

Notes techniques et réflexions

METHODE DE DETERMINATION DES CONSOMMATIONS DES USAGES SPECIFIQUES DE L'ELECTRICITE DANS LES PARTIES COMMUNES DES IMMEUBLES D'HABITATION

Auteur : Olivier SIDLER

Mai 2001



Ingénierie énergétique
26160 FELINES S/RIMANDOULE
TEL & FAX : (33) 04.75.90.18.54
email : contact@enertech.fr
Web : www.enertech.fr

TABLE DES MATIERES

1 - L'ECLAIRAGE DES CIRCULATIONS	4
1-1 Principes méthodologiques	4
1-2 Eclairage des couloirs	5
1-3 Eclairage des escaliers	7
1-4 Eclairage des halls d'entrée	8
1.4.1 Eclairage des foyers permanents	8
1.4.2 Eclairage des foyers intermittents sur zones de circulation intérieures	8
1.4.3 Eclairage des foyers intermittents sur zones d'accès	9
1-5 Eclairage des accès intérieurs aux parcs de stationnement et aux caves	9
1-6 Eclairage des locaux poubelles et des vide-ordures	10
2 - L'ECLAIRAGE EXTERIEUR	11
3 - L'ECLAIRAGE DES PARCS DE STATIONNEMENT	12
3-1 Consommation annuelle des foyers d'éclairage permanents	12
3-2 Consommation annuelle des foyers d'éclairage intermittents	13
3-3 Exemple général de calcul	15
4 - LES ASCENSEURS	17
4-1 Consommation annuelle de l'éclairage en cabine	17
4-2 Consommation annuelle de l'armoire de contrôle commande	20
4-3 Consommation annuelle du moteur d'ascenseur	20
4.3.1 Calcul de l'énergie absorbée en phase de démarrage	21
4.3.2 Calcul de l'énergie absorbée en phase de décélération	22
4.3.3 Calcul de l'énergie absorbée en phase de croisière de la cabine	22
4.3.4 Formulation générale de la consommation annuelle des moteurs d'ascenseurs	23
4.3.5 Exemple général de calcul	24
5 - LA VENTILATION	25
5 - 1 Principes de la méthode de calcul	25
5-1-1 Conditions de calcul	25
5.1.1.1 Ventilation sans régulation automatique de débit	25
5.1.1.2 Ventilation avec régulation automatique de débit	26
5-1-2 Puissance absorbée par un moto-ventilateur	27
5-1-3 Energie annuellement consommée	30
5-1-4 Exemples de calcul	30
5 - 2 Application aux différents systèmes de ventilation	33
5-2-1 Ventilation simple flux sans variation automatique du débit	33

5-2-2 Ventilation simple flux avec variation automatique du débit (type hygroréglable)	34
5-2-3 Ventilation double flux avec ou sans récupération de chaleur	34
5-2-4 VMC gaz avec ou sans variation automatique du débit	34
5-2-5 Ventilation double flux gaz avec récupération de chaleur	34
6 - LES CHAUFFERIES	35
6-1 Consommation du contrôle commande	35
6-2 Consommation électrique des chaudières	36
6-3 Consommation électrique des pompes	37
6.3.1 Pompes à vitesse et conditions de fonctionnement stables	37
6.3.2 Pompes à vitesse constante et conditions de fonctionnement variables	38
6.3.3 Pompes à vitesse et conditions de fonctionnement variables	38
6-4 Consommation des cordons de traçage électrique	39

CHAPITRE 1 : L'ECLAIRAGE DES CIRCULATIONS

L'éclairage des circulations concerne :

- les circulations horizontales (couloirs),
- les escaliers encloués et non encloués,
- les halls d'entrée,
- les accès aux parcs de stationnement couverts,
- les locaux poubelles,
- les locaux vide-ordures.

1 - 1 Principes méthodologiques

Les règles de calcul qui suivent sont destinées à déterminer le niveau de consommation de chacun des usages compte tenu des dispositions mises en oeuvre dans le bâtiment projeté. Ce calcul s'appuie donc sur un certain nombre de valeurs normatives tirées d'observations. Ces valeurs reflètent des comportements moyens et peuvent donc s'écarter des valeurs observées dans certains cas particuliers au regard du comportement effectif des usagers. Cela n'a guère d'importance puisque l'objet de la labélisation n'est pas de caractériser des comportements mais des équipements et leurs performances. Les valeurs de consommation ainsi déterminées seront ensuite confrontées à des valeurs de référence. Ces valeurs de référence ont été déterminées à partir des performances jugées minimum pour chaque type d'usage.

Si, à l'échelle de l'ensemble des usages du projet, la consommation totale calculée est inférieure à la consommation totale de référence, l'opération est labélisable du point de vue de ses performances.

Cette logique a conduit à écarter du calcul des consommations certaines solutions dont on estime qu'elles ne présentent pas un niveau de garantie suffisant pour obtenir le label, ou même qu'elles ne permettent tout simplement pas d'obtenir le label. L'attention du concepteur sera donc attirée chaque fois qu'il se trouvera dans l'impossibilité de calculer ses consommations prévisionnelles faute d'identifier dans la liste des solutions proposées celle qu'il a préconisée dans son projet.

Enfin, nous supposons que la qualité de l'éclairage est conforme aux exigences minimum sur les niveaux d'éclairement dans les parties communes fixés pour l'obtention du label, à savoir (valeurs à préciser et à confirmer) :

- couloirs : 200 lux
- escaliers et dégagements : 150 lux
- halls d'entrée : 300 lux
- parcs de stationnement : 50 lux dans les garages et 70 lux dans les couloirs, escaliers, rampes d'accès des véhicules,
- locaux techniques, chaufferies : 100 lux au sol, 130 lux à proximité des armoires électriques ou tableaux de commande.

1 - 2 Eclairage des couloirs

Le calcul doit être mené sur l'ensemble des dispositifs de gestion d'éclairage du bâtiment étudié (minuteries, interrupteurs, etc.). La consommation totale de l'usage pour le bâtiment sera la somme des consommations obtenues pour chacun des dispositifs de gestion.

La méthode ne s'intéresse qu'aux principaux systèmes de gestion d'éclairage. Les systèmes majoritairement utilisés pour l'éclairage des couloirs sont :

- les interrupteurs,
- les interrupteurs temporisés (baptisés « minuteries » dans ce qui suit),
- les détecteurs de présence temporisés,
- les minuteries ou les détecteurs de présence associés à des horloges (programmation temporaire + commande intermittente).

Solution exclue du label : les interrupteurs non temporisés. Ils ne peuvent pas garantir une durée de fonctionnement de l'éclairage qui soit acceptable.

La consommation annuelle d'électricité d'un ensemble de foyers lumineux commandés simultanément par un même dispositif de contrôle (minuterie, détecteur, etc) s'écrit :

$$E = P_i * (D_1 + D_2 / 60 * N_a * N_h * (0,95)^{n-1} * (0,33 + 0,67 * (1 - f_c))) \quad (1.1)$$

(en kWh/an)

où :

- P_i : puissance d'éclairage installée sous contrôle du dispositif de commande (kW)
- D_1 : durée de fonctionnement annuel programmé (s'il existe) du dispositif étudié (heures)
- D_2 : durée de fonctionnement moyen à chaque allumage du dispositif de commande intermittent (minutes)
- N_a : nombre d'allumages par habitant et par an
- N_h : nombre d'habitants sur l'ensemble des étages commandés par le dispositif étudié
- n : nombre d'étages commandés simultanément par le dispositif étudié
- f_c : facteur d'éclairage naturel

▼ Détermination de P_i

La valeur de P_i est la somme des puissances de tous les foyers lumineux raccordés sur le dispositif de commande étudié. Attention: lorsque l'éclairage est assuré par des tubes fluorescents, il faut prendre en compte la puissance effective du tube compte tenu du ballast utilisé, et celle du ballast lui-même (14 W pour les ballasts ferromagnétiques, et 5 W pour les ballasts électroniques). Un tube « 58 W » consomme 58 W avec un ballast ferromagnétique et 50 W avec un ballast électronique.

▼ Détermination de D_1

La durée de fonctionnement annuel programmée est déterminée à partir de la durée qui sera *a priori* choisie. Si on décide par exemple que l'allumage fonctionne tous les jours en continu de 7 à 9 h puis de 17 à 19 h, la durée de fonctionnement annuel programmée vaudra $(2+2)*365 = 1.460$ h/an.

D_1 vaut évidemment zéro pour tous les systèmes ne possédant pas d'horloge.

v **Détermination de D_2**

La durée de fonctionnement moyen de chaque allumage est propre au dispositif de commande mis en place :

- minuterie : la durée de fonctionnement de la minuterie doit être choisie par le concepteur. C'est elle qui est prise en compte dans le calcul,
- détecteur de présence : la durée à prendre en compte est égale à 0,5 minute augmentée de la durée de la temporisation du détecteur, durée qui doit être fixée et imposée par le concepteur.

v **Détermination de N_a**

Le nombre d'allumages par an et par habitant dépend de la nature du système de commande. Si le système de commande ne comporte pas d'horloge, alors N_a vaut **830**. Si le système de commande possède une horloge permettant la programmation du fonctionnement de l'éclairage, la valeur de N_a se calculera par l'expression :

$$N_a = 830 * (100 - \sum p_i) / 100$$

où $\sum p_i$ est déterminé à partir du tableau de la figure 1.1 en sommant toutes les valeurs de p_i comprises dans les tranches horaires où l'éclairage est programmé :

Heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
p_i (%)	1,3	0,7	0,4	0,3	0,2	0,7	1,9	3,5	5,8	5,6	5,3	6,1	6,6	6,1	5,1	5,4	6,7	7,7	8,3	7,4	5,9	4,0	2,9	2,1

N.B. : l'heure notée 0 correspond au temps écoulé entre 0 h et 1h.

Figure 1.1 : coefficients p_i des couloirs pour chaque heure de la journée

Exemple : soit une horloge imposant un fonctionnement de l'éclairage entre 7 et 9h puis entre 17 et 19 h. Les coefficients p_i pour ces 4 heures valent $3,5 + 5,8 + 7,7 + 8,3 = 25,3$

$$N_a \text{ vaudra donc : } 830 * (1 - 0,253) = 620 \text{ allumages / an/ hab}$$

v **Détermination de N_h**

Il s'agit du nombre de personnes habitant les logements desservis par les couloirs commandés par le système d'éclairage étudié. Ce calcul se fera à partir de l'hypothèse que dans un logement de type Tn habitent n personnes. Il y a 3 personnes dans un T3.

v **Détermination de n**

n est le nombre d'étages commandés simultanément par le système de commande étudié. Ce paramètre est important dans le niveau de consommation finale. Il doit être fixé par le concepteur.

v **Détermination de f_e**

Ce paramètre tient compte du niveau d'importance de l'éclairage naturel. Il permet une correction sur la fréquence des allumages des systèmes commandés exclusivement par minuteries (puisque la commande est alors non automatique et laissée à la liberté de l'utilisateur). Il ne concerne donc pas les systèmes de pilotage par détecteurs de présence.

Les valeurs de f_e seront prises forfaitairement ainsi :

Niveau d'éclairage naturel	f_e
nul	0
faible	0,2
suffisant en milieu de journée	0,5
important	0,8
très important	1,0

Figure 1.2 : couloirs - valeurs forfaitaires de f_e en fonction du type d'éclairage

N.B. : la fonction f_e pourra aussi être déterminée à partir du rapport surface vitrée/surface au sol de la circulation. Mais on ne dispose pas aujourd'hui d'éléments suffisamment nombreux et pertinents pour établir cette corrélation de manière formelle.

1 - 3 Eclairage des escaliers

La méthode de calcul et les principes sont les mêmes que ceux développés au § 1.2.

$$E = P_i * (D_1 + D_2 / 60 * N_a * N_h * (0,95)^{n-1} * (0,33 + 0,67 * (1 - f_e))) \quad (1.1)$$

La détermination des valeurs de P_i , D_1 , D_2 , n et f_e se fait exactement de la même façon qu'au §1.2. Si une cage d'escalier comporte 6 niveaux commandés trois par trois, le calcul devra être effectué sur chacun des ensembles de trois niveaux.

v Détermination de N_a

Le nombre d'allumages par an et par habitant dépend de la nature du système de commande et de la présence ou non d'un ascenseur. Si le système de commande ne comporte pas d'horloge, alors N_a vaut **155** lorsqu'il y a un ascenseur dans la cage, et **830** lorsqu'il n'y en a pas. Si le système de commande possède une horloge permettant la programmation du fonctionnement de l'éclairage, la valeur de N_a se calculera par l'expression :

$$N_a = 155 * (100 - \sum p_i) / 100 \quad \text{pour les escaliers avec ascenseur}$$

$$N_a = 830 * (100 - \sum p_i) / 100 \quad \text{pour les escaliers sans ascenseur}$$

où $\sum p_i$ est déterminé à partir du tableau de la figure 1.3 en sommant toutes les valeurs de p_i comprises dans les tranches horaires où l'éclairage est programmé :

Heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
p_i (%)	1,4	0,9	0,6	0,6	0,5	0,8	2,0	4,4	6,1	5,4	5,0	5,4	6,5	4,6	4,8	4,8	5,8	7,2	8,3	7,4	6,5	4,1	2,8	2,3

N.B. : l'heure notée 0 correspond au temps écoulé entre 0 h et 1h

Figure 1.3 : coefficients p_i des escaliers pour chaque heure de la journée

Exemple : soit une horloge imposant un fonctionnement de l'éclairage entre 7 et 9h puis entre 17 et 19 h dans une cage d'escalier avec ascenseur. Les coefficients p_i pour ces 4 heures valent $4,4 + 6,1 + 7,2 + 8,3 = 26,0$

$$N_a \text{ vaudra donc : } 155 * (1 - 0,260) = 115 \text{ allumages / an/ hab}$$

v *Détermination de N_h*

Il s'agit du nombre de personnes habitant les logements desservis par les escaliers commandés par le système d'éclairage étudié ainsi que par tous les escaliers situés aux étages supérieurs à ceux du système étudié. Ce calcul se fera à partir de l'hypothèse que dans un logement de type Tn habitent n personnes. Il y a 3 personnes dans un T3.

Exemple : soit une cage comprenant 6 niveaux au-dessus du rez-de-chaussée, comprenant deux minuteriers asservissant les étages 1 à 3 d'une part et 4 à 6 d'autre part. Il y a respectivement 10, 12, 11, 13, 14, 10 habitants aux étages 1 à 6. Le nombre d'habitants à prendre en compte pour les deux systèmes de commande d'éclairage sont :

- étages 4 à 6 : $13+14+10 = 37$ habitants
- étages 1 à 3 : $10+12+11+37 = 70$ habitants

1 - 4 Eclairage des halls d'entrée

L'éclairage des halls d'entrée peut se faire de trois façons différentes :

- au moyen d'un foyer lumineux permanent 24h/24,
- au moyen d'une série de foyers lumineux éclairant la zone de circulation intérieure et commandés par une même minuterie (les interrupteurs sont exclus des dispositifs labélisables),
- au moyen de foyers lumineux éclairant une zone d'accès au hall (comme la zone des digicodes) et commandés par une même minuterie.

Chacun de ces modes d'éclairage fait l'objet d'un calcul séparé de la consommation.

La consommation annuelle de l'éclairage du hall vaut :

$$E = E1 + E2 + E3$$

où :

- E1 : consommation du ou des foyers permanents
- E2 : consommation des foyers à éclairage intermittent sur zones de passage intérieures
- E3 : consommation des foyers à éclairage intermittent sur zones d'accès.

1-4-1 Eclairage des foyers permanents

La consommation annuelle s'écrit simplement :

$$E1 = P_{i,1} * 8760 \quad (\text{kWh})$$

où :

- $P_{i,1}$ = puissance installée des foyers lumineux permanents (kW)

1-4-2 Eclairage des foyers intermittents sur zones de circulation intérieures

La consommation annuelle s'écrit simplement :

$$E2 = P_{i,2} * (D_2 / 60 * N_{a,2} * N_h * (0,33 + 0,67 * (1 - f_{e,2}))) \quad (\text{kWh})$$

où :

- $P_{i,2}$ = puissance installée des foyers lumineux intermittents sur circulations intérieures (kW)
- D_2 = durée d'allumage du système de commande (minutes) - Voir calcul de D_2 au §1.2
- $N_{a,2}$ = nombre annuel d'allumages par habitant. $N_{a,2}$ vaut **250** allumages/hab/an
- N_h = nombre d'habitants total de la cage d'escalier (voir mode de calcul au § 1.2),
- $f_{e,2}$ = facteur d'éclairage naturel (à calculer à partir du tableau de la figure 1.2)

1-4-3 Eclairage des foyers intermittents sur zones d'accès

La consommation annuelle se calcule de la même façon que pour l'éclairage des zones de circulation :

$$E_3 = P_{i,3} * (D_{h,3} / 60 * N_{a,3} * N_h * (0,33 + 0,67 * (1 - f_{e,3})))$$

(kWh)

où :

- $P_{i,3}$ = puissance installée des foyers lumineux intermittents sur zones d'accès (kW)
- $D_{h,3}$ = durée d'allumage du système de commande (minutes) - Voir calcul de D_2 au §1.2
- $N_{a,3}$ = nombre annuel d'allumages par habitant. $N_{a,3}$ vaut **150** allumages/hab/an (valeur à confirmer)
- N_h = nombre d'habitants total de la cage d'escalier (voir mode de calcul au § 1.2),
- $f_{e,3}$ = facteur d'éclairage naturel (à calculer à partir du tableau de la figure 1.2)

1 - 5 Eclairage des accès intérieurs aux parcs de stationnement et aux caves

L'éclairage des accès intérieurs aux parcs de stationnement concerne les escaliers distribuant les étages inférieurs au rez-de-chaussée, et les sas d'accès aux parcs de stationnement.

La commande de l'éclairage acceptée au titre du label exclut les dispositifs de commande par interrupteurs non temporisés. Les systèmes retenus pour le calcul sont donc *a priori* au nombre de trois :

- les minuteriers,
- les détecteurs de présence,
- les horloges de programmation associées à des minuteriers ou à des détecteurs de présence,

La consommation annuelle de l'usage vaut :

$$E = P_i * (D_1 + D_2 / 60 * N_a * N_h * (0,33 + 0,67 * (1 - f_e)))$$

(en kWh/an)

où :

- P_i : puissance d'éclairage installée sous contrôle du dispositif de commande (kW)
- D_1 : durée de fonctionnement annuel programmé (s'il existe) du dispositif étudié (heures) - Voir calcul de D_1 au § 1.2.
- D_2 : durée de fonctionnement moyen à chaque allumage du dispositif de commande intermittent (minutes) - Voir calcul de D_2 au § 1.2.
- N_a : nombre d'allumages par habitant et par an,
- N_h : nombre d'habitants sur l'ensemble de la cage d'escalier concernée par le dispositif étudié. Voir mode de calcul au § 1.2,
- f_e : facteur d'éclairage naturel (à calculer à partir du tableau de la figure 1.2).

v Détermination de N_a

Le nombre d'allumages par an et par habitant dépend de la nature du système de commande. Si le système de commande ne comporte pas d'horloge, alors N_a vaut **190**. Si le système de commande possède une horloge permettant la programmation du fonctionnement de l'éclairage, la valeur de N_a se calculera par l'expression :

$$N_a = 190 * (100 - \sum p_i) / 100$$

où $\sum p_i$ est déterminé à partir du tableau de la figure 1.4 en sommant toutes les valeurs de p_i comprises dans les tranches horaires où l'éclairage est programmé :

Heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
p_i (%)	1,1	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	2,3	5,3	9,1	8,5	5,4	5,9	7,5	4,5	5,0	5,1	6,1	7,4	7,5	5,3	3,9	2,2	1,8	1,6

N.B. : l'heure notée 0 correspond au temps écoulé entre 0 h et 1h

Figure 1.4 : coefficients p_i des accès aux parcs de stationnement pour chaque heure de la journée

Exemple : soit une horloge imposant un fonctionnement de l'éclairage entre 7 et 9h puis entre 17 et 19 h. Les coefficients p_i pour ces 4 heures valent $5,3 + 9,1 + 7,4 + 7,5 = 29,3$
 N_a vaudra donc : $190 * (1 - 0,293) = 134$ allumages / an/ hab

1 - 6 Eclairage des locaux poubelles et des locaux vide-ordures

L'éclairage des locaux poubelles et des locaux vide-ordures devrait en principe représenter une consommation annuelle d'énergie très faible. C'est le cas, sauf si le dispositif de commande est assuré par des interrupteurs non temporisés.

L'obtention du label repose donc sur les principes suivants :

- la commande d'éclairage des locaux poubelles et des locaux vide-ordures doit obligatoirement être assurée soit par un interrupteur temporisé (minuterie rotative ou autre), soit par un détecteur de présence,
- si la condition qui précède est satisfaite, aucun calcul de consommation n'est demandé.

CHAPITRE 2 : L'ECLAIRAGE EXTERIEUR

La consommation du poste éclairage extérieur dépend de quatre éléments principaux :

- 1 - la taille des espaces extérieurs à éclairer,
- 2 - le niveau d'éclairage mis en oeuvre,
- 3 - la nature et la qualité des foyers lumineux caractérisée par leur puissance lumineuse par Watt,
- 4 - la nature du système de commande.

La *taille des espaces extérieurs* à éclairer est très variable d'une opération à l'autre. Il ne paraît pas de la compétence du label d'intervenir sur le bien fondé du dimensionnement de cet espace. Il faut considérer que ce choix est strictement celui du maître d'ouvrage et qu'il est dicté par des contingences qu'il est seul à connaître.

Le *niveau d'éclairage* mis en oeuvre sera quant à lui fixé à une valeur maximale qu'il conviendra de ne pas dépasser pour obtenir le label. Ce niveau maximal en éclairage extérieur est fixé à **20 lux** (valeur à confirmer).

La technologie des *foyers lumineux* compatibles avec l'obtention du label n'est pas imposée. Mais elle sera d'un type permettant d'obtenir au minimum 50 lumens/W.

Le *système de commande* acceptable pour l'obtention du label dépendra du mode d'utilisation de l'éclairage extérieur :

- si l'éclairage est mis en route du soir au matin sans aucune interruption, le seul système de commande accepté est le détecteur crépusculaire,
- si l'éclairage est mis en route le soir pendant une durée supérieure à 2 h puis arrêté durant la nuit et remis en route le matin pour une durée supérieure à 2 h, le système de pilotage sera obligatoirement assuré par un détecteur crépusculaire associé à une horloge de programmation avec réserve de marche,
- si l'éclairage est mis en route soir et matin pour une durée inférieure à 2 h dans chaque cas, le système de commande pourra être assuré par une horloge de programmation avec réserve de marche.

Tout autre système de commande de l'éclairage extérieur est exclu du processus de labélisation.

Si l'ensemble des conditions qui précèdent est satisfait, l'usage sera labélisable. Aucun calcul ne sera nécessaire.

CHAPITRE 3 : L'ECLAIRAGE DES PARCS DE STATIONNEMENT

L'éclairage des parcs de stationnement peut comporter deux composantes :

- un éclairage en tout ou partie permanent 24 h/24,
- un éclairage commandé par un système de gestion qui peut être, en théorie :
 - des interrupteurs,
 - des minuteries,
 - des détecteurs de présence.

Le système par interrupteurs est exclu du champs du label. Seuls les systèmes commandés par minuteries, détecteurs ou tout autre dispositif équivalent sont acceptés.

La consommation annuelle de l'éclairage des parcs de stationnement s'écrit :

$$E = E_1 + E_2$$

où :

- E_1 : consommation des foyers d'éclairage permanent
- E_2 : consommation des foyers d'éclairage intermittent

3-1 Consommation annuelle des foyers d'éclairage permanent

Elle s'écrit :

$$E_1 = P_{i1} * 8760 * k \quad (\text{kWh})$$

où P_{i1} est la puissance totale installée des foyers d'éclairage permanent (en kW) et k coefficient d'occupation du parc par les usagers de l'immeuble.

v Détermination de P_{i1}

Les luminaires utilisés dans les parcs de stationnement sont pratiquement toujours des tubes fluorescents. La consommation électrique d'un tube fluorescent est la somme des consommations du tube lui-même et du ballast associé. Mais la consommation du tube est elle-même fonction du type de ballast ou du type de pilotage du tube utilisé.

Ainsi, un tube fluo de 58 W associé à :

- un ballast ferromagnétique classique consommera 58 W et le ballast 14 W, conduisant à une consommation totale de 72 W,
- un ballast électronique consommera 50 W et le ballast 5 W, conduisant à une consommation totale de 55 W.

v *Détermination de k*

De plus en plus de parcs de stationnement sont dotés d'un nombre de places supérieur à celui strictement nécessaire aux usagers de l'immeuble. Les autres places sont louées à l'extérieur. Afin d'intégrer correctement le poids du parc de stationnement dans les charges supportées par les usagers de l'immeuble, le coefficient k permet une pondération simple au prorata du nombre de place effectivement occupées par les usagers de l'immeuble :

$$k = N_{p0} / N_p$$

où :

- N_{p0} : nombre de places de parcs occupées par les habitants de l'immeuble
- N_p : nombre total de places de parc réservées aux habitants de l'immeuble

3-2 Consommation annuelle des foyers d'éclairage intermittent

Elle s'écrit :

$$E_2 = \sum_j [P_{i2}(i,j) * D_2(i,j) / 60 * N_a(i,j) * k * (0,33 + 0,67 * (1 - f_c))] \text{ (kWh)}$$

Le calcul de E_2 s'effectue en sommant la consommation unitaire (définie entre crochets) de chacune des zones d'éclairage j de chaque niveau de parc i. Dans cette expression :

- $P_{i2}(i,j)$: puissance d'éclairage intermittent installée dans la zone j au niveau i (en kW),
- $D_2(i,j)$: durée d'allumage du dispositif de commande de la zone j au niveau i (en minutes),
- $N_a(i,j)$: nombre d'allumages annuels dans la zone j au niveau i,
- k : coefficient d'occupation du parc par les usagers de l'immeuble
- f_c : coefficient d'éclairage naturel

v *Détermination de $P_{i2}(i,j)$*

La puissance d'éclairage intermittent installée se calcule pour chaque zone (j) de chaque niveau (i). Les précautions pour ce calcul sont les mêmes que celles indiquées dans la remarque du paragraphe précédent. L'ensemble s'exprime en kW.

v *Détermination de $D_2(i,j)$*

La durée de fonctionnement moyen à chaque allumage se détermine pour chaque zone (j) de chaque niveau (i). Si toutes les zones ont la même dimension, toutes les durées seront les mêmes. Cette durée est propre au dispositif de commande mis en place :

- minuterie : la durée de fonctionnement de la minuterie doit être choisie par le concepteur. C'est elle qui est prise en compte dans le calcul,
- détecteur de présence : la durée à prendre en compte est égale à **2 minutes** (valeur à confirmer) augmentée de la durée de la temporisation du détecteur, durée qui doit être fixée et imposée par le concepteur (il s'agit de la durée de fonctionnement complémentaire imposée par le détecteur à la fin de toute sollicitation extérieure).

v *Détermination de $N_a(i,j)$*

$N_a(i,j)$ se calcule différemment selon que le système de commande repose sur une minuterie ou sur des détecteurs de présence :

- commande par minuterie

Dans ce cas le parking ne possède en principe qu'une seule zone d'éclairage. L'éclairage se met en marche dans tout le parc, soit au moment de l'ouverture de la porte extérieure, soit au moment où une personne pénètre dans le parc depuis l'immeuble. La valeur de $N_a(i,j)$ se résume à une valeur unique :

$$N_a = N_e * N_p$$

où :

- N_e : nombre d'allumages annuel par place de parc. On prendra $N_e = 150$ (ce paramètre semble très variable d'un site à l'autre et devra être précisé).
- N_p : nombre total de places de stationnement dans le parc.

- commande par détecteur de présence

Cette configuration impose généralement un zonage permettant de tirer un meilleur parti de cette technique. Chaque niveau (i) est divisé en plusieurs zones (j).

On peut alors rencontrer deux possibilités principales :

- l'accès de chaque zone depuis la rampe peut se faire sans traverser les autres zones,
- les zones s'enchaînent depuis la rampe et il faut toujours traverser les premières pour accéder aux suivantes.

* zones indépendantes

Le calcul du nombre d'allumages est alors très simple et identique au cas décrit pour la minuterie ci-dessus. Mais au lieu d'utiliser N_p qui est le nombre total de places du parc, il faut utiliser le nombre de places de chaque zone :

$$N_a(i,j) = N_e * N_p(i,j) \quad \text{avec } N_e = 150 \text{ (à confirmer)}$$

* zones dépendantes

L'allumage se met en marche pour la première zone dès qu'un véhicule pénètre au niveau i. Au fur et à mesure qu'il se déplace, les autres zones s'allumeront ou non en fonction de la place du véhicule dans le parc. Le nombre d'allumages annuel de la zone j située au niveau i s'écrira :

$$N_a(i,j) = N_e * \sum_{k=j}^{z(i)} p(i,k)$$

où :

- N_e : nombre d'allumages annuel par place de parc. On prendra $N_e = 150$ (à confirmer).
- $p(i,k)$: nombre de places de la zone k située au niveau i.

Exemple de calcul : soit un parc dont l'éclairage est commandé par des détecteurs de présence. Il comprend deux niveaux subdivisés chacun en 3 zones. Le nombre de places par niveau est par zone est le suivant :

Niveau	Zone 1	Zone 2	Zone 3
1	12	15	18
2	10	16	18

Le nombre total de places est donc de 89. Le nombre d'allumages annuel de chaque zone sera le suivant :

- niveau 1 zone 1 (la plus près de la porte) :
 $N_a(2,1) = 150 * (12 + 15 + 18) = 6.750$
- niveau 1 zone 2
 $N_a(2,2) = 150 * (15 + 18) = 4.950$
- niveau 1 zone 3
 $N_a(2,3) = 150 * 18 = 2.700$
- niveau 2 zone 1 (la plus près de la porte) :
 $N_a(2,1) = 150 * (10 + 16 + 18) = 6.600$
- niveau 2 zone 2
 $N_a(2,2) = 150 * (16 + 18) = 5.100$
- niveau 2 zone 3
 $N_a(2,3) = 150 * 18 = 2.700$

v **Détermination de k**

Voir § précédent.

v **Détermination de f_e**

Le coefficient d'éclairage naturel n'affecte que les éclairages intermittents commandés par des systèmes de détection non automatiques. Sont donc exclus les détecteurs de présence et les minuteries commandées automatiquement par l'ouverture des portes par exemple. Pour les autres systèmes de commande, f_e pourra être calculé comme décrit au § 1.2.

3-3 Exemple général de calcul

Soit un parc de stationnement couvert tel que celui décrit au § précédent (voir « Détermination de $N_a(i,j)$ »), comprenant au total 89 places dont 75 occupées par les habitants de l'immeuble ($k = 0,84$). Les zones sont dépendantes et l'accès à la zone 3 d'un niveau suppose d'avoir franchi les zones 1 et 2.

Les dispositifs d'éclairage mis en place sont, par niveau et par zone, les suivants :

Niveau	Zone 1	Zone 2	Zone 3
1	4 tubes 58 W	4 tubes 58 W	5 tubes 58 W
2	3 tubes 58 W	5 tubes 58 W	5 tubes 58 W

Chaque tube est associé à un ballast ferromagnétique dont la consommation est de 14 W.

Les détecteurs de présence ont une temporisation de 15 secondes.
 Il n'y a aucun éclairage naturel.

Le calcul se mène par zone (on reprendra les résultats partiels déterminés dans l'exemple du paragraphe précédent).

La durée d'allumage des détecteurs est de 2 minutes auxquelles s'ajoute la temporisation de 15 secondes (soit 0,25 minute). Les résultats sont les suivants :

Niveau	Zone	Eclairage permanent		Eclairage intermittent			Conso annuelle (kWh)	Conso annuelle totale (kWh)
		Puissance installée (kW)	Conso annuelle (kWh)	Puissance installée (kW)	Durée d'allumage (minutes)	Nombre annuel d'allumages		
1	1	0,072	532	0,216	2,25	6.750	46	578
	2	0,072	532	0,216	2,25	4.950	34	566
	3	0,072	532	0,288	2,25	2.700	24	556
2	1	0,072	532	0,144	2,25	6.600	30	562
	2	0,072	532	0,288	2,25	5.100	46	578
	3	0,072	532	0,288	2,25	2.700	24	556
Total général								3.396

Figure 3.1 : exemple de calcul de la consommation d'éclairage d'un parc de stationnement

La consommation d'éclairage correspondant aux 75 places utilisées par les usagers de l'immeuble (sur les 89 du parc) est de 3.396 kWh/an, soit 45 kWh /place/an.

CHAPITRE 4 : LES ASCENSEURS

Remarque préliminaire : il existe deux grandes technologies d'ascenseurs du point de vue des caractéristiques de consommation électrique :

- les ascenseurs à contrepoids,
- les autres ascenseurs, qu'ils soient hydrauliques, à vis, ou autre.

La consommation des ascenseurs de la seconde catégorie est 2,5 à 3 fois supérieure à celle de la première. Hormis pour les usages très particuliers à R+1 maximum où l'ascenseur à contrepoids n'est pas envisageable, **l'obtention du label rend obligatoire la technique du contrepoids**. La méthode de calcul qui suit s'applique donc exclusivement aux ascenseurs à contrepoids.

La consommation annuelle d'un ascenseur comprend trois composantes et s'écrit :

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

où :

- E_1 : consommation de l'éclairage en cabine
- E_2 : consommation de l'armoire de contrôle commande
- E_3 : consommation du moteur

4-1 Consommation annuelle de l'éclairage en cabine

La consommation de l'éclairage de la cabine vaut :

$$E_1 = D_f * P_{ec} \quad (\text{kWh/an}) \quad (4.1)$$

où :

- D_f : durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage en cabine (heures),
- P_{ec} : puissance totale de l'éclairage en cabine, en incluant la puissance des ballasts en cas d'éclairage fluorescent (en kW).

v *Détermination de D_f*

Deux cas sont possibles selon que l'éclairage de la cabine est permanent ou asservi à la présence de passagers en cabine.

* éclairage en cabine permanent

D_f vaut alors 8760 h/an

* éclairage asservi à la présence de passagers en cabine

Le temps annuel de fonctionnement de l'éclairage se détermine à partir des caractéristiques de trafic du bâtiment et des caractéristiques de l'ascenseur.

Lors d'un trajet, le temps d'allumage de la cabine se décompose en trois :

- arrêt de la cabine avec montée ou descente des passagers (d_{f1}),
- phases d'accélération et de décélération de la cabine (ces deux phases sont supposées identiques en durée) (d_{f2}),
- régime de croisière de la cabine - fonctionnement à vitesse constante (d_{f3}).

$$d_f = d_{f1} + d_{f2} + d_{f3}$$

- d_{f1} : est fixé par le concepteur. La durée d'allumage pour la montée et la descente des passagers est en moyenne de 5 à 7 secondes (à compter deux fois),
- d_{f2} : se calcule à partir de la vitesse de croisière et de l'accélération de la cabine (qui sont connues par conception). La valeur est à compter deux fois, une à l'accélération, l'autre à la décélération :

$$d_{f2} = 2 * V/\gamma \quad (s)$$

où :

- V : vitesse nominale de la cabine (m/s)
- γ : accélération de la cabine (m/s^2)

- d_{f3} : se calcule à partir de la longueur L parcourue à vitesse constante qui se détermine au moyen de la course à effectuer diminuée des distances d'accélération et de décélération :

$$d_{f3} = (L - V^2 / \gamma) / V \quad (s)$$

Les termes d_{f1} et d_{f2} sont constants pour chaque course. Seul d_{f3} varie en fonction de la longueur de la course.

Ce qui précède ne concerne que les durées propres à un trajet. Il faut maintenant intégrer les caractéristiques annuelles de trafic pour calculer la durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage en cabine. La caractérisation du trafic annuel se fait à partir des paramètres suivants :

* N_h : nombre d'habitants dans l'immeuble pour les étages au-dessus du rez-de-chaussée,

* N_{ca} : nombre de trajets en ascenseur effectués annuellement par habitant. N_{ca} vaut **675**,

* N_{eh} : nombre d'étages.habitants de l'immeuble.

La définition générale du nombre d'étages.habitants est la suivante : c'est la somme, pour tous les occupants d'une cage, du nombre de niveaux séparant leur logement et leur point habituel de sortie (le hall ou le parc de stationnement). On effectue ce calcul en faisant l'hypothèse qu'il habite n personnes dans un logement de type T_n .

Dans le cas particulier, et très fréquent, où la cage ne donne pas directement accès à un parc de stationnement sous-terrain, et où tous les usagers sortent au niveau du rez-de-chaussée, la formulation du nombre d'étages.habitants d'un immeuble peut se simplifier : c'est la somme sur tous les niveaux habités des produits du rang de chaque étage par le nombre d'habitants qui résident à cet étage. Dix personnes vivant au 5^{ème} niveau compteront pour $10 \times 5 = 50$ étages.habitants. La relation donnant N_{eh} s'écrit donc :

$$N_{eh} = \sum_{i=1 \text{ à } n} (N_{hi} * i)$$

Cas particulier où la seule sortie est au rez-de-chaussée

où :

- N_{eh} = nombre d'étages.habitants de l'immeuble
- n = nombre total de niveaux habités de l'immeuble au-dessus du rez-de-chaussée ($n=6$ pour un bâtiment R+6)
- N_{hi} = nombre d'habitants de l'étage n° i

Le nombre d'étages.habitants donne l'image du trafic à assurer par l'ascenseur. Le rapport N_{eh}/N_h représente le nombre d'étages moyens d'une course pour l'immeuble étudié. Le nombre total de trajets effectués annuellement vaut $N_{ca} * N_h$. La distance totale parcourue annuellement par l'ascenseur vaut $N_{eh} * N_{ca} * h_{et}$ (où h_{et} est la hauteur d'étage de l'immeuble, en mètres).

De tous ces éléments on peut déduire simplement les valeurs des trois composantes de la durée **annuelle** de fonctionnement de l'éclairage en cabine :

$$D_{f1} + D_{f2} = N_{ca} * N_h * (d_{f1} + 2 * V / \gamma) / 3600 \quad (h)$$

$$D_{f3} = N_{ca} * N_h * (N_{eh} / N_h * h_{et} - V^2 / \gamma) / V / 3600 \quad (h)$$

Si on tient compte enfin de la nature de la manoeuvre, **la durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage en cabine** s'écrit donc finalement :

$$D_f = N_{ca} * N_h / 3600 * (d_{f1} + 2 * V / \gamma + (N_{eh} / N_h * h_{et} - V^2 / \gamma) / V) * k^n \quad (h) \quad (4.2)$$

où :

- N_{ca} : nombre de trajets en ascenseur par habitant et par an. N_{ca} vaut 675,
- N_h : nombre d'habitants de l'immeuble au-dessus du rez-de-chaussée
- d_{f1} : durée d'allumage lors de la montée et de la descente des passagers. d_{f1} vaut $2 * 5$ ou $2 * 7$ secondes (soit 10 à 14 secondes),
- V : vitesse de l'ascenseur (en m/s)
- γ : accélération de l'ascenseur (en m/s^2)
- N_{eh} : nombre d'étages.habitants de l'immeuble (voir définition ci-dessus)
- h_{et} : hauteur d'étage de l'immeuble (en m)
- k : coefficient tenant compte de la nature de la manoeuvre :
 - pas de manoeuvre collective : $k = 1,0$
 - manoeuvre collective descente : $k = 0,995$
- n : nombre d'étages au-dessus du rez-de-chaussée.

Exemple numérique :

Le nombre d'habitants au-dessus du rez-de-chaussée est de 76, le nombre d'étages.habitants de 265 (il ne dessert pas de parc de stationnement). La hauteur d'étage de l'immeuble est de 2,7 m. La vitesse de la cabine est de 1 m/s, son accélération de 0,4 m/s². La durée d'allumage à la montée et à la descente est de 7 s (donc d_{f1} = 14 s). L'ascenseur comporte une manoeuvre collective descente.

La durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage en cabine vaut :

$$D_f = 675 \cdot 76 / 3600 \cdot (14 + 2 \cdot 1 / 0,4 + (265 / 76 \cdot 2,7 - 1^2 / 0,4) / 1) \cdot 0,995^6 = 358 \text{ heures}$$

4-2 Consommation annuelle de l'armoire de contrôle commande

La consommation de l'armoire électrique est une donnée propre à chaque installation. L'attention des constructeurs et des maîtres d'oeuvre est attirée sur ce point afin qu'ils cherchent à en optimiser la conception et le fonctionnement.

L'énergie consommée annuellement par l'armoire s'écrit :

$E_2 = P_{ar} \cdot 8760$	(kWh)
---------------------------	-------

(4.3)

où :

- P_{ar} : puissance continue consommée par l'armoire (kW)

Nota : les campagnes de mesures effectuées ont fait apparaître une puissance moyenne de 0,125 kW sur ces armoires. Mais cette valeur devrait pouvoir baisser par une bonne optimisation et une meilleure qualité des composants.

4-3 Consommation annuelle du moteur d'ascenseur

La consommation du moteur ne sert qu'à mouvoir la cabine, son contrepoids et sa charge. On peut donc distinguer trois parties distinctes dans la consommation d'un trajet d'ascenseur :

- l'énergie consommée au démarrage,
- l'énergie consommée en régime de croisière (vitesse constante de la cabine),
- l'énergie consommée au freinage.

Il est nécessaire de distinguer ces trois phases pour deux raisons majeures : les besoins et le rendement du moteur électrique diffèrent beaucoup d'une phase à l'autre. On peut donc écrire :

$$E_3 = E_d + E_{mn} + E_a$$

où :

- E_d : énergie absorbée au moment du démarrage
- E_{mn} : énergie absorbée à vitesse de cabine constante
- E_a : énergie absorbée en phase d'arrêt.

Hypothèse : la consommation d'un trajet d'ascenseur comprend toujours un aller et un retour, l'un des deux trajets s'effectuant le plus souvent à vide. Or les mesures montrent que la seule consommation d'énergie active s'effectue à la descente, et qu'à la montée cette consommation est quasiment nulle (elle devrait même être négative dans l'absolu). Par ailleurs, la consommation maximale est celle d'une cabine vide à la descente, ou d'une cabine à charge maximale à la montée.

Toutes les relations qui suivent ont été établies en supposant que la consommation d'un trajet se résumait à celui de la descente, et que ce trajet était effectué avec une seule personne dans la cabine. Ces hypothèses sont extrêmement réalistes et conduisent à une erreur négligeable.

4-3-1 Calcul de l'énergie absorbée en phase de démarrage

La phase dite de démarrage dure jusqu'à ce que la cabine ait atteint sa vitesse nominale. Durant cette phase l'énergie nécessaire a 2 origines :

- l'énergie cinétique (E_c) de la cabine, de sa charge, du câble, du contrepoids et du moteur qui passent de l'arrêt au régime nominal,
- l'énergie potentielle de position (E_p) pour la cabine, le contrepoids et la charge qui se déplacent verticalement.

L'énergie absorbée au démarrage s'écrit :

$$E_d = (E_c + E_p) / \eta_d$$

où η_d est le rendement global moyen du moteur, de la transmission, des glissières, etc. pendant la phase de démarrage.

v Détermination de l'énergie cinétique

N.B. : dans ce qui suit le moment d'inertie du moteur a été négligé. Ce point devra être précisé ultérieurement.

$$E_c = M * V^2 / 2 \quad (J)$$

$$\text{avec } M = M_c + M_a / 4 + M_p / 2$$

où :

- M_c = masse de la cabine et du câble (kg)
- M_a = charge maximale admissible (kg)
- M_p = masse des personnes transportées. On prendra ici 0 kg (cabine vide),
- V = vitesse nominale de déplacement de la cabine (m/s)

v Détermination de l'énergie potentielle de position (déplacement vertical)

$$E_p = M' * g * h \quad (J)$$

où :

$$- M' = M_a / 2 - M_p \quad \text{mais ici } M_p = 0, \text{ d'où :}$$

$$M' = M_a / 2 \quad (kg)$$

$$- g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- h = distance verticale parcourue (m)

La distance verticale parcourue par la cabine avant d'atteindre sa vitesse nominale vaut simplement :

$$h = V^2 / 2 / \gamma \quad (m)$$

v Détermination du rendement moyen de démarrage

Le rendement de la machinerie s'écrit :

$$\eta_d = \eta_m * \eta_t * \eta_{gd}$$

où :

- η_m : rendement du moteur
- η_t : rendement de la transmission et du réducteur
- η_{gd} : rendement du système de guidage dans la gaine

Le rendement du moteur dépend de la technologie utilisée. Les moteurs asynchrones à vitesse constante qui sont utilisés dans les ascenseurs aujourd'hui, ont un très mauvais rendement au démarrage. En revanche, les moteurs à vitesse variable ont un rendement très supérieur. On pourra prendre les valeurs suivantes :

Technologie	Rendement en phase de démarrage (%)
Moteurs asynchrones	15
Moteurs à vitesse variable	65

Le rendement des transmissions par réducteur est de l'ordre de 0,5 à 0,6. Les meilleurs réducteurs ont aujourd'hui un rendement de 0,69. La transmission directe type Gearless a un rendement proche de 1.

Le rendement des systèmes de guidage est de l'ordre de 0,97 - 0,98.

4-3-2 Calcul de l'énergie absorbée en phase de décélération

En phase d'arrêt, on a considéré que seule l'énergie potentielle de position était à fournir par le moteur puisque le terme cinétique s'annulait. Le calcul sera exactement le même qu'au § précédent, l'accélération, et donc aussi la valeur de h , étant les mêmes. On supposera également que le rendement global de l'ensemble de traction est le même qu'en phase de démarrage.

En utilisant les mêmes notations que précédemment on aura donc :

$$E_a = E_p / \eta_d$$

4-3-3 Calcul de l'énergie absorbée en phase de croisière de la cabine

Lorsque la cabine a atteint sa vitesse nominale, la seule énergie à lui fournir alors est l'énergie potentielle de position. Elle se calcule comme au § 4.3.1. Mais la longueur du

déplacement concerné est égale à la longueur totale du déplacement diminuée des longueurs ayant servi à l'accélération et à la décélération. L'énergie absorbée vaudra :

$$E_{mn} = (M' * g * (Lc - V^2 / \gamma)) / \eta_{mn} \quad (J)$$

où :

- Lc : longueur totale du trajet effectué par la cabine (m)
- η_{mn} : rendement global de la moto-transmission en régime nominal.

Les composantes du rendement global sont les mêmes que précédemment. Les valeurs des rendements de transmission et de guidage sont en principe inchangées. Pour le rendement du moteur, on pourra prendre les valeurs suivantes :

Technologie	Rendement en régime nominal (%)
Moteurs asynchrones	65-70
Moteurs à vitesse variable	80-85

4-3-4 Formulation générale de la consommation annuelle des moteurs d'ascenseurs

Les développements précédents concernaient l'analyse des consommations d'un moteur d'ascenseur au cours d'un trajet. Ce qui suit intègre ces développements dans l'ensemble des trafics observés au cours d'une année. On a considéré que chaque voyage d'ascenseur comporte, quelle que soit la longueur de ce voyage, une consommation de démarrage et une consommation d'arrêt qui sont fixes. Seule la partie du déplacement à vitesse nominale varie d'un voyage à l'autre. Il suffit donc de connaître :

- le nombre de trajets effectués annuellement par l'ascenseur,
- la longueur total des trajets effectués

Ceci se détermine facilement à partir du nombre d'habitants (N_h), du nombre de trajets effectués par habitant et par an (N_{ca}), et du nombre d'étages.habitants dans l'immeuble (N_{eh}).

L'énergie annuellement absorbée par le moteur d'un ascenseur s'écrit finalement :

$$E_3 = N_{ca} \cdot [N_h \cdot V^2 (M/2 + M' \cdot g/\gamma) / \eta_d + M' \cdot g \cdot k^n / \eta_{mn} \cdot (N_{eh} \cdot h_{et} - N_h \cdot V^2 / \gamma)] / (3,6 \cdot 10^6) \quad (4.4)$$

en kWh/an

Avec :

- N_{ca} : nombre de trajets en ascenseur par habitant et par an. N_{ca} vaut **675**,
- N_h : nombre d'habitants de l'immeuble au-dessus du rez-de-chaussée
- V : vitesse de l'ascenseur (en m/s)
- γ : accélération de l'ascenseur (en m/s^2)
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- N_{eh} : nombre d'étages.habitants de l'immeuble (voir définition ci-dessus)
- h_{et} : hauteur d'étage de l'immeuble (en m)
- k : coefficient tenant compte de la nature de la manoeuvre :
 - pas de manoeuvre collective : $k = 1,0$
 - manoeuvre collective descente : $k = 0,995$
- n : nombre d'étages au-dessus du rez-de-chaussée,
- $M = M_c + M_a / 4$ avec :

- M_c = masse de la cabine et du câble (kg)
- M_a = charge maximale admissible (kg)
- $M' = M_a / 2$
- η_d : rendement global au démarrage de la moto-transmission
- η_{mn} : rendement global en régime nominal de la moto-transmission

4-3-5 Exemple général de calcul

Reprenons le cas de l'ascenseur décrit au § 4.1.

Soit un immeuble R+6 équipé d'une cabine dont la masse (avec le câble) est de 650 kg, et dont la charge maximale est de 630 kg. Le nombre d'habitants au-dessus du rez-de-chaussée est de 76, le nombre d'étages.habitants de 265. La hauteur d'étage de l'immeuble est de 2,7 m. L'immeuble ne comporte pas de parc de stationnement. La vitesse de la cabine est de 1 m/s, son accélération de 0,4 m/s². L'ascenseur comporte une manoeuvre collective descente. La cabine est éclairée par deux lampes de 60 W commandées par un détecteur de présence. La puissance de l'armoire de contrôle est de 85 W.

On utilise un moteur asynchrone classique (rendement au démarrage : 16 % ; rendement en régime nominal : 65 %) et un réducteur traditionnel (rendement 60 %). Les pertes de guidage sont de 2 %.

v calcul de E1

La durée de fonctionnement des lampes dans l'ascenseur a été calculée dans l'exemple du § 4.1. On avait trouvé $D_f = 358$ h. On a donc :

$$E1 = 2 \cdot 0,060 \cdot 345 = 43 \text{ kWh /an}$$

v calcul de E2

$$E2 = 0,085 \cdot 8760 = 745 \text{ kWh/an}$$

v calcul de E3

Les valeurs de M et M' sont :

- $M = 650 + 630/4 = 807,5$ kg
- $M' = 630/2 = 315$ kg

$$E_3 = 675 \cdot [76 \cdot 1^2 \cdot (807,5 / 2 + 315 \cdot 9,81 / 0,4) / (0,16 \cdot 0,6 \cdot 0,98) + 315 \cdot 9,81 \cdot 0,995^6 / (0,65 \cdot 0,6 \cdot 0,98) \cdot (265 \cdot 2,7 - 76 \cdot 1^2 / 0,4)] / (3,6 \cdot 10^6)$$

$$E_3 = 2.004 \text{ kWh/an}$$

La consommation annuelle totale de l'ascenseur est donc de 2.792 kWh/an.

Si on remplaçait cette machinerie par un système à transmission sans engrenage (rendement de transmission : 0,95) et un moteur à vitesse variable, on aurait une consommation de 565 kWh/an, soit une économie de plus de 70 % sur la motorisation, et d'environ 50 % sur la consommation totale de l'ascenseur.

CHAPITRE 5 : LA VENTILATION

Remarque préliminaire : la ventilation des immeubles d'habitation peut, d'un point de vue réglementaire, être naturelle ou mécanique.

La consommation électrique pour la ventilation naturelle est nulle. Le présent chapitre ne traite donc que de la ventilation mécanique.

5 - 1 Principes de la méthode de calcul

La ventilation mécanique des immeubles d'habitation doit, d'après la réglementation, être permanente. Mais le débit de ventilation peut varier au cours du temps.

Dans les systèmes simple et double flux non hygroréglables, la variation de débit est laissée à la liberté des usagers qui disposent pour cela de bouches à deux débits pouvant dans certains cas être même temporisées.

Dans le cas des systèmes hygroréglables, la variation de débit est contrôlée par les bouches hygroréglables elles-mêmes, en fonction du niveau d'hygrométrie, donc de l'occupation, dans le logement.

5-1-1 Conditions de calcul

Afin d'unifier les modes de calcul, la consommation des moto-ventilateurs sera déterminée pour les séquences de fonctionnement quotidien propre à chaque technique de ventilation.

5.1.1.1 Ventilation sans régulation automatique de débit

Les calculs seront conduits en supposant que les séquences quotidiennes de ventilation sont les suivantes :

Régime de ventilation	Durée quotidienne (h)	Débit
Nominal	2	D_{\max}
Charge moyenne	2	$0,50 \cdot (D_{\max} + D_{\min})$
Demi-charge	20	D_{\min}

Figure 5.1 : tableau des séquences quotidiennes de ventilation pour un système sans régulation de débit

Les débits minimum et maximum (D_{\max} et D_{\min}) sont déterminés conformément à l'arrêté du 24/03/1982 modifié le 28/10/1983. Les débits maximum sont calculés en fonction

des équipements présents dans le logement. Les débits minimum sont fonctions uniquement de la taille du logement. A défaut de connaître les équipements dans le logements on adoptera les valeurs suivantes (DTU 68.1 - § 5.1.5) :

	Nombre de pièces principales						
	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimum (m ³ /h)	35	60	75	90	105	120	135
Débit total maximum (m ³ /h)	105	120	150	180	195	210	240
Débit minimal en cuisine (m ³ /h)	20	30	45	45	45	45	45

Figure 5.2 : débits minimum et maximum en fonction du nombre de pièces principales

5.1.1.2 Ventilation avec régulation automatique de débit

Les débits peuvent en principe varier de façon continue entre une valeur minimum et une valeur maximum imposées par la réglementation. Afin de permettre l'exécution d'un calcul dans des conditions standards, les hypothèses sur les conditions de fonctionnement seront les suivantes :

- on distinguera trois régimes de ventilation : un régime mini et un régime maxi à caractère réglementaire, ainsi qu'un régime intermédiaire baptisé ½ charge dont la valeur sera déterminée en fonction du nombre de pièces dans le logement. Les valeurs de ces différents débits sont données dans le tableau suivant :

Débits	Nombre de pièces dans le logement						
	1	2	3	4	5	6	7
mini	10	10	15	20	25	30	35
maxi	105	120	150	180	195	210	240
½ charge	17	35	46	56	69	83	93

Valeurs à confirmer

Figure 5.3 : valeurs des débits aux différents régimes pour une ventilation avec régulation automatique de débit

- ces trois régimes de ventilation seront sollicités au cours de la journée de la façon suivante :

Heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Débit mini																								
Débit ½ charge																								
Débit maxi																								

N.B. : l'heure notée 0 correspond au temps écoulé entre 0 h et 1h

Figure 5.4 : séquences de fonctionnement normalisées de la ventilation avec régulation automatique de débit

N.B. : dans le cas des logements de type T1, le temps de fonctionnement en grande vitesse est divisé par 2 et vaut donc 1,5 h/j (1/2 h au cours de la 7^{ème} heure, de la 12^{ème} et de la 19^{ème} heure). Le temps de fonctionnement en ½ charge est augmenté d'autant.

5-1-2 Puissance absorbée par un moto-ventilateur

La puissance absorbée par un moteur électrique entraînant un ventilateur s'écrit :

$$P = D \cdot \Delta P_t / \eta_g \quad \text{en W}$$

où :

- P = puissance électrique absorbée (W)
- D = débit volumique (m³/s)
- ΔP_t = différence de pression totale aux bornes du ventilateur (Pa)
- η_g = rendement global du moto-ventilateur

v Détermination du débit volumique

Le débit volumique à prendre en compte est la somme des débits de chacun des logements (pour le régime étudié) augmentée du débit de fuite dans les réseaux. Comme la perte de charge de ce débit de fuite ne dépend pratiquement pas du débit dans le réseau, le débit de fuite est constant quel que soit le régime de ventilation étudié. Il se calcule en fonction du débit maximum dans l'installation auquel on applique un coefficient « de fuite » qui vaut :

Qualité de l'étanchéité des réseaux	Taux de fuite (%)
Utilisation de raccords avec joint d'étanchéité	5
Très soignée (mastic et bande de recouvrement autocollante)	6
Mastic sans bande de recouvrement	15
Sans mastic ni bande de recouvrement	30

Figure 5.5 : taux de fuite des conduits VMC en fonction de la qualité d'étanchéité des réseaux

v Détermination de ΔP_t

La différence de pression totale aux bornes du ventilateur est la somme de la perte de charge statique de l'installation depuis l'entrée d'air dans le bâtiment jusqu'à l'extrémité du rejet lui même, augmentée de la pression dynamique de l'air au refoulement, ce qui s'écrit :

$$\Delta P_t = \Delta P_s + \rho V_s^2 / 2$$

où :

- ΔP_t = pression totale aux bornes du ventilateur (Pa)
- ΔP_s = perte de charge statique totale entre l'entrée et la sortie d'air du bâtiment,
- ρ = masse volumique de l'air à 15°C et 760 mm Hg de pression
- V_s = vitesse de sortie de l'air au point de rejet (m/s)

v Détermination de η_g

Le rendement d'un moto-ventilateur est le produit :

- du rendement du moteur électrique η_e,
- du rendement de la transmission η_t,
- du rendement du ventilateur η_v,

$$\eta_g = \eta_e \cdot \eta_t \cdot \eta_v$$

Le rendement d'un moteur η_e dépend d'abord de sa technologie. Les moteurs généralement utilisés pour la VMC sont des moteurs électriques à induction alimentés en

courant alternatif monophasé. Leur rendement maximum, pour des niveaux de puissance inférieurs à 1 kW, est de 55 à 65 %, mais ces valeurs décroissent très rapidement à charge ou à vitesse réduite. Cela signifie que, même dotés d'un dispositif permettant la variation de vitesse, ces moteurs ne présenteront jamais de très bons rendements.

En revanche, la technologie aujourd'hui disponible des moteurs à courant continu sans balai et avec redresseur incorporé présente de nombreux avantages en terme de performance, de confort et de durée de vie des matériels. Dans cette gamme de puissance, leur rendement est de l'ordre de 75 à 80 % à pleine charge, mais ce rendement est maintenu, voire augmenté, à charge réduite. Enfin, la variation de vitesse est extrêmement simple avec les moteurs à courant continu.

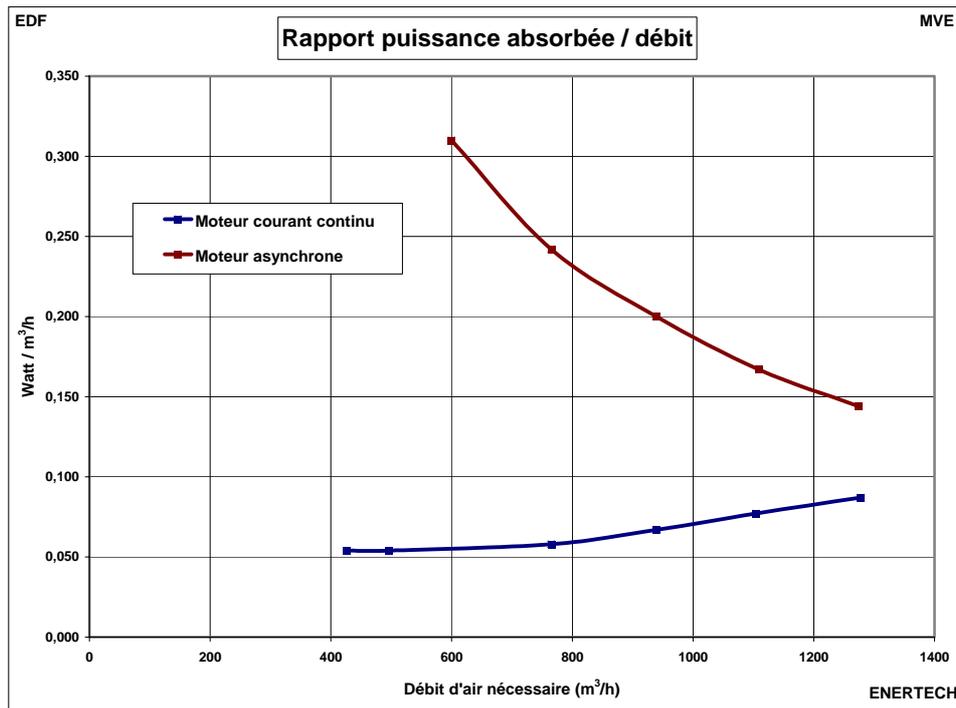


Figure 5.6 : évolution du rapport puissance absorbée/débit pour les moteurs asynchrones et les moteurs à courant continu

Les rendements de moteur (pour les différentes technologies) aux différents régimes seront fournis par les constructeurs. A défaut, on utilisera les valeurs de référence suivantes :

* moteurs asynchrones

Rendement de référence (%)	Puissance du moteur (kW)					
	0,55	1,1	3	5,5	11	22
à pleine charge	54,0	57,0	62,0	64,0	66,0	68,0
à 75 % de la charge maxi	53,0	54,0	61,0	63,0	65,0	67,0
à 50 % de la charge maxi	40,0	45	53	57	60	63

Figure 5.7 : coefficient de correction du rendement en fonction du taux de charge pour les moteurs asynchrones

* moteurs à courant continu

Rendement de référence (%)	Puissance du moteur (kW)					
	0,55	1,1	3	5,5	11	22
à pleine charge	85,0	86,0	87,0	90,0	92,0	92,0
à 75 % de la charge maxi	85,0	86,0	87,0	90,0	92,0	92,0
à 50 % de la charge maxi	85,0	86,0	87,0	90,0	92,0	92,0

Valeurs à confirmer

Figure 5.8 : coefficient de correction du rendement en fonction du taux de charge pour les moteurs à courant continu

Le rendement de transmission η_t dépend du type de transmission de puissance entre le moteur et la turbine. Les différents dispositifs rencontrés sont les transmissions :

- par poulies et courroies,
- par accouplement élastique,
- par coupleurs (centrifuges ou hydrauliques),
- directes (la roue du ventilateur est sur l'arbre du moteur)

Dans la plupart des cas la transmission est assurée par des poulies et courroies. L'innovation est ici l'utilisation de la transmission directe : la turbine est directement montée sur l'arbre du moteur. Le rendement de transmission est ainsi maximum.

Les valeurs du rendement de transmission seront fournies par les constructeurs. A défaut, on adoptera les valeurs suivantes :

Type de transmission	Puissance du moteur (kW)				
	≤ 1,1	3	5,5	11	22
courroies + poulies	0,86	0,88	0,89	0,92	0,94
accouplement	0,92 à 0,97				
directe	0,95 à 0,98				

Figure 5.9 : Rendement des différents types de transmission

Le rendement du ventilateur est essentiellement déterminé par le rendement d'aubage de la turbine : celle-ci reçoit de l'énergie du moteur qu'elle transfère à l'air à qui elle ne cède qu'une partie de son énergie mécanique, le reste étant perdu. Les turbines généralement utilisées dans les installations de ventilation mécanique des logements sont des turbines dite « à action » (les aubes sont inclinées vers l'avant) dont les caractéristiques débit/pression se prêtent assez bien aux contraintes des logements (ΔP_s varie peu). Mais leur rendement n'est pas très élevé, de l'ordre de 50 %.

Il existe un autre type de turbines, les turbines dites « à réaction » (les aubes sont inclinées vers l'arrière) dont les rendements sont beaucoup plus élevés, de l'ordre de 75 à 80 %, mais dont les caractéristiques intrinsèques ne sont pas très adaptées aux contraintes de la VMC dans les logements.

La valeur du rendement des ventilateurs à leurs différents points de fonctionnement sera fournie par les constructeurs. A défaut de cette information on utilisera les valeurs maximum de rendement suivantes :

- aubage à action : 0,50
- aubage à réaction : 0,75

Ces valeurs sont affectées au point de fonctionnement optimum du ventilateur baptisé P_0 . A défaut de connaître ce point on le placera à la moitié de la plage de débit, quel que soit la vitesse de rotation du ventilateur.

Pour les régimes du ventilateur s'écartant du régime de rendement nominal défini précédemment, on adoptera des coefficients de réduction de rendement exprimés en fonction du rapport débit réel/débit en P_0 fournis par le tableau suivant :

	Débit réel / débit au point de rendement maximum						
	0,30	0,50	0,65	0,80	1,0	1,30	1,60
Turbine à action	0,685	0,84	0,92	0,98	1,0	0,92	0,815
Turbine à réaction	0,645	0,84	0,935	0,98	1,0	0,945	0,81

Valeurs à confirmer

Figure 5.10 : coefficient de réduction du rendement en fonction du débit

5-1-3 Energie annuellement consommée

L'énergie annuellement consommée par un ventilateur est la somme des produits des puissances appelées par la durée de fonctionnement de chacun des trois régimes de ventilation définis au § 5-1-1 :

$$E = 0,365 \cdot (\sum_{i=1}^3 (\Delta t (i) \cdot D(i) \cdot \Delta P_t (i) / \eta_g (i))) \quad (\text{kWh})$$

Les débits $D(i)$ et les intervalles de temps $\Delta t (i)$ ont été définis au § 5-1-1. L'écart de pression totale doit être déterminé pour chaque valeur de $D(i)$ en recalculant les pertes du réseau.

Les différentes composantes du rendement global $\eta_g (i)$ doivent être déterminées dans chaque cas pour les conditions exactes de fonctionnement du moto-ventilateur. Ces informations seront fournies par les constructeurs ou remplacées par les valeurs par défaut indiquées au paragraphe précédent.

Cas particulier des moteurs asynchrones associés à une turbine à action (cas de la quasi totalité des VMC actuelles, qu'elles soient hygroréglables ou non) : la puissance absorbée par le moteur ne varie pratiquement pas quel que soit le débit pulsé. Ceci est dû à la nature de la courbe de rendement de l'aubage et à la caractéristique débit/pression du ventilateur. En conséquence, la consommation annuelle d'un moto-ventilateur de ce type pourra être calculée de façon très simple une fois la puissance électrique absorbée calculée (au régime nominal).

5-1-4 Exemples de calcul

v **Exemple n° 1** : Soit une installation de ventilation simple flux sur une cage de 30 logements. Les caractéristiques du régime nominal de fonctionnement sont :

- 3400 m³/h
- 240 Pa de pression statique (pertes de charge)
- 70 Pa de pression statique doivent en principe être maintenu en pied de colonne (pour les systèmes de ventilation qui permettent de maintenir cette contrainte).

Le caisson de ventilation est constitué d'un moteur asynchrone d'une puissance de 1,5 kW associé à une turbine à action accouplée par un système de courroies et de poulies. La vitesse de l'air à la sortie du caisson est de 6 m/s. La plage du ventilateur choisi va de 1.200 à 4.800 m³/h. L'étanchéité du réseau est assurée par mastic et bande de recouvrement.

- calcul de la pression totale du ventilateur : $\Delta P_t = \Delta P_s + \rho V_s^2 / 2$

$$\Delta P_s = 240 \text{ Pa} \quad \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad V_s = 6 \text{ m/s} \quad \text{d'où } \Delta P_t = 262 \text{ Pa}$$

- débit : $3400 \times 1,06 = 3.600 \text{ m}^3/\text{h}$ (correction de débit : voir figure 5.5)

- calcul du rendement global - $\eta_g = \eta_e \cdot \eta_t \cdot \eta_v$

η_e = d'après le tableau des moteurs asynchrones (voir figure 5.7), η_e le rendement de référence d'un moteur de 1,5 kW est de 0,58.

η_t = le rendement d'une transmission par courroie et poulies pour 1,5 kW est de 0,86 (voir tableau 5.9).

η_v = le rendement de référence d'un ventilateur à action est de 0,50. Ce rendement doit être corrigé parce que le point de fonctionnement n'est pas situé au point de rendement nominal de l'installation. Le débit correspondant au point de rendement maximum est $(1.200 + 4.800)/2 = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Le rapport « débit reel/débit rendement optimal » vaut donc $3.600/3.000 = 1,2$. Le tableau des corrections de rendement (voir figure 5.10) indique que le taux de correction (après interpolation) pour une turbine à action, est de 0,95 et le rendement du ventilateur est donc en définitive $0,50 \times 0,95 = 0,475$.

Le rendement global vaut donc $\eta_g = 0,58 \times 0,86 \times 0,475 = 0,237$

- calcul de la puissance absorbée par le moteur électrique

$$P = 1,0 \times 262 / 0,237 = 1.105 \text{ W}$$

N.B. : le choix d'un moteur de 1.500 W est donc judicieux et permet le démarrage du groupe avec une surpuissance disponible de 36 %. Une fois la phase de démarrage passée, la puissance absorbée par le moteur se calera bien à 1.105 W.

- calcul de la consommation annuelle du moto-ventilateur

$$E = 365 \times 1,105 \times 24 = 9.680 \text{ kWh/an, soit } 323 \text{ kWh/an/logement.}$$

▾ **Exemple n° 2** : Considérons maintenant que le même aubage est désormais entraîné par un moteur à courant continu de 800 W avec transmission directe et variateur de vitesse.

- calcul du régime de fonctionnement à débit maximum

Au régime nominal le débit et la pression totale sont inchangés. Le rendement d'aubage également (=0,475). Le rendement de référence du moteur à courant continu est de 0,85 (voir figure 5.8). Le rendement de la transmission directe est de 0,95 (voir figure 5.9). En conséquence, le rendement global vaut $\eta_g = 0,85 \times 0,95 \times 0,475 = 0,384$ et la puissance au régime de débit maximum vaut :

$$P(1) = 1,0 \times 262 / 0,384 = 683 \text{ W}$$

- calcul du régime de fonctionnement à 0,75 * débit maximum

Afin de garantir de bonnes conditions de fonctionnement à l'installation, on travaille avec une perte de charge statique constante en pied de conduit. Cette pression a été fixée par hypothèse à 70 Pa. Il faut donc recalculer la pression totale du caisson.

Ce nouvel état d'équilibre est obtenu par variation de vitesse du moteur à courant continu.

La variation de pression totale dans le réseau vaut donc :

$$\Delta P_t = 70 + 0,75^2 \cdot (170 + 1,2/2/0,16^2) = 179 \text{ Pa}$$

Le rendement de l'aubage, de la transmission, et du moteur sont constants (malgré la réduction de vitesse). $\eta_g = 0,384$. Si bien que la puissance absorbée vaut :

$$P(2) = (0,75 * 1,0) * 179 / 0,384 = 349 \text{ W}$$

- calcul du régime de fonctionnement à 0,50 * débit maximum

De même pour le débit moitié a-t-on :

$$\Delta P_t = 70 + 0,5^2 \cdot (170 + 1,2/2/0,16^2) = 118 \text{ Pa}$$

$$\eta_g = 0,384$$

$$P(3) = (0,5 * 1,0) * 118 / 0,384 = 154 \text{ W}$$

- calcul de la consommation annuelle

Le fonctionnement quotidien du groupe est de 20 h à débit moitié, 2h à débit moyen et 2 h à débit maximum. Sur l'année la consommation vaudra donc :

$$E = 365 * (0,683 * 2 + 0,349 * 2 + 0,154 * 20) = 1.878 \text{ kWh}$$

Soit une réduction de consommation de 81 % par rapport à la solution traditionnelle et une consommation par logement de 63 kWh/an.

↳ **Exemple n° 3** : Soit un immeuble comprenant 2 T1, 3T2, 4T3, 2T4 et 4T5 (soit au total 15 logements), dont la ventilation est assurée par un système hygroréglable. La plage du ventilateur est de 0 à 3.600 m³/h. La puissance du moteur est de 0,55 kW, la transmission est faite par courroie et poulies. La perte de charge du réseau est de 120 Pa et la vitesse de l'air à la sortie du ventilateur de 5 m/s.

- calcul du débit maximum extrait

On utilise le tableau donnant les débits par type de logements. On trouve 2.238 m³/h.

- calcul de la différence de pression totale

$$\Delta P_s = 120 \text{ Pa} \quad \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad V_s = 5 \text{ m/s} \quad \text{d'où } \Delta P_t = 135 \text{ Pa}$$

- calcul du rendement du ventilateur

le point de rendement maximum du ventilateur se trouve à 1.800 m³/h. Le rapport du débit réel au débit de rendement maximum vaut donc $r = 2234 / 1.800 = 1,24$. Pour cette valeur le coefficient correcteur du rendement de ventilateur (voir figure 5.10) vaut

0,936. Le rendement maximum d'un ventilateur à action est de 0,50 si bien que le rendement global du ventilateur sera ici $0,50 * 0,936 = 0,468$.

- calcul du rendement de la transmission
pour le niveau de puissance concerné le rendement d'une transmission par poulies et courroie est de 0,86 (figure 5.9).

- calcul du rendement de moteur
pour un moteur de ce type (figure 5.7) il est de 0,54 (à pleine charge).

- calcul du rendement global

Le rendement global vaut donc $\eta_g = 0,54 * 0,86 * 0,468 = 0,217$

- calcul de la puissance électrique absorbée
elle vaut simplement

$$P = (2.234 / 3.600) * 135 / 0,217 = 386 \text{ W}$$

N.B. : le choix d'un moteur de 550 W est donc judicieux et permet le démarrage du groupe avec une surpuissance disponible de 42 %. Une fois la phase de démarrage passée, la puissance absorbée par le moteur se calera bien à 386 W.

- calcul de la consommation annuelle du moto-ventilateur (technologie moteur asynchrone/aube à action : puissance absorbée insensible aux variations de débit) :

$$E = 365 * 0,386 * 24 = 3.381 \text{ kWh/an, soit } 225 \text{ kWh/an/logement.}$$

5 - 2 Application aux différents systèmes de ventilation

Les techniques de ventilation mécanique que l'on rencontre le plus fréquemment dans les immeubles d'habitation sont les suivantes :

- le simple flux sans variation automatique du débit,
- le simple flux avec variation automatique du débit (comme l'hygroréglable),
- le double flux avec ou sans récupération de chaleur,
- la VMC gaz avec ou sans variation automatique du débit,

La méthode proposée précédemment pourra s'appliquer à toutes ces solutions différentes, moyennant parfois de tenir compte de certains paramètres particuliers.

5-2-1 Ventilation simple flux sans variation automatique du débit

Aucune modification particulière n'est à apporter à la méthode générale du § 5-1. Le calcul des systèmes traditionnels avec moteur asynchrone et aube à action est particulièrement simple puisque la puissance absorbée par le moteur est insensible aux variations de débit.

5-2-2 Ventilation simple flux avec variation automatique du débit (type hygroréglable)

Les mêmes remarques peuvent être faites au sujet de la ventilation hygroréglable (qui est une des solutions dans la famille des systèmes à variation automatique de débit). Au regard des premières campagnes de mesure il semble que l'on peut également avancer que la puissance absorbée par le moteur est constante. Mais ce résultat devra être confirmé, notamment en contrôlant, en même temps que les mesures, les conditions exactes de la variation de débit.

Le mode de calcul s'avère donc, là aussi, particulièrement simple.

5-2-3 Ventilation double flux avec ou sans récupération de chaleur

Il faut dans ce cas déterminer la consommation de chacun des deux moto-ventilateurs. Le calcul se conduit de façon identique sur les deux réseaux (extraction et soufflage). On veillera à bien tenir compte de la perte de charge importante de l'échangeur de chaleur dans le cas d'un système à récupération d'énergie.

5-2-4 VMC gaz avec ou sans variation automatique du débit

Dans son principe le calcul devra être mené de la même manière que précédemment. Seule l'évaluation de la pression totale peut être un peu affectée par la présence de l'évacuation des gaz brûlés. En effet ceux-ci étant plus chaud que l'air, auront tendance à créer une pression motrice dans le conduit, donc à réduire le travail à fournir par le ventilateur. La consommation de celui-ci devrait donc être légèrement réduite par ce phénomène. Mais il n'existe aujourd'hui aucun élément permettant de préciser l'impact des fumées sur la consommation des ventilateurs : ni mesure, ni approche théorique n'ont été entreprises. Toutefois, le phénomène restera toujours marginal et ne pourra pas affecter de façon très significative la consommation du ventilateur.

La seule expérience conduite à ce jour l'a été pendant les mois d'été sur une opération de 107 logements avec chaudières gaz individuelles et VMC gaz. Aucune variation de la consommation, notamment entre nuit et jour, n'a été perceptible.

5-2-5 Ventilation double flux gaz avec récupération de chaleur

L'installation possède une double particularité :

- elle est double flux. Il faut donc déterminer la consommation des deux ventilateurs. Pour l'insufflation, il n'y a aucune différence avec la méthode exposée précédemment. Le calcul de la perte de charge doit bien prendre en compte la présence de l'échangeur.

- elle véhicule les produits de combustion, et présente donc sur l'extraction une pression motrice comme au § précédent.

Le calcul doit donc être mené pour chacun des réseaux de soufflage et d'extraction, avec les particularités et les incertitudes propres à chaque réseau (notamment l'extraction) déjà évoquées aux § 5.2.3 et 5.2.4.

CHAPITRE 6 : LES CHAUFFERIES

La consommation d'électricité des chaufferies collectives concerne essentiellement quatre postes :

- le contrôle commande des chaudières, des asservissements, etc.
- l'alimentation des chaudières,
- les pompes,
- le traçage électrique de certains réseaux.

L'éclairage de la chaufferie est jugé mineur et ne sera pas analysé ici.

Remarque préliminaire : à ce jour aucune campagne de mesures n'a été effectuée dans les chaufferies, si ce n'est de façon globale. On ne dispose donc pas encore des éléments permettant de comprendre le mode de construction de la consommation, et le rôle que joue chacun des usages. La principale difficulté réside notamment dans la manière dont s'organisent les variations d'appel de puissance dans le temps, en fonction de la charge de chauffage.

En conséquence, ce qui suit devra être validé par une expérimentation adaptée, seule à même de préciser les éléments dont il est impossible, par voie théorique, de définir le contour avec précision.

6-1 Consommation du contrôle commande

Les organes de contrôle et de commande d'une chaufferie sont essentiellement ceux regroupés dans « l'armoire de régulation ». Mais ils incluent également les moteurs de vannes lorsque celles-ci en sont munies.

On peut supposer que tous les organes présents dans l'armoire, régulateurs, horloges, relais, contacteurs, etc. ont une consommation permanente ne présentant aucune variation notable au cours du temps. Il n'en est pas de même des moteurs de vannes. On séparera donc les puissances de l'armoire et de l'ensemble des vannes, la puissance de ces dernière étant affectée d'un coefficient de foisonnement dont il conviendra ultérieurement de préciser la valeur..

Dans ces conditions la consommation annuelle du contrôle commande s'écrit :

$$E_{cc} = D_{fa} \cdot P_a + D_{fv} \cdot C_f \cdot P_v \quad (\text{kWh})$$

où :

- E_{cc} : consommation annuelle du contrôle commande générale en kWh
- D_{fa} : durée annuelle de mise sous tension de l'armoire de régulation en heures

- P_a : puissance, hors moteurs de vanne, de l'armoire de régulation. Il s'agit de la puissance (constante) de tous les régulateurs, transfo, horloges, etc.
En kW.
- D_{fv} : durée annuelle de mise sous tension des vannes et autres organes à puissance variable, en heures,
- P_v : puissance des organes à fonctionnement intermittent (vannes, etc.) en kW
- C_f : coefficient de foisonnement des appels de puissances des organes à fonctionnement intermittent ($C_f \leq 1$).

Valeurs par défaut (à confirmer) :

A défaut de connaître la valeur des différentes puissances on adoptera les valeurs forfaitaires suivantes :

- P_a : 0,100 kW
- P_v : on adoptera une puissance de 0,015 kW par moteur de vanne,
- C_f : 0,5

6-2 Consommation électrique des chaudières

L'alimentation électrique des chaudières a plusieurs fonctions :

- le contrôle commande des chaudières (contrôle de flamme, etc.),
- la pompe d'injection de fioul (pour les chaudières au fioul),
- la résistance de préchauffage de fioul (pour les chaudières au fioul),
- le moteur des brûleurs à air pulsé,
- le ventilateur d'extraction des fumées.

On peut supposer que le contrôle commande appelle une puissance continue pendant toute la période où la chaudière est sous tension. En revanche, on doit considérer que toutes les autres puissances ne sont appelées, en première approximation, que pendant le fonctionnement du ou des brûleurs. Ce n'est pas rigoureusement vrai, notamment avec les brûleurs au fioul dans lesquels la séquence de démarrage met en oeuvre simultanément différents organes. Ceci devra donc être précisé ultérieurement.

Il faut ensuite déterminer le temps de fonctionnement annuel de chaque chaudière. Cette détermination est relativement complexe. On se référera pour cela au calcul proposé dans la méthode Th-C Complément n°1 § 2.11 qui permet de déterminer la consommation d'énergie assurée par chaque chaudière durant la saison hivernale. Partant de la puissance des chaudières on en déduit le temps de fonctionnement de chacune d'entre elle.

La consommation annuelle d'électricité des chaudières vaut alors :

$$E_{ch} = \sum_i (P_{cc_i} \cdot D_{ch_i} + P_{ch_i} \cdot D_{fch_i})$$

où :

- E_{ch} = consommation annuelle de l'ensemble des chaudières en kWh,
- P_{cc_i} = puissance du contrôle commande de la chaudière i en kW,
- D_{ch_i} = durée annuelle de mise sous tension de la chaudière i en heures
- P_{ch_i} = Puissance électrique totale (hors contrôle commande) de la chaudière i en kW (y compris brûleur, préchauffeur de fioul, etc.),

- D_{fch_i} = durée annuelle de fonctionnement du brûleur de la chaudière i en heures.

6-3 Consommation électrique des pompes

Le calcul des pompes de chauffage est analogue à celui des ventilateurs. Les lois physiques qui les régissent sont les mêmes. On pourra donc s'appuyer sur les mêmes bases que celles développées au chapitre précédent.

Les pompes que l'on trouve dans une chaufferie se différencient essentiellement par leur mode d'asservissement. Certaines doivent fonctionner en permanence, alors que d'autres ont un fonctionnement qui peut (mais n'est pas toujours) intermittent. Les principales pompes et leur mode possible d'asservissement sont les suivantes :

Pompe	Type d'asservissement
1 - Charge chaudière	Permanent
2 - Primaire chaudière	Asservie (à la température du primaire par exemple)
3 - Distribution chauffage	Permanent
4 - Préparation ecs - primaire	Asservie aux besoins
5 - Préparation ecs - secondaire	Asservie aux besoins
6 - Pompe de distribution ecs	Asservie à une horloge
7 - Primaire capteurs solaires	Asservie à l'ensoleillement
8 - Secondaire capteurs solaires	Asservie à l'état du ballon et des capteurs

La puissance absorbée par une pompe vaut :

$$P = D \cdot \Delta P_t / \eta_g \quad \text{en W}$$

où :

- P = puissance électrique absorbée (W)
- D = débit volumique (m^3/s)
- ΔP_t = différence de pression totale aux bornes de la pompe (Pa)
- η_g = rendement global du moteur et de la pompe

Le calcul de la consommation dépendra donc de la variation éventuelle du débit et de la pression totale au cours du temps.

6.3.1 Pompes à vitesse et conditions de fonctionnement stables

Si les conditions hydrauliques ne changent pas (cas de toutes les pompes de la liste qui précède à l'exception de la pompe n°3 - distribution chauffage), la consommation se calculera simplement :

$$E_{po} = P \cdot D_{fp} \quad \text{en kWh/an}$$

où :

- E_{po} = énergie annuellement absorbée par la pompe en kWh
- P = puissance électrique absorbée par la pompe en kW
- D_{fp} = durée annuelle de fonctionnement de la pompe en h

√ Détermination de la puissance

Si le matériel est déjà choisi, la puissance électrique est indiquée par le constructeur pour chaque vitesse de la pompe.

Si le matériel n'est pas connu il faut calculer la puissance à partir du débit et de la perte de charge nominaux. La détermination du rendement doit se faire à partir des valeurs propres à chaque fabricant. Il semble en effet exister des écarts importants d'un fabricant à l'autre.

On pourra proposer des valeurs par défaut, mais nous ne disposons pas aujourd'hui des éléments nécessaires pour mener bien à cette tâche.

√ Détermination de la durée de fonctionnement

Pour les pompes à fonctionnement permanent, la réponse est simple : il s'agit soit de l'année complète (éventuellement corrigée pour les arrêts programmés, par exemple pour la pompe de distribution ecs), soit de la durée de la saison de chauffe (variable selon les régions).

Pour les pompes à fonctionnement intermittent, il convient d'analyser la nature de l'asservissement. A titre d'exemple, les pompes primaires chaudières nécessitent de connaître le temps de fonctionnement annuel de chaque chaudière. Ce calcul a été décrit au § 6.1.

6.3.2 Pompes à vitesse constante et conditions de fonctionnement variables

Il semble, mais ceci doit être confirmé, que la puissance des pompes à vitesse constante varie peu lorsque les conditions hydrauliques de fonctionnement changent. Dans ce cas, le calcul de la consommation s'effectuera exactement comme au § précédent.

En cas contraire, il faudra disposer de résultats complets de campagnes de mesures afin de savoir plus précisément comment évoluent les performances des pompes.

6.3.3 Pompes à vitesse et conditions de fonctionnement variables

Le cas des pompes à débit variable est encore moins renseigné que le précédent. On ignore pratiquement tout de la façon dont se répartit la charge au cours de l'année. Il n'est pas possible dans l'état actuel des connaissances, de fournir des éléments précis permettant de calculer la consommation annuelle de ces pompes.

La relation générale fournissant la consommation annuelle s'écrit :

$$E_i = \int_t D(t) \cdot \Delta P(t) / \eta(t) \cdot dt$$

où :

- E_i = consommation annuelle de la pompe en kWh
- $D(t)$ = débit de la pompe à l'instant t en m^3/s
- $\Delta P(t)$ = perte de charge totale dans le réseau à l'instant t en Pa
- $\eta(t)$ = rendement à l'instant t

l'intégration s'effectuant sur l'année entière.

6-4 Consommation des cordons de traçage électrique

Les cordons de traçage électrique ont deux usages dans le bâtiment :

- maintenir en température une distribution d'eau chaude sanitaire. Dans ce cas la distribution est de type monotube. Il existe deux types de cordon : ceux qui sont thermostatés, et ceux qui sont auto-régulants. Dans un cas comme dans l'autre ils maintiennent la distribution à une température de consigne constante. Les déperditions du tube ainsi chauffé sont donc assez stables puisque les distributions passent la plupart du temps dans des parties du bâtiment à température relativement constante. Il s'ensuit que le calcul de la consommation de ces dispositifs est assez simple puisqu'on peut considérer que la perte est constante. Elle est en principe définie avec précision lors de la conception et du choix du traceur,

- maintenir hors gel une canalisation d'eau en charge, lorsqu'elle est située dans un espace non chauffé. Cette seconde utilisation est très marginale en terme de consommation, et nous ne l'examinerons pas.

Soit p_{tr} la puissance (en kW/m) des déperditions par mètre linéaire de la distribution (généralement autour de 7 W/ml). Soit L la longueur totale de cette distribution (en mètres).

La consommation annuelle du traceur vaudra :

$$E_{tr} = p_{tr} \cdot L \cdot 8760 \quad (\text{en kWh})$$

où :

- E_{tr} = consommation annuelle du cordon de traçage en kWh,
- p_{tr} = puissance des déperditions de la distribution ecs, en kW/ml,
- L = longueur de la distribution en m.