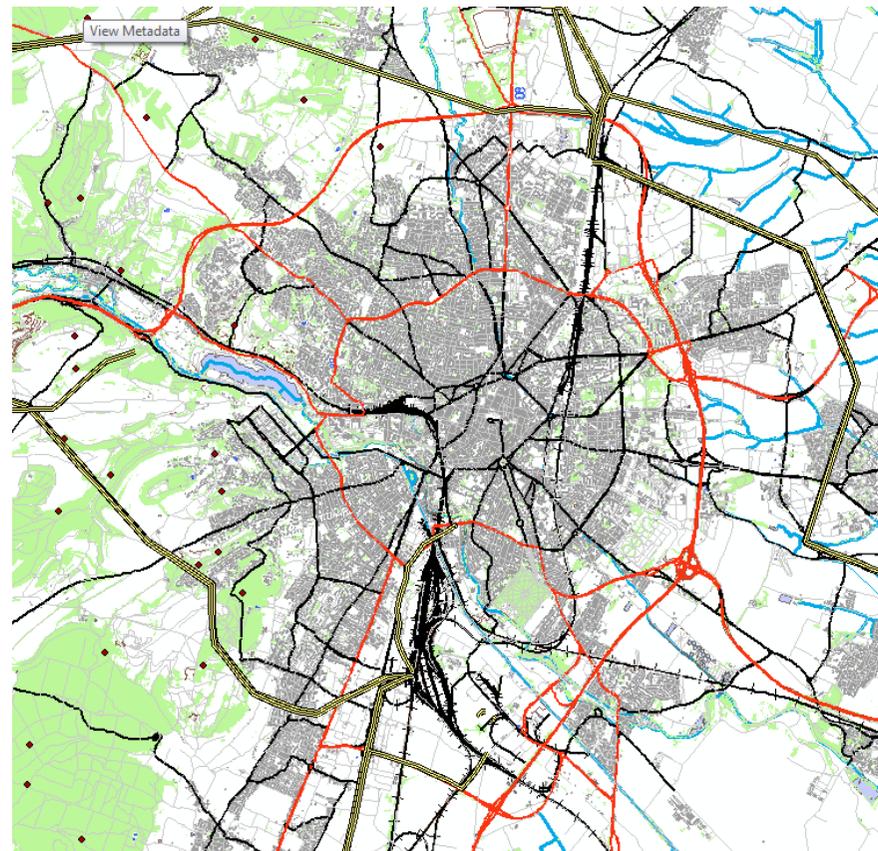
La morphologie Dijonnaise :

La BD TOPO® de l'IGN :

- Référentiel pour les **problématiques d'aménagement, d'environnement et d'urbanisme**
- Echelle allant du 1 : 5 000 à 1 : 50 000
- Précision **métrique**
- Description **géométrique** de l'espace : **Vectorisation** des informations
- Modélisation **3D du territoire et de ses infrastructures** par photogrammétrie

Thématiques de la BD TOPO® :

- ✓ **Structure administrative**
- ✓ **Les points d'intérêt**
- ✓ **La toponymie**
- ✓ **Réseau routier**
- ✓ **Réseau ferroviaire**
- ✓ **Réseau de transport d'énergie**
- ✓ **Réseau hydrologique**
- ✓ **Les bâtiments**
- ✓ **La végétation arborée**
- ✓ **L'orographie**



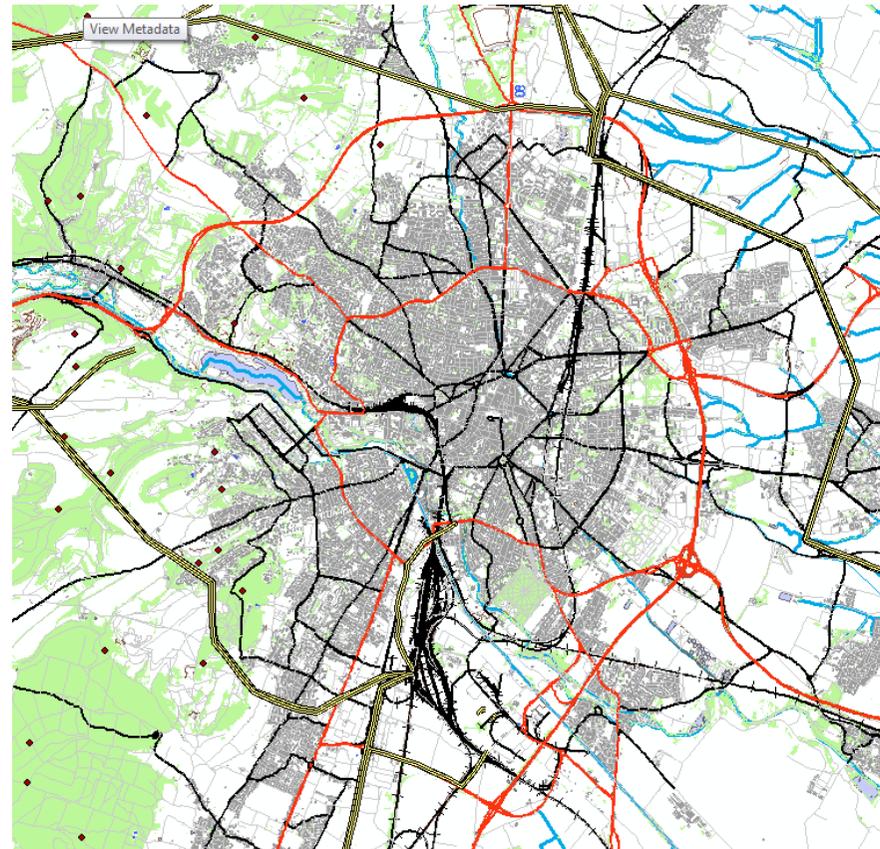
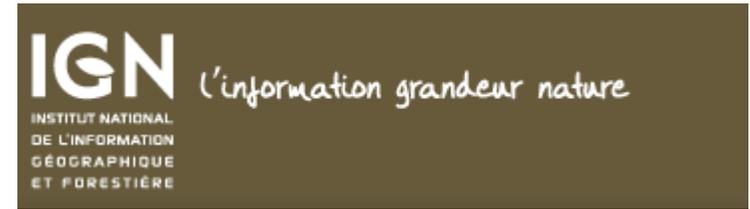
La morphologie Dijonnaise :

La BD TOPO® de l'IGN :

- Référentiel pour les **problématiques d'aménagement, d'environnement et d'urbanisme**
- Echelle allant du 1 : 5 000 à 1 : 50 000
- Précision **métrique**
- Description **géométrique** de l'espace : **Vectorisation** des informations
- Modélisation **3D du territoire et de ses infrastructures** par photogrammétrie

Thématiques de la BD TOPO® :

- ✓ Structure administrative
- ✓ Les points d'intérêt
- ✓ La toponymie
- ✓ **Réseau routier**
- ✓ **Réseau ferroviaire**
- ✓ Réseau de transport d'énergie
- ✓ Réseau hydrologique
- ✓ **Les bâtiments**
- ✓ **La végétation arborée**
- ✓ L'orographie



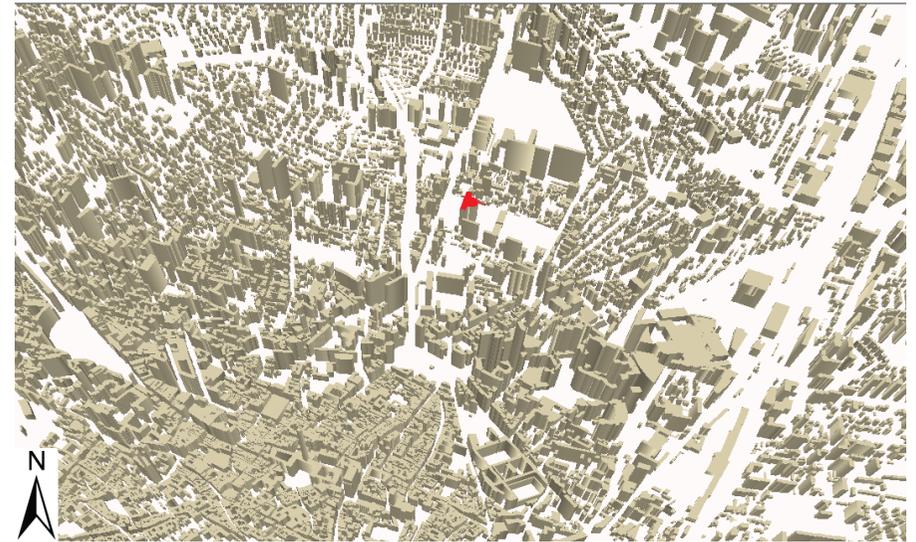
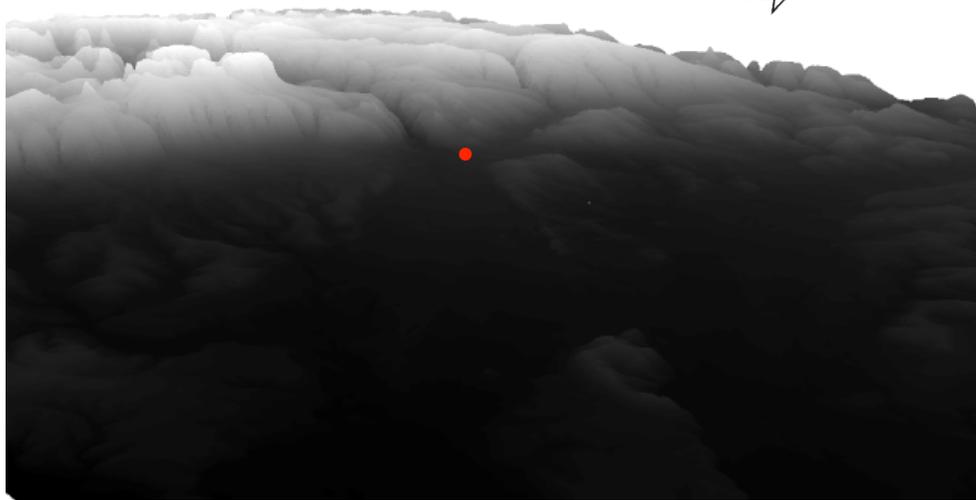
La morphologie Dijonnaise :

Intégration de la hauteur du bâti avec le modèle de surface :



« La hauteur d'un bâtiment correspond à la **différence entre le Z maximal du pourtour du bâtiment et le Z minimal situé au pied du bâtiment** en mètres »

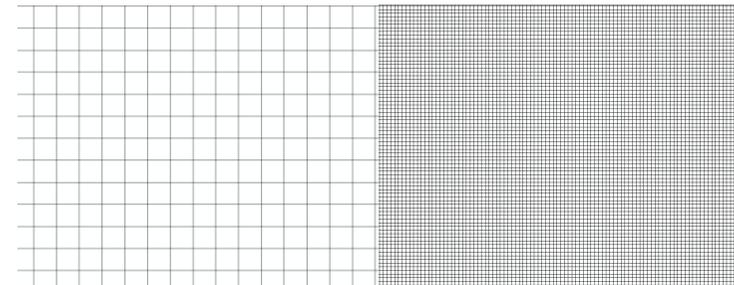
Altitude au sol issue du MNT
Moyenne résolution



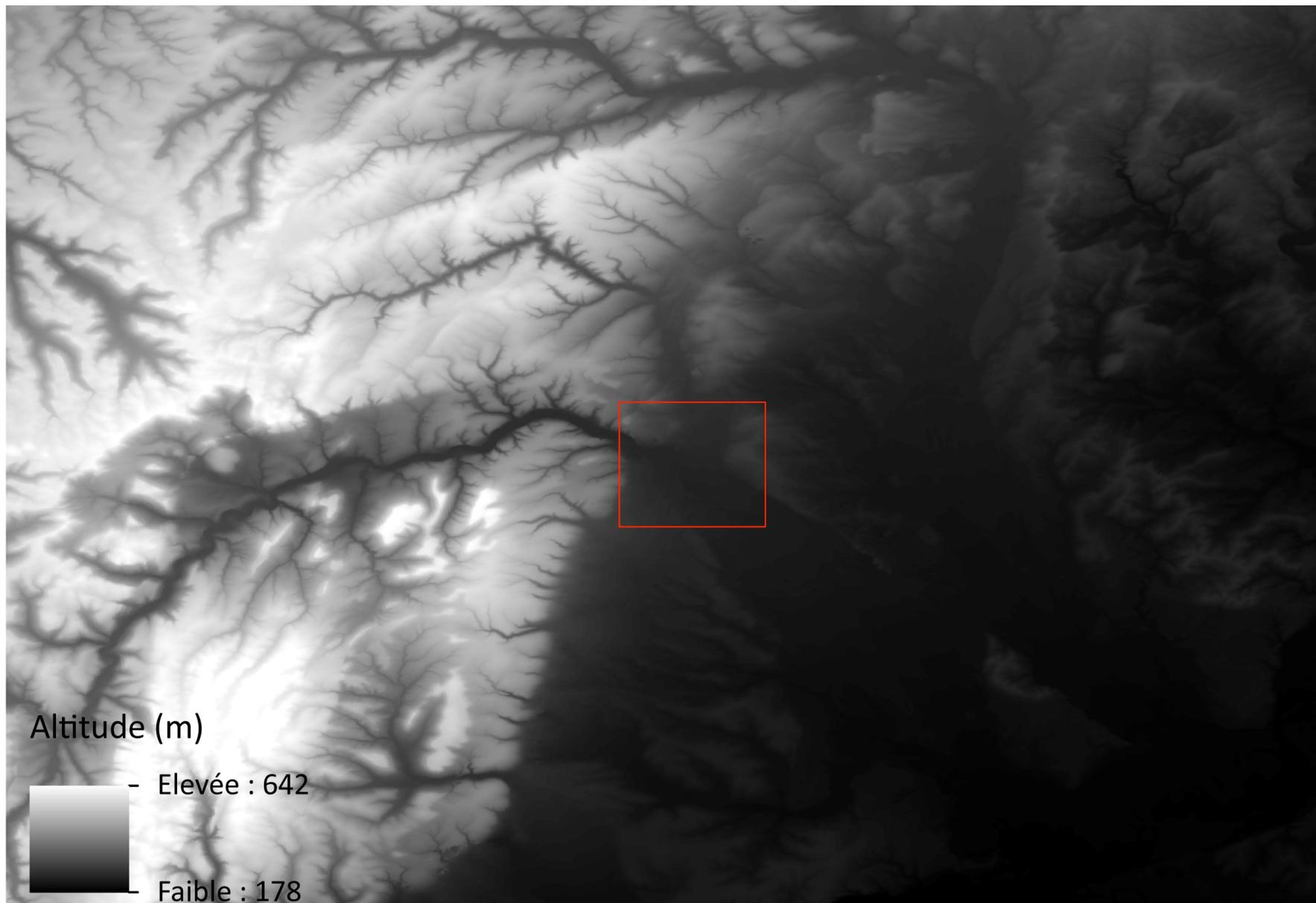
La hauteur des bâtiments issue de la
BD TOPO®
Haute résolution



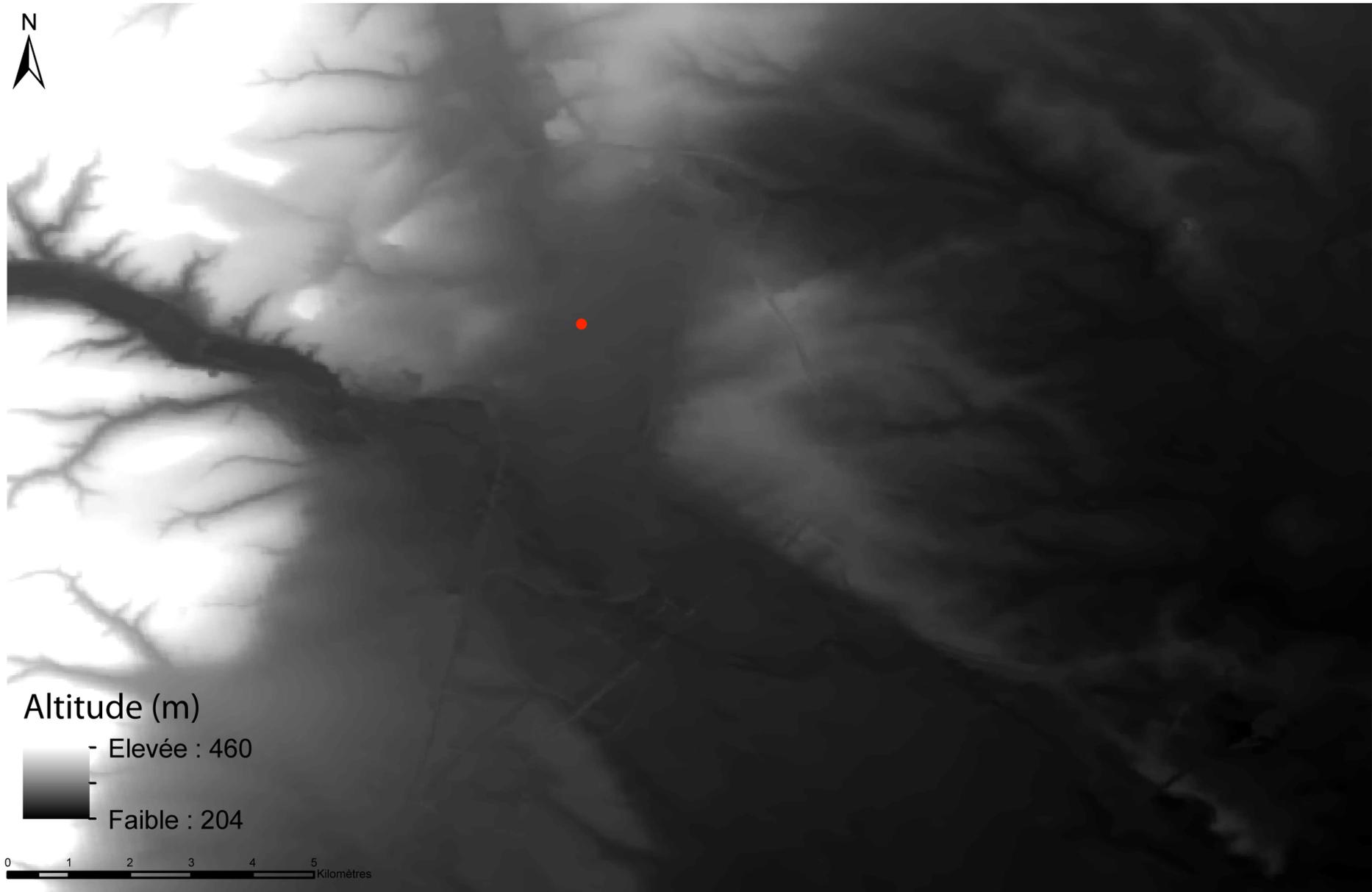
Le rééchantillonnage
25 m → 1 m



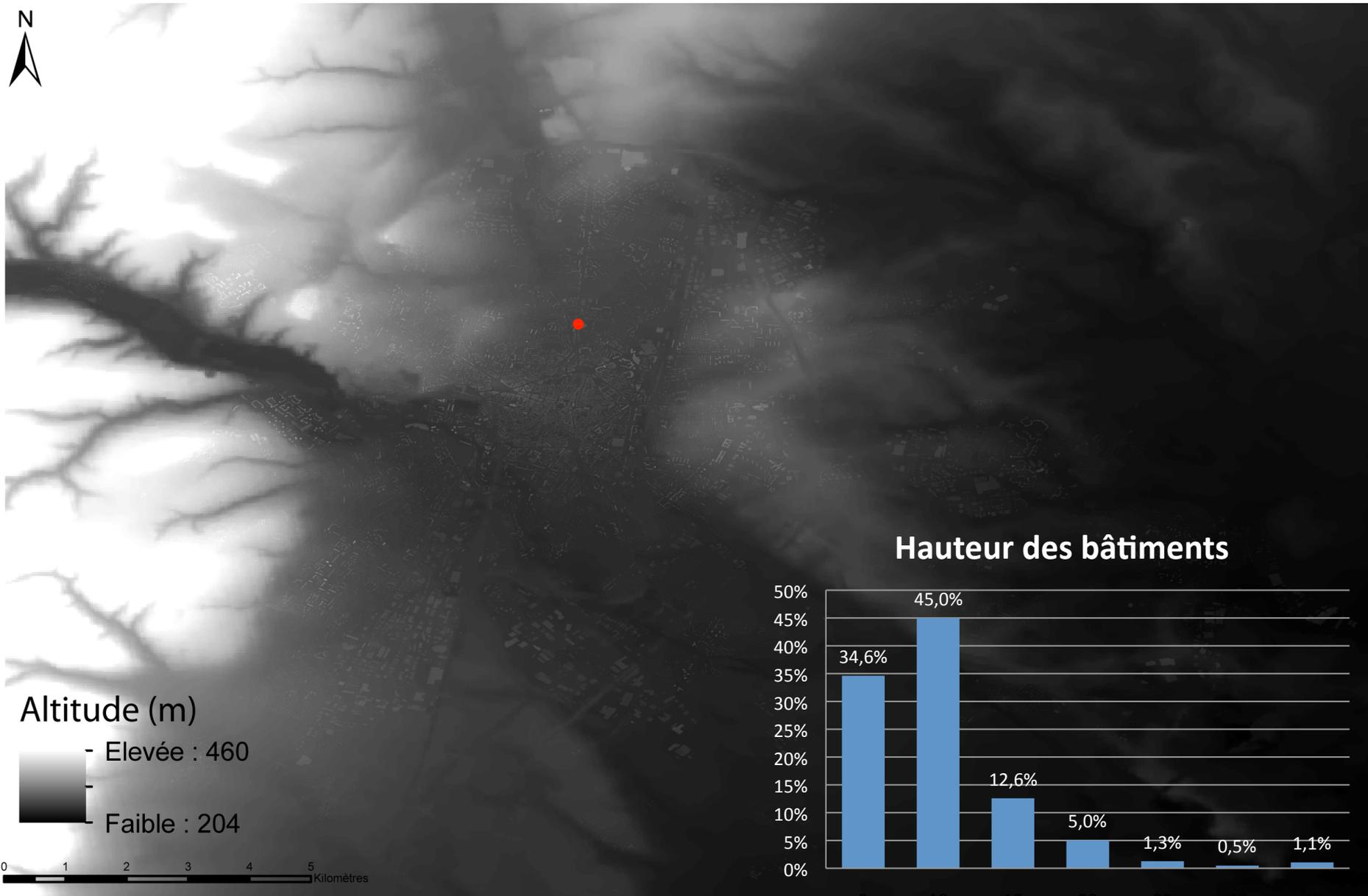
La morphologie Dijonnaise :



La morphologie Dijonnaise :



La morphologie Dijonnaise :



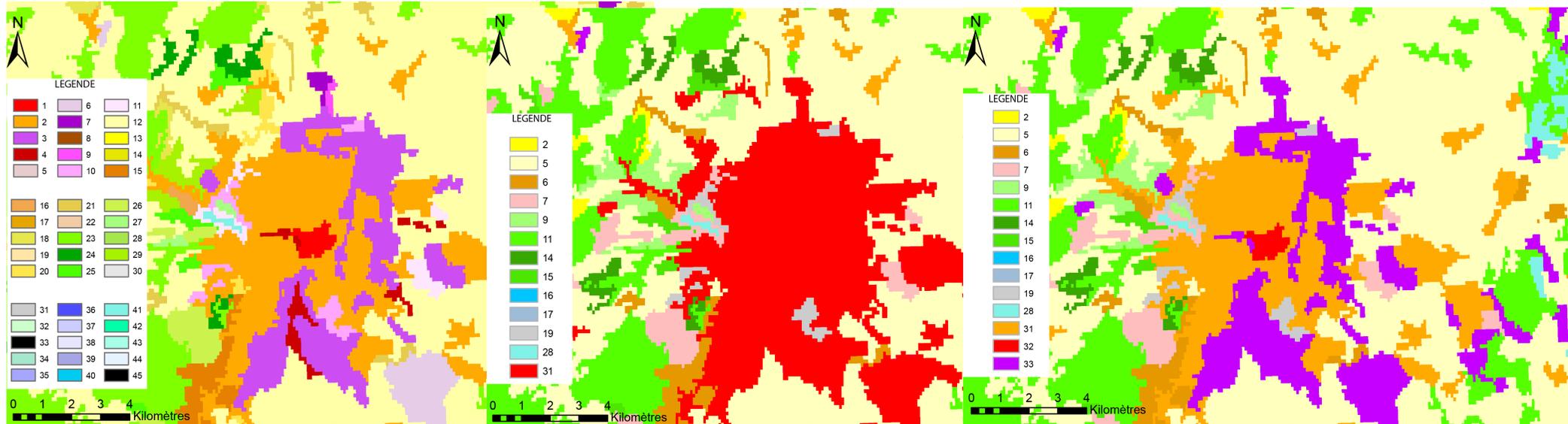
La morphologie Dijonnaise :



La morphologie Dijonnaise :

Des paramètres d'occupation du sol affinés :

Corine Land Cover → Une classe urbaine → Trois classes urbaines



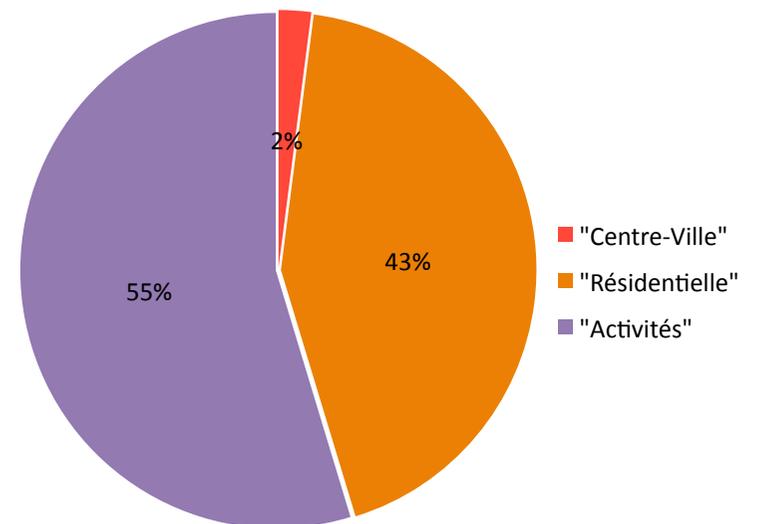
Représentativité des classes sur l'ensemble du Grand Dijon :

Sur la surface totale Grand Dijon → **31 % d'emprise spatiale**

« Centre-Ville » → **0,5 %**

« Résidentielle » → **17 %**

« Activité » → **13 %**

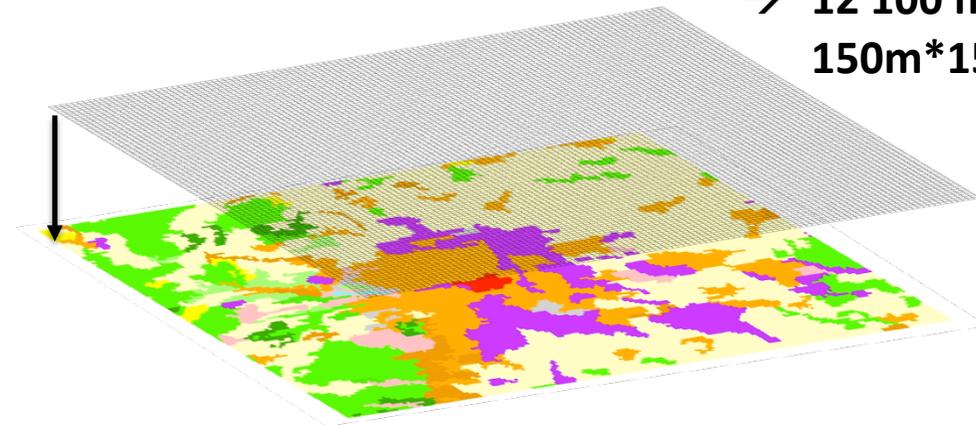


La morphologie Dijonnaise :

Des paramètres d'occupation du sol affinés :

→ Des indicateurs globaux ...

- ✓ La surface végétalisée
- ✓ La surface de bâti & activités
- ✓ La surface artificialisée

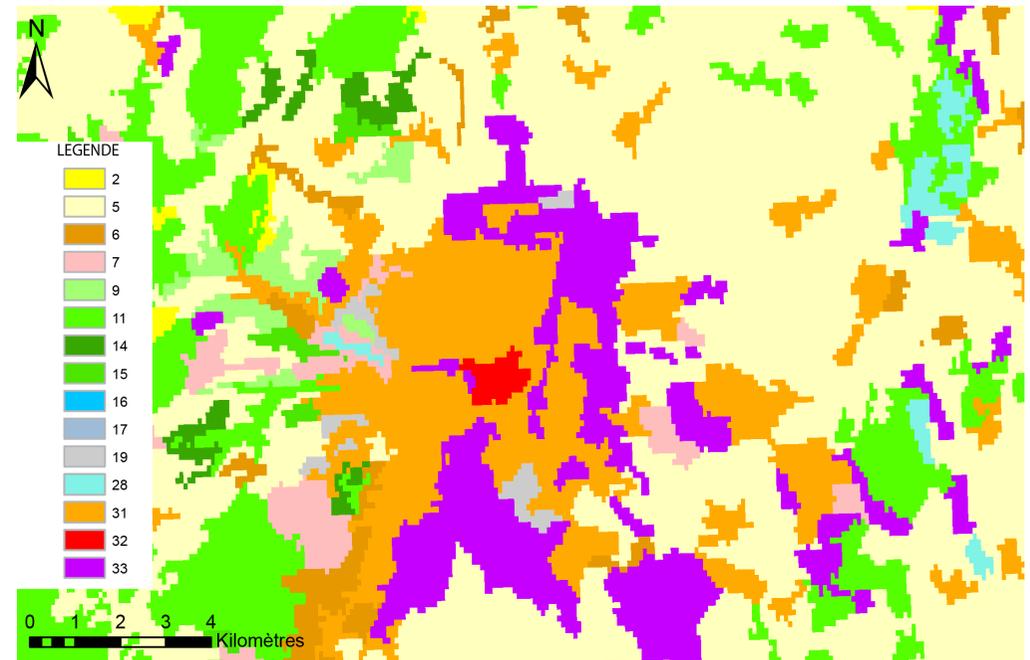


→ 12 100 maille
150m*150m

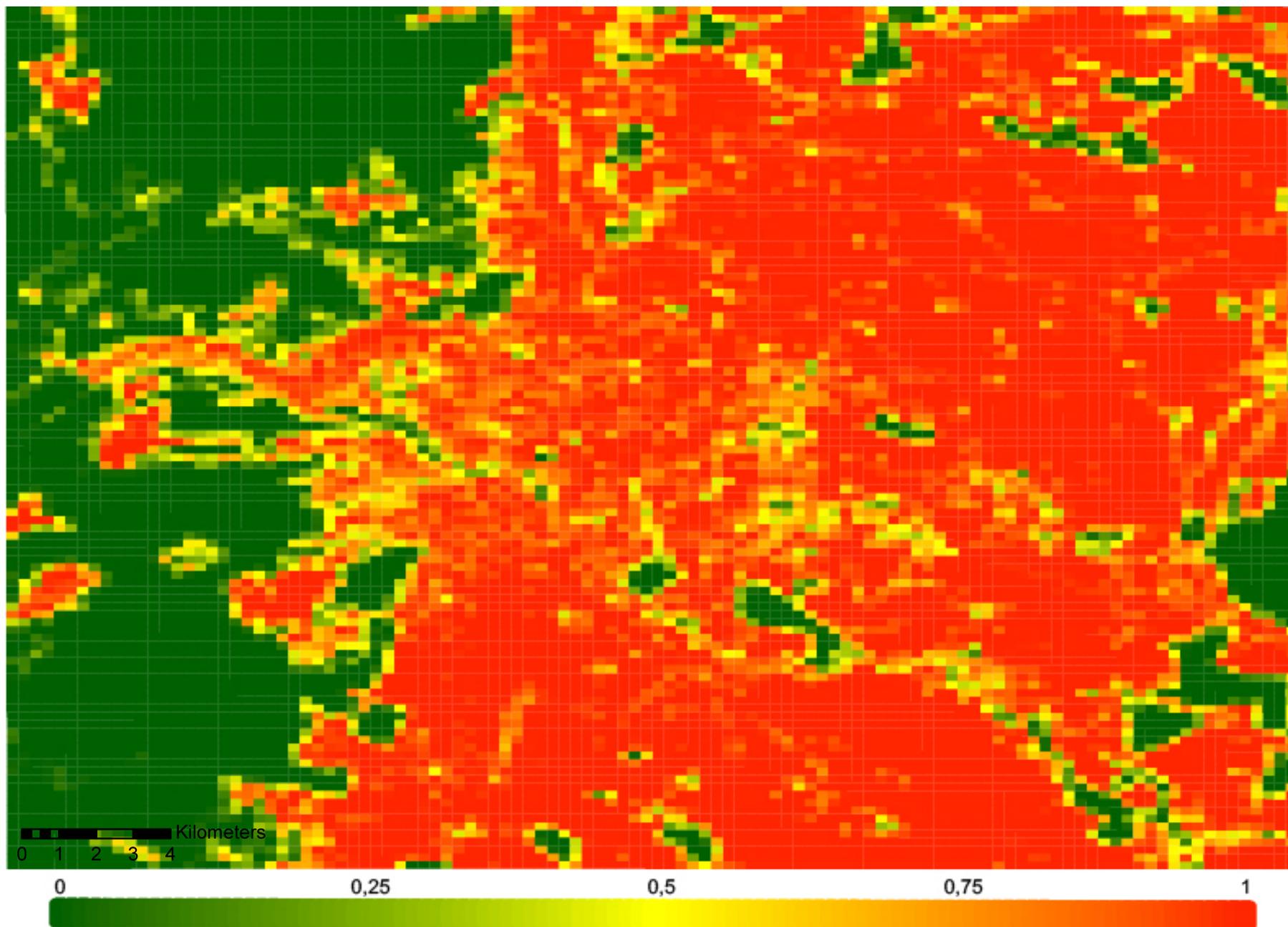
Trois classes urbaines

→ ...aux spécificités locales :

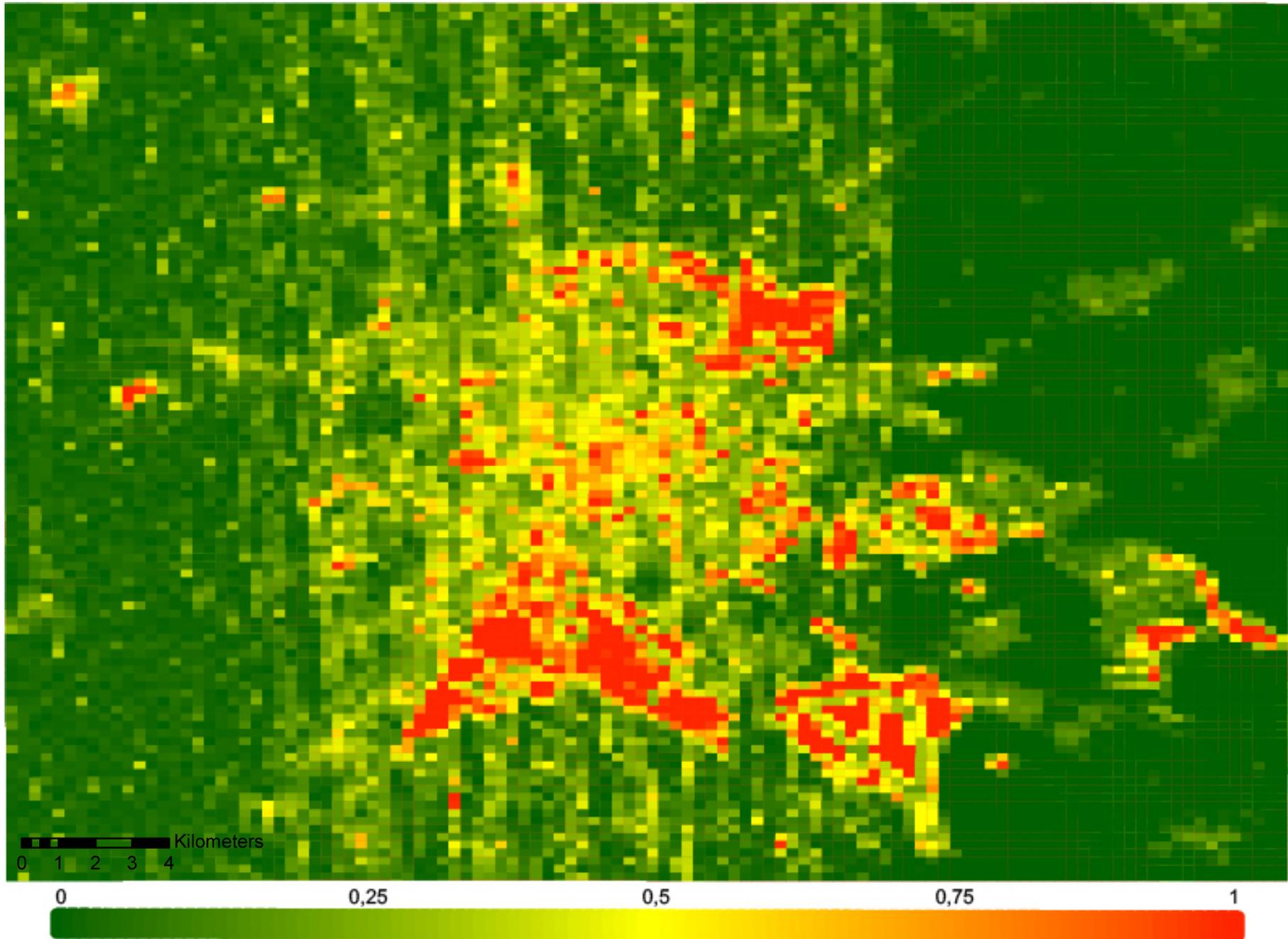
- ✓ La hauteur des bâtiments par classe
- ✓ En fonction de l'orientation moyenne des rues :
 - La largeur des rues
 - La largeur/profondeur des bâtiments



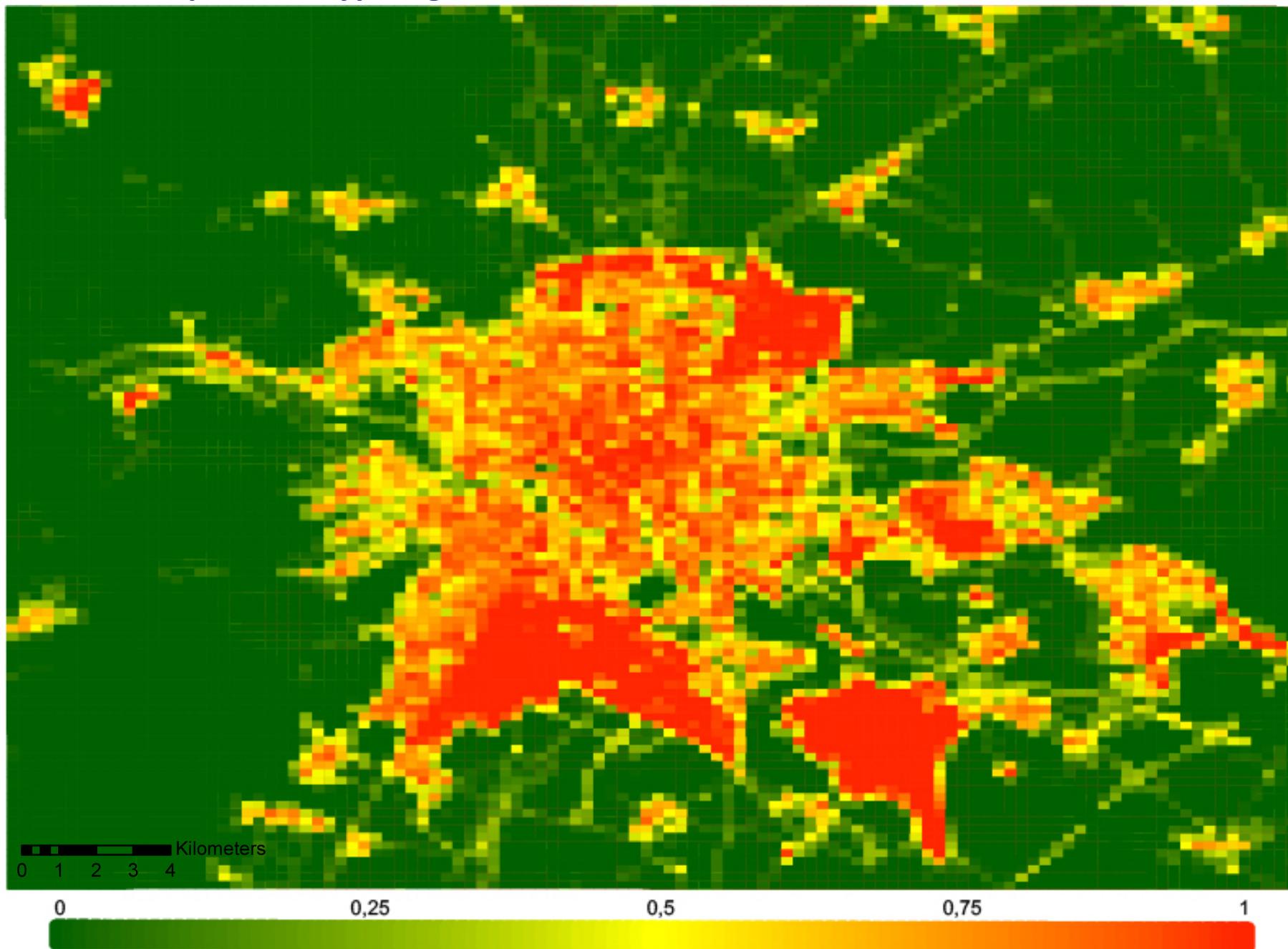
L'artificialisation :



Caractéristiques des typologies :



Caractéristiques des typologies :



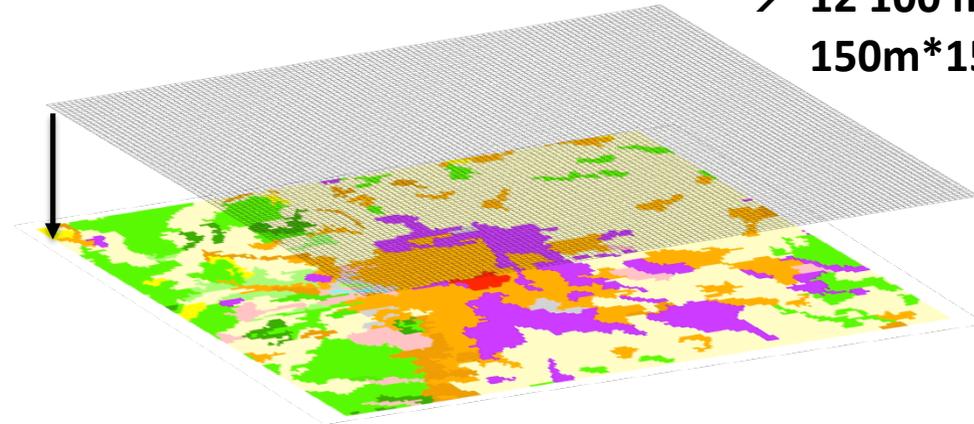
La morphologie Dijonnaise :

Des paramètres d'occupation du sol affinés :

→ 12 100 maille
150m*150m

→ Des indicateurs globaux ...

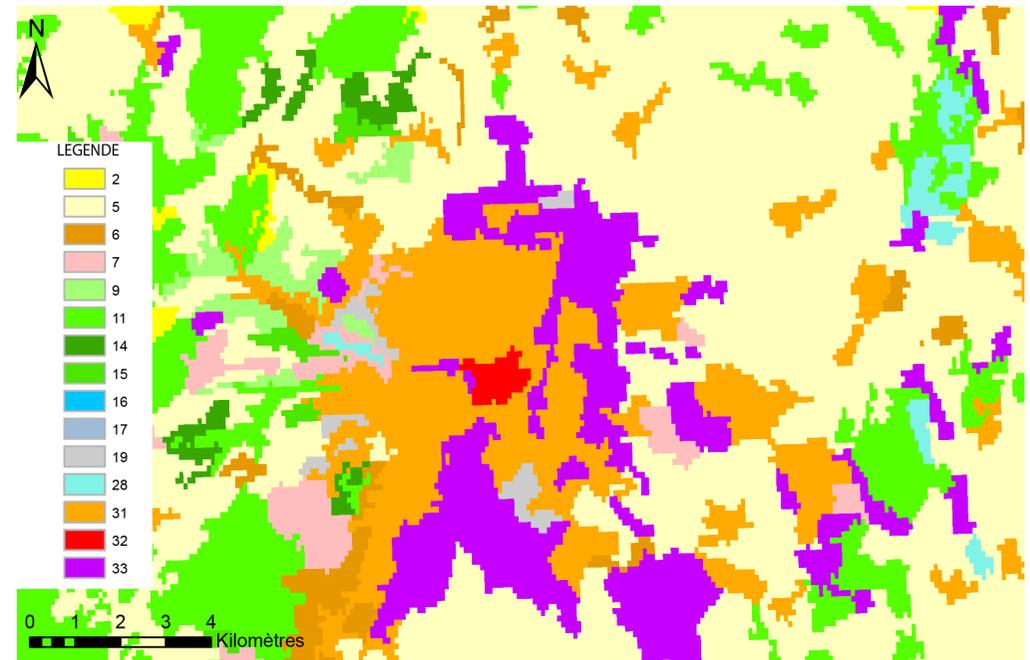
- ✓ La surface végétalisée
- ✓ La surface de bâti & activités
- ✓ La surface artificialisée



Trois classes urbaines

→ ...aux spécificités locales :

- ✓ La hauteur des bâtiments par classe
- ✓ En fonction de l'orientation moyenne des rues :
 - La largeur des rues
 - La largeur/profondeur des bâtiments

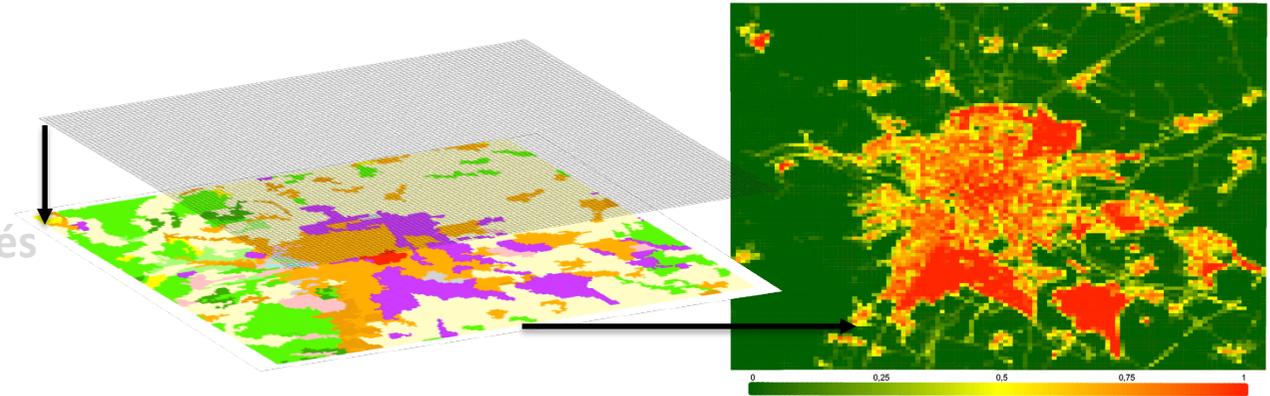


La morphologie Dijonnaise :

Des paramètres d'occupation du sol affinés :

→ Des indicateurs globaux ...

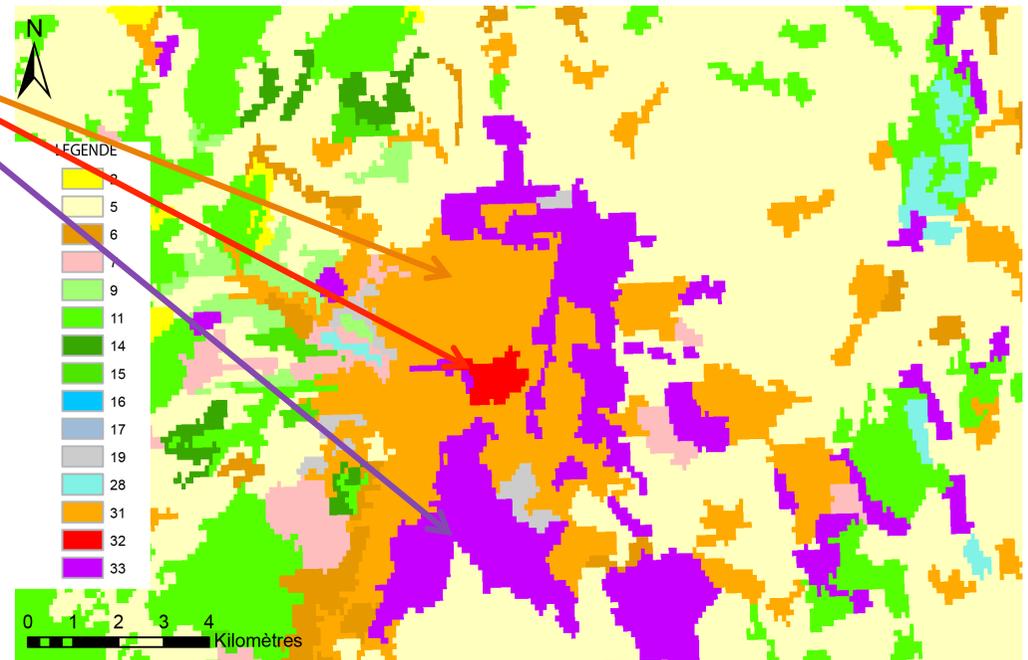
- ✓ La surface végétalisée
- ✓ La surface de bâti & activités
- ✓ La surface artificialisée



Trois classes urbaines

→ ...aux spécificités locales :

- ✓ La hauteur des bâtiments par classe
- ✓ En fonction de l'orientation moyenne des rues :
 - La largeur des rues
 - La largeur/profondeur des bâtiments



La morphologie Dijonnaise :

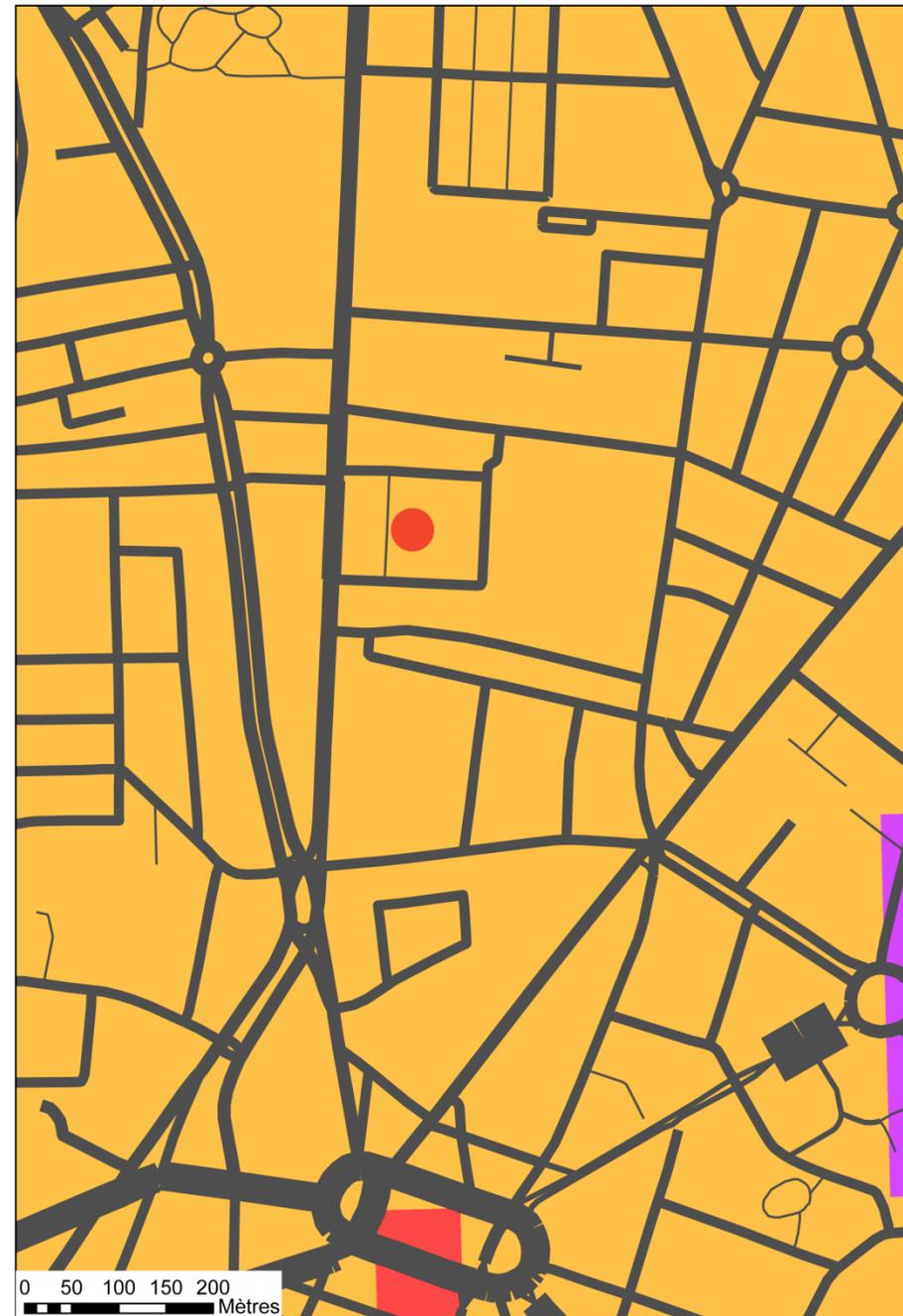
Exemple pour le quartier du Drapeau:
Zone de type Résidentielle

- La largeur des routes :

(Nombre de voies * largeur) + **Trottoir**

Adaptation locale via le code de la voirie et le type de voirie * :

Caractéristiques de la voie	Taille du trottoir
Impasse	3,50 m
Sens unique	3,50 m * 2
Double sens	5 m * 2
Piéton	2 m
Cyclable 1 voie	2 m
Cyclable 2 voie	2,5 m



La morphologie Dijonnaise :

Exemple pour le quartier du Drapeau:
Zone de type Résidentielle

- **Les surfaces d'activités :**

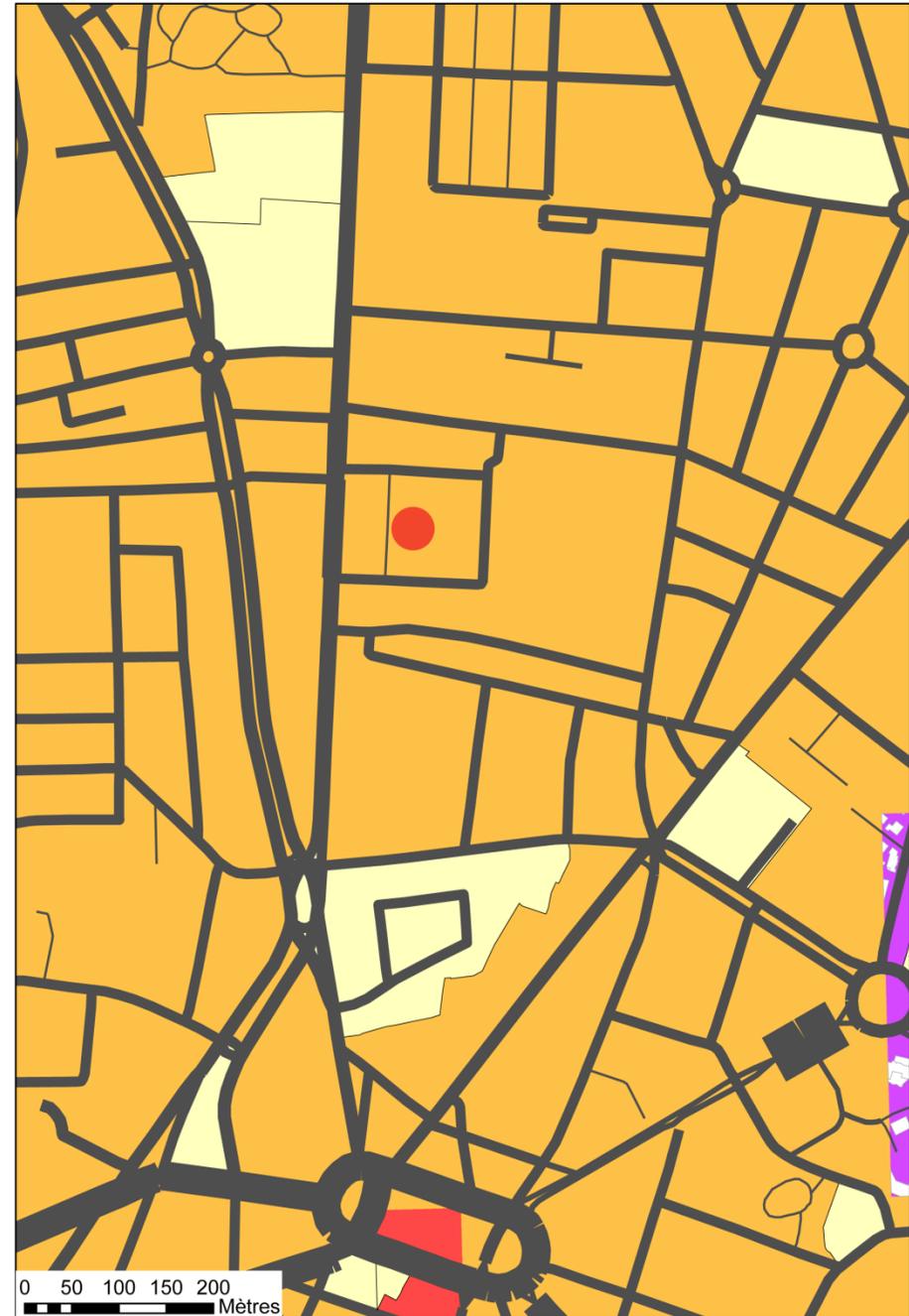
Les zones sont considérées comme totalement artificialisées.

Les surfaces sont calculées sur :

- ✓ Aire de Triage
- ✓ Cimetière
- ✓ Piste Aérodrome
- ✓ Terrain de sport
- ✓ Surface activité
- ✓ Parking

Surface Totale

(Calcul de la superficie / zone) – emprise des
bâtiments situés dans la zone



La morphologie Dijonnaise :

Exemple pour le quartier du Drapeau: Zone de type Résidentielle

- Les bâtiments :

Comprend tous les bâtiments de plus de 20 m²
Regroupement des différents types :

- ✓ **Bâti remarquable** : bâtiments administratifs, religieux, sportifs, et relatifs au transport
- ✓ **Bâti industriel** : Bâtiments à caractère industriel, commercial ou agricole
- ✓ **Construction légère** : Baraquement, cabane, grange
- ✓ ...

→ Nouvelle classe de Bâti



La morphologie Dijonnaise :

Exemple pour le quartier du Drapeau:
Zone de type Résidentielle

- La végétation :

Ne prend pas en compte toutes les zones de végétation → Espaces enherbés ne sont pas identifiables

Deux type d'éléments pris en compte :

- ✓ Structure principale d'un réseau dense de haies ou rangées d'arbres
→ Repris par CLC
- ✓ Arbres isolés et bosquets en zone urbaine et en zone de végétation clairsemée (maquis, jardins ouvriers...)

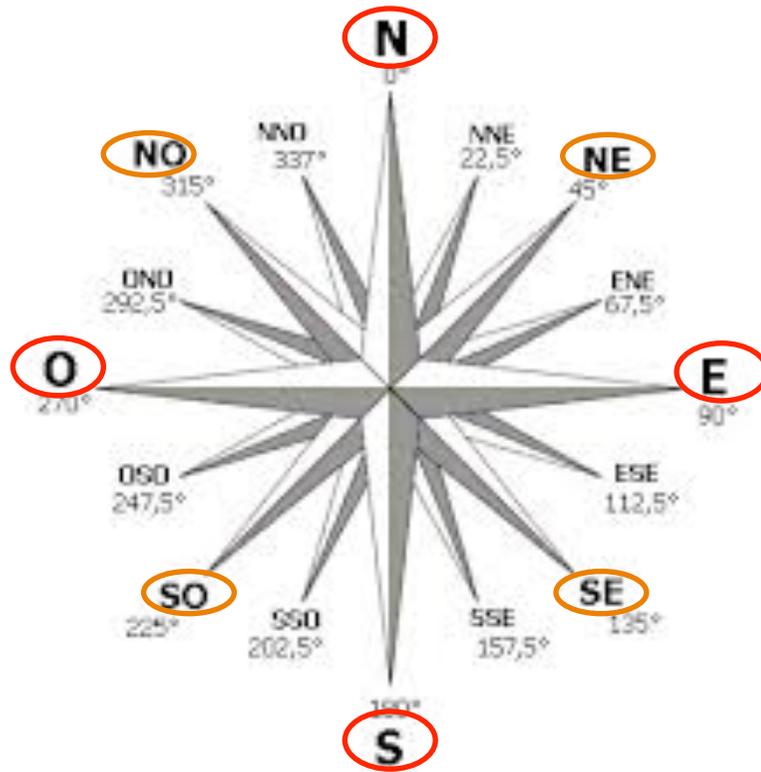


Les paramètres de largeur de rue et des bâtiments :

Un travail à haute résolution & en fonction de l'orientation des rues :

Quelle est la largeur des rues et la largeur des bâtiments le long de celle-ci ?

4 orientations retenues :

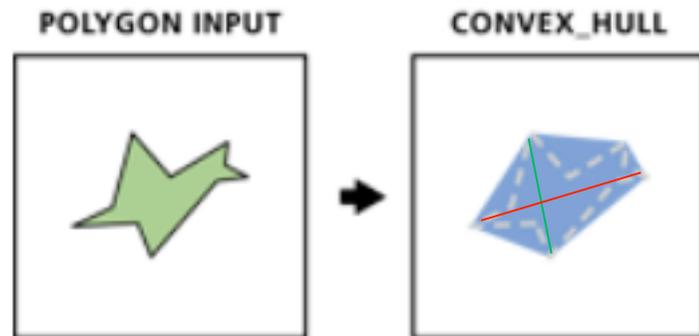


Travail sur le bâti



Les paramètres de largeur de rue et des bâtiments :

- ✓ Buffer de sélection des bâtiments compris à 20 m des axes routiers
- ✓ Transformation des entités sous forme de Convex :



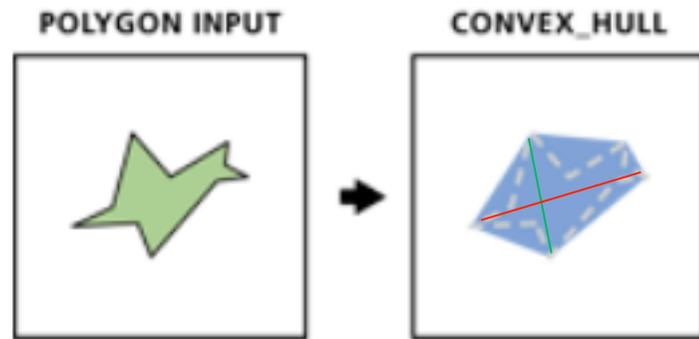
Calcul des informations morphologiques par bâtiment :

- ✓ Orientation et mesure de la **longueur**
- ✓ Orientation et mesure de la **largeur**

→ Lesquels prendre en compte ?



Les paramètres de largeur de rue et des bâtiments :



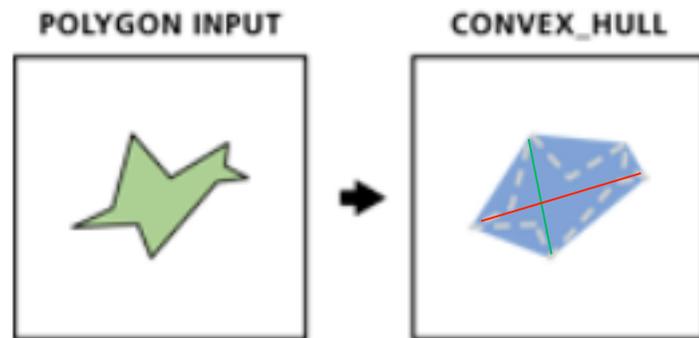
Calcul des informations morphologiques par bâtiment :

- ✓ Orientation et mesure de la **longueur**
- ✓ Orientation et mesure de la **largeur**

→ **Lesquels prendre en compte ?**



Les paramètres de largeur de rue et des bâtiments :



Calcul des informations morphologiques par bâtiment :

- ✓ Orientation et mesure de la **longueur**
- ✓ Orientation et mesure de la **largeur**

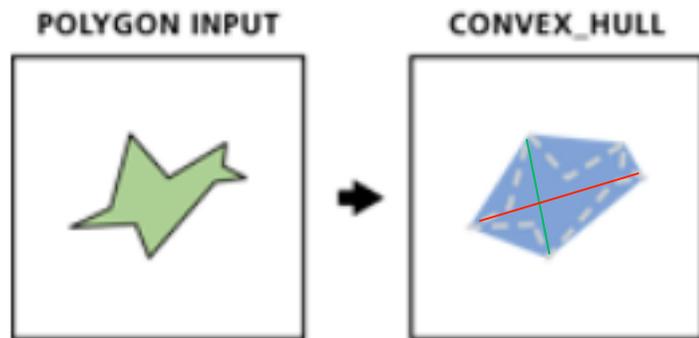
→ **Lesquels prendre en compte ?**

Croiser l'information avec l'**orientation des infrastructures routières** :

- Une **orientation par axe** en fonction de la direction de circulation
- L'orientation **moyenne** est calculée sur le **centre de l'axe routier**



Les paramètres de largeur de rue et des bâtiments :



Calcul des informations morphologiques par bâtiment :

- ✓ Orientation et mesure de la **longueur**
- ✓ Orientation et mesure de la **largeur**

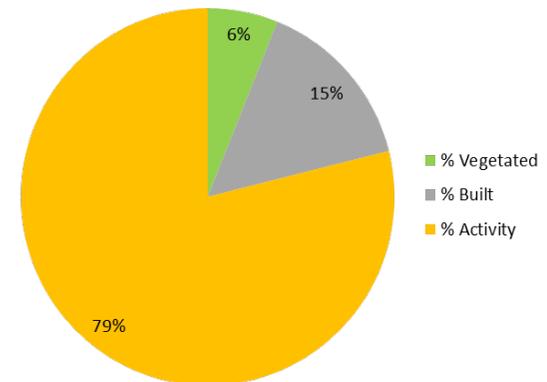
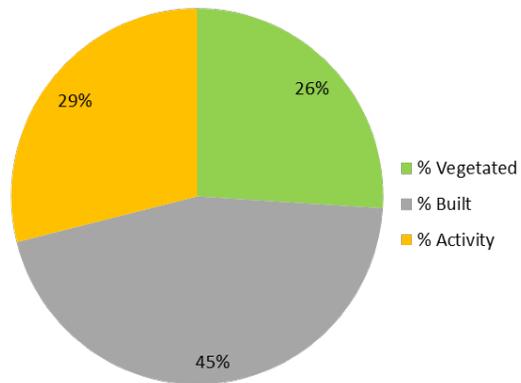
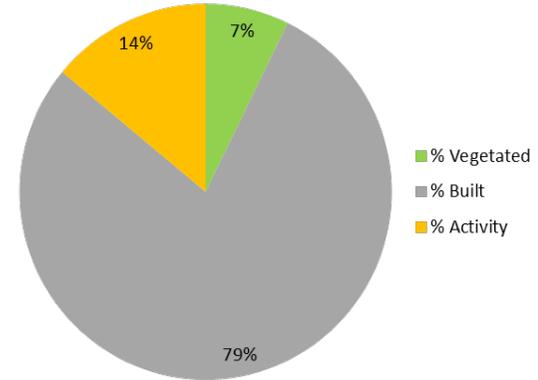
→ **Lesquels prendre en compte ?**

Croiser l'information avec l'**orientation des infrastructures routières** :

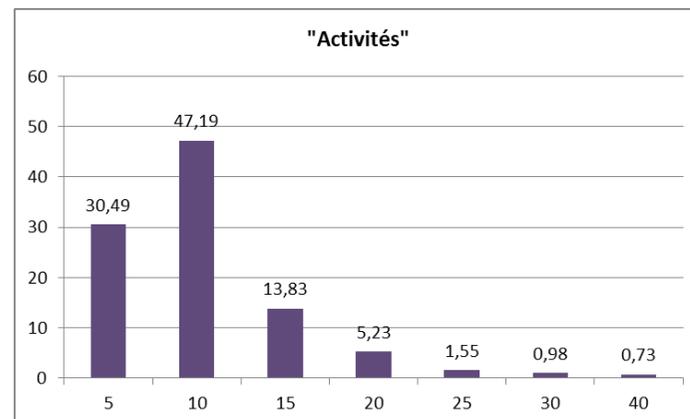
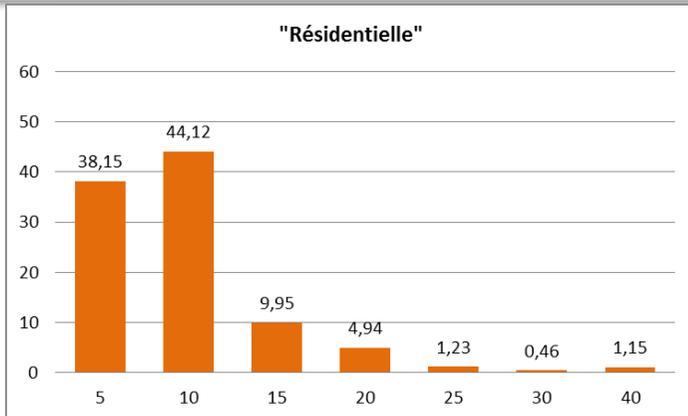
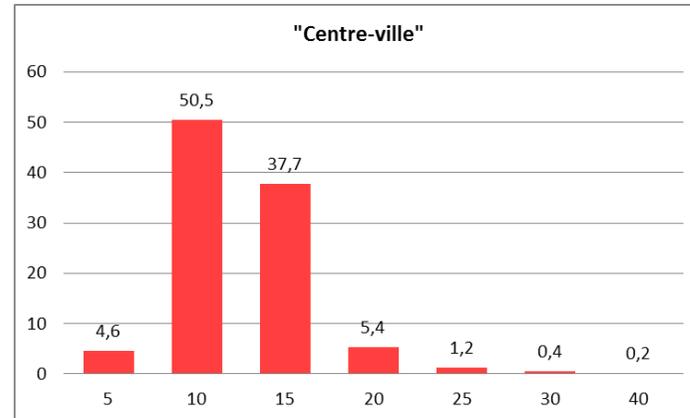
- Une **orientation par axe** en fonction de la direction de circulation
- L'orientation **moyenne** est calculée sur le **centre de l'axe routier**



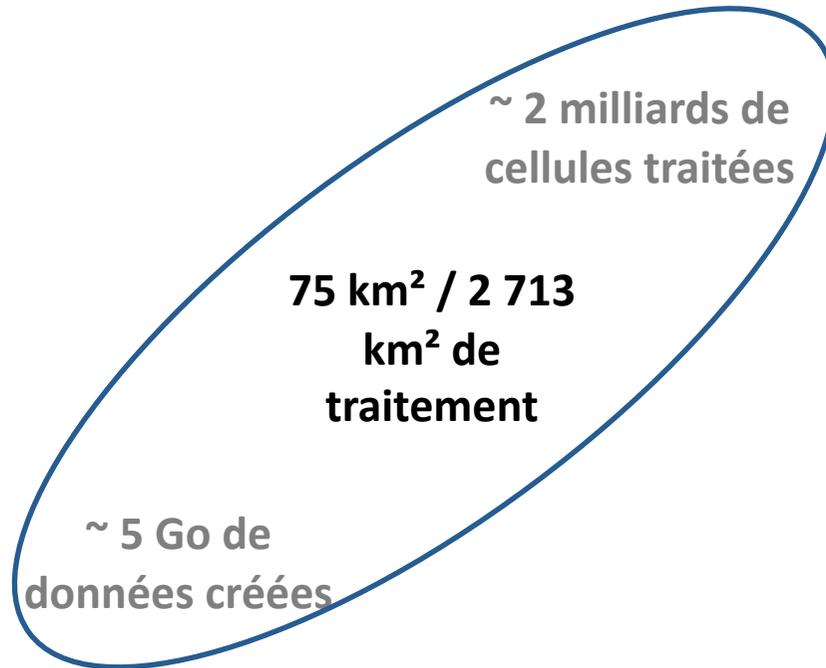
Caractéristiques des typologies :



Caractéristiques des typologies :



Au final, l'agglomération Dijonnaise, c'est ...



Au final, l'agglomération Dijonnaise, c'est ...



103 km² de
végétation

~ 5 Go de
données créées

75 km² / 2 713
km² de
traitement

~ 2 milliards de
cellules traitées



24 km² de
surface d'activité

Au final, l'agglomération Dijonnaise, c'est ...



11 km² de Bâti

82 476 Bâtiments :

- 5 494 pour la classe « Centre-Ville »
- 64 723 pour la classe « Résidentielle »
- 12 259 pour la classe « Activités »



103 km² de
végétation

~ 2 milliards de
cellules traitées

75 km² / 2 713
km² de
traitement

~ 5 Go de
données créées



24 km² de
surface d'activité

15 km² de Route

19 123 arcs routiers :

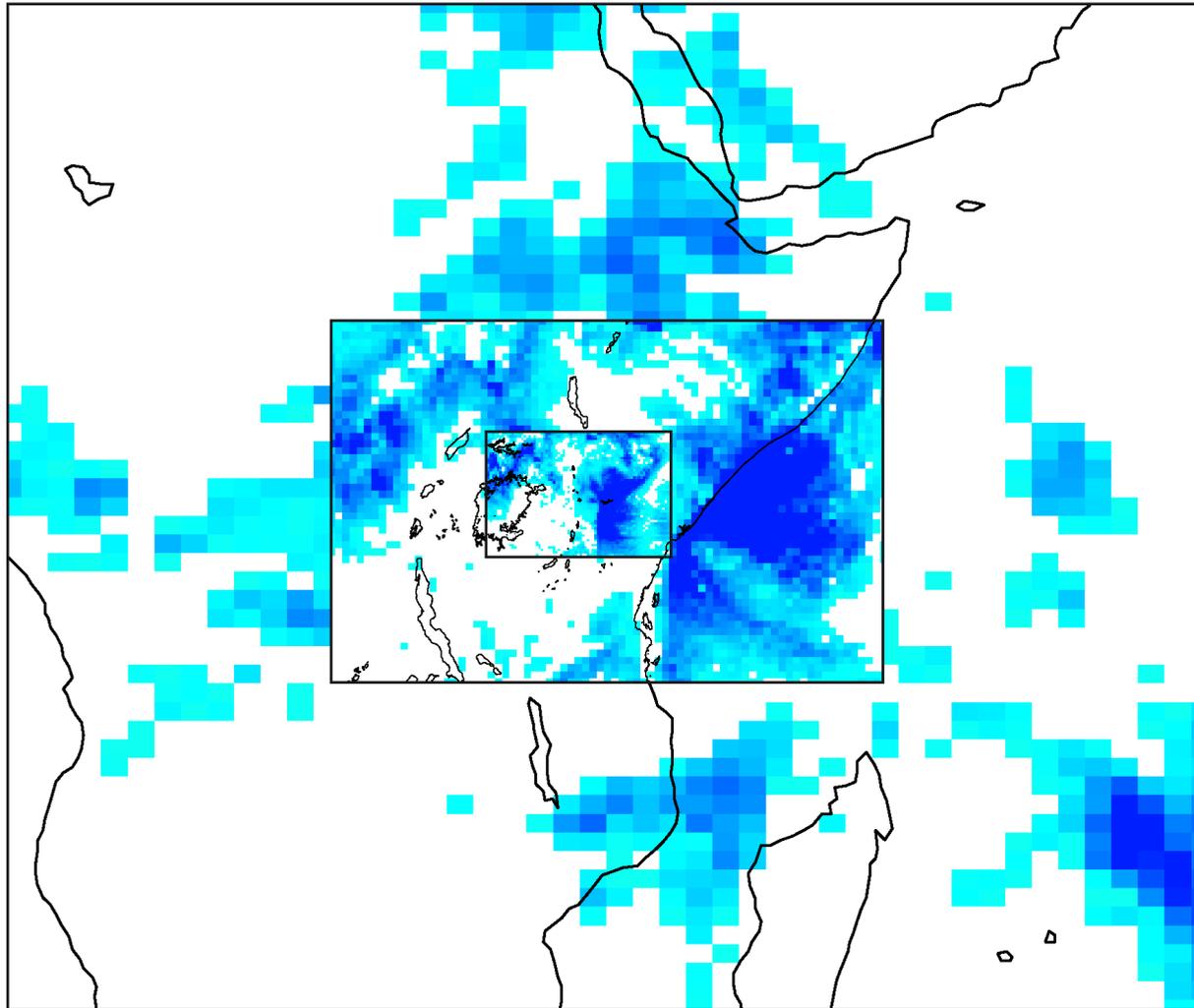
- 524 pour la classe « Centre-Ville »
- 13 799 pour la classe « Résidentielle »
- 4 800 pour la classe « Activités »





Partie 2 :
LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU
CLIMAT : APPLICATION A
L'ICU@DIJON

La modélisation numérique du climat : les modèles régionaux

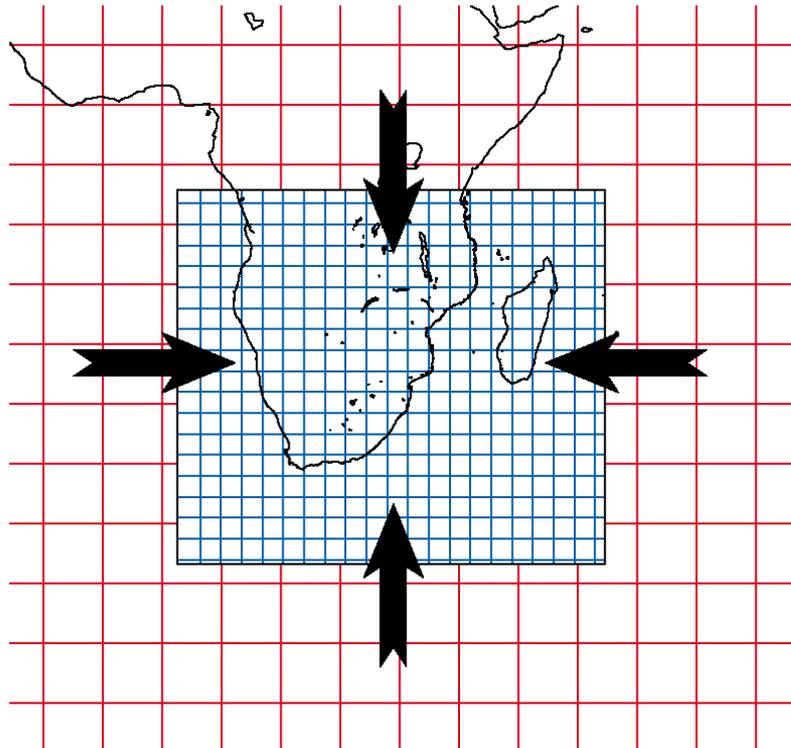


Objectif : sur une région d'intérêt, régionaliser à des échelles fines les champs climatiques basse résolution simulés par les modèles globaux

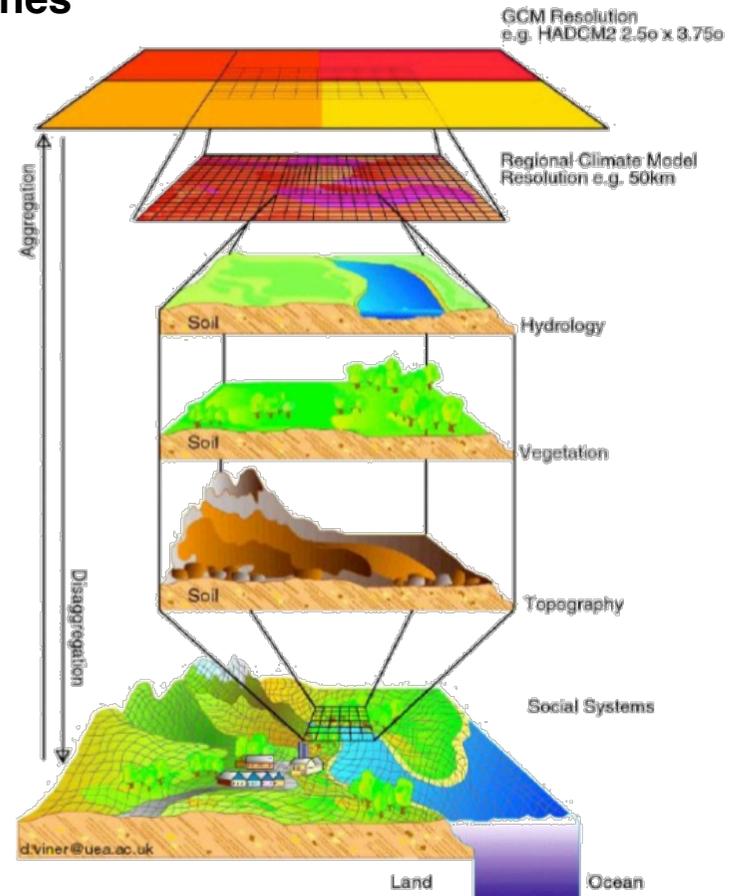
La modélisation numérique du climat : les modèles régionaux

3 ingrédients :

1. **Les modèles.** Code informatique implémentent les équations de la thermodynamique des fluides capables de résoudre les **échelles spatiales fines**



2. **Les forçages.** Obtenus des modèles globaux aux **échelles larges** (mailles de quelques dizaines à centaines de km)



3. **Les conditions aux limites.** Occupation du sol, relief, ..., disponibles aux **échelles fines**

La modélisation numérique du climat : les modèles régionaux

Code informatique

Forçages
dynamiques
large échelle

Conditions aux
limites échelle
fine



Climat
régional

Calculateur de l'uB : ~ 3200 processeurs,
45 000 milliards d'opérations par seconde

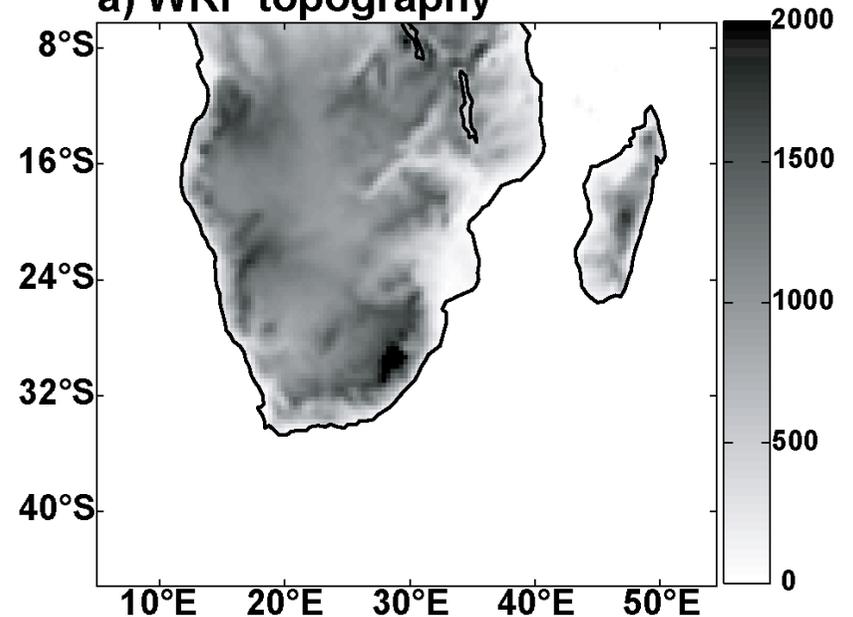
La modélisation numérique du climat : les modèles régionaux

1. Le modèle de climat régional : WRF (Weather Research and Forecasting model, NCAR, USA)

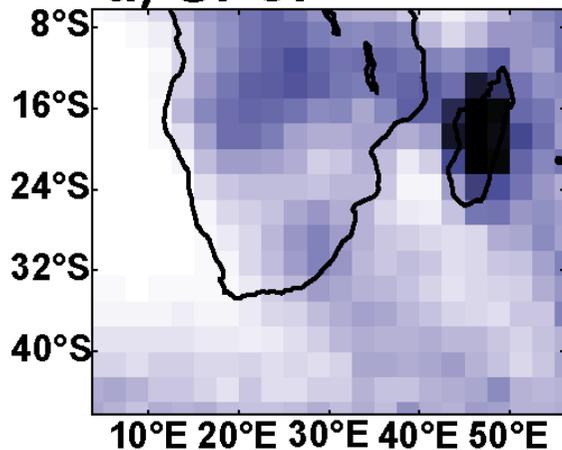
- l'un des modèles capables de descendre à des échelles très fines (noyau non-hydrostatique)
- intègre les dernières avancées en termes de physique de l'atmosphère
- quotidiennement utilisé au CRC : expertise sur les (très nombreux) "réglages" du modèle

Exemple (↓) : pluviométrie moyenne en Afrique Australe (novembre à février, en mm), selon des satellites météo, un modèle global "de référence" et une simu WRF réalisée au CRC alimentée par une topographie réaliste (→)

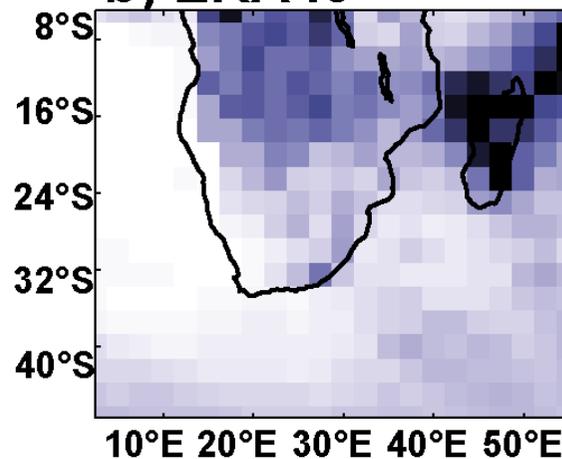
a) WRF topography



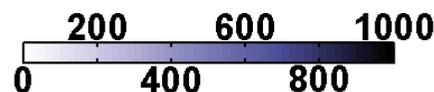
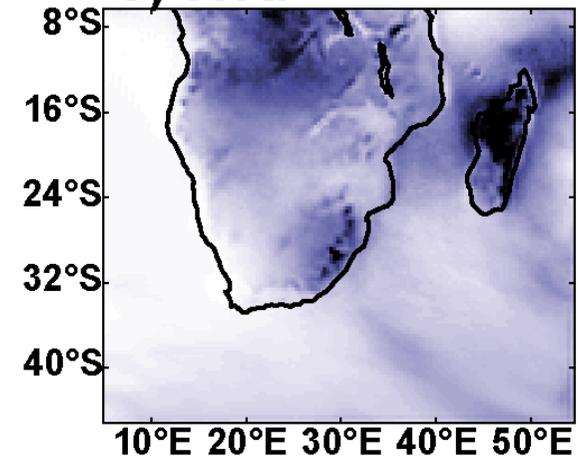
a) GPCP



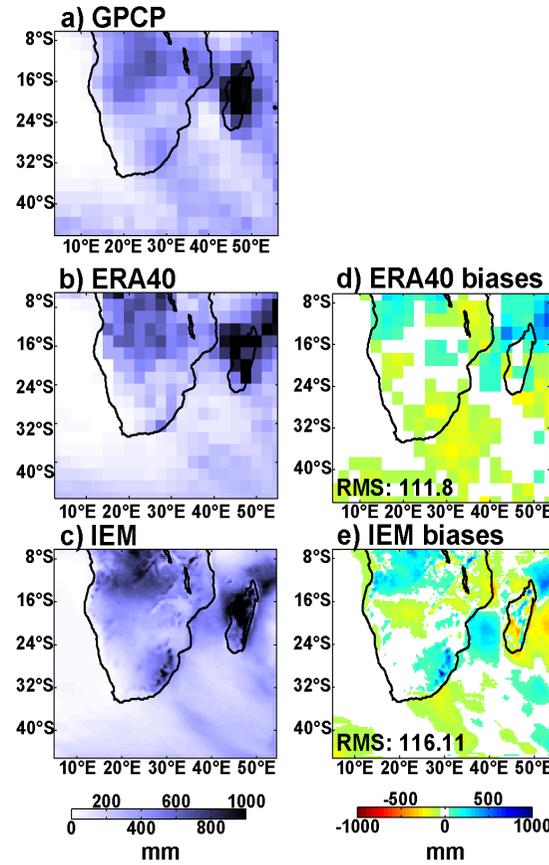
b) ERA40



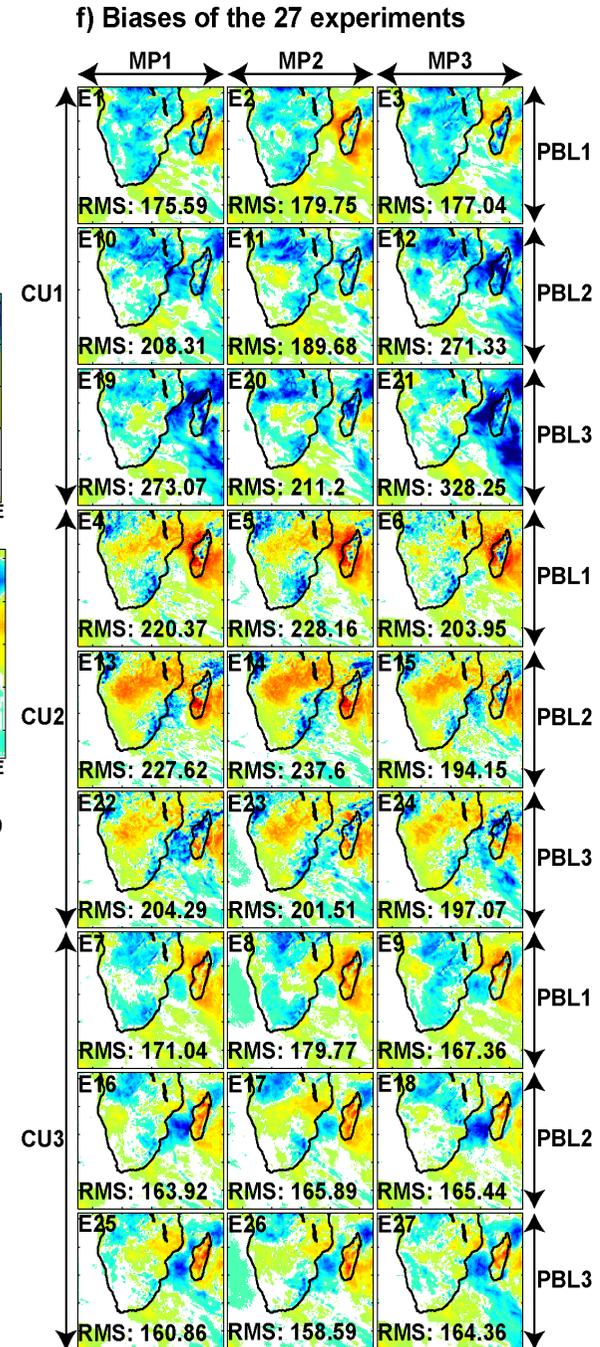
c) WRF



La modélisation numérique du climat : les modèles régionaux



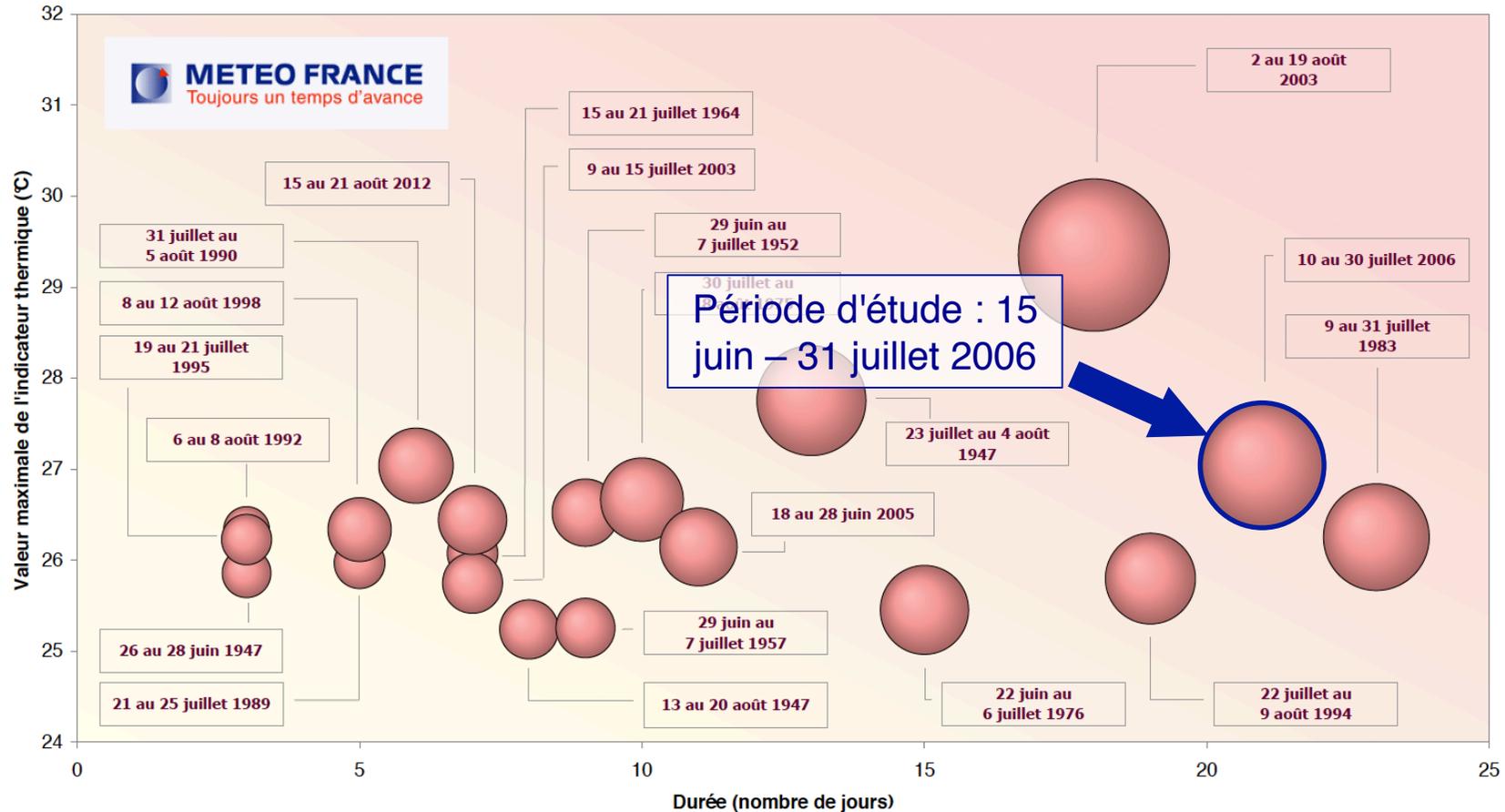
... un exemple sur les incertitudes liées à la modélisation numérique du climat ...



Première série de tests : simulation *a posteriori* d'un épisode caniculaire

Vagues de chaleur en France

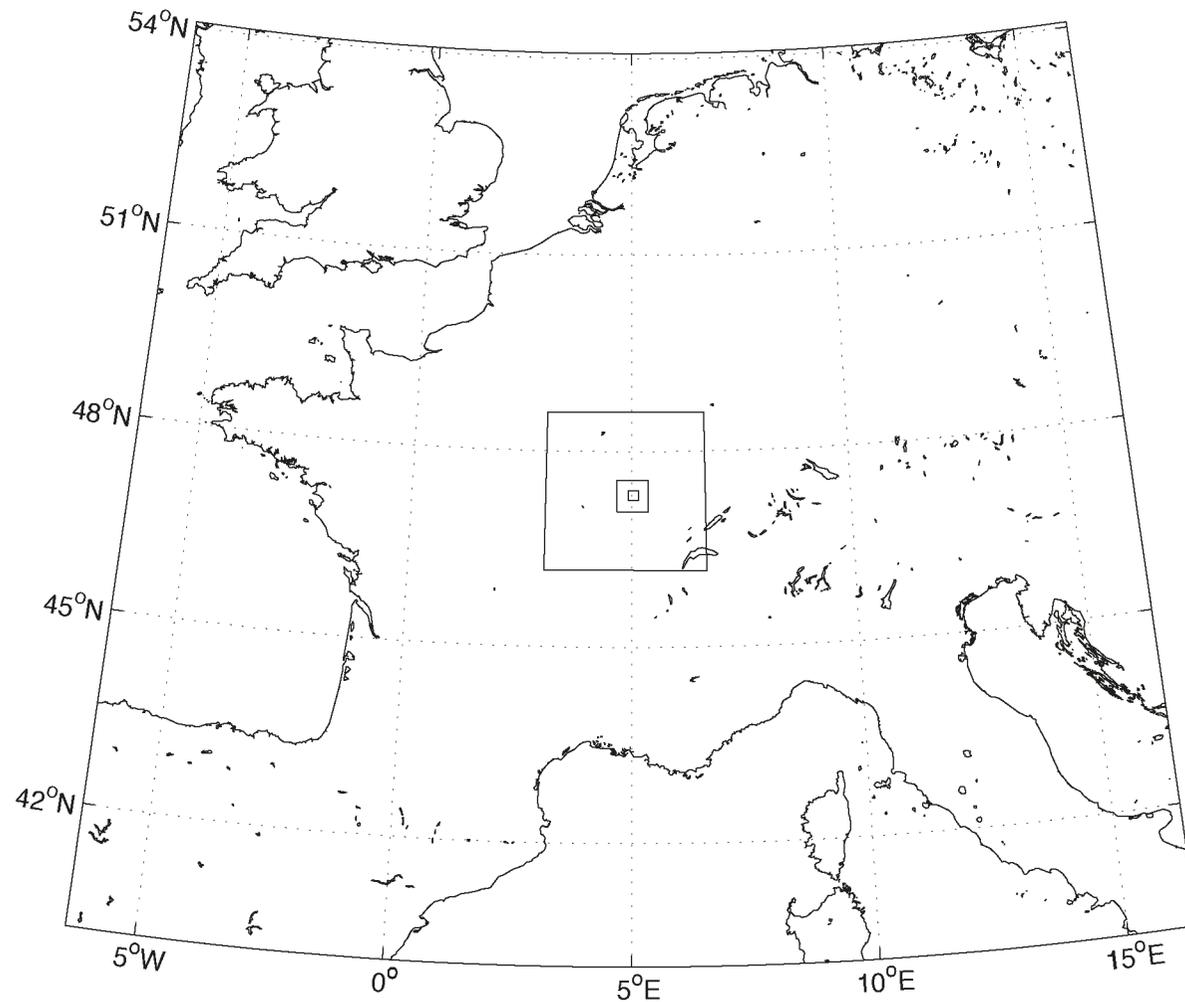
Période 1947-2012



La surface des sphères symbolise l'intensité globale des vagues de chaleur, les sphères les plus grandes correspondant aux vagues de chaleur les plus sévères

Idée : tester sur une année passée les performances du modèle avant de lancer la campagne instrumentale (été 2014) doublée d'une simulation régionale

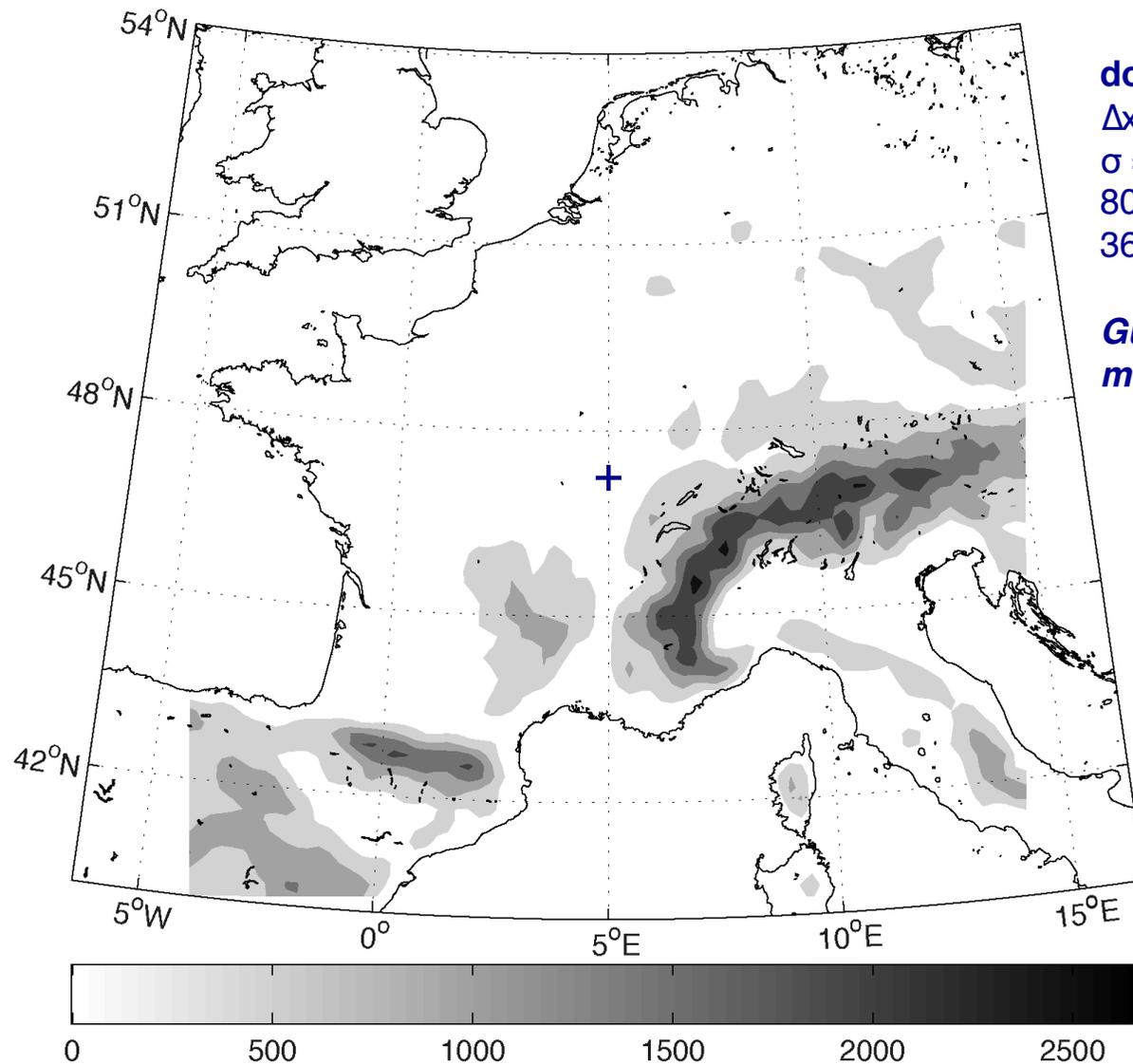
ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



Objectif : 150m de résolution horizontale. Forçage large échelle : 0.75°.
Descente en échelle progressive : **4 domaine imbriqués**

Idée : tester sur une année passée les performances du modèle avant de lancer la campagne instrumentale (été 2014) doublée d'une simulation régionale

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



domaine #1

$\Delta x = 18750\text{m}$

$\sigma = 57$ niv.

80 x 80 pts de grille

364 800 voxels

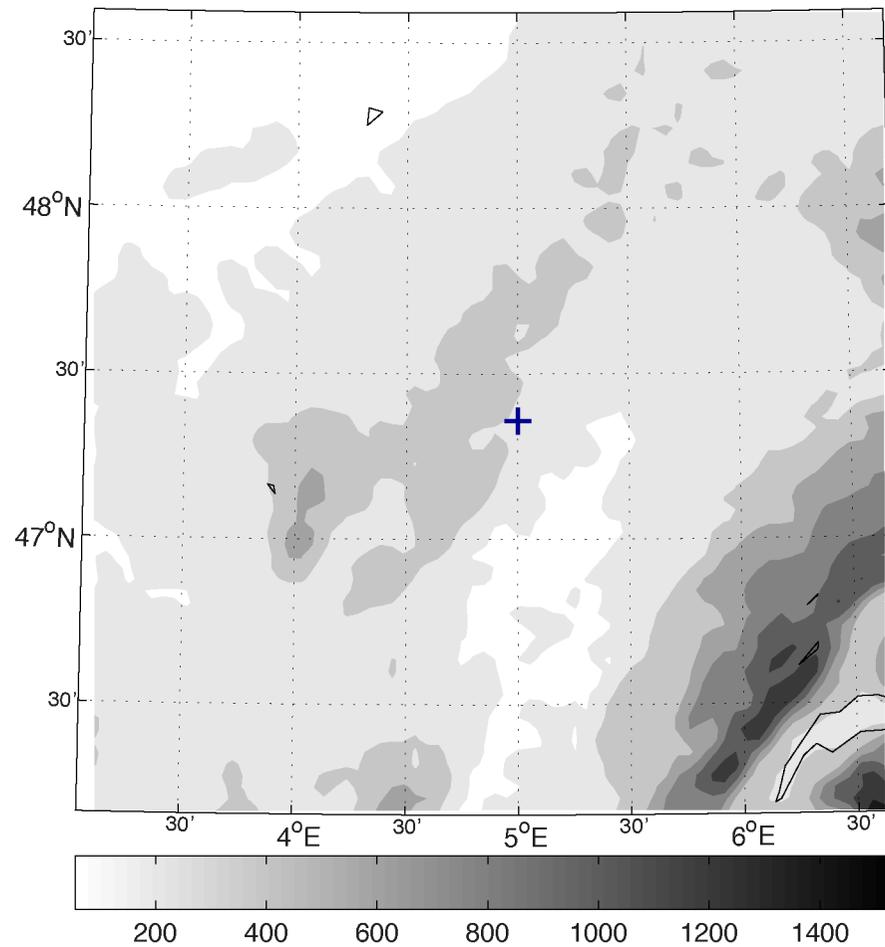
*Guidé vers le
modèle forceur*

Caractéristiques des domaines

Choix fondamental pour la qualité des simulations régionales

Protocole expérimental spécifique et optimisé pour simuler l'ICU dijonnais

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



domaine #2

$\Delta x = 3750\text{m}$

$\sigma = 57$ niv.

71 x 71 pts de grille

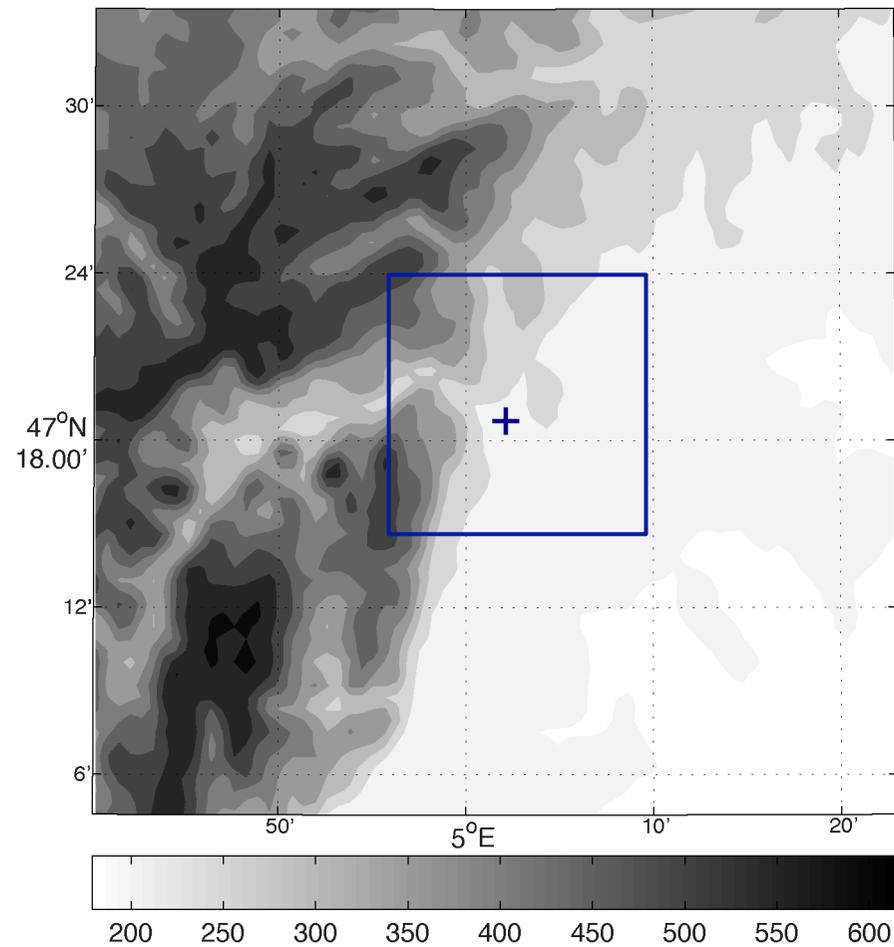
287 337 voxels

Caractéristiques des domaines

Choix fondamental pour la qualité des simulations régionales

Protocole expérimental spécifique et optimisé pour simuler l'ICU dijonnais

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



domaine #3

$\Delta x = 750\text{m}$

$\sigma = 57$ niv.

71 x 71 pts de grille

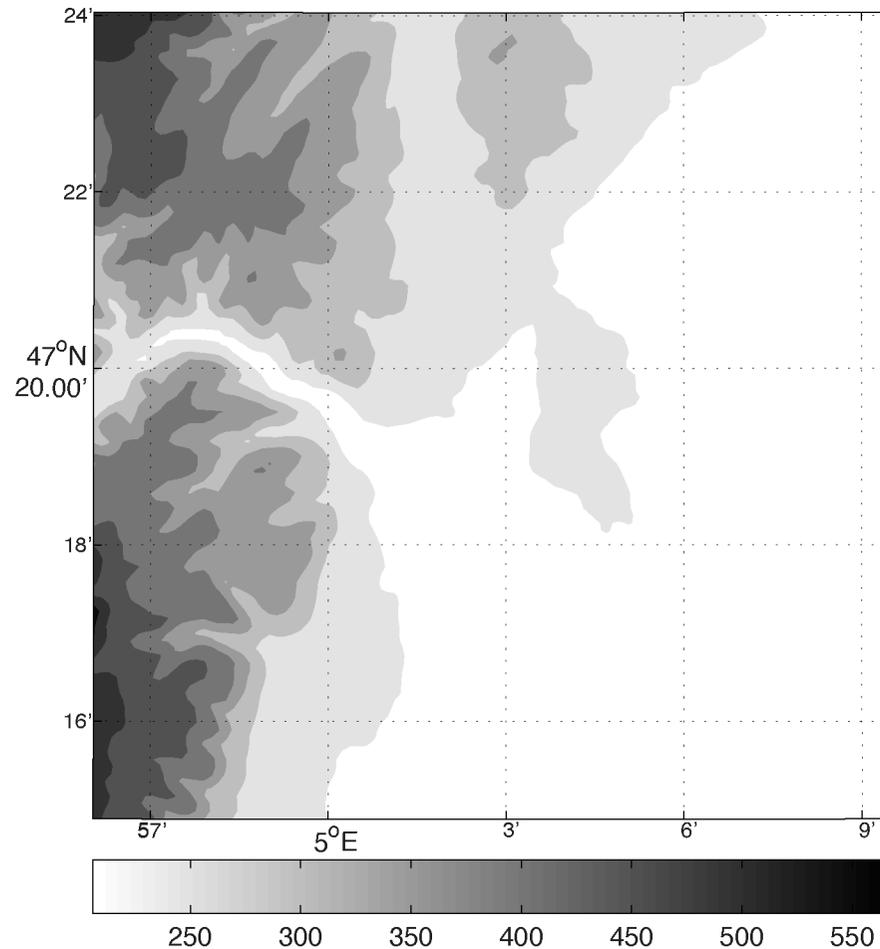
287 337 voxels

Caractéristiques des domaines

Choix fondamental pour la qualité des simulations régionales

Protocole expérimental spécifique et optimisé pour simuler l'ICU dijonnais

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



domaine #4

$\Delta x = 150\text{m}$

$\sigma = 57$ niv.

111 x 111 pts de grille

702 297 voxels

$\Sigma : 1\ 641\ 771$ voxels

**5.5 jours de climat
simulés en 24H (en
exécutant les calculs
sur 64 processeurs)**

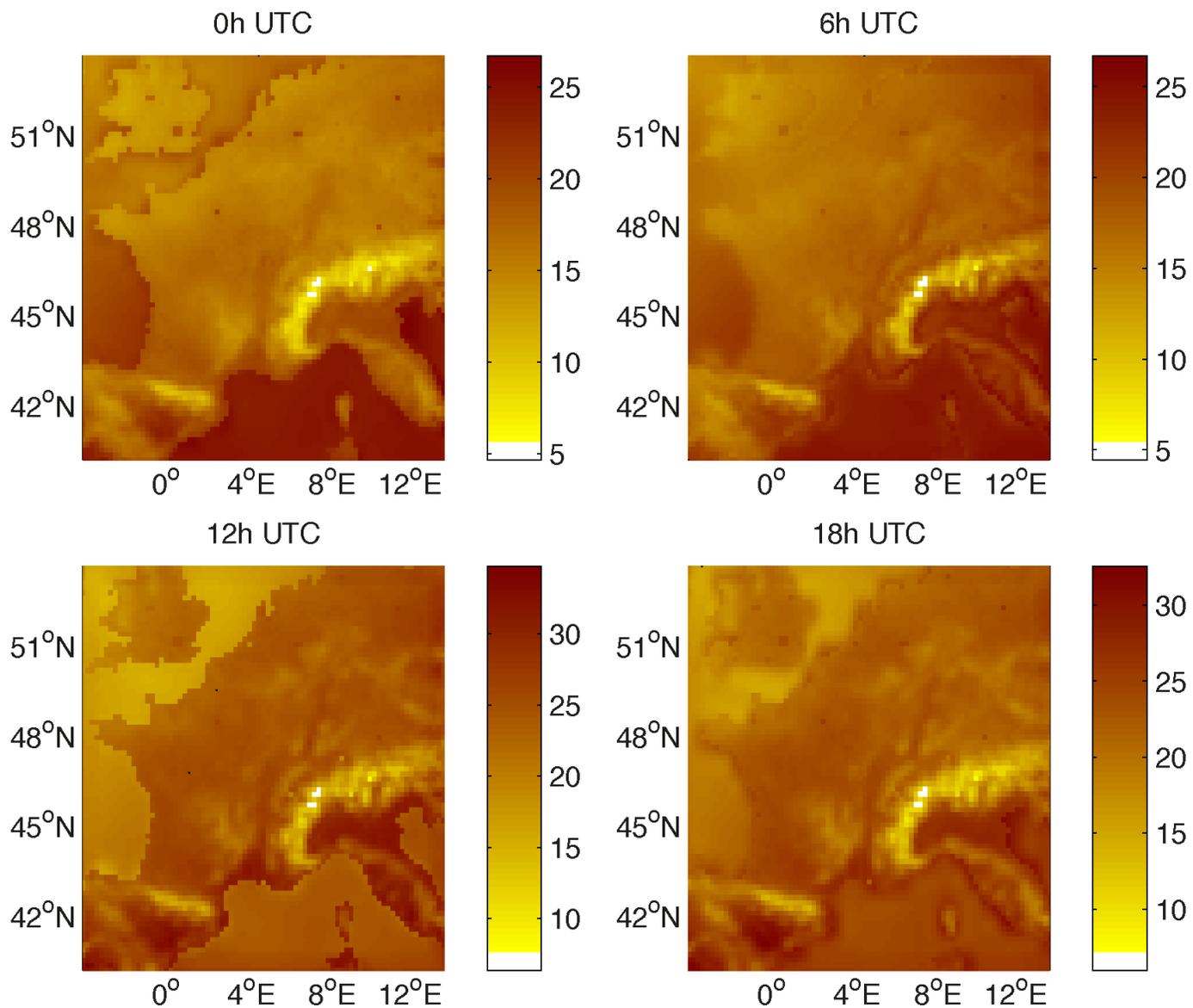
>> utilisable pour un
été voire un an de
climat (2014)

Caractéristiques des domaines

Choix fondamental pour la qualité des simulations régionales

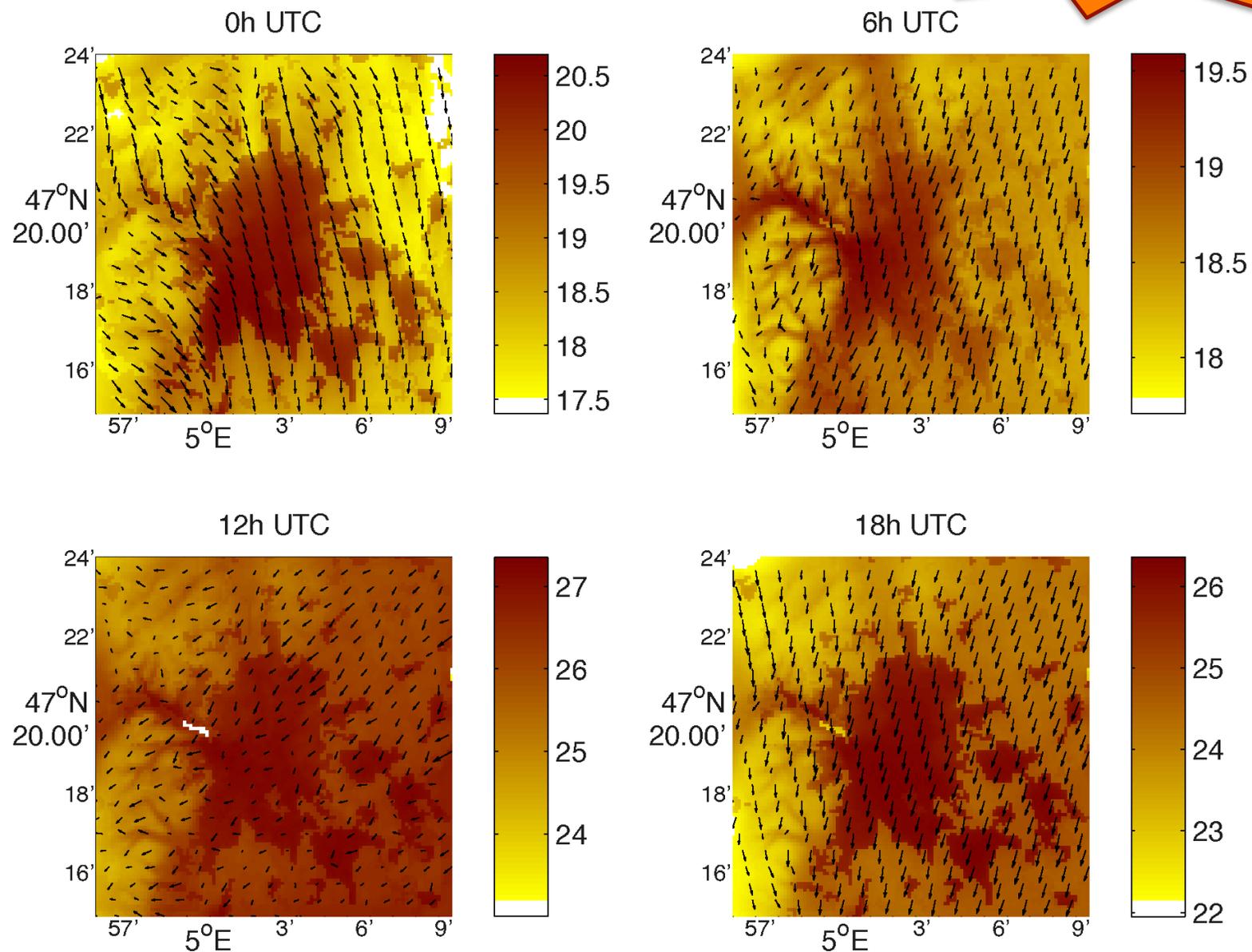
Protocole expérimental spécifique et optimisé pour simuler l'ICU dijonnais

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



T2, domaine 1, période 15 juin – 31 juillet 2006
[0, 6, 12, 18 h UTC]

Pas encore la physique urbaine !

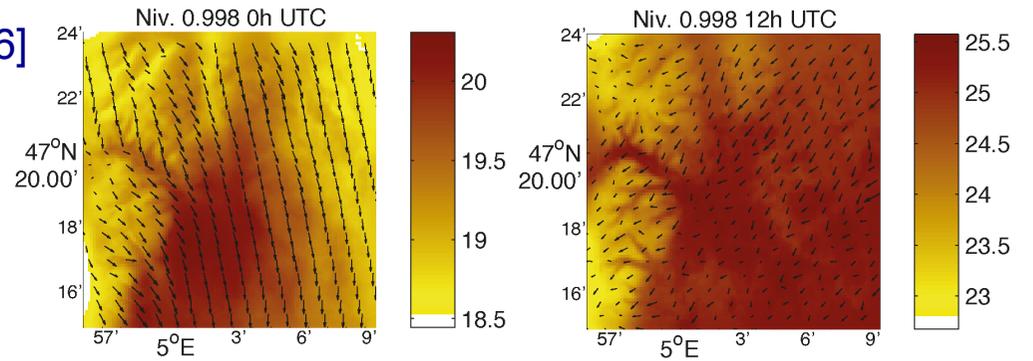


T2 et vent à 10m, domaine 4, période 15 juin – 31 juillet 2006
[0, 6, 12, 18 h UTC]

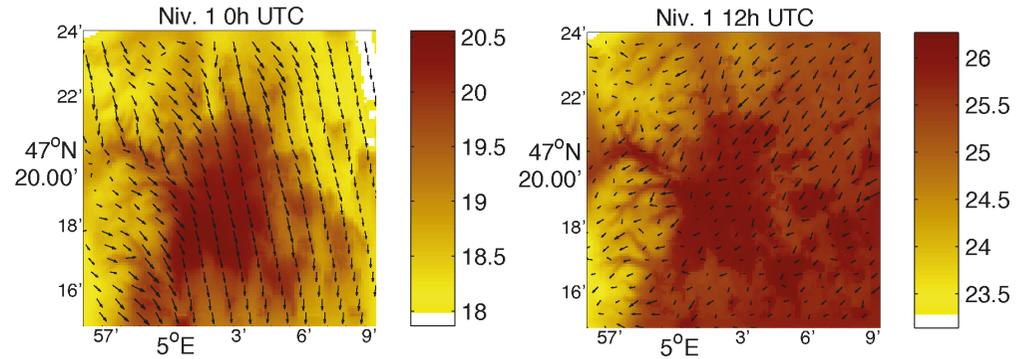
ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Stratification verticale

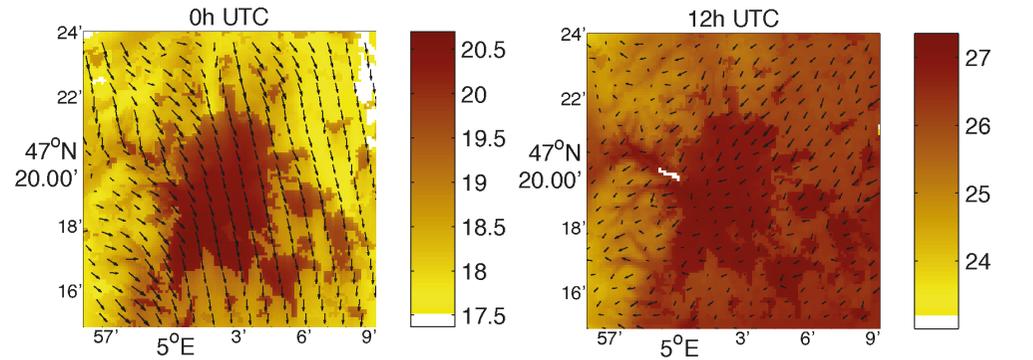
$\sigma = 0.998$ (alt \approx 2m / surface)



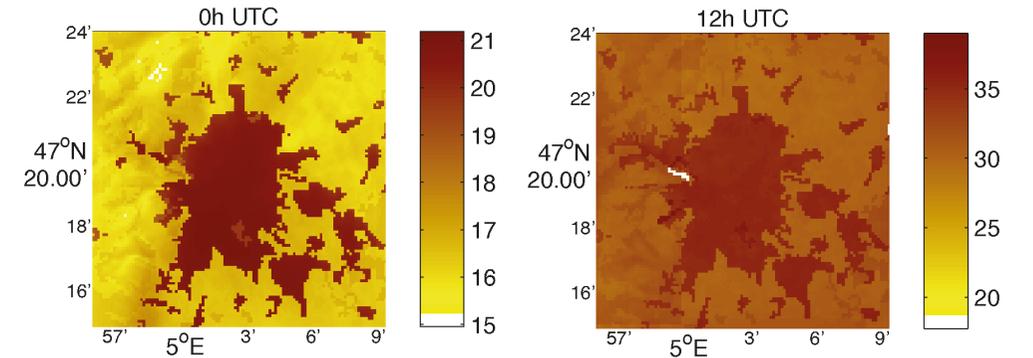
$\sigma = 1.000$ (alt \approx surface, atmosphère)



T2 (interpolation stat entre $\sigma = 1$ et surface)



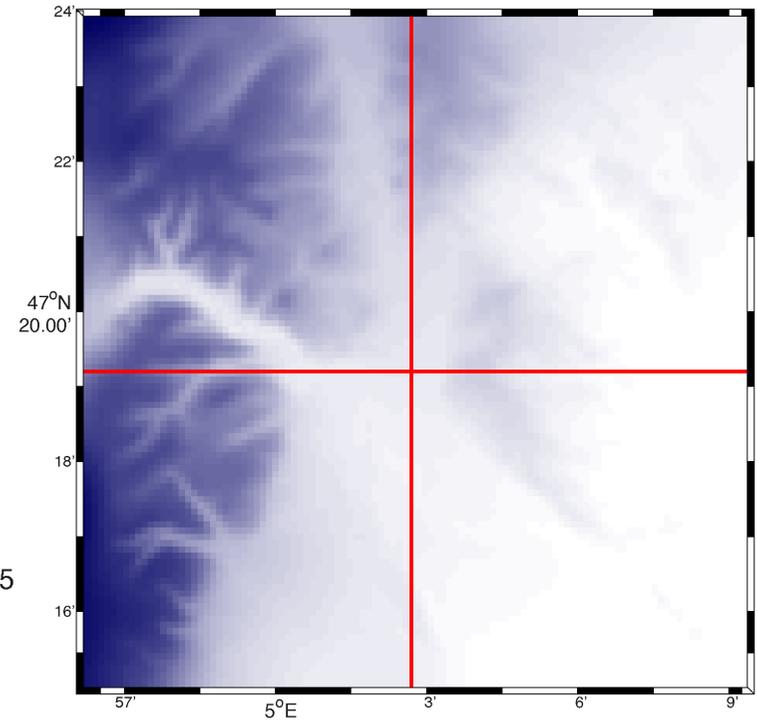
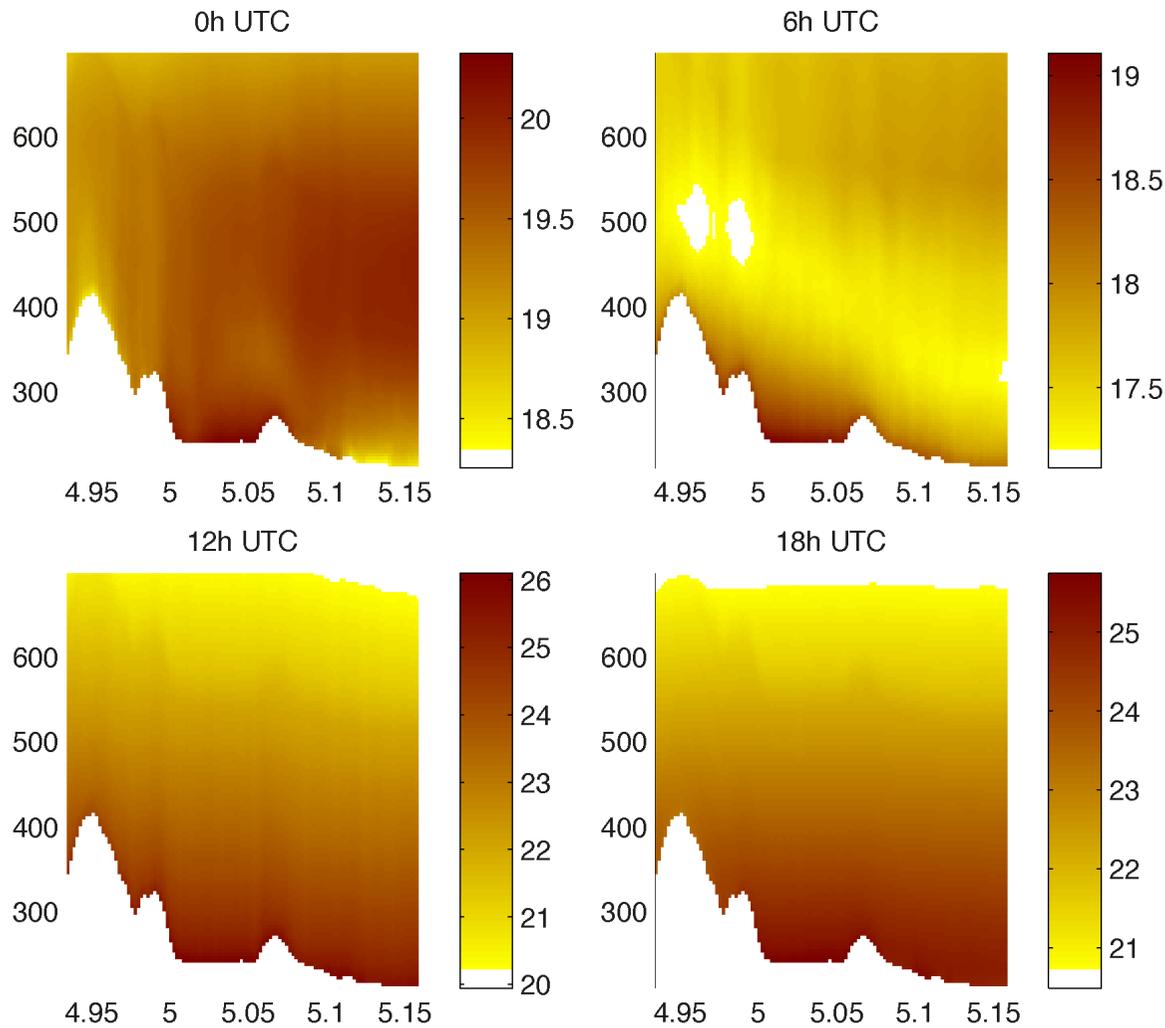
surface temp. (continent)



ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Stratification verticale : approche en *transects*

- **Transect W-E, alt. absolue**

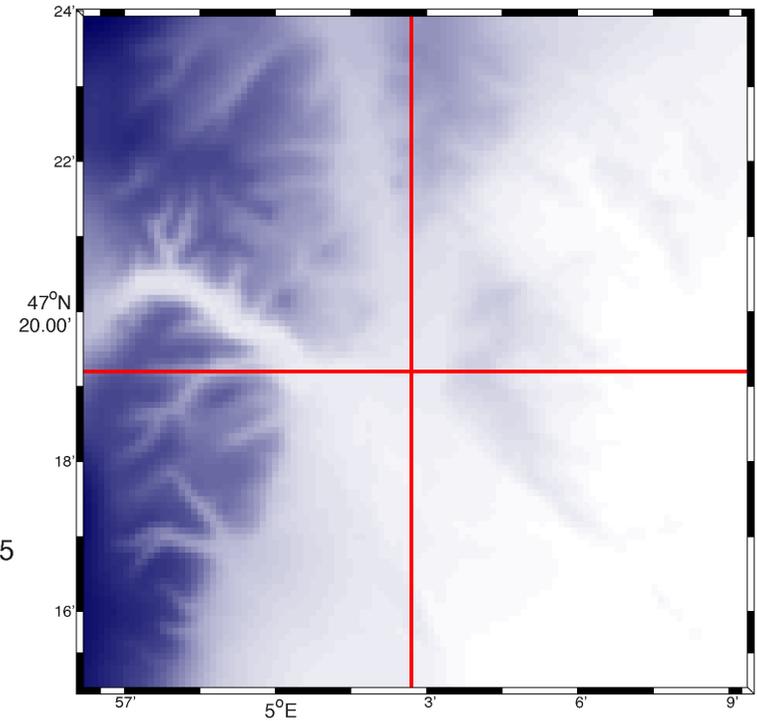
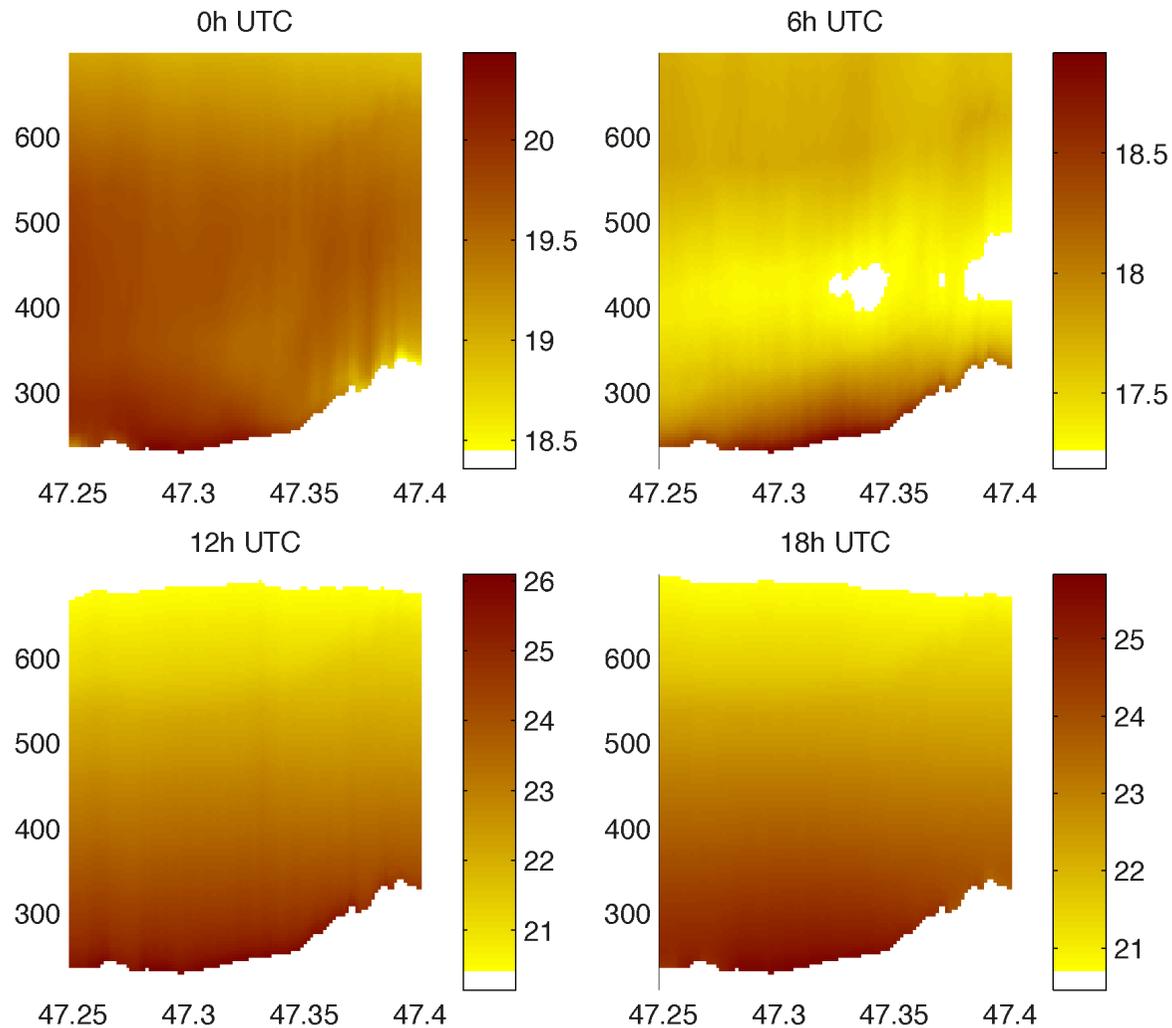


Côte — Dijon — Montmuzard

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Stratification verticale : approche en *transects*

- **Transect S-N, alt. absolue**

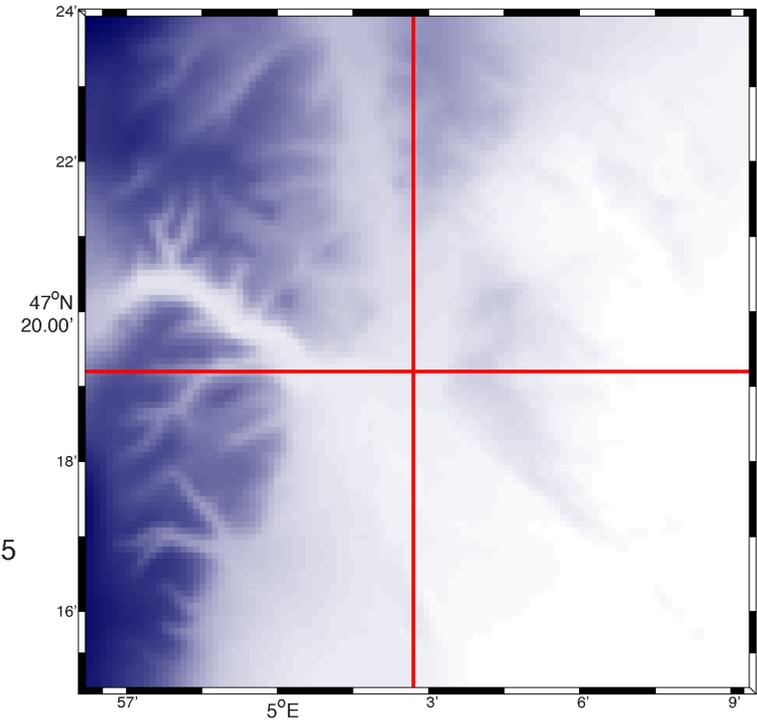
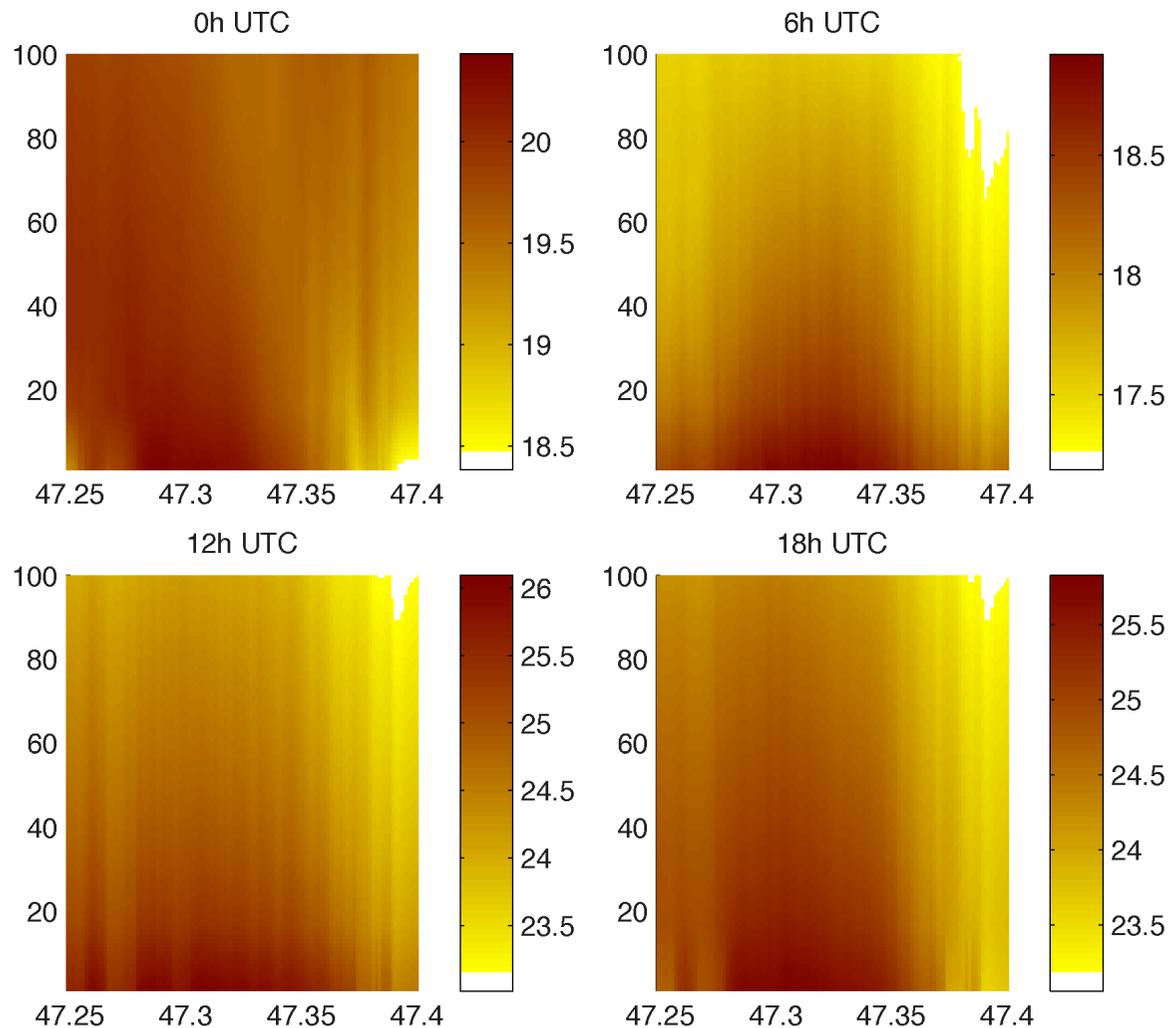


Chenôve — Dijon — arrière-côte

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Stratification verticale : approche en *transects*

- **Transect S-N, alt. relative**



Chenôve — Dijon — arrière-côte

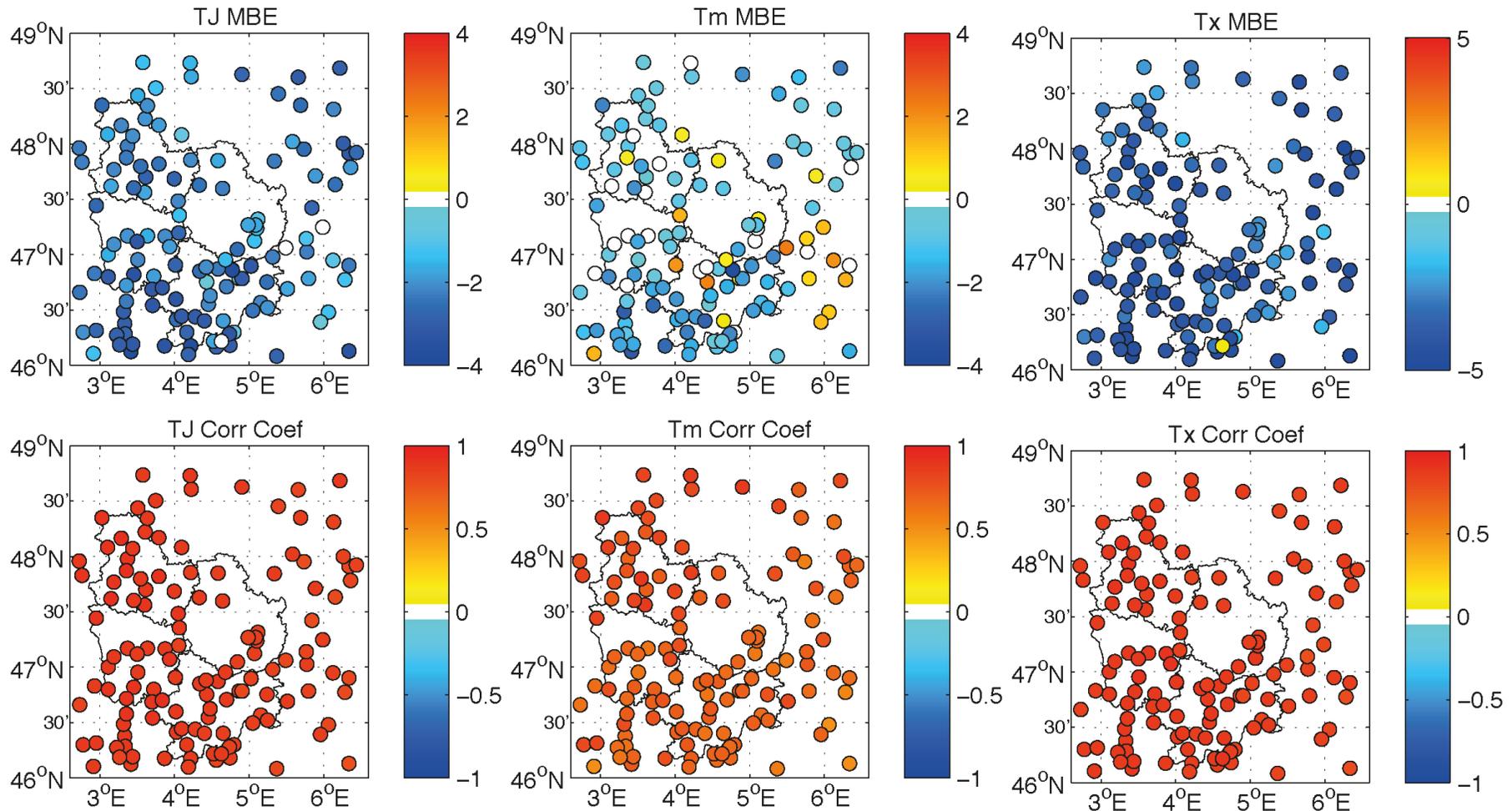
Biais "classique" des modèles de climat : **propagation depuis la surface**

- Amélioré par la physique urbaine ??

• **Quel réalisme ??**

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Domaine #2 (3750m résol.) : comparaison obs. Météo-France, Bourgogne et environs
131 stations météo : T2 journalière, Tm, Tx



WRF trop froid (3-4°C)
Variabilité temporelle OK

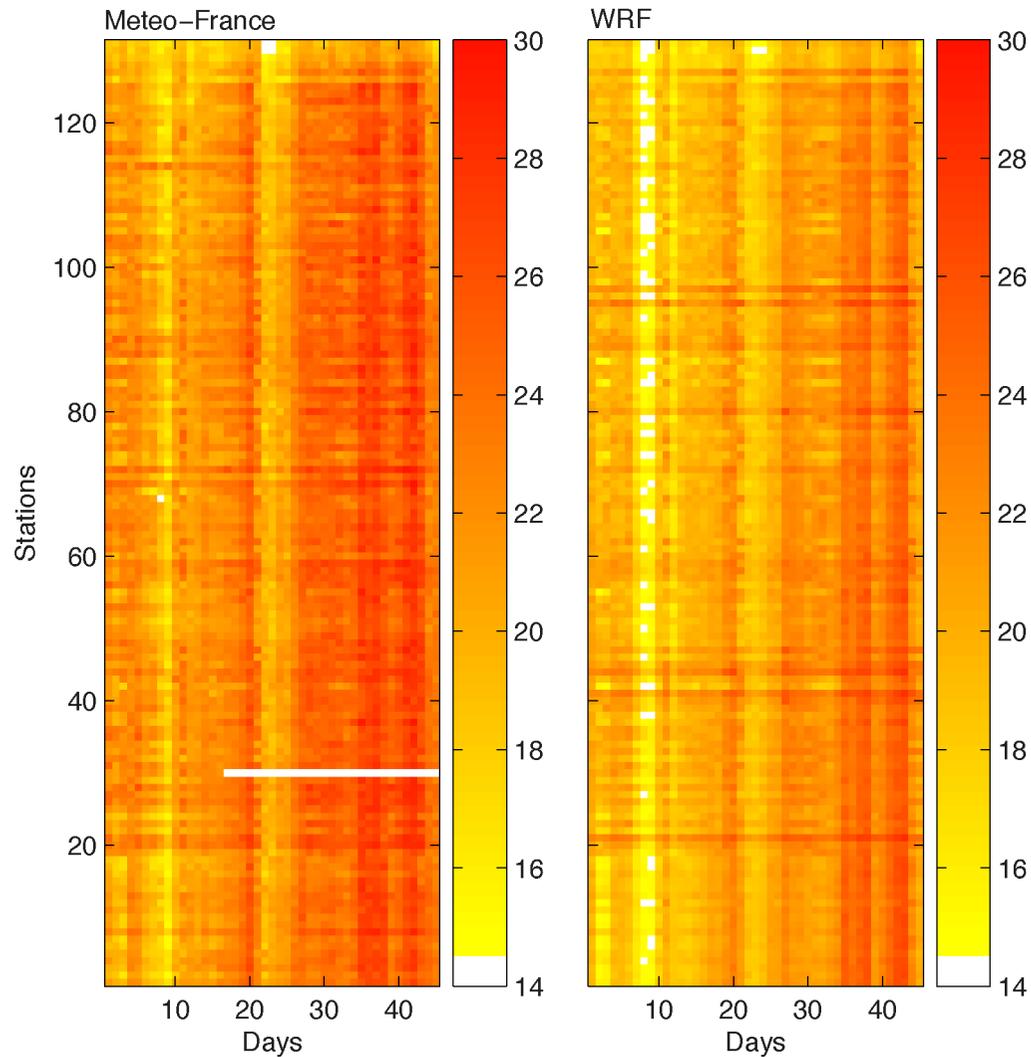
Biais froid : surtout Tx
Tm : corrélations temporelle (un peu) moins bonne



ICI, biais moyens saisonniers uniquement (15 juin – 31 juillet)

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Domaine #2 (3750m résol.) : comparaison obs. Météo-France, Bourgogne et environs
131 stations météo : T2 journalière, Tm, Tx

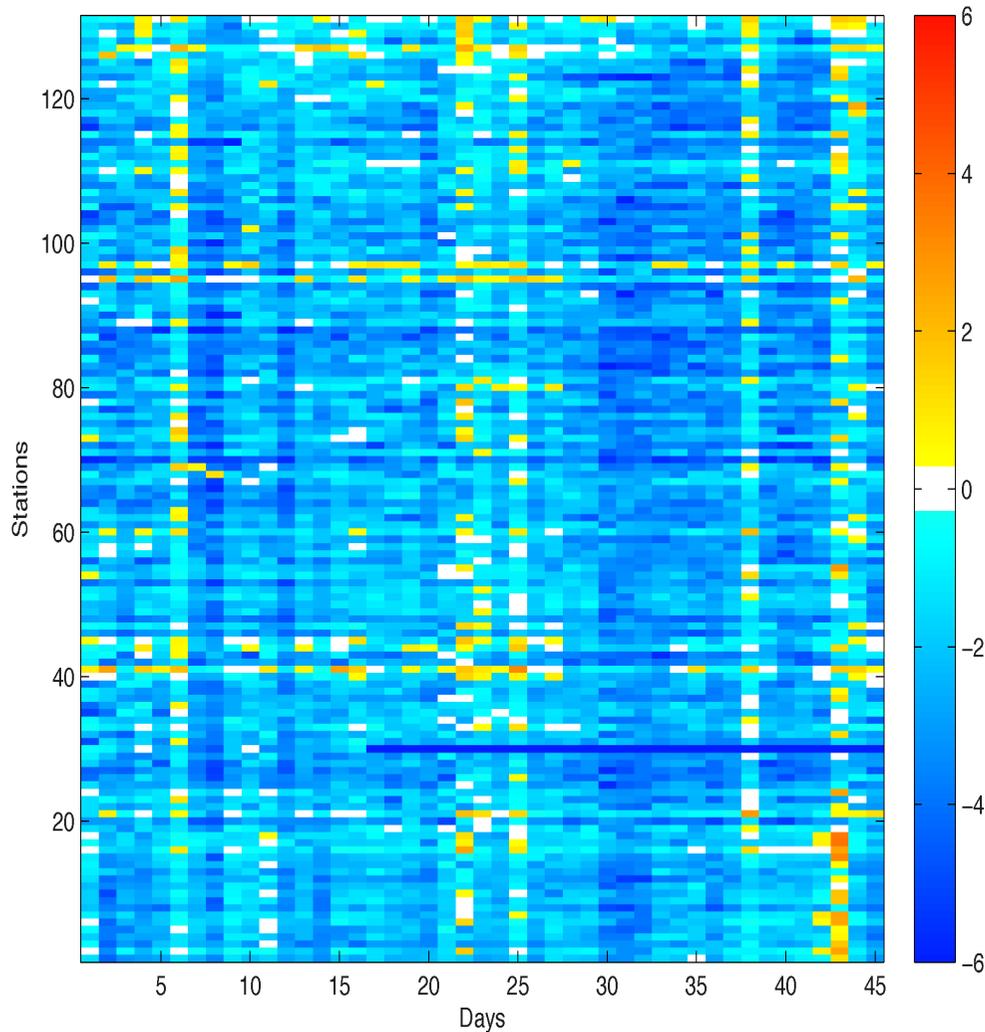


Temps vs. stations (alt croissante)

- une bonne partie du signal est "large échelle"
- assez faibles gradients alt. (mais peu de stations alt > 800m)
- canicule : jours 25-45

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Domaine #2 (3750m résol.) : comparaison obs. Météo-France, Bourgogne et environs
131 stations météo : T2 journalière, Tm, Tx



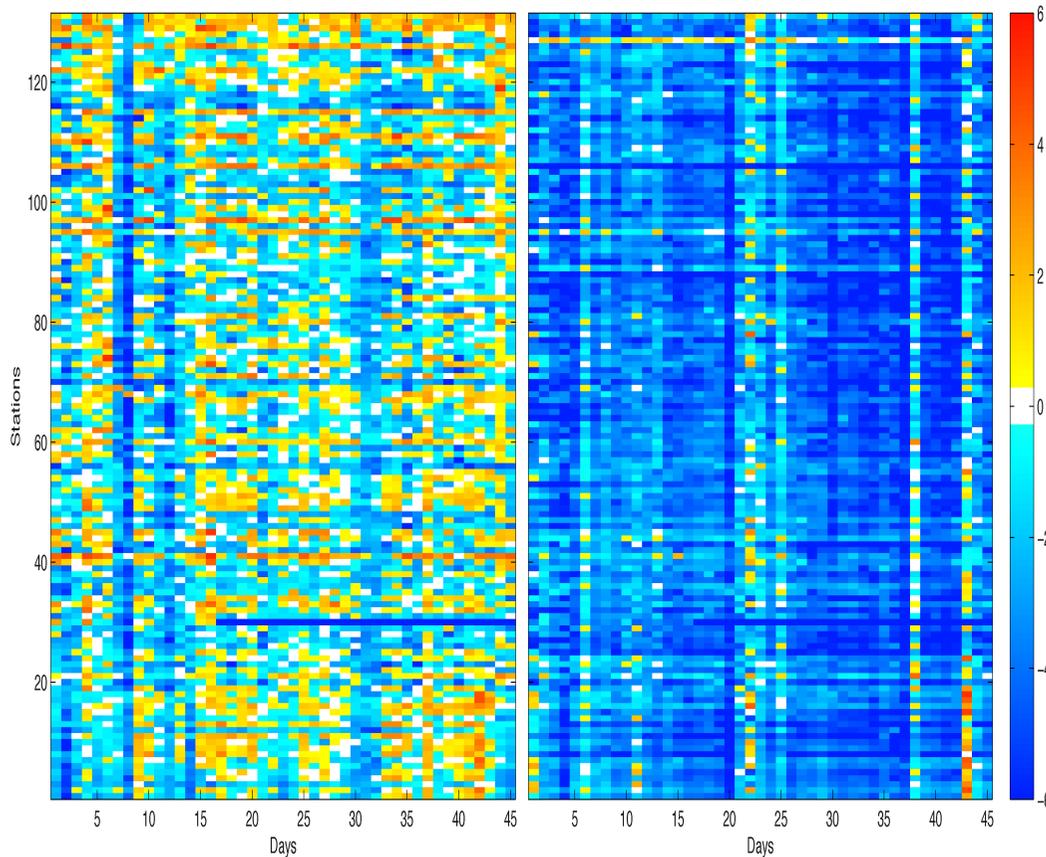
Temps vs. stations (alt croissante)

WRF trop froid :

- sur presque toutes les stations
- pendant presque tous les jours
- surtout pendant la canicule

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Domaine #2 (3750m résol.) : comparaison obs. Météo-France, Bourgogne et environs
131 stations météo : T2 journalière, Tm, Tx



Temps vs. stations (alt croissante)

WRF trop froid surtout sur les Tx

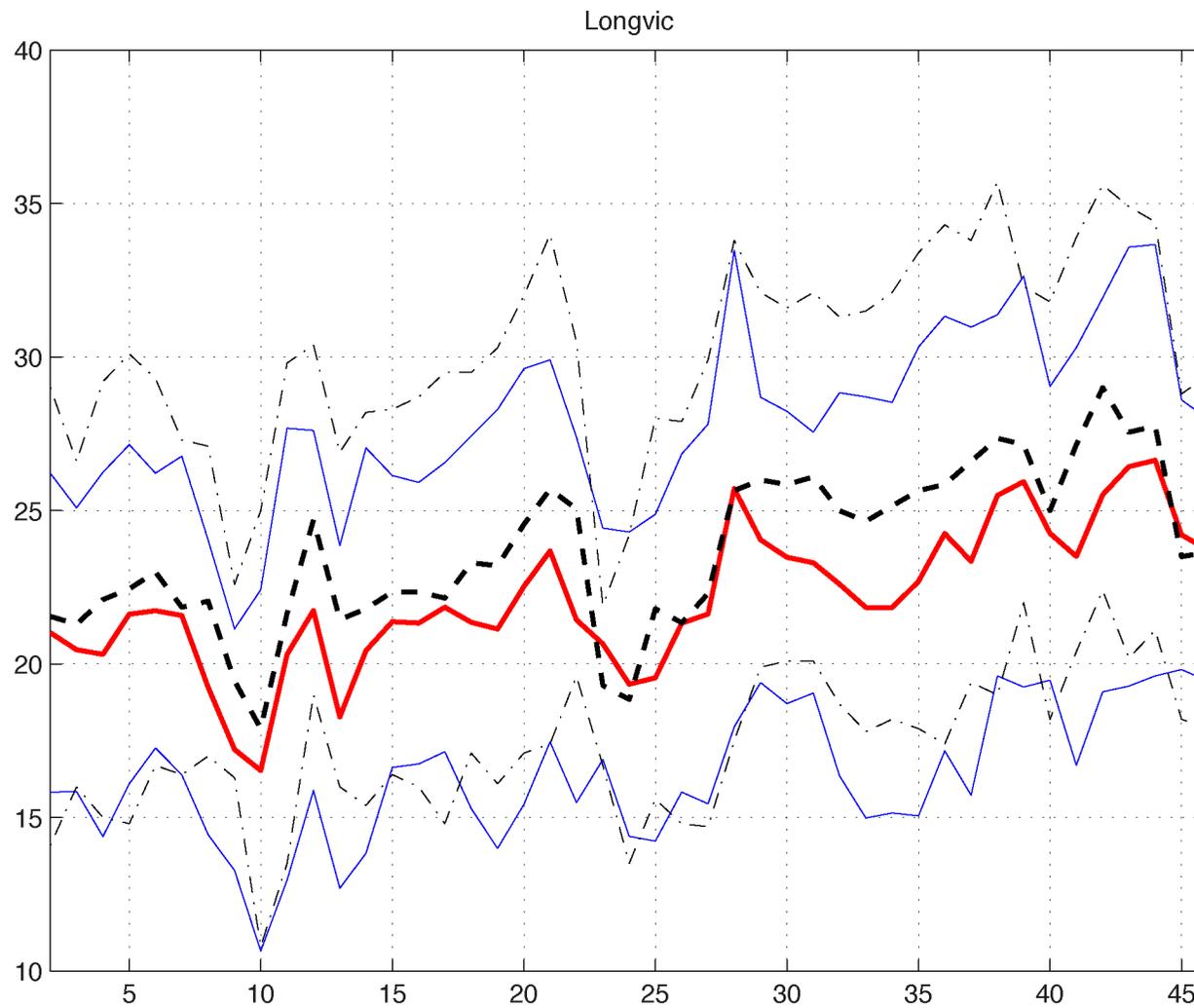
- signe des biais inconstant dans le temps et dans l'espace pour Tm
- Tx sous-estimé presque dans toutes les stations, presque tous les jours
- biais froids les plus forts partout, pendant la canicule



**ICI, échelle Bourgogne :
quel réalisme sur Dijon ?**

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Domaine #4 (150m résol.) : comparaison obs. Météo-France
4 stations météo : Longvic, Quétigny, Toison, Marsannay



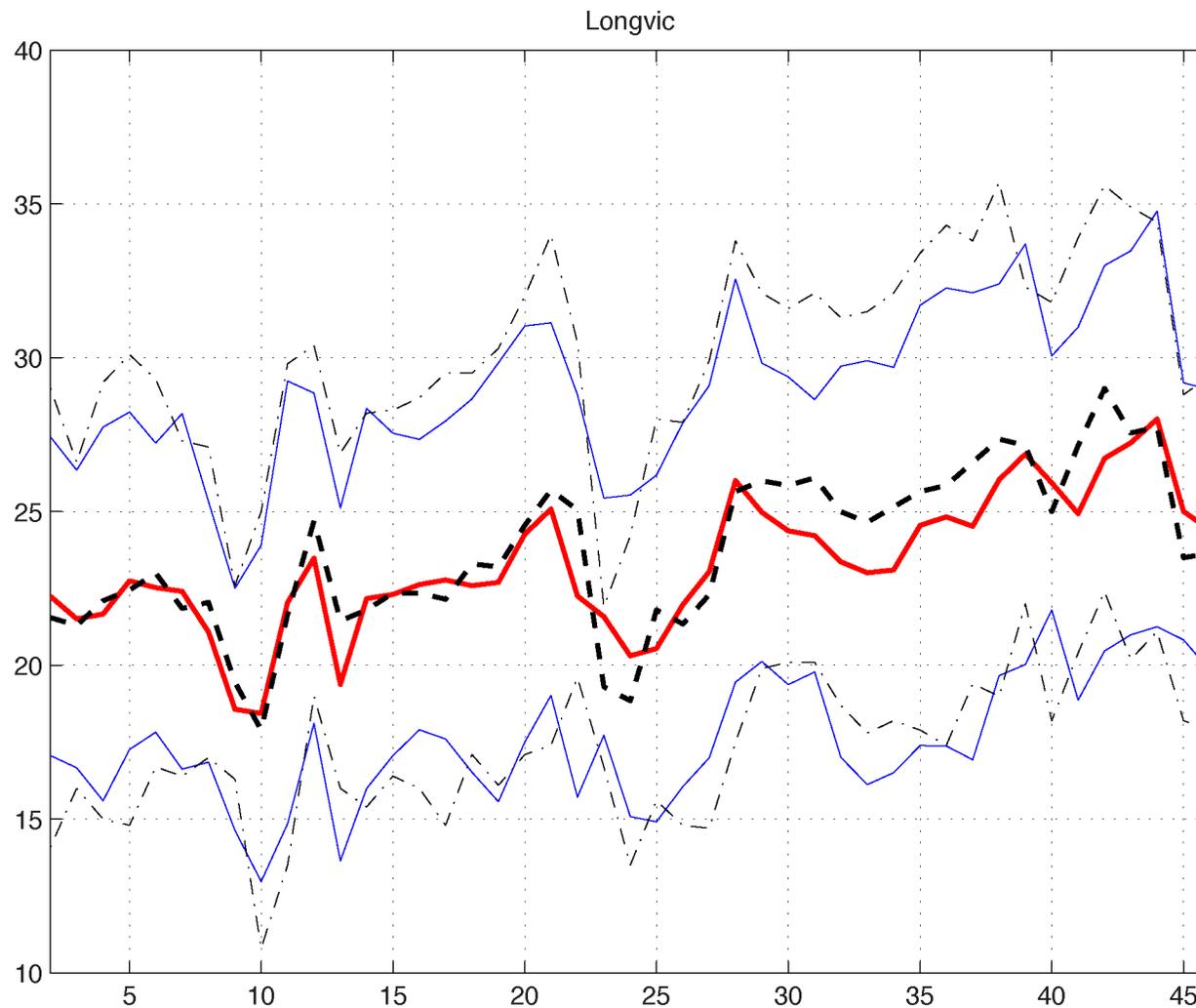
DOMAINE #2

Météo-France : pointillés
(Tm, TJ, Tx)

WRF : couleurs traits pleins
(Tm, TJ, Tx)

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]

Domaine #4 (150m résol.) : comparaison obs. Météo-France
4 stations météo : Longvic, Quétigny, Toison, Marsannay

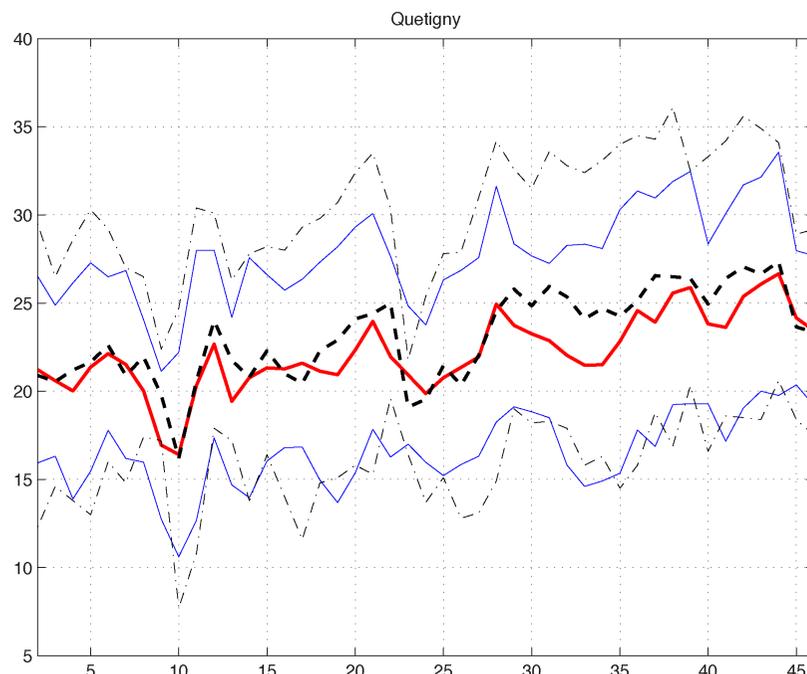
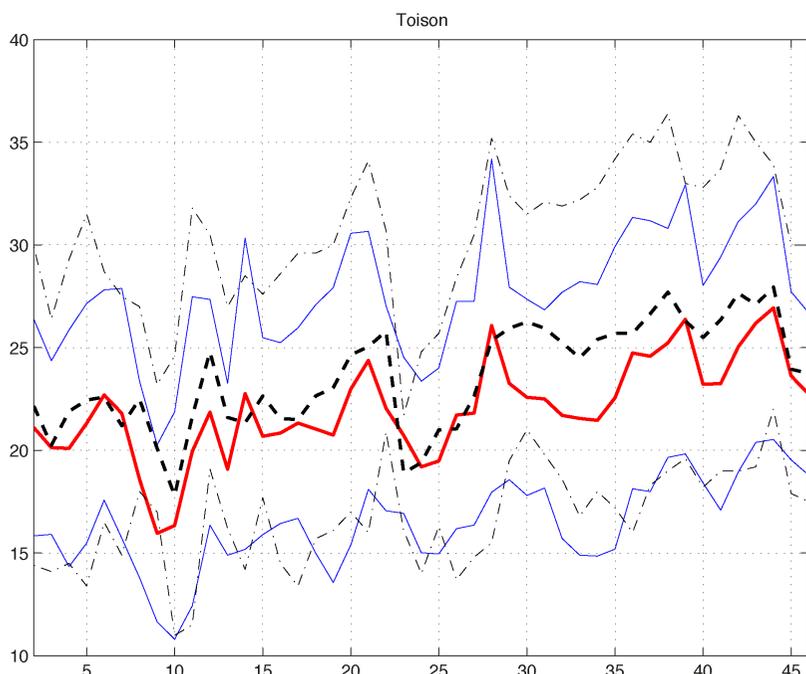
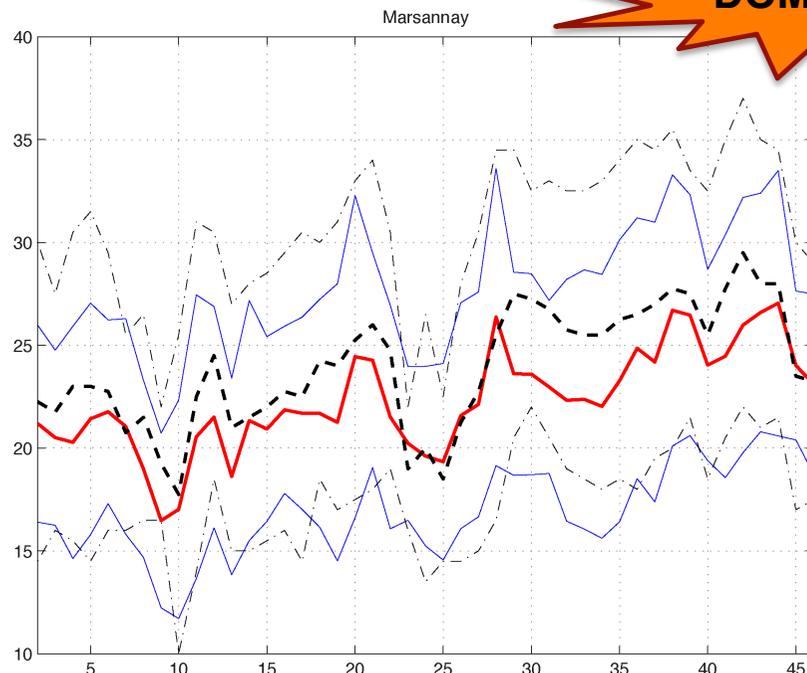
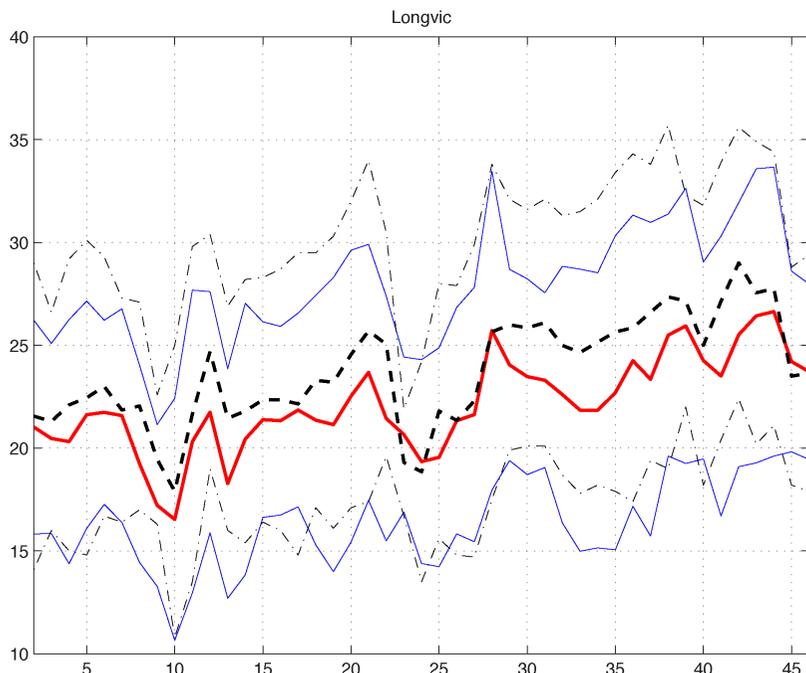


DOMAINE #4

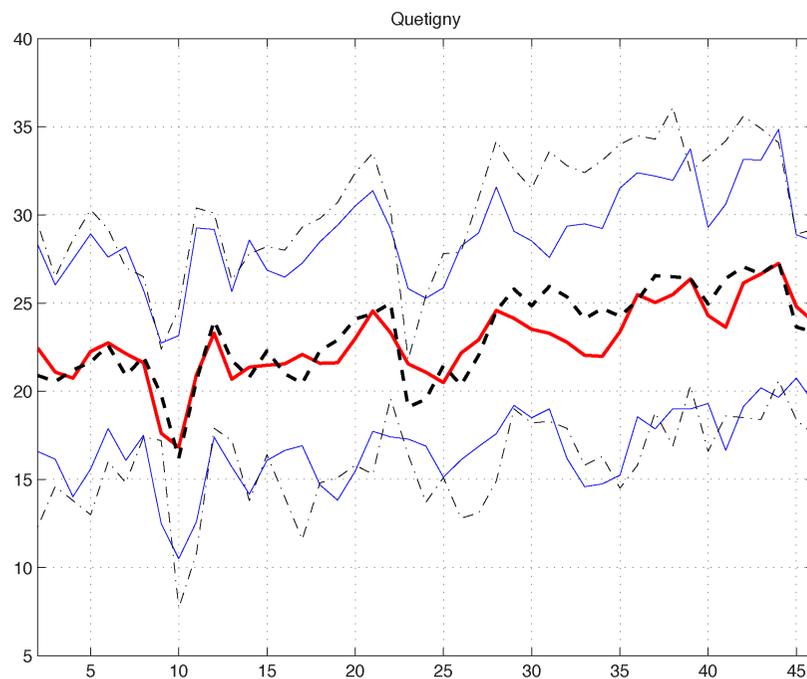
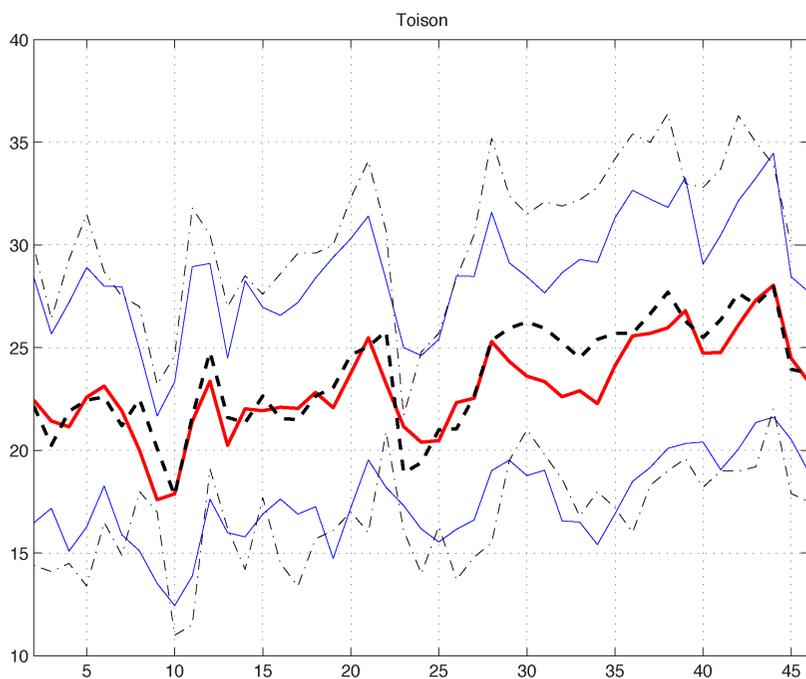
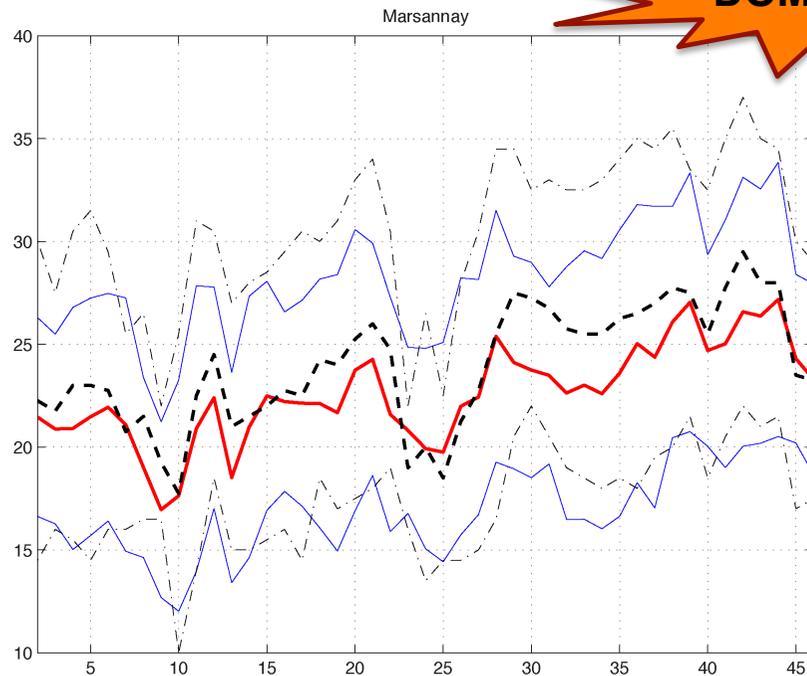
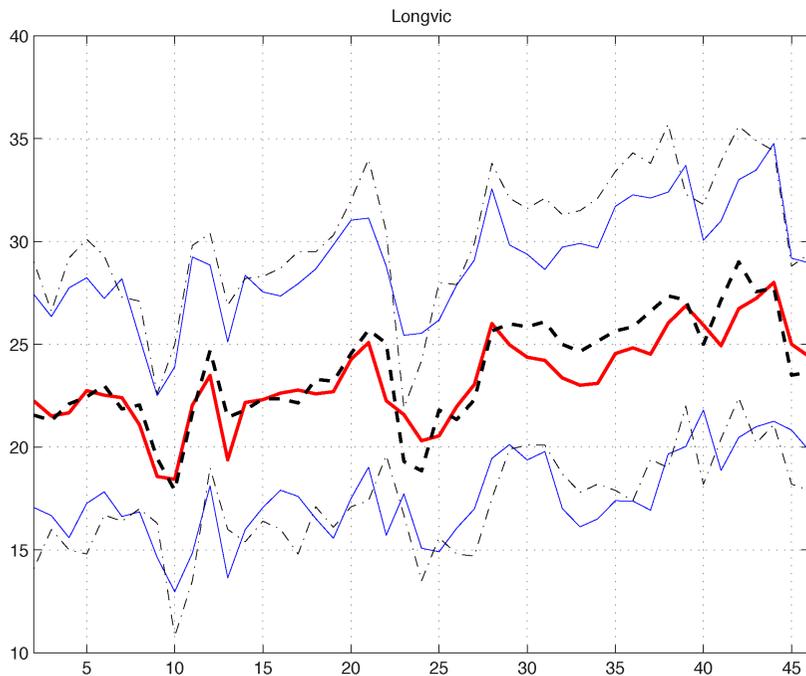
Météo-France : pointillés
(Tm, TJ, Tx)

WRF : couleurs traits pleins
(Tm, TJ, Tx)

ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



ICU@Dijon : résultats préliminaires [été 2006]



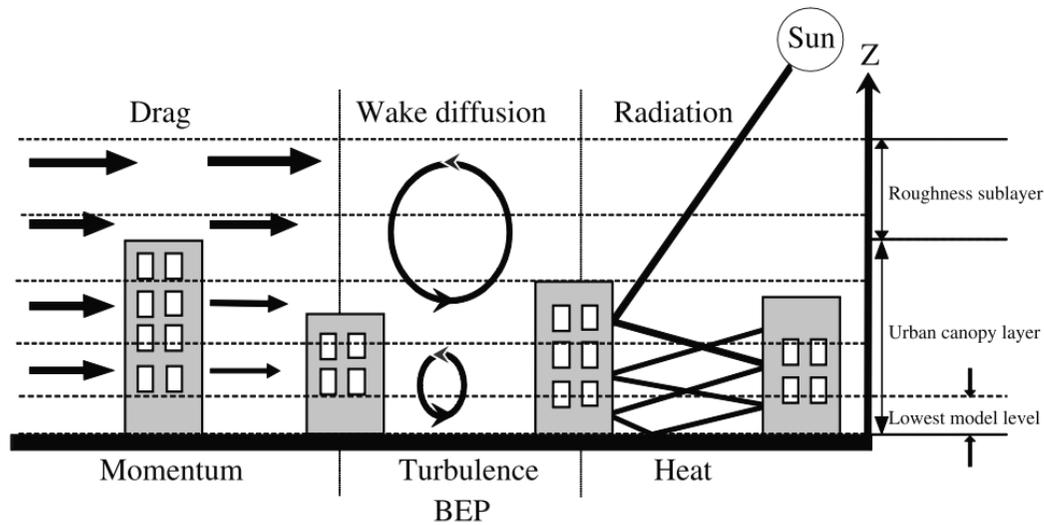


CONCLUSION & PERSPECTIVES DE TRAVAIL



Tests non terminés

- Inclure la physique urbaine (BEP, BEP+BEM)



Jusqu'à présent : du vent sur une surface surchauffée...

BEP : absorption par murs et toit selon leur couleur et leur matière, turbulence selon largeur des rues et des maisons

BEM : énergétique des logements et déperditions de chaleur (hiver) en plus

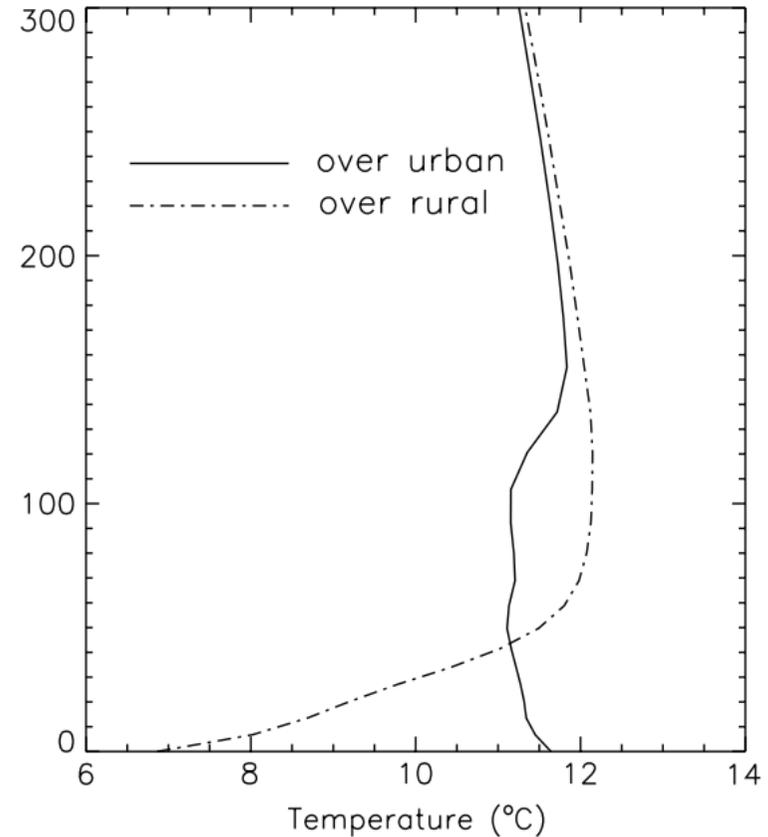


Figure 3. Simulated vertical profiles of night-time temperature above a city and a rural site upwind of the city. Results obtained with WRF/BEP for a two-dimensional simulation (from Martilli and Schmitz, 2007).

Perspectives : ICU@Dijon2014



Tests non terminés

- **Etudier la variabilité de l'ICU** (temps et espace)
- **Climat / atmosphère** : intensité, extension, morphologie de l'ICU
 - intensité gradients thermiques urbain-rural
 - rôle des états de surface, type de bâti, végétalisation, ...
- >> **Double approche numérique et instrumentale**, été prochain



- **Stress thermique** : quelle exposition aux températures pour les populations vulnérables ?
 - quelle T subit-on au cours de la journée...
 - ... en fonction des mobilités urbaines ?

Perspectives : ICU@Dijon2014

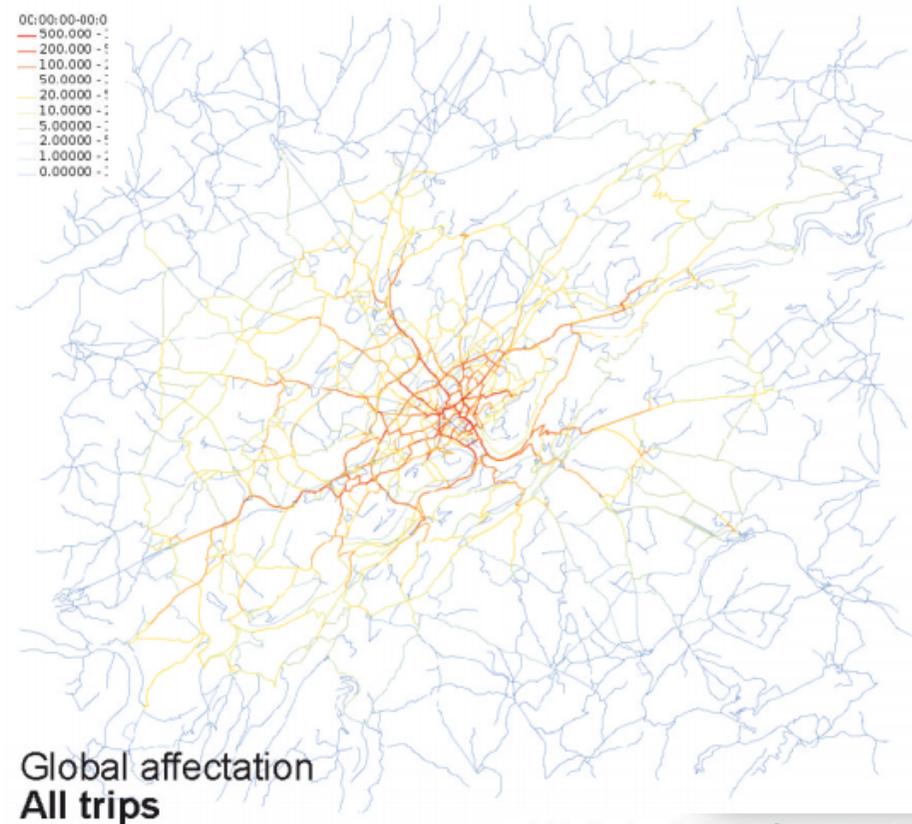


Tests non terminés

- Etudier la variabilité de l'ICU (temps et espace)
 - **Climat / atmosphère** : intensité, extension, morphologie de l'ICU
 - intensité gradients thermiques urbain-rural
 - rôle des états de surface, type de bâti, végétalisation, ...
- >> **Double approche numérique et instrumentale**, été prochain



- **Stress thermique** : quelle exposition aux températures pour les populations vulnérables ?
 - quelle T subit-on au cours de la journée...
 - ... en fonction des mobilités urbaines ?



J.P. Antoni © ThéMA (2010)

Perspectives : ICU@Dijon2014

