

Changement climatique, îlots de chaleur urbains, ressource en eau : des thématiques au cœur des questionnements sur le calcul et les données



Benjamin Pohl^{1*} ; Yves Richard¹ ; Thierry Castel¹ ; Julien Pergaud¹ ;
Philippe Amiotte-Suchet¹ ; Mario Rega¹ ; Thomas Thévenin² ; Pascal Roucou¹

¹ *Biogéosciences, UMR6282 CNRS / Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France*

² *ThéMA, UMR6049 CNRS / Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France*

* benjamin.pohl@u-bourgogne.fr

Présentation Générale des Recherches

1. Changement Climatique

2. Climat Urbain

Calcul & Données

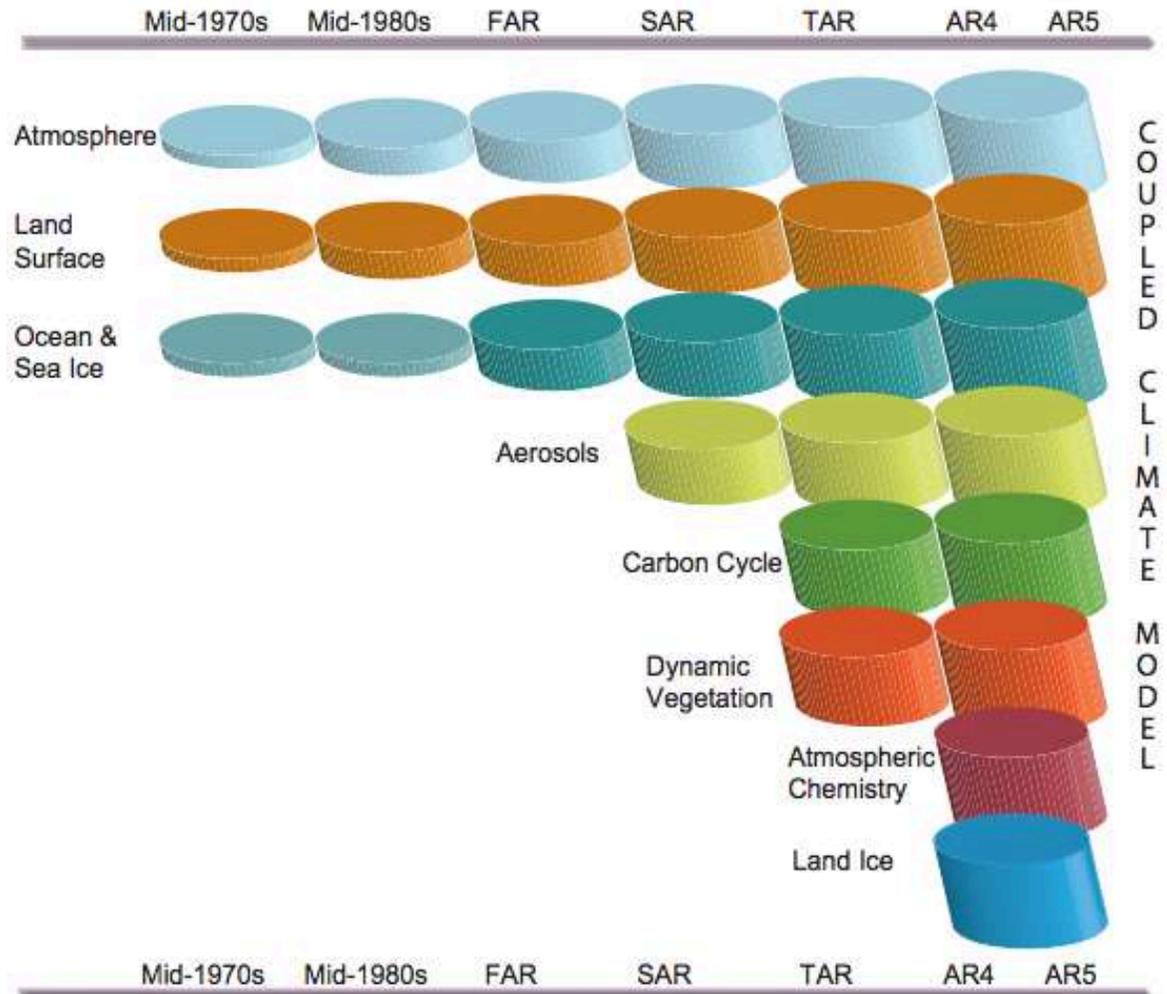
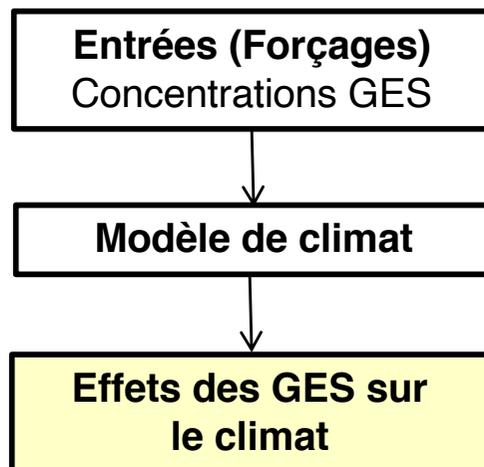
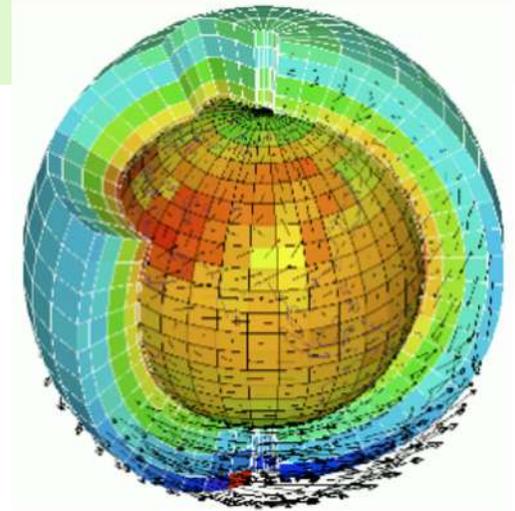
3. Ressources Numériques & Stockage

4. Open Science, Open Data : comment FAIR ?

Changement Climatique | Approche globale

Programme informatique qui implémente un système d'équations qui sont l'expression des lois physiques régissant le comportement du système climatique terrestre

- équations de la thermodynamique des fluides
- discrétisation dans le temps et l'espace (« résolution »)
- incorporent les **éléments majeurs du système climatique terrestre**
- outils de plus en plus sophistiqués, réalistes mais aussi compliqués



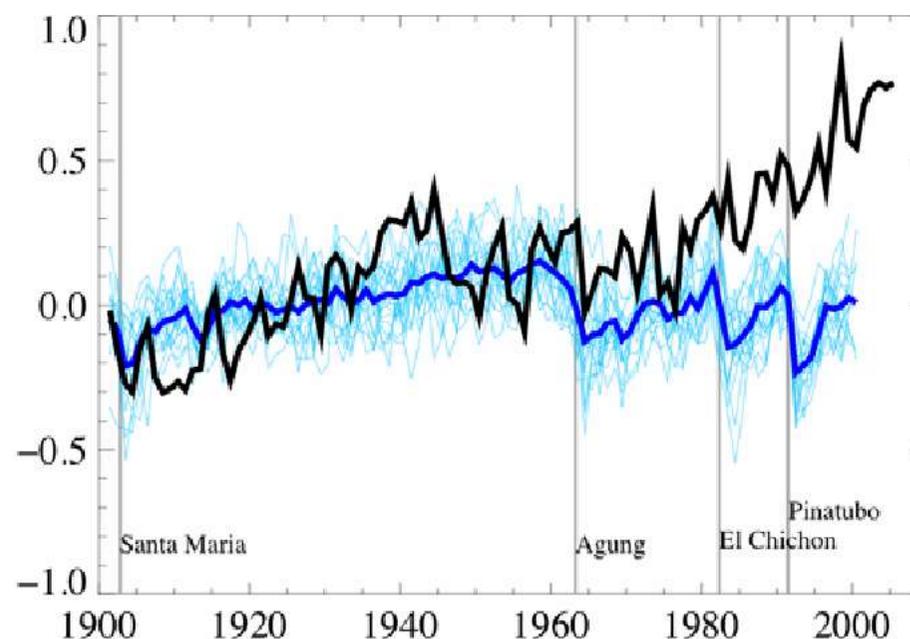
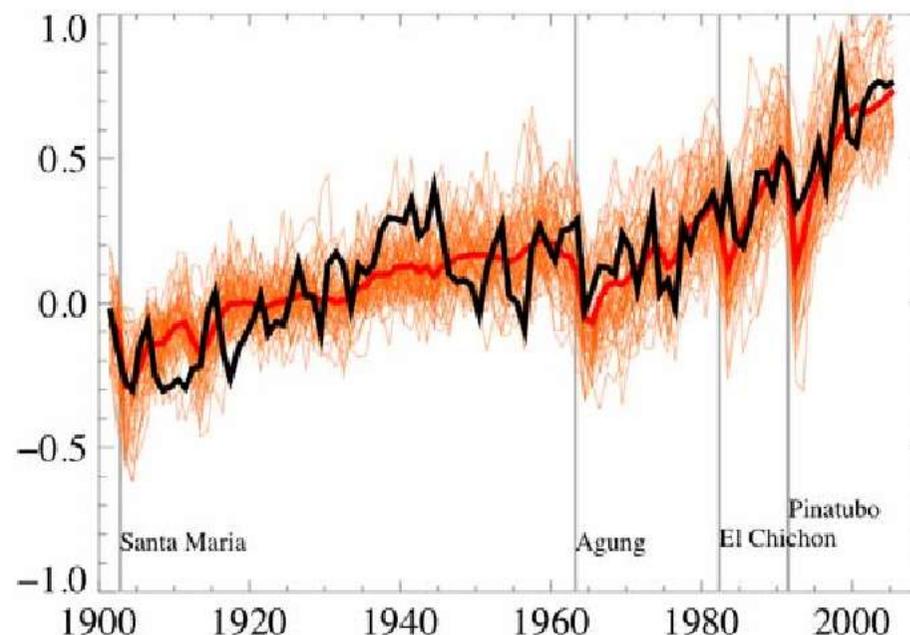
Etape 1 : les modèles parviennent à bien simuler l'évolution des températures sur le 20^{ème} siècle

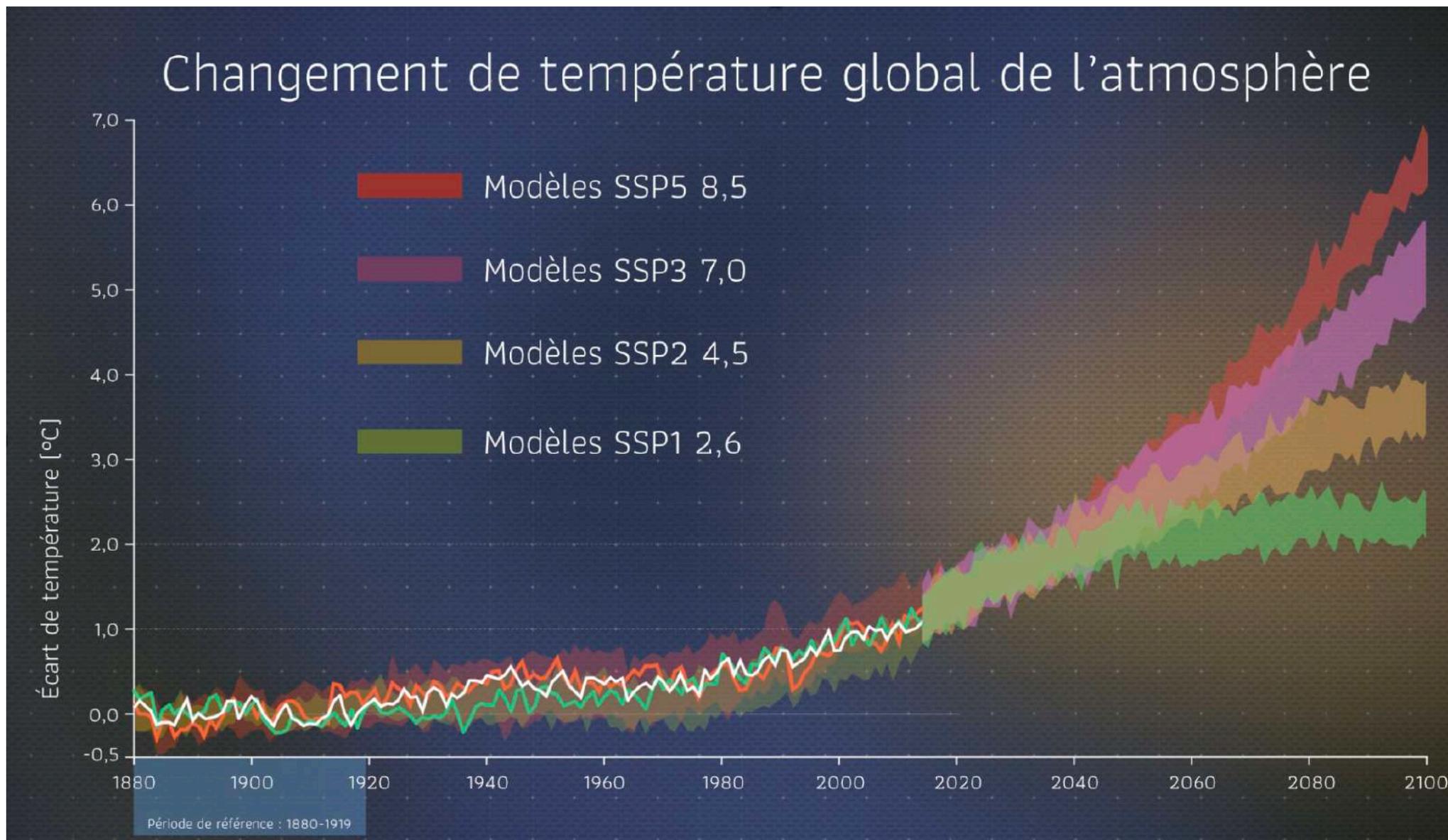
(ouf, ça fonctionne !)

Etape 2 : en entrée du modèle on ôte les émissions anthropiques de GES

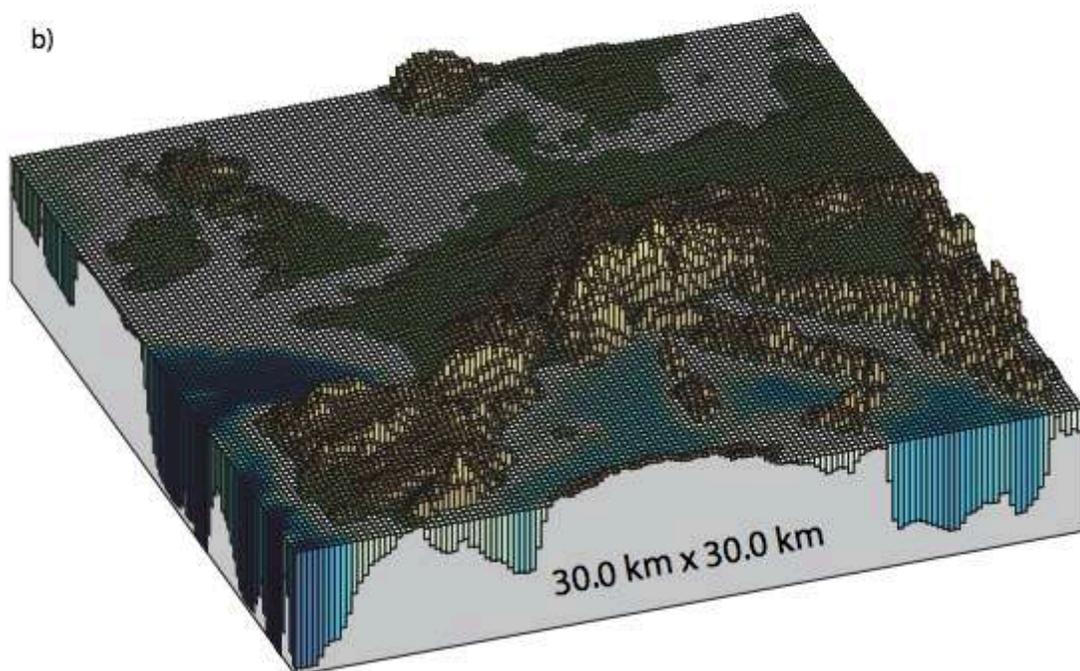
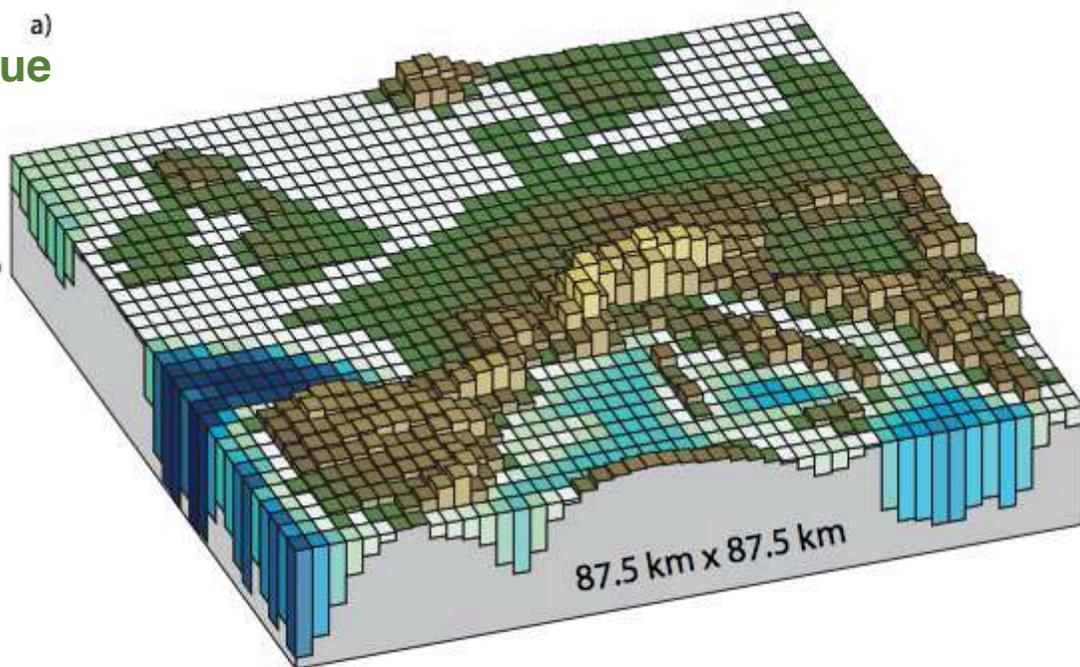
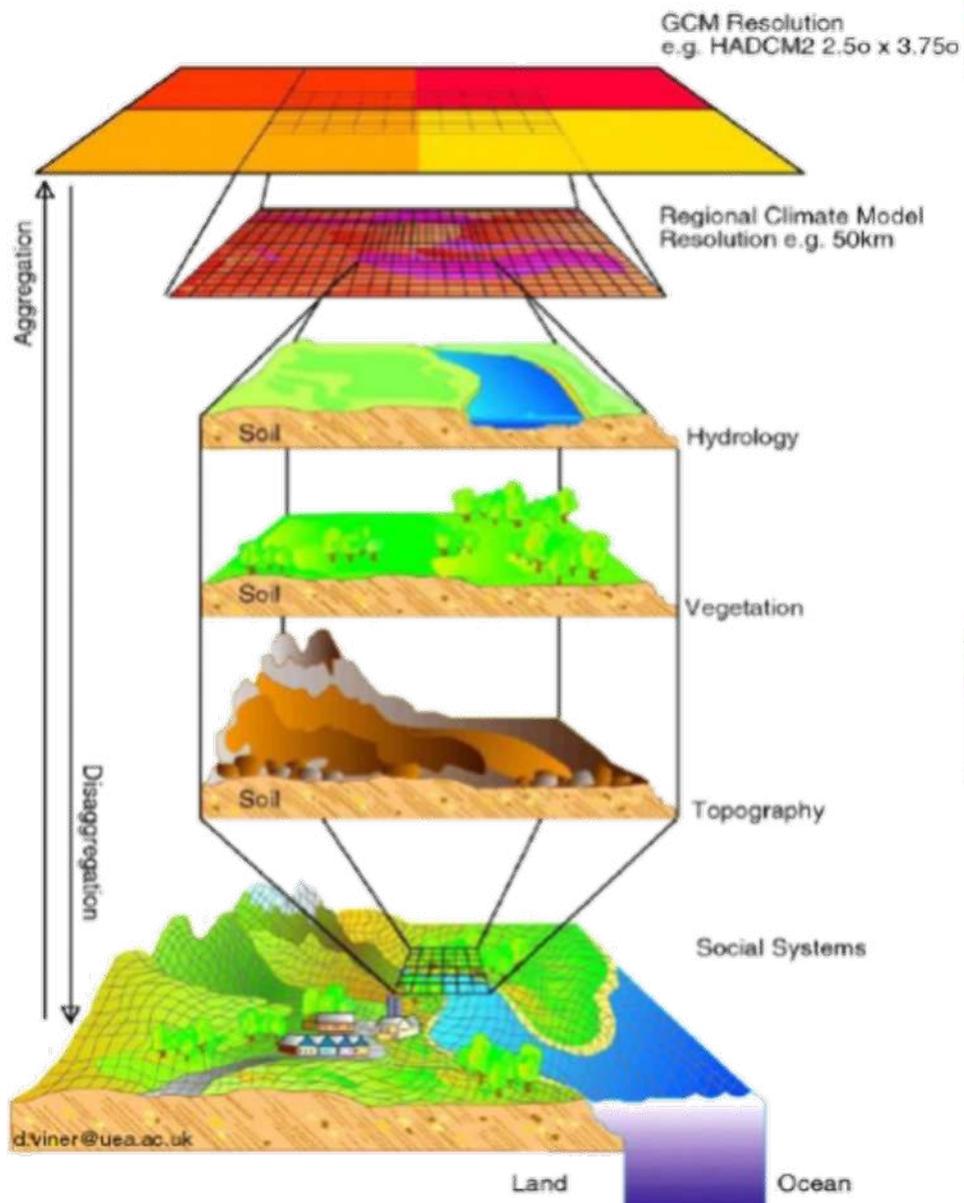
pour que ça fonctionne (= que la Terre se réchauffe), l'influence anthropique est nécessaire

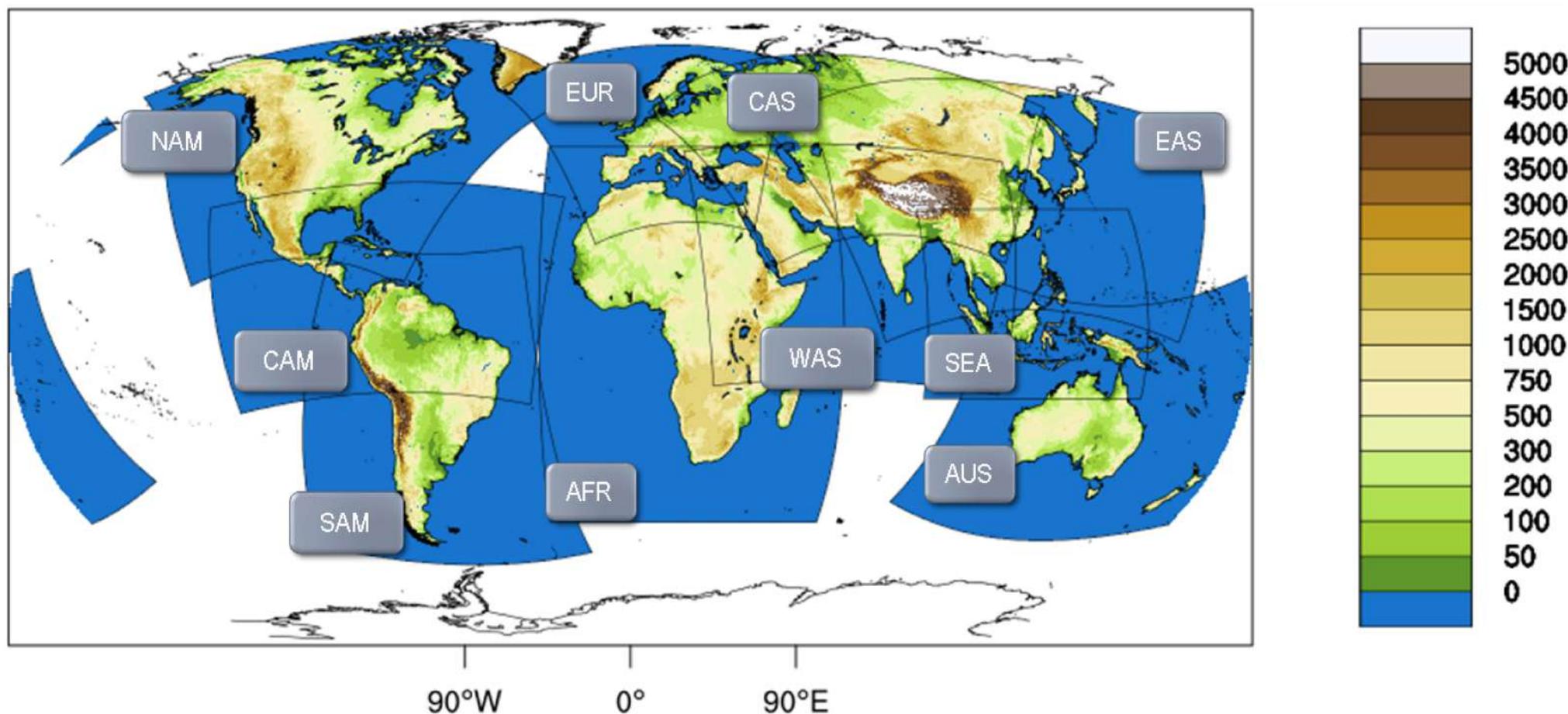
Les activités humaines sont responsables du réchauffement depuis 1960 (moins certain avant cette date)



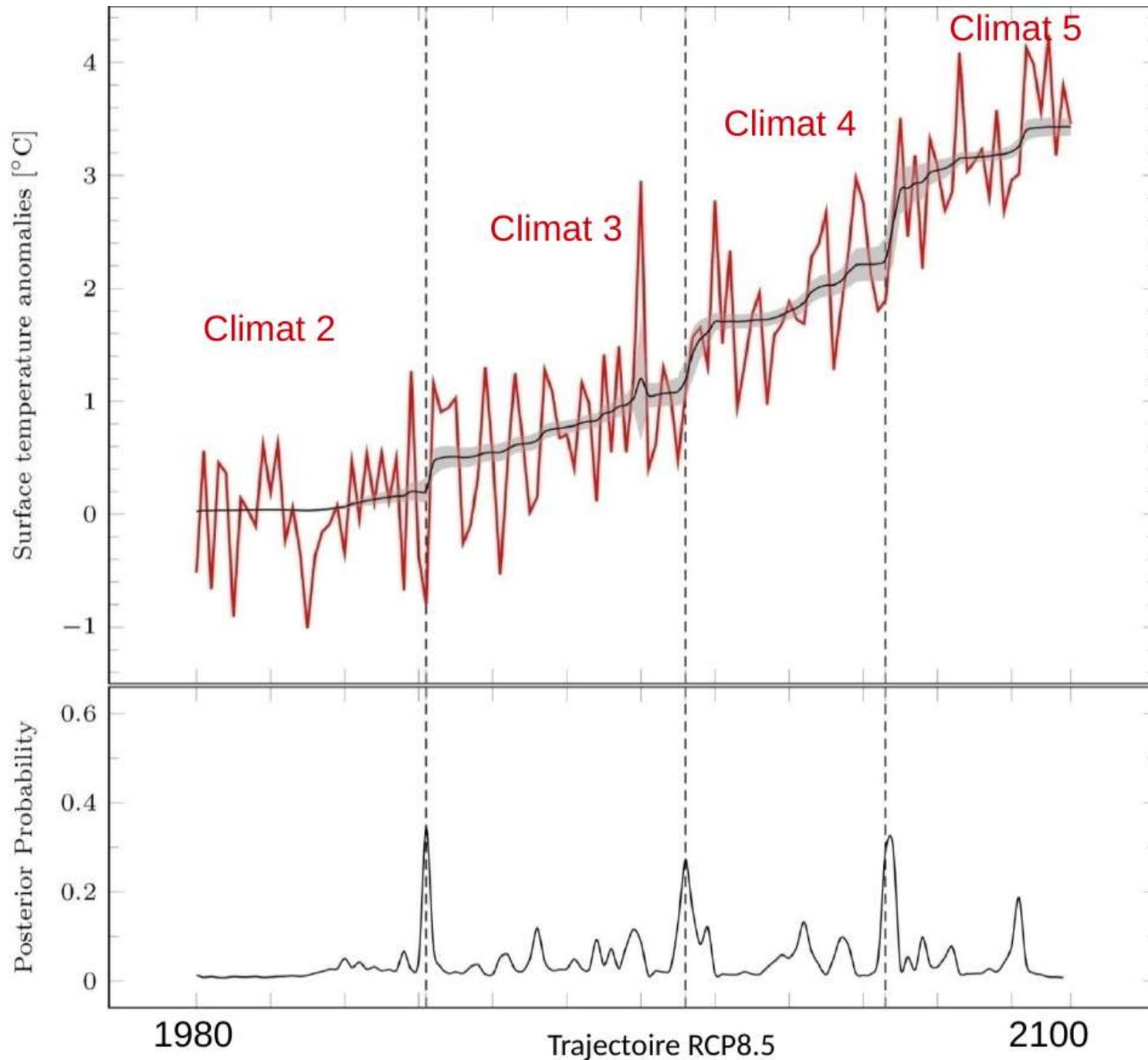


Besoin de descendre l'information climatique ("downscaling") à l'échelle des territoires





Programme CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) : 13 domaines dans le monde (dont Europe, Afrique, Méditerranée auxquels nous contribuons)



HYCCARE
Changement climatique en Bourgogne, et ses impacts
sur la ressource en eau

Philippe Amiotte-Suchet, Jérémy Bachmann, Etienne Brulebois, **Thierry Castel**,
Olivier Legras, Nicolas Le Moine, Vivien Ponnou-Delaillon, **Yves Richard**, Aurélien
Rossi, Marjorie Ubertosi



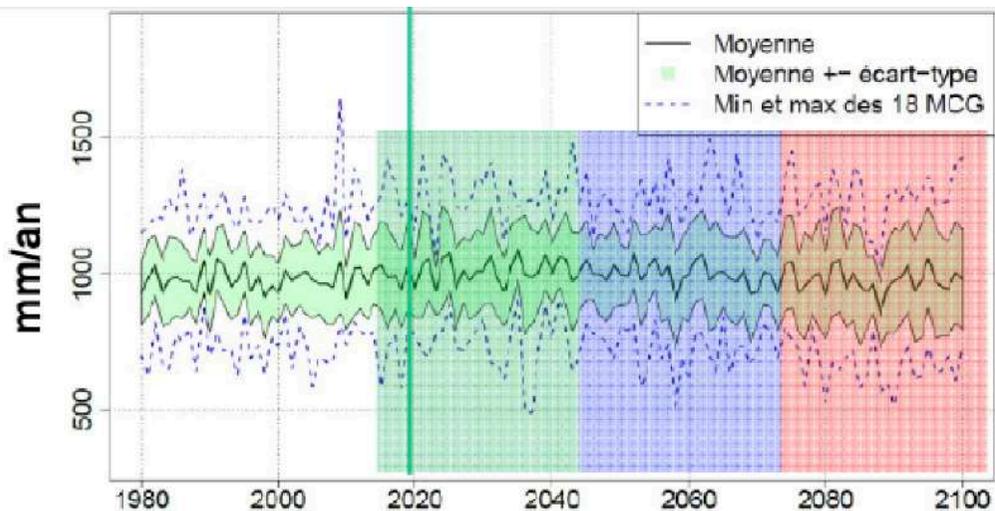
**Réchauffement par
« sauts » / ruptures
successives**

— conforme aux
observations
récentes

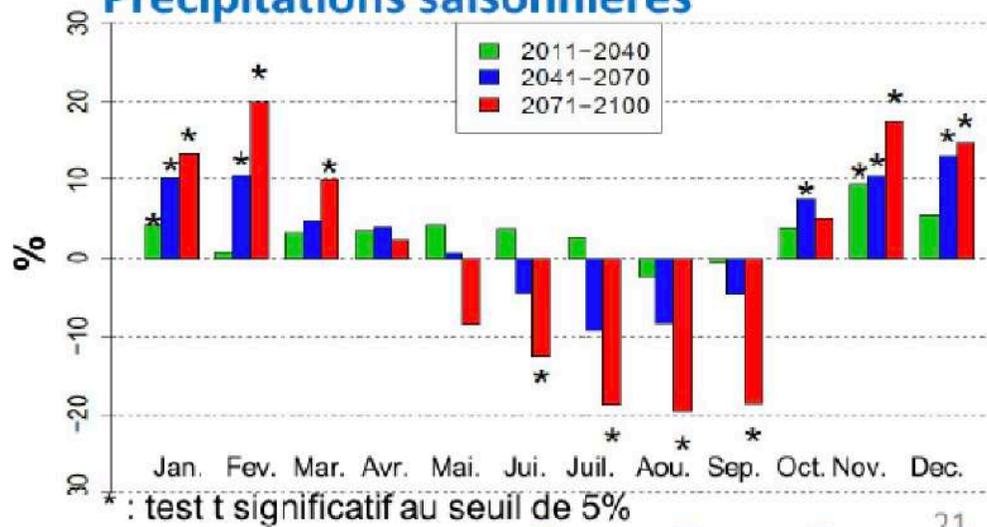
— simulé par les
modèles du GIEC

— rend l'adaptation
plus difficile

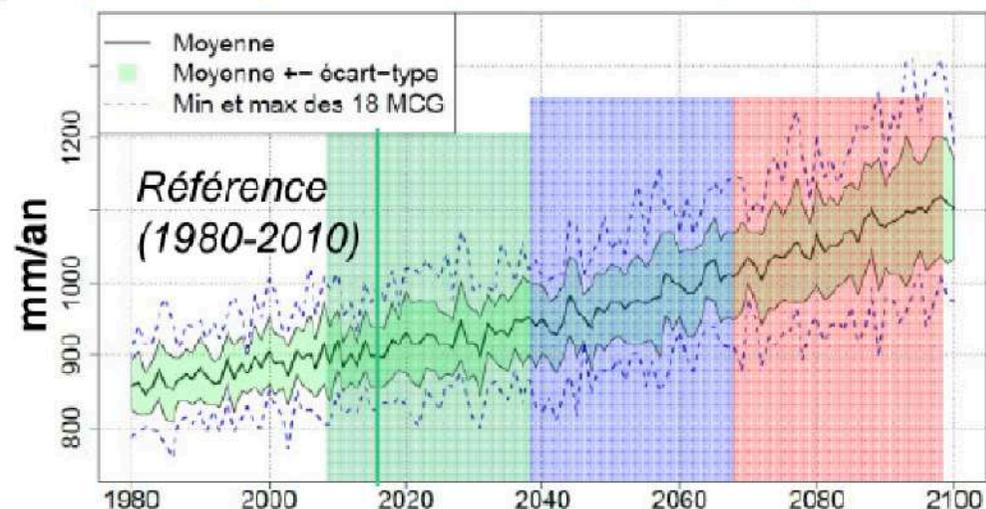
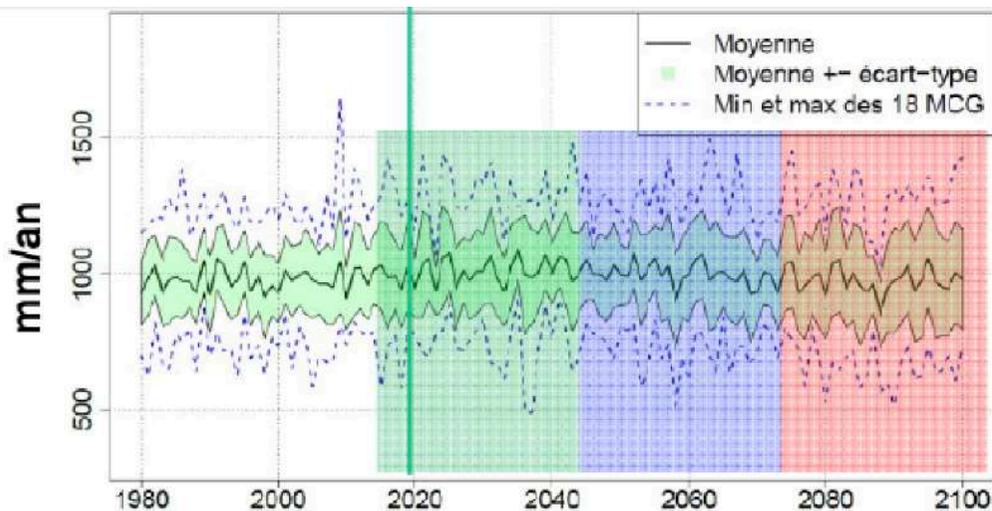
Changement Climatique | Effets Régionaux (quart NE de la Métropole)



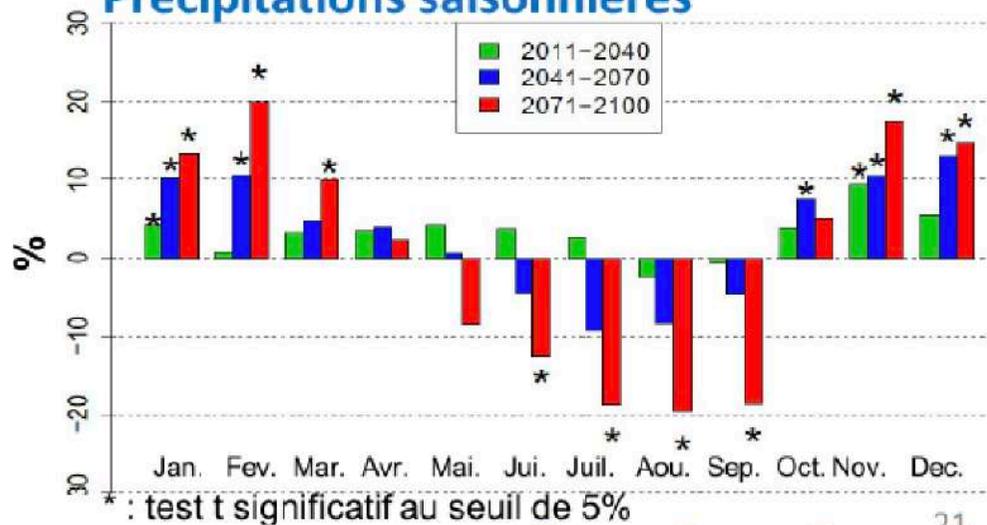
Précipitations saisonnières



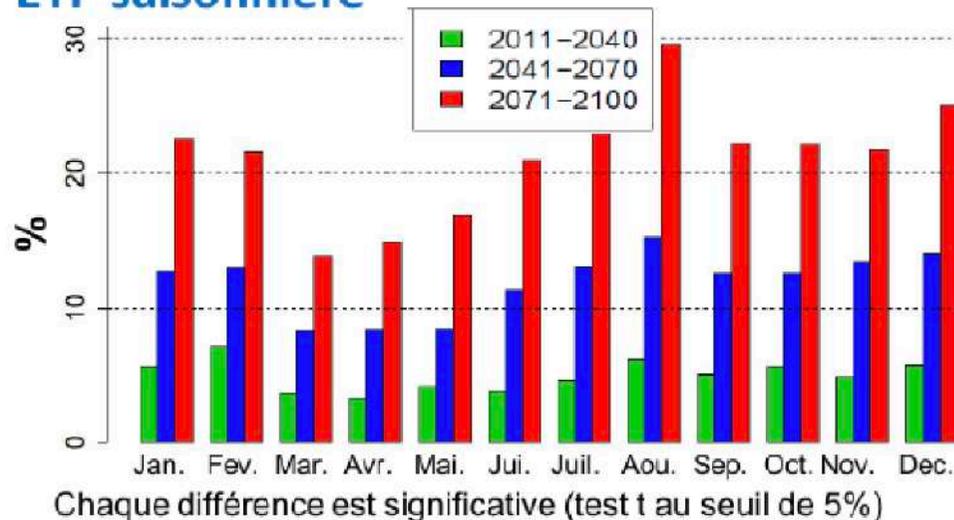
Changement Climatique | Effets Régionaux (quart NE de la Métropole)



Précipitations saisonnières



ETP saisonnière



Vers une généralisation des pénuries d'eau en Bourgogne Franche-Comté ... ?



Où est passé le Doubs?

PLANÈTE

Publié vendredi 16 novembre 2018 à 06:47



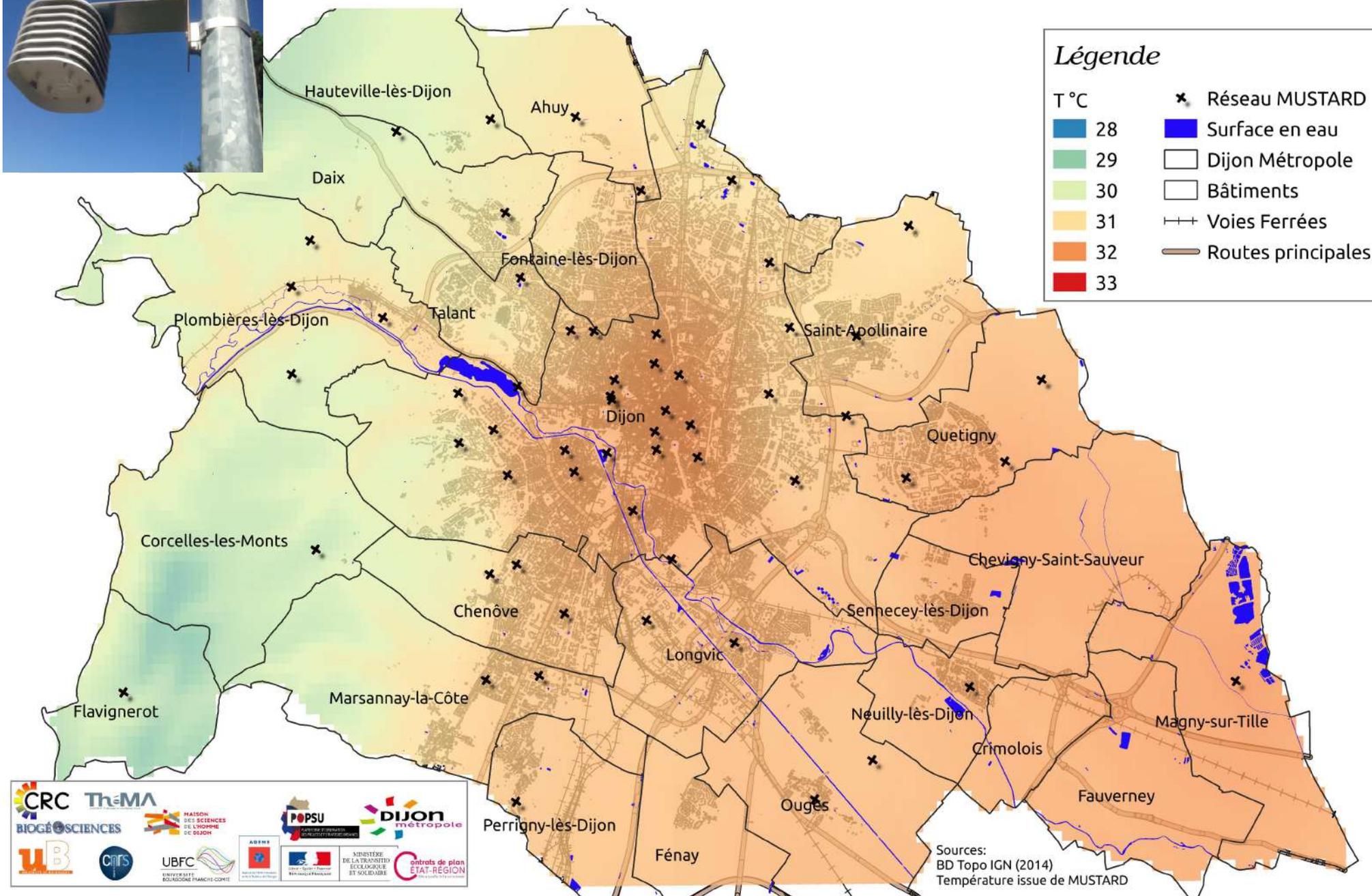
Lecture 4 minutes

Mireille Monnier

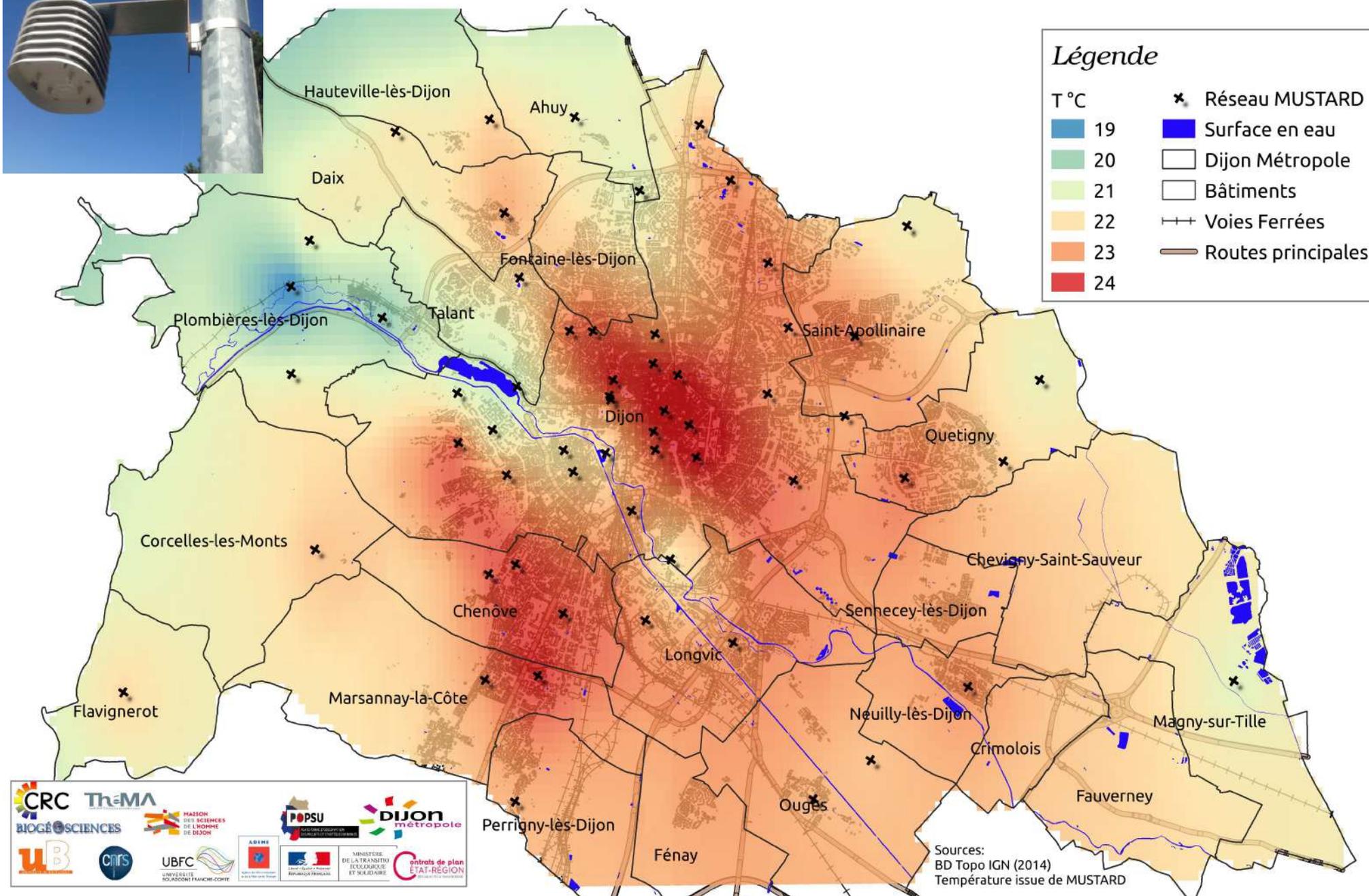
© CHRIS BLASEP



Moyenne des températures diurnes lors de la canicule de l'été 2018



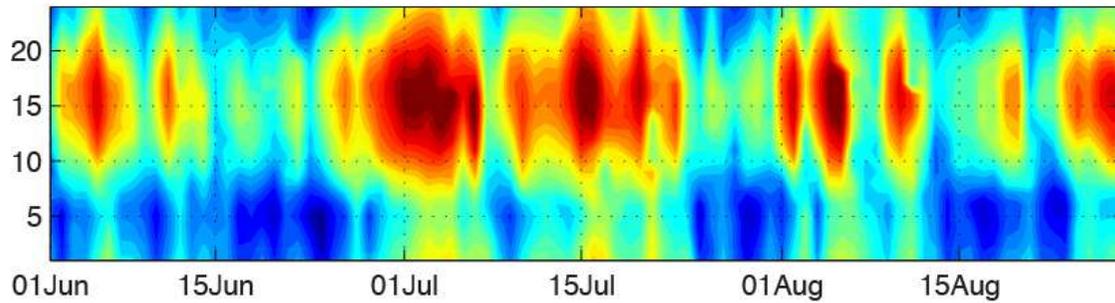
Moyenne des températures nocturnes lors de la canicule de l'été 2018



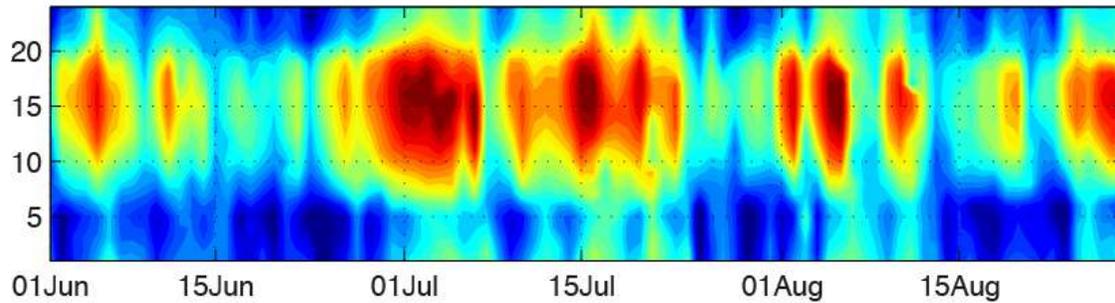
La magnitude de l'ICU a atteint 6K

2015

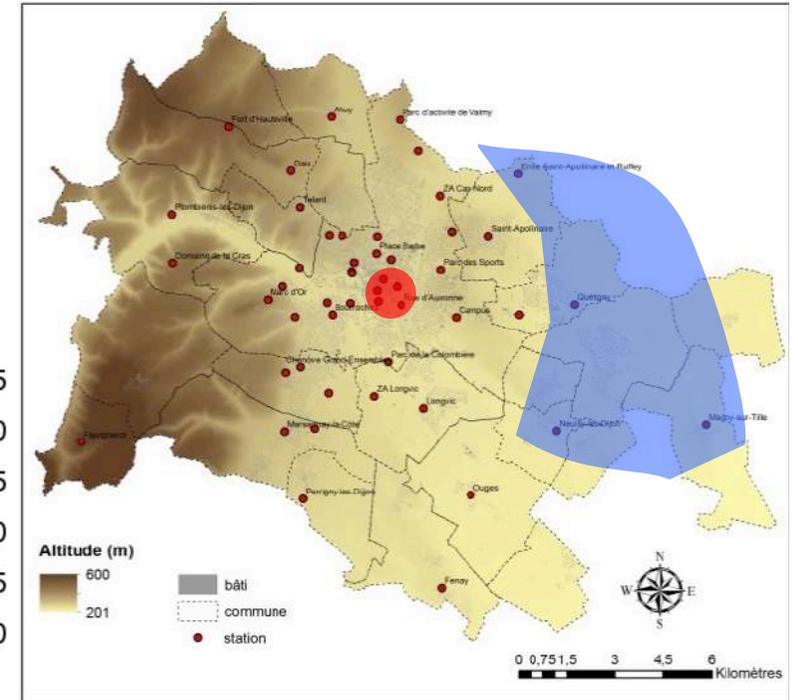
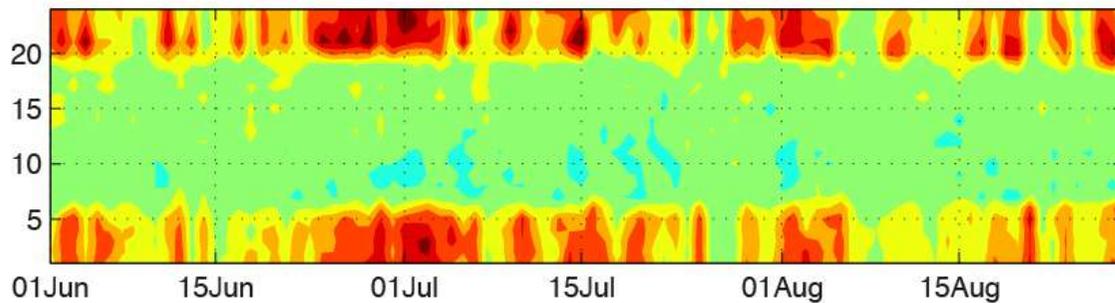
T Centre



T Periph



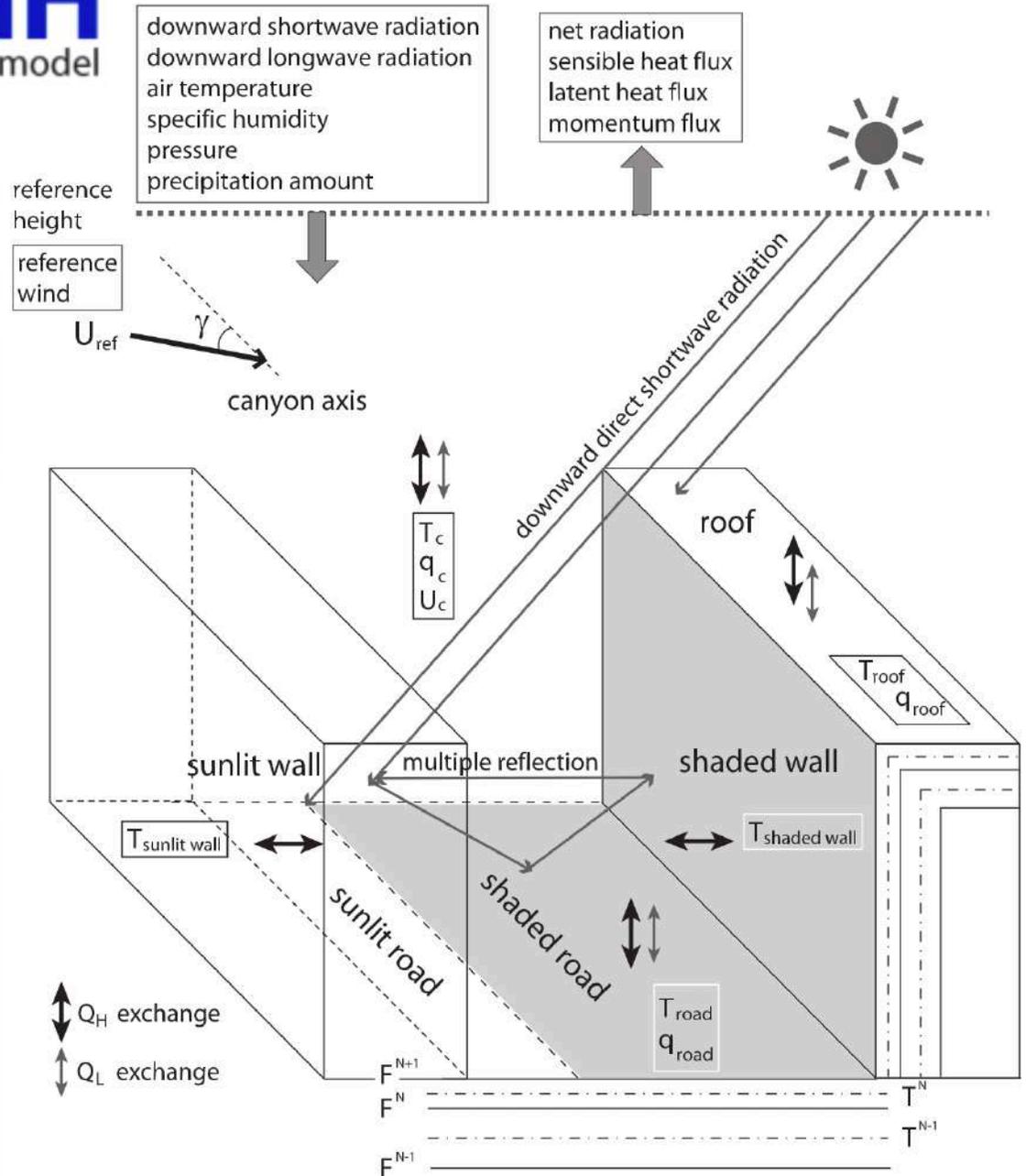
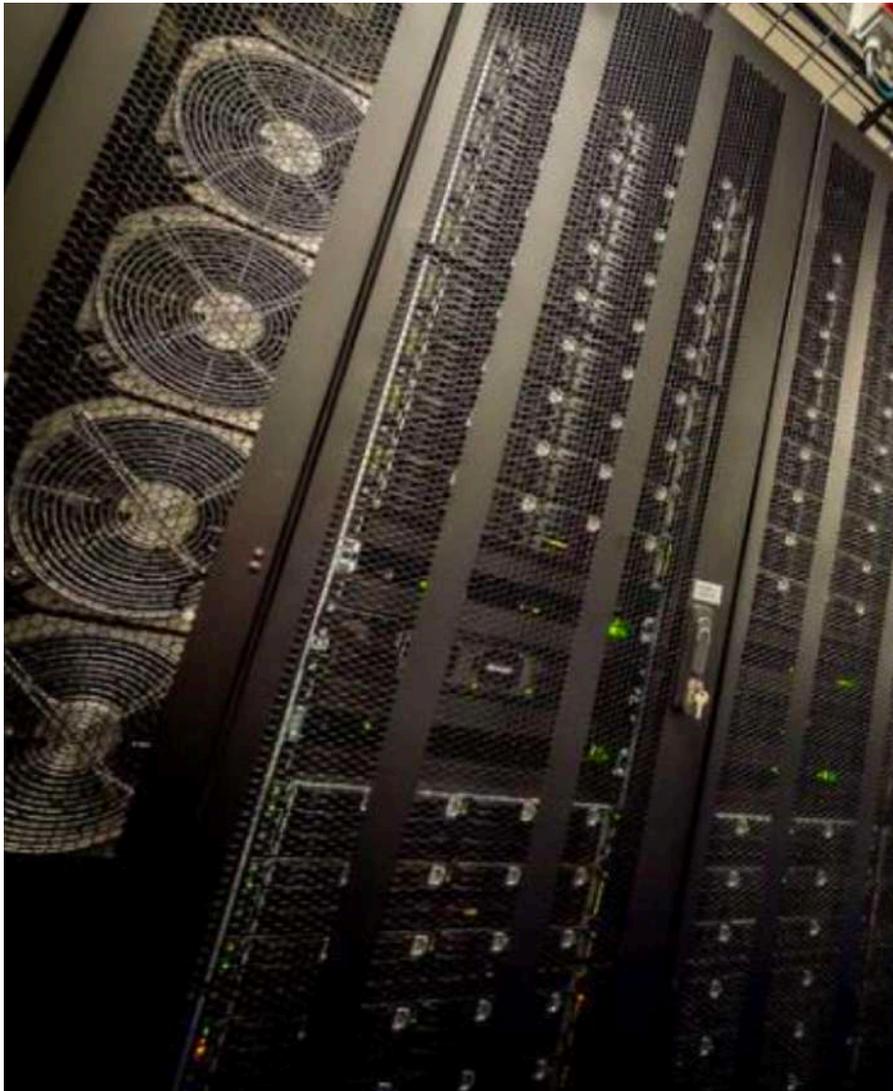
T Centre - Periph



Différence de température ville
— campagne (à l'est de Dijon)

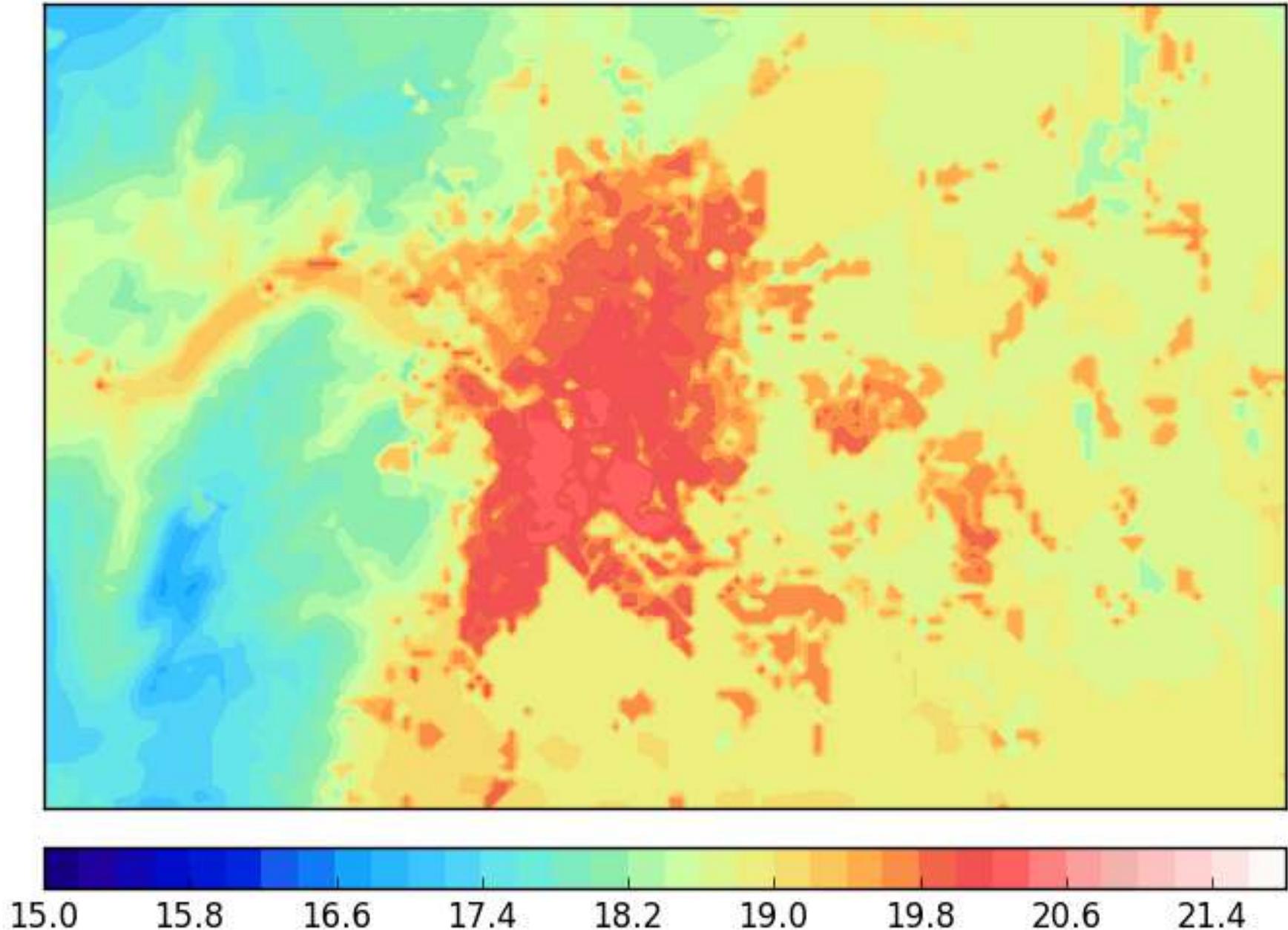


Meso-NH
mesoscale non-hydrostatic model



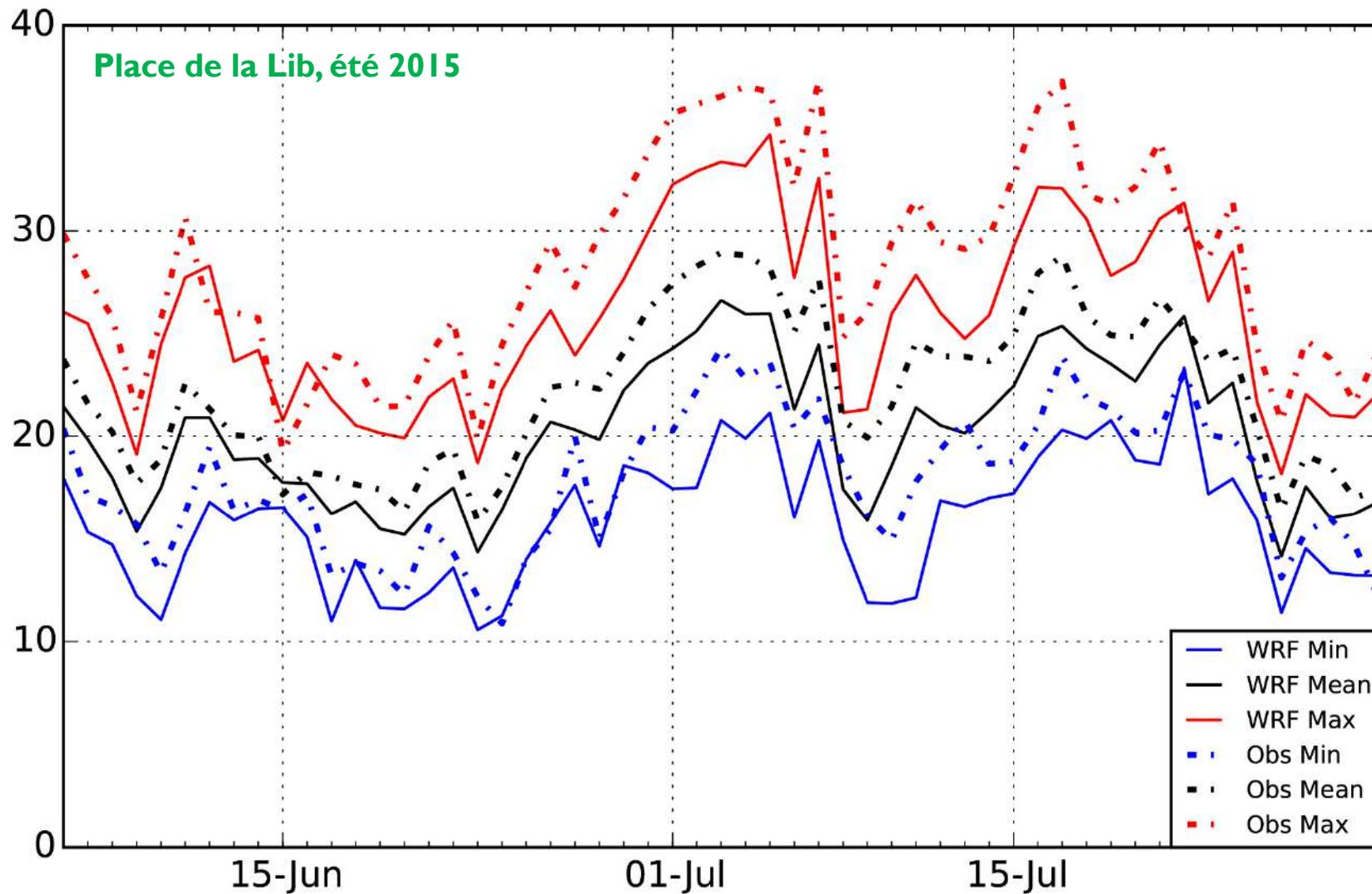
La modélisation numérique permet de simuler cet ICU de manière réaliste

Moyenne de la température à 2m, Juin Juillet 2014 (simulation WRF)



La modélisation numérique permet de simuler cet ICU de manière réaliste

enfin, presque ... 



Végétaliser la Ville... comment faire avec des sécheresses estivales grandissantes ?



Ressources Numériques | Calcul & Stockage

CPU : entre 50k et 700k heures mensuelles

Particularités :

- peu de “gros” jobs (généralement de 64 à 256 ou 512 slots), préférentiellement en `exclusive = True`
- utilisation de restarts avec des scripts (python) découpant les jobs (`qsub -hold_jid`)
- vigilance : coûts CPU “quasi-exponentiels” avec la résolution spatiale (plus près d’une Δ^4 dans les faits : $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z \times \Delta t$)
- volumétrie : quelques 10aines de To par an
- généralement, peu de gros fichiers en sortie

1305	:	1	718	946	789	secondes	CPU	:	477	485	h	13	m	09	s
1306	:	1	071	767	773	secondes	CPU	:	297	713	h	16	m	13	s
1307	:		553	189	336	secondes	CPU	:	153	663	h	42	m	16	s
1308	:		262	931	731	secondes	CPU	:	73	036	h	35	m	31	s
1309	:		578	285	746	secondes	CPU	:	160	634	h	55	m	46	s
1310	:		879	812	356	secondes	CPU	:	244	392	h	19	m	16	s
1311	:		527	553	908	secondes	CPU	:	146	542	h	45	m	08	s
1312	:		693	830	603	secondes	CPU	:	192	730	h	43	m	23	s
1401	:		389	618	788	secondes	CPU	:	108	227	h	26	m	28	s
1402	:		721	353	340	secondes	CPU	:	200	375	h	55	m	40	s
1403	:	1	437	029	189	secondes	CPU	:	399	174	h	46	m	29	s
1404	:	1	265	422	738	secondes	CPU	:	351	506	h	18	m	58	s
1405	:		979	060	907	secondes	CPU	:	271	961	h	21	m	47	s
1406	:	1	062	209	484	secondes	CPU	:	295	058	h	11	m	24	s
1407	:		365	338	999	secondes	CPU	:	101	483	h	03	m	19	s
1408	:		513	998	772	secondes	CPU	:	142	777	h	26	m	12	s
1409	:		762	845	498	secondes	CPU	:	211	901	h	31	m	38	s
1410	:		843	235	674	secondes	CPU	:	234	232	h	07	m	54	s
1411	:	1	169	615	173	secondes	CPU	:	324	893	h	06	m	13	s
1412	:	1	158	159	164	secondes	CPU	:	321	710	h	52	m	44	s
1501	:	1	024	489	931	secondes	CPU	:	284	580	h	32	m	11	s
1502	:		839	324	719	secondes	CPU	:	233	145	h	45	m	19	s
1503	:		559	742	654	secondes	CPU	:	155	484	h	04	m	14	s
1504	:	1	500	572	968	secondes	CPU	:	416	825	h	49	m	28	s
1505	:		836	803	881	secondes	CPU	:	232	445	h	31	m	21	s
1506	:		872	326	330	secondes	CPU	:	242	312	h	52	m	10	s
1507	:	1	423	168	028	secondes	CPU	:	395	324	h	27	m	08	s
1508	:	1	069	996	747	secondes	CPU	:	297	221	h	19	m	07	s
1509	:	1	158	883	465	secondes	CPU	:	321	912	h	04	m	25	s
1510	:	2	192	558	079	secondes	CPU	:	609	043	h	54	m	39	s
1511	:	1	589	772	125	secondes	CPU	:	441	603	h	22	m	05	s
1512	:	1	818	330	541	secondes	CPU	:	505	091	h	49	m	01	s
1601	:	1	687	644	443	secondes	CPU	:	468	790	h	07	m	23	s
1602	:	1	693	006	648	secondes	CPU	:	470	279	h	37	m	28	s
1603	:		755	879	682	secondes	CPU	:	209	966	h	34	m	42	s
1604	:		577	310	146	secondes	CPU	:	160	363	h	55	m	46	s
1605	:	1	172	601	587	secondes	CPU	:	325	722	h	39	m	47	s
1606	:		540	754	905	secondes	CPU	:	150	209	h	41	m	45	s
1607	:		509	190	541	secondes	CPU	:	141	441	h	49	m	01	s
1608	:		205	721	036	secondes	CPU	:	57	144	h	43	m	56	s
1609	:		562	087	327	secondes	CPU	:	156	135	h	22	m	07	s
1610	:		274	739	512	secondes	CPU	:	76	316	h	31	m	52	s
1611	:		311	063	497	secondes	CPU	:	86	406	h	31	m	37	s
1612	:		409	562	180	secondes	CPU	:	113	767	h	16	m	20	s
1701	:	1	711	433	490	secondes	CPU	:	475	398	h	11	m	30	s
1702	:	1	378	522	175	secondes	CPU	:	382	922	h	49	m	35	s
1703	:		472	051	817	secondes	CPU	:	131	125	h	30	m	17	s
1704	:		800	818	301	secondes	CPU	:	222	449	h	31	m	41	s
1705	:		450	487	644	secondes	CPU	:	125	135	h	27	m	24	s
1706	:		597	632	543	secondes	CPU	:	166	009	h	02	m	23	s
1707	:		397	108	910	secondes	CPU	:	110	308	h	01	m	50	s
1708	:		484	285	612	secondes	CPU	:	134	523	h	46	m	52	s
1709	:		40	110	010	secondes	CPU	:	0	010	h	00	m	00	s

Ressources Numériques | Calcul & Stockage

```
netcdf u_component_of_wind_199705_reanaHS {
dimensions:
    longitude = 1440 ;
    latitude = 301 ;
    level = 5 ;
    time = 124 ;
variables:
    float longitude(longitude) ;
        longitude:units = "degrees_east" ;
        longitude:long_name = "longitude" ;
    float latitude(latitude) ;
        latitude:units = "degrees_north" ;
        latitude:long_name = "latitude" ;
    int level(level) ;
        level:units = "millibars" ;
        level:long_name = "pressure_level" ;
    int time(time) ;
        time:units = "hours since 1900-01-01 00:00:00.0" ;
        time:long_name = "time" ;
        time:calendar = "gregorian" ;
    short u(time, level, latitude, longitude) ;
        u:scale_factor = 0.00228948801096037 ;
        u:add_offset = 24.8448635567758 ;
        u:_FillValue = -32767s ;
        u:missing_value = -32767s ;
        u:units = "m s**-1" ;
        u:long_name = "U component of wind" ;
        u:standard_name = "eastward_wind" ;
```

```
netcdf u_20001229_20010112 {
dimensions:
    time = UNLIMITED ; // (15 currently)
    lat = 31 ;
    lon = 41 ;
    ens = 11 ;
    fhour = 23 ;
    pressure = 11 ;
variables:
    double time(time) ;
        time:long_name = "Time" ;
        time:units = "hours since 1800-01-01 00:00:00" ;
        time:axis = "T" ;
    int intTime(time) ;
        intTime:long_name = "time as an integer (YYYYMMDDHH)" ;
    float lat(lat) ;
        lat:long_name = "Latitude" ;
        lat:standard_name = "latitude" ;
        lat:units = "degrees_north" ;
        lat:actual_range = -35.f, -5.f ;
        lat:axis = "Y" ;
    float lon(lon) ;
        lon:long_name = "Longitude" ;
        lon:standard_name = "longitude" ;
        lon:units = "degrees_east" ;
        lon:actual_range = 40.f, 80.f ;
        lon:axis = "X" ;
    short ens(ens) ;
        ens:long_name = "ensemble" ;
        ens:standard_name = "ensemble" ;
        ens:axis = "E" ;
        ens:description = "0 is control, other values are perturbation numbers" ;
    int fhour(fhour) ;
        fhour:long_name = "forecast hour" ;
        fhour:units = "hours" ;
    int intValidTime(time, fhour) ;
        intValidTime:long_name = "valid time as an integer (YYYYDDMMHH)" ;
    float pressure(pressure) ;
        pressure:long_name = "Isobaric surface" ;
        pressure:units = "hPa" ;
        pressure:positive = "down" ;
        pressure:GRIB_level_type = "100" ;
    float U-component_of_wind(time, ens, fhour, pressure, lat, lon) ;
        U-component_of_wind:_FillValue = 9999.f ;
        U-component_of_wind:units = "m s-1" ;
        U-component_of_wind:long_name = "U-component_of_wind @ pressure" ;
        U-component_of_wind:GRIB_param_discipline = "Meteorological_products" ;
        U-component_of_wind:GRIB_param_category = "Momentum" ;
        U-component_of_wind:GRIB_param_name = "U-component_of_wind" ;
        U-component_of_wind:GRIB_generating_process_type = "Forecast" ;
        U-component_of_wind:GRIB_param_id = 2, 0, 2, 2 ;
```

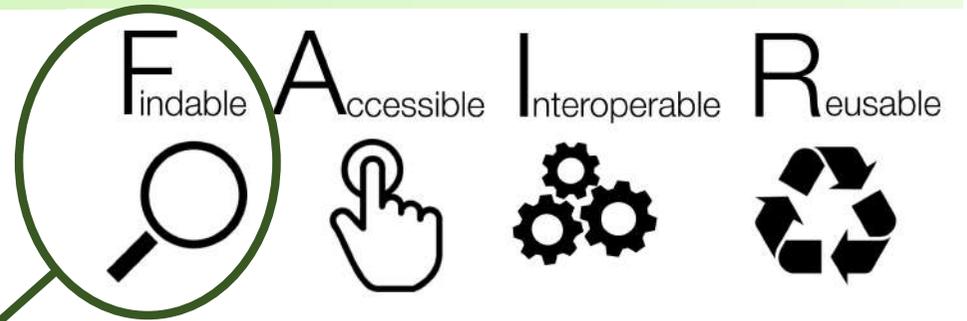
Sorties des modèles : NetCDF

Devenu une "norme" dans les Sciences du Climat

Format binaire compressé adapté aux jeux de données en grilles à N dimensions

Entre chaque épisode du GIEC, volume x 10 voire davantage ! (nb modèles, résolution, ensembles...)

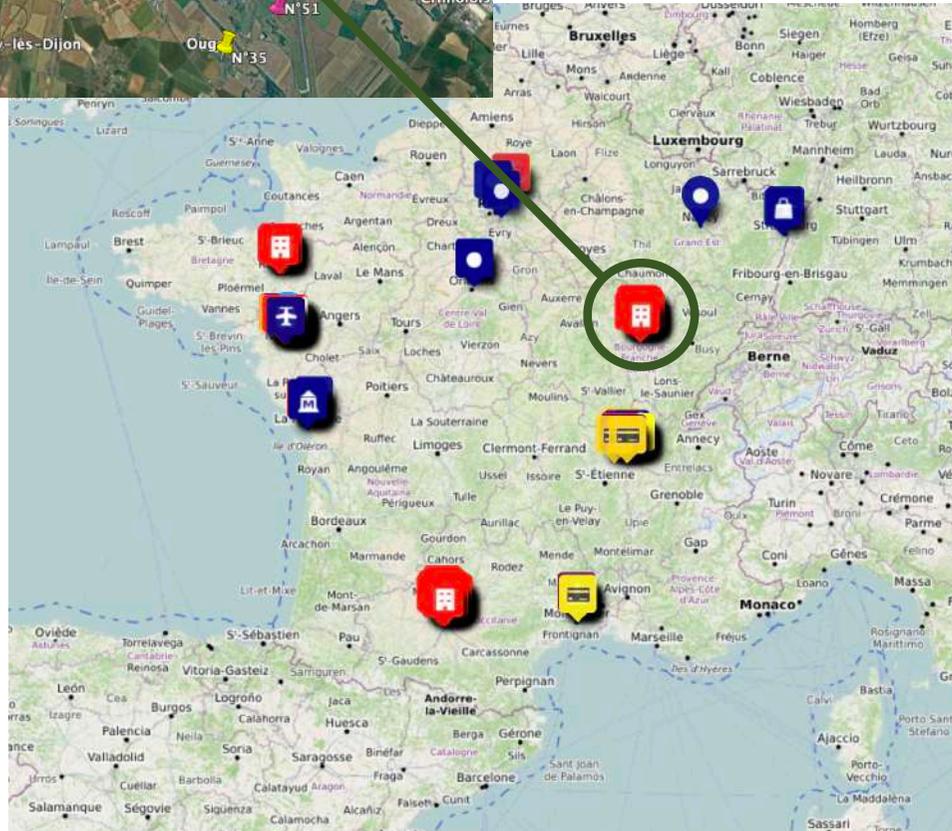
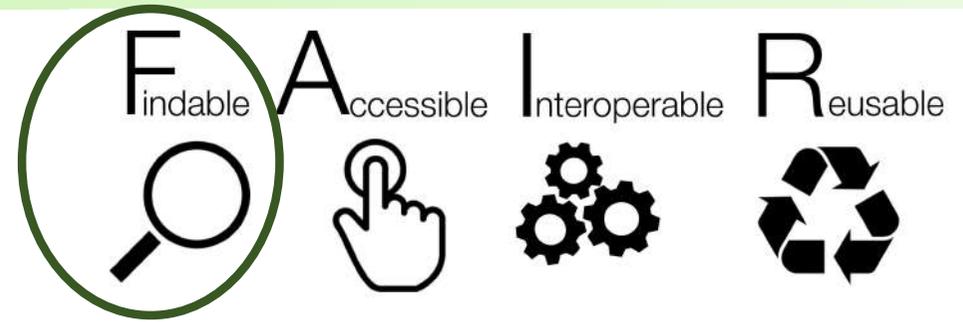
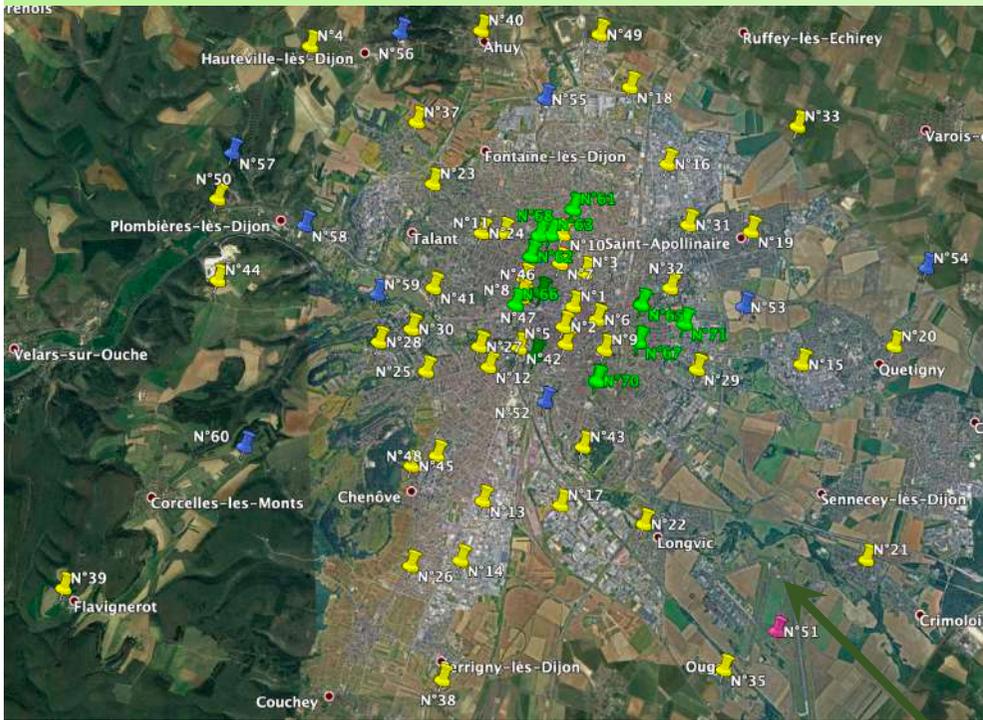
Ressources Numériques | Open Data : comment FAIR ?



dat@osu (OSU THETA) :
préquel du projet
DataUBFC

=> Présentation cet après-midi à 14h

Ressources Numériques | Open Data : comment FAIR ?



dat@osu (OSU THETA) :
préquel du projet
DataUBFC

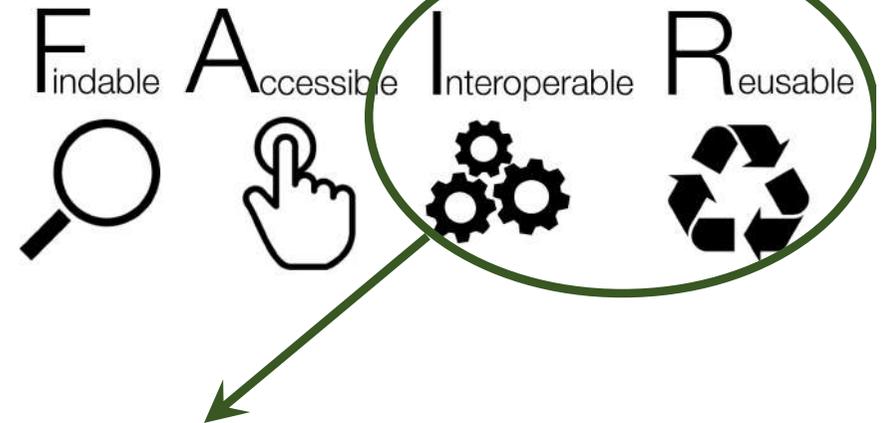
=> Présentation cet après-
midi à 14h

=> dat@osu a rempli sa
mission et favorisé la
visibilité des relevés de
climat urbain

Simulations Numériques : comment ouvrir et partager ?

=> Demandes INSU / SNO, ANR, ERC d'ouvrir l'accès aux données

=> Mais difficultés parfois de manipuler et requêter de telles masses de données



<https://climdata.u-bourgogne.fr>

CRC
BIOGÉSCIENCES

CENTRE DE RECHERCHES DE CLIMATOLOGIE

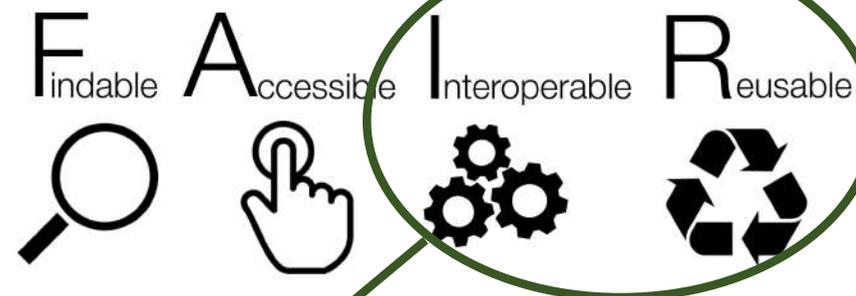
Bases de données du CRC

- [TeleDM/TelePaF](#)
- [Catalogues Climdata](#)

Simulations Numériques : comment ouvrir et partager ?

=> Demandes INSU / SNO, ANR, ERC d'ouvrir l'accès aux données

=> Mais difficultés parfois de manipuler et requêter de telles masses de données



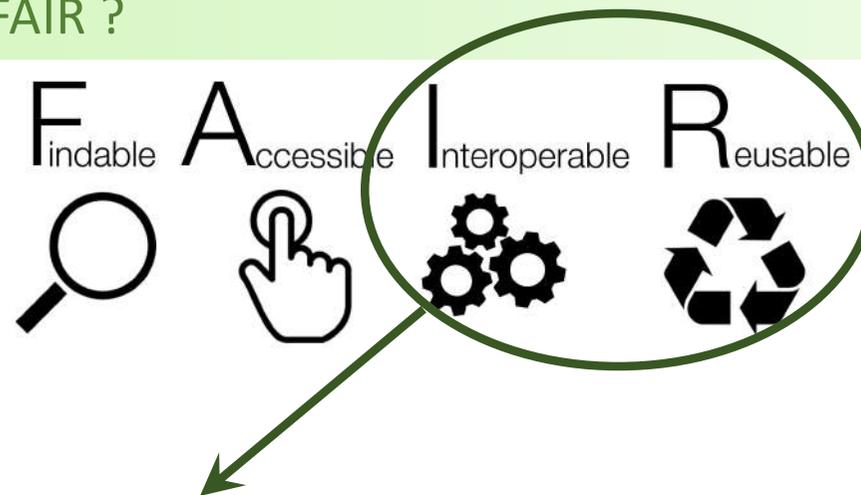
<https://climdata.u-bourgogne.fr>

Dataset	Size	Last Modified
PROJECT/		--
REANALYSIS/		--
CMIP5/		--
TELEDM/		--

Thredds Data Server CRC at CRC see [Info](#)
THREDDS Data Server [Version 4.6.10 - 2017-04-19T16:32:55-0600] [Documentation](#)

Simulations Numériques : comment ouvrir et partager ?

- => Demandes INSU / SNO, ANR, ERC d'ouvrir l'accès aux données
- => Mais difficultés parfois de manipuler et requêter de telles masses de données



<https://climdata.u-bourgogne.fr>

The screenshot shows a web browser window displaying a THREDDS catalog page. The title bar reads 'Catalog https://climdata.u-bourgogne.fr/thredds/catalog/satellite/msg/seviri_aerus/res003/catalog.html'. The main content is a table with three columns: 'Dataset', 'Size', and 'Last Modified'. The table lists a folder named 'res003' and four data files: 'seviri_r003_w.nc', 'seviri_r003_t.nc', 'seviri_r003_m.nc', and 'seviri_r003_d.nc'. At the bottom, there is a footer with the text 'Thredds Data Server CRC at CRC see Info' and 'THREDDS Data Server [Version 4.6.10 - 2017-04-19T16:32:55-0600] Documentation'.

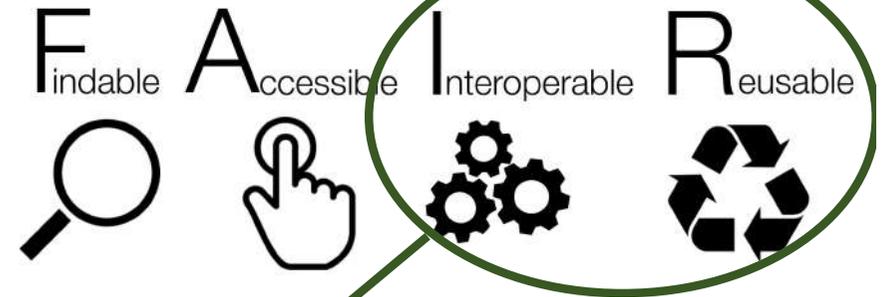
Dataset	Size	Last Modified
 res003		--
seviri_r003_w.nc	38.23 Gbytes	2017-07-08T13:33:10Z
seviri_r003_t.nc	2.777 Gbytes	2017-07-08T13:46:38Z
seviri_r003_m.nc	8.758 Gbytes	2017-07-08T13:30:17Z
seviri_r003_d.nc	67.18 Gbytes	2017-07-08T13:44:25Z

Thredds Data Server CRC at CRC see Info
THREDDS Data Server [Version 4.6.10 - 2017-04-19T16:32:55-0600] Documentation

Ressources Numériques | Open Data : comment FAIR ?

Simulations Numériques : comment ouvrir et partager ?

- => Demandes INSU / SNO, ANR, ERC d'ouvrir l'accès aux données
- => Mais difficultés parfois de manipuler et requêter de telles masses de données



<https://climdata.u-bourgogne.fr>

THREDDS Data Server
Catalog <https://climdata.u-bourgogne.fr/thredds/catalog>
Dataset: `res003/seviri_r003_t.nc`

- Data size: 2.777 Gbytes
- Data type: GRID
- ID: `satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`

Access:

1. **OPeNDAP:** `/thredds/dodsC/satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`
2. **HTTPServer:** `/thredds/fileServer/satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`
3. **WCS:** `/thredds/wcs/satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`
4. **WMS:** `/thredds/wms/satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`
5. **NetcdfSubset:** `/thredds/ncss/grid/satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`
6. **DAP4:** `/thredds/dap4/satellite/msg/seviri_aerus/res003/seviri_r003_t.nc`

Dates:

- 2017-07-08T13:46:38Z (modified)

Viewers:

- Godiva2 (browser-based)
- NetCDF-Java ToolsUI (webstart)
- Integrated Data Viewer (IDV) (webstart)

OPeNDAP Dataset Access Form

Action:

Data URL: `https://climdata.u-bourgogne.fr/thredds/dodsC/satellite/msg/seviri_aerus/res003/`

Global Attributes:

`_NCProperties: version=1|netcdflibversion=4.4.1.1|hdf5libversion=1.8.18`
`description: seviri_aerus`
`CDO: Climate Data Operators version 1.6.2 (http://code.zmaw.de/projects/cdo)`
`Convention: CF-1.5`
`CDI: Climate Data Interface version 1.6.2 (http://code.zmaw.de/projects/cdi)`

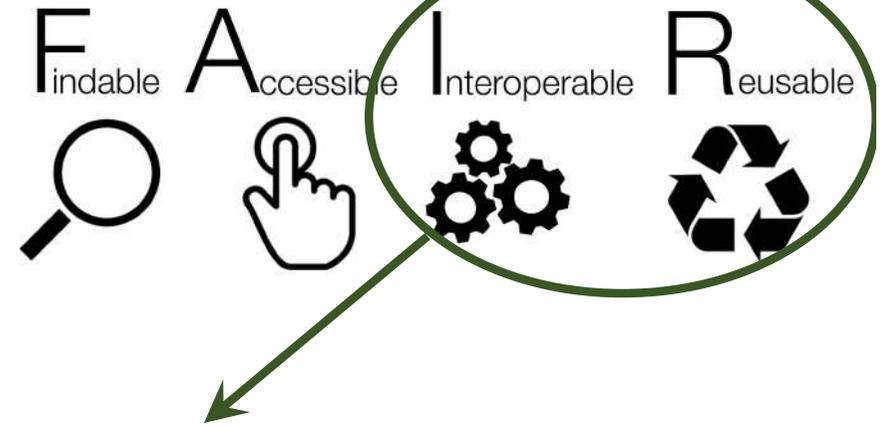
Variables:

- longitude:** Array of 32 bit Reals [longitude = 0..2666]
longitude:
standard_name: longitude
long_name: longitude
units: degrees_east
axis: X
- latitude:** Array of 32 bit Reals [latitude = 0..1666]
latitude:
standard_name: latitude
long_name: latitude
units: degrees_north
axis: Y
- time:** Array of 64 bit Reals [time = 0..12]
time:
standard_name: time
units: hours since 1900-01-01 00:00:00
calendar: standard
_ChunkSizes: 1

Simulations Numériques : comment ouvrir et partager ?

=> Demandes INSU / SNO, ANR, ERC d'ouvrir l'accès aux données

=> Mais difficultés parfois de manipuler et requêter de telles masses de données



<https://climdata.u-bourgogne.fr>

```
1 ;
2 = 1 ;
3 = 1 ;
4 = 1 ;
5 = 1 ;
6 = 1 ;
7 = 1 ;
8 = 1 ;
9 = 1 ;
10 = 1 ;
11 = 1 ;
12 = 1 ;
13 = 1 ;
14 = 1 ;
15 = 1 ;
16 = 1 ;
17 = 1 ;
18 = 1 ;
19 = 1 ;
20 = 1 ;
21 = 1 ;
22 = 1 ;
23 = 1 ;
24 = 1 ;
25 = 1 ;
26 = 1 ;
27 = 1 ;
28 = 1 ;
29 = 1 ;
30 = 1 ;
31 = 1 ;
32 = 1 ;
33 = 1 ;
34 = 1 ;
35 = 1 ;
36 = 1 ;
37 = 1 ;
38 = 1 ;
39 = 1 ;
40 = 1 ;
41 = 1 ;
42 = 1 ;
43 = 1 ;
44 = 1 ;
45 = 1 ;
46 = 1 ;
47 = 1 ;
48 = 1 ;
49 = 1 ;
50 = 1 ;
51 = 1 ;
52 = 1 ;
53 = 1 ;
54 = 1 ;
55 = 1 ;
56 = 1 ;
57 = 1 ;
58 = 1 ;
59 = 1 ;
60 = 1 ;
61 = 1 ;
62 = 1 ;
63 = 1 ;
64 = 1 ;
65 = 1 ;
66 = 1 ;
67 = 1 ;
68 = 1 ;
69 = 1 ;
70 = 1 ;
71 = 1 ;
72 = 1 ;
73 = 1 ;
74 = 1 ;
75 = 1 ;
76 = 1 ;
77 = 1 ;
78 = 1 ;
79 = 1 ;
80 = 1 ;
81 = 1 ;
82 = 1 ;
83 = 1 ;
84 = 1 ;
85 = 1 ;
86 = 1 ;
87 = 1 ;
88 = 1 ;
89 = 1 ;
90 = 1 ;
91 = 1 ;
92 = 1 ;
93 = 1 ;
94 = 1 ;
95 = 1 ;
96 = 1 ;
97 = 1 ;
98 = 1 ;
99 = 1 ;
100 = 1 ;
```

```
from pydap.client import open_url
import time as time

url='https://ju8253pe:XXXXXX@climdata.u-bourgogne.fr:8443/thredds/dodsC/CMIP5_MIROC5_TASMIN_HISTO.nc'

a=time.time()
dataset = open_url(url)
b=time.time()
print(b-a)
# lookup a variable
variable = dataset['tasmin']
print(variable.shape)
c= time.time()
print(c-b)
# print the first 10 values
print(variable)
var=variable.tasmin[0:56939,0:10,0:10]
d=time.time()
print(d-a)
```

```
-- INSERTION --
```

```
ju8253pe@berg2001.u-bourgogne.fr linux-gnu_x86_64 [/home/ju8253pe]
```


... Quid de la gouvernance de la donnée ?



USR CNRS-UB 3516



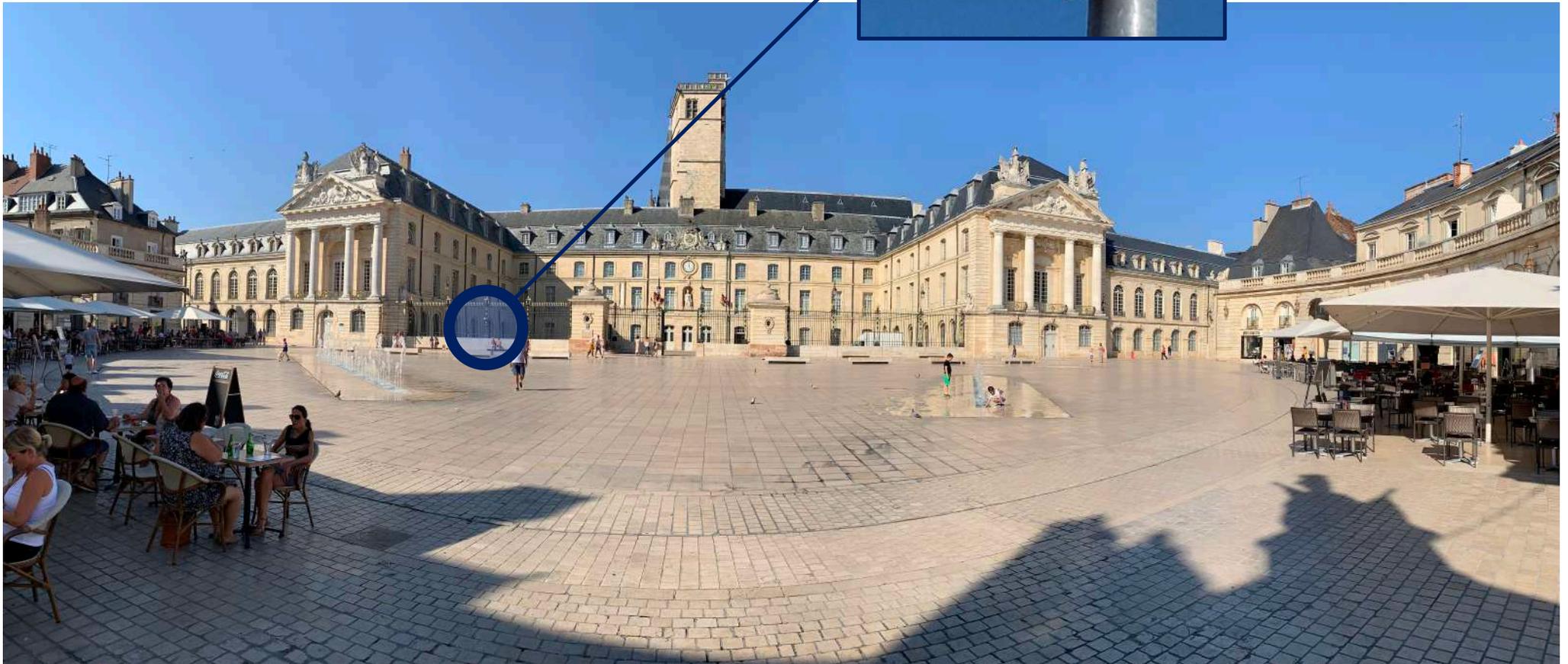
ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie







[benjamin.pohl@u-bourgogne.fr]