



RÉGION ACADÉMIQUE
PAYS DE LA LOIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rectorat de l'académie de Nantes

Rénovation énergétique du Centre Universitaire Départemental (CUD) de La Roche-Sur-Yon

Notice Simulation Thermique Dynamique

DCE

Février 2026

Référence : 10012329

Rédacteur : ORU



www.inddigo.com

[in LinkedIn](#)

[YouTube](#)

Tout droit de reproduction et représentation sont réservés et la propriété exclusive d'Inddigo SAS, y compris les textes et les représentations iconographiques, photographiques. L'utilisation, la reproduction, la transmission, modification, rediffusion ou vente de toutes les informations reproduites sur ce document (articles, photos et logos compris) ou partie de ce document (texte y compris) sur un support quel qu'il soit, ou encore la diffusion sur un site internet par le biais d'un groupe de discussion, forum ou autre système ou réseau informatique que ce soit, et ce dans le cadre d'une utilisation à caractère commercial ou non lucratif, sont formellement interdites sans l'autorisation préalable et écrite de la société Inddigo SAS.

Nous sommes garantis par notre contrat d'assurance pour les réclamations qui pourraient être faites à la suite de nos travaux et interventions. Notre contrat nous garantit automatiquement pour des opérations de constructions dont le coût prévisionnel HT (Travaux TCE et honoraires compris) ne dépasse pas 15 M€ HT pour les Ouvrages Soumis à obligation d'assurance, et 7 M€ HT pour les Ouvrages Non Soumis à obligation d'assurance. Au-delà, nous prévenir au préalable pour que nous signalions le chantier à notre assureur afin que vous soyez sûr de bénéficier de toutes les garanties. Les garanties sont acquises sous réserves que les ouvrages et équipements fassent l'objet de la maintenance et du suivi nécessaires. Sont également exclues des garanties les conséquences de l'usage anormal des ouvrages et équipements. En acceptant les termes du présent contrat, vous confirmez renoncer à recourir contre nous au-delà des montants de garantie de notre contrat d'assurance.

Sommaire

Partie 1 : Confort d'été STD.....	3
1.1 Objectif de la simulation thermique dynamique	3
1.2 Quelques définitions	3
1.3 LOCAUX ETUDIES.....	4
1.4 HYPOTHESES D'USAGE	5
1.4.1 OCCUPATION	5
1.4.2 USAGES	5
1.5 LES HYPOTHESES METEOROLOGIQUES	6
1.5.1 CARACTERISTIQUES DES DONNEES METEOROLOGIQUES – DONNEES RCP 8.5 2020 6	
1.5.2 CARACTERISTIQUES DES DONNEES METEOROLOGIQUES – DONNEES RCP 4.5 2050 7	
1.6 L'INDICATEUR DE CONFORT THERMIQUE ET LA STRATEGIE DE CONFORT ESTIVAL	9
1.7 LA STRATEGIE DE CONFORT ESTIVAL	10
1.8 RESULTATS.....	11
1.8.1 Version base	11
1.8.2 Variantes	11

Partie 1 : Confort d'été STD

La simulation thermique dynamique simule au pas de temps horaire le comportement d'un bâtiment en fonction d'un certain nombre de données d'entrée :

- Météo
- Scénario d'occupation des locaux
- Composition des parois
- Consignes de température
- Niveaux de ventilation
- ...

Toutes ces entrées sont autant de paramètres permettant de s'approcher d'un comportement réel du bâtiment mais elles sont également des sources d'incertitudes innombrables.

In fine, la simulation nous permet d'obtenir de très nombreuses informations sur les réactions du bâtiment à l'environnement extérieur et à son usage.

Il est important de conserver en mémoire qu'aucun résultat de STD ne pourra prévoir un usage inapproprié du bâtiment à moins que celui-ci ait été volontairement testé.

Dans un bâtiment de type « Ecole », la donnée d'entrée la plus aléatoire correspond à l'occupation. Ce paramètre devra être considéré avec soin.

L'objet de ce rapport est de présenter les hypothèses et résultats de simulation thermique dynamique en termes de confort hygrothermique estival.

1.1 Objectif de la simulation thermique dynamique

L'objectif de l'étude est d'établir la stratégie de confort estival qui permettra d'obtenir de bonnes conditions de confort.

Ce calcul simule le fonctionnement d'un bâtiment heure par heure sur une année, en tenant compte de la météo locale, du bâti, des systèmes de chauffage et de ventilation, mais aussi de l'utilisation : chaleur dégagée par les occupants et les machines (ordinateurs), ventilation spécifique, ouverture des fenêtres. Tous ces détails jouent un rôle dans la STD et permettent d'évaluer au mieux le degré de confort des usagers.

1.2 Quelques définitions

● Les hypothèses d'usage

De la qualité des hypothèses dépendra en grande partie la qualité de l'étude. L'équipe de MOE maîtrise les hypothèses liées à la conception du bâtiment (enveloppe thermique, systèmes de chauffage et de ventilation). En revanche, les usages des espaces sont moins connus et sont tout autant déterminant dans l'étude. Une salle de classe occupée par 20 ou 30 personnes n'aura pas le même comportement en période estivale.

● Les hypothèses météorologiques

Elles sont primordiales. À l'heure d'aujourd'hui où l'on constate chaque année que l'on bat les records de chaleur des années précédentes, il est difficile de se projeter sur la météorologie future du site. Nous proposons donc deux fichiers météo pour analyser un comportement du bâtiment en situation normale et en situation plus extrême.

1.3 LOCAUX ETUDIES

Pour les besoins de chauffage, l'ensemble du site est étudié avec la simulation thermique dynamique.

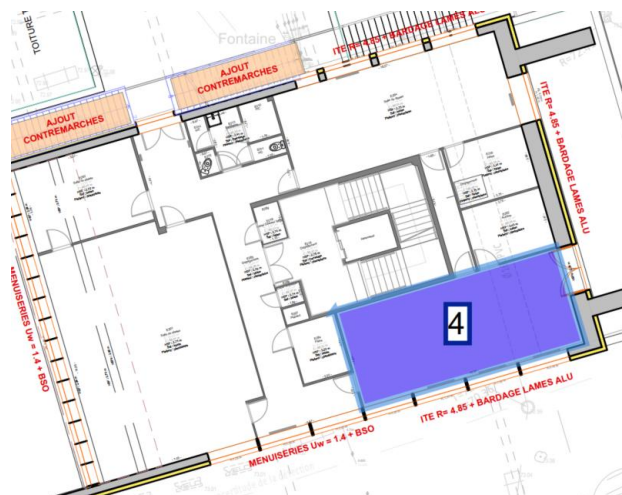
Pour le confort hygrothermique nous proposons d'étudier certains locaux considérés défavorables en fonction de leur orientation, apports internes, occupations...

Nous étudions les locaux suivants :

Niveau	Désignation	Usage	Repère	Orientation
R+1	E102	Salle de classe	1	Sud
R+1	E122	Bureau	2	Sud
R+1	E107	Bureau	3	Est
R+2	E203	Salle de classe	4	Est



Plan R+1



Plan R+2

1.4 HYPOTHESES D'USAGE

Nous reprenons ci-après les hypothèses pour l'occupation, l'usage du matériel informatique, l'usage des protections solaires, l'éclairage ...

Elle est réalisée sur la base d'hypothèses et ajustée pour tomber sur des nombres entiers d'heures. Par exemple : 8h40 – 12h devient 9h-12h

1.4.1 OCCUPATION

1.4.1.1 Généralités

Le bâtiment est considéré « ouvert » les lundis, mardis, mercredis, jeudis et vendredis hors vacances scolaires.

Les vacances scolaires considérées sont les semaines 51 et 52 (fin d'année) et le mois d'Août

On considère un apport de 80 W par occupant. Les apports internes dû aux équipements sont effectifs uniquement pendant les périodes d'occupation.

Il s'agit de définir ici la présence des occupants et non la période de consigne du chauffage.

<i>Local</i>	<i>Occupation</i>		<i>Apports internes</i>
Salle de classe E102	32	L-Ma-Me-J-V : 8h-20h	150 W
Salle de classe E203	35		150 W
Bureau 122	1		100 W
Bureau 107	1		100 W

Nous n'avons pas pris en compte d'utilisation de PC par les élèves dans les salles de classes.

Pour les locaux adjacents aux locaux étudiés et le reste du bâtiment, l'occupation prise en compte correspond à celles des fiches locaux, et reprend les horaires ci-dessus.

1.4.2 USAGES

1.4.2.1 Protections solaires

Des brise-soleils orientables seront étudiés en variante suivant le repérage sur les plans architectes avec le comportement suivant :

- 80% d'occultation toute l'année

1.4.2.2 Ouverture des fenêtres

Le rafraîchissement par ouverture des fenêtres n'est pas pris en compte dans cette étude.

Bien qu'il soit pertinent d'aérer les espaces lorsque la température extérieure est inférieure à celle de l'intérieur, cette action dépend entièrement du comportement et de la vigilance des usagers. Par conséquent, nous avons choisi de ne pas conditionner l'atteinte d'un bon niveau confort à ce paramètre.

Il ne sera pas modélisée l'ouverture des fenêtres pour le calcul car ce scénario est dépendant des usagers et donc trop aléatoire pour espérer un niveau de confort satisfaisant.

1.4.2.3 Ventilation mécanique nocturne

La ventilation mécanique nocturne n'est pas pris en compte

1.4.2.4 Brasseurs d'air

La mise en place de brasseurs d'air a été étudiée en variante.

1.5 LES HYPOTHESES METEOROLOGIQUES

Les données sont issues du logiciel Météonorm®.

Nous proposons de réaliser chaque variante de la simulation avec :

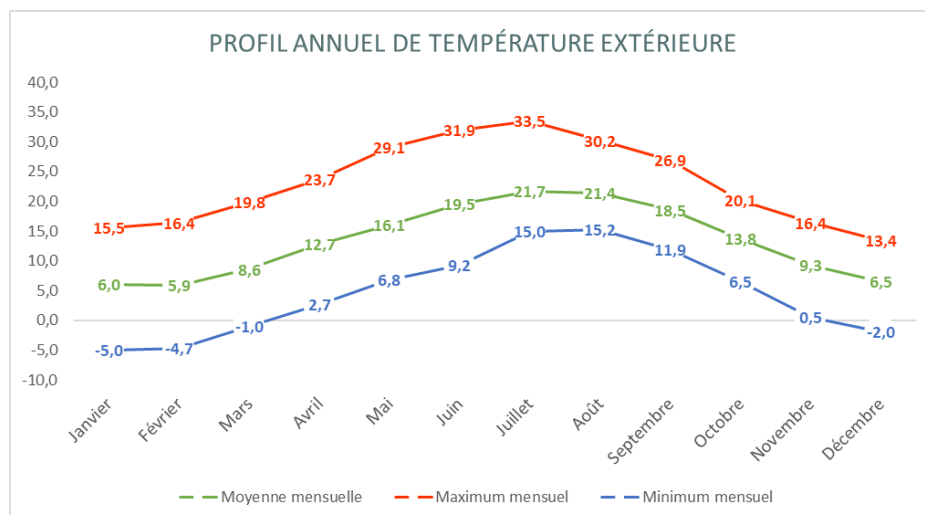
- RCP 8.5 : Année extrapolée à 2050 selon les prévisions du scénario RCP 8.5 du GIEC : qui correspond à la météo des dernières années, avec les épisodes de fortes chaleurs déjà constatés.
- RCP 4.5 : Année extrapolée à 2050 selon les prévisions du scénario RCP 4.5 du GIEC : qui correspond à une projection plus chaude et qui permet d'avoir une vision du comportement du bâtiment à horizon 2050.

L'incertitude sur les valeurs annuelles peut varier selon les stations. Elle est habituellement :

- de 5% pour le rayonnement global
- de 11% pour le rayonnement direct
- de 0.3°C pour la température

1.5.1 CARACTERISTIQUES DES DONNEES METEOROLOGIQUES – DONNEES RCP 8.5 2020

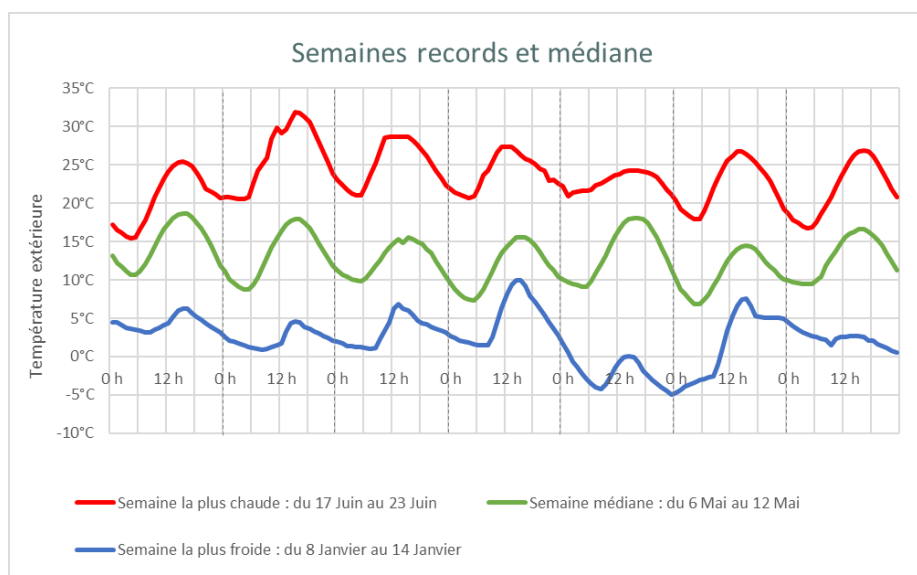
- Profil des températures



- Nombre d'heure pendant laquelle la température dépasse un certain seuil

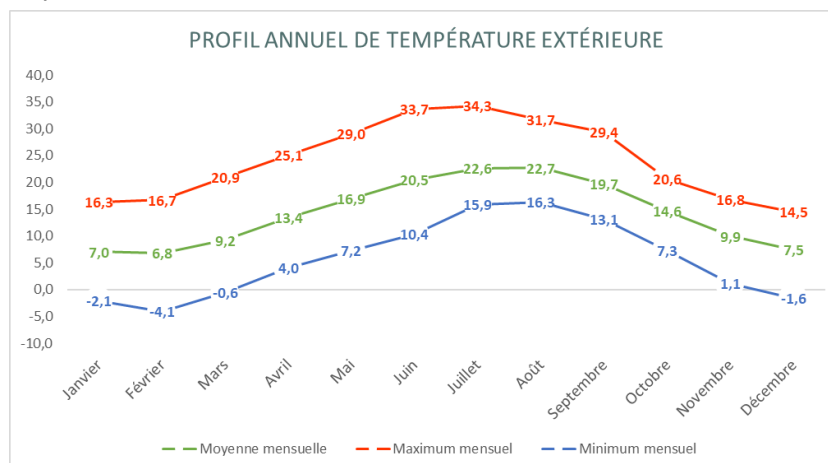
	Nombre d'heures où la température extérieure dépasse													T max °C
	25°C h	26°C h	27°C h	28°C h	29°C h	30°C h	31°C h	32°C h	33°C h	34°C h	35°C h	36°C h	37°C h	
Janvier	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,5
Février	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,4
Mars	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,8
Avril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,7
Mai	20	13	8	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	29,1
Juin	76	53	34	23	9	5	3	-	-	-	-	-	-	31,9
Juillet	118	73	52	28	17	10	8	6	3	-	-	-	-	33,5
Août	85	52	19	10	5	3	-	-	-	-	-	-	-	30,2
Septembre	12	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,9
Octobre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,1
Novembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,4
Décembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,4
Bilan	311 h	199 h	113 h	65 h	32 h	18 h	11 h	6 h	3 h	-	-	-	-	33,5

- Semaines caractéristiques



1.5.2 CARACTERISTIQUES DES DONNEES METEOROLOGIQUES – DONNEES RCP 4.5 2050

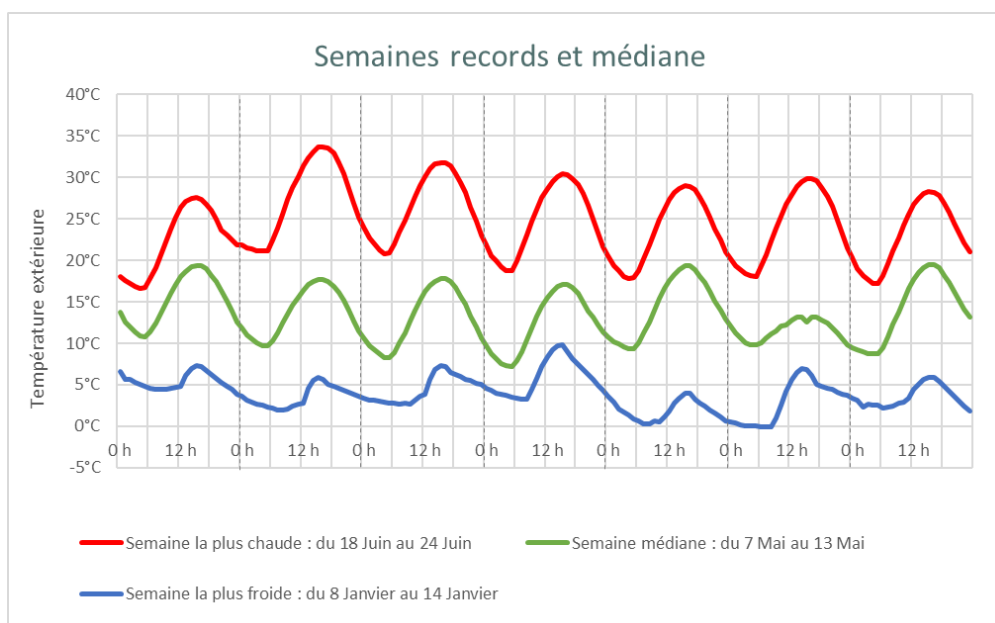
- Profil des températures



- Nombre d'heure pendant laquelle la température dépasse un certain seuil

	Nombre d'heures où la température extérieure dépasse														T max °C
	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°C	36°C	37°C		
	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
Janvier	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,3
Février	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,7
Mars	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,9
Avril	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,1
Mai	30	16	13	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,0
Juin	111	84	68	52	35	25	14	6	4	-	-	-	-	-	33,7
Juillet	154	116	79	49	28	19	14	8	6	2	-	-	-	-	34,3
Août	158	101	55	27	15	6	4	-	-	-	-	-	-	-	31,7
Septembre	33	21	13	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,4
Octobre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,6
Novembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,8
Décembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,5
Bilan	487 h	338 h	228 h	141 h	81 h	50 h	32 h	14 h	10 h	2 h	-	-	-	-	34,3

- Semaines caractéristiques



1.6 L'INDICATEUR DE CONFORT THERMIQUE ET LA STRATEGIE DE CONFORT ESTIVAL

Nous proposons d'utiliser l'indicateur de la norme EN 16798-1. Cet indicateur est intéressant pour notre étude, car il permet la prise en compte de brasseur d'air et une analyse de confort « adaptatif ».

Description critère norme EN 16798-1 :

La NF EN 16798-1 de mai 2019 "Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique" définit dans son article B.2.2 des "températures intérieures acceptables par défaut pour des bâtiments sans système de refroidissement mécanique".

Le critère de confort proposé est applicable dans les conditions suivantes :

- le bâtiment ne doit pas être climatisé,
- l'activité des occupants doit être quasi-sédentaire (assis, sans gros effort physique),
- les occupants doivent pouvoir adapter librement l'isolation thermique de leur habillement,
- les occupants doivent un accès libre à des fenêtres ouvrables, c'est pourquoi la norme émet des réserves quant à l'applicabilité de cet indicateur à des bureaux paysagers.

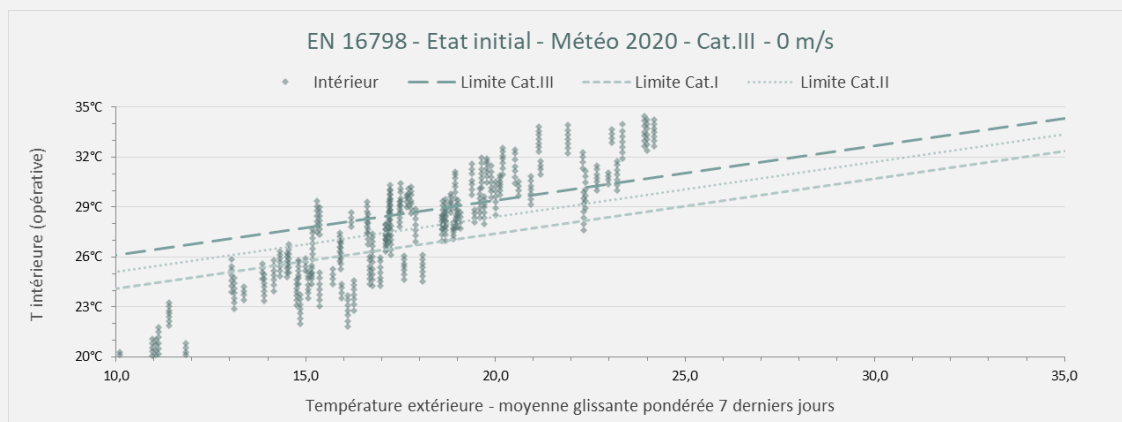
L'indicateur proposé dans cette norme est un critère de confort "adaptatif" : le niveau de confort attendu va évoluer avec la température extérieure. Plus précisément, la température intérieure maximale acceptable pour une journée va dépendre de la température extérieure sur les 7 jours précédents. Le confort sera ainsi plus difficile à respecter en cas de "pic" de température que lors d'une vague de chaleur installée depuis plusieurs jours. Cette particularité vise à refléter le fonctionnement du corps humain, qui peut s'adapter sur un temps "long" mais supporte plus difficilement les variations brutales de température.

La norme définit 3 catégories au niveau de confort différents :

- la catégorie I correspond à un niveau d'attente élevé pour personnes sensibles et fragiles : personnes handicapées, malades, très jeunes enfants ou personnes âgées ;
- la catégorie II correspond à un niveau normal attendu pour les bâtiments neufs et rénovés ;
- la catégorie III correspond à un niveau acceptable attendu pour l'existant.

En plus de ces 3 catégories, le niveau de confort acceptable peut être ajusté si le bâtiment prévoit des équipements de ventilation (brasseurs d'air, ventilateurs personnels), commandés par les occupants, permettant d'assurer une vitesse d'air minimale.

Avec cette norme, l'analyse se fait avec le graphique type suivant :



Sur le graphique précédent, l'axe horizontal représente la température extérieure *en moyenne glissante pondérée*. Ce n'est donc pas la température extérieure telle qu'on la mesure habituellement, mais un calcul basé sur la température des 7 derniers jours. L'axe vertical représente la température intérieure.

Chaque point gris représente une heure d'occupation. Les points sont légèrement transparents, une couleur plus foncée indique la superposition de plusieurs points. Par construction, les heures d'occupation d'une même journée sont alignées verticalement.

Le trait vert représente la limite de confort retenu. 1h d'occupation est estimée inconfortable si le point est situé au-dessus de la ligne. Les limites de confort des deux autres catégories de confort de la norme sont représentées en pointillés gris pour information. Plus une ligne est basse, plus le critère est exigeant.

1.7 LA STRATEGIE DE CONFORT ESTIVAL

Nous étudions différentes solutions pour limiter les surchauffes en été et obtenir de bonnes conditions de confort :

- Usage des protections solaires pour limiter les apports solaires
- Ventilation mécanique double flux pour décharger le bâtiment hors occupation

Les différents scénarios sont étudiés avec une météo actuelle et une météo à l'horizon 2050.

La stratégie proposée se veut :

- passive au sens où elle recherchera à se passer des systèmes actifs, c'est-à-dire de la climatisation,
- être la plus réaliste possible pour prendre en compte les phénomènes d'adaptation du corps humain : en été, je supporte des températures plus élevées.

1.8 RESULTATS

1.8.1 Version base

La version de base correspond à notre projet avec les hypothèses d'usages décrites au paragraphe 1.4, avec prise en compte de la ventilation nocturne, et sans utilisation des protections solaires.

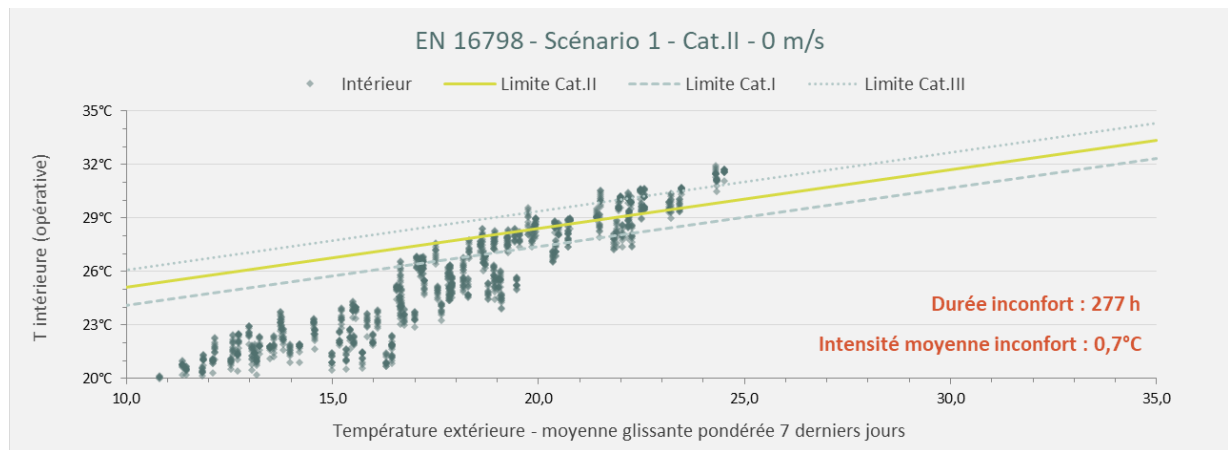
Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Local	Nombre d'heures d'inconfort pendant l'occupation - % du temps d'occupation	
	Météo 2020	Météo 2050
Bureau E122	106 h / 3.9%	233 h / 8.6%
Bureau E107	277 h / 10.2%	420 h / 15.4%
Salle E102	1092 h / 40.1%	1239 h / 45.5 %
Salle E203	752 h / 27.6%	869 h / 31.9%

Nous constatons un inconfort thermique élevé supérieur à 100 heures d'occupation jugées inconfortables dans les locaux étudiés avec une météo actuelle et à l'horizon 2050.

Dans le graphique ci-dessous, les résultats pour le bureau E107, avec une météo actuelle. Nous constatons un inconfort de 277 h.

Bureau E107 Météo 2020 :



1.8.2 Variantes

Nous étudions les scénarios suivants uniquement avec une météo à l'horizon 2050 :

- Scénario 1 : Mise en œuvre de protections solaires :
 - Selon plans architecte
- Scénario 2 : Mise en œuvre de brasseurs d'air

Résultats – Météo 2020 8.5	Nombre d'heures d'inconfort pendant l'occupation		
	Base	Scénario 1 Protections solaires	Scénario 2 Brasseurs d'air
Bureau E122	106 h / 3.9%	0 h / 0%	0 h / 0%
Bureau E107	277 h / 10.2%	0 h / 0%	0 h / 0%
Salle E102	1092 h / 40.1%	355 h / 13.0 %	232 h / 8.5%
Salle E203	752 h / 27.6%	253 h / 9.3%	146 h / 5.4%

Résultats – Météo 2050 4.5	Nombre d'heures d'inconfort pendant l'occupation		
	Base	Scénario 1 Protections solaires	Scénario 2 Brasseurs d'air
Bureau E122	233 h / 8.6%	0 h / 0%	0 h / 0%
Bureau E107	420 h / 15.4%	0 h / 0%	0 h / 0%
Salle E102	1239 h / 45.5 %	477 h / 16.4%	273 h / 10%
Salle E203	869 h / 31.9%	290 h / 10.6%	184 h / 6.8%

La mise en place de BSO permet un net gain, mais n'est pas suffisante pour atteindre le niveau de confort souhaité dans le programme.

Cet objectif d'inconfort inférieur à 2,5% du temps d'occupation nous semble ambitieux dans le cas d'une rénovation.

Dans une typologie scolaire les apports internes sont importants et les brasseurs d'air particulièrement efficace. Nous proposons donc une version 2 : avec brasseur d'air dans les salles de classe (vitesse courante : 0,6 m/s).

Avec 16 implantations réparties sur l'ensemble du territoire, vous trouverez toujours un interlocuteur Inddigo près de chez vous !



Notre siège social est basé à Chambéry :

367 avenue du Grand Ariétaz
CS 52401
73024 Chambéry Cedex
Tél : 04 79 69 89 69
Mail : inddigo@inddigo.com

Agence de Paris

40 rue de l'Echiquier
75010 Paris
Tél : 01 42 46 29 00

Agence de Toulouse

9 rue Paulin Talabot
Immeuble le Toronto
31100 Toulouse
Tél : 05 61 43 66 70

Agence de Nancy

16/18 Boulevard de la Mothe
54000 Nancy
Tél : 03 83 18 39 39

Agence de Villefranche-de-Lauragais

7 avenue du Général Sarraill
31290 Villefranche-de-Lauragais
Tél : 05 61 81 69 00

Agence de Nantes

4 avenue Millet
44000 Nantes
Tél : 02 40 48 99 99

Agence de Marseille

11, rue Montgrand
13006 Marseille
Tél : 04 95 09 31 00

Agence de Lyon

Flex-O Lyon Tête d'Or
3, rue de Genève
69006 Lyon
Tél : 04 79 69 89 69



www.inddigo.com

[in LinkedIn](#)

[YouTube](#)