

Donneur d'ordre

VILLE DE MONTREUIL

93100 MONTREUIL

Opération

STADE NAUTIQUE MAURICE THOREZ
À
MONTREUIL

Mission

ETUDE ENERGETIQUE
ET DU CONFORT D'ÉTÉ

Lyon, le 20 décembre 1999

SOMMAIRE

1. GENERALITES	5
1.1 LE CONTEXTE	6
1.2 OBJECTIF DE L'ETUDE	6
1.3 METHODOLOGIE	6
2. PRESENTATION	8
2.1 FICHE ETABLISSEMENT	9
2.2 FICHE BUREAU D'ETUDE	10
2.3 FICHE CONSOMMATIONS	11
3. DESCRIPTION DU PROJET	12
3.1 BÂTIMENT	13
3.1.1 Surfaces	13
3.1.2 Caractéristiques thermophysiques des parois	14
3.1.3 Infiltrations	15
3.2 OCCUPATION	15
3.2.1 Planning	15
3.2.2 Température et hygrométrie	15
3.2.3 Charges internes	15
3.2.4 Puissance électrique appelée	16
3.2.5 Besoins d'eau	16
3.2.6 Eau chaude sanitaire	16
3.3 CHAUFFAGE - VENTILATION	17
3.3.1 Chaufferie Gaz	17
3.3.2 CTA Hall bassins	17
3.3.3 Locaux annexes	18
3.4 MODULE DE COGENERATION	18
3.5 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES	19
4. ETUDE ENERGETIQUE	20
4.1 ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES	21
4.1.1 Besoins thermiques pour le chauffage de l'eau des bassins	21
4.1.2 Besoins du gymnase	21
4.1.3 Besoins thermiques pour le chauffage des halls et des locaux	21
4.1.4 Conclusion	22
4.2 HYPOTHESES DE MODELISATION	23
4.2.1 Air	23
4.2.2 Eau des bassins	23
4.3 BESOINS THEORIQUES	23
4.4 RENTABILITÉ DU MODULE DE COGÉNÉRATION	24

5. ETUDE DU CONFORT D'ETE	32
5.1 CAS DE BASE	33
5.2 PROTECTION SOLAIRE ET VENTILATION NOCTURNE	33
5.3 REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE INDIRECT DES LOCAUX ANNEXES	33
6. ETUDE DES TRANSFERTS AERAULIQUES	38
6.1 INTRODUCTION	39
6.2 MÉTHODE ET HYPOTHÈSES DE CALCUL	39
6.3 DONNÉES UTILISÉES	40
6.4 RESULTATS	41
6.4.1 Régime d'hiver	41
6.4.2 Régime d'été	48
6.5 CONCLUSION	51

1. GENERALITES

1.1 LE CONTEXTE

La stade nautique Maurice Thorez à MONTREUIL (93100) est un projet de restructuration lourde d'un équipement de 5 450 m² regroupant sur un même site :

- ✓ un bassin olympique de 50 mètres avec une zone de plongeoirs et un toboggan,
- ✓ un bassin de loisir de 12,5 mètres,
- ✓ une pataugeoire,
- ✓ un centre d'activités sportives.

La solution envisagée pour le chauffage de l'ensemble : halls, bassins, locaux annexes, est une chaufferie au gaz naturel équipée d'un récupérateur sur les fumées. Compte tenu des besoins de chaleur importants et réguliers, la Ville de MONTREUIL a souhaité voir étudiée une solution de cogénération.

La technique retenue est celle du module de cogénération, dimensionné par rapport aux besoins électriques de base, sans revente d'électricité à EDF.

1.2 OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude est :

- ✓ de définir un module de cogénération adapté aux besoins électriques et thermiques de l'équipement, et
- ✓ d'étudier son intérêt économique par rapport à la solution prévue initialement par la maîtrise d'œuvre.

1.3 METHODOLOGIE

L'étude doit prendre en compte les contraintes suivantes :

- ✓ La réglementation des chaufferies gaz conduit la maîtrise d'œuvre à limiter la puissance thermique maximale en chaufferie à 2000 kW.
- ✓ Les règles du CCTG de la maîtrise d'ouvrage publique recommandent que 75% de la puissance utile soit disponible en chaufferie en cas de défaillance d'un des équipements de production thermique.

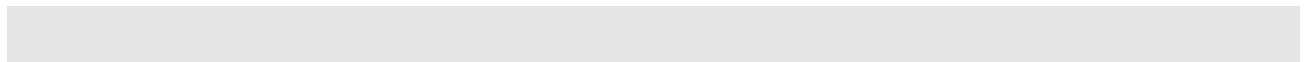
Par ailleurs, la cogénération est a priori d'autant plus rentable que l'énergie délivrée est importante, ce qui milite pour une puissance installée élevée. Mais le taux de charge du module doit être suffisant pour que l'alimentation électrique ne soit pas perturbée.

Pour ce faire, il est indispensable de calculer précisément les besoins de chaleur maximaux et sur l'année, pour dimensionner au plus juste le module de cogénération et estimer au mieux sa rentabilité par rapport à une technologie traditionnelle.

On a donc choisi de s'appuyer sur la simulation thermique dynamique, permettant une modélisation détaillée du bâtiment et le calcul des besoins et des consommations au pas de temps de l'heure à partir d'un fichier de données météorologiques horaires de température, d'humidité, et d'ensoleillement.

De façon complémentaire, cette approche permet de s'intéresser aux conditions de confort dans les différentes zones de l'équipement, notamment en été, et de proposer des stratégies pour minimiser les surchauffes.

2. PRESENTATION



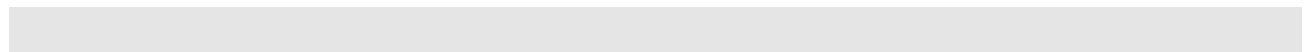
2.1 FICHE ETABLISSEMENT

NOM	Stade Nautique Maurice Thorez 93100 MONTREUIL		
Maître d'Ouvrage	Ville de Montreuil 93100 MONTREUIL		
Interlocuteurs	M. SCHWEITZER Mme du CHATELET	Tel : 01 48 70 65 05	

Architecte	M. Eric LEMARIÉ	Tel : 01 42 46 92 85
------------	-----------------	----------------------

Type d'Etablissement	Centre Nautique		
Surface	5 450 m2 utiles		
Description	Bassin olympique avec plongeurs, Bassin loisirs, Toboggan, Pataugeoire, Vestiaires, Sanitaires et douches, locaux Personnel, Administration, Salle d'activités sportives, Salle de musculation		

Zone Climatique	H1	Altitude : 70 m Température extérieure de base : -5°C	
	DJU	St Maur 1998 St Maur 1999	2220 2045



2.3 FICHE CONSOMMATIONS

	1997	1998	Coût 1998
Fréquentation	228 330 entrées	211 184 entrées	
EAU	27 644 m ³ ⁽¹⁾	27 178 m ³	279 808 F
FIOUL	447 150 litres	438 281 litres	736 813 F
ELECTRICITE	1 320 361 kWh	1 128 180 kWh	507 073 F

Nota : Les consommations prennent en compte le gymnase

(1) Répartition 1997 : Renouvellement : 11 126 m³
 Eau bassin : 3 058 m³
 ECS : 5 124 m³
 Gymnase Dorian : 500 m³
 Divers : 7 836 m³

Ratio ECS (1997) : 22,4 litres/entrée

Prix unitaires constatés :

Eau : 10,30 F / m³
 Fioul : 1,68 F / litre
 Electricité : 0,45 F / kWh

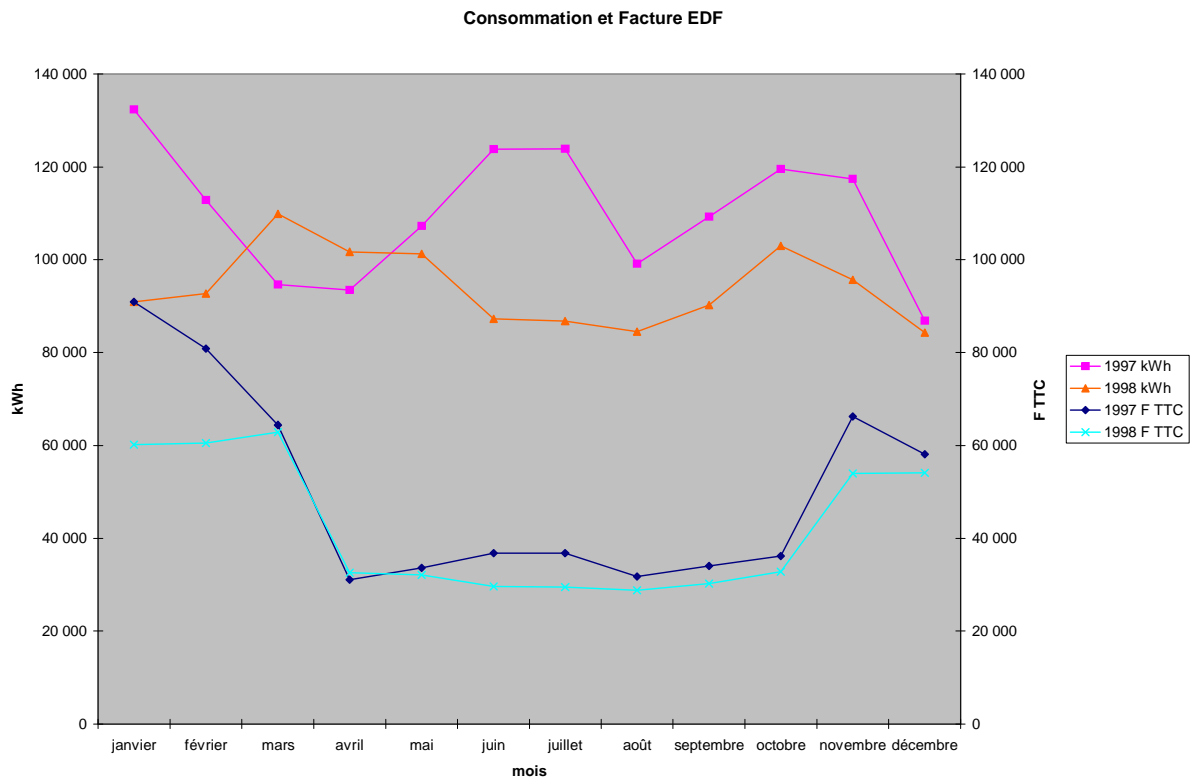
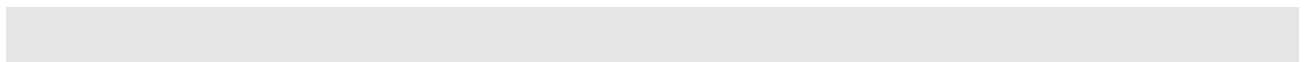


Figure 2.1 : Répartition mensuelle de la consommation d'électricité

3. DESCRIPTION DU PROJET



3.1 BÂTIMENT**3.1.1 Surfaces**

Sous-sol :

ACTIVITE	m2 utiles
MUSCULATION : y compris vestiaires, douches, sanitaires	340
PERSONNEL : y compris vestiaires, douches, sanitaires	131
TOTAL	471

Rez de chaussée :

ACTIVITE	m2 utiles
HALL BASSIN OLYMPIQUE : y compris gradins et locaux de rangement	2 217
HALL BASSIN LOISIRS :	445
PATAGEOIRE :	156
DOUCHES :	156
SANITAIRES :	76
VESTIAIRES PISCINE	654
ACCUEUIL : hall, billetterie,...	255
ACCES ETAGE :	30
TOTAL	3 989

Etage :

ACTIVITE	m2 utiles
SALLE D'ACTIVITE :	506
ADMINISTRATION : Direction, secrétariat, bureaux, réunions, archives,	224
VESTIAIRES ACTIVITES : y compris douches, sanitaires, rangements	258
TOTAL	988

3.1.2 Caractéristiques thermophysiques des parois

PAROIS	TYPE	K (W/m²/K)
Mur à isolation extérieure (bâtiment neuf)	Enduit armé Polystyrène expansé 100 mm Agglomérés de béton 20 cm	0,38
Mur à isolation intérieure (bâtiment refait)	Enduit extérieur Agglomérés de béton 20 cm Polystyrène expansé 100 mm	0,48
Mur intérieur sur local non chauffé	Béton 20 cm Polystyrène expansé 80mm	0,46
Parois vitrées verticales (vestiaire Ouest)	Pavés de verre	3,22
Parois vitrées verticales (pataugeoire)	Réglite	3,00
Parois vitrées verticales	Châssis métallique Double vitrage EKO+ Lame d'air 12 mm	2,10
Parois vitrées horizontales	DAMPALON CRISTAL 16mm	1,55
Portes vitrées	Châssis métallique Double vitrage clair 4 - 12 - 4	2,80
Skydoms	Translucides isolés	2,80
Toiture légère	Bac acier FOAMGLASS T4 12 cm	0,39
Toiture Terrasse	Étanchéité FOAMGLASS T4 12 cm Béton 20 cm	0,38
Plancher isolé sur Vide Sanitaire (partie neuve)	Béton 20 cm FIBRASTYRENE 5 cm	0,73
Plancher non isolé sur Vide Sanitaire (partie existante)	Béton 20 cm Carrelage	2,20
Plancher sur terre-plein	Dalle Béton 20 cm Isolation périphérique 1 m Épaisseur 5 cm	k = 1,7 W/m/K

3.1.3 Infiltrations

Le taux d'infiltration d'air neuf dans les halls et les locaux annexes est pris égal à 0,5 vol/h.

3.2 OCCUPATION

3.2.1 Planning

Nombre de baigneurs en période scolaire de septembre à mai :

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Lu	10	10	10	10	100	50	50	100	100	100	100	100	150	150	150	
Ma	4	4	100	100	100	50	50	100	100	100	100	100	150	150	150	
Me	4	4	100	100	100	100	100	200	200	200	200	200	150	150	150	
Je	4	4	100	100	100	100	75	75	100	100	130	130	150	150	150	
Ve	4	4	100	100	100	50	50	100	100	100	100	100	100	150	150	150
Sa	4	4	200	200	200			100	100	100	100	100	4	4		
Di	4	100	100	100	100	100										

Ces plannings ne concernent en semaine que les scolaires. Mais les visiteurs extérieurs sont peu nombreux en hiver, période qui nous intéresse plus particulièrement par rapport au fonctionnement de la cogénération.

3.2.2 Température et hygrométrie

- ✓ Température de l'eau des bassins :
 - Bassin sportif : 27°C
 - Bassin loisir : 31°C
- ✓ Température et hygrométrie des halls :
 - 27°C et 65% lorsque la température extérieure est inférieure à +10°C
 - 24°C et 85% lorsque la température extérieure vaut +24°C
 - Interpolation linéaire entre ces consignes lorsque la température extérieure est comprise entre 10 et 24°C.
- ✓ Température des locaux annexes :
 - Locaux "pieds humides" : 24°C. Ralenti de 22h à 7h : 20°C
 - Locaux "pieds secs" : 20°C. Ralenti de 22h à 7h : 16°C

3.2.3 Charges internes

On considère des charges thermiques d'éclairage de 10 W/m² en occupation et de 2W/m² en inoccupation.

3.2.4 Puissance électrique appelée

Les équipements fonctionnant en permanence en hiver sont les suivants :

Traitement d'eau : 94 kVA

Traitement d'air : 66 kVA

Chaufferie : 18 kVA

En considérant un $\cos\phi$ moyen de 0,85, et en tenant compte de la consommation nocturne de l'éclairage et des petits équipements, on obtient un talon de puissance électrique :

156 kW

La consommation en période d'occupation fait intervenir l'éclairage, les autres usages "loisirs" et "santé", ainsi que les besoins du gymnase. On estime que la puissance électrique maximale appelée (en moyenne horaire) est de :

196 kW (moyenne horaire)

Ces valeurs donnent par intégration la consommation électrique annuelle prévisible du site. Par contre, elles sont sous-estimées en ce qui concerne la puissance maximale appelée. C'est pourquoi, dans le but de calculer la rentabilité de la solution de cogénération par rapport à une solution traditionnelle, on a considéré que la puissance maximale était 84 kW supérieure, soit :

280 kW (puissance instantanée)

3.2.5 Besoins d'eau

On ne prend pas en compte dans cette étude les besoins exceptionnels liés au remplissage des grands bassins deux fois par an. Le remplissage mensuel ou hebdomadaire des petits bassins n'entraîne pas une consommation d'énergie significative.

Le bilan thermique doit en revanche prendre en compte les appoints d'eau liés au lavage des filtres, et à l'évacuation par les pédiluves.

On dispose de la consommation pour le renouvellement de l'eau des bassins en 1997 : 11 126 m³
On estime que cette consommation se répartit à parts égales entre le lavage des filtres, réalisé la nuit en semaine, et l'évacuation des pédiluves, en phase avec la période d'occupation. Les pertes par évaporation représentent 10% du total consommé.

On obtient pour le lavage des filtres en puissance moyenne :

51 kW de 22h à 6h, soit 8 heures par jour, hors week-ends.

On obtient pour les pédiluves une puissance moyenne de :

30 kW calée sur la période d'occupation.

3.2.6 Eau chaude sanitaire

On prend en compte une consommation moyenne d'ECS de : 25 litres / baigneur.

Le temps de séjour moyen est de 1 heure la journée en semaine (périodes scolaires)
 2 heures le soir en semaine (entraînements)
 3 heures les samedi et dimanche (loisir)

L'eau est chauffée en moyenne de 7°C à 37°C.

NB : L'échangeur pour l'ECS est placé en amont et en série sur le circuit bassin de sorte que la priorité est donnée à la fourniture d'eau chaude sanitaire sur le réchauffage de l'eau des bassins. Au niveau thermique, cela équivaut à lisser la puissance appelée à chaque instant pour la fourniture d'ECS. On a ainsi obtenu une puissance moyenne de 20,4 kW.

3.3 CHAUFFAGE - VENTILATION

3.3.1 Chaufferie Gaz

En base, il est prévu une chaufferie au gaz implantée au sous-sol comportant trois chaudières, avec un récupérateur sur les fumées monté en dérivation et équipé d'un ventilateur. Il permet de réchauffer le circuit du bassin olympique.

Les calculs préliminaires ont donné les résultats suivants :

Puissance maximale pour le chauffage de l'air, de l'eau des bassins, de l'ECS, et du gymnase jouxtant le stade nautique : 1703 kW

Cette puissance prend en compte :

- ✓ un coefficient de surpuissance sur les déperditions statiques de 1,2
- ✓ les besoins maximaux de ventilation, sans foisonnement
- ✓ une puissance d'ECS de 420 kW pour assurer la fourniture en pointe
- ✓ une puissance de 300 kW pour assurer le chauffage du gymnase adjacent

Puissance calorifique installée en chaufferie : 3 x 660 kWhPCI

La chaufferie dessert

- ✓ Les échangeurs de réchauffage des circuits bassins
- ✓ Un échangeur pour l'ECS
- ✓ Les batteries des CTA
- ✓ Les corps de chauffe des locaux annexes
- ✓ Le réseau de distribution du gymnase adjacent

3.3.2 CTA Hall bassins

Le grand bassin est traité par une centrale de traitement d'air.

Le débit de soufflage a été calculé à 63000 m³/h. La diffusion se fait par le sol au niveau des plages contre les vitrages.

L'hygrométrie intérieure est contrôlée par modulation du taux d'air neuf. La centrale est équipée d'un récupérateur sur l'air extrait dont l'efficacité est de 0,5 au débit maximal (100% air neuf).

3.3.3 Locaux annexes

Les locaux annexes sont ventilés avec des CTA double flux équipées de récupérateurs air / air. Les débits ont été calculés par rapport à l'occupation prévisible des zones.

Le chauffage est assuré par des corps de chauffe statiques en acier.

3.4 MODULE DE COGENERATION

Le module de cogénération à étudier serait installé en chaufferie et viendrait en remplacement d'une des trois chaudières. Il fonctionnerait pendant l'hiver tarifaire EDF, soit 3 624 heures par an.

Il comprend trois modules fonctionnels :

Groupe de production : moteur à gaz et alternateur, capoté, ventilé, et insonorisé

Récupérateur thermique : sur circuit de refroidissement moteur et sur gaz d'échappement

Coffret de commande : synchro-couplage et régulation de la puissance électrique

On dispose des informations techniques fournies par un constructeur dans la gamme de puissance du projet:

P _{elec}	kW	126	171
P _{therm}	kW	267	292
P _{gaz}	kW _{PCS}	494	633
η _{élec}	%	47	58
η _{globalPCS}	%	79	73

Fonctionnement à pleine charge

Pelec	kW	53	88
P _{therm}	kW	145	202
P _{gaz}	kW _{PCS}	261	390
η _{élec}	%	37	44
η _{globalPCS}	%	76	74

Fonctionnement à charge partielle (50%)

Le module retenu pour cette étude de faisabilité a une puissance électrique de 171 kW. De ce fait, le talon de puissance électrique appelée vaut 91% de cette valeur, ce qui est correct par rapport au bon fonctionnement du module.

Par rapport à ces données techniques, la maîtrise d'œuvre a prévu un échangeur complémentaire de condensation des fumées, ce qui améliore le rendement global sur PCS de 10 points.

3.5 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

On a retenu pour la simulation les données météo horaires de température et d'ensoleillement direct et diffus fournis pour une année type à TRAPPES par le CSTB.

La figure 3.1 montre l'histogramme des températures.

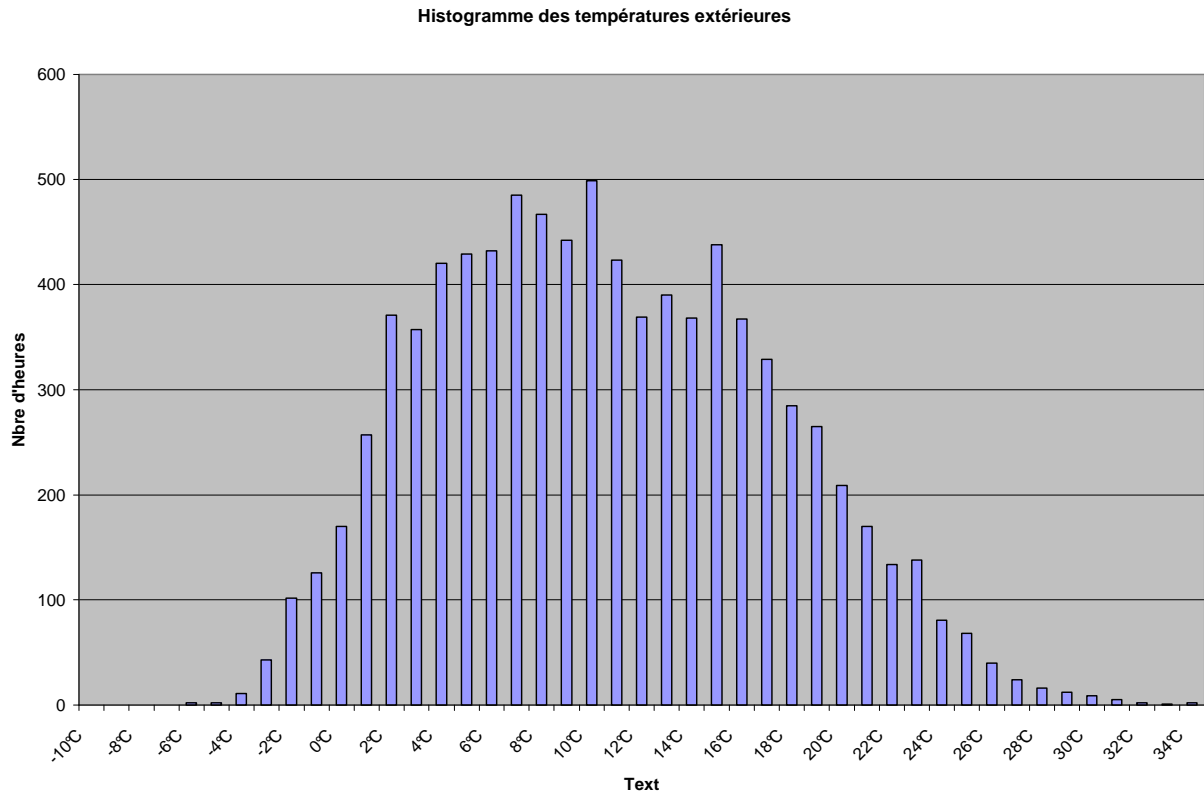


Figure 3.1 : Données météorologiques de Trappes. Source : CSTB

4. ETUDE ENERGETIQUE

4.1 ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES

4.1.1 Besoins thermiques pour le chauffage de l'eau des bassins

A partir de la répartition des consommations d'eau en 1997 (voir 2.3), on peut estimer les consommations d'énergie correspondantes.

	m3	KWh utiles
Evaporation	1 000	700 000
Lavage et pédiluves	10 126	258 123
Remplissage	3 058	70 946
E.C.S.	5 124	178 315
TOTAL	19 308	1 206 828

Soit environ : **Qeau = 1 200 000 kWh**

4.1.2 Besoins du gymnase

Le gymnase peut être schématisé simplement par un parallélépipède :

surface au sol : $S = 1\,360 \text{ m}^2$

hauteur: $h = 27,5 \text{ m}$

posé sur terre-plein. Il est non isolé.

Le coefficient G1 est estimé à : $G1 = 0,55 \text{ W/m}^3/\text{K}$

Le taux d'infiltrations est pris égal à : $RA = 0,5 \text{ vol/h}$

On en déduit que les déperditions de base sont environ : $Dep = GV \times (14 - (-5)) = 513 \text{ kW}$

Or, les pompes hydrauliques qui alimentent les aérothermes ont un débit de $10 \text{ m}^3/\text{h}$. On en déduit que la puissance maximale pouvant être dissipée dans l'ambiance est : $P_{max} = 230 \text{ kW}$, à peine la moitié des déperditions de base. La consigne de 14°C est assurée jusqu'à une température extérieure de $+5^\circ\text{C}$ seulement.

Le chauffage du gymnase n'est donc pas assuré correctement. Les besoins couverts par l'installation peuvent se calculer :

$$Bes = 24 \times GV \times (DJ14 - DJ5) = 24 \times 27\,000 \times 1\,000$$

Soit environ : **Qgym = 648 000 kWh**

4.1.3 Besoins thermiques pour le chauffage des halls et des locaux

La consommation de FOD de l'ensemble du site (piscine + gymnase) est de l'ordre de $440\,000$ litres. Le PCS du FOD est de $10,74 \text{ kWh}_{PCS} / \text{litres}$. On a donc :

$$Q_{FOD} = 4\,725\,600 \text{ kWh}_{PCS}$$

La consommation totale de fioul peut s'exprimer en fonction des besoins de chauffage de l'eau, de l'air, et du gymnase de la façon suivante :

$$Q_{\text{FOD}} = 1/\eta_{\text{PCS}} \times (Q_{\text{eau}} + Q_{\text{gym}} + Q_{\text{air}})$$

Avec Q_{air} : besoins de chauffage des halls et des locaux annexes de la piscine

η_{PCS} : rendement global sur PCS de l'installation de chauffage

Sur cette base, on estime les résultats suivants :

$$Q_{\text{air}} = 1\,318\,000 \text{ kWh}$$

$$\eta_{\text{PCS}} = 67\%$$

4.1.4 Conclusion

- 1) **Le rendement de l'installation de chauffage est médiocre. Le remplacement de la chaufferie permettra d'économiser 25% d'énergie primaire.**
- 2) **Les besoins du gymnase sont très largement supérieurs à ceux estimés par la ville de MONTREUIL.** Ils nécessitent une consommation annuelle de FOD de : $(648\,000 / 0,67) / 10,74$, soit environ :

$$C_{\text{gym}} = 90\,000 \text{ litres FOD}$$

au lieu de 18 000 litres, tel qu'estimé aujourd'hui.

De plus, cette consommation ne suffit pas à assurer le confort en permanence. Les besoins ne sont plus couverts lorsque la température extérieure est inférieure à 5°C.

Le projet de restructuration ne prévoit rien pour le gymnase, le confort ne sera pas davantage obtenu après les travaux.

- 3) **Par différence avec la consommation totale de FOD, la consommation de la piscine s'établit à :**

$$C_{\text{pisc}} = 350\,000 \text{ litres FOD}$$

Avec : $C_{\text{eau}} = 170\,000 \text{ litres}$

$$C_{\text{air}} = 180\,000 \text{ litres}$$

Cette consommation de FOD donne un ratio de 3 000 kWhPCS / m² bassin, ce qui est correct.

Le résultat est obtenu avec une consommation d'eau limitée, en rapport avec la fréquentation assez faible de l'équipement.

Par contre, la consommation pour le chauffage de l'air est élevée, ce qui traduit le manque d'isolation de l'installation actuelle.

4.2 HYPOTHESES DE MODELISATION

4.2.1 Air

A partir de l'analyse des plans et des conditions de chauffage, de ventilation, et d'occupation, on a distingué 13 zones thermiquement homogènes pour la simulation du bâtiment, telles que répertoriées au paragraphe 3.1.1. On a également pris en compte de façon simplifiée le gymnase jouxtant la piscine, dans la mesure où il est chauffé avec la même chaufferie gaz.

Dans chaque zone, on réalise un bilan thermique au pas de temps de l'heure en distinguant les apports convectifs, radiatifs grande longueur d'onde, radiatifs courte longueur d'onde (apports solaires), et les échanges aérauliques entre zones et avec l'extérieur. Par exemple, on a considéré que les transferts aérauliques entre les halls des bassins et les locaux adjacents via les pédiluves représentaient un débit de 600 m³/h.

Dans les halls loisir et olympique et dans la pataugeoire, on a pris en compte les apports latents liés à l'évaporation de l'eau des bassins en réalisant un bilan hydrique à chaque pas de temps.

4.2.2 Eau des bassins

L'eau des bassins échange avec son environnement par :

- Evaporation de l'eau dans l'air ambiant
- Convection avec l'air ambiant
- Rayonnement grande longueur d'onde avec les parois des halls : vitrages, toiture, ...
- Rayonnement courte longueur d'onde : rayonnement solaire absorbé par le plan d'eau
- Conduction par les parois des bassins vers les locaux techniques, les vides sanitaires ou les terre-pleins.

Un bilan thermique sur l'eau est effectué à chaque pas de temps. Il permet de calculer la puissance de chauffage à fournir pour que l'eau reste à la température souhaitée compte tenu des apports et des déperditions.

4.3 BESOINS THEORIQUES

Le tableau 1 donne les besoins thermiques des différentes zones en kWh par an, ainsi que les puissances minimales et maximales en kW. On précise également les puissances et les besoins énergétiques globaux pour chauffer l'ensemble des bâtiments (PAIR), chauffer l'eau de tous les bassins (PEAU), ainsi que le total y compris les besoins d'ECS (PTHERM). Les puissances électriques mini, maxi, et la consommation électrique annuelle sont aussi reportées (PELEC).

On constate une bonne adéquation entre les résultats théoriques du Centre Nautique et ceux déduits de l'analyse des consommations. Les différences s'expliquent par les taux d'occupation prévisionnels plus élevés et par la restructuration des bâtiments.

Les calculs ont été faits hors prise en compte du gymnase. Il convient donc de prévoir une puissance utile supplémentaire minimale de 230 kW et des besoins supplémentaires de 648 000 kWh pour dimensionner les matériels.

Le tableau donne aussi pour les locaux annexes les températures intérieures minimales et maximales, ce qui permet une première approche du confort thermique.

Les courbes en annexe donnent l'évolution des puissances et des températures pour une semaine froide (janvier) et une semaine en demi-saison (avril).

➤ **Les figures 4.1 à 4.3 s'intéressent à la semaine froide.**

La figure 4.1 montre que, en plein hiver, la puissance sur l'air est deux fois supérieure à la puissance sur l'eau.

La figure 4.2 montre l'évolution des besoins thermiques dans quelques zones "témoins" des locaux annexes. On constate que les besoins de chauffage des locaux au sous-sol sont pratiquement nuls, ce que confirme la figure 4.3, qui donne l'évolution des températures intérieures sur la même période. On peut constater sur le tableau 1 que les besoins annuels de chauffage sont extrêmement faibles dans les zones Musculation et Personnel. Ces locaux sont chauffés gratuitement en permanence.

➤ **Les figures 4.4 à 4.6 s'intéressent à la semaine en demi-saison.**

La puissance nécessaire pour chauffer l'eau des bassins est pratiquement au même niveau, en revanche, la puissance sur l'air a fortement baissé (figure 4.4).

Dans tous les locaux, la température est supérieure à 20°C. Seuls les locaux "humides" ont encore besoin de chauffage, (figure 4.5). Des surchauffes sont occasionnées à l'étage au dessus du bassin (figure 4.6).

4.4 RENTABILITÉ DU MODULE DE COGÉNÉRATION

A partir des besoins totaux de chaleur et d'électricité, on peut calculer la consommation annuelle et le coût d'électricité et de gaz pour la solution traditionnelle : une chaufferie composée de trois chaudières au gaz naturel, et pour la solution de cogénération définie au paragraphe 3.4.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 2 (consommations), 3 (coûts), et 4 (solution).

L'analyse thermique permet de dimensionner la chaufferie avec trois chaudières de 660 kW utile, et un récupérateur sur les fumées pour tirer parti du grand besoin de chaleur à bas niveau de température.

Dans les conditions nominales d'exploitation de l'équipement, la consommation prévisionnelle est de :

1 566 840 kWh Electrique

4 325 849 kWh Gaz

y compris les besoins de chauffage estimés du gymnase.

Le coût correspondant de l'énergie est évalué à : 892 852 F HT.

Ce montant peut être rapproché des coûts annuels de l'énergie en 1997 et 1998 de l'ordre de 1 250 kF, et montre l'économie sensible entraînée par les travaux de restructuration.

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

	PLAT [KW]	PEAU [KW]	PSgdbassin [KW]	PTHERM [KW]	PSTOT [KW]	PAIR [KW]	PELEC [KW]	QANcta1 [VOL/H]
MIN	102	27	0	47	0	0	156	0
MAX	265	329	341	731	500	491	296	2.374
TOT [kWh]	1 382 952	1 477 072	1 213 786	3 028 972	1 434 635	1 373 196	1 566 840	

	Pvesteta [kW]	Padmin [kW]	Ptampon [kW]	Pgym [kW]	Phall [kW]	Pvestrdc [kW]	Paccueil [kW]	Pperson [kW]	Pmuscu [kW]
MAX	17	12	0	39	341	97	18	0	5
TOT [kWh]	23 334	5 857	0	29 137	1 213 786	151 607	7 038	0	3 880

	Tvesteta [C]	Tadmin [C]	Ttampon [C]	Tgym [C]	Thall [C]	Tvestrdc [C]	Taccueil [C]	Tperson [C]	Tmuscu [C]
MIN	20	17	11	19	25	20	17	21	21
MAX	31	33	58	34	31	34	34	30	31

Solution de base

Hypothèses : Infiltrations : 0.5 vol/h
 Efficacité récupérateur CTA1 (pour 2 vol/h AN): 0.5
 Rendt Récupération chaleur sur auxiliaires électriques : 0.2

Régulation humidité : Débit d'air neuf variable Qsouf = 63000 m3/h

Légende : PLAT Puissance évaporation des bassins : (QeauGB + QeauPB)*LV
 PEAU Puissance chauffage eau des bassins PLAT + Pcond + Pconv + Prad - PSOL + PaptEAU
 PSgdbassin Besoin de chauffage hall olympique (sensible)
 P THERM Besoin thermique total pour chauffage Eau + Air : PEAU + PAIR + PECS
 PSTOT Besoin de chauffage de toutes les zones
 PAIR Besoin de chauffage de toutes les zones, déduction faite des récupérations sur auxiliaires
 QANcta1 Taux d'air neuf CTA1
 PELEC Puissance électrique totale appelée

Tableau 1 : Besoins de chauffage des différentes zones du Centre Nautique

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

	PEcogé	TAU	Nélec	PTHcogé	PCScogé 0.85	PCScomp 0.85	PELECcomp
MIN [kW]	156	0.912	0.462	338	581	93	0
MAX [kW]	171	1.000	0.482	355	619	443	125

	Solution cogénération					PCShiver	PCSété
	HPO	HPH	HCH	HPE	HCE		
MAX [kW]	109	109	25	280	196	1 061	771
TOT [kWh]	6 150	42 500	3 250	644 064	274 392	2 624 819	1 669 433

Consommation totale :
kWh ELEC kWh GAZ
970 356 4 294 252

	Solution classique					PCShiver	PCSété
	HPO	HPH	HCH	HPE	HCE		
MAX [kW]	280	280	196	280	196	860	771
TOT [kWh]	51 024	403 712	193 648	644 064	274 392	1 894 063	1 669 433

Consommation totale :
kWh ELEC kWh GAZ
1 566 840 3 563 496

Légende :
 PEcogé : Puissance électrique de l'unité de cogénération
 TAU : Taux de charge de la cogénération
 Nélec : Rendement électrique de la cogénération (Pélec / Ptherm)
 PTHcogé : Puissance thermique de l'unité de cogénération
 PCScogé : Puissance gaz PCS de la cogénération
 PCScomp : Puissance gaz PCS complémentaire requise
 PELECcomp : Puissance électrique appelée sur réseau EDF

Pélec = 171 kW
 Rendement PCS Cogé = 0.85
 Rendement PCS chaufferie = 0.85

Tableau 2 : Consommations (hors chauffage gymnase)

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

Coefficients de puissance réduite						Prime Fixe F/kW
	HPO	HPH	HCH	HPE	HCE	
TLU	1.00	0.76	0.31	0.14	0.06	693.36
LU	1.00	0.75	0.31	0.14	0.06	426.72
MU	1.00	0.74	0.31	0.14	0.06	254.40
CU	1.00	0.75	0.33	0.17	0.08	108.24

Abont Gaz F/an
3 791.28

Prix de l'énergie (F/kWh)					
	HPO	HPH	HCH	HPE	HCE
TLU	0.38	0.29	0.23	0.18	0.12
LU	0.64	0.38	0.26	0.19	0.13
MU	0.90	0.47	0.30	0.20	0.14
CU	1.31	0.60	0.36	0.22	0.15

Conso Gaz (F/kWh)	
hiver	été
0.13	0.10
0.74	

Solution cogénération						Préuite kW	Abont F HT	Conso F HT	Total Elec F HT	Total Gaz F HT	TOTAL F HT
	HPO	HPH	HCH	HPE	HCE						
P	109	280	280	280	280						
TLU	2 306.87	12 473.75	743.60	114 256.95	33 036.80	239	165 685.31	162 817.97	328 503.27		
LU	3 937.85	16 175.50	856.70	120 439.97	35 259.37	237	101 239.32	176 669.39	277 908.71		
MU	5 563.91	19 826.25	973.05	129 392.46	38 414.88	236	59 921.38	194 170.54	254 091.92		
CU	8 061.42	25 551.00	1 158.95	138 924.60	41 625.27	237	25 679.94	215 321.24	241 001.18	393 146.17	634 147.35
										Economie :	182 469.70

Solution classique						Préuite kW	Abont F HT	Conso F HT	Coût total F HT	Total Gaz F HT	TOTAL F HT
	HPO	HPH	HCH	HPE	HCE						
P	280	280	280	280	280						
TLU	19 139.10	118 489.47	44 306.66	114 256.95	33 036.80	280	194 140.80	329 228.99	523 369.79		
LU	32 670.67	153 652.79	51 045.61	120 439.97	35 259.37	280	119 481.60	393 068.41	512 550.01	304 067.04	816 617.05
MU	46 161.41	188 331.65	57 978.21	129 392.46	38 414.88	280	71 232.00	460 278.61	531 510.61		
CU	66 882.26	242 711.65	69 054.88	138 924.60	41 625.27	280	30 307.20	559 198.66	589 505.86		

Tableau 3 : Coûts (y compris chauffage gymnase)

Puissance thermique utile maximale : **1 431** kW y compris 300 kW pour le gymnase
400 kW pour l'ECS

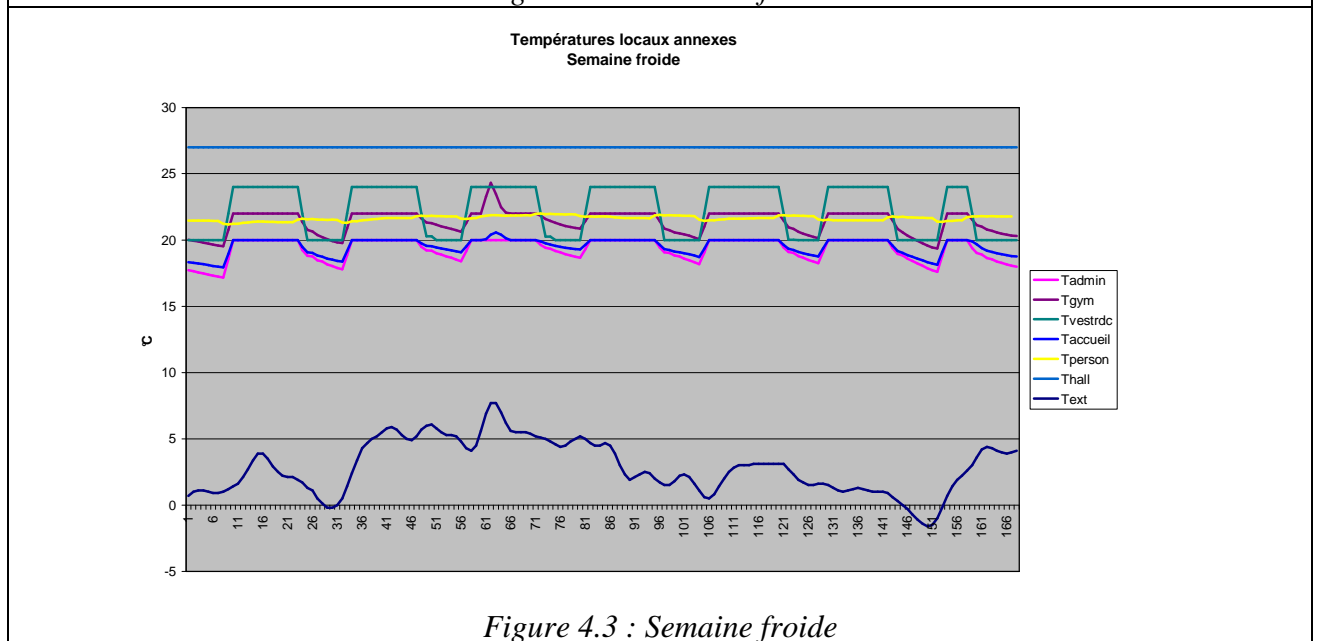
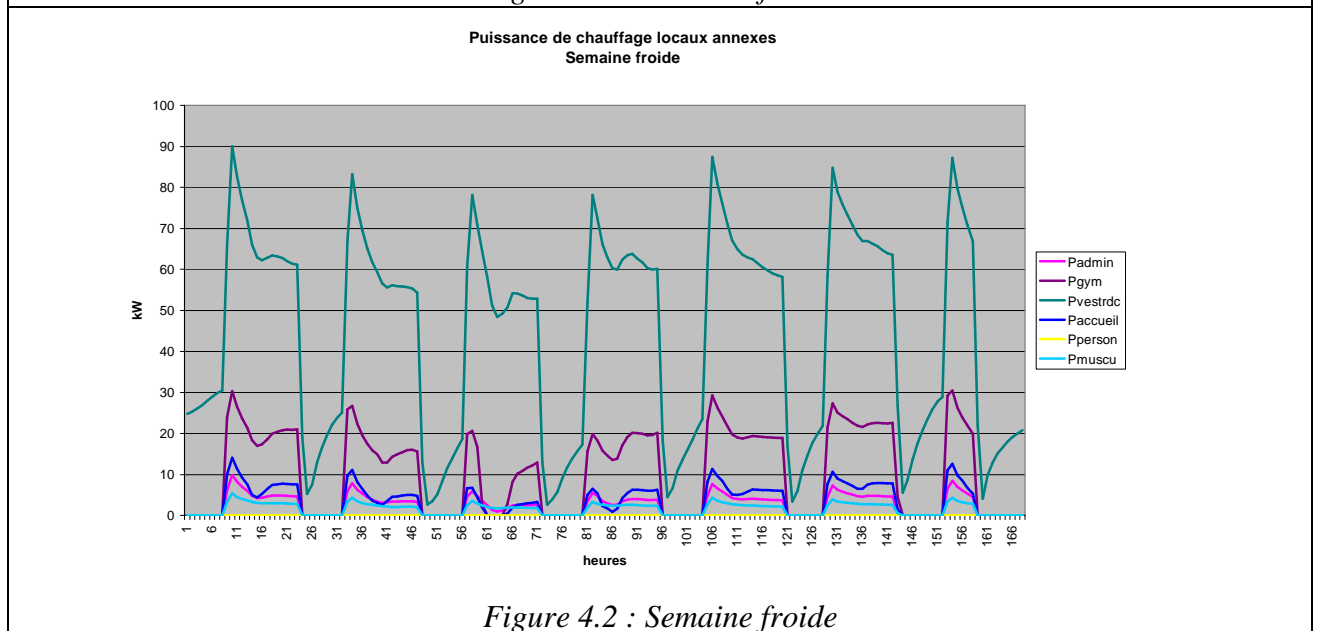
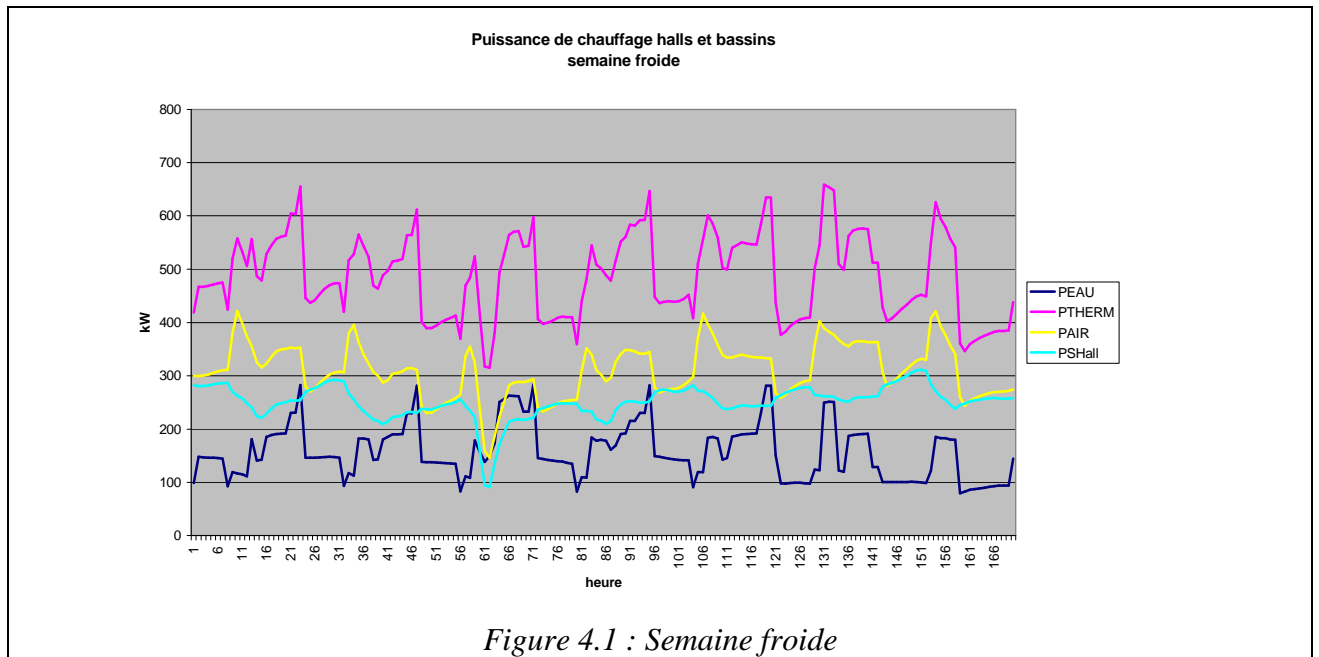
Solution classique :			
3 chaudières	660	kWPCI	
Rendement/PCI :	0.94		
Puissance totale en chaufferie :	1980	kWPCI	
Taux de couverture :	0.87		

Solution Cogénération :			
	171	kWélec	
y compris récupération sur fumées :	355	kWtherm	
	570	kWPCI	
2 chaudières	710	kWPCI	
Rendement/PCI :	0.94		
Puissance totale en chaufferie :	1990	kWPCI	
Taux de couverture :	0.72		

Taux de couverture : Fraction de la puissance thermique utile maximale assurée avec un équipement défaillant

Tableau 4 : Solution technique

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil



Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

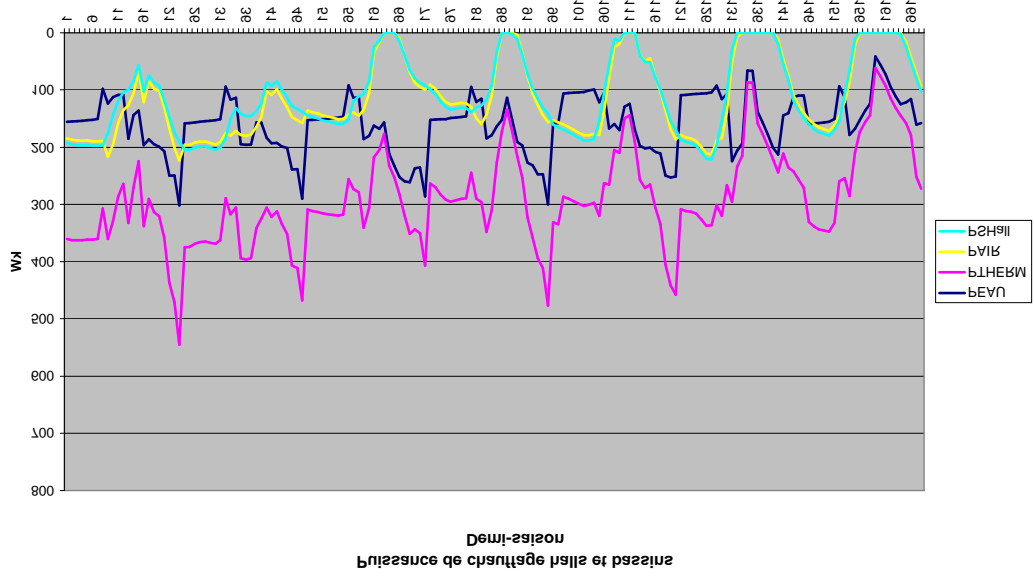


Figure 4.4 : Demi-saison

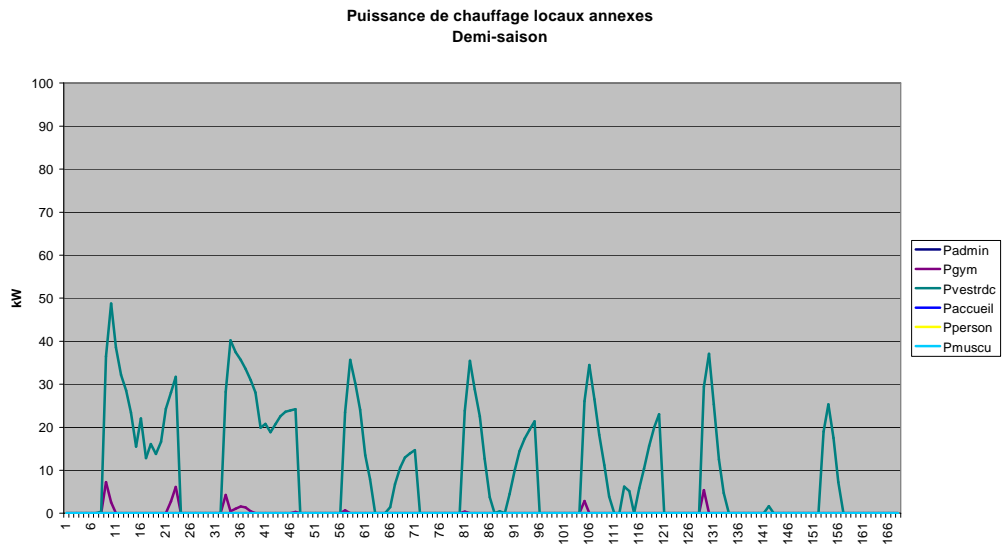


Figure 4.5 : Demi-saison

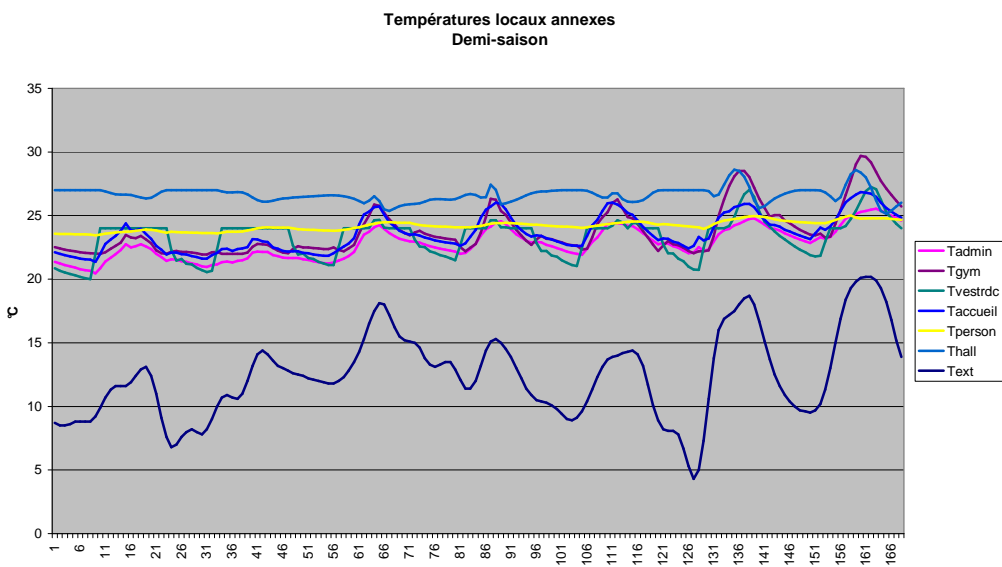


Figure 4.6 : Demi-saison

L'alternative consiste à prévoir un module de cogénération de 171 kW_{élec}, raccordé à deux chaudières Gaz de 710 kW utile. Ce module est équipé d'un condenseur sur fumées et a un rendement global de 85% sur PCS. La puissance souscrite à EDF est diminuée en pointe, mais pas en heures pleines d'hiver pour la sécurité de fonctionnement et assurer la maintenance du module.

On constate sur le tableau 4 qu'avec la puissance maximale de 2000 kW_{pci} en chaufferie, le taux de couverture est de 72 % avec une chaudière défaillante, ce qui est satisfaisant.

Le surcoût d'investissement peut être évalué à : 1 200 000 F HT.

Dans les conditions nominales d'exploitation, la consommation prévisionnelle a été trouvée de :
970 356 kWh Electrique
5 056 605 kWh Gaz

Le coût correspondant de l'énergie est évalué à : 710 382 F HT.

L'économie sur la facture énergétique est donc de : 182 470 F HT.

Cette économie est plus faible que celle escomptée initialement car on a prévu de souscrire la puissance électrique totale appelée en heures pleines d'hiver pour tenir compte de la non-disponibilité éventuelle du cogénérateur pour la maintenance.

Les frais de maintenance liés au module de cogénération sont effectivement à prendre en compte. Ils sont estimés à environ : 57 000 F HT.

On obtient une économie financière annuelle de : 125 470 F HT.

Le temps de retour brut vaut donc : 9,6 ans.

Ce temps de retour est inférieur à la durée de vie prévisible des équipements qui est de l'ordre de 15 ans.

NOTA : Le temps de retour est calculé par rapport à une installation moderne et performante au gaz, et non pas par rapport à l'installation existante actuellement. A ce sujet on a montré au paragraphe 4.1 que la restructuration de l'équipement pouvait entraîner un économie d'énergie primaire de 25%. Avec les valeurs de consommation prévisionnelle calculées ici, on obtient une économie financière supplémentaire de l'ordre de 200 000 F HT/ an.

5. ETUDE DU CONFORT D'ETE



5.1 CAS DE BASE

Dans le cas de base, aucune protection solaire n'est prévue en complément des dispositions du projet initial :

Contrôle solaire :

Vitrages non émissifs, casquette de 2m en haut de la façade Sud, auvent de 6m au premier niveau de la façade Ouest, pavés de verre au niveau des vestiaires.

Ventilation :

La salle d'activité au premier étage est équipée d'une ventilation renforcée à 2 vol/h. Le traitement d'air est arrêté le jour dans le grand bassin et on suppose que la ventilation naturelle représente un taux de 2 vol/h (cette valeur est validée au chapitre 6 avec l'analyse des champs de vitesse et de température) On considère par ailleurs que la ventilation hygiénique des locaux annexes est arrêtée en période d'inoccupation.

La figure 5.1 montre l'évolution des températures de quelques zones "témoin" pendant une semaine chaude de juillet. Les figures 5.2 et 5.3 représentent les histogrammes des températures du hall et de différents locaux au rez de chaussée et à l'étage. On constate que les surchauffes sont importantes, tout particulièrement dans le hall d'accueil et dans le couloir Ouest desservant les locaux du premier étage.

Dans les conditions de base, l'auvent à l'Ouest apporte donc une protection solaire insuffisante en été, et la ventilation de l'accueil est insuffisante.

5.2 PROTECTION SOLAIRE ET VENTILATION NOCTURNE

On a donc évalué l'intérêt des trois actions correctives suivantes :

- ✓ Ventilation naturelle prise en compte dans l'accueil et dans le couloir Ouest, de l'ordre de 1 vol/heure
- ✓ Vitrages à contrôle solaire en façade Ouest, facteur solaire de 0,4
- ✓ Ventilation des locaux maintenue le jour et la nuit pour apporter un complément de rafraîchissement.

Les résultats sont présentés sur les figures 5.4 à 5.6.

L'effet de la ventilation est bénéfique pour le couloir et l'accueil. Cependant, les locaux au premier étage continuent de souffrir de surchauffes importantes.

5.3 REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE INDIRECT DES LOCAUX ANNEXES

Un complément de traitement thermique peut être apporté en équipant les centrales de ventilation double flux des locaux concernés d'un module d'humidification de l'air extrait. Cet air est susceptible de rafraîchir l'air neuf dans l'échangeur de récupération lorsque les conditions sont favorables.

Les résultats sont présentés sur les figures 5.7 à 5.9.

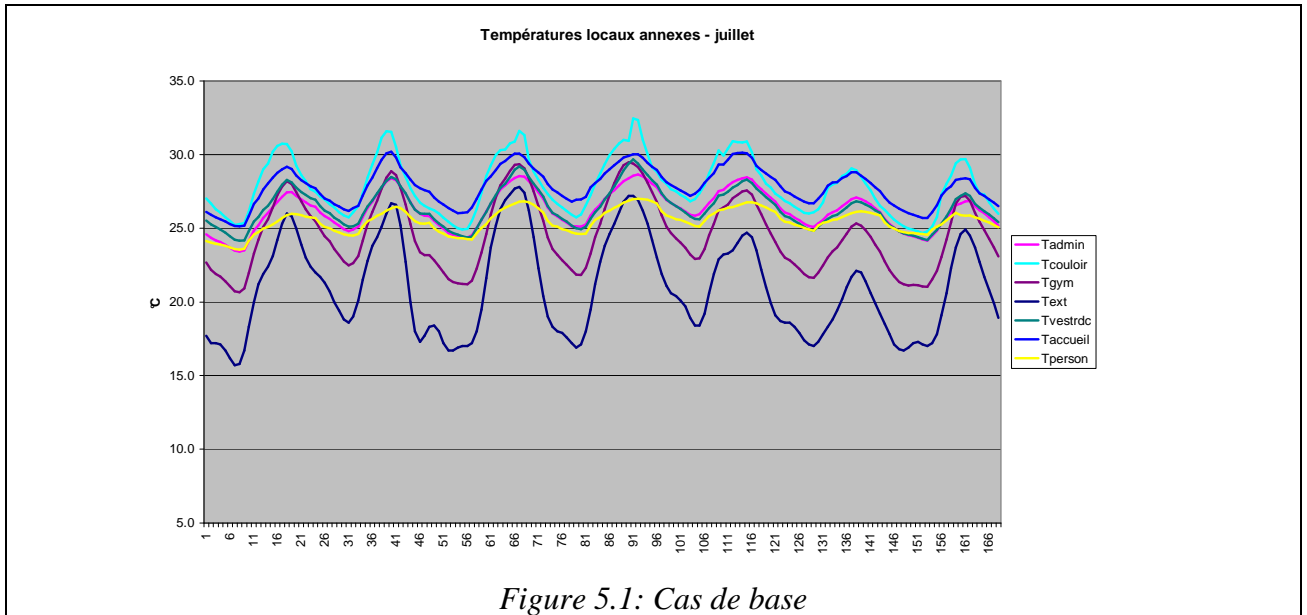


Figure 5.1: Cas de base

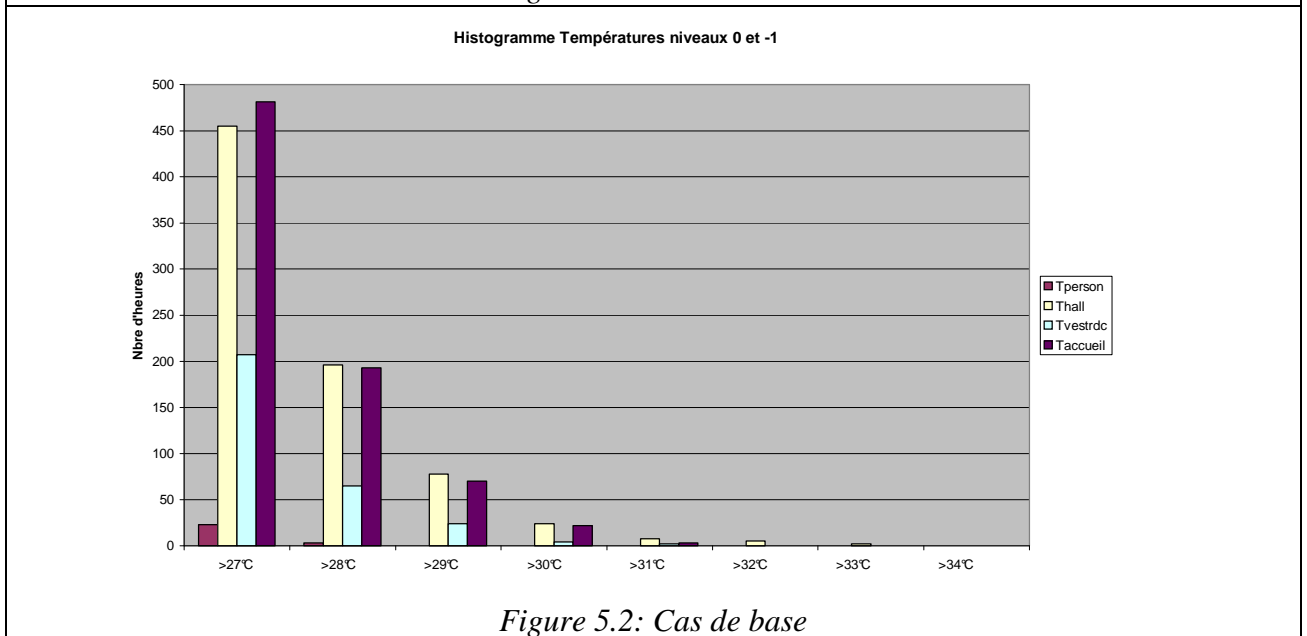


Figure 5.2: Cas de base

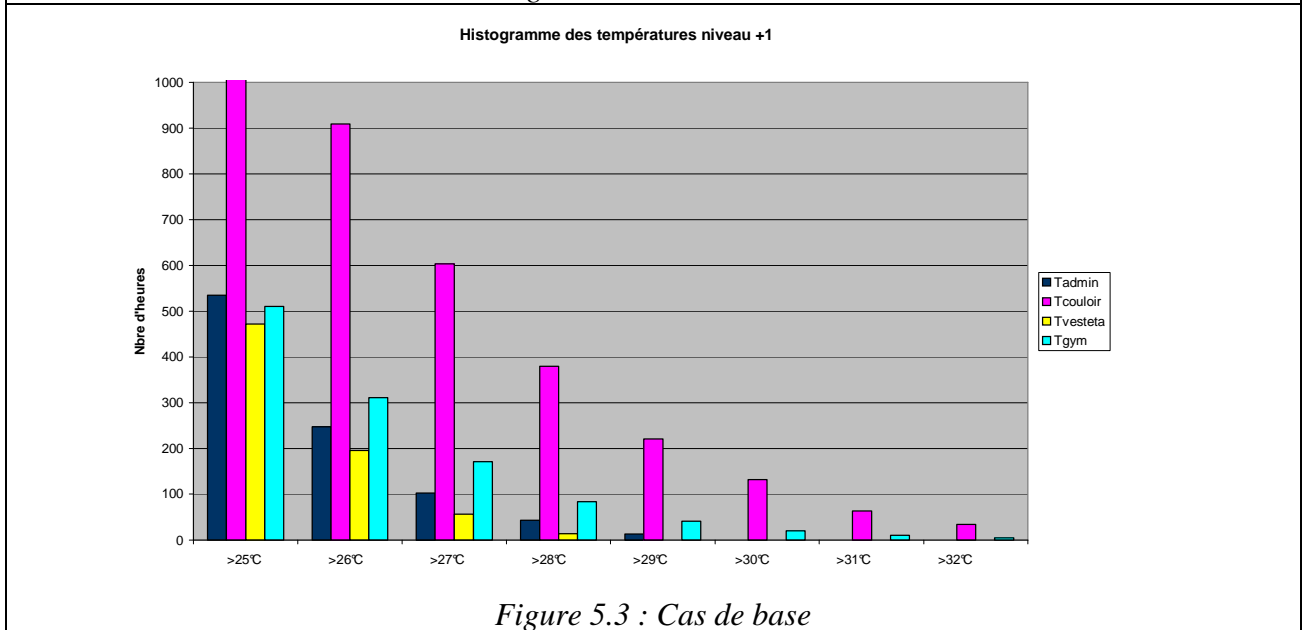


Figure 5.3 : Cas de base

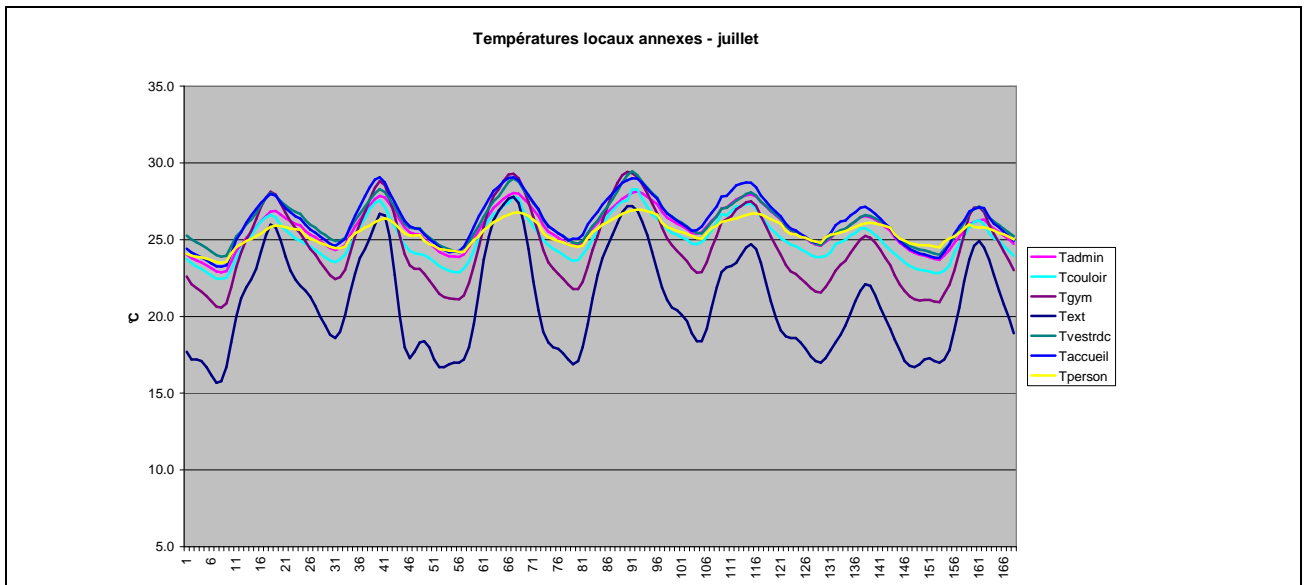


Figure 5.4 : Ventilation naturelle Accueil et Couloir ouest Protection solaire vitrages Ouest étage

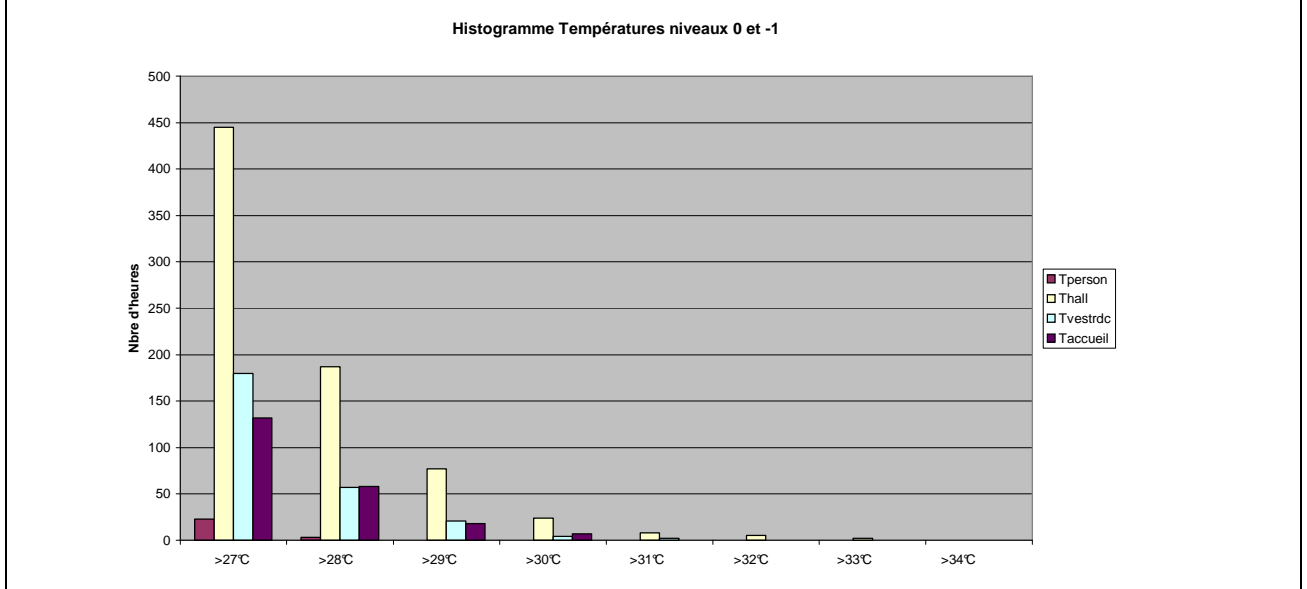


Figure 5.5 : Ventilation naturelle Accueil et Couloir ouest Protection solaire vitrages Ouest étage

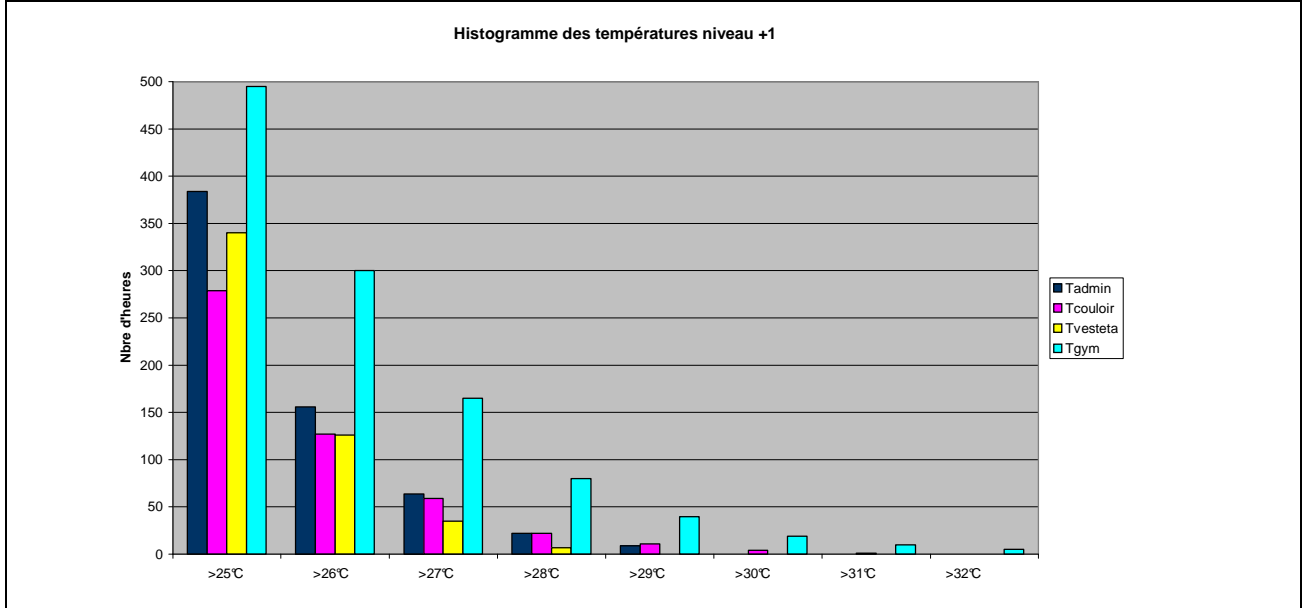


Figure 5.6 : Ventilation naturelle Accueil et Couloir ouest Protection solaire vitrages Ouest étage

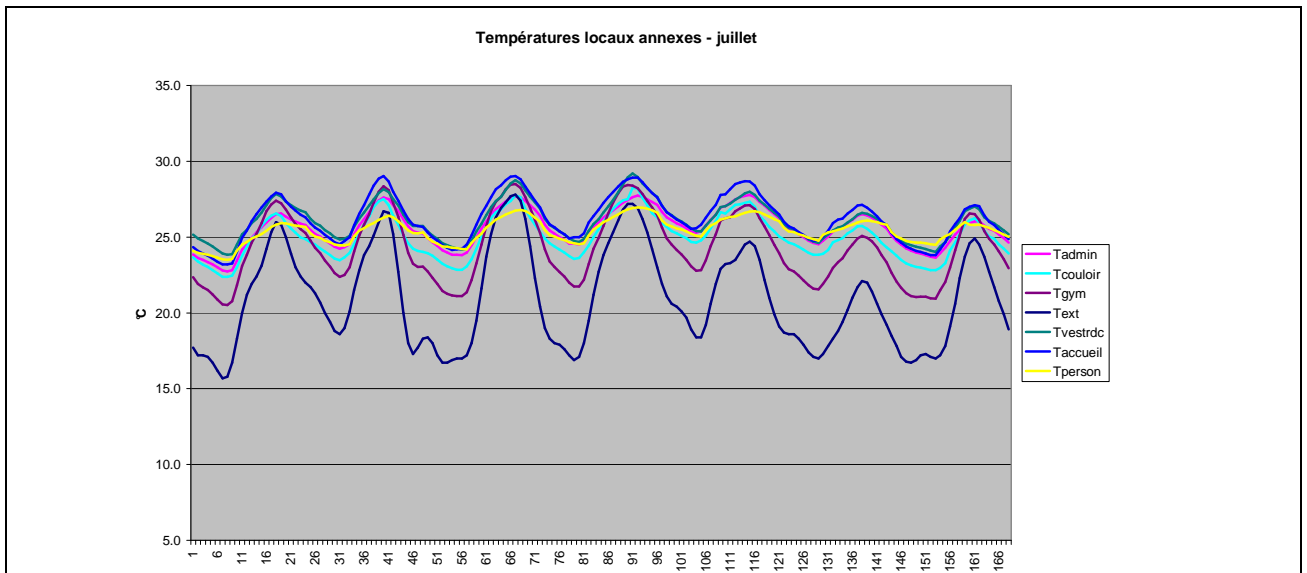


Figure 5.7 : Refroidissement adiabatique indirect

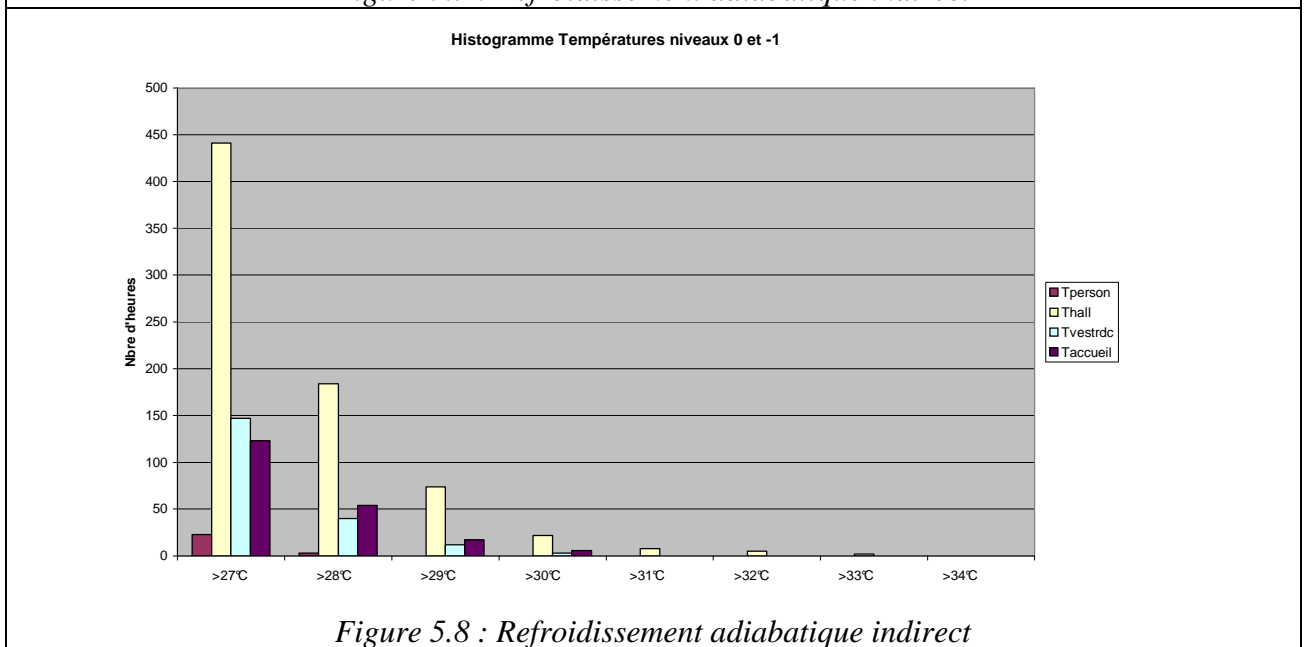


Figure 5.8 : Refroidissement adiabatique indirect

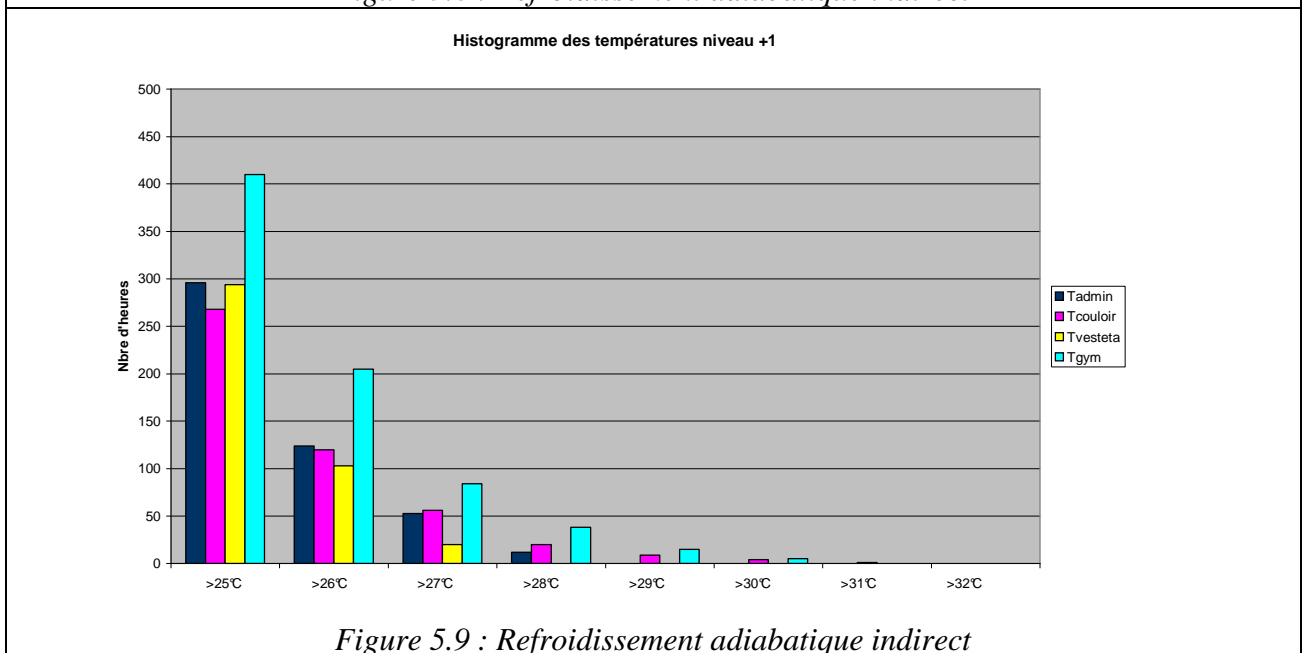


Figure 5.9 : Refroidissement adiabatique indirect

L'effet du rafraîchissement est efficace, particulièrement au niveau des températures maximales atteintes.

En conclusion, nous recommandons, afin d'assurer au mieux le confort dans les locaux annexes au bassin pendant les périodes estivales de prendre les dispositions suivantes :

- ✓ **Vitrage à contrôle solaire renforcé en façade ouest**
- ✓ **Ventilation favorisée dans l'accueil et le couloir Ouest de l'étage**
- ✓ **Ventilation mécanique permanente, jour et nuit**
- ✓ **Rafraîchissement adiabatique indirect sur les centrales Double Flux desservant les locaux de l'étage : salle d'activité, vestiaires, administration.**

6. ETUDE DES TRANSFERTS AERAIQUES

6.1 INTRODUCTION

Le stade nautique est utilisé aussi bien en été qu'en hiver. Dans les deux cas, différents transferts peuvent avoir lieu, soit à travers les parois, soit dans l'atmosphère interne : transferts de chaleur par conduction, convection ou rayonnement du fait de l'ensoleillement de la toiture, transferts d'eau en phase vapeur par suite de l'évaporation des bains et des projections d'eau par les usagers. De ces divers échanges résultent le confort thermique dans l'atmosphère intérieure et les risques de condensation d'eau sur les parois extérieures. L'étude a pour but de prévoir ces effets à partir de la définition de l'ouvrage et des conditions de fonctionnement du système de ventilation et de chauffage. Elle s'appuie sur la simulation numérique.

6.2 MÉTHODE ET HYPOTHÈSES DE CALCUL

L'atmosphère intérieure de la piscine est simulée en résolvant les équations de la mécanique des fluides associées à un modèle de turbulence, ainsi que le transfert de chaleur. Le transfert de vapeur d'eau est également traité en prenant en compte une source donnée représentant à la fois l'évaporation et les projections de liquide par les usagers. On utilise à cet effet un code CFD industriel (*FLUENT*, version 4.5). La figure 6.1 schématise le maillage utilisé pour représenter le domaine étudié.

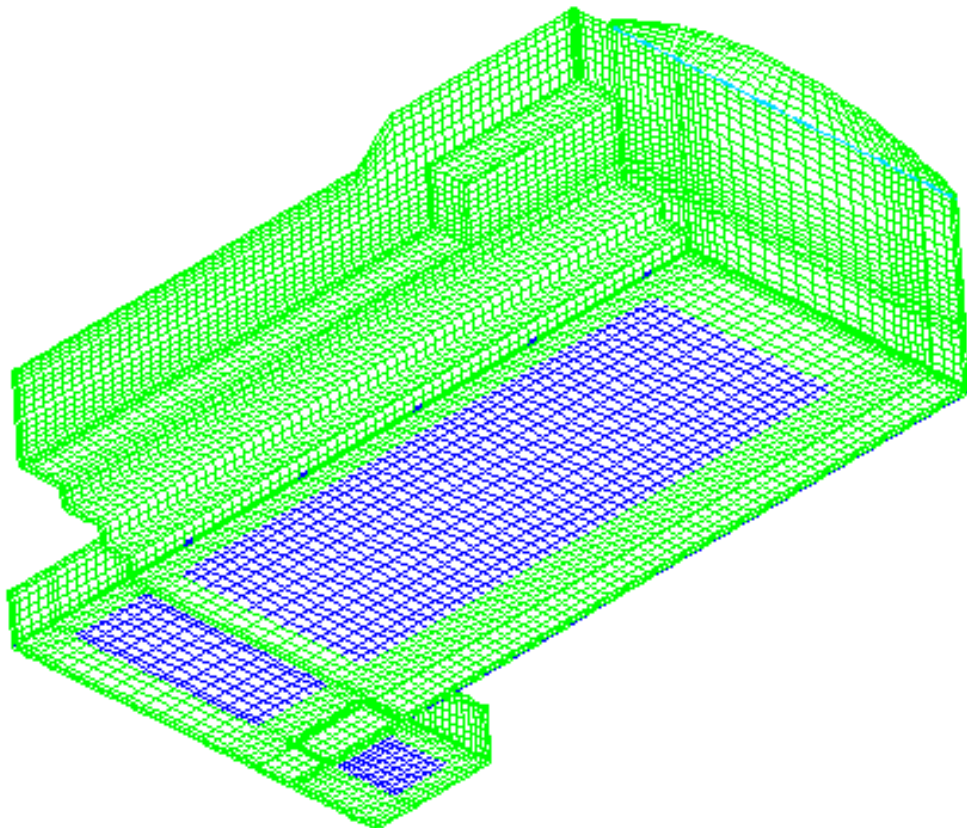


Figure 6.1 : maillage du domaine

Du fait de la taille du domaine et de la nécessité de limiter le nombre de mailles de calcul, les transferts de chaleur et de masse aux parois ne sont pas traités par le code, car ils nécessiteraient le maillage des couches limites. C'est pourquoi les flux correspondants sont calculés préalablement à partir d'hypothèses simples sur les coefficients d'échange au moyen d'un logiciel global fonctionnant par zones (*TRNSYS*). Ces flux sont introduits comme conditions aux limites du calcul CFD, et conditionnent ainsi le bilan thermique. Par suite de l'épaisseur des mailles aux parois, supérieure à ce que nécessiterait une résolution précise du transfert, les températures de ces parois données par le code ne peuvent pas être considérées comme exacte ; cela n'affecte cependant pas les champs de vitesse, de température et de concentration en vapeur d'eau obtenus à l'issue des calculs.

6.3 DONNÉES UTILISÉES

Les données géométriques résultent des plans d'architecte, le domaine étudié comprenant l'espace englobant les deux bassins (grand et petit), ainsi que la pataugeoire. Les données concernant le fonctionnement thermique du système, qui résultent en partie de l'étude préliminaire effectuée au moyen du logiciel TRNSYS, sont rassemblées dans les tableaux suivants.

Type de paroi □	Flux d'hiver (W/m ²)□	Flux d'été (W/m ²)□
Cloison et plafond mitoyen gymnastique	-15	0
Mitoyenne vestiaire	-15	0
Mitoyenne accueil	-22	0
Plage (pourtour bassins)	-28	-5
Mur <i>sud-est</i> pataugeoire	-70	20
Vitrages <i>sud</i>	-52	30
Vitrage <i>nord</i>	-55	25
Mur <i>est</i>	-20	-5
Pignon <i>ouest</i>	-20	0
Toiture acier	-18	5
Toiture plastique	-60	15
Terrasse isolée	20	0

Tableau 5 : flux aux parois

Ces flux sont comptés positivement de l'extérieur vers l'intérieur du domaine

Paroi extérieure	Nombre de bouches	Débit de soufflage par bouche (m ³ /heure)
Pataugeoire	20	300
Nord petit bassin	7	300
Sud grand bassin	51	650
Nord grand bassin	53	370

Tableau 6 : bouches de soufflage en fonctionnement d'hiver

Ces bouches sont disposées le long des parois sud et nord

En régime **d'hiver**, toutes les portes et fenêtres sont fermées ; la température de l'air soufflé par les bouches est de 39 °C ; son rapport de mélange (humidité absolue) est de 9,37 g /kg d'air sec ; le débit d'eau évaporé par l'ensemble des bassins est de 290 kg/heure.

En régime **d'été**, toutes les fenêtres et portes sont ouvertes (y compris la communication entre pataugeoire et petit bassin) ; les bouches ne débitent pas; l'évaporation de l'ensemble des bassins est de 250 kg/heure.

Le **velum** situé sous la toiture est considéré comme un matériau perforé de fraction d'ouverture égale à 22 %, les trous étant des carrés de 2 mm de côté. Pour de faibles vitesses (V , en mètres par seconde) d'air (de 0,01 à 1 m/s) aux conditions ambiantes, la perte de charge (Δp , en Pascals) à travers ce milieu a été identifiée par simulation à l'expression suivante :

$$\Delta p = 0,5 V + 20 V^2$$

6.4 RESULTATS

6.4.1 Régime d'hiver

Au centre du grand bassin, la température et l'humidité évoluent en fonction de la hauteur au-dessus du niveau de l'eau selon la représentation graphique des figures 6.2 et 6.3.

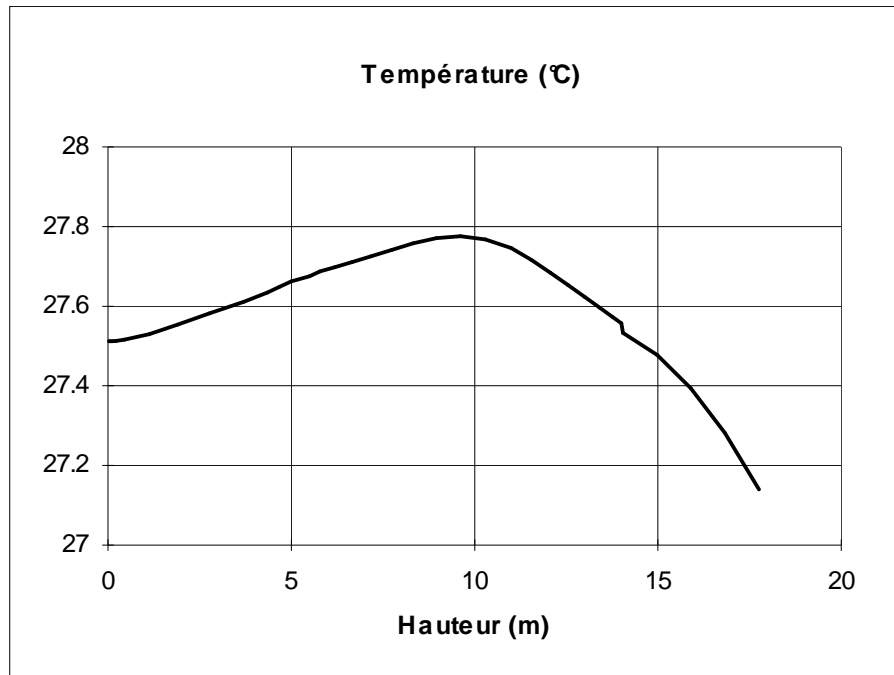


Figure 6.2 : régime d'hiver. Température en fonction de la hauteur au-dessus de l'eau

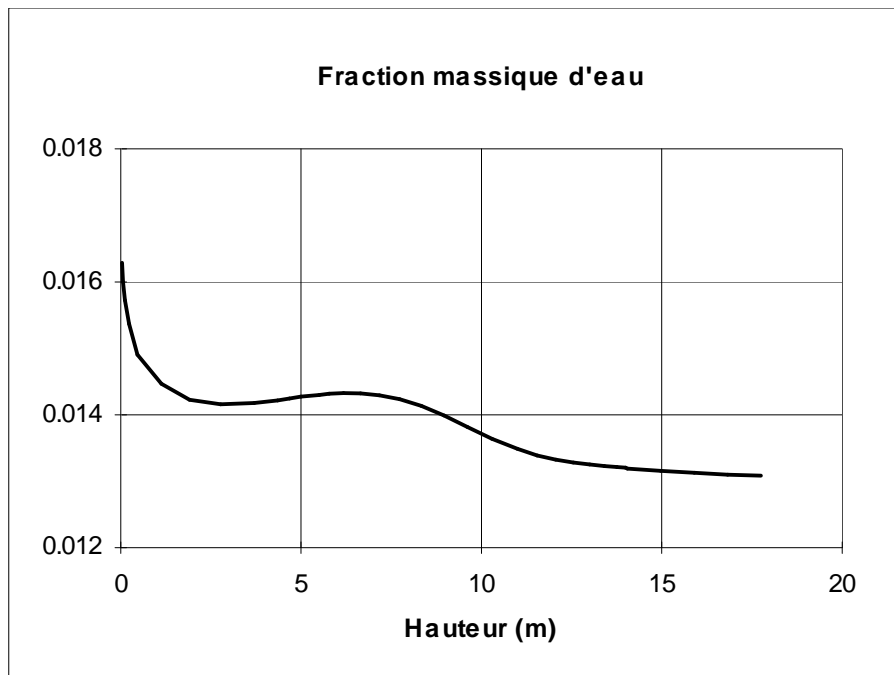


Figure 6.3 : régime d'hiver. Humidité en fonction de la hauteur au-dessus de l'eau

Ces courbes montrent que les gradients verticaux de température et d'humidité sont relativement modérés (0,7 K pour la température), le léger abaissement de température dans les hauteurs étant dû à la déperdition de la toiture.

On constate aussi que la température sèche au voisinage du plafond est de 27,1 °C et le rapport de mélange de 13 g/kg, ce qui correspond localement à un degré hygrométrique de 58 % et une température de rosée de 18,1 °C.

Les figures 6.4 à 6.12, issues de la simulation numérique, permettent de se rendre compte visuellement des champs de variables.

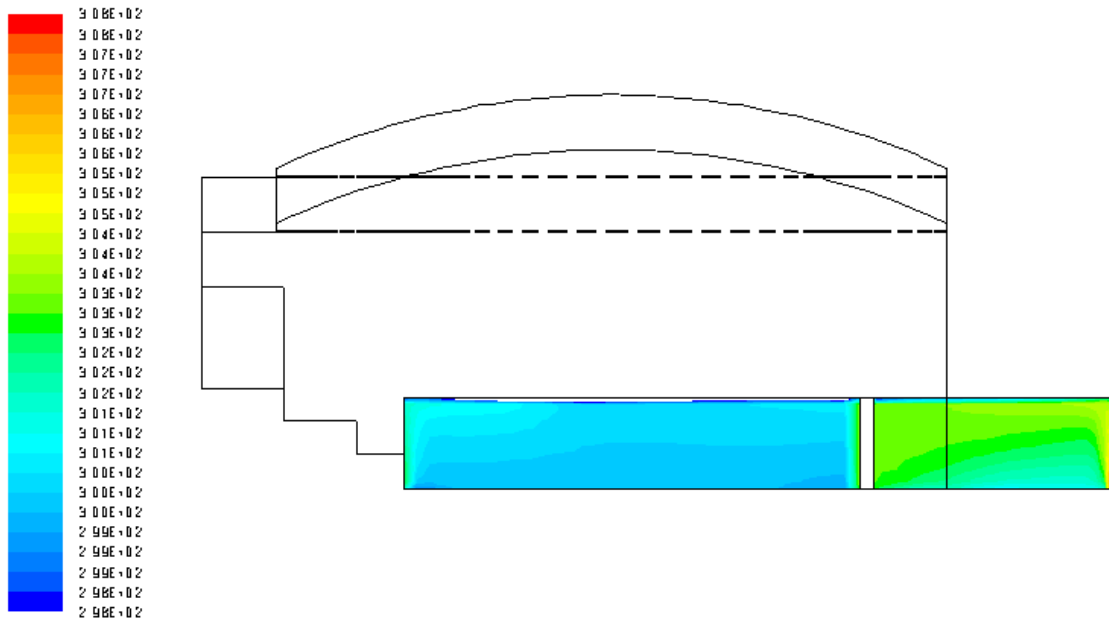


Figure 6.4 : régime d'hiver. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 35°C) dans une coupe nord - sud du petit bassin et de la patinoire

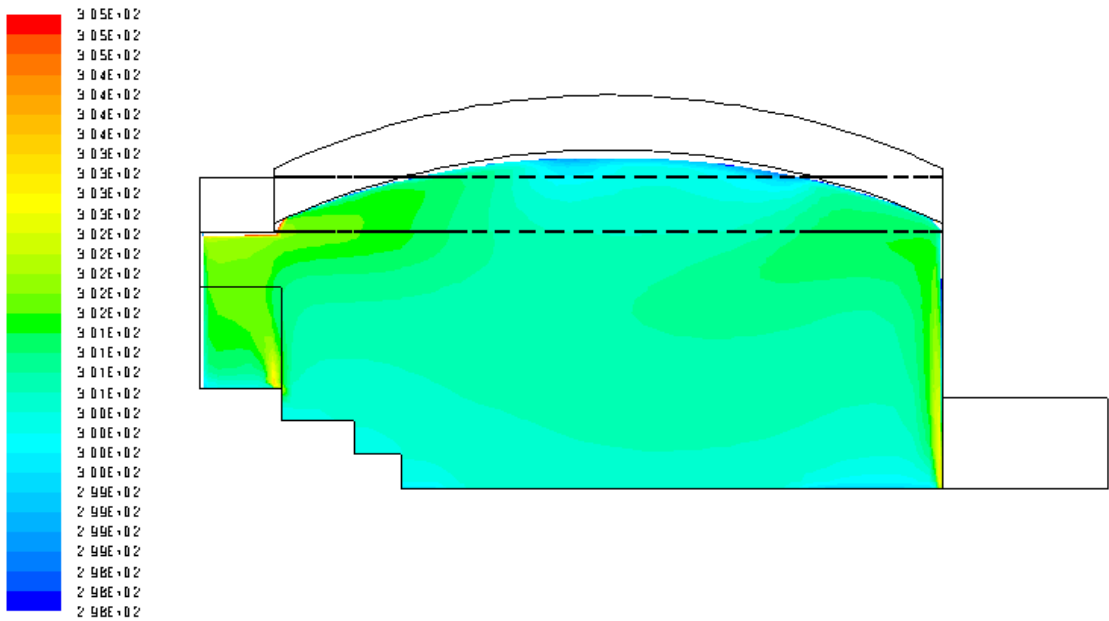


Figure 6.5 : régime d'hiver. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 32°C) dans une coupe nord - sud au centre du grand bassin

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

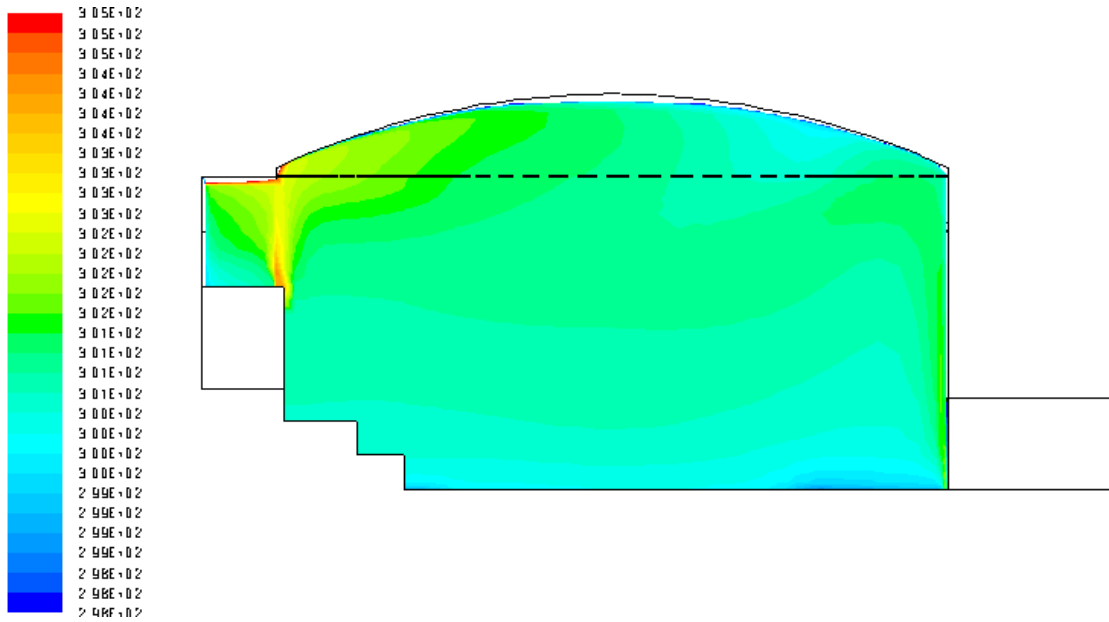


Figure 6.6 : régime d'hiver. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 32°C) dans une coupe nord - sud à l'extrémité Est du grand bassin

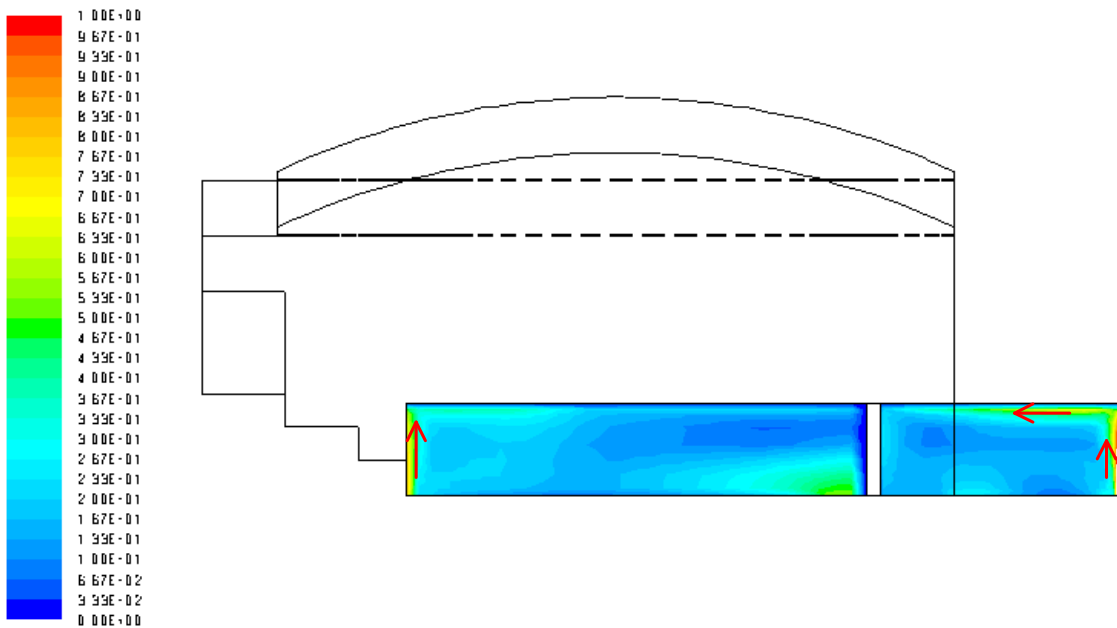


Figure 6.7 : régime d'hiver. Champ de vitesse (de 0 à 1 m/s) dans une coupe nord - sud du petit bassin et de la patinoire (les flèches indiquent la direction de l'écoulement)

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

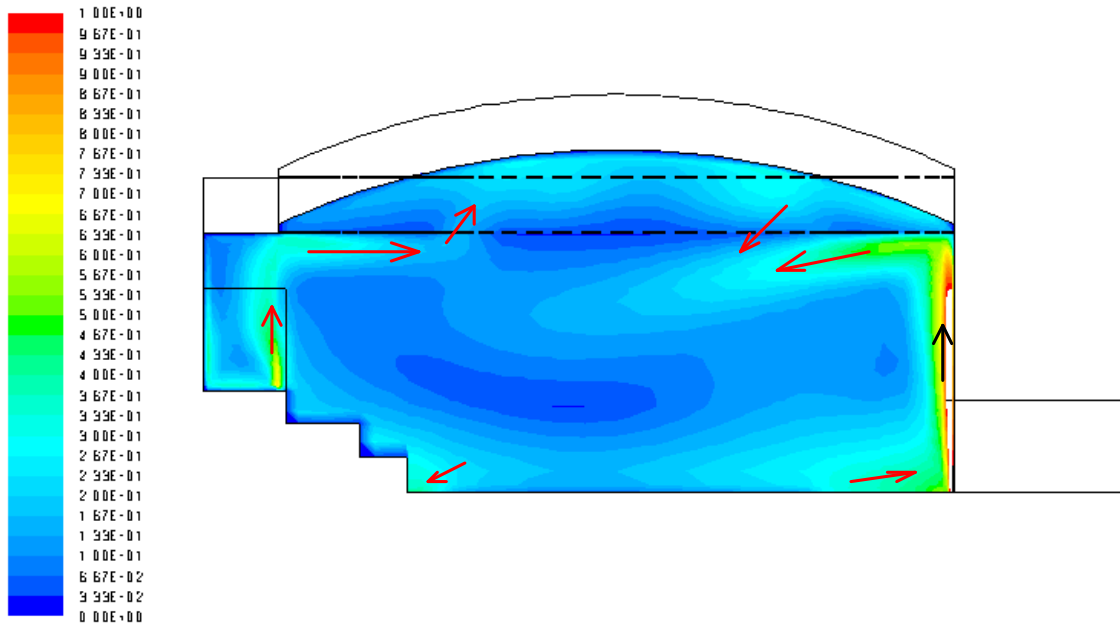


Figure 6.8 : régime d'hiver. Champ de vitesse (de 0 à 1 m/s) dans une coupe nord - sud au centre du grand bassin (les flèches indiquent la direction de l'écoulement)

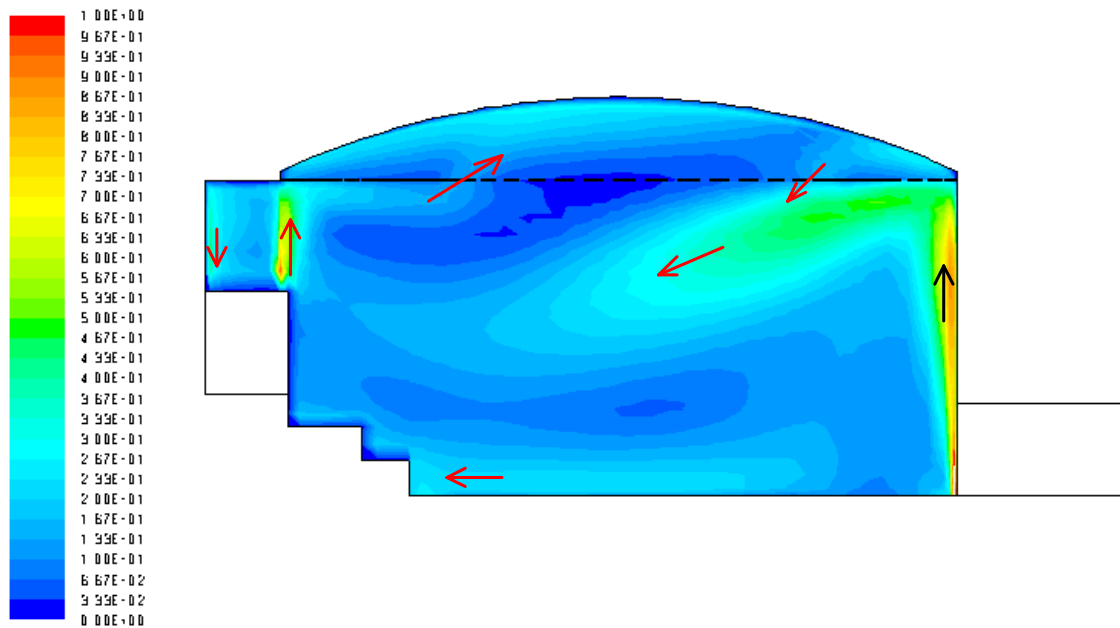


Figure 6.9 : régime d'hiver. Champ de vitesse (de 0 à 1 m/s) dans une coupe nord - sud à l'extrémité est du grand bassin (les flèches indiquent la direction de l'écoulement)

Stade nautique Maurice Thorez à Montreuil

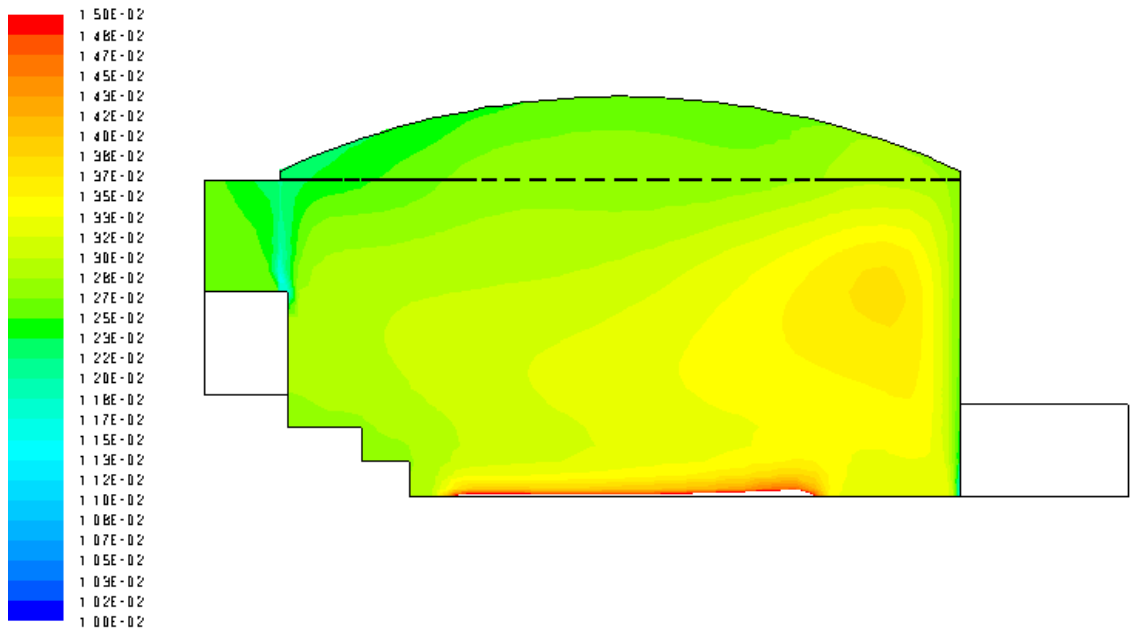


Figure 6.10 : régime d'hiver. Champ d'humidité (fraction massique d'eau en kg/kgAS) dans une coupe nord - sud à l'extrémité est du grand bassin

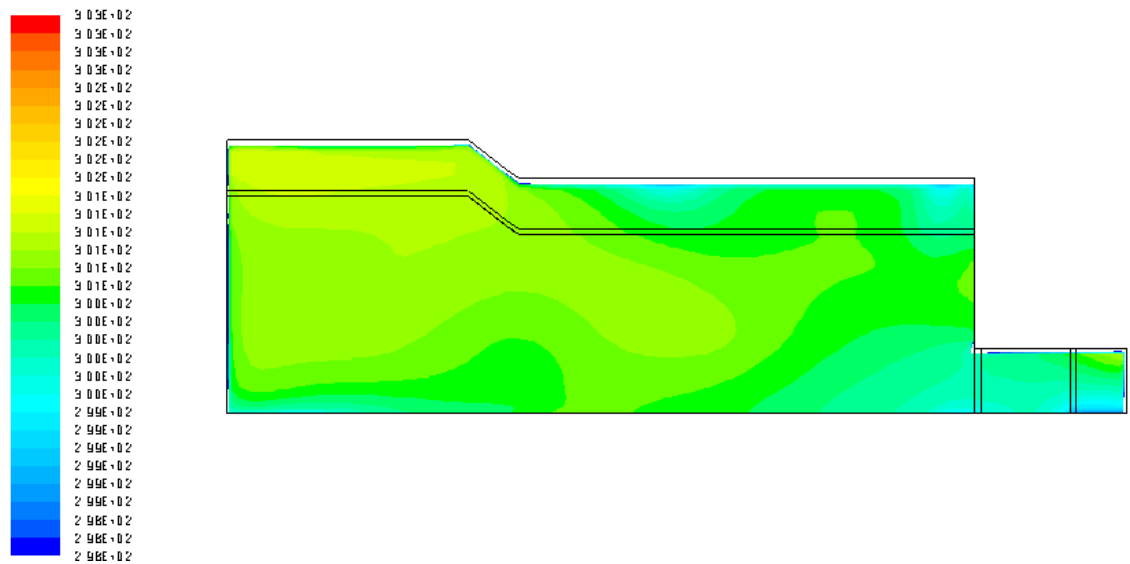


Figure 6.11 : régime d'hiver. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 30°C) dans une coupe longitudinale est - ouest dans l'axe des bassins

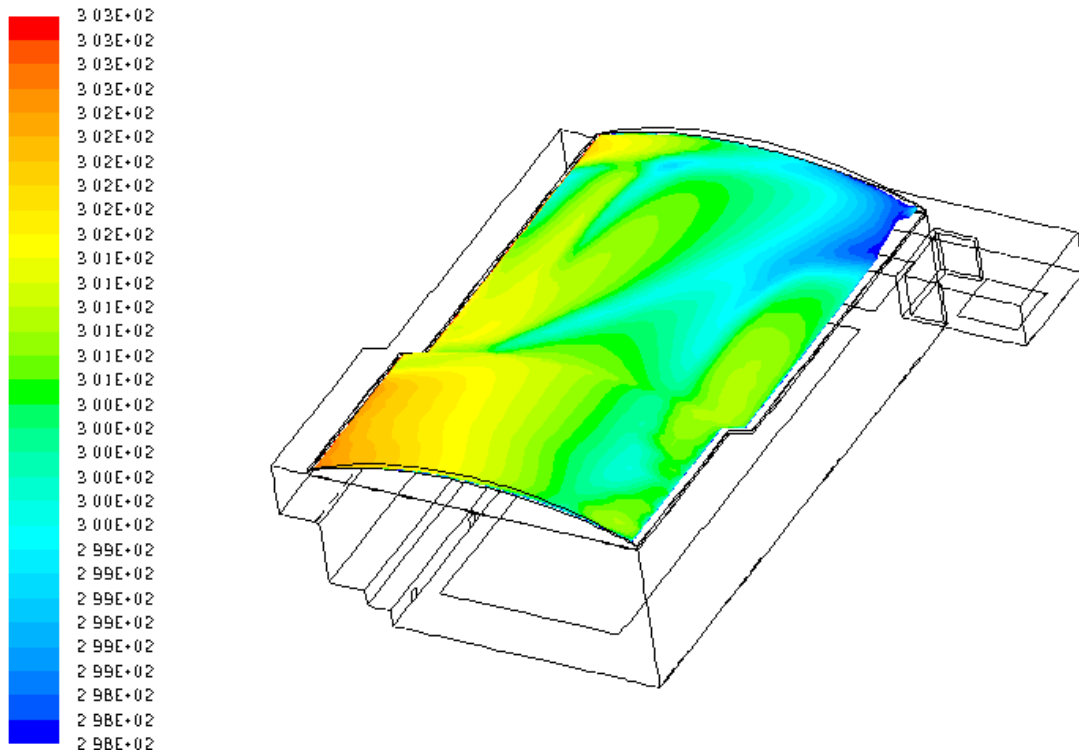


Figure 6.12 : régime d'hiver. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 30°C) dans la région située entre la toiture et le velum

Ces figures suggèrent les remarques suivantes :

- on constate un déséquilibre de la distribution des températures au détriment du petit bassin, moins chauffé que la pataugeoire (fig. 6.4) et que le grand bassin (fig. 6.11) ;
- les fentes du velum contribuent à ventiler l'espace situé au-dessus (fig. 6.8), l'air entrant par la fente située le plus au Nordet ressortant par l'autre ;
- l'extrémité Est du grand bassin est plus chaude dans sa partie supérieure, par suite du soufflage d'air chaud venant du toit des toilettes (fig. 6.11);
- la distribution d'humidité est relativement homogène, mise à part la proximité immédiate de la surface de l'eau (fig. 6.10)
- la zone la plus froide est celle située entre le velum et la toiture (fig. 6.5); la température y est comprise entre 25,5 et 29,5 °C avec des points froid au-dessus du petit bassin et des points chauds à l'opposé (fig. 6.12).

6.4.2 Régime d'été

De même que pour le régime d'hiver, les figures 6.13 et 6.14 représentent, pour le centre du grand bassin, les variations de la température et de l'humidité en fonction de la hauteur au-dessus du niveau de l'eau.

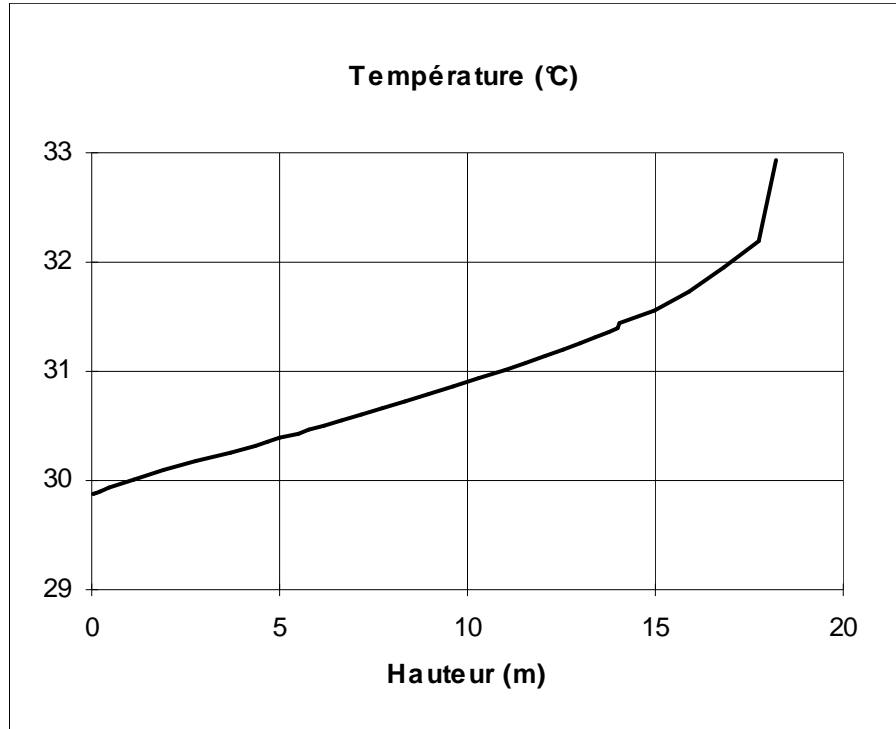


Figure 6.13 : régime d'été. Température en fonction de la hauteur au-dessus de l'eau

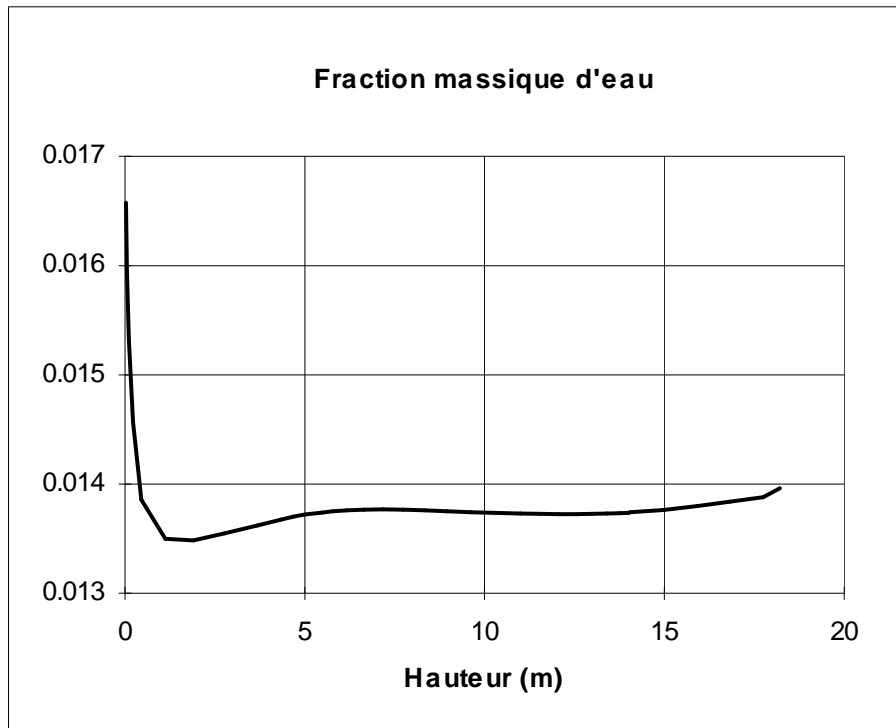


Figure 6.14 : régime d'été. Humidité en fonction de la hauteur au-dessus de l'eau

La stratification thermique est cette fois un peu accusée qu'en régime d'hiver, avec une différence de température d'environ 3 K entre le bas et le haut ; l'humidité est constante, sauf à proximité immédiate de la surface de l'eau.

L'exploitation des résultats met en évidence un débit total de ventilation du bâtiment (par convection naturelle uniquement) de 20,1 m³/s (72 400 m³/h).

La visualisation des champs est représentée aux figures 6.15 à 6.17.

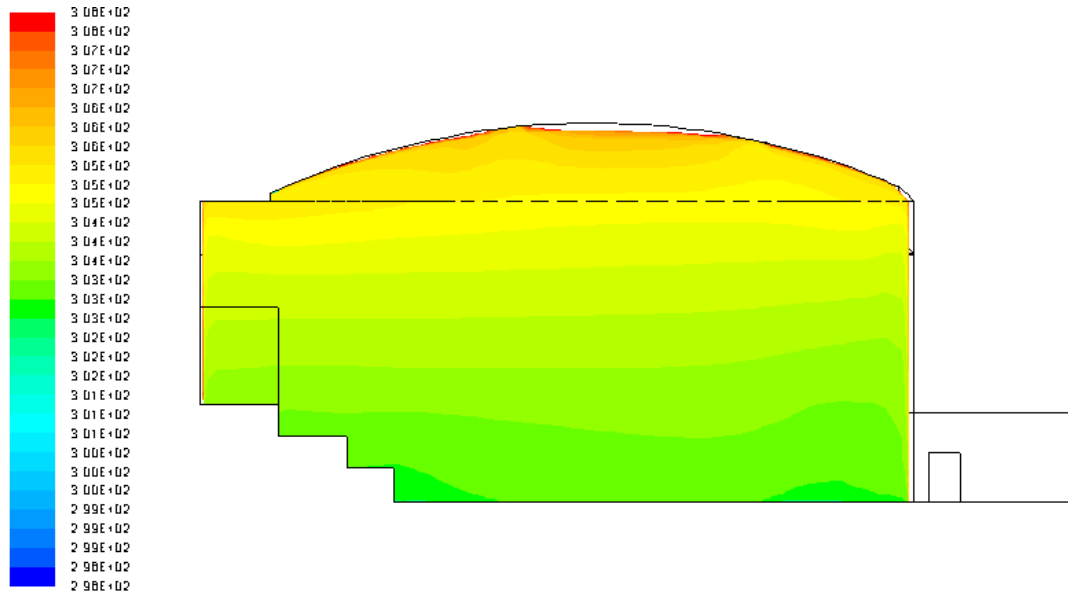


Figure 6.15 : régime d'été. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 35°C) dans une coupe nord - sud à l'extrémité est du grand bassin

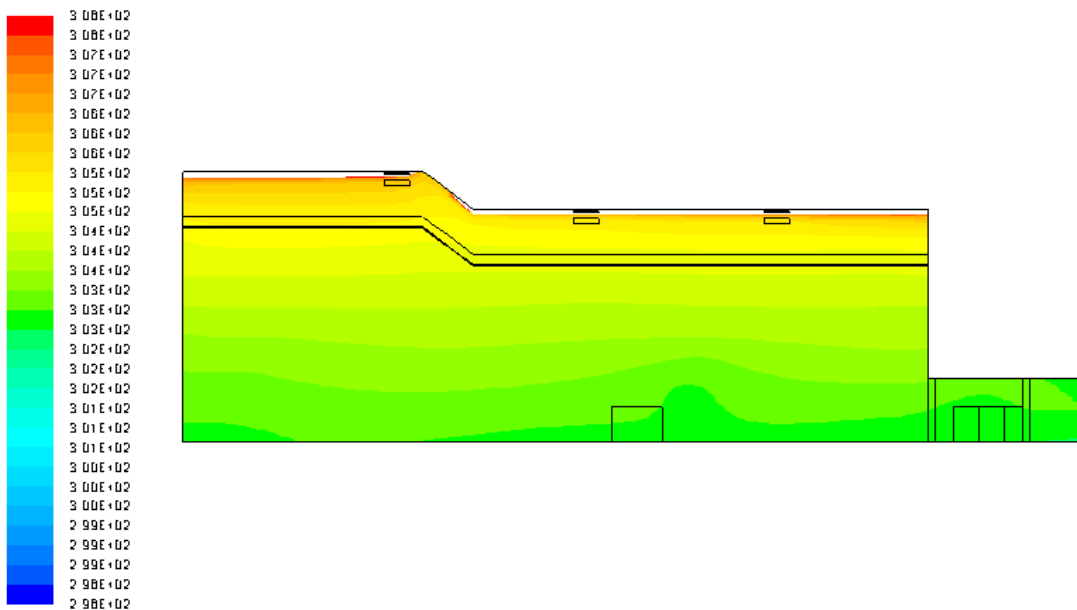


Figure 6.16 : régime d'été. Champ de température (échelle min : 25°C; max : 35°C) dans une coupe longitudinale est - ouest dans l'axe des bassins

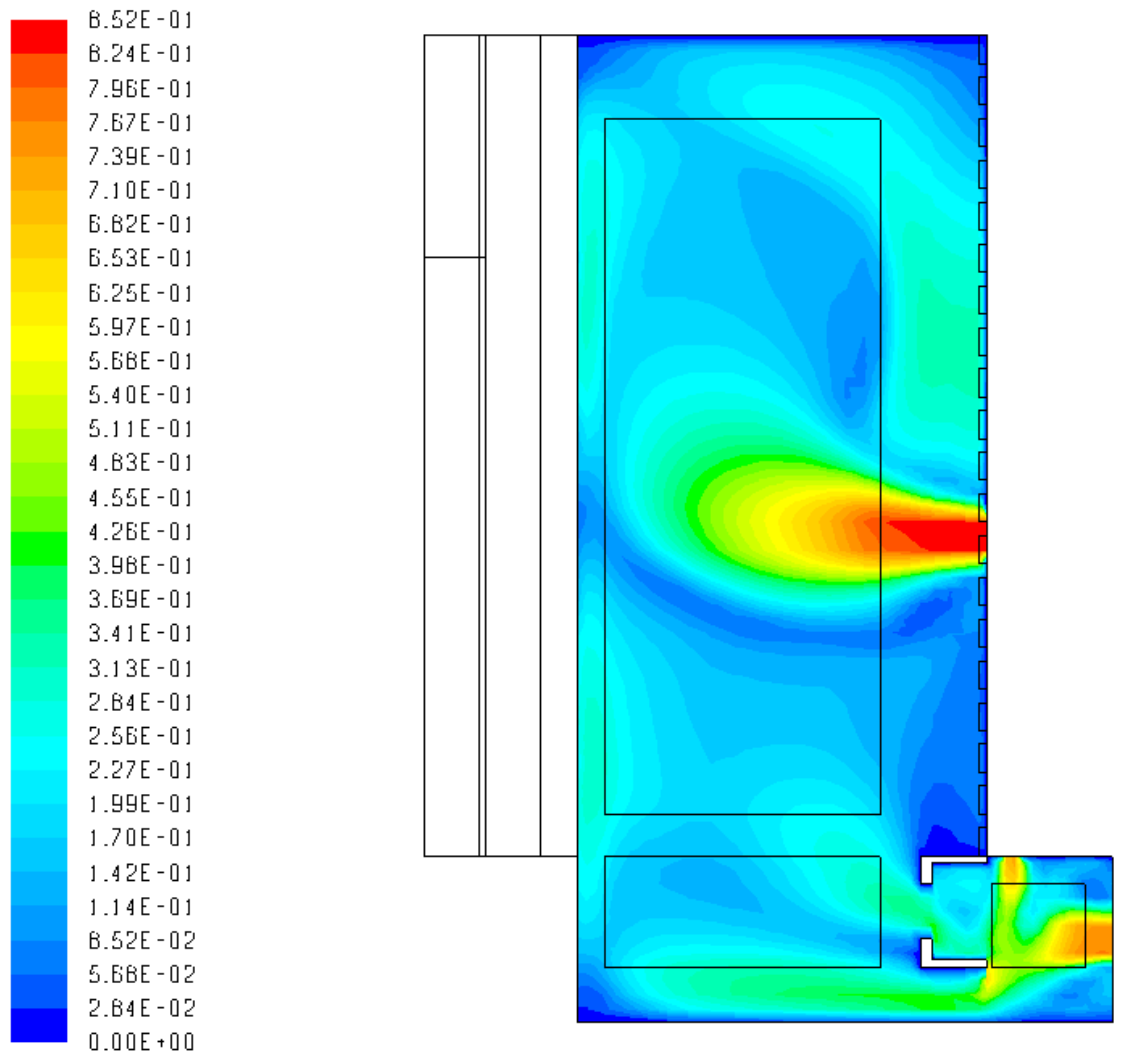


Figure 6.17 : régime d'été. Champ de vitesse (m/s) au voisinage du sol

Ces figures confirment le graphique de la figure 6.13 en ce qui concerne le gradient vertical de concentration. En ce qui concerne la répartition horizontale des températures, aucune hétérogénéité n'apparaît. Par suite de l'ouverture des portes, des courants d'air apparaissent au niveau du sol ; toutefois, les zone à vitesse élevée (supérieures à 0,5 m/s) demeurent assez localisées pour ne pas influencer sur le confort global.

6.5 CONCLUSION

Les deux simulations, en régimes d'hiver et d'été, effectuées dans le but de qualifier le confort thermique d'une piscine en projet, conduisent aux remarques suivantes :

En régime de fonctionnement d'hiver :

- l'homogénéité thermique semble satisfaisante, avec une faible stratification verticale ; on note toutefois un léger déséquilibre défavorisant la région du petit bassin ;
- la région située entre le velum et la toiture est correctement ventilée, grâce notamment aux fentes longitudinales du velum ; c'est néanmoins la zone la plus froide du bâtiment.

En régime de fonctionnement d'été :

- le tirage naturel par les ouvertures conduit à un renouvellement de l'air satisfaisant ;
- il en résulte que la stratification thermique reste modérée ;
- quelques courants d'air localement inconfortables apparaissent au niveau du sol, dus au faible nombre d'ouvertures.