



OASIS EXPERT EN PERFORMANCE
ENVIRONNEMENTALE

RAPPORT TECHNIQUE
le 03/12/2013 à AUBAGNE
CENTRE D'ÉTUDE ET DE CALCUL

BOUYGUES IMMOBILIER

SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

MAITRE D'OUVRAGE

BOUYGUES IMMOBILIER

OPERATION

ECOQUARTIER FONT PRE

MISSION

AMO Qualité Environnementale

Affaire N°	Commercial	Ind	Date	Résumé des modifications
A11 039	DRD	01	03/12/2013	Version initiale
Version du	03/12/2013			
Réalisé par	CKN			
Vérifié par	MME			

CENTRE D'ÉTUDE ET DE CALCUL

Tél : 04 42 84 43 43 391 avenue de Jouques
Fax : 04 42 186 187 ZI Les Paluds - BP 71120
Mail : oasiis@oasiis.fr 13782 AUBAGNE CEDEX

SIÈGE

Tél : 04 42 18 61 86 391, AVENUE DE JOUQUES
Fax : 04 42 18 61 87 ZI les Paluds B.P. 71120
Mail : oasiis@oasiis.fr 13782 AUBAGNE CEDEX

S.A.S. AU CAPITAL DE 275 233.25 € - SIRET 352 817 035 00053 - APE 7 112B - RCS : MARSEILLE



● SOMMAIRE

A • AVANT-PROPOS	3
B • SYNTHESE	4
B1 • HYPOTHESES PRINCIPALES	4
B2 • RESULTATS ET ANALYSE	5
C • ANNEXES	6
C1 • METHODOLOGIE	6
C2 • HYPOTHESES	7
C2a. Climatologie	7
C2b. Modèle géométrique.....	9
C2c. Zones thermiques	11
C2d. Matériaux	13
C2e. Protections solaires	13
C2f. Conditions internes	13
C2g. Ouverture des fenêtres	15
C3 • RESULTATS ET ANALYSE	16
C3a. Variantes étudiées	16
C3b. Résultats de confort thermique	16
C3c. Analyse	16

A • AVANT-PROPOS

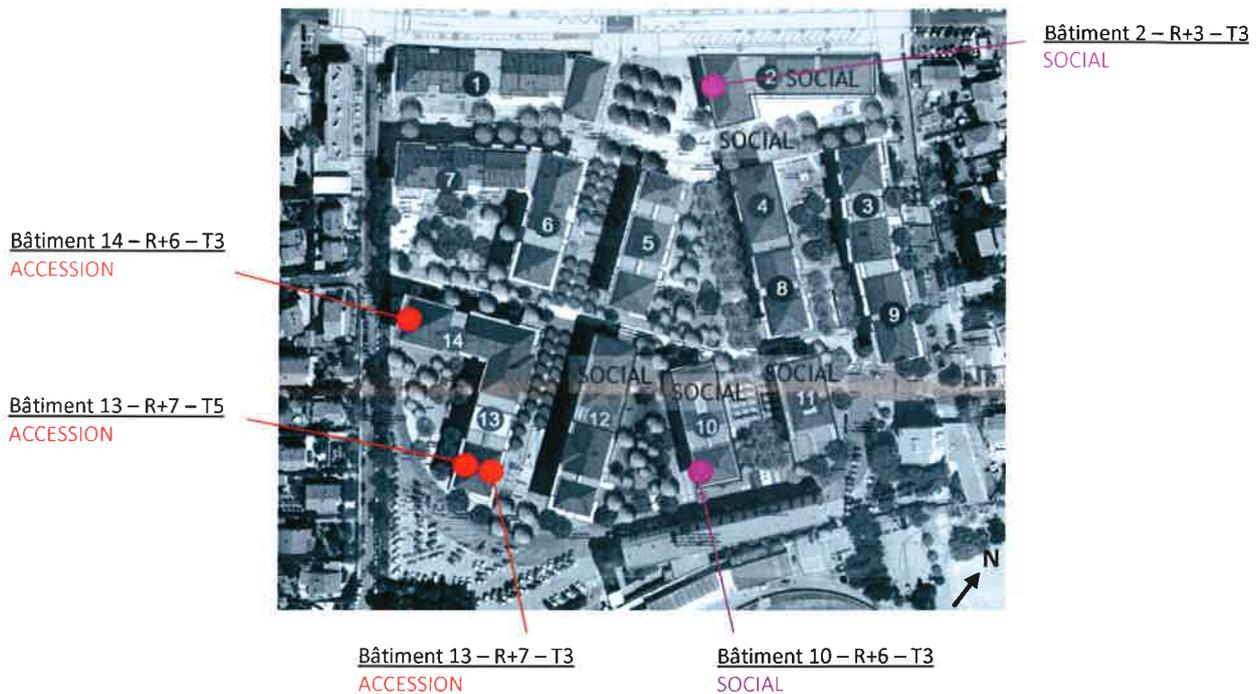
Le projet de construction d'environ 700 logements quartier Font-pré à Toulon s'inscrit dans une démarche de certification NF logement de Cerqual. En plus de ce référentiel, Bouygues Immobilier Var s'engage à répondre aux objectifs de l'addendum NF logement démarche HQE et à respecter la passerelle qui lie ce référentiel au référentiel Habitat Environnement profil A.

Ce référentiel donne comme exigence de **ne strictement pas dépasser 27°C** dans les locaux où l'inertie serait moyenne à légère et les locaux non traversant et ce **fenêtre FERME**.

L'inertie de nos locaux se situe entre fort à très fort. C'est à la demande de Bouygues immobilier, soucieux du confort des occupants que cette étude a été réalisée.

Cette étude a pour but d'évaluer l'état du confort thermique du projet, puis d'étudier l'impact de l'ouverture des fenêtres et l'impact de l'utilisation de volets roulants à lames orientables.

Pour cela, 5 logements situés en position défavorisée sont étudiés :



Ces logements sont en position défavorisée car :

- Ils sont situés au dernier étage : la surface en contact avec l'extérieur est plus importante et les masques proches sont moins importants par rapport à ceux situés en étage inférieur.
- Ils sont orientés Sud et/ou Ouest : ils reçoivent davantage de rayonnement solaire que les logements orientés Nord et Est.
- Il est déconseillé aux logements situés en BR2 et surtout en BR3 d'ouvrir les fenêtres. Pour eux, les résultats doivent être considérés fenêtres fermées. Nous savons néanmoins que cette disposition n'est pas appliquée par l'occupant qui malgré le bruit, ouvre sa fenêtre. Cette mesure est surtout pénalisante pour les logements sociaux, situés en BR3 qui ne disposeront pas de rafraîchissement.

B • SYNTHÈSE

B1 • HYPOTHESES PRINCIPALES

Climatologie

Du fait de sa position en bord de mer, la ville de Toulon est caractérisée par un hiver doux et un été modérément chaud : la température extérieure excède 25°C 75 jours/an et excède 30°C 6 jours/an.

Protections solaires

Le projet comporte différents types de protection solaire :

-  Des protections fixes : les balcons, faisant office de casquette, sont présents sur tous les salons.
-  Des protections mobiles : tous les vitrages sont munis de volets roulants. Ceux-ci sont considérés abaissés sur 70% du vitrage toute la journée en été et demi-saison. Le facteur solaire du vitrage avec volet abaissé est de 10%.

Ouverture des fenêtres

Tous les vitrages sont considérés ouvrants. Pour les variantes avec ouverture des vitrages, le pourcentage d'ouverture est pris en fonction du type et du pourcentage d'abaissement des protections solaires mobiles :

-  30% d'ouverture avec des volets roulants classiques abaissés sur 70% du vitrage.
-  65% d'ouverture avec des volets roulants à lames orientables abaissés sur 70% du vitrage. En effet, nous considérons que les lames entrouvertes laissent passer 50% de l'air.

Les vitrages sont ouverts durant l'occupation éveillée et endormie. Ils sont refermés lorsque la température extérieure est trop élevée.

Variantes étudiées

Variante	Description
Base	Utilisation de volets roulants classiques.
Variante 1	Utilisation de volets roulants classiques. Ouverture des fenêtres.
Variante 2	Utilisation de volets roulants à lames orientables. Ouverture des fenêtres.

B2 • RESULTATS ET ANALYSE

Résultats

Le tableau suivant présente pour chaque espace étudié le nombre d'heure où la température résultante excède 27°C.

Nomenclature utilisée : N° de zone + Bâtiment + Etage + Type de logement + Type d'espace + Orientation.
Le type d'espace « nuit » contient les chambres, le type « jour » contient les autres espaces du logement.

Variante	Base	Variante1	Variante2	Ecart entre variantes 1 et 2
Condition de T° résultante	> 27 °C	> 27 °C	> 27 °C	
Zone				
1. B2 R+3 T3 jour O	410 h	13 h	1 h	-92%
2. B2 R+3 T3 nuit O	536 h	41 h	23 h	-44%
8. B10 R+6 T5 jour S-O	381 h	11 h	3 h	-73%
9. B10 R+6 T5 nuit O	441 h	37 h	23 h	-38%
10. B10 R+6 T5 nuit O	425 h	74 h	37 h	-50%
13. B13 R+7 T5 jour O	462 h	19 h	11 h	-42%
14. B13 R+7 T5 nuit O	606 h	34 h	21 h	-38%
15. B13 R+7 T5 nuit O	632 h	77 h	51 h	-34%
16. B13 R+7 T3 jour S	470 h	27 h	16 h	-41%
17. B13 R+7 T3 nuit E	669 h	56 h	32 h	-43%
20. B14 R+6 T3 jour S-O	344 h	17 h	15 h	-12%
21. B14 R+6 T3 nuit N-O	422 h	43 h	33 h	-23%
22. B14 R+6 T3 nuit S	308 h	14 h	11 h	-21%

Seuil dépassé pendant plus de 14 h
Seuil dépassé pendant plus de 27 h
Seuil dépassé pendant plus de 54 h

Analyse

Base :

L'utilisation des protections solaires seules est insuffisante pour garantir un confort thermique acceptable dans les logements. En effet, les apports solaires et internes ne sont pas déchargés durant la nuit (pas d'ouverture de fenêtre).

Variante 1 :

En revanche, la combinaison de l'abaissement de volets roulants classiques et de la ventilation naturelle permet d'obtenir un état de confort thermique satisfaisant dans tous les espaces étudiés. Cela est dû notamment à la climatologie de bord de mer de Toulon et à l'inertie du projet.

Variante 2 :

L'intérêt des volets roulants à lames orientables est de permettre une ouverture des fenêtres plus importante qu'un volet roulant classique (65% d'ouverture contre 30% pour un volet classique).

Nous pouvons voir que l'utilisation de volets roulants à lames orientables engendre une amélioration notable du confort thermique par rapport à la variante avec volets roulants classiques.

C • ANNEXES

C1 • METHODOLOGIE

📌 Evaluation de l'état du confort hygrothermique d'été :

Le confort thermique correspond à un **état d'équilibre thermique** entre le corps humain et les conditions d'ambiance.

L'indice de confort utilisé est la **température résultante** : il s'agit de la température ressentie par un occupant, car elle tient compte des effets de la convection de l'air ambiant et du rayonnement thermique des parois.

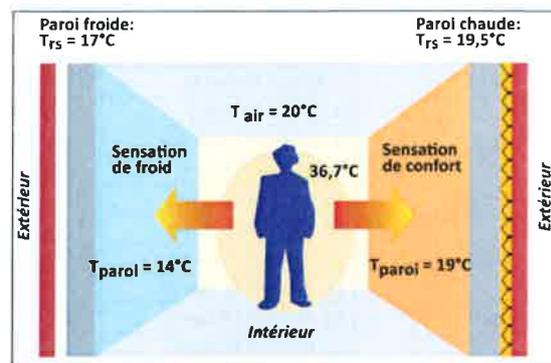
$$t_o = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{h_r + h_c}$$

h_c = coefficient de transfert thermique convectif

h_r = coefficient de transfert thermique radiatif linéaire

t_a = température ambiante

t_{mr} = température radiative moyenne.



Une température résultante de 28°C correspond au seuil au-delà duquel l'occupant ressent de l'inconfort. Le seuil utilisé dans le référentiel Habitat Environnement est 27°C.

La température résultante est déterminée pour chaque heure de l'année grâce à une **simulation thermique dynamique**.

📌 Simulation thermique dynamique :

Une simulation thermique dynamique calcule au pas de temps horaire l'évolution thermique d'un bâtiment, il s'agit donc d'un outil très fin.

Elle est effectuée avec le logiciel **TAS™** (Thermal Analysis Software) développé par EDSL.

Le logiciel nécessite des « données d'entrée » regroupant l'ensemble des hypothèses les plus pertinentes concernant l'évolution hygrothermique du bâtiment :

- les **caractéristiques d'enveloppe** (isolation des parois, isolation des vitrages et des menuiseries, facteurs solaires des parois translucides, inertie, émissivité et absorption solaire de surfaces),
- les **conditions d'occupation** (nombre de personnes et période d'occupation, puissance et gestion de l'éclairage, débit et gestion de la ventilation),
- les **conditions météorologiques** (température extérieure, rayonnement solaire direct et indirect, couverture nuageuse, humidité extérieure, vitesse et direction du vent),
- les **conditions de chauffage et de climatisation** (consignes et gestion du traitement thermique).

Ces données doivent être fournies pour chaque zone thermique prédéterminée et pour chaque heure d'une année type.

Les « données de sortie » fournies par le logiciel permettent de déterminer l'évolution horaire de diverses valeurs, telles que la température résultante, les besoins de chauffage et d'éclairage...

L'interprétation des résultats permet alors d'évaluer le projet sur son confort thermique, sur tous les mois de l'année en référence au fichier météorologique utilisé.

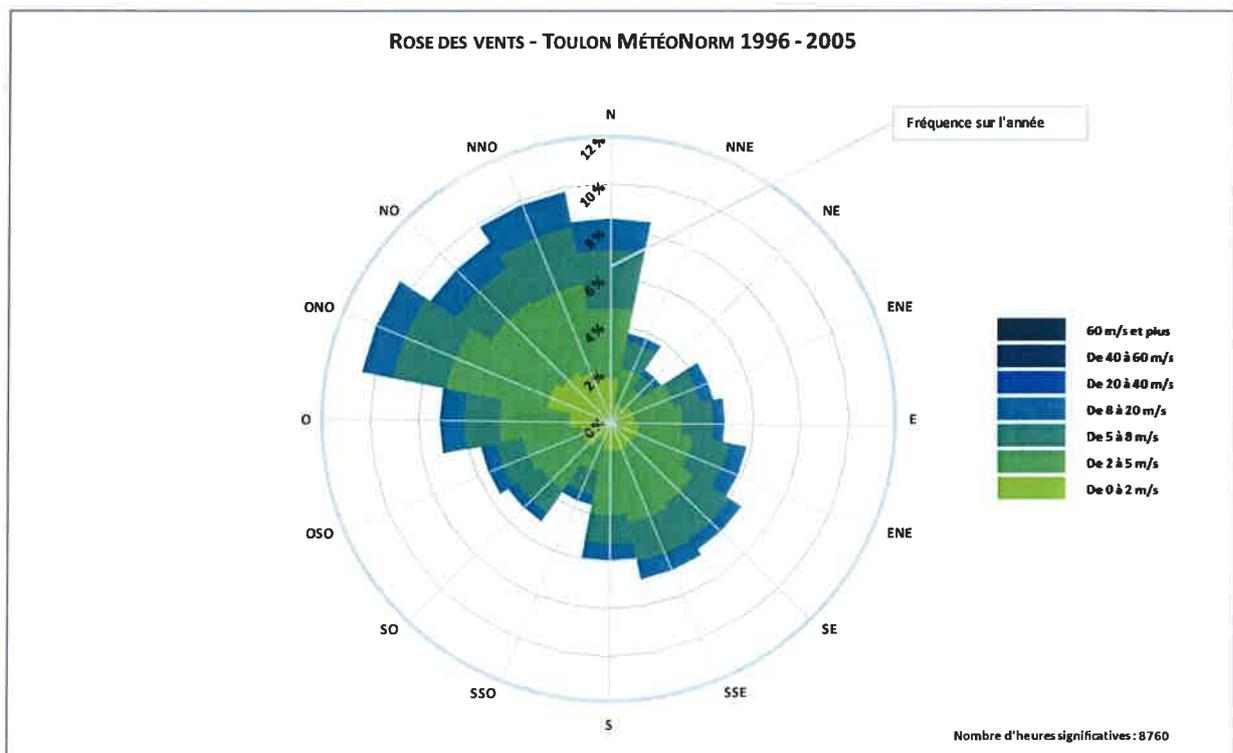
L'étude de simulation thermique dynamique passe donc par différentes étapes :

- 1ère étape : détermination des données météorologiques de référence
- 2ème étape : modélisation en 3D du projet à partir des éléments géométriques disponibles
- 3ème étape : application des caractéristiques thermiques des parois opaques et vitrées
- 4ème étape : détermination des zones thermiques
- 5ème phase : détermination et saisie des conditions internes
- 6ème phase : calcul
- 7ème phase : exploitation des résultats de simulation

C2 • HYPOTHESES

C2a. Climatologie

Les données météorologiques utilisées sont issues de la base de données MétéoNorm pour la station de Toulon. Une synthèse de ces données est présentée ci-dessous.



Les vents dominants proviennent principalement du Nord-Ouest et secondairement du Sud-Est.

FICHE CLIMATIQUE - Toulon MeteoNorm 1996-2005

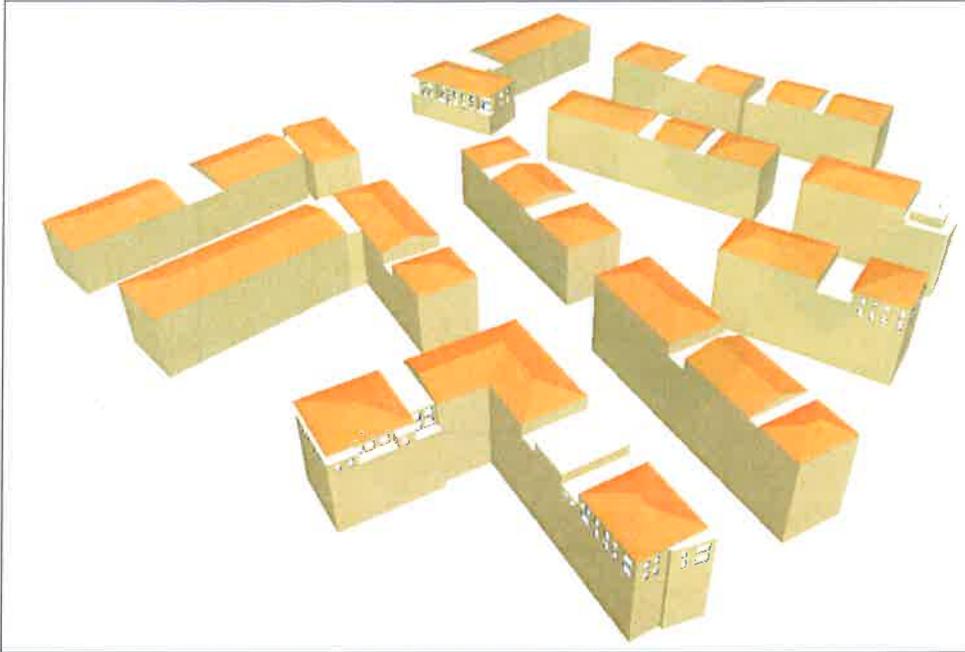
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
Maximum Absolu de Température (°C)													
	15,4	17,0	19,8	21,1	25,6	30,9	32,8	32,2	27,1	23,8	20,8	16,7	
	1/1 14:00	21/2 15:00	17/3 15:00	11/4 15:00	28/5 15:00	19/6 15:00	9/7 15:00	19/8 15:00	2/9 15:00	11/10 15:00	11/11 14:00	16/12 13:00	
Moyenne des Températures Maximum (°C)													
	11,4	12,1	14,6	16,2	20,9	24,8	27,1	27,6	23,3	19,7	14,9	12,1	
Températures Moyennes (°C)													
	9,0	9,2	11,5	13,3	17,8	21,6	23,7	24,2	20,1	17,0	12,0	9,4	
Moyenne des Températures Minimum (°C)													
	6,9	6,6	8,6	10,4	14,6	18,0	20,1	20,8	17,0	14,5	9,6	7,1	
Minimum Absolu de Température (°C)													
	1,5	1,2	4,5	6,0	8,6	14,6	16,5	16,8	13,9	10,3	4,7	1,7	
	13/1 0:00	14/2 23:00	9/3 0:00	30/4 5:00	1/5 0:00	8/6 5:00	15/7 4:00	4/8 4:00	30/9 6:00	28/10 7:00	29/11 7:00	26/12 3:00	
Nombre de Jours où :													Total
>= 30°C	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0	6
>= 25°C	0	0	0	0	2	13	25	29	6	0	0	0	75
<= 0°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<= 0°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<= -5°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<= -10°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rayonnement Global Moyen (J/cm²)													
	20 115	26 291	44 174	55 111	69 391	77 009	78 278	69 152	50 777	33 505	20 803	17 246	
Rayonnement Global Max (W/m²)													
	479	608	781	926	1 009	997	1 005	895	831	823	567	422	

Du fait de sa position en bord de mer, la ville de Toulon est caractérisée par un hiver doux et un été modérément chaud.

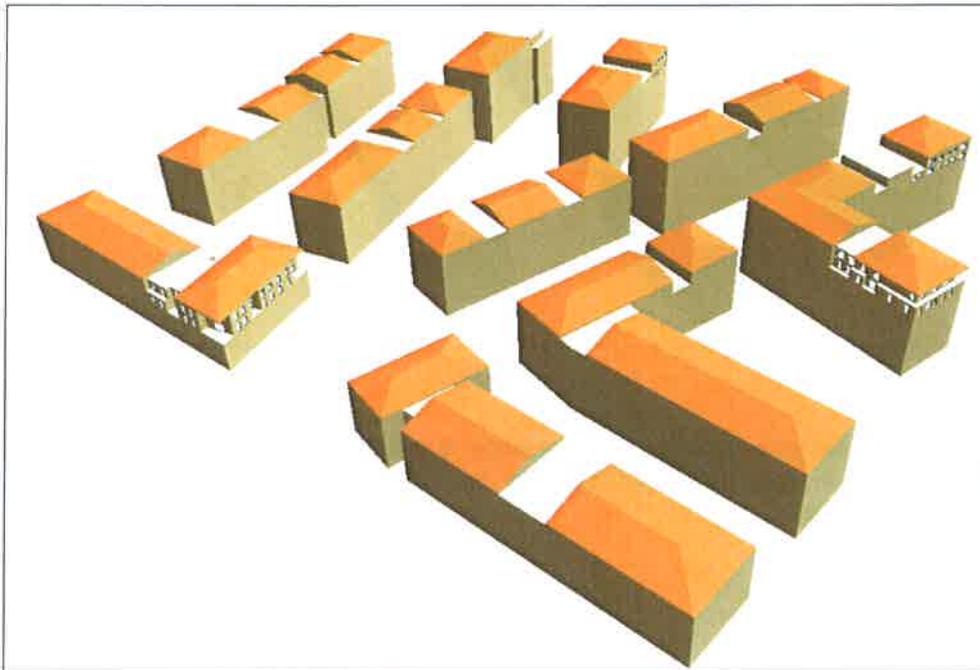
C2b. Modèle géométrique

Les images ci-dessous présentent le modèle en 3D réalisé pour la STD. Bien que n'étant pas représentés géométriquement, les balcons sont pris en compte numériquement dans la simulation.

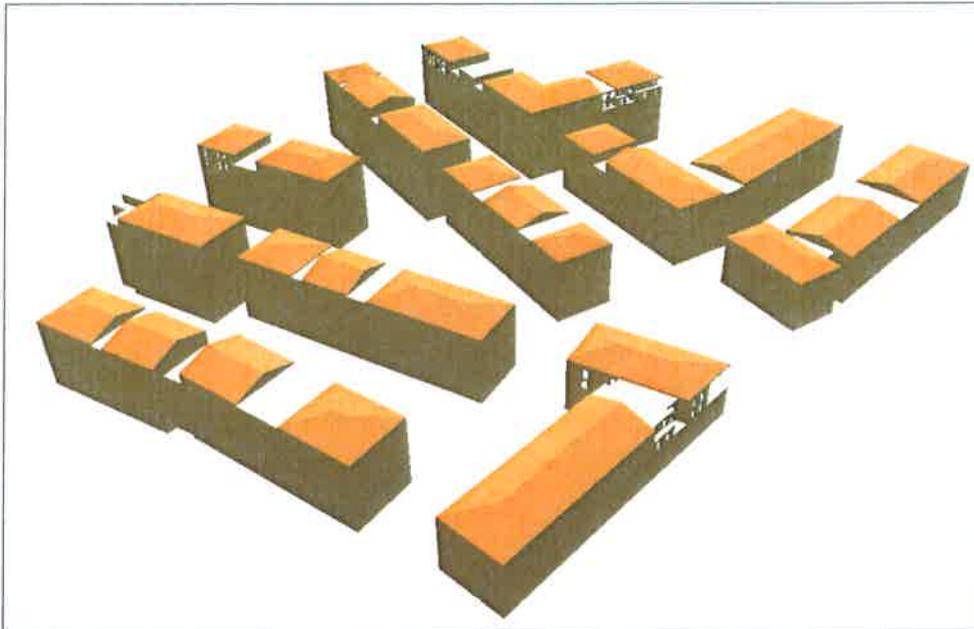
■ Perspective Sud



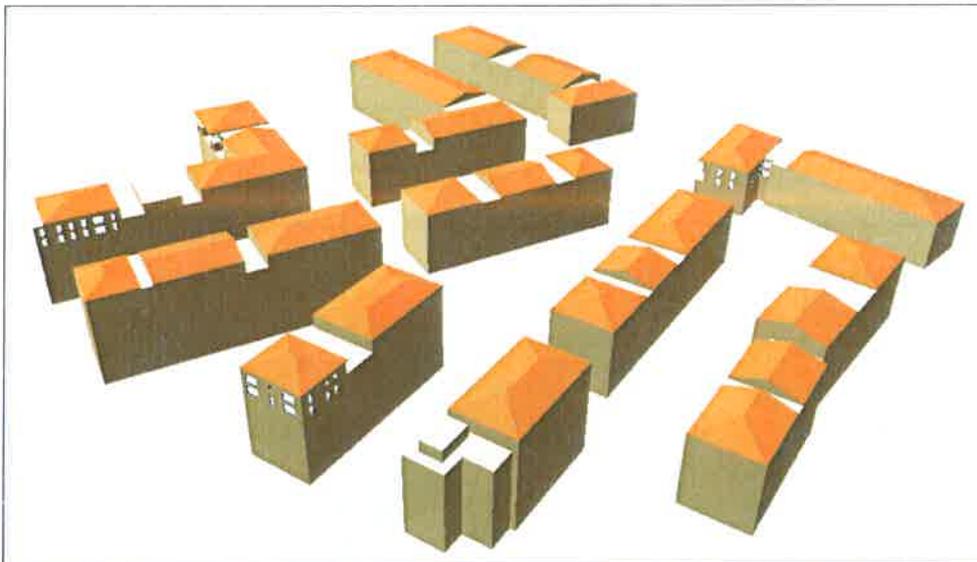
■ Perspective Ouest



■ Perspective Nord



■ Perspective Est



Remarque : ces images n'ont pas pour vocation de représenter la qualité architecturale de l'ouvrage, mais visent à montrer la cohérence entre le projet dans la phase considérée et le modèle géométrique élaboré pour mesurer sa réponse thermique.

C2c. Zones thermiques

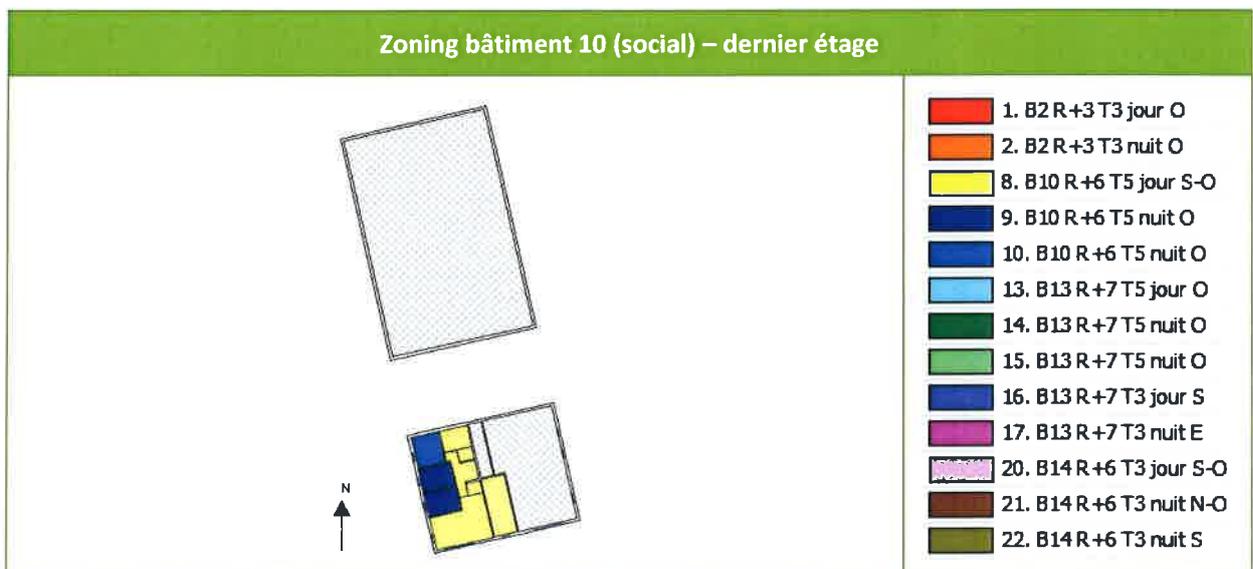
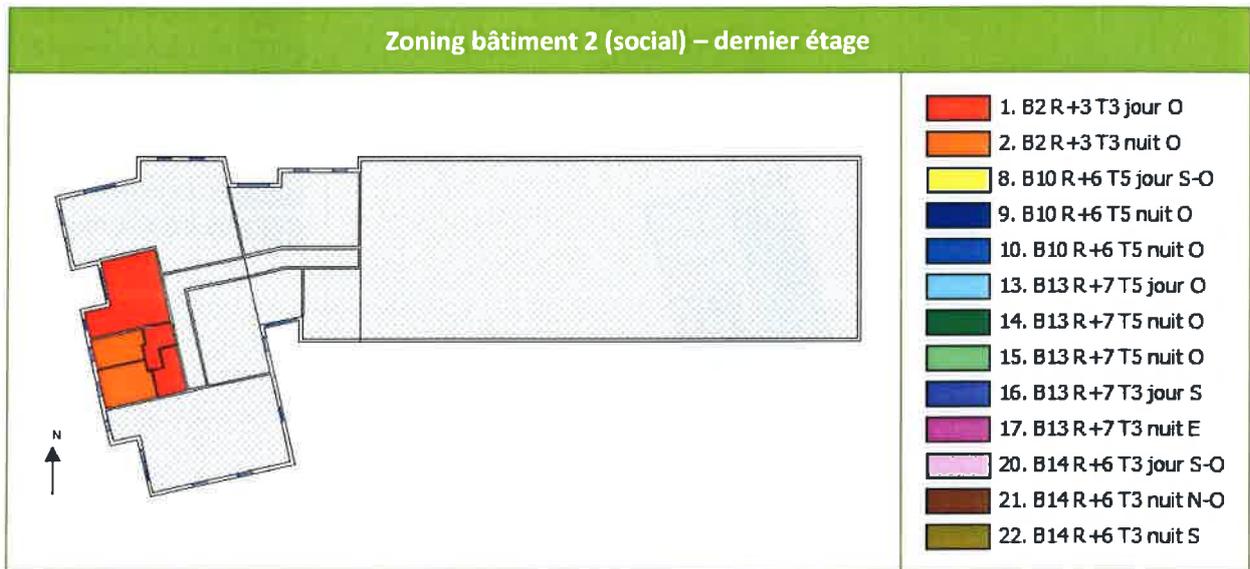
Une simulation thermique dynamique s'effectue à l'échelle de zones thermiquement homogènes. Une zone peut représenter un local, une partie de local ou un groupement de locaux.

Les zones thermiques des logements étudiés sont localisées sur les planches colorées présentées ci-dessous. Pour plus de clarté, les zones thermiques « tampon » entourant les logements étudiés ne sont pas présentées.

La nomenclature utilisée dans la légende est la suivante :

N° de zone + Bâtiment + Etage + Type de logement + Type d'espace + Orientation

Le type d'espace « nuit » contient les chambres, le type « jour » contient les autres espaces du logement.



Zoning bâtiments 13 et 14 (accession) – dernier étage



C2d. Matériaux

Les caractéristiques des principaux matériaux utilisés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Paroi	Description (intérieur vers extérieur)	U des parois Uw des vitrages (W/m ² .K)	Facteur solaire du vitrage seul
Mur extérieur	- Isolant 10cm ($\lambda=0.030$ W/m.K) - Béton cellulaire 18cm	0.26	-
Plancher intermédiaire	- Béton lourd armé 20cm	3.90	-
Plafond sous combles	- Béton lourd armé 20cm - Isolant 30cm ($\lambda=0.040$ W/m.K)	0.13	-
Toiture terrasse	- Béton lourd armé 25cm - Isolant 11cm ($\lambda=0.025$ W/m.K)	0.22	-
Cloison	- Plaque de plâtre - Isolant 5cm ($\lambda=0.038$ W/m.K) - Plaque de plâtre	0.57	-
Mur intérieur	- Béton lourd 18cm	3.73	-
Vitrage	- Double vitrage type Climaplust 4S de SGG, Ug=1.10W/m ² .K - Menuiserie PVC, Uf=1.50W/m ² .K	1.16	43%

C2e. Protections solaires

Le projet comporte différents types de protection solaire :

- Des protections fixes : les balcons, faisant office de casquette, sont présents sur tous les salons.
- Des protections mobiles : tous les vitrages sont munis de volets roulants. Ceux-ci sont considérés abaissés sur 70% du vitrage toute la journée en été et demi-saison. Le facteur solaire du vitrage avec volet abaissé est de 10%.

C2f. Conditions internes

L'occupation des locaux induit un dégagement d'énergie et d'humidité de la part des occupants et du matériel utilisé. On décompose en 4 parties ces dégagements :

■ Occupation

Les dégagements de chaleur sensible et latente des occupants éveillés sont pris à 107W/pers, et ceux des occupants endormis à 85W/pers, conformément à la norme NF EN ISO 7730.

La nuit, en début de journée et en soirée, nous considérons le nombre maximal d'occupant par typologie de logement : 1 personne en T1, 2 personnes en T2, 3 personnes en T3, 4 personnes en T4, 5 personnes en T5.

En week-end durant la journée, nous considérons 50% du nombre maximal d'occupant dans les T2 à T5.

Eclairage

La puissance installée d'éclairage artificiel est prise à 1.4W/m², conformément à la RT2012.

Equipements

Deux types d'équipements sont considérés :

-  Le réfrigérateur de type combiné : 30W 24h/24.
-  Afin de considérer tous les usages (cuisson, audiovisuel, ordinateur), une valeur d'équipement de 70W est considérée pour chaque logement durant l'occupation diurne. Cette valeur ne correspond pas à une utilisation cumulée des tous ces équipements mais à une utilisation lissée sur la journée de chacun d'eux.

Ventilation mécanique

Le débit d'air neuf est déterminé à partir de l'arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements, qui donne les débits d'air extraits minimaux par typologie de logement :

Nombres de pièces principales du logement	Débits d'air extrait (m3/h)				
	Cuisine	Salle de bains avec ou sans cabinet d'aisance	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisances	
				Unique	Multiple
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15

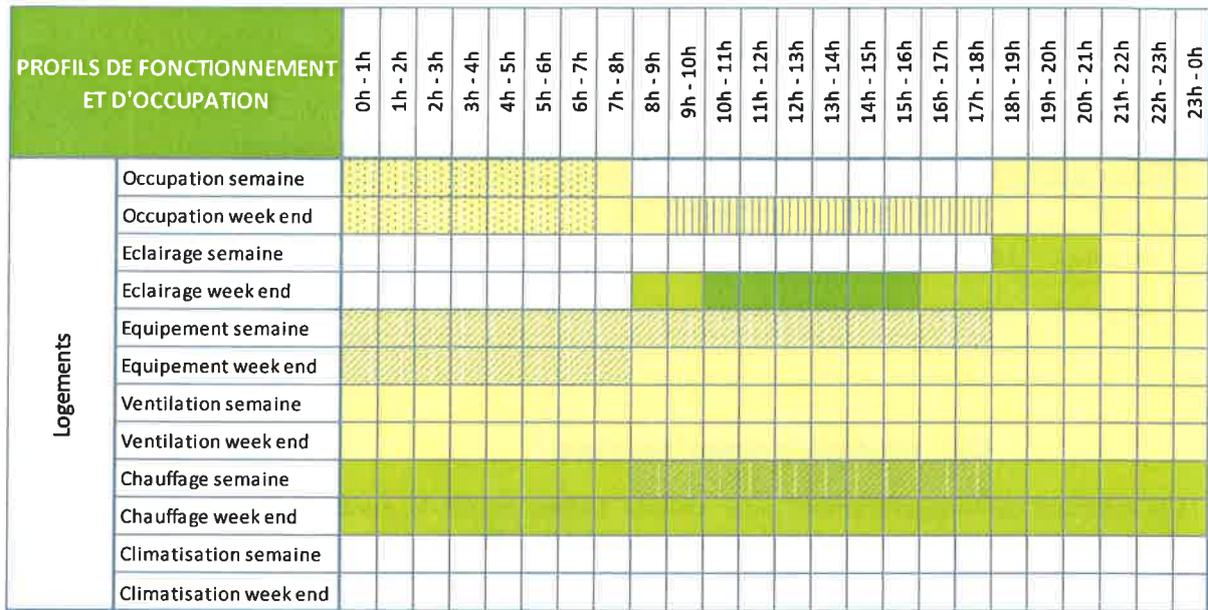
Débit d'air à extraire selon l'arrêté du 24 mars 1982

Pour obtenir le débit d'air neuf par type de logement, nous sommes les débits d'air à extraire demandés par l'arrêté, en considérant que chaque logement comporte une cuisine, une salle de bain et un cabinet d'aisance.

Logement	Débit d'air neuf (m3/h)
T1	105
T2	120
T3	150
T4	180
T5	195

Débit d'air des logements

■ **Planning de fonctionnement :**



C2g. Ouverture des fenêtres

Tous les vitrages sont considérés ouvrants. Pour les variantes avec ouverture des vitrages, le pourcentage d'ouverture est pris en fonction du type et du pourcentage d'abaissement des protections solaires mobiles :

- 30% d'ouverture avec des volets roulants classiques abaissés sur 70% du vitrage.
- 65% d'ouverture avec des volets roulants à lames orientables abaissés sur 70% du vitrage. En effet, nous considérons que les lames entrouvertes laissent passer 50% de l'air.

Les vitrages sont ouverts durant l'occupation éveillée et endormie. Ils sont refermés lorsque la température extérieure est trop élevée.

C3 • RESULTATS ET ANALYSE

C3a. Variantes étudiées

Le tableau suivant détaille les variantes étudiées.

Variante	Description
Base	Utilisation de volets roulants classiques.
Variante 1	Utilisation de volets roulants classiques. Ouverture des fenêtres.
Variante 2	Utilisation de volets roulants à lames orientables. Ouverture des fenêtres.

C3b. Résultats de confort thermique

Les tableaux suivants présentent pour chaque espace étudié le nombre d'heure et le % de temps d'occupation annuel où la température résultante excède 27°C.

Variante	Base	Variante1	Variante2
Condition de T° résultante	> 27 °C	> 27 °C	> 27 °C

Zone	Base	Variante1	Variante2
1. B2 R+3 T3 jour O	410 h	13 h	1 h
2. B2 R+3 T3 nuit O	536 h	41 h	23 h
8. B10 R+6 T5 jour S-O	381 h	11 h	3 h
9. B10 R+6 T5 nuit O	441 h	37 h	23 h
10. B10 R+6 T5 nuit O	425 h	74 h	37 h
13. B13 R+7 T5 jour O	462 h	19 h	11 h
14. B13 R+7 T5 nuit O	606 h	34 h	21 h
15. B13 R+7 T5 nuit O	632 h	77 h	51 h
16. B13 R+7 T3 jour S	470 h	27 h	16 h
17. B13 R+7 T3 nuit E	669 h	56 h	32 h
20. B14 R+6 T3 jour S-O	344 h	17 h	15 h
21. B14 R+6 T3 nuit N-O	422 h	43 h	33 h
22. B14 R+6 T3 nuit S	308 h	14 h	11 h

Variante	Base	Variante1	Variante2
Condition de T° résultante	> 27 °C	> 27 °C	> 27 °C

Zone	Base	Variante1	Variante2
1. B2 R+3 T3 jour O	7.6 %	0.2 %	0.0 %
2. B2 R+3 T3 nuit O	9.9 %	0.8 %	0.4 %
8. B10 R+6 T5 jour S-O	7.0 %	0.2 %	0.1 %
9. B10 R+6 T5 nuit O	8.1 %	0.7 %	0.4 %
10. B10 R+6 T5 nuit O	7.8 %	1.4 %	0.7 %
13. B13 R+7 T5 jour O	8.5 %	0.4 %	0.2 %
14. B13 R+7 T5 nuit O	11.2 %	0.6 %	0.4 %
15. B13 R+7 T5 nuit O	11.7 %	1.4 %	0.9 %
16. B13 R+7 T3 jour S	8.7 %	0.5 %	0.3 %
17. B13 R+7 T3 nuit E	12.3 %	1.0 %	0.6 %
20. B14 R+6 T3 jour S-O	6.3 %	0.3 %	0.3 %
21. B14 R+6 T3 nuit N-O	7.8 %	0.8 %	0.6 %
22. B14 R+6 T3 nuit S	5.7 %	0.3 %	0.2 %

Seuil dépassé pendant plus de 14 h

Seuil dépassé pendant plus de 27 h

Seuil dépassé pendant plus de 54 h

Seuil dépassé pendant plus de 0.25 % du temps d'occupation

Seuil dépassé pendant plus de 0.50% du temps d'occupation

Seuil dépassé pendant plus de 1.00 % du temps d'occupation

C3c. Analyse

L'utilisation des protections solaires seules est insuffisante pour garantir un confort thermique acceptable dans les logements. En effet, les apports solaires et internes ne sont pas déchargés durant la nuit (pas d'ouverture de fenêtre).

Variante 1 :

En revanche, la combinaison de l'abaissement de volets roulants classiques et de la ventilation naturelle permet d'obtenir un état de confort thermique satisfaisant dans tous les espaces étudiés. Cela est dû notamment à la climatologie de bord de mer de Toulon et à l'inertie du projet.

Variante 2 :

L'intérêt des volets roulants à lames orientables est de permettre une ouverture des fenêtres plus importante qu'un volet roulant classique (65% d'ouverture contre 30% pour un volet classique).

Nous pouvons voir que l'utilisation de volets roulants à lames orientables engendre une amélioration notable du confort thermique par rapport à la variante avec volets roulants classiques.

