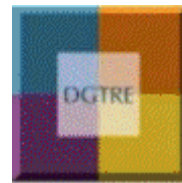


Ministère de la Région Wallonne



**AIDE A LA MISE EN PLACE D'UNE COMPTABILITE
ANALYTIQUE DES FLUIDES ET DES ENERGIES**

**La méthodologie utilisée dans EPS
(Energy Potential Scan)**



Direction générale des Technologies, de
la Recherche et de l'Energie
(D.G.T.R.E.)

Division de l'Energie

Avenue Prince de Liège 7
5100 JAMBES

Contact : Claude RAPPE

Tél. : 081/33.56.28

Fax : 081/30.66.00

c.rappe@mrw.wallonie.be

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION - DEFINITIONS	4
	ANNEXE I.1 : HYPOTHESES DE CALCUL DES CONSOMMATIONS EN ENERGIE PRIMAIRE	7
2	ECA - TABLEAU DE CONSOMMATION	9
	ANNEXE TAB.1 : ILLUSTRATION DE LA NOTION DE FAMILLE DE PRODUIT	16
	ANNEXE TAB.2 : QUELQUES PRECISIONS METHODOLOGIQUES	19
3	ECA - ENERGIES ACHETEES - CONSOMMATION D'ELECTRICITE	23
3.1	INTRODUCTION	24
3.2	DEFINITIONS DE BASE	24
3.3	METHODOLOGIE GENERALE	25
3.4	EXAMEN DETAILLE DE CHAQUE ETAPE	25
3.4.1	Informations données par les compteurs (B):.....	25
3.4.2	Liste des puissances installées P_{inst} (C):.....	26
3.4.3	Désagrégation des valeurs compteurs (D):.....	27
3.4.4	Calcul des consommations non accessibles à la mesure (E):.....	27
3.4.4.1	Mesure des valeurs de Pcons :	27
3.4.4.2	Evaluation du coefficient f :	28
3.4.4.3	Cas particuliers du chauffage et du conditionnement d'air :	29
3.5	BOUCLAGE FINAL	31
	ANNEXE EL.1 : AFFECTATION DES VALEURS COMPTEURS	32
	ANNEXE EL.2 – LISTE DES PUISSANCES INSTALLÉES.....	35
	ANNEXE EL.3 – RELEVÉ SIMPLIFIÉ DES PUISSANCES D'ÉCLAIRAGE.....	40
	ANNEXE EL.4 – DÉSAGRÉGATION DES VALEURS COMPTEURS	43
	ANNEXE EL.5 – EXEMPLES DE CALCUL (P_{CONS} ET BÂTIMENTS).....	49
	ANNEXE EL.6 – VALEURS DE DEGRÉS.JOURS « NORMAUX ».....	53
4	ECA – ENERGIES ACHETEES - CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES.....	55
4.1	INTRODUCTION	56
4.2	REMARQUE SUR LES UNITES.....	56
4.3	METHODOLOGIE GENERALE :	56
4.4	UTILISATION DE COMBUSTIBLE PAR UNE MACHINE DE PRODUCTION	57
4.4.1	machine fonctionnant au gaz naturel :	57
4.4.2	machine fonctionnant au gasoil :	58
4.4.3	autres combustibles :	58
4.5	UTILISATION DE COMBUSTIBLE PAR UN APPAREIL DE CHAUFFAGE BÂTIMENT.....	58
4.5.1	appareil fonctionnant au gaz naturel :	58
4.5.2	appareil fonctionnant au gasoil :	59
4.5.3	appareil fonctionnant au fuel lourd :	59
4.6	UTILISATION DE COMBUSTIBLE PAR UN PRODUCTEUR D'UTILITE (CHAUDIERE).....	59
4.7	EXEMPLES	60
	ANNEXE COMB.1 – COMBUSTIBLES – EXEMPLES DE CALCUL	61
5	ECA – ENERGIES ACHETEES - EAU ET VECTEURS SPECIAUX.....	66
5.1	INTRODUCTION	67
5.2	METHODOLOGIE GENERALE :	67
5.3	CONSOMMATIONS D'EAU DE VILLE.....	68
5.4	CONSOMMATIONS D'EAU DE RIVIERE OU DE PUIITS	68
5.5	CONSOMMATIONS DE VECTEURS (FLUIDES) SPECIAUX.....	69
	ANNEXE SPE.1 – EAU ET VECTEURS SPÉCIAUX – EXEMPLES DE CALCUL.....	70
6	ECA – UTILITES - VAPEUR.....	76
6.1	INTRODUCTION	77
6.2	METHODOLOGIE GENERALE	77
6.3	CONSOMMATION LIEE A LA PRODUCTION DE VAPEUR (A).....	78



6.4	DETERMINATION DE LA QUANTITE TOTALE DE VAPEUR PRODUITE (B1).....	78
6.4.1	<i>on connaît la consommation en combustible :</i>	79
6.4.2	<i>on connaît la quantité d'eau utilisée pour produire la vapeur :</i>	80
6.5	SUBDIVISIONS ET REPARTITIONS (B3)	82
6.5.1	<i>la vapeur n'est utilisée que par des consommateurs « bâtiments » :</i>	82
6.5.2	<i>la vapeur n'est utilisée que par des machines de production :</i>	83
6.5.3	<i>la vapeur est utilisée par des consommateurs « bâtiment » et « production » :</i>	85
	ANNEXE VAP.1 – VAPEUR – VALEURS D'ENTHALPIE	87
	ANNEXE VAP.2 – VAPEUR – SCHÉMA AVEC DÉGAZEUR	89
	ANNEXE VAP.3 – VAPEUR – EXEMPLES D'ESTIMATIONS.....	91
7	ECA – UTILITES - EAUX TRAITEES.....	98
7.1	INTRODUCTION	99
7.2	METHODOLOGIE GENERALE	99
7.3	CONSOMMATIONS LIEES AU TRAITEMENT DES EAUX (A).....	99
7.4	QUANTITE TOTALE D'EAU TRAITEE, ET REPARTITIONS (B).....	101
	ANNEXE EAUTR.1 – EAUX TRAITÉES – EXEMPLES D'ESTIMATIONS.....	103
8	ECA – UTILITES - AIR COMPRIME.....	107
8.1	INTRODUCTION	108
8.2	METHODOLOGIE GENERALE	108
8.3	CONSOMMATIONS LIEES A LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ (A).....	108
8.4	QUANTITE TOTALE D'AIR PRODUIT (B.1)	110
8.5	REPARTITIONS (B.3).....	111
	ANNEXE AIR.1 : EXEMPLES DE CALCUL	112



1 INTRODUCTION - DEFINITIONS



Ce document doit faciliter la mise en œuvre d'une comptabilité analytique des fluides et des énergies dans votre entreprise et vous permettre :

- de disposer d'une idée claire de vos flux (fluides et énergies) ;
- de suivre l'évolution au cours du temps de votre efficacité énergétique (voir ci-après), notamment dans le cadre des accords de branche.

Ce document a été mis au point dans le cadre d'une convention entre le Ministère de la Région wallonne (DGTRE) et ECONOTEC (00/42187/RAPP/DONT). Il est basé sur l'expérience acquise par plusieurs années d'audits énergétiques, généralement chez d'importants consommateurs industriels, à l'aide de la méthode EPS (Energy Potential Scan) qui a été initialement mise au point aux Pays-Bas avec le soutien de NOVEM. Bien que la méthode de travail retenue par ECONOTEC se soit progressivement écartée de la méthode hollandaise, la terminologie propre à cette méthode a été conservée (ECA pour Energy Consumption Analysis, Efficiency scans pour identification des améliorations, utilités (facilités) pour utilities,...).

L'enjeu essentiel de la mise en œuvre d'une comptabilité analytique énergétique consiste à construire une matrice où les colonnes représentent les divers types d'énergies achetées et produites en interne (par les utilités telles que la vapeur, l'air comprimé,...) et les lignes, les trois types d'usages que sont les bâtiments, la production, les utilités.

A l'issue de cette étape, l'entreprise sait « qui consomme quoi et comment ». De plus, si l'opération est bien menée, les informations circulant sur les lignes de production et celles utilisées par la gestion deviennent identiques...ce qui peut se traduire par une redéfinition du prix de revient de certains produits...

Lorsque l'entreprise dispose de cette matrice appelée « Tableau de consommation », elle peut construire différents indicateurs de suivi des consommations énergétiques ainsi qu'un indicateur global lui permettant de suivre l'évolution de son efficacité énergétique, indépendamment de l'évolution de son product mix. Cet indicateur, appelé indice d'efficacité énergétique (IEE), est celui qui permettra de suivre l'évolution des entreprises et des secteurs signataires d'un accord de branche d'amélioration de l'efficacité énergétique.

A titre d'exemple, pour évaluer la situation énergétique d'une entreprise en 2000 par rapport à 1990, il suffit de calculer l'écart entre les consommations relevées en 2000 et celles qu'on aurait obtenues si les consommations spécifiques (cons.spécif.) étaient restées identiques à leur valeur initiale (1990).



L'indice d'efficacité énergétique IEE est donné par l'expression suivante :

$$IEE(t) = \frac{100 \times \text{consommation énergétique globale observée (2000)}}{\sum \text{cons.spécif.(1990)} \times \text{volumes de production (2000)}}$$

L'amélioration de l'efficacité énergétique (en %) est mesurée par l'écart entre 100 et la valeur ainsi obtenue. Les consommations d'énergie sont exprimées en énergie primaire (avec les conventions reprises à l'annexe I.1).

Pour pouvoir procéder à cette évaluation, il faut donc disposer des :

- consommations d'énergie globales du secteur en 2000 ;
- consommations spécifiques de l'année 1990 ;
- volumes de production de 2000.

Cet indice cernerait d'autant mieux l'évolution du secteur que l'on pourra prendre en compte un nombre élevé de produits (forte désagrégation). Dans le cas contraire, le risque est élevé de mettre sur le compte d'une amélioration ou d'une détérioration de l'efficacité énergétique des glissements de production vers de produits plus ou moins énergivores.

Si nécessaire, diverses corrections seront apportées au calcul précédent, pour tenir compte, par exemple, de:

- la surconsommation d'énergie imputable à la législation environnementale;
- la variation de consommation énergétique (positive ou négative) liée à une modification de spécifications de produits ;
- une modification du type de matières premières utilisées ;
- le taux d'utilisation de la capacité des installations de production;
- le nombre de degrés-jours.

ANNEXE I.1 : HYPOTHESES DE CALCUL DES CONSOMMATIONS EN ENERGIE PRIMAIRE



La consommation en énergie primaire est ci-dessous notée CEP, et la consommation en énergie finale CEF. Les unités utilisées sont chaque fois notées entre parenthèses.

1. Electricité :

$$\text{CEP (GJ)} = \text{CEF (kWh)} \times 2 \times 3600 \times 1/10^6.$$

Ce facteur de conversion est établi sur base d'un rendement marginal moyen du parc électrique de 50% en 2000 et de 55% en 2010 diminué de pertes de transport et distribution de 5%.

2. Gaz naturel :

$$\text{CEP (GJ)} = \text{CEF (GJ)}$$

rem : CEF (GJ) est celle qui est donnée par la facture du client (en PCS), multipliée par 0,9 pour repasser en PCI.

ou, suivant les cas,

$$\text{CEP (GJ)} = \text{CEF (Nm}^3\text{)} \times 31652 \times 1/10^6$$

où 31652 kJ/Nm³ est le PCI du gaz tel que fourni par Distrigaz pour le client concerné.

3. Fuel lourd :

$$\text{CEP (GJ)} = \text{CEF (lit)} \times 0,95 \times 40500 \times 1/10^6$$

où

0,95 kg/lit est la densité moyenne considérée pour le fuel lourd
40500 kJ/kg est le PCI moyen considéré pour le fuel lourd

ou, suivant les cas,

$$\text{CEP (GJ)} = \text{CEF (T)} \times 40500 \times 1/1000.$$

4. Gasoil :

$$\text{CEP (GJ)} = \text{CEF (lit)} \times 0,85 \times 43000 \times 1/10^6$$

où

0,85 kg/lit est la densité moyenne considérée pour le gasoil
43000 kJ/kg est le PCI moyen considéré pour le gasoil.



2 ECA - TABLEAU DE CONSOMMATION



Avant de commencer l'ECA, il importe de définir les bases sur lesquelles on va travailler. Pour cela, l'entreprise et ses consommations énergétiques doivent se décomposer de différentes manières.

On commence par diviser les vecteurs énergétiques consommés par l'entreprise en deux classes :

- les énergies achetées : cette classe rassemble les vecteurs énergétiques qui sont achetés à l'extérieur de l'entreprise en quantités suffisantes (on néglige habituellement ceux qui représentent moins de 1% de la facture énergétique annuelle globale), et qui sont utilisés tels quels ; il s'agit essentiellement d'électricité, de gaz naturel, de fuel, de charbon ou d'autres combustibles ; on peut, par extension, y adjoindre des éléments qui ne sont pas de nature proprement énergétique, mais dont l'incidence sur la facture énergétique est importante (exemples : eau de ville, gaz spéciaux entrant dans le processus de fabrication) ;
- les utilités : il s'agit également de vecteurs énergétiques ; mais ils ne sont toutefois pas achetés tels quels à l'extérieur, mais bien (a) « fabriqués » dans l'entreprise même à partir d'énergies achetées (comme par exemple la vapeur, l'air comprimé, les eaux traitées,...etc), et (b) distribués à plusieurs utilisateurs de l'entreprise ; il faut insister sur le fait que les deux conditions (a) et (b) doivent être remplies pour qu'on puisse conventionnellement bien ici parler d'utilité ; ainsi par exemple le cas d'air comprimé produit à partir d'un compresseur fonctionnant à l'électricité est bien une utilité si l'air produit est réparti entre plusieurs utilisateurs de l'entreprise ; si cet air n'alimente qu'une seule machine de production, on doit alors plutôt considérer le compresseur comme une des machines de production dont on ne va examiner que la consommation électrique, sans avoir besoin d'étudier la quantité d'air produit.

On divise ensuite les consommateurs d'énergie de l'entreprise en trois grandes catégories :

- la production : cette catégorie regroupe l'ensemble des utilisateurs d'énergie qui ne sont liés qu'au processus de fabrication dans son ensemble ; on y trouve les machines de production, de manutention, de préparation, de traitement de gaz ou d'effluents divers, de maintenance, ...etc ;
- les bâtiments : cette catégorie concerne les usages d'énergie qui n'ont trait qu'à l'enveloppe des bâtiments de l'entreprise, et qui servent à maintenir dans ces bâtiments des conditions permettant au personnel d'y travailler ; on y trouve le chauffage, le conditionnement d'air, l'éclairage, la ventilation (pour des raisons autres que le processus lui-même), ...etc ;
- les utilités : cette dernière catégorie s'intéresse aux équipements producteurs des utilités au sens défini ci-dessus ;

La finalité de l'ECA est de permettre l'établissement d'un bilan et d'un suivi de l'efficacité énergétique de l'entreprise. On utilise pour cela un tableau de consommation, dont on déduira des indicateurs d'efficacité énergétique. Pour être fiables, ces indicateurs doivent rendre compte de l'évolution des performances énergétiques indépendamment de facteurs « perturbateurs » qui influencent la consommation d'énergie mais ne constituent la marque ni d'une amélioration ni d'une dégradation de l'efficacité énergétique. Ainsi, le « product mix » qui définit la



proportion relative de production de diverses familles de produits, joue un rôle important, en tout cas dans le cas où les consommations spécifiques liées à ces familles sont sensiblement différentes les unes des autres. On tient compte de cet élément en subdivisant la catégorie « production » en autant de sous-catégories qu'il existe de « familles de produit ». Cette subdivision est très importante si on veut garantir un suivi fiable de l'efficacité énergétique, et les différentes familles doivent être créées dès la constitution du tableau. Afin de se rendre mieux compte de l'importance de cette notion, un exemple chiffré est donné en annexe TAB.1 ci-après.

Le canevas de base suivant lequel l'analyse ECA va s'élaborer est donc illustré par un tableau de consommation. Un exemple théorique de tableau de ce type est donné en pages suivantes.



TABLEAU DE CONSOMMATION de L'ENTREPRISE XY - ANNEE DE REFERENCE nnnn											
UTILISATEUR	CARACTERISTIQUES		ENERGIES ACHETEES					UTILITES			
	CHIFFRES		électricité	gaz naturel	fuel	eau de ville	gaz spécial Z	vapeur	air comprimé	eau adoucie	eau démin.
			(kWh/an)	(GJ/an)	(lit/an)	(m³/an)	(Nm³/an)	(T _{vap} /an)	(Nm³/an)	(m³/an)	(m³/an)
PRODUCTION	NIVEAU PRODUCTION										
	heures	quantité									
	(h/an)	(x/an)									
FAMILLE DE PRODUIT 1											
sous-ensemble A											
machine 1											
machine 2											
ligne 3											
auxiliaires 4											
sous-ensemble B											
ligne 5											
auxiliaires 6											
FAMILLE DE PRODUIT 2											
sous-ensemble A											
machine 1											
machine 2											
ligne 3											
auxiliaires 4											
sous-ensemble B											
ligne 5											
auxiliaires 6											
ATELIER DE MAINTENANCE											
équipements 7											
équipements 8											
STATION D'EPURATION											
sous-station 9											
auxiliaires 10											
TOTAL PRODUCTION											



BATIMENTS	SURFACE										
	(m²)										
bloc bureaux 1											
bloc bureaux 2											
hall 1											
hall 2											
hall 3											
hall 4											
TOTAL BATIMENTS											
UTILITES	CHARGE										
	(h/an)										
vapeur											
air comprimé											
eau adoucie											
eau déminéralisée											
TOTAL UTILITES											
TOTAL USINE											
TOTAL COMPTABLE											



L'ECA consiste à développer différents moyens de comptage ou d'évaluation (relevé de compteurs, informations comptables, calculs, ratios techniques, ...etc) permettant de remplir chacune des cases de ce tableau.

Pour tous les utilisateurs d'énergie en catégorie production et pour chaque famille de produit, il faut donc déterminer :

- le nombre annuel d'heures de production ;
- la quantité annuelle de production (l'unité dépend bien sûr de la production elle-même) ;
- la consommation annuelle en chacune des énergies achetées ;
- la consommation annuelle en chacune des utilités ;

Pour tous les utilisateurs d'énergie en catégorie bâtiment, il faut déterminer :

- la surface au sol ;
- la consommation annuelle en chacune des énergies achetées ;
- la consommation annuelle en chacune des utilités ;

Et pour toutes les productions d'utilités, il faut déterminer :

- la charge annuelle (généralement exprimée en heures de fonctionnement) ;
- la consommation annuelle en chacune des énergies achetées ;
- la consommation annuelle en chacune des utilités ;

Avant d'aborder de façon plus détaillée, aux chapitres suivants, les différentes techniques permettant cette évaluation, on procède d'abord à un travail préparatoire :

1. Il faut commencer par choisir une année de référence. Il est logique de prendre l'année écoulée la plus récente, à condition de disposer de données complètes la concernant. Ceci permet de travailler sur base d'une structure proche de celle qui est en train de fonctionner réellement.
2. On doit ensuite déterminer les intitulés des lignes et colonnes du tableau de consommation.

Pour définir les colonnes à prendre en compte, on liste l'ensemble des énergies achetées puis des utilités, et on élimine celles qui sont négligeables en regard du total de la facture annuelle.

En ce qui concerne les lignes à considérer, il faut décomposer ou « désagréger » les utilisateurs de chaque catégorie, et le niveau de désagrégation à choisir est propre à chaque cas. On peut néanmoins définir quelques principes à respecter :

- pour les utilisateurs de la catégorie production, il faut partir de l'information désirée (quelle valeur, isolée d'autres valeurs, aurait-on intérêt à connaître) plutôt que de l'information connue (de quel compteur ou regroupement puis-je

disposer) ; la seconde précaution à prendre est de respecter les délimitations physiques et techniques entre équipements ou processus plutôt que d'opérer des regroupements trop opaques de « centres de coût globaux », quitte à les reconstituer plus tard ; enfin, dans le cas où co-existent différentes familles de produit présentant des consommations spécifiques différentes, les éléments ci-dessus doivent être déterminés pour chaque famille de produit, même si l'équipement de production est le même dans tous les cas ;

- pour les utilisateurs de la catégorie bâtiments, il est préférable de différencier les bâtiments suivant leur usage : la distinction la plus courante est celle qui existe entre les bureaux et les halls industriels ; ensuite et comme pour les utilisateurs de production, il est important de respecter les délimitations physiques et géographiques réelles ;
 - pour les utilités enfin, et on peut le remarquer au tableau de consommation précédent, les intitulés des lignes et des colonnes « utilités » doivent coïncider puisqu'il s'agit bien des mêmes éléments ; cette présentation permet de faire ressortir :
 - la consommation en énergies achetées nécessaire à la production de chaque utilité ;
 - la consommation en utilités de tous les postes bâtiments et production ;
 - la consommation éventuelle d' utilités qui consomment elles-mêmes d'autres utilités (exemple : eau déminéralisée consommée pour produire de la vapeur) ;
3. On peut enfin, pour éclaircir les choses et définir l'étendue du travail d'analyse à réaliser, déterminer les cases qui seront de toute façon vides.
4. Pour terminer, il est important de noter que la définition du tableau telle qu'établie ci-dessus n'est pas figée pendant la durée de l'ECA : à tout moment, il est possible d'ajouter une ligne ou une colonne, de subdiviser plus finement tel ou tel utilisateur, ou au contraire d'en regrouper. A la fin de l'ECA cependant, il faut obtenir un tableau dont la forme restera figée dans la suite du travail.

Pour terminer ce chapitre préliminaire, on peut observer les deux dernières lignes du tableau de consommation : l'avant-dernière ligne somme les chiffres obtenus dans chacune des colonnes : elle représente donc la valeur totale annuelle de consommation telle qu'évaluée par les moyens qui seront exposés aux chapitres suivants ; la dernière ligne en donne les valeurs « comptables », c-à-d celles qui correspondent aux factures d'achat ou aux compteurs principaux éventuels.

L'ECA n'est considérée comme terminée et représentative que lorsque ces deux lignes coïncident suffisamment (on considère a priori, mais cette valeur peut varier suivant les vecteurs énergétiques, que la différence ne peut excéder 5%).

Quelques précisions méthodologiques sont encore données en annexe TAB.2 afin de répondre à des questions plus spécifiques.



**ANNEXE TAB.1 : ILLUSTRATION DE LA NOTION DE
FAMILLE DE PRODUIT**



ILLUSTRATION DE LA NOTION DE FAMILLE DE PRODUIT

Supposons une installation fabriquant un produit A, pour lequel on doit faire fonctionner un four de séchage de deux façons différentes en raison du process : soit à 220°C dans le cas d'une "famille de produit" A.1, soit à 280°C dans le cas d'une "famille de produit" A.2.

Pour l'année de référence, les quantités produites sont égales pour les deux produits : 50.000 T, soit 100.000 T au total.

En ce qui concerne la consommation de gaz, on ne connaît (par un compteur) que le total annuel : 10.000 GJ.

Si, pour des raisons extérieures à la conduite de l'installation (évolution du marché, contraintes en matière de protection de l'environnement ...), la demande du produit A.2 augmente au détriment du produit A.1, on peut se retrouver dans la situation de l'année t, où le tonnage total produit est toujours de 100.000 T, mais où la proportion est devenue de 20.000 T pour le produit A.1 et 80.000 T pour le produit A.2.

La consommation d'énergie totale mesurée par le compteur va donc bien sûr augmenter même si les consommations spécifiques de production de chacun des produits ne varient pas. Si on ne crée pas de subdivision entre les familles de produit, cela va se traduire par une dégradation de la consommation spécifique globale, donc de l'efficacité énergétique (voir tableau 1 page suivante). Si on crée une subdivision entre les familles de produit, on pourra par contre démontrer que l'efficacité énergétique n'a en réalité pas varié, toujours dans l'hypothèse où les consommations spécifiques n'ont effectivement pas changé (voir tableau 2 page suivante).

Ainsi, comme illustré aux tableaux 1 et 2, et par un calcul simplifié :

Le chauffage à 220°C demande une puissance supposée proportionnelle à la différence de température vis à vis de l'ambiance, soit 200°K, et le chauffage à 280°C, à une différence de 260°K. On peut subdiviser le total de 10.000 GJ de l'année de référence par le calcul :

$$10.000 = 50.000 \cdot X + 50.000 \cdot X \cdot 260/200$$

où X est la consommation spécifique du produit de la famille A.1 pour l'année de référence.

On trouve $X = 0,08696 \text{ GJ} / \text{T}$, ce qui permet de calculer que la consommation de gaz liée à la production de 50.000 T de produit A.1 va être de $0,08696 \cdot 50.000 = \mathbf{4.350 \text{ GJ}}$, et que la consommation de gaz liée à la production de 50.000 T de produit A.2 va être de $0,08696 \cdot 260/200 \cdot 50.000 = \mathbf{5.650 \text{ GJ}}$, le total des deux consommations donnant bien **10.000 GJ**.

Pour l'année t maintenant, et en supposant bien inchangées les consommations spécifiques de l'année de référence, on va trouver une consommation de gaz de : $0,08696 \cdot 20.000 + 0,08696 \cdot 260/200 \cdot 80.000$, ce qui donne un total de **10.784 GJ**, avec une valeur de **1.740 GJ** pour le produit A.1 et **9.044 GJ** pour le produit A.2.



TABLEAU 1

	QUANTITE PRODUITE (T)		CONSOMMATION GAZ NATUREL (GJ)	
	année 0 (référence)	année t	année 0 (référence)	année t
PRODUIT A	100.000	100.000	10.000	10.784

$$IEE (t/0) = (10.784 / ((10.000 / 100.000) . 100.000)) . 100 = 107,8\%$$

TABLEAU 2

	QUANTITE PRODUITE (T)		CONSOMMATION GAZ NATUREL (GJ)	
	année 0 (référence)	année t	année 0 (référence)	année t
PRODUIT A	100.000	100.000	10.000	10.784
famille de produit A.1 four de séchage	50.000	20.000	4.350	1.740
famille de produit A.2 four de séchage	50.000	80.000	5.650	9.044

$$IEE (t/0) = (10.784 / ((4.350 / 50.000) . 20.000 + (5.650 / 50.000) . 80.000)) . 100 = 100,0\%$$

Il apparaît ainsi clairement qu'en l'absence de subdivision entre les familles A.1 et A.2, et alors que les conditions "énergétiques" de production (consommations spécifiques) sont inchangées, on ne pourrait que conclure à une dégradation de l'efficacité énergétique de cette partie de process de 7,8 % ; alors que la prise en compte de ces deux familles, chacune étant évaluée vis à vis de son niveau de production, va permettre de confirmer que l'efficacité énergétique est en réalité inchangée.



**ANNEXE TAB.2 : QUELQUES PRECISIONS
METHODOLOGIQUES**



QUELQUES PRECISIONS METHODOLOGIQUES

PRISE EN COMPTE D'UN SYSTEME DE COGENERATION

La méthode préconisée pour prendre en compte un système de cogénération produisant de l'électricité et de la chaleur à partir d'énergie achetée (généralement du gaz naturel) consiste à toujours affecter les gains de ce système de cogénération à l'entreprise où elle est installée, même si l'électricité fournie est en réalité renvoyée au réseau électrique.

En d'autres termes, même si l'entreprise a conclu un partenariat avec un fournisseur d'énergie électrique selon lequel, le plus souvent, la totalité de l'électricité et de la chaleur consommées sont directement facturées sans que n'apparaisse la quantité d'énergie achetée, on préférera ici traiter l'installation de cogénération comme interne à l'entreprise, inscrire en énergie achetée la quantité de combustible consommée (valeur généralement accessible même si pas directement facturée) et en utilités les quantités d'électricité et de chaleur produites.

On procède ensuite en accord avec les principes suivants :

- le combustible utilisé par la cogénération est comptabilisé en énergie achetée nécessaire à la production de deux utilités : l'électricité autoproduite d'une part, la chaleur autoproduite (généralement sous forme de vapeur ou d'eau chaude) d'autre part ;
- la répartition de cette consommation entre les deux utilités est réalisée en calculant l'enthalpie de l'utilité « chaleur » (vapeur, eau chaude ou autre) produite, en divisant ce chiffre par un rendement de production moyen réaliste (exemple : 90%), ce qui donne une quantité d'énergie achetée « correspondant à la production de la chaleur », puis en affectant le solde d'énergie achetée à la production d'électricité autoproduite ;
- il est donc clair que le bilan fera apparaître deux vecteurs « électricité » : l'un, rangé en « énergies achetées », correspondant à l'énergie électrique effectivement achetée au réseau et pour lequel on utilisera un rapport énergie finale / énergie primaire constant de 0,5 ; et l'autre, rangé en « utilités », correspondant à l'énergie autoproduite et pour lequel on utilisera un rapport énergie finale / énergie primaire spécifique à l'entreprise et à l'année de référence examinées, rapport qui devra être calculé par le bilan de production des utilités à partir des énergies achetées ;
- la situation ci-dessus correspond au cas le plus fréquent d'une production d'électricité autoproduite inférieure à la consommation électrique totale de l'entreprise, avec consommation de la totalité de la chaleur autoproduite ; dans le cas contraire (entreprise excédentaire en électricité ou en chaleur autoproduite), seule la part d'énergie achetée effectivement consommée par l'entreprise sous forme des utilités « électricité » et « chaleur » doit être comptabilisée, en accord avec les principes de calcul évoqués ci-dessus ;
- ces considérations reviennent en pratique à affecter le gain en énergie primaire lié à l'exploitation d'un système de cogénération, principalement à l'électricité autoproduite et non à la chaleur autoproduite : c'est effectivement ce qu'on peut considérer comme un reflet exact de la réalité physique de ce type de système.



VARIATION D'ENTHALPIE DE MATIERES PREMIERES

D'une manière générale, les matières premières ne sont pas intégrées à la comptabilité analytique des fluides et énergies.

Cependant, si la variation d'enthalpie (très généralement la combustion ou la réaction exothermique) d'une certaine quantité de matières premières ou de matières premières résiduelles permet de produire une énergie qui devrait sans cette réaction être produite à partir de combustibles classiques, et dans cette seule mesure, elle doit être prise en compte dans le bilan énergétique.

Pour ce faire, deux voies sont possibles :

- soit on crée en catégorie « production » un poste spécifique (une ligne du tableau de consommation) tenant compte de la réaction examinée ; la production de chaleur correspondante est alors mentionnée sur cette ligne, en colonne « utilité », affectée d'un chiffre négatif caractérisant une « consommation négative », donc une production ; dans ce cas, le bilan énergétique traduit sous forme de tableau ne fera bien apparaître qu'une partie de la quantité totale de chaleur consommée sur le site : celle qui provient des énergies achetées ou combustibles énergétiques classiques ; si, d'une année à l'autre, la quantité de matière première réagissant pour produire de l'énergie varie, le bilan n'en sera pas affecté puisque seul le solde de chaleur produite à partir de combustibles classiques apparaîtra ; cette façon de faire permet surtout de traiter le cas de la combustion de matières premières résiduelles : si on diminue la quantité de ces matières premières (par exemple par une amélioration du rendement intrinsèque du process), on ne « défavorise » pas pour autant le bilan énergétique de l'entreprise, ce qui aurait été injuste ; en corollaire, il faut noter que cette forme de comptabilisation ne permet pas de faire apparaître directement le rendement de cette réaction exothermique : on l'appliquera donc plus volontiers dans les cas où la réaction exothermique est figée et où on ne compte pas y introduire d'amélioration d'efficacité (ou on n'en a pas la possibilité) ;
- soit on traduit le bilan énergétique de l'entreprise, non pas sous la forme d'un seul tableau, mais bien par deux tableaux distincts : le premier est un tableau de consommation classique, qui ne comprend que des chiffres positifs correspondant à l'ensemble des consommations (en énergies achetées et en utilités) ; le second est son pendant en ce qui concerne la production de certaines utilités : il établit le bilan de la provenance de certaines utilités « chaleur » : celles qui proviennent de la combustion de combustibles classiques d'une part, celles qui proviennent d'une réaction exothermique à partir de matières premières d'autre part ; il est dès lors possible de visualiser l'importance de ces dernières et de ne pas non plus favoriser ou défavoriser le bilan énergétique en conséquence ; cette façon de procéder convient mieux aux cas où la réaction exothermique considérée n'est pas figée ou bien lorsqu'on veut se réserver la possibilité d'y apporter des améliorations d'efficacité.



COMPTABILISATION DE VECTEURS ENERGETIQUES UTILISES A DES FINS NON ENERGETIQUES

De façon assez évidente et en confirmation de ce qui est mentionné en note d'orientation (document de travail sur les modalités de mise en œuvre des accords de branche), seule la part des vecteurs énergétiques effectivement affectée à une production énergétique doit être comptabilisée dans le bilan : la part affectée à un autre usage (production) entre dans la catégorie des matières premières et n'est donc pas comptabilisée ici.



3 ECA - ENERGIES ACHETEES CONSOMMATION D'ELECTRICITE



3.1 INTRODUCTION

Ce chapitre passe en revue la colonne « électricité » du tableau de consommation.

A priori, la consommation d'électricité paraît facile à cerner : elle est relativement aisée à mesurer, et l'étalonnage et la fiabilité des compteurs utilisés sont souvent bons, ce qui n'est pas toujours le cas pour les débits de fluides ou de gaz. Il est cependant souvent plus difficile qu'on ne le croit de prime abord de connaître en détail la façon dont cette consommation se répartit entre ses différents usages (production et bâtiment sont ainsi rarement subdivisés au niveau des compteurs). De plus, il est rare que l'ensemble des utilisateurs soient effectivement couverts par des compteurs. Enfin, la part représentée par l'électricité dans la facture énergétique des entreprises, très variable suivant les secteurs, n'est jamais négligeable. Dès lors, l'analyse de la colonne « électricité » mérite une attention particulière.

3.2 DEFINITIONS DE BASE

On définit les conventions suivantes :

- les consommations électriques annuelles CONS sont estimées en kWh ; elles sont évaluées pour l'année de référence choisie ;
- ces consommations peuvent être considérées comme le produit d'une puissance moyenne consommée P_{cons} (exprimée en kW) par une durée de fonctionnement totale par an (exprimée en h, et valable, elle aussi, pour l'année de référence) ;
- la puissance consommée P_{cons} peut elle-même se définir comme le résultat de la multiplication de la puissance installée P_{inst} par un coefficient $f = P_{\text{cons}}/P_{\text{inst}}$, qui prend différents phénomènes en compte :
 - il existe un certain foisonnement, ou une non simultanété de fonctionnement, entre tous les utilisateurs intervenant dans un groupe (par exemple les composants d'une ligne de production) ;
 - il existe également souvent des équipements de sécurité, identiques à certains consommateurs importants mais constamment à l'arrêt, sauf en cas de panne à l'équipement principal ; leur puissance fait bien partie de la puissance installée du groupe, mais pas de sa puissance consommée ;
 - les machines ou installations électriques industrielles sont très souvent surdimensionnées par rapport à l'utilisation moyenne qui leur est réellement demandée ;
 - le moteur électrique équipant ces machines ou installations est lui-même généralement choisi avec une puissance supérieure à celle de la machine entraînée, ce qui constitue une deuxième cause de surdimensionnement ;
 - l'installation fonctionne à un régime variable qui, en moyenne, ne représente qu'une fraction de la capacité maximale.
- on a donc bien pour chaque équipement ou groupe d'équipements considéré :

$$\begin{aligned}\text{CONS (en kWh)} &= P_{\text{cons}} \text{ (en kW)} \times h \text{ (heures par an)} \\ &= P_{\text{inst}} \text{ (en kW)} \times f \text{ (sans dimension)} \times h \text{ (heures par an)} ;\end{aligned}$$



Suivant les cas, on aura accès, soit directement à CONS par des compteurs, soit à P_{cons} par des mesures, soit seulement à P_{inst} par des relevés. Ces différents cas sont passés en revue ci-après.

3.3 METHODOLOGIE GENERALE

La méthodologie générale à suivre se compose toujours des mêmes étapes :

- A. relever le total de la consommation électrique annuelle (donné par la facture) et le noter en dernière ligne du tableau de consommation, en bas de colonne « électricité » ;
- B. répertorier et valider les informations éventuellement disponibles par compteur pour certains consommateurs ou groupes de consommateurs ;
- C. répertorier, valider et au besoin remettre à jour la liste des valeurs de P_{inst} , les puissances installées ;
- D. réaliser la subdivision ou la désagrégation des valeurs compteurs entre les différents usages : soit entre utilisateurs de la même catégorie (exemple : subdiviser une valeur compteur portant sur un groupe de trois machines de production différentes, entre ces trois machines) ; soit entre différentes catégories (exemple : subdiviser la valeur compteur correspondant au bâtiment « x » entre les utilisateurs « production » et les utilisateurs « bâtiment » situés dans ce bâtiment « x ») ;
- E. compléter par des calculs les informations incomplètes données par les compteurs ;

Il est clair que dans le cas théorique (et jamais rencontré jusqu'à présent) où l'ensemble des informations données par les compteurs électriques correspondraient exactement à l'ensemble des lignes du tableau de consommation, les étapes C, D et E seraient inutiles.

3.4 EXAMEN DETAILLE DE CHAQUE ETAPE

3.4.1 Informations données par les compteurs (B):

La première opération à effectuer est la validation des informations données par les compteurs. Il importe dans ce cadre de vérifier leur bon fonctionnement (sont-ils en ordre, étalonnés ?), et également (on l'oublie trop souvent), de vérifier leur plage de fonctionnement : il se peut en effet qu'ils soient saturés lors de l'appel de puissances trop importantes ou au contraire que l'appel de puissances trop basses ne donne lieu à aucun enregistrement, suite à la mauvaise définition des T.I. (transformateurs d'intensité). Dans ces deux cas, la valeur enregistrée ne correspond pas à la consommation réelle. Pour valider les informations données par les compteurs si un doute existe, il peut s'avérer utile d'effectuer une mesure de vérification (par exemple à l'aide d'une pince ampèremétrique). Dans le cas où des anomalies sont constatées, il est préférable de ne pas considérer les valeurs compteurs et de les remplacer par des valeurs calculées (voir paragraphe E ci-dessous).

En deuxième lieu, il faut affecter les valeurs compteurs disponibles aux lignes précises du tableau de consommation, ou aux groupes de lignes, qu'elles concernent réellement. Il n'est pas inutile à ce sujet de vérifier la concordance des connexions de compteurs aux



départs des armoires électriques : il est en effet fréquent, en tout cas dans des installations relativement anciennes ayant déjà subi des modifications, que les dénominations des départs (et donc des compteurs associés) ne correspondent plus exactement au processus concerné (exemple classique : lors de l'augmentation de capacité de la ligne A, on a raccordé un des nouveaux sous-ensembles à une armoire électrique de la ligne B, qui était physiquement plus accessible, ou qui comportait plus d'espace de réserve : le compteur « ligne A » donne alors une valeur trop basse, et le compteur « ligne B », une valeur trop élevée, même si le total annuel reste bon).

En pratique, on note la valeur compteur face à l'équipement auquel elle se rapporte. Dans le cas où le compteur se rapporte à un groupe de lignes du tableau de consommation et non une ligne seule, on indique (par un cadre ou une annotation directe) la correspondance des valeurs compteurs avec un groupe de lignes. Voir à ce sujet une série d'exemples en annexe EL.1.

On peut remarquer que certains producteurs d'utilités sont fréquemment équipés de compteurs propres : c'est notamment le cas des compresseurs d'air ou des compresseurs de machines frigorifiques.

3.4.2 Liste des puissances installées P_{inst} (C):

En ce qui concerne les équipements électriques des catégories production ou utilités, les valeurs de P_{inst} sont généralement assez aisément accessibles dans l'entreprise : soit il en est fait mention sur les plaques signalétiques des machines, soit on dispose d'une liste de ces puissances pour des raisons autres qu'énergétiques et liées au permis d'exploitation ou à la taxe sur la force motrice. Cette liste n'est cependant pas toujours à jour, et il est utile de le vérifier. Quelques exemples d'une telle liste sont donnés en annexe EL.2.

Les équipements électriques appartenant à la catégorie bâtiment sont constitués d'appareils d'éclairage, de chauffage électrique, de conditionnement d'air ou de ventilation mécanique. Rappelons qu'on ne considère ici ces équipements que s'ils sont bien utilisés à maintenir dans l'enveloppe des bâtiments des conditions acceptables pour les personnes qui y travaillent. S'il s'agit d'autres motivations (exemples : chauffage électrique localisé dans un but de séchage, ventilation mécanique destinée à éviter la contamination d'un produit, ...), les équipements concernés doivent être rangés dans la catégorie production.

Ici aussi, il faut établir une liste des puissances installées, en les affectant avec précision aux bâtiments auxquels ils se rapportent. Ceci ne peut se faire qu'en parcourant l'ensemble des bâtiments et en y relevant les valeurs de puissance de façon exhaustive.

Une nuance s'impose cependant : d'une part, il est très fréquent que la puissance totale installée en bâtiment soit très largement inférieure à celle de production ; d'autre part, les puissances unitaires en bâtiment sont également très inférieures à celles rencontrées en production (exemple : un appareil d'éclairage de 100 W, à comparer à une machine de production de 50 kW). Pour ces raisons, on peut souvent se contenter d'un niveau de détail moindre en bâtiment qu'en production : ainsi en ce qui concerne l'éclairage, on peut éviter un relevé fastidieux de l'ensemble des puissances en subdivisant l'ensemble des bâtiments en catégories de niveau d'éclairement manifestement distinct (exemple : bureaux, halls de production, halls de stockage, magasins), en ne relevant la puissance



installée que sur une partie seulement (un échantillon) de chacune des catégories, en en déduisant une puissance installée par unité de surface, puis en généralisant cette valeur à l'ensemble de la catégorie. Voir à titre exemplatif l'annexe EL.3.

3.4.3 Désagrégation des valeurs compteurs (D):

Comme déjà dit plus haut, on dispose souvent de valeurs compteurs portant sur un ensemble d'éléments, c'est en pratique sur un ensemble de lignes du tableau de consommation. Il est donc nécessaire de décomposer ou de désagréger ces valeurs pour obtenir une valeur individuelle par ligne. Pour ce faire, en supposant que la valeur compteur CONS concerne n lignes différentes du tableau de consommation :

- soit on évalue par calculs séparés $(n-1)$ valeurs et on obtient le solde par différence ; c'est surtout dans le cas où les n éléments n'appartiennent pas à la même catégorie que cette méthode est employée (par exemple certaines machines de production groupées avec les consommations des équipements « bâtiment » du local où elles sont situées) ; pour ce qui est des méthodes de calcul, se reporter au chapitre E ci-après ;
- soit on décompose le total entre les n valeurs individuelles proportionnellement aux puissances installées P_{inst} ; il faut pour cela que les durées annuelles de fonctionnement h et les coefficients f des n composantes soient approximativement égaux entre eux, ce qui réserve souvent cette méthode aux équipements d'une même catégorie ;
- soit on décompose le total entre les n valeurs suivant une clé de répartition estimée sur base de l'expérience des exploitants de l'installation ;

Des exemples de tels cas sont donnés en annexe EL.4.

3.4.4 Calcul des consommations non accessibles à la mesure (E):

Le calcul s'effectue par la formule du bas du point 3.2 ci-dessus. Il s'agit toujours de multiplier une valeur de puissance (P_{cons} ou $P_{\text{inst}} \times f$) par une durée annuelle de fonctionnement h . Cette dernière est obtenue par calcul, relevé ou compteur et notée lors du remplissage préliminaire du tableau de consommation (voir chapitre 1).

Différents cas peuvent se présenter en ce qui concerne la puissance :

3.4.4.1 *Mesure des valeurs de P_{cons} :*

Dans certains cas, surtout en catégories production ou utilités, les installations fonctionnent à un régime nominal assez stable et ne sont pas soumises à des variations de charge trop nombreuses ou trop importantes. Il est alors utile d'effectuer des mesures de courant (généralement à la pince ampèremétrique), donc indirectement des mesures de la puissance P_{cons} , lorsque l'installation considérée fonctionne. Il est clair qu'il est nécessaire d'effectuer cette mesure à un régime de fonctionnement qui est bien celui rencontré en exploitation. On en trouve des exemples à l'annexe EL.5.



On peut également, dans le même ordre d'idée mais avec une précision moindre, partir d'une mesure de charge de transformateur plutôt que d'une mesure de courant électrique.

3.4.4.2 Evaluation du coefficient f :

Il n'est généralement pas toujours possible ni représentatif de mesurer P_{cons} . Il faut alors la calculer par :

$$P_{\text{cons}} = P_{\text{inst}} \times f.$$

Ce calcul simple appelle les remarques suivantes :

- P_{inst} est souvent connu (voir paragraphe C ci-dessus) mais il faut être attentif au « piège » possible déjà signalé : le relevé des puissances incorpore tous les équipements installés, y compris les équipements de réserve ou de sécurité. Il faut donc déduire ces derniers équipements de la puissance installée totale relevée pour obtenir une valeur représentative de la puissance (installée) réellement appelée.
- f peut être obtenu indirectement par calcul. En effet, si on effectue la mesure de P_{cons} (voir E.1) pour un équipement où P_{inst} est également connu, on peut en déduire la valeur correspondante de f . Par extension, on peut étendre cette même valeur de f aux autres équipements comparables de l'entreprise ; (exemple : un équipement de transfert produit présente une puissance installée P_{inst} de 18 kW, et on a pu mesurer une puissance consommée en régime nominal P_{cons} de 14,2 kW ; on en déduit $f = 0,79$; 3 autres équipements similaires sont présents dans l'usine et leurs puissances installées, connues par le listing interne, sont respectivement de 22, 14 et 10 kW ; on déduit par extension les puissances consommées moyennes suivantes : 17,4 kW ; 11,0 kW ; et 7,9 kW ; il ne reste plus qu'à multiplier ces valeurs par les durées annuelles de fonctionnement respectives pour obtenir les consommations calculées).
- dans tous les autres cas, il faut évaluer f : on commence par le considérer lui-même comme un produit : $f = f_1 \times f_2$

où f_1 tient compte du foisonnement et du surdimensionnement
 f_2 tient compte d'une charge moyenne < charge maximale.

f_2 ne repose que sur la connaissance par les exploitants de l'entreprise de la charge moyenne de fonctionnement de l'équipement considéré. Il s'agit bien de la fraction moyenne de la puissance maximale appelée, non de la puissance installée (exemple : pour un équipement capable de faire fonctionner la ligne à 60 m/min, si la vitesse moyenne de la ligne pour la période concernée a été de 47 m/min, $f_2 = 0,78$). Si l'installation concernée fonctionne à un régime constant ou quasi constant, $f_2 = 1$, bien entendu (voir E.1 ci-dessus).

f_1 se base également sur l'expérience pratique et la connaissance du dimensionnement utilisé, de la part des membres de l'entreprise. On peut cependant établir quelques ordres de grandeur à titre purement indicatif, les cas particuliers étant bien sûr très nombreux :



- machine de production isolée : 0,8 à 0,95 ;
 - ligne de production complète : 0,4 à 0,8 ;
 - pompe hydraulique : 0,6 à 0,75 ;
 - ventilateur industriel : 0,7 à 0,85 ;
 - éclairage : 1 ;
- il existe enfin des cas où le calcul de la consommation électrique utilise comme point de départ la prestation fournie par l'appareil et non sa puissance. L'exemple le plus courant est celui de pompes dont on connaît la puissance installée ainsi que le débit nominal, et pour lesquelles la quantité totale de liquide pompé est connue par ailleurs. Dans ce genre de cas, on estime d'abord un nombre équivalent d'heures de fonctionnement à puissance nominale (volume pompé / débit nominal), et on multiplie ce temps par la puissance absorbée en régime nominal, elle-même connue par la formule $P_{\text{inst}} \times f_1$ (f_2 n'intervenant plus puisqu'on parle d'un fonctionnement équivalent à régime nominal).

3.4.4.3 Cas particuliers du chauffage et du conditionnement d'air :

Il est très rare que les consommations d'électricité d'équipements de chauffage et de conditionnement d'air soient mesurées séparément : soit elles sont inconnues et il faut les calculer, soit elles sont incluses à des enregistrements compteurs « globaux bâtiments » ou même « globaux bâtiments + production », et il faut pouvoir les isoler.

Chauffage électrique :

une fois la puissance installée des équipements de chauffage connue, on peut estimer la consommation par la formule suivante :

$$\text{CONS} = (P_{\text{ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \quad (\text{en kWh})$$

où

- P_{ch} est la puissance installée de l'équipement de chauffage concerné (en kW) ;
- Δt_{dim} est la différence de température intérieur / extérieur de dimensionnement du chauffage (en °C – généralement 30 pour des bureaux et 25 pour des halls) ;
- h/j est le nombre d'heures par jour où le système de chauffage fonctionne (en heures/jour) ;
- $j/7$ définit la proportion de la semaine où le chauffage fonctionne (paramètre sans dimension) ;
- deg.jours est un paramètre utilisé par les professionnels du chauffage (ce paramètre s'exprime effectivement en °C.jour, et on vérifie ainsi que CONS s'exprime bien en kWh) ; il représente la somme des différences de température (extérieur – intérieur) moyennes journalières à compenser par le système de chauffage pour l'ensemble des jours de l'année ; les températures extérieures prises en compte varient d'un endroit à l'autre et d'une année à l'autre ; quant aux températures intérieures, elles dépendent du niveau de confort souhaité (dépendant de l'usage du local) et d'apports de chaleur autres que ceux provenant du chauffage lui-même (les occupants, l'éclairage interne, les apports solaires, ... etc) ; ce paramètre caractérise en fait le climat d'une année pour un



niveau de confort donné et il est disponible, en ce qui concerne la Belgique, auprès de l'Institut Royal Météorologique ; à titre indicatif, pour Uccle et en définition 16,5/16,5 (càd pour atteindre une température de 16,5°C suffisant au confort compte tenu des apports décrits ci-dessus), le nombre de deg.jours a été de 2829 pour 1996, 2326 pour 1997 et 2310 pour 1998 ;

Dans le cas où la précision avec laquelle cette consommation est calculée est vraiment importante, il est effectivement possible de s'adresser à l'Institut Royal Météorologique afin d'obtenir les valeurs de degrés.jours à prendre en compte (càd celles de l'année de référence examinée, pour la station météo la plus proche de la localisation de l'entreprise). Mais dans la plupart des cas, l'ordre de grandeur des consommations en chauffage électrique est nettement inférieur à celui des consommations électriques intervenant en production. On peut alors, avec une précision tout à fait acceptable, se référer à des valeurs de degrés.jours « normaux » établis pour la moyenne d'une série d'années de référence. Des valeurs utilisables dans le présent cadre sont données en annexe EL.6.

Les seules conditions de validité de la formule donnée en page précédente, et elles sont évidemment importantes, sont que, d'une part, la puissance de chauffage ait été correctement dimensionnée pour vaincre les déperditions du local en conditions extrêmes, et que d'autre part, une certaine régulation du chauffage soit opérée afin de réaliser la température de confort.

Si on s'éloigne manifestement de manière importante de ces conditions (notamment marche permanente quelles que soient les conditions extérieures et intérieures), il faut considérer un autre mode de calcul, basé sur la puissance et le temps totale de fonctionnement.

(exemple : si, dans un local donné, par manque de contrôle, on sait qu'un chauffage à résistance électrique de 2 kW fonctionne en permanence pendant 5 mois d'hiver, jour et nuit, quelle que soient les conditions extérieures, il vaut mieux calculer la consommation par :

$$\text{CONS} = 2 \times 24 \times 30 \times 5 = 7200 \text{ kWh}).$$

Conditionnement d'air :

différents type de calcul sont possibles. Le plus usuel est cependant le suivant :

$$\text{CONS} = P_{\text{cond}} \times 1/3 \times (h/j) \times (j/7) \times (j/\text{an}) \text{ (en kWh)}$$

où

- P_{cond} est la puissance installée de l'équipement de conditionnement d'air (kW) ;
- 1/3 est une valeur moyenne de f pour ce type d'équipement en Belgique ;
- h/j est le nombre d'heures de fonctionnement par jour, souvent 8 (bureaux) ;
- $j/7$ définit la proportion de la semaine où le système fonctionne ;
- j/an est le nombre de jours de fonctionnement par an, souvent 90 (3 mois) ;

Ici aussi, ce calcul peut être remplacé par des estimations plus simples dans le cas où le système de conditionnement n'obéit pas à une régulation maintenant une température de



confort interne. S'il fonctionne en permanence (par exemple parce qu'il sert à vaincre un apport de chaleur provenant d'une fabrication proche et non des conditions extérieures), il faut alors effectuer un calcul classique $P_{\text{cond}} \times \text{durée annuelle}$.

On reprend en annexe EL.5 des exemples illustrant les calculs évoqués ci-dessus.

3.5 BOUCLAGE FINAL

Lorsque les moyens d'estimation évoqués ci-dessus sont utilisés, tous ou en partie, et à des degrés divers, il faut vérifier qu'aucun double comptage n'a été effectué par erreur. Le risque existe effectivement puisque, dans la plupart des cas, on ajoute entre elles des valeurs mesurées et des valeurs calculées. Une vérification approfondie s'impose donc, avec, au besoin, mesure ponctuelle d'une valeur ou d'un ensemble de valeurs calculées.

La somme de toutes les valeurs de consommation (production, bâtiments et utilités) s'inscrit en avant-dernière ligne du tableau de consommation. La valeur totale de la facture d'électricité s'inscrit, elle, en dernière ligne de ce même tableau. On peut donc les comparer à l'issue de la vérification approfondie évoquée plus haut. Ces deux lignes sont censées être identiques pour qu'on puisse considérer l'exercice comme terminé. Dans le cas où la facture est relevée d'après comptage sur le primaire d'un transformateur (haute tension), alors que les compteurs internes et les valeurs calculées correspondent à des valeurs basse tension, une différence correspondant aux pertes du transformateur est normale et doit effectivement bien se retrouver. Dans ce seul cas, l'avant-dernière ligne doit être inférieure à la dernière de l'ordre de 2 à 3%.

Si la différence est trop importante (càd en pratique supérieure à un ordre de grandeur de 5%), il est préférable de revoir de façon cohérente certaines des hypothèses prises dans les calculs, en veillant bien à corriger l'ensemble des utilisateurs concernés par l'hypothèse modifiée. On peut par exemple modifier la durée totale annuelle, ou encore le coefficient f. Ce type de démarche mène ainsi à une itération sur le calcul de consommation globale, jusqu'à effectivement reconstituer la facture annuelle réelle d'électricité.



ANNEXE EL.1 : AFFECTATION DES VALEURS COMPTEURS



Les exemples qui suivent (dont les intitulés sont fictifs mais dont les chiffres correspondent à des cas réels rencontrés) montrent la façon dont les indications de compteurs électriques sont mises en correspondance avec les lignes ou groupes de lignes du tableau de consommation qui sont concernés.

Les totaux correspondant à une entité donnée sont notés dans la case en face du nom générique de cette entité.

Les lignes que regroupe une valeur compteur donnée sont entourées d'un cadre gras.

D'autres types de notation peuvent être ajoutées, dépendant de chaque cas particulier, pour autant qu'elles soient explicites et homogènes.

Ainsi, en reprenant l'exemple du tableau ci-après :

- 13.213.568 kWh est le total de toute la production (entité A + entité B) ;
- dans l'entité A, sous-ensemble « fabrication A », il existe un seul compteur, qui regroupe tous les utilisateurs de la fabrication, et dont la valeur totale annuelle pour l'année de référence étudiée est de 1.890.630 kWh ;
- dans l'entité A, sous-ensemble « fabrication B liquide », on dispose de deux compteurs : un pour l'ensemble des utilisateurs de la fabrication (idem que ci-dessus), dont la valeur annuelle est de 6.715.518 kWh ; et un compteur supplémentaire pour la seule « chaudière S », dont la valeur annuelle est de 1.057.848 kWh ; on note cette dernière entre parenthèses pour marquer le fait qu'elle est incluse à celle du total de l'entité ;
- dans les utilités, le compteur dénommé « chaudière C » regroupe en fait la consommation de la chaudière C et celle du déminéraliseur ; ce fait est indiqué par une annotation en toutes lettres.

			CONS. ELECTRIQUE (kWh)
		PRODUCTION	13.213.568
		1. ENTITE A	8.808.638
		1.1. Stock mat.prem.	
		1.2. Fabrication A	1.890.630
		nouveau brûleur	
		chaudière acide	
		venturi	
		tours	
		stockage (tanks)	202.490
		1.3. Fabrication B liquide	6.715.518
		brûleur de liquéfaction	
		liquéfaction	
		chaudière S	(1.057.848)
		2. ENTITE B	4.404.930
		MA	
		DA	
		2.1. MA - DA	2.073.150
		fabrication - sécheur	
		conditionnement - ensachage	
		1/5	
		2/6	796.690
		2.4. AP	1.535.090
		BATIMENTS	2.909.495
		Halls industriels	1.336.174
		broyage	
		hall P	
		hall + magasin pièces rechange	
		atelier de maintenance (méc. + électr.)	449.098
		magasin général	89.730
		pont bascule	
		hydro	
		stockage sil	
		hall S	
		stockage B	
		hall chaudières	
		hall CM	
		atelier bi-	
		hall expédition II	
		magasin bi- expédition II - hall bi-	
		remise loco	21.830
		hall D	
		hall ST- Euro	
		magasins ST- Euro	
		hall z	
		labo - recherche	775.516
		Bureaux	1.573.321
		bureau DG	112.730
		bureau Euro	119.250
		bureau du siège	46.350
		bloc social (av. labo an. et informatique)	1.264.800
		bureaux D et atelier	
		bureaux - ateliers E - P	30.191
		UTILITES	16.807.510
		vapeur 2 bar	
		vapeur 12 bar	
		chaudières du P	610.000
		chaudière hydro	
		vapeur 15 bar	
		vapeur 30 bar	
		chaudière C	4.112.400
		chaudière B	1.231.760



ANNEXE EL.2 – LISTE DES PUISSANCES INSTALLEES



Les exemples qui suivent proviennent de cas traités par la méthode EPS et illustrent la notion bien connue de liste des puissances installées, avec des exemples réels de différents types d'informations qui peuvent y figurer.



Relevé général année 1999

	n Kw	Dates d'utilisation	n Mois
		du	
Ligne de réception n° 1	80,07	01/07 au 31/12	6
Ligne de réception n° 2	90,24	01/04 au 30/11	8
Ligne de réception n° 3	83,32	01/01 au 29/02 et 01/07 au 31/12	8
Ligne de blanchiment n° 1	96,53	01/01 au 29/02 et 01/07 au 31/12	8
Ligne de blanchiment n° 2	112,08	01/07 au 31/12	8
Ligne de blanchiment n° 3	213,44	01/04 au 30/11	8
Ligne de blanchiment n° 4	173,1	01/01 au 31/12	12
Ligne racines	176,18	01/01 au 29/02 et 01/07 au 31/12	8
Recalibrage racines	11,55	01/01 au 28/02	2
Ligne haricots n° 1	70,43	01/08 au 30/09	2
Ligne haricots n° 2	61,59	01/08 au 30/09	2
Ligne déchets haricots	22,3	01/08 au 30/09	2
Ligne préblanchiment riz	7,05	01/01 au 31/12	12
Ligne choux de Bruxelles	9,15	01/10 au 31/12	12
Frigos n° 1 - 2 - 3 - 4	131,25	01/01 au 31/12	12
Tunnel n° 1	162,31	01/07 au 31/12	8
Tunnel n° 2	162,49	01/07 au 31/12	8
Tunnel n° 3	216,04	01/04 au 30/11	8
Tunnel n° 4	455,95	01/01 au 31/12	12
Salle de calibrage n° 1	36,86	01/07 au 31/12	8
Salle de calibrage n° 2	46,4	01/01 au 29/02 et 01/07 au 31/12	8
Salle de calibrage n° 3	41,96	01/07 au 31/12	8
Salle blanc	124,54	01/04 au 30/06	3
Atelier service technique	39,55	01/01 au 31/12	12
Salle des machines Stevens Tunnel n° 4	1541	01/01 au 31/12	12
Salle des machines Stevens Tunnel n° 3	488	01/04 au 30/11	8
Salle des machines Schatten	1804,94	01/07 au 31/12	8
Salle des machines frigo n° 3	395,05	01/01 au 31/12	12
Salle des machines frigos n° 1 et 2	429,14	01/01 au 31/12	12
Quai chargement frigo 3	2,2	01/01 au 31/12	12
Local des chaudières	184,355	01/01 au 31/12	12
Puits n° 1 - 2 - 4 - 5	71	01/01 au 31/12	12
Magasin Jumat	130,3	01/01 au 31/12	12
Station irrigation	508,05	01/05 au 31/10	6
Hydrasives	50	01/01 au 31/12	12
Conditionnement Ligne aquarius 1	25,58	01/01 au 31/12	12
Conditionnement Ligne aquarius 2	25,9	01/01 au 31/12	12
Conditionnement Ligne cartons 3	20,04	01/01 au 31/12	12
Conditionnement Ligne 4	27,16	01/01 au 31/12	12
Conditionnement Ligne 5	3,69	01/01 au 31/12	12
Conditionnement Ligne sortie frigo	18,47	01/01 au 31/12	12
Ligne Dumon	12,29	01/01 au 31/12	12
Machines Diverses	1,85	01/01 au 31/12	12
Hall Stockageer	500,84	01/09 au 31/12	4

Total GENERAL : 8864,235 Kw



Groupe	Libelle	Puissance (Kw)	Nœud	Mesure (Kw)	Remarque
CMI	Ventilateur de Tirage	205	cm-2	74	3000 V / 26 A
CMI	Pompe à réactifs	0,09	cm-81		
CMI	Agitateur Bidon à réactifs	0,09	cm-80		
CMI	Pompe Alimentation	75	cm-23		Moteur à l'arrêt
CMI	Pompe Alimentation - reserve	75	cm-23	51	
CMI	Moteur Reineke	0,75	cm-143		
CMI	Ventilateur Torche pilote	7,5	cm-18		
CMI	Pompe Mazout CMI	15	cm-15		
CMI	Pompe Mazout CMI - reserve	15	cm-15		
CMI	Ventilateur soufflage CMI	170	cm-1	67	3000 V / 19 A
CMI	Vapo Inférieur (supprimé)	18,5	cm-27		
CMI	Vapo Inférieur (supprimé)	18,5	cm-27		
CMI	Vapo Supérieur	55	cm-25		Moteur à l'arrêt
CMI	Vapo Supérieur	55	cm-25	46	
P205	Ventilateur Principal 1	30	ch-100A		Moteur à l'arrêt
P205	Ventilateur Principal 2	30	ch-100A		Moteur à l'arrêt
P205	Ventilateur Principal 3	30	ch-100A		Moteur à l'arrêt
P205	Ventilateur Principal 4	30	ch-100A		Moteur à l'arrêt
P205	Pompe Mazout 1	4	ch-100b		
P205	Pompe Mazout 2	4	ch-100b		
P205	Pompe Mazout 3	4	ch-100b		
P205	Pompe Mazout 4	4	ch-100b		
P205	Ventilateur Auxiliaire 1	1,1	ch-100c		
P205	Ventilateur Auxiliaire 2	1,1	ch-100c		
P205	Ventilateur Auxiliaire 3	1,1	ch-100c		
P205	Ventilateur Auxiliaire 4	1,1	ch-100c		
P205	Pompe Alimentation 1 - 2	37	ch-104		Moteur à l'arrêt
P205	Pompe Alimentation 3 - 4	37	ch-104		Moteur à l'arrêt
P205	Pompe Alimentation réserve	37	ch-104		Moteur à l'arrêt
P205	Agitateur Bidon à réactifs	0,75	ch-116		
P205	Pompe Réactifs	0,09	ch-121		
P205	Pompe Vide Cave	3	ch-127		
P205	Pompe eau dégourdissage	5,5	ch-108		
P205	Pompe eau dégourdissage - reserve	5,5	ch-108		
P205	Pompe Mazout	7,5	ch-114		
P205	Pompe Mazout - Reserve	7,5	ch-114		
Hydro	Ventilateur Principal	30	hy-32	15	
Hydro	Ventilateur Auxiliaire	1,1	hy-33		
Hydro	Pompe Alimentation Chaudière	5,5	hy-98		
Hydro	Pompe Alimentation Chaudière - reserve	5,5	hy-98		
Hydro	Pompe Mazout	4	hy-31		
Hydro	Pompe Mazout Station Pompage	5,5	bi-6		
Hydro	Pompe Mazout Station Pompage - reserve	5,5	bi-6		
Ben	Ventilateur BERI - 1	55	br-1	46	
Ben	Ventilateur BERI - 2	55	br-1	52	
Ben	Compresseur Francois	7,5	br-12		
Ben	Pompe Mazout	5,5	br-3		
Ben	Pompe Mazout - Reserve 1	5,5	br-3		
Ben	Pompe Mazout - Reserve 2	5,5	br-3		
Ben	Pompe Alimentation Chaudière	75	br-6		Moteur à l'arrêt
Ben	Pompe Alimentation Chaudière - Réserve	75	br-6	72	
Ben	Pompe Doseuse traitement eau	0,09	cm-71		
Ben	Agitateur Bidon à réactifs	0,25	cm-72		
Epu Eau	Pompe Condensat P205 vers CMI	15	ch-117		
Epu Eau	Pompe Condensat P205 vers CMI -reserve	15	ch-117		
Epu Eau	Pompe Condensat Hydro vers SO2	7,5	hy-137		
Epu Eau	Pompe Condensat Hydro vers SO2 -reserve	7,5	hy-137		
Epu Eau	Pompe Chlorure ferrique	0,09	cm-69		
Epu Eau	Pompe Chlorure ferrique - reserve	0,09	cm-69		
Epu Eau	Extracteur sous trémie à chaux	0,2	cm-60		
Epu Eau	Pompe à lait de chaux	1,5	cm-66		
Epu Eau	Pompe à lait de chaux - reserve	1,5	cm-66		
Epu Eau	Agitateur Bac à lait de Chaux	15	cm-79		
Epu Eau	Pompe lavage filtre ancienne inst	3	cm-76		
Epu Eau	Surpresseur Epu Eau ancienne Inst	5,5	cm-77		
Epu Eau	Pompe lavage filtre Nouvelle inst	4	cm-85		
Epu Eau	Surpresseur Epu Eau Nouvelle Inst	5,5	cm-86		
Epu Eau	Pompe recirculation SEE	4	cm-65		
Epu Eau	Nourrice HCI P12 - SEE	0,55	cm-p12		
Epu Eau	Nourrice HCI P13 - SEE - Reserve	0,55	cm-p13		
Epu Eau	Nourrice HCL P43 - Degraimont	?	cm-p43		
Epu Eau	Nourrice HCL P44 - Degraimont - Reserve	?	cm-p44		
Epu Eau	Pompe Soutirage Tank HCI	?	cm-83		
Epu Eau	Nourrice NAOH P14 - SEE	0,55	cm-p14		
Epu Eau	Nourrice NAOH P15 - SEE - Reserve	0,55	cm-p15		
Epu Eau	Nourrice NAOH P47 - Degraimont	0,55	cm-p47		
Epu Eau	Nourrice NAOH P48 - Degraimont - Reserve	0,55	cm-p48		
Epu Eau	Pompe Soutirage Tank NAOH	?	cm-82		
Epu Eau	Pompe Eau Démin. P45 - Degrémont	7,5	cm-p45		
Epu Eau	Pompe Eau Démin. P46 - Degrémont - Reserve	7,5	cm-p46		
Epu Eau	Pompe Vidange Eau	7,5	cm-139		
Epu Eau	Pompe Vidange Eau - Reserve	7,5	cm-139		
Epu Eau	Pmp Alimentation Degazeur CMI	22	cm-22		Moteur à l'arrêt
Epu Eau	Pmp Alimentation Degazeur CMI - reserve	22	cm-22	13	



Groupe	Libelle	Puissance (Kw)	Nœud	Mesure (Kw)	Remarque
Epu Eau	Pmp vers bache degazante BER:	11	cm-29		
Epu Eau	Pmp vers bache degazante BER: - reserve	11	cm-29		
Epu Eau	Pmp Eau vers Zeoline	7,5	cm-30		
Epu Eau	Pompe Eau P20 - SEE1	11	cm-p20		
Epu Eau	Pompe Eau P21 - SEE1 - Reserve	11	cm-p20		
Epu Eau	Pompe Eau P41 - Degremont	30	cm-p41		
Epu Eau	Pompe Eau P42 - Degremont - Reserve	30	cm-p41	30	
Epu Eau	Pompe de Refroidissement	7,5	cm-141		
Epu Eau	Pompe de Refroidissement - Reserve	7,5	cm-141		
Epu Eau	Pompe Dénitrifiée SEE2	11	cm-61		
Epu Eau	Pompe Dénitrifiée SEE2 - Reserve	11	cm-61		
Contact	Pompe Alimentation Eau Décarbonatée contact	22	cm-p53		Moteur à l'arrêt
Contact	Pompe Alimentation Eau Décarbonatée - contact - Reserve	22	cm-p53	14	
Contact	Pompe Alimentation Eau Démin.	18,5	cm-p51		
Contact	Pompe Alimentation Eau Démin. - reserve	18,5	cm-p51		
Contact	Pompe vidange réfrigérant	1,5	u-p470		
Contact	Pompe de Production	11	u-p460		
Contact	Pompe Absorption Fingie	30	u-p450	22	
Contact	Pompe Boucle eau démin	11	u-p483		
Contact	Pompe Boucle eau démin -reserve	11	u-p483		
Contact	Pompe Absorption Intermediaire	45	u-p441	42	
Contact	Pompe de Refroidissement Conduct Venturi	3	u-p442		
Contact	Pompe Venturi	75	u-p440		Moteur à l'arrêt
Contact	Pompe Sechage	30	u-p420	37	
Contact	Pompe Huile Turbo Soufflante	11	u-c400		
Contact	Pompe Huile Moto Soufflante	3	u-c300 A2		
Contact	Moteur Moto Soufflante	1090	u-c300 A1		Moteur à l'arrêt
Contact	Pompe Alimentation Chaudiere Venturi	15	u-p710		
Contact	Pompe Alimentation Chaudiere Venturi - Reserve	15	u-p710		
Contact	Pompe à Réactifs pour chaud HP et BP	0,09	u-p57		
Contact	Pompe à Réactifs pour chaud HP et BP	0,09	u-p57		
Contact	Motopompe alimentation chaudiere HP	90	u-p300	70	
Contact	Agitateur Bac à réactif	0,25	u-m60		
Contact	Petite Pompe Gazoil	0,55	u-p62		
Contact	Grosse Pompe Gazoil	2,2	u-p61		
Contact	Moteur Bruleur Saacke	5,5	u-f200		
Contact	Ventilateur Primaire	22	u-c200	16	
Contact	Pompe à soufre contact	5,5	u-p302		
Contact	Pompe à soufre contact reserve	5,5	u-p302		
Contact	Pompe à soufre contact reserve	5,5	u-p302		
SO2	Pompe Mobile Huile Compresseur	1,5	sl-35		
SO2	Pompes Huiles Compresseur 1	1,5	sl-1 A2		
SO2	Pompes Huiles Compresseur 2	1,5	sl-1 A2		
SO2	Pompes Huiles Compresseur 3	1,5	sl-1 A2		
SO2	Pompes Huiles Compresseur 4	1,5	sl-1 A2		
SO2	Pompes Huiles Compresseur 5	1,5	sl-1 A2		
SO2	Compresseur 1	75	sl-1 - A1	75	
SO2	Compresseur 2	75	sl-1 - A1		Moteur à l'arrêt
SO2	Compresseur 3	75	sl-1 - A1	75	
SO2	Compresseur 4	75	sl-1 - A1	75	
SO2	Compresseur 5	75	sl-1 - A1		Moteur à l'arrêt
SO2	Pompe Expédition	5,2	SL-23		
SO2	Soufflante	200	sl-11	170	
SO2	Pompe Absorption	18,5	sl-29		
SO2	Pompe Absorption - Réserve	18,5	sl-29		
SO2	Pompe Sechage	37	sl-18	36	
SO2	Pompe Sechage - Réserve	37	sl-18		Moteur à l'arrêt
SO2	Pompes Alimentations Chaudières	22	sl-16	22	
SO2	Pompes Alimentations Chaudières -Réserve	22	sl-16		Moteur à l'arrêt
SO2	Pompe Fuel	0,37	sl-26		
SO2	Ventilateur Refroidissement	11	sl-25		
SO2	Ventilateur Air de Combustion	230	sl-14	88	
SO2	Pompes à soufre	2,2	sl-20		
SO2	Pompes à soufre - Réserve	2,2	sl-20		



ANNEXE EL.3 – RELEVÉ SIMPLIFIÉ DES PUISSANCES D'ÉCLAIRAGE



Dans l'exemple suivant, il aurait été extrêmement fastidieux de relever les puissances installées en éclairage pour l'ensemble de la surface concernée (68.784 m² !).

On a donc plutôt d'abord subdivisé l'ensemble de l'usine en quatre zones plus ou moins homogènes, dont le niveau d'éclairement est distinct de celui des autres zones : bureaux, vestiaires, ateliers « clairs » et ateliers « sombres ».

On a ensuite mesuré la puissance d'éclairage réellement installée dans un échantillon de chacune de ces quatre zones, et on a ramené cette valeur à une puissance spécifique : les valeurs obtenues dans le cas présent se sont respectivement établies à 7, 15, 60 et 66 W/m².

On a alors généralisé ces valeurs à l'ensemble des locaux de chacune des zones.

La multiplication des puissances ainsi obtenues par la surface de chaque local et par la durée de fonctionnement estimée de l'éclairage donne bien une approximation suffisamment précise de la consommation d'électricité en éclairage, tel qu'on peut le voir au tableau ci-après.



ANNEXE EL.4 – DESAGREGATION DES VALEURS COMPTEURS



- Dans les deux premiers exemples ci-après, les valeurs globales de consommation électrique d'une ligne ou d'un produit donnés ont été subdivisées entre les différentes parties de la ligne au prorata des puissances installées.
- Dans le troisième exemple coexistent différents modes de calcul :
 - pour le service S, on disposait d'une mesure pour le total du service ; pour les composantes dont on connaissait la durée annuelle de fonctionnement, notée en deuxième colonne, on a calculé la consommation (par la formule $P_{\text{inst}} \times f \times h$) ; pour celles qui restaient, on a subdivisé le total mesuré moins le total calculé ci-dessus au prorata des puissances installées, étant donné que ces équipements fonctionnaient dans le même service, donc à peu près tous suivant le même schéma ;
 - pour la ligne 1, on disposait d'une mesure ne portant que sur certaines des composantes (l'ensemble des postes « laveuse + pompe », « laveurs caisses », « process – pompes » et « manutention ») ; pour subdiviser cette mesure entre ses composantes, on l'a fait au prorata des puissances installées ; pour les autres valeurs, « extérieures » à la mesure, on a effectué un calcul (par la formule $P_{\text{inst}} \times f \times h$) ; la consommation de la ligne a donc été donnée par une somme de valeurs calculées et mesurées ;
 - pour le service manutentions, on disposait également d'une valeur globale mesurée ; pour la subdiviser, on a procédé à une évaluation simplifiée par clés de répartition, ne disposant d'aucune autre possibilité (40% pour PV et PP ; 5% pour chacune des quatre autres composantes).
- Enfin, dans le quatrième exemple, seules les valeurs globales de chaque stade de fabrication étaient connues par mesure. La subdivision entre chacune des cuves s'est faite au prorata des valeurs théoriques calculées en tenant compte du nombre et de la durée de chaque batch produit, ainsi que de la puissance réellement appelée (P_{cons}) par l'agitateur des cuves.



ENTREPRISE XY - REPARTITION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES LIGNES				
Produit / partie de ligne	cons. électr. production (kWh)	puiss.installée (kW)	% de puissance totale (kW)	cons.électr. détaillée (kWh)
RACINES T1	1.183.345			
réception extérieure		39	2,3	27.485
réception intérieure		34	2,0	23.788
cuisine, épluchage		146	8,6	102.279
cuisine, pompage		42	2,5	29.362
cuisine, triage		4	0,2	2.661
cuisine, amont blancheur		5	0,3	3.186
cuisine, ligne blanchiment		64	3,8	44.837
tunnel		162	9,6	113.784
compresseur frigo tunnel		1.116	66,0	781.483
aval tunnel		45	2,7	31.722
nettoyage		33	1,9	22.758
TOTAL		1.690	100,0	1.183.345
RACINES T2	2.799.550			
réception extérieure		39	2,3	65.024
réception intérieure		34	2,0	58.277
cuisine, épluchage		146	8,6	241.971
cuisine, pompage		42	2,5	69.464
cuisine, triage		4	0,2	6.295
cuisine, amont blancheur		5	0,3	7.538
cuisine, ligne blanchiment		64	3,8	106.076
tunnel		162	9,6	269.190
compresseur frigo tunnel		1.116	66,0	1.848.828
aval tunnel		45	2,7	75.047
nettoyage		33	1,9	53.841
TOTAL		1.690	100,0	2.799.550
RACINES T3	5.349			
réception extérieure		39	2,3	125
réception intérieure		34	2,0	108
cuisine, épluchage		146	8,7	464
cuisine, pompage		42	2,5	133
cuisine, triage		4	0,2	12
cuisine, amont blancheur		5	0,3	14
cuisine, ligne blanchiment		64	3,8	203
tunnel		156	9,3	496
compresseur frigo tunnel		1.116	66,3	3.546
aval tunnel		45	2,7	144
nettoyage		33	1,9	103
TOTAL		1.683	100,0	5.349
RACINES T4	3.954.150			
réception extérieure		39	1,6	63.114
réception intérieure		34	1,4	54.624
cuisine, épluchage		146	5,9	234.866
cuisine, pompage		42	1,7	67.424
cuisine, triage		9	0,4	15.019
cuisine, amont blancheur		6	0,2	9.648
cuisine, ligne blanchiment		117	4,7	187.703
tunnel		456	18,5	733.173
compresseur frigo tunnel		1.532	62,3	2.463.475
aval tunnel		45	1,8	72.843
nettoyage		33	1,3	52.260
TOTAL		2.459	100,0	3.954.150
TOTAL RACINES	7.942.394			
réception extérieure				155.748
réception intérieure				134.796
cuisine, épluchage				579.581
cuisine, pompage				166.382
cuisine, triage				23.987
cuisine, amont blancheur				20.386
cuisine, ligne blanchiment				330.820
tunnel				1.116.643
compresseur frigo tunnel				5.097.332
aval tunnel				179.755
nettoyage				128.963
TOTAL				7.942.394



			MESURE	REPART. PROD.
LIGNE A			4.404.930	4.404.930
	MA			
	DA			
1. MA - DA			2.073.150	
	fabrication - sécheur			1.451.205
	conditionnement - ensachage			497.556
	1/5			124.389
	2/6		796.690	796.690
2. AP			1.535.090	1.535.090
LIGNE B			11.711.610	11.711.610
1. Général ST				
	carbonate		617.610	617.610
	partie humide		6.291.000	1.069.470
	atomisation			2.579.310
	calcination et refroidissement			1.509.840
	traitement ST - autres			1.132.380
2. ST lourd			4.803.000	
	calcinateur			1.681.050
	traitement et refroidissement			720.450
3. Sels spéciaux				
	partie humide			480.300
	calcinateur et refroidissement			1.200.750
	traitement			48.030
4. Conditionnement Euro				672.420
LIGNE C			10.023.600	10.023.599
1. Fabrication a			8.243.100	1.007.973
2. Fabrication b				
	aluminates			810.010
	gélotion			256.789
	cristallisation			966.795
	filtration			779.574
	évaporation			673.943
	séchage			985.977
	autres			1.413.618
3. Compresseurs				1.348.420
4. Pompes eau de rivière propres			1.780.500	1.780.500



Service	Production	Consommation
		électrique
	(h/an)	(kWh/an)
Service S	3.442	1.028.306
L1	1.000	21.749
L2	1.000	23.289
L3	1.000	24.549
L4	1.000	23.345
fonte	2.500	190.662
trois désaérateurs		266.175
circulation eau chaude		441.000
stockage F		1.651
stockage cuves		1.681
surpresseur (transfert)	375	11.812
surpresseur déchargement	186	1.953
deux silos (2*60T)	8.760	0
pesée	1.000	20.440
Ligne 1	1.789	494.235
dépallétiseur		20.967
transp caisses vides		24.380
laveuses + pompes		164.588
laveurs caisses		26.835
process - pompes		93.028
manutention		112.883
transp caisses pleines		12.881
pallétiseur		16.946
accessoires neufs + usagés		21.727
nettoyage machines		0
Manutentions		1.172.486
PV	6.000	468.995
PP	6.000	468.995
PN	6.000	58.624
robot DO		58.624
robot transfert		58.624
garage autoleveurs		58.624



ENTREPRISE XY - Consommation électrique des cuves															
cuve	puis.électr. agitat. (kW)	stade 1				stade 2				stade 3				cons.électr. totale cuve (kWh)	
		nbre batches	durée (h)	cons.théor. (kWh)	cons.réelle (kWh)	nbre batches	durée (h)	cons.théor. (kWh)	cons.réelle (kWh)	nbre batches	durée (h)	cons.théor. (kWh)	cons.réelle (kWh)		
P1	45	34	85	130.050	48.119	0	0	0	0	56	34,7	87.444	32.354	80.473	
P2	51	77	87,7	344.398	127.427	0	0	0	0	9	38	17.442	6.454	133.881	
P3	10,3	0	0	0	0	181	27	50.336	18.624	0	0	0	0	18.624	
P4	10,3	0	0	0	0	179	28	51.624	19.101	0	0	0	0	19.101	
P5	16,2	34	61,7	33.984	12.574	18	27	7.873	2.913	50	36,5	29.565	10.939	26.426	
P6	32	87	66,5	185.136	68.500	2	27	1.728	639	9	25	7.200	2.664	71.804	
P7	14,7	48	61,6	43.465	16.082	0	0	0	0	54	36,6	29.053	10.750	26.832	
P8	14,7	101	66,5	98.733	36.531	0	0	0	0	0	0	0	0	36.531	
P9	14,7	50	70	51.450	19.037	0	0	0	0	77	27	30.561	11.308	30.344	
P10	14,7	90	71	93.933	34.755	0	0	0	0	0	0	0	0	34.755	
P11	85	13	85	93.925	34.752	0	0	0	0	107	30,7	279.217	103.310	138.062	
P12	85	88	85	635.800	235.246	0	0	0	0	0	0	0	0	235.246	
					633.023					41.278					177.778



**ANNEXE EL.5 – EXEMPLES DE CALCUL (P_{CONS} ET
BATIMENTS)**



- Le premier des tableaux suivants donne un aperçu du cas « mesure des puissances consommées » P_{cons} : la première colonne donne en effet accès à des valeurs mesurées par les compteurs électriques en place ; plutôt que d'utiliser directement ces valeurs et éventuellement de les subdiviser (par exemple au prorata des puissances installées), on a préféré effectuer une mesure de toutes les puissances réellement consommées P_{cons} (à la pince ampèremétrique) et on a multiplié ces valeurs de puissance par les durées annuelles de fonctionnement pour obtenir les consommations mentionnées en deuxième colonne ; il est intéressant de constater que les totaux obtenus pour l'ensemble de l'entité correspondent étonnamment bien, mais que les sous-totaux ne sont, eux, pas en concordance : il s'agit donc vraisemblablement du cas de figure évoqué au point 3.4.1 lors de l'affectation des compteurs : raccordement de certains utilisateurs d'une ligne sur le compteur d'une autre ligne.
- Dans le deuxième exemple, on voit que les informations données par les compteurs en ce qui concerne les consommations électriques « bâtiments » sont très fragmentaires (voir colonne MESURE CONS EL TOTALE) ; on procède alors à des calculs qui, pour ce qui concerne le chauffage et le conditionnement d'air, utilisent les formules évoquées au point 3.4.4.3 ; on utilise ces valeurs calculées partout, sauf pour les quelques locaux où une valeur compteur est disponible (voir dernière colonne du tableau).



			MESURE	CONSUMMATION
				ELECTRIQUE
			(kWh)	(kWh)
		1. ENTITE A		
		1.1. Stock mat.prem.		0
		1.2. Fabrication A	1.890.630	
		nouveau brûleur		1.352.236
		chaudière acide		0
		venturi		747.360
		tours		794.235
		stockage (parc à tanks)	202.490	202.490
		1.3. Fabrication B liquide	6.715.518	
		brûleur de liquéfaction		2.083.640
		liquéfaction		2.825.025
		chaudière S	(1.057.848)	1.057.848
		TOTAL ENTITE A	8.808.638	9.062.834
		SOUS-TOTAL FABRICATION A	2.093.120	3.096.321
		SOUS-TOTAL FABRICATION B liquide	6.715.518	5.966.513



			puissances installées			MESURE	consos calculées			
			éclairage	chauff. élec.	climatisation	CONS EL TOTALE	conso éclairage	conso chauffage	conso clim.	conso totale BAT
			kW	kW	kW	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Halls industriels										
broyage			7	4				3.080		3.080
hall P			47	15	10			11.427	2.700	14.127
hall + magasin pièces rechange			52	13	30			10.010	8.100	18.110
atelier de maintenance			17	5	10	398.196	132.000	4.112	2.700	138.812
atelier électrique			4	2	10	50.902	32.000	1.540	2.700	36.240
magasin général						89.730				0
pont bascule			3		20		24.000		5.400	29.400
hydro			24	56	15		192.000	43.120	4.050	239.170
stockage sil			12	4	2		96.000	3.080	540	99.620
hall S			13	6	15		104.000	4.620	4.050	112.670
stockage B										0
hall chaudières			22		15		176.000		4.050	180.050
hall CM			11	4	4		88.000	3.080	1.080	92.160
atelier bi-			0	0	0		0	0	0	0
hall expédition II			21	4	15		168.000	3.080	4.050	175.130
magasin bi- expédition II - hall bi-			25	71	25		200.000	54.670	6.750	261.420
remise loco						21.830				0
hall D			16	9	23		128.000	6.930	6.210	141.140
hall ST - Euro			47	4	4		376.000	3.080	1.080	380.160
magasins ST - Euro			8	6	1		64.000	4.620	270	68.890
hall z			47	14	8		376.000	10.780	2.160	388.940
labo recherche						775.516				0
Total halls			376	217	207	1.336.174	2.156.000	167.229	55.890	2.379.119



**ANNEXE EL.6 – VALEURS DE DEGRES.JOURS
« NORMAUX »**



DEGRES.JOURS "NORMAUX" SIMPLIFIES		
altitude	bureaux	halls industriels
altitude < 200 m	2.550	1.700
altitude de 200 à 400 m	2.900	2.000
altitude > 400 m	3.500	2.500

remarques :

- les valeurs "bureaux" correspondent à des deg.jours 16/16
- les valeurs "halls" correspondent à des deg.jours 13/13



4 ECA – ENERGIES ACHETEES CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES



4.1 INTRODUCTION

La deuxième grande catégorie d'énergies achetées, après l'électricité, est celle des combustibles. A chaque combustible correspond une colonne au tableau de consommation, qu'il faut maintenant compléter.

Il peut s'agir de combustibles utilisés en phase gazeuse (essentiellement gaz naturel, mais aussi gaz en bouteille - propane, butane - ou LPG), de combustibles liquides (fuel lourd, gasoil,...) ou de combustibles solides (charbon, lignite, bois,...). On ne traite cependant ces éléments dans le présent chapitre que s'ils sont réellement utilisés en tant qu'énergie achetée. S'ils interviennent en tant que matière première dont le contenu énergétique est partiellement récupéré, ils ne sont pas comptabilisés ici.

Les usages de combustibles sont de trois ordres :

- utilisation directe par une machine de production (exemple : gaz naturel amené directement à un sécheur) ;
- utilisation directe par un appareil de chauffage de bâtiment (exemple : alimentation directe d'un aérotherme de chauffage de hall) ;
- utilisation par un producteur d'utilité (chaudière à vapeur, à eau chaude ou à fluide caloporteur).

4.2 REMARQUE SUR LES UNITES

Il importe de rappeler au préalable que les quantités de combustibles consommées doivent être enregistrées au tableau de consommation dans les unités physiques où elles sont effectivement achetées ou comptabilisées. On utilisera donc très généralement :

- des Nm³ ou plus souvent des GJ pour le gaz naturel, suivant l'unité reprise sur la facture du fournisseur ;
- des litres ou m³ pour les gaz en bouteille ou le LPG ;
- des litres pour le gasoil ;
- des kg, tonnes ou éventuellement litres pour le fuel lourd ;
- des kg ou tonnes pour les combustibles solides ;

4.3 METHODOLOGIE GENERALE :

La consommation totale de chaque combustible est généralement bien connue puisqu'il s'agit simplement du montant de la facture.

D'autre part, le nombre de lignes représentant les utilisateurs de ce combustible est souvent réduit et en tout cas largement inférieur à celui des utilisateurs d'électricité.

En conséquence, l'établissement de la consommation de chacun des utilisateurs est souvent assez simple et consiste à subdiviser la valeur donnée par chaque facture. Il n'est donc généralement plus question ici, comme en consommation électrique, de procéder par itérations pour boucler le bilan et faire correspondre la valeur totale calculée avec la valeur facturée.



Les opérations à réaliser sont les suivantes :

- A. noter en dernière ligne du tableau de consommation la valeur donnée par la facture du combustible examiné ;
- B. répertorier, valider et affecter les données des compteurs individuels éventuels ; les mêmes remarques que dans le cadre de l'électricité s'appliquent ici : vérification de l'étalonnage et de la plage de fonctionnement, affectation aux bonnes lignes du tableau ;
- C. réaliser les subdivisions éventuelles de valeurs compteurs groupées ; ici aussi, comme pour l'électricité, on peut :
 - soit calculer (n-1) valeurs et en déduire le solde par différence ;
 - soit réaliser la subdivision par application de clés de répartition simplifiées ;

4.4 UTILISATION DE COMBUSTIBLE PAR UNE MACHINE DE PRODUCTION

S'il n'existe pas de compteur mesurant la consommation d'une machine de production, il est possible, comme en électricité, de faire un calcul à partir de la puissance installée, P_{inst} , généralement mentionnée sur la plaque signalétique de la machine.

On a ainsi :

4.4.1 machine fonctionnant au gaz naturel :

On peut utiliser l'une ou l'autre des formules qui suivent, d'après l'unité utilisée pour mesurer la consommation en gaz naturel :

$$\text{CONS (en GJ)} = P_{\text{inst}} \times f_1 \times f_2 \times h \times (3.600/1.000.000) \times (1/0,9)$$

$$\text{CONS (en Nm}^3\text{)} = P_{\text{inst}} \times f_1 \times f_2 \times h \times 3.600 \times (1/33.500)$$

où

- P_{inst} est la puissance installée, mesurée en kW ;
- f_1 est un coefficient tenant compte du surdimensionnement de P_{inst} par rapport à la puissance maximale effectivement fournie en fonctionnement réel ; donc $f_1 < 1$;
- f_2 est la fraction de la puissance maximale fournie en fonctionnement réel, qui est appelée en moyenne sur le temps total de fonctionnement ; $f_2 < 1$ également ;
- h est le nombre annuel d'heures de fonctionnement ;
- 0,9 est un coefficient qui prend en compte le fait que la facturation en GJ - gaz naturel est établie en équivalent PCS (pouvoir calorifique supérieur), alors que l'utilisation réelle n'exploite que le PCI (pouvoir calorifique inférieur) ;
- 33.500 (kJ/Nm³) est une valeur moyenne de pouvoir calorifique inférieur du gaz naturel en Belgique ; rem : si on connaît la valeur exacte de ce paramètre dans le cas particulier traité, il suffit de l'utiliser en lieu et place de 33.500 ;



4.4.2 machine fonctionnant au gasoil :

$$\text{CONS (en lit.)} = P_{\text{inst}} \times f_1 \times f_2 \times h \times 3.600 \times (1/43.000) \times (1/0,85)$$

où

- 43.000 (kJ/kg) est une valeur moyenne de pouvoir calorifique inférieur du gasoil ;
- 0,85 (kg/lit.) est une valeur moyenne de masse volumique du gasoil ;

4.4.3 autres combustibles :

On peut traiter le cas de machines fonctionnant à l'aide d'autres combustibles par des formules analogues à celles ci-dessus, pour autant qu'on connaisse le pouvoir calorifique inférieur et la masse volumique de ce combustible.

4.5 UTILISATION DE COMBUSTIBLE PAR UN APPAREIL DE CHAUFFAGE BATIMENT

Le cas traité ici est bien celui du chauffage par un appareil localisé, ou une série d'appareils localisés, consommant directement un combustible (exemple : un aérotherme gaz). Si, comme pour le cas précédent, aucune valeur mesurée par un compteur n'est disponible, on peut calculer une valeur approchée par une estimation similaire à celle faite en chauffage électrique (voir chapitre 2).

On a ainsi :

4.5.1 appareil fonctionnant au gaz naturel :

Suivant l'unité employée pour mesurer la consommation de gaz, on a :

$$\text{CONS (en GJ)} = (P_{\text{inst ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \times (3.600/1.000.000) \times (1/0,9)$$

$$\text{CONS (en Nm}^3\text{)} = (P_{\text{inst ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \times 3.600 \times (1/33.500)$$

où

- $P_{\text{inst ch}}$ est la puissance installée de l'équipement de chauffage concerné (en kW) ;
- Δt_{dim} est la différence de température intérieur / extérieur de dimensionnement du chauffage (en °C) ;
- h/j est le nombre d'heures par jour où le système de chauffage fonctionne (en heures/jour) ;
- $j/7$ définit la proportion de la semaine où le chauffage fonctionne (paramètre sans dimension) ;
- 0,9 est un coefficient qui prend en compte le fait que la facturation en GJ – gaz naturel est établie en équivalent PCS (pouvoir calorifique supérieur), alors que l'utilisation réelle n'exploite que le PCI (pouvoir calorifique inférieur) ;
- 33.500 (kJ/Nm³) est une valeur moyenne de pouvoir calorifique inférieur du gaz naturel ;
- deg.jours désigne le nombre de degrés.jours pour l'année de référence ;



Ici aussi, comme en chauffage électrique, il n'est intéressant de s'adresser à l'Institut Royal Météorologique afin d'obtenir les valeurs de degrés.jours à prendre en compte (càd celles de l'année de référence examinée, pour la station météo la plus proche de la localisation de l'entreprise) que dans le cas où la précision avec laquelle cette consommation est calculée est vraiment importante. Dans la plupart des cas, l'ordre de grandeur des consommations en bâtiment, et notamment en chauffage, est nettement inférieur à celui des consommations intervenant en production. On peut dès lors, avec une précision tout à fait acceptable, se référer aux valeurs de degrés.jours « normaux » données en annexe EL.6.

4.5.2 appareil fonctionnant au gasoil :

$$\text{CONS (en lit.)} = (P_{\text{inst ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \times 3.600 \times (1/43.000) \times (1/0,85)$$

où

- $P_{\text{inst ch}}$, Δt_{dim} , h/j , $j/7$, deg.jours : mêmes définitions que ci-dessus ;
- 43.000 (kJ/kg) est une valeur moyenne de pouvoir calorifique inférieur du gasoil ;
- 0,85 (kg/lit.) est une valeur moyenne de masse volumique du gasoil ;

4.5.3 appareil fonctionnant au fuel lourd :

$$\text{CONS (en kg)} = (P_{\text{inst ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \times 3.600 \times (1/40.500)$$

$$\text{CONS (en lit.)} = (P_{\text{inst ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \times 3.600 \times (1/40.500) \times (1/0,95)$$

où

- $P_{\text{inst ch}}$, Δt_{dim} , h/j , $j/7$, deg.jours : mêmes définitions que ci-dessus ;
- 40.500 (kJ/kg) est une valeur moyenne de pouvoir calorifique inférieur du fuel lourd ;
- 0,95 (kg/lit.) est une valeur moyenne de masse volumique du fuel lourd ;

Comme en chauffage électrique, il importe de bien noter les conditions de validité à respecter dans l'application de ces formules : il faut que la puissance de chauffage installée ait été correctement dimensionnée, et qu'une certaine régulation de chauffage soit bien opérée afin de réaliser et maintenir la température de confort.

Ici aussi, si on s'éloigne de ces conditions, il est préférable d'utiliser un calcul basé sur la puissance réellement appelée et le temps total de fonctionnement.

4.6 UTILISATION DE COMBUSTIBLE PAR UN PRODUCTEUR D'UTILITE (CHAUDIERE)

Il est courant que la consommation de ce type de machine soit enregistrée. On a ainsi le plus souvent accès à une valeur relativement fiable.



Si ce n'est pas le cas, on peut faire une estimation par calcul sur les mêmes bases que celles définies en machines de production (puissance installée x coefficients de surdimensionnement et de charge moyenne x temps annuel de fonctionnement : $P_{\text{inst}} \times f_1 \times f_2 \times h$).

Dans le cas spécifique d'un système de chauffage central de bâtiment (donc d'une ou plusieurs chaudières desservant des radiateurs, convecteurs, aérothermes ou autres), il serait théoriquement nécessaire de considérer que la chaudière produit une utilité (eau chaude ou vapeur), et donc de créer une colonne pour cette utilité dans le tableau de consommation, puis d'évaluer la consommation des diverses zones de bâtiments en cette utilité (donc la consommation en eau chaude ou en vapeur de telle ou telle zone). Ce passage par une utilité intermédiaire est cependant difficile et inutile en réalité, et on préfère très généralement dans ce cas comptabiliser la consommation des différentes zones de bâtiment directement en combustible.

(Exemple : une chaudière au gaz naturel et à eau chaude permet le chauffage de trois zones distinctes de l'entreprise A : une zone de bureaux (radiateurs), un vestiaire (radiateurs également) et un hall de production (aérothermes eau) ; par simplification, on décide de comptabiliser la quantité d'énergie consommée par le chauffage de chacune de ces trois zones directement en gaz naturel et non en eau chaude).

Le principe du calcul de consommation devient alors identique à celui du paragraphe ci-dessus et traitant d'appareils de chauffage localisés : on évalue la consommation globale de combustible en partant de la puissance installée de la (des) chaudière(s).

On peut ensuite répartir cette consommation au prorata des puissances installées dans les différentes zones, ou même au prorata du nombre d'appareils de chauffage installés dans les différentes zones, si ceux-ci sont tous de puissance identique.

4.7 EXEMPLES

Plutôt que de sélectionner différents cas de figure théorique, il est plus parlant de se référer aux exemples de traitement établis en annexe COMB.1.



ANNEXE COMB.1 – COMBUSTIBLES – EXEMPLES DE CALCUL



- Dans le premier exemple ci-après, on a affaire à une société pour laquelle deux tarifications gaz sont appliquées suivant que le gaz soit destiné à un usage process, non interruptible, ou à un usage utilités (alimentation d'une chaudière), qui est quant à lui interruptible.

L'ensemble des chiffres mentionnés proviennent de compteurs gaz particuliers, qu'il a donc suffi de valider puis de relever.
- Dans le deuxième exemple, seuls deux utilisateurs consomment du gaz naturel (le poste « chaudières vapeur » et un chauffage central de bâtiment, à eau chaude), et seule la facture totale est connue.

Pour faire la répartition de cette facture entre les utilisateurs, on a d'abord évalué isolément le poste « chauffage » : pour ce faire, aucune donnée d'année précédente n'était utilisable, car la chaudière gaz, nouvellement installée, remplaçait une ancienne chaudière fuel depuis seulement 1 an. On est alors parti de la consommation fuel des quelques années précédentes, on a mis cette consommation en rapport avec les degrés.jours de ces années pour obtenir une valeur moyenne équivalente à climat donné. On a alors supposé que la nouvelle chaudière présentait une consommation inférieure à l'ancienne, dans le rapport des rendements moyens mesurés ou annoncés, et on a enfin corrigé le résultat par le nombre de degrés.jours effectifs de l'année de référence. On peut remarquer que la consommation de chauffage est notée directement en GJ gaz et non en eau chaude. Ayant estimé par calcul la consommation gaz du chauffage, le poste « chaudières vapeur » a été obtenu par simple différence avec le total.
- Dans le troisième exemple, on voit que la société ne consomme pas de gaz naturel mais du gasoil et du fuel lourd.

Le fuel lourd n'est utilisé que pour les chaudières de production de vapeur, en des quantités connues par relevé.

Le gasoil sert au chauffage des bâtiments via des petites chaudières ayant chacune leur citerne individuelle, ce qui permet d'en faire le relevé ; on note également, comme signalé par ailleurs, que chaque consommation est bien notée directement en gasoil et non en eau chaude. Le gasoil sert également au démarrage des chaudières vapeur après arrêt prolongé, avant passage au fuel lourd. Ces dernières quantités sont également connues par relevé car stockées dans des citernes particulières prévues à cet effet.



MESURES GAZ NATUREL - année 1998 - GJ				
			gaz pour machines de production (GJ)	gaz pour chaudières (GJ)
PRODUCTION				
ENTITE B				
	MA			
	DA			
1. MA - DA				
	fabrication - sécheur		9.063	
	conditionnement - ensachage		1.947	
	1/5			
	2/6		1.153	
2. AP			14.611	
ENTITE C				
1. Général ST				
	carbonate			
	partie humide			
	atomisation		275.311	
	calcination et refroidissement		123.277	
	traitement ST - autres			
2. ST lourd			100.527	
	calcinateur			
	traitement et refroidissement			
3. Sels spéciaux			48.695	
	partie humide			
	calcinateur et refroidissement			
	traitement			
4. Conditionnement Euro			2.246	
ENTITE D				
1. Fabrication a			110.333	
2. Fabrication b				
	aluminates			
	gélotion			
	cristallisation			
	filtration			
	évaporation			
	séchage			
	autres			
3. Compresseurs				
4. Pompes eau de rivière propres				
UTILITES				
vapeur 7 bar				
	(chaudière acide)			
vapeur 10 bar				
	chaudières P			
	chaudière hydro			
	(chaudière S)			
	(part de nouveau brûleur)			
vapeur 13 bar				
vapeur 20 bar				
	chaudière C			
	chaudière B			847.348
air comprimé (6 compresseurs)				
eau Meuse				
eau déminéralisée				



UTILISATEUR		gaz naturel
		(GJ)
PRODUCTION - LIGNES		
TOTAL PRODUCTION		0
BATIMENTS	surface	
	(m²)	
HALLS INDUSTRIELS		0
hall réception	2.270	0
hall manutention	2.018	0
process	2.630	0
hall charg. + condit.	1.895	0
atelier	1.821	0
salle des machines	558	0
chaufferie	375	0
hall stockage 1	9.627	0
hall stockage 2	10.982	0
stockage J	8.885	0
station pompage	63	0
hall stockage général	2.640	0
usine B	2.376	0
éclairage extérieur		0
éclairage extérieur usien B		0
BUREAUX		612
bureaux administratifs	2.466	612
bureaux conditionnement	341	0
TOTAL BATIMENTS	48.947	612
UTILITES		
vapeur		106.191
air comprimé		0
eau chaude		0
eau de puits		0
eau adoucie		0
eau déminéralisée		0
eau glacée brute		0
eau glacée douce		0
TOTAL UTILITES		106.191
TOT. ANNUEL CALCULE		106.803
TOT. ANNUEL RELEVÉ		106.803



TOTAL COMBUSTIBLES 1997		
	Fuel E-lourd (lit.)	Gasoil (lit.)
PRODUCTION		
TOTAL PRODUCTION	0	0
BATIMENTS		
usine H5	0	184.893
usine M	0	6.950
usine G	0	12.310
usine R	0	96.705
usine B	0	71.592
BUREAUX		
bâtiment "H1"	0	4.704
bâtiment social	0	25.522
bureaux H5	0	11.762
Vieille Maison	0	16.460
Maintenance	0	10.000
Eclairage extérieur	0	0
TOTAL BATIMENTS	0	440.898
UTILITES		
vapeur - eau chaude	3.001.800	165.658
eau décarbo	0	0
eau démin	0	0
eau filtrée	0	0
eau ultra-filtrée	0	0
TOTAL UTILITES	3.001.800	165.658
TOTAUX ANNUELS	3.001.800	606.556



5 ECA – ENERGIES ACHETEES EAU ET VECTEURS SPECIAUX



5.1 INTRODUCTION

La dernière catégorie d'énergies achetées regroupe les eaux et les fluides spéciaux. Comme déjà signalé dans l'introduction, il ne s'agit pas à proprement parler de vecteurs « énergétiques ». Cependant, ces éléments sont achetés à l'extérieur au même titre que les énergies achetées. De plus, dans la très grande majorité des cas, ils sont gérés par les mêmes personnes ou services que ceux qui ont l'énergie en charge. Ils sont dès lors incorporés à l'étude EPS.

En ce qui concerne les eaux, on peut distinguer :

- l'eau de ville (dont le coût dépend directement du volume utilisé, et dont le prix unitaire est généralement relativement élevé) ;
- l'eau pompée à une rivière (et dont le coût, outre l'énergie nécessaire au pompage, est constitué de taxes éventuelles de captage, de rejet, ou des deux ; en ce qui concerne la taxe de rejet, il faut noter que le montant peut ne pas varier uniquement en fonction du volume, mais également du contenu en certains éléments) ;
- l'eau pompée à un ou plusieurs puits (et dont le coût, outre, ici aussi, l'énergie nécessaire au pompage, peut être constitué de taxes directement liées au volume pompé) ;

En ce qui concerne les fluides spéciaux, on ne considère ici que les éléments intervenant en temps qu'auxiliaires dans le process, qui ne sont ni des additifs aux utilités (traités par ailleurs – voir chapitres « utilités »), ni des matières premières en tant que telles, exclues de la présente étude. On peut citer comme exemples l'azote utilisé comme agent d'inertage, l'oxygène ou l'hydrogène liquides, le CO₂ utilisé dans certains processus ...etc.

5.2 METHODOLOGIE GENERALE :

Comme pour les combustibles, qu'il s'agisse des eaux ou des fluides spéciaux, les consommations totales sont généralement bien connues puisqu'il s'agit du montant des factures et/ou des taxes annuelles.

L'établissement de la consommation de chacun des utilisateurs consiste donc également à subdiviser la valeur donnée par chaque facture, sans devoir procéder par itérations pour boucler le bilan et faire correspondre la valeur totale calculée avec la valeur facturée.

Comme pour les combustibles, on peut donc résumer les opérations à réaliser par :

- A. noter en dernière ligne du tableau de consommation la valeur donnée par la facture (en unités physiques – m³, lit, kg ...), ou le volume total sur lequel porte la (les) taxe(s) éventuelle(s) ;
- B. répertorier, valider et affecter les données des compteurs individuels éventuels ; les mêmes remarques que dans le cadre de l'électricité s'appliquent ici : vérification de l'étalonnage et de la plage de fonctionnement, affectation aux bonnes lignes du tableau ;



- C. réaliser les subdivisions éventuelles de valeurs compteurs groupées ;
ici aussi, comme pour l'électricité, on peut :
- soit calculer (n-1) valeurs et en déduire le solde par différence ;
 - soit réaliser la subdivision par application de clés de répartition simplifiées ;

5.3 CONSOMMATIONS D'EAU DE VILLE

L'eau de ville peut être consommée aussi bien par les machines de production, que par celles de production d'utilités, qu'en tout cas très généralement par les bâtiments (eau sanitaire). Le total annuel est toujours connu par la facture annuelle.

Pour répartir ce total entre les divers consommateurs, après avoir noté les valeurs compteurs disponibles, on peut citer différents moyens :

- là où l'eau de ville est utilisée par des machines de production ou de production d'utilités, l'alimentation se fait généralement par une ou plusieurs pompes ; on peut dans ces cas estimer la consommation en multipliant le débit nominal de la (des) pompe(s) par leur nombre annuel d'heures de fonctionnement ;
- en ce qui concerne les bâtiments, si l'eau de ville n'est utilisée que pour alimenter des installations sanitaires, on peut répartir le total entre les divers bâtiments sur la base du nombre normal d'occupants par jour ;
- enfin, pour les postes inconnus restants, ou même pour une première répartition entre postes principaux, on peut utiliser des clés de répartition basées sur l'expérience des exploitants de l'installation ;

5.4 CONSOMMATIONS D'EAU DE RIVIERE OU DE Puits

Ici aussi, l'eau pompée (en rivière ou en puits) peut être consommée par les machines de production ou par celles de production d'utilités, mais plus rarement en tant qu'eau sanitaire de bâtiments, en tout cas sans traitement particulier (ce qui transformerait alors cette eau en vecteur à classer en « utilités » et non plus en « énergies achetées »).

Le total n'est connu que dans les cas où des compteurs particuliers équipent le(s) captage(s), ce qui est souvent le cas en pratique, ou dans le cas où une taxe de captage est perçue (la quantité annuelle captée est alors connue comme base de taxation).

Dans le cas où seule une taxe de rejet est perçue, on peut évaluer le total d'eau captée par :

$$EC = ER + EP + EE \text{ (m}^3\text{)}$$

où

- EC est le total annuel (recherché) d'eau captée ou pompée en rivière ou puits ;
- ER est le total annuel (connu par la taxe) d'eau rejetée, généralement en rivière ;
- EP est le total annuel d'eau « préparée » : il s'agit des eaux préparées (par déminéralisation, décarbonatation, déferrisation ...) pour divers usages, et qui



sont à classer dans les « utilités » (voir chapitre correspondant) ; leurs valeurs sont évaluées ou calculées par ailleurs ;

- EE est le total annuel d'eau évaporée ; ce montant est évalué de façon simplifiée en calculant la quantité d'eau évaporée en régime nominal par les processus spécifiques de séchage ((humidité spécifique de produit avant séchage – humidité spécifique de produit après séchage) x quantité produite) et en la multipliant par le nombre d'heures annuel de fonctionnement ; dans les autres cas que le séchage et pour autant que la circulation d'eau pompée se fasse à température ambiante, on peut négliger EE ;

Enfin, dans les cas où le total n'est déterminé ni par un compteur global, ni via une taxe (de captage ou de rejet), seule une évaluation (par exemple par l'intermédiaire des débits nominaux de pompes) de l'ensemble des consommateurs permet, par sommation, d'obtenir une valeur du total annuel capté.

Une fois le total annuel déterminé, il faut, comme pour l'eau de ville, d'abord noter les valeurs éventuellement données par des compteurs, puis répartir les sous-totaux restants entre les consommateurs concernés. Ceci se fait, très généralement :

- soit en estimant la consommation individuelle de certains de ces sous-totaux par calcul (débit nominal de pompe d'alimentation x temps annuel de fonctionnement), puis en obtenant le(s) dernier(s) par différence ;
- soit en utilisant des clés de répartition basées sur l'expérience des exploitants de l'installation.

5.5 CONSOMMATIONS DE VECTEURS (FLUIDES) SPECIAUX

Le total de ces vecteurs est très généralement déterminé par le montant de factures annuelles, étant donné que ces vecteurs (azote, hydrogène, oxygène, CO₂, NaOH,) font appel à des fournisseurs différents de ceux d'autres vecteurs énergétiques.

En ce qui concerne les utilisateurs individuels, on ne peut faire appel qu'à des compteurs individuels, ou, s'il n'en existe pas, à des ratios de consommation en fonction des quantités de production, souvent déterminés par les services de comptabilité interne sur la base des consommations d'années précédentes.

On peut trouver en annexe SPE.1 ci-après des illustrations à ces divers procédés.



**ANNEXE SPE.1 – EAU ET VECTEURS SPECIAUX –
EXEMPLES DE CALCUL**



- Dans le premier exemple ci-joint, les vecteurs concernés sont l'eau de ville et l'eau pompée en rivière (eau de Meuse).
 En ce qui concerne l'eau de Meuse, on sait par la taxe de rejet que le montant pompé et rejeté annuellement est de 972.704 m³. Etant donné qu'il s'agit d'une installation fonctionnant en continu 24 h/24, cela équivaut à une consommation journalière de 2.665 m³. En se basant sur la connaissance des caractéristiques nominales des installations, les exploitants de l'usine ont réparti cette valeur en 3 m³/jour pour les fours de graphitation L (donc 3 x 365 = 1.095 m³/an) ; 360 m³/jour pour le premier refroidisseur de l'installation de graphitation U, et 920 m³/jour pour le second refroidisseur de cette même installation (soit (360 + 920) x 365 = 467.200 m³/an pour ce poste) ; et finalement 360 m³/jour pour le premier refroidisseur des fours de cuisson (même type que le premier ci-dessus), et 1.020 m³/jour pour le second (soit (360 + 1.020) x 365 = 503.700 m³/an pour ce poste) ; on peut vérifier qu'on a bien : $3 + 360 + 920 + 360 + 1.020 = 2.663 \approx 2.665$ m³/jour. En ce qui concerne l'eau de ville, le total annuel (20.225 m³) est connu par facture. Sur ce total, suite à des investigations datant de l'année de référence et réalisées par comparaison avec les années précédentes, une fuite évaluée à 11.000 m³ a été repérée et localisée à la connexion du bâtiment administratif ; il reste donc 9.225 m³ ; cette dernière valeur, d'après l'expérience des exploitants de l'usine, a été répartie en ratios : 53% (4.890 m³) pour le bâtiment administratif et 15% (1.384 m³) pour les fours de cuisson ; il reste donc 32% (2.952 m³) pour fermer le bilan ; on détermine que parmi les utilisateurs d'eau repris dans ce sous-total figurent : (a) la bâche de la chaudière à eau chaude, dont on peut évaluer la consommation annuelle à 1.000 m³ ; (b) la moitié de ce qui reste, soit 976 m³, à répartir de façon égale entre les trois bâtiments « Syp », « graphitation U » et « entretien » ; (c) et la dernière moitié, 976 m³, à répartir de façon égale entre les fours de cuisson et la graphitation U ; on retrouve donc bien : bâtiment administratif : 11.000 + 4.890 = 15.890 m³ ; bâtiments « Syp », « graphitation U » et « entretien » : 976 / 3 = 325 m³ chacun ; process « fours de cuisson » : 1.384 + 976/2 = 1.872 m³ ; et process « graphitation U » : 976/2 = 488 m³.
- Dans le deuxième exemple illustré, le vecteur concerné est l'eau captée à des puits. Le total annuel est connu par compteur : 703.032 m³ ; on sait, par compteur également, qu'une partie de cette eau est traitée pour « fabriquer » de l'eau glacée (207.012 m³), de l'eau déminéralisée (33.196 m³) et de l'eau adoucie (203.916 m³) ; ces eaux traitées sont des vecteurs évalués en tant qu'utilités ; il reste donc 258.908 m³ à répartir entre les utilisateurs de l'usine ; on extrait d'abord la toute petite quantité (50 m³) supposée consommée par le bâtiment « station de pompage » ; sur base de l'expérience des exploitants, on affecte 5% (12.943 m³) au conditionnement, dont 2% (5.177 m³) estimés pour la ligne 1 ; 2% également pour la ligne 2 ; et 1% (2.589 m³) pour la ligne 3 ; les 95% restants (soit 245.915 m³) vont à 4 utilisateurs des lignes de production : la réception extérieure fèves, le lavage et le circuit de pompage des racines, le circuit de pompage des pois et fèves, et l'ensemble du nettoyage de toutes les lignes ; on les évalue comme suit : (a) réception extérieure fèves : on suppose 1,5 m³/T, ce qui donne pour la production de 1998 : 1,5 x 222 = 333 m³ ; (b) racines : lavage carottes : on l'évalue à 5.000 m³ ; circuit pompage : 2,5 m³/h pour 5.036 h (1998) → 12.590 m³ ; (c) pois et fèves : circuit pompage : 2,5 m³/h pour 3.156 h (1998) → 7.890 m³ ; (d) reste donc : 245.915 – 333 – 5.000 – 12.590 – 7.890 = 220.102 m³, qui se répartissent entre les différentes lignes et qui



concernent le nettoyage. On décide de faire cette dernière répartition proportionnellement aux heures totales de fonctionnement, ce qui donne le tableau suivant :

REPARTITION EAU BRUTE 1998		
légume	h.tot. 1998	m ³ eau brute
racines	5.036	72.694
pois et fèves	3.156	45.556
haricots	1.651	23.832
feuilles nature	2.265	32.695
feuilles crème	1.015	14.651
riz et blé dur	1.017	14.680
choux Bxl, fleurs	1.108	15.994
		220.102

- Dans le troisième et dernier exemple, les fluides concernés sont le CO₂ et le NaOH utilisés dans le process (il ne s'agit donc pas d'additifs à la production d'utilités). Les chiffres proviennent de la comptabilité analytique et sont calculés par ratio à partir des chiffres de production, ces ratios étant eux-mêmes obtenus par les chiffres de consommation des années précédentes. Il est à noter que cette appréciation individuelle des consommations recoupe bien le total connu par facture, ce qui démontre qu'elle peut être considérée comme correcte.



EAU DE VILLE ET EAU DE MEUSE					
ANNEE 1997					
		eau ville V (m³)	eau Meuse M (m³)		eau chde HW (Gcal)
PRODUCTION	Production				
	(T/an)				
Art	/	0	0		0
Syp	35.986	0	0		0
Fours de cuisson	35.986	1.872	503.700		0
Ecroutage	4.846	0	0		0
Imprégnation	19.953	0	0		0
Usinage	14.594	0	0		0
Graphitation U	13.186	488	467.200		0
Graphitation L	4.846	0	1.095		0
Entretien	0	0	0		0
BATIMENTS	Surface				
	(m²)				
Hall Art	1.951	0	0		579
Hall Syp	2.232	325	0		276
Hall Ecroutage	645	0	0		829
Hall Imprégnation	751	0	0		0
Hall Usinage	3.138	0	0		1.734
Hall Graphitation U	7.724	325	0		0
Hall Graphitation L	1.512	0	0		0
Bat. Entretien	1.582	325	0		513
Bat. Administratifs	1.425	15.890	0		0
Eclairage extérieur		0	0		0
UTILITES					
Eau chaude		1.000			



CONSOMMATIONS EAU DE PUIITS - ANNEE 1998		
PRODUCTION - LIGNES	Prod.	
	(h/an)	
	(h totales)	
RACINES	5.036	90.284
réception intérieure		5.000
cuisine, pompage		12.590
nettoyage		72.694
POIS + FEVES	3.156	53.779
réception extérieure		333
cuisine, pompage		7.890
nettoyage		45.556
HARICOTS	1.651	23.832
nettoyage		23.832
LEG.FEUILLES NATURE	2.265	32.695
nettoyage		32.695
LEG.FEUILLES CREME	1.015	14.651
nettoyage		14.651
RIZ + BLE DUR	1.017	14.680
nettoyage		14.680
CHOUX BRUX, S, F, CHF	1.108	15.994
nettoyage		15.994
CONDITIONNEMENT		12.943
ligne 1		5.177
ligne 2		5.177
ligne 3		2.589
ligne 4		0
ligne 5 (sacs)		0
filmeuse BORST		0
TOTAL LIGNES PROD.	15.248	258.858
BATIMENTS		
HALLS INDUSTRIELS		50
hall réception		0
hall manutention		0
cuisine		0
hall charg. + condit.		0
atelier + charg. batterie		0
salle des machines		0
chaufferie		0
hall stockage frigo (1 et 2)		0
hall stockage frigo (3 et 4)		0
stockage Jumatt		0
station pompage		50
hall stockage		0
Stockageer		0
éclairage extérieur		0
éclairage extérieur Stockageer		0
BUREAUX		0
bureaux administratifs		0
bureaux conditionnement		0
TOTAL BATIMENTS		50
TOT. ANNUEL RELEVÉ		258.908



CONSOMMATIONS DE CO2 ET NaOH - ANNEE 1998				
			CO2 (kg)	NaOH (litres)
PRODUCTION	Prod. (h/an)	Prod. (klit/an)		
Ligne 1	1.789	46.113		
laveuses bouteilles + pompes dégr			0	72.167
laveurs casiers			0	0
soutireuse - saturateur - pompes			363.317	0
Ligne 2	2.160	17.426		
laveuses bouteilles + pompes dégr			0	70.804
laveurs casiers			0	0
soutireuse - saturateur - pompes			174.067	0
Ligne 3	1.799	31.844		
laveuses bouteilles + pompes dégr			0	59.844
laveurs casiers			0	0
soutireuse - saturateur-pompes			298.378	0
Ligne 4	4.288	131.996		
laveuses bouteilles + pompes dégr			0	59.231
laveurs casiers			0	0
soutireuse - saturateur-pompes			1.714.133	0
Ligne 5	3.402	28.682		
soutireuse - saturateur			132.619	0
Ligne 6	2.031	42.121		
laveuses bouteilles + pompes dégr			0	77.092
laveurs casiers			0	0
soutireuse - saturateur-pompes			466.928	0
Ligne 7	1.774	16.181		
soutireuse - saturateur			206.668	0
Ligne 8	1.661	26.807		
soutireuse - saturateur			471.915	0
Station épuration			127.018	0
NEP E	2.000		0	58.887
NEP S			0	1.070
NEP N			0	2.240
TOTAL PRODUCTION			3.955.043	401.335
BATIMENTS	surface (m²)	N°		
BUREAUX			0	0
HALLS			0	0
TOTAL BATIMENTS			0	0
UTILITES				
vapeur			0	0
air comprimé			0	0
eau glacée			0	0
eau de rinçage			0	24.812
TOTAL UTILITES			0	24.812
TOT ANNUEL FACTURE			3.955.043	426.147



6 ECA – UTILITES VAPEUR



6.1 INTRODUCTION

Après avoir passé en revue les différents types d'énergies achetées, nous abordons maintenant le cas des utilités, vecteurs énergétiques « fabriqués » dans l'entreprise elle-même à partir d'énergies achetées puis distribués à plusieurs utilisateurs de l'entreprise (voir définition au chapitre 1).

L'examen des utilités comporte une différence essentielle par rapport à celui des énergies achetées : il faut les analyser sous un double angle ;

le premier est celui de la consommation en utilités de tous les utilisateurs (production, bâtiments, utilités) de l'entreprise, comme pour une énergie achetée ; il s'agit donc de remplir la colonne de l'utilité correspondante ;

le second est celui de la consommation en énergie et en autres utilités liée à la production de l'utilité concernée ; il s'agit donc ici de remplir la ligne correspondant au vecteur analysé, en rubrique « utilités ».

Pour bien se représenter cette double analyse, revoir le tableau de consommation type donné en chapitre 1.

La première des utilités traitée est la vapeur. Celle-ci est très généralement produite dans des chaudières utilisant des combustibles solides, liquides ou gazeux, mais elle peut également provenir d'installations de production « excédentaires en chaleur » (par exemple un réacteur chimique exothermique), et on l'appelle alors vapeur « fatale ». On ne traite dans ce chapitre que le premier cas, celui de la production fatale étant analysé plus loin (voir chapitre 8).

6.2 METHODOLOGIE GENERALE

On peut résumer les opérations à effectuer par :

- A. concernant la ligne «vapeur» du tableau de consommation : noter la consommation en diverses énergies achetées ainsi qu'en utilités, de la production de vapeur ;
- B. concernant la colonne «vapeur» du tableau de consommation :
 - B.1. déterminer la quantité totale annuelle de vapeur produite ou consommée dans l'entreprise pour l'année de référence ; cette quantité, équivalente de la « facture » annuelle traitée dans les énergies achetées, est à noter en dernière ligne du tableau de consommation, sous la colonne correspondant à l'utilité examinée ;
 - B.2. répertorier, valider et affecter les données de compteurs individuels éventuels, avec les mêmes remarques que celles des chapitres précédents concernant la vérification de l'étalonnage, de la plage de fonctionnement, et l'affectation aux bonnes lignes du tableau ; la qualité des informations provenant des compteurs est même à considérer avec plus de précautions encore que pour d'autres vecteurs énergétiques étant donné le fait que la vapeur saturée, dont il est très généralement question ici, a tendance à se transformer en fluide bi-phasique (présence de gouttelettes d'eau en suspension dans la phase vapeur) par l'effet



- d'une condensation partielle, ce qui augmente considérablement les difficultés de mesure et les risques de valeur erronée ;
- B.3. réaliser les subdivisions de valeurs par répartitions ou calculs partiels.

6.3 CONSOMMATION LIEE A LA PRODUCTION DE VAPEUR (A)

Il s'agit donc ici de remplir la ligne « vapeur » de la rubrique « utilités ».

On connaît d'abord très généralement la consommation de combustible de la (des différentes) chaudière(s) par compteur ou relevé : c'est une information minimale pratiquement toujours disponible ou facilement déterminable. Cette rubrique a en principe déjà été examinée dans le travail effectué suivant les indications du chapitre 3.

Une chaudière est également siège d'une consommation électrique liée au ventilateur du brûleur. Si celle-ci n'est pas mesurée par un compteur spécifique, il faut l'évaluer en multipliant la puissance consommée (elle-même estimée d'après la puissance installée – voir chapitre 2).

Enfin, la production de vapeur consomme bien évidemment d'autres utilités : principalement de l'eau traitée (voir chapitre 6) et/ou de l'air comprimé (voir chapitre 7). Il faut déterminer ces consommations et les noter en colonne correspondante.

6.4 DETERMINATION DE LA QUANTITE TOTALE DE VAPEUR PRODUITE (B1)

L'objet est ici de déterminer le total de la colonne « vapeur », à indiquer en dernière ligne du tableau de consommation.

Il peut arriver que cette quantité soit enregistrée par un compteur spécifique. Si c'est le cas pour chaque chaudière, le total des valeurs compteurs de l'ensemble des chaudières donne bien la valeur de production annuelle, qui coïncide évidemment avec la consommation totale puisqu'à part sur des périodes très courtes, la vapeur ne peut être stockée.

Si on ne dispose pas de compteurs, on peut utiliser deux méthodes principales pour calculer la production globale :

- soit on part de la consommation en combustible de la (des) chaudière(s) ;
- soit on part de la quantité d'eau (toujours traitée, généralement déminéralisée) utilisée pour produire la vapeur.

Ces deux méthodes sont présentées séparément ci-après mais elles ne s'excluent évidemment pas. On peut en pratique les utiliser toutes les deux pour autant qu'on dispose des informations requises, et ainsi permettre un recoupement utile.



6.4.1 on connaît la consommation en combustible :

On peut alors évaluer la quantité de vapeur produite par chacune des chaudières de la façon suivante :

$$\text{PROD}_{\text{vap}} = Q_{\text{chalcons}} \times \eta_{\text{gl}} \times (1/h_{\text{vap}})$$

Où

- PROD_{vap} est la quantité de vapeur recherchée (en kg) ;
- Q_{chalcons} est la quantité de chaleur « consommée », équivalant à la chaleur dégagée par la combustion du combustible utilisé (en kJ) ;
- η_{gl} est le rendement global annuel de la chaudière concernée (paramètre sans dimension) ;
- h_{vap} est l'enthalpie de la vapeur produite, correspondant en quelque sorte à son « contenu énergétique » (en kJ/kg) ;

a.1) Q_{chalcons} peut se calculer à partir des consommations de combustible en unités physiques et à l'aide des valeurs de pouvoir calorifique données au chapitre 3.

Ainsi dans le cas d'une chaudière au gaz naturel :

$$\begin{aligned} Q_{\text{chalcons}} \text{ (en kJ)} &= \text{consommation (en GJ)} \times 1.000.000 ; \\ &= \text{consommation (en Nm}^3\text{)} \times 33.500 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)} ; \end{aligned}$$

avec

- 33.500 (kJ/Nm³) : valeur moyenne de pouvoir calorifique inférieur du gaz naturel en Belgique ;
- rem : si on connaît la valeur exacte de ce paramètre dans le cas particulier traité, il faut l'utiliser en lieu et place de 33.500 ;

Dans le cas d'une chaudière au fuel lourd :

$$\begin{aligned} Q_{\text{chalcons}} \text{ (en kJ)} &= \text{consommation (en kg)} \times 40.500 ; \\ &= \text{consommation (en lit)} \times 0,95 \times 40.500 ; \end{aligned}$$

avec

- 40.500 (kJ/kg) : valeur moyenne du pouvoir calorifique inférieur du fuel lourd ;
- 0,95 kg/lit : valeur moyenne de la masse volumique du fuel lourd ;
- rem : dans le cas où on connaît la valeur exacte de ces paramètres pour le cas particulier traité, il faut les utiliser en lieu et place des valeurs moyennes ;

Dans le cas d'une chaudière au gasoil :

$$Q_{\text{chalcons}} \text{ (en kJ)} = \text{consommation (en lit)} \times 0,85 \times 43.000 ;$$

avec

- 43.000 (kJ/kg) : valeur moyenne du pouvoir calorifique inférieur du gasoil ;
- 0,85 kg/lit : valeur moyenne de la masse volumique du gasoil ;



- rem : dans le cas où on connaît la valeur exacte de ces paramètres pour le cas particulier traité, il faut les utiliser en lieu et place des valeurs moyennes ;

Dans le cas de chaudières fonctionnant avec d'autres combustibles :

On peut effectuer un calcul analogue à ceux exposés ci-dessus, pour autant qu'on connaisse le pouvoir calorifique inférieur et la masse volumique de ce combustible.

a.2) η_{gl} est le rendement annuel global de la chaudière ; il tient compte, non seulement des pertes à la cheminée et à l'ambiance déterminées par le rendement de combustion (celui qui est généralement mesuré lors du contrôle annuel de la chaudière), mais aussi des pertes par ventilation et par déperdition lors des périodes d'arrêt, ainsi que des pertes de vapeur dues au fonctionnement normal de la chaudière (purges de déconcentration, vapeur consommée au dégazeur,...) lors de la production. Sa valeur peut être connue par mesure lors d'une période suffisamment longue de production nominale, en mesurant d'une part la quantité de combustible effectivement consommée pendant la période de mesure, et d'autre part la quantité effective de vapeur utile produite pendant la même période. De telles mesures sont effectuées par des organismes tels que l'A.R.G.B. ou par les intercommunales de distribution dans le cas de chaudières gaz, ou par des organismes de contrôle officiel, ou encore par des spécialistes d'audits énergétiques classiques. Les valeurs usuelles de η_{gl} vont de 50 à 60% pour de vieilles installations peu performantes, jusqu'à 80 à 85% dans les cas les plus performants.

a.3) pour évaluer h_{vap} , il faut d'abord connaître la pression à laquelle la vapeur est produite ainsi que le pourcentage de condensats récupérés ; nous nous limitons ici au cas de production de vapeur saturée (très majoritaire dans le cas de production d'utilités) et non de vapeur surchauffée.

On trouvera en annexe VAP.1 un tableau indicatif donnant les valeurs usuelles d'enthalpie de vapeur pour différentes pressions de service. Ce tableau donne séparément l'enthalpie de l'eau liquide (h_{liq}), l'enthalpie correspondant à la phase de vaporisation (h_{vaps}), et enfin l'enthalpie totale (h_{tot}), somme des deux précédentes.

Si n (%) est le pourcentage de condensats récupérés (généralement connu par le personnel d'exploitation de la chaufferie), on a très généralement :

$$h_{vap} = h_{vaps} + (100 - n) \times h_{liq} ;$$

Ainsi, si l'installation fonctionne en vapeur perdue (aucune récupération de condensat), h_{vap} correspond à l'enthalpie totale de la vapeur ;

Et si la totalité des condensats sont récupérés, h_{vap} équivaut bien à l'enthalpie « phase de vaporisation seule » ;

6.4.2 on connaît la quantité d'eau utilisée pour produire la vapeur :

Cette eau est toujours traitée (généralement déminéralisée) et sa consommation est effectivement souvent mesurée. On peut alors effectuer le calcul suivant :



$$\text{PROD}_{\text{vap}} = M_{\text{eautot}} - M_{\text{purge}} ;$$

où

- PROD_{vap} est la quantité de vapeur produite recherchée (en kg) ;
- M_{eautot} est la quantité totale d'eau traitée consommée par la (les) chaudière(s) (en kg), supposée connue ici ;
- M_{purge} est la quantité d'eau perdue (extraite du circuit vapeur) pour effectuer les purges de déconcentration nécessaires à ce genre d'installation (en kg également) ;

b.1) M_{purge} peut très généralement être calculée de façon approchée en estimant le débit de purge, en le multipliant par le temps de purge quotidien (ces deux éléments sont souvent connus du personnel d'exploitation de la chaufferie), puis par le nombre de jours de fonctionnement annuel de l'installation vapeur. Même si la précision ainsi obtenue n'est pas très élevée, l'impact sur la valeur totale reste faible car cette purge reste toujours d'un ordre de grandeur très faible par rapport au volume produit (sauf problème technique).

b.2) PROD_{vap} correspond ici à la quantité de vapeur produite en sortie de chaudière. Si l'installation ne comporte pas de ballon de dégazage ou dégazeur, c'est aussi la quantité de vapeur produite et consommée par les divers utilisateurs de l'usine.

Par contre, si l'installation comporte un dégazeur, une partie de la vapeur produite en sortie de chaudière sert au chauffage de ce dégazeur et n'est donc plus mise à disposition des utilisateurs de l'usine (voir schéma donné en annexe VAP.2).

On doit alors plutôt remplacer la formule ci-dessus par la suivante :

$$\text{PROD}_{\text{vap}} = M_{\text{eautot}} - M_{\text{purge}} - M_{\text{vapdeg}} \text{ (en kg)} ;$$

où

- M_{vapdeg} est la quantité de vapeur utilisée par le dégazeur (en kg) ; cette dernière peut à son tour s'estimer par la formule suivante (avec une légère approximation) :

$$M_{\text{vapdeg}} = 1/h_{\text{vap}} \times M_{\text{eautot}} \times 4,187 \times [t_{\text{eauch}} - (n/100) \times t_{\text{retcond}} - ((100 - n)/100) \times t_{\text{eauaim}}] ;$$

où

- h_{vap} , M_{eautot} et n : mêmes notations et mêmes unités que plus haut ;
- 4,187 (kJ/kg.°C) est la chaleur spécifique de l'eau ;
- t_{eauch} est la température à laquelle l'eau est envoyée à la chaudière en sortie de dégazeur (généralement 100 ou 105°C) ;
- t_{retcond} est la température à laquelle les condensats récupérés reviennent au dégazeur ; cette température dépend de l'isolation (et de l'état de cette isolation) du réseau de retour condensats (en pratique entre 60 et 90°C) ;
- t_{eauaim} est la température à laquelle l'eau d'appoint traitée est fournie au dégazeur ; cette température dépend de l'origine de l'appoint (10 à 15°C si eau de ville ou eau de puits, jusque 20°C en été si eau de rivière) ; attention que dans le cas où un économiseur équipe la chaudière, l'eau d'appoint est réchauffée avant d'accéder au dégazeur ; dans ce cas, on doit prendre pour



$t_{\text{eau,lim}}$ la température en sortie d'économiseur (généralement de l'ordre de 60°C) ;

6.5 SUBDIVISIONS ET REPARTITIONS (B3)

Une fois la quantité totale de vapeur produite – et donc consommée – connue, il faut maintenant la répartir entre l'ensemble des utilisateurs.

On commence comme d'habitude par établir l'inventaire des valeurs compteurs disponibles, s'il y en a, puis par affecter ces valeurs aux lignes du tableau concernées.

Ensuite, divers cas peuvent se présenter :

6.5.1 la vapeur n'est utilisée que par des consommateurs « bâtiments » :

Dans ce cas, elle ne sert qu'au chauffage de divers locaux (via des aérothermes, ou des batteries vapeur en groupes de pulsion d'air, ou encore un système classique à eau par l'intermédiaire d'un échangeur vapeur/eau, ...).

a.1) Pour faire la répartition entre ces locaux, on peut soit subdiviser le total proportionnellement aux puissances de chauffage installées (si le système est du même type partout), soit même proportionnellement au nombre d'équipements (s'ils sont tous identiques, cas fréquent pour des aérothermes datant d'une même époque). Il importe de remarquer que dans ce cas, on répartit l'ensemble de la consommation de vapeur entre les divers consommateurs, ce qui revient à dire que les pertes liées au système (notamment les pertes en distribution et les fuites) sont également réparties entre ces mêmes consommateurs.

a.2) Dans le cas où divers systèmes coexistent, ou quand la précision requise est plus élevée, on peut effectuer un calcul faisant appel aux degrés.jours comme dans les cas de chauffage électrique ou par combustible. On a alors pour chaque zone ou local :

$$\text{CONS (en kg}_{\text{vap}}) = (P_{\text{inst ch}} / \Delta t_{\text{dim}}) \times (h/j) \times (j/7) \times \text{deg.jours} \times (3.600) \times (1/h_{\text{vap}})$$

où

- $P_{\text{inst ch}}$ est la puissance installée de l'équipement de chauffage concerné (en kW) ;
- Δt_{dim} est la différence de température intérieur / extérieur de dimensionnement du chauffage (en °C) ;
- h/j est le nombre d'heures par jour où le système de chauffage fonctionne (en heures/jour) ;
- $j/7$ définit la proportion de la semaine où le chauffage fonctionne (paramètre sans dimension) ;
- deg.jours désigne le nombre de degrés.jours pour l'année de référence (en °C.jour) ;
- h_{vap} est l'enthalpie de la vapeur telle que définie plus haut (en kJ/kg) ;

Le calcul tel qu'exposé ci-dessus évalue la consommation « finale » de chaque installation de chauffage, sans plus considérer les pertes en distribution ou par fuite. La



somme des consommations des divers équipements devra donc logiquement être inférieure à la production totale, la différence constituant justement l'ensemble des pertes et des fuites évoquées. On peut alors faire apparaître ce poste comme un « consommateur » particulier (par exemple dénommé « réseau »), et ainsi faire ressortir plus clairement son importance, ou bien le répartir entre les consommateurs proportionnellement aux chiffres de consommation individuelle. Attention toutefois au fait que dans le premier cas, le poste « pertes », calculé par différence entre la somme des consommations individuelles et le total, accumule également l'ensemble des erreurs de calcul et d'arrondi de toutes les évaluations. Sa précision peut dès lors se révéler faible, et il ne faut donc pas en tirer de conclusion trop hâtive.

6.5.2 la vapeur n'est utilisée que par des machines de production :

On peut ici aussi répartir le total connu ou effectuer certains calculs.

b.1) Si on répartit le total produit, on peut le faire au prorata des puissances installées si les temps de fonctionnement sont semblables, des produits (puissance installé x temps de fonctionnement) si ces temps diffèrent, ou encore proportionnellement aux besoins théoriques de chaleur quand on peut les calculer.

Dans ce dernier cas et à titre d'illustration, si on sait que différentes quantités de produits doivent être chauffés et/ou évaporés sous l'action de la vapeur, le calcul (via la connaissance des chaleurs spécifiques et des chaleurs latentes de vaporisation de ces divers produits) permet de déterminer la quantité théorique de chaleur annuelle nécessaire pour chacun des produits. Ceci se fait par l'utilisation de formules du type :

$$Q_{\text{chal}} = \Sigma [(M_{\text{prod}} \times C_{\text{prod}} \times \Delta t) + (M_{\text{prod}} \times L_{\text{prod}})] \text{ (pour l'ensemble des produits) ;}$$

où

- Q_{chal} est la quantité de chaleur théorique recherchée (en kJ) ;
- M_{prod} est la masse de produit traité (en kg) ;
- C_{prod} est sa chaleur spécifique (en kJ/kg.°C) ;
- Δt est la différence de température suivant laquelle le produit est chauffé (en °C) ;
- L_{prod} est la chaleur latente de vaporisation du produit (en kJ/kg) ;

Comme pour le cas des utilisateurs « bâtiment », le fait de répartir la consommation globale a comme conséquence qu'on répartit également dans les mêmes proportions les pertes et fuites du système vapeur dans son ensemble.

b.2) Si on effectue un calcul de la consommation de certains des utilisateurs, on peut utiliser différentes méthodes, dont les principales sont citées ci-après à titre illustratif :

- dans le cas où la vapeur est utilisée pour fournir de la chaleur, on évalue d'abord Q_{chal} de la même façon que ci-dessus ; on calcule ensuite Q_{deperd} , correspondant aux déperditions thermiques des éléments impliqués (cuves de stockage, tuyauteries de liaison ...) où Q_{deperd} est lui même déterminé par des formules du type :



$Q_{\text{deperd}} = \sum [A_i \times h_i \times \Delta t_i \times (1/1.000) \times \text{tps}_i \times 3.600]$ (pour l'ensemble des surfaces i occasionnant des déperditions thermiques) (en kJ) ;

avec

- A_i aire de la surface de déperdition i (en m^2) ;
- h_i coefficient de déperdition global de cette même surface, dépendant de sa forme et de la vitesse de circulation de l'air à proximité (approx. 7 à 8 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour des conditions très « calmes », jusque 15 à 20 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ en conditions extérieures dégagées) ;
- Δt_i la différence de température entre la température superficielle de A_i et la température d'air aux alentours de cette surface (en $^\circ\text{C}$) ;
- tps_i le temps annuel pendant lequel la surface i considérée est maintenue à température (en heures) ;

Dès lors, la consommation réelle supposée du process évoqué peut se calculer par :

$$\text{CONS} = (Q_{\text{chal}} + Q_{\text{deperd}}) \times (1/h_{\text{vap}}) \text{ (en kg de vapeur) ;}$$

- On peut également et de façon générale faire appel aux évaluations similaires à celles faites dans les autres chapitres, utilisant les puissances installées et temps de fonctionnement annuel :

$$\text{CONS (en kg}_{\text{vap}}) = P_{\text{inst}} \times f_1 \times f_2 \times h ;$$

avec

- P_{inst} la puissance installée de l'équipement (en $\text{kg}_{\text{vap}}/\text{h}$) ;
- f_1 un coefficient tenant compte du surdimensionnement de P_{inst} par rapport à la puissance maximale effectivement fournie en fonctionnement réel ; donc $f_1 < 1$;
- f_2 la fraction de la puissance maximale fournie en fonctionnement réel, qui est appelée en moyenne sur le temps total de fonctionnement ; $f_2 < 1$ également ;
- h le nombre annuel d'heures de fonctionnement ;

Si P_{inst} est donné en kW en non en $\text{kg}_{\text{vap}}/\text{h}$, on a :

$$\text{CONS (en kg}_{\text{vap}}) = P_{\text{inst}} \times (3.600/h_{\text{vap}}) \times f_1 \times f_2 \times h ;$$

- On peut aussi, avec une approximation plus importante, faire appel à des ratios qui donnent la consommation de vapeur par unité produite ; ces ratios, comme pour les vecteurs spéciaux (voir chapitre 4), proviennent généralement des services de comptabilité interne et sont basés sur les consommations d'années précédentes.
- On peut enfin, mais avec une approximation encore plus grande et quand aucune autre information n'est disponible, partir de l'évaluation suivante :

$$\text{CONS (en kg}_{\text{vap}}) = 20 \times \Phi \times m_{\text{vap}} \times 3.600 \times h$$



où

- 20 (m/s) est une vitesse moyenne de circulation de la vapeur dans un réseau correctement dimensionné ;
- Φ (en m²) est le diamètre de la tuyauterie d'alimentation en vapeur du process étudié ;
- m_{vap} est la masse volumique de la vapeur à la pression de travail considérée (des valeurs usuelles de m_{vap} sont données au tableau de l'*annexe VAP.1*) ;
- h est la durée annuelle de fonctionnement du process considéré (en h) ;

Il est cependant obligatoire, pour que cette formule puisse être appliquée, que l'alimentation en vapeur se fasse sans vanne de régulation, ou par l'intermédiaire d'une vanne dont on est certain qu'elle est en permanence ouverte à 100%, ce qui restreint le domaine d'application de cette méthode.

Comme pour le cas des utilisateurs « bâtiment », les calculs ci-dessus évaluent la consommation « finale » de chaque process. La différence entre la somme de ces consommations et la production totale constitue l'ensemble des pertes et des fuites du système vapeur. On peut alors faire apparaître ce poste « pertes » comme un « consommateur » particulier (par exemple dénommé « réseau »), et ainsi faire ressortir plus clairement son importance, ou le répartir entre les consommateurs proportionnellement aux chiffres de consommation individuelle. Attention toutefois au fait que dans le premier cas, le poste « pertes » accumule également l'ensemble des erreurs de calcul et d'arrondi de toutes les évaluations. Sa précision peut dès lors se révéler faible, et il ne faut donc pas en tirer de conclusion trop hâtive.

6.5.3 la vapeur est utilisée par des consommateurs « bâtiment » et « production » :

Dans le cas où on effectue des calculs de consommation individuels de chaque type de consommateur, on peut bien sûr se reporter aux méthodes de calcul évoquées ci-dessus. La différence entre la somme des consommations des postes « production » et « bâtiment » et le total produit donne bien une évaluation du total des pertes et fuites du système vapeur dans son ensemble.

Dans le cas où on désire répartir des consommations globales entre différents utilisateurs, il est généralement préférable de séparer le total « bâtiment » du total « production », puis de n'effectuer des répartitions telles que décrites plus haut que dans chacune des catégories isolément. Pour séparer ces deux catégories principales, on peut dans certains cas utiliser une méthode assez simple :

si on connaît (par mesure, enregistrement, calcul ...) la consommation de l'ensemble (process + bâtiment) dans les deux configurations : hiver d'une part, été d'autre part ;

si par ailleurs le process traité peut être considéré comme stable (càd fonctionnant de manière semblable en été en en hiver) ;

et si enfin on peut considérer que le chauffage fonctionne de façon relativement constante pendant toute la période de chauffe ;

on peut alors en déduire une première répartition bâtiment – process ;

pour ce faire :



$\text{CONS (process)} = \text{CONS (été)} \text{ (en kg}_{\text{vap}}/\text{h)} \times \text{durée annuelle de fonctionnement (en h)} ;$
 $\text{CONS (bâtiment)} = (\text{CONS (hiver)} - \text{CONS (été)}) \times \text{durée de la période de chauffage (en h)} ;$

$\text{CONS (process)} / (\text{CONS}(\text{process}) + \text{CONS (bâtiment)})$ peut alors être considéré comme la partie « production » ;
et $\text{CONS (bâtiment)} / (\text{CONS}(\text{process}) + \text{CONS (bâtiment)})$ comme la partie « bâtiment ».

L'application des ratios ainsi définis au chiffre indiquant le total de la vapeur produite et consommée dans l'entreprise permettra alors une première répartition bâtiment – production, et d'autres répartitions à l'intérieur de chacune de ces catégories peuvent ensuite être réalisées comme exposé aux points a) et b).

Pour terminer, il est clair que l'ensemble des méthodes illustrées dans ce chapitre peuvent coexister : on peut ainsi rencontrer simultanément des valeurs compteurs et d'autres qui doivent être calculées, des sous-totaux (correspondant par exemple à un compteur global) départagés par répartition et d'autres par calcul de chaque sous-composant, ...etc.

Des exemples concrets de ces différents moyens d'estimation sont donnés en annexe VAP.3



ANNEXE VAP.1 – VAPEUR – VALEURS D'ENTHALPIE

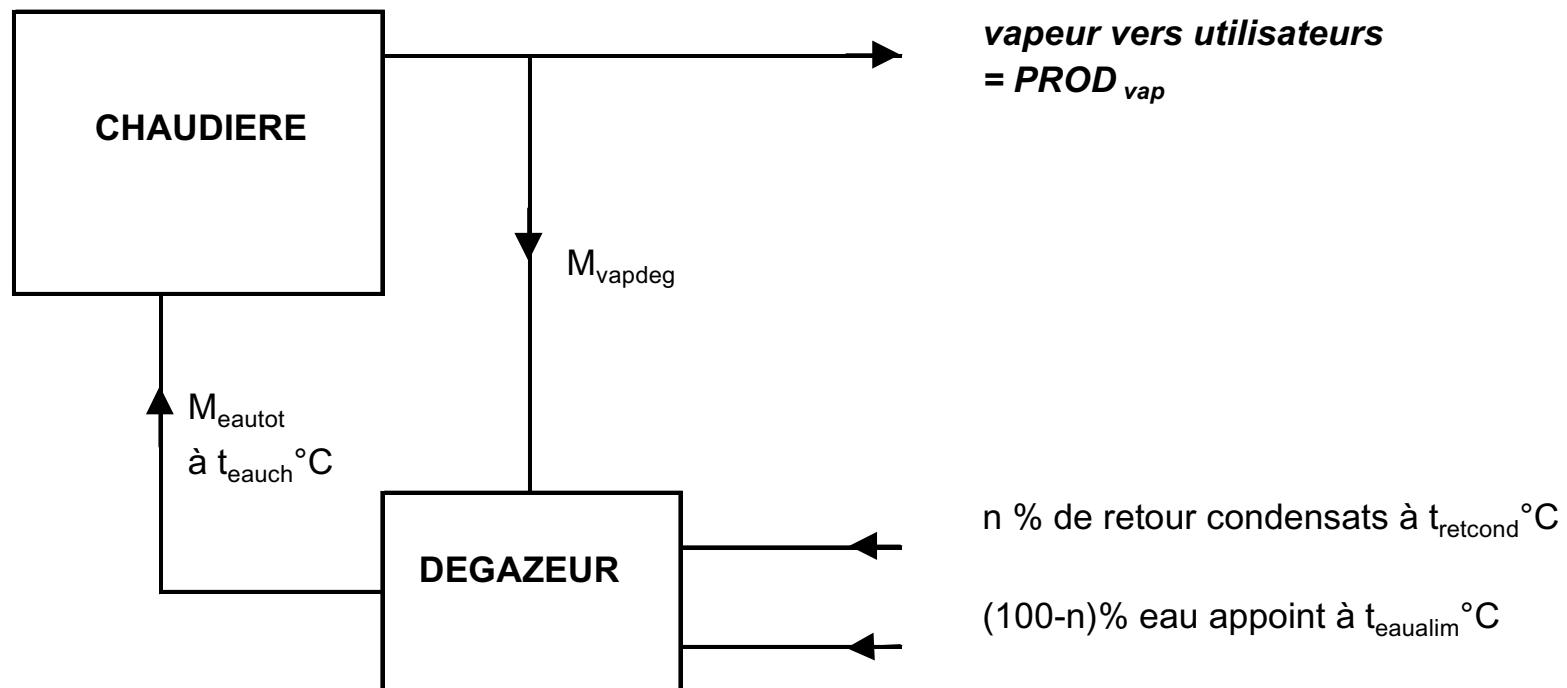


Vapeur - quelques valeurs d'enthalpie				
pression absolue (bar)	h_{vaps} (kJ/kg)	h_{liq} (kJ/kg)	h_{tot} (kJ/kg)	m_{vap} (kg/m ³)
1	2.258	417	2.675	0,592
2	2.202	505	2.707	1,130
3	2.163	561	2.724	1,650
4	2.133	605	2.738	2,165
5	2.107	640	2.747	2,667
6	2.085	670	2.755	3,165
7	2.065	697	2.762	2,676
8	2.047	721	2.768	4,167
9	2.030	743	2.773	4,651
10	2.014	763	2.777	5,147
11	1.999	781	2.780	5,637
12	1.984	798	2.782	6,127
13	1.972	815	2.787	6,618
14	1.958	830	2.788	7,107
15	1.945	845	2.790	7,593
16	1.933	859	2.792	8,084
17	1.922	872	2.794	8,576
18	1.910	885	2.795	9,066
19	1.899	897	2.796	9,551
20	1.889	909	2.798	10,050



ANNEXE VAP.2 – VAPEUR – SCHEMA AVEC DEGAZEUR





ANNEXE VAP.3 – VAPEUR – EXEMPLES D’ESTIMATIONS



- Le premier des exemples qui suivent traite de consommation vapeur pour les seuls bâtiments de l'entreprise.

La liste des halls concernés se trouve en première colonne. Les puissances de chauffage installées dans certains de ces locaux sont données en deuxième et troisième colonnes (on remarque que tous les halls ne sont pas nécessairement équipés de chauffage). Dans la troisième colonne se trouve le relevé des compteurs vapeur tel que donné par la comptabilité analytique de l'entreprise : on peut constater que ce relevé est anormal puisqu'il mentionne des consommations pour certains locaux non équipés de chauffage, et vice versa. L'affectation des valeurs compteur aux locaux étudiés est donc incorrecte. Par contre, la valeur totale correspond effectivement bien à une consommation réelle car les compteurs sont vérifiés et étalonnés régulièrement. On a donc procédé à des calculs de consommation suivant la formule du point 6.5.1 (avec la valeur de degrés.jours correspondant à l'année de référence examinée, pour une localisation proche de l'entreprise), et on a obtenu les résultats exposés en dernière colonne. Etant donné que la somme des valeurs ainsi calculée ($7.142 T_{vap}$) correspond raisonnablement bien (différence de 7,7 %, acceptable dans le cas présent car les consommations « bâtiment » restent faibles par rapport aux consommations « production ») à la somme des valeurs compteurs ($7.738 T_{vap}$), on garde cette dernière colonne dans le tableau de consommation final.

- Le deuxième exemple comporte deux pages :

la première expose le relevé des compteurs disponibles, assez nombreux pour l'entreprise concernée ; la dernière colonne (3^{ème} colonne « Tonne ») donne les relevés compteurs tels quels ; le total de ces relevés donne 40.678 T, alors que la production de vapeur totale, identifiée par ailleurs, est de 54.776 T ; en avant-dernière colonne (2^{ème} colonne « Tonne ») se trouvent les valeurs de compteurs correspondant à des sous-ensembles (ainsi, le total « travées 1 à 4 » (26.366 T) comprend, entre autres, les groupes 1 à 4, dont le total donne 16.184 T – reste donc 10.181 T) ; on obtient ainsi par différence de valeurs compteurs les chiffres donnés en 1^{ère} colonne « Tonne » (chiffres supérieurs des cadres) ; ces chiffres correspondent eux-mêmes à un ensemble de consommateurs, et on réalise la subdivision entre eux suivant les produits (puissance installée x temps de fonctionnement) ;

on passe alors à la deuxième page, qui s'intéresse à la différence entre le total produit (54.776 T) et le total des valeurs compteurs (40.678 T), soit 14.098 T. Ce chiffre correspond à un ensemble de consommateurs qui ne sont repris sous aucun compteur, et dont on dresse la liste. Pour répartir le solde de 14.098 T entre ces consommateurs, on procède alors comme ci-dessus, par une subdivision suivant les produits (puissance installée x temps de fonctionnement) ;

- Dans le troisième et dernier exemple, on peut voir que quatre réseaux de vapeur à pression différente sont installés dans l'usine : ils sont considérés comme quatre vecteurs « utilités » différents, étudiés séparément ;

plusieurs méthodes d'estimation sont utilisées :

la consommation des bâtiments est calculée en se basant sur les puissances installées et sur les valeurs de degrés.jours « normaux », comme exposé au point 6.5.1 ;

pour l'ensemble des consommateurs « production » du bâtiment nord sauf les collecteurs, c'est la quantité de chaleur nécessaire au chauffage des éléments et l'évaluation des déperditions de cuves et réacteurs (voir au point 6.5.2, b.2) qui a permis d'obtenir les valeurs notées ;




en ce qui concerne les collecteurs de ce même bâtiment, l'évaluation se base sur une mesure de débit instantané, multipliée par le nombre d'heures total de fonctionnement ;
il en va de même pour les réacteurs et le stockage chaud du bâtiment sud, ainsi que pour les réacteurs du bâtiment est ;
enfin, les évaporateurs (bâtiments sud et est) et le séchage du bâtiment sud, ont été évalués en calculant la quantité d'eau évaporée par tonne de produit, puis en la multipliant par les quantités de production, pour chacun des équipements ;

la différence entre la somme des valeurs calculées et la production totale de vapeur, déterminée par ailleurs suivant la formule du point 6.5.2 s'élève à 30.804 T, valeur notée en rubrique « réseau vapeur », qui regroupe l'ensemble des pertes de tout le réseau, ainsi que les erreurs de calcul et d'arrondi de l'ensemble des évaluations.



	PUISS.INST. (kcal/h)	PUISS.INST. (kW)	COMPTEURS (T _{vap})	CALCULS (T _{vap})
Halls industriels				
broyage				
hall P				
hall + magasin pièces rechange				
atelier de maintenance (méc. + électr.)			578	
magasin général	270.000	314	1.350	749
pont bascule				
hydro	90.000	105		250
stockage silos	400.000	465		1.116
hall S				
stockage B	325.000	378		906
hall chaudières	60.000	70		167
hall CM	164.000	191	1.210	455
atelier bi-				
hall expédition			2.300	
magasin bi- expédition - hall bi-			2.300	
remise loco				
hall D				
hall ST - Euro	550.000	640		1.521
magasins ST - Euro	200.000	233		553
hall z	506.400	589		1.425
labo - recherche				
Total			7.738	7.142

 = case où un système de chauffage est effectivement installé
donc où une consommation non nulle devrait se retrouver



Année 1998

Débimètre	Utilisation	Puissance installée kg/h	Tonne	Tonne	Tonne
PV111	Vap.NEP emb				2002,981
PV112	Travées 1 à 4 et reprend:				26365,635
PV103	Groupe 1			4874,205	
PV104	Groupe 2			3495,595	
PV106	Groupe 3			4067,798	
PV107	Groupe 4			3746,683	
			10181,354		
	Eau chaude travées	360	661		
	Chauffage général B	3200	5764		
	Chauffage hangars 6 à 9	900	1555		
	Chauffage et eau chaude boucle	530	572		
	Chauffage soufflage	520	336		
	Chauffage hangar 18	1015	512		
	Chauffage hangars T	1550	781		
PV113	Groupe 6				4456,043
PV114	Groupe 7				586,552
PV101	Siro +PV119 et reprend:				7266,637
			6096,07		
	Eau chaude pastos	3200	4356		
	Chauffage siro	1250	540		
	NEP siro	2000	1200		
PV119	Salle des machines et reprend:		1170,567		
	Chauffage zone sèche	870	42		
	Chauffage emb.	160	31		
	Chauffage cave	96	18		
	Chauffage hangars 13 à 17	9400	621		
	NEP S	1000	150		
	Eau chaude SB	162	4		
	Chauffage cave carton	64	29		
	Chauffage emb. S 2	480	276		
	Total mesuré				40677,848
	Production vapeur				54775,868



Autres consommateurs non mesurés		14098,02	14098,02
Chauffage bloc S	600	552	
Climatisation injection	120	78	
Aérotherme cave technique	90	36	
Echangeur NEP	2800	1932	
Aérotherme local incendie	32	16	
Filtres à charbon	200	80	
Chauffage BA	990	907	
Aérotherme ascenseur	90	36	
GP 5	800	518	
Eau chaude T	1080	529	
GP 1 à GP 4	4160	2696	
GP salon	200	58	
Chauffage palétisation	268	308	
Chauffage extension	120	104	
Chauffage hangars 10-11-12	3384	3655	
GP 15 à GP 18	4000	2593	



CONSOMMATIONS DE VAPEUR - ANNEE 1998				
	10 bar (Tonnes)	6 bar (Tonnes)	4 bar (Tonnes)	1,5 bar (Tonnes)
PRODUCTION				
BATIMENT NORD				
12 laveurs				
taille 1	0	473	0	/
taille 2	0	853	0	/
taille 3	0	1.249	0	/
12 réacteurs				
stade 1	0	/	0	/
stade 2	0	60	0	/
4 réchauffeurs	0	4.536	0	/
4 neutraliseurs	0	360	0	0
collecteurs	0	0	0	4.986
BATIMENT SUD				
EXTRACTION				
stockage	0	0	0	0
extraction liquide	0	0	0	0
évaporateurs	0	0	2.300	0
EMBALLAGE				
triage	0	0	0	0
séchage	0	384	0	0
RETRAITEMENT				
réacteurs	0	0	54	0
STOCKAGES CHAUDS	0	0	86	0
BATIMENT EST				
EXTRACTION				
évaporateurs à colonne	0	0	5.703	0
ventilateurs d'extraction	0	0	0	0
RETRAITEMENT				
évaporateurs à colonne maxi	0	8.390	3.610	0
RECTIFICATION				
réacteur de rectification	0	1.637	0	0
DIVERS NON LOCALISES				
NETTOYAGES	0	0	0	0
RESEAU VAPEUR	30.804	0	0	0
TOTAL PRODUCTION	30.804	17.942	11.753	4.986
BATIMENTS				
BUREAUX				
administration	66	0	0	0
achats	366	0	0	0
reste bureaux (hors cuisine)	0	0	315	0
loge	60	0	0	0
cuisine	0	0	84	0
HALLS				
prod 1	0	0	0	0
prod 2	0	64	0	0
prod 3	0	0	464	0
prod 4	0	0	546	0
prod 5	0	0	0	0
prod 6	0	0	0	0
prod 7	317	0	0	0
prod 8	0	0	0	0
TOTAL BATIMENTS	809	64	1.409	0



7 ECA – UTILITES EAUX TRAITEES



7.1 INTRODUCTION

Le deuxième groupe d'utilités abordé est celui des eaux traitées. Ce sont des eaux, provenant initialement d'eau de ville, de puits ou de rivière (voir chapitre 4), qui subissent un traitement puis qui sont distribuées à un certain nombre d'utilisateurs de l'entreprise.

On y trouve une très grande variété d'eaux, donc de traitements, suivant les besoins spécifiques du process. On peut d'abord citer les eaux généralement traitées et distribuées à température ambiante : eaux déminéralisée, adoucie, décarbonatée, déferriée, filtrée ou « ultra-filtrée » ; ou les eaux supposant également un « traitement thermique » : eaux chaude ou glacée. Les deux types de « traitements » ainsi définis peuvent bien sûr se superposer : eau adoucie chaude, eau glacée décarbonatée, ...etc.

Comme pour la vapeur, il faut garder à l'esprit le double angle d'examen nécessaire ; le premier est celui de la consommation en eaux traitées de tous les utilisateurs (production, bâtiments, utilités) : c'est l'analyse de colonnes du tableau de consommation ; le second est celui de la consommation en énergie et en autres utilités liée au traitement lui-même : c'est l'étude de lignes du tableau de consommation.

7.2 METHODOLOGIE GENERALE

On peut résumer les opérations à effectuer par :

- A. concernant les lignes « eaux traitées » du tableau de consommation : noter la consommation en diverses énergies achetées ainsi qu'en utilités, du traitement examiné ;
- B. pour chacune des colonnes « eaux traitées » du tableau de consommation :
 - B.1. déterminer la quantité totale annuelle d'eau traitée ou consommée (on ne suppose en effet pas de stockage, sauf pour des périodes très courtes n'affectant pas le bilan annuel) dans l'entreprise pour l'année de référence ; cette quantité, équivalente de la « facture » annuelle des énergies achetées, est à noter en dernière ligne du tableau de consommation, sous la colonne correspondant à l'eau examinée ;
 - B.2. répertorier, valider et affecter les données de compteurs individuels éventuels, avec les mêmes remarques que celles des chapitres précédents concernant la vérification de l'étalonnage, de la plage de fonctionnement, et l'affectation aux bonnes lignes du tableau ;
 - B.3. réaliser les subdivisions de valeurs par répartitions ou calculs partiels.

7.3 CONSOMMATIONS LIEES AU TRAITEMENT DES EAUX (A)

On remplit ici la ligne du tableau de consommation correspondant à chacune des eaux traitées.

Il s'agit de déterminer des consommations en énergies achetées : électricité pour le pompage de ces eaux ou le fonctionnement des machines frigos dans le cas d'eau



glacée, combustible dans le cas d'eau chaude, eau (de ville, de rivière ou de puits) pour l'alimentation ; et des consommations en autres utilités (éventuellement air comprimé).

Pour ce qui est des énergies achetées, le chiffre de consommation a en principe déjà été déterminé dans l'analyse des énergies achetées correspondantes. On peut néanmoins faire quelques remarques :

a) L'électricité de pompage s'estime, soit par mesure (compteur ou mesure de P_{cons} à la pince ampèremétrique – voir chapitre 2 – point E.1), soit par calcul (chapitre 2 – point E.2). Dans ce dernier cas, si on ne connaît pas la quantité d'eau pompée, on peut faire une estimation basée sur le produit (puissance consommée x temps de fonctionnement) ; et si on connaît la quantité d'eau pompée et le débit nominal de la (des) pompe(s), on détermine d'abord un temps « équivalent » de fonctionnement à régime nominal (quantité divisée par débit nominal), puis une estimation de la consommation électrique par le produit (puissance installée x temps équivalent à régime nominal).

b) Dans le cas de machines frigos, la consommation électrique correspondante est soit enregistrée, soit calculée d'après la puissance de la machine (voir chapitre 2). Si on connaît la quantité d'eau glacée produite et les conditions de température, on peut aussi effectuer un calcul à partir de la quantité d'énergie frigorifique fournie :

$$\text{CONS} = M_{\text{eaugl}} \times 4,187 \times (t_{\text{egret}} - t_{\text{egdep}}) \times (1/3.600) \times (1/\text{COP}_{\text{moy}}) \quad (\text{en kWh})$$

où

- M_{eaugl} est la quantité d'eau glacée produite annuellement (en kg) ; attention : il s'agit bien du débit total transitant par les machines frigos, et tournant souvent en circuit fermé, pas du débit d'appoint (qui constitue pourtant la véritable consommation en eau de l'installation de froid) ;
- 4,187 (kJ/kg.°C) est la chaleur spécifique de l'eau ;
- t_{egret} est la température à laquelle revient l'eau glacée aux machines frigos (°C) ;
- t_{egdep} est la température de départ de l'eau glacée (à la sortie des machines frigos) (°C) ;
- COP_{moy} est une valeur annuelle moyenne du « coefficient de performance » de la machine frigo ; cette valeur dépend du COP théorique de la machine en conditions nominales, et de l'influence des variations de régime par rapport à ce régime nominal ; il peut être estimé en fonction des caractéristiques théoriques de la machine et des conditions de température auxquelles elle travaille ; en pratique, COP_{moy} varie de 2,5 à 4,5 ;

c) Les quantités de combustible consommé, dans le cas de l'eau chaude produite par une chaudière, peuvent être estimées suivant les indications données au chapitre 3. Si on connaît la quantité totale d'eau chaude consommée ainsi que les conditions de température, on peut, suivant un principe semblable à ce qui est exposé ci-dessus, effectuer le calcul à partir de la quantité d'énergie thermique fournie :

$$\text{CONS} = M_{\text{eauch}} \times 4,187 \times (t_{\text{chdep}} - t_{\text{chret}}) \times (1/\eta_{\text{moy}}) ; \quad (\text{en kJ})$$

CONS (en unités physiques) : obtenu à partir de la valeur de CONS (en kJ) ci-dessus et de coefficients dépendant du combustible utilisé (voir chapitre 3) ;



où

- M_{eauch} est la quantité d'eau chaude produite annuellement (en kg) ;
- $4,187 \text{ (kJ/kg.}^\circ\text{C)}$ est la chaleur spécifique de l'eau ;
- t_{chdep} est la température de départ de l'eau glacée (à la sortie de la chaudière) ($^\circ\text{C}$) ;
- t_{chret} est la température à laquelle revient l'eau chaude à la chaudière ($^\circ\text{C}$) ;
- η_{moy} est une valeur annuelle moyenne du rendement de production de la chaudière utilisée ;

d) Les quantités d'eau d'alimentation dépendent du vecteur examiné :

- soit il faut une quantité d'eau d'alimentation égale à la quantité d'eau traitée (exemple : eau chaude si on néglige l'évaporation) ; dans ce cas, se reporter au paragraphe suivant où cette quantité est évaluée ;
- soit il faut une quantité d'eau d'alimentation supérieure à la quantité d'eau traitée (exemple : eau déminéralisée, ou la régénération du déminéraliseur demande une certaine quantité d'eau d'alimentation qui est ensuite perdue) ; dans ce cas, on multiplie la quantité totale d'eau traitée déterminée au paragraphe suivant par le « facteur de régénération » qui détermine le besoin total en eau par m^3 d'eau traitée produite, et qui est généralement connu par les caractéristiques techniques de l'équipement de traitement ;

Pour ce qui est des autres utilités, le traitement d'eau ne consomme en principe éventuellement que de l'air comprimé ; pour cette évaluation, voir plus loin (chapitre 7).

7.4 QUANTITE TOTALE D'EAU TRAITEE, ET REPARTITIONS (B)

On s'occupe maintenant de chaque colonne du tableau de consommation représentative d'une eau traitée.

La méthode générale à appliquer pour déterminer le total d'eau traitée produite ainsi que pour répartir ce total entre les divers consommateurs ne diffère pas de celle utilisée pour l'eau de rivière ou de puits. On peut donc utilement se reporter au chapitre 4.

REMARQUE : DOUBLES COMPTAGES

Afin d'éviter des doubles comptages conduisant à des erreurs importantes, il ne faut pas perdre de vue que les méthodes d'examen des eaux traitées envisagées ci-dessus ne sont valables que pour les eaux considérées comme véritables utilités. Ces eaux doivent donc être produites dans l'usine et distribuées à plusieurs consommateurs. Si une eau est traitée puis consommée par un seul consommateur, il vaut mieux ne pas la considérer comme une utilité, et affecter alors à ce consommateur la consommation en eau de ville, de rivière ou de puits de l'équipement de traitement d'eau considéré.

A titre illustratif, on peut considérer l'exemple suivant : si un déminéraliseur ne fonctionne que pour produire l'eau déminéralisée nécessaire à la chaudière vapeur, il est plus simple et préférable de ne pas faire apparaître l'eau déminéralisée comme une



utilité séparée (avec sa propre colonne et sa ligne au tableau de consommation), et il faut plutôt indiquer en ligne « vapeur » la somme des consommations électriques du déminéraliseur et de la chaudière, la consommation en eau du déminéraliseur, et éventuellement la somme des consommations en air comprimé de la chaudière et du déminéraliseur. Si par contre l'eau déminéralisée est consommée par d'autres machines que la chaudière de production de vapeur, il faut alors créer une utilité « eau déminéralisée », remplir la ligne « eau déminéralisée » avec les consommations en électricité, en eau et en air comprimé du déminéraliseur, et noter en ligne « vapeur » la consommation en eau déminéralisée de la chaudière.

On trouvera en annexe EAUTR.1 un exemple illustratif utile à la compréhension de ces évaluations.



ANNEXE EAUTR.1 – EAUX TRAITEES – EXEMPLES D’ESTIMATIONS



Dans l'exemple suivant est donné un extrait du tableau de consommation global d'un cas réel. Y figurent les heures et niveaux de production de différents produits, leurs consommations en énergies achetées (en l'occurrence ici électricité et gaz naturel), et leurs consommations en utilités (vapeur et eaux traitées).

Examinons les eaux traitées : eau chaude, eau adoucie, eau glacée brute et eau glacée douce.

Consommation électrique liée au pompage :

Le volume total de toutes les eaux pompées, y compris l'eau de puits non mentionnée ici, est de 703.032 m³, obtenu comme la somme des quantités d'eau (enregistrées par compteur) pompées par 4 pompes principales. Si on divise ces 4 quantités connues par le débit nominal de chacune des pompes, on obtient les temps « équivalents » de fonctionnement annuel à régime nominal de chacune de ces 4 pompes. En multipliant alors la puissance installée de chaque pompe par le temps équivalent ci-dessus, on obtient la consommation électrique de chaque pompe. Le total de la consommation des 4 pompes ainsi calculé est de 236.966 kWh

Eau chaude :

Il s'agit d'eau adoucie qui est ensuite chauffée ; on ne connaît que le total eau adoucie, par compteur (203.915 m³) ; on calcule d'abord (débit nominal x heures de fonctionnement) la consommation en eau douce de tous les utilisateurs « production » connus et on obtient un total de 157.457 m³ ; il apparaît donc que le total d'eau chaude produite est de $203.915 - 157.457 = 46.458 \text{ m}^3$: c'est bien le total (dernière ligne) de la colonne « eau chaude ».

Pour répartir ce total, on identifie différents consommateurs : le premier est un des tunnels (2.500 m³, connu d'après les caractéristiques théoriques de ce tunnel en termes de débit et de temps total de fonctionnement), où ne transitent que certains produits : on décide de subdiviser ce chiffre de 2.500 m³ entre ces produits au prorata des heures annuelles de fonctionnement ; le deuxième consommateur est constitué des lances de dégivrage des tunnels, dont on estime la consommation globale par multiplication du débit estimé (18 m³/h) pendant 2 h/jour et 256 jours/an, ce qui donne approx. 9.200 m³ : on décide de répartir ce total entre les différents produits (tous sont concernés, cette fois) proportionnellement aux heures annuelles de fonctionnement ; il est ainsi possible de vérifier au tableau ci-après que la somme des consommations en eau chaude de tous les sous-postes « tunnel » vaut bien 11.700 m³ (2.500 + 9.200) ; enfin, le solde ($46.458 - 2.500 - 9.200 = 34.758 \text{ m}^3$) correspond au nettoyage des lignes : là aussi, on effectue une répartition proportionnelle aux heures annuelles de fonctionnement ; de nouveau, on pourra vérifier ci-après que la somme des termes « nettoyage » vaut bien 34.758 m³.

La consommation électrique liée au pompage s'obtient simplement en proportion des quantités globales : $236.966 \times (46.458 / 703.032) = 15.659 \text{ kWh}$ (voir chiffres ci-dessus) : c'est bien ce qui est noté au tableau joint.

Et enfin, la consommation de vapeur liée à la production d'eau chaude se calcule à partir du besoin en chaleur (dont le calcul donne 6.808 GJ), auquel on ajoute la déperdition calculée de la cuve de stockage (604 GJ), le tout divisé par l'enthalpie de la vapeur dans les conditions rencontrées ici (2,79 GJ/kg), ce qui donne bien une consommation de vapeur de 2.657 T nécessaire à la production de l'eau chaude discutée.



Eau glacée douce :

Il s'agit d'eau adoucie qui est ensuite refroidie dans une machine frigo. Le total est estimé par un produit débit nominal d'eau dans la machine frigo ($28 \text{ m}^3/\text{h}$) x nombre d'heures total de fonctionnement (3.405), soit 95.334 m^3 . C'est bien ce qui est indiqué en dernière ligne de la colonne.

La consommation électrique correspondante est la somme de la consommation liée au pompage (même principe que pour l'eau chaude, donc $236.966 \times (95.334 / 703.032) = 32.133 \text{ kWh}$, et de la consommation de la machine frigo (calcul d'après la quantité de froid fournie : $95.334 \times 1.000 \times 4,187 \times \Delta t$ (ici, 8°C) $\times (1/3.600) \times (1/\text{COP}$ (estimé ici à 2,5))

= 354.822 kWh , donc au total 386.955 kWh , comme indiqué au tableau ci-joint.

En ce qui concerne la répartition du total d'eau glacée entre les consommateurs, on effectue une répartition proportionnelle entre les produits, en fonction de (quantité théorique d'eau glacée par tonne de produit (connue par les exploitants) x production annuelle). On peut vérifier que le total des chiffres notés en colonne « eau glacée douce » ci-après vaut bien 95.334 m^3 .

Eau adoucie :

C'est le reste de l'eau adoucie, en-dehors de l'eau chaude et de l'eau glacée adoucie, soit $203.915 - 46.458 - 95.334 = \underline{62.125 \text{ m}^3}$. C'est bien ce qui est indiqué en dernière ligne de la colonne « eau adoucie ».

La répartition s'effectue en estimant d'abord la consommation de certains des produits (sur base de l'expérience des exploitants de l'usine et des quantités produites) : on justifie ainsi les chiffres de 3.400 , 1.522 et 6.000 m^3 . Le solde ($62.125 - 3.400 - 1.522 - 6.000 = \underline{51.203 \text{ m}^3}$) est affecté au dernier des produits consommant de l'eau adoucie.

La consommation électrique n'est que celle du pompage, calculée comme pour les autres eaux : $236.966 \times (62.125 / 703.032) = \underline{20.940 \text{ kWh}}$, comme indiqué au tableau ci-joint.

Eau glacée brute :

Le seul traitement subi par cette eau est le passage par les machines frigos. Le total est connu par compteur : 207.011 m^3 .

La consommation électrique, comme pour l'eau glacée douce, est la somme de la consommation liée au pompage ($236.966 \times (207.011 / 703.032) = 69.776 \text{ kWh}$), et de la consommation de la machine frigo (calcul d'après la quantité de froid fournie : $207.011 \times 1.000 \times 4,187 \times \Delta t$ (ici, 8°C) $\times (1/3.600) \times (1/\text{COP}$ (estimé ici à 2,5)) = 770.449 kWh , donc au total 840.224 kWh , comme indiqué au tableau ci-joint.

Enfin, la répartition entre les produits consommateurs se réalise de la même façon que pour l'eau glacée douce, en proportion des quantités théoriques d'eau glacée connues par tonne produite et des productions annuelles.



CONSOMMATIONS EN EAU TRAITEE - ANNEE 1998									
			EN. ACHETEES		UTILITES				
			électricité	gaz naturel	vapeur	eau chaude	eau adoucie	eau gl.brute	eau gl.douce
			(kWh)	(GJ)	(T _{vap})	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
PRODUCTION - LIGNES	Prod.	Prod.							
	(h/an)	(T/an)							
RACINES	5.036	20.902	7.942.393	0	10.686	15.784	0	25.485	34.130
cuisine, ligne blanchiment						0	0	25.485	34.130
tunnel						4.304	0	0	0
nettoyage						11.480	0	0	0
POIS + FEVES	3.156	20.024	4.162.482	0	5.443	9.677	51.203	29.381	27.212
cuisine, ligne blanchiment						0	51.203	29.381	27.212
tunnel						2.483	0	0	0
nettoyage						7.194	0	0	0
HARICOTS	1.651	6.655	1.339.518	0	2.489	4.774	0	17.942	15
cuisine, ligne blanchiment						0	0	17.942	15
tunnel						1.011	0	0	0
nettoyage						3.763	0	0	0
LEG.FEUILLES NATURE	2.265	6.376	1.475.707	0	2.386	6.530	3.400	80.278	0
cuisine, => 2e laveur						0	3.400	0	0
blancheur + refroidisseur						0	0	80.278	0
tunnel						1.367	0	0	0
nettoyage						5.163	0	0	0
LEG.FEUILLES CREME	1.015	2.854	716.265	0	1.068	2.926	1.522	43.039	0
blancheur + refroidisseur						0	1.522	35.934	0
local crème						0	0	7.105	0
tunnel						612	0	0	0
nettoyage						2.314	0	0	0
RIZ + BLE DUR	1.017	4.252	1.661.854	0	3.191	3.560	6.000	0	33.780
cuisine, amont blancheur 4						0	6.000	0	0
cuisine, ligne blanchiment						0	0	0	33.780
tunnel						1.242	0	0	0
nettoyage						2.318	0	0	0
CHOUX BRUX, S, F, CHF	1.108	4.101	813.122	0	1.520	3.207	0	10.886	197
cuisine, ligne blanchiment						0	0	10.886	197
tunnel						681	0	0	0
nettoyage						2.526	0	0	0
UTILITES									
vapeur			138.420	106.191	0	0	0	0	0
eau chaude			15.659	0	2.657	0	0	0	0
eau adoucie			20.940	0	0	0	0	0	0
eau glacée brute			840.224	0	0	0	0	0	0
eau glacée douce			386.955	0	0	0	0	0	0
TOTAUX			19.513.539	106.191	29.440	46.458	62.125	207.011	95.334



8 ECA – UTILITES AIR COMPRIE



8.1 INTRODUCTION

Le troisième et dernier groupe d'utilités abordé est celui de l'air comprimé. Il peut ne s'agir que d'un vecteur unique, mais il peut aussi constituer un groupe de plusieurs utilités si on fait une distinction entre différents types d'air comprimé (par exemple entre niveaux de pression, ou encore entre air « process » et air « instrumentation »). Rappelons encore que n'est abordé ici que l'air produit à l'intérieur de l'entreprise à partir d'énergie achetée (très généralement électricité) et distribué à plus d'un utilisateur : ainsi le cas de l'équipement de production disposant de son propre compresseur n'entrera pas dans la présente analyse, on préférera dans ce cas affecter la consommation électrique du compresseur en question à la catégorie « production », en le notant en face de l'équipement qui utilise le compresseur.

Comme pour la vapeur et les eaux, il faut garder à l'esprit le double angle d'examen nécessaire ; le premier est celui de la consommation en air(s) comprimé(s) de tous les utilisateurs (production, bâtiments, utilités) : c'est l'analyse de colonnes du tableau de consommation ; le second est celui de la consommation en énergie (électricité pour compresseurs et sécheurs éventuels) et en autres utilités éventuelles (eau ou fluide de refroidissement) liée au traitement lui-même : c'est l'étude de lignes du tableau de consommation.

8.2 METHODOLOGIE GENERALE

On peut résumer les opérations à effectuer par :

- A. concernant la ou les ligne(s) « air comprimé » du tableau de consommation :
noter la consommation en électricité et éventuellement en fluide de refroidissement, des compresseurs et sécheurs d'air examinés ;
- B. pour chacune des colonnes « air comprimé » du tableau de consommation :
 - B.1. déterminer la quantité totale annuelle d'air produit donc consommé (on ne suppose en effet pas ici non plus de stockage à l'échelle du bilan annuel) dans l'entreprise pour l'année de référence ; cette quantité, équivalente de la « facture » annuelle des énergies achetées, est à noter en dernière ligne du tableau de consommation, sous la colonne correspondant à l'air examiné ;
 - B.2. répertorier, valider et affecter les données de compteurs individuels éventuels, avec les mêmes remarques que celles des chapitres précédents concernant la vérification de l'étalonnage, de la plage de fonctionnement, et l'affectation aux bonnes lignes du tableau ;
 - B.3. réaliser les subdivisions de valeurs par répartitions ou calculs partiels.

8.3 CONSOMMATIONS LIEES A LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME (A)

On remplit ici la ligne du tableau de consommation correspondant à chacune des subdivisions d'air comprimé.



Il s'agit de déterminer les consommations en électricité des compresseurs et sècheurs d'air éventuels. Ce chiffre peut être obtenu par l'enregistrement d'un compteur spécifique, mais c'est rarement le cas. Si on est amené à le calculer, la méthodologie à suivre répond aux principes déjà déterminés dans l'analyse des consommations d'électricité, mais on peut néanmoins faire quelques remarques :

- a) pour ce qui est des sècheurs, on détermine la consommation par une formule du type habituel :

$$\text{CONS} = P_{\text{inst}} \times f_{\text{séch}} \times h_{\text{séch}} \quad (\text{en kWh})$$

Où

- $f_{\text{séch}}$ est un coefficient « de charge » défini comme ailleurs ;
- $h_{\text{séch}}$ est le nombre d'heures de fonctionnement du sécheur, généralement connu par compteur horaire.

- b) dans le cas des compresseurs, on dispose très généralement d'enregistrements des heures de fonctionnement (cet élément est en effet souvent prévu par le constructeur des compresseurs afin de servir de base aux interventions de maintenance). On peut alors calculer la consommation de chaque compresseur par :

$$\text{CONS} = f_{\text{comp}} \times (P_{\text{inst ch}} \times h_{\text{ch}} + P_{\text{inst v}} \times h_{\text{v}}) \quad (\text{en kWh})$$

Où

- f_{comp} est un coefficient de « charge » défini comme ailleurs, qui est particulièrement d'application dans le cas de compresseurs à vitesse variable (variateurs de fréquence), où il doit correspondre à la proportion moyenne de la vitesse maximale qui est réalisée pendant l'année ;
- $P_{\text{inst ch}}$ est la puissance « en charge » du compresseur (dans le cas de compresseurs à vis) ou sa puissance nominale (pour tous les autres cas) ;
- h_{ch} est le nombre d'heures de fonctionnement « en charge » du compresseur (dans le cas de compresseurs à vis) ou le nombre d'heures total (pour tous les autres cas) ;
- $P_{\text{inst v}}$ est la puissance « à vide » du compresseur (dans le cas de compresseurs à vis) ;
- h_{v} est le nombre d'heures de fonctionnement « à vide » du compresseur (dans le cas de compresseurs à vis) ;

- c) f_{comp} et $f_{\text{séch}}$ tels que définis ci-dessus ne sont pas nécessairement identiques et, comme pour les autres consommateurs électriques, on peut remplacer les produits $f \times P_{\text{inst}}$ par des valeurs de P_{cons} provenant de mesures réelles à la pince ampèremétrique.

- d) il se peut que h_{ch} et h_{v} ne soient pas disponibles pour l'année de référence exacte, mais bien pour des périodes réelles recouvrant l'année, en fonction de la périodicité des interventions de maintenance. On calcule alors sur base de ces dates réelles et par simple règle de trois, les nombres d'heures correspondant à l'année de référence, en tenant bien compte de périodes d'arrêt éventuelles.



8.4 QUANTITE TOTALE D'AIR PRODUIT (B.1)

On s'occupe maintenant du total de chaque colonne du tableau de consommation, représentative d'une catégorie d'air comprimé.

Pour chaque catégorie d'air comprimé (par exemple, air process et air instrumentation), si on dispose d'un compteur spécifique en sortie de compresseur (dans le cas où il n'en existe qu'un) ou au départ du collecteur d'alimentation de l'usine, en sortie des compresseurs (s'il en existe plusieurs), c'est bien sûr sa valeur pour l'année de référence qui doit être indiquée. Comme pour le compteur horaire, il se peut que les indications de date données correspondent à des intervalles de maintenance et non aux limites réelles de l'année de référence. Il faut alors recomposer la production réelle par règle de trois en tenant compte des périodes d'arrêt éventuelles.

Mais dans la plupart des cas, on ne dispose pas d'un tel compteur. On doit alors évaluer par calcul la quantité d'air produit, ce qui peut se faire par une formule du type :

$$\text{PROD} = f_{\text{comp}} \times Q_{\text{nom}} \times h_{\text{ch}} \quad (\text{en Nm}^3)$$

Où

- f_{comp} est généralement le même facteur de « charge » que celui utilisé pour le calcul de la consommation électrique (voir plus haut) ;
- Q_{nom} est le débit nominal du compresseur (tel que donné par les fiches techniques du constructeur) (en Nm³/h) ; il s'agit évidemment d'une valeur « en charge » dans le cas des compresseurs à vis ;
- h_{ch} est le nombre d'heures de fonctionnement « en charge » du compresseur (dans le cas de compresseurs à vis) ou le nombre d'heures total (pour tous les autres cas) ;

REMARQUE : UNITE DE VOLUME UTILISEE

Il faut remarquer qu'on évalue généralement les productions d'air en Nm³ (normal mètre cube : volume équivalent à température et pression normalisées). En pratique, ces valeurs correspondent aux débits réels corrigés par les valeurs nominales de pression et de température auxquelles l'air est produit.

Ainsi, si le compresseur produit 1.000 m³/h d'air à 80°C et à 7 bar, le débit normalisé se calculera par :

$$1000 \times (273/(273 + 80)) \times 7 = 5413.6 \text{ Nm}^3/\text{h}.$$

Il est très important de vérifier si les valeurs nominales introduites (données constructeur) sont bien données en m³ ou en Nm³, étant donné les variations observées (5413.6 est très différent de 1000).

Afin de repérer une erreur éventuelle, il est intéressant de noter qu'en valeurs usuelles, on observe les ordres de grandeur suivants :

Compresseur à pistons : 4 à 7 Nm³/kWh

Compresseur à vis : 5.5 à 8.5 Nm³/kWh

Compresseur centrifuge : jusqu'à 12 Nm³/kWh.

Si les données font apparaître des valeurs trop éloignées de ces fourchettes, il peut s'agir d'une confusion d'unité entre Nm³ et m³.



8.5 REPARTITIONS (B.3)

Comme d'habitude, les valeurs compteurs éventuelles sont d'abord à extraire du total (à condition qu'elles soient fiables), puis le reste doit alors être réparti entre les différents utilisateurs. Il n'existe très généralement que deux méthodes pour y arriver :

- soit on établit des clés de répartition déterminées sur base de l'expérience des exploitants de l'outil de production ;
- soit on évalue des quantités théoriques consommées sur la base des caractéristiques nominales des utilisateurs, et on répartit le total au prorata des quantités théoriques ainsi calculées ;

En ce qui concerne les clés de répartition, et dans le cas particulier de l'air utilisé par des organes de régulation et de contrôle, il est possible de subdiviser le total entre les utilisateurs proportionnellement au nombre d'organes (vannes par exemple), pour autant que leurs caractéristiques de débit soient comparables.

Il est important de se rendre compte qu'en dehors de processus particuliers, l'air comprimé représente généralement une utilité proportionnellement faible par rapport à d'autres ainsi que par référence aux totaux d'énergie achetée. Une imprécision relative importante sur les répartitions ou évaluations en ce qui concerne l'air comprimé peut dès lors ne représenter qu'une erreur faible sur la facture énergétique totale. C'est pour cette raison (et à cause du manque fréquent de mesures fiables de débit d'air) que les répartitions sont généralement plus grossières que dans le cas d'autres vecteurs énergétiques.

Tout ceci trouvera une illustration plus claire dans les exemples donnés ci-après (*annexe AIR.1*).

ANNEXE AIR.1 : EXEMPLES DE CALCUL



Dans l'exemple suivant, on a affaire à une entreprise équipée de deux compresseurs :

Compresseur 1 :

puissance en charge 55 kW

puissance à vide 11.8 kW

puissance ventilateur 1.5 kW

relevé compteur au 14/01/99 : 27 619 h (totales) dont 23 089 h en charge et 4 530 h à vide (\Rightarrow proportion moyenne charge / total = 83.6%)

relevé compteur au 09/01/98 : 22 369 h

on peut ainsi calculer :

heures totales 98 : $27\,619 - 22\,369 = 5\,250$ h

heures en charge correspondantes : $0.836 * 5\,250 = 4\,389$ h

donc, heures à vide équivalentes : $5\,250 - 4\,389 = 861$ h

d'où, consommation électrique annuelle 98 =

$55 * 4\,389 + 11.8 * 861 + 1.5 * 5\,250 = 259\,430$ kWh

de la même façon, on obtient pour le compresseur 2 : 343 077 kWh.

On peut donc noter en ligne « air comprimé » des utilités, une consommation électrique globale de $259\,430 + 343\,077 = \underline{602\,577}$ kWh.

En ce qui concerne la production globale d'air, on utilise les évaluations suivantes :

Compresseur 1 :

Débit nominal : 8.53 Nm³/min

Donc, production 98 = $8.53 * 60 * 4\,389 = 2\,246\,290$ Nm³

Compresseur 2 :

Production (par un calcul équivalent à ci-dessus) : 3 009 896 Nm³

On va donc trouver en bas de la colonne « air comprimé », en valeur totale :

$2\,246\,290 + 3\,009\,896 = \underline{5\,256\,185}$ Nm³.

Il reste maintenant à effectuer une répartition de ce total. On procède en plusieurs étapes :

- On sait que la pompe pneumatique du déminéraliseur a fonctionné 150 h à peu près. D'après les caractéristiques du constructeur de cette pompe, le débit d'air consommé est de l'ordre de 1 m³/h à 5 bar, soit approximativement 5 Nm³/h, donc ici $5 * 150 = 750$ Nm³ pour l'ensemble de l'année. Compte tenu des auxiliaires (vannes de régulation), augmentant ce poste de l'ordre de 2/3 (chiffre estimé sur bas des caractéristiques nominales des différents équipements), on évalue le poste à $750 * 5/3 = \underline{1\,250}$ Nm³.
- On suppose ensuite que les équipements d'atelier (soufflettes principalement) consomment à peu près 0.88 Nm³/min. Si on estime un fonctionnement de 3 min par heure, et un atelier fonctionnant en une pause, soit 1 800 h/an, on calcule une consommation de $0.88 * 3 * 1\,800 = \underline{4\,750}$ Nm³.
- Pour le reste ($5\,256\,185 - 1\,250 - 4\,750 = 5\,250\,185$ Nm³), on se base sur la connaissance des exploitants de l'usine, qui évaluent une répartition globale de : 70% conditionnement, soit 3 675 130 Nm³ et 30% pour les lignes.



En ce qui concerne le conditionnement, la répartition finale entre les lignes se fait en utilisant les caractéristiques nominales théoriques des équipements de conditionnement :

	% du total	volume consommé (Nm ³)
ligne 1 : 2 405 l/min	26.8	<u>982 622</u>
ligne 2 : 2 505 l/min	27.8	<u>1 023 480</u>
ligne 3 : 2 545 l/min	28.3	<u>1 039 823</u>
ligne 4 : 1 190 l/min	13.2	<u>486 204</u>
ligne 5 : 250 l/min	2.8	<u>102 144</u>
filmeuse : 100 l/min	1.1	<u>40 857</u>
total : 8 995 l/min	100	3 675 130

Et pour ce qui est des lignes de production de légumes elles-mêmes, on répartit le solde (soit 1 575 055 Nm³) de la façon suivante :

- 10% (157 505 Nm³ correspondant aux organes de régulation) sont répartis entre les lignes au prorata des heures de production ;
- les 90% restants (1 417 550 Nm³) sont répartis par des clés : racines (1/5), pois (1/5), haricots (1/5) et feuilles (2/5), clés fixées par l'expérience des exploitants de l'entreprise.

On obtient ainsi bien les chiffres mentionnés au tableau ci-joint.



CONSUMMATION AIR COMPRISE - ANNEE 1998					
			EN. ACHETEES		UTILITES
			électricité (kWh)	gaz naturel (GJ)	air comprimé (T _{vap})
PRODUCTION - LIGNES	Prod. (h/an)	Prod. (T/an)			
RACINES	5.036	20.902	7.942.393	0	335.530
cuisine, ligne blanchiment					
tunnel					
nettoyage					
POIS + FEVES	3.156	20.024	4.162.482	0	316.110
cuisine, ligne blanchiment					
tunnel					
nettoyage					
HARICOTS	1.651	6.655	1.339.518	0	300.564
cuisine, ligne blanchiment					
tunnel					
nettoyage					
LEG.FEUILLES NATURE	2.265	6.376	1.475.707	0	414.951
cuisine, => 2e laveur					
blancheur + refroidisseur					
tunnel					
nettoyage					
LEG.FEUILLES CREME	1.015	2.854	716.265	0	185.950
blancheur + refroidisseur					
local crème					
tunnel					
nettoyage					
RIZ + BLE DUR	1.017	4.252	1.661.854	0	10.505
cuisine, amont blancheur 4					
cuisine, ligne blanchiment					
tunnel					
nettoyage					
CHOUX BRUX, S, F, CHF	1.108	4.101	813.122	0	11.445
cuisine, ligne blanchiment					
tunnel					
nettoyage					
PRODUCTION - CONDITIONNEMENT					
ligne 1			40.239	0	982.622
ligne 2			40.744	0	1.023.480
ligne 3			31.527	0	1.039.823
ligne 4			42.728	0	486.204
ligne 5			5.806	0	102.144
filmeuse			19.319	0	40.857
PRODUCTION - AUTRES					
machines atelier					4.750
UTILITES					
air comprimé			602.507	0	
eau déminéralisée					1.250
TOTAUX			18.894.211	0	5.256.185

