

Signature géographique et météorologique des variations spatiales et temporelles de la température de l'air au sein d'une zone urbaine

Jérémy Bernard

Direction de thèse : Marjorie Musy et Isabelle Calmet

Co-encadrement : Erwan Bocher

Ingénieur référent ADEME : Céline Phillips



11 janvier 2017



Un air de plus en plus chaud

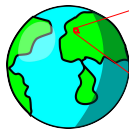
Température ↗



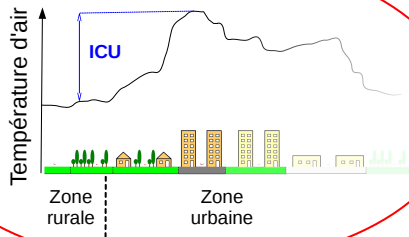
+ de canicules

Un air de plus en plus chaud

Température ↗



+ de canicules



Forme



*Rayonnement
solaire piégé*



*Rayonnement
infrarouge
piégé*



*Accumulation de la
chaleur*

Forme



*Rayonnement
solaire piégé*

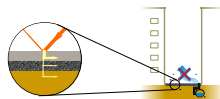


*Rayonnement
infrarouge
piégé*



*Accumulation de la
chaleur*

Sols



Stockage

*Rafraîchissement
par évaporation*

Forme

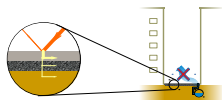


*Rayonnement
solaire piégé*



*Rayonnement
infrarouge
piégé*

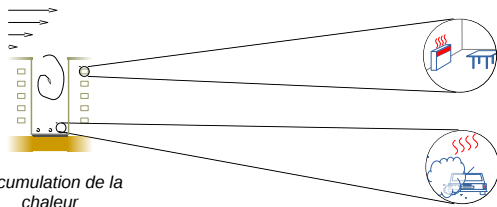
Sols



Stockage

*Rafraîchissement
par évaporation*

Activités humaines

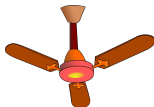


*Accumulation de la
chaleur*

*Émissions
de chaleur*



*Confort
&
Risques sanitaires*



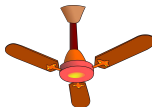
*Consommations
d'énergie*



*Richesse, densité et
comportement de la
faune et de la flore*



Confort
&
Risques sanitaires



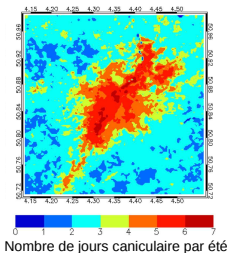
Consommations
d'énergie



Richesse, densité et
comportement de la
faune et de la flore

On a donc besoin :

d'identifier les quartiers les plus chauds

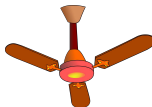


(Source: Lauwaet et al., 2016)

Enjeux sociétaux



Confort
&
Risques sanitaires



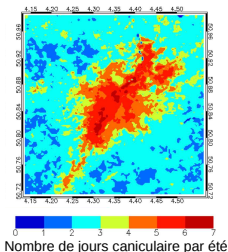
Consommations
d'énergie



Richesse, densité et
comportement de la
faune et de la flore

On a donc besoin :

d'identifier les quartiers les plus chauds



(Source: Lauwaet et al., 2016)

d'évaluer simplement l'impact
climatique d'un futur quartier à partir
de son contexte géographique



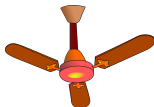
20% surfaces
végétalisées



80% surfaces
végétalisées



Confort
&
Risques sanitaires



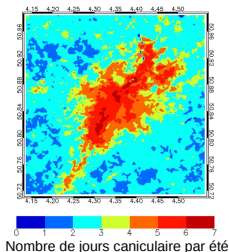
Consommations
d'énergie



Richesse, densité et
comportement de la
faune et de la flore

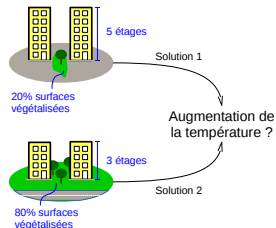
On a donc besoin :

d'identifier les quartiers les plus chauds



(Source: Lauwaet et al., 2016)

d'évaluer simplement l'impact
climatique d'un futur quartier à partir
de son contexte géographique



Objectif de la thèse

Développer une méthode de calcul pour connaître l'intensité de l'ICU :

Objectif de la thèse

Développer une méthode de calcul pour connaître l'intensité de l'ICU :

- pour n'importe quelle zone d'une agglomération;

$$ICU = f(\textit{spatial},$$

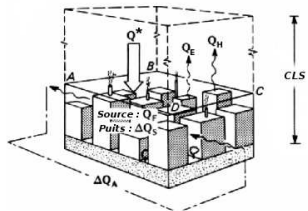
Objectif de la thèse

Développer une méthode de calcul pour connaître l'intensité de l'ICU :

- pour n'importe quelle zone d'une agglomération;
- à n'importe quelle période.

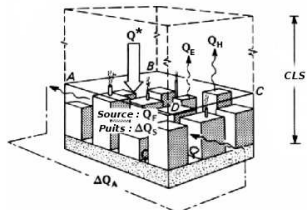
$$ICU = f(\textit{spatial}, \textit{temps})$$

Simulation numérique



Source : Adapté de Oke (1987)

Simulation numérique



Source : Adapté de Oke (1987)

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Q^* : flux radiatif net,

Q_F : flux de chaleur anthropique,

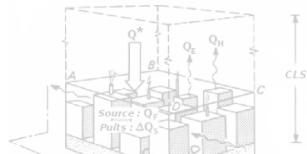
Q_H : flux de chaleur sensible,

Q_E : flux de chaleur latente,

ΔQ_S : terme de stockage,

ΔQ_A : terme d'advection horizontale.

Simulation numérique



Lien indirect entre ICU et contexte géographique

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Q^* : flux radiatif net,

Q_F : flux de chaleur anthropique,

Q_H : flux de chaleur sensible,

Q_E : flux de chaleur latente,

ΔQ_S : terme de stockage,

ΔQ_A : terme d'advection horizontale.

Calcul empirique

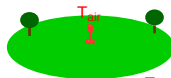
Calcul empirique

Site urbain u



$T_{air} = 18^{\circ}\text{C}$

Site rural r



$T_{air} = 15^{\circ}\text{C}$

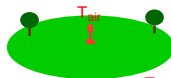
Calcul empirique

Site urbain u



$T_{air} = 18^{\circ}\text{C}$
 $D_{veg} = 20\%$

Site rural r



$T_{air} = 15^{\circ}\text{C}$
 $D_{veg} = 100\%$

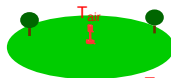
Calcul empirique

Site urbain u



$T_{\text{air}} = 18^{\circ}\text{C}$
 $D_{\text{veg}} = 20\%$

Site rural r



$T_{\text{air}} = 15^{\circ}\text{C}$
 $D_{\text{veg}} = 100\%$

$$\Delta T_{u-r} = -3,75 \Delta D_{veg_{u-r}}$$

ΔT_{u-r} : différence de température entre les 2 sites,
 $\Delta D_{veg_{u-r}}$: différence de densité de végétation entre les 2 sites





vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



vérifier la qualité des mesures :

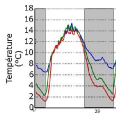
- matériel,
- emplacement.



vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.

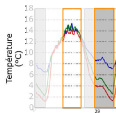
Enjeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.

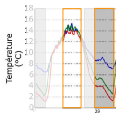
Enjeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.

Enjeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



- vérifier la qualité des mesures :
 - matériel,
 - emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

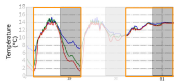
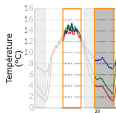
Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



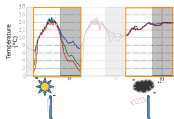
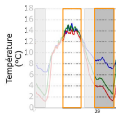
vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier



Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique

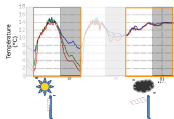
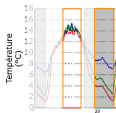


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



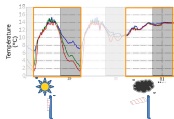
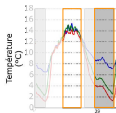
vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

modéliser les variations interjournalières

Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



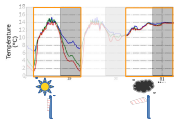
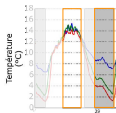
- vérifier la qualité des mesures :
 - matériel,
 - emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

modéliser les variations interjournalières

$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$

Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$

vérifier la qualité des mesures :

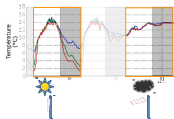
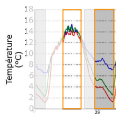
- matériel,
- emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

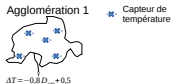
modéliser les variations interjournalières

relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



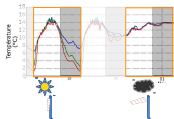
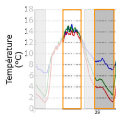
- vérifier la qualité des mesures :
 - matériel,
 - emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

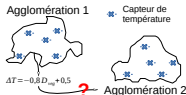
modéliser les variations interjournalières

relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



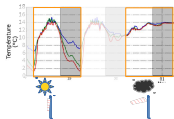
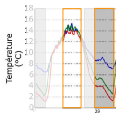
- vérifier la qualité des mesures :
 - matériel,
 - emplacement.

identifier les périodes de calcul de l'ICU intra-journalier

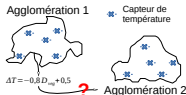
modéliser les variations interjournalières

relier les indicateurs géographiques aux phénomènes physiques

Jeux scientifiques liés à cette modélisation empirique



$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



vérifier la qualité des mesures :

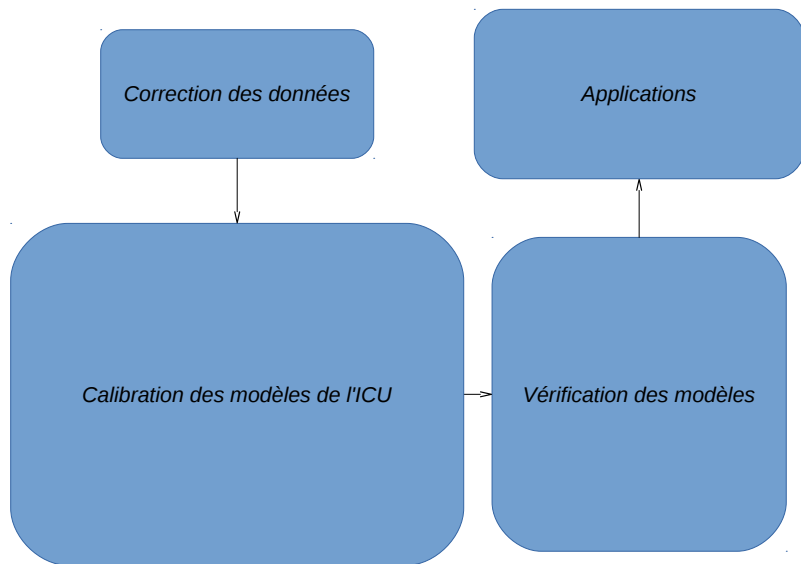
- matériel,
- emplacement.

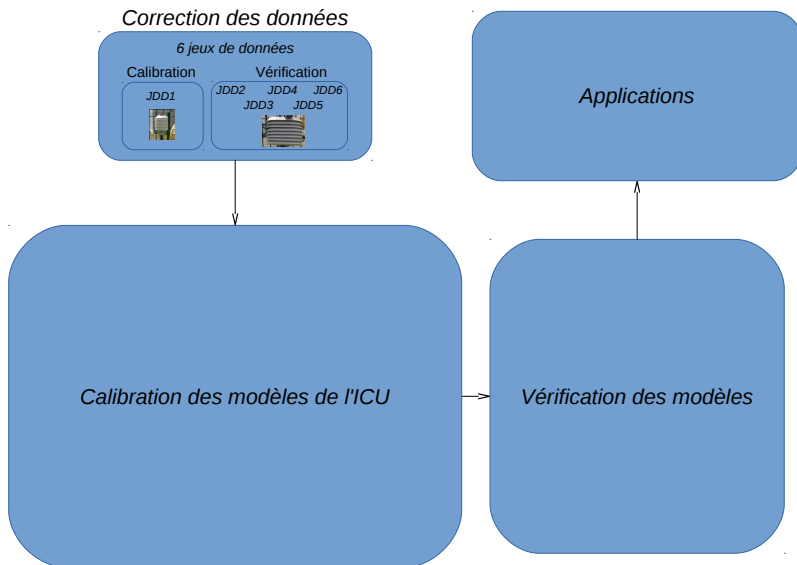
identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

modéliser les variations interjournalières

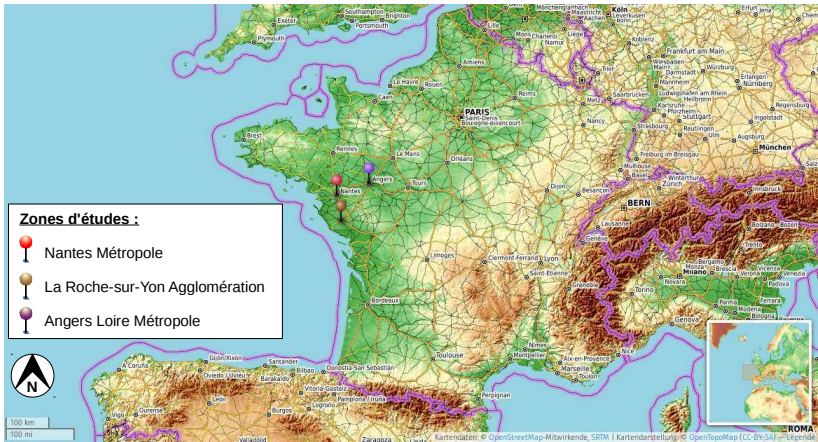
relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations

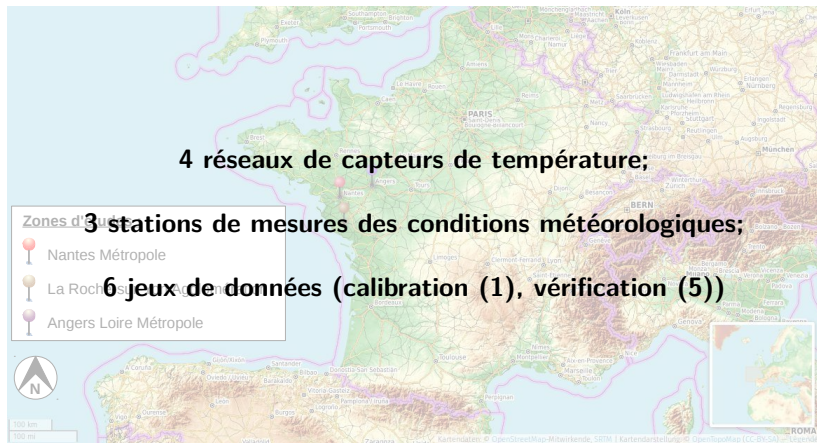




Zones d'étude



Zones d'étude



Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période

Jeux de données météorologiques

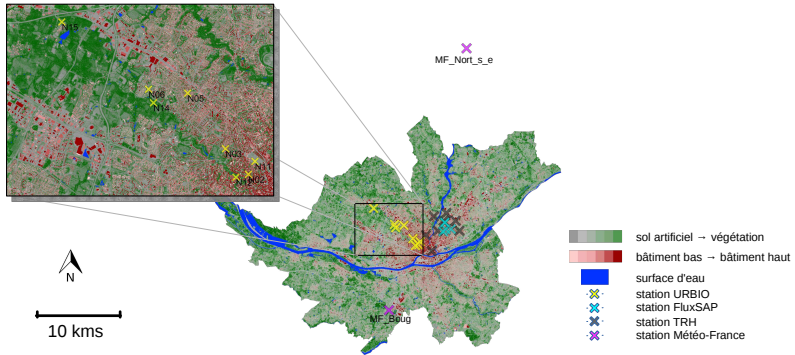
1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période

Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période

Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période



Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période

Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période

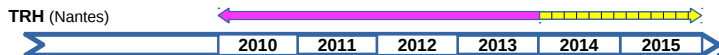
Symbole	Nom	Description
<i>HP</i>	Hauteur de pluie	Hauteur de pluie (ou de fusion de la neige)
<i>dir</i>	Direction du vent (à 10 m)	Direction du vent, de 0 (vent calme) à 360 ° (vent du nord) dans le sens horaire
<i>U</i>	Vitesse du vent (à 10 m)	Vitesse du vent
<i>T</i>	Température de l'air (à 2 m)	Température de l'air mesurée sous abri
<i>K</i> ↓	Rayonnement global (ou rayonnement solaire descendant)	Il s'agit de l'ensemble des rayonnements solaires (direct et diffus) parvenant de toutes les directions sur une surface horizontale
<i>RH</i>	Humidité relative (à 2 m)	Humidité relative de l'air sous abri
<i>PA</i>	Pression	Pression atmosphérique à l'altitude de la station
<i>N</i>	Nébulosité totale	Observation humaine de la couverture de la voûte céleste par des nuages

Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période

Jeux de données météorologiques

1 jeu de données = 1 ou plusieurs réseaux de capteurs de température + 1 station de mesure des conditions météorologiques + 1 période



Jeux de données

Calibration

Vérification

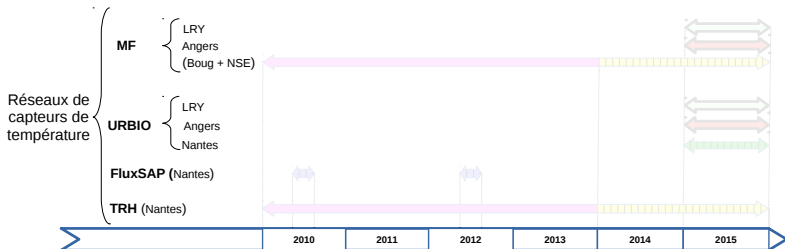


JDD1



JDD3

Jeux de données météorologiques



Jeux de données

Calibration

JDD1

Vérification sur le même territoire

JDD2

JDD3

JDD4

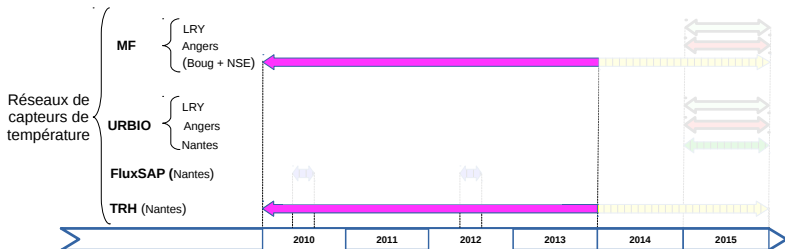
Vérification sur un autre territoire

JDD5

JDD6

MF : Météo-France
 Boug : Bouguenais
 NSE : Nort-sur-Erdre
 LRY : La Roche-sur-Yon

Jeux de données météorologiques



Jeux de données

Calibration

JDD1

Vérification sur le même territoire

JDD2

JDD3

JDD4

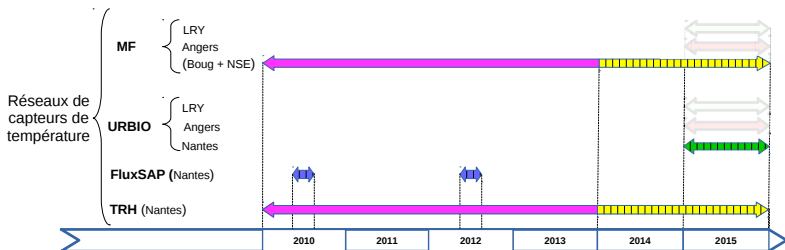
Vérification sur un autre territoire

JDD5

JDD6

MF : Météo-France
Boug : Bouguenais
NSE : Nort-sur-Erdre
LRY : La Roche-sur-Yon

Jeux de données météorologiques



Jeux de données

Calibration

 JDD1

Vérification sur le même territoire

 JDD2

 JDD3

 JDD4

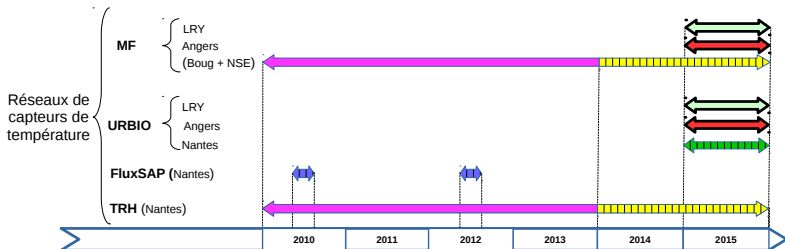
Vérification sur un autre territoire

 JDD5

 JDD6

MF : Météo-France
Boug : Bouguenais
NSE : Nort-sur-Erdre
LRY : La Roche-sur-Yon

Jeux de données météorologiques



Jeux de données

Calibration

JDD1

Vérification sur le même territoire

JDD2

JDD3

JDD4

Vérification sur un autre territoire

JDD5

JDD6

MF : Météo-France
Boug : Bouguenais
NSE : Nort-sur-Erdre
LRY : La Roche-sur-Yon

Comparatif des sites de mesure

Sites utilisés pour la
calibration
(abris TRH)

Sites utilisés pour la
vérification
(abris URBIO)

Comparatif des sites de mesure

Sites utilisés pour la
calibration
(abris TRH)



V_{abri}

$10^{-1} dm^3$

<<

Sites utilisés pour la
vérification
(abris URBIO)



$10^0 dm^3$

Comparatif des sites de mesure

Sites utilisés pour la
calibration
(abris TRH)



Sites utilisés pour la
vérification
(abris UR BIO)



V_{abri}

$10^{-1} dm^3$

\ll

$10^0 dm^3$

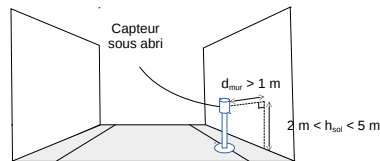
d_{mur}

$0,3m$

\ll

$\geq 1m$

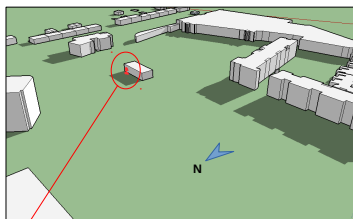
Positionnement au sein d'une rue



Abris TRH : exemple d'erreur identifiée



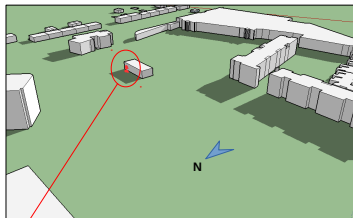
Abris TRH : exemple d'erreur identifiée



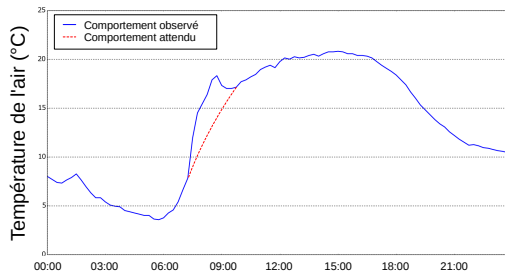
Station de mesure de température d'air



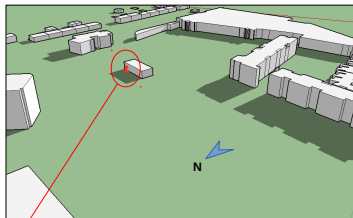
Abris TRH : exemple d'erreur identifiée



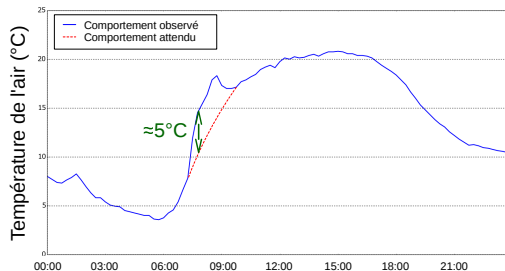
Station de mesure de température d'air



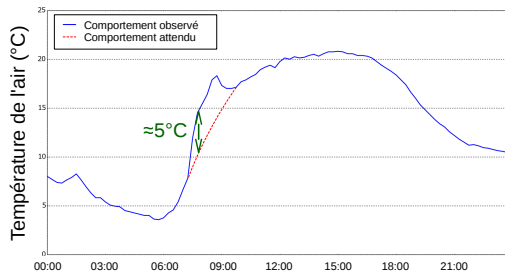
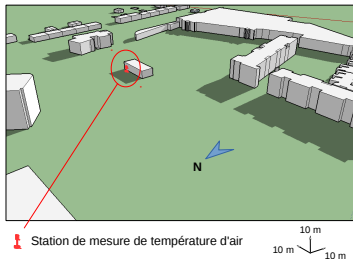
Abris TRH : exemple d'erreur identifiée



Station de mesure de température d'air



Abris TRH : exemple d'erreur identifiée



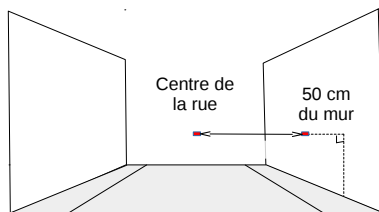
3 hypothèses explicatives

- emplacement
- abri
- emplacement \Rightarrow sollicitations exercées sur l'abri

Influence de l'emplacement

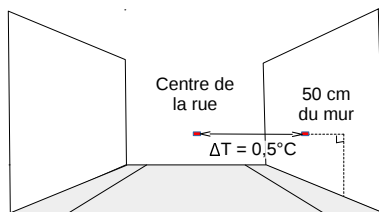
Influence de l'emplacement

Positionnement au sein d'une rue



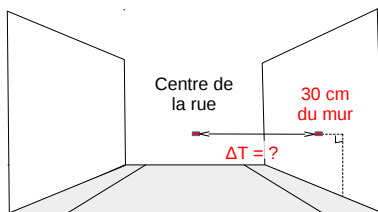
Influence de l'emplacement

Positionnement au sein d'une rue



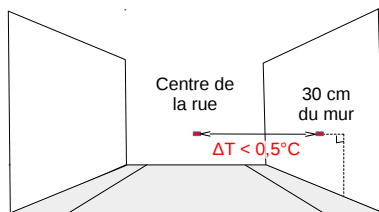
Influence de l'emplacement

Positionnement au sein d'une rue



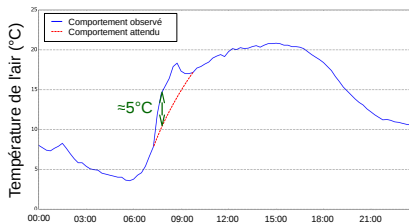
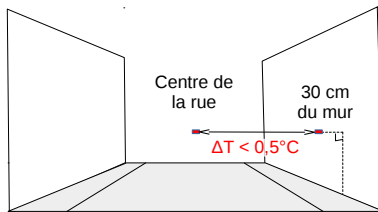
Influence de l'emplacement

Positionnement au sein d'une rue



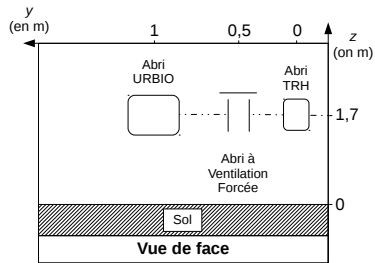
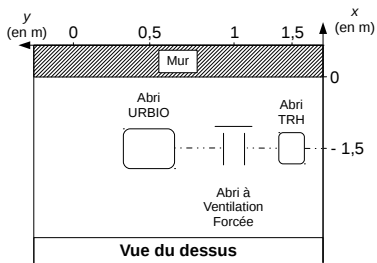
Influence de l'emplacement

Positionnement au sein d'une rue

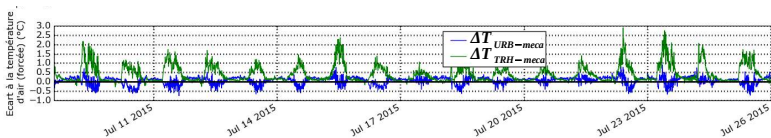
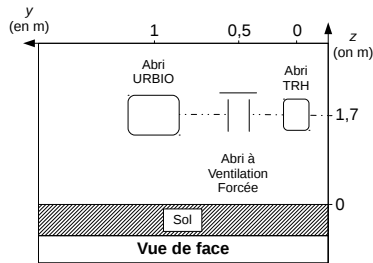
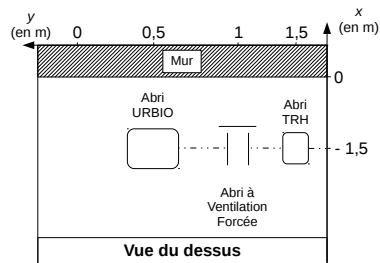


Influence de l'abri

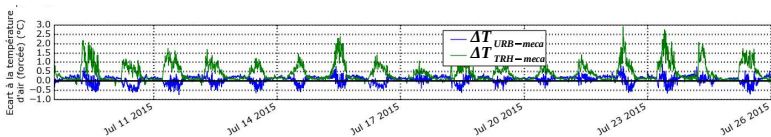
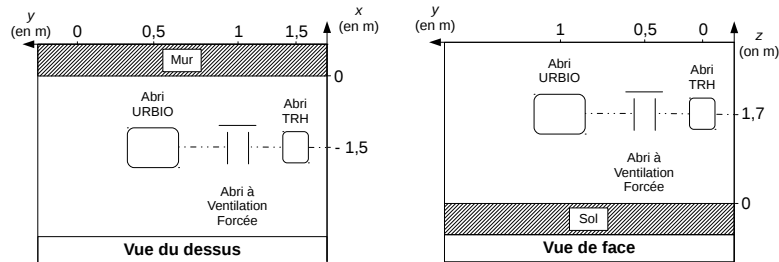
Influence de l'abri



Influence de l'abri



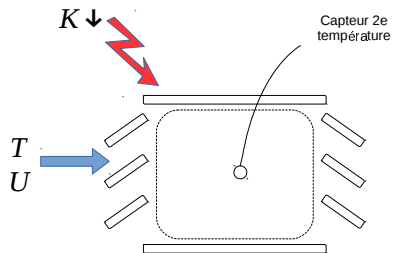
Influence de l'abri



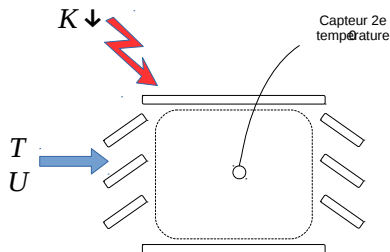
abri URBIO = référence

Influence de l'abri : modélisation de l'erreur

Influence de l'abri : modélisation de l'erreur



Influence de l'abri : modélisation de l'erreur



Modèle diurne proposé (correction de TRH / URBIO)

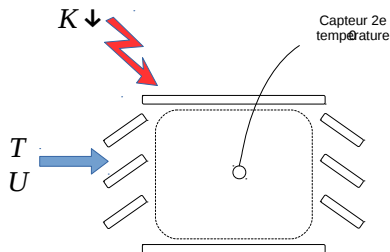
$$\Delta T_{prop}^{(jour)} = a \frac{K \downarrow}{U} - b \frac{\dot{T}}{U} + c K \downarrow + d$$

$K \downarrow$: rayonnement solaire descendant

U : vitesse du vent à 10 m

T : température à 2 m

Influence de l'abri : modélisation de l'erreur



Modèle diurne proposé (correction de TRH / URBIO)

$$\Delta T_{prop}^{(jour)} = a \frac{K \downarrow}{U} - b \frac{\dot{T}}{U} + c K \downarrow + d$$

$K \downarrow$: rayonnement solaire descendant
 U : vitesse du vent à 10 m
 T : température à 2 m

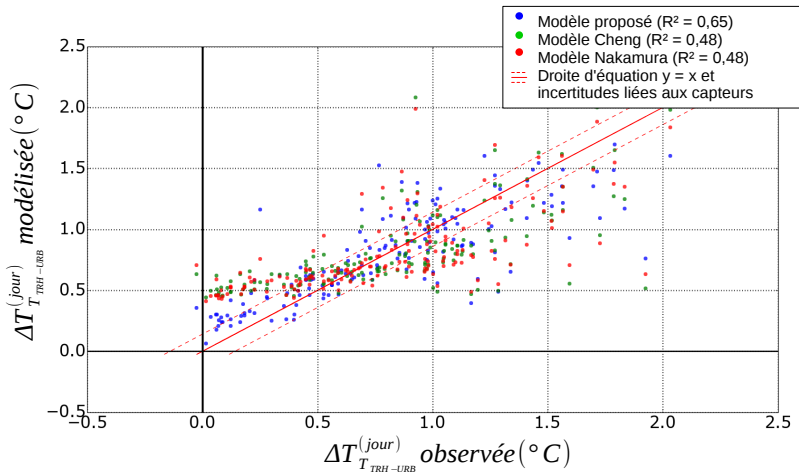
Modèles issus de la littérature

$$\Delta T_{naka}^{(jour)} = e + f \frac{K \downarrow}{TU}$$

$$\Delta T_{chen}^{(jour)} = g + h \frac{K \downarrow}{TU} \frac{Z}{180}$$

avec Z l'angle zénithal solaire ($^{\circ}$)

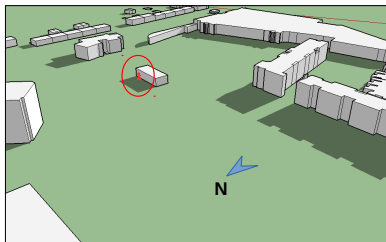
Influence de l'abri : modélisation de l'erreur




Influence de l'abri : période de correction



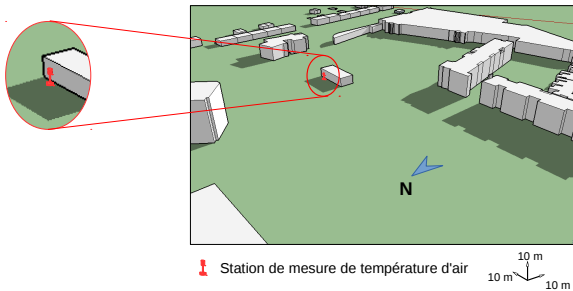
Influence de l'abri : période de correction



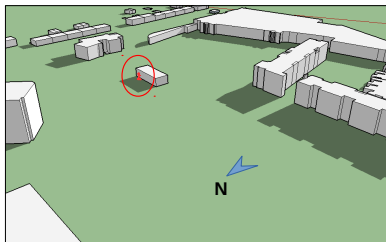
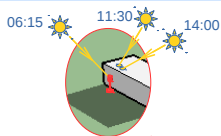
 Station de mesure de température d'air




Influence de l'abri : période de correction



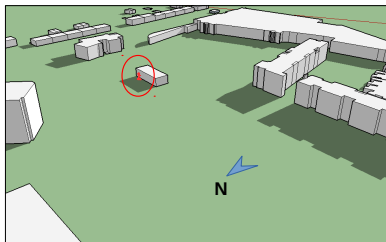
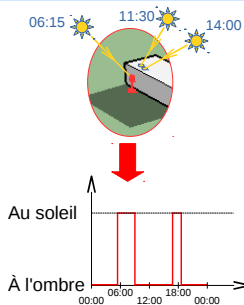
Influence de l'abri : période de correction



 Station de mesure de température d'air



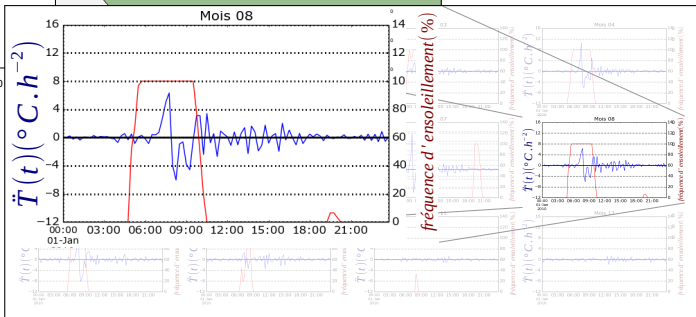
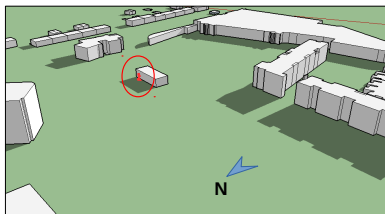
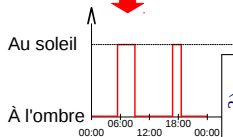
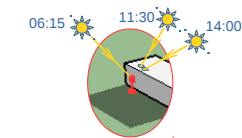
Influence de l'abri : période de correction



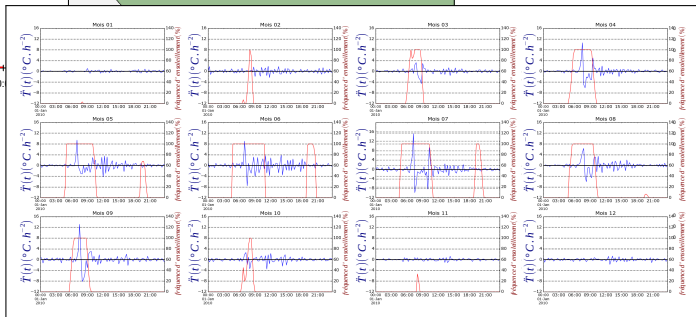
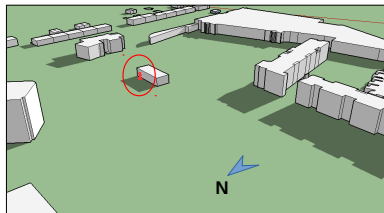
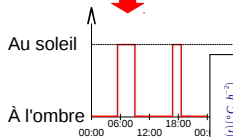
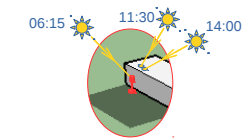
Station de mesure de température d'air

10 m
10 m 10 m

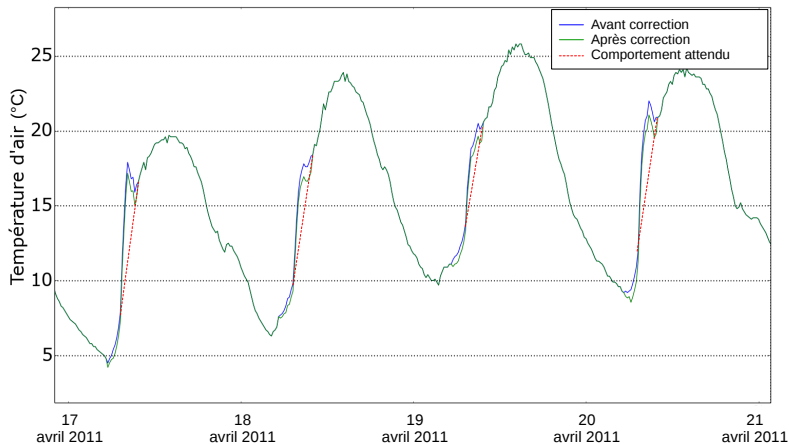
Influence de l'abri : période de correction



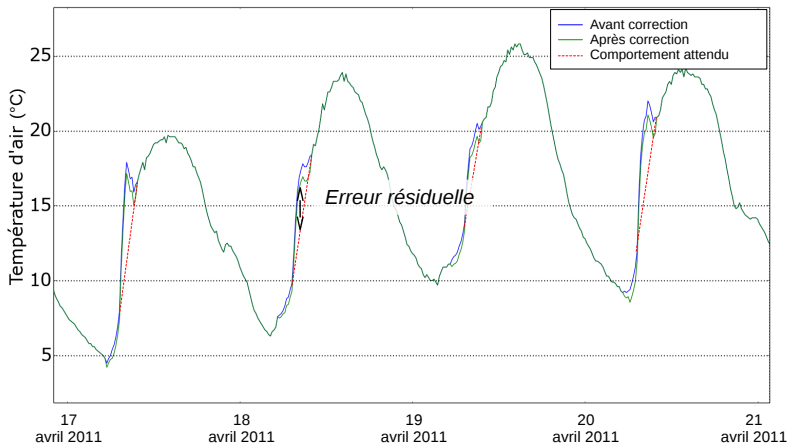
Influence de l'abri : période de correction



Influence du matériel : résultat des corrections



Influence du matériel : résultat des corrections



Conclusion partielle

Conclusion partielle

Résumé de l'influence de chaque hypothèse

- Positionnement : erreur négligeable;
- Matériel : n'explique pas toute l'erreur;
- Positionnement \Rightarrow matériel : peut expliquer le reste en modifiant les modèles
 - décroissance de la vitesse dans la canopée,
 - décroissance de la vitesse selon la distance au mur.

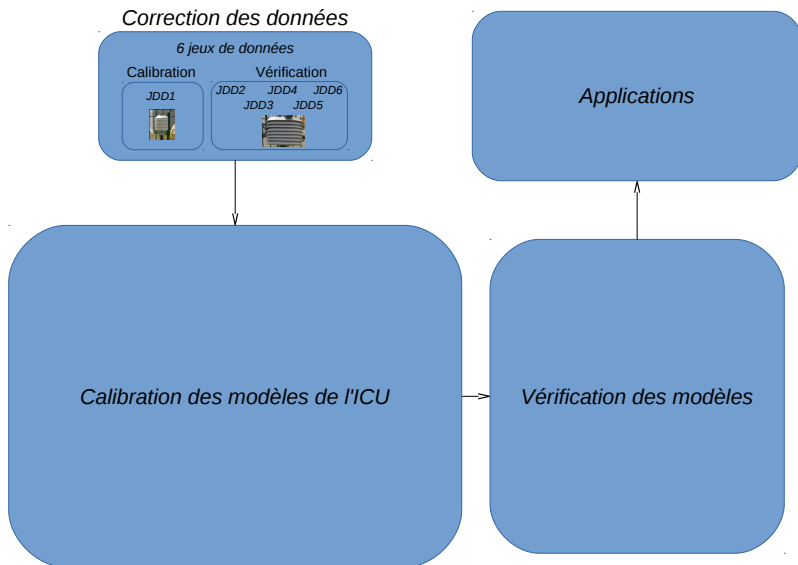
Conclusion partielle

Résumé de l'influence de chaque hypothèse

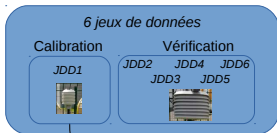
- Positionnement : erreur négligeable;
- Matériel : n'explique pas toute l'erreur;
- Positionnement \Rightarrow matériel : peut expliquer le reste en modifiant les modèles
 - décroissance de la vitesse dans la canopée,
 - décroissance de la vitesse selon la distance au mur.

Corrections réalisées

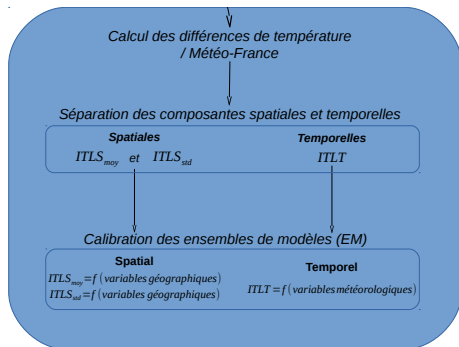
- Jeux de données JDD1 (calibration) et JDD2 (vérification);
- Selon la saison et la station :
 - modification de 10 à 62% des valeurs du mois;
 - température moyenne corrigée de 0 à 0,8°C.



Correction des données



Calibration des modèles de l'ICU

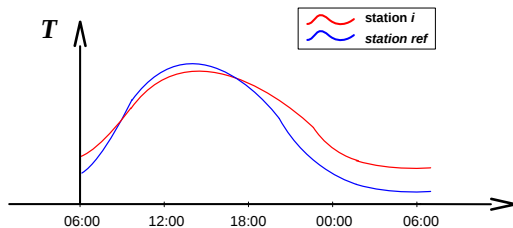


Applications

Vérification des modèles

Identification des périodes de calcul de l'ICU

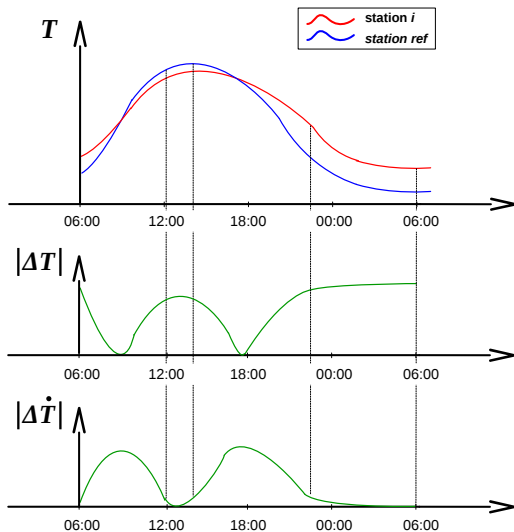
Identification des périodes de calcul de l'ICU



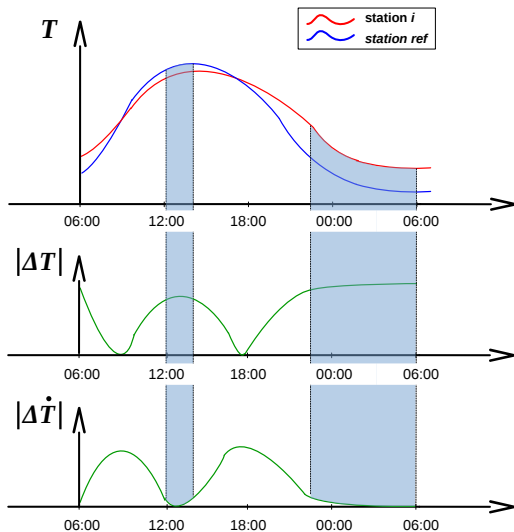
Conditions

- Différence de température maximale ($|\Delta T|$);
- Différence de dérivée minimale ($|\Delta \dot{T}|$).

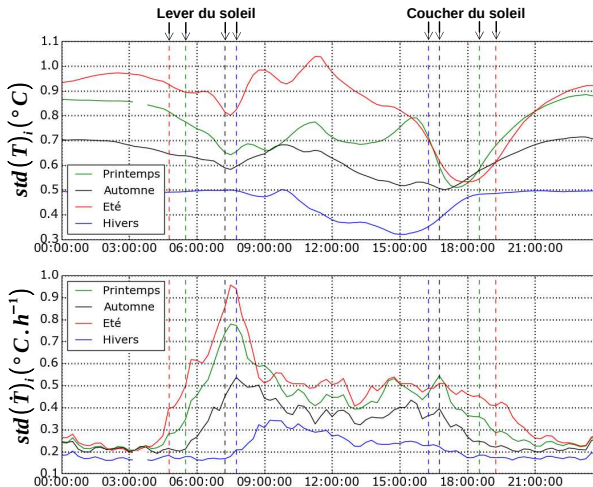
Identification des périodes de calcul de l'ICU



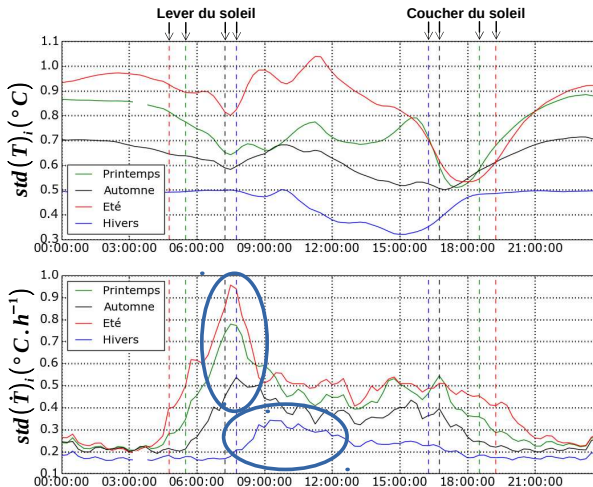
Identification des périodes de calcul de l'ICU



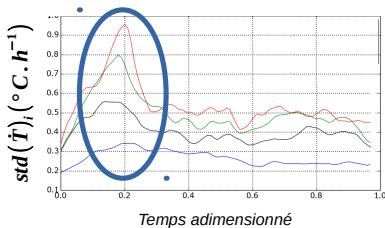
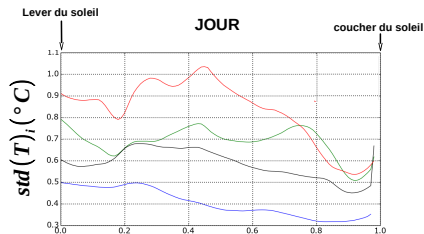
Identification des périodes de calcul de l'ICU



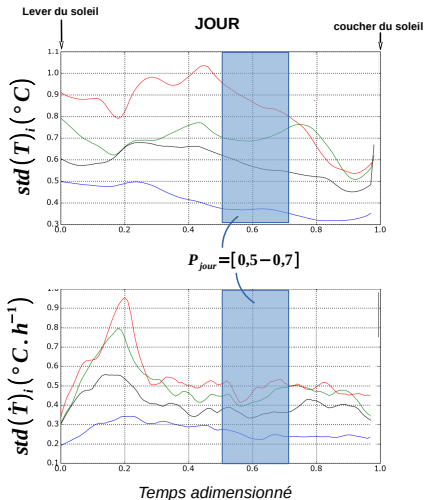
Identification des périodes de calcul de l'ICU



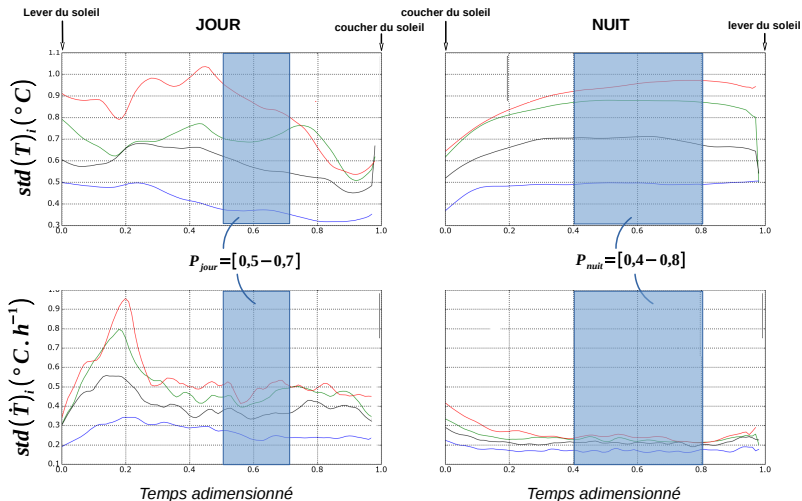
Identification des périodes de calcul de l'ICU



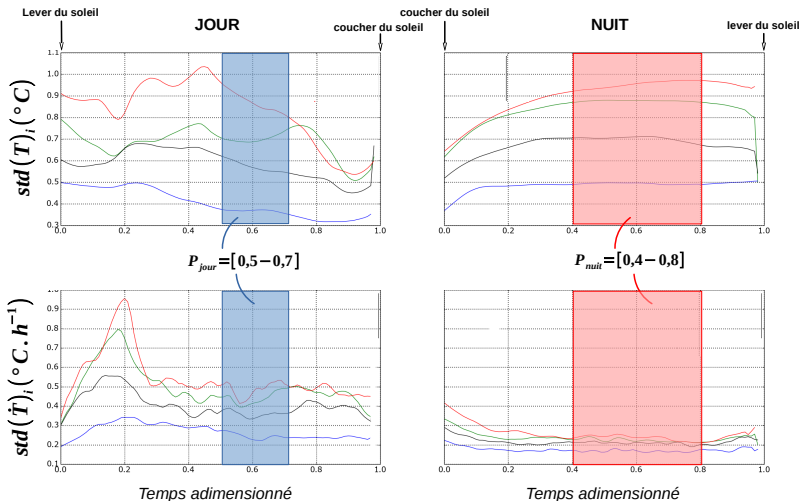
Identification des périodes de calcul de l'ICU



Identification des périodes de calcul de l'ICU

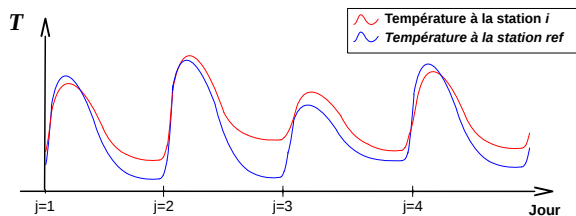


Identification des périodes de calcul de l'ICU

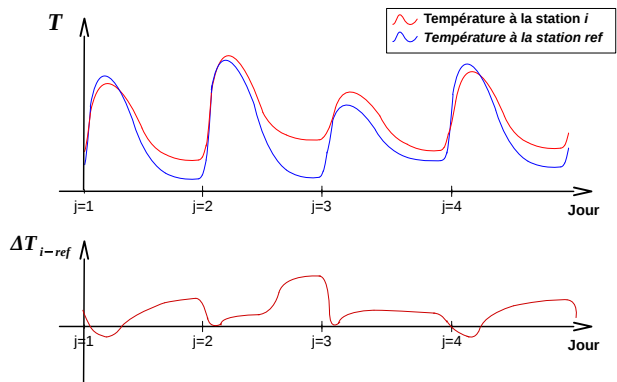


Calcul de l'Indicateur de Température Locale (ITL)

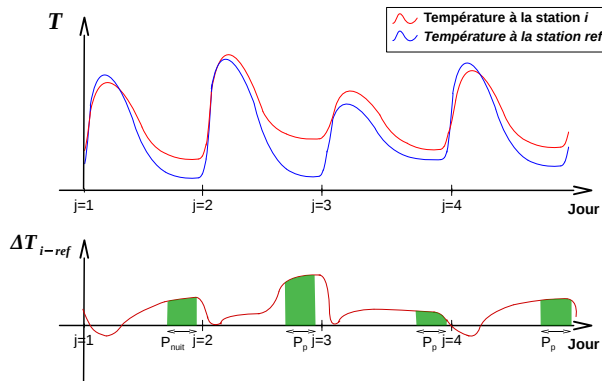
Calcul de l'Indicateur de Température Locale (ITL)



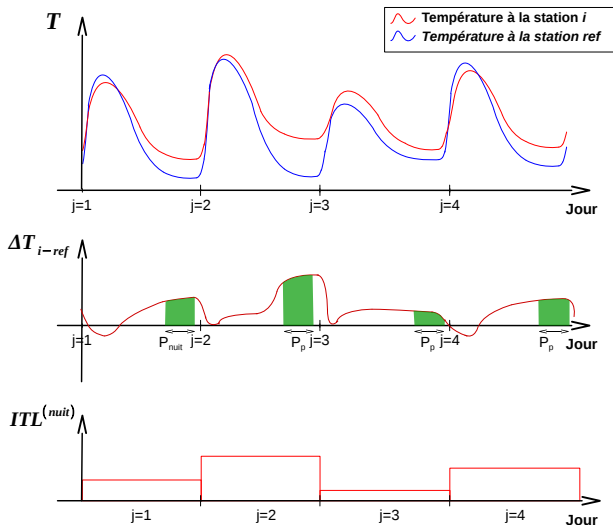
Calcul de l'Indicateur de Température Locale (ITL)



Calcul de l'Indicateur de Température Locale (ITL)

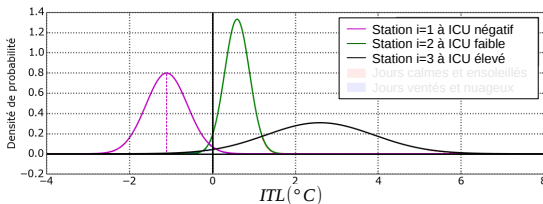


Calcul de l'Indicateur de Température Locale (ITL)

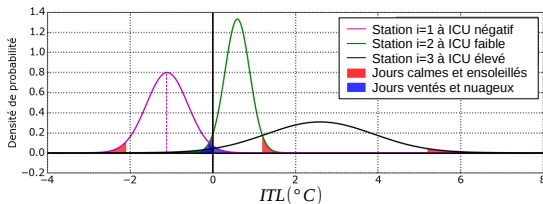


Distinction des variations spatiales et temporelles

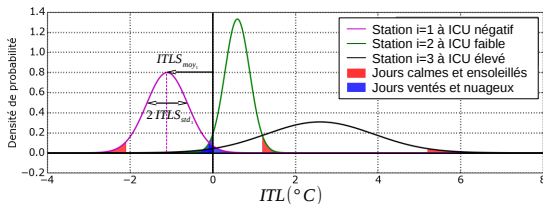
Distinction des variations spatiales et temporelles



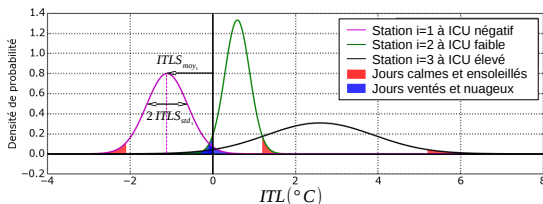
Distinction des variations spatiales et temporelles



Distinction des variations spatiales et temporelles



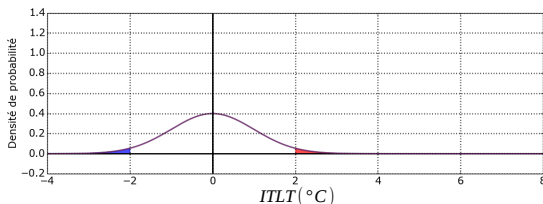
Distinction des variations spatiales et temporelles



Centrage et réduction de chaque gaussienne (loi normale $N(0, 1)$)



$$ITLT_i(j) = \sigma_i \frac{ITL_i(j) - ITLS_{moy_i}}{ITLS_{std_i}}$$

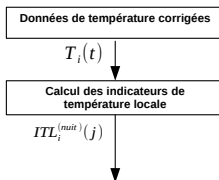


Méthode générale

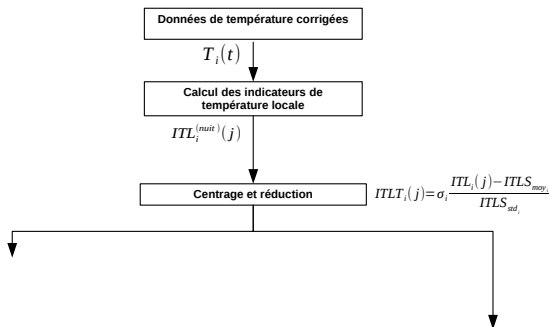
Données de température corrigées

$T_i(t)$ ↓

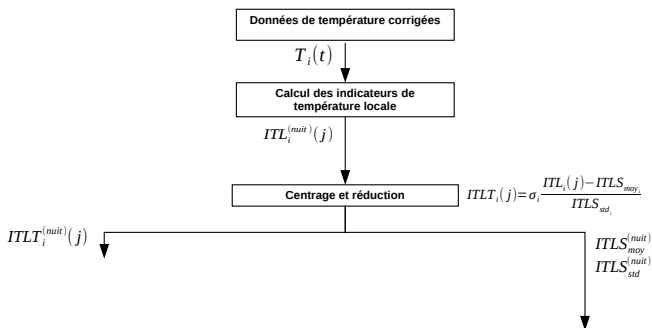
Méthode générale



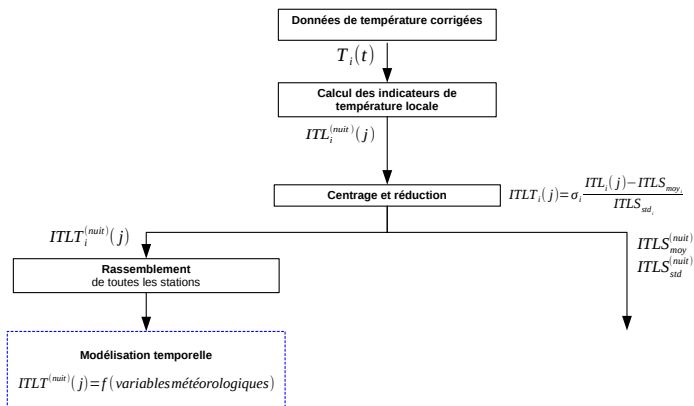
Méthode générale



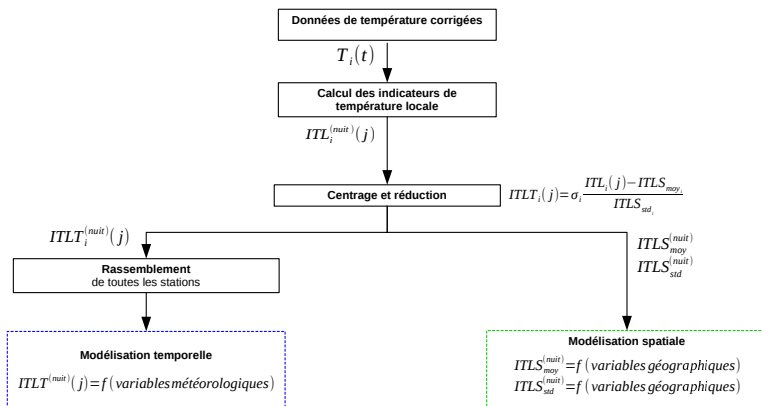
Méthode générale



Méthode générale

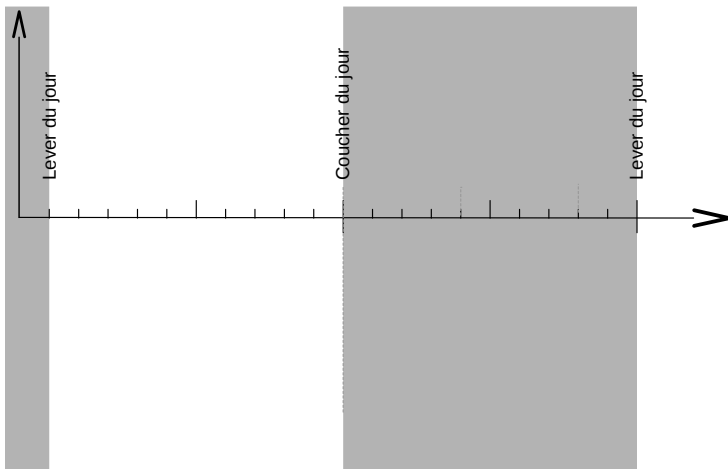


Méthode générale

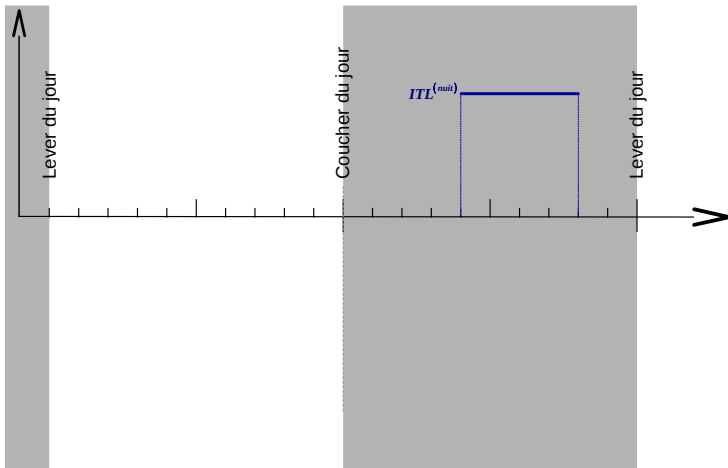


Modélisation temporelle

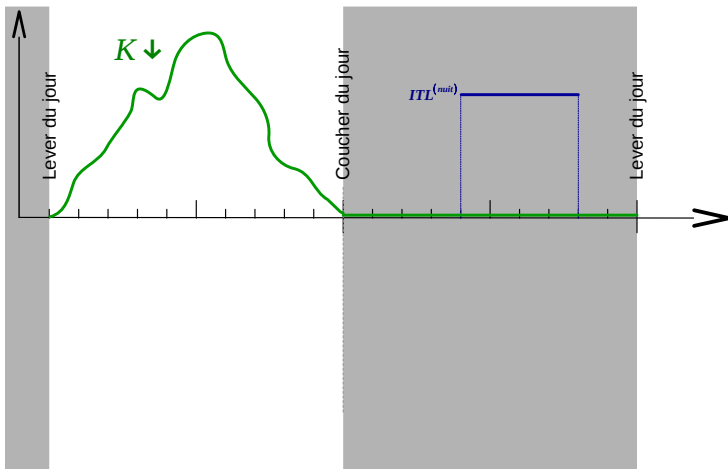
Modélisation temporelle



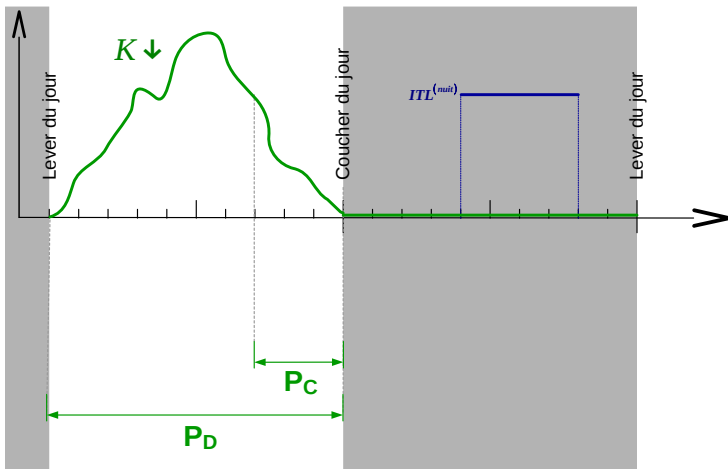
Modélisation temporelle



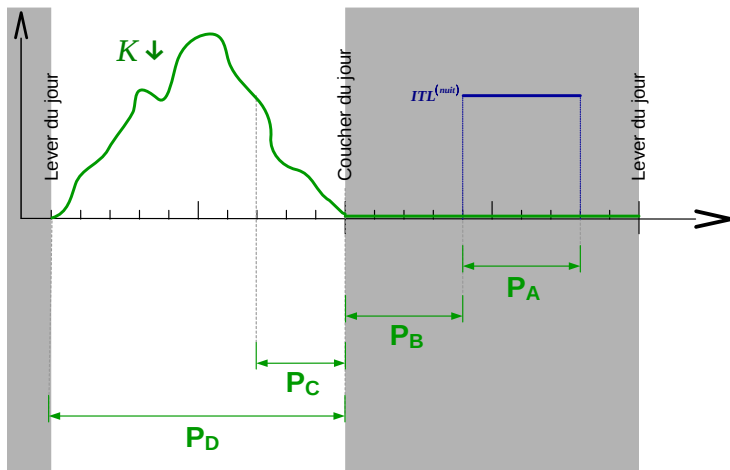
Modélisation temporelle



Modélisation temporelle



Modélisation temporelle



VM_m :

- U ;
- PA ;
- N ;
- $K \downarrow$;
- T ;
- RH ;
- AH

Modélisation temporelle

$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 \\ + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_p
période d'influence

Modélisation temporelle

$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 \\ + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_p
 période d'influence

Modélisation temporelle

$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 \\ + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_p
période d'influence

Modélisation temporelle

$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 \\ + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_p
période d'influence

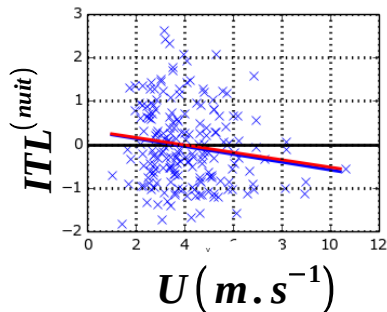
Modélisation temporelle

$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0$$

$$+3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_p



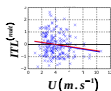
- Régression linéaire non robuste
- Régression linéaire robuste
- Courbe de tendance non linéaire

Modélisation temporelle

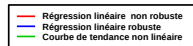
$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_D



P_D

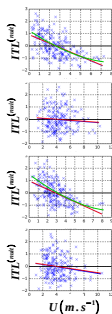


Modélisation temporelle

$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_p

P_AP_BP_CP_D

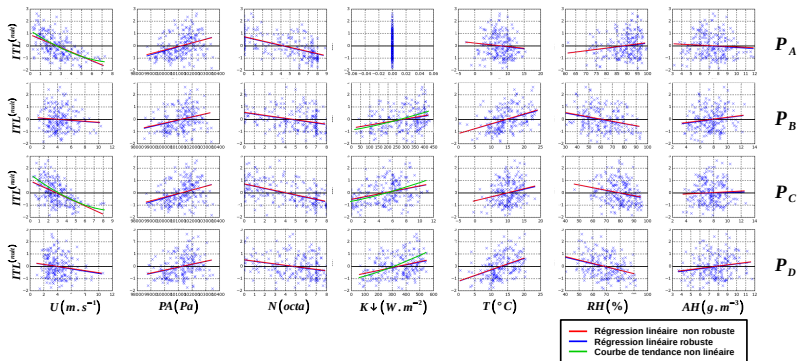
— Régression linéaire non robuste
 — Régression linéaire robuste
 — Courbe de tendance non linéaire

Modélisation temporelle

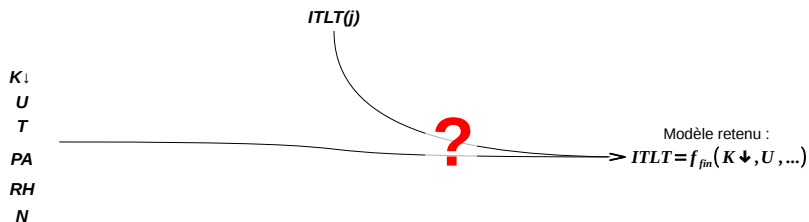
$$ITLT = 0,1K \downarrow(P_C) + 10 \frac{1}{U(P_A)} + 3,0 + 3,8$$

$$ITLT = \alpha_{t_0} + \sum_m \alpha_{t_m} f_m(VM_{m(P_p)})$$

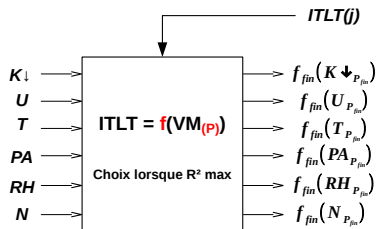
α_{t_0} et α_{t_m} : coefficients de régression
 VM_m variables météorologiques P_D



Modélisation temporelle



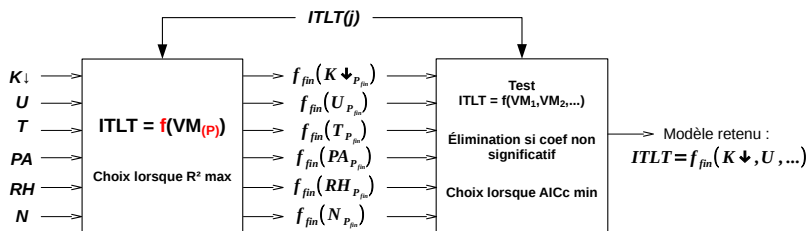
Modélisation temporelle



Modèle retenu :

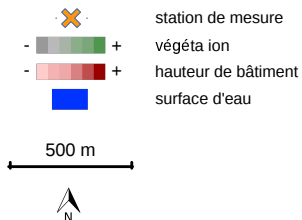
$$ITLT = f_{fin}(K\downarrow, U, \dots)$$

Modélisation temporelle

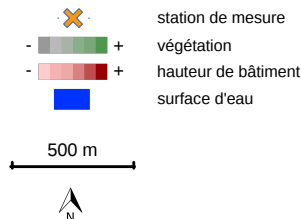


Modélisation spatiale

Modélisation spatiale



Modélisation spatiale



$$ITLS_{moy} = -2(D_{veg_i} - D_{veg_{ref}}) + 3(D_{bat_i} - D_{bat_{ref}}) + 2$$

$$ITLS_{std} = -3,5(D_{veg_i} - D_{veg_{ref}}) + 5$$

$$ITLS_{moy} = \alpha_{sm0} + \sum_g \alpha_{smg} (IG_i - IG_{ref})$$

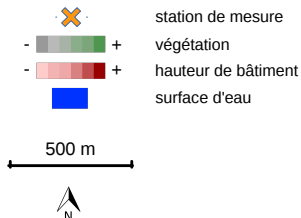
$$ITLS_{std} = \alpha_{ss0} + \sum_g \alpha_{ssg} (IG_i - IG_{ref})$$

α_{sm0} , α_{ss0} , α_{smg} et α_{ssg} : coefficients de régression

IG_g indicateur géographique



Modélisation spatiale



$$ITLS_{moy} = -2(D_{veg_i} - D_{veg_{ref}}) + 3(D_{bat_i} - D_{bat_{ref}}) + 2$$

$$ITLS_{std} = -3,5(D_{veg_i} - D_{veg_{ref}}) + 5$$

$$ITLS_{moy} = \alpha_{sm0} + \sum_g \alpha_{smg} (IG_i - IG_{ref})$$

$$ITLS_{std} = \alpha_{ss0} + \sum_g \alpha_{ssg} (IG_i - IG_{ref})$$

α_{sm0} , α_{ss0} , α_{smg} et α_{ssg} : coefficients de régression

IG_g indicateur géographique



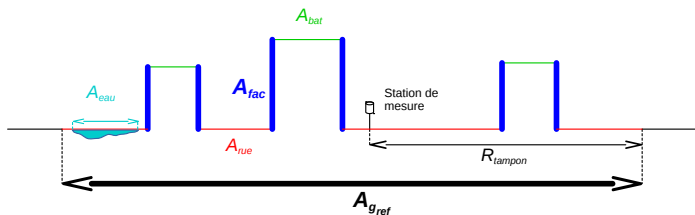
Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

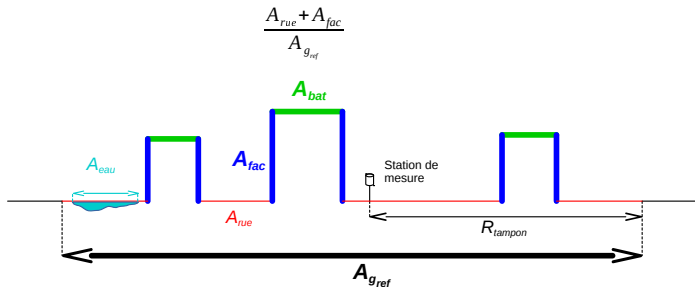
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$



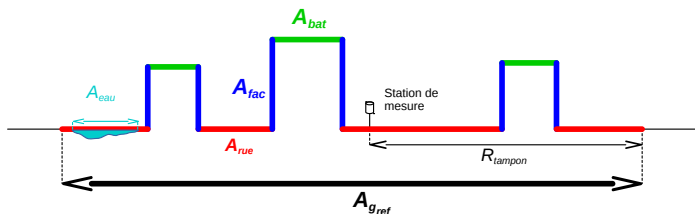
Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

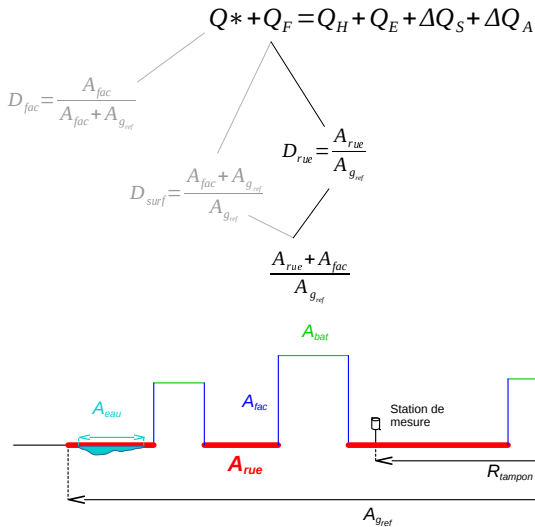
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$\frac{A_{rue} + A_{fac}}{A_{g_{ref}}}$$



Modélisation spatiale



Modélisation spatiale

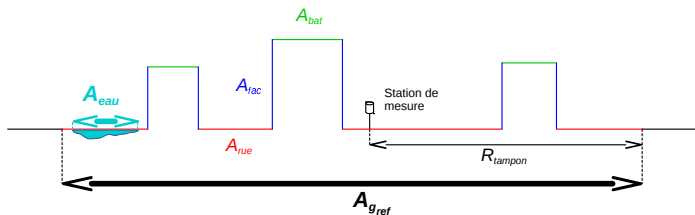
$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

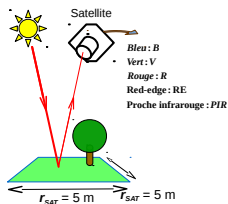
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$$

$$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

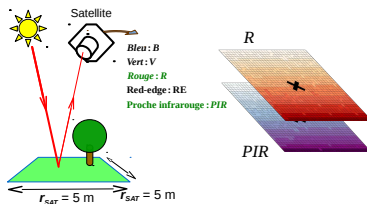
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$$

$$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

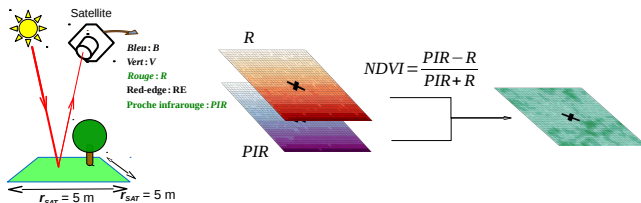
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$$

$$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

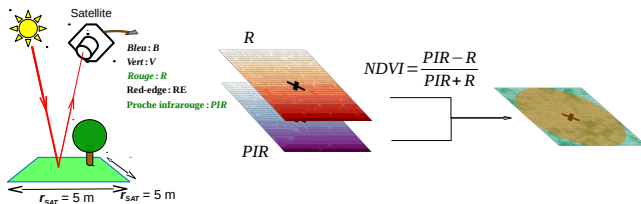
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$$

$$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

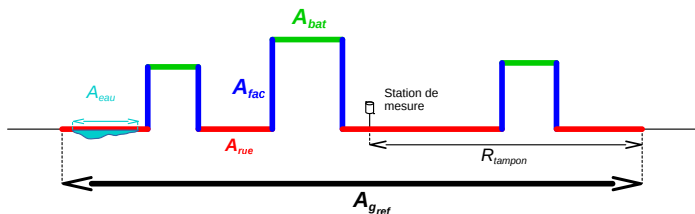
$$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$$

$$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$$

$$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$$

$$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$$



Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$

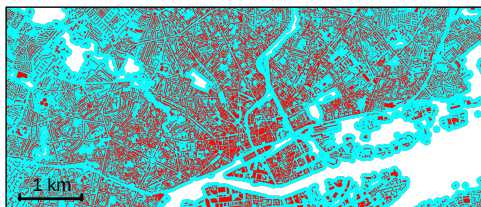
$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$

$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$

$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$

$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$

d_{periph}



- bâtiments
- zone ouverte
- zone bâtie

Modélisation spatiale

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

$D_{fac} = \frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{g_{ref}}}$

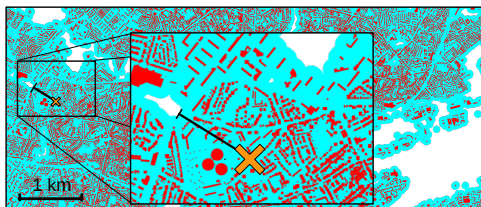
$D_{surf} = \frac{A_{fac} + A_{g_{ref}}}{A_{g_{ref}}}$

$D_{rue} = \frac{A_{rue}}{A_{g_{ref}}}$

$D_{eau} = \frac{A_{eau}}{A_{g_{ref}}}$

$NDVI = \frac{PIR - IR}{PIR + IR}$

d_{periph}



- bâtiments
- zone ouverte
- zone bâtie
- / Indicateur d_{periph}
- X station de mesures

Modélisation spatiale

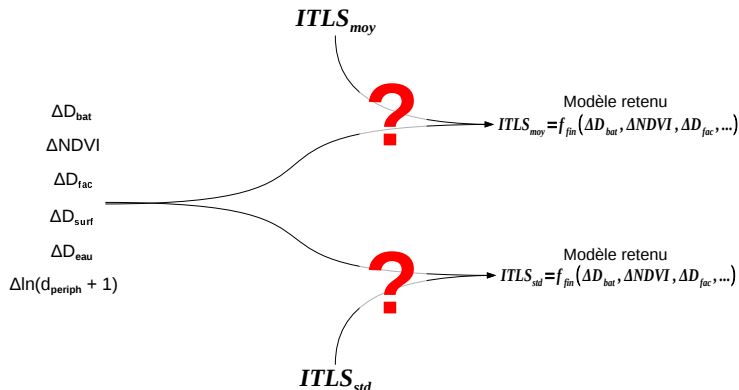
Données géographiques utilisées (homogènes et disponibles)

- BD Topo IGN (2011)
- RapidEye (résolution : 5 m - mars 2011)

Modélisation spatiale

Données géographiques utilisées (homogènes et disponibles)

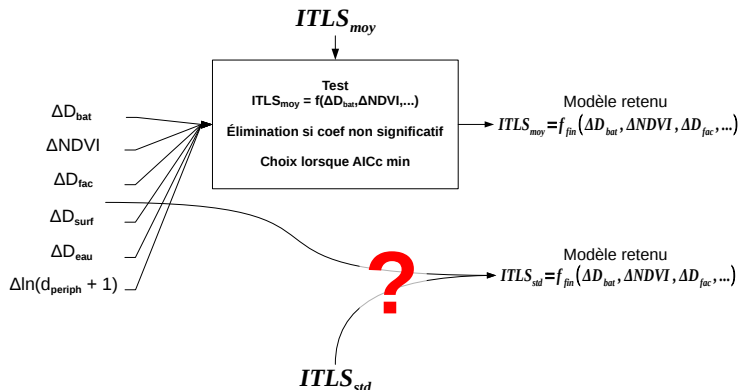
- BD Topo IGN (2011)
- RapidEye (résolution : 5 m - mars 2011)



Modélisation spatiale

Données géographiques utilisées (homogènes et disponibles)

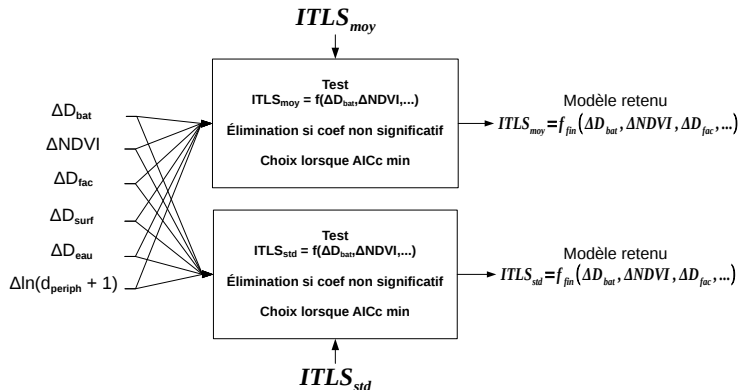
- BD Topo IGN (2011)
- RapidEye (résolution : 5 m - mars 2011)



Modélisation spatiale

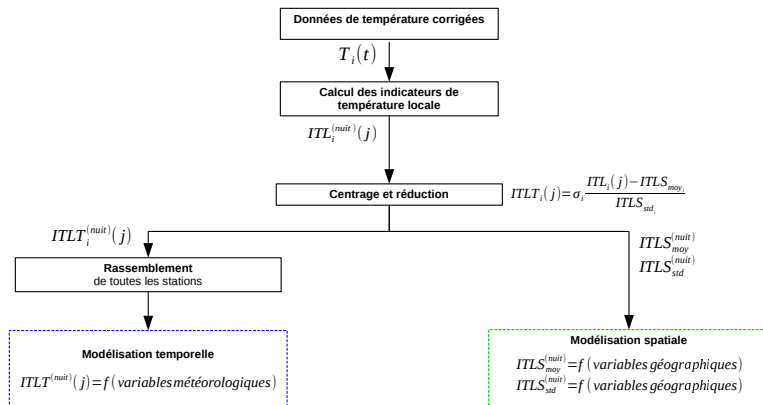
Données géographiques utilisées (homogènes et disponibles)

- BD Topo IGN (2011)
- RapidEye (résolution : 5 m - mars 2011)

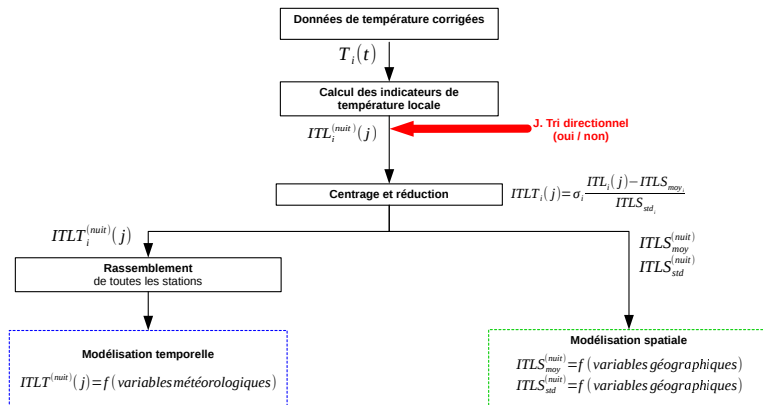


Variantes à la méthodologie générale

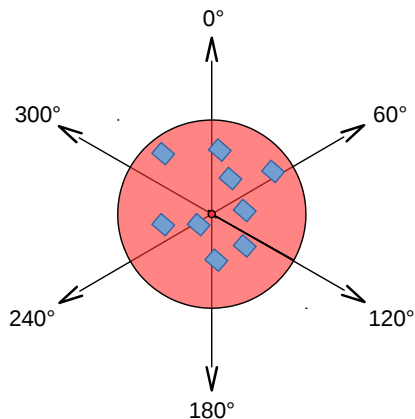
Variantes à la méthodologie générale



Variantes à la méthodologie générale

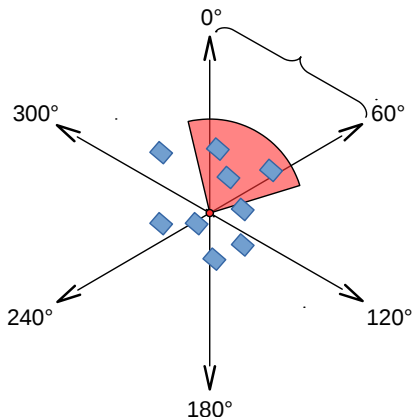


Variantes à la méthodologie générale



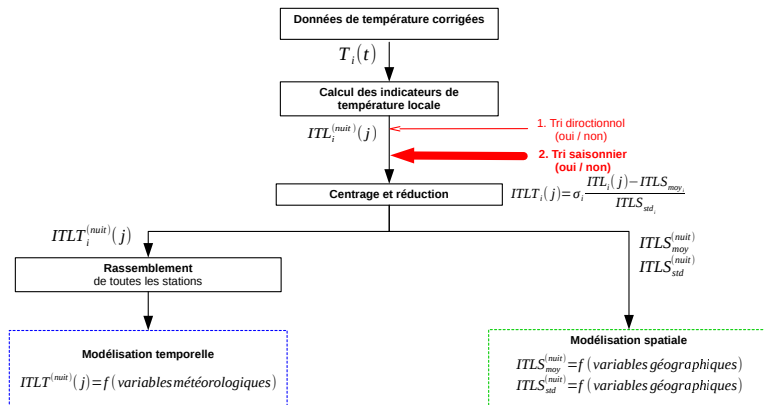
- Station de mesure i
- Bâtiments
- ◡ Surface de référence pour le calcul des indicateurs géographiques

Variantes à la méthodologie générale

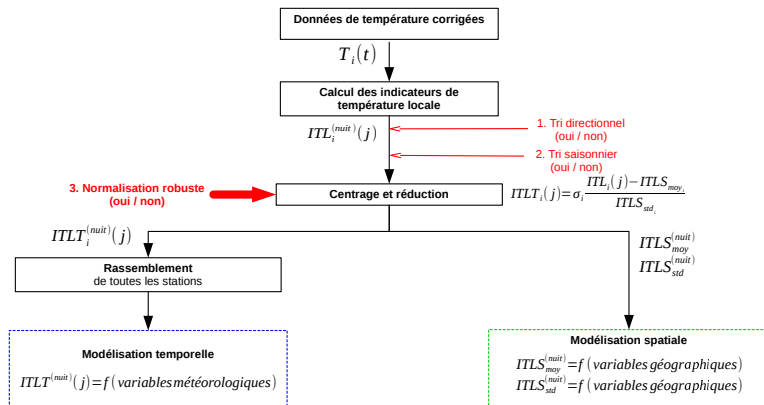


- Station de mesure i
- Bâtiments
- Surface de référence pour le calcul des indicateurs géographiques
- ⌋ Intervalle de direction de vent dir_1

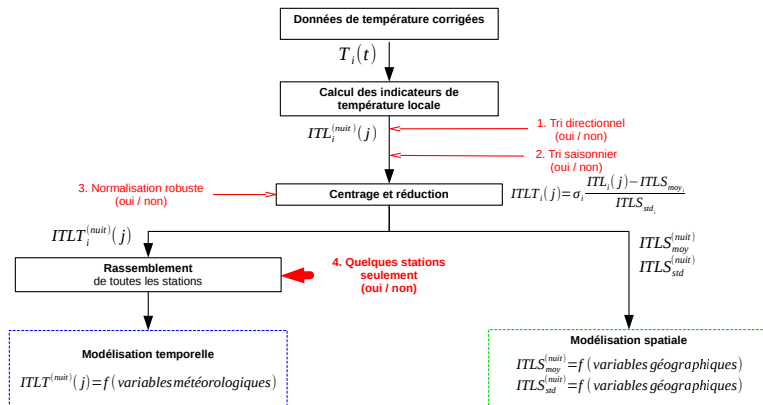
Variantes à la méthodologie générale



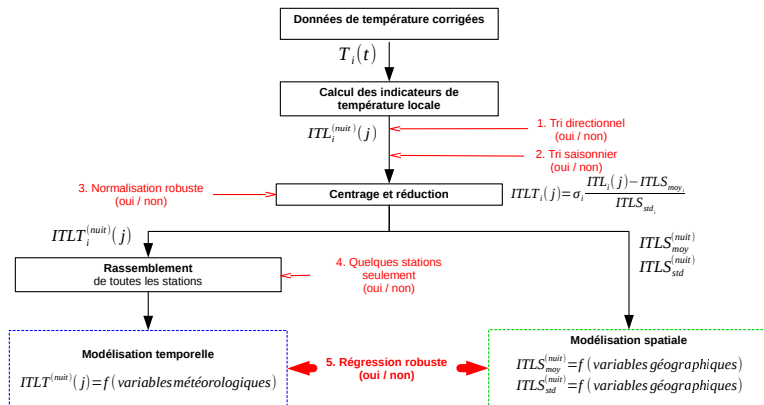
Variantes à la méthodologie générale



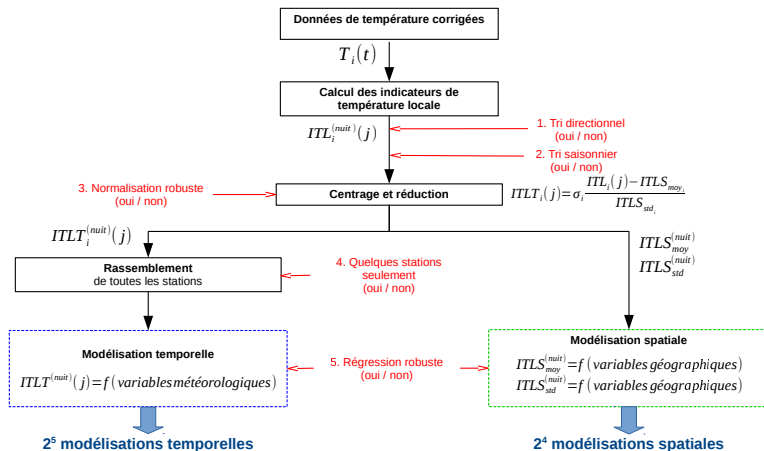
Variantes à la méthodologie générale



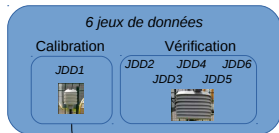
Variantes à la méthodologie générale



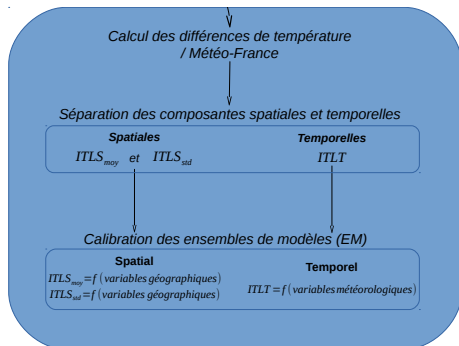
Variantes à la méthodologie générale



Correction des données



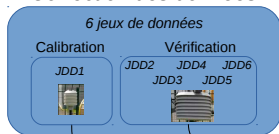
Calibration des modèles de l'ICU



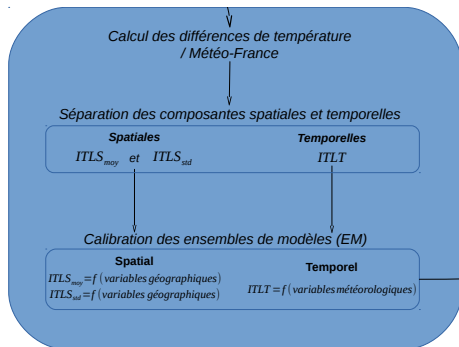
Applications

Vérification des modèles

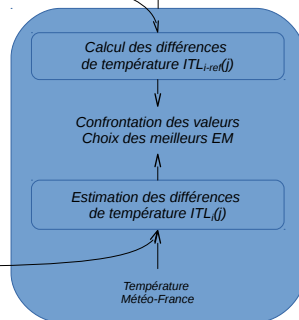
Correction des données



Calibration des modèles de l'ICU



Applications

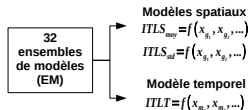


Vérification des modèles



Choix de l'ensemble de modèle le plus performant

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant



Choix du meilleur EM ∇ JDD

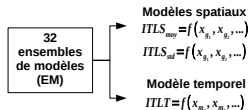
$$IILS_{moy} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

$$IILS_{sd} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

$$IILT = f_{lin}(x_n, x_n, \dots)$$

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant

Bases de données (6 JDD)		
géographiques	météorologiques	de température d'air

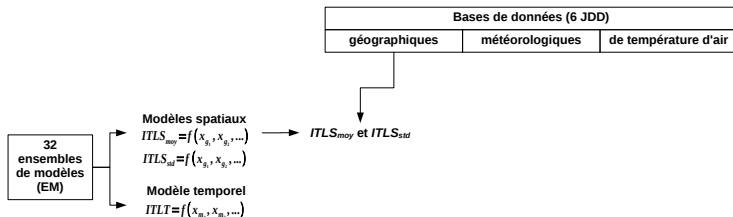


Choix du meilleur EM \forall JDD

$$IILS_{moy} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots) \quad IILT = f_{lin}(x_m, x_m, \dots)$$

$$IILS_{sd} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant



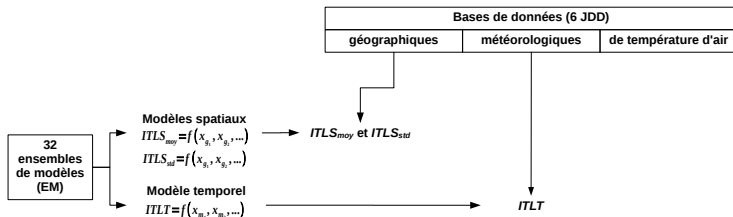
Choix du meilleur EM \forall JDD

$$ITLS_{moy} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

$$ITLS_{std} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

$$IILT = f_{lin}(x_m, x_m, \dots)$$

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant



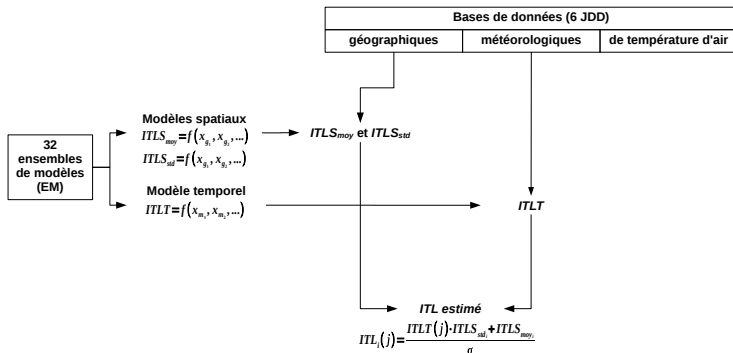
Choix du meilleur EM \forall JDD

$$ITLS_{moy} = f_{lin}(x_g, x_m, \dots)$$

$$ITLS_{std} = f_{lin}(x_g, x_m, \dots)$$

$$IILT = f_{lin}(x_m, x_{n_i}, \dots)$$

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant



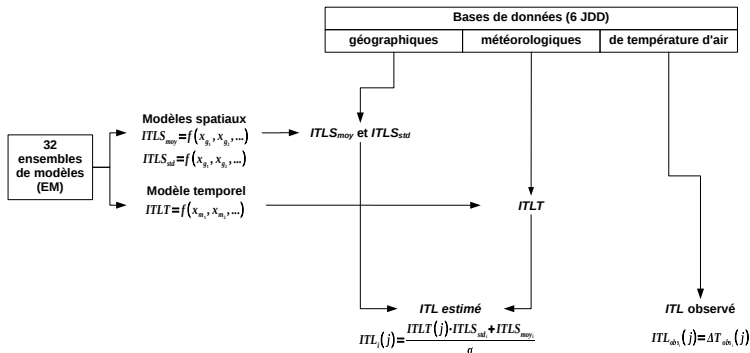
Choix du meilleur EM \forall JDD

$$ITLS_{moy} = f_{in}(x_g, x_g, \dots)$$

$$ITLS_{std} = f_{in}(x_g, x_g, \dots)$$

$$ITLT = f_{in}(x_m, x_m, \dots)$$

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant



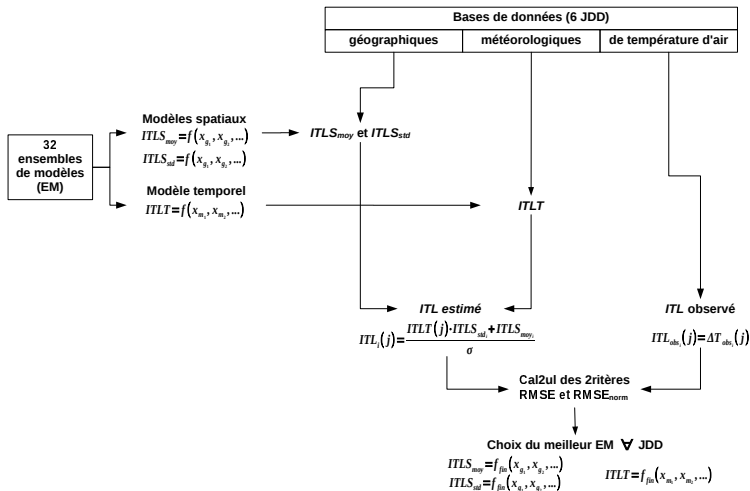
Choix du meilleur EM \forall JDD

$$ITLS_{moy} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

$$ITLS_{std} = f_{lin}(x_g, x_g, \dots)$$

$$ITLT = f_{lin}(x_n, x_n, \dots)$$

Choix de l'ensemble de modèle le plus performant



Ensemble de modèles retenus

Ensemble de modèles retenus

Indicateur de Température Locale Temporel ($ITLT^{nuit}$)

Ensemble de modèles retenus

Indicateur de Température Locale Temporel ($ITLT^{nuit}$)

$ITLT^{(aut)} = 0,0016 K \downarrow (P_C)$	$+6,3 \frac{1}{U(P_A)+3,0}$	$+0,01 T(P_C)$	$-0,095 \exp(\frac{N(P_B)-6}{6})$	-1,1
$ITLT^{(hiv)} =$	$+0,081 \exp(-U(P_B)+3,0)$		$-0,12 N(P_A)$	+0,64
$ITLT^{(pr))} = 0,0011 K \downarrow (P_C)$	$+11,0 \frac{1}{U(P_A)+3,0}$	$+0,033 T(P_D)$	$-0,12 N(P_A)$	-2,3
$ITLT^{(ete)} =$	$-0,0083 RH(P_D)$	$-0,36 U(P_A)$	$-0,13 T(P_A)$	+3,2

Ensemble de modèles retenus

Indicateur de Température Locale Temporel ($ITLT^{nuit}$)

$ITLT^{(aut)} = 0,0016 K \downarrow (P_C)$	$+6,3 \frac{1}{U(P_A)+3,0}$	$+0,01 T(P_C)$	$-0,095 \exp\left(\frac{N(P_B)-6}{6}\right)$	$-1,1$
$ITLT^{(hiv)} =$	$+0,081 \exp(-U(P_B)+3,0)$		$-0,12 N(P_A)$	$+0,64$
$ITLT^{(pri)} = 0,0011 K \downarrow (P_C)$	$+11,0 \frac{1}{U(P_A)+3,0}$	$+0,033 T(P_D)$	$-0,12 N(P_A)$	$-2,3$
$ITLT^{(ete)} =$	$-0,0083 RH(P_D)$	$-0,36 U(P_A)$	$-0,13 T(P_A)$	$+3,2$

Ensemble de modèles retenus

Indicateur de Température Locale Temporel ($ITLT^{nuit}$)

$ITLT^{(aut)} = 0,0016 K \downarrow (P_C)$	$+6,3 \frac{1}{U(P_A)+3,0}$	$+0,01 T(P_C)$	$-0,095 \exp\left(\frac{N(P_B)-6}{6}\right)$	-1,1
$ITLT^{(hiv)} =$	$+0,081 \exp(-U(P_B)+3,0)$		$-0,12 N(P_A)$	+0,64
$ITLT^{(pr))} = 0,0011 K \downarrow (P_C)$	$+11,0 \frac{1}{U(P_A)+3,0}$	$+0,033 T(P_D)$	$-0,12 N(P_A)$	-2,3
$ITLT^{(ete)} =$	$-0,0083 RH(P_D)$	$-0,36 U(P_A)$	$-0,13 T(P_A)$	+3,2

Ensemble de modèles retenus

Ensemble de modèles retenus

Indicateurs de Température Locale Spatiaux ($ITLS_{moy}^{nuit}$ et $ITLS_{std}^{nuit}$)

Ensemble de modèles retenus

Indicateurs de Température Locale Spatiaux ($ITLS_{moy}^{nuit}$ et $ITLS_{std}^{nuit}$)

$$x_{D_{surf}} = D_{surf_i} - D_{surf_{ref}}$$

Ensemble de modèles retenus

Indicateurs de Température Locale Spatiaux ($ITLS_{moy}^{nuit}$ et $ITLS_{std}^{nuit}$)

$$\times D_{surf} = D_{surf_i} - D_{surf_{ref}}$$

$ITLS_{std}^{(aut)} = 3,2 \times D_{fac}$			$+0,06 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,027 \times_{NDVI}$	$-2,9 \times_{D_{bar}}$	$+0,38$
$ITLS_{std}^{(hiv)} = -3,0 \times D_{fac}$	$+1,4 \times_{D_{surf}}$		$+0,065 \ln(d_{periph} + 1)$			$+0,5$
$ITLS_{std}^{(pri)} =$	$+1,7 \times_{D_{surf}}$		$+0,12 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,029 \times_{NDVI}$	$-3,4 \times_{D_{bar}}$	$+0,41$
$ITLS_{std}^{(ete)} = -6,4 \times_{D_{fac}}$	$+3,0 \times_{D_{surf}}$	$+4,8 \times_{D_{eau}}$	$+0,15 \ln(d_{periph} + 1)$			$+0,86$
$ITLS_{moy}^{(aut)} = 3,2 \times_{D_{fac}}$			$+0,15 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,057 \times_{NDVI}$	$-5,5 \times_{D_{bar}}$	$-0,39$
$ITLS_{moy}^{(hiv)} =$	$+2,0 \times_{D_{surf}}$		$+0,12 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,027 \times_{NDVI}$	$-4,0 \times_{D_{bar}}$	$-0,2$
$ITLS_{moy}^{(pri)} =$		$+3,3 \times_{D_{eau}}$		$-0,051 \times_{NDVI}$		$+0,031$
$ITLS_{moy}^{(ete)} =$		$+12,0 \times_{D_{eau}}$		$-0,045 \times_{NDVI}$		$+0,23$

Ensemble de modèles retenus

Indicateurs de Température Locale Spatiaux ($ITLS_{moy}^{nuit}$ et $ITLS_{std}^{nuit}$)

$$\times D_{surf} = D_{surf_i} - D_{surf_{ref}}$$

$ITLS_{std}^{(aut)} = 3,2 \times D_{fac}$			$+0,06 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,027 \times_{NDVI}$	$-2,9 \times_{D_{bar}}$	$+0,38$
$ITLS_{std}^{(hiv)} = -3,0 \times D_{fac}$	$+1,4 \times_{D_{surf}}$		$+0,065 \ln(d_{periph} + 1)$			$+0,5$
$ITLS_{std}^{(pri)} =$	$+1,7 \times_{D_{surf}}$		$+0,12 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,029 \times_{NDVI}$	$-3,4 \times_{D_{bar}}$	$+0,41$
$ITLS_{std}^{(ete)} = -6,4 \times_{D_{fac}}$	$+3,0 \times_{D_{surf}}$	$+4,8 \times_{D_{eau}}$	$+0,15 \ln(d_{periph} + 1)$			$+0,86$

$ITLS_{moy}^{(aut)} = 3,2 \times_{D_{fac}}$			$+0,15 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,057 \times_{NDVI}$	$-5,5 \times_{D_{bar}}$	$-0,39$
$ITLS_{moy}^{(hiv)} =$	$+2,0 \times_{D_{surf}}$		$+0,12 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,027 \times_{NDVI}$	$-4,0 \times_{D_{bar}}$	$-0,2$
$ITLS_{moy}^{(pri)} =$		$+3,3 \times_{D_{eau}}$		$-0,051 \times_{NDVI}$		$+0,031$
$ITLS_{moy}^{(ete)} =$		$+12,0 \times_{D_{eau}}$		$-0,045 \times_{NDVI}$		$+0,23$

QH et QE

Ensemble de modèles retenus

Indicateurs de Température Locale Spatiaux ($ITLS_{moy}^{nuit}$ et $ITLS_{std}^{nuit}$)

$$x_{D_{surf}} = D_{surf_i} - D_{surf_{ref}}$$

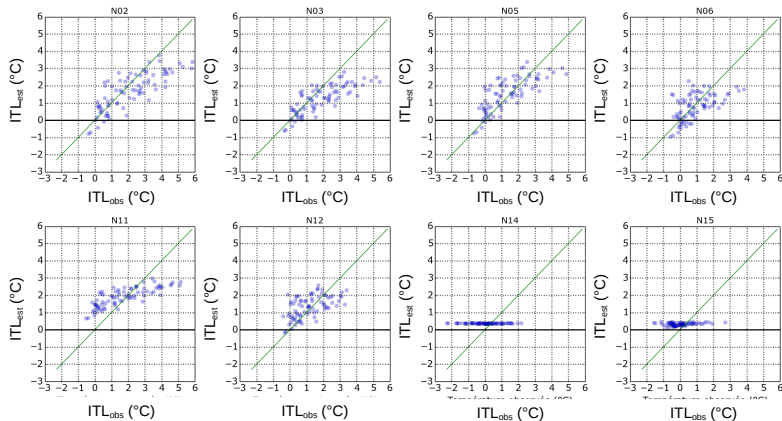
$ITLS_{std}^{(aut)} = 3,2 \times D_{fac}$			$+0,06 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,027 \times x_{NDVI}$	$-2,9 \times D_{bar}$	$+0,38$
$ITLS_{std}^{(hiv)} = -3,0 \times D_{fac}$	$+1,4 \times D_{surf}$		$+0,065 \ln(d_{periph} + 1)$			$+0,5$
$ITLS_{std}^{(pri)} =$	$+1,7 \times D_{surf}$		$+0,12 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,029 \times x_{NDVI}$	$-3,4 \times D_{bar}$	$+0,41$
$ITLS_{std}^{(ete)} = -6,4 \times D_{fac}$	$+3,0 \times D_{surf}$	$+4,8 \times D_{eau}$	$+0,15 \ln(d_{periph} + 1)$			$+0,86$

QF

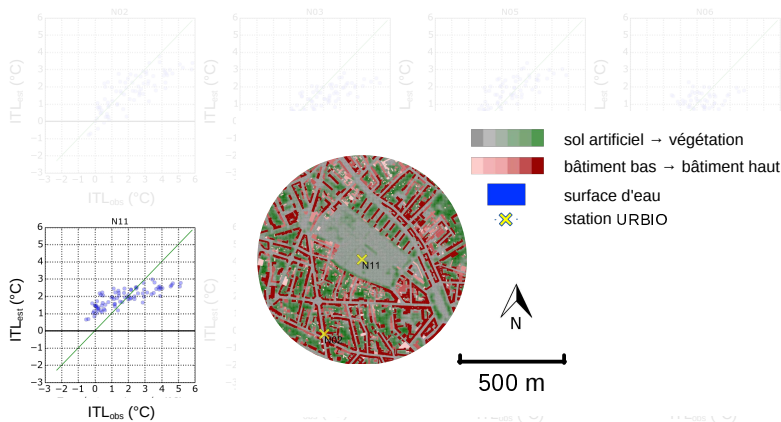
$ITLS_{moy}^{(aut)} = 3,2 \times D_{fac}$			$+0,15 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,057 \times x_{NDVI}$	$-5,5 \times D_{bar}$	$-0,39$
$ITLS_{moy}^{(hiv)} =$	$+2,0 \times D_{surf}$		$+0,12 \ln(d_{periph} + 1)$	$-0,027 \times x_{NDVI}$	$-4,0 \times D_{bar}$	$-0,2$
$ITLS_{moy}^{(pri)} =$		$+3,3 \times D_{eau}$		$-0,051 \times x_{NDVI}$		$+0,031$
$ITLS_{moy}^{(ete)} =$		$+12,0 \times D_{eau}$		$-0,045 \times x_{NDVI}$		$+0,23$

Performances de l'EM retenu : JDD nantais

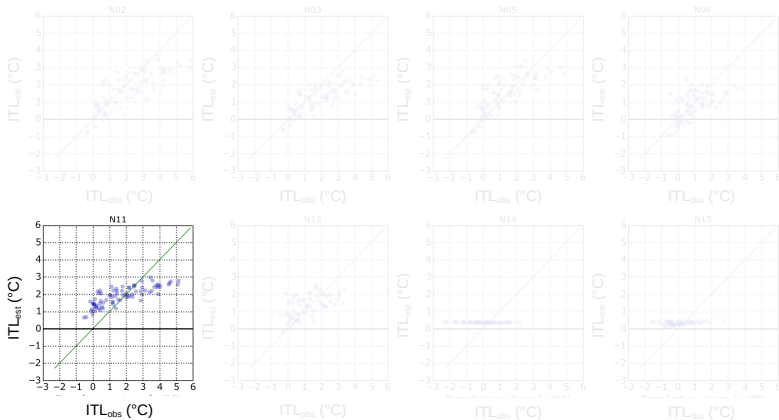
Performances de l'EM retenu : JDD nantais



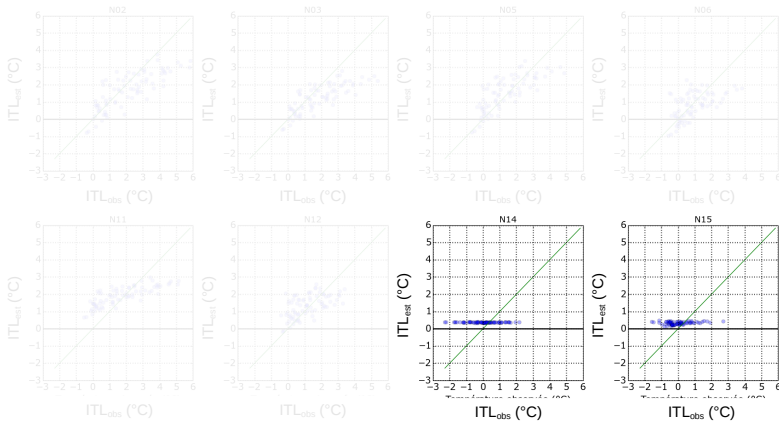
Performances de l'EM retenu : JDD nantais



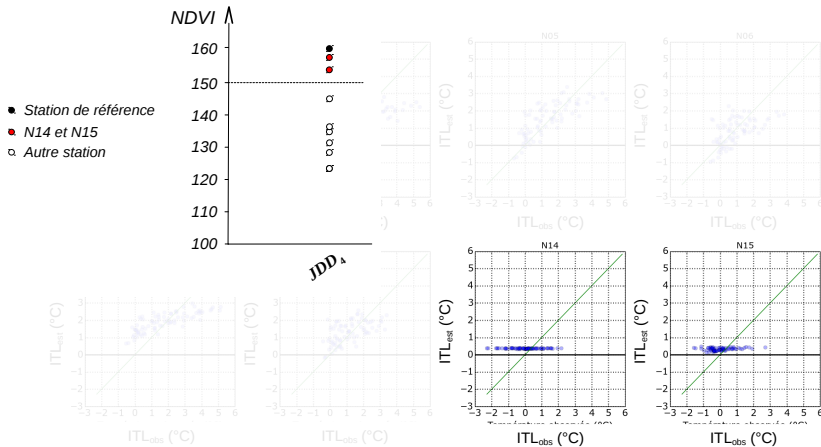
Performances de l'EM retenu : JDD nantais



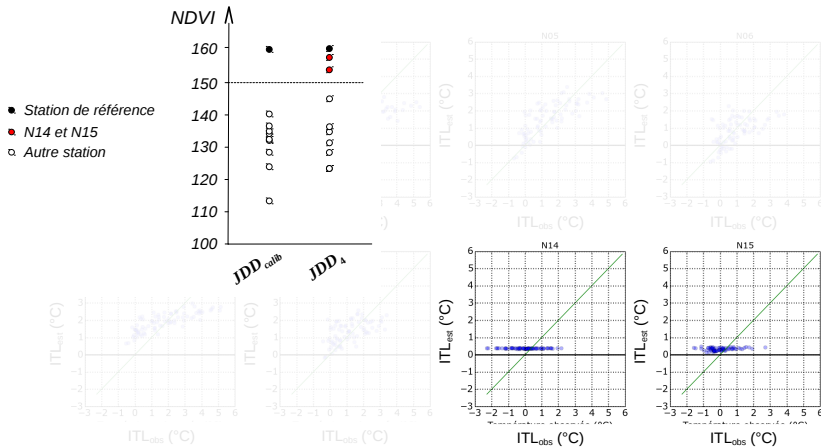
Performances de l'EM retenu : JDD nantais



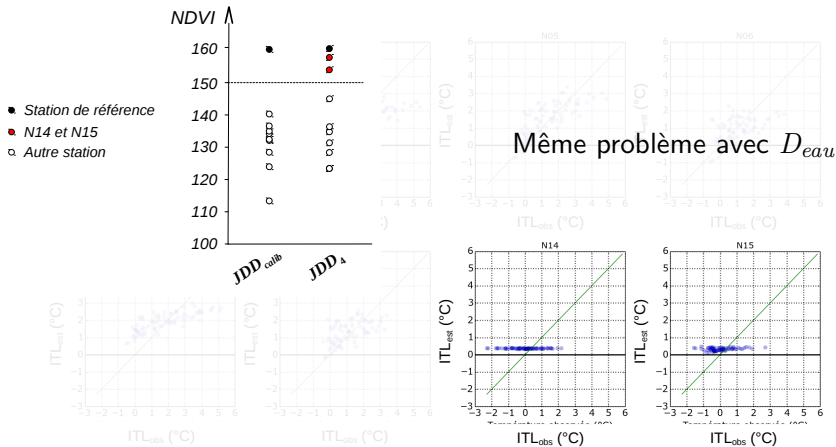
Performances de l'EM retenu : JDD nantais



Performances de l'EM retenu : JDD nantais

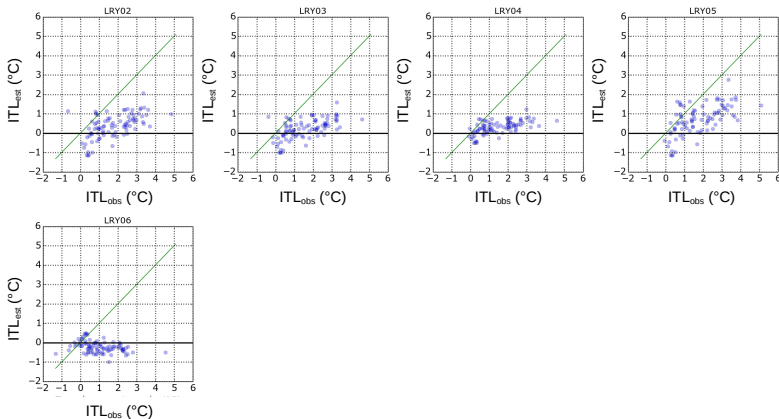


Performances de l'EM retenu : JDD nantais

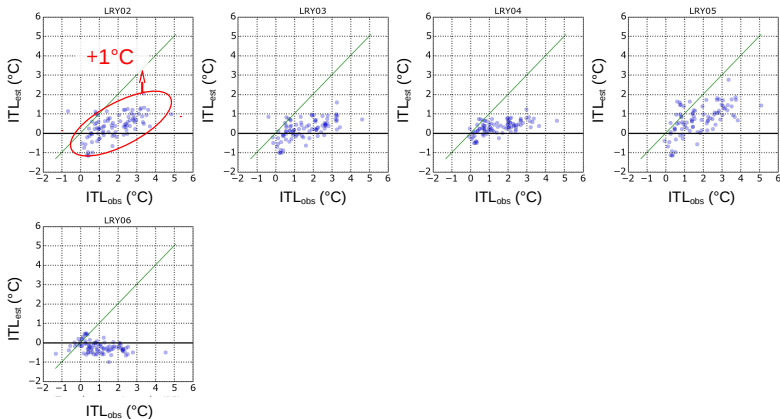


Performances de l'EM retenu : JDD yonnais

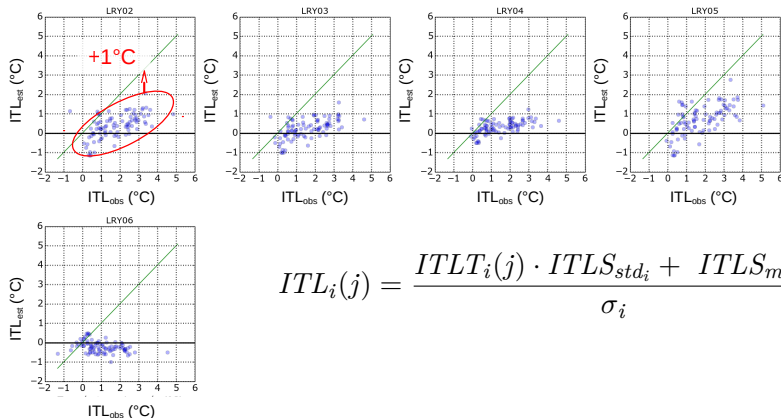
Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



Performances de l'EM retenu : JDD yonnais

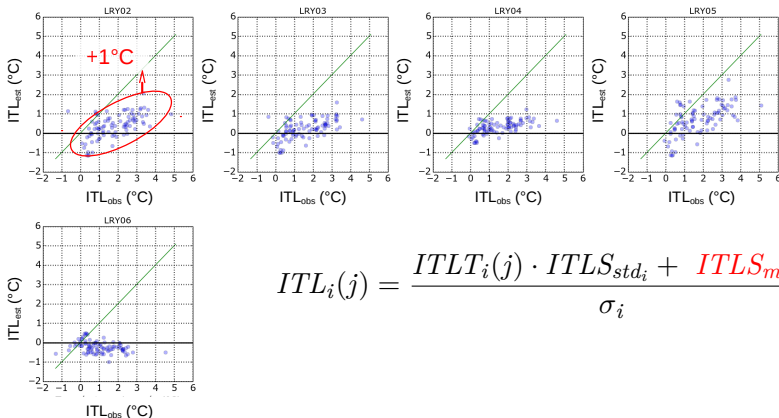


Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



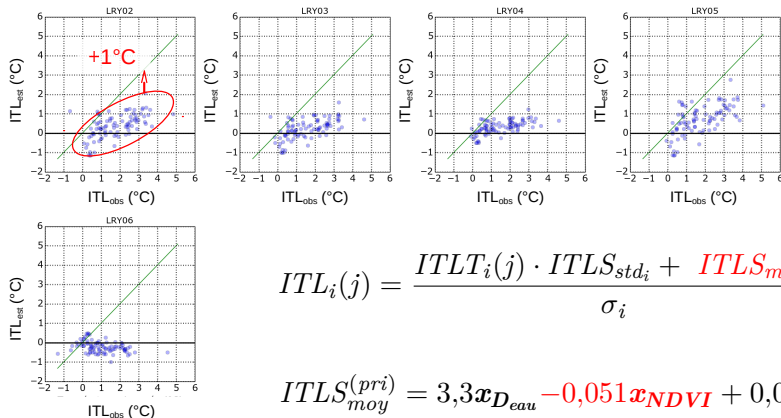
$$ITL_i(j) = \frac{ITLT_i(j) \cdot ITLS_{std_i} + ITLS_{moy_i}}{\sigma_i}$$

Performances de l'EM retenu : JDD yonnais

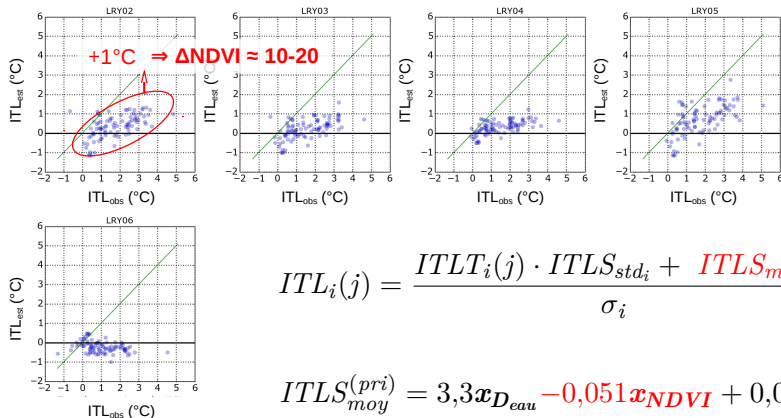


$$ITL_i(j) = \frac{ITLT_i(j) \cdot ITLS_{std_i} + ITLS_{moy_i}}{\sigma_i}$$

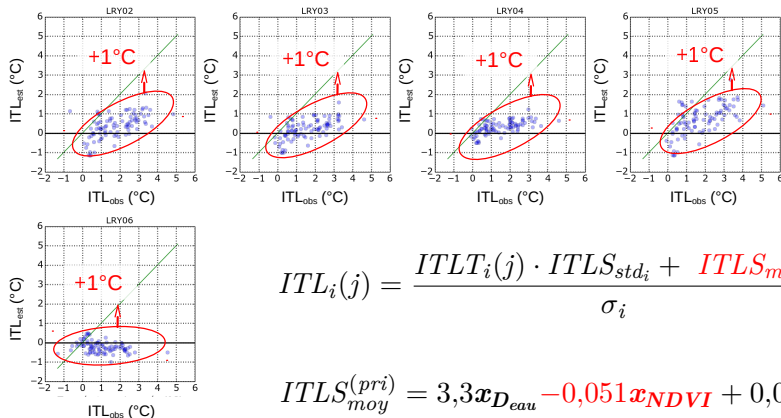
Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



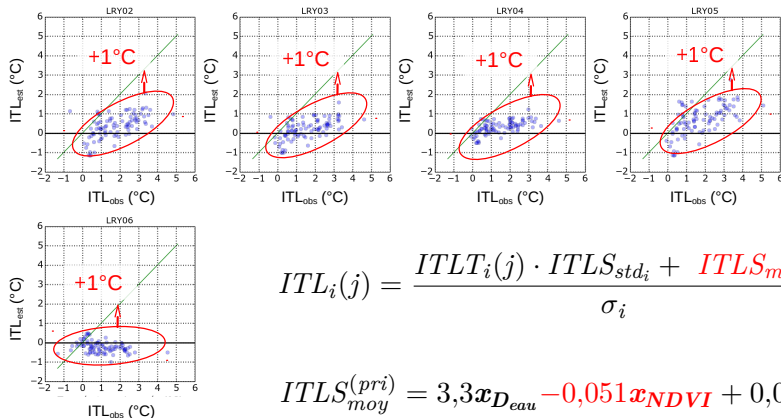
Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



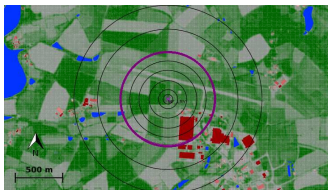
Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



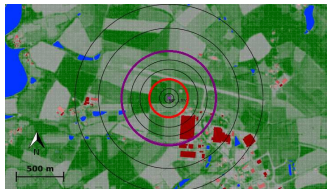
$$x_{NDVI} = NDVI_i - NDVI_{ref}$$



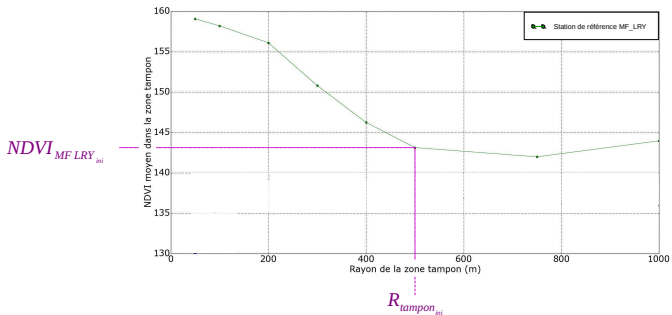
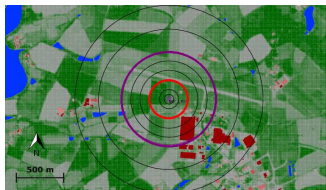
Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



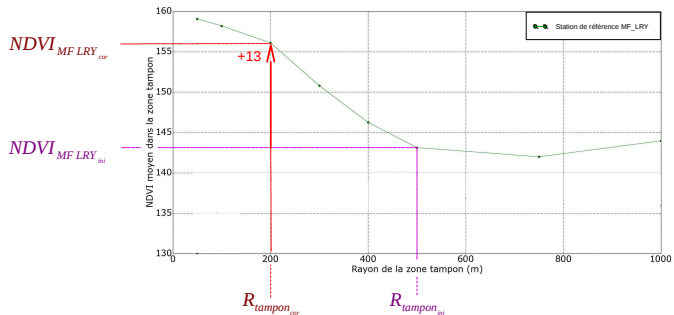
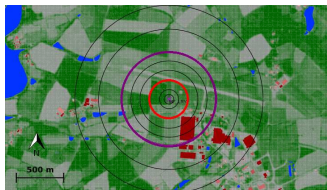
Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



Performances de l'EM retenu : JDD yonnais



Conclusion partielle

Résultats

- modèles $\Delta T^{(jour)}$ non pertinents;
- un EM a été retenu pour modéliser les $\Delta T^{(nuit)}$;

Conclusion partielle

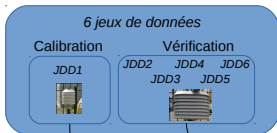
Résultats

- modèles $\Delta T^{(jour)}$ non pertinents;
- un EM a été retenu pour modéliser les $\Delta T^{(nuit)}$;

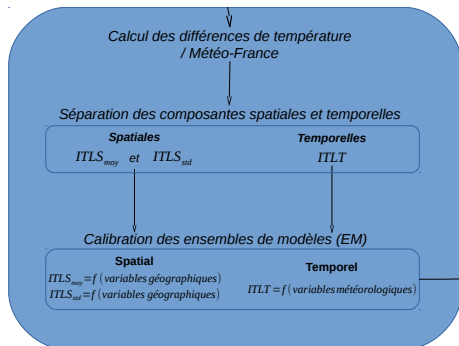
Limites des hypothèses

- taille du cercle tampon $\neq 500$ m;
- JDD_{calib} non-représentatif des microclimats des 3 zones d'étude.

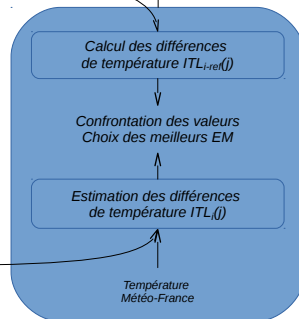
Correction des données



Calibration des modèles de l'ICU

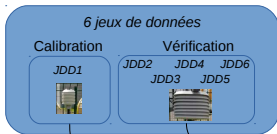


Applications



Vérification des modèles

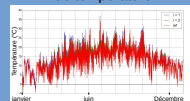
Correction des données



Cartographie
de l'ICU et de
ses effets



Construction d'une chronique
de température



Calibration des modèles de l'ICU

Calcul des différences de température
/ Météo-France

Séparation des composantes spatiales et temporelles

Spatiales

$ITLS_{moy}$ et $ITLS_{std}$

Temporelles

$ITLT$

Calibration des ensembles de modèles (EM)

Spatial

$ITLS_{moy} = f(\text{variables géographiques})$
 $ITLS_{std} = f(\text{variables géographiques})$

Temporel

$ITLT = f(\text{variables météorologiques})$

Applications

Calcul des différences
de température $ITL_{i-ref}(j)$

Confrontation des valeurs
Choix des meilleurs EM

Estimation des différences
de température $ITL_i(j)$

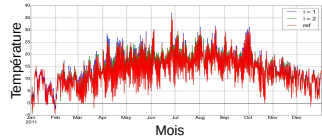
Température
Météo-France

Vérification des modèles



3 exemples d'applications

Construction de la chronique de température d'un quartier



Cartographie des zones de DJU d'une ville



Application en lien avec la biodiversité (projet URBIO)



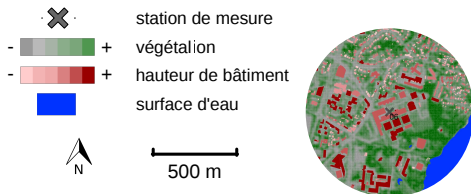
Construction d'une chronique de température

Construction d'une chronique de température

Données d'entrée de STD

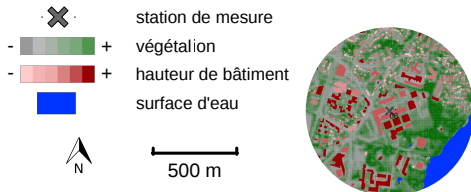
Construction d'une chronique de température

Données d'entrée de STD

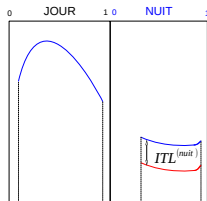


Construction d'une chronique de température

Données d'entrée de STD

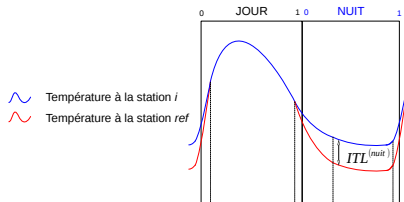
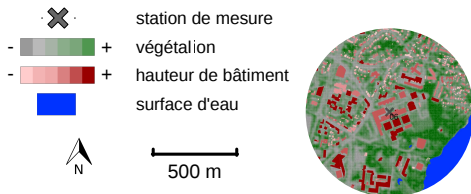


Température à la station *i*
 Température à la station *ref*



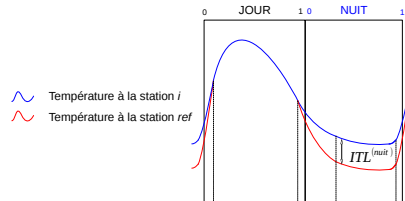
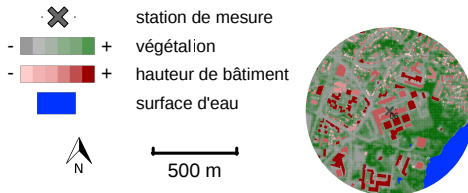
Construction d'une chronique de température

Données d'entrée de STD

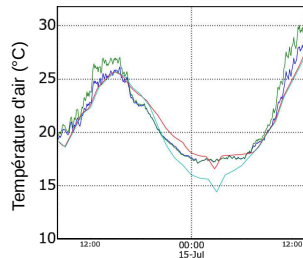


Construction d'une chronique de température

Données d'entrée de STD



- Méthode de reconstitution
- Mesure locale référence
- Mesure locale biaisée
- Données Météo-France



Cartographie des DJU de climatisation

Cartographie des DJU de climatisation

Objectif

Distinguer climatiquement les quartiers de la ville

Méthode

DJU_{clim} pour 855 points du territoire nantais ($T_{seuil} = 26^{\circ}\text{C}$ de mai à septembre)

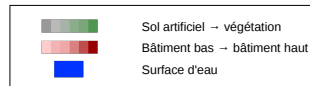
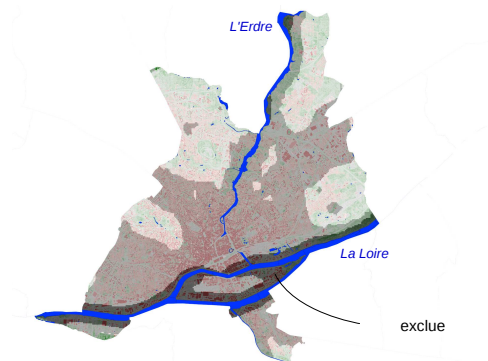
Cartographie des DJU de climatisation

Objectif

Distinguer climatiquement les quartiers de la ville

Méthode

DJU_{clim} pour 855 points du territoire nantais ($T_{seuil} = 26^{\circ}\text{C}$ de mai à septembre)



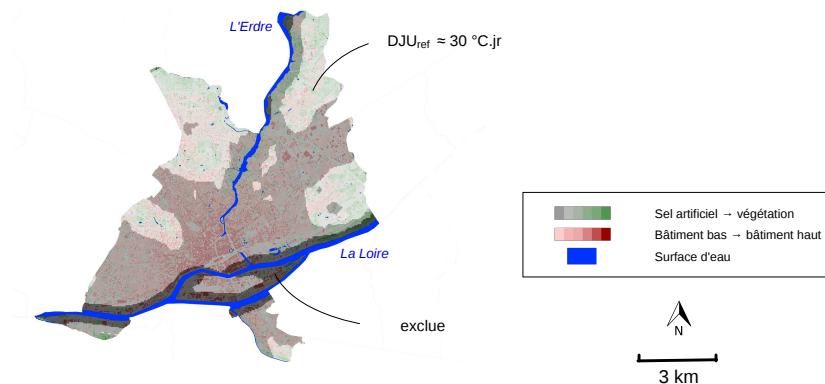
Cartographie des DJU de climatisation

Objectif

Distinguer climatiquement les quartiers de la ville

Méthode

DJU_{clim} pour 855 points du territoire nantais ($T_{seuil} = 26^{\circ}\text{C}$ de mai à septembre)



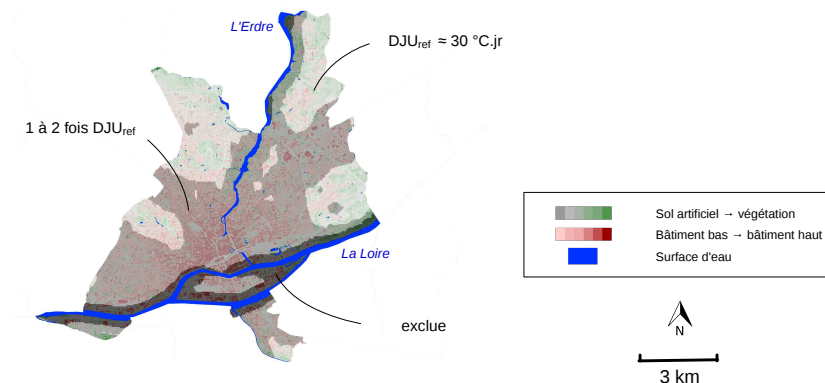
Cartographie des DJU de climatisation

Objectif

Distinguer climatiquement les quartiers de la ville

Méthode

DJU_{clim} pour 855 points du territoire nantais ($T_{seuil} = 26^{\circ}\text{C}$ de mai à septembre)



Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Identification de l'espace vert

- comparatif de 10 parcs nantais.
- calcul des DJ de croissance (+ un quartier est chaud, + les plantes sont en avance);

Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Identification de l'espace vert

- comparatif de 10 parcs nantais.
- calcul des DJ de croissance (+ un quartier est chaud, + les plantes sont en avance);

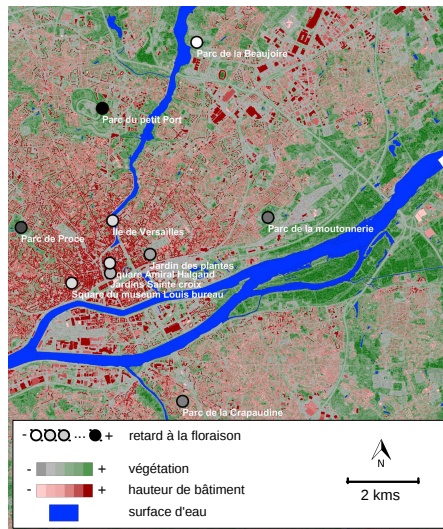
Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Identification de l'espace vert

- comparatif de 10 parcs nantais.
- calcul des DJ de croissance (+ un quartier est chaud, + les plantes sont en avance);



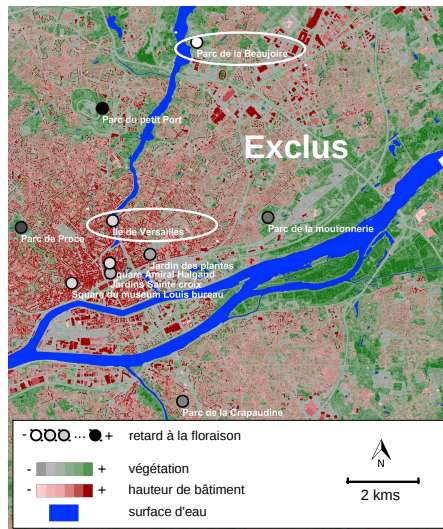
Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Identification de l'espace vert

- comparatif de 10 parcs nantais.
- calcul des DJ de croissance (+ un quartier est chaud, + les plantes sont en avance);



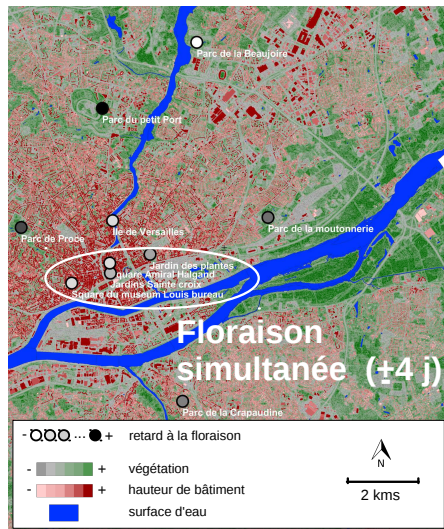
Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Identification de l'espace vert

- comparatif de 10 parcs nantais.
- calcul des DJ de croissance (+ un quartier est chaud, + les plantes sont en avance);



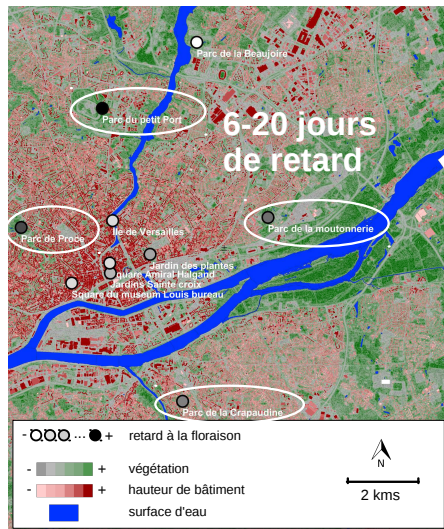
Optimisation du positionnement d'un pollinarium sentinelle

Pollinarium sentinelle

- suivi quotidien d'espèces allergènes;
- alerter au début des périodes d'émission des pollens;

Identification de l'espace vert

- comparatif de 10 parcs nantais.
- calcul des DJ de croissance (+ un quartier est chaud, + les plantes sont en avance);



Objectif de la thèse

Développer une méthode de calcul pour connaître l'intensité de l'ICU :

- pour n'importe quelle zone d'une agglomération;
- à n'importe quelle période.

$$ICU = f(\textit{spatial}, \textit{temps})$$

Objectif de la thèse

Développer une méthode de calcul pour connaître l'intensité de l'ICU :

- pour n'importe quelle zone d'une agglomération;
- à n'importe quelle période.

$$ICU = f(\textit{spatial}, \textit{temps})$$

Ensemble de modèles :

$$ITL_i(j) = \frac{ITLT_i(j) \cdot ITLS_{std_i} + ITLS_{moy_i}}{\sigma_i}$$

$$ITLS_{std}^{(ete)} = -6,4x_{D_{fac}} + 3,0x_{D_{surf}} + 4,8x_{D_{eau}} + 0,15\ln(d_{periph} + 1) + 0,86$$

$$ITLS_{moy}^{(ete)} = 12,0x_{D_{eau}} - 0,045x_{NDVI} + 0,23$$

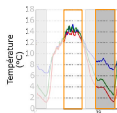
$$ITLT^{(ete)} = -0,0083RH(P_D) - 0,36U(P_A) - 0,13T(P_A) + 3,2$$

Enjeux scientifiques liés à la modélisation empirique

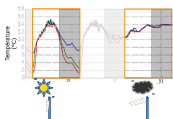


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



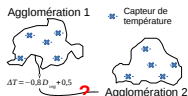
identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier



modéliser les variations interjournalières

relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



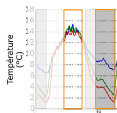
développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations

Enjeux scientifiques liés à la modélisation empirique

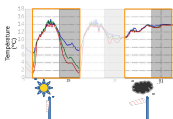


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

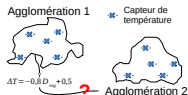


modéliser les variations interjournalières

relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$

développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations

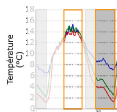


Enjeux scientifiques liés à la modélisation empirique

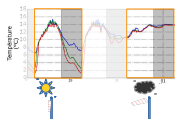


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



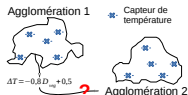
identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier



modéliser les variations interjournalières

relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



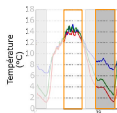
développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations

Enjeux scientifiques liés à la modélisation empirique

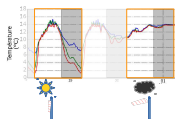


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier

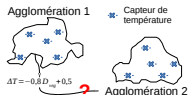


modéliser les variations interjournalières



relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques

$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



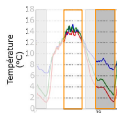
développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations

Enjeux scientifiques liés à la modélisation empirique

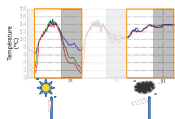


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier



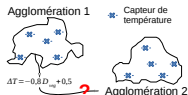
modéliser les variations interjournalières



relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques



$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



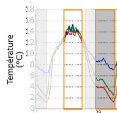
développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations

Enjeux scientifiques liés à la modélisation empirique

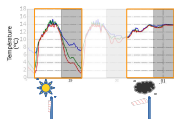


vérifier la qualité des mesures :

- matériel,
- emplacement.



identifier les périodes de calcul de l'ICU
intra-journalier



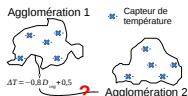
modéliser les variations interjournalières



relier les indicateurs géographiques aux
phénomènes physiques



$$\Delta T = -0.75D_{veg} + 0.7D_{bat} + 1$$



développer des modèles applicables à d'autres
agglomérations



...d'amélioration

- méthode de correction des données;
- méthode de modélisation de l'ICU :
 - jeux de données plus conséquents (spatialement et temporellement),
 - identification de la taille du cercle tampon optimale.

...d'amélioration

- méthode de correction des données;
- méthode de modélisation de l'ICU :
 - jeux de données plus conséquents (spatialement et temporellement),
 - identification de la taille du cercle tampon optimale.

...d'application de la méthode

- généralisation de la méthode à d'autres territoires

...d'amélioration

- méthode de correction des données;
- méthode de modélisation de l'ICU :
 - jeux de données plus conséquents (spatialement et temporellement),
 - identification de la taille du cercle tampon optimale.

...d'application de la méthode

- généralisation de la méthode à d'autres territoires

...d'application des modèles

- identifier les zones à risque lors de canicules;
- évaluation rapide de l'impact de scénarios de densification.

Merci de votre attention