



Journées Solene 2016

Méthodologie de reconstitution de la température d'air d'un site urbain à partir de données météorologiques de site rural et de données géographiques

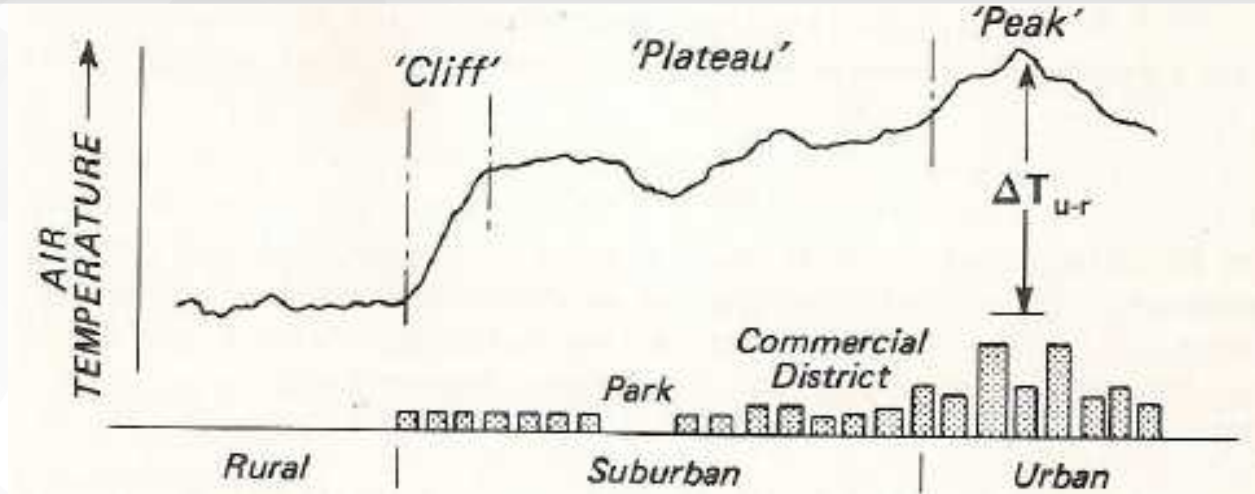
Jérémy Bernard, doctorant au CRENAU et à l'IRSTV

- ▼ *Thèse dirigée et encadrée par Marjorie Musy (CRENAU), Isabelle Calmet (LHEEA) et Erwan Bocher (CNRS)*

1 décembre 2016

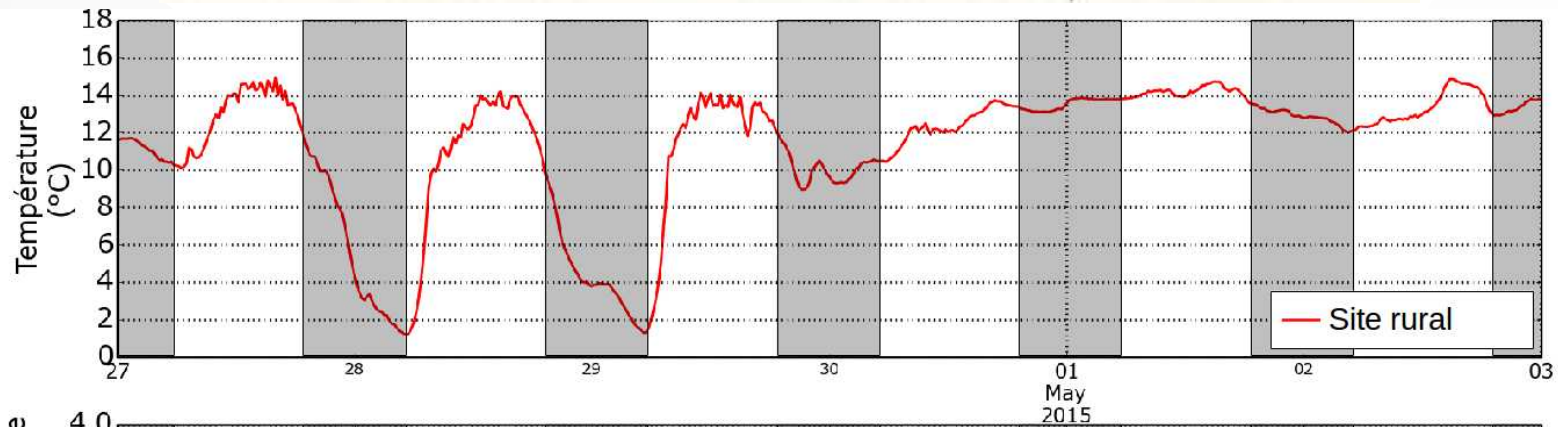
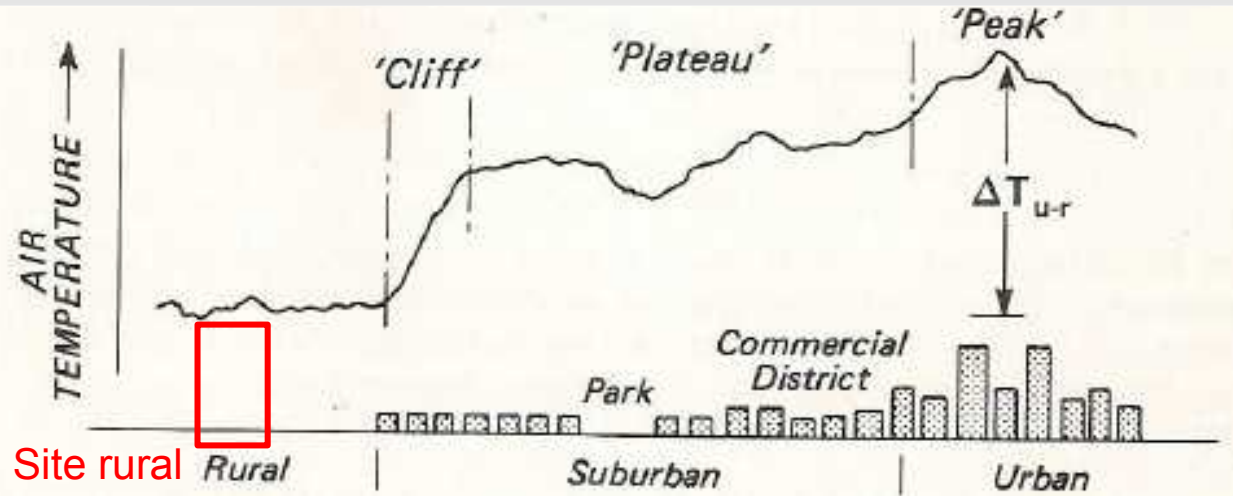
Objectif

Reconstitution du signal de température d'air



Objectif

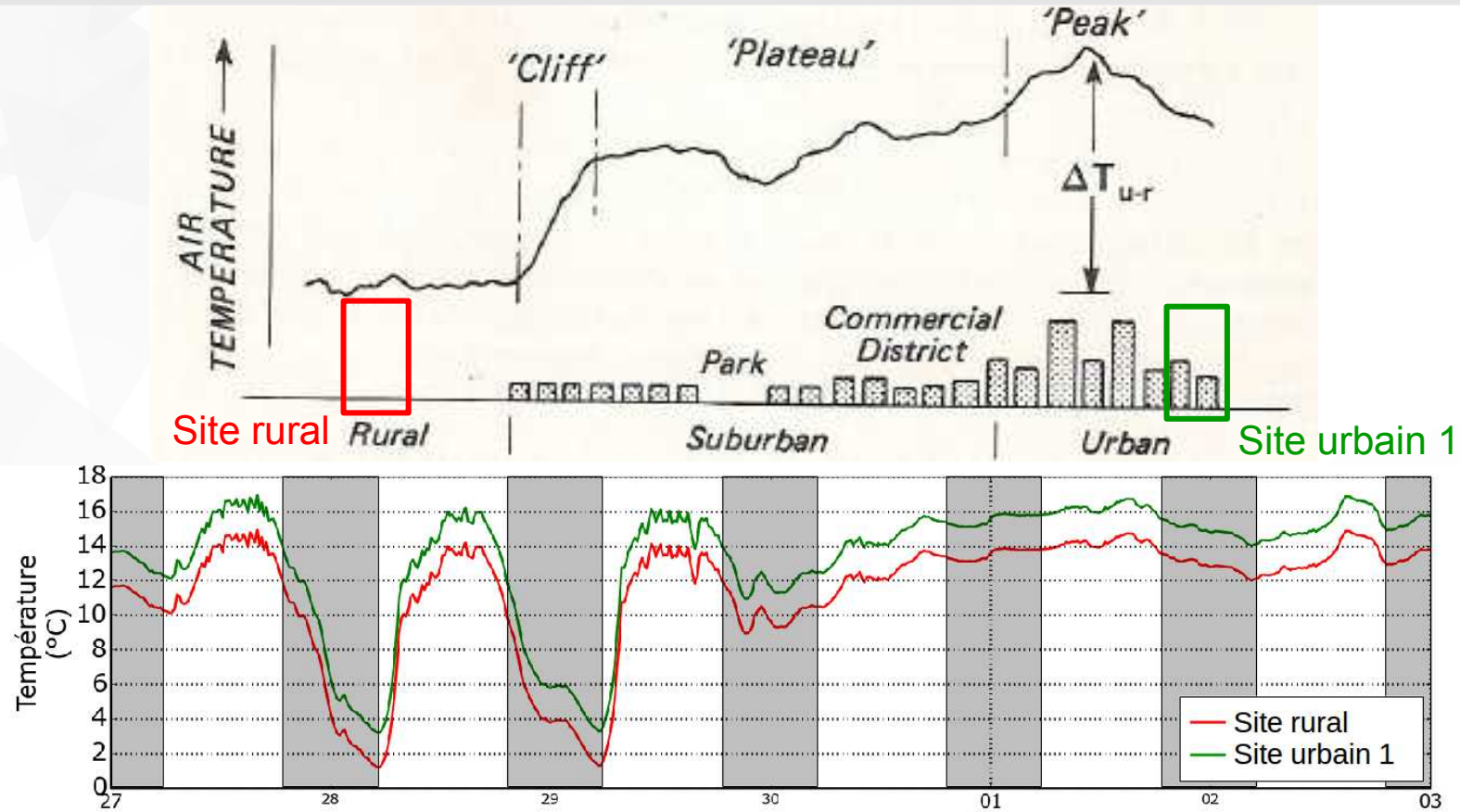
Reconstitution du signal de température d'air



Objectif

Reconstitution du signal de température d'air

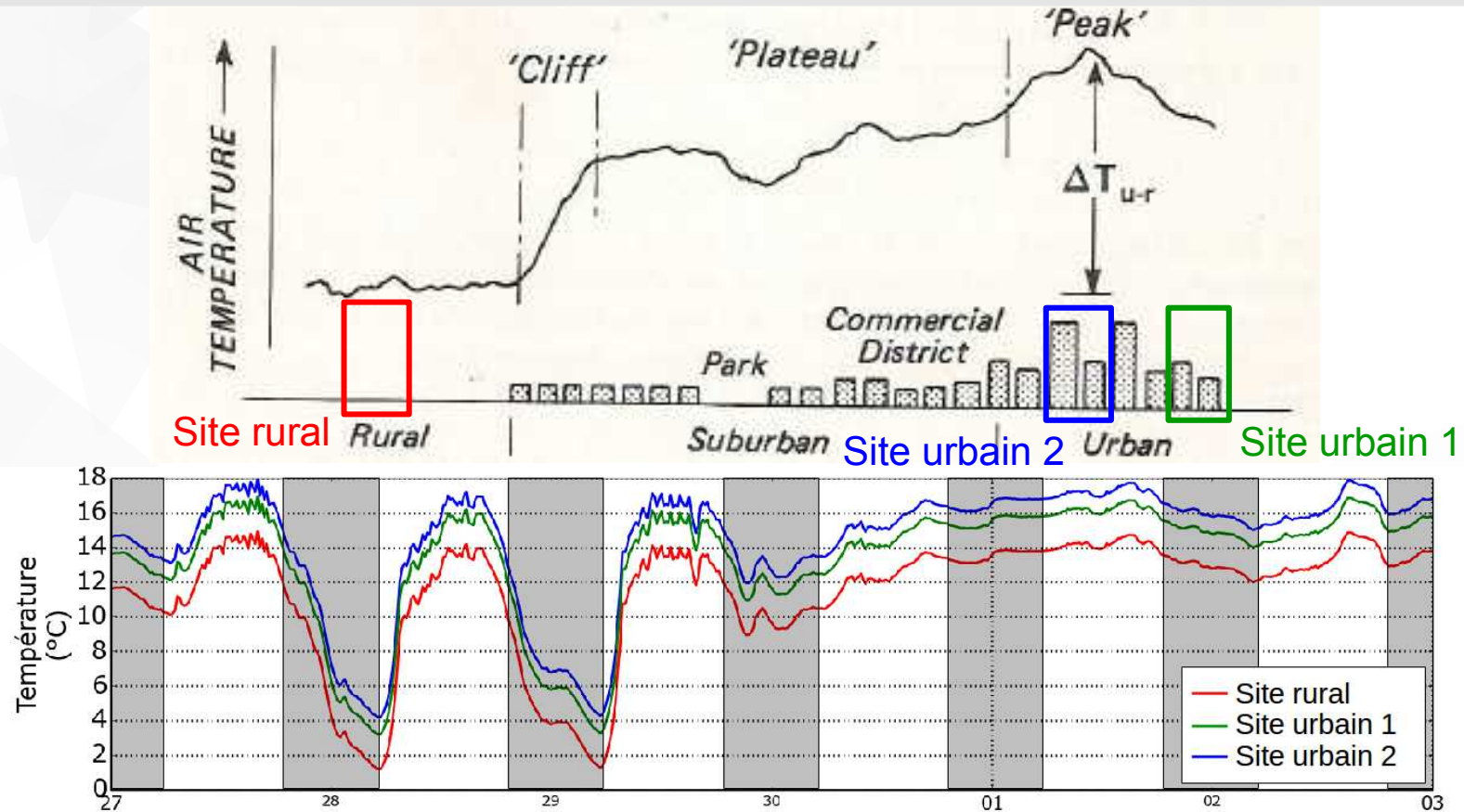
4



Objectif

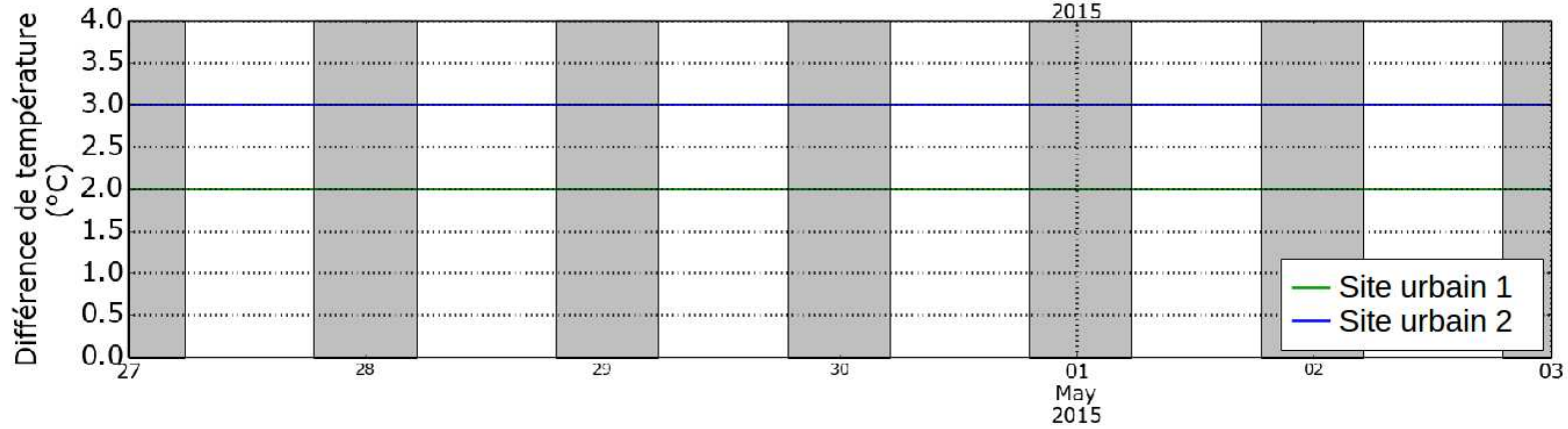
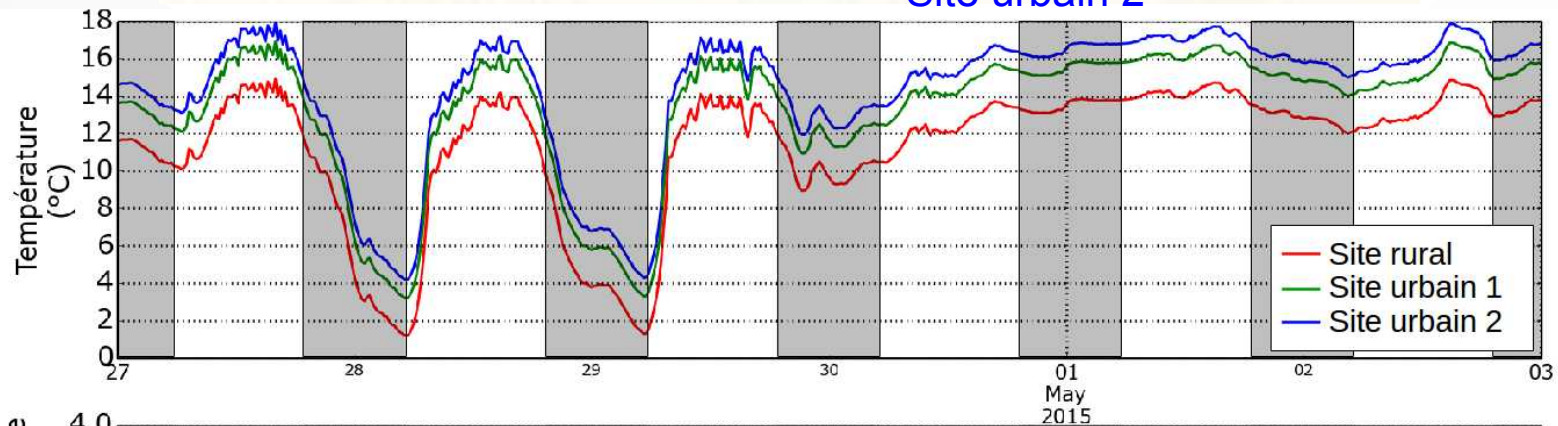
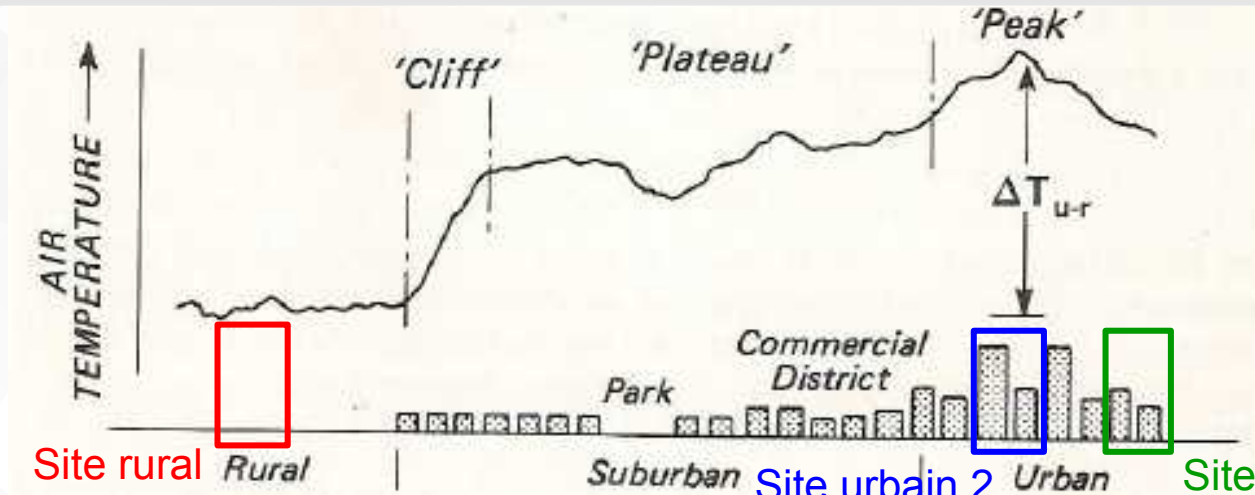
Reconstitution du signal de température d'air

5



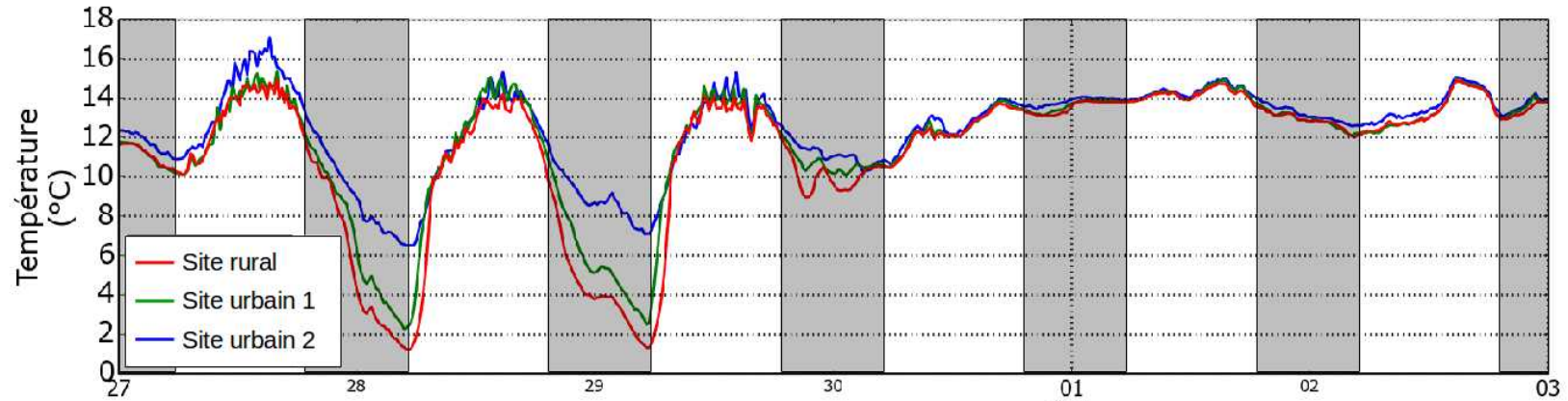
Objectif

Reconstitution du signal de température d'air



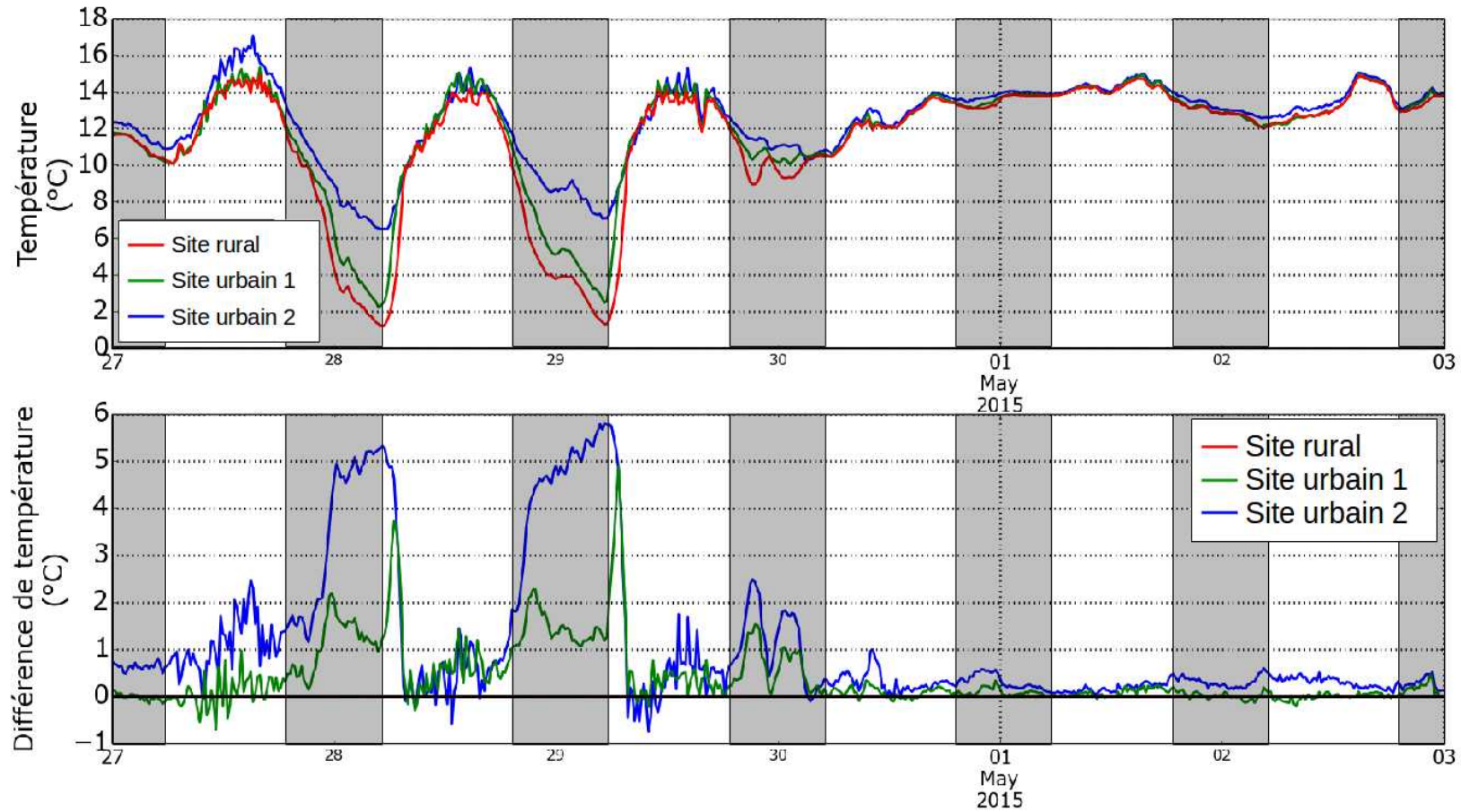
Objectif

Reconstitution du signal de température d'air

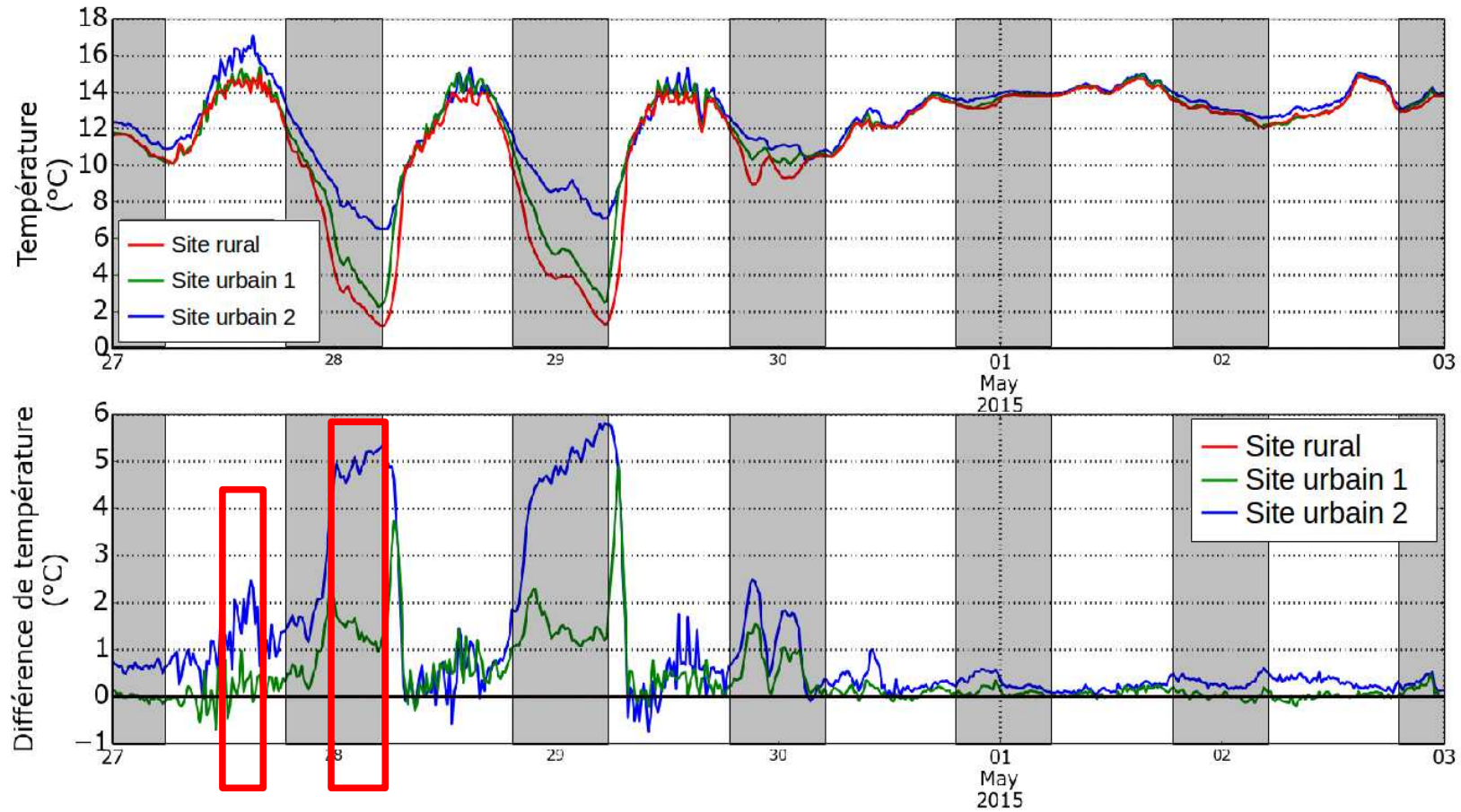


Objectif

Reconstitution du signal de température d'air

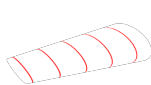
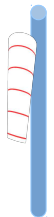
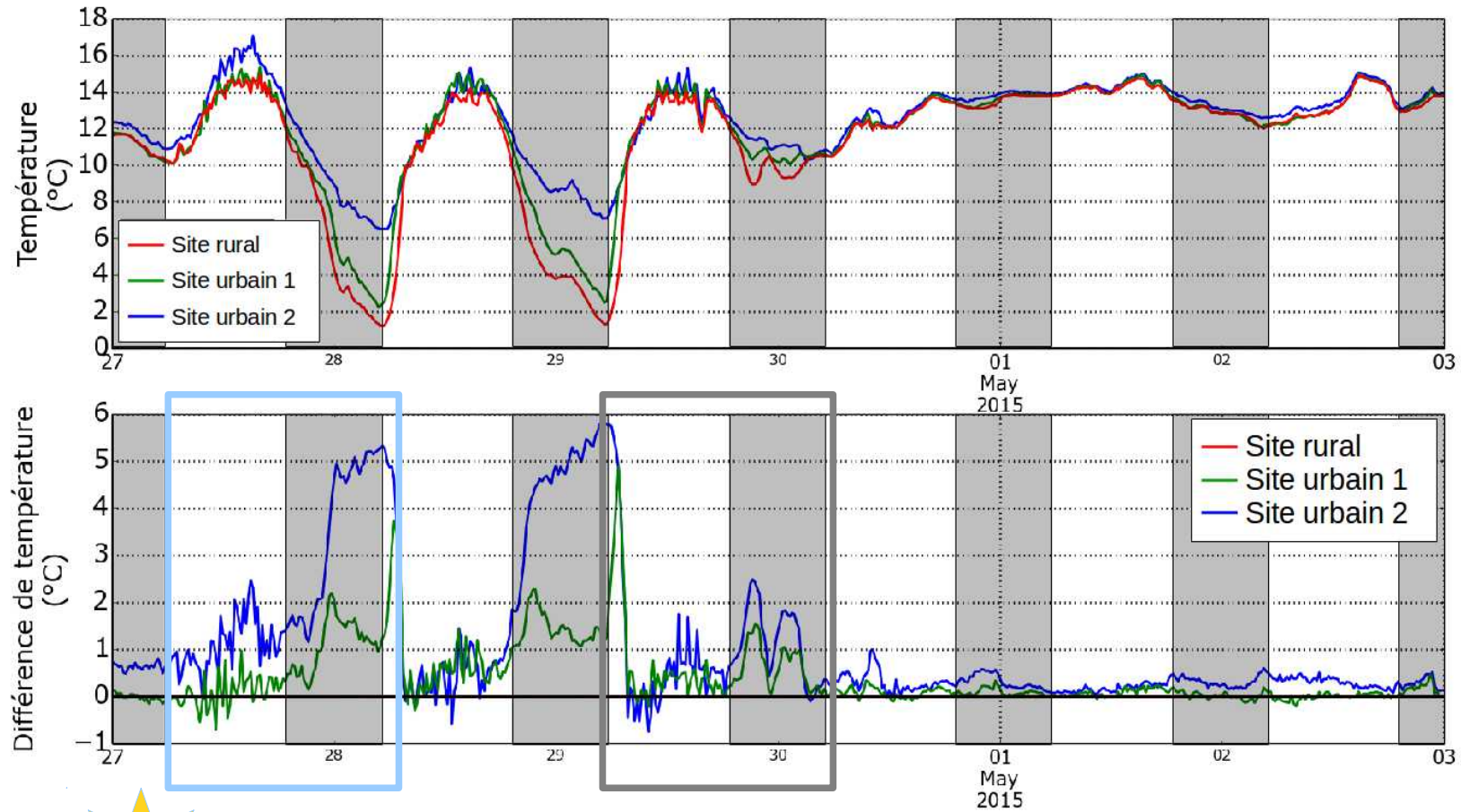


Reconstitution du signal de température d'air

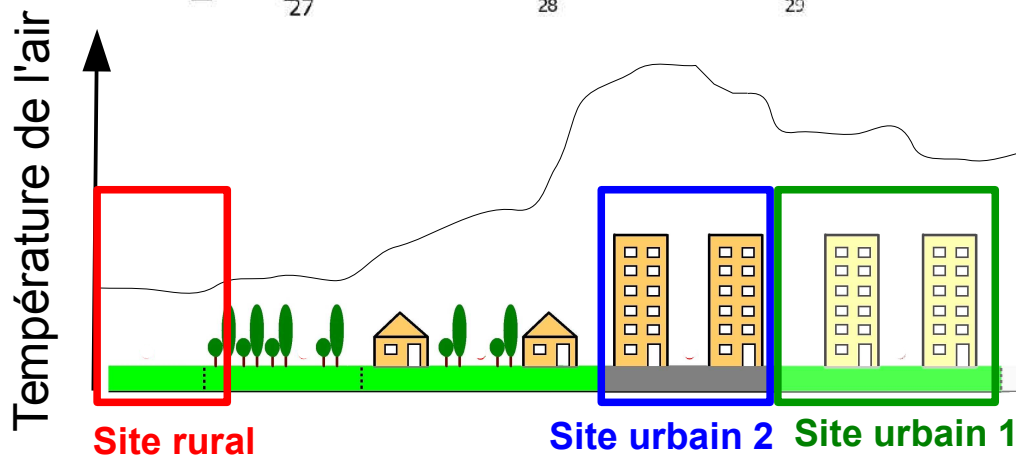
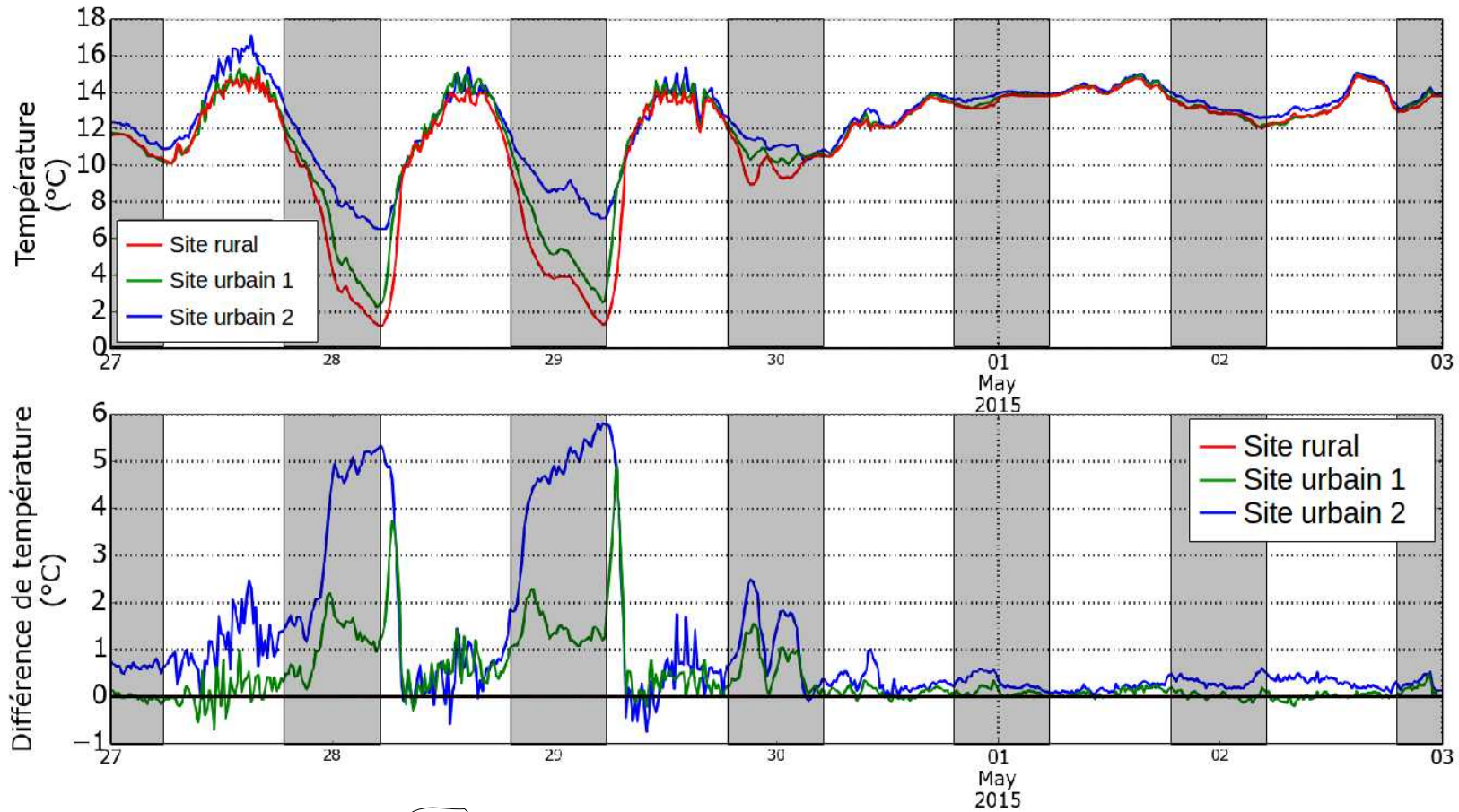


Des variations au sein du cycle diurne

Reconstitution du signal de température d'air

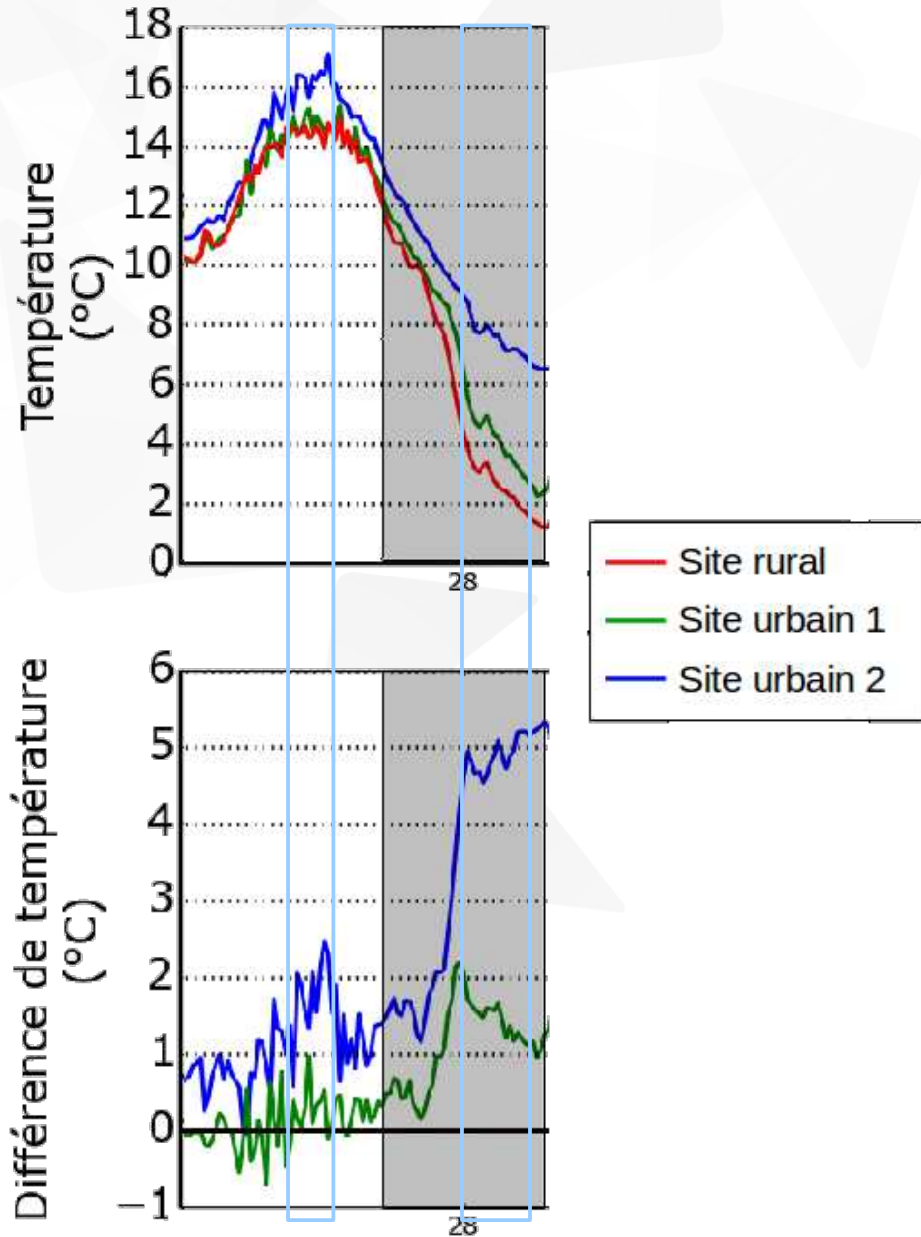


Reconstitution du signal de température d'air



Méthodologie

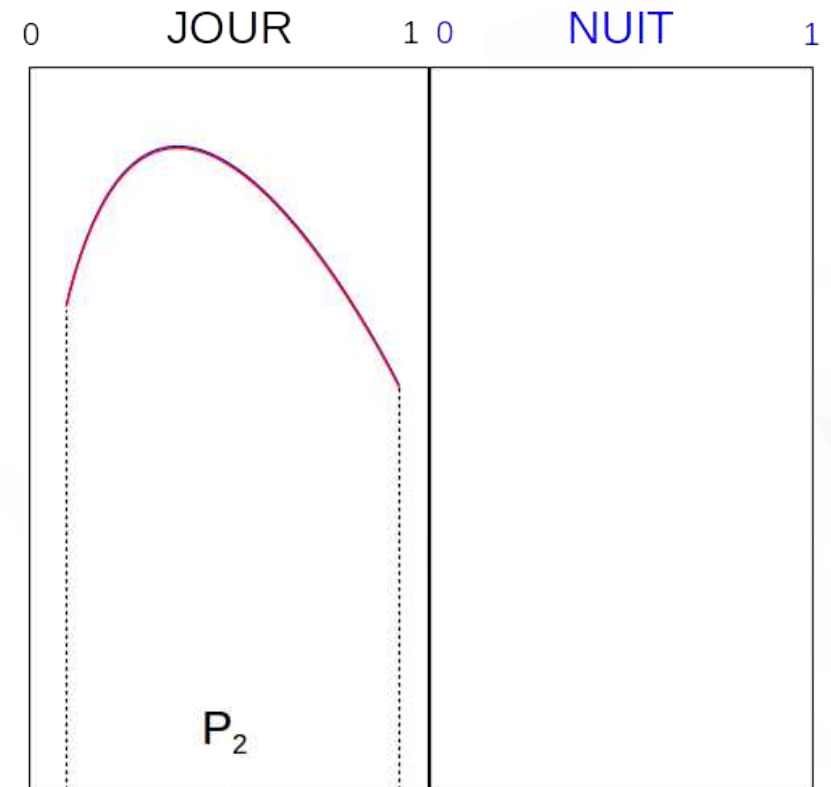
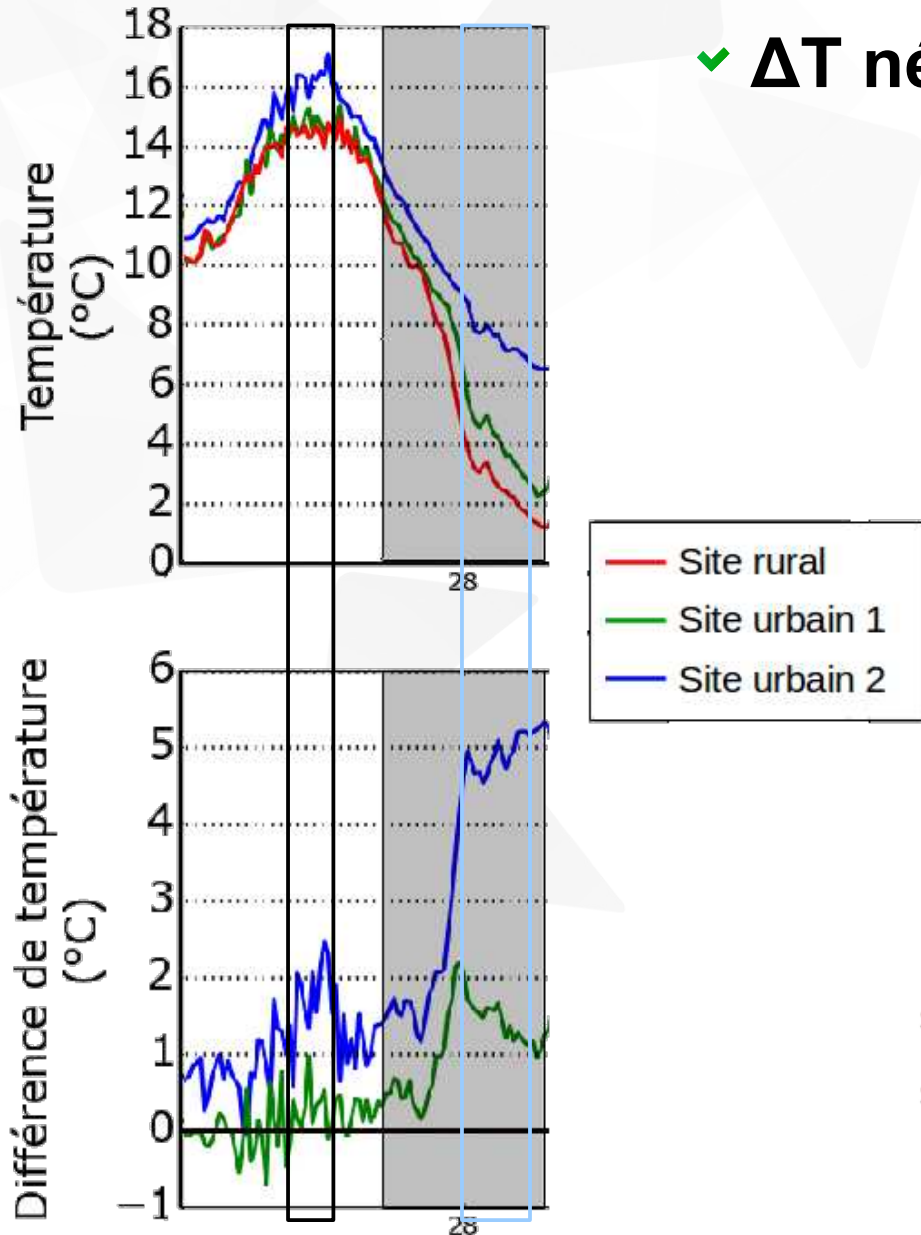
Méthodologie générale



Méthodologie

Méthodologie générale

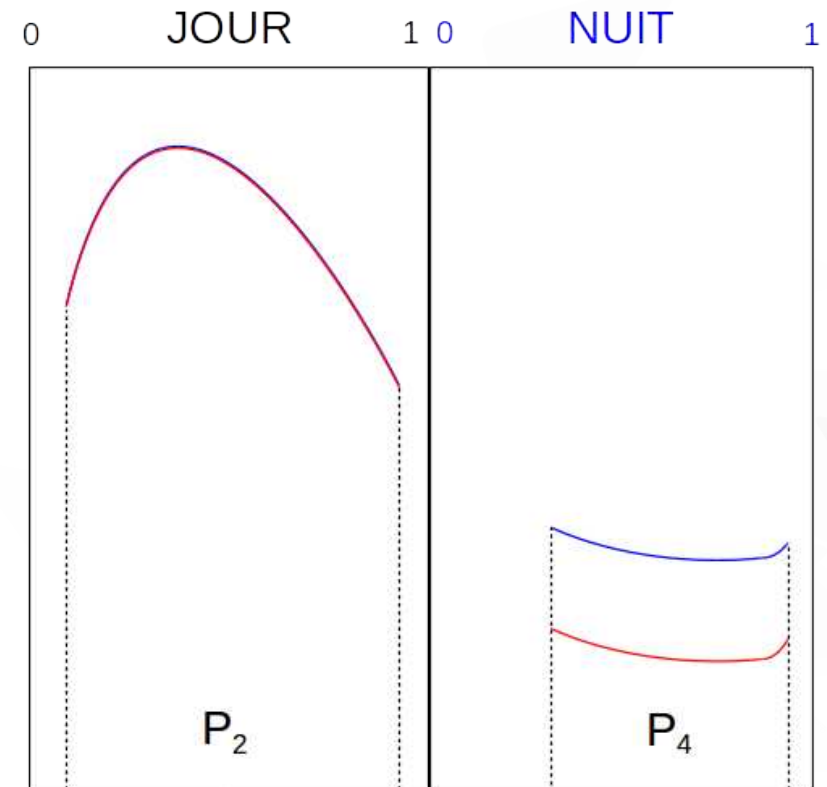
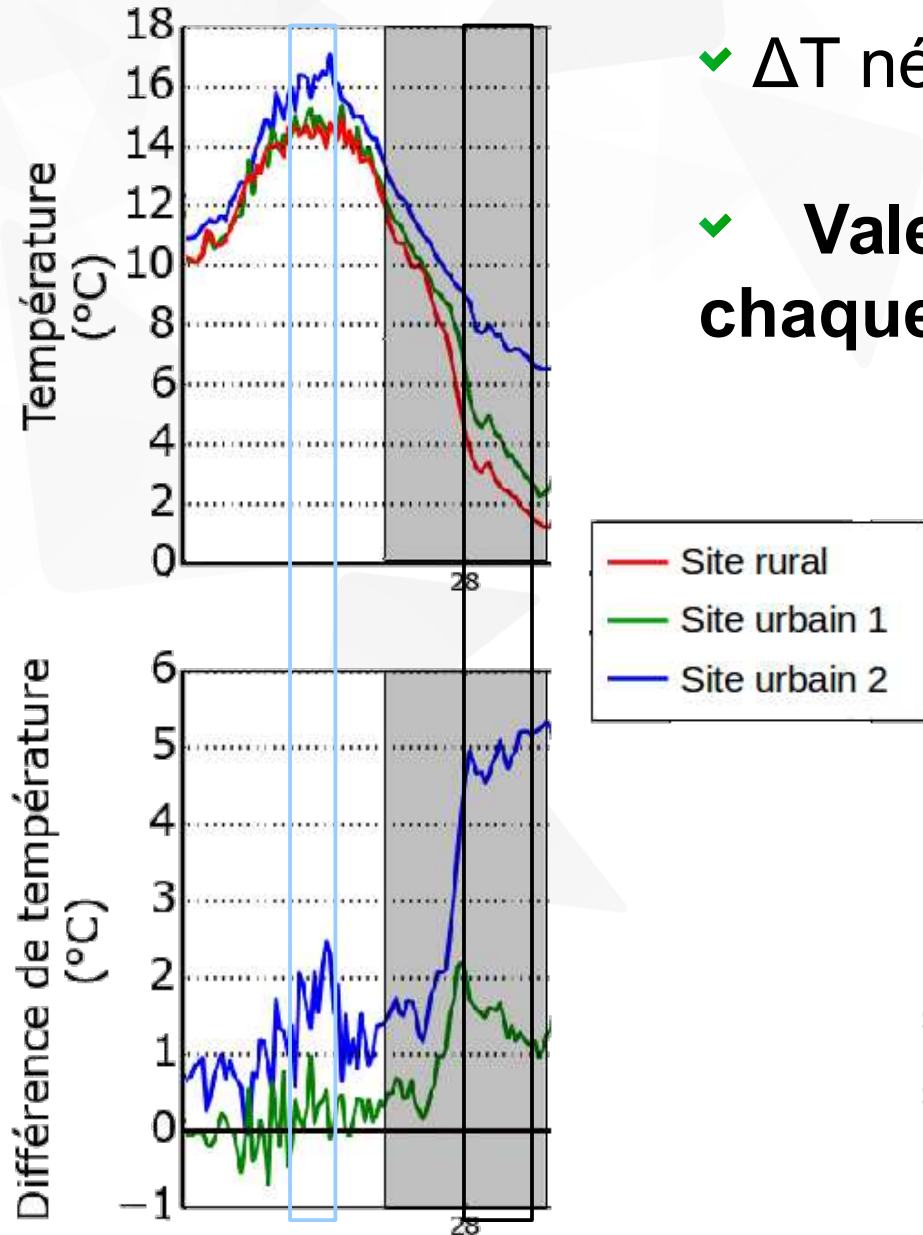
✓ ΔT négligeable



Méthodologie

Méthodologie générale

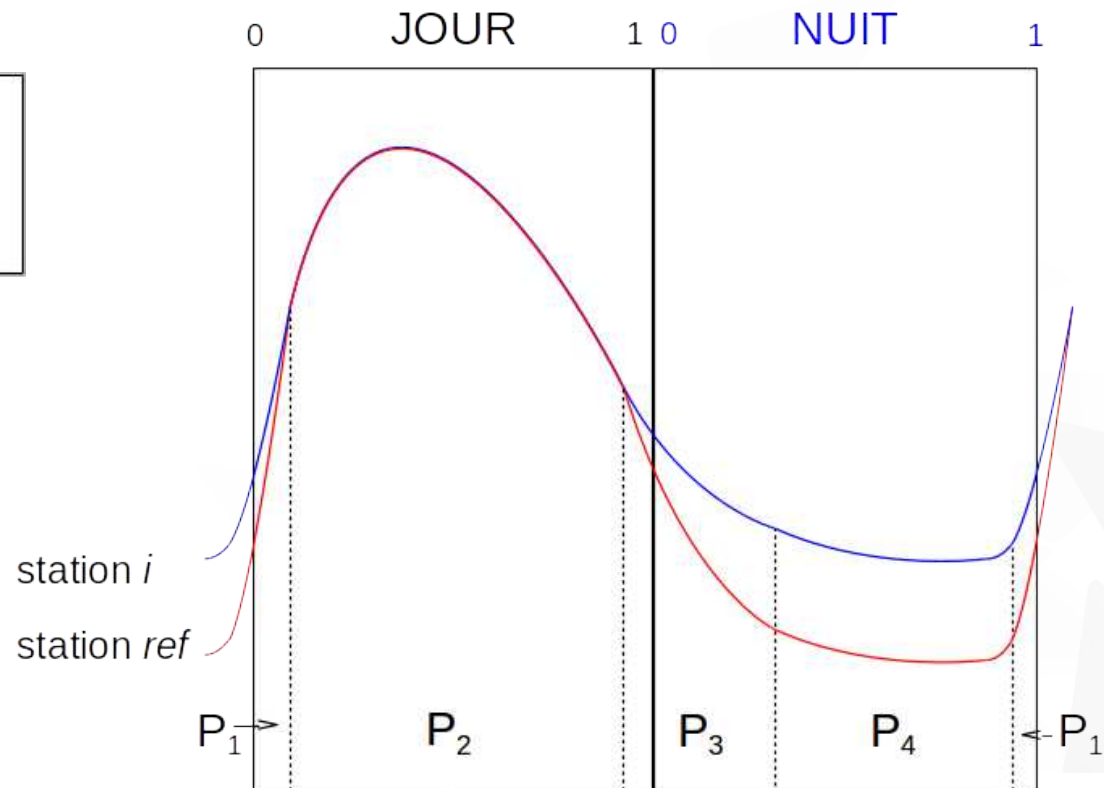
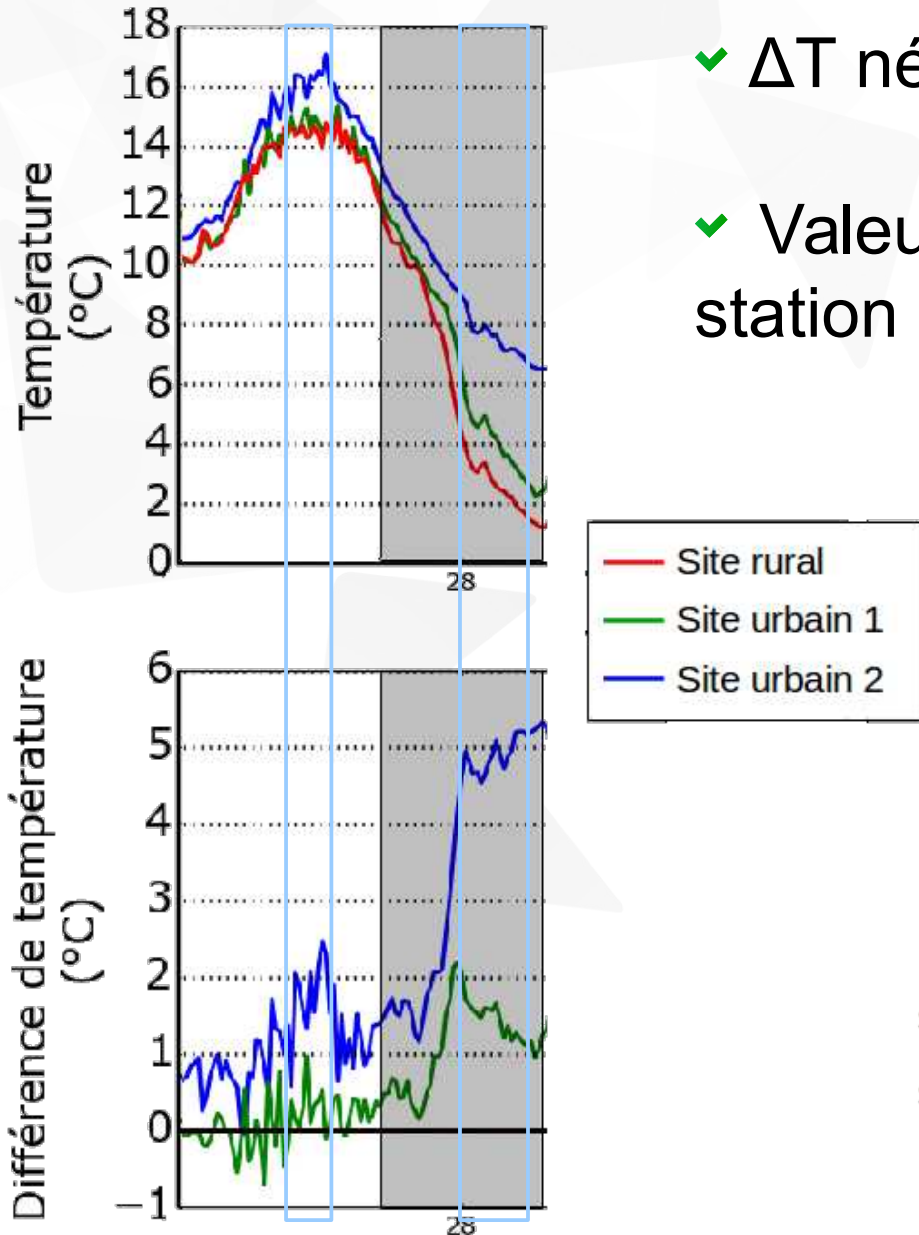
- ✓ ΔT négligeable
- ✓ Valeur de ΔT calculée pour chaque station i et chaque jour



Méthodologie

Méthodologie générale

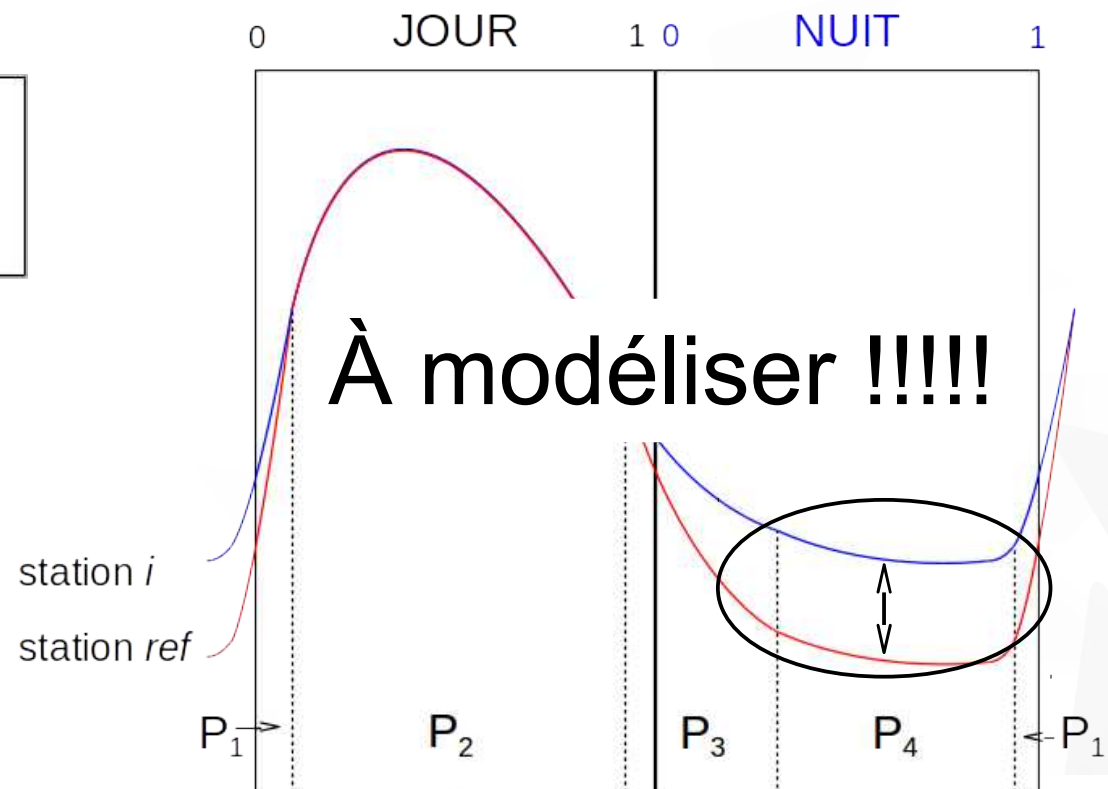
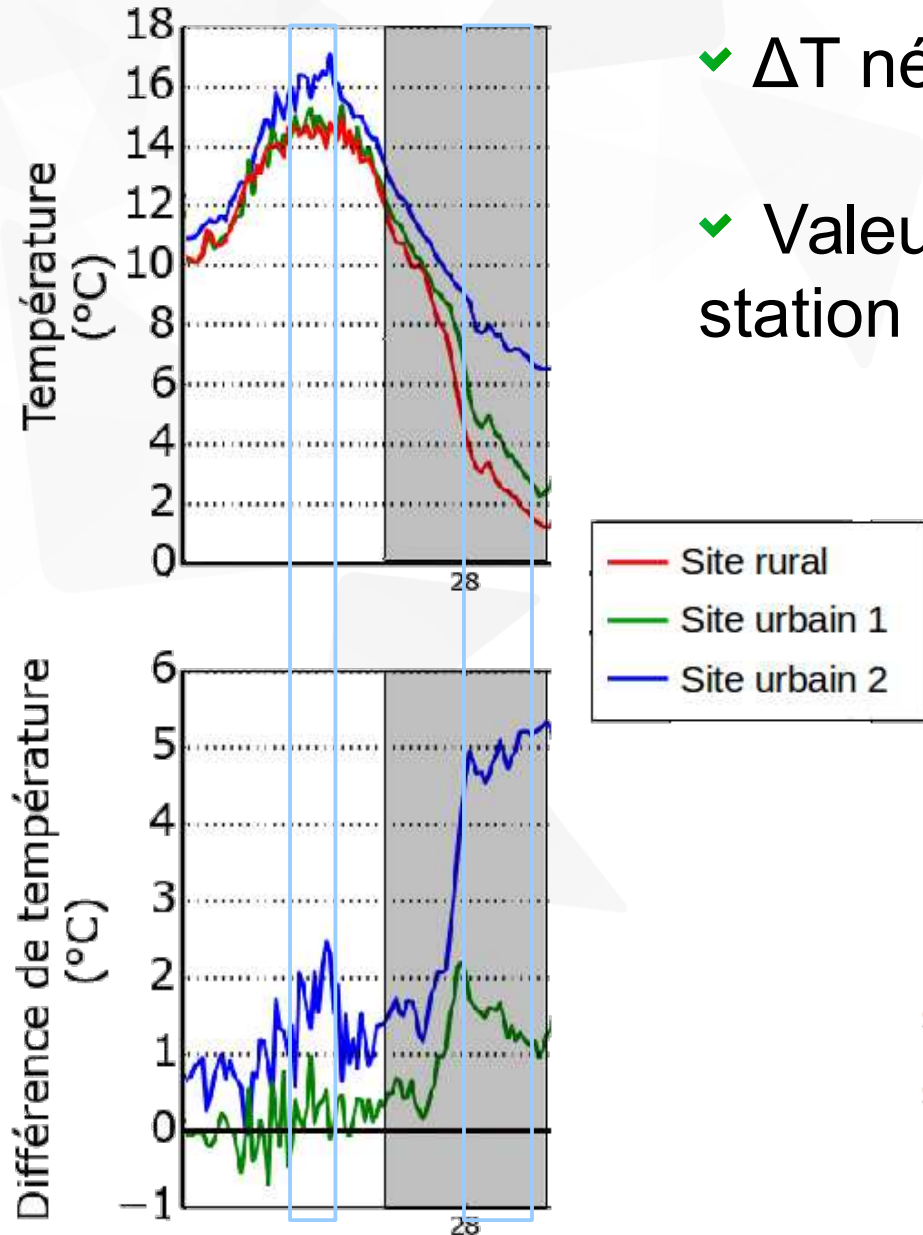
- ✓ ΔT négligeable
- ✓ Valeur de ΔT calculée pour chaque station i et chaque jour



Méthodologie

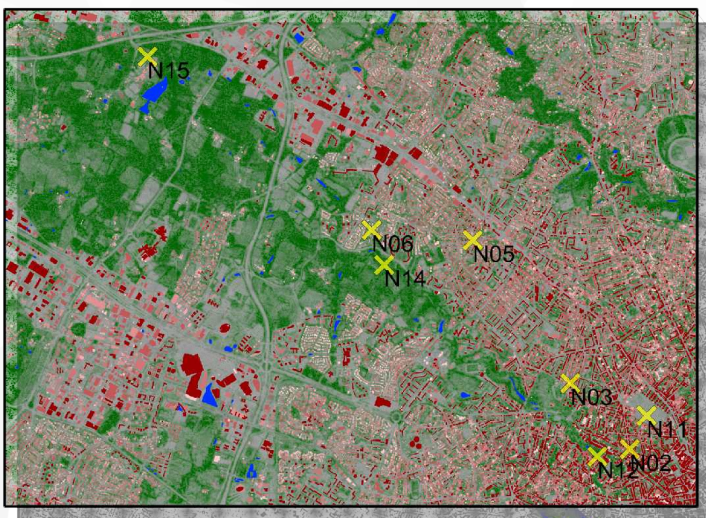
Méthodologie générale

- ✓ ΔT négligeable
- ✓ Valeur de ΔT calculée pour chaque station i et chaque jour

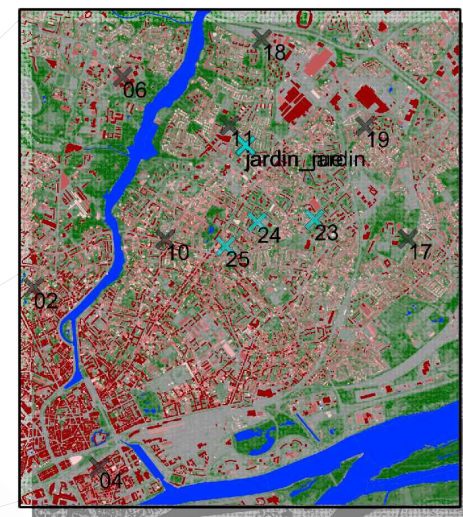


Méthodologie







Sites de mesure



MF_Nort_s_e



MF_Boug

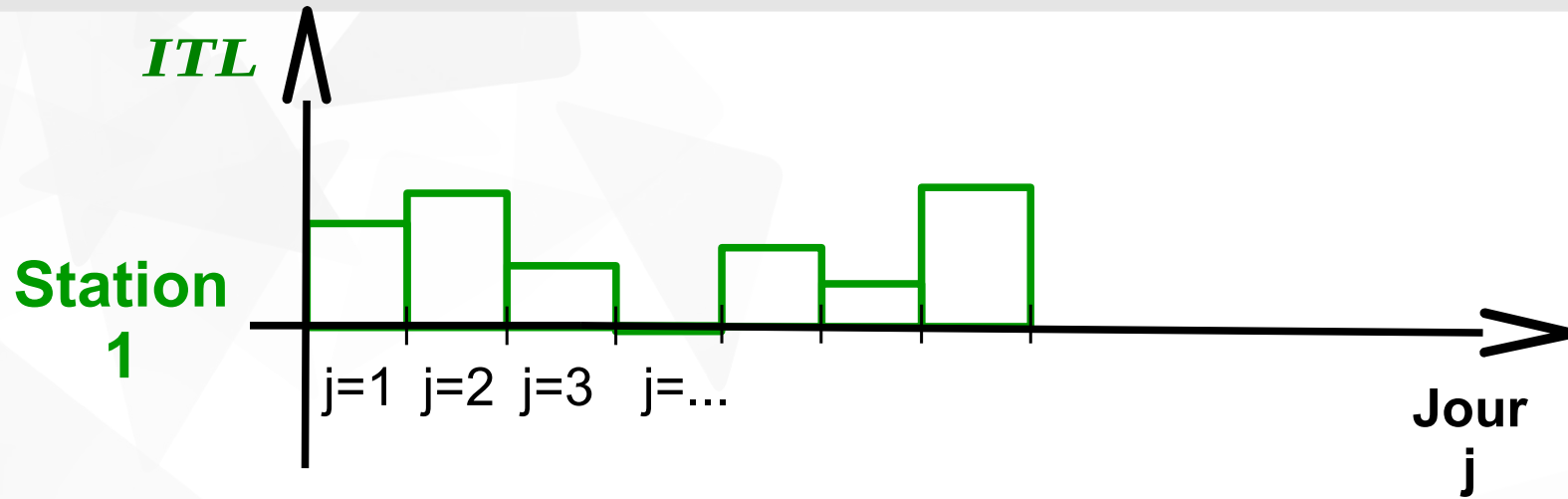
-  sol artificiel → végétation
-  bâtiment bas → bâtiment haut
-  surface d'eau
-  station URBIO
-  station FluxSAP
-  station TRH
-  station Météo-France



10 kms

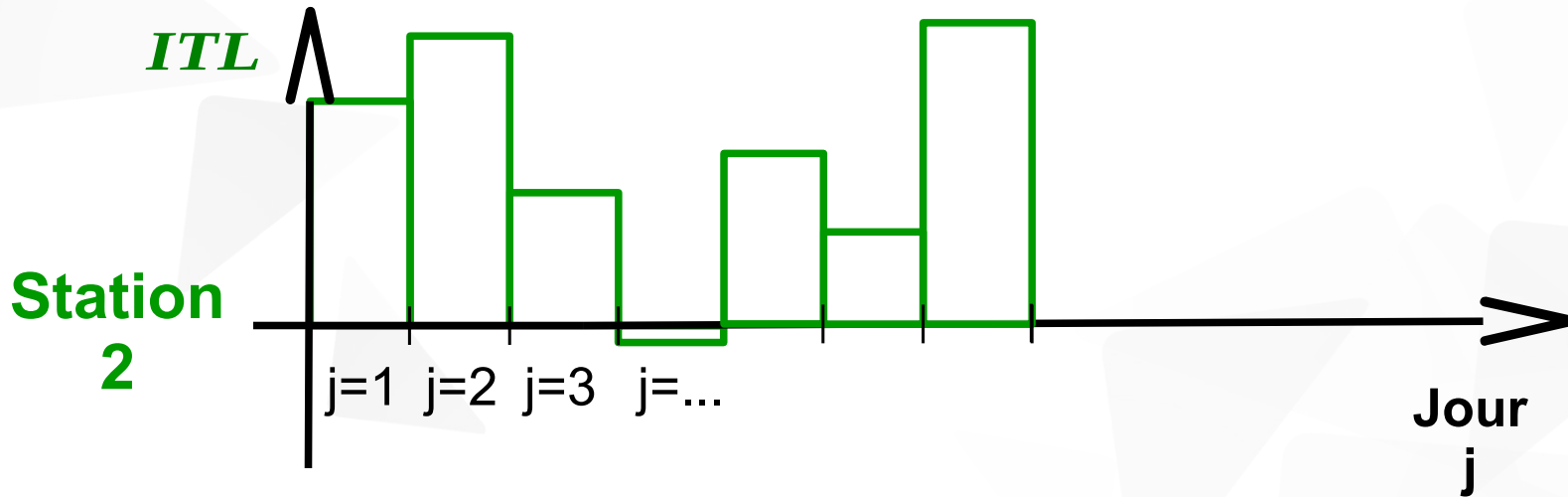
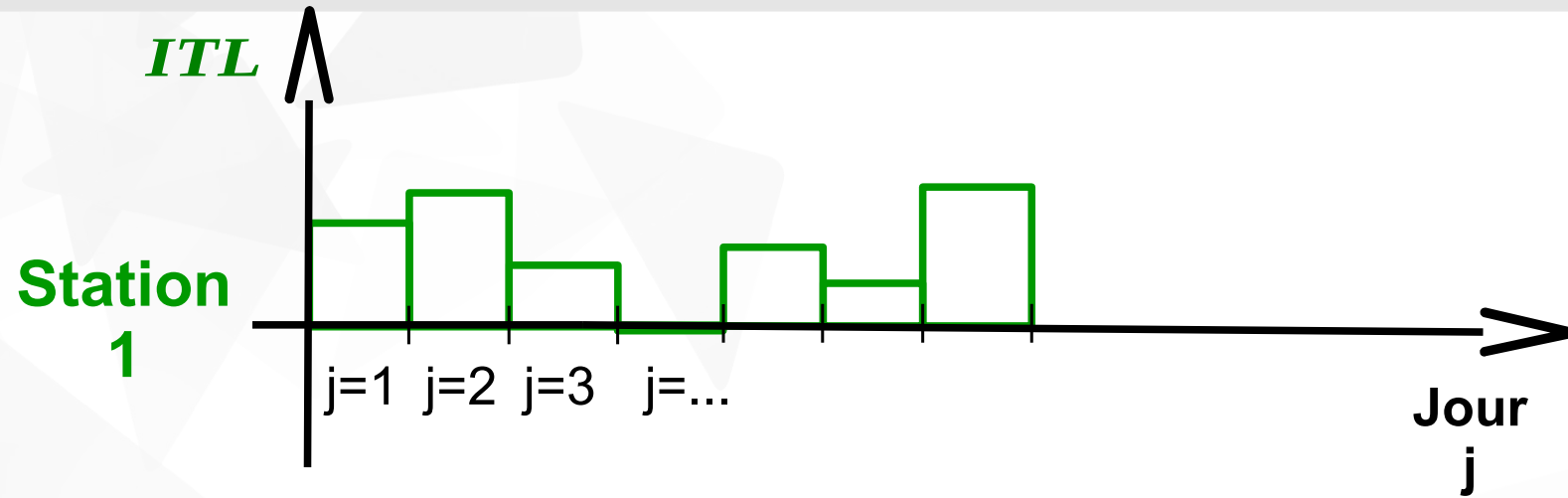
Méthodologie

Méthodologie générale



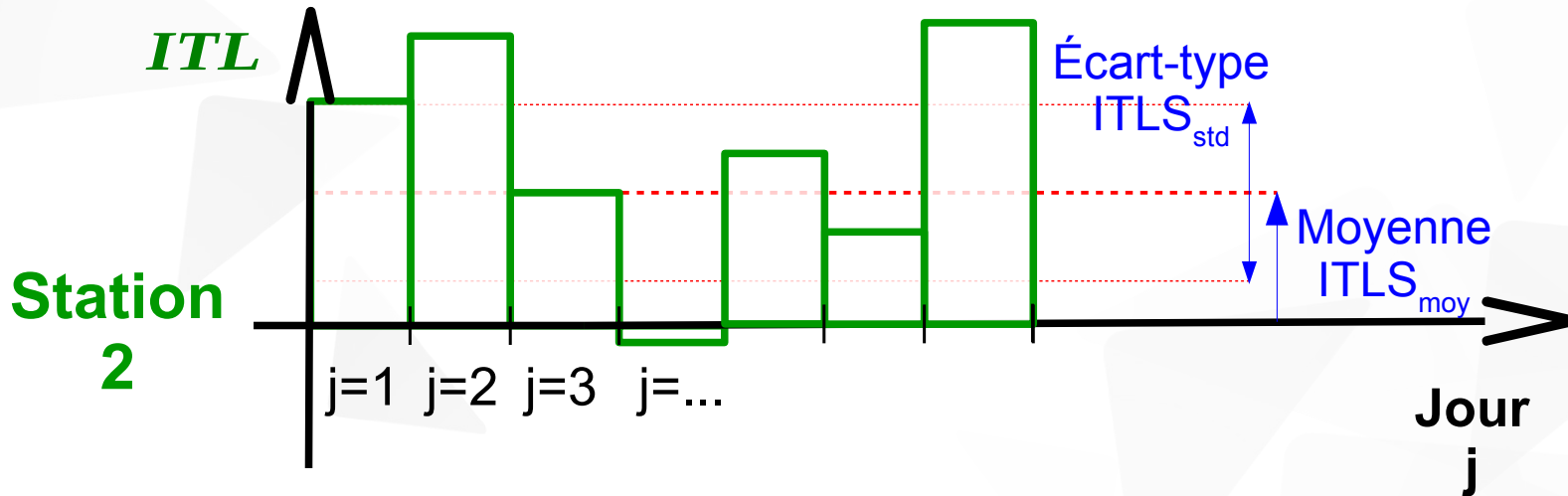
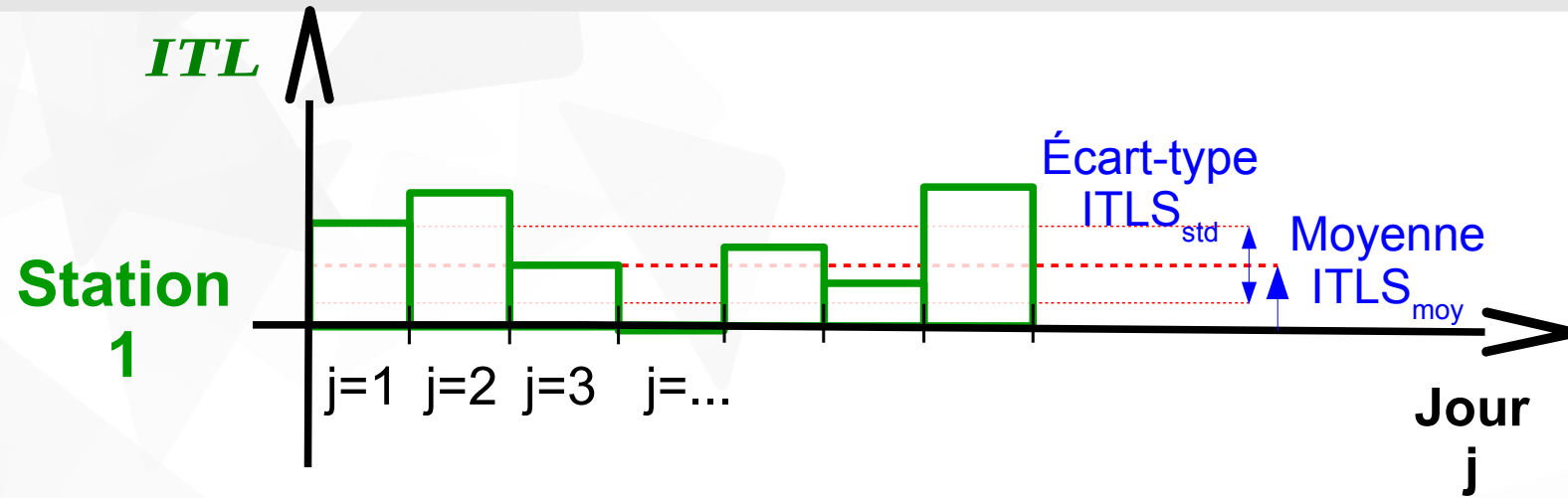
Méthodologie

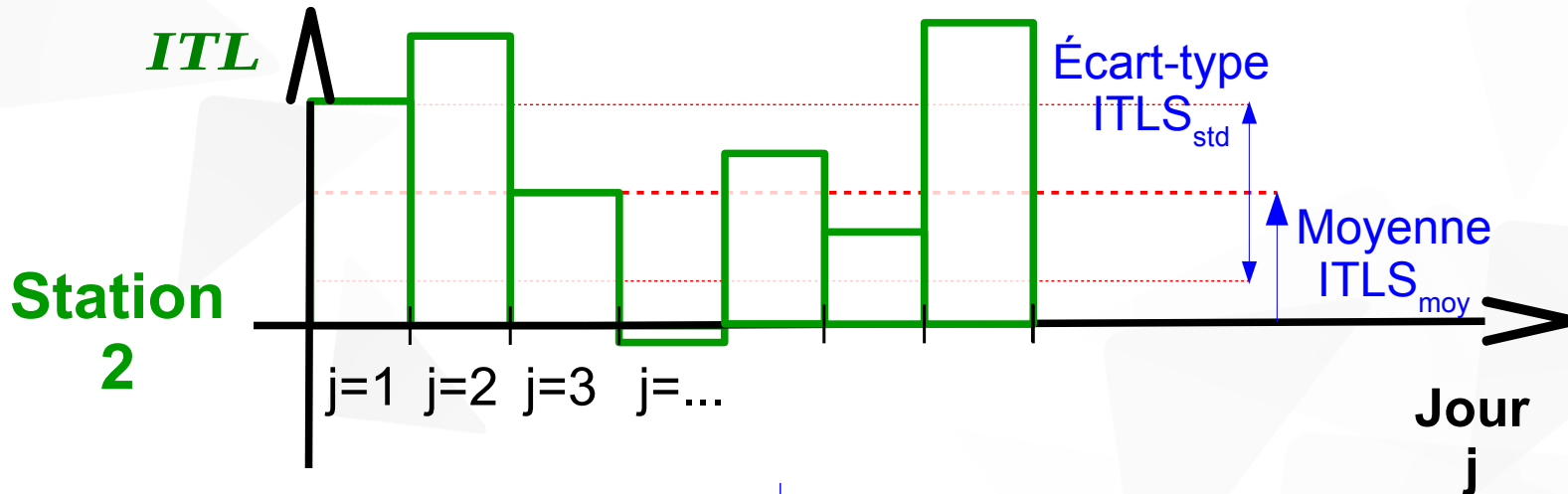
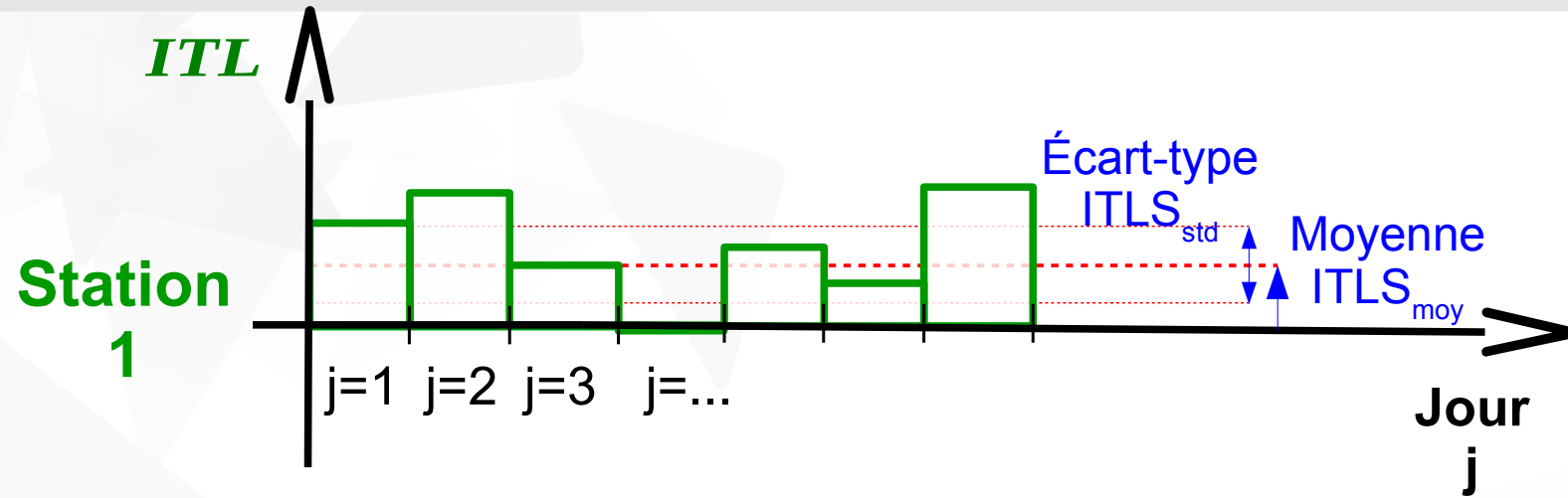
Méthodologie générale



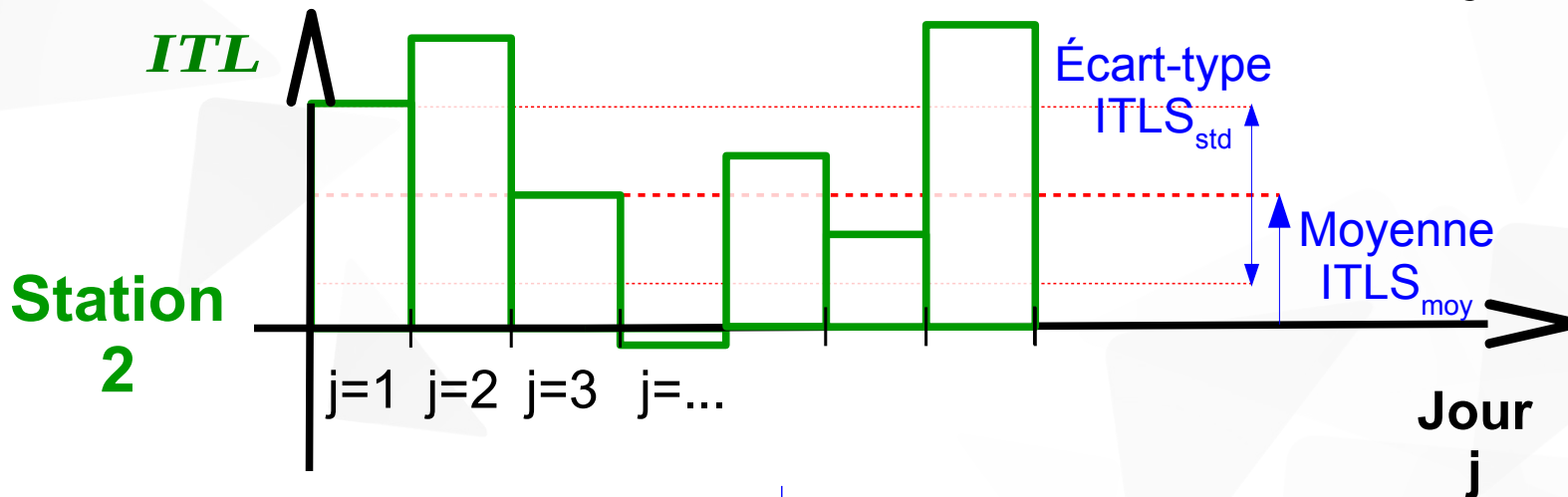
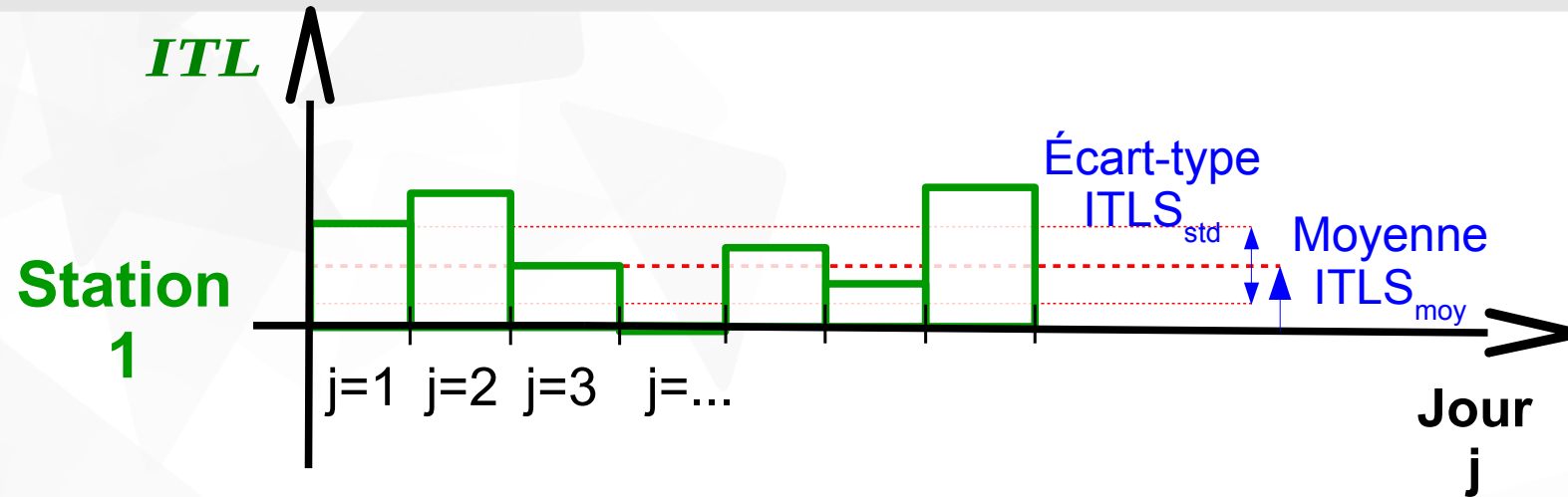
Méthodologie

Méthodologie générale





Station	$ITLS_{moy}$	$ITLS_{std}$
1	3,02	1,23
2	1,80	0,24
...

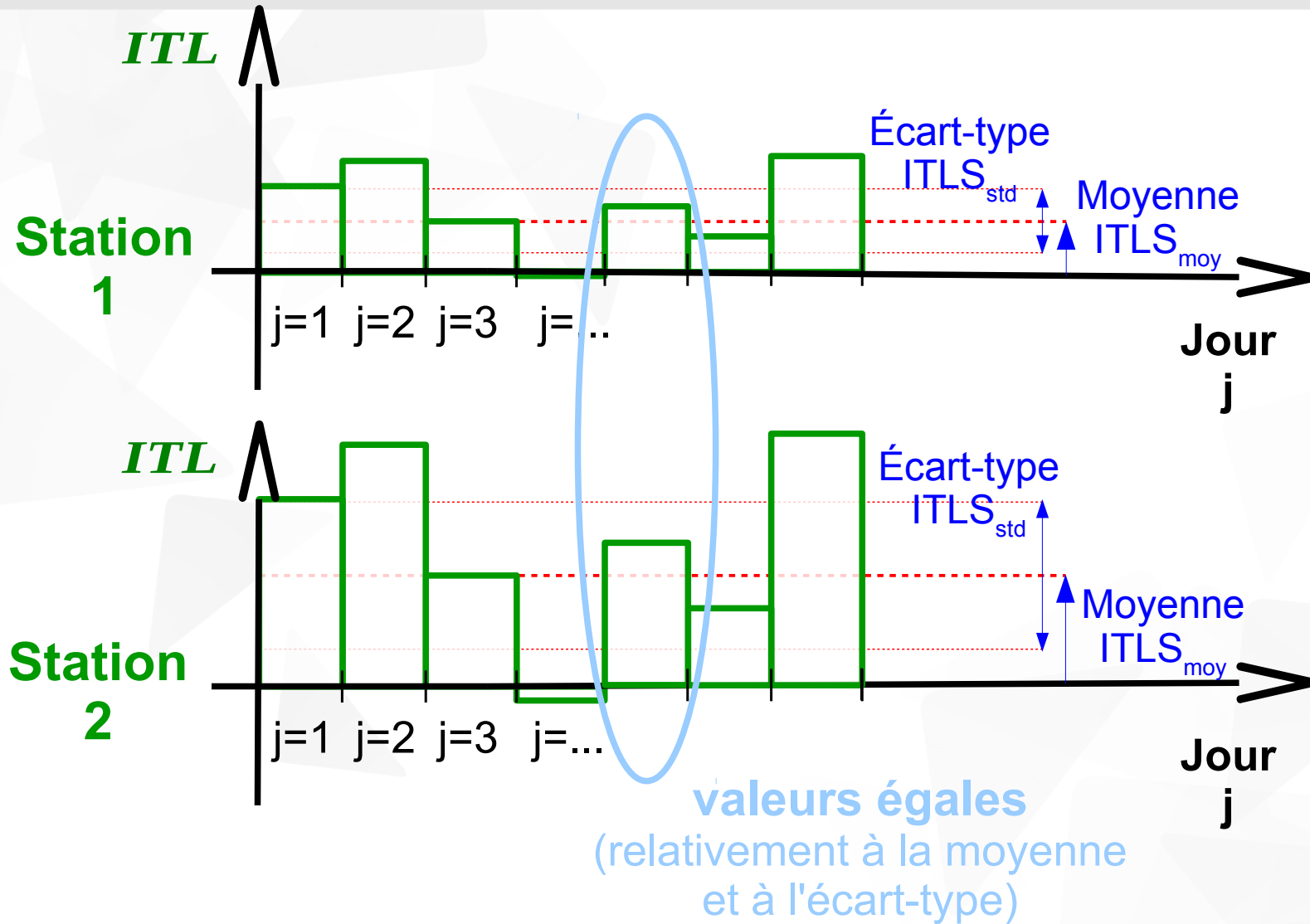


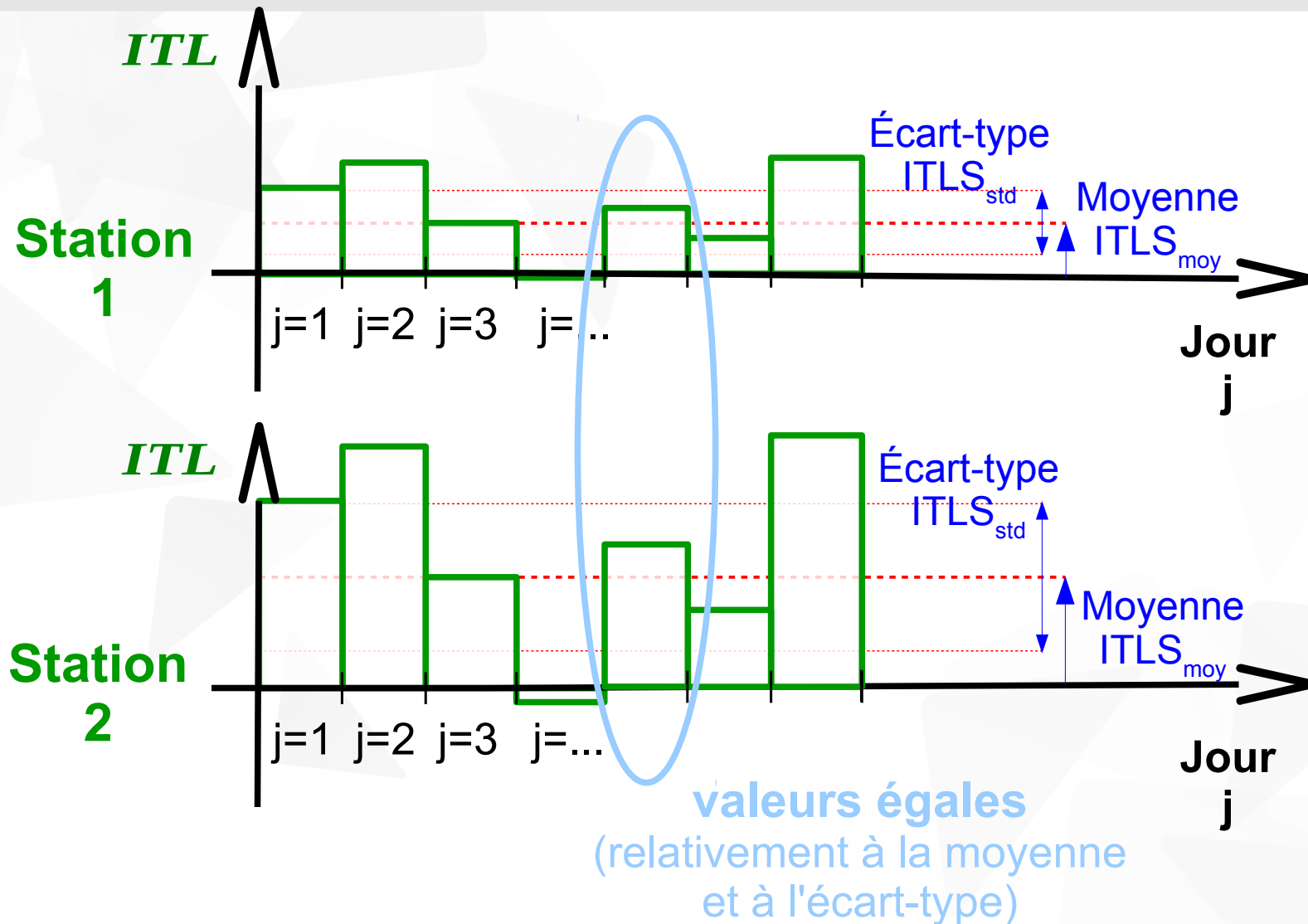
Variations spatiales !!

Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}
1	3,02	1,23
2	1,80	0,24
...

Méthodologie

Méthodologie générale

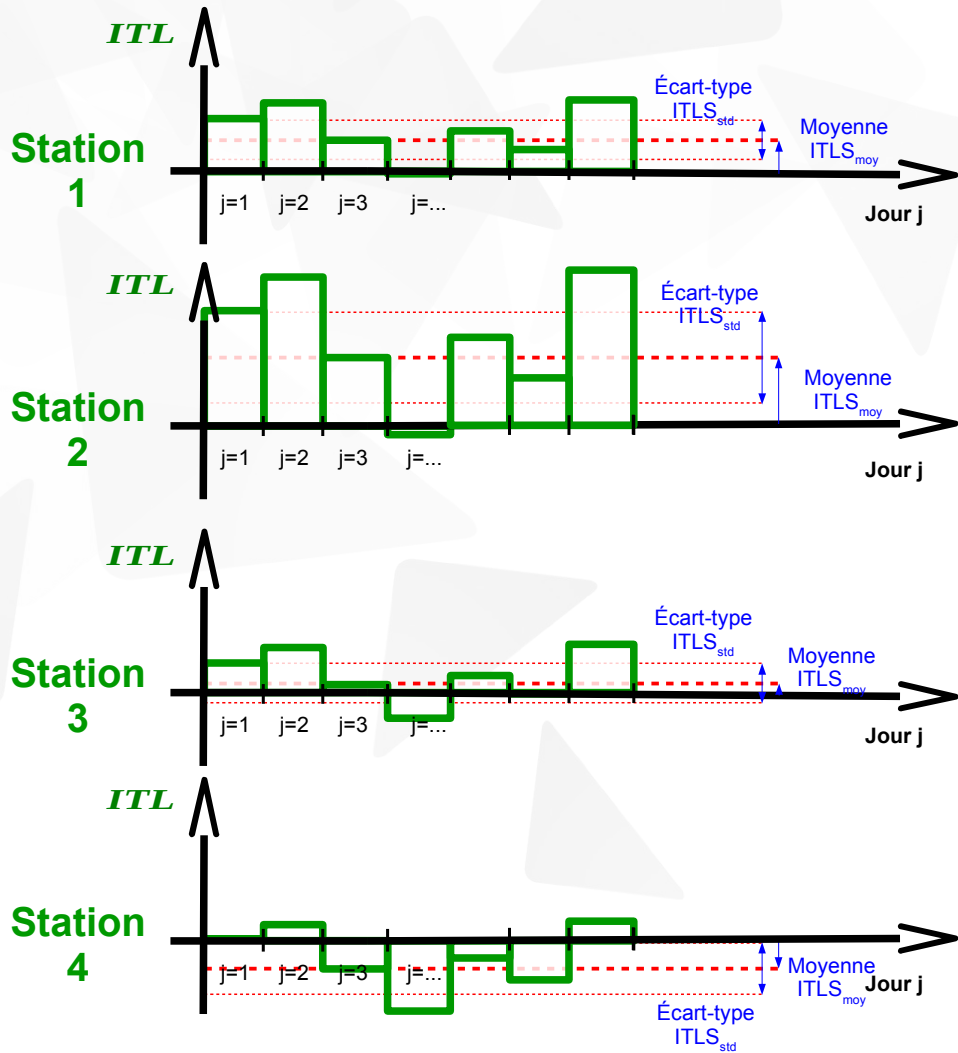




changement de variable :
$$ITLT = \frac{ITL - ITLS_{moy}}{ITLS_{std}}$$

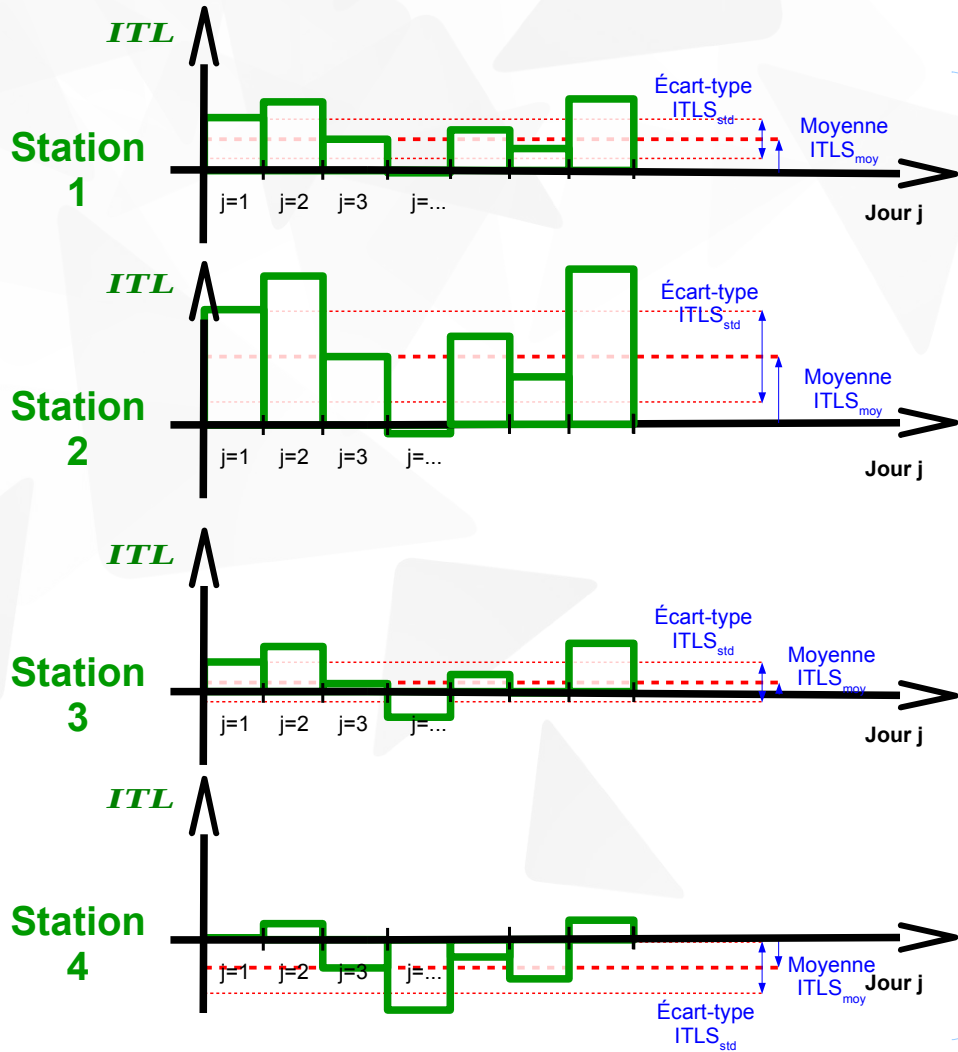
Méthodologie

Méthodologie générale

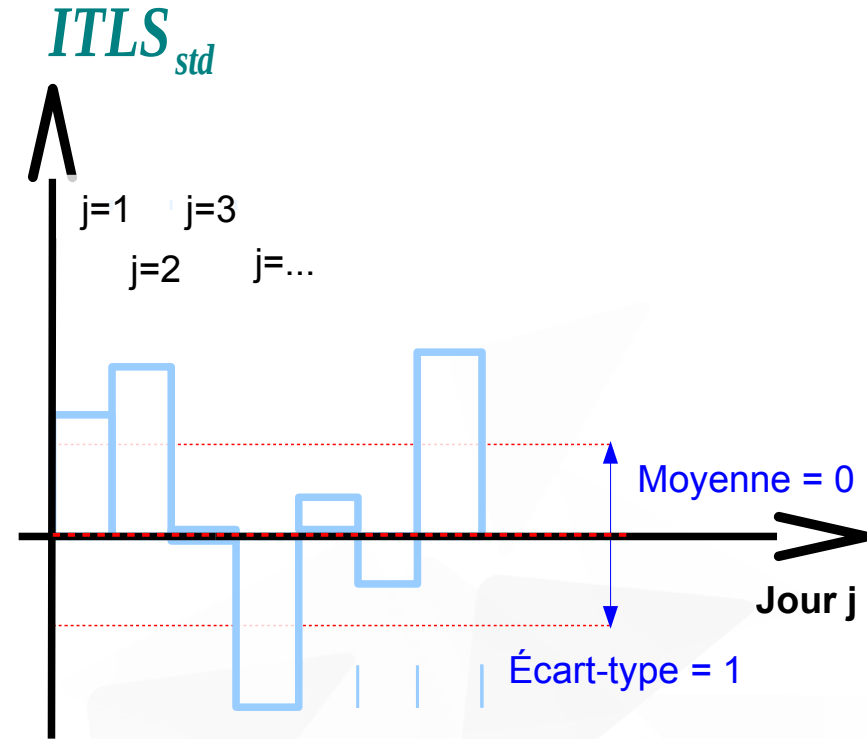


Méthodologie

Méthodologie générale

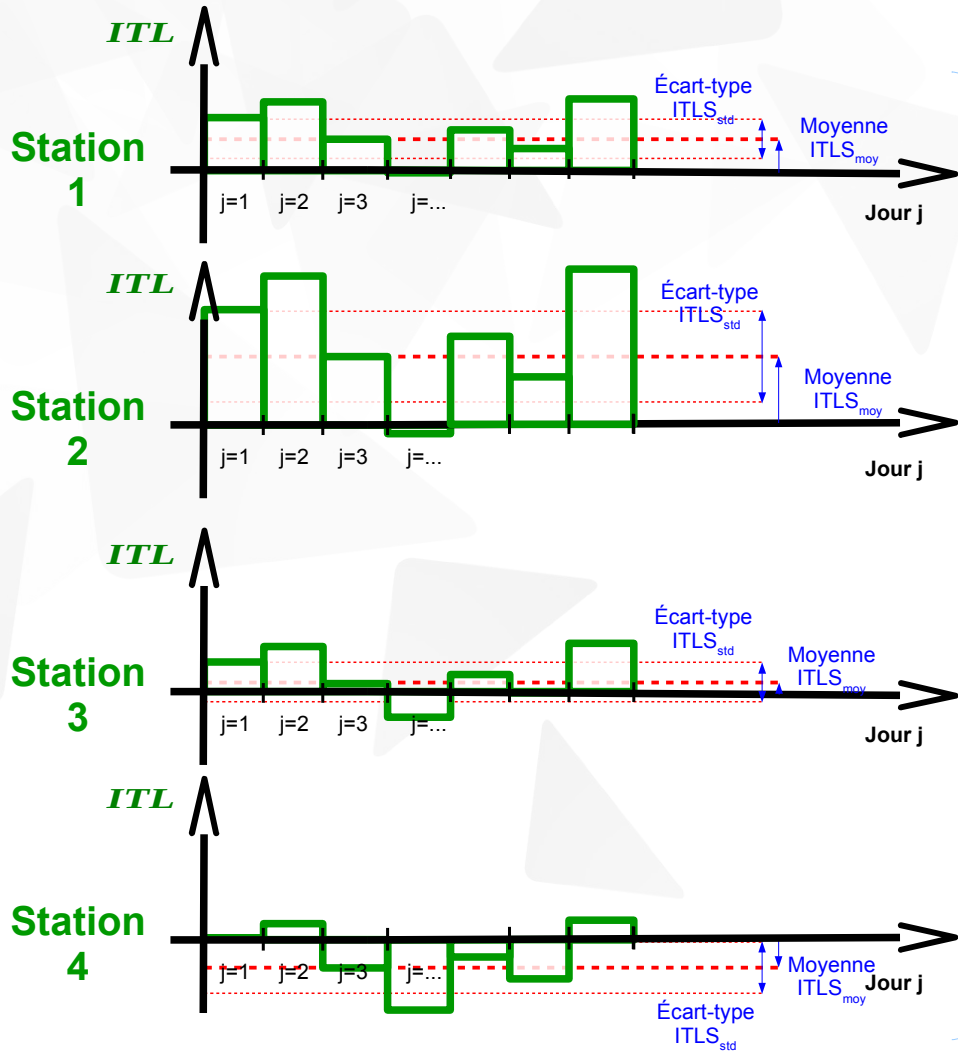


$$ITLT = \frac{ITL - ITLS_{moy}}{ITLS_{std}}$$

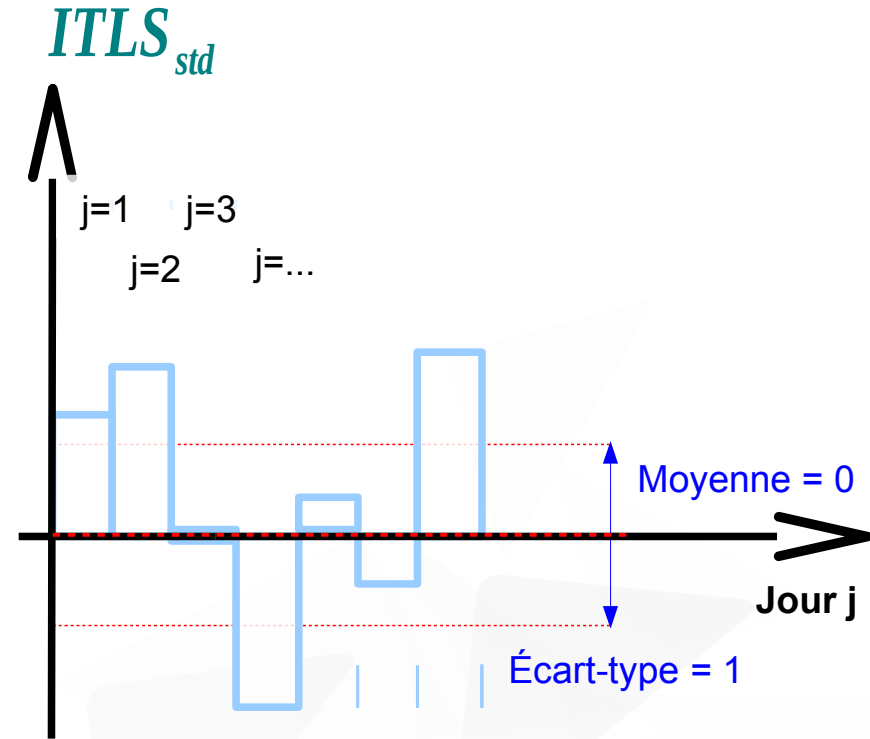


Méthodologie

Méthodologie générale



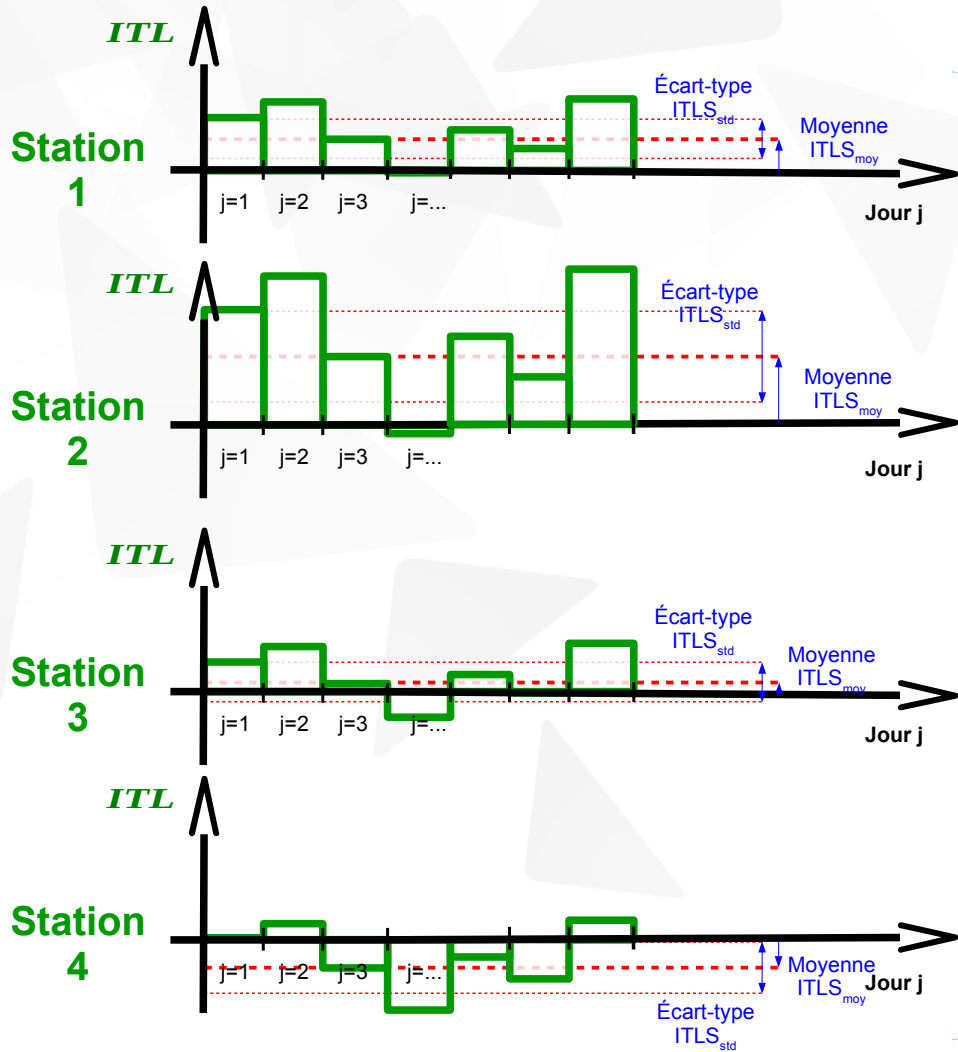
$$ITLT = \frac{ITL - ITLS_{moy}}{ITLS_{std}}$$



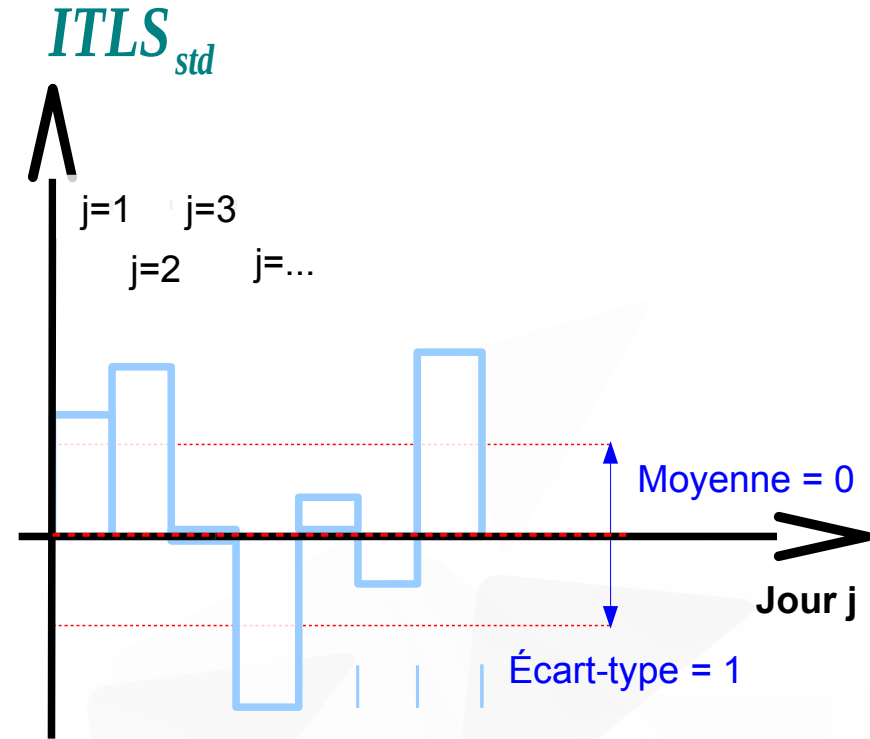
Jour	ITLT
1	1,22
2	1,54
...	...

Méthodologie

Méthodologie générale



$$ITLT = \frac{ITL - ITLS_{moy}}{ITLS_{std}}$$



Variations temporelles !!

Jour	ITLT
1	1,22
2	1,54
...	...

Méthodologie

Méthodologie générale

Station	ITLS_{moy}	ITLS_{std}
1	3,02	1,23
2	1,80	0,24
3	2,15	1,03
...

Méthodologie

Méthodologie générale

Station	ITLS_{moy}	ITLS_{std}	D_{surf}	D_{bat}	...
1	3,02	1,23	2,80	0,62	70
2	1,80	0,24	1,51	0,32	123
3	2,15	1,03	1,35	0,14	128
...

Méthodologie

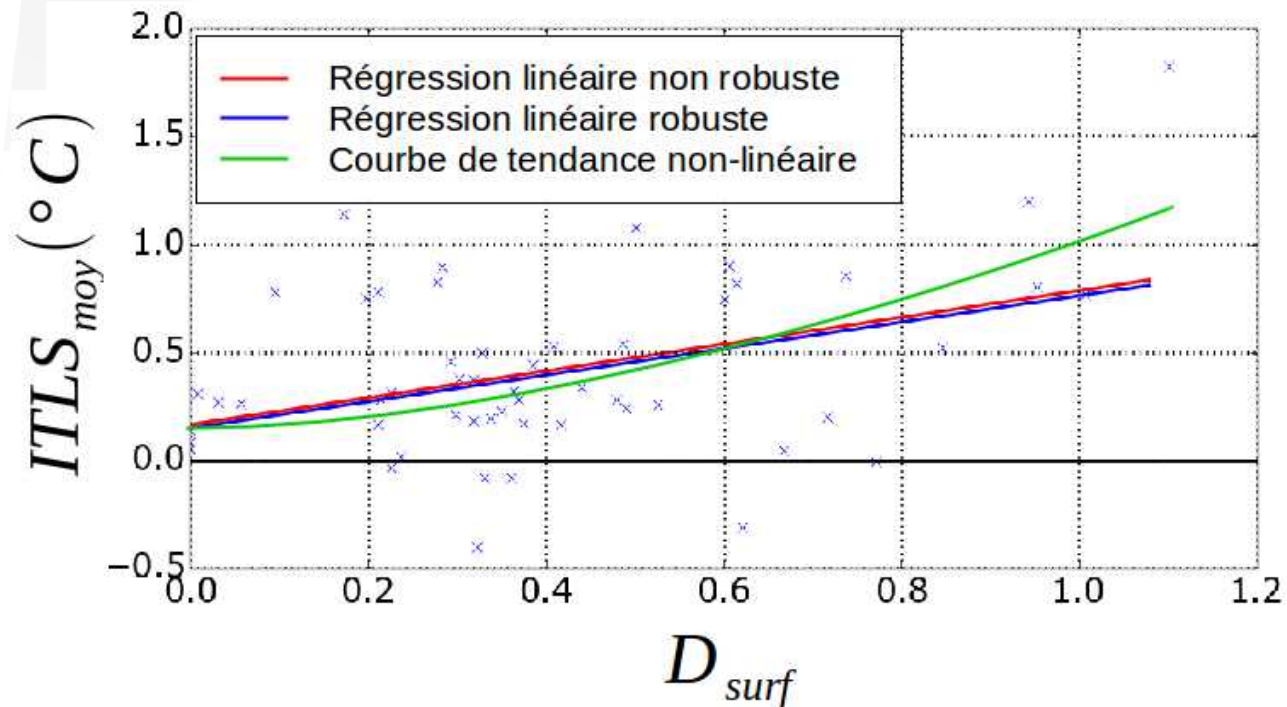
Méthodologie générale

Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}	D _{surf}	D _{bat}	...
1	3,02	1,23	2,80	0,62	70
2	1,80	0,24	1,51	0,32	123
3	2,15	1,03	1,35	0,14	128
...

Méthodologie

Méthodologie générale

Station	ITLS_{moy}	ITLS_{std}	D_{surf}	D_{bat}	...
1	3,02	1,23	2,80	0,62	70
2	1,80	0,24	1,51	0,32	123
3	2,15	1,03	1,35	0,14	128
...



Méthodologie

Méthodologie générale

Jour	ITLT
1	3,02
2	1,80
3	2,15
...	...

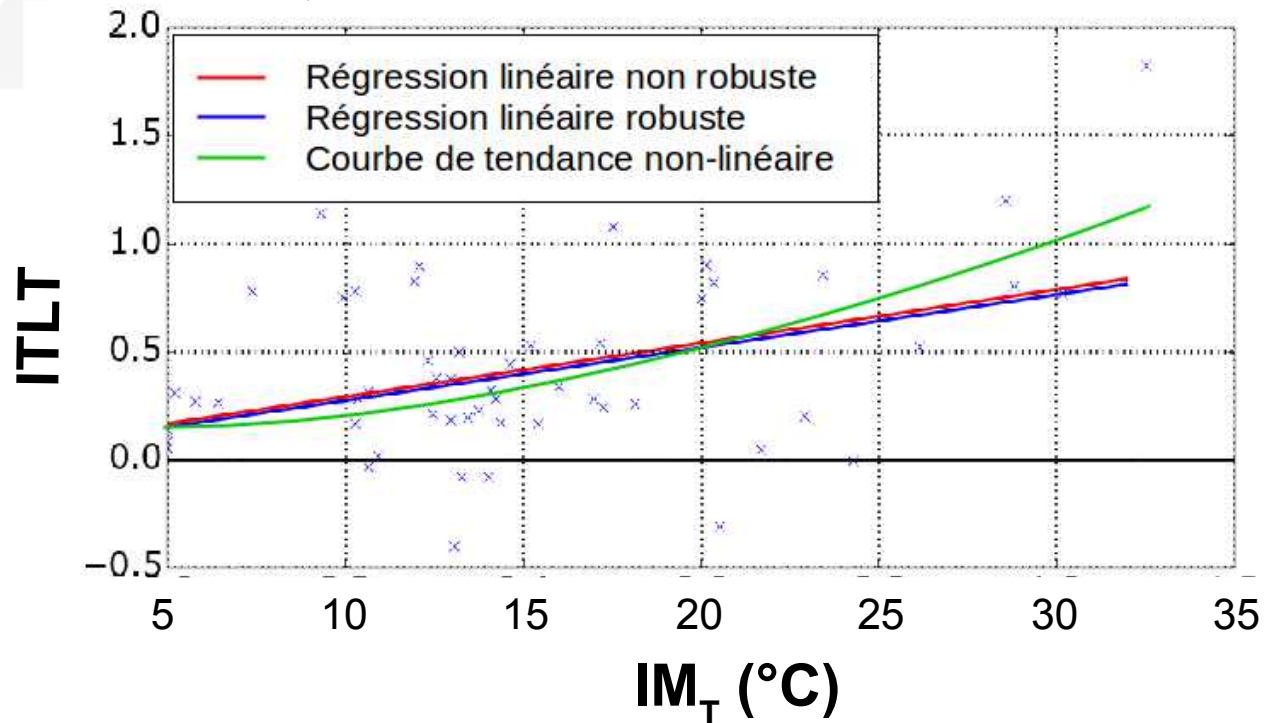
Jour	ITLT	IM_N (octa)	IM_U (m/s)	IM_T (°C)	...
1	3,02	0,8	0,95	26,0	45
2	1,80	1,67	1,34	26,4	52
3	2,15	1,45	2,02	25,4	69
...

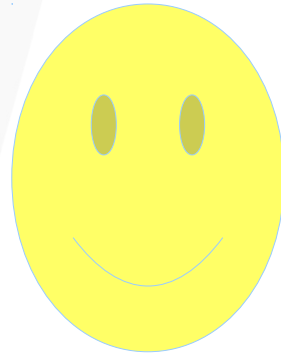
Jour	ITLT	IM _N (octa)	IM _U (m/s)	IM _T (°C)	...
1	3,02	0,8	0,95	26,0	45
2	1,80	1,67	1,34	26,4	52
3	2,15	1,45	2,02	25,4	69
...

Méthodologie

Méthodologie générale

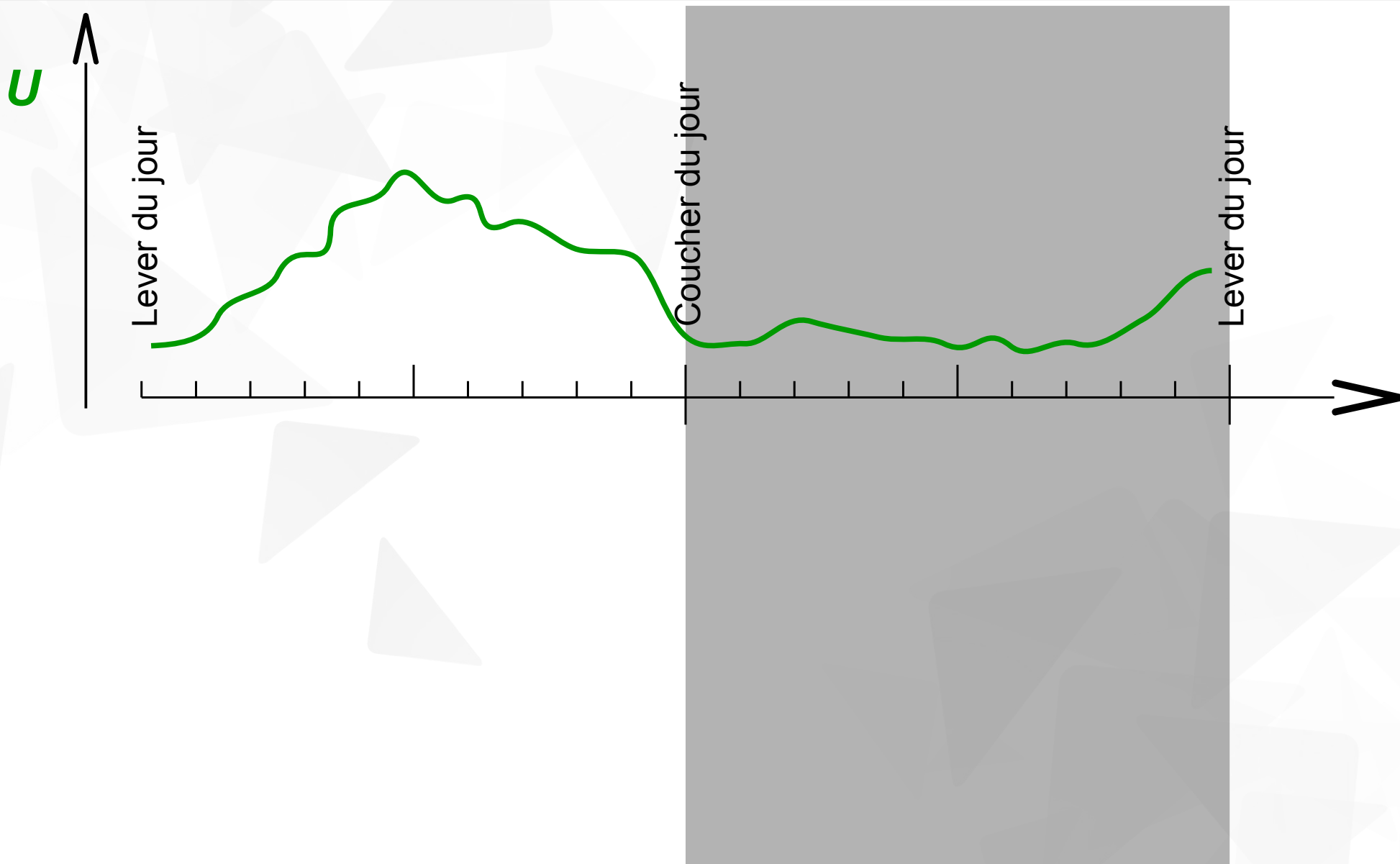
Jour	ITLT	IM _N (octa)	IM _U (m/s)	IM _T (°C)	...
1	3,02	0,8	0,95	26,0	45
2	1,80	1,67	1,34	26,4	52
3	2,15	1,45	2,02	25,4	69
...



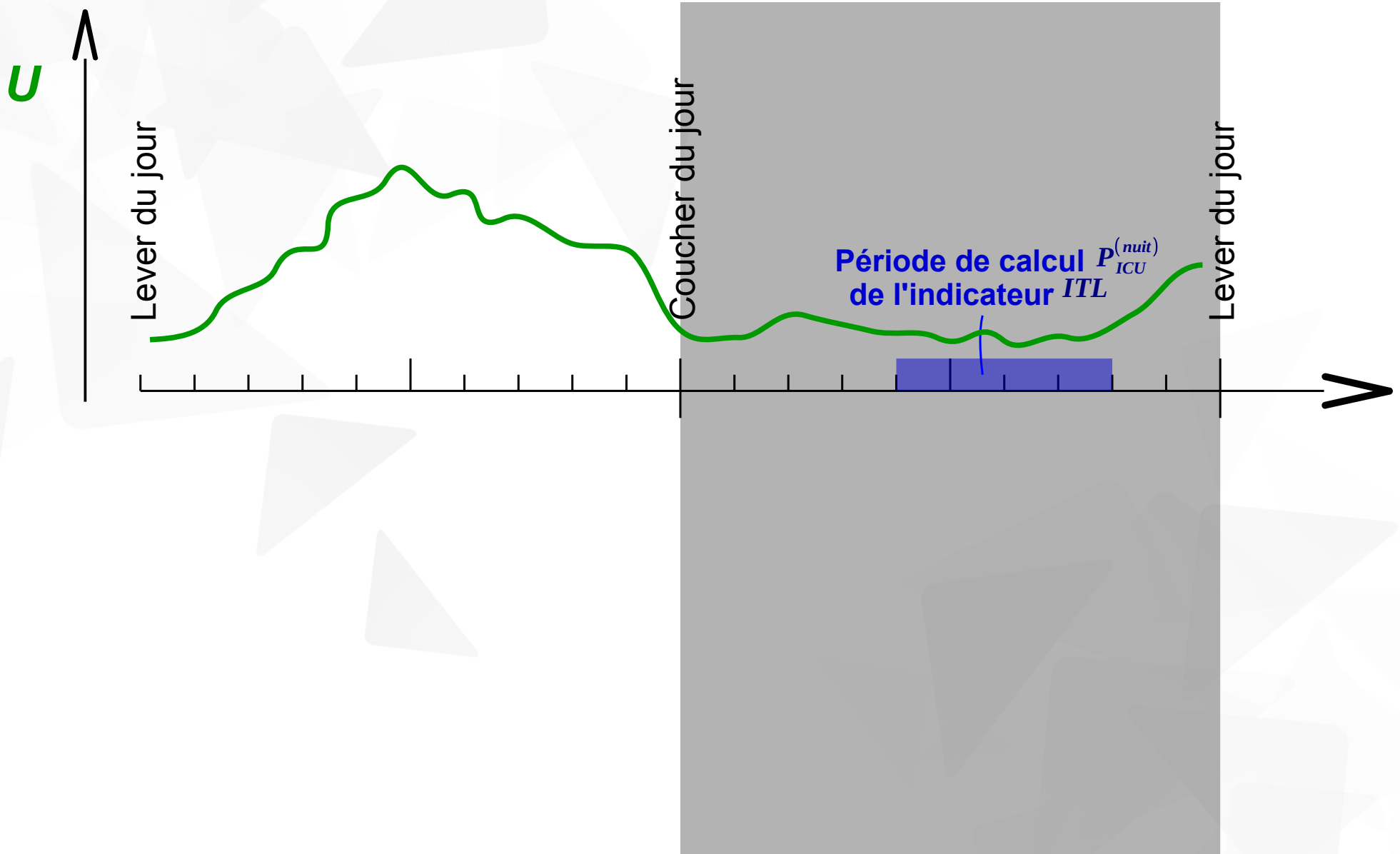


- ✓ Super... Mais c'est quoi tes indicateurs géographiques et tes indicateurs météorologiques...

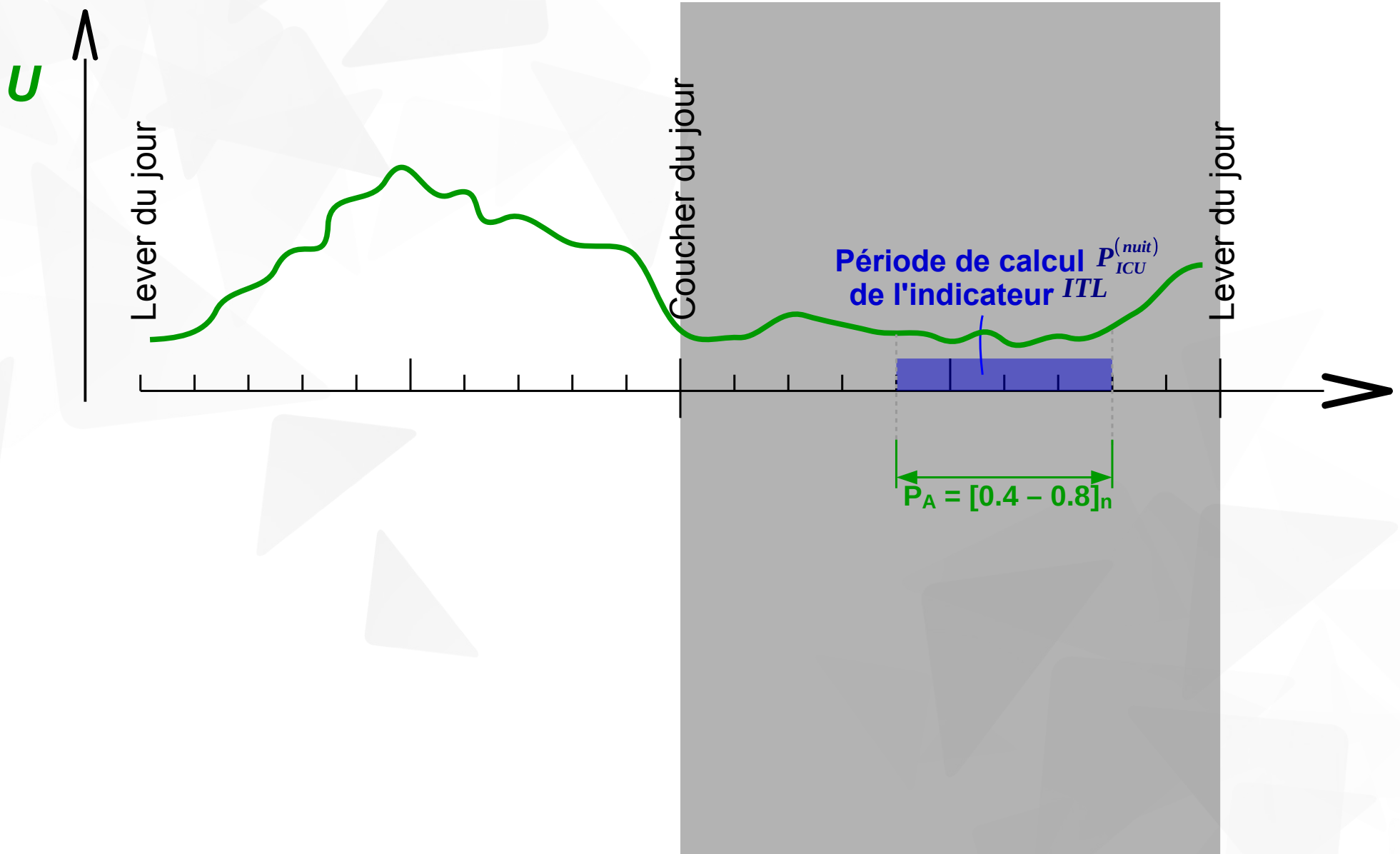
Calcul des indicateurs météorologiques



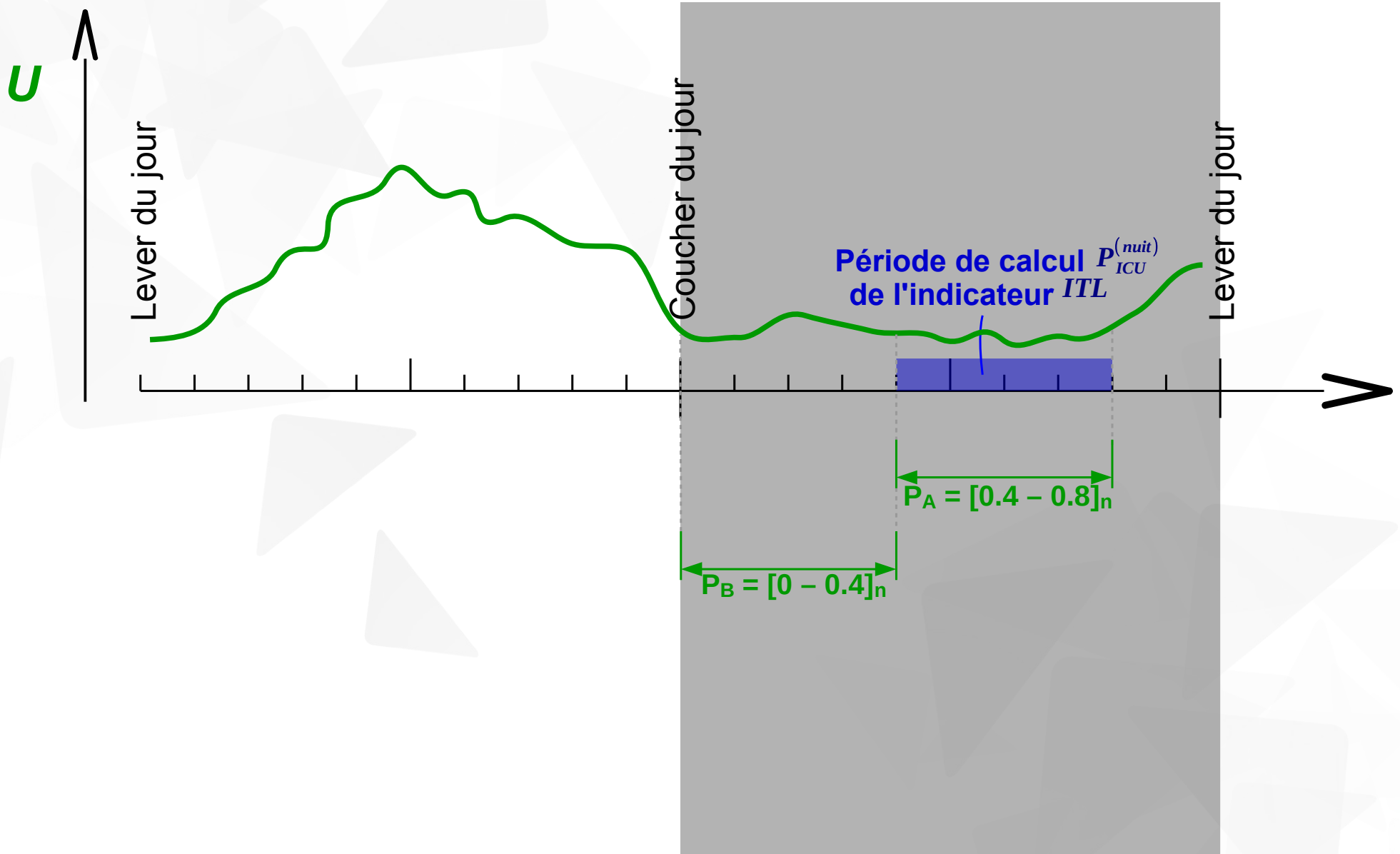
Calcul des indicateurs météorologiques



Calcul des indicateurs météorologiques

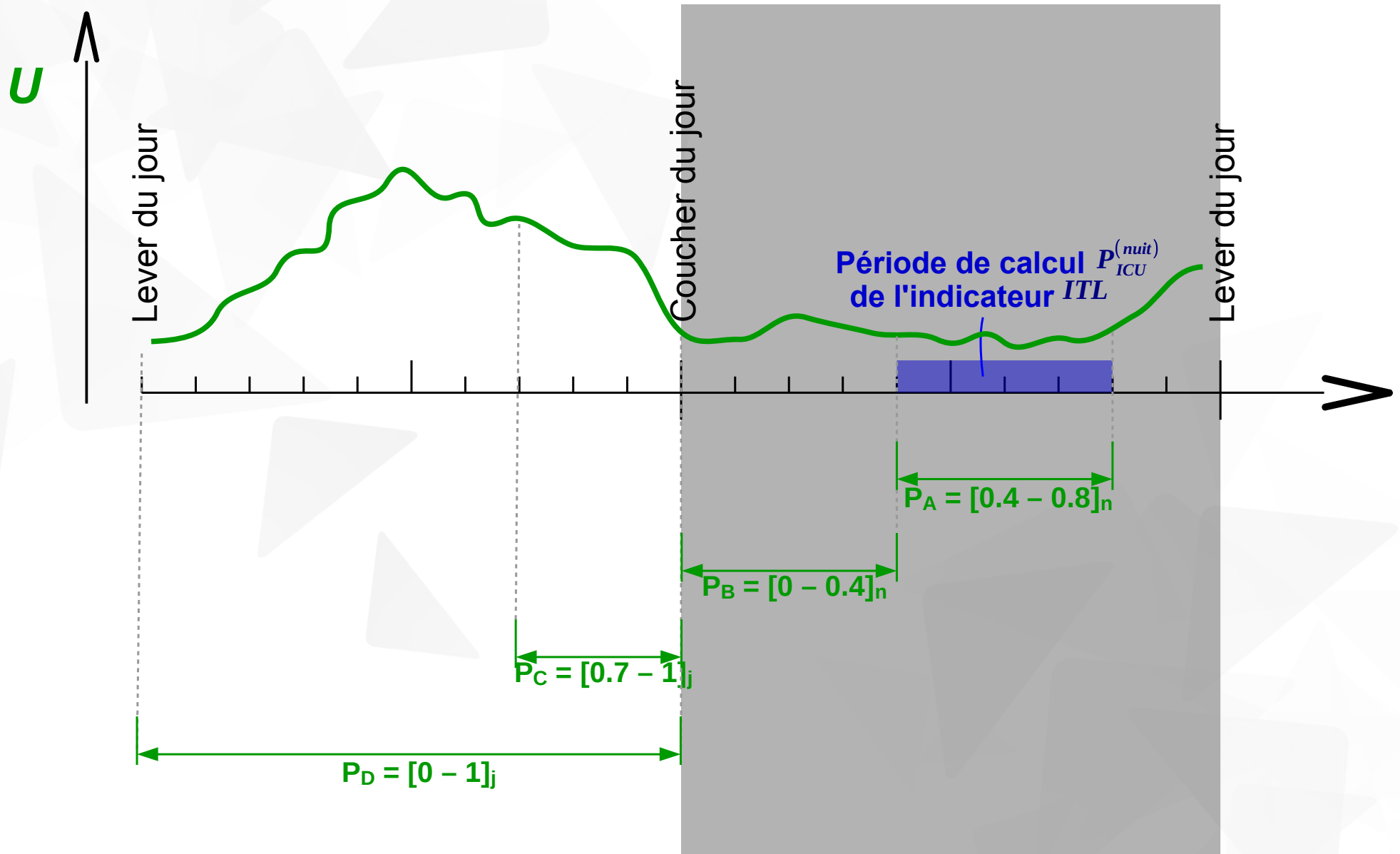


Calcul des indicateurs météorologiques



Méthodologie

Calcul des indicateurs météorologiques



Surfaces contributives à la température mesurée

LÉGENDE :



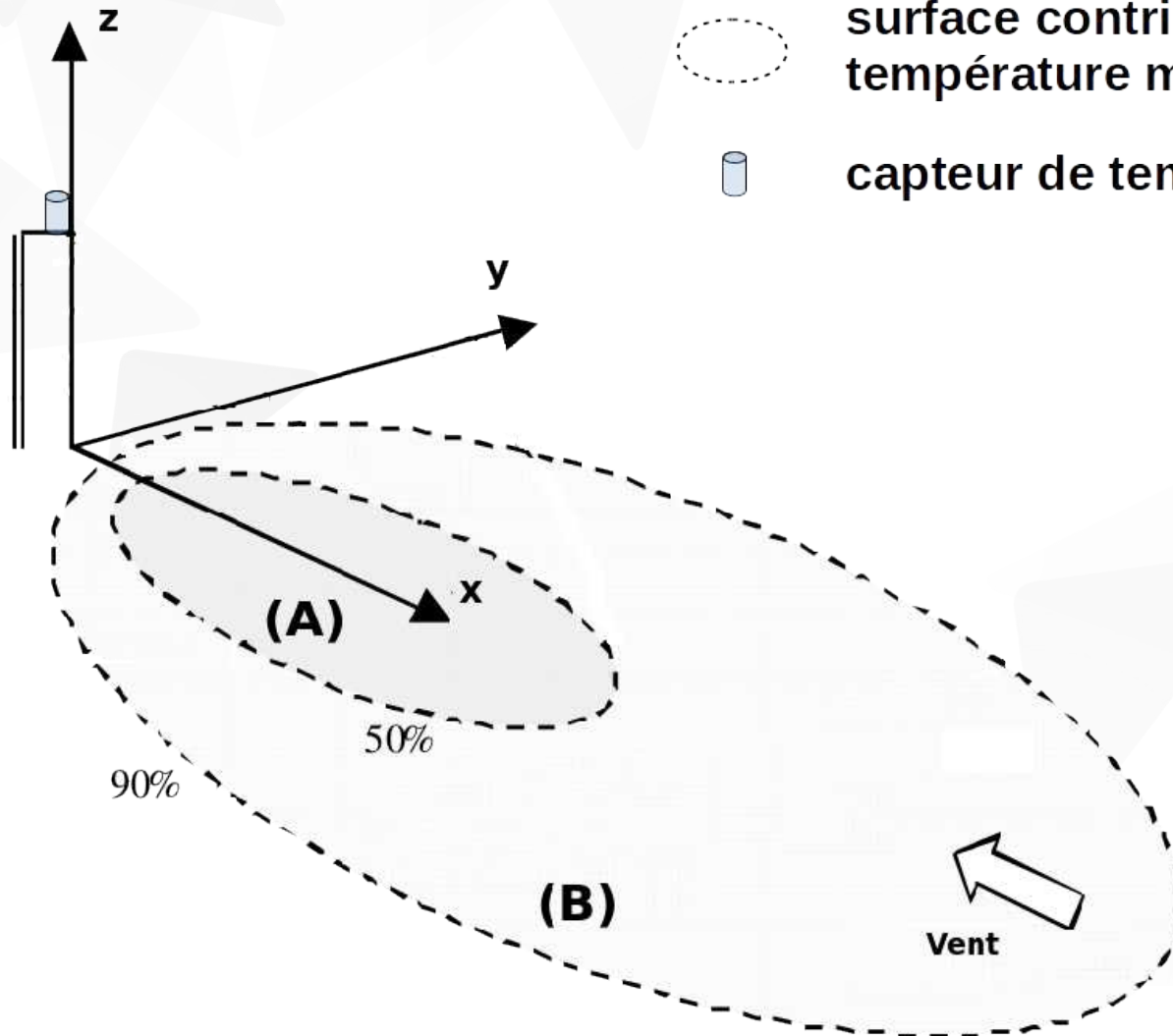
direction du vent



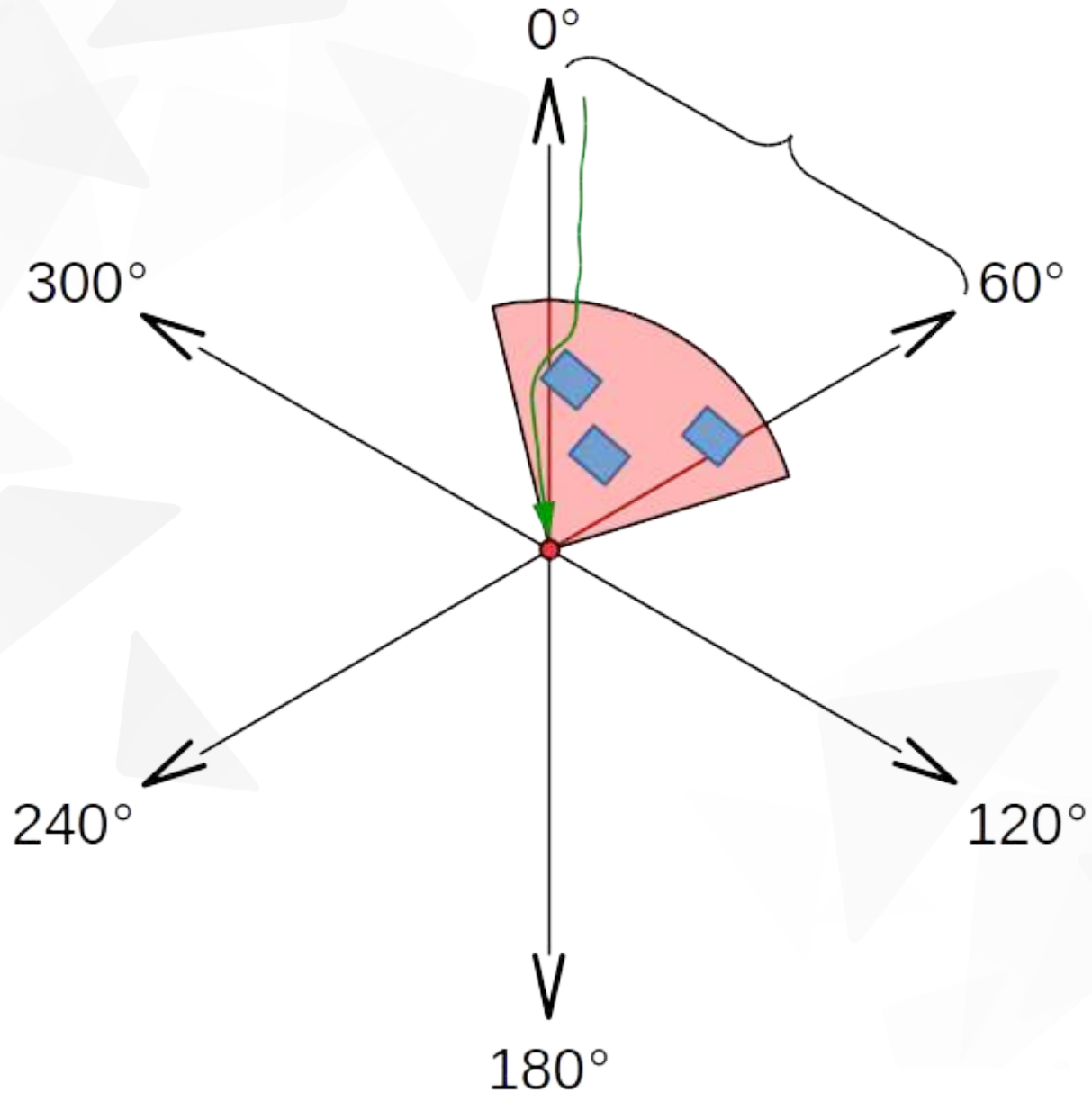
surface contributive à la température mesurée



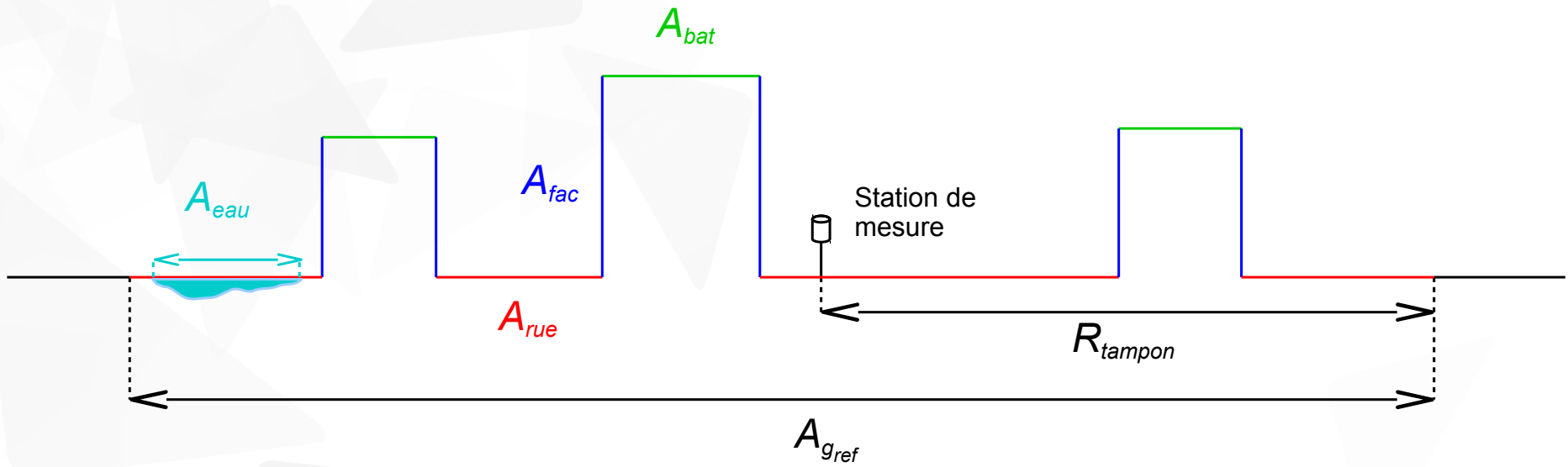
capteur de température d'air



Surfaces contributives à la température mesurée

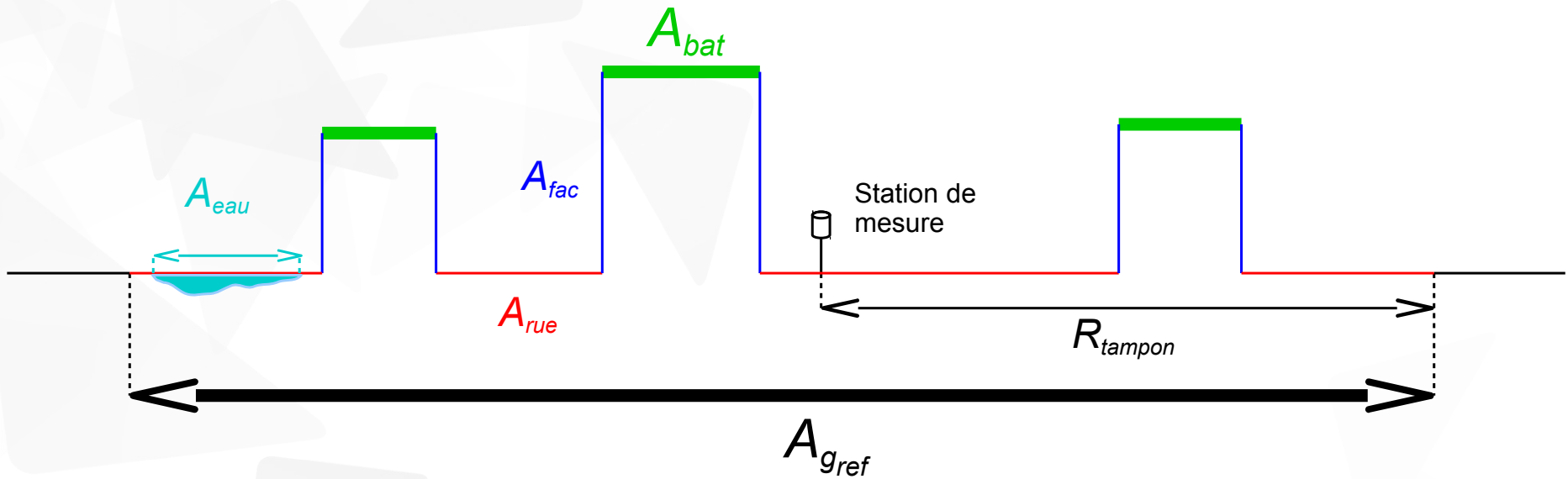


Calcul des indicateurs géographiques



Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

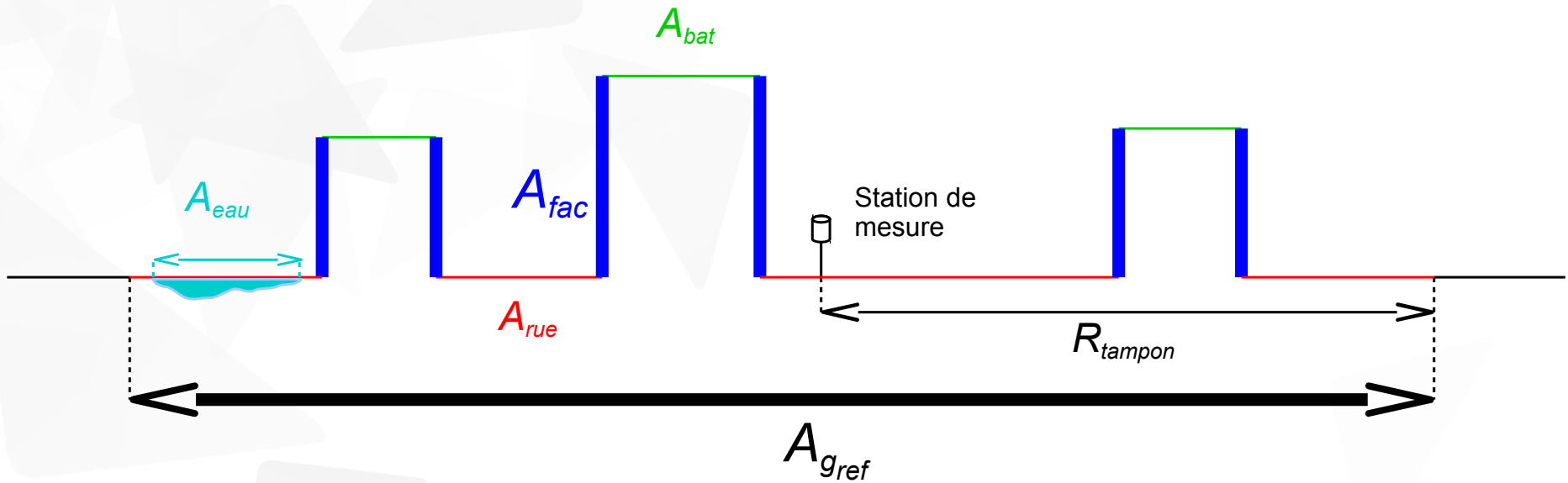


Sigle	Nom	Formule
D_{bat}	Densité de bâtiments	$\frac{A_{bat}}{A_{gref}}$

Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

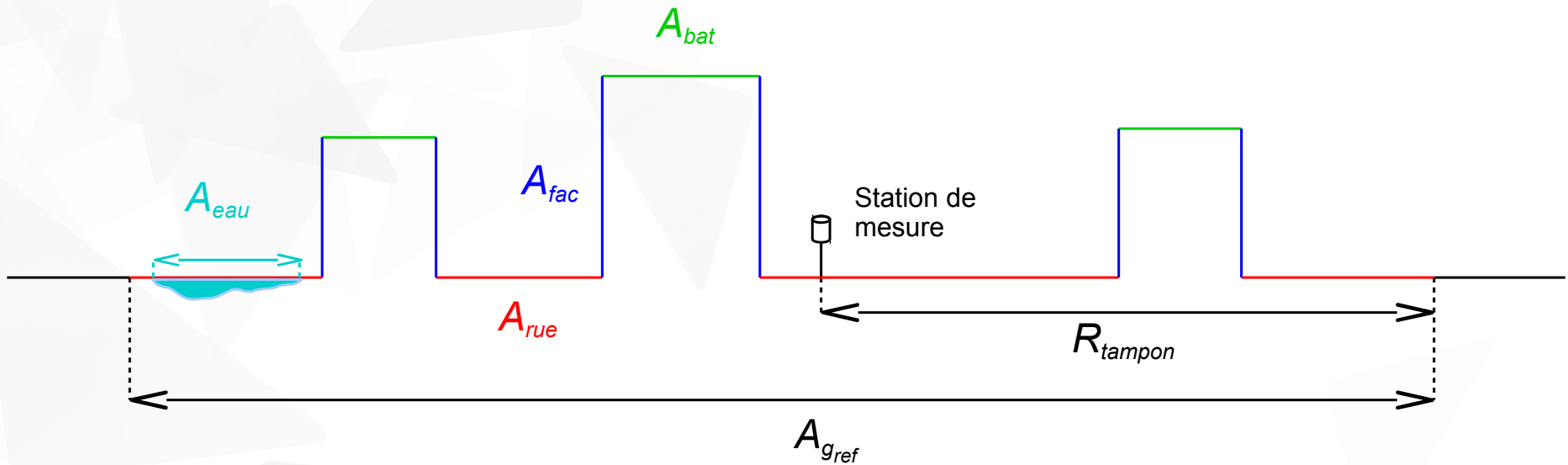
47



Sigle	Nom	Formule
D_{bat}	Densité de bâtiments	$\frac{A_{bat}}{A_{gref}}$
D_{fac}	Densité de façade	$\frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{gref}}$

Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques



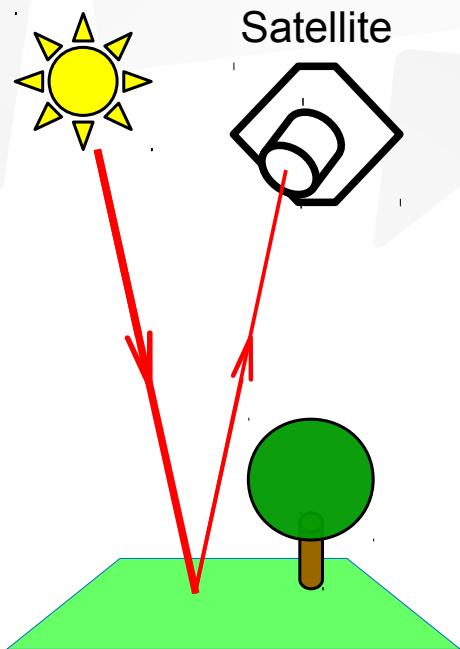
Sigle	Nom	Formule
D_{bat}	Densité de bâtiments	$\frac{A_{bat}}{A_{gref}}$
D_{fac}	Densité de façade	$\frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{gref}}$
D_{surf}	Densité de surface totale	$\frac{A_{fac} + A_{gref}}{A_{fac}}$
D_{eau}	Densité de surface en eau	$\frac{A_{eau}}{A_{gref}}$

Calcul des indicateurs géographiques

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

Calcul des indicateurs géographiques

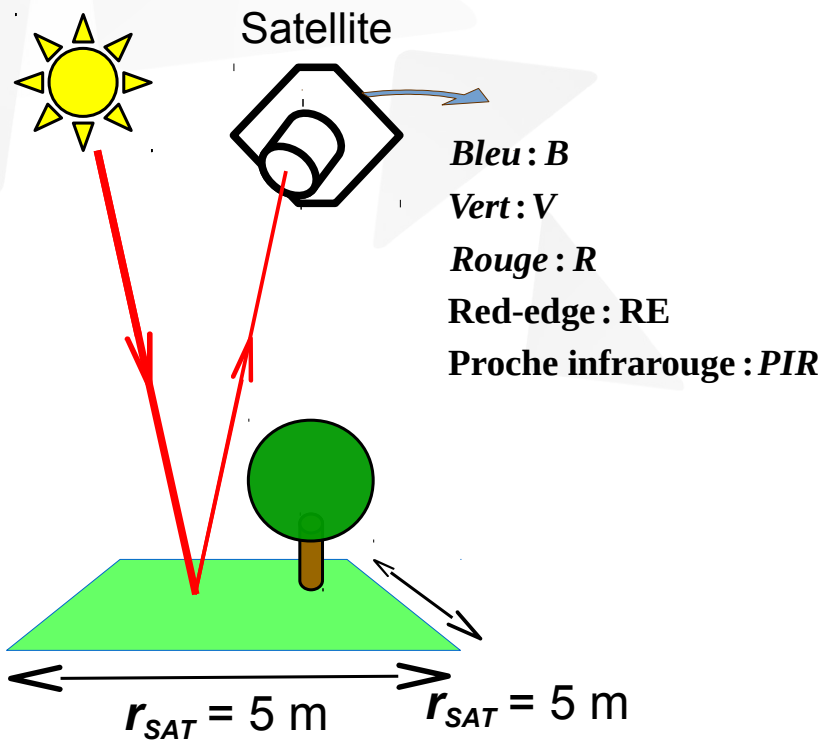
Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)



Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

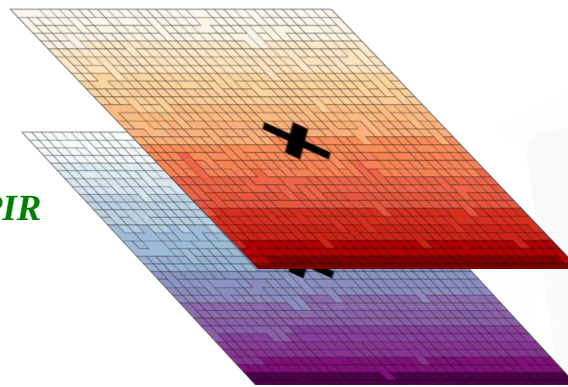
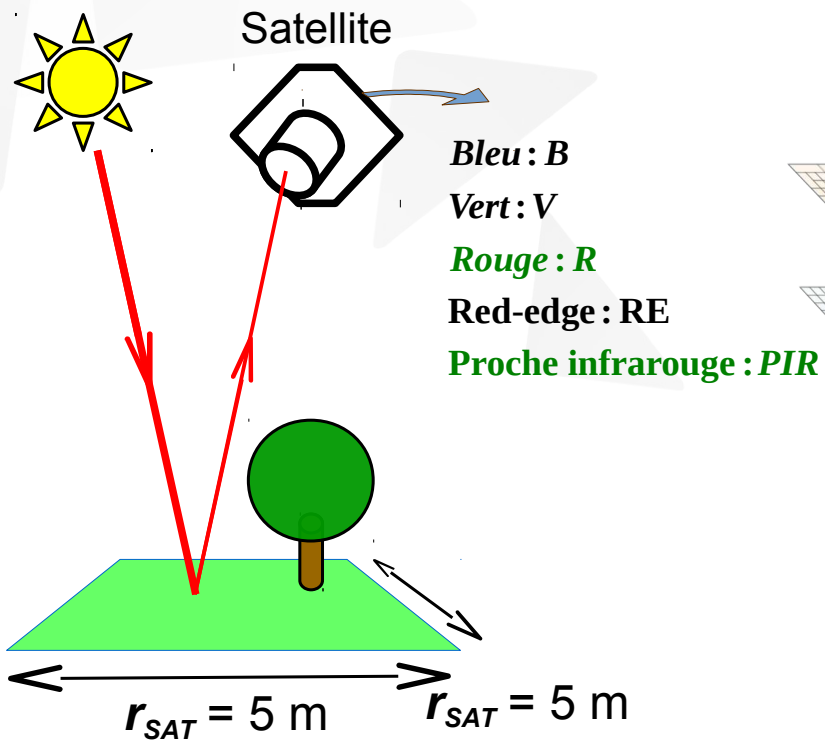
Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)



Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

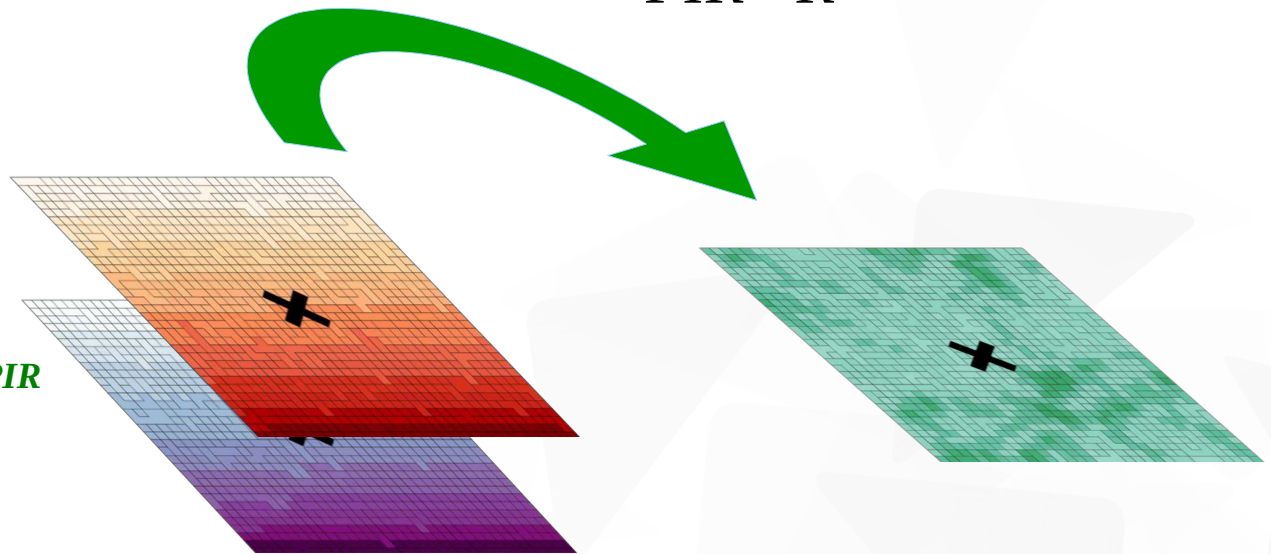
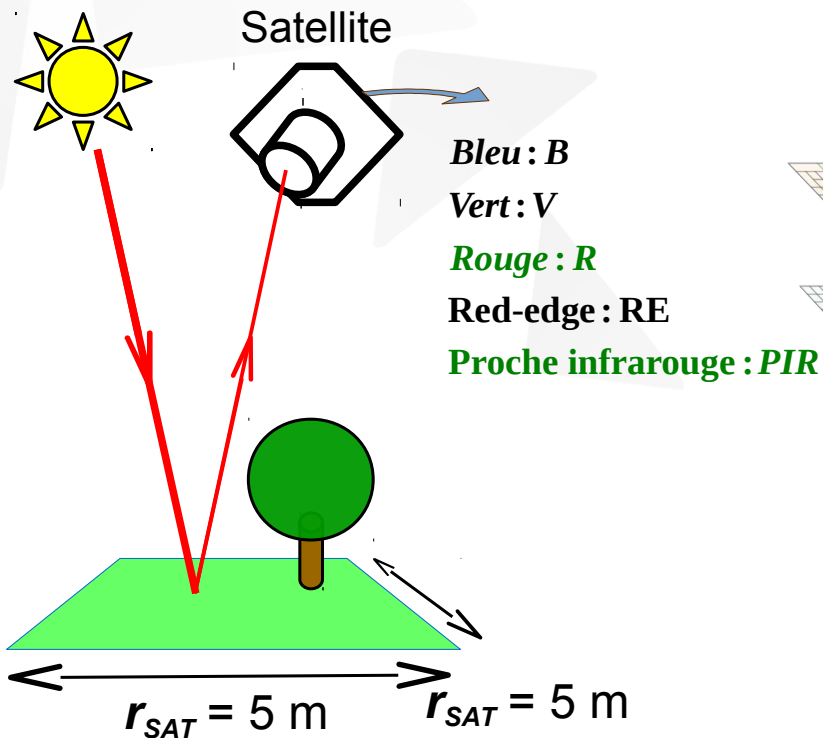


Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

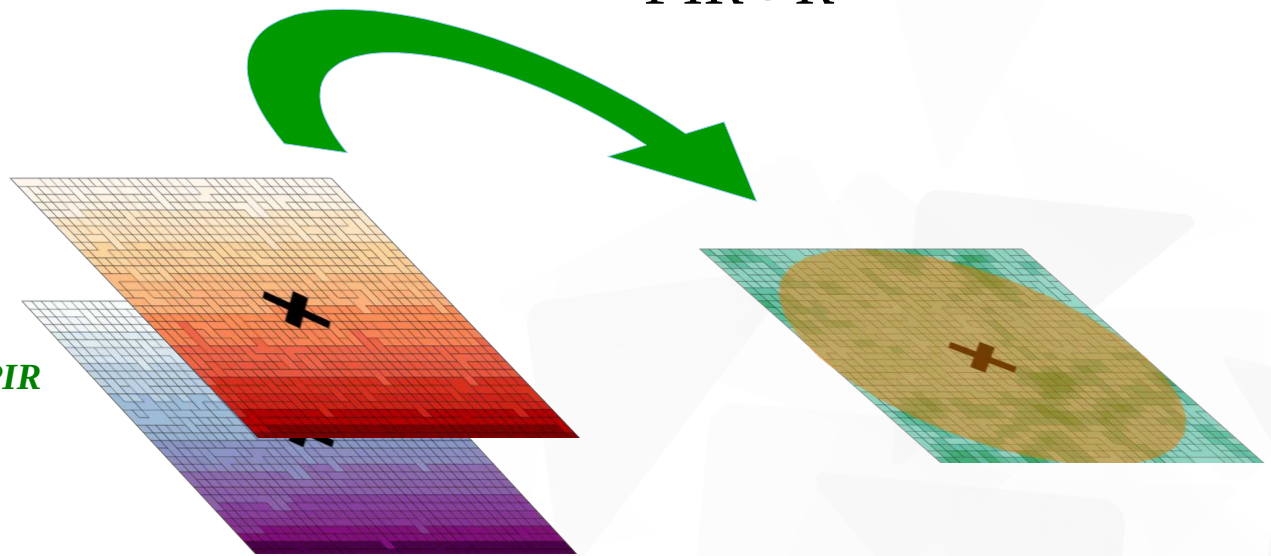
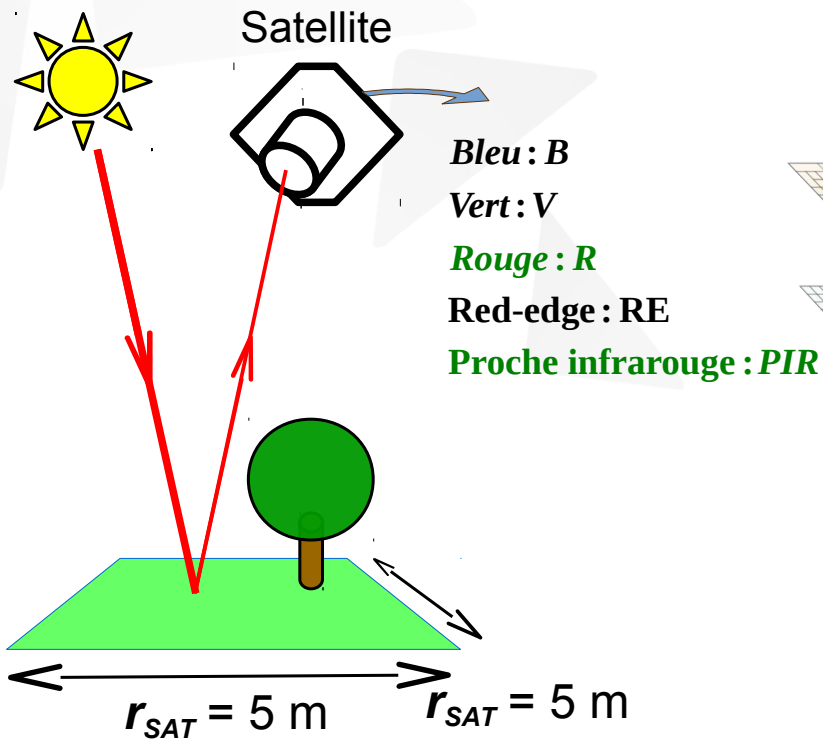
$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$



Calcul des indicateurs géographiques

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

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






Calcul des indicateurs géographiques

d_{periph}

Calcul des indicateurs géographiques

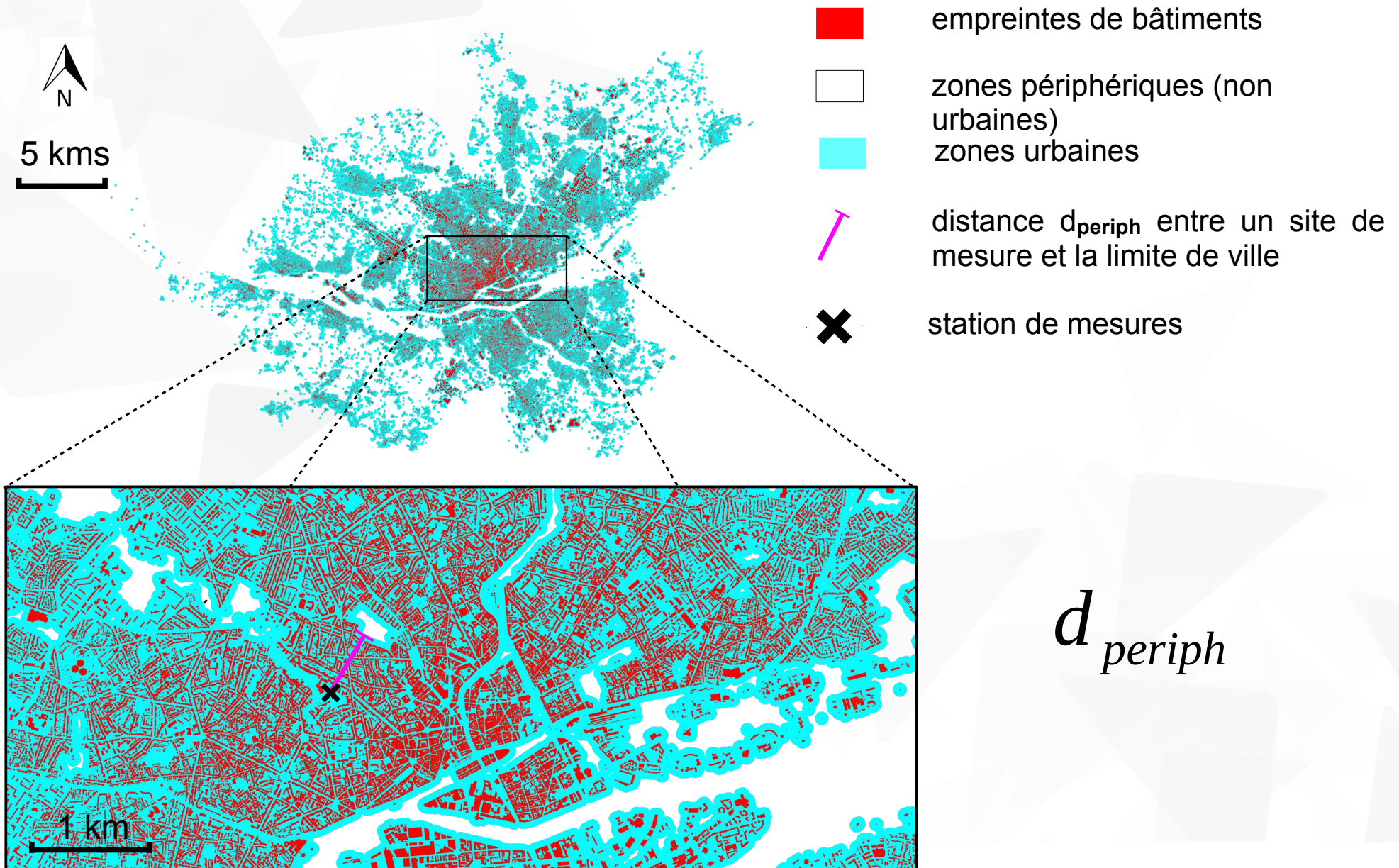


-  empreintes de bâtiments
-  zones périphériques (non urbaines)
-  zones urbaines

d_{periph}

Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques



Résultats

Modèles pour l'indicateur diurne

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

Modèles pour l'indicateur diurne

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

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

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

Modèles pour l'indicateur diurne

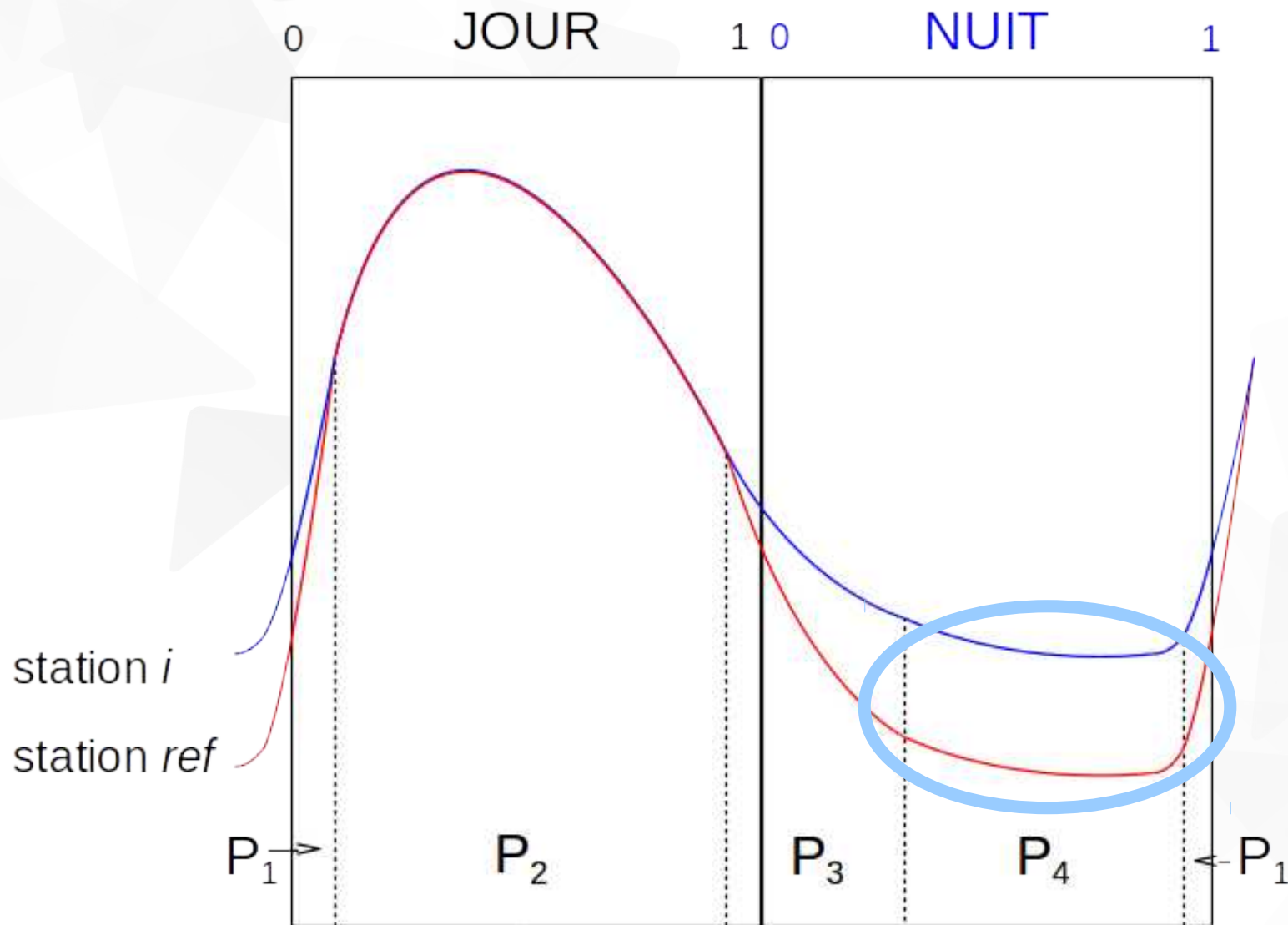
$ITLT^{(aut)} = 0,0016K \downarrow (P_C)$	$+ 6,3 \frac{1}{U(P_A) + 3,0}$	$+ 0,01T(P_C) - 0,095 \exp\left(\frac{N(P_B) - 6}{6}\right)$	$- 1,1$
$ITLT^{(hiv)} =$	$0,08 \exp(-U(P_B) + 3)$	$- 0,12N(P_A)$	$+ 0,64$
$ITLT^{(pri)} = 0,0011K \downarrow (P_C)$	$+ 11,0 \frac{1}{U(P_A) + 3,0}$	$+ 0,033T(P_D) - 0,12N(P_A)$	$- 2,3$
$ITLT^{(ete)} =$	$- 0,0083RH(P_D) - 0,36U(P_A)$	$- 0,13T(P_A)$	$+ 3,2$



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

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

Rappel de la méthode de reconstitution



Application

Données et outils nécessaires

✓ Données nécessaires

✓ *Données météorologiques* d'une station de référence

- ✓ *température de l'air;*
- ✓ *nébulosité;*
- ✓ *vitesse et direction du vent;*
- ✓ *rayonnement solaire descendant;*
- ✓ *humidité relative de l'air*

✓ *Données géographiques* pour le site de la station de référence et le quartier à modéliser :

- ✓ *BD Topographique (bâtiments et surfaces d'eau);*
 - *image satellitaire (ayant les bandes rouge et proche infra-rouge)*

Données et outils nécessaires

✓ Données nécessaires

✓ *Données météorologiques* d'une station de référence

- ✓ *température de l'air;*
- ✓ *nébulosité;*
- ✓ *vitesse et direction du vent;*
- ✓ *rayonnement solaire descendant;*
- ✓ *humidité relative de l'air*

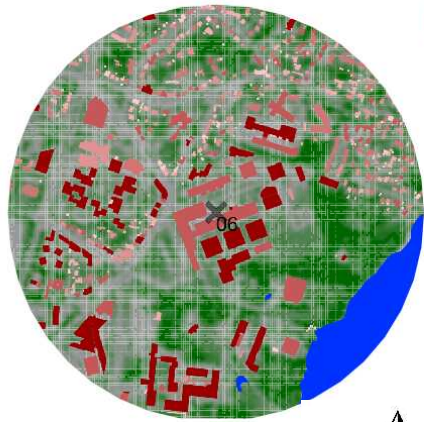
✓ *Données géographiques* pour le site de la station de référence et le quartier à modéliser :

- ✓ *BD Topographique (bâtiments et surfaces d'eau);*
- ✓ *image satellitaire (ayant les bandes rouge et proche infra-rouge)*

✓ Outils nécessaires





- ✓ QGIS;
- ✓ OrbisGIS;
- ✓ MorphoLim;
- ✓ Python.

Analyse des performances de la méthode proposée



500 m

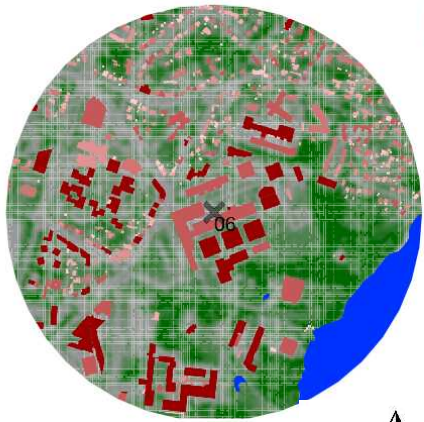


-  sol artificiel → végétation
-  bâtiment bas → bâtiment haut
-  surface d'eau
-  station TRH

Application





Analyse des performances de la méthode proposée

✓ Solution 1 : station Météo-France



500 m

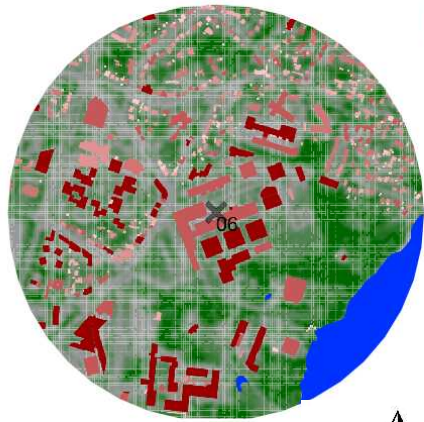


-  sol artificiel → végétation
-  bâtiment bas → bâtiment haut
-  surface d'eau
-  station TRH

Application





Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt



500 m



-  sol artificiel → végétation
-  bâtiment bas → bâtiment haut
-  surface d'eau
-  station TRH

Application





Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt
- ✓ Solution 3 : reconstitution à partir des résultats de la thèse



500 m



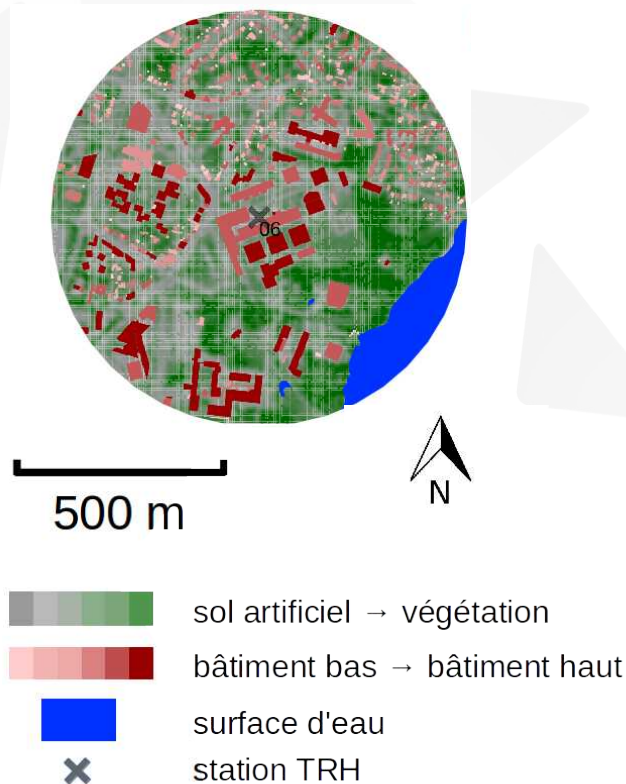
-  sol artificiel → végétation
-  bâtiment bas → bâtiment haut
-  surface d'eau
-  station TRH

Application

Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt
- ✓ Solution 3 : reconstitution à partir des résultats de la thèse

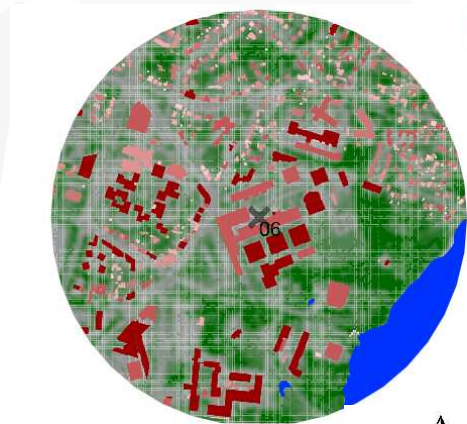
Référence pour comparer les performances des solutions : capteur sous abri (de bonne qualité) sur site pendant la période d'intérêt



Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt
- ✓ Solution 3 : reconstitution à partir des résultats de la thèse

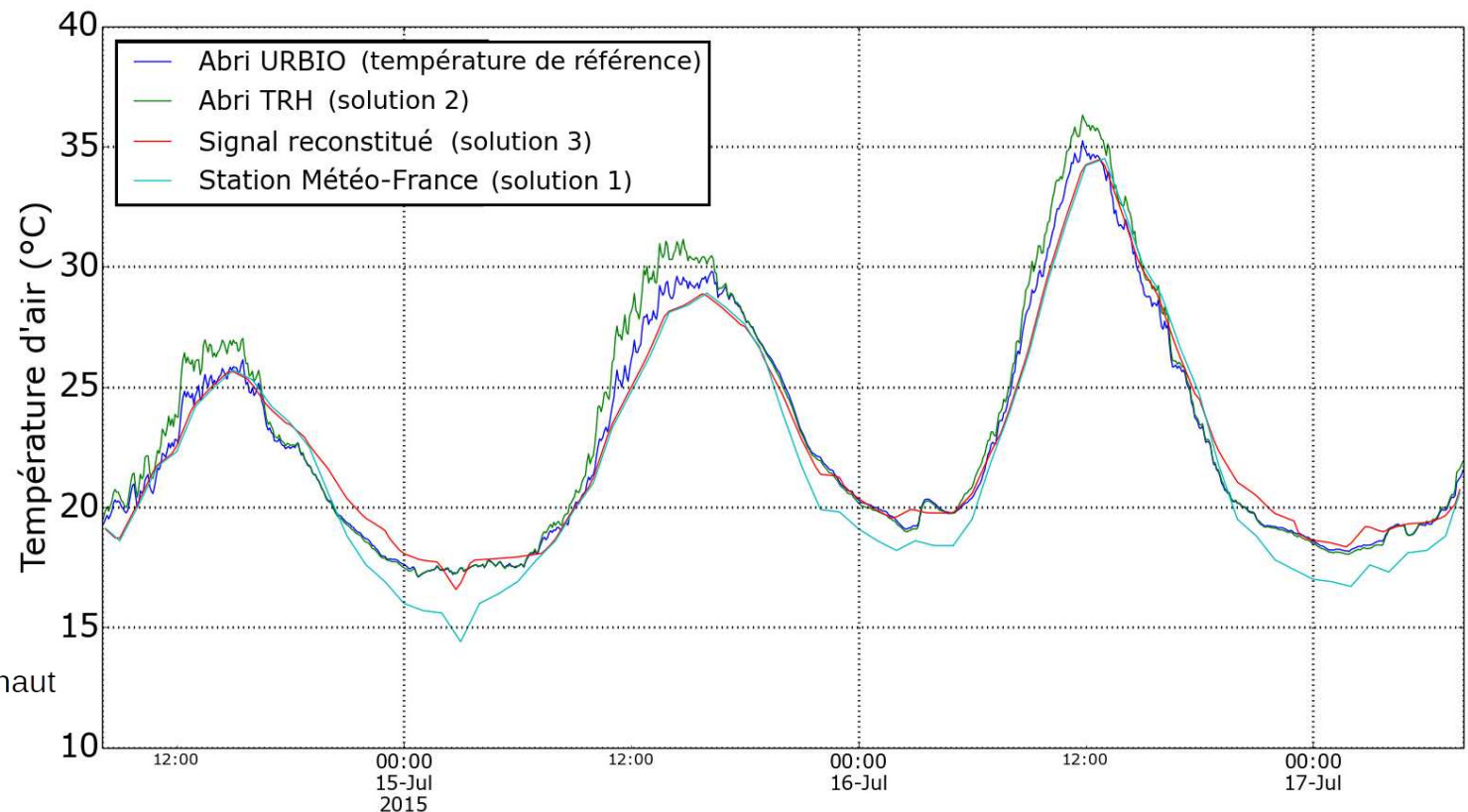
Référence pour comparer les performances des solutions : capteur sous abri (de bonne qualité) sur site pendant la période d'intérêt



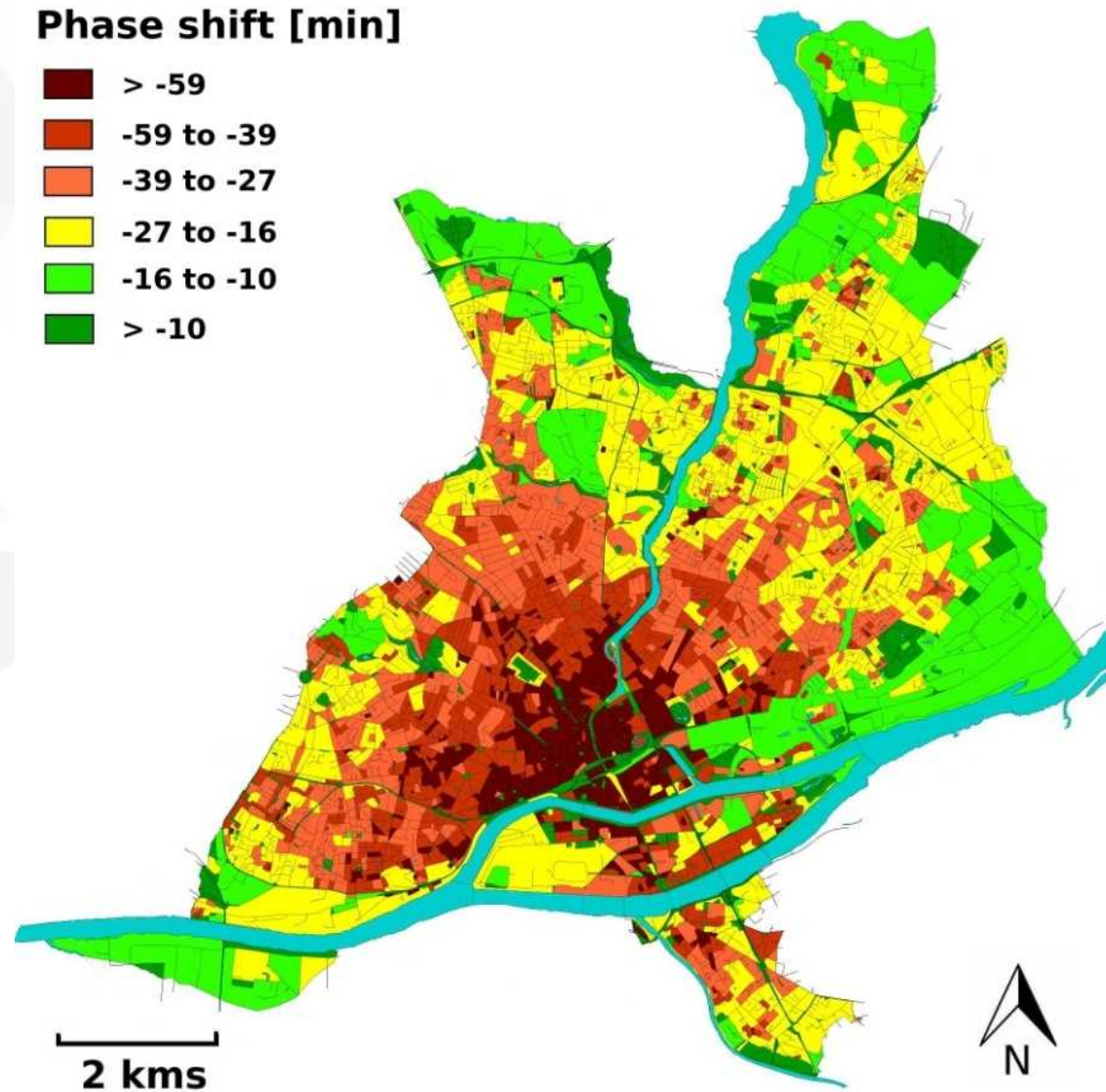
500 m



- sol artificiel → végétation
- bâtiment bas → bâtiment haut
- surface d'eau
- station TRH



Merci de votre attention ! Des questions ?





Journées Solene 2016

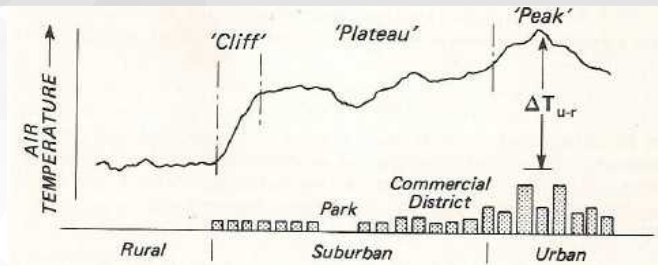
**Méthodologie de reconstitution de la
température d'air d'un site urbain à
partir de données météorologiques
de site rural et de données
géographiques**

Jérémy Bernard, doctorant au CRENAU et à l'IRSTV

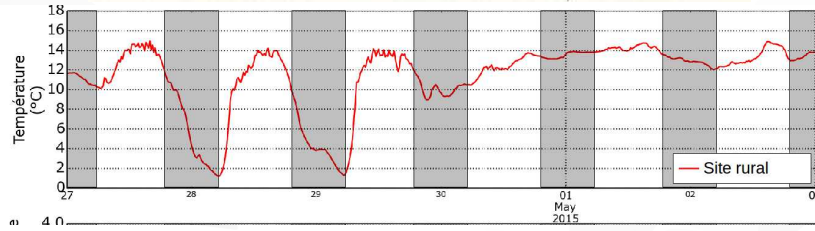
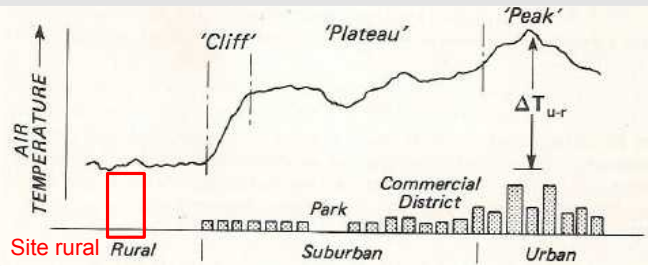
▼ *Thèse dirigée et encadrée par Marjorie Musy (CRENAU),
Isabelle Calmet (LHEEA) et Erwan Bocher (CNRS)*

1 décembre 2016

Reconstitution du signal de température d'air

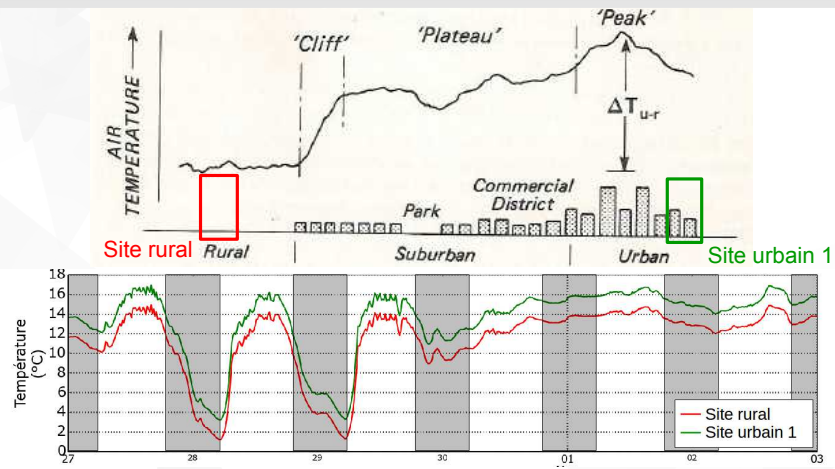


Reconstitution du signal de température d'air

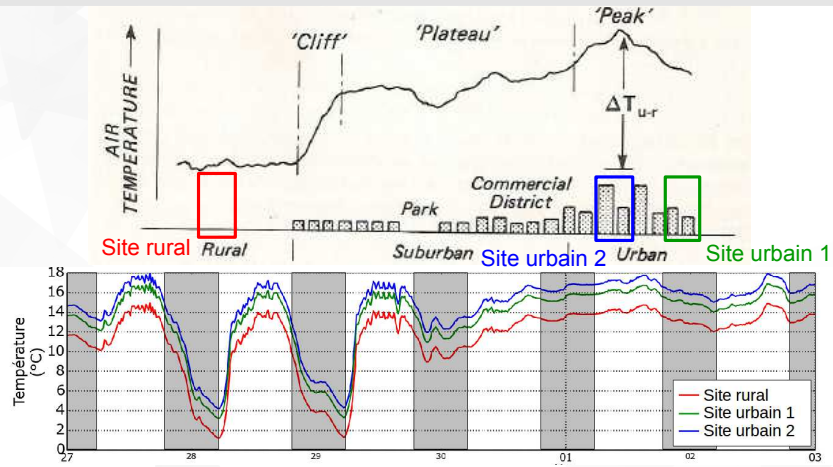


Objectif

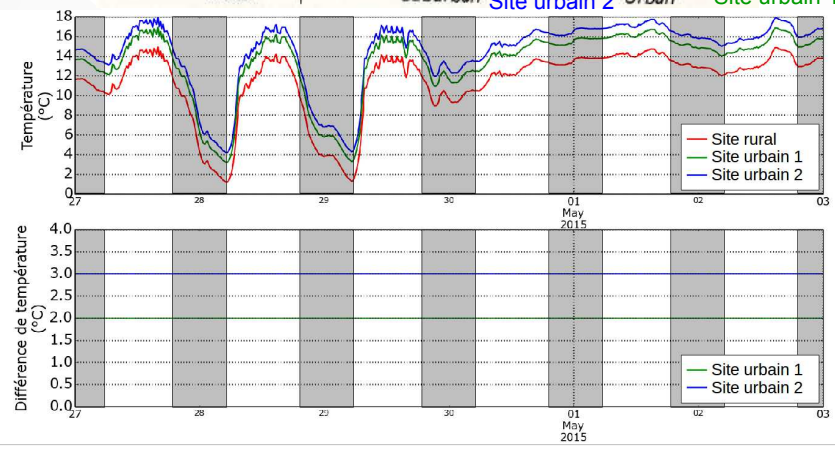
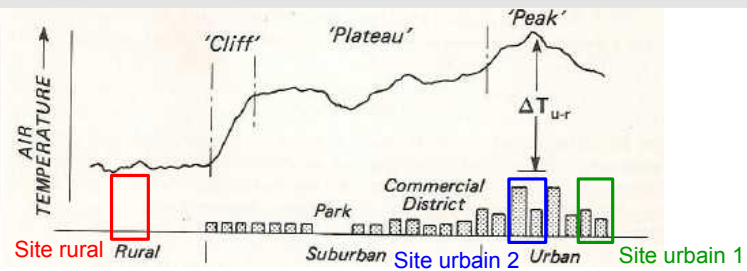
Reconstitution du signal de température d'air



Reconstitution du signal de température d'air

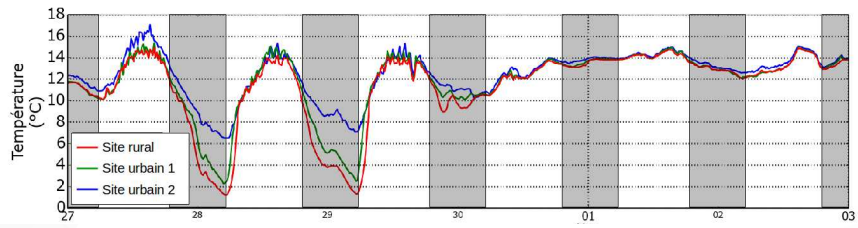


Reconstitution du signal de température d'air

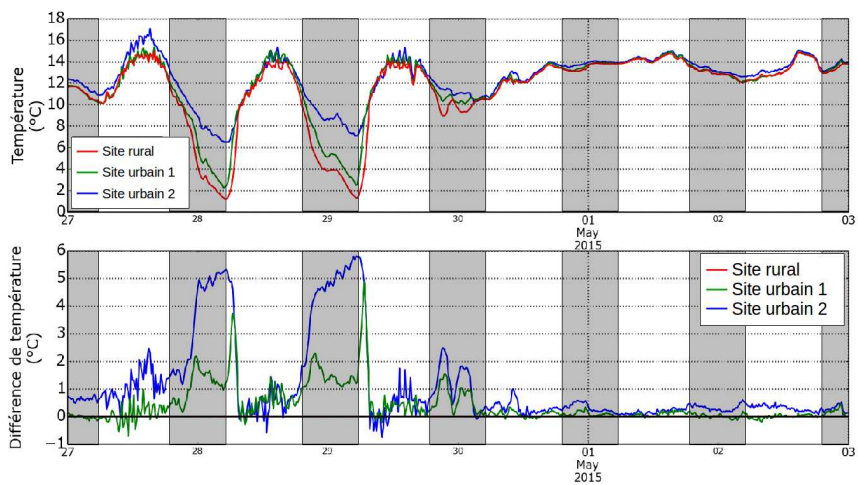


Objectif

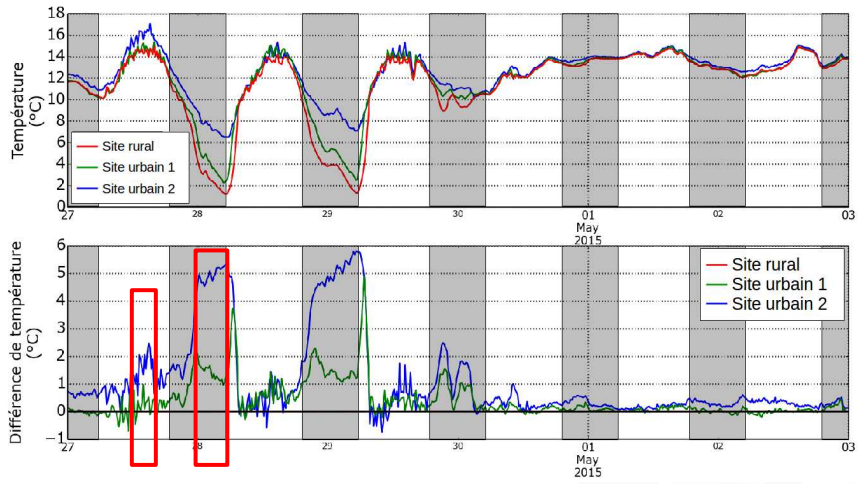
Reconstitution du signal de température d'air



Reconstitution du signal de température d'air

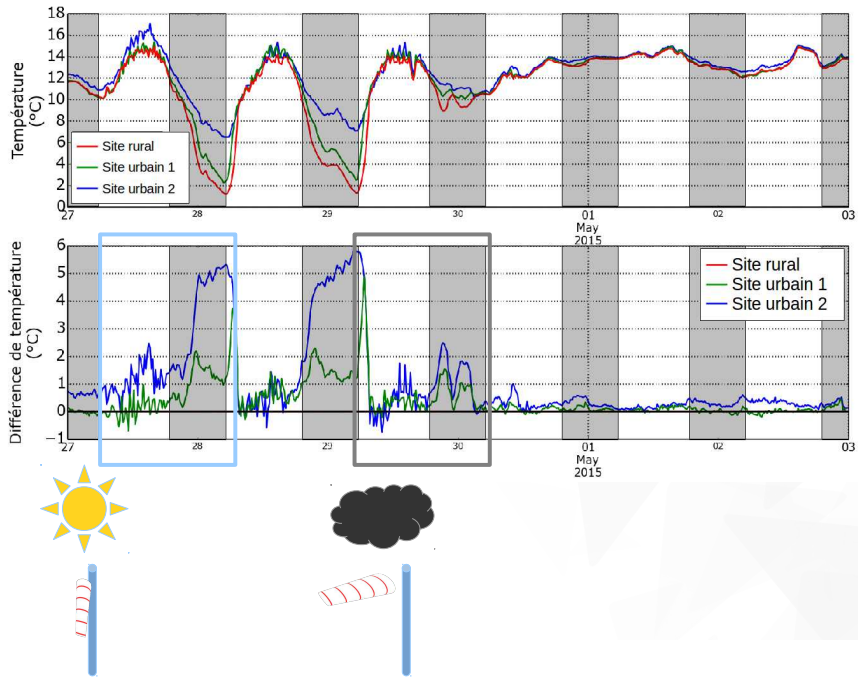


Reconstitution du signal de température d'air

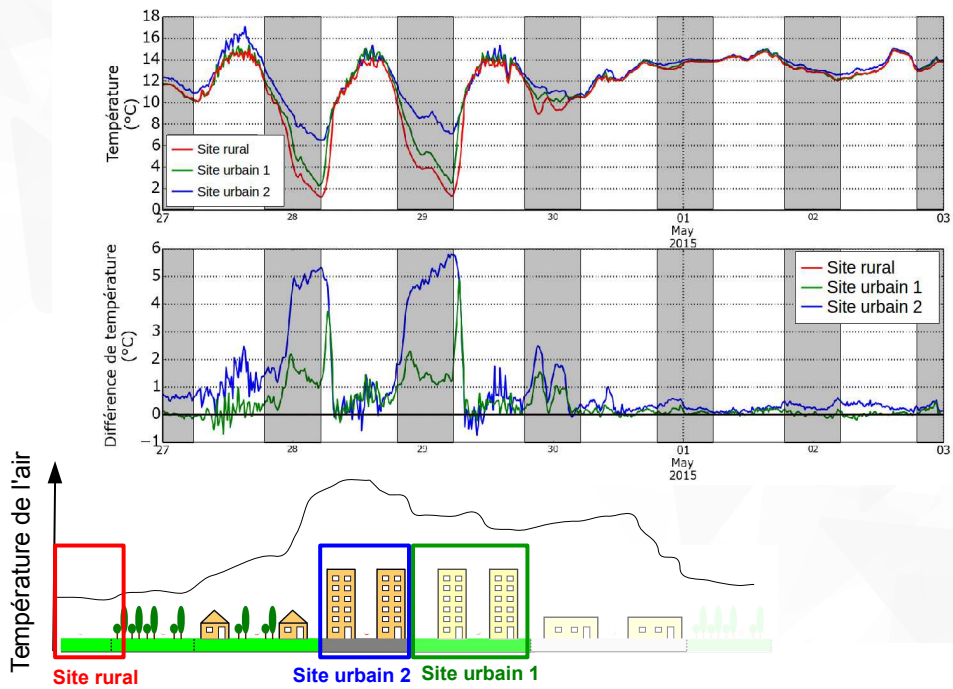


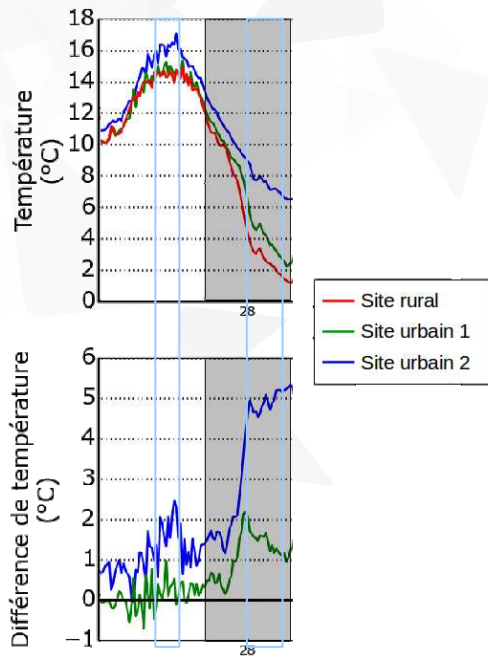
Des variations au sein du cycle diurne

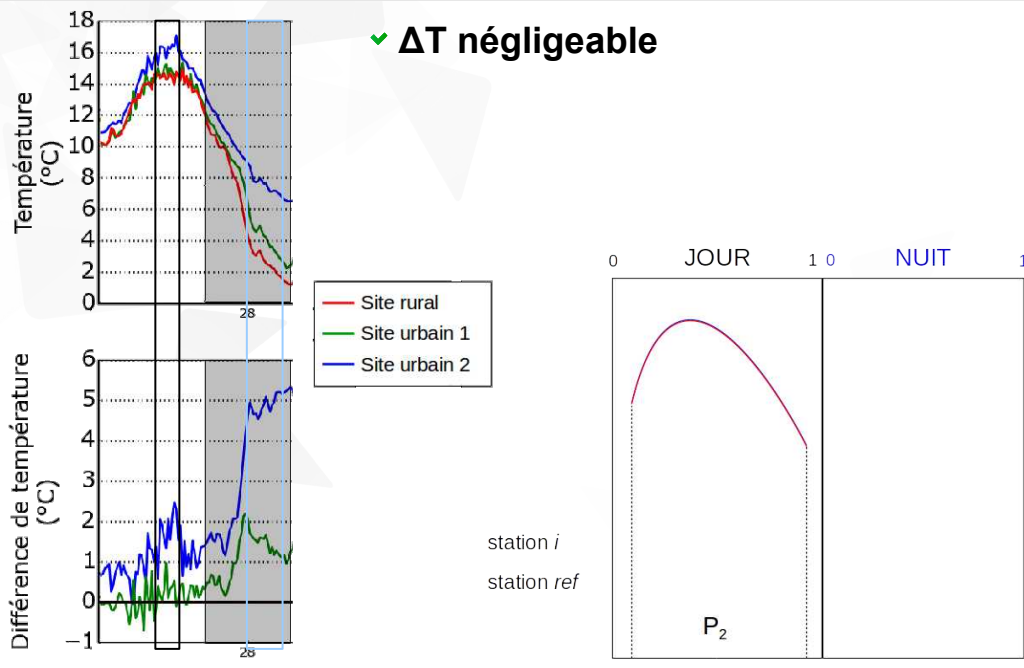
Reconstitution du signal de température d'air

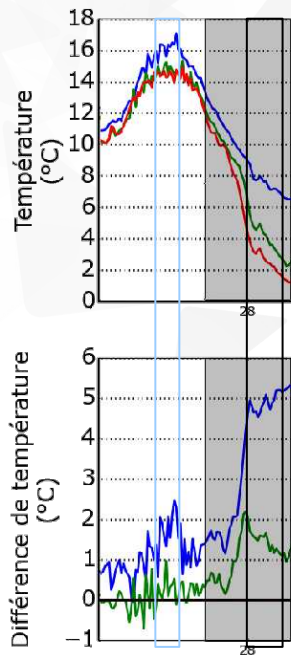


Reconstitution du signal de température d'air



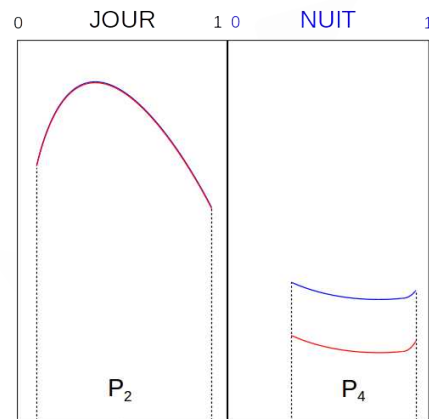




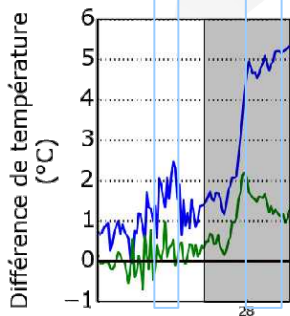
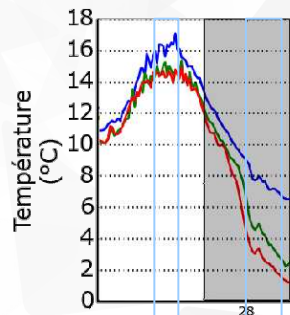


✓ ΔT négligeable

✓ Valeur de ΔT calculée pour chaque station i et chaque jour

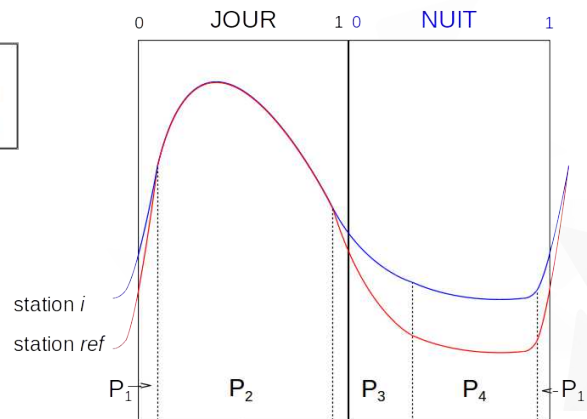


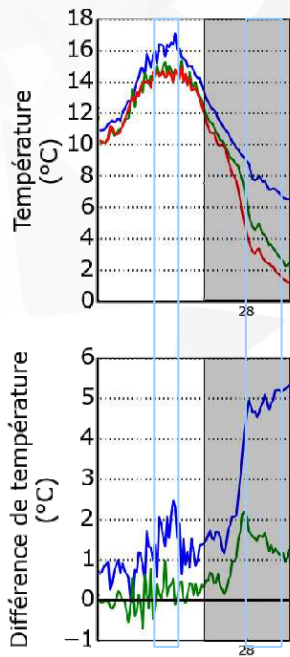
station i
station ref



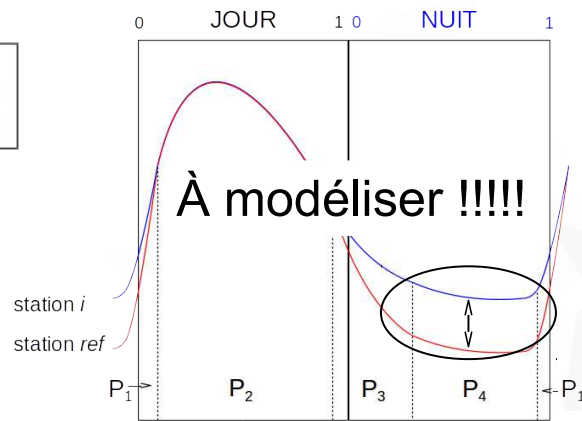
— Site rural
— Site urbain 1
— Site urbain 2

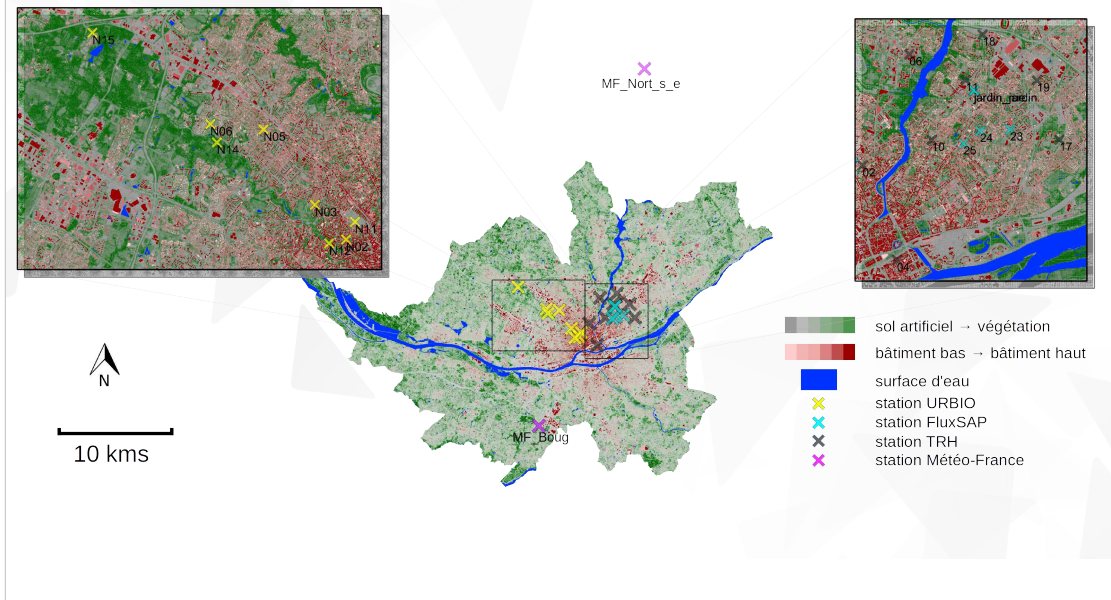
- ✓ ΔT négligeable
- ✓ Valeur de ΔT calculée pour chaque station i et chaque jour

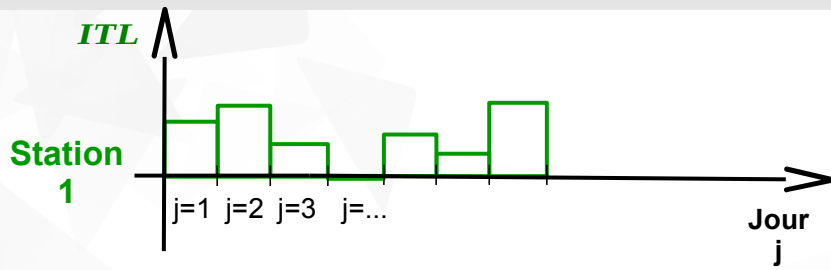


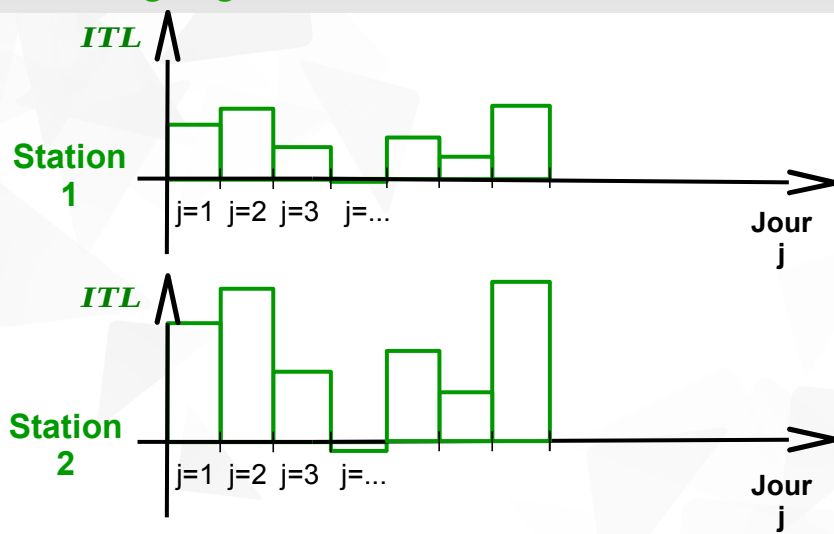


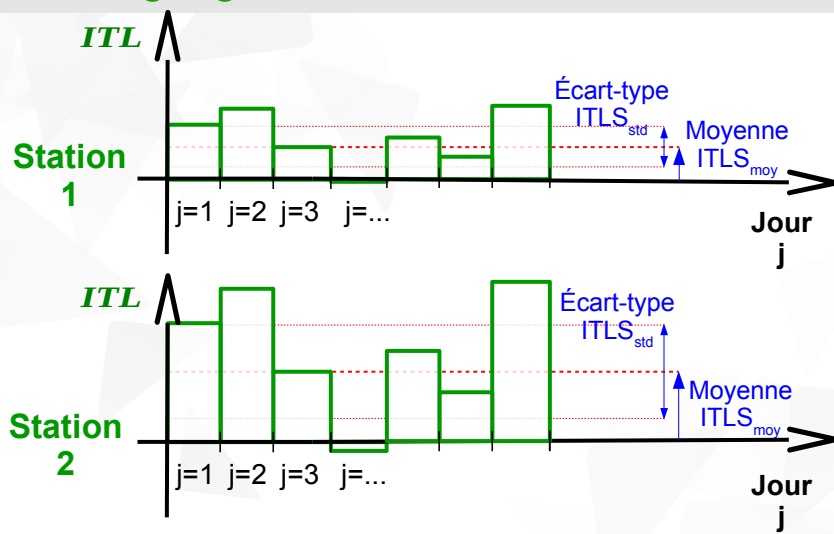
- ✓ ΔT négligeable
- ✓ Valeur de ΔT calculée pour chaque station i et chaque jour

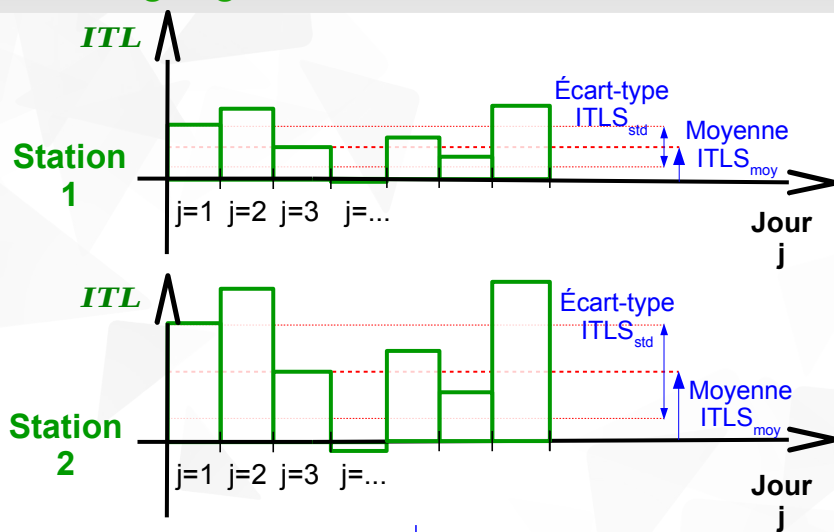




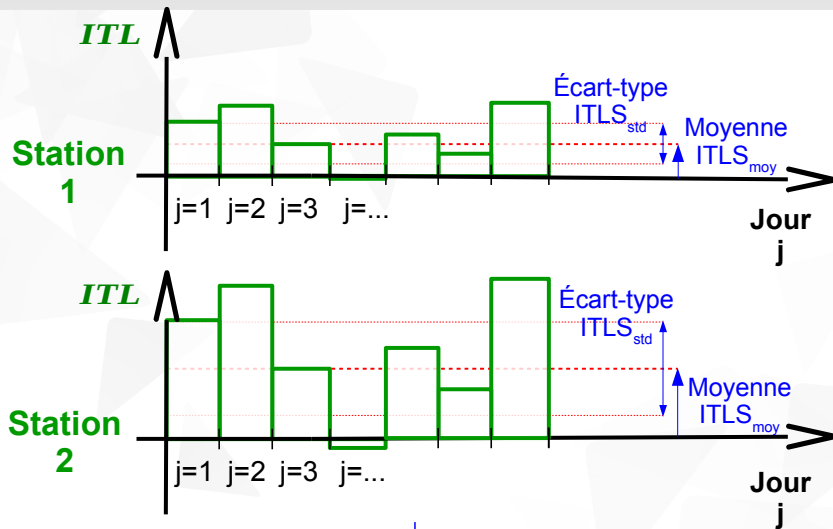






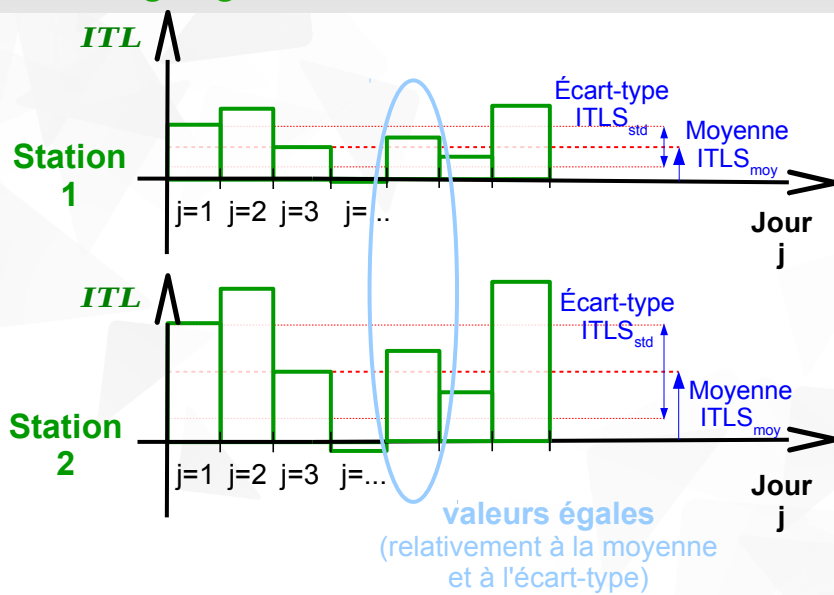


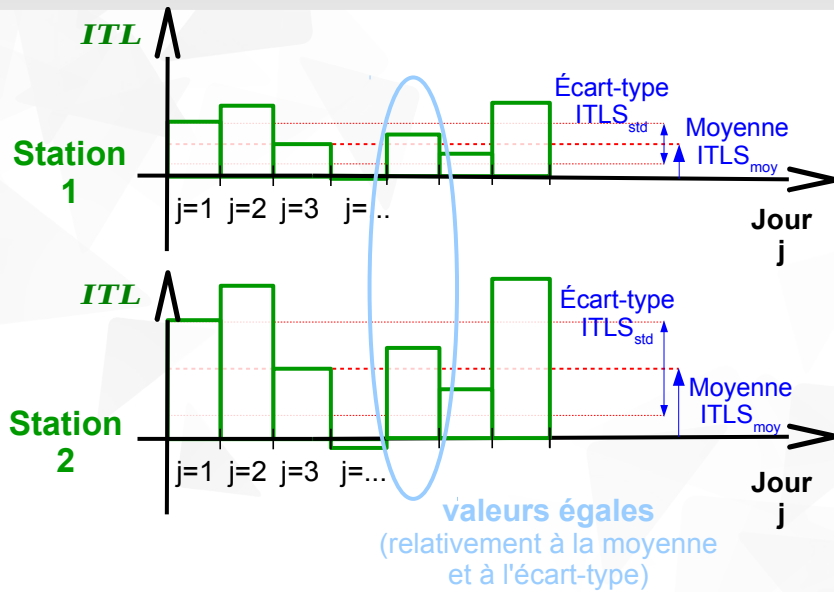
Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}
1	3,02	1,23
2	1,80	0,24
...



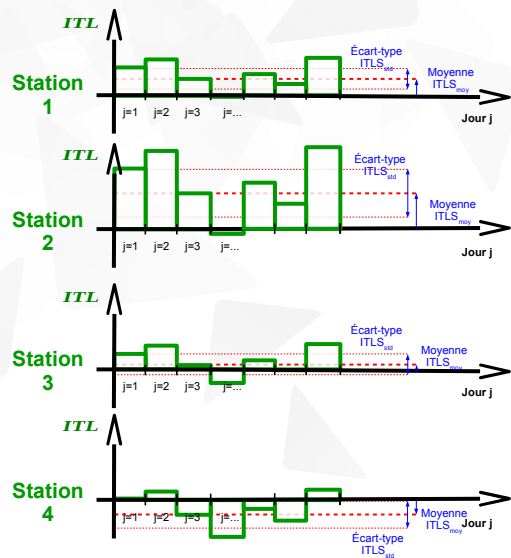
Variations spatiales !!

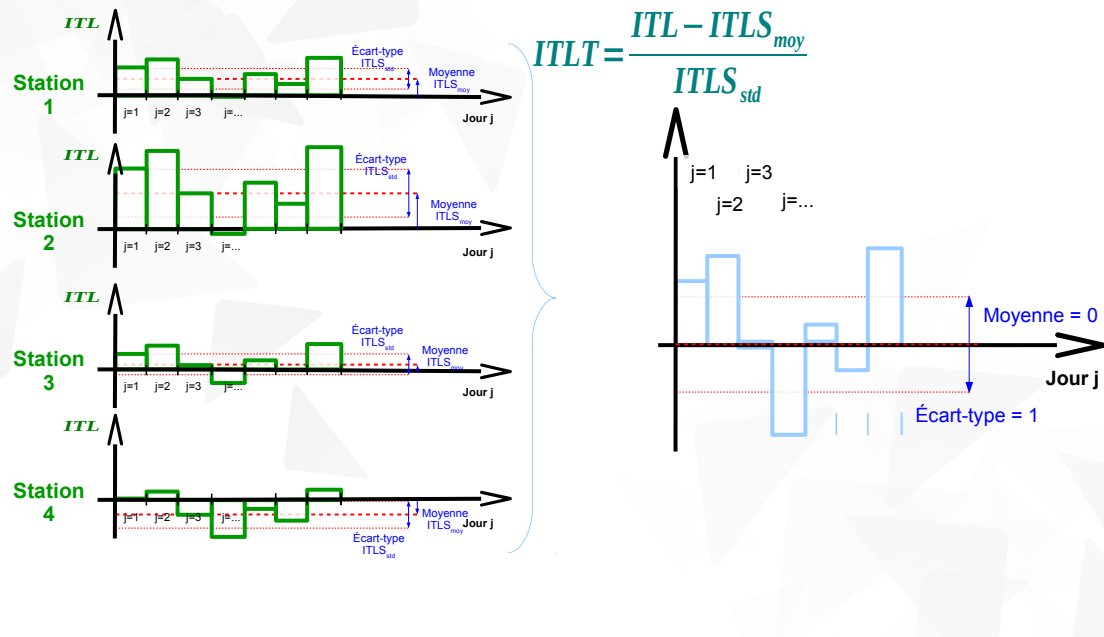
Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}
1	3,02	1,23
2	1,80	0,24
...

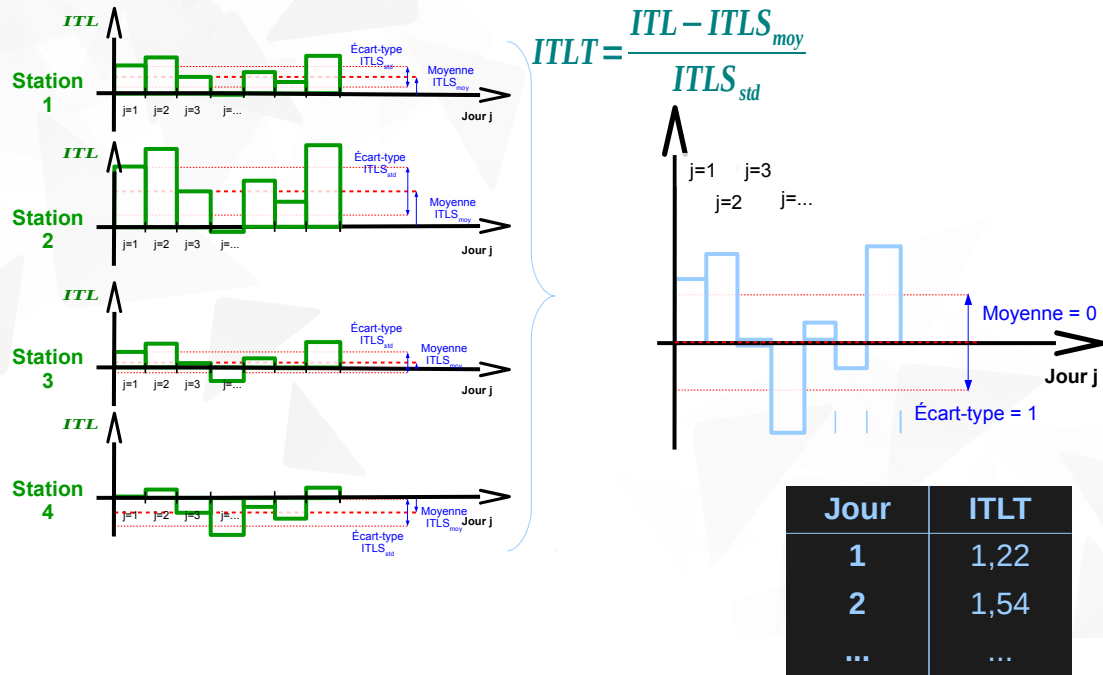


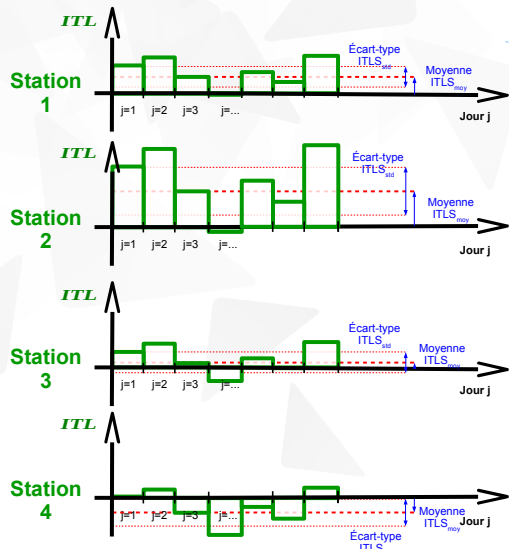


changement de variable : $ITLT = \frac{ITL - ITLS_{moy}}{ITLS_{std}}$

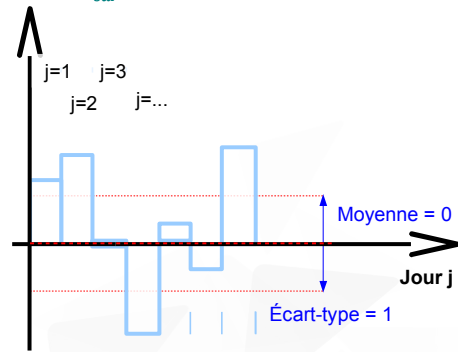








$$ITLT = \frac{ITL - ITLS_{moy}}{ITLS_{std}}$$



Variations temporelles !!

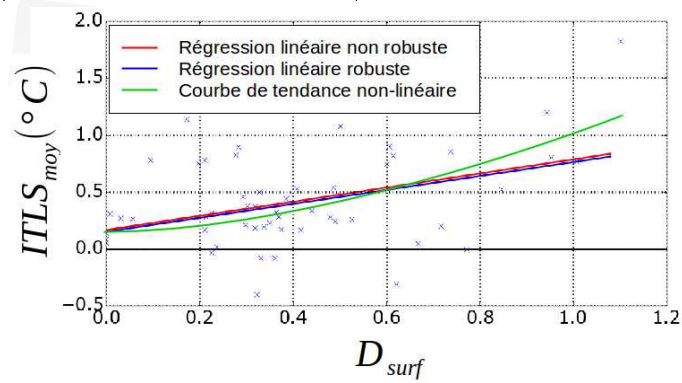
Jour	ITLT
1	1,22
2	1,54
...	...

Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}
1	3,02	1,23
2	1,80	0,24
3	2,15	1,03
...

Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}	D _{surf}	D _{bat}	...
1	3,02	1,23	2,80	0,62	70
2	1,80	0,24	1,51	0,32	123
3	2,15	1,03	1,35	0,14	128
...

Station	ITLS _{moy}	ITLS _{std}	D _{surf}	D _{bat}	...
1	3,02	1,23	2,80	0,62	70
2	1,80	0,24	1,51	0,32	123
3	2,15	1,03	1,35	0,14	128
...

Station	$ITLS_{moy}$	$ITLS_{std}$	D_{surf}	D_{bat}	...
1	3,02	1,23	2,80	0,62	70
2	1,80	0,24	1,51	0,32	123
3	2,15	1,03	1,35	0,14	128
...

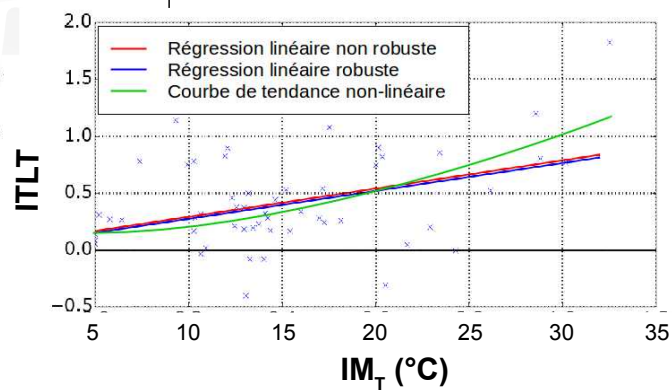


Jour	ITLT
1	3,02
2	1,80
3	2,15
...	...

Jour	ITLT	IM _N (octa)	IM _U (m/s)	IM _T (°C)	...
1	3,02	0,8	0,95	26,0	45
2	1,80	1,67	1,34	26,4	52
3	2,15	1,45	2,02	25,4	69
...

Jour	ITLT	IM _N (octa)	IM _U (m/s)	IM _T (°C)	...
1	3,02	0,8	0,95	26,0	45
2	1,80	1,67	1,34	26,4	52
3	2,15	1,45	2,02	25,4	69
...

Jour	ITLT	IM _N (octa)	IM _U (m/s)	IM _T (°C)	...
1	3,02	0,8	0,95	26,0	45
2	1,80	1,67	1,34	26,4	52
3	2,15	1,45	2,02	25,4	69
...



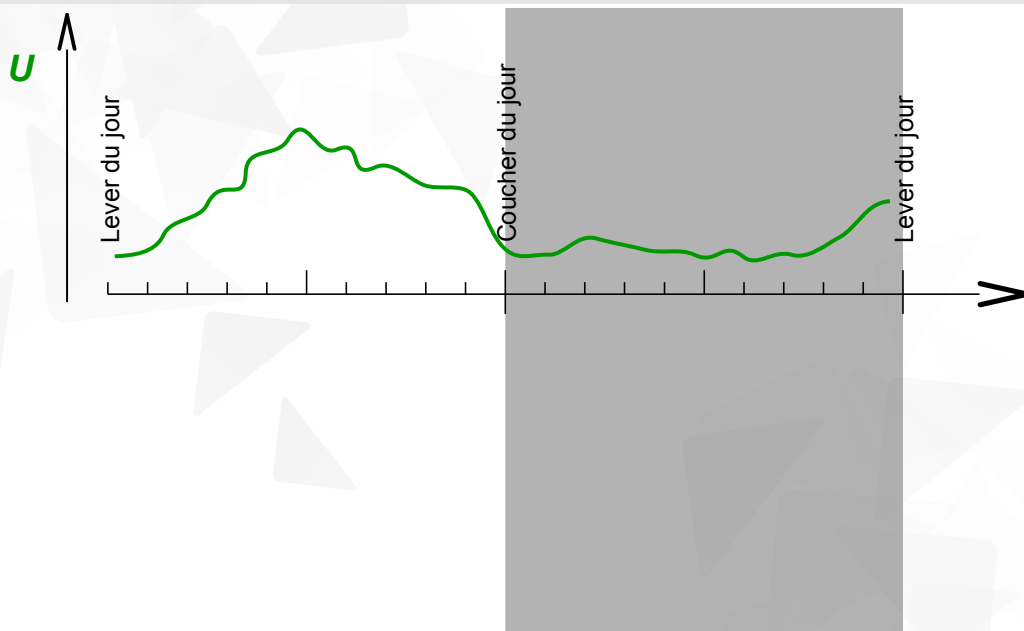


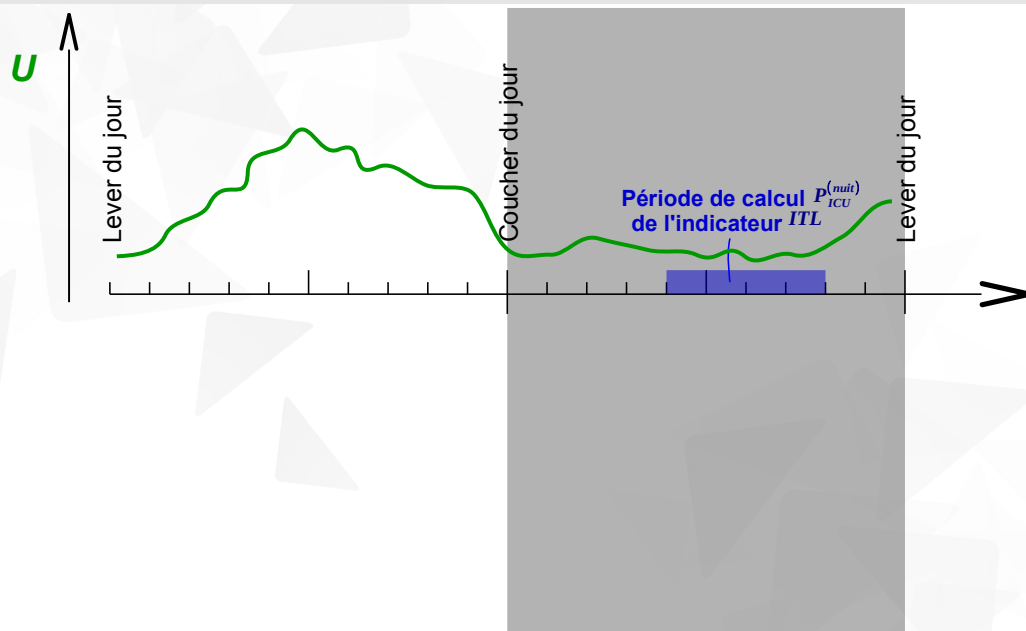
- ✓ Super... Mais c'est quoi tes indicateurs géographiques et tes indicateurs météorologiques...

Méthodologie

Calcul des indicateurs météorologiques

38

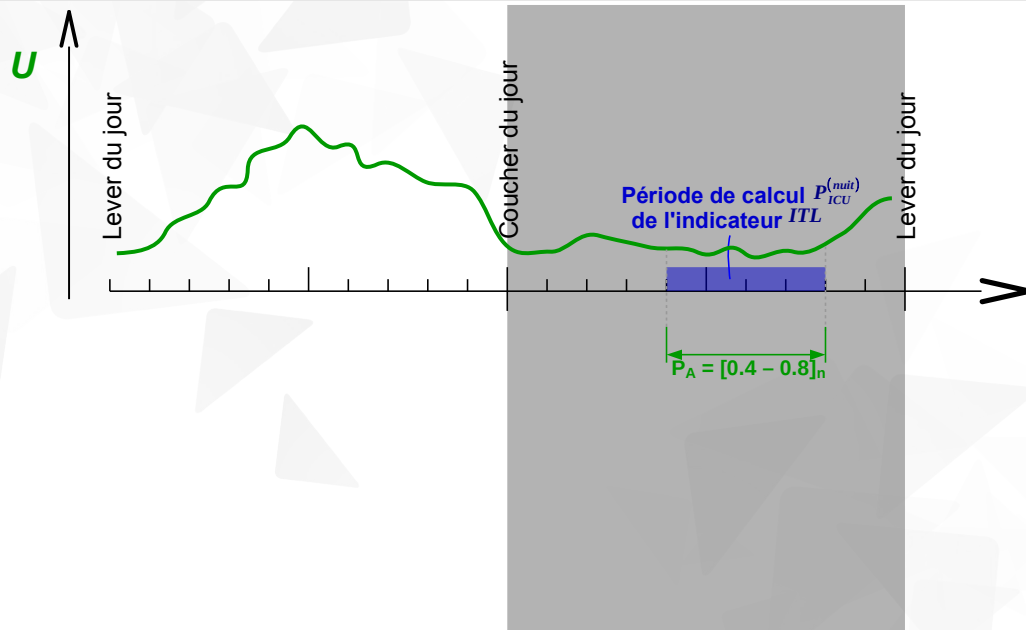




Méthodologie

Calcul des indicateurs météorologiques

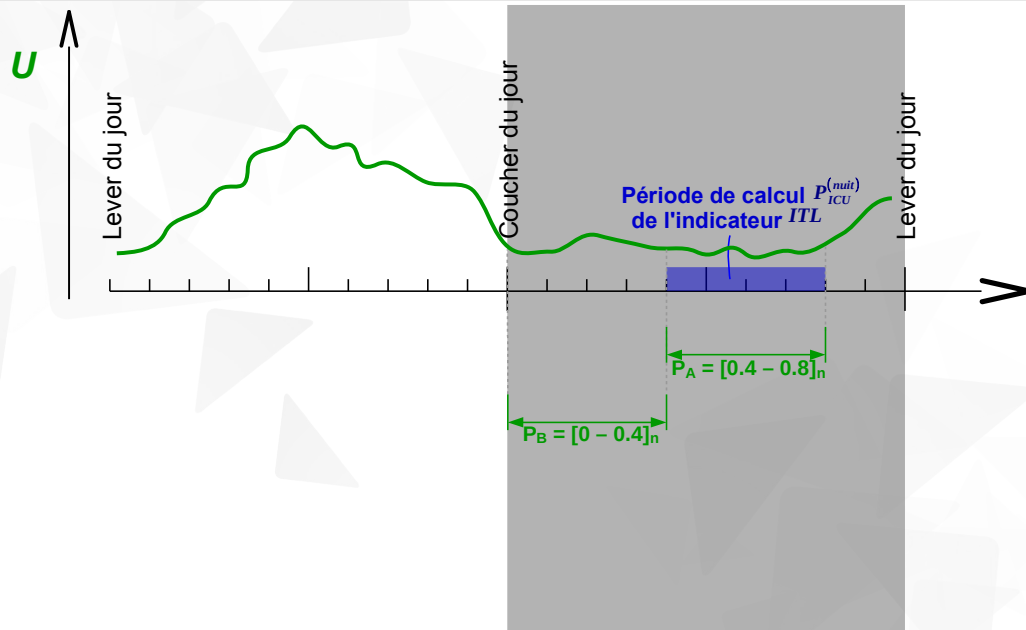
40



Méthodologie

Calcul des indicateurs météorologiques

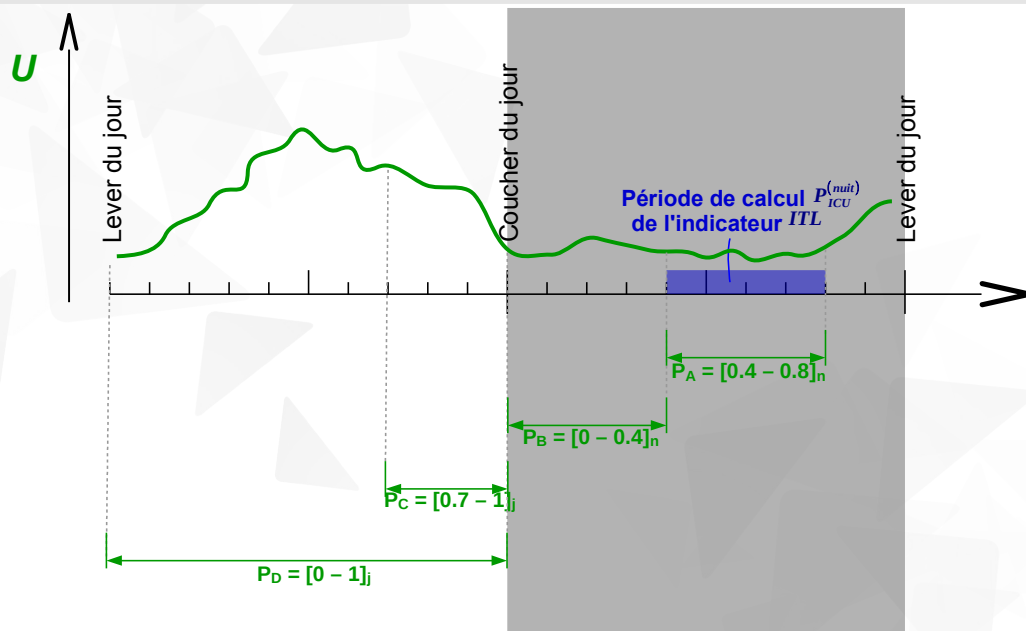
41



Méthodologie

Calcul des indicateurs météorologiques

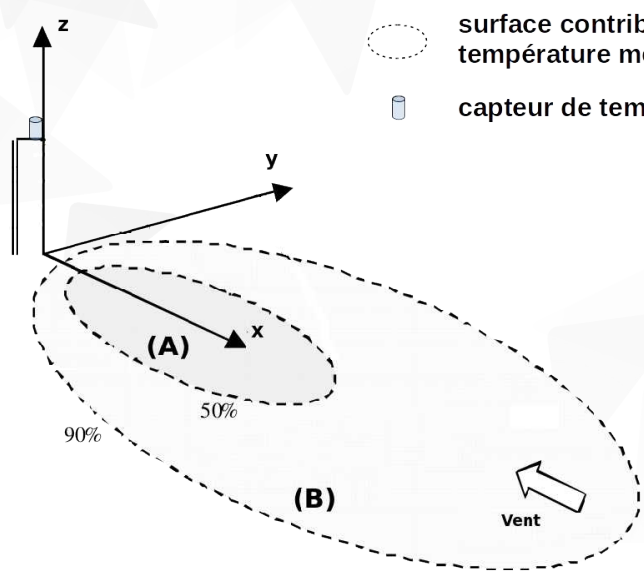
42



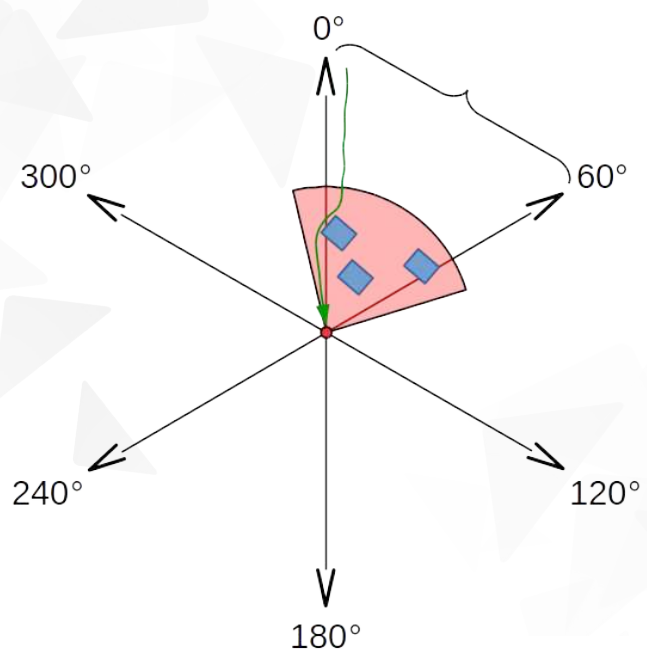
Surfaces contributives à la température mesurée

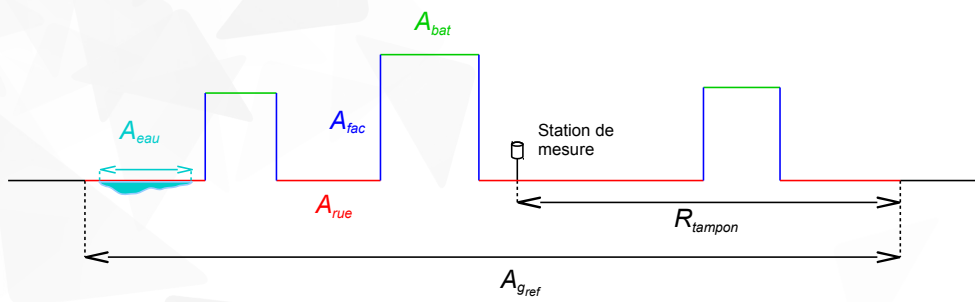
LÉGENDE :

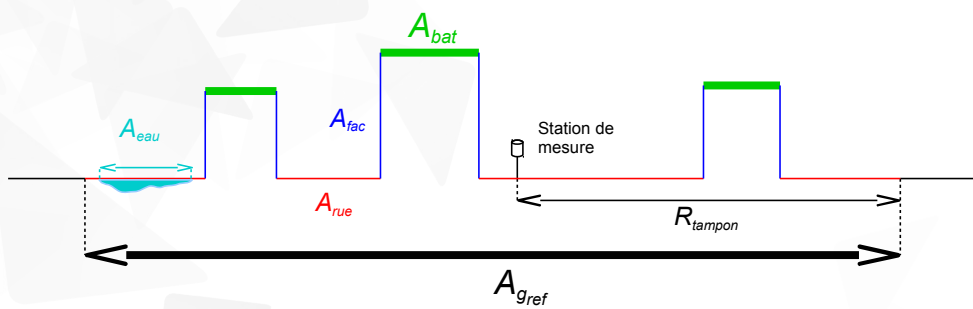
- ← direction du vent
- surface contributive à la température mesurée
- ⊡ capteur de température d'air



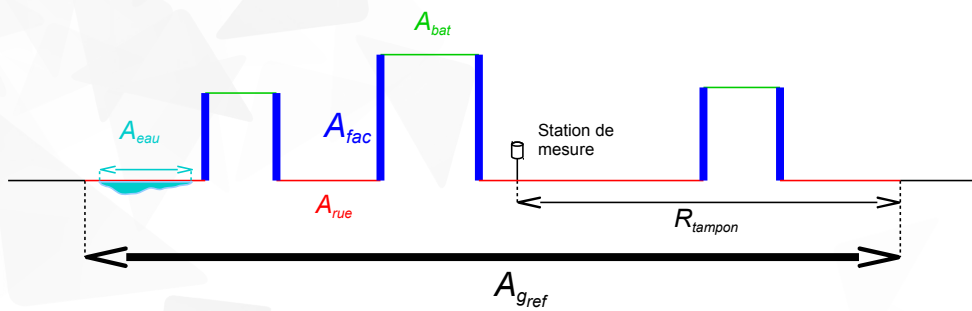
Surfaces contributives à la température mesurée



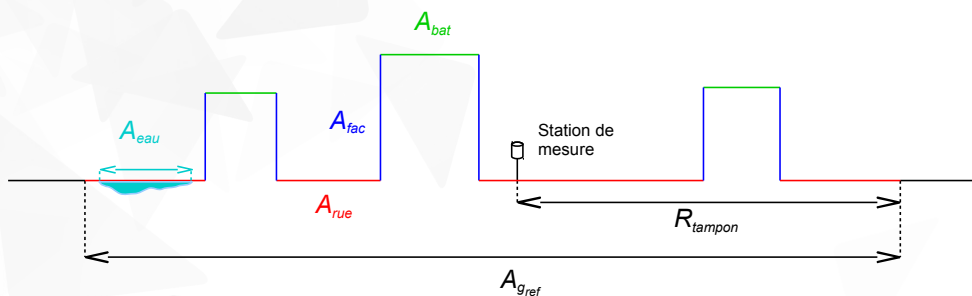




Sigle	Nom	Formule
D_{bat}	Densité de bâtiments	$\frac{A_{bat}}{A_{gref}}$



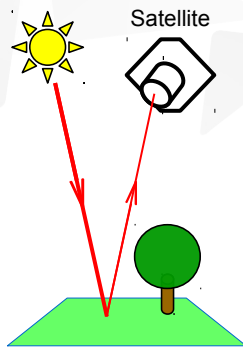
Sigle	Nom	Formule
D_{bat}	Densité de bâtiments	$\frac{A_{bat}}{A_{gref}}$
D_{fac}	Densité de façade	$\frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{gref}}$



Sigle	Nom	Formule
D_{bat}	Densité de bâtiments	$\frac{A_{bat}}{A_{gref}}$
D_{fac}	Densité de façade	$\frac{A_{fac}}{A_{fac} + A_{gref}}$
D_{surf}	Densité de surface totale	$\frac{A_{fac} + A_{gref}}{A_{fac}}$
D_{eau}	Densité de surface en eau	$\frac{A_{eau}}{A_{gref}}$

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

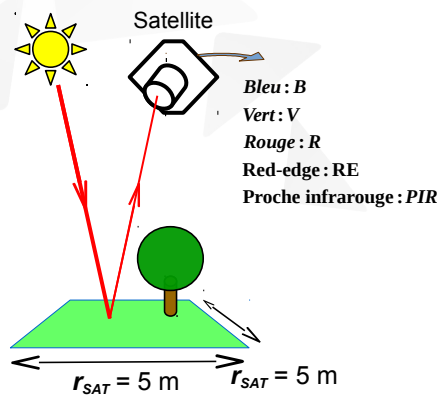
Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)



Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

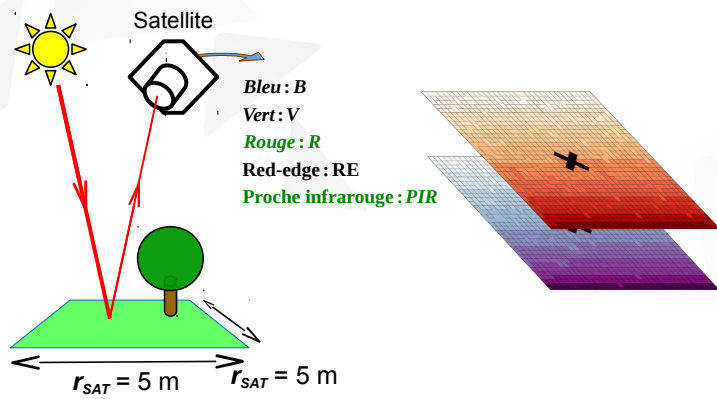


Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

52

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

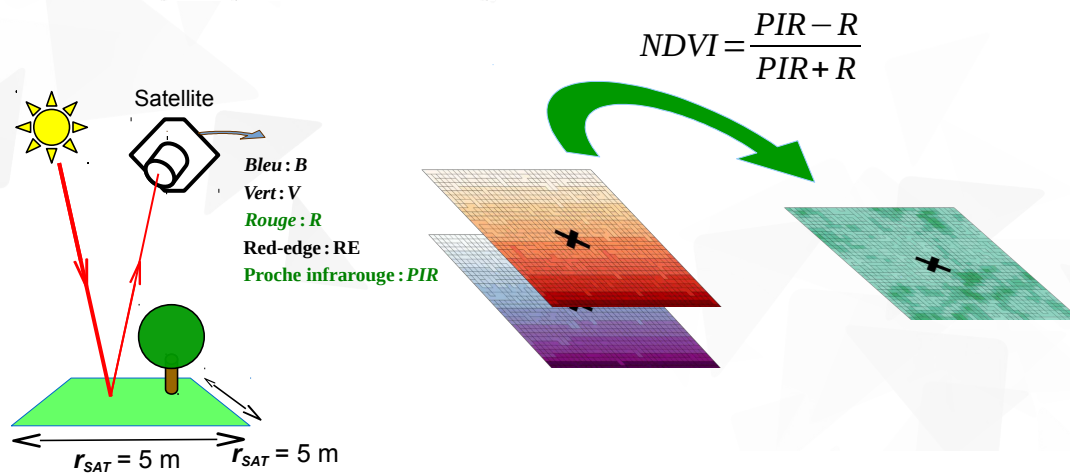


Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

53

Sigle	Nom
NDVI	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

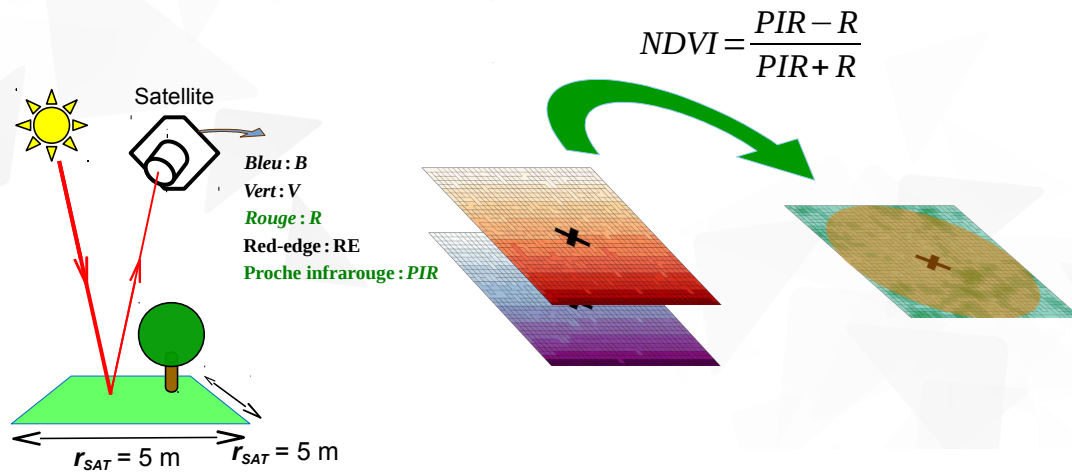


Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques

54

Sigle	Nom
<i>NDVI</i>	Indice de végétation par différences normalisées (NDVI)

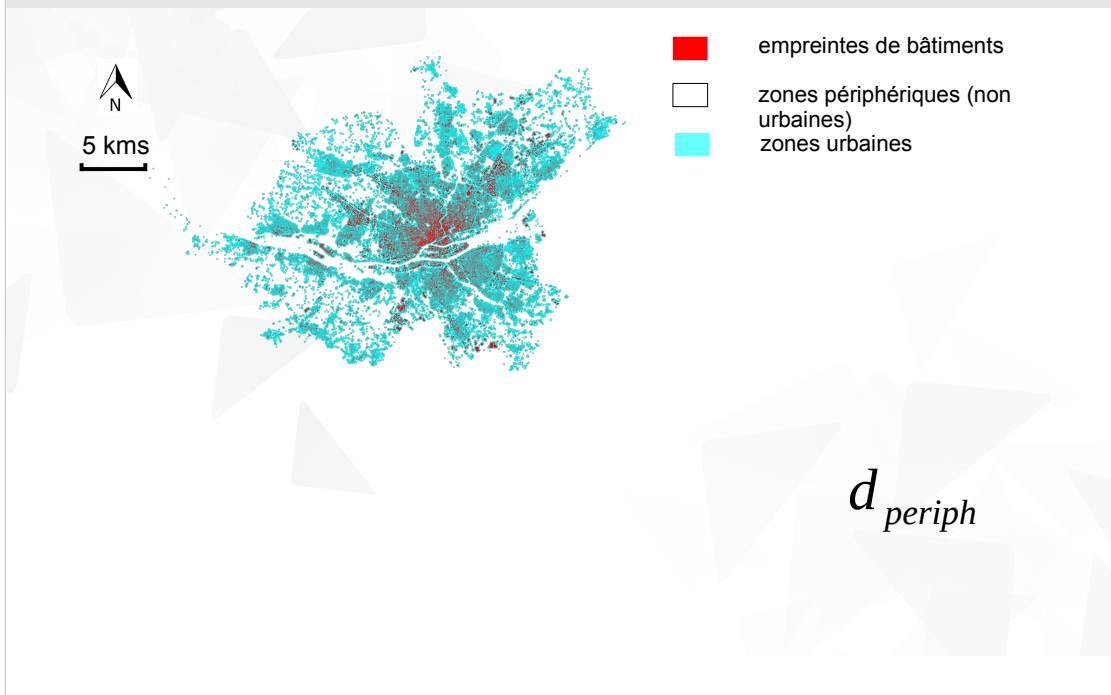




d_{periph}

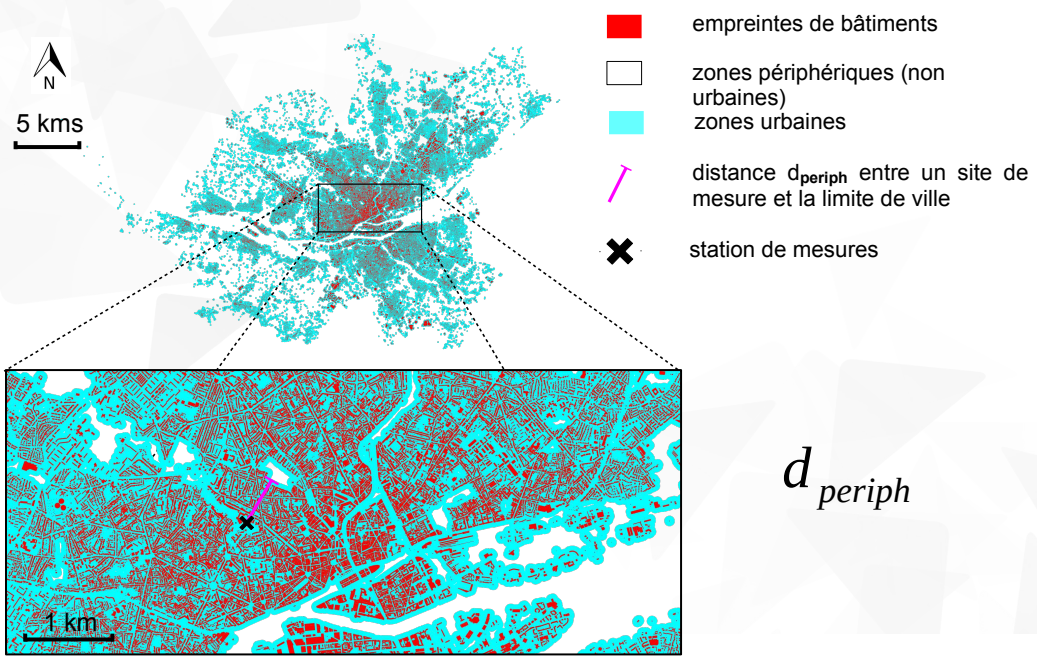
Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques



Méthodologie

Calcul des indicateurs géographiques



Résultats

Modèles pour l'indicateur diurne

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

Résultats

Modèles pour l'indicateur diurne

59

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

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

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

Résultats

Modèles pour l'indicateur diurne

$ITLT^{(aut)} = 0,0016K \downarrow (P_C)$	$+ 6,3 \frac{1}{U(P_A) + 3,0}$	$+ 0,01T(P_C) - 0,095 \exp\left(\frac{N(P_B) - 6}{6}\right)$	-1, 1
$ITLT^{(hiv)} =$	$0,08 \exp(-U(P_B) + 3)$	$- 0,12N(P_A)$	+0, 64
$ITLT^{(pri)} = 0,0011K \downarrow (P_C)$	$+ 11,0 \frac{1}{U(P_A) + 3,0}$	$+ 0,033T(P_D) - 0,12N(P_A)$	-2, 3
$ITLT^{(ete)} =$	$-0,0083RH(P_D) - 0,36U(P_A)$	$- 0,13T(P_A)$	+3, 2

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

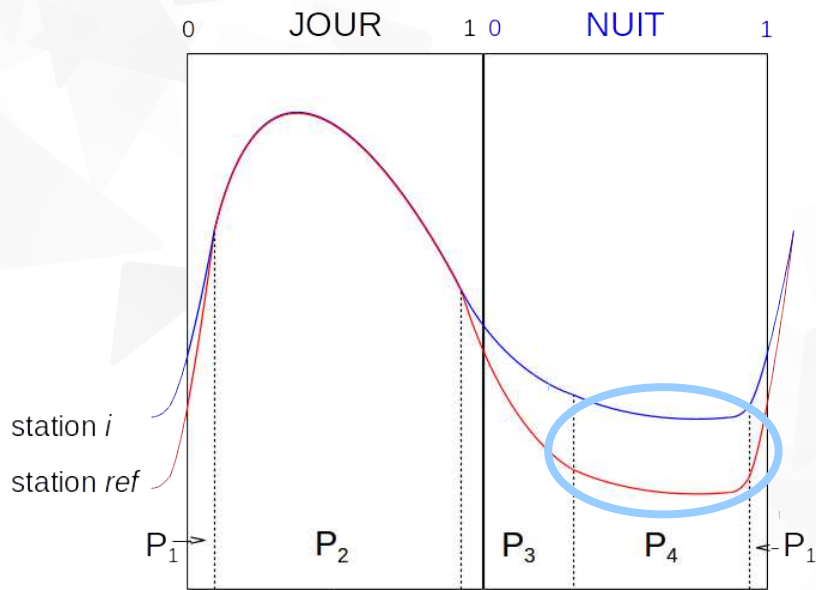
$ITLS_{moy}^{(aut)} = 5,3x_{D_{fac}}$		$+ 0,15 \ln(d_{periph} + 1) - 0,057x_{NDVI}$	$- 5,5x_{D_{bat}} - 0,39$
$ITLS_{moy}^{(hiv)} =$	$2,0x_{D_{sur}}$	$+ 0,12 \ln(d_{periph} + 1) - 0,027x_{NDVI}$	$- 4,0x_{D_{bat}} - 0,2$
$ITLS_{moy}^{(pri)} =$	$3,3x_{D_{cou}}$	$- 0,051x_{NDVI}$	$+ 0,031$
$ITLS_{moy}^{(ete)}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



Application

Rappel de la méthode de reconstitution

61



✓ **Données nécessaires**

- ✓ *Données météorologiques d'une station de référence*
 - ✓ *température de l'air;*
 - ✓ *nébulosité;*
 - ✓ *vitesse et direction du vent;*
 - ✓ *rayonnement solaire descendant;*
 - ✓ *humidité relative de l'air*

- ✓ *Données géographiques pour le site de la station de référence et le quartier à modéliser :*
 - ✓ *BD Topographique (bâtiments et surfaces d'eau);*
 - *image satellitaire (ayant les bandes rouge et proche infra-rouge)*

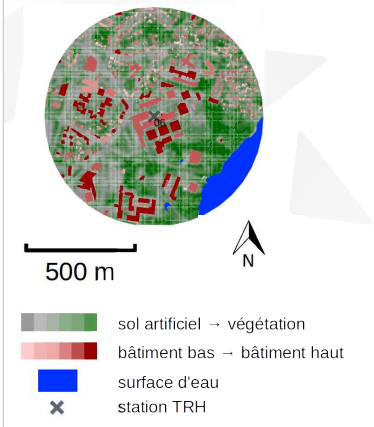
✓ **Données nécessaires**

- ✓ *Données météorologiques d'une station de référence*
 - ✓ *température de l'air;*
 - ✓ *nébulosité;*
 - ✓ *vitesse et direction du vent;*
 - ✓ *rayonnement solaire descendant;*
 - ✓ *humidité relative de l'air*

- ✓ *Données géographiques pour le site de la station de référence et le quartier à modéliser :*
 - ✓ *BD Topographique (bâtiments et surfaces d'eau);*
 - ✓ *image satellitaire (ayant les bandes rouge et proche infra-rouge)*

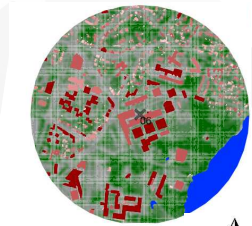
✓ **Outils nécessaires**

- ✓ QGIS;
- ✓ OrbisGIS;
- ✓ MorphoLim;
- ✓ Python.



Analyse des performances de la méthode proposée

✓ Solution 1 : station Météo-France



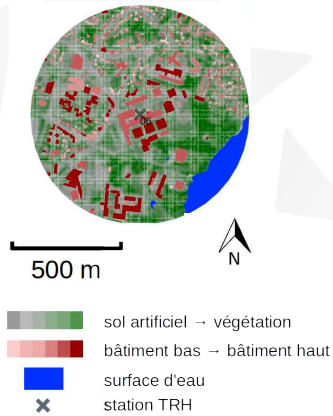
500 m



- sol artificiel – végétation
- bâtiment bas – bâtiment haut
- surface d'eau
- x station TRH

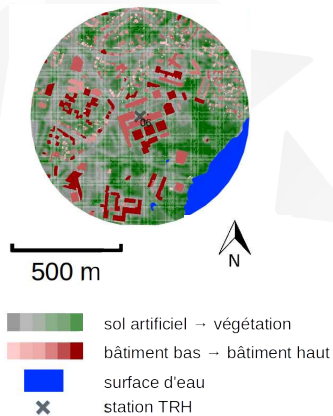
Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt



Analyse des performances de la méthode proposée

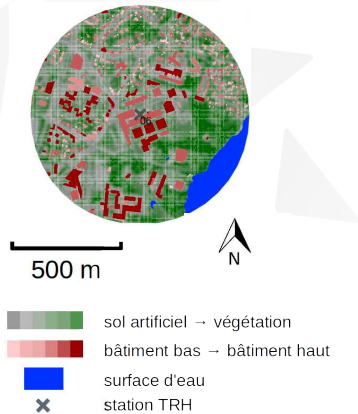
- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt
- ✓ Solution 3 : reconstitution à partir des résultats de la thèse



Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt
- ✓ Solution 3 : reconstitution à partir des résultats de la thèse

Référence pour comparer les performances des solutions : capteur sous abri (de bonne qualité) sur site pendant la période d'intérêt



Analyse des performances de la méthode proposée

- ✓ Solution 1 : station Météo-France
- ✓ Solution 2 : capteur sous abri (de qualité moyenne) sur site pendant la période d'intérêt
- ✓ Solution 3 : reconstitution à partir des résultats de la thèse

Référence pour comparer les performances des solutions : capteur sous abri (de bonne qualité) sur site pendant la période d'intérêt

