

# TOUR ELITHIS DE DIJON

BÂTIMENT TERTIAIRE DE 5000 m<sup>2</sup>  
À HAUTE EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE



La Tour Elithis a été pensée, dès la conception du projet, dans le souci de concilier efficacité énergétique, exigence esthétique et cohérence architecturale. Ce projet est le fruit d'une étroite concertation entre ingénieurs et architectes, permettant l'innovation et la mutualisation de connaissances. Le résultat est un bâtiment vertueux, intégré dans une logique d'urbanisation cohérente.

## Présentation de la tour Elithis

### a. Présentation générale



La ville de Dijon, une société d'ingénierie climatique et électrique, ainsi qu'un cabinet d'architectes se sont associés pour réaliser un bâtiment tertiaire à haute efficacité énergétique dans le quartier Clémenceau à Dijon (21).

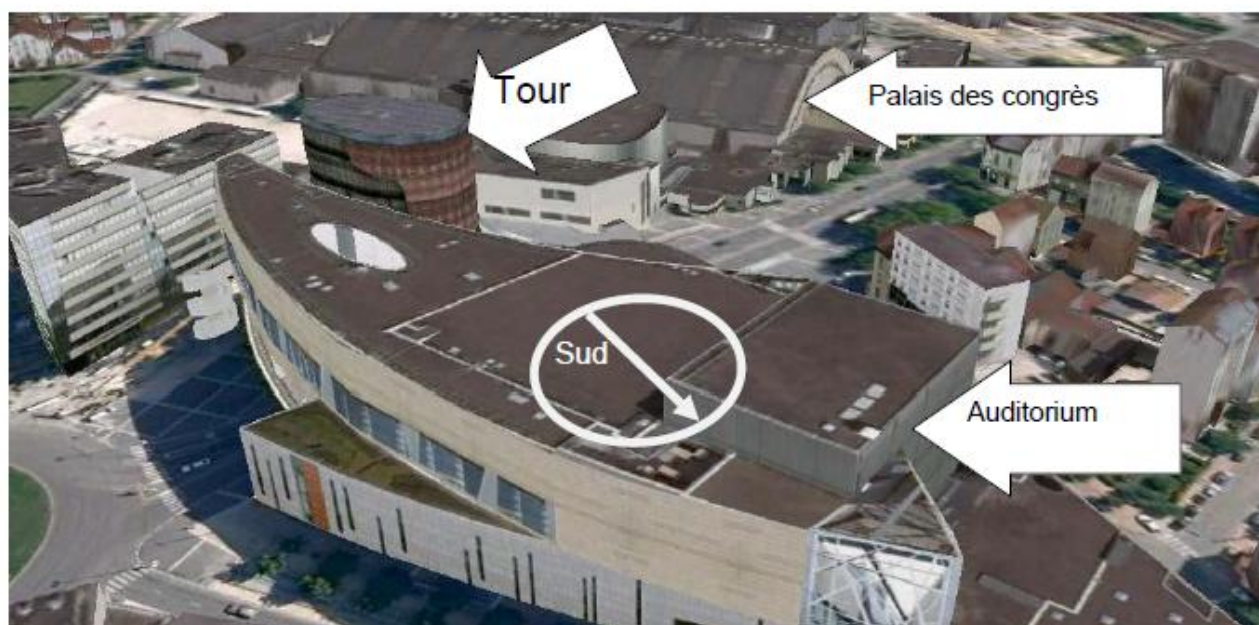
Pour leur nouveau siège social, les ingénieurs ont conçu un bâtiment révolutionnaire à très haute efficacité énergétique, en limitant fortement les déperditions et les apports énergétiques.

Respectueux de l'environnement et producteur d'énergie, ce bâtiment répond à une conception bioclimatique à la pointe de la recherche en matière d'énergie positive et vise le facteur 4 en termes de consommation équivalent carbone.

La tour, dont la construction a débuté en décembre 2007 et s'est achevée en avril 2009, sert de laboratoire. Elle est équipée de capteurs et de compteurs qui permettent de mesurer la performance des différents équipements (chauffage, rafraîchissement, ventilation, éclairage, ascenseurs...).

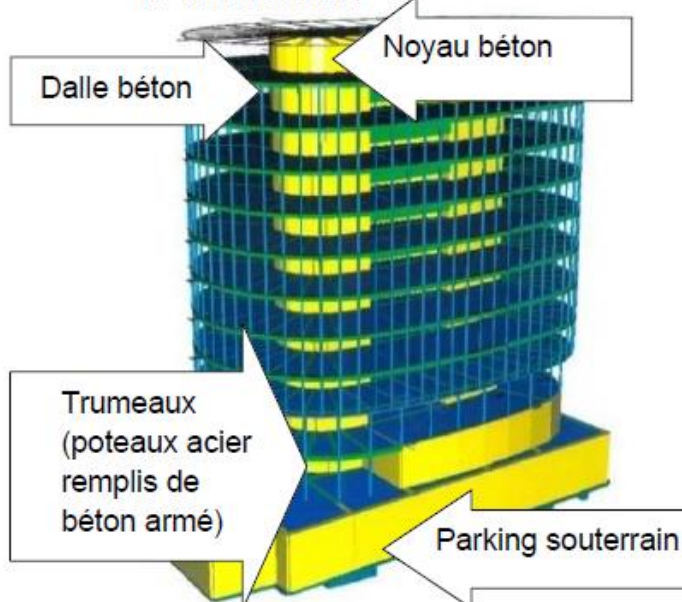
La tour d'une surface hors œuvre net (shon) de 4 921 m<sup>2</sup> s'échelonne sur 10 niveaux, parmi eux quatre sont occupés par la société d'ingénierie. Les autres sont accessibles à la commercialisation ; un radiologue, un dentiste, un restaurant et l'ADEME Bourgogne s'y sont installés.

Le bâtiment est de type ERP catégorie 5. L'étude thermique a été effectuée selon les critères de la RT 2005.

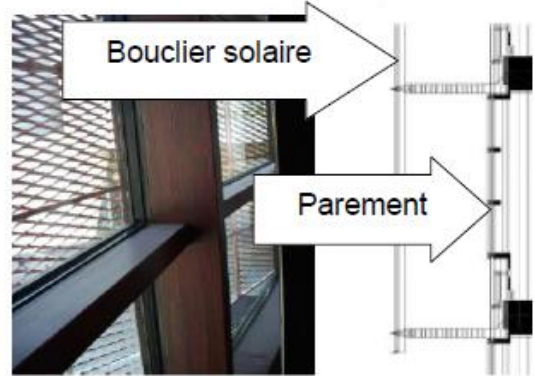




## b. Réalisation :



- Structure porteuse de la façade en bois :
  - o Pin lamellé collé
  - o Parement ext. aluminium
- Double vitrage : 8/20/6, argon 90 %,  $U_g=1,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $g$  ou  $FS=40\%$
- Allège bois intérieur et aluminium extérieure
  - o Aluminium extérieur 1 mm et  $\lambda=200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
  - o Isolant 120 mm ouate de cellulose :  $\lambda=0,035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
  - o Pare vapeur en aluminium d'épaisseur 0,1 mm
  - o 14 mm de pin int. :  $R=0,09 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$



## Production d'énergie

Deux chaudières bois de 100 kW chacune assurent les besoins en chauffage de la tour.

Les granulés bois sont livrés par camion et sont versés dans une trémie de  $12 \text{ m}^3$ .

## Données granulés bois :

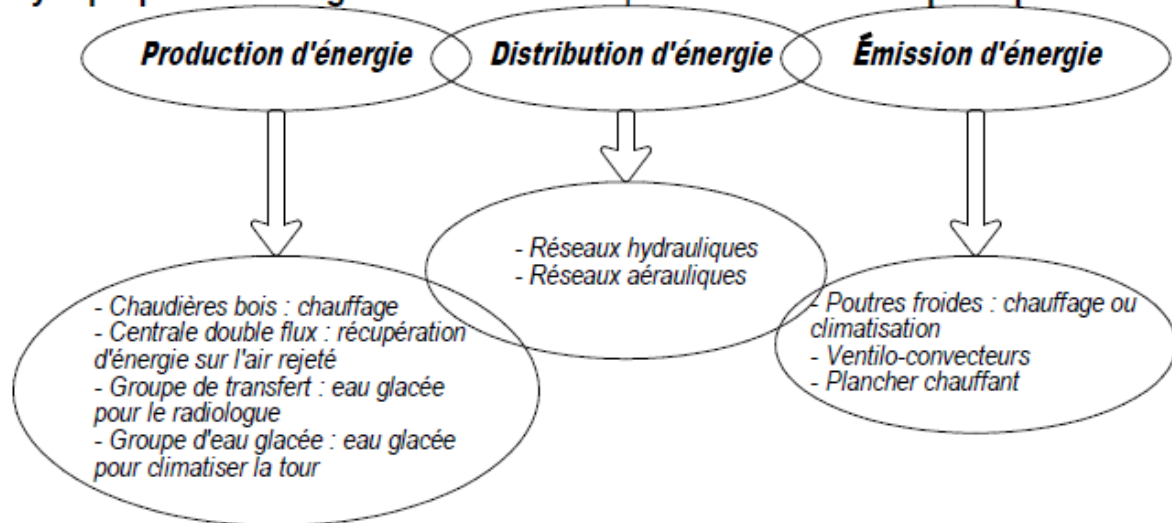
Valeur énergétique PCI= $4,9 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$   
40 % d'humidité

Masse volumique du pellet (compacté) =  $1\,100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Masse volumique du pellet (vrac)=  
 $750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

## Synoptique des énergies : confort thermique

## Schéma de principe : cf annexe 5



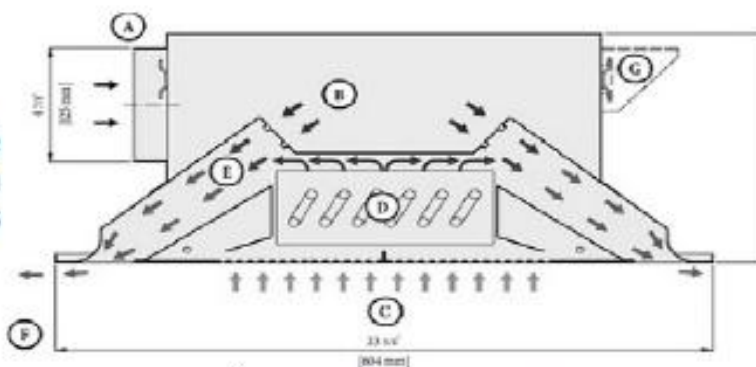
## Émission d'énergie

Poutre froide : placée dans le plafond, elle émet la chaleur en hiver et le froid en été sans ventilateur.



L'air neuf A circulant dans les poutres froides vient de la centrale double flux.  
(cf schéma de principe annexe 5).

La poutre active fermée est conçue pour rafraîchir ou chauffer l'air ambiant. Elle comprend un plénum d'air neuf B. L'air primaire est soufflé directement dans le plénum et propulsé au travers de buses d'induction. Le jet d'air des buses et l'effet d'induction (venturi) aspirent l'air secondaire ambiant par la sous-face de la poutre au travers de l'échangeur D.



Le mélange E de l'air primaire et de l'air secondaire induit est pulsé dans la pièce par les fentes longitudinales sur chaque côté de la poutre, avec un jet d'air horizontal (effet coanda).

## Panneaux photovoltaïques

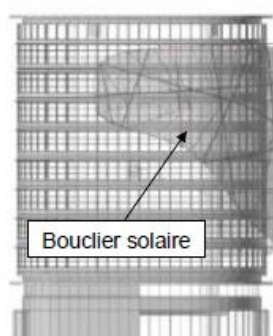
La toiture est recouverte de panneaux photovoltaïques qui assurent une production annuelle d'électricité.

L'énergie électrique est produite par des panneaux solaires photovoltaïques intégrés à la couverture plane du bâtiment. Elle est entièrement revendue.



Un bouclier thermique de protection contre les rayonnements solaires en métal déployé cuivré conjugue le confort visuel et la diminution des apports solaires.





La contre plongée correspond à une vue vers le haut, de l'intérieur vers l'extérieur.  
La plongée correspond à une vue vers le bas, de l'intérieur vers l'extérieur.

### c. Bilan énergétique annuel de la tour

	Coeff. ep/ef*	Consommations en énergie primaire mesurées en kW·h <sub>ep</sub> ·m <sup>-2</sup> ·shon·an <sup>-1</sup>
Rafrachissement	2,58	6,23
Ventilation	2,58	14,08
Pompes et auxiliaires	2,58	2,6
Éclairage	2,58	9,5
Ascenseurs	2,58	3,58
Chauffage bois	1	36,5
Photovoltaïque	2,58	40,24

\*ep : énergie primaire ef : énergie finale

## Partie A : Consommation carbone de la tour

*Les niveaux d'extraction selon les travaux ISO 14064*



*ISO scope 1 :*

Cette extraction se limite aux émissions dues aux sources directement possédées par l'entité, que ces sources soient fixes ou mobiles. La propriété de la source est déterminante. Cette extraction n'est pas appropriée pour avoir une vue large de la situation, pour du management environnemental ou une stratégie énergétique.

*ISO scope 2 :*

Cette extraction reprend les postes compris dans le scope 1 en ajoutant les émissions externes dues à l'achat de l'électricité, de la vapeur...

*ISO scope 3 :*

Les émissions prises en compte dans le périmètre ISO scope 3 sont quasiment les mêmes que les émissions globales de la méthode Bilan Carbone™, à l'exception des émissions de gaz des avions.

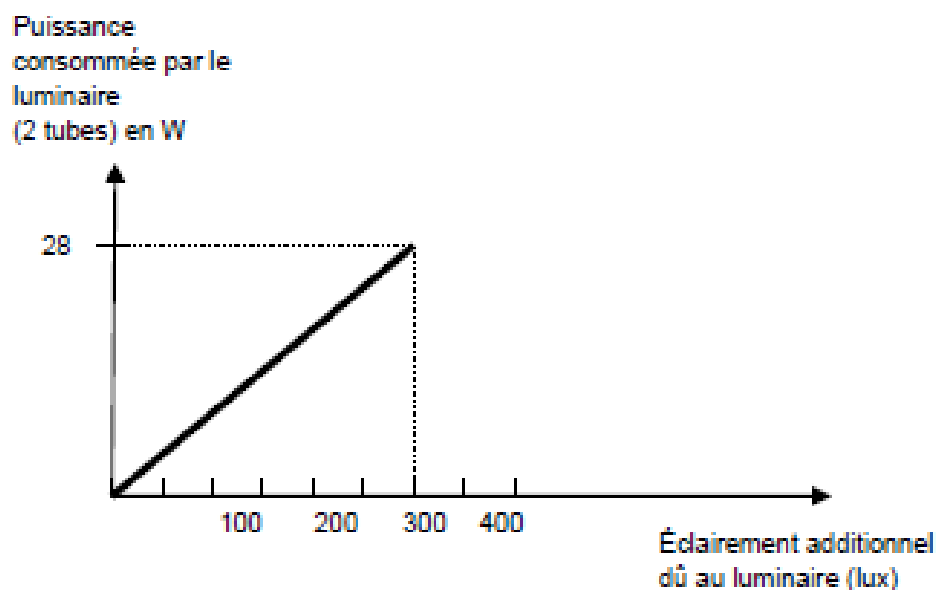
## Partie B : Étude de l'éclairage de la tour Elithis : « Allumer moins pour éclairer mieux »

Dans un bâtiment tertiaire, la première dépense énergétique est l'éclairage, bien devant le chauffage ou la ventilation.

La solution choisie par les concepteurs de la tour est de régler un éclairage minimal de 300 lux au niveau des plans de travail des bureaux (ensemble de 2 bureaux de 1 m<sup>2</sup> chacun), ce qui est largement suffisant pour de la bureautique où les employés lisent parfaitement sur leur écran d'ordinateur. Ce réglage doit être automatisé.

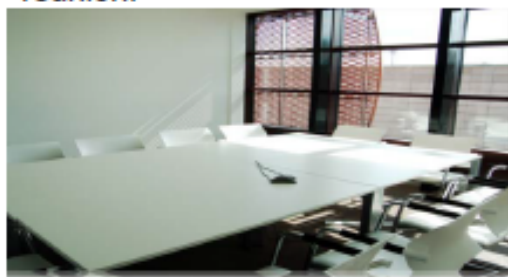
En peignant la structure porteuse en bois de couleur foncée, la perception physiologique de l'éclairage reste bonne quel que soit le déplacement de la personne au sein des bureaux, ce qui évite d'avoir un nombre important de foyers lumineux.

Le ménage des bureaux est effectué à midi, plutôt que le soir, pour éviter une dépense d'éclairage supplémentaire, et aussi pour améliorer les comportements grâce au dialogue instauré entre les utilisateurs de la tour et le personnel d'entretien. Pour lire des plans ou autres besoins spécifiques, des éclairages nomades basse consommation sont mis à disposition pour assurer une certaine flexibilité.



## Partie C : Bilan énergétique partiel d'une salle de réunion en été

Le but de cette partie est d'effectuer le bilan énergétique partiel d'une salle de réunion.

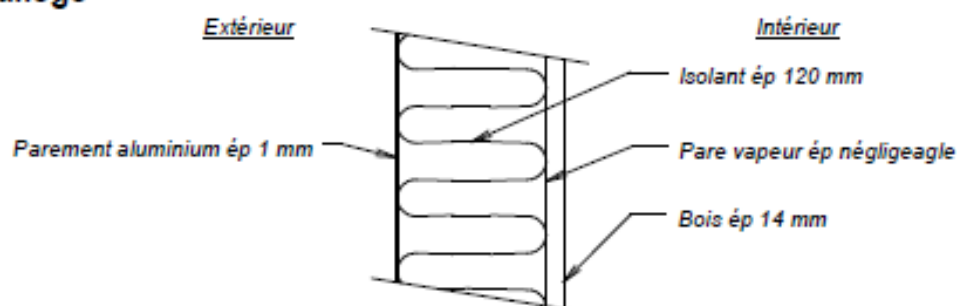


### Données complémentaires

Température extérieure de base à Dijon en été = 32°C

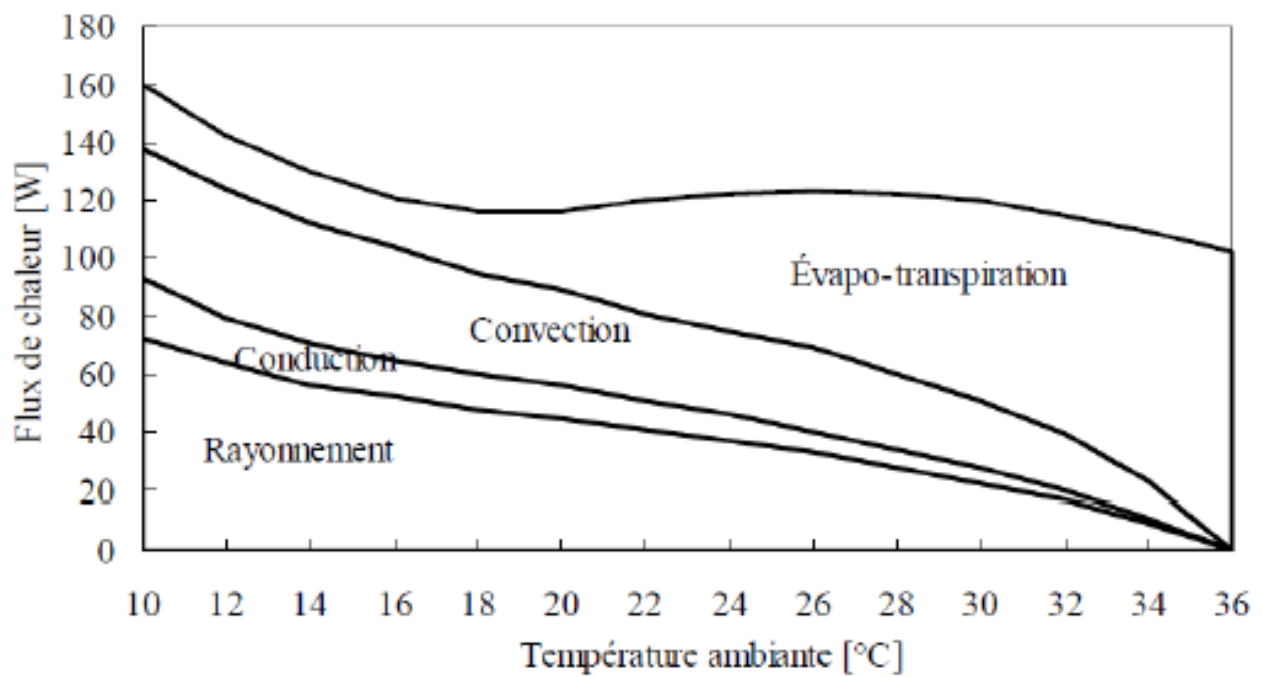
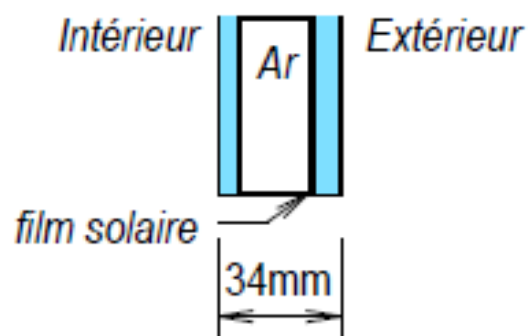
Température de confort intérieur = 26°C

### Composition de l'allège



<p>Rappel :</p> $U = \frac{1}{\sum R_{th} + \sum \frac{e}{\lambda}}$ <p>avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>U</math> = Conductivité thermique en <math>W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}</math></li> <li>• <math>R_{si}</math> = Résistance thermique superficielle int. en <math>m^2 \cdot K \cdot W^{-1}</math></li> <li>• <math>R_{se}</math> = Résistance thermique superficielle ext. en <math>m^2 \cdot K \cdot W^{-1}</math></li> <li>• <math>e</math> = épaisseur d'un des composants de la paroi en m</li> <li>• <math>\lambda</math> = coefficient de conduction thermique exprimé en <math>W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}</math></li> <li>• <math>R_{th}</math> = Résistance thermique d'un composant de la paroi en <math>m^2 \cdot K \cdot W^{-1}</math></li> </ul>	<p>Paroi donnant sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'extérieur</li> <li>- un passage ouvert</li> <li>- un local ouvert<sup>(2)</sup></li> </ul>	$R_{si}$ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	$R_{se}^{(1)}$ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	$R_{si} + R_{se}$ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
	<p>Paroi verticale inclinaison <math>\geq 60^\circ</math></p> <p>Flux horizontal</p>	0,13	0,04	0,17
	<p>Paroi horizontale inclinaison <math>&lt; 60^\circ</math></p> <p>Flux ascendant</p>	0,10	0,04	0,14
	<p>Dessin descendant</p>	0,17	0,04	0,21
<p>(1) Si la paroi donne sur un local non chauffé, <math>R_{si}</math> s'applique des deux côtés.</p> <p>(2) Un local est dit ouvert si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à <math>0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3</math>. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.</p>				

## Coupe vitrage



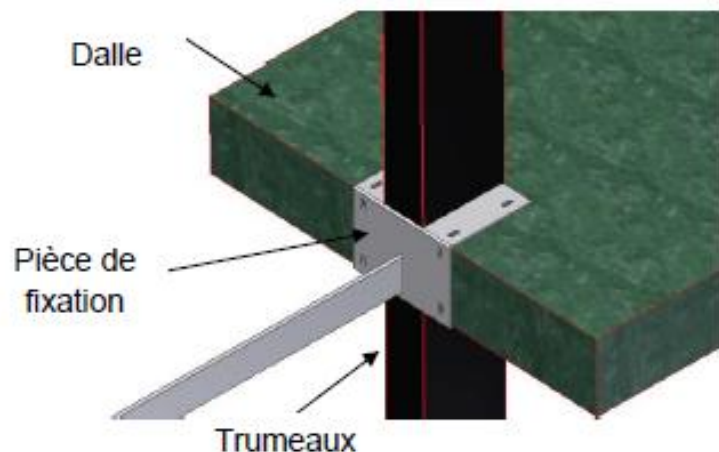


## Partie D : Étude de l'accroche du bouclier solaire sur la façade.

La tour Elithis est équipée d'un bouclier solaire, la description de cet élément est fournie en annexe 1.

*L'objectif de cette partie est de vérifier la résistance mécanique des pièces qui permettent de solidariser le bouclier à la structure du bâtiment.*

Ces pièces sont fixées d'une part sur les dalles de chaque niveau et d'autre part sur les trumeaux acier laqué remplis de béton (reprise d'appui extérieur des dalles).



Les pièces, en plus de supporter le bouclier solaire, permettent la fixation des caillebotis constituant le brise soleil sur toute la périphérie de la tour.

Ce brise soleil a également comme fonction de permettre la circulation de personnes en cas d'opération de maintenance, de nettoyage de la paroi ou éventuellement le passage de services de secours.

On dénombre 230 pièces de fixation réparties uniformément sur la surface du bouclier.

La longueur de ces pièces est de 1 m.

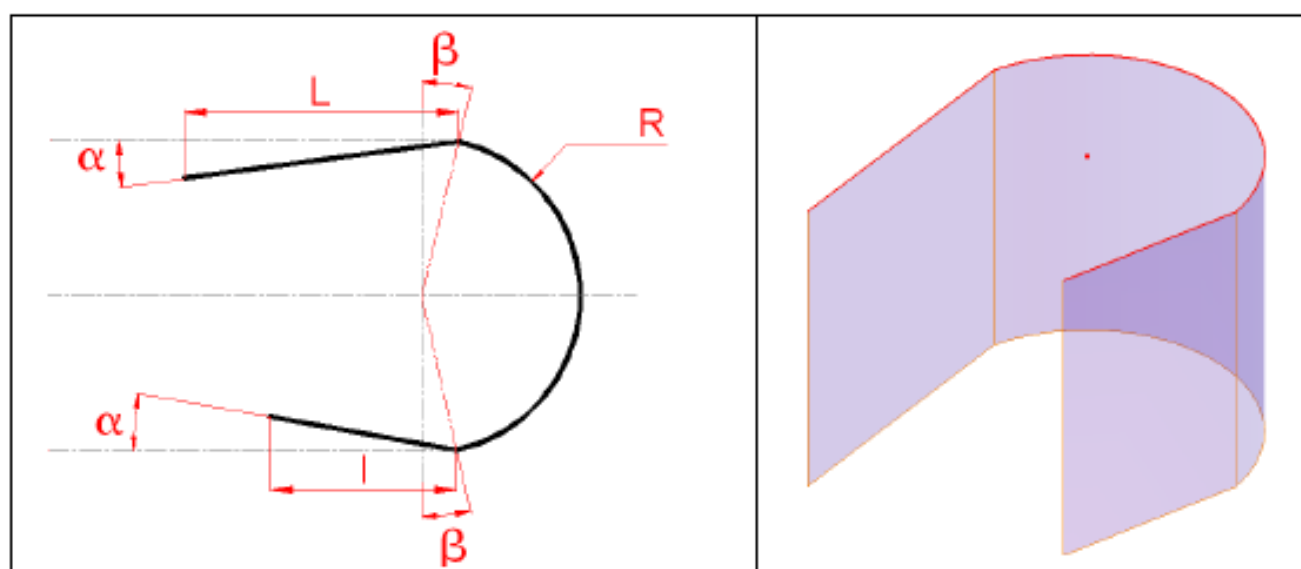


Pièce de fixation

La vérification de la résistance mécanique des fixations consistera en un calcul de résistance des matériaux en flexion simple ainsi qu'un calcul de vérification de non dépassement d'une valeur limite admissible de déformée.

## Données et hypothèses

- poids propre des pièces de fixation : 40 daN (charge répartie sur la longueur de la poutre) ;
- caillebotis (acier thermo laqué de  $1\text{m}^2$ ) de poids propre : 30 daN (charge répartie sur la surface) ;
- surcharge éventuelle sur 1 caillebotis (personne en circulation sur le brise soleil avec divers équipements) : 150 daN (charge répartie sur la surface) ;
- les pièces de fixations sont considérées comme des poutres de longueur 1 mètre encastrées dans la dalle ;
- bouclier solaire : tôle déployée d'aluminium de 3 mm d'épaisseur ;
- masse volumique de l'aluminium :  $2,7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ;
- masse volumique du givre :  $917\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Les organismes de certifications préconisent pour ce type de calcul de se placer dans le cas extrême où le bouclier serait recouvert d'un centimètre de givre de chaque côté.

Une étude logicielle donne pour la surface précise du bouclier  $S = 812\text{ m}^2$ .

## Partie E : optimisation de l'efficacité énergétique de la tour

*L'objectif de cette partie est d'analyser une partie du pilotage de la tour pour optimiser l'efficacité énergétique.*

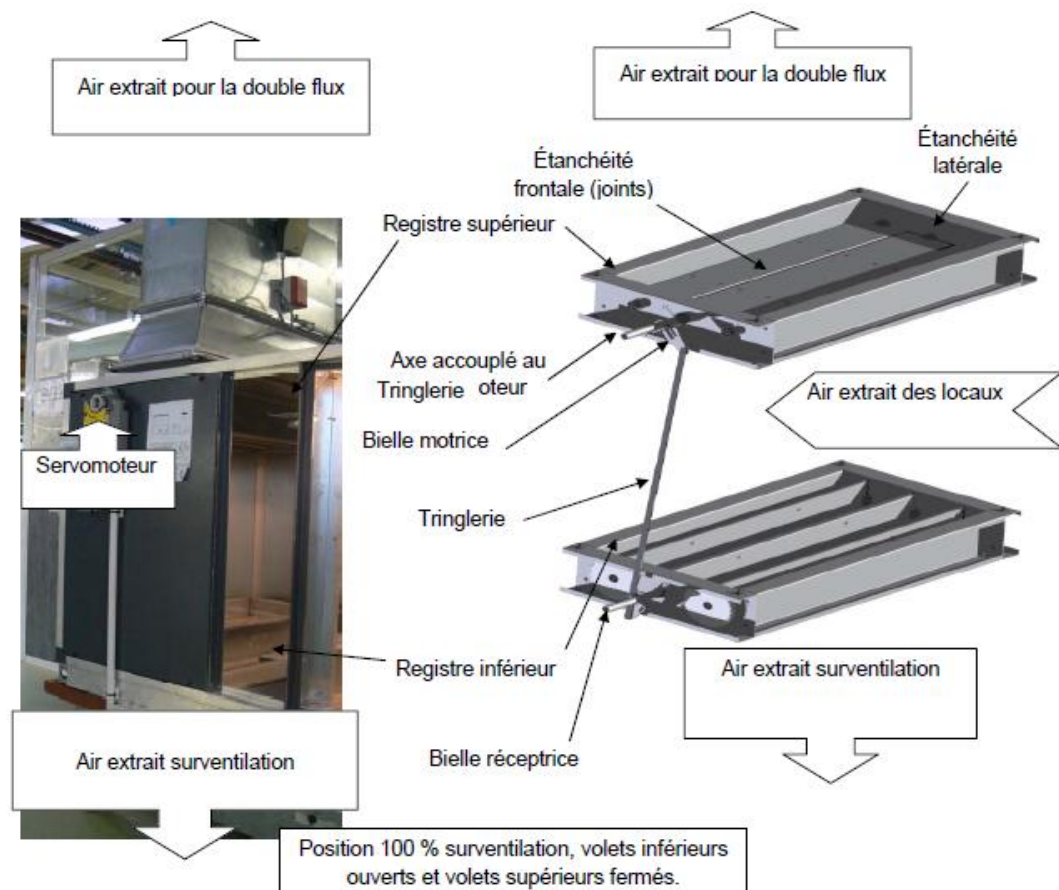
### Principe des installations

Données : schéma de principe annexe 5 et diagramme de pilotage annexe 6.

### Étude du registre à volets de sur-ventilation nocturne

Pour décharger énergétiquement le bâtiment en période d'été et abaisser la température, une surventilation nocturne a été prévue. Cette augmentation de débit d'air neuf dans les locaux permet d'enlever de l'énergie à la structure du bâtiment. L'air neuf arrive par les entrées d'air situées dans les allèges en façade.

Le basculement entre l'alimentation en air extrait pour la centrale double flux et la surventilation nocturne des locaux est assuré par deux registres à volets, motorisés par un servomoteur de type « Belimo ». On distingue un registre inférieur (gérant le passage de l'air extrait pour la surventilation) et un registre supérieur (gérant le passage de l'air pour la centrale double flux). Ces deux registres sont composés de 3 volets chacun et sont motorisés par un seul servomoteur.





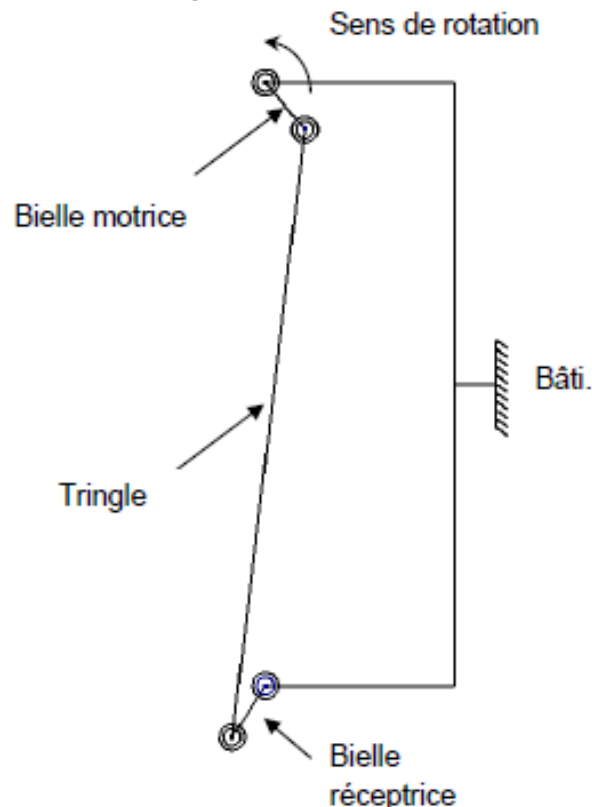
Les deux registres ont un fonctionnement en opposition : lorsque les 3 volets du registre inférieur sont fermés, les 3 volets du registre supérieur sont ouverts (décalage de  $90^\circ$ ).

L'axe de rotation du volet central supérieur est accouplé à l'axe de sortie du réducteur du servomoteur ; il est également relié à l'axe de rotation du volet central inférieur par l'intermédiaire d'une tringlerie.

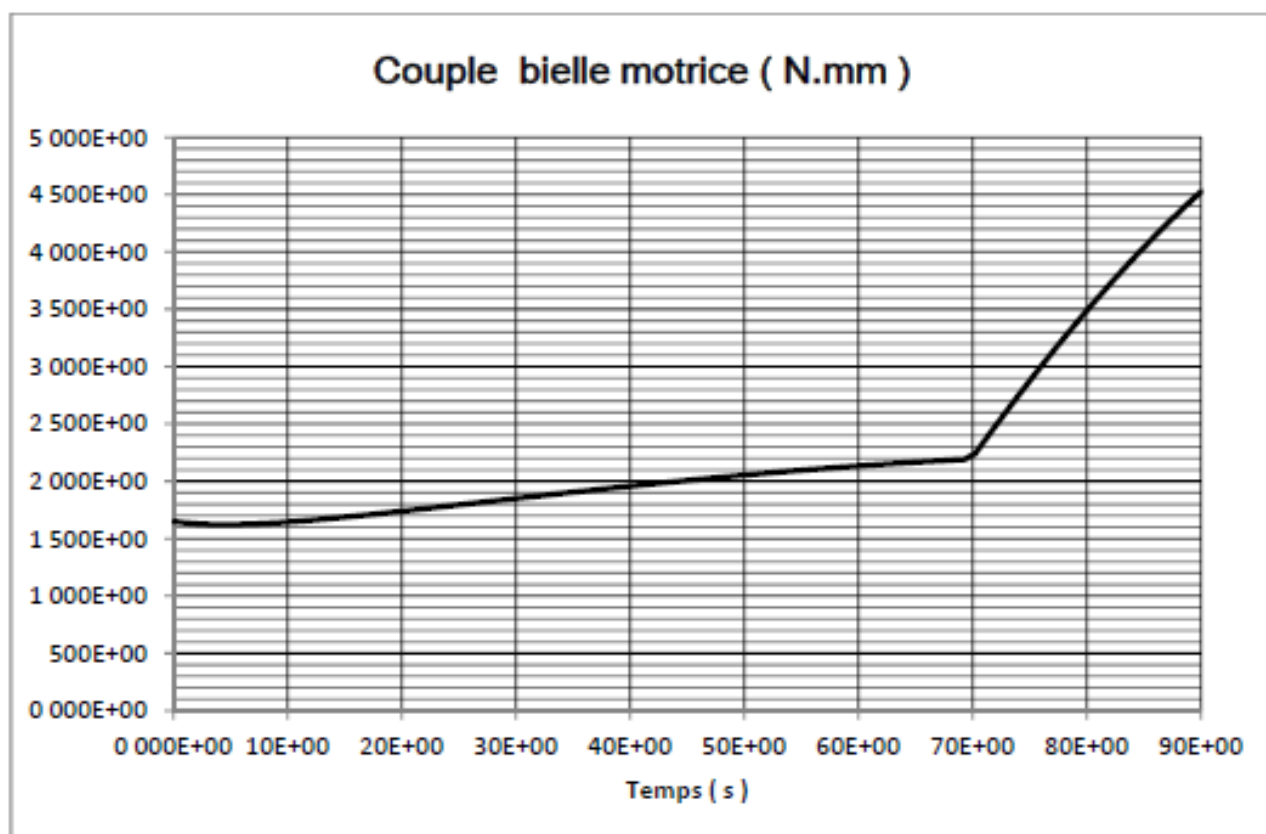
Chacun des volets est équipé de joints frontaux qui s'écrasent lors de la fermeture des registres au contact des autres volets.

L'emploi de ce genre de dispositif dans un milieu à atmosphère contrôlée nécessite la maîtrise de l'étanchéité des volets par rapport au registre. L'étanchéité latérale par joint crée sur l'axe de manœuvre un couple de frottement constant  $C_L$ . Pour obtenir l'étanchéité frontale lorsque le registre est fermé, il faut exercer un couple de fermeture  $C_F$  bien supérieur au précédent. Ce couple doit permettre un écrasement suffisant du joint frontal.

Sur le servomoteur, un système de limitation d'intensité permet d'assurer la sécurité du moteur à courant continu en cas de surcharge (couple moteur demandé trop important). Pour régler l'angle de fermeture des volets on dispose d'un boîtier de commande, néanmoins ce réglage n'est pas assez précis pour obtenir un écrasement du joint correctement dosé. On souhaite vérifier la possibilité d'utiliser la détection de surintensité  $I_{lim}$  dans le moteur comme capteur de fin de course en position fermée.



À partir d'une mesure des couples ( $C_L$  et  $C_F$ ) nécessaires à la fermeture des volets (prenant en compte l'écrasement des joints) et d'une simulation logicielle on obtient la courbe de couple correspondant à appliquer sur la bielle motrice (figure ci-dessous).



### Acquisition des données de pilotage

Pour être énergétiquement sobre, la tour nécessite un pilotage précis qui dépend de nombreux facteurs, comme les données climatiques extérieures, les températures intérieures...

Une station météo placée sur le toit donne en permanence des informations et les transmet à la GTC par liaison modbus.

La station est équipée d'un anémomètre girouette, d'un pluviomètre au pas de 0,2 mm, d'un thermomètre hygromètre, d'un capteur de rayonnement solaire et d'un capteur de rayonnement UV.

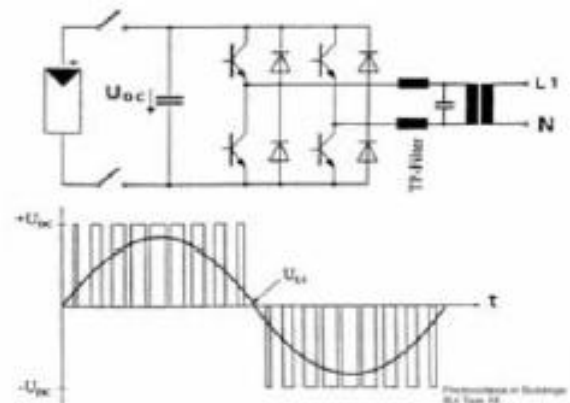
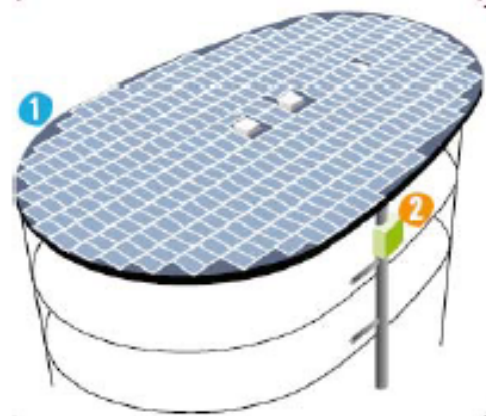


## Partie F : Utilisation des énergies renouvelables

### Production photovoltaïque :

Sur le toit de la tour Elithis, sont installés les 342 panneaux photovoltaïques ainsi qu'un système de récupération des eaux de pluie permettant l'alimentation en eau des toilettes.

L'objectif de cette partie est de calculer la production d'énergie renouvelable grâce aux panneaux photovoltaïques installés sur le toit afin de déterminer l'impact économique sur l'énergie électrique utilisée dans la tour.





La Tour Elithis est alimentée par un tarif jaune de 48 kVA. Cet abonnement sert aux équipements généraux de la Tour Elithis (CTA double flux, groupe Froid, chaufferie, ascenseurs, éclairage communs, parking...).

On considère que :

- les consommations électriques sont réparties à 80% en HP (heures pleines) et 20% en HC (heures creuses) ;
- la consommation électrique annuelle est répartie à 45% en été et 55% en hiver.

Ensuite chaque preneur dispose de son propre tarif électrique adapté à ses besoins (RdC restaurant : tarif jaune, 4<sup>e</sup> étage Ademe : tarif bleu, 7<sup>e</sup> à 9<sup>e</sup> étage Elithis : tarif jaune...)

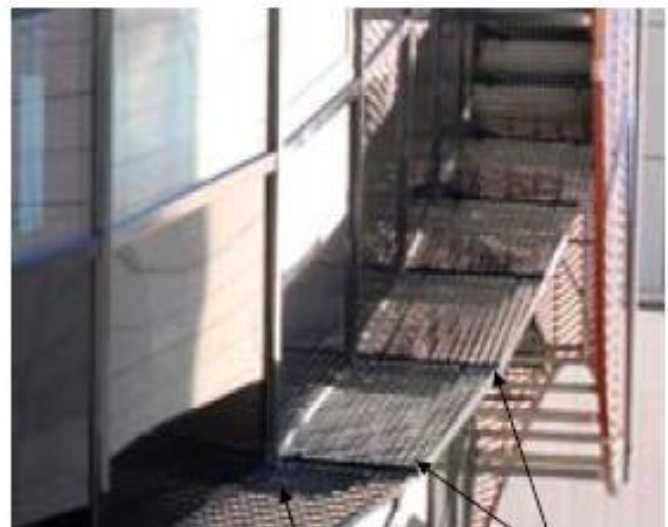
Tarif Jaune Option Base	Prime fixe annuelle (€/kVA)	Prix de l'énergie HT ( c€/ kW.h )			
		Hiver HP	Hiver HC	Eté HP	Eté HC
	30,12	10,420	7,288	4,212	2,958
Hiver : novembre à mars inclus					
Eté : avril à octobre inclus					
HC : 8h tous les jours					
Taxes : 19,6% avec TVA et taxes locales					

## Annexe 1 : Bouclier solaire



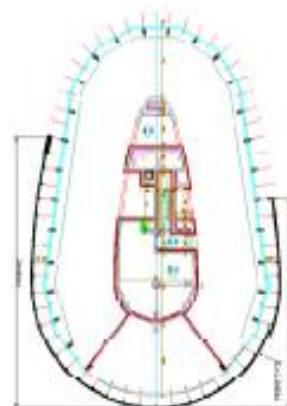
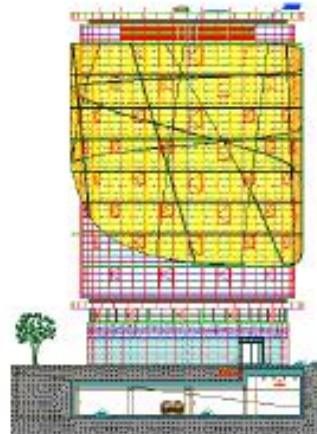
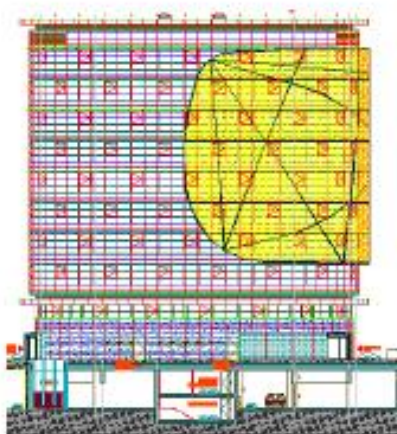
Bouclier  
solaire

Brise soleil



Caillebotis

Pièces de  
fixations



## Annexe 2 : Choisir le matériel d'éclairage

### Les lampes

Les performances d'une lampe sont déterminées par un certain nombre de caractéristiques.

- **La puissance**, exprimée en watts (W).
- **Le flux lumineux** exprimé en lumens (lm) : quantité de lumière émise par la lampe.
- **L'efficacité lumineuse** exprimée en lumens par watt (lm/W) : rapport entre le flux lumineux et la puissance consommée (peut être exprimée pour le couple lampe-ballast).
- **La durée de vie économique** (heures) : période au terme de laquelle la chute de flux d'une lampe ne permet plus d'atteindre les niveaux d'éclairement requis.
- **La température de couleur**, en kelvins (K) : qualifie l'ambiance lumineuse de l'espace éclairé. Elle varie des teintes chaudes, à dominante orangée (2 500 K) aux teintes froides, d'un aspect bleuté (5 300 K et plus), les teintes neutres se situent autour de 4 000 K.
- **L'indice de rendu des couleurs** (Ra ou IRC) : capacité d'une lampe à restituer fidèlement les couleurs telles qu'elles apparaissent sous la lumière naturelle. Le maximum est 100.
- **Sa forme ou sa taille** : les formes et dimensions de la lampe et de ses composants internes (brûleur ou nombre de LEDs, par exemple) auront une incidence sur les optiques qu'on pourra y associer.

### Les tubes fluorescents

Ils sont souvent appelés, à tort, « néon ». Il existe plusieurs types de tubes, lampes fluorescentes rectilignes à double culot, que l'on distingue par leur diamètre (ne sont indiquées ici que les valeurs le plus couramment utilisées en éclairage général dans le tertiaire) :

- T8, tube de Ø 26 mm, appelé aussi T28, dont la durée de vie varie de 12 000 à 16 000 heures ;
- T5, tube de Ø 16 mm, appelé parfois aussi T16, qui peut atteindre 22 000 heures. Il est associé à un ballast électronique.

Leurs températures de couleurs varient de 2 700 à 6 000 K et les puissances de 10 W à 80 W, avec une efficacité lumineuse qui peut atteindre 104 lm/W.

Le marquage des lampes fluorescentes indique la puissance, l'IRC et la température de couleur.

Par exemple 35/830 signifie qu'il s'agit d'une lampe d'une puissance de 35 W, dont la gamme d'IRC est supérieure à 80 (830) et dont la température de couleur est de 3 000 K (830).

### Les lampes fluocompactes

Ce sont des tubes fluorescents « pliés » pour y adapter un culot unique. Elles sont disponibles dans une palette de puissances extrêmement étendue, allant de 5 W aux fortes puissances 70 W et 120 W. Elles offrent des durées de vie qui peuvent atteindre 16 000 heures et présentent un large choix de températures de couleur, de 2 700 K à 6 500 K. Leur efficacité lumineuse peut atteindre 90 lm/W.

### Les lampes et modules LEDs

Une diode électroluminescente (LED) est un composant électronique permettant la transformation de l'électricité en lumière. Pour l'éclairage, on utilise des lampes constituées de plusieurs LED.

Les améliorations des performances des LED permettent aujourd'hui des durées de vie d'au moins 25 000 heures. Les performances des solutions LED sont en constante augmentation et pour certaines d'entre elles viennent concurrencer les solutions d'éclairage général classiques.

### Les auxiliaires d'alimentation

Les lampes fluorescentes fonctionnent grâce à des ballasts, auxiliaires d'alimentation situés dans le luminaire, qui ont une consommation propre. Aujourd'hui le ballast électronique s'impose (type A1 et A2 selon les engagements de la Convention). En supprimant les pertes électriques dues au ballast ferromagnétique, un luminaire électronique consomme au minimum 20 % de moins pour un éclairage identique.

### Norme NF EN 12464-1 « Éclairage intérieur des lieux de travail »

La norme indique des niveaux d'éclairements moyens « à maintenir », c'est-à-dire qui doivent pouvoir être atteints quel que soit l'âge de l'installation.

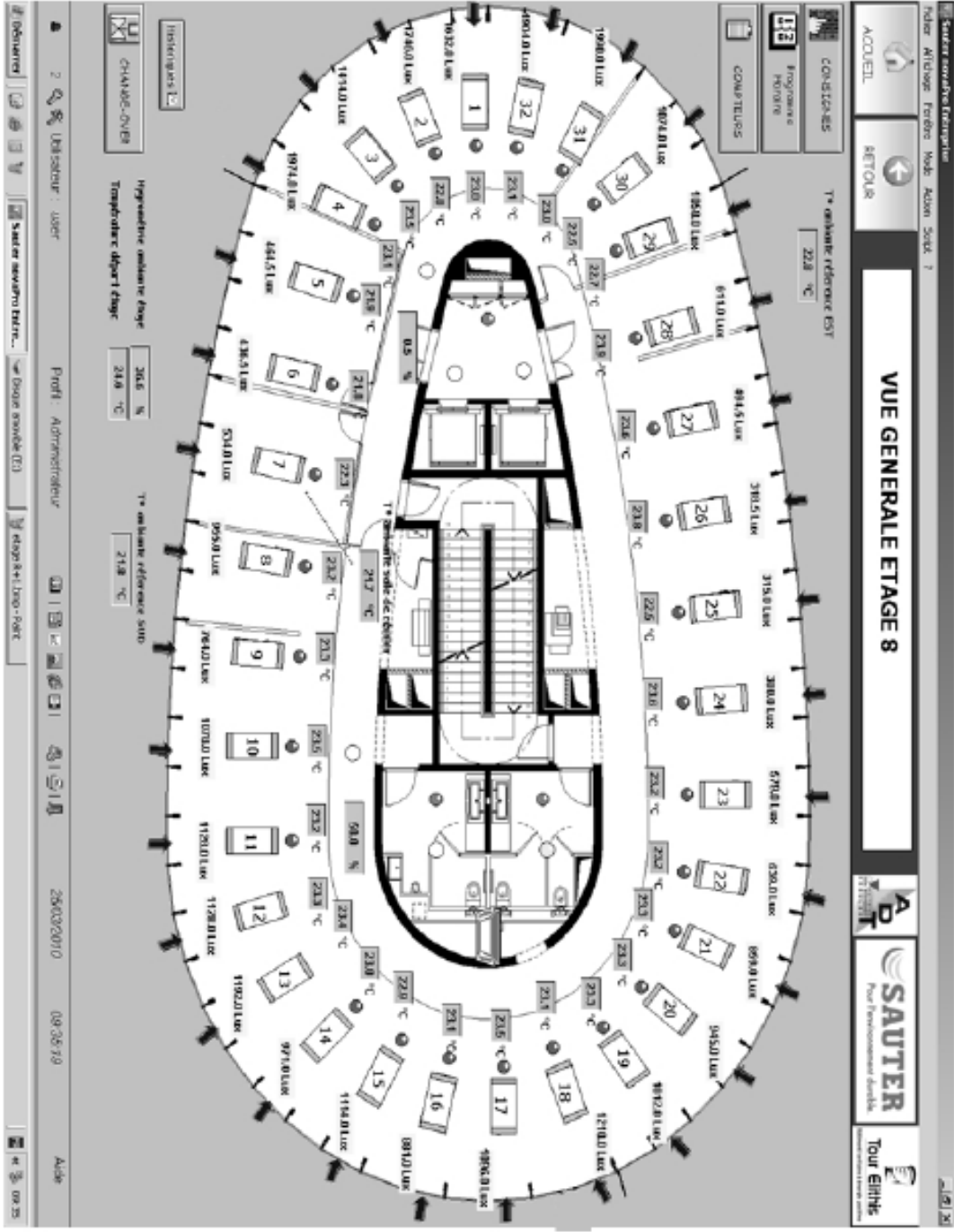
Les valeurs indiquées ci-dessous à titre d'exemple sont celles de la version de juillet 2011 :

- écriture, dactylographie, lecture, traitement de données - 500 lux ;
- CAO - 750 lux ;
- salles de conférence et de réunion - 500 lux ;
- réception - 300 lux ;

L'indice de rendu des couleurs doit être supérieur ou égal à 80.

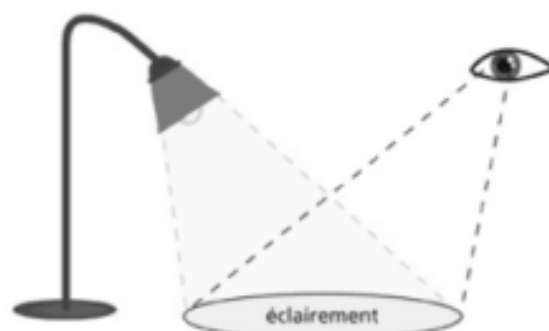


Annexe 3



## Annexe 4 :

L'éclairement (en lux) d'une surface est égal au flux lumineux (en lumen) tombant sur chaque m<sup>2</sup> de cette surface. Cet éclairement diminue avec le carré de la distance d séparant la source lumineuse de la surface à éclairer.



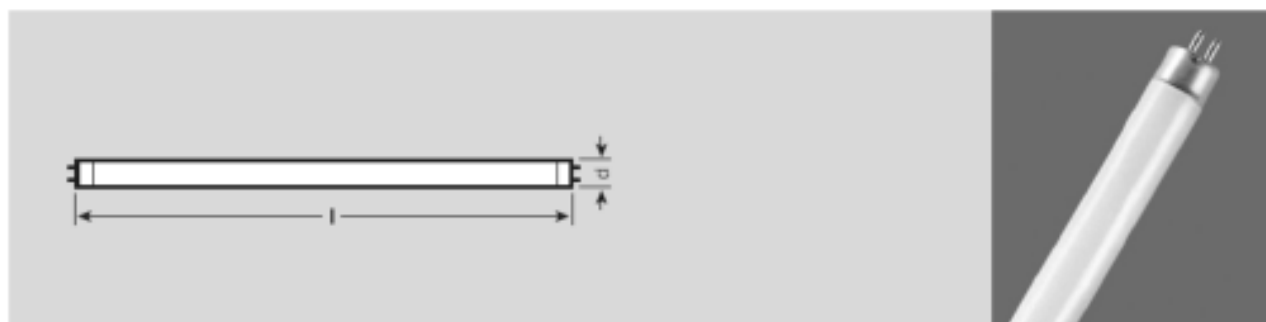
Donc :  $E = \frac{\varphi}{S \cdot d^2}$  avec

E : éclairement en lux    d : distance en m

φ : flux émis par la source

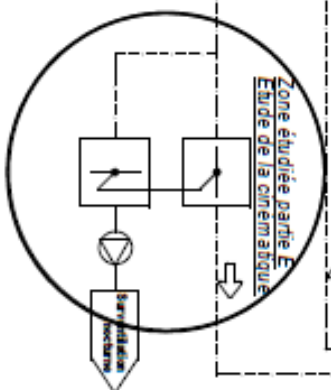
S : surface en m<sup>2</sup>

## LUMILUX® T5 HE HR - HAUTE EFFICACITÉ Ø16 mm - Culot G5



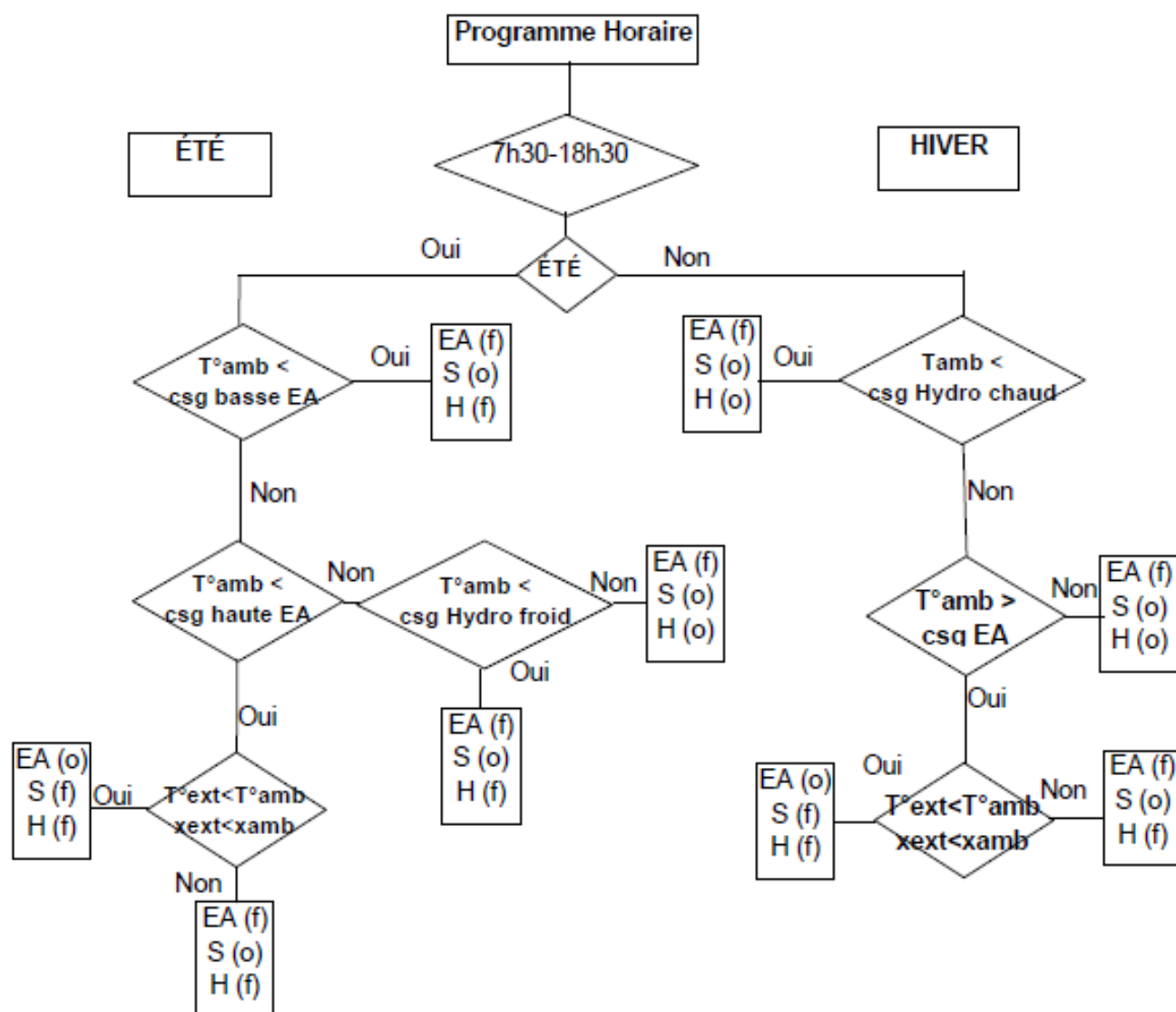
Désignation	EAN	W	lm <sup>(1/2)</sup>		R <sub>a</sub>	TUBE Ø (mm)	l (mm)	
<b>Emballage individuel par 20</b>								
<b>14 W</b>								
FH 14W/827 HE	4050300645919	14	1200	LUMILUX INTERNA	80...89	16	549	20
FH 14W/830 HE	4050300591520	14	1200	LUMILUX blanc chaud	80...89	16	549	20
FH 14W/840 HE	4050300591384	14	1200	LUMILUX blanc de luxe	80...89	16	549	20
FH 14W/865 HE	4050300591544	14	1100	LUMILUX lumière du jour	80...89	16	549	20
FH 14W/880 SKYWHITE HE	4050300225009	14	1050	LUMILUX SKYWHITE	80...89	16	549	20
<b>21 W</b>								
FH 21W/827 HE	4050300645957	21	1900	LUMILUX INTERNA	80...89	16	849	20
FH 21W/830 HE	4050300591506	21	1900	LUMILUX blanc chaud	80...89	16	849	20
FH 21W/840 HE	4050300591407	21	1900	LUMILUX blanc de luxe	80...89	16	849	20
FH 21W/865 HE	4050300591322	21	1750	LUMILUX lumière du jour	80...89	16	849	20
FH 21W/880 SKYWHITE HE	4008321224989	21	1700	LUMILUX SKYWHITE	80...89	16	849	20

**Groupe d'eau glacée (poutre froide + centrale)  
adiabatique**





## Annexe 6 : Diagramme de pilotage pour la ventilation (jour)



### Abréviations:

EA = Entrée d'Air neuf dans l'allège

S = Soufflage poutre

H = Hydraulique poutre

csg basse EA: Consigne Basse Entrée d'Air ETE (21°C)

csg haute EA: Consigne Haute Entrée d'Air ETE (24°C)

csg EA: Consigne Haute Entrée d'Air HIVER (22°C)

csg Hydro froid: Consigne d'irrigation poutre ETE (confort:24°C – réduit:28°C)

csg Hydro chaud: Consigne d'irrigation poutre HIVER (confort:20°C – réduit:17°C)

T°amb : Température ambiante niveau

T°ext : Température extérieure

xamb : Poids d'eau ambiance (reprise)

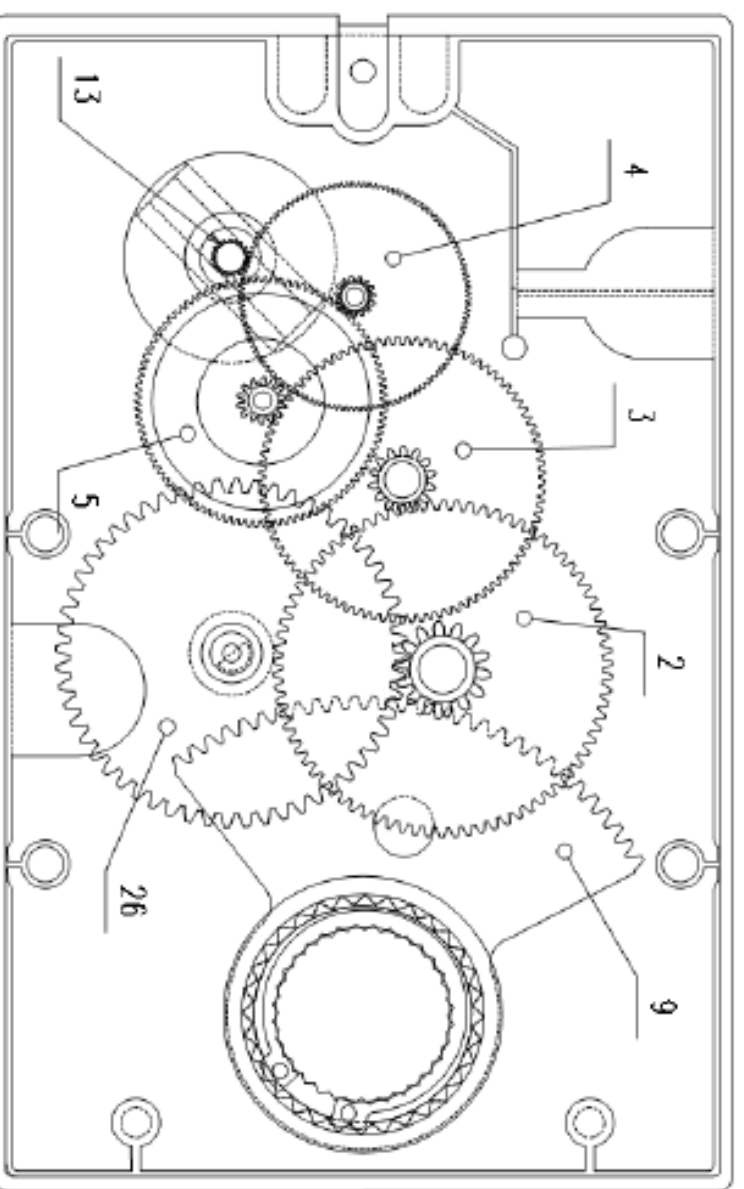
xext : T poids d'eau extérieur

# Annexe 7 :

## Servomoteur BELIMO

### Plan du réducteur

Échelle 1:1



Liste de pièces		
A	Qté	NUMERO DE PIECE
2	1	pignon roue $Z_g=78$ $m=0,7$ ; $Z_h=14$ $m=1$
3	1	pignon roue $Z_e=93$ $m=0,5$ ; $Z_f=14$ $m=0,7$
4	1	pignon roue $Z_a=125$ $m=0,3$ ; $Z_b=15$ $m=0,4$
5	1	pignon roue $Z_c=102$ $m=0,4$ ; $Z_d=14$ $m=0,5$
26	1	pignon $Z=56$
9	1	secteur denté $Z_j=29$ dents sur $100^\circ$ $m=1$
13	1	pignon moteur $Z_m=19$ ; $m=0,3$

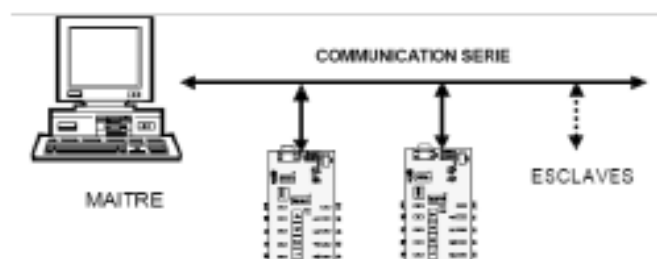
Rendement par étage de réduction  $\eta_1=0,85$

Rendement pour le secteur denté  $\eta_2=0,8$

## Annexe 8 : Protocole Modbus

Le protocole MODBUS consiste en la définition de trames d'échange. Le maître envoie une **demande** et attend une **réponse**.

Les abonnés du bus sont identifiés par des adresses attribuées par l'utilisateur. L'adresse de chaque abonné est indépendante de son emplacement physique. Les adresses vont de 1 à 64 et ne doivent pas obligatoirement être attribuées de manière séquentielle. Deux abonnés ne peuvent avoir la même adresse.



Deux fonctionnements sont possibles : le maître peut interroger un esclave de numéro unique sur le réseau et attendre de la part de cet esclave une réponse ou bien le maître diffuse un message à tous les esclaves présents sur le réseau, ceux-ci exécutent l'ordre du message sans émettre une réponse.

Question :

N° d'esclave	Code fonction	Information spécifique concernant la demande	Mot de contrôle
1 octet	1 octet	n octets	2 octets

La question posée par le maître contient un code fonction indiquant à l'esclave adressé quel type d'action est demandé. Les données contiennent des informations complémentaires dont l'esclave a besoin pour exécuter cette fonction (adresse du premier registre sur 2 octets puis nombre de registres sur 2 octets). Le champ octets de contrôle permet à l'esclave de s'assurer de l'intégralité du contenu de la question.

Réponse

N° d'esclave	Code fonction	Données reçues	Mot de contrôle
1 octet	1 octet	n octets	2 octets

Si une erreur apparaît, le code fonction est modifié pour indiquer que la réponse est une réponse d'erreur. Les données contiennent alors un code (code d'exception) permettant de connaître le type d'erreur. Le champ de contrôle CRC permet au maître de confirmer que le message est valide.

### Format général d'une trame

Deux types de codage peuvent être utilisés pour communiquer sur un réseau Modbus. Tous les équipements présents sur le réseau doivent être configurés selon le même type. Dans notre cas la configuration est de type RTU (Unité terminale distante) : **chaque octet composant une trame est codé sur 2 caractères hexadécimaux** (2 fois 4 bits).

START	Adresse	Fonction	Données	CRC	END
Silence	1 octet	1 octet	n octets	2 octets	Silence

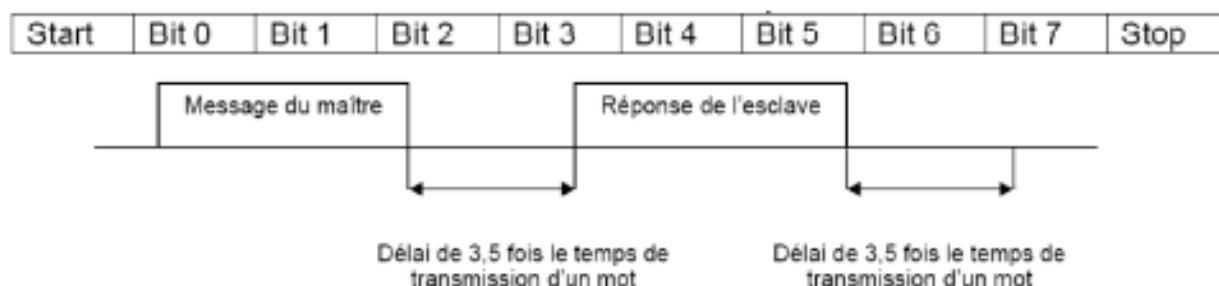
La taille maximale des données est de 256 octets. Le **maître** s'adresse à l'esclave dont l'adresse est donnée dans le champ prévu à cet effet et l'**esclave** renvoie sa réponse ; il place sa propre adresse dans le champ adresse afin que le maître puisse l'identifier. Il utilise ensuite le champ fonction pour indiquer si la réponse contient une erreur. Pour une réponse normale, l'esclave reprend le même code fonction que celui du message envoyé par le maître, sinon il renvoie un code erreur correspondant au code original avec son MSB à 1.

Le champ de données contient diverses informations dépendant du code fonction. Le champ contrôle d'erreur contient une valeur codée sur 16 bits. Cette valeur est le résultat d'un CRC (Cyclical Redundancy Check) calculé à partir d'un message.



## Support de transmission

Chaque octet composant un message est transmis en mode RTU de la manière suivante



Avant et après chaque message, il doit y avoir un silence équivalent à 3,5 fois le temps de transmission d'un mot. Le protocole MODBUS ne définit que la structure des messages et leur mode d'échange. On peut utiliser n'importe quel support de transmission RS 232, RS 422 ou RS 485, mais la liaison RS 485 est la plus répandue car elle autorise le « multipoints ».

## Exemple d'échange entre un maître et un esclave

Trame de commande		
Adresse esclave		02(H)
Code fonction		03(H)
Registre de départ	Poids fort	00(H)
	Poids faible	20(H)
Quantité	Poids fort	00(H)
	Poids faible	04(H)
CRC-16	Poids fort	45(H)
	Poids faible	F0(H)

Trame de réponse		
Adresse esclave		02(H)
Code fonction		03(H)
Nombre d'éléments (nbre de registres x2)		08(H)
Contenu du 1er registre	Poids fort	00(H)
	Poids faible	85(H)
Registre suivant	Poids fort	00(H)
	Poids faible	00(H)
Registre suivant	Poids fort	00(H)
	Poids faible	00(H)
Registre suivant	Poids fort	01(H)
	Poids faible	F4(H)
CRC-16	Poids fort	4E(H)
	Poids faible	4C(H)

## Services supportés par MODBUS

MODBUS offre 19 fonctions différentes. Elles se caractérisent par un code fonction sur un octet (en hexadécimal).

Code	Nature des fonctions MODBUS
H'01'	Lecture de n bits de sortie consécutifs
H'02'	Lecture de n bits de sortie consécutifs
H'03'	Lecture de n mots de sortie consécutifs
H'04'	Lecture de n mots consécutifs d'entrée
H'05'	Ecriture de 1 bit de sortie
H'06'	Ecriture de 1 mot de sortie
H'07'	Lecture du statut d'exception
H'08'	Accès aux compteurs de diagnostic
H'09'	Téléchargement, télé déchargement et mode de marche
H'0A'	Demande de CR de fonctionnement
H'0B'	Lecture du compteur d'événements
H'0C'	Lecture des événements de connexion
H'0D'	Téléchargement, télé déchargement et mode de marche
H'0E'	Demande de CR de fonctionnement
H'0F'	Ecriture de n bits de sortie
H'10'	Ecriture de n mots de sortie
H'11'	Lecture d'identification
H'12'	Téléchargement, télé déchargement et mode de marche
H'13'	Reset de l'esclave après erreur non recouverte

## Modules photovoltaïques

TE 2000, TE 2200

**180 à 240 Watts Crête**

Multicristallin, série verre/Tedlar



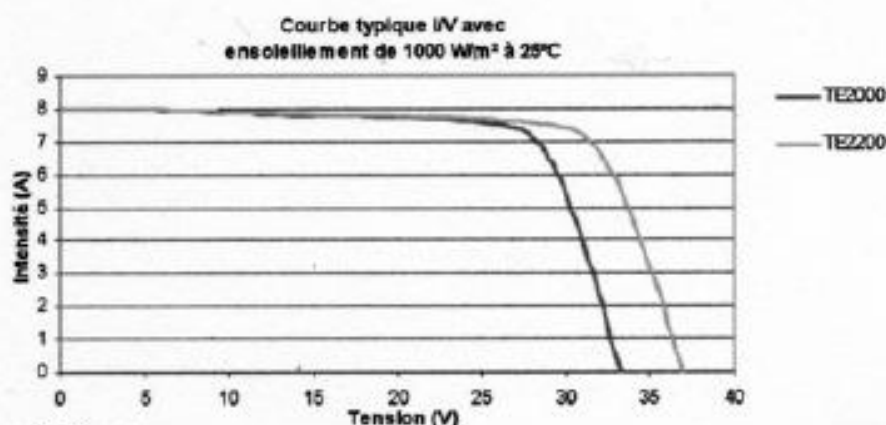
TENESOL fabrique ses modules photovoltaïques dans ses propres usines.

Les modules TENESOL utilisent la technologie des cellules multicristallines à haut rendement, qui sont mesurées individuellement et triées à 100% avant encapsulage.

La structure **Verre trempé / EVA / Tedlar** minimise le poids, assure une parfaite étanchéité et protège durablement les cellules.

Le cadre aluminium renforcé de 50 mm d'épaisseur permet une manutention aisée et un montage facile et rapide et très résistant.

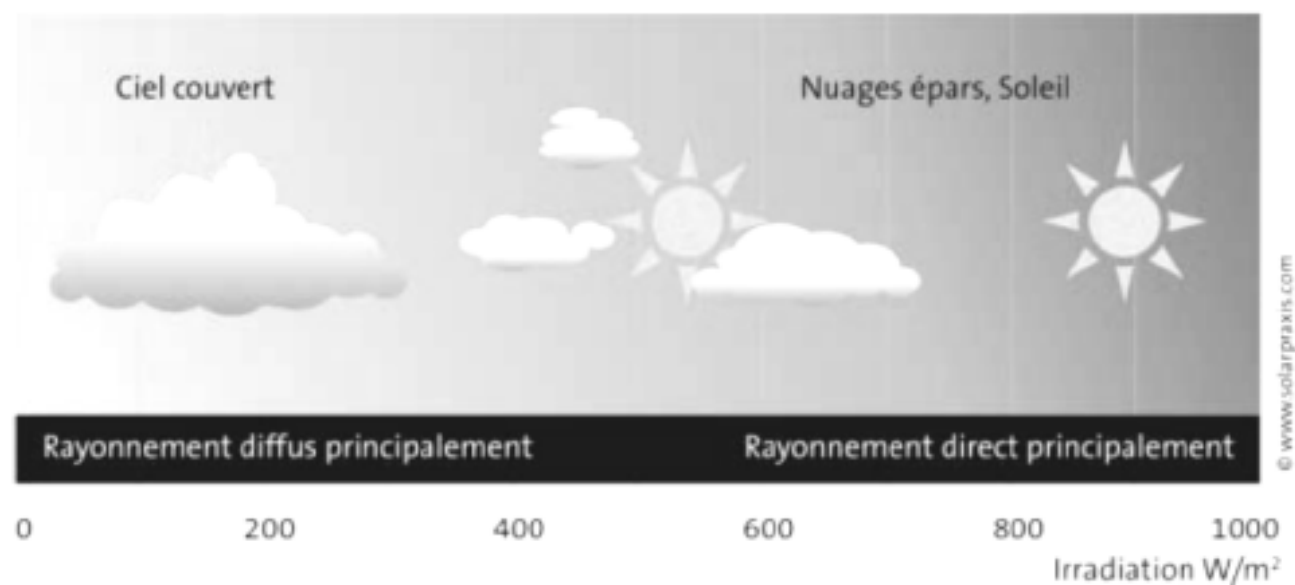
Chaque module fait l'objet d'un **contrôle qualité individuel** et d'une fiche numérotée de test de performance.



### Caractéristiques

[illegible]

## Annexe 10



**INES Education - Logiciel CALSOL - Gisement solaire**  
estimation de l'énergie solaire disponible pour une application  
énergétique

[Retour menu](#)

Choix de la ville :

Inclinaison du plan : 
Orientation du plan : 
Albédo du sol :

Irradiation en  $\text{kWh/m}^2$  par jour ☐ ou en  $\text{kWh/m}^2$  cumulés ☐
[SOURCES](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGH)	28	46	87	124	150	170	185	152	110	65	36	24	1177
Directe (IBH)	8	16	35	55	66	83	100	77	54	26	12	6	538
Diffuse (IDH)	21	31	52	68	85	88	85	74	55	39	24	17	639

Irradiation sur un plan d'inclinaison  $5^\circ$  et d'orientation  $-30^\circ$

L'irradiation globale maximale est de 1275  $\text{kWh}$  pour une orientation sud et une inclinaison optimum de  $30^\circ$ , le rapport entre l'irradiation globale d'inclinaison  $5^\circ$  et d'orientation  $-30^\circ$  sur l'irradiation globale maximale est de 94 %.



# Onduleurs Connectis

## Energrid Inverter



### *Du soleil au réseau...*

La gamme d'onduleurs **Energrid Inverter** de **TENESOL** convertit l'énergie électrique issue des modules en courant alternatif adapté au réseau électrique. C'est un **onduleur de connexion réseau à injection directe** développé pour les générateurs photovoltaïques.

### CARACTERISTIQUES

- **Large plage de tension d'entrée** avec adaptation automatique au générateur solaire; aucune configuration manuelle n'est nécessaire.
- Recherche du point de puissance maximale du générateur solaire PV (MPPT) avec une **grande précision**, même par temps voilé.
- **Fonctionnement stable** lors de rapides changements d'irradiation solaire (passages nuageux).
- Courant de sortie sinusoïdal indépendant de la forme du courant réseau.
- **Synchronisation** au réseau grâce à une référence interne sinusoïdale **parfaite**.
- **Rendement de conversion énergétique très élevé.**

	EI2000	EI2500	EI3300	EI5000
<b>Caractéristiques d'entrée</b>				
Puissance maximale (DC)	2200 Wc	2750 Wc	3630 Wc	5500 Wc
Plage de tension photovoltaïque MPPT (*) (DC)	150 V - 450 V	150 V - 450 V	150 V - 450 V	150 V - 450 V
Tension nominale (DC)	270 V	270 V	270 V	270 V
Tension de démarrage (DC)	150 V	150 V	150 V	150 V
Tension modules maximale (DC)	540 V	540 V	540 V	540 V
Plage de courant modules (DC)	0 à 15 A	0 à 18,3 A	0 à 24 A	0 à 36,6 A
Courant nominal (DC)	6,9 A	8,6 A	13 A	17,2 A
<b>Caractéristiques de sortie</b>				
Puissance nominale (AC)	2000 W	2500 W	3300 W	5000 W
Puissance maximale (AC)	2100 W	2620 W	3485 W	5240 W
Tension nominale (AC)	230 V, - 15%, + 10%			
Plage de tension réseau (AC)	230 V, - 15%, + 10%			
Réglage tension réseau	plage programmable de - 20% à + 15%			
Courant nominal (AC)	8,7 A	10,9 A	14,4 A	22 A
Plage de courant réseau (AC)	0 à 10,5 A	0 à 12,8 A	0 à 17 A	0 à 27,2 A
Fréquence	50 Hz			
Réglage de fréquence réseau	49,0 Hz à 50,2 Hz			
Autres paramètres	programmable de 48 Hz jusqu'à 52 Hz			
Facteur de puissance	~1			
Facteur de distorsion	< 3%			
Rendement	> 95,5%	> 95,6%	> 95,6%	> 95,6%
Rendement normes européennes	> 93,8%	> 94,6%	> 94,8%	> 94,6%
Rendement entre 20% et puissance nominale	> 91,5%	> 92,0%	> 94,0%	> 94,0%