

# GUIDE AU DIMENSIONNEMENT DES APPAREILS DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Le dimensionnement incorrect des appareils de production d'eau chaude sanitaire (ECS) peut avoir deux impacts importants:

- un surdimensionnement entraînera un gaspillage d'énergie et un surinvestissement inutile,
- un sous-dimensionnement sera source d'inconfort pour les utilisateurs.

Le présent document a pour objectif de fournir une approche technique et une méthode relativement simple qui permette de vérifier le dimensionnement des appareils de production d'eau chaude sanitaire d'un ou de plusieurs bâtiments.

La méthode décrite ici servira principalement au contrôle de l'installation existante ou de la nouvelle installation proposée par le bureau d'études, l'ingénieur conseil ou le fabricant.





# TABLE DES MATIERES

## Chapitre 1 - Caractéristiques des différents appareils

1. Différents modes de production
2. Avantages et inconvénients des appareils
  - 2.1. La préparation instantanée
  - 2.2. La préparation en accumulation pure
  - 2.3. La préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation

## Chapitre 2 - Le dimensionnement des appareils

1. Partie commune des méthodes de dimensionnement
  - 1.1. volume d'eau puisée
    - a. Les profils types
    - b. Le recensement des points de puisage
    - c. Le comptage des consommations réelles
  - 1.2. Uniformisation des température de l'eau chaude puisée
  - 1.3. Choix de la températures maximum du stock d'eau chaude,  $T_{ec}$
  - 1.4. Coefficient d'efficacité du ballon de stockage,  $a$
2. Dimensionnement en préparation instantanée
  - Etape 1 : Energie maximum puisée en 10 minutes
  - Etape 2 : Puissance de la production
3. Préparation en accumulation pure
  - Etape 1 : Energie puisée durant la journée
  - Etape 2 : Volume de stockage et puissance de l'échangeur
4. Préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation
  - 4.1. La méthode générale : méthode graphique
    - Etape 1 : Le profil de puisage
    - Etape 2 : Profil de l'énergie puisée
    - Etape 3 : Courbe des besoins consécutifs
    - Etape 4 : Le volume de stockage et la puissance de l'échangeur
    - Etape 5 : Courbe d'égale satisfaction des besoins
    - Etape 6 : Choix de la combinaison puissance-volume
  - 4.2. Cas particulier : les profils discontinus, méthode algébrique



## Chapitre 3 - Cas particulier : les immeubles à appartements

1. Nombre de logements standards
  - 1.2. Calcul exact du nombre de logements standards de l'immeuble
2. Courbe des besoins consécutifs

## Chapitre 4 - Le secteur tertiaire : profils types

### ANNEXE 1

Caractéristiques de puisage des appareils

### ANNEXE 2

Exemple d'application de la méthode graphique et de la méthode algébrique de dimensionnement

### ANNEXE 3

Courbes des besoins consécutifs dans les immeubles à appartements  
en fonction du nombre de logements standards N

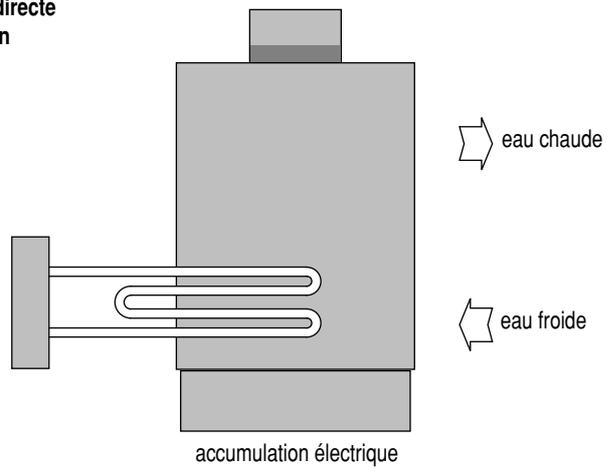
### ANNEXE 4

Profils types pour le secteur tertiaire

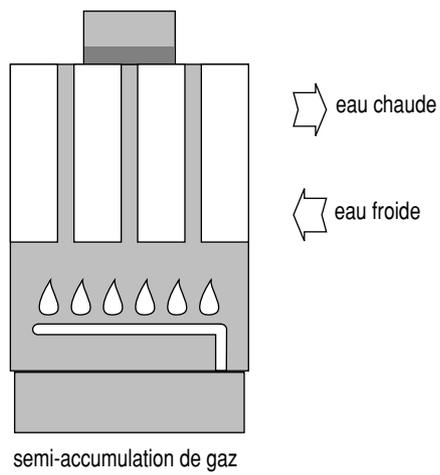
### ANNEXE 5

Estimer les pertes du réseau de distribution

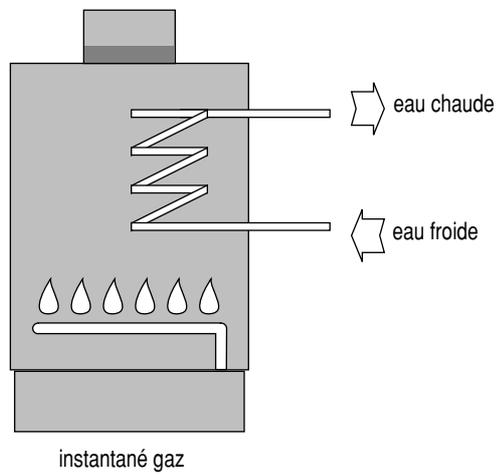
**Production directe  
accumulation**



**Production directe  
semi-instantanée ou  
semi-accumulation**



**Production directe  
instantanée**



### 1. Différents modes de production

On peut classifier les différents modes de production d'ECS en :

- production instantanée,
- production semi-instantanée ou en semi-accumulation,
- production en accumulation.

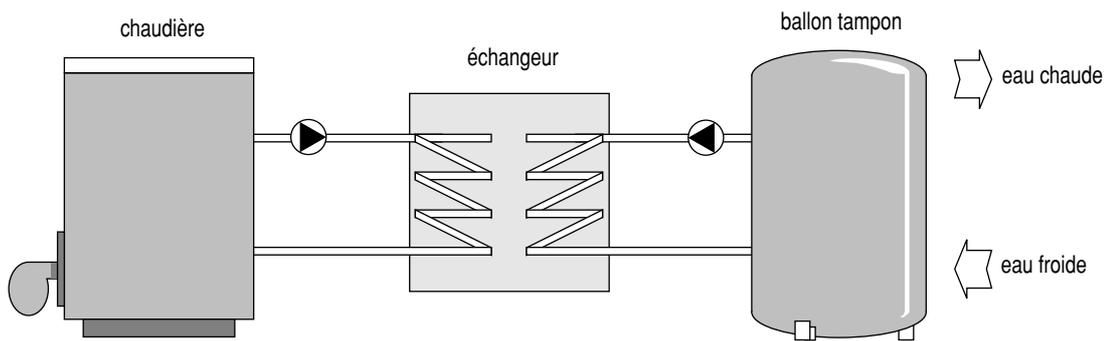
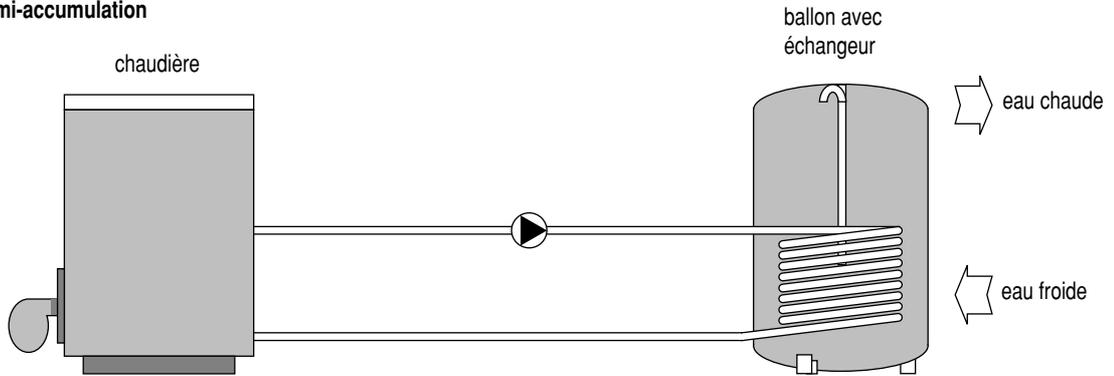
La différence entre ces types de production provient du rapport entre la puissance de production et le volume de stockage choisi pour assurer le confort d'utilisation :

- sans aucun stockage : il s'agit de la préparation **instantanée**,
- avec un stockage limité, inférieur à certains appels, mais une puissance permettant de préparer le complément nécessaire pendant la durée de l'appel : il s'agit de la préparation **semi-instantanée**,
- avec un volume de stockage correspondant au volume prélevé lors d'une période de pointe et une puissance suffisante à la remise en température du stock entre deux pointes : il s'agit de la préparation en **semi-accumulation**,
- avec un stockage égal au volume puisé journalier, la puissance correspondant à la puissance de réchauffage en 6 à 8 heures (heures creuses, nuit) : il s'agit de la préparation en **accumulation**.

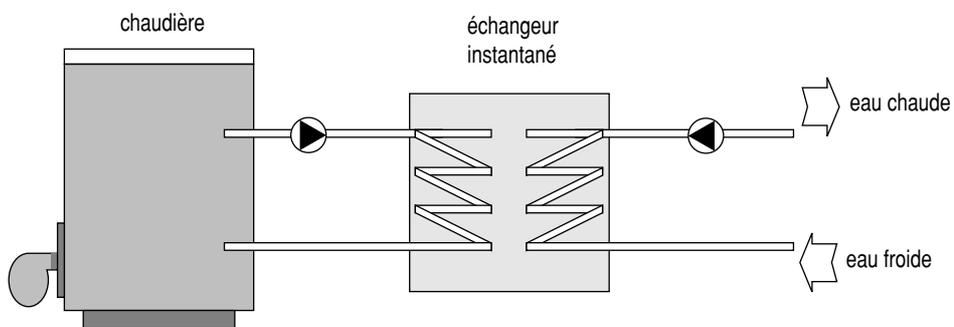
Dans la suite, étant donné qu'une même méthode de dimensionnement peut leur être appliquée, les préparations semi-instantanée et en semi-accumulation seront traitées simultanément.

On peut d'autre part parler de production directe quand il y a contact direct entre le générateur de chaleur et l'eau chaude ou de production indirecte quand un fluide caloporteur transmet la chaleur d'un générateur vers l'eau chaude.

**Production indirecte  
en semi-instantané ou  
en semi-accumulation**



**Production indirecte  
instantanée**



## 2. Avantages et inconvénients des appareils

### 2.1. La préparation instantanée

Généralement, la production d'ECS en instantané pur (par exemple au moyen d'un échangeur à plaques, ou d'un générateur gaz, sans ballon tampon) est d'application lorsque les besoins en eau chaude sont constants durant toute la journée.

Ce sera par exemple le cas dans l'industrie ou encore pour le chauffage de l'eau d'une piscine.

- **Les avantages**

Les avantages d'une préparation instantanée sont dus à l'absence de stockage:

- \* le faible encombrement :

ce seul argument peut être prédominant pour le choix d'un système instantané, si la place disponible est particulièrement réduite, ceci malgré un profil de consommation non continu,

- \* l'absence de perte par stockage :

aucune énergie n'est nécessaire pour maintenir un ballon de stockage en température. Cependant on peut estimer que cet avantage devient de plus en plus négligeable à l'heure actuelle avec les ballons récents dont l'isolation poussée rend les pertes minimales.

- **Les inconvénients**

Les inconvénients des systèmes instantanés sont liés à leur utilisation pour satisfaire des profils de besoins présentant des pointes de consommation :

- \* le confort :

lorsque les besoins sont discontinus, la production instantanée d'ECS est source de fluctuations importantes de la température de l'eau au niveau de l'utilisateur. Malgré une régulation très fine (à prévoir absolument), on reste limité par le temps de réponse des éléments mécaniques de l'installation qui rend les fluctuations inévitables,

- \* le rendement de production :

lorsque la production d'ECS est combinée au chauffage, il est indispensable de maintenir la chaudière en permanence à température élevée (min. : 70°C) pour garantir un temps de réponse minimum lorsqu'une demande apparaît. Ceci interdit une régulation en température glissante des chaudières et n'est donc pas optimum énergétiquement, principalement avec les anciennes chaudières aux pertes à l'arrêt importantes,

- 
- \* le fonctionnement du brûleur en cycles courts :

étant donné l'absence de réservoir tampon, chaque puisage d'eau chaude va entraîner la mise en route de l'installation pour des temps très courts. Les temps de fonctionnement du brûleur seront donc brefs, ce qui est défavorable pour le rendement de combustion et la pollution atmosphérique,

- \* la puissance du générateur :

la production instantanée demande généralement une puissance de générateur très importante. Dans le cas d'une production d'ECS combinée au chauffage, il peut être nécessaire de surdimensionner la chaudière uniquement pour l'ECS,

- \* la puissance des circulateurs :

la perte de charge des échangeurs instantanés demande des pompes plus puissantes dont la consommation électrique n'est pas à négliger.

## 2.2. La préparation en accumulation pure

La production en accumulation pure consiste à stocker l'entièreté de la consommation journalière, le stock étant reconstitué durant la nuit.

Ce mode de production est logiquement d'application si :

- \* la production est électrique avec un tarif bihoraire. Dans ce cas, il existe un intérêt économique à recharger le ballon de stockage uniquement durant la nuit,
- \* les consommations présentent des pointes très importantes. En effet une masse d'eau chaude est immédiatement disponible, sans devoir développer une puissance considérable.

L'avantage de l'accumulation pure est le confort (temps de réponse très courts et pas de fluctuation des températures). Les inconvénients sont l'encombrement et les pertes d'énergie du ballon de stockage.

## 2.3. La préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation

La production d'ECS en semi-accumulation ou semi-instantanée (échangeur + ballon de stockage) est la plus appropriée au mode de consommation d'ECS dans la plupart des applications courantes.



Elle combine à la fois les avantages de l'instantané pur et ceux de l'accumulation pure:

\* le confort:

grâce au ballon d'eau chaude, les temps de réponse sont courts et les fluctuations de température réduites,

\* l'encombrement:

l'encombrement est plus réduit que pour l'accumulation pure,

\* la puissance:

la puissance de production à installer est plus réduite que pour l'instantané pur,

\* le rendement de production:

avec une chaudière combinée chauffage-ECS, le fonctionnement en température glissante ne pose pas de problème, la chaudière pouvant fonctionner en basse température pour le chauffage des locaux et rehausser sa température de consigne lorsqu'il y a demande du ballon d'ECS.



## Chapitre 2

# Le dimensionnement des appareils

Ce chapitre traite successivement du dimensionnement de :

- la préparation instantanée,
- la préparation en accumulation pure,
- la préparation en semi-instantané ou en semi-accumulation.

Les deux premiers cas sont en fait des cas particuliers du dimensionnement de la préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation. Il existe donc une partie commune dans les différentes méthodes de dimensionnement qui est reprise au paragraphe 1. de ce chapitre:

- la détermination de la quantité d'eau chaude puisée sur une période déterminée,
- l'uniformisation des températures de l'eau puisée,
- le choix de la température du stock éventuel d'eau chaude,
- la prise en compte d'un coefficient d'efficacité du ballon de stockage éventuel.

Ensuite dans les cas des préparations instantanée et en accumulation pure, le dimensionnement des appareils est rapide. La puissance de l'échangeur (ou du générateur) et le volume de stockage sont déterminés de manière immédiate.

Dans le cas de la préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation, le dimensionnement se fait grâce à une méthode graphique ou une méthode algébrique.

## 1. Partie commune des méthodes de dimensionnement

### 1.1. volume d'eau puisée

La connaissance de la quantité d'eau chaude puisée est indispensable pour dimensionner correctement l'appareil de production quel que soit le système choisi.

La différence entre les trois modes de dimensionnement réside dans la période de temps considérée pour déterminer ce volume d'eau puisée.

Il existe trois méthodes pour établir le volume puisé dans un bâtiment. Ces méthodes se différencient par leur degré d'approximation de la situation réelle. Il est évident qu'il sera plus facile de dimensionner une installation dans le cadre d'une rénovation dans un bâtiment existant que pour un bâtiment neuf pour lequel on devra se baser sur des suppositions d'utilisation.



#### a. Les profils types

On peut se référer à des statistiques de consommation établies sur des bâtiments identiques.

L'utilisation de ces profils types s'applique particulièrement bien aux immeubles à appartements (voir chapitre 3).

D'autres exemples de profils types pour le tertiaire sont également donnés en annexe 4.

On appliquera souvent cette méthode pour les bâtiments neufs.

#### b. Le recensement des points de puisage

On peut répertorier les points de puisage, leur débit nominal et leur période d'utilisation d'après les statistiques disponibles.

Un exemple de points de puisage typiques est repris en annexe 1.

Ce mode de recensement est à réaliser avec extrême prudence. En effet, le risque de surdimensionner largement le système est important si on n'établit pas un scénario cohérent du mode d'utilisation simultanée des différents points de puisage.

Un exemple basé sur cette méthode est repris en annexe 2.

#### c. Le comptage des consommations réelles

La méthode idéale est de mesurer les consommations réelles en eau chaude. Cette méthode sera la plus adaptée dans le cadre de rénovations dans le secteur tertiaire.

Si le mode d'utilisation du bâtiment reste identique, une campagne de mesures au moyen de compteurs d'eau soit sur l'alimentation des différents points de puisage ou appareils consommateurs, soit sur l'alimentation en eau froide de l'appareil de production existant met à l'abri de tout sur ou sous-dimensionnement du système. L'investissement consenti lors de l'étude est alors rapidement rentabilisé.

## 1.2. Uniformisation des températures de l'eau chaude puisée

Il est évident que la température de l'eau puisée varie en fonction du type de puisage.

Aussi, pour faciliter les calculs et permettre l'addition de volumes puisés à des températures différentes, tous les volumes quelconques  $V_x$  à une température quelconque  $T_x$  seront convertis en des volumes d'eau équivalents à 60°C par l'expression suivante:

$$V_{60} = V_x \frac{T_x - 10^\circ}{60^\circ - 10^\circ}$$

Dans cette expression, 10° représente la température de l'eau froide.

Dans la pratique, ne connaissant pas exactement la température de l'eau puisée, on considérera :

- pour les cuisines :  $T_x = 55^\circ\text{C}$ ,
- pour les sanitaires :  $T_x = 45^\circ\text{C}$ ,
- si les volumes puisés sont mesurés par compteur sur l'alimentation en eau froide de l'appareil de production :  $T_x =$  température de l'eau chaude dans le ballon ou à la sortie de l'échangeur si le ballon est inexistant.

## 1.3. Choix de la température maximum du stock d'eau chaude, $T_{ec}$

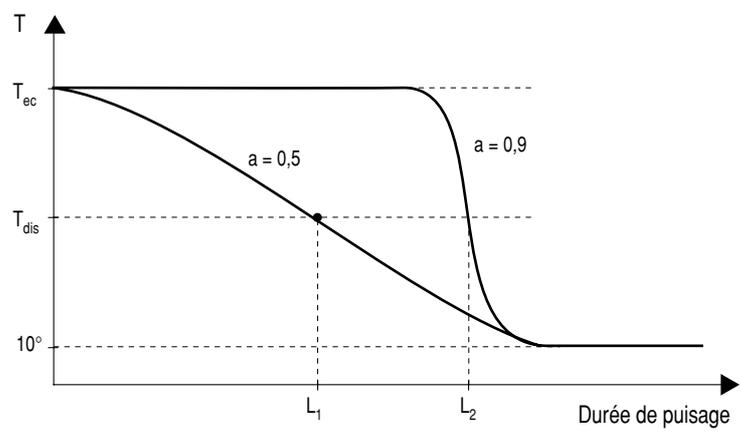
Le dimensionnement d'un ballon éventuel de stockage de l'eau chaude dépend directement de la température de consigne choisie au préalable pour l'eau chaude de ce ballon (appelée dans la suite  $T_{ec}$ ).

La température de stockage de l'eau sera choisie en fonction de la température souhaitée au niveau des points de soutirage.

Dans les cas courant d'utilisation d'eau chaude sanitaire, il est conseillé de choisir une température de stockage de 55 à 60°C.

Des températures supérieures à 60°C présentent les inconvénients suivants:

- forte augmentation de l'entartrage,
- plus grande usure de la robinetterie,
- danger de brûlures,
- augmentation des pertes par stockage.



**Grphe 1**

*Température de l'eau fournie par deux ballons en fonction du temps de puisage  
 $L_1$  = limite de confort pour un ballon avec mauvaise stratification  
 $L_2$  = limite de confort pour un ballon avec bonne stratification*



#### 1.4. Coefficient d'efficacité du ballon de stockage, $a$

La quantité d'énergie réellement exploitable et contenue dans le stock d'eau chaude dépend entre autre de la conception du stockage et du principe de distribution.

Moyennant une construction adéquate de l'appareil (ballon vertical muni de déflecteurs, chicanes, avec retour de boucle de distribution en aval du ballon : des garanties sont à demander aux constructeurs), la stratification dans le ballon est optimale et l'énergie exploitable du ballon est maximum. Dans ce cas, on considérera qu'au moment où le ballon ne fournira plus le confort adéquat aux utilisateurs, la température de son eau sera proche de la température de l'eau froide, à savoir 10°C. Remarquons que dans cette optique, il est préférable de raccorder les ballons multiples en série plutôt qu'en parallèle. De même la présence d'un mitigeur thermostatique en aval de ballon est favorable pour une meilleure stratification des températures dans le ballon.

Dans le cas contraire (ballon à mélange partiel ou intégral : ballon horizontal, retour de la boucle dans le ballon), la température minimum de confort du ballon ne peut descendre très loin en dessous de la température minimum de distribution de l'eau (par exemple, la température de distribution est de 45°C, pour assurer 40°C à tous les points de puisage). Le volume du ballon nécessaire pour offrir le même confort sera alors nettement supérieur.

Ainsi, le volume d'un ballon avec bonne stratification peut être inférieur au volume d'un ballon où il y a mélange intégral entre l'eau froide et l'eau chaude de plus de 50% pour un même confort fourni à l'utilisateur! Ceci est illustré dans le graphe 1. où deux ballons, un avec bonne stratification, l'autre avec un mélange important, sont vidés en parallèle, l'eau chaude étant remplacée par de l'eau à 10° et aucune source de chaleur ne réchauffant le stock.

Dans les calculs, pour tenir compte du degré de stratification des ballons, on considérera une température minimum possible du stock de 10° et on y associera un coefficient d'efficacité ' $a$ '. Dans la plupart des cas courants, celui-ci prendra une valeur de 0,8 à 0,95 (bonne stratification), ce qui signifie que 80 à 95% du volume réel du ballon est utilisable pour la température voulue. Si on se trouve dans le cas d'un ballon avec mélange important, ' $a$ ' peut descendre jusqu'à 0.45.

## 2. Dimensionnement en préparation instantanée

Un système de production d'ECS instantané ne comporte pas de volume de stockage. Son dimensionnement consiste à déterminer la puissance du générateur (production directe) ou de la chaudière et de l'échangeur (production indirecte).

En pratique, cette puissance correspondra à la puissance nécessaire pour subvenir aux besoins maximum en 10 minutes.

### Étape 1 : Energie maximum puisée en 10 minutes

Il s'agit de déterminer le volume d'eau maximum (équivalent à 60°C) puisé en 10 minutes durant la journée la plus chargée de l'année. Ce volume d'eau chaude puisé sera déterminé par une des méthodes décrites au paragraphe 1.1.. L'énergie maximum puisée en 10 minutes via l'eau chaude est alors déterminée par la formule:

$$E_{inst} = 1,16 V_{60inst} (60^\circ - 10^\circ) / 1\ 000$$

avec	$E_{inst}$	=	énergie puisée maximum en 10 minutes en kWh
	$V_{60inst}$	=	volume, ramené à 60°, maximum puisé en 10 minutes en litres
	1,16/1000	=	coefficient de correspondance
	10°	=	température de l'eau froide

### Étape 2 : Puissance de la production

La puissance (en kW) de l'échangeur (ou du générateur) équivaldra à :

$$\text{Puissance} = E_{inst} \times 6 + P_{dis}$$

avec  $P_{dis}$  = pertes dans le réseau de distribution. Dans le cas d'une boucle de distribution, il s'agit de la puissance de maintien en température de celle-ci. En annexe 5 est repris un tableau permettant d'évaluer ces pertes.

### 3. Préparation en accumulation pure

Dans ce cas, l'entièreté des besoins journaliers est stockée. Le stock est reconstitué durant la nuit.

#### Etape 1 : Energie puisée durant la journée

Il s'agit de déterminer par une des méthodes décrites au paragraphe 1.1., le volume d'eau chaude maximum (équivalent à 60°) puisé durant la journée la plus chargée de l'année. L'énergie puisée via l'eau chaude est donnée par la formule :

$$E_{acc} = 1,16 V_{60acc} (60^\circ - 10^\circ) / 1000$$

avec  $E_{acc}$  = énergie puisée durant une journée entière en kWh  
 $V_{60acc}$  = volume d'eau chaude total puisé durant une journée, toutes utilisations confondues, ramené à 60°C, en litres  
1,16/1000 = coefficient de correspondance  
 $10^\circ$  = température de l'eau froide

#### Etape 2 : Volume de stockage et puissance de l'échangeur

Le volume du ballon de stockage est donné en litres par :

$$\text{Volume} = \frac{1\,000 E_{acc}}{1,16 (T_{ec} - 10^\circ) a}$$

avec  $T_{ec}$  = température de l'eau du ballon  
 $10^\circ$  = température de l'eau froide et donc température minimum que peut atteindre l'eau du ballon tout en garantissant le confort des usagers  
 $a$  = coefficient d'efficacité du stockage

Les choix de ' $T_{ec}$ ' et de ' $a$ ' ont été discutés au paragraphe 1.3 et 1.4.

La puissance de l'échangeur, donnée en kW par la formule suivante permet de reconstituer le stock d'eau chaude en 6 ou 8 heures.

$$\text{Puissance} = \frac{E_{acc}}{6 \text{ à } 8 \text{ h} \times 0,9} + P_{dis}$$



- 
- avec  $P_{\text{dis}}$  = pertes dans le réseau de distribution. Dans le cas d'une boucle de distribution, il s'agit de la puissance de maintien en température de celle-ci. En annexe 5 est repris un tableau permettant d'évaluer ces pertes.
- 0,9 = coefficient de majoration pour tenir compte des pertes de stockage durant la période de reconstitution du stock.

On prendra en général, une puissance minimum de 10 à 12 W/l de stock.

## 4. Préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation

Deux méthodes peuvent être appliquées :

- la méthode générale ou méthode graphique,
- la méthode algébrique, applicable lorsque les puisages journaliers sont discontinus.

### 4.1. La méthode générale : méthode graphique

La méthode de dimensionnement graphique se base sur la méthode développée dans la norme DIN 4708.

Elle comprend six étapes :

**Etape 1 :** Détermination du profil journalier de consommation d'eau chaude du ou des bâtiments.

*Celle-ci constitue l'étape primordiale du dimensionnement. Une erreur importante aura un impact non négligeable sur le rendement énergétique ou sur le confort.*

**Etape 2 :** Traduction des volumes d'eau chaude puisés en une répartition d'énergie puisée.

**Etape 3 :** Etablissement de la courbe représentant les besoins maximum consécutifs que l'on peut rencontrer.

**Etape 4 :** Détermination de la puissance et du volume de réserve de l'appareil de production pour satisfaire les besoins.

**Etape 5 :** Exploration de toutes les combinaisons puissance - volume qui peuvent satisfaire les besoins.

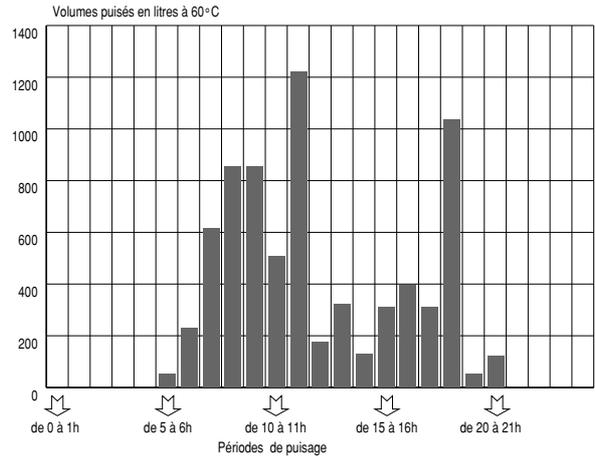
**Etape 6 :** Choix de l'appareil de production d'ECS.

**Profils de puisage d'une clinique, l'ensemble des volumes d'eau (en litres) ayant été ramenés à 60°C**

période	du lundi au jeudi	vendredi et samedi	dimanche
de 0 à 1h	0	0	0
de 1 à 2h	0	0	0
de 2 à 3h	0	0	0
de 3 à 4h	0	0	0
de 4 à 5h	0	0	0
de 5 à 6h	179	54	22
de 6 à 7h	123	228	261
de 7 à 8h	777	615	915
de 8 à 9h	819	855	1437
de 9 à 10h	1008	855	471
de 10 à 11 h	381	507	273
de 11 à 12 h	1146	1221	1044
de 12 à 13h	315	174	156
de 13 à 14h	246	324	105
de 14 à 15h	177	129	132
de 15 à 16h	448	310	276
de 16 à 17h	293	397	241
de 17 à 18h	603	310	724
de 18 à 19h	569	1034	672
de 19 à 20h	17	52	103
de 20 à 21h	86	121	69
de 21 à 22h	34	0	86
de 22 à 23h	0	0	17
de 23 à 24h	0	0	0

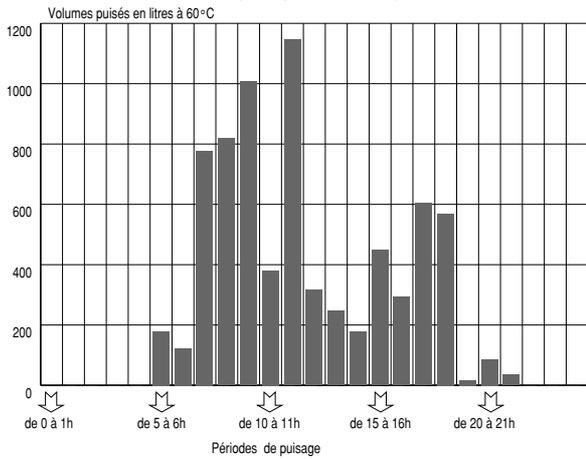
Tableau 1

**Profil de puisage les vendredi et samedi**



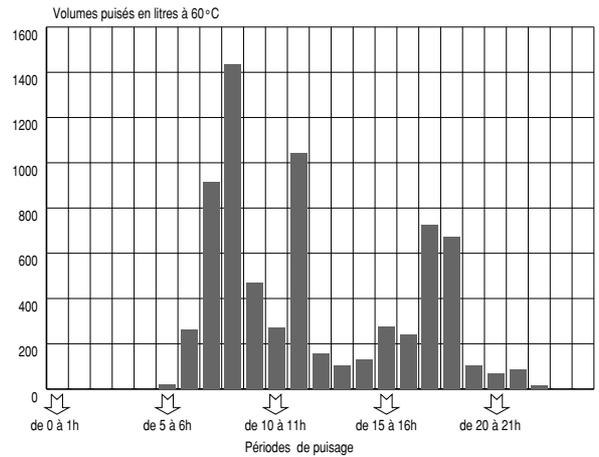
Graph 3

**Profil de puisage du lundi au jeudi**



Graph 2

**Profil de puisage le dimanche**



Graph 4

## Étape 1 : Le profil de puisage

### a. Qu'est-ce qu'un profil de puisage?

Le calcul d'une installation d'ECS en semi-instantané ou semi-accumulation sera fondé sur la reconstitution des puisages possibles dans les conditions réputées les plus rigoureuses.

Etablir le profil de puisage consiste à déterminer pour les différentes journées caractéristiques de l'année, les besoins en eau chaude heure par heure. La constitution du profil est effectuée au moyen des méthodes du paragraphe 1.1., en disposant les données en tableaux puis sous forme de graphes.

Remarque: Si le découpage heure par heure du profil de puisage n'est pas représentatif de la situation réelle, par exemple si on assiste à des puisages courts et discontinus, un autre découpage peut être considéré (voir exemple de l'école en annexe 2).

- **Exemple :**

*Dans le tableau 1 et les graphes 2 à 4 sont repris les profils de puisage d'une clinique.*

### b. Simplification : traitement de la période de pointe

Il est évident que reconstituer un tel profil journalier est fastidieux et long.

Il est souvent possible de limiter ce travail aux périodes de la journée qui sont reconnues par expérience comme étant de pointe.

- **Exemple :**

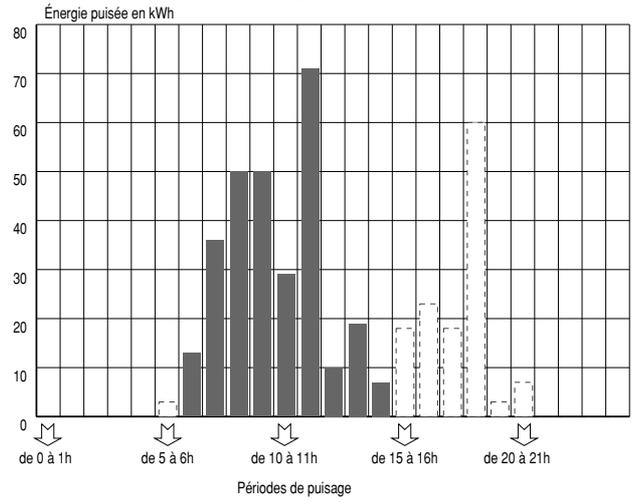
*Pour la clinique de l'exemple précédent, on peut se limiter aux périodes*  
*du lundi au jeudi : de 7h à 12h (5 h de pointe)*  
*les vendredi et samedi : de 7h à 12h*  
*le dimanche : de 7h à 12h*

**Profil de l'énergie puisée (en kWh)**

période	du lundi au jeudi	vendredi et samedi	dimanche
de 7 à 8h	45	36	53
de 8 à 9h	48	50	83
de 9 à 10h	58	50	27
de 10 à 11 h	22	29	16
de 11 à 12 h	66	71	61
de 12 à 13h	18	10	9
de 13 à 14h	14	19	6
de 14 à 15h	10	7	8

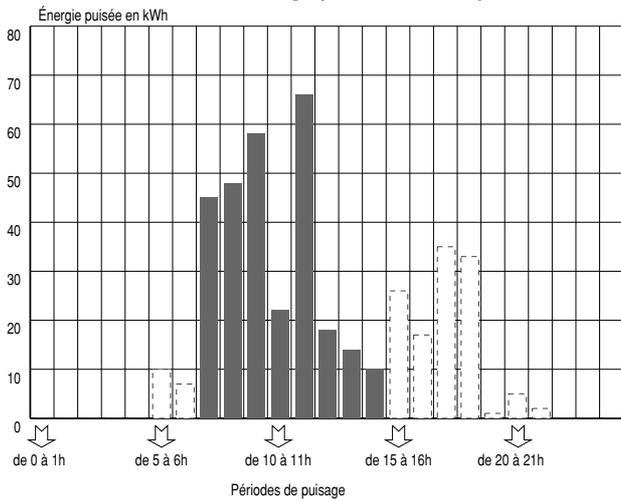
Tableau 2

**Profil de l'énergie puisée les vendredi et samedi**



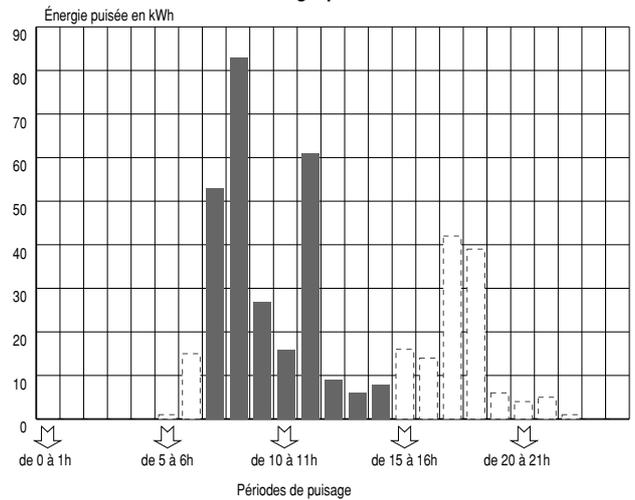
Graph 6

**Profil de l'énergie puisée du lundi au jeudi**



Graph 5

**Profil de l'énergie puisée le dimanche**



Graph 7

La méthode décrite ci-après permettra de dimensionner l'appareil de production d'ECS pour satisfaire aux besoins de la pointe la plus importante de la journée. On prendra également comme hypothèse que l'entièreté des stocks éventuels d'eau chaude de l'appareil doivent être reconstitués avant d'aborder la pointe de consommation suivante.

- **Exemple :**

*Dans le cas de la clinique, l'ensemble des stocks d'ECS doivent être reconstitués à 15h. Les périodes retenues sont alors:*

*du lundi au jeudi : de 7h à 15h*

*les vendredi et samedi : de 7h à 15h*

*le dimanche : de 7h à 15h*

Dimensionné pour la pointe principale, l'appareil choisi pourra alors sans problème satisfaire les demandes de pointes moins critiques. Cependant, le relevé et le traitement d'un profil de puisage couvrant une journée entière permettrait, comme on le verra plus loin, d'élargir les possibilités de choix d'appareils et peut-être de trouver ainsi un nouveau choix optimum.

La méthode traitant seulement les besoins de pointe peut évidemment s'appliquer à un profil couvrant 24h. (Le traitement sur 24h est repris en pointillé sur les graphes dans la suite).

## Etape 2 : Profil de l'énergie puisée

L'eau chaude consommée peut se traduire en énergie puisée. Le profil de puisage d'eau chaude peut donc être transformé en un profil d'énergie puisée au moyen de la formule suivante :

$$E = 1,16 V_{60} (60^\circ - 10^\circ) / 1\,000$$

avec E = énergie contenue dans l'eau chaude en kWh

$V_{60}$  = volume puisé en litre ramené à 60°C (voir paragraphe 1.2)

1,16/1000 = facteur de conversion

10° = température de l'eau froide

- **Exemple :**

*le tableau 2 et les graphes 5 à 7 reprennent le profil de puisage de la clinique.*

**Puisages maximum consécutifs**

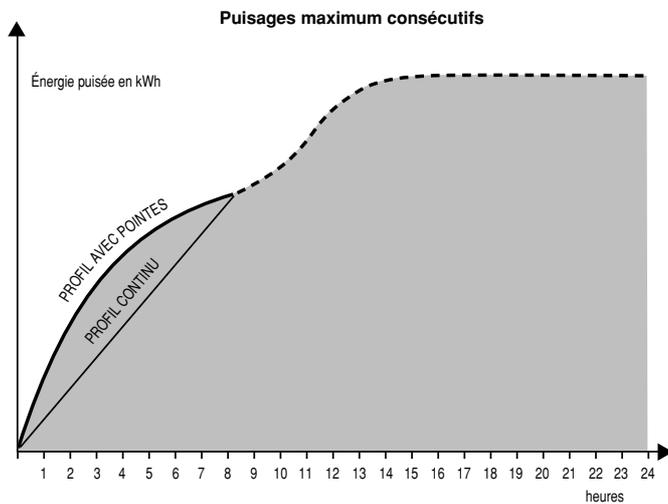
périodes	de 7 à 8h	45	kWh
	de 8 à 9h	48	kWh
	de 9 à 10h	58	kWh
	de 10 à 11h	22	kWh
	de 11 à 12h	66	kWh
	de 12 à 13h	18	kWh
	de 13 à 14h	14	kWh
	de 14 à 15h	10	kWh
<b>énergie puisée</b>			
<b>maximum en 1h</b>		<b>66</b>	<b>kWh</b>

périodes	de 7 à 9h	93	kWh
	de 8 à 10h	106	kWh
	de 9 à 11h	81	kWh
	de 10 à 12h	89	kWh
	de 11 à 13h	85	kWh
	de 12 à 14h	33	kWh
	de 13 à 15h	25	kWh
<b>énergie puisée</b>			
<b>maximum en 2h</b>		<b>106</b>	<b>kWh</b>

périodes	de 7 à 10h	152	kWh
	de 8 à 11h	128	kWh
	de 9 à 12h	147	kWh
	de 10 à 13h	107	kWh
	de 11 à 14h	99	kWh
	de 12 à 15h	43	kWh
<b>énergie puisée</b>			
<b>maximum en 3h</b>		<b>151</b>	<b>kWh</b>

périodes	de 7 à 11h	173	kWh
	de 8 à 12h	195	kWh
	de 9 à 13h	165	kWh
	de 10 à 14h	121	kWh
	de 11 à 15h	109	kWh
<b>énergie puisée</b>			
<b>maximum en 4h</b>		<b>195</b>	<b>kWh</b>

périodes	...	...	kWh
<b>énergie puisée</b>			
<b>maximum en ...</b>	<b>en ...</b>	<b>...</b>	<b>kWh</b>



Graphe 8

Tableaux 3

### Étape 3 : Courbe des besoins consécutifs

#### a. Qu'est-ce que la courbe des besoins consécutifs ?

Le profil ainsi obtenu peut alors être redessiné conformément au graphe 8.

Ce schéma représente l'énergie maximum puisée en continu en 1 heure, 2 heures, 3 heures, ... en considérant les conditions les plus critiques.

*Remarque :* Dans l'exemple on considère les consommations de 7h à 15h puisque la période de 12h à 15h (hors pointe), présente une consommation non nulle qui ralentira la remontée en température du stock. Il faudra donc en tenir compte dans la détermination de la puissance de l'échangeur.

#### b. Comment établir la courbe des besoins consécutifs?

Le traitement des données peut s'effectuer de la manière suivante :

- à partir du profil d'énergie puisée heure par heure, on peut calculer un profil d'énergie puisée, 2 heures en 2 heures, 3 heures en 3 heures et ainsi de suite (tableaux 3: exemple de la clinique),
- on répète la même opération pour chaque jour caractéristique (ex.: en semaine, les vendredi et samedi, le dimanche),
- on peut alors dessiner la courbe des besoins consécutifs: on reporte sur un graphe énergie en fonction du temps, l'ensemble des puisages maximum consécutifs, tous types de journée confondus.

Le graphe ainsi obtenu représente donc l'énergie maximum puisée via l'eau chaude sanitaire en 1 heure, 2 heures, 3 heures, 4 heures, ...

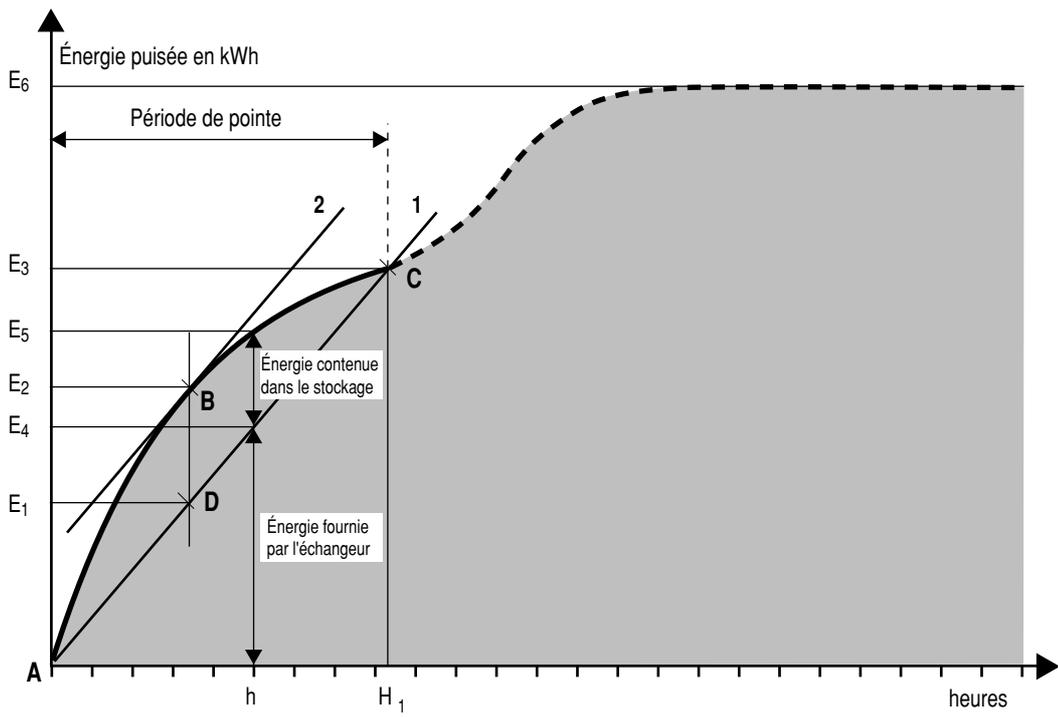
Il traduit donc les besoins les plus contraignants que l'on peut rencontrer.

Il suffit maintenant de choisir l'appareil de production d'ECS (volume de stockage et puissance de l'échangeur) qui soit capable de satisfaire ceux-ci.

### Étape 4 : Le volume de stockage et la puissance de l'échangeur

Le dimensionnement des appareils consiste à définir la puissance de l'échangeur (ou du générateur) et le volume de stockage nécessaire pour satisfaire la courbe des besoins consécutifs.

### Puisages maximum consécutifs



Graphe 9



### a. La puissance de l'échangeur

Reprenons la courbe des besoins consécutifs (graphe 9). Sur ce graphe, l'énergie fournie par le générateur ou l'échangeur de la production d'ECS en fonction du temps, est représentée par une droite, appelée **droite de puissance**.

Si l'échangeur fonctionne dès le début d'un puisage, cette droite partira de l'origine.

Traçons donc une droite de puissance, par exemple la droite 1. Celle-ci représentant l'énergie fournie par l'échangeur en fonction du temps, la puissance de l'échangeur est représentée par la pente de la droite :

$$P_{\text{échangeur}} [\text{kW}] = \frac{E_3 [\text{kWh}]}{H_1 [\text{h}]}$$

Examinons sur le graphe, ce qu'il se passe après un temps h de puisage :

- l'équivalent «énergie» de l'eau chaude consommée par les utilisateurs =  $E_5$  kWh,
- l'énergie fournie par l'échangeur de puissance  $P$  =  $E_4$  kWh.

### b. Le volume de stockage

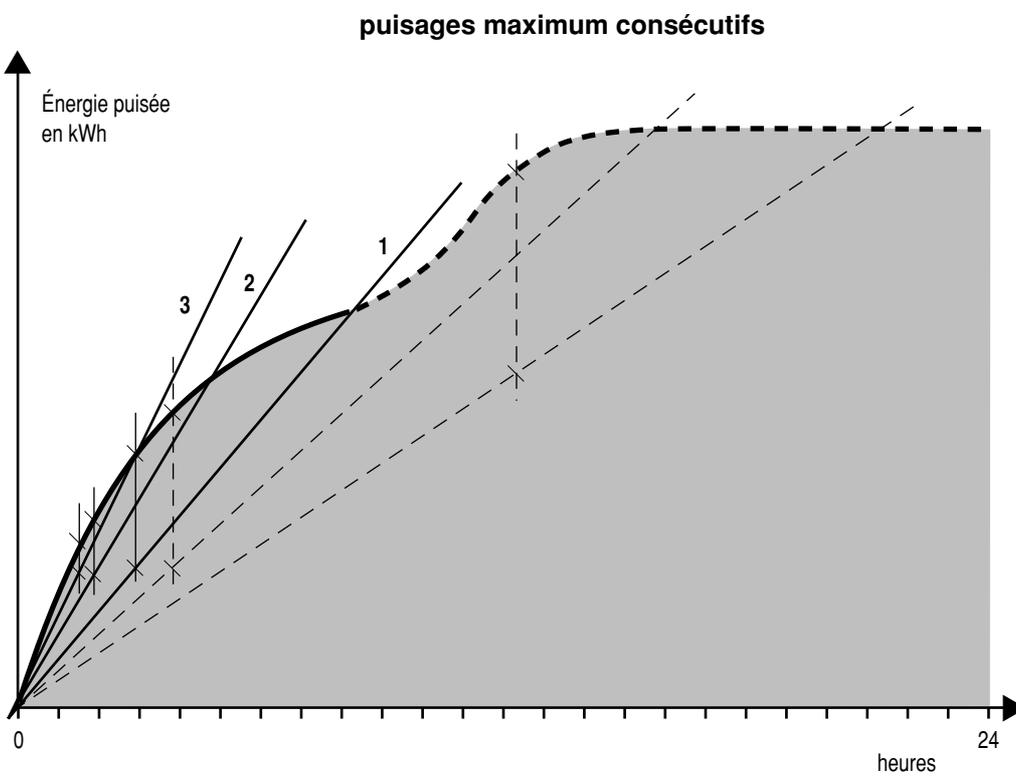
L'énergie consommée étant supérieure à l'énergie fournie par l'échangeur, la différence  $E_5 - E_4$  doit être contenue dans l'eau chaude stockée.

L'énergie maximum qui doit être stockée dans l'eau chaude du ballon est donc représentée par la plus grande distance verticale entre la droite de puissance et la courbe des besoins consécutifs. C'est-à-dire, la distance verticale entre la parallèle à la droite de puissance tangente à la courbe des besoins (droite 2) et la droite de puissance elle-même (distance B-D). Ce qui donne l'énergie :  $E_2 - E_1$ .

Le volume du ballon nécessaire est donc de :

$$V = \frac{1\,000 (E_2 - E_1)}{1,16 (T_{ec} - 10^\circ) a} \text{ en litres}$$

- où  $T_{ec}$  = température de stockage de l'eau chaude  
 $10^\circ$  = température de l'eau froide et donc température minimum que peut atteindre l'eau dans le ballon avant que l'inconfort n'apparaisse  
 $a$  = coefficient d'efficacité du ballon



Graphe 10

Les choix de 'T<sub>ec</sub>' et 'a' sont discutés au paragraphe 1.3.

### c. Comportement du système

En parcourant la courbe des besoins consécutifs (graphe 9), on peut résumer le fonctionnement de l'appareil de production d'ECS, comme suit :

- de A à B : l'énergie puisée est inférieure à l'énergie fournie par l'échangeur, le stock d'eau chaude se vide;
- en B : le stock d'eau chaude a atteint sa température minimum admissible;
- de B à C : l'énergie fournie par l'échangeur est supérieure à l'énergie puisée. Le stock d'eau chaude se reconstitue partiellement;
- en C : le stock d'eau chaude est entièrement reconstitué.

### d. En résumé

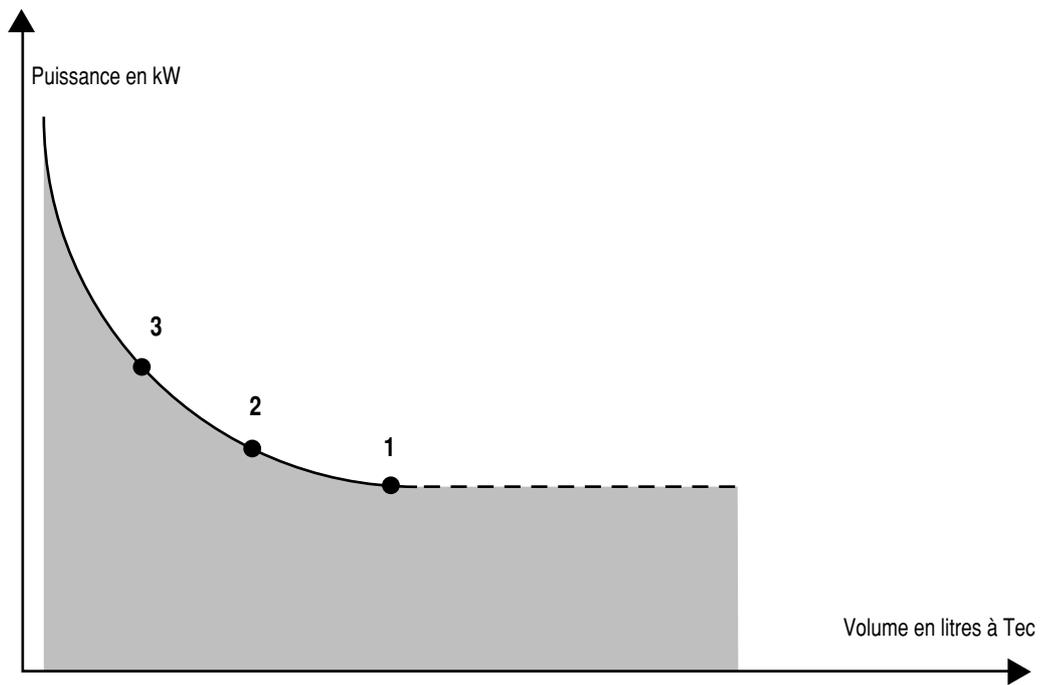
On a donc déterminé une paire :

<b>Puissance de l'échangeur : P =</b>	$\frac{E_3}{H_1}$	<b>[kW]</b>
<b>Volume de stockage : V =</b>	$\frac{1\,000 (E_2 - E_1)}{1,16 (T_{EC} - 10^\circ) a}$	<b>[litres]</b>

pour satisfaire les besoins.

*Remarque: comme dans le cas des préparations instantanée et en accumulation, la puissance sera majorée pour tenir compte des pertes de distribution et de stockage.*

Celle-ci dépend évidemment de la droite de puissance choisie. En fait, il existe une infinité de possibilités en fonction de la puissance choisie ( graphe 10).



Grappe 11



On voit ici l'augmentation de la plage de possibilités offertes lorsque le profil de consommation est considéré sur 24h (en pointillé).

Il convient donc d'explorer l'ensemble des combinaisons P-V possibles avant de faire son choix.

On tracera pour cela, une courbe dite d'égle satisfaction des besoins.

### **Etape 5 : Courbe d'égle satisfaction des besoins**

Il existe d'autres combinaisons V-P (volume, puissance) permettant de satisfaire les besoins traduits par la courbe des besoins consécutifs.

Pour les déterminer, il suffit de répéter la méthode décrite ci-avant avec plusieurs droites de puissance (ex. : droite 1, 2, 3, ... (graphe 10)).

En calculant pour chacun des cas, la puissance de l'échangeur et le volume de stockage, on peut recomposer une courbe (P, V), représentant l'ensemble des combinaisons possibles: la courbe d'égle satisfaction des besoins (graphe 11).

Le choix du couple (P-V) optimum est discuté ci-après.

### **Etape 6 : Choix de la combinaison puissance-volume**

Le choix de la puissance et du volume à installer se fera suivant :

- le coût :

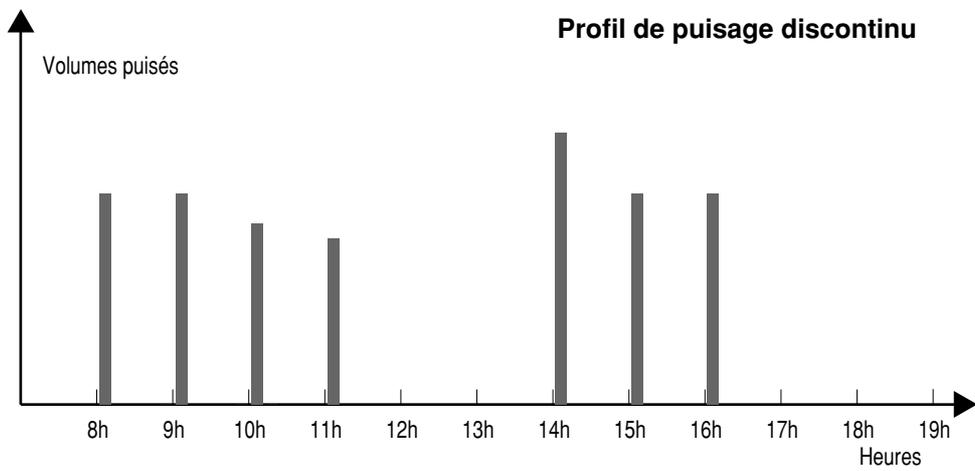
le premier critère sera le coût de l'installation. On comparera le coût de plusieurs combinaisons (puissance, volume), en tenant compte dans une installation combinée (chauffage-ECS) de la surpuissance nécessaire pour la chaudière;

- l'encombrement :

la disponibilité de place pour le matériel (le ballon) sera aussi déterminante dans le choix. Il faudra aussi tenir compte des possibilités d'acheminement et d'évacuation du matériel ;

- la compatibilité avec la puissance chauffage dans les installations combinées :

dans la mesure du possible (en respectant les deux premiers critères ci-dessus), il faut essayer que la puissance de la production d'ECS soit la moins éloignée possible de la puissance chaudière : puissance de l'échangeur ECS > 30 % de la puissance chaudière. En effet, plus l'écart de puissance sera grand, plus les cycles de fonctionnement du brûleur seront courts pour assurer la production d'ECS, ce qui diminuera le rendement de production.



Grappe 12

## 4.2. Cas particulier : les profils discontinus, méthode algébrique

Dans le secteur tertiaire, il est fréquent que le profil de puisage rencontré soit typiquement discontinu. C'est le cas par exemple dans les halls de sport où les douches sont utilisées durant 10 minutes toutes les heures, aucun puisage n'étant effectué durant les 50 minutes intermédiaires (graphe 12).

Dans ce cas, bien que la méthode présentée ci-avant reste évidemment d'application, il existe cependant une deuxième méthode qui permet de déterminer algébriquement et rapidement les caractéristiques de l'appareil de production.

Cette méthode n'est applicable que si on admet l'hypothèse qu'aucun puisage n'est effectué entre deux pointes et que le stock d'eau chaude est reconstitué durant cette période. L'appareil est évidemment dimensionné pour satisfaire la pointe la plus critique.

Elle repose sur deux équations:

1. Energie puisée via l'eau chaude = Energie contenue dans le stock + Energie fournie par l'échangeur durant le puisage

$$1.16 V_{60} (60^\circ - 10^\circ) = 1.16 a V (T_{ec} - 10^\circ) + (t_p - 3) P \quad 16.7$$

- où
- $V_{60}$  = volume puisé durant la période la plus critique, ramené à 60°C (en litres)
  - $V$  = volume du ballon de stockage (en litres)
  - $T_{ec}$  = température de l'eau stockée (en °C) (voir paragraphe 1.3.)
  - $10^\circ$  = température de l'eau froide et température minimale que peut atteindre le stock tout en garantissant le confort (en °C)
  - $a$  = coefficient d'efficacité du ballon de stockage (voir paragraphe 1.4.)
  - $t_p$  = temps de puisage (en minutes)
  - $3$  = temps d'attente entre le début du puisage et la mise en action de l'échangeur : 3 minutes en production directe et 5 minutes en production indirecte
  - $P$  = puissance de l'échangeur (en kW)
  - $16.7$  = facteur de conversion d'unités

2. Energie fournie par l'échangeur durant la période de reconstitution du stock = Energie nécessaire pour augmenter la température du stock jusqu'à la température maximum de stockage

$$t_r P \quad 16.7 = 1.16 a V (T_{ec} - 10^\circ)$$

- où  $t_r$  = temps de reconstitution du stock entre 2 pointes de puisage (en minutes)



Ceci permet de déterminer directement

<b>Volume de stockage = V =</b>	$\frac{V_{60} (60^\circ - 10^\circ) t_r}{(T_{ec} - 10^\circ) a (t_r + t_p - 3)}$	<b>[litres]</b>
<b>Puissance de l'échangeur = P =</b>	$\frac{1.16 a V (T_{ec} - 10^\circ)}{16.7 t_r}$	<b>[kW]</b>

Comme on le voit, cette méthode ne donne qu'une seule possibilité de choix d'appareil, contrairement à la méthode graphique qui débouche sur plusieurs solutions possibles et donc permet une optimisation du choix.

Un exemple d'utilisation de cette méthode algébrique est reprise en annexe 2.

Tableau 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n° du groupe de logement	nombre de logements identiques n	grandeur du logement r	nombre d'habitants p	localisation	symbole	nombre v	consommation énergétique w <sub>v</sub>	facteur f	v x f x w <sub>v</sub>	w <sub>vt</sub>	n x p x w <sub>vt</sub>
n°1	20	3	2,7	s.d.b	NB1	1	5820	1	5820	5820	314280
						1	700	0	0	0	
						1	1160	0	0	0	
n°2	15	2,5	2,3	s.d.b.	BRN	1	1630	1	1630	1630	56235
						1	700	0	0	0	
						1	1160	0	0	0	

$$\text{nombre de logements standards de l'immeuble} = N = \frac{\sum n \times p \times w_{vt}}{3,5 \times 5820} = 18,2$$



## Chapitre 3

# Cas particulier : les immeubles à appartements

Dans le cas des immeubles à appartements, de nombreuses statistiques ont permis de définir avec précision, les profils de paysage et de consommation en fonction du nombre de logements standards que comprend l'immeuble.

La première étape est donc de définir le nombre de logements standards.

Ceci permettra par la suite de se référer aux profils de paysage types.

Notons que de nombreux fabricants fournissent des tables permettant de choisir directement l'appareil adéquat en fonction du nombre de logements standards de l'immeuble.

## 1. Nombre de logements standards

### 1.1. Le logement standard

Un logement standard a les caractéristiques suivantes:

- nombre d'occupants : 3,5
- nombre de pièces (séjour + chambres) : 4
- équipement sanitaire :
  - 1 baignoire ordinaire (160x70)
  - 1 lavabo
  - 1 évier

En première approximation, si on ne connaît pas les caractéristiques exactes des logements et si on pense que ces dernières se rapprochent de la définition donnée ci-avant, on peut dire que le nombre de logements standards de l'immeuble équivaut au nombre réel de logements .

Si on veut être plus précis on se référera au paragraphe 1.2. pour le calcul exact du nombre de logements standards de l'immeuble. On y constatera que si le type de logement réel de l'immeuble diffère de la définition du logement standard, les nombres de logements standards et de logements réels peuvent être fortement différents.

Tableau 5

<b>Taille du logement <i>r</i></b>	<b>Nombre moyen d'occupants <i>p</i></b>
1	2.0
1 1/2	2.0
2	2.0
2 1/2	2.3
3	2.7
3 1/2	3.1
4	3.5
4 1/2	3.9
5	4.3
5 1/2	4.6
6	5.0
6 1/2	5.4
7	5.6

Tableau 6

<b>N°</b>	<b>Appareils (dimensions en mm)</b>	<b>Symbole</b>	<b>Volume par puisage <i>I</i></b>	<b>Consommation calorifique par puisage <math>W_v</math></b>	
				<b>Wh</b>	<b>Kcal</b>
1	Baignoire 1.600 x 700	NB 1	140	5.820	5.000
2	Baignoire 1.600 x 750 ou 1.700 x 700	NB 2	160	8.510	5.600
3	Petite baignoire	KB	120	4.890	4.200
4	Grande baignoire 1.800 x 750	GB	200	8.720	7.500
5	Cabine de douche avec mélangeur et pomme d'arrosoir normale	BRN	40	1.630	1.400
6	Cabine de douche avec mélangeur et pomme d'arrosoir de luxe	BRL	75	3.020	2.600
7	Cabine de douche avec pomme d'arrosoir normale et deux pommes d'arrosoir latérales	BRK	100	4.070	3.500
8	Pomme d'arrosoir supplémentaire	BR	30	1.220	1.050
9	Lavabo	WT	17	700	600
10	Bidet	BD	20	810	700
11	Lave-mains	HT	9	350	300
12	Evier	SP	30	1.160	1.000



## 1.2. Calcul exact du nombre de logements standards de l'immeuble

Pour calculer le nombre de logements standards d'un immeuble il suffit de compléter le tableau 4 en suivant les indications ci-après et l'exemple associé repris dans le tableau complété.

a. Colonne 1 :

On divise l'immeuble en groupes de logements identiques

**Exemple:** un immeuble comprend 20 appartements à 3 chambres et 15 appartements 2 chambres

b. Colonne 2 :

n = nombre de logements dans chaque groupe de logements identiques

**Exemple:** groupe n 1 : n = 20  
groupe n 2 : n = 15

c. Colonne 3 :

r = grandeur d'un logement

Pour chaque groupe de logements identiques, il faut calculer la grandeur r d'un logement par la formule

$$r = 1 + (\text{nombre de chambres de surface} \geq 10 \text{ m}^2) + 0,5 \times (\text{nombre de chambres de surface} < 10 \text{ m}^2)$$

Rem: pour un studio r = 1

**Exemple:** groupe n 1 : 1 chambre  $\geq 10 \text{ m}^2$  et 2 chambres  $< 10 \text{ m}^2$   
 $r = 1 + 1 + (0,5 \times 2) = 3$

groupe n 2 : 1 chambre  $\geq 10 \text{ m}^2$  et 1 chambre  $< 10 \text{ m}^2$   
 $r = 1 + 1 + (0,5 \times 1) = 2,5$

d. Colonne 4 :

p = nombre moyen d'habitants dans un logement

p dépend de la grandeur du logement. Sa valeur est donnée par le tableau 5.

Pour chaque groupe de logements, il faut relever la valeur de p correspondant à la grandeur des logements du groupe.

**Exemple:** groupe n 1 : r = 3  $\rightarrow p = 2,7$   
groupe n 2 : r = 2,5  $\rightarrow p = 2,3$

Tableau 7

<b>Equipement prévu par local</b>	<b>Equipement à prendre en considération</b>	<b>Valeur de f</b>
<p>EQUIPEMENT NORMAL :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• salle de bains : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 baignoire ordinaire ou 1 cabine de douche avec pomme d'arrosoir ordinaire</li> <li>- 1 lavabo</li> </ul> </li> <li>• cuisine <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 évier</li> </ul> </li> </ul>	<p>1 baignoire ordinaire à 100 %</p> <p>à ne pas prendre en considération</p> <p>à ne pas prendre en considération</p>	<p>1</p> <p>0</p> <p>0</p>
<p>EQUIPEMENT DE CONFORT :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• salle de bains : <ul style="list-style-type: none"> <li>- baignoire et/ou cabine de douche, éventuellement avec pomme d'arrosoir supplémentaire</li> <li>- lavabo</li> <li>- bidet</li> </ul> </li> <li>• cuisine <ul style="list-style-type: none"> <li>- évier</li> </ul> </li> <li>• autres locaux : <ul style="list-style-type: none"> <li>- baignoire</li> <li>- cabine de douche</li> <li>- lavabo</li> <li>- bidet</li> </ul> </li> </ul>	<p>1 baignoire, compte tenu de sa capacité et/ou 1 cabinet de douche, compte tenu des pommes d'arrosoir supplémentaires</p> <p>à ne pas prendre en considération</p> <p>à ne pas prendre en considération</p> <p>à ne pas prendre en considération</p> <p>0,5 baignoire</p> <p>0,5 cabine de douche</p> <p>1 lavabo</p> <p>1 bidet</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>0</p> <p>0</p> <p>0</p> <p>0,5</p> <p>0,5</p> <p>1</p> <p>1</p>



e. Colonnes 5, 6, 7 et 8 :

Il faut repérer l'équipement sanitaire d'un logement de chaque groupe et relever leur consommation énergétique  $W_v$  grâce au tableau 6.

**Exemple:** groupe n 1 : - 1 salle de bain avec

- 1 baignoire 160x70: 5820 wh

- 1 lavabo : 700 wh

- 1 cuisine avec

- 1 évier : 1160 wh

groupe n 2 : - 1 salle de bain avec

- 1 douche normale : 1630 wh

- 1 lavabo : 700 wh

- 1 cuisine avec

- 1 évier : 1160 wh

f. Colonne 9 :

Chaque appareil recevra un facteur de pondération f en fonction de leur importance de puisage (tableau 7).

**Exemple:** groupe 1 : - baignoire : f = 1

- lavabo et évier : f = 0

groupe 2 : - douche : f = 1

- lavabo et évier : f = 0

g. Colonne 10 :

Pour chaque type d'appareil sanitaire présent on calculera le produit des colonnes 7, 8 et 9:

$$v \times f \times W_v$$

**Exemple :** groupe 1 : - baignoire :  $1 \times 1 \times 5820 = 5820 \text{ wh}$

- lavabo et évier :  $1 \times 0 \times (700 \text{ ou } 1160) = 0 \text{ wh}$

groupe 2 : - douche :  $1 \times 1 \times 1630 = 1630 \text{ wh}$

- lavabo et évier :  $1 \times 0 \times (700 \text{ ou } 1160) = 0 \text{ wh}$

h. Colonne 11 :

$W_{vt}$  = consommation énergétique par personne utilisée pour l'ECS dans un logement.

Pour chaque groupe de logements, on additionnera les résultats de la colonne 10. Ceci donnera les consommations d'énergie pour l'ECS par logement et par personne dans chaque groupe de logements différents.



**Exemple** : groupe 1 :  $W_{vt} = 5820 + 0 = 5820 \text{ wh}$

groupe 2 :  $W_{vt} = 1630 + 0 = 1630 \text{ wh}$

i. Colonne 12 :

$(n \times p \times W_{vt}) =$  consommation énergétique pour l'ECS dans chaque groupe de logements identiques.

On multiplie les résultats des colonnes 2, 4 et 11 pour chaque groupe de logements identiques.

**Exemple**: groupe 1 :  $(n \times p \times W_{vt}) = 20 \times 2,7 \times 5820 = 314280 \text{ wh}$

groupe 2 :  $(n \times p \times W_{vt}) = 15 \times 2,2 \times 1630 = 56235 \text{ wh}$

j. Résultat final :

N = nombre de logements standards

<b>N =</b>	<b>somme des <math>(n \times p \times W_{vt})</math></b>
	<b>3,5 5820</b>

On additionne entre eux tous les résultats de la colonne 12 et on divise le tout par  $3,5 \times 5820$ .

**Exemple**:  $N = \frac{(314280 + 56235)}{3,5 \times 5820} = 18,2$

On voit donc que si les caractéristiques des logements s'éloignent de la définition de logement standard, il est nécessaire d'effectuer le calcul exact de N.

En effet ici 35 logements équivalent en fait à 18 logements standards.

## 2. Courbe des besoins consécutifs

La norme DIN 4708 présente des profils de puisage représentatifs de la consommation réelle dans le logement collectif.

Ces profils, repris en annexe 3, présentent l'évolution de l'énergie puisée en fonction de temps de puisage et en fonction du nombre de logements standards de l'immeuble.

Il est alors possible au départ de la courbe des besoins consécutifs choisie d'appliquer la méthode générale proposée ci-avant et d'en déduire la courbe d'égalité satisfaction des besoins et donc les caractéristiques des appareils.

**Remarques:**

1. Les profils s'arrêtent à partir d'un temps bien précis. Ce temps représente la période pointe maximum qu'il faut satisfaire (le dimanche matin).
2. Un sous-dimensionnement de l'appareil de production d'ECS peut être compensé par une augmentation de la température de stockage. Ainsi augmenter la température de stockage de 60° à 80° permet souvent de doubler le nombre de logements standards alimentable avec un même ballon.



## **Chapitre 4**

# **Le secteur tertiaire : profils types**

On rencontre dans la littérature de nombreuses données permettant de reconstituer, pour quelques cas types de bâtiments du secteur tertiaire les profils d'énergie puisée décrits dans la méthode de dimensionnement générale (chapitre 2). Un exemple en est présenté en annexe 4.

Ces données sont évidemment à prendre avec prudence.

Dans le cas de rénovation, il sera toujours préférable d'organiser une campagne de mesure pour connaître le profil de puisage type du bâtiment.

A partir des profils types, il sera facile de recomposer la courbe d'égalité satisfaction des besoins suivant la méthode générale.

# Annexe 1

## Caractéristiques de puisage des appareils

### Dans les cuisines et salles de bain

Utilisations	Cuisine				Salle de bains				
	Vaisselle	Cuisine	Entretien	Lave-linge et/ou vaisselle (1)	Toilette Lavabo	Douche	Bains	Lessive délicate	Lavage mains
Température de l'eau en °C	60	60	35 à 50	45 à 50	35 à 40	35 à 40	35 à 40	35 à 45	35 à 40
Débit en l/mn	3	5	3 à 5	5 à 10	5	5 à 8	13 à 20	5	3
Durée en mn par puisage	3 à 5	0,5	1 à 2	1,5 à 6	2 à 3	3 à 6	6 à 12	1 à 3	0,5 à 1

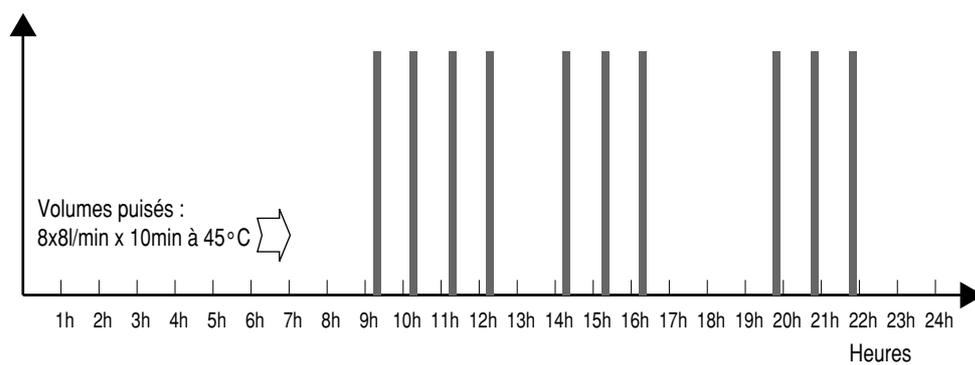
(1) l'alimentation de ces appareils en ECS peut procurer une économie, mais il faut vérifier que les matériels courants soient agréés pour une telle alimentation

Equipement principal du logement	Caractéristiques ECS	
	Volume (l)	Débit (l/mn)
Deux baignoires standard		
Baignoire et douche		
Baignoire luxe	180	18
Baignoire standard (référence)	150	15
Baignoire sabot	135	13,5
Douche		9
Lavabo (ou évier cuisine)		6

## Sur les lieux de travail

<b>Poste de puisage</b>	<b>Débit d'eau réel (l/mn)</b>	<b>Durée (mn)</b>	<b>Consommat. par puisage (l)</b>	<b>Température de l'eau (°C)</b>	<b>Energie consommée par puisage (kWh)</b>
Lavabo individuel	10	3	30	35	0,9
Lavabo - auge collectif					
à robinet	5..10	3	15..30	35	0,5..0,9
à pissette	3..5	3	9..15	35	0,25..0,50
Lavabo collectif circulaire					
à 5 places	20	3	60	35	1,8
à 10 places	25	3	75	35	2,2
Douche commune	10	5	50	35	1,5
Douche en cabine	10	15	80	35	2,3
Baignoire	25	30	250	35	7,3

### Profil de puisage du gymnase



Grappe a

#### Exemple : une école

Une école comprend :

- une salle de gym avec 8 douches,
- un internat équipé de 8 lavabos et 5 douches,
- une cuisine comprenant un lave-vaisselle et un bac évier.

Remarque: pour simplifier l'exemple, il ne sera pas tenu compte dans le calcul des puissances des pertes de distribution et de stockage.

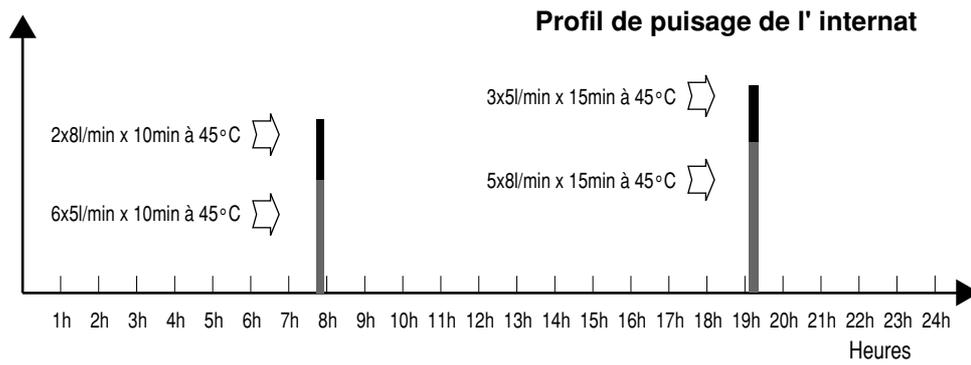
# 1. Préparation semi-instantanée ou en semi-accumulation

## 1.1. Méthode graphique

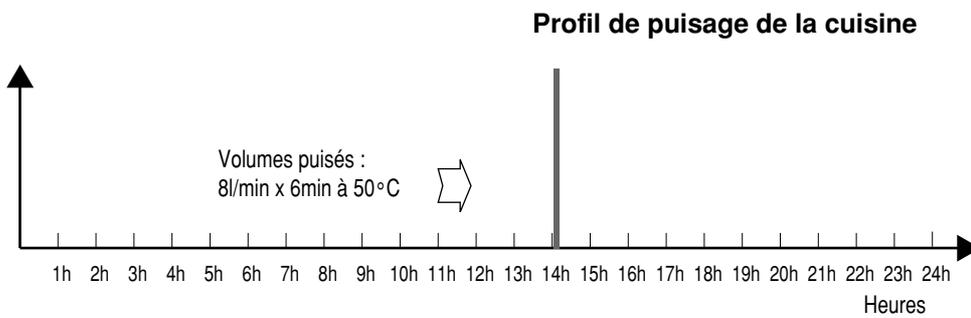
### Etape 1 : Profil de puisage

#### 1. La salle de gym (graphe a)

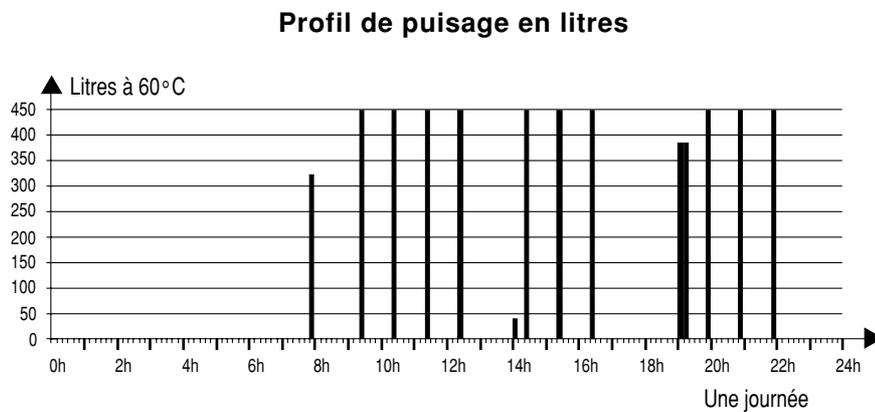
- Les lundi, mardi, jeudi, vendredi, les 8 douches fonctionnent simultanément et en continu (vanne d'ouverture commune) pendant 10 minutes après chaque cours (de 9 h 30 à 12 h 30 et de 14 h 30 à 16 h 30).
- Les mercredis après-midi, les activités sportives organisées par l'école, impliquent le même type de fonctionnement.
- Le soir, la salle de gym est occupée par des clubs sportifs. La location de la salle se fait à l'heure (de 19 à 22 h 00).



Graphe b



Graphe c



Graphe d



## 2. L'internat (graphe b)

Les équipements sanitaires de l'internat sont utilisés le matin et le soir. Tous les jours de la semaine sont semblables. Le week-end, l'internat est vide.

L'internat n'est pas occupé durant les vacances scolaires (pas de groupes extérieurs logés).

Après observation, on a déterminé que :

- le matin :  
seulement 2 douches au maximum sont utilisées pendant 10 min. Les 6 lavabos fonctionnent simultanément en continu pendant 10 min.,
- le soir :  
les 5 douches fonctionnent en continu pendant 15 min. Seulement 3 lavabos simultanément sont utilisés pendant 15 min.

## 3. La cuisine (graphe c)

Les repas chauds du midi sont fournis par un service traiteur.

Seul le lave-vaisselle est donc consommateur. Il fonctionne 1 fois par jour après le repas de midi.

## 4. Profil de puisage total (graphe d)

Si l'appareil de production d'eau chaude sanitaire doit satisfaire les besoins des 3 groupes d'utilisateurs précédents, il doit satisfaire le profil de puisage repris dans le graphe d.

Dans ce profil, l'ensemble des consommations sont ramenées à 60° (voir paragraphe 1.2., chapitre 2).

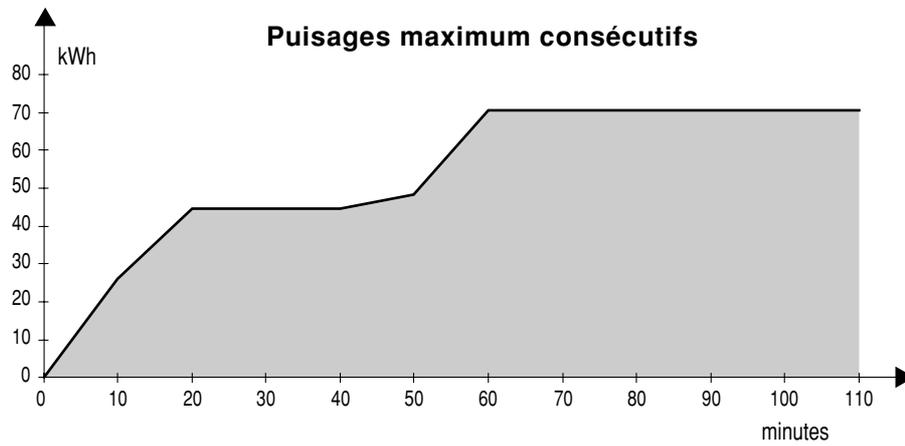
**Remarque:** *Nous ne discutons pas ici de l'opportunité de scinder la production d'ECS en unités distinctes et indépendantes.*

## Étapes 2 et 3: Profil de l'énergie puisée et courbe des besoins consécutifs

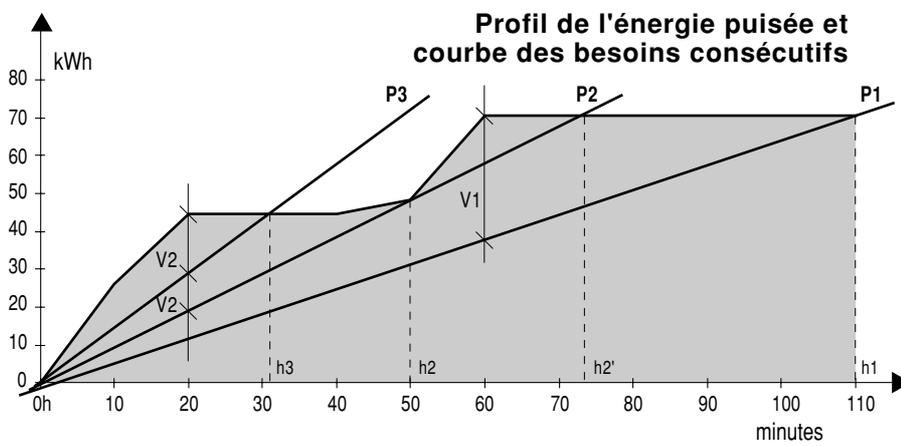
**Remarque:** La traduction des puisages volumétriques d'eau chaude en énergie puisée étant immédiate, les étapes 2 et 3 de la méthode sont regroupées en un seul traitement.

Dans un premier temps, on essayera de satisfaire la période de puisage la plus critique.

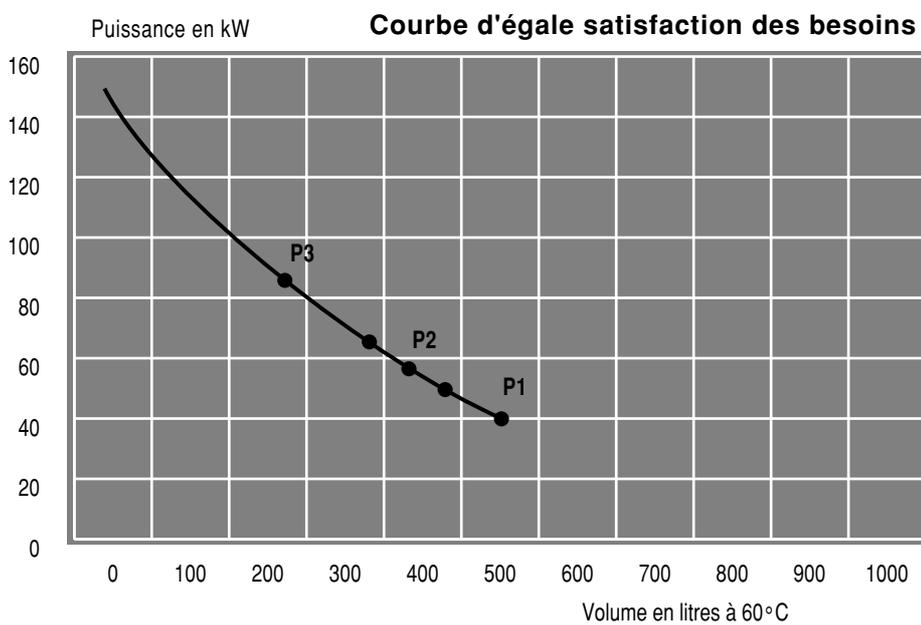
Le dimensionnement de l'appareil de production pour cette période permettra de définir une puissance et un volume capable de satisfaire n'importe quelle autre demande de la journée.



Grappe e



Grappe f



Grappe g



La période la plus critique s'étale de 19 à 20h. Durant cette période, le maximum d'eau consommée

- en 10 minutes = 448 l à 60° ou 26 kWh
- en 20 minutes = 385 +385 l à 60° ou 45 kWh
- en 30 minutes = 385+385 l à 60° ou 45 kWh
- en 40 minutes = 385 +385 l à 60° ou 45 kWh
- en 50 minutes = 448 +385 l à 60° ou 48 kWh
- en 60 minutes = 448 + 385+385 l à 60° ou 71 kWh

Le stock doit être reconstitué avant 20h50 pour satisfaire la demande suivante.

On peut déduire de ce profil d'énergie puisée une courbe des besoins consécutifs (graphe e).

#### **Etape 4 : Le volume de stockage et la puissance de l'échangeur**

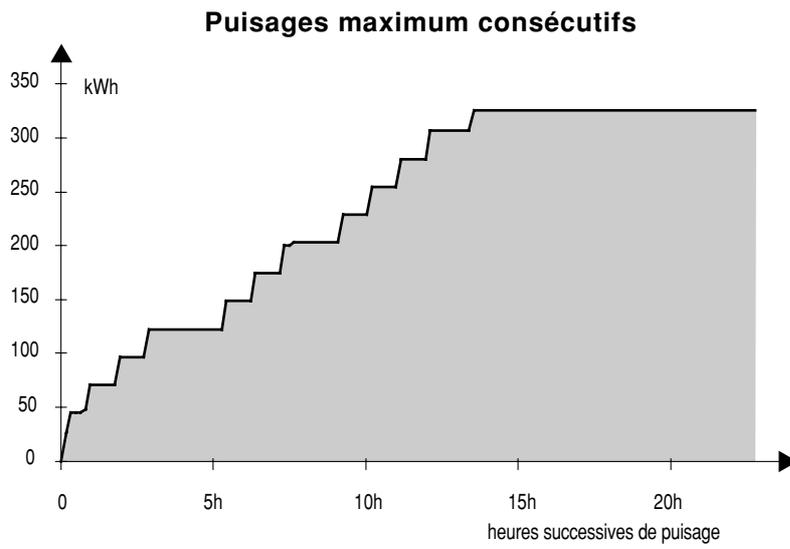
Appliquons la méthode graphique à ce profil d'énergie puisée, en traçant quelques droites de puissance : par exemple P1, P2, P3 (graphe f)

Pour chacune de ces droites, on obtient :

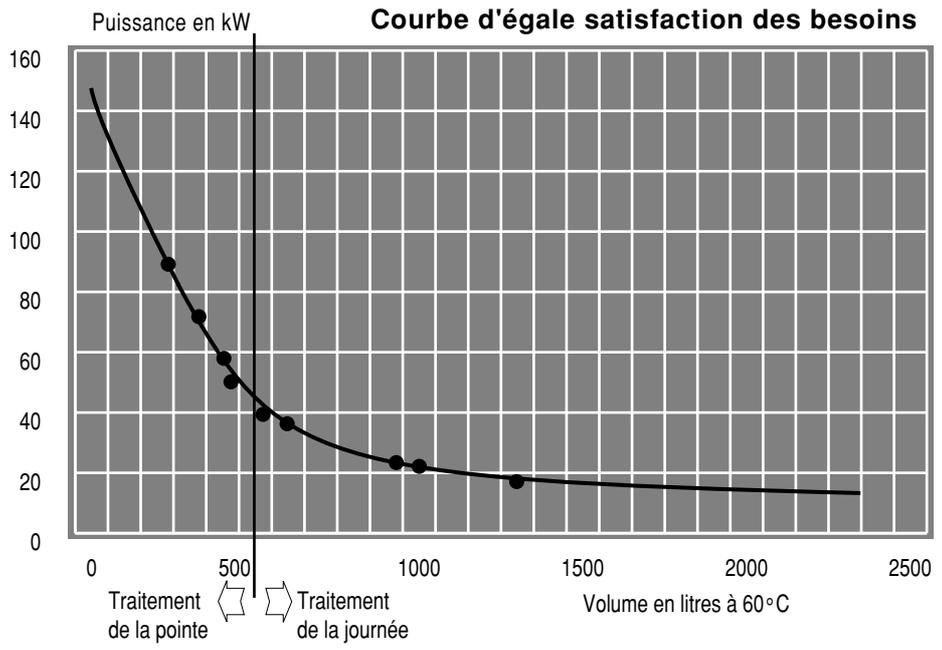
<b>Droite de puissance</b>	<b>Puissance de l'échangeur en kW</b>	<b>Volume de stockage en litres (T<sub>ec</sub> = 60° et a=0,9)</b>	<b>Moment de la reconstitution du stock</b>
P1	39	614	h1
P2	57	484	h2 et h2'
P3	84	313	h3

#### **Etape 5 : Courbe d'égalité satisfaction des besoins**

En traçant quelques autres droites de puissance, on obtient la courbe d'égalité satisfaction des besoins (graphe g).



Grappe h



Grappe i



### 1.1. bis. **Méthode graphique : traitement du profil de puisage journalier**

Remarquons qu'en appliquant la méthode graphique à l'ensemble du profil de puisage de la journée, le nombre de combinaison P-V capable de satisfaire les besoins se trouve agrandi (graphes h et i).

Cependant, ce travail est fastidieux. Il sera même inutile si le profil de puisage est régulier. Ce sera souvent le cas par exemple dans les halls de sport.

### 1.2. **Méthode algébrique**

$$V = \frac{V_{60} (60^\circ - 10^\circ) t_r}{(T_{ec} - 10^\circ) (t_r + t_p - 3) a}$$

$$P = \frac{1.16 a V (T_{ec} - 10^\circ)}{16.7 t_r}$$

On considère deux pointes :

a. A 19h, consommation de  $2 * 385$  l à  $60^\circ$  en 20 minutes; le stock est reconstitué en 30 minutes :

-  $t_p = 20$  min.

-  $t_r = 30$  min.

-  $V_{60} = 770$  l

-  $T_{ec} = 60^\circ$

-  $a = 0,9$

On obtient  $V = 546$  l et  $P = 57$  kW

b. A 19h50, consommation de 448 l à  $60^\circ$  en 10 minutes; le stock est reconstitué en 50 minutes :

-  $t_p = 10$  min.

-  $t_r = 50$  min.

-  $V_{60} = 448$  l



-  $T_{ec} = 60^\circ$

-  $a = 0,9$

On obtient  $V = 436$  l et  $P = 27$  kW

On retiendra donc les résultats du point a.

## 2. Préparation instantanée

Le débit instantané maximum en 10 min. est de 448 l d'eau à  $60^\circ\text{C}$ .

L'appareil de production instantanée (rem : normalement, suivant les critères du chapitre 1, l'instantané n'est pas applicable à ce cas), doit avoir une puissance de

$$\frac{448 \cdot 1,16 \cdot (60^\circ - 10^\circ)}{1000 \cdot 0,167} = 156 \text{ kW}$$

pour pouvoir fournir 448 l d'eau à  $60^\circ$  en 10 minutes.

## 3. Préparation en accumulation pure

Le volume total puisé par jour est de 3.000 l. à  $60^\circ$

Ceci équivaut à une énergie puisée de :

$$1,16 \cdot 3000 \cdot (60^\circ - 10^\circ) / 1000 = 174 \text{ kWh}$$

Le volume du ballon de stockage devra donc être de :

$$174 \cdot 1000 / a \cdot 1,16 \cdot (T_{ec} - 10^\circ)$$

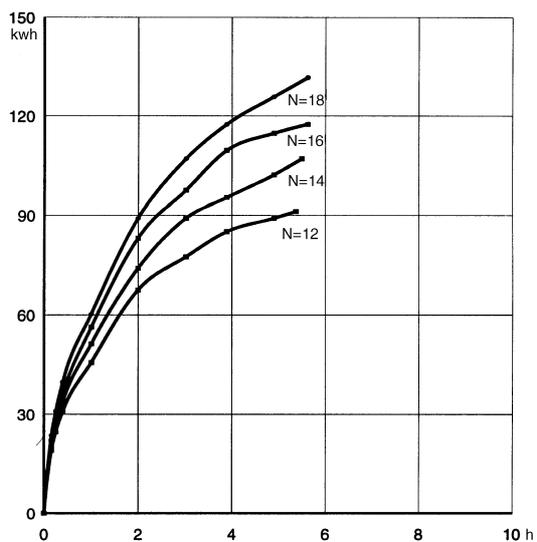
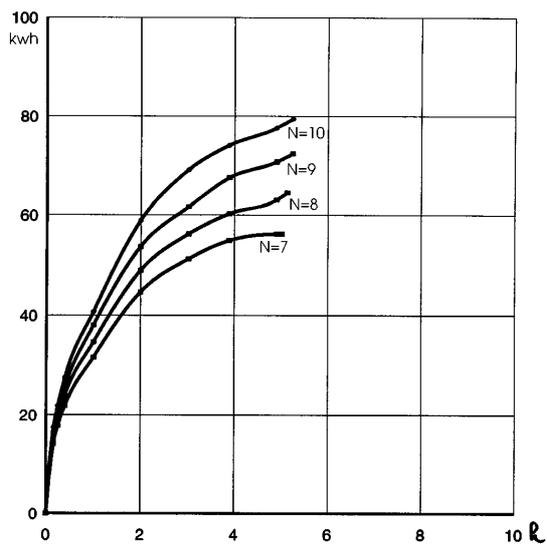
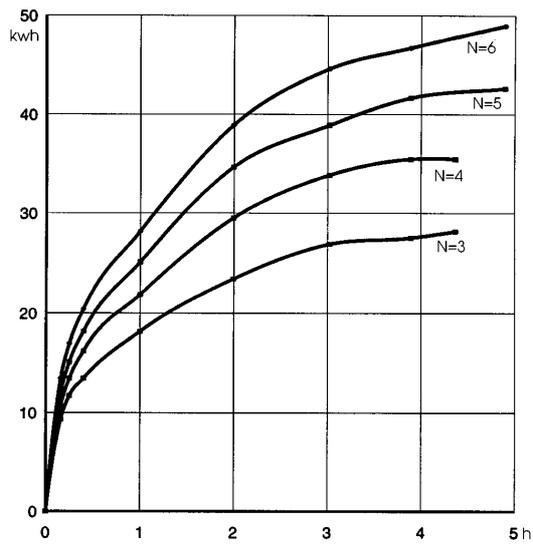
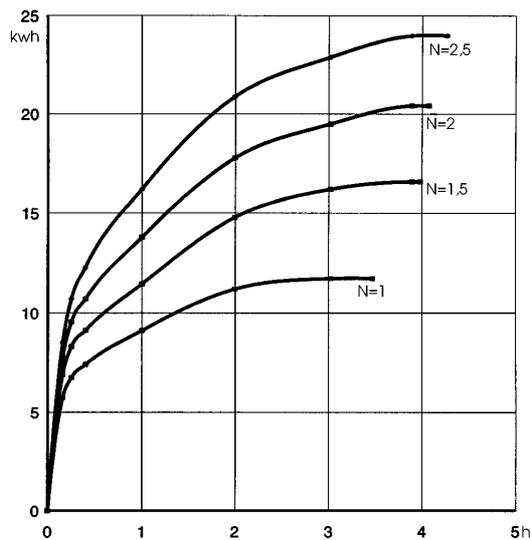
Si on choisit  $T_{ec} = 60^\circ$  et  $a = 0,9$ , le volume de stockage égale 3300 litres.

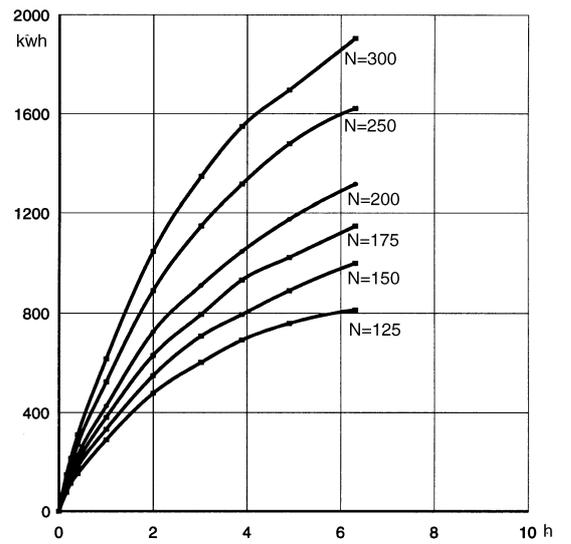
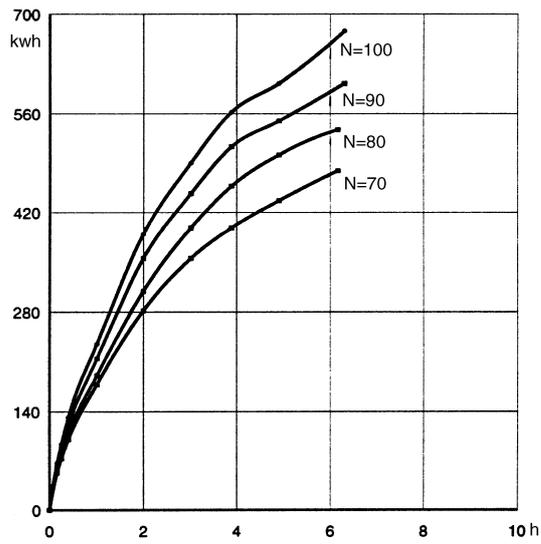
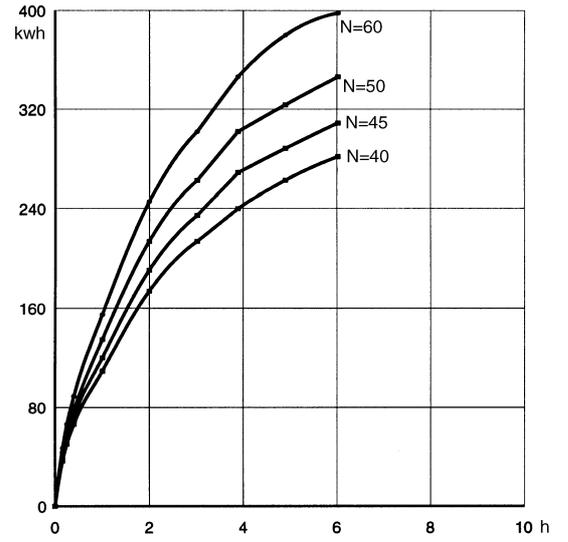
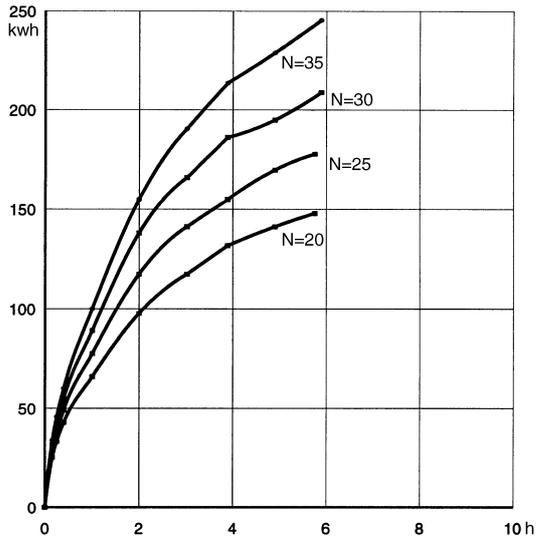
La puissance de l'échangeur nécessaire à la reconstitution du stock en 8 h (sans tenir compte des pertes de distribution et de stockage) égale :

$$174 \text{ kWh} / 8 \text{ h} = 22 \text{ kW}$$

# Annexe 3

## Courbes des besoins consécutifs dans les immeubles à appartements en fonction du nombre de logements standards N





## Annexe 4

## Profils types pour le secteur tertiaire

Ci-après sont extraits de 'L'eau chaude sanitaire dans les bâtiments résidentiels et tertiaires', guide A.I.C.V.F. (PYC Editions), plusieurs tableaux donnant des exemples de profil type de puisage rencontré dans la littérature.

### Besoins de différents immeubles tertiaire

<b>Etablissements concernés</b>	<b>Besoins en litres</b>	
Petits hôpitaux	Par jour et lit	50 à 80
Grands hôpitaux	Par jour et lit	80 à 100
Casernes	Par jour et personne	30 à 40
Piscines couvertes y compris douches	Par jour et visiteur	60 à 80
Bains médicaux	Par jour et malade	200 à 300
Immeubles de bureaux	Par jour et personne	20 à 30
Jardins d'enfants	Par jour et place	40 à 60
Restaurants	Par jour et place assise	20 à 30

### Ratios divers

<b>Etablissements concernés</b>	<b>Besoins en litres</b>		
Hôpitaux - Cliniques	Par jour et par lit		300 à 400
Hôtels	Par chambre et par jour	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sans baignoire</li><li>• Avec baignoire</li></ul>	40 200
Bureaux	Par personne et par jour		8
Ecoles - Casernes	Par pensionnaire et par jour	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sans baignoire</li><li>• Avec baignoire</li></ul>	8 25
Cantines et Restaurants <sup>1</sup>	Par rationnaire et par jour	1 repas 2 repas 3 repas	6 (15) 12 (30) 15 (37)

<sup>1</sup> Besoins sans parenthèses : vaisselle faite à la main. - Besoins entre parenthèses : vaisselle faite à la machine. - Pour les restaurants de luxe, doubler ou tripler ces chiffres.

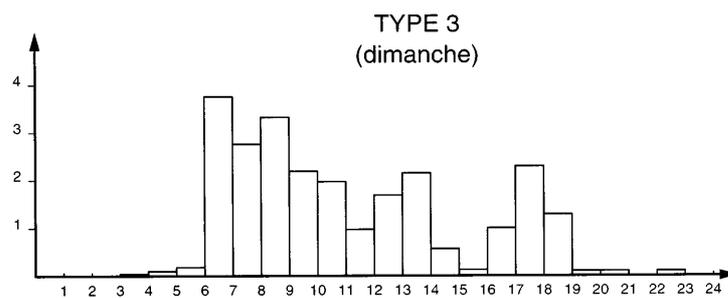
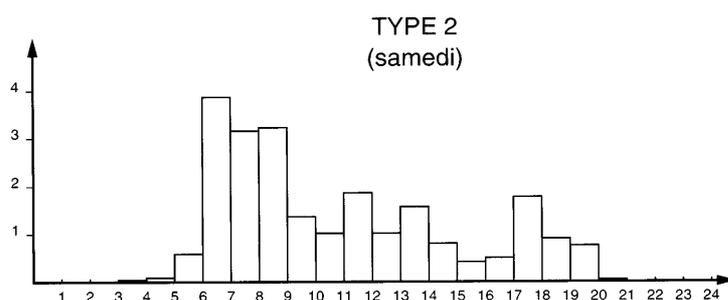
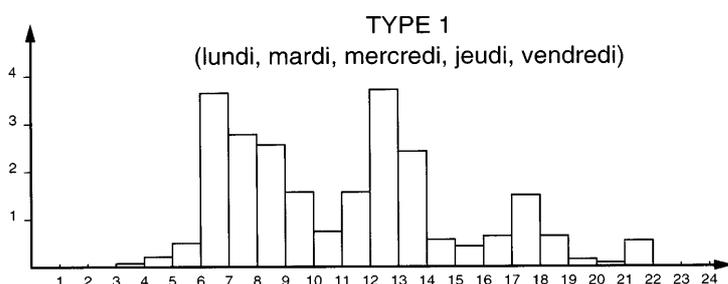
FAMILLES	Caractéristiques	Besoins en litres à 60°C		
HOTELLERIE	Hôtel 3 étoiles en montagne (sports d'hiver)	Par chambre/jour	170	
	Hôtel 3 étoiles tous lieux	Par chambre/jour	130 à 140	
	Hôtel de vacances à la semaine avec bain	Par chambre/jour	100	
	Hôtel 1 étoile avec douche (50 %) et bain (50 %)	Par chambre/jour	75	
	Restaurant (150 à 50 repas/jour)	Par repas	12 à 20	
	Lingerie	Par kg de linge sec	4 à 5	
GRANDES CUISINES	Cuisine à liaison froide	Par repas	2 à 3	
SCOLAIRE	Chambres	Par lit/jour	30 à 40	
	Repas <ul style="list-style-type: none"> <li>• hors lave-vaisselle</li> <li>• avec lave-vaisselle</li> </ul>	Par repas à 5 Par repas	9 à 10	
SANTE	Maisons de retraite	Chambres	Par lit/jour	40
		Cuisine <ul style="list-style-type: none"> <li>• hors lave-vaisselle</li> <li>• hors lave-vaisselle</li> </ul>	Par repas Par repas	3 à 5 9 à 10
	Maternité	Chambres	Par lit/jour	60
	Cliniques	Cuisine avec lave-vaisselle	Par repas	10 à 15
	Hôpitaux	Chambres	Par lit/jour	50 à 60
		Cuisine avec lave-vaisselle de 1.700 à 300 repas/jour	Par repas	8 à 12
	Foyers pour handicapés	Chambres Cuisine avec lave-vaisselle	Par lit/jour Par repas	100 9 à 10
C.A.T. (Centre d'Aide par le Travail)	Chambres	Par lit/jour	60	
	Cuisine	Par repas	9 à 10	
CAMPING	Camping 3 et 4 étoiles	Par campeur./j.	12	
		Par emplac./j.	45	

## MAISONS DE RETRAITE

<i>Besoins d'ECS en litres/j à 60°C</i>	
<i>Par :</i>	<i>Moyen sur 12 mois</i>
Lit	40
Repas	10

### Répartition horaire. Coefficients $\alpha_i$ ( $\sum \alpha_i = 24$ )

<i>Période</i>	<i>L. Ma. Me. J. V. type 1</i>	<i>Samedi type 2</i>	<i>Dimanche type 3</i>
0 à 1 h	0	0	0
1 à 2 h	0	0	0
2 à 3 h	0	0	0
3 à 4 h	0,06	0,04	0,04
4 à 5 h	0,09	0,07	0,11
5 à 6 h	0,47	0,65	0,19
6 à 7 h	3,70	4,06	3,82
7 à 8 h	2,82	3,30	2,74
8 à 9 h	2,60	3,37	3,30
9 à 10 h	1,60	1,45	2,11
10 à 11 h	0,72	1,12	1,93
11 à 12 h	1,60	1,96	0,89
12 à 13 h	3,82	1,12	1,60
13 à 14 h	2,44	1,67	2,11
14 à 15 h	0,53	0,83	0,48
15 à 16 h	0,38	0,44	0,15
16 à 17 h	0,60	0,51	0,93
17 à 18 h	1,44	1,78	2,19
18 à 19 h	0,50	0,87	1,19
19 à 20 h	0,16	0,73	0,07
20 à 21 h	0,09	0,04	0,07
21 à 22 h	0,38	0	0
22 à 23 h	0	0	0,07
23 à 24 h	0	0	0



### Répartition hebdomadaire. Coefficients $c_j$ ( $\sum c_j = 7$ )

<i>Lundi</i>	<i>Mardi</i>	<i>Mercredi</i>	<i>Jeudi</i>	<i>Vendredi</i>	<i>Samedi</i>	<i>Dimanche</i>
1,04	1,08	1,11	0,96	1,03	0,90	0,88

### Répartition mensuelle

Le coefficient  $c_m$  est constant, donc égal à 1 ( $\sum c_m = 12$ )

# Annexe 5

## Estimer les pertes du réseau de distribution

Le tableau suivant donne en fonction de la différence de température (DT) entre la température de l'eau et la température de l'air, du diamètre des conduites et de l'épaisseur d'isolant, les pertes de 1 m de tuyauterie.

		<b>PERTES THERMIQUES DES TUYAUTERIES isolées en coquilles de laine de verre [W/m]</b>					
<b>Diamètre extérieur [mm]</b>	<b>ΔT [K]</b>	<b>Épaisseur d'isolant [mm]</b>					
		<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
17	20	13,67	4,87	3,46	2,86	2,51	2,29
	30	20,51	7,30	5,19	4,28	3,77	3,43
	40	27,34	9,73	6,91	5,71	5,03	4,58
21	20	16,75	5,60	3,90	3,19	2,78	2,52
	30	25,13	8,40	5,85	4,78	4,17	3,77
	40	33,50	11,21	7,80	6,37	5,56	5,08
27	20	21,27	6,69	4,55	3,66	3,16	2,84
	30	31,91	10,03	6,82	5,49	4,74	4,26
	40	42,55	13,37	9,10	7,32	6,32	5,68
34	20	26,40	7,93	5,28	4,19	3,59	3,20
	30	39,60	11,89	7,92	6,29	5,38	4,80
	40	52,80	15,86	10,56	8,39	7,18	6,39
42	20	32,06	9,33	6,10	4,79	4,06	3,59
	30	48,09	13,99	9,15	7,18	6,09	5,39
	40	64,13	18,65	12,21	9,57	8,12	7,18
49	20	36,85	10,53	6,81	5,29	4,46	3,93
	30	55,27	15,80	10,21	7,94	6,69	5,89
	40	73,69	21,07	13,62	10,59	8,92	7,85
60	20	44,04	12,40	7,90	6,08	5,08	4,44
	30	66,06	18,61	11,85	9,11	7,61	6,66
	40	88,08	24,81	15,81	12,15	10,15	8,88
76	20	53,80	15,07	9,47	7,19	5,95	5,16
	30	80,70	22,61	14,20	10,79	8,93	7,75
	40	107,60	30,14	18,93	14,39	11,90	10,33
90	20	61,65	17,35	10,81	8,15	6,70	5,79
	30	92,47	26,03	16,21	12,23	10,06	8,68
	40	123,30	34,70	21,62	16,31	13,41	11,57
114	20	73,62	21,15	13,07	9,77	7,97	6,83
	30	110,43	31,72	19,60	14,65	11,95	10,24
	40	147,24	42,30	26,13	19,54	15,94	13,66
165	20	92,81	28,65	17,65	13,08	10,57	8,97
	30	139,21	42,98	26,48	19,62	15,85	13,46
	40	185,62	57,31	35,30	26,16	21,13	17,95
219	20	123,15	37,87	22,75	16,69	13,37	11,27
	30	184,73	56,06	34,13	25,04	20,06	16,91
	40	246,31	74,74	45,31	33,39	26,75	22,54
273	20	153,52	46,09	27,85	20,30	16,17	13,56
	30	230,28	69,13	41,78	30,45	24,25	20,34
	40	307,04	92,18	55,70	40,60	32,34	27,12

### Facteur correctif pour les autres isolants

<b>Type de calorifuge</b>	<b>Facteur de correction</b>	<b>λ [W/m . K]</b>
Mousse de polyuréthane	0,67	0,024
<b>Laine de verre</b>	<b>1,0</b>	<b>0,036</b>
Laine de roche	1,05	0,038
Mousse de caoutchouc	1,16	0,042
Silicate de calcium	1,48	0,054

**Illustrations :**

Institut Wallon, Renova Bulex (photo de couverture)

**Réalisation :**

Institut Wallon A.S.B.L.  
Bld Frère Orban, 4  
5000 Namur 081 / 25 04 80

**Editeur responsable :**

Ministère de la Région Wallonne-DGTRE  
Service de l'Énergie, Av. Prince de Liège, 7  
5100 Jambes  
Tél: 081 / 32 12 11

