

SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE DU BÂTIMENT

et résultats escomptés

23/09/2021 datum

Isabelle Bruyère

Gestionnaire de projet - MATRIciel



Table des matières

- 1. Simulations dynamiques
Définition, objectifs
- 2. Possibilités offertes
 - 2.1 Données météo
 - 2.2 Modulation de l'occupation
 - 2.3 Evaluation du confort d'été
 - 2.4 Ventilation naturelle
 - 2.5 « Free » cooling mécanique
 - 2.6 Confort d'hiver
 - 2.7 Confort local

1. Simulation dynamique - définition ?

- Calcul de l'évolution temporelle de l'état thermique d'un bâtiment
- Sur base d'un modèle numérique détaillé
- Intégrant les différents comportements thermiques de ses composants :
 - convection, conduction, rayonnement des parois
 - ventilation
 - Apports solaires
 - apports de chaleur liés à l'occupation (personnes, éclairage artificiel, équipements informatiques et autres,...)
 - Chauffage et refroidissement

1. Simulation dynamique – objectif ?

- Outils d'aide à la décision

ARCHITECTURE :

- Orientation
- Compacité
- Surface d'ouverture des fenêtres
- Isolation
- Performance des fenêtres
- Protection solaire
- ...

TECHNIQUES influençant la demande d'énergie (voire la consommation) :

- Ventilation hygiénique
- Ventilation intensive
- Puits canadien, géothermie
- ...

1. Simul. dynamique / calcul PEB ?

Calcul PEB consommation en énergie primaire annuelle

= somme :

- consommations mensuelles de chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, auxiliaires
- productions en énergie primaire : photovoltaïque et cogénération.

$$\text{Eq. 132 } E_{\text{char ann prim en cons}} = \sum_{m=1}^{12} (E_{p,\text{heat},m} + E_{p,\text{water},m} + E_{p,\text{aux},m} + E_{p,\text{cool},m} - E_{p,\text{pv},m} - E_{p,\text{cogen},m}) \quad (\text{MJ})$$

(Source : arrêté Exigences - Annexe PER)

1. Simul. dynamique / calcul PEB ?

Calcul PEB sur base de valeurs moyennes , exemples :

- T° extérieure moyenne mensuelle
- T° intérieure moyenne selon la fonction
- Débit de ventilation hygiénique (besoins de chauffage) fonction du volume de l'unité
- Besoins nets en ECS fonction du volume de l'unité

Le coefficient de transfert thermique total par transmission					45,47 W/K								
Calcul	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Consommation d'EP pour le chauffage (et l'humidification)	2.477,16	1.632,73	809,37	121,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,21	1.236,28	2.502,33	8.860,21
Consommation d'EP pour le refroidissement (MJ)	0,00	0,00	33,17	115,71	409,41	768,02	983,07	928,34	426,83	86,08	0,00	0,00	3.750,64
Consommation d'EP pour l'ECS (MJ)	801,67	725,28	773,41	723,86	737,85	710,82	732,92	732,92	711,93	743,85	759,09	801,75	8.955,36
Economie d'EP par le photovoltaïque (MJ)	-166,13	-281,48	-510,31	-735,27	-973,88	-1.000,15	-977,57	-887,88	-670,85	-424,64	-208,60	-129,51	-6.966,26
Consommation d'EP pour les auxiliaires (MJ)	681,17	602,04	643,91	598,76	606,79	586,55	606,10	606,10	586,55	618,24	638,21	682,63	7.457,04
Economie d'EP par la cogénération (MJ)	-1.652,11	-1.192,22	-738,74	-364,58	-310,91	-299,20	-308,36	-308,36	-299,76	-353,14	-965,10	-1.666,71	-8.459,18
Consommation caractéristique d'EP (MJ)	2.141,75	1.486,34	1.010,81	459,61	469,27	766,05	1.036,17	1.071,12	754,70	751,61	1.459,89	2.190,49	13.597,81

[Afficher graphique](#)

1. Simul. dynamique / calcul PEB ?

Et d'hypothèses d'occupation définies par la réglementation

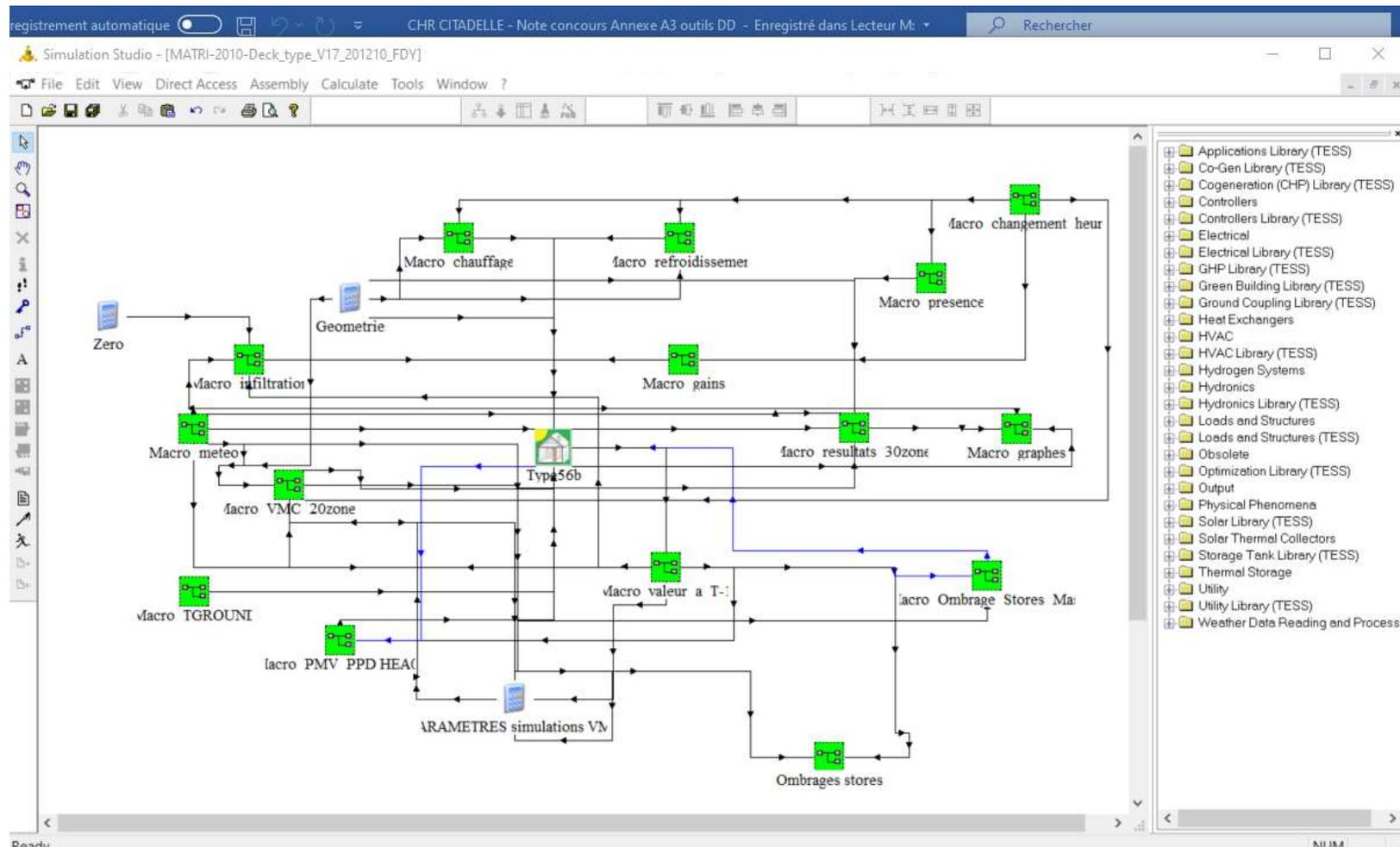
Fonctions		de début occupation	de fin occupation	ours par semaine	raction occupation : semaine pres, fct f
Hébergement					
Bureaux					
Enseignement					
Soins de santé	Avec occ. noct				
	Sans occ. noct				
	Salle d'opérat				

Profils conventionnels

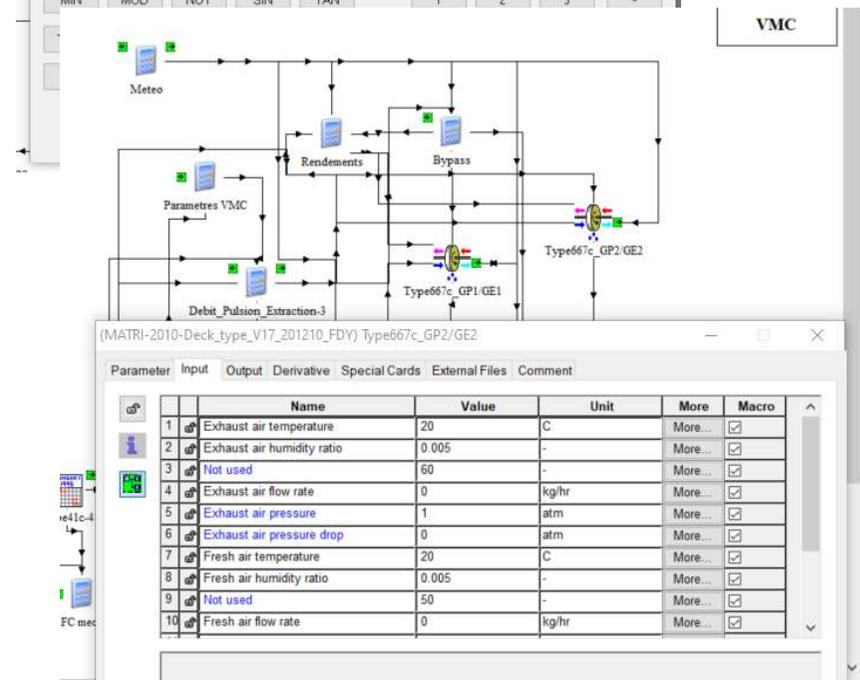
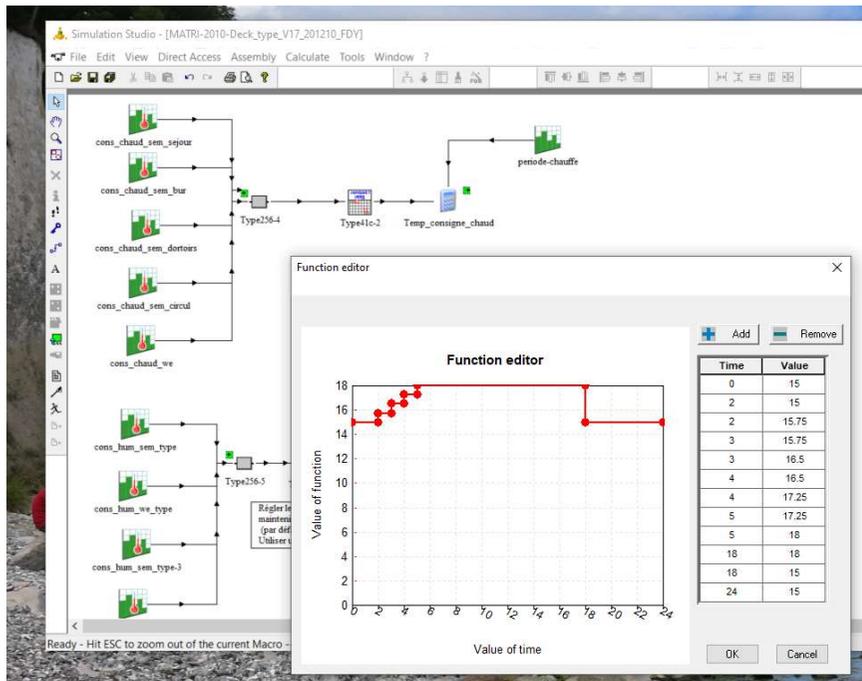
Fonctions		$\theta_{i,heat,fct f, setpoint}$ (°C)	$\theta_{i,heat,fct f, avg}$ (°C)	$\theta_{i,cool,fct f, setpoint}$ (°C)	$\theta_{i,cool,fct f, avg}$ (°C)
Hébergement		19,0		25,0	
Bureaux		21,0	16,8	25,0	27,1
Enseignement		21,0	16,8	25,0	27,1
Soins de santé	Avec occ. nocturne	23,0		23,0	
	Sans occ. nocturne	23,0	19,5	23,0	25,1
	Salle d'opération	19,0		23,0	
Rassemblement	Occupation importante	21,0	18,2	25,0	26,4
	Faible occupation	21,0	18,2	25,0	26,4
	Cafétéria / Réfectoire	21,0	16,8	25,0	27,1

Températures de consigne et moyennes

1. Simul. Dynamique – ex: Trnsys



1. Simul. Dynamique – ex: Trnsys



Modules prédéfinis à compléter, et boites de calcul permettant de modéliser des régulations ou comportements divers

1. Simul. Dynamique - Autres logiciels

Virtual Environment

Energy+

DesignBuilder

ArchiWizard

Blast,

Climawin

Pleiades+Comfie

Simbad

...

2.1 Données météo

The screenshot displays an Excel spreadsheet with the following columns (A to AC):

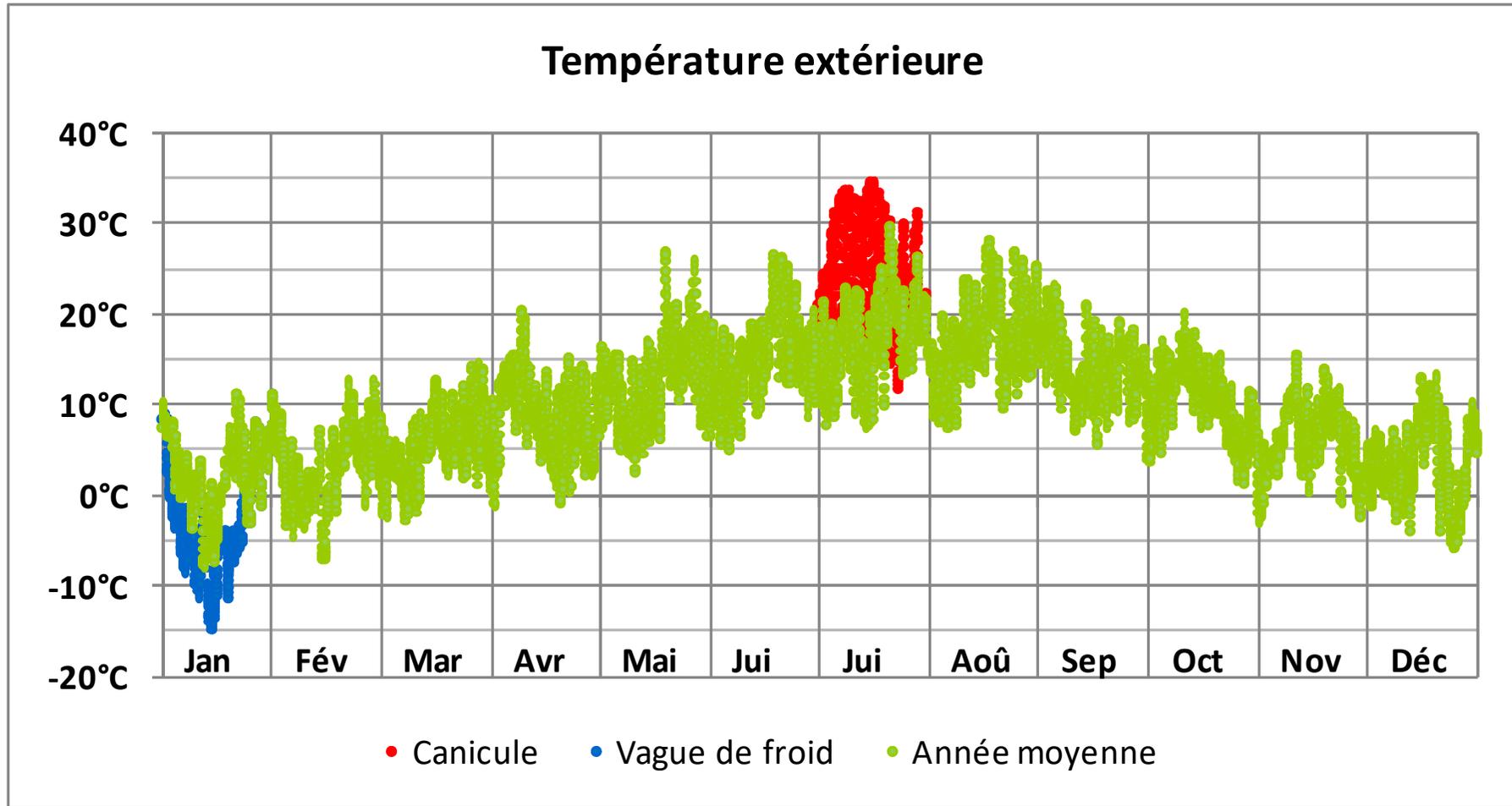
- A: TIME
- B: Dry_bulb_tem
- C: Dew_point_t
- D: Wet_bulb_te
- E: Effective_sky
- F: Mains_water
- G: Humidity_rsl
- H: Percent_rela
- I: Wind_veloci
- J: Wind_direct
- K: Extraterrestr
- L: Global_horiz
- M: Direct_norm
- N: Solar_zenith
- O: Solar_azimut
- P: Total_horizo
- Q: Horizontal_b
- R: Sky_diffuse
- S: Ground_diff
- T: Total_diffuse
- U: Angle_incide
- V: Latitude
- W: longitude
- X: Shift_in_sole
- Y: Site_elevatio
- Z: Heating
- AA: O/1

The spreadsheet contains 40 rows of data. The status bar at the bottom indicates 'Prêt Calculer' and 'Paramètres d'affichage'. The system tray shows the date '21-09-21' and time '09:09'.

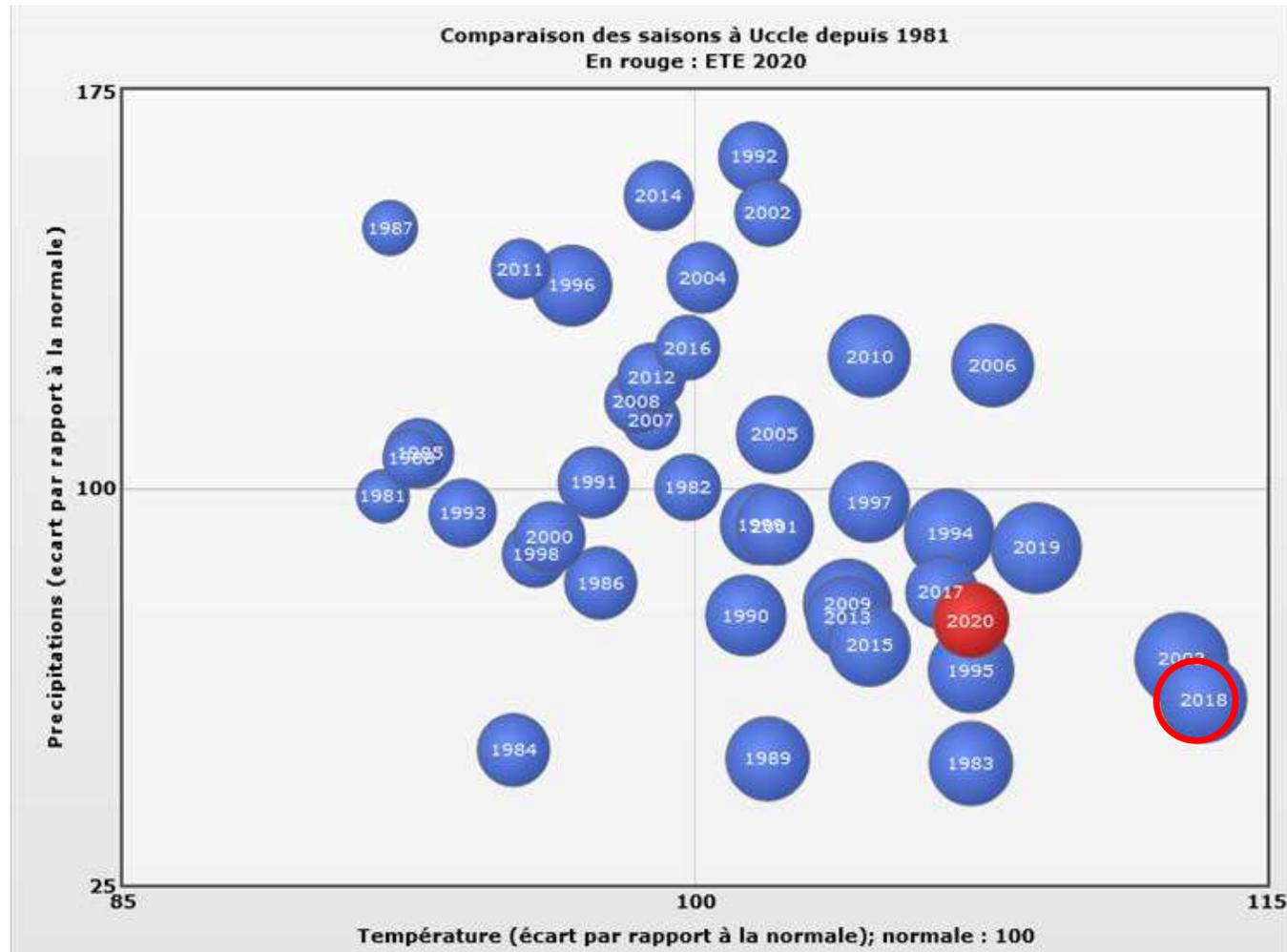


Source météo dans un fichier excel modifiable manuellement

2.1 Données météo

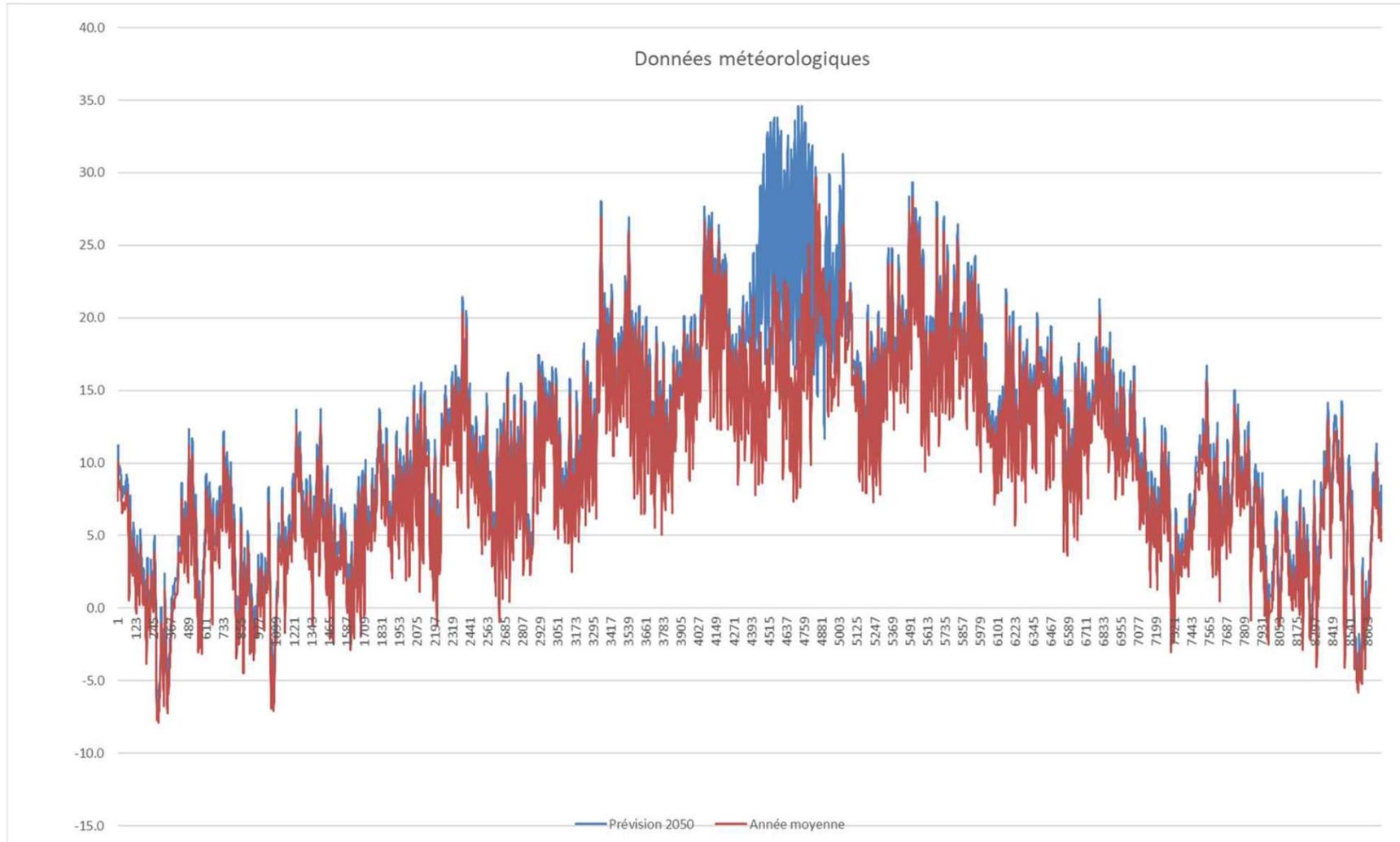


2.1 Données météo

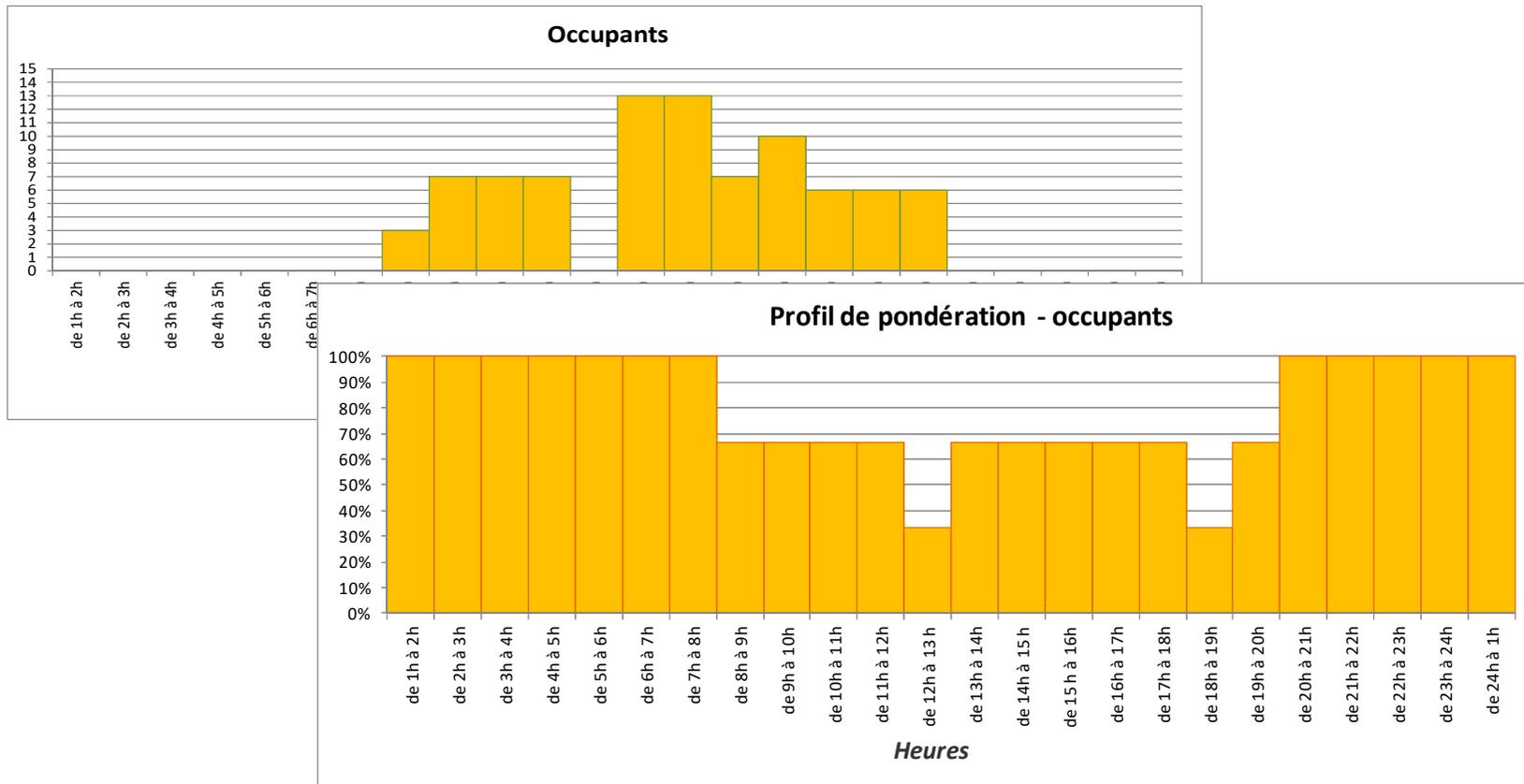


La canicule de 1976 est semblable à celle de 2003. Depuis, les canicules de ces dernières années sont plus contraignantes...

2.1 Données météo

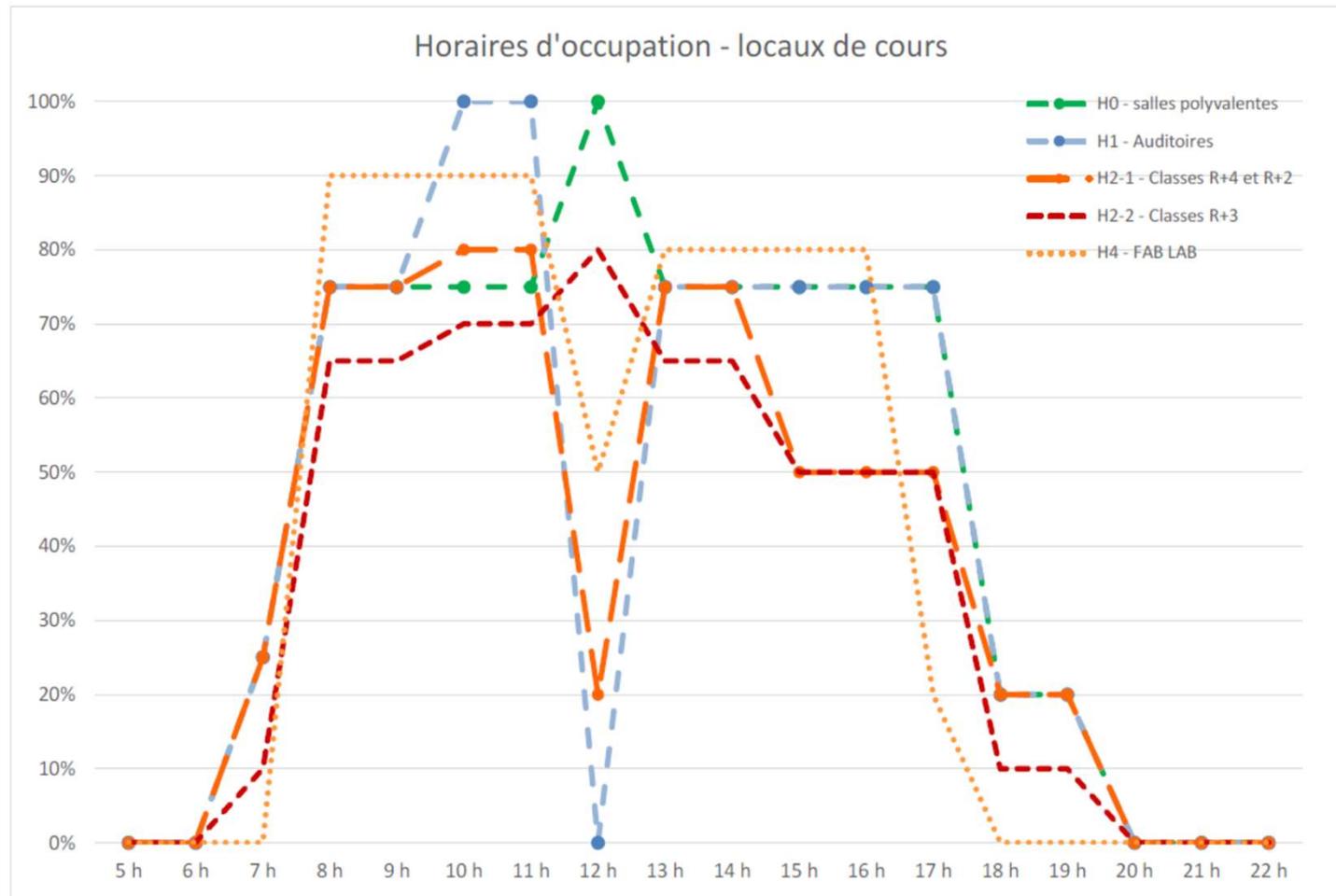


2.2 Modulation de l'occupation au plus proche de la réalité

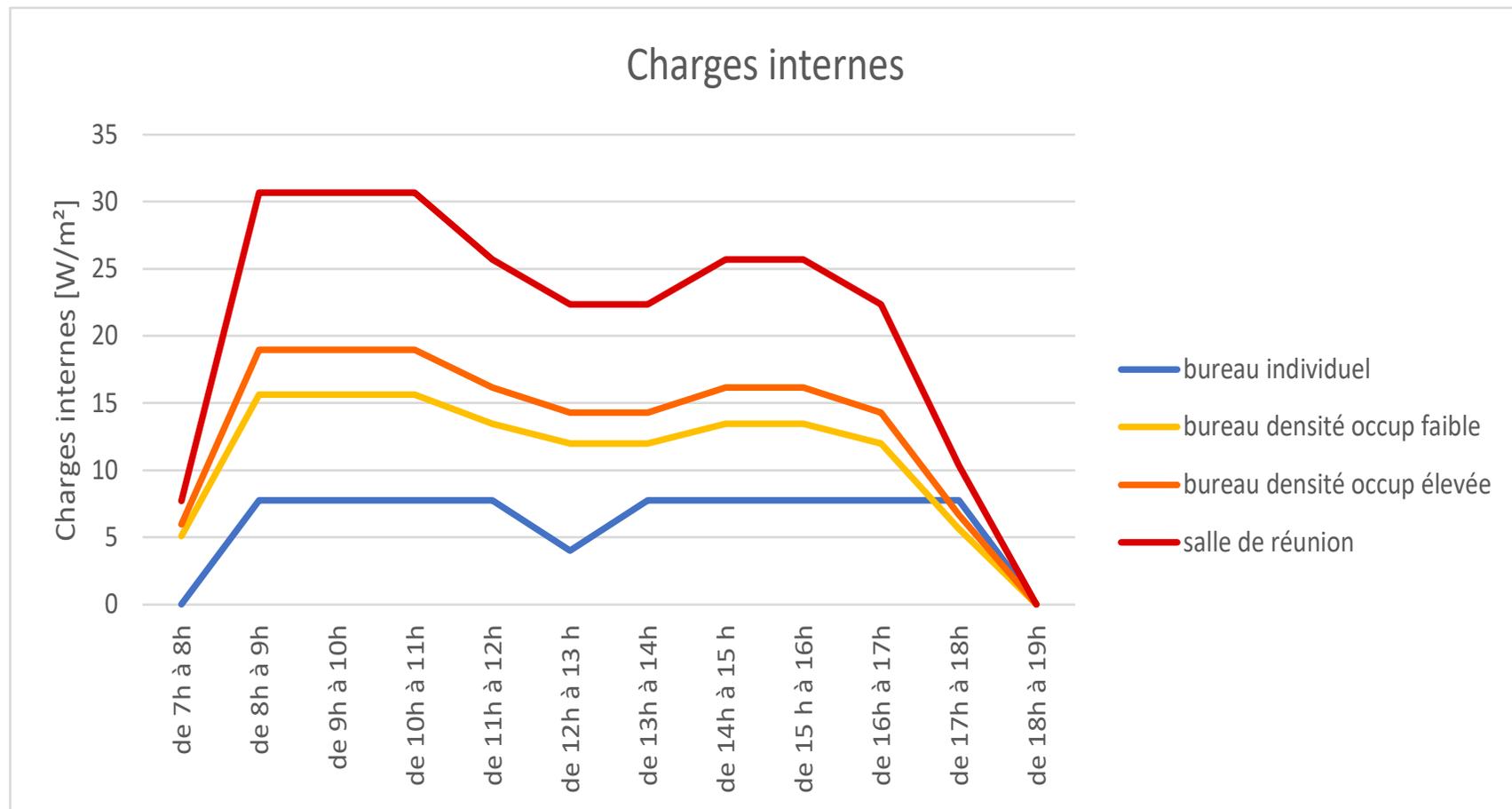


Exemple : maison de repos

2.2 Modulation de l'occupation au plus proche de la réalité



2.2 Modulation de l'occupation au plus proche de la réalité



2.3 Evaluation du confort d'été

Exemple d'un établissement scolaire :

							Simulation 01					
							Avril 2021					
							FSv 0.4 - pas de store ni de climatisation					
							Analyse du confort					
N° zone	S [m ²]	T°consigne		Ventilation	densité occup [m ² /pers.]	Apports int. jour ouvrable [W/m ²]	Nbre h > 25,5°C	Nbre h > 26°C	Nbre h > 28°C	%tps > 25,5°C	%tps > 26°C	%tp s> 28°C
		Ch	Fr									
1-1	261 m ²	23°C	/	1.8	5.0 m ² /pers.	8.7	✓ 0	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	0.0%
1-2	54 m ²	23°C	/	1.4	9.0 m ² /pers.	1.4	✓ 0	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	0.0%
1-4	285 m ²	21°C	/	2.1	4.1 m ² /pers.	14.6	✗ 815	✗ 589	✓ 38	20.1%	14.5%	0.9%
1-6	46 m ²	21°C	/	4.5	2.6 m ² /pers.	23.0	✓ 0	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	0.0%
1-7	68 m ²	21°C	/	4.8	3.1 m ² /pers.	3.9	✓ 0	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	0.0%
1-10	266 m ²	21°C	26°C	3.9	2.2 m ² /pers.	61.3	✗ 1834	✗ 1505	✗ 552	45.2%	37.1%	13.6%
1-11	78 m ²	21°C	/	3.1	4.9 m ² /pers.	19.5	✗ 215	✓ 62	✓ 0	5.3%	1.5%	0.0%
1-12	135 m ²	21°C	/	1.1	13.5 m ² /pers.	7.1	✗ 593	✗ 381	✓ 0	14.6%	9.4%	0.0%
1-14	216 m ²	21°C	/	4.4	2.0 m ² /pers.	14.8	✗ 411	✗ 234	✓ 0	10.1%	5.8%	0.0%
1-17	112 m ²	21°C	/	1.2	7.5 m ² /pers.	5.8	✓ 0	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	0.0%
2-11	194 m ²	21°C	25°C	3.9	2.4 m ² /pers.	32.9	✗ 284	✓ 88	✓ 0	7.0%	2.2%	0.0%

Evaluation du risque de surchauffe

2.3 Evaluation du confort d'été

Exemple d'un établissement scolaire :

					Simulation 01				Simulation 02			
					Avril 2021 FSv 0.4 - pas de store ni de climatisation				Avril 2021 FSv 0.4 + stores en faç sud et est - pas de climatisation			
					Analyse du confort				Analyse du confort			
N° zone	S [m ²]		T°consigne		Nbre h > 25,5°C	Nbre h > 26°C	%tps > 25,5°C	%tps > 26°C	Nbre h > 25,5°C	Nbre h > 26°C	%tps > 25,5°C	%tps > 26°C
			Ch	Fr								
								4056				4056
1-1	261 m ²		23°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-2	54 m ²		23°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
→ 1-4	285 m ²		21°C	/	✗ 815	✗ 589	20.1%	14.5%	✗ 501	✗ 275	12.4%	6.8%
1-6	46 m ²		21°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-7	68 m ²		21°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
→ 1-10	266 m ²		21°C	26°C	✗ 1834	✗ 1505	45.2%	37.1%	✗ 1821	✗ 1488	44.9%	36.7%
→ 1-11	78 m ²		21°C	/	✗ 215	✓ 62	5.3%	1.5%	✓ 181	✓ 49	4.5%	1.2%
1-12	135 m ²		21°C	/	✗ 593	✗ 381	14.6%	9.4%	✗ 478	✗ 283	11.8%	7.0%
1-14	216 m ²		21°C	/	✗ 411	✗ 234	10.1%	5.8%	✓ 166	✓ 52	4.1%	1.3%
1-17	112 m ²		21°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
→ 2-11	194 m ²		21°C	25°C	✗ 284	✓ 88	7.0%	2.2%	✗ 267	✓ 75	6.6%	1.8%

2.3 Evaluation du confort d'été

Exemple d'un établissement scolaire :

				Simulation 02				Simulation 05			
				Avril 2021				Avril 2021			
				FSv 0.4 + stores en faç sud et est - pas de climatisation				FSv 0.4 + stores ou rideaux en faç sud et est Climatisation dans certains locaux + débits boostés			
				Analyse du confort				Analyse du confort			
N° zone	S [m ²]	T°consigne		Nbre h > 25,5°C	Nbre h > 26°C	%tps > 25,5°C	%tps > 26°C	Nbre h > 25,5°C	Nbre h > 26°C	%tps > 25,5°C	%tps > 26°C
		Ch	Fr			4056				4056	
1-1	261 m ²	23°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-2	54 m ²	23°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
→ 1-4	285 m ²	21°C	/	✗ 501	✗ 275	12.4%	6.8%	✓ 17	✓ 0	0.4%	0.0%
1-6	46 m ²	21°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-7	68 m ²	21°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
→ 1-10	266 m ²	21°C	26°C	✗ 1821	✗ 1488	44.9%	36.7%	* ✗ 1385	✓ 0	34.1%	0.0%
→ 1-11	78 m ²	21°C	/	✓ 181	✓ 49	4.5%	1.2%	✓ 112	✓ 21	2.8%	0.5%
1-12	135 m ²	21°C	/	✗ 478	✗ 283	11.8%	7.0%	✓ 65	✓ 1	1.6%	0.02%
1-14	216 m ²	21°C	/	✓ 166	✓ 52	4.1%	1.3%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-17	112 m ²	21°C	/	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
→ 2-11	194 m ²	21°C	25°C	✗ 267	✓ 75	6.6%	1.8%	° ✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%

2.3 Evaluation du confort d'été

Exemple d'un établissement scolaire :

N° zone	Simulation 06				Simulation 07			
	Stores en façades sud et est **				Pas de stores mais FS de 0,29 au lieu de 0,40			
	Nbre h > 25,5°C/26°C	Nbre h > 25,5°C/28°C	%tps > 25,5°C/26°C	%tp s> 25,5°C/28°C	Nbre h > 25,5°C/26°C	Nbre h > 25,5°C/28°C	%tps > 25,5°C/26°C	%tp s> 25,5°C/28°C
1-1	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-2	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-3	✓ 142	✓ 22	3.5%	0.5%	✗ 539	✓ 22	13.3%	0.5%
1-13	✓ 3	✓ 0	0.1%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
1-14	✓ 72	✓ 0	1.8%	0.0%	✓ 98	✓ 0	2.4%	0.0%
1-15	✓ 10	✓ 0	0.2%	0.0%	✓ 138	✓ 0	3.4%	0.0%
1-16	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
2-5	* ✓ 98	✓ 0	2.4%	0.0%	* ✓ 42	✓ 0	1.0%	0.0%
2-6	* ✓ 138	✓ 0	3.4%	0.0%	* ✓ 82	✓ 0	2.0%	0.0%
2-7	* ✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%	* ✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
2-19	✓ 153	✓ 14	3.8%	0.3%	✓ 1	✓ 0	0.0%	0.0%

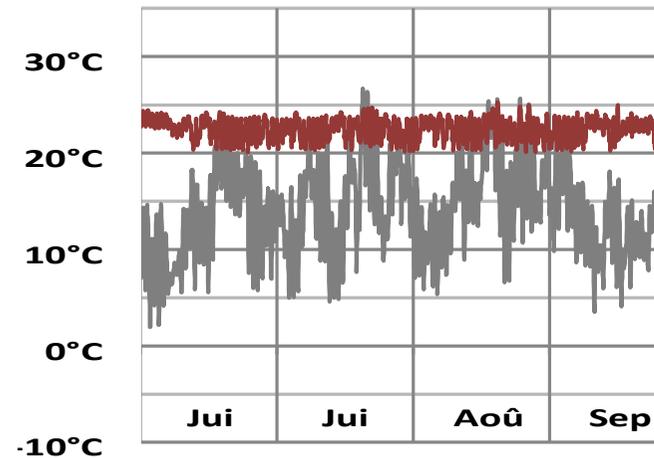
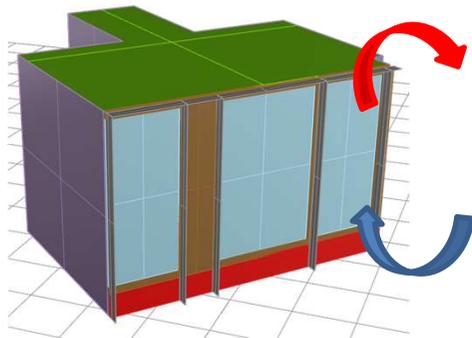
2.3 Evaluation du confort d'été

Exemple d'un établissement scolaire :

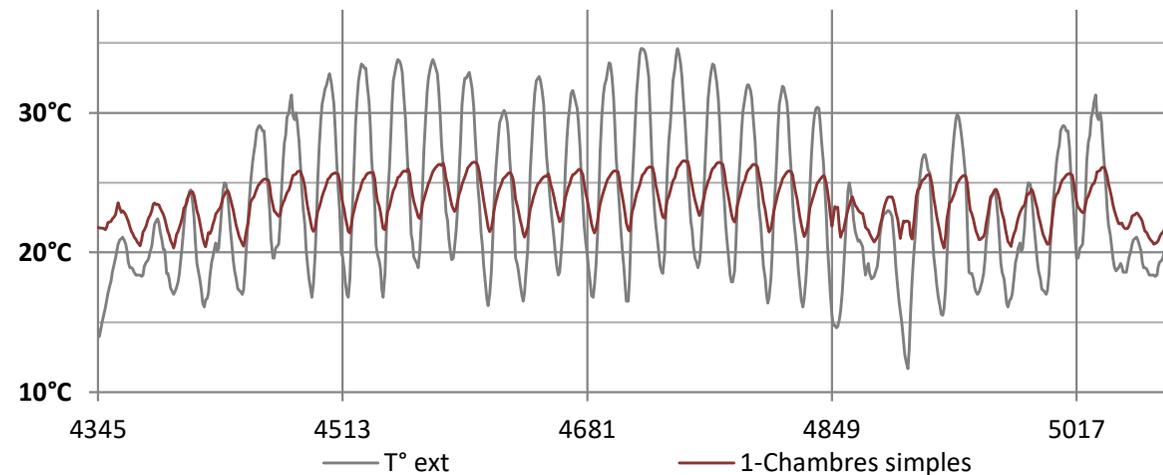
Simulation 11 (confort --> simulation 06)				Simulation 12 (confort --> simulation 07)			
Stores en façades sud et est **				FS 0,29			
total	ventil	chaud	froid	total	ventil	chaud	froid
[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]
1 310 346	679 910.0	418 236	212 200	1 337 987	679 910.0	463 013	195 064
[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]
68.5	35.5	21.9	11.1	69.9	35.5	24.2	10.2
				102.1%			

2.4 Impact d'une ventilation naturelle ?

Exemple d'une chambre de maison de repos



Evolution de la T° en été moyen



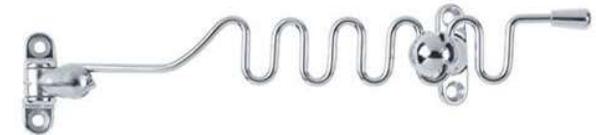
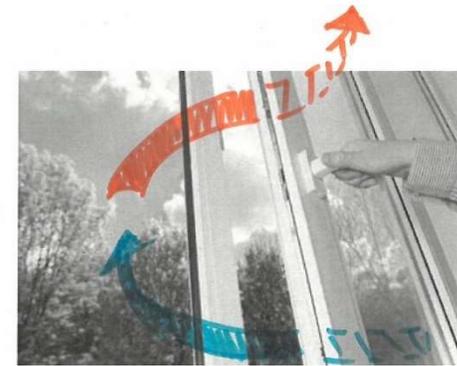
Evolution de la T° en période de canicule

2.4 Impact d'une ventilation naturelle ?

Exemple d'un établissement scolaire

Impact d'une ventilation intensive naturelle de nuit dans les zones de circulation et rencontre ?

Environ une fenêtre sur trois et 25 cm d'ouverture



Cette ventilation considérée comme manuelle. Ouverture des grilles et fenêtre

- entre début et mai et fin septembre
- entre 17h00 et 8h00
- Si à 17 h00 $T_{int} > 23^{\circ}\text{C}$

2.4 Impact d'une ventilation naturelle ?

Impact d'une ventilation intensive naturelle de nuit?

N° zone	Simulation 05				Mesures appliquées	Simulation 10			
	Stores en façades sud et est T° pulsion 17°C toute l'année				simulation 10 Ventilation naturelle de nuit	Stores en façades sud et est T° pulsion 17°C toute l'année Free cooling de nuit Z 1-3,15,23,27,28 et 2-8,14,19,20,25,26			
	Nbre h > 25,5°C/26°C	Nbre h > 25,5°C/28°C	%tps > 25,5°C/26°C	%tp s> 25,5°C/28°C	ouvertures en façade :	Nbre h > 25,5°C/26°C	Nbre h > 25,5°C/28°C	%tps > 25,5°C/26°C	%tp s> 25,5°C/28°C
1-3	✗ 1044	✗ 67	25.7%	1.7%	7 grilles de 1,24 m x 2,42 m	✗ 471	✓ 3	11.6%	0.1%
1-15	✗ 407	✓ 0	10.0%	0.0%	5 fenêtres battantes ouvertes sur 25 cm	✓ 6	✓ 0	0.1%	0.0%
1-23	✗ 929	✗ 98	22.9%	2.4%	6 fenêtres battantes ouvertes sur 25 cm (3 en bas et 3 en haut)	✗ 568	✗ 91	14.0%	2.2%
1-27	✗ 302	✓ 0	7.4%	0.0%	12 grilles de 1,24 m x 2,42 m x 3 étages côté atrium	✓ 2	✓ 0	0.0%	0.0%
1-28	✗ 1065	✗ 59	26.3%	1.5%	4 grilles de 1,24 m x 2,42 m	✗ 700	✗ 43	17.3%	1.1%
2-8	✗ 262	✓ 0	6.5%	0.0%	3 grilles de 1,24 m x 2,42 m	✓ 0	✓ 0	0.0%	0.0%
2-14	✗ 294	✓ 0	7.2%	0.0%	8 fenêtres battantes ouvertes sur 25 cm	✓ 26	✓ 0	0.6%	0.0%
2-19	✗ 701	✓ 0	17.3%	0.0%	7 fenêtres battantes ouvertes sur 25 cm + 8 grilles de 1,24 m x 2,42 m	✓ 49	✓ 0	1.2%	0.0%
2-20	✗ 1641	✗ 369	40.5%	9.1%	22 fenêtres battantes ouvertes sur 25 cm	✗ 1525	✗ 123	37.6%	3.0%

2.5 « Free » cooling de nuit ?

Exemple d'un établissement scolaire

Impact du fonctionnement de la ventilation en continu ?

- Permet d'assurer le confort dans une partie des locaux
- Mais n'est pas suffisant pour assurer le confort d'été partout

Ce free cooling mécanique engendre une surconsommation importante :

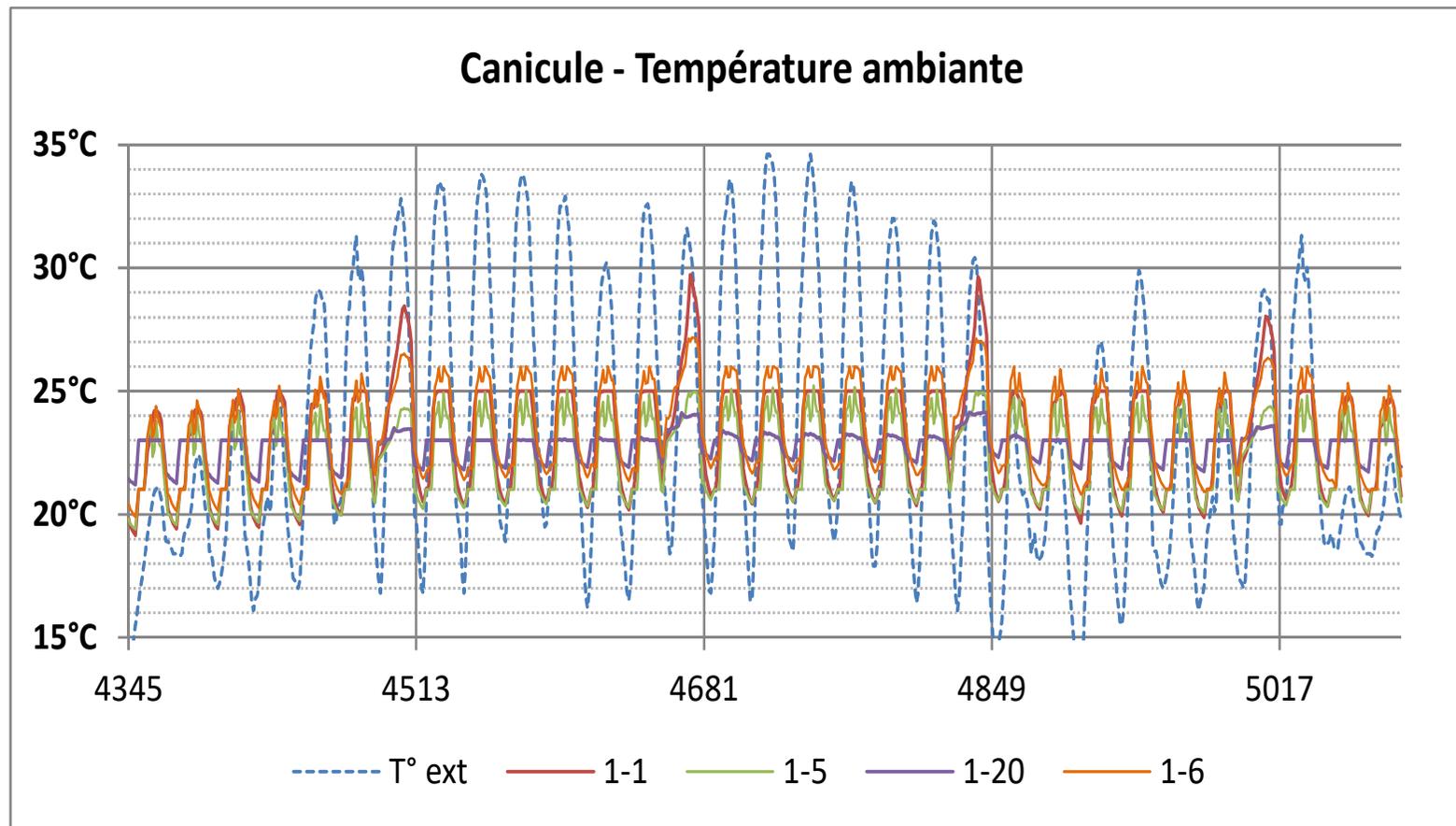
	Simulation 11 (confort --> simulation 06)				Simulation 13 (confort --> simulation 08)			
					+ free cooling mécanique			
Approche de la consommation TOTALE en énergie primaire	total	ventil	chaud	froid	total	ventil	chaud	froid
	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]	[kWh _p /an]
	1 310 346	679 910.0	418 236	212 200	2 020 230	1 190 555.0	629 158	200 516
	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]	[kWh _p /m ² .an]
	68.5	35.5	21.9	11.1	105.6	62.2	32.9	10.5
								149.8%
								100.0%

2.5 « Free » cooling de nuit ?

Exemple d'un établissement scolaire

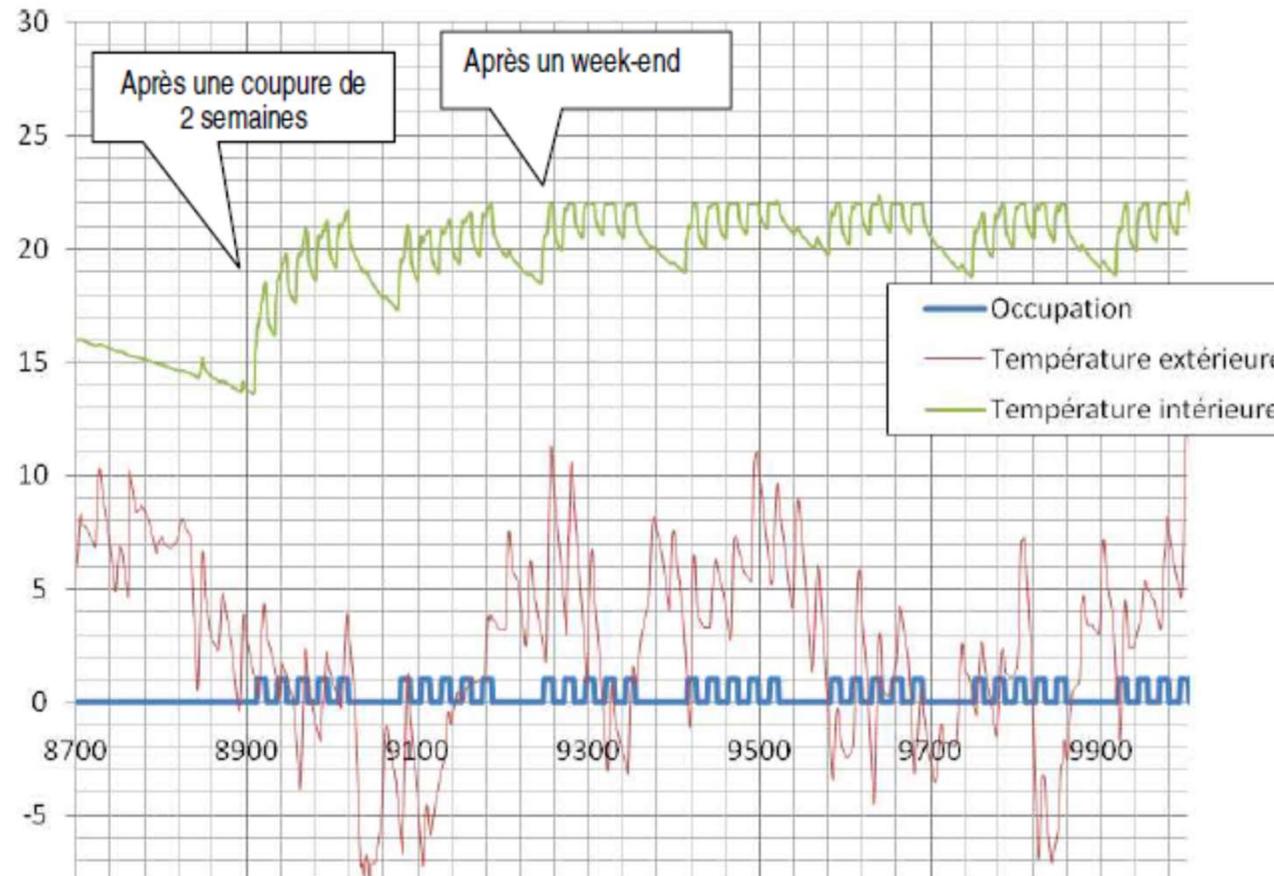
Impact du fonctionnement de la ventilation en continu ?

Apport une amélioration du confort utile, ponctuellement, en canicule



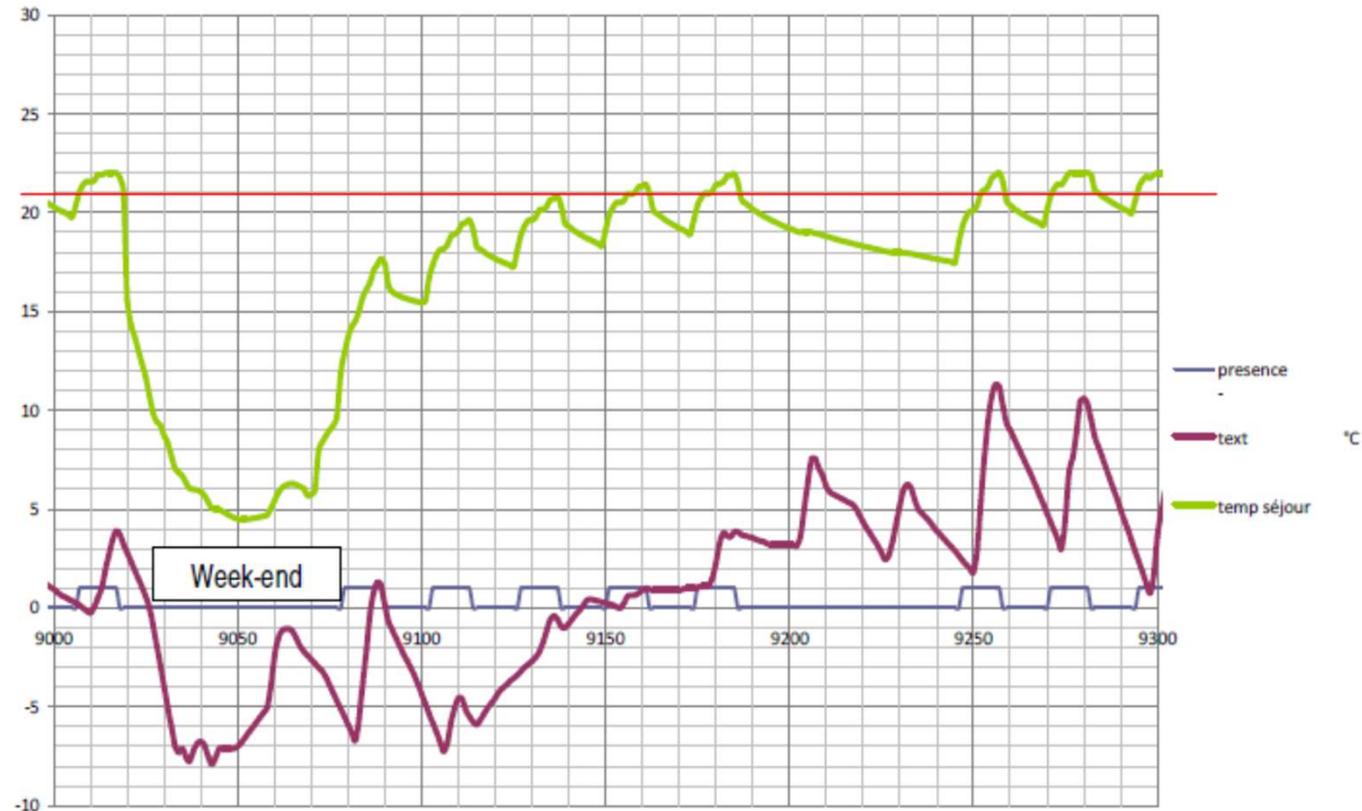
2.6 Evaluation du confort d'hiver

Exemple : crèche passive avec puissance de chauffage (sur l'air) limitée



2.6 Evaluation du confort d'hiver

Exemple : crèche passive avec puissance de chauffage (sur l'air) limitée



2.7 Confort local

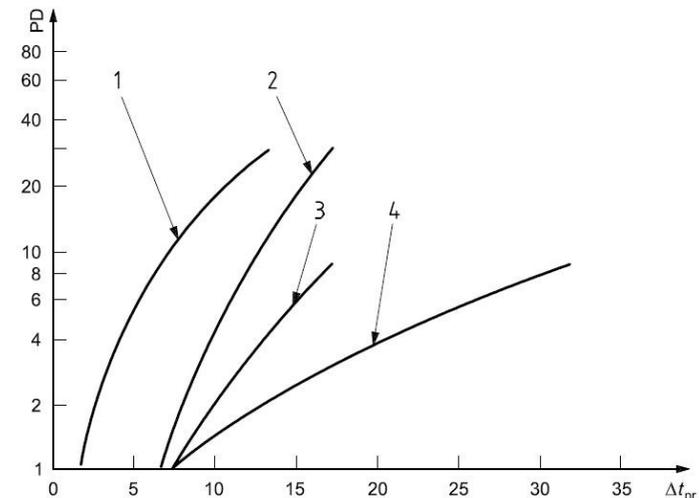
L'inconfort local peut être causé par plusieurs facteurs :

- Courant d'air fonction de la vitesse de l'air, de la température ambiante du local et de l'intensité locale de turbulence
- Différence verticale de la température de l'air entre la tête et les chevilles
- Sols froids ou chauds
- Asymétrie de température de rayonnement

Pourcentage d'insatisfait (PD) en fonction de l'asymétrie de température de rayonnement (Δt_{pr}) (Norme ISO 7730:2005)

Légende :

- 1) Plafond chaud ;
- 2) Mur froid ;
- 3) Plafond froid ;
- 4) Mur chaud.



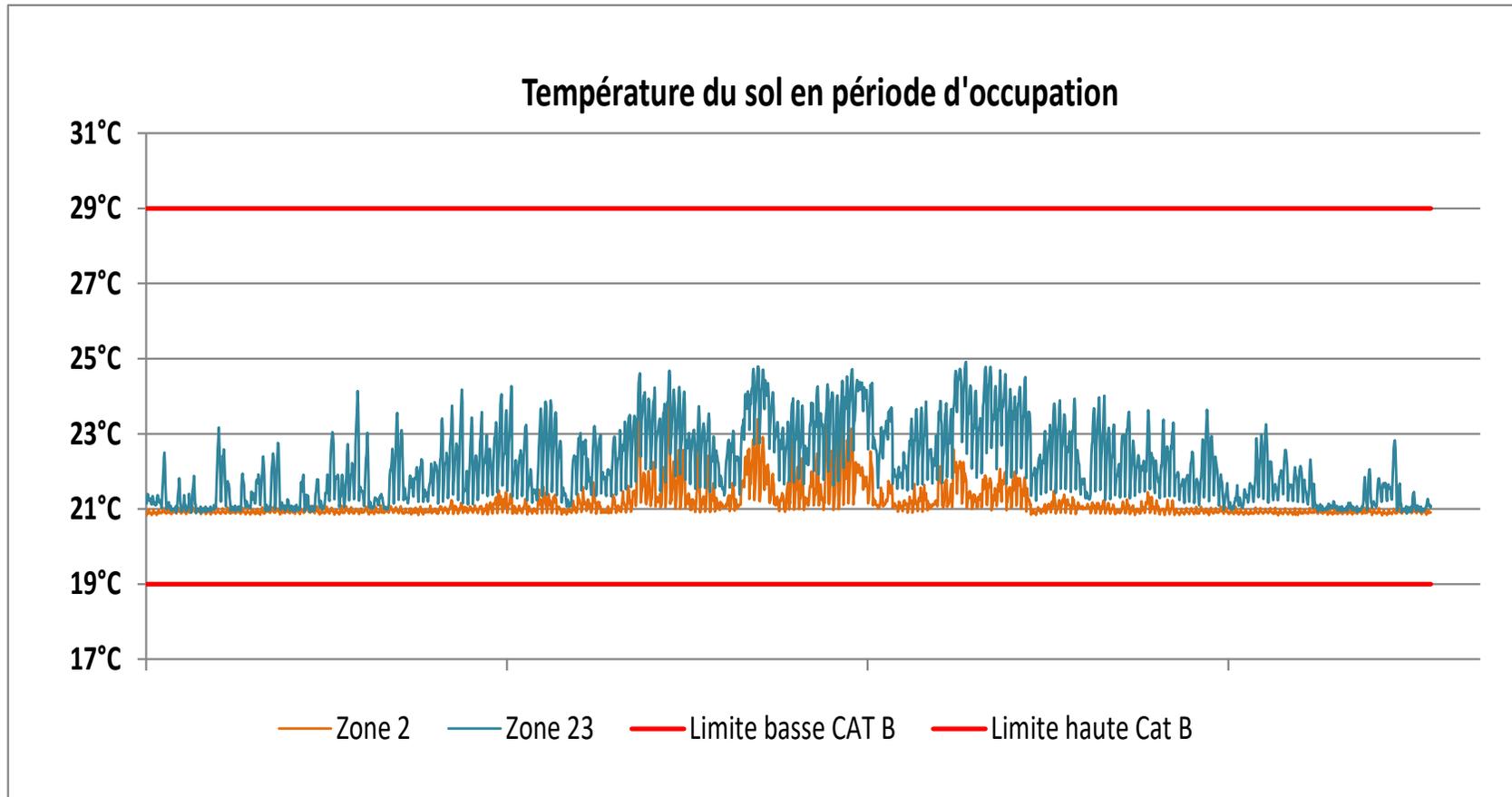
2.7 Confort local

L'inconfort local peut être causé par plusieurs facteurs :

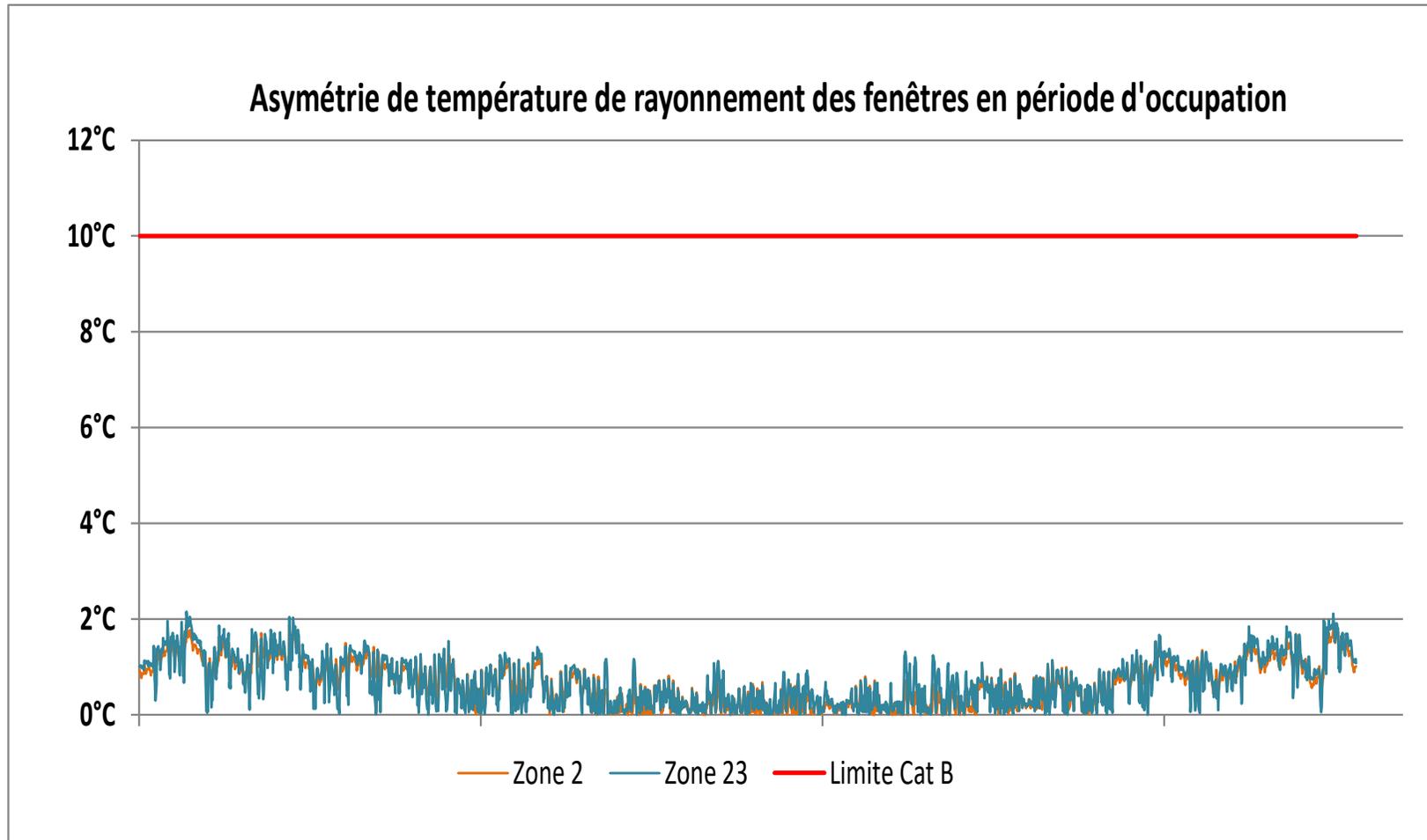
Catégorie	État thermique du corps dans son ensemble		Inconfort local			
	PPD %	PMV	DR %	PD % dû à		
				une différence verticale de la température de l'air	un sol chaud ou froid	une asymétrie de la température de rayonnement
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

Tableau A.1 de l'Annexe A de la norme ISO 7730:2005 – Catégories d'ambiances thermiques

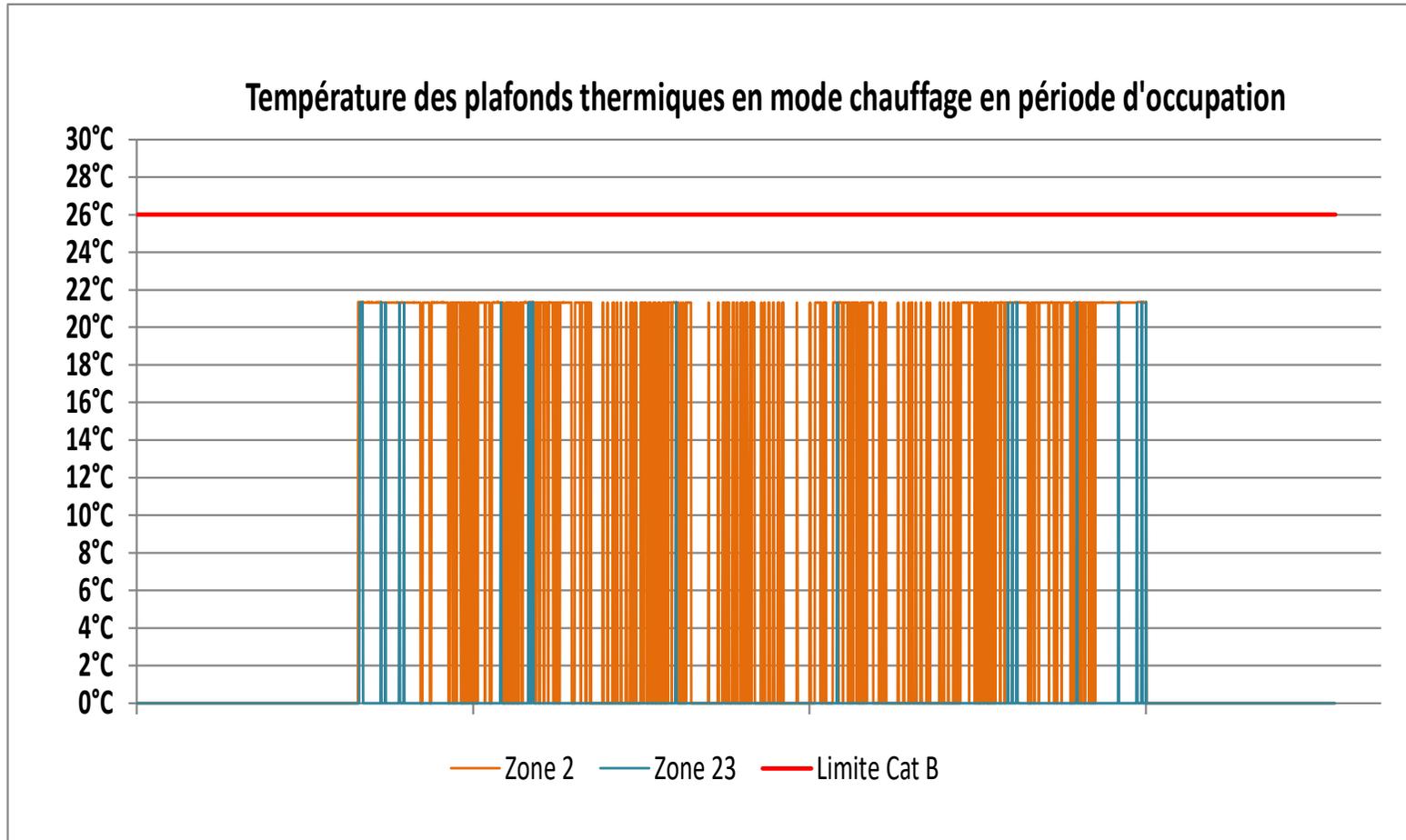
2.7 Confort local



2.7 Confort local



2.7 Confort local



2. Autres possibilités d'évaluation

- Impact du comportement des utilisateurs (sensibilité) :
 - Ouverture /fermeture des fenêtres
 - Gestion des stores
 - T° de consigne...
- Impact d'une gestion de la ventilation en fonction de la présence
- Indices PMV et PPD
- Dimensionnement d'une géothermie
- Puits canadien
- Impact de l'inertie

Conclusion

La simulation thermique dynamique permet de comparer des solutions

- D'informer
- De mesurer l'importance relative de différents paramètres
- De prendre des décisions

/!\ Ne permet pas vraiment d'estimer les consommations réelles

Trop de paramètres !!

Apports internes (présence, équipements, éclairage, ...), météo réelle, gestion des équipements techniques (consignes de chauffage et de refroidissement, horaires, ...), comportements des usagers (stores, fenêtres, ...), ...

Merci pour votre attention

Isabelle Bruyère



INGÉNIERIE EN ÉNERGIE,
ENVIRONNEMENT ET
TECHNIQUES SPÉCIALES