

Dominique LOIR-MONGAZON
Consultant en thermique et environnement
☎ : 06.20.41.45.31
✉ : contact@kephir-environnement.com



Audit énergétique

Dimensionnement puissance chauffage pour maintien hors gel

1

<p>Client :</p> <p>-----</p>	
	

Date de réalisation de la visite énergétique : 13 juillet 2016

- Métrés du projet effectués en partie sur plan fourni et sur photos

Situation et orientation :

- Adresse de l'audit énergétique : Unité de stockage de semence -----

- Longitude : 07°30' E - Latitude : 48°36' N - Altitude : 178 mètres
- Façade Ouest donnant sur le parking, décalage par rapport au nord de 12°

Caractéristiques du bâtiment :

- SHON mesurée sur plan : 21420 m² prise comme Surface de Référence Energétique (SRE) pour les calculs.
- Le bâtiment industriel date de 1990. Il sert actuellement de stockage pour des semences de maïs et doit être maintenu hors gel lors des épisodes climatiques les plus extrêmes. Avant sa reprise par le -----
----- cette structure industrielle appartenait au groupe Steelcase et servait à la fabrication de mobilier de bureau.
- Le hangar de 126 x 170 m sert de stockage aux semences. Il n'y a pas d'équipements pouvant générer des apports de chaleur substantiels mis à part un trieur conditionneur que l'on peut négliger sur le plan thermique.
- Le volume du bâtiment est d'environ 170000 m³ avec une hauteur sous plafond variant de 7.5 à 8 mètres en raison des lignes d'éclairage naturel en polycarbonate alvéolaire.
- Les parois sont en panneaux sandwichs micro nervurés composés de deux parties métalliques enserrant du polyuréthane. Les panneaux ont 70 mm d'épaisseur.
- La toiture est supposée être en polyisocyanurate (PIR) de même épaisseur que les panneaux de bardage ? Le polyisocyanurate est souvent utilisé sur ce type de bâtiment industriel pour augmenter la résistance au feu. Le complexe isolant est recouvert d'une couche d'étanchéité en toile bitumée.
- Le bâtiment est composé de 6 chapelles de 21 mètres de large pour soutenir la structure.
- Un percement permet de voir la constitution du mur (photos ci-dessous)




- Les principales entrées d'air parasite se font au niveau des nombreuses portes (17) et des châssis de la vingtaine de trappes de désenfumage. Il faut savoir que durant les manœuvres de déchargement des camions, les grandes portes d'accès restent ouvertes ce qui induit d'importantes entrées d'air.

- Les 21400 m² de la dalle béton sur sol ne sont pas isolés.
- L'ancien petit bâtiment au sud qui servait à l'usine Steelcase de zone de restauration n'a pas été pris en compte dans les calculs car son pouvoir tampon est négligeable en raison du peu de mitoyenneté avec la façade.
- L'éclairage actuel est insuffisant pour constituer une source d'apports thermiques. Les bandeaux de fenêtres d'environ 1 m de large en polycarbonate permettent légèrement de remédier au manque de luminosité mais ne permettent pas d'apports solaires et seule la partie déperdition a été prise en compte dans les calculs.

Equipements :

- Le bâtiment est actuellement chauffé par un réseau d'aérothermes branché sur 2 chaudières (Voir ci-dessous).

<p>Chaudière gaz Viessmann Vitomax de 2000 kW à garder en appoint après réparation (carte électronique Hors Service)</p>	<p>Ancienne chaudière fonctionnant initialement à la sciure et aux déchets de bois. Elle est actuellement alimentée au gaz</p>
	

Les rafles de maïs à 10% d'humidité ont une valeur PCI proche de celle des granulés de bois soit environ 4860 kWh / tonne. L'ancienne chaudière alimentée à la sciure sera remplacée par une chaudière biomasse fonctionnant aux rafles de maïs.

Données climatiques du site :

- Station météo de référence : Strasbourg Entzheim

Altitude station météo	153	m
T base site de référence	-15	°C
H _T (nombre de jour de chauffe)	205	jours/an
G _t corrigé t° consigne	23,3	kKh/an
G _t Refroidissement	13,3	kKh/an
G _t sol	-5	kKh/an
Facteur correctif sol	-0,07	-
Facteur correctif sol (calculé)	0,00	-
Rayonnement annuel Nord	102	kWh/(m ² an)
Rayonnement annuel Est	211	kWh/(m ² an)
Rayonnement annuel Sud	397	kWh/(m ² an)
Rayonnement annuel Ouest	220	kWh/(m ² an)
Rayonnement annuel Global	335	kWh/(m ² an)
Type de sol	Sol limoneux	
Zone climatique	H1b	-
Vitesse moyenne vent	2,90	m/s
Humidité relative max	86%	
Rapport rayonnement Global / Diffus	3,88	

4

Problématique de l'étude :

La problématique particulière de cet audit, exclut toute approche réglementaire ou prudentielle. Les modèles et consommations conventionnelles réglementaires sont inadaptés à ce type de bâtiment particulier. Un calcul réaliste des consommations et le dimensionnement du système de chauffage nécessite une approche méthodologique particulière que les logiciels réglementaires sont incapables de réaliser.

Une étude précise du fonctionnement opérationnel de ce hangar de stockage, avec des estimations réalistes des déperditions aérauliques et des déperditions par les différentes parois a été réalisée. Ceci permet d'avoir une bonne estimation de la puissance thermique à installer en fonction de l'objectif demandé par le client de garder ce hall de stockage à une température hors gel sur les périodes les plus froides.

Par sécurité nous avons pris une température égale à 10 °C pour qu'il n'y ait aucun problème de perte de pouvoir germinatif des stocks de céréale.

Données utilisées pour les calculs :

- Température de consigne : 10°C
- Apports internes : Ils ont été estimés à 0 W/m² car il n'y a ni personnel présent en continu (*seulement lors des opérations de chargement déchargement*), uniquement un éclairage d'appoint et aucune machine capable de dégager une quantité significative de chaleur.
- Apports solaires : négligeable car les bandeaux en polycarbonate alvéolaire sont orientés au Nord et ont une surface relative faible.
- Les besoins en ECS ne rentrent pas dans le cadre de cette étude. Ils sont satisfaits par un ballon électrique indépendant du système de chauffage.
- Les défauts d'étanchéité de ce type de bâtiment se situent au niveau des portes et des ouvertures techniques en toiture pour le désenfumage. Ils ont été estimés en Q4 à 1.6 m³/h/m² de surface déperditive. Cela représente des infiltrations de 0.08 vol/h en conditions standards pour un volume estimé à 140000 m³ (*estimation de 20% du volume pris par les semences en stock*).

Remarque : Pour voir le changement et la cohérence avec l'utilisation précédente de ce hangar industriel, des calculs ont été réalisés sur la base suivante de fonctionnement de l'ancienne entreprise de fabrication de mobilier de bureau :

- Température de consigne : 18°
- Apports internes : estimés à 1.5 W/m².
- Base de calcul des apports internes : présence de 200 personnes (3000 W), équipement nécessaire au découpage, fraisage et montage du mobilier de bureau et éclairage des postes de travail (29000W)
- Résultat de consommation estimé sur cette base :
 - Consommation en énergie finale pour le chauffage tenant compte du rendement standard d'une chaudière bois, environ 1 GWh
 - Puissance de chaudière nécessaire pour satisfaire ce besoin 1500 kW.

Synthèse données bâtiment :

SHON	21420	m ²
SRE (SHAB ou SU)	21420	m ²
Surface de toiture	21500	m ²
Volume chauffé VL	170000	m ³
Hauteur moyenne	7,9	m
Rapport Volume / Surfaces déperditives ($C_{ref} = VL / A_{PF-RT}$)	6,4	
Facteur de compacité ($Sp / Shab$)	2,2	
Catégorie local	CE1	-
Nombre de jours d'occupation	330	jours
Nombre de logements (UH)	1	-
Nombre d'occupants projetés	25	Personnes
Surface de parois internes	0	m ²
Valeur régionale par défaut	0,11	Albédo
Rapport SHON _{RT} / SRE	1,00	-
Facteur de protection au vent	Moyen	0,07
Classe d'inertie	Légère	110
Facteur d'intermittence:	1,00	

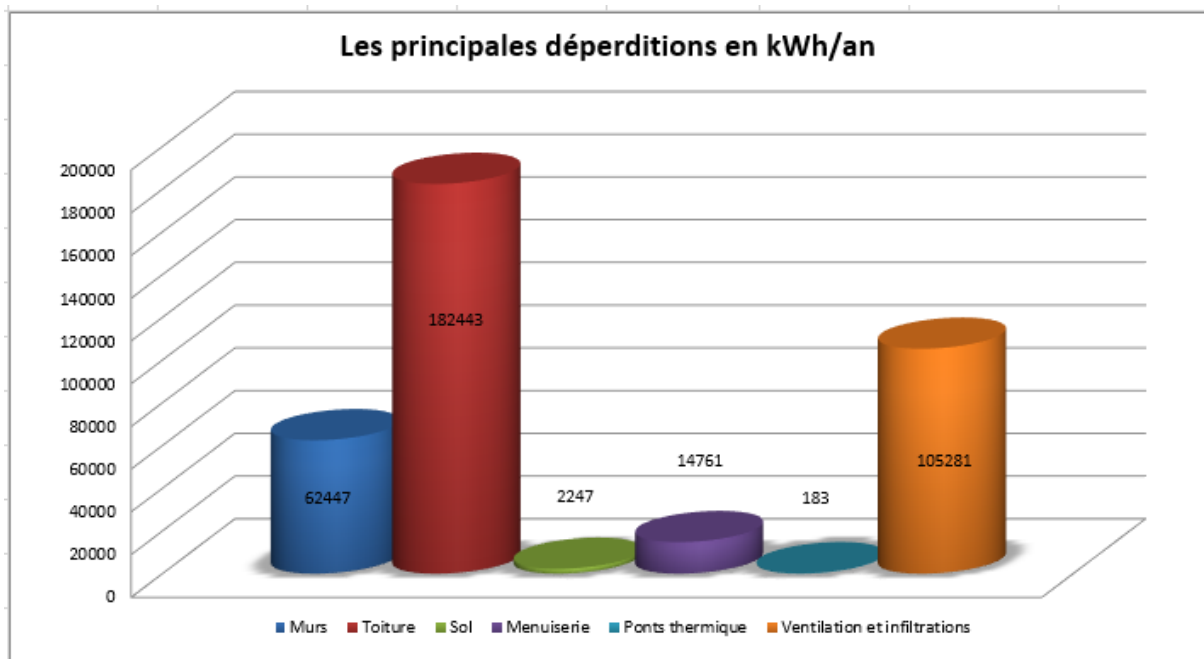
6

Description des parois et conductance en situation actuelle :

Description des parois opaques du bâtiment	Valeur U W/(m ² .K)	Valeur R (m ² .K) / W
Mur en structure sandwich avec âme en polyuréthane (70 mm)	0.39	2.56
Dalle béton (C25/30) sur terre-plein plus enduit synthétique	3	0.33
Couverture industrielle sandwich PIR recouverte d'une membrane bitume (70 mm)	0.36	2.78
Paroi translucide en polycarbonate alvéolaire de 16 mm	1.75	0.57

Les ponts thermiques engendrés par les montants en IPN ont été intégrés dans les conductances des murs.

Déperditions thermiques par poste en kWh et en % :



7

DEPERDITIONS en kWh / an par m² de SRE			
	kWh / an	kWh / m² SRE	%
Murs	62447	2,92	17%
Toiture	182443	8,52	50%
Sol	2247	0,10	1%
Menuiserie	14761	0,69	4%
Ponts thermique	183	0,01	0%
Ventilation et infiltrations	105281	4,92	29%
TOTAL	367361	17,15	100%

La moitié des déperditions est due à la toiture industrielle plate.

Les déperditions aérauliques représentent environ 29% de l'ensemble des déperditions ce qui est normal pour ce genre de bâtiment.

Les pertes par le sol sont négligeables car une température de consigne de 10°C correspond approximativement à la température du sol en hiver.

Les déperditions par les ponts thermiques sont négligeables car la longueur des liaisons est très faible au regard des surfaces déperditives avec l'air extérieur qui sont de l'ordre de 27000 m².

Consommations énergétiques annuelles calculées pour le chauffage :

Les consommations en énergie finale ont été estimées en prenant les caractéristiques moyennes suivantes pour une chaudières biomasse de 800 kW correspondant aux résultats des calculs de puissance nécessaire pour couvrir les déperditions en maintenant une température supérieure à 10°C lors des épisodes les plus froid (T base de -15°C).

Rendement de la chaudière sur un cycle de base	90%
Rendement de la chaudière en régime stationnaire	96%
Fraction moyenne de chaleur fournie au circuit de chauffage	0.75
Différentiel de température entre allumage et extinction	30°C

L'écart de près de 20% entre l'énergie utile et l'énergie finale est dû aux différentes pertes du système et en particulier aux pertes au niveau de la liaison extérieure entre l'espace chaufferie et le hangar de stockage. Ces pertes sur les 15 mètres qui séparent les 2 bâtiments sont de l'ordre de 2000 kWh/an.

Il a été également tenu compte du fait que l'espace chaufferie de 200 m² environ n'était pas chauffé et qu'il y a des pertes à l'arrêt vers cet espace même pour des chaudières bien isolées.

Répartition des consommations énergétiques en kWh						
	Energie utile totale	Energie finale totale	Source énergie	Energie primaire Ep	Ep / m ² SHON _{HT}	Coût annuel €
Besoin en chauffage	369214	433772	Rafles maïs	260263	12,2	8675

L'énergie utile en année moyenne correspondant aux différentes déperditions est d'environ 370 MWh soit un besoin en énergie finale de **434 MWh** pour tenir compte des pertes systèmes et du rendement du dispositif de chauffage.

La quantité de rafles de maïs nécessaires pour couvrir les besoins de chauffage a été estimée en prenant une variabilité saisonnière de +/- 15% sur les besoins de chauffage en année moyenne et une valeur PCI de 4860 kWh/tonne de rafles.

	Besoins de chauffage en MWh d'énergie finale	Quantité de rafles de maïs nécessaires en tonnes
Année moyenne	434	90
Hiver rigoureux	500	102
Hiver doux	370	76

Conclusion :

Les besoins de puissance ont été estimés à **812 kW** pour maintenir le hangar à plus de 10°C lors des épisodes les plus froids.

En raison du fait que la chaudière gaz Vitomax de 2 MW devrait de nouveau être disponible rapidement, il est à important de discuter avec le chauffagiste du choix de la puissance à installer en fonction de la combinaison des deux systèmes.

La puissance dépendra en particulier du type de montage avec la chaudière Viessmann qui peut être conserver en appoint où en dépannage ? Dans le cas d'un montage en cascade, une chaudière biomasse de 750 kW s'avère suffisante.

Annexes :

1. Caractéristiques des rafles de maïs

	PCI		Cendres	Carbone	Hydrogène	Azote	Soufre	Oxygène	Chlore total
	MJ/kg	kWh/tonne	%	%	%	%	%	%	(µg/g)
Rafles de maïs	17,5	4 860	1,5	48,1	6	0,4	0,1	44	2 907

Données compilées à partir des sources suivantes : AURI, 2005; BIOBIB; Preto, 2010.

Remarque : La teneur en cendres, en chlore et en autres éléments peut être abaissée en modifiant la fertilisation ainsi que le moment et la méthode de récolte.

10

2. Détail des surfaces et des valeurs U

N° de surface	Saisie des parois										Valeur U	
	Détermination de l'état de construction	Surface de la paroi (m²)	° d'ouverture	Surface de la paroi (m²)	Surface de la paroi (m²)	Surface de la paroi (m²)	Surface de la paroi (m²)	Surface de la paroi (m²)	Surface de la paroi (m²)	Surface de la paroi (m²)		Surface de la paroi (m²)
1	Porte extérieure 1	EXT	1	7								0,800
2	Porte extérieure 2	EXT	1	8								0,800
3	Mur nord	EXT	1,00	1	12	30	0,50	0,20	0,70	1	0	0,287
4	Mur est	EXT	1,00	1	62	30	0,50	0,20	0,70	1	0	0,287
5	Mur sud	EXT	1,00	1	52	30	0,50	0,20	0,70	1	0	0,287
6	Mur ouest	EXT	1,00	1	232	30	0,50	0,20	0,70	1	0	0,287
7	Plafond	INT	0,00	3						0	0	0,146
8	Plancher	EXT	1,00	2						1	0	0,385
9	Parois polycarbonate	EXT	1,00	1	12	30	0,80	0,20	0,80	1	0	1,754

3. Détail des déperditions thermiques

BESOIN DE CHALEUR DE CHAUFFAGE ANNUEL						
Déperditions conductives Q_T						262081 kWh/an
Système de ventilation:						Valeur air extrait VL
Taux effectif de disponibilité thermique : η_{eff}	0%					170000,0 m ³
Taux de disponibilité thermique du PC: η_{PC}	0%					nL
Volume d'air équivalent énergétique par la ventilation: nL		0,00	(1 - 0,00)			0,000 t/h
	V _L m ³	nL t/h	C _{air} Wh/(m ³ ·K)	G _L kWh/an		
Déperditions aérauliques par la ventilation Q_L	170000	0,000	0,34	23,3	=	0 kWh/an
Déperditions aérauliques par infiltration $Q_{infiltration}$	170000	0,078	0,34	23,3	=	105281 kWh/an
Total des déperditions Q_D	Q_T kWh/an	Q_L kWh/an	$Q_{infiltration}$ kWh/an	Facteur d'intermittence		367361 kWh/an
	(262081 + 0 + 105281)			1,00	=	
Orientations des surfaces	Facteur de réduction du rayonnement	Facteur solaire (valeur α) (rayon. perp.)	Surface des fenêtres m ²	Rayonnement global sur la période de chauffe (G) kWh/(m ² ·an)		Q_s kWh/an
1: nord	0,40	0,00	0,00	102	=	0
2: est	0,40	0,00	0,00	211	=	0
3: sud	0,40	0,00	0,00	337	=	0
4: ouest	0,40	0,00	0,00	220	=	0
5: horizontal	0,40	0,00	0,00	335	=	0
Apports solaires Q_s (voir feuille fenêtres)					Total	0 kWh/an
Apports internes Q_i	W/m ² ·an	Longueur de la période de chauffe jours/an	Puissance des appareils interne W/m ²	ASRE m ²		0 kWh/an
	0,024	205	0,0	21420	=	
Apports gratuits Q_g					$Q_s + Q_i$	0 kWh/an
Rapport apport gratuits / déperditions (voir des apports)					Q_g / Q_D	0,00%
Degré d'utilisation des apports %					$(1 - (Q_D / Q_D)^2) / (1 - (Q_D / Q_D)^2)$	100%
Total des apports Q_G					$\eta_G \cdot Q_D$	0 kWh/an
Besoin de chauffage Q_B					$Q_D - Q_G$	367361 kWh/an

4. Page suivante : Calcul de la puissance théorique nécessaire pour la couverture des besoins

Surface de référence énergétique ASRE:		21420,0	m ²	Température intérieure:		10	°C			
Température de calcul		Rayonnement:		nord	est	sud	ouest	horizontal		
T _{air pour le calcul}	-7,2	°C	10	15	45	20	25	W/m ²		
T _{sol pour le calcul}	3,4	°C								
Panneau de bâtiment		Zone climatique	Surface	Valeur U	Facteur	ΔT	P _T			
			m ²	W/(m ² K)	f _{cor}	K	W			
Mur / Paroi verticale	EST		5144,0	0,520	1,00	17,2	= 45869			
Tuile / plancher	EST		21420,0	0,365	1,00	17,2	= 134007			
Paroi / dalle	SOL		21420,0	3,046	1,00	6,6	= 427803			
Paroi mixte	EAC			0,000	0,00	3,0	=			
Mur / Paroi verticale	EANC			0,000	0,00	17,2	=			
Tuile / plancher / rampant	EANC			0,000	0,00	17,2	=			
Fenêtre	EST			0,000	1,00	17,2	=			
Porte	EST		109,0	5,800	1,00	17,2	= 10842			
Pont thermique	EST		28,0	0,279	1,00	17,2	= 134			
Pont thermique dalle	SOL		31,0	0,110	1,00	6,6	= 22			
Pont thermique périmétrique	SOL		25,0	0,040	1,00	6,6	= 7			
Total			48093,0							
Pertes de puissance par transmission P _T							Total	=	618684	
Taux correctif de surpense thermique n _{eff}		0%		Rendement puits géothermiques η _{pc}		0%				
				Taux de disponibilité thermique d _{pcv}		0%				
Renouvellement d'air équivalent énergétique n _L		n _{L, infiltration} / h	0,195	+	n _{L, équiper} / h	0,000	*(1 - φ _{WRG})	n _L / h	0,20	
Pertes de puissance aérauliques P _L		ψ _L m ²	170000,0	n _L / h	0,20	c _{air} Wh/(m ² K)	0,34	Diff. de temp. K	17,2	= 193326 Watt
Total des pertes P _V							P _T + P _L	=	812011	Watt

Orientations des surfaces		Facteur de réduction du rayonnement	Facteur zénithal (valeur g)	Surface fenêtre	Rayonnement	P _S			
		m ²	W/m ²		W/m ²				
1. nord		0,40	0,00	0,00	10	= 0			
2. est		0,40	0,00	0,00	15	= 0			
3. sud		0,40	0,00	0,00	45	= 0			
4. ouest		0,40	0,00	0,00	20	= 0			
5. horizontal		0,40	0,00	0,00	25	= 0			
Puissance des apports solaires P _S					Total	=	0	Watt	
Puissance des apports internes P _I				Puissance spécifique W/m ²	0,0	ASRE m ²	21420,0	= 0	Watt
Total des apports P _C					P _S + P _I	=	0	Watt	
Puissance de chauffage nette P _H en fonctionnement continu					P _V - P _C	=	812011	Watt	
Facteur de relance pour fonctionnement intermittent							1,0		
Puissance de chauffage théorique P _{Hnet}							812,0	kWatt	

Dominique LOIR-MONGAZON