

**CAMPAGNE DE MESURES DE LA
CONSOMMATION ELECTRIQUE
DE 20 PISCINES INDIVIDUELLES**

Rapport final

Avril 2007

E N E R T E C H

Ingénierie énergétique et fluides

F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE

tél. & Fax : (33) 04.75.90.18.54

E mail : sidler@club.fr

[http ://sidler.club.fr](http://sidler.club.fr)

SOMMAIRE

Partie I : Introduction	4
Partie II : Présentation du projet	5
II.1 Description du projet	5
II.2 Présentation des appareils installés	5
II.2.1 Le Wattmètre à pince ampèremétrique	5
II.2.2 Le Wattmètre série	6
II.2.3 Mesure du comptage général.....	6
II.3 Traitement des données	7
II.3.1 Méthode d'annualisation des données.....	7
II.3.2 Détermination du coût associé aux consommations	7
Partie III : Caractéristiques des piscines instrumentées.....	8
III.1 Description des équipements des piscines suivies	8
III.2 Fonction des principaux équipements	10
III.2.1 Filtres.....	10
III.2.2 Robots nettoyeurs	11
III.2.3 Régulateurs de pH	11
III.2.4 Electrolyseurs	12
Partie IV : Répartition de la consommation	13
IV.1 Consommation globale des piscines	13
IV.2 Coût annuel de la consommation d'électricité	14
IV.3 Part des piscines dans la consommation générale des logements	14
IV.3.1 Part de la piscine sur la période de suivi	14
IV.3.2 Part de la piscine dans la consommation annuelle d'électricité.....	16
IV.4 Répartition de la consommation entre les différents équipements.....	17
Partie V : Etude des pompes de filtration.....	18
V.1 Etude des puissances appelées	18
V.1.1 Puissances moyennes appelées.....	18
V.1.2 Evolution des puissances appelées	18
V.2 Durée et taux de fonctionnement	20
V.2.1 Durée de fonctionnement	20
V.2.2 Taux de fonctionnement du parc de pompes.....	22
V.2.3 Analyse des paramètres influant sur la durée de fonctionnement.....	22
V.2.3.1 Durée de marche en fonction de la température extérieure.....	22
V.2.3.2 Durée de marche en fonction des jours de la semaine	23
V.2.4 Etude des différents modes de programmation	24
V.3 Consommation des pompes.....	25
Partie VI : Etude des robots nettoyeurs	27
VI.1 Etude des puissances appelées	27
VI.2 Durée de fonctionnement et courbe de charge	28
VI.2.1 Durée de fonctionnement	28
VI.2.2 Courbe de charge moyenne des robots nettoyeurs	28
VI.3 Consommations des robots nettoyeurs	29
Partie VII : Etude des autres postes de consommations	30
VII.1 Eclairage.....	30
VII.1.1 Etude des puissances d'éclairage installées	30
VII.1.2 Durées de fonctionnement.....	30
VII.1.3 Consommations d'éclairage	31

VII.2	Electrolyseurs	32
VII.3	Régulateurs de pH	33
VII.4	Couverture électrique	35
VII.5	Nage à contre courant.....	35
VII.6	Régulation solaire.....	37
Partie VIII :	Economies envisageables	38
VIII.1	Pompes de filtration	38
VIII.1.1	Introduction	38
VIII.1.2	Dimensionnement.....	38
VIII.1.2.1	Principes généraux	38
VIII.1.2.2	Evaluation du temps de recyclage des bassins suivis.....	39
VIII.1.2.3	Calcul des économies envisageables.....	41
VIII.1.3	Durée de fonctionnement	42
VIII.1.3.1	Idées reçues	42
VIII.1.3.2	Economies envisageables par diminution des durées de fonctionnement	45
VIII.1.3.3	Economies envisageables par changement de pompes et diminution des durées de fonctionnement.....	46
VIII.1.4	Utilisation de pompes performantes avec une puissance adaptée.....	48
VIII.2	Robots nettoyeurs.....	50
VIII.2.1	Réduction des durées de fonctionnement.....	50
VIII.2.2	Utilisation de robots autonomes	51
VIII.2.3	Utilisation de robots autonomes et réduction de durée de fonctionnement .	52
VIII.3	Synthèse des économies	52
VIII.3.1	Récapitulatif des économies réalisables à l'heure actuelle	52
VIII.3.2	Récapitulatif des économies réalisables dans le futur	54
Partie IX :	Conclusion.....	56

Partie I : Introduction

Avec plus de 1 270 000 piscines installées fin 2006¹ (42% dans le sud est de la France), soit un taux d'équipement de plus de 7%, la France est le premier marché européen des piscines et le deuxième marché mondial derrière les Etats-Unis. On dénombre, en France, 65% de piscines enterrées et 35% de piscines de hors sol.

Ces équipements posent plusieurs problèmes environnementaux, notamment :

- La quantité d'eau consommée et la qualité de celle qui est rejetée à l'égout après nettoyage
- Les produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau.

La consommation énergétique d'une piscine est généralement associée uniquement à son chauffage. Lorsqu'elle n'est pas chauffée, la piscine n'est jamais considérée comme un équipement énergivore.

Très peu d'études traitent de la consommation électrique spécifique des piscines. A notre connaissance il n'existe qu'une campagne de mesures portant sur cet équipement. Elle a été réalisée en 1998 par Enertech en Guyane. Cependant l'étude portait uniquement sur neuf pompes. De plus, les résultats obtenus sont difficilement transposables en métropole étant donné la différence de climat qui conduit notamment à des périodes d'utilisation et des températures d'eau différentes.

Ce rapport représente donc une première nationale. Elle vise dans un premier temps à préciser la consommation électrique des divers équipements des piscines et leur mode de fonctionnement. Puis l'objectif est d'explorer les pistes envisageables pour réduire celle-ci.

¹ Fédération des Professionnels de la Piscine (FPP)

Partie II : Présentation du projet

II.1 DESCRIPTION DU PROJET

La campagne de mesures des consommations électriques spécifiques des piscines s'est déroulée au cours de l'été 2006 en Drôme/Ardèche. Cette région a été choisie pour limiter le coût de l'étude de part la proximité de nos bureaux.

II.2 PRESENTATION DES APPAREILS INSTALLES

L'instrumentation exhaustive de l'ensemble des usages et du compteur général a été effectuée grâce à 3 types de mesureurs autonomes : le Wattmètre à pince ampèremétrique, le Wattmètre série, le lecteur optique.

II.2.1 Le Wattmètre à pince ampèremétrique

Les Wattmètres pinces ont été conçus pour être utilisés principalement en amont de l'installation électrique (Tableau de distribution, armoire, coffret...). A chaque Wattmètre pince est associé un Pulse mètre électronique de petite taille chargé de l'enregistrement des données.

La fonction du Wattmètre pince est de transformer l'information d'énergie active en impulsions électriques mémorisable par le Pulse mètre. Le poids de l'impulsion est de 0.5 Wh.

Les Pulse mètres pour Wattmètres pinces sont des enregistreurs électroniques de dimensions très réduites branchés directement sur le Wattmètre par l'intermédiaire d'une fiche avec détrompeur. Le nombre des impulsions est mis en mémoire dans l'enregistreur .

Les Pulse mètres sont entièrement autonomes et peuvent être laissés en place plusieurs mois selon la fréquence de mémorisation de données choisie.

Les wattmètres pince ont été installés dans les tableaux électriques des piscines pour suivre les pompes, l'éclairage et les autres postes des piscines (lorsque cela été possible).



Figure 2.1 : Photographie d'un wattmètre pince

II.2.2 Le Wattmètre série

Ce type de mesureur a été utilisé pour la mesure des consommations des petites pompes de filtration fonctionnant sur prise (piscines hors sol) mais également pour les robots nettoyeurs autonomes.

Il s'agit d'un boîtier de 12 x 6,5 x 4 cm qui se place en série sur n'importe quel usage raccordé sur une prise de courant. Pour cela il est muni de prises mâle et femelle 16A. Il mesure l'énergie avec un pas de temps de 10 minutes. Il dispose d'une mémoire permettant d'enregistrer les données pendant plus d'une année.



Figure 2.2 : Photographie d'un wattmètre série

II.2.3 Mesure du comptage général.

Si le logement est équipé d'un compteur électromécanique, on utilise un **lecteur optique électromécanique**. Grâce à un capteur optique fixé au niveau du disque, il compte les tours et mémorise donc la consommation (compte tenu du poids du tour).

Si le logement est équipé d'un compteur électronique, on mesure la consommation grâce à un **lecteur optique électronique**. Associé à un capteur optique il compte les impulsions lumineuses (flash) émises par les compteurs électroniques à chaque pulse.

Ces enregistreurs sont totalement autonomes sur piles, la mémoire ayant par ailleurs une taille permettant de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an.



Figure 2.3 : Photographie de lecteurs optiques mécanique (gauche) et électronique (droite)

II.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Toutes les données récoltées ont été placées dans une base de données relationnelle permettant un traitement aisé des informations.

II.3.1 Méthode d'annualisation des données

Les mesures ont été effectuées du 14 juin 2006 au 08 octobre 2006. L'annualisation des données a été effectuée en 2 étapes.

La première étape a consisté, à partir des données de la période de mesures et des informations communiquées par les usagers, à reconstituer la consommation des périodes manquantes. Globalement 15% de la consommation totale correspond à la période hors suivi. 20% des piscines de l'échantillon fonctionnent en hiver. Pour ces dernières, la part de consommation non suivie vaut 37%.

II.3.2 Détermination du coût associé aux consommations

Afin de déterminer le coût associé aux consommations. Les consommations à 10 minutes ont été multipliées par le prix du kWh TTC durant le même créneau.

Le prix du kWh considéré est :

- simple tarif : 0.1019 €TTC/kWh
- Double tarif : heures pleines 0.1019 €TTC/kWh et 0.06056 €TTC/kWh.

Les horaires de tarification heures creuses des différents logements n'étant pas connus, nous avons pris en compte le créneau 22h-6h pour les souscripteurs de l'option double tarif.

Partie III : Caractéristiques des piscines instrumentées

Au total, 22 piscines ont été instrumentées. Cependant, suite à un problème sur un mesureur et à la fuite d'une piscine (entraînant un arrêt total de la piscine) seules 20 piscines sont prises en compte dans cette étude. Deux types de piscines ont été suivis : des piscines enterrées et des piscines hors sol. La figure 3.1 résume les caractéristiques de l'échantillon.

Le volume moyen observé est de **71 m³** (**80m³** pour les **piscines enterrées** et **27m³** pour les modèles **hors sol**), le maximum étant de 182m³ et le minimum de 20m³..

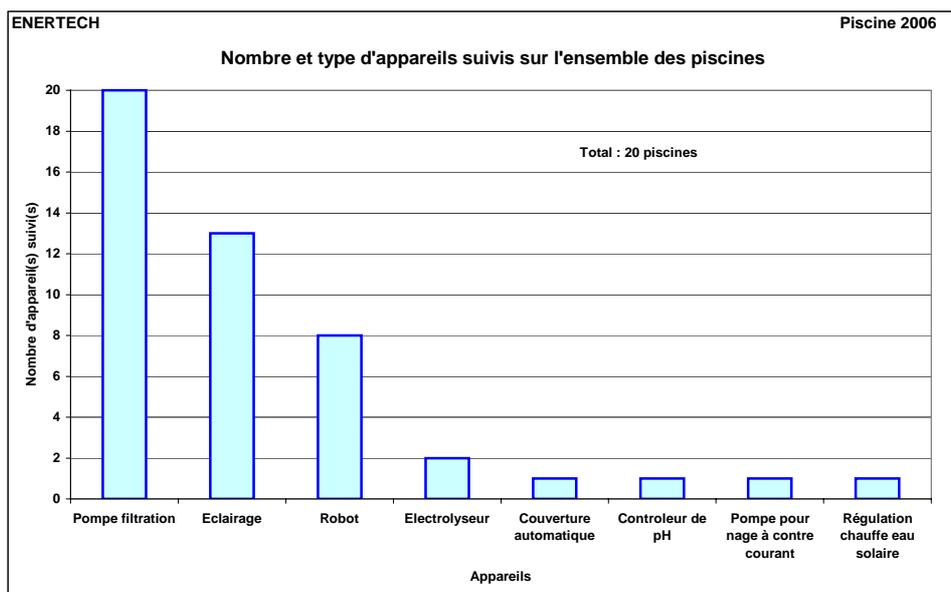
Numéro piscine	Code postal	Type piscine	Volume
600001	07400	Enterrée	88
600002	26200	Enterrée	90
600005	26160	Enterrée	108
600006	26160	Enterrée	108
600007	26160	Enterrée	31
600008	26160	Enterrée	68
600010	26400	Enterrée	47
600014	26400	Enterrée	42
600017	07220	Enterrée	182
600018	07700	Enterrée	51
600020	26740	Enterrée	32
600023	26740	Enterrée	134
600024	26200	Enterrée	100
600028	07200	Enterrée	75
600030	26780	Enterrée	90
600034	26120	Enterrée	41
600040	26400	Enterrée	74
600019	26200	Hors sol	20
600026	26230	Hors sol	37
600044	26160	Hors sol	25

Figure 3.1 : Caractéristiques des piscines suivies

III.1 DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DES PISCINES SUIVIES

Tous les équipements électriques associés aux piscines ont été suivis lors de cette campagne de mesures. Le graphique et le tableau de la figure 3.2 décrivent les appareils suivis.

Toutes les piscines possèdent une pompe de filtration. On trouve aussi, dans la majorité des piscines enterrées, une installation d'éclairage du bassin et un robot (assurant le nettoyage). Enfin certaines piscines sont équipées d'appareils particuliers type couverture automatique, contrôleur de pH...



Piscine	Pompe filtration	Robot	Eclairage	Electrolyseur	Couverture électrique	Controleur de ph	Pompe pour nage à contre courant	Régulation chauffe eau solaire
600001	1		1					
600002	1	1	1					
600005	1	1	1				1	
600006	1	1	1					1
600007	1							
600008	1	1				1		
600010	1							
600014	1		1					
600017	1	1	1					
600018	1		1					
600019	1							
600020	1							
600023	1	1	1	1				
600024	1		1					
600026	1							
600028	1	1	1	1				
600030	1		1					
600034	1		1					
600040	1	1	1		1			
600044	1							

Figure 3.2 : Description des appareils suivis durant la campagne

III.2 FONCTION DES PRINCIPAUX EQUIPEMENTS

III.2.1 Filtres

Il existe trois types de filtre, les filtres à sable, les filtres à diatomées et les filtres à cartouche. La figure ci-dessous représente le schéma de principe d'un système de filtration de l'eau.

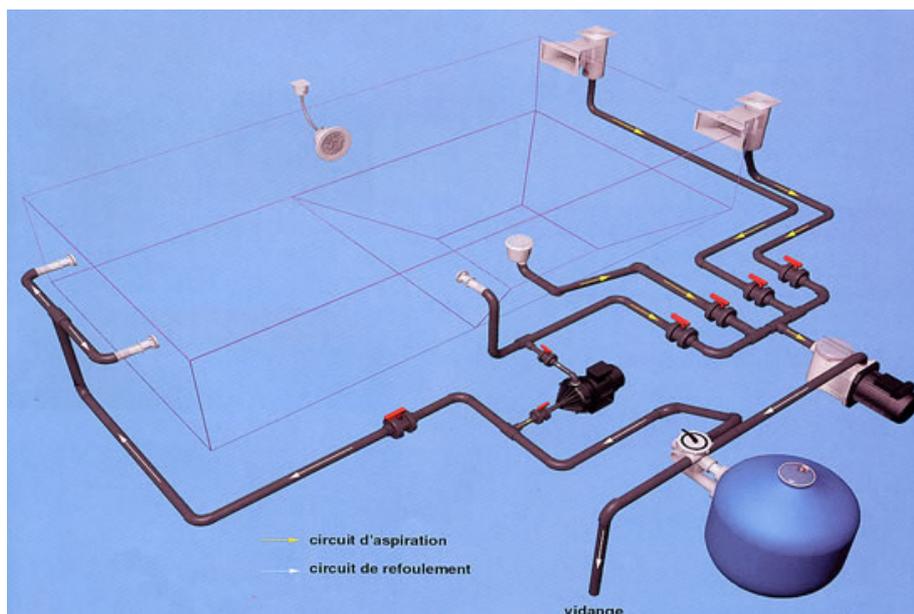


Figure3.3 : Synoptique d'un circuit de filtration de piscine

Le filtre à sable est le système de filtration le plus répandu bien que sa qualité de filtration ne soit pas la meilleure (de 50 à 40 microns selon la vitesse de passage et la granulométrie du sable utilisé).

L'eau « sale » est introduite par la pompe de filtration en partie haute du filtre, puis est répartie sur la surface du sable grâce à un diffuseur supérieur. En passant à travers les grains de sable, l'eau se décharge de ses impuretés, pour être reprise dans le bas du filtre par un ensemble de crépines, qui retiennent le sable en laissant passer l'eau épurée.

Un manomètre indique en permanence la pression de travail du filtre. Lorsque la surface du sable est sale, la perte de charge du filtre augmente et la pression du manomètre aussi.

Les filtres à diatomées (coquillages concassés) se composent d'un réservoir contenant un jeu d'éléments filtrants. La filtration n'est pas assurée par les éléments eux-mêmes, mais par une fine couche de diatomées qui recouvre la surface extérieure de l'élément. L'eau passe à travers la couche de diatomées qui retient des particules extrêmement fines (jusqu'à 5 microns).

Les filtres à cartouches quant à eux sont particulièrement bien adaptés aux piscines de petits volumes. Ils se présentent sous la forme d'un cylindre (en papier, en Lacron), disposant

d'une entrée et d'une sortie généralement opposées. L'eau sale pénètre dans la cuve par l'extérieur de la cartouche, traverse la matière filtrante, puis ressort par le tube central.

Nous avons suivi 2 piscines équipées de filtre à diatomées et 18 munies de filtre à sable. Aucune n'était pourvue de filtre à cartouche.

III.2.2 Robots nettoyeurs

Il existe trois types de robot nettoyeur :

- Les robots nettoyeurs à aspiration : ils sillonnent automatiquement le fond du bassin en aspirant les débris et impuretés qui s'y sont déposés grâce à la pompe de filtration et à une prise balai disposé dans la piscine
- Les robots nettoyeurs à pression : ils fonctionnent avec l'énergie fournie par l'eau sous pression provenant d'un surpresseur disposé dans le local piscine (différent de la pompe de filtration). La plupart effectuent un brassage (permettant la mise en suspension des impuretés) en évoluant au fond du bassin (parfois même le long des parois) et aspirent par effet venturi une partie des débris qu'ils retiennent dans une poche filtrante.
- Les robots nettoyeurs autonomes : il s'agit de petites unités filtrantes possédant leurs propres motorisations et se déplaçant dans le fond du bassin et sur les parois en balayant et en aspirant les impuretés.



Robot à aspiration



Robot à pression



Robot autonome

Figure 3.4 : Illustration des divers types de robots disponibles

Seuls les robots à pression (6 piscines) et les robots autonomes (2 piscines) sont traités dans ce rapport. En effet, les robots à aspiration (7 piscines) ne possèdent pas de consommation spécifique car c'est la pompe de filtration qui assure leur fonctionnement.

Cinq piscines de l'échantillon ne possèdent pas de robots.

III.2.3 Régulateurs de pH

Le régulateur de pH permet de maintenir le pH de la piscine constant. En effet, un déséquilibre du pH entraîne de nombreux désagréments tant pour les baigneurs, que pour l'efficacité des produits chlorés et entraîne un risque d'entartrage non négligeable. Ainsi, en dessous de 7,2, l'eau risque de détériorer l'intérieur du bassin (revêtement, installation) et irrite les yeux et la peau. Au-dessus de 7,6, il y a formation de tartre et encore une fois irritation.

Une sonde placée sur la canalisation d'aspiration mesure le pH de la piscine. Cette sonde reliée à un contrôleur, analyse cette mesure et la compare au point de consigne. En cas de variation du pH, le contrôleur équipé d'une pompe doseuse injecte la quantité de produit

nécessaire pour compenser cette variation et revenir au point de consigne. Cet automatisme libère des contraintes de contrôles et de réajustement manuels.

III.2.4 Electrolyseurs

L'eau des piscines utilisant des électrolyseurs est préalablement légèrement salée (avec du chlorure de sodium à un taux de 4g/l contre 30g/l pour la mer). L'eau passe entre des plaques de titane polarisées. La polarisation s'effectue à l'aide d'un courant continu de basse tension. Une réaction électrochimique d'oxydation du sel le convertit en acide hypochloreux (composant actif de l'eau de Javel). Ce chlore actif naturel après avoir détruit les bactéries et micro-organismes de l'eau se reconvertit naturellement en sel sous l'action des UV du soleil.

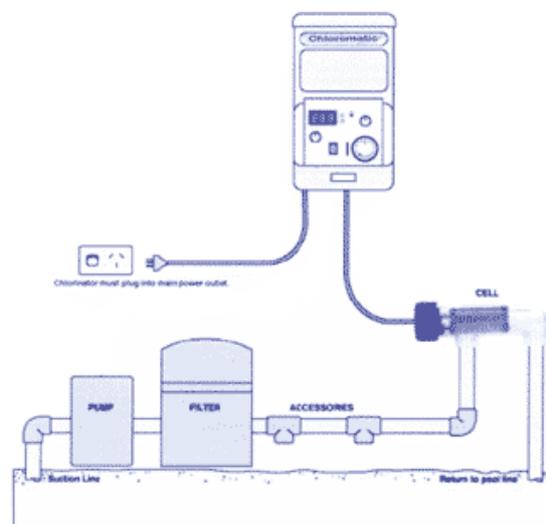


Figure 3.5 : Synoptique d'un électrolyseur

Partie IV : Répartition de la consommation

IV.1 CONSOMMATION GLOBALE DES PISCINES

Dans ce paragraphe on analyse la consommation globale des piscines (incluant tous les équipements).

On remarque, sur le graphique de la figure 4.1, que les consommations observées sont très différentes d'une piscine à l'autre. En effet elles varient dans un rapport 1 à 7 pour les piscines enterrées et 1 à 6 pour les modèles hors sol. Nous verrons dans la suite du rapport que cette grande disparité ne s'explique pas uniquement par le taux d'équipement mais aussi par la gestion de ces équipements.

La consommation moyenne sur l'échantillon est de 1860 kWh/an/piscine avec **2 120 kWh/an pour les piscines enterrées** et **382kWh/an pour les piscines hors-sol**. A l'échelle nationale (65% de piscines enterrées et 35% de hors sol), la consommation annuelle moyenne vaut **1512 kWh/an/piscine**.

La piscine la plus consommatrice est la piscine 600006 (4 700kWh/an) ; la pompe de filtration de cette piscine marche quasiment en permanence.

On remarque que la consommation des piscines hors sol (représentée en vert sur le graphique) est plus de 5 fois plus faible que la consommation des piscines enterrées. Cette faible consommation s'explique notamment par un volume moins important et moins d'accessoires.

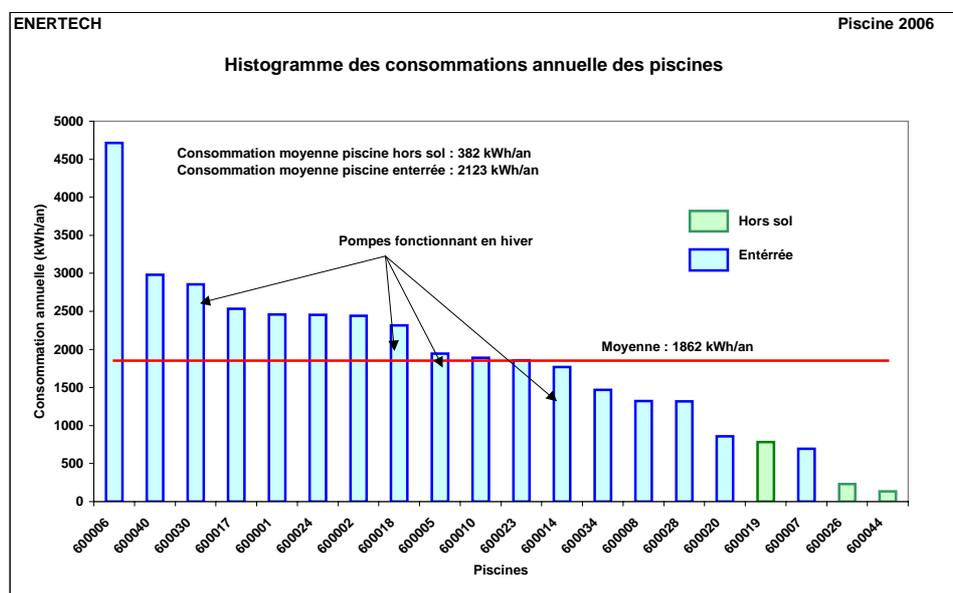


Figure 4.1 : Histogramme des consommations des piscines

IV.2 COUT ANNUEL DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE

La figure 4.2 reprend les coûts énergétiques afférents aux différents postes. Le coût moyen annuel de la consommation d'électricité des piscines hors sol s'élève à 38€TTC par an alors que celui des piscines enterrées est de 209€TTC par an.

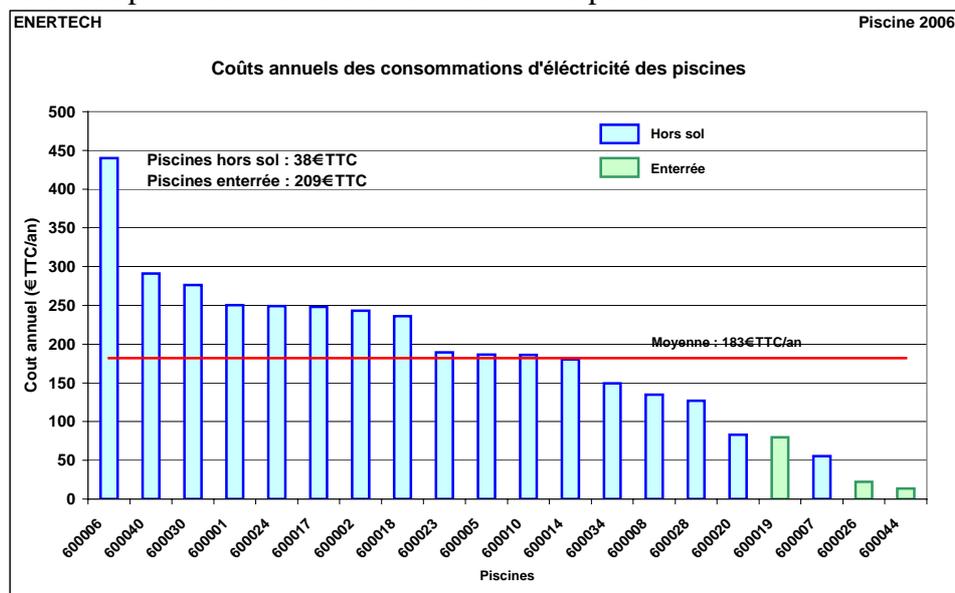


Figure 4.2 : Coûts annuels de la consommation d'électricité des piscines

IV.3 PART DES PISCINES DANS LA CONSOMMATION GENERALE DES LOGEMENTS

IV.3.1 Part de la piscine sur la période de suivi

La piscine correspond en moyenne à 45 % de la consommation totale des logements pendant la période estivale.

Répartition de la consommation

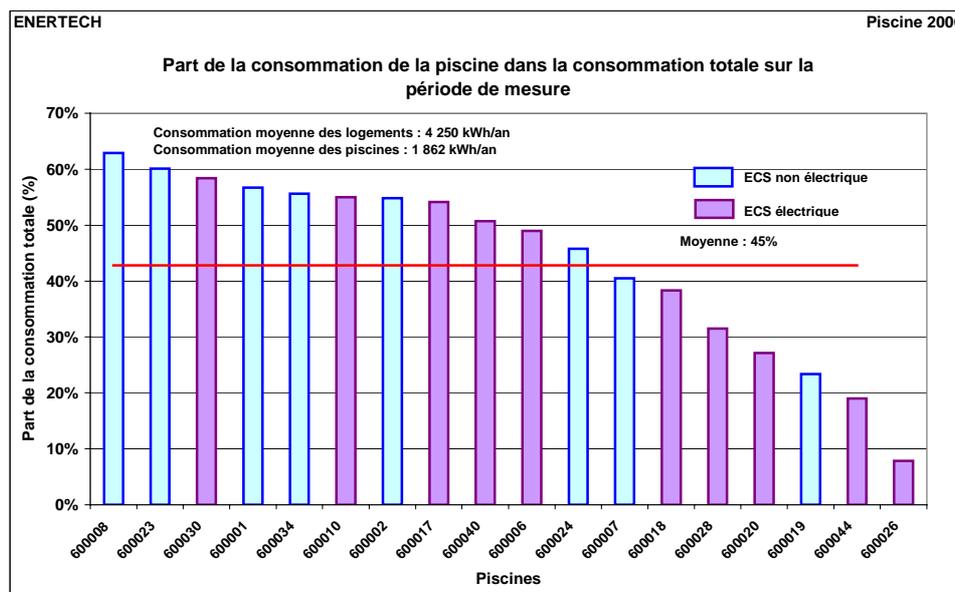


Figure 4.3 : Part de la consommation de la piscine dans la consommation totale d'électricité du logement durant la période estivale

Le pourcentage maximum est obtenu par le logement 600008 (63%). Cet important pourcentage est dû à une consommation hors piscine faible (780 kWh). La figure 4.4 représente la courbe de charge journalière de la piscine et du général de ce logement.

Le pourcentage minimum est obtenu par le logement 600026 (8%), ceci est à la fois imputable à une utilisation très faible de la pompe de filtration (seul équipement de cette piscine) mais également à une grande consommation en dehors de la piscine (2 700 kWh). Le logement 600019 possède quant à lui le deuxième plus faible pourcentage. Dans ce logement, la consommation de la piscine s'élève à 23% de la consommation totale du logement. La figure 4.4 confirme la faible part de cette piscine dans la consommation générale. L'une des explications est la puissance assez faible de la pompe de cette piscine.

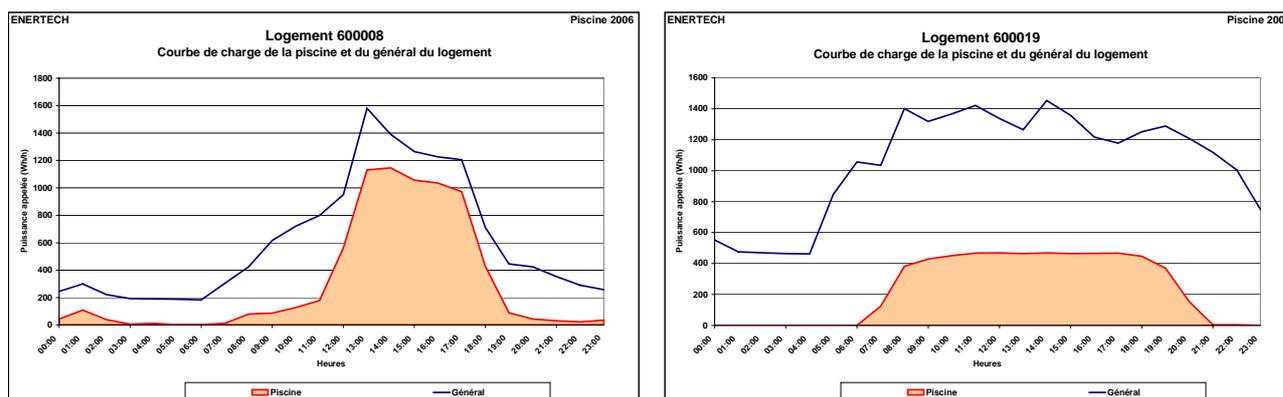


Figure 4.4 : Courbe de charge de la piscine du logement 600008 (gauche) et 600019 (droite)

La figure 4.5 représente la courbe de charge moyenne sur la période de suivi journalière moyenne des logements de l'échantillon ainsi que des divers équipements des piscines.

Répartition de la consommation

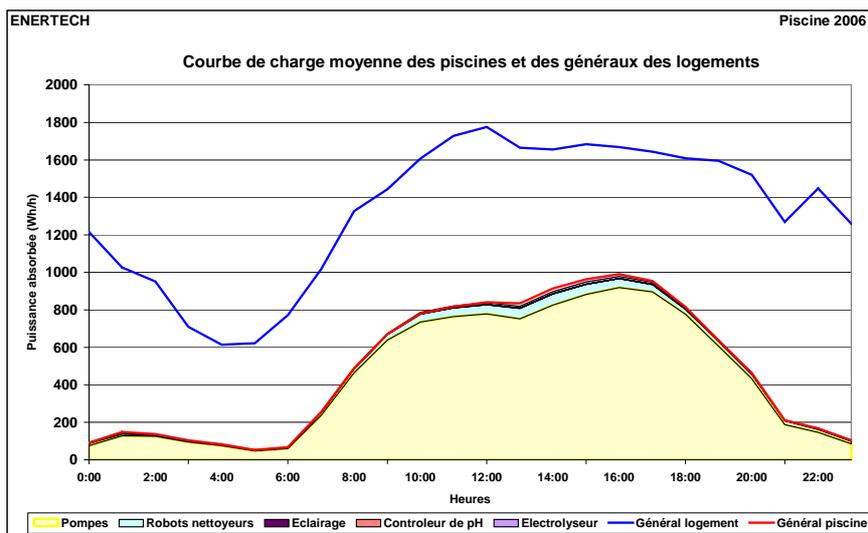


Figure 4.5 : Courbe de charge des logements et des différents usages des piscines

Les piscines représentent, durant la saison «estivale», une part non négligeable de la consommation des logements. On remarque une consommation plutôt faible et stable la nuit alors qu'en journée, elle augmente à partir de 7 heures pour atteindre un maximum à 16 heures (en moyenne, 1000W/piscine).

IV.3.2 Part de la piscine dans la consommation annuelle d'électricité

La figure 4.6 représente la part de la piscine dans la consommation annuelle d'électricité des logements. La consommation annuelle du logement 600002 est inconnue, nous ne l'avons par conséquent pas pris en compte.

Sur le graphique, on a différencié les logements utilisant l'électricité pour des usages thermiques (chauffage et eau chaude).

En moyenne sur l'ensemble des logements, la piscine représente **16% de la consommation totale** d'électricité. Pour les logements non chauffés à l'électricité la piscine représente 19% de la consommation totale. Pour les logements chauffés à l'électricité la part de la piscine est de seulement 7% de la consommation totale. Enfin, pour les logements dont l'ECS est produite par de l'électricité, la part de la piscine est de 13%.

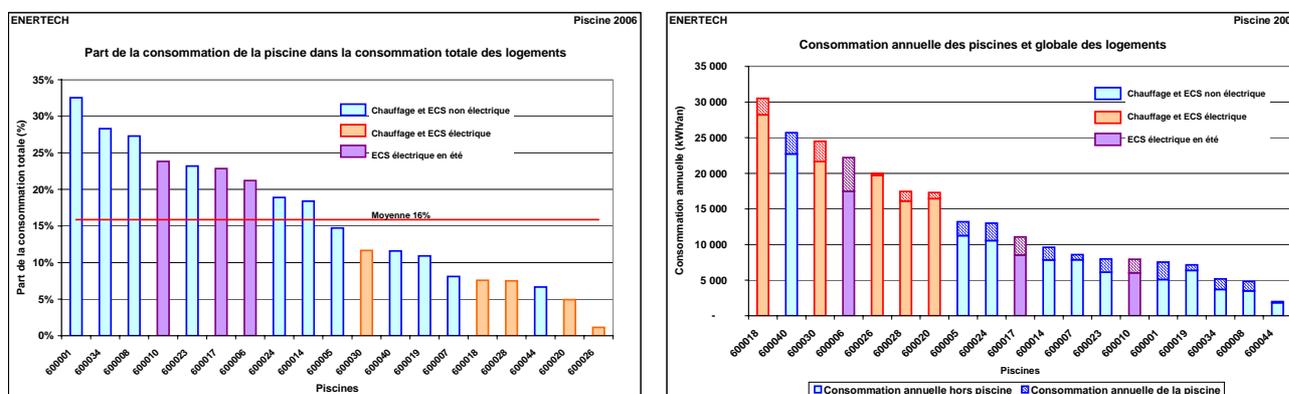


Figure 4.6 : Part de la piscine dans la consommation totale annuelle du logement

IV.4 REPARTITION DE LA CONSOMMATION ENTRE LES DIFFERENTS EQUIPEMENTS

Le graphique de la figure 4.7 reprend la répartition de la consommation des différents équipements « vue du réseau ». On remarque ainsi que les pompes de filtration représentent 89,4% de la consommation totale des piscines (1 600 kWh/an/piscine). Le second poste le plus consommateur est celui des robots nettoyeurs avec 9,5% (186 kWh/an/piscine) de la consommation des piscines. Viennent ensuite les autres usages (éclairage, nage à contre courant, régulateur de pH, ...etc) avec 1,2%.

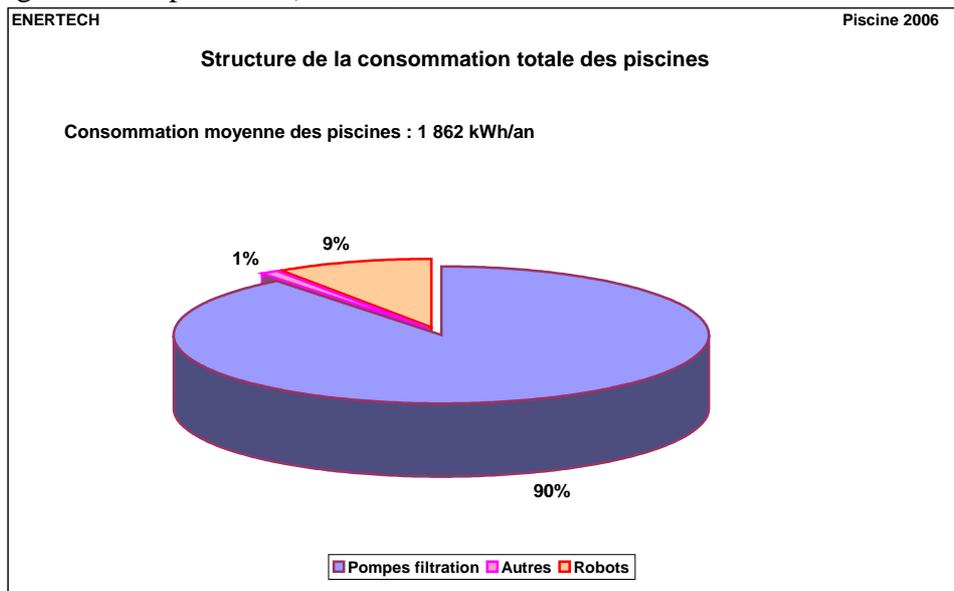


Figure 4.7 : Répartition de la consommation totale des piscines vue du réseau

Partie V : Etude des pompes de filtration

V.1 ETUDE DES PUISSANCES APPELEES

V.1.1 Puissances moyennes appelées

La figure 5.1 représente la puissance moyenne appelée par les différentes pompes suivies. La moyenne est de 960W mais la puissance varie dans un rapport 1 à 4. Les pompes des piscines enterrées sont en moyenne 2,2 fois plus puissantes que les pompes des piscines hors sol.

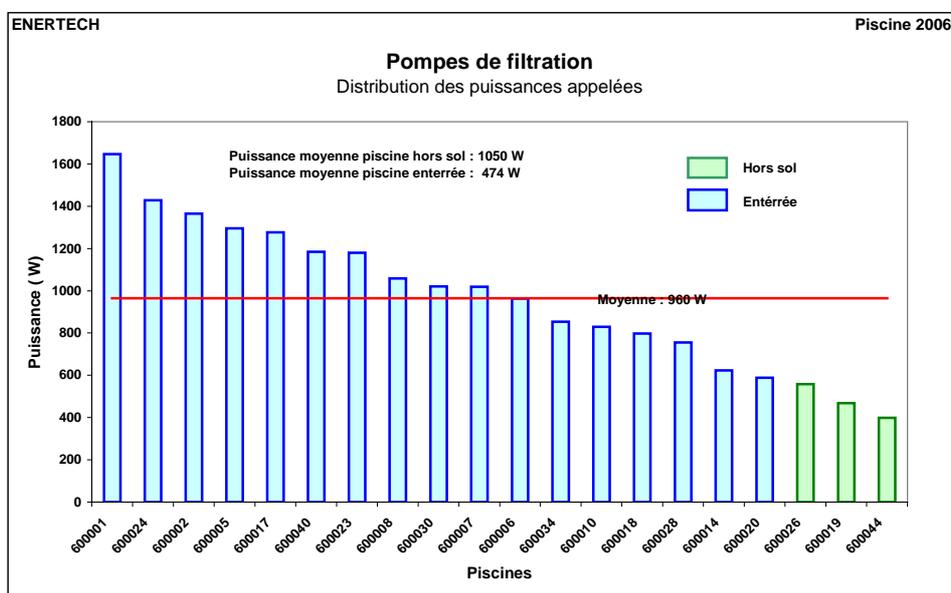


Figure 5.1 : Distribution des puissances appelées par les pompes de filtration

Ce ne sont pas les pompes les plus puissantes qui consomment le plus sur une année. La durée de fonctionnement joue un rôle majeur dans la consommation.

V.1.2 Evolution des puissances appelées

La figure 5.2 représente les puissances appelées par les pompes de filtration au cours de la période (maximum, minimum, moyenne ainsi que les écarts en Watt et les écarts en pourcentage par rapport à la puissance moyenne). On remarque de grandes différences d'une pompe à l'autre. La pompe dont le rapport des variations à la puissance moyenne est le plus important est celle de la piscine 600017 avec 54% de variation soit 684W. L'écart moyen est de 26% ou encore 250W.

Etudes des pompes de filtration

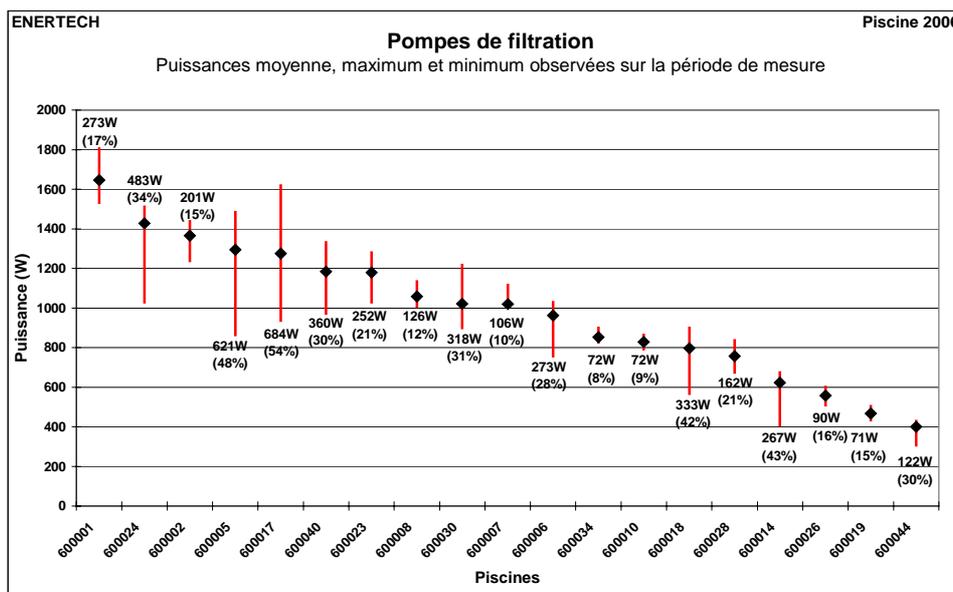


Figure 5.2 : Niveau de puissances observées pour chaque pompe

L'explication des variations de puissance observées réside dans le nettoyage des filtres. En effet, plus le filtre est encrassé plus les pertes de charges augmentent et plus le débit diminue. Dans ce cas, le point de fonctionnement de la pompe se déplace et celle-ci absorbe une puissance électrique plus faible, bien que son rendement se dégrade.

Si les utilisateurs nettoient régulièrement le filtre de la piscine, la puissance reste stable à une valeur proche de la puissance nominale de la pompe. Si le filtre n'est pas entretenu régulièrement, la puissance peut diminuer fortement.

La figure 5.3 représente l'évolution de la puissance absorbée par une des pompes de l'échantillon. On remarque plusieurs chutes de la puissance (le 24/07, 10/08 et 03/09), suivies très rapidement par une remontée à la puissance nominale.

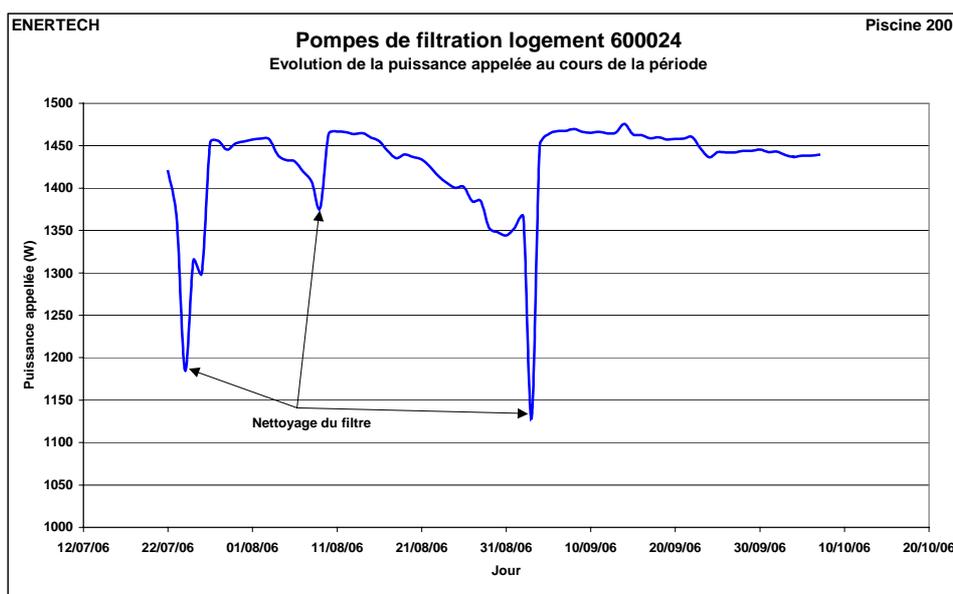


Figure 5.3 : Evolution de la puissance appelée par la pompe de filtration de la piscine 600024

V.2 DUREE ET TAUX DE FONCTIONNEMENT

V.2.1 Durée de fonctionnement

Comme le montre le graphique de la figure 5.4, on observe des durées de fonctionnement très variables d'une piscine à l'autre. La durée moyenne se situe à 10,6 heures/jour (11,2 heures/jour pour les piscines enterrées contre 7,5 pour les piscines hors sol). Les durées maximales (près de 18 heures/jour) et minimale (moins de 4 heures par jour) concordent avec les consommations maximales (piscine 600006) et minimale (piscine 600044) mesurées.

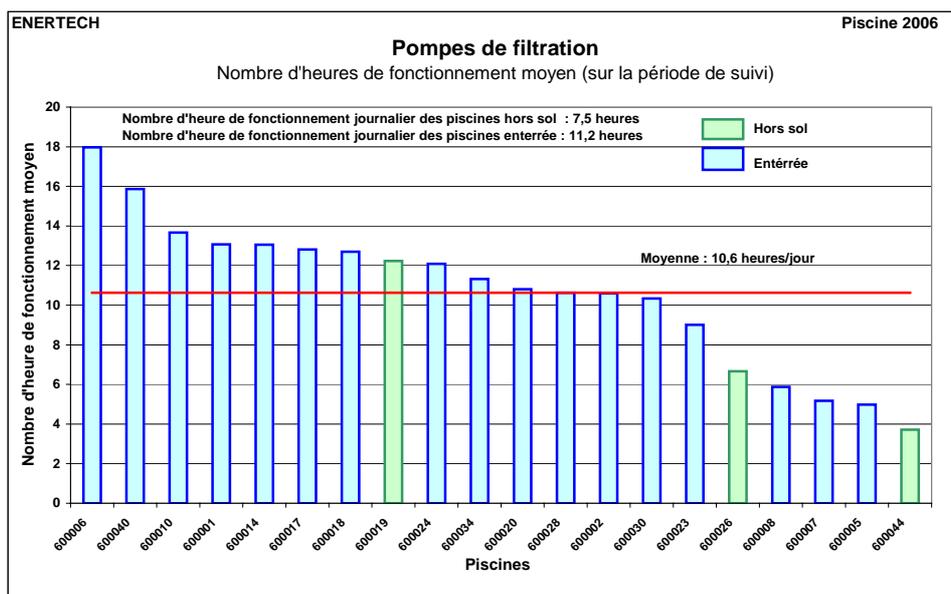


Figure 5.4 : Nombre d'heures de fonctionnement des pompes de filtration

La figure 5.5 reprend l'évolution des durées quotidiennes de marche au cours de l'été 2006 pour la moyenne des pompes et les pompes ayant la consommation la plus faible (600044) et la plus élevée (600006). On remarque un maximum se situant la semaine 30 pour la moyenne des piscines (ainsi que pour la piscine 600006), semaine la plus chaude de la période de suivi. Cette courbe montre que les usagers font varier la durée de fonctionnement de la pompe au cours de la saison.

Etudes des pompes de filtration

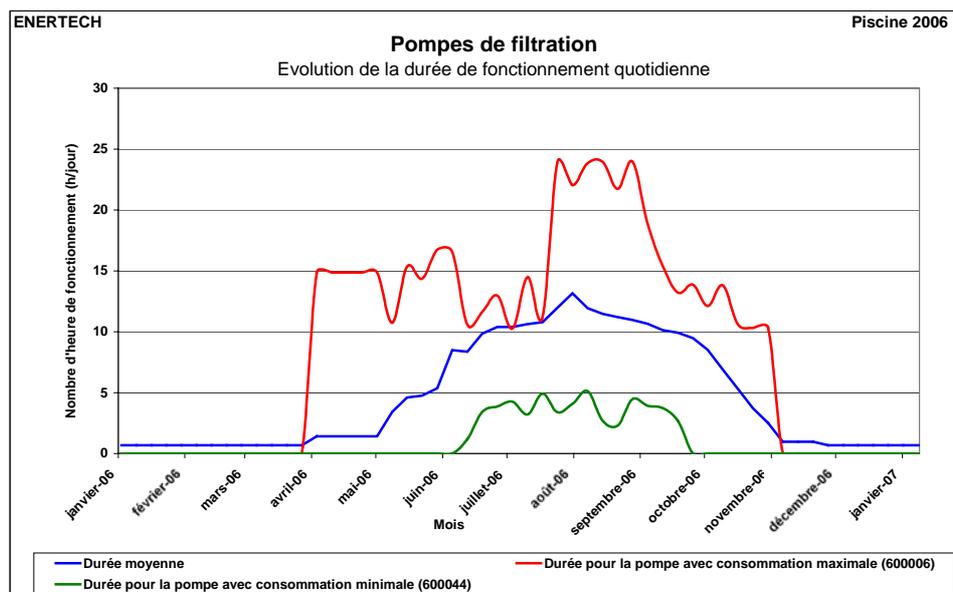


Figure 5.5 : Evolution de la durée de fonctionnement quotidienne

Le graphique 5.6 représente la courbe de charge quotidienne moyenne des pompes sur la période de mesure pour l'ensemble des piscines et pour les piscines ayant la plus grande et la plus faible consommation (respectivement piscine 600006 et piscine 600044). On observe que les pompes fonctionnent essentiellement pendant la journée.

La figure 5.7 représente quant à elle la courbe de charge quotidienne moyenne des pompes sur la période de mesure en distinguant le type d'abonnement : simple tarif (8 logements) et double tarif (12 logements). Ces courbes ont été tracées dans le but de savoir si les souscripteurs des abonnements double tarif utilisent avantageusement l'option. Or, on ne remarque pas de grande différence entre les deux profils. Le fait d'avoir un abonnement double tarif ne semble donc pas modifier les périodes d'utilisation des pompes de filtration.

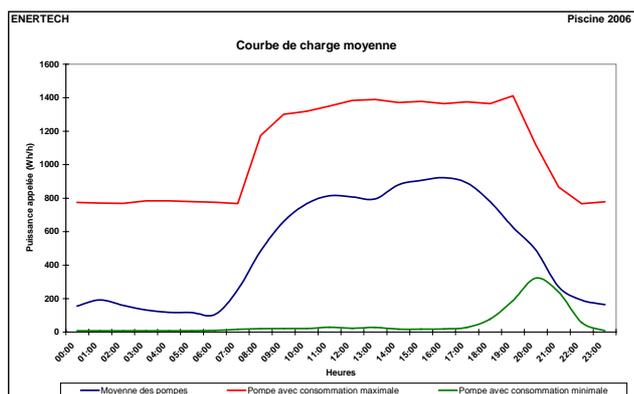


Figure 5.6 : Courbe de charge horaire

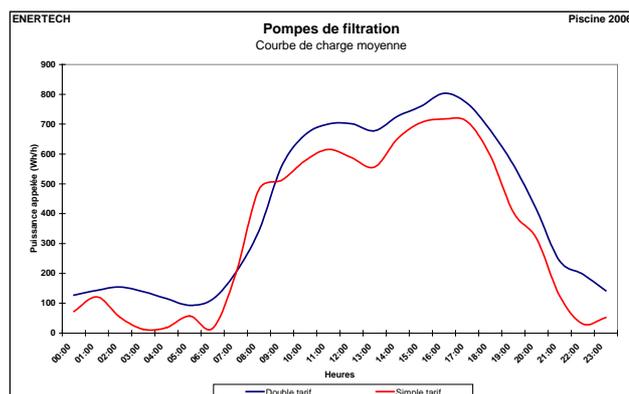


Figure 5.7 : Courbe de charge horaire avec distinction des abonnements

V.2.2 Taux de fonctionnement du parc de pompes

Le taux de fonctionnement du parc de pompes est le rapport, à une heure donnée du nombre de pompes en fonctionnement au nombre total de pompes du parc.

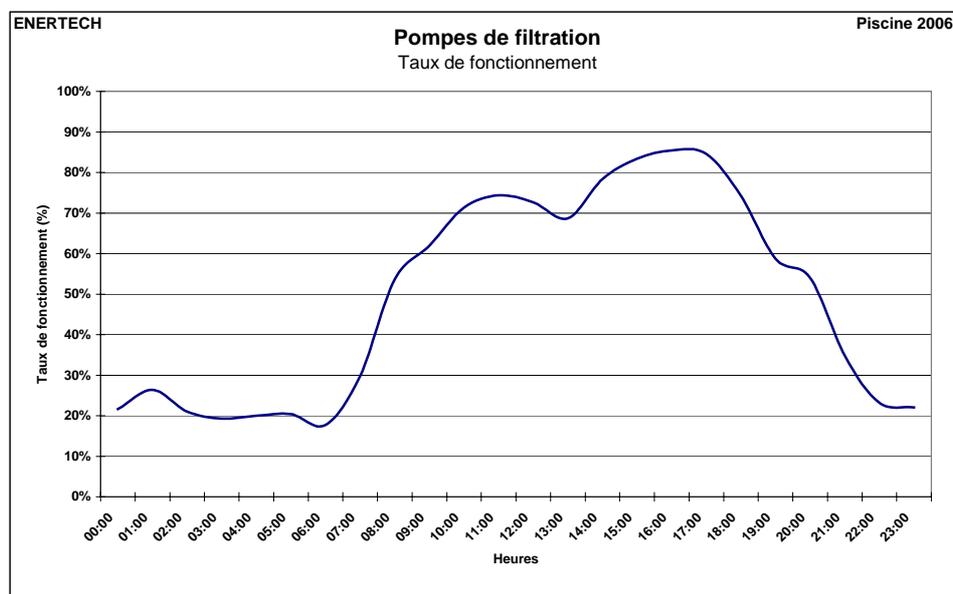


Figure 5.8 : Taux de fonctionnement des pompes de filtration

On remarque sur la figure 5.8 que, près de 90% des pompes fonctionnent entre 15 et 17 heures. Le taux de fonctionnement le plus faible est observé pendant la nuit (seulement 20% des pompes marchent entre 22h et 6h).

V.2.3 Analyse des paramètres influant sur la durée de fonctionnement

Nous avons essayé de corréler les durées de fonctionnement à différents paramètres afin d'expliquer les différences importantes observées.

V.2.3.1 Durée de marche en fonction de la température extérieure

Le graphique de la figure 5.9 donne la durée de marche de la pompe en fonction de la température extérieure (arrondie au degré près) pour :

- l'ensemble des piscines
- les piscines enterrées
- les piscines hors sol

On voit qu'il existe bien une corrélation entre ces deux paramètres et ce plus particulièrement pour les piscines enterrées.

Notons cependant que la variation de durée de fonctionnement n'est que de 3 heures lorsque la température double (environ 10 heures à 16°C et 13 heures à 32°C).

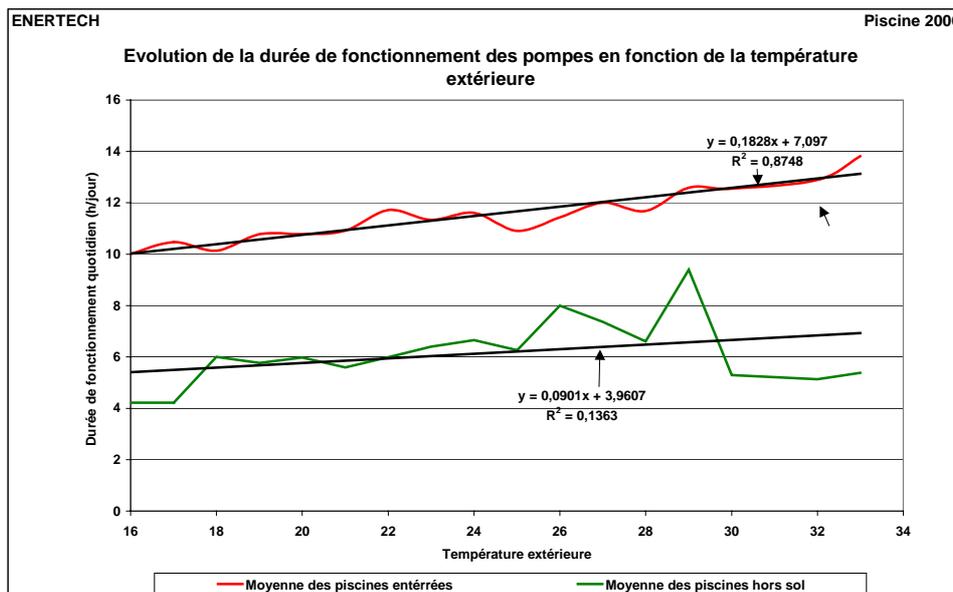


Figure 5.9 : Evolution de la durée de fonctionnement des pompes en fonction de la température extérieure

V.2.3.2 Durée de marche en fonction des jours de la semaine

On corrèle ensuite la durée de fonctionnement des pompes avec le jour de la semaine afin de prendre en compte le paramètre « utilisation ». On se rend ainsi compte que la durée de fonctionnement des pompes des piscines hors sol double le week-end alors qu'il n'y a pas de variation notable pour les piscines enterrées.

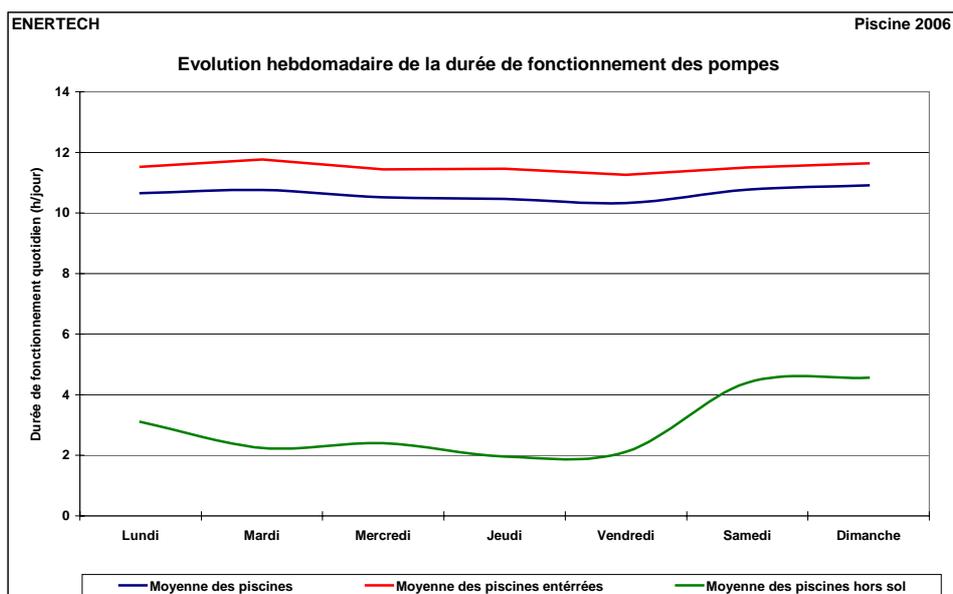


Figure 5.10 : Evolution hebdomadaire des durées de fonctionnement des pompes

Avec la corrélation en fonction de la température et celle en fonction du jour de la semaine, on se rend compte que l'évolution des durées de fonctionnement des pompes des piscines dépend principalement pour notre échantillon de :

- La température extérieure pour les piscines enterrées
- L'utilisation pour les piscines hors sol

V.2.4 Etude des différents modes de programmation

A l'exception de la piscine 600026, la commande des pompes de filtration est réalisée par une horloge quotidienne. Nous avons relevé plusieurs type de fonctionnement :

- Cas n°1 : la pompe est enclenchée plus de deux fois par jour, c'est le cas par exemple de la piscine 600014 pour laquelle il existe 7 créneaux horaires par jour s'étalant de 1 à 4 heures.
- Cas n°2 : il n'y a pas d'horloge (piscine 600026), le fonctionnement est donc géré par les usagers eux-mêmes.
- Cas n°3 : Ce cas représente 18 piscines sur 20, la pompe de filtration est commandée par une horloge et fonctionne durant une ou deux périodes par jour pendant de longues heures. La durée de fonctionnement est modifiée plusieurs fois au cours de la saison par les usagers.

La figure 5.11 représente la puissance appelée pour chacun des trois modes de fonctionnement du 11/07/2006 à 00h00 au 12/07/2006 à 23h50.

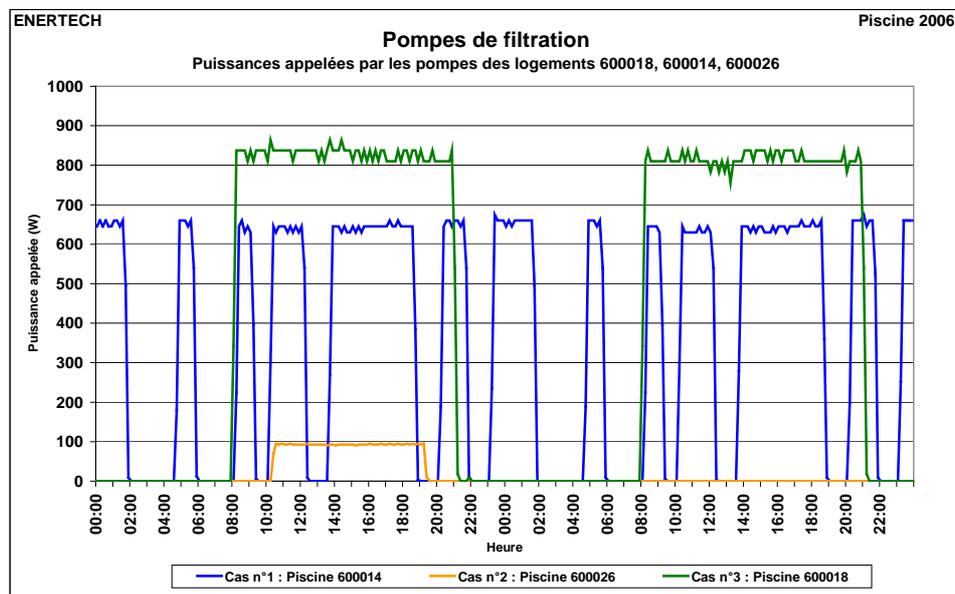


Figure 5.11 : Evolution des puissances appelées de trois pompes de filtration pendant deux jours

On voit que les pompes 600014 et 600018 fonctionnent selon des créneaux horaires bien programmés, identique d'un jour à l'autre, et répondent probablement à des besoins spécifiques et un usage définis par l'utilisateur.

Quant à la pompe 600026, elle est commandée directement par l'utilisateur en fonction de ses besoins.

V.3 CONSOMMATION DES POMPES

Les pompes de filtration représentent en moyenne 90% de la consommation des piscines. Le graphique de la figure 5.12 présente l'histogramme de leur consommation. La moyenne sur l'échantillon s'établit à 1 640 kWh/an (161€TTC/an) avec un maximum pour la piscine 600006 (3168kWh/an soit 291€TTC/an) et un minimum pour la piscine 600044 (133 kWh/an, 13€TTC/an).

On remarque que les pompes des piscines hors sol ont une plus faible consommation, 382kWh/an soit 38€ contre 1862kWh/an soit 183€ pour les piscines enterrées. La pompe de filtration est de plus, dans notre échantillon, le seul équipement de ce type de piscine. A l'échelle nationale (65% de piscines enterrées et 35% de hors sol), la consommation annuelle moyenne vaut **1344 kWh/an/pompe**.

Il faut rapprocher ces consommations de la valeur moyenne de consommation d'électricité spécifique dans les maisons individuelles : 3120 kWh/an (en 2005). On réalise alors l'augmentation de consommation considérable qui représente la présence d'une piscine dans un logement.

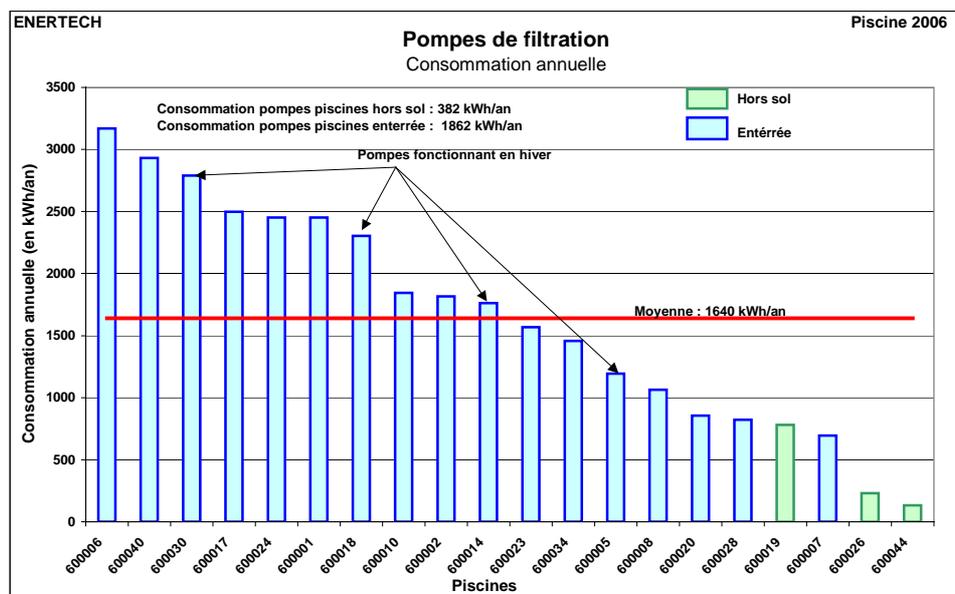


Figure 5.12 : Histogramme des consommations annuelles des pompes de piscine

Afin d'essayer d'expliquer les différences de consommation observées, il est intéressant de ramener la consommation des piscines à leur volume. La consommation moyenne est de 25 kWh/an/m³. Pour un même volume la consommation peut être très différente. Par exemple, pour un volume d'environ 100m³, les consommations observées vont de 1194 à 3168 kWh/an, soit un rapport de 1 à 2,6. Il n'y a donc aucune corrélation immédiate entre volume et consommation.

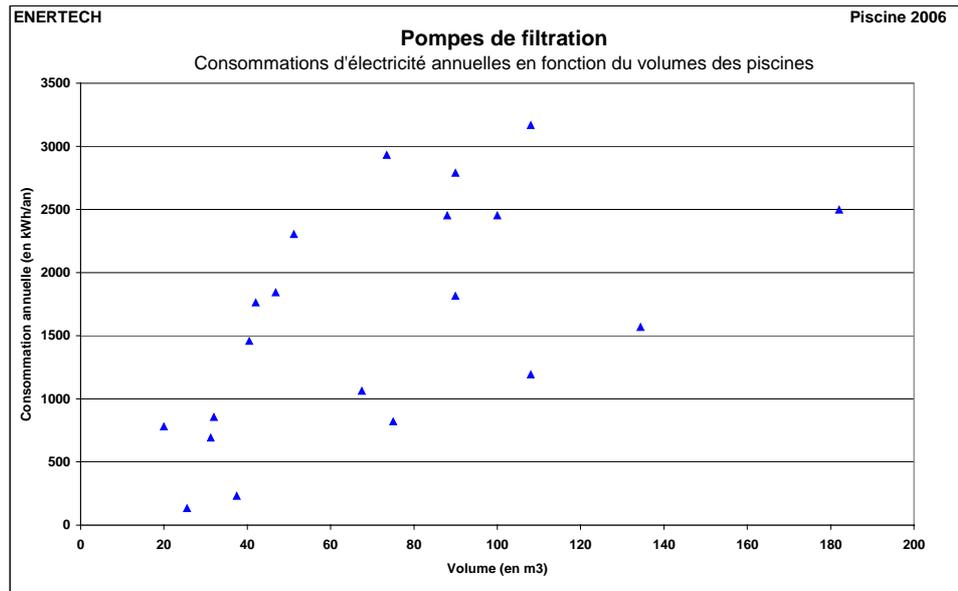


Figure 5.13 : Consommations annuelles des pompes des piscines en fonction de leurs volumes

Partie VI : Etude des robots nettoyeurs

Comme indiqué dans le chapitre III.2.2, il existe trois types de robots nettoyeurs (aspiration, pression, autonome). Lors de la campagne de mesure nous avons uniquement suivi des robots à pression (6) et des robots autonomes (2). L'autre type de robot (aspiration) ne possède pas de consommation électrique propre car il se connecte sur une prise balai mise en dépression par la pompe de filtration.

VI.1 ETUDE DES PUISSANCES APPELEES

La figure 6.1 représente les puissances appelées par les différents robots nettoyeurs. On remarque une nette différence entre les robots à pression et les robots autonomes, la puissance de ces derniers est en effet 8 fois moins importante. Si les robots autonomes consomment moins, ce n'est pas au détriment de leur efficacité mais parce que ceux ci sont directement mus par un moteur électrique, il n'y a donc pas de pertes dans le surpresseur et les canalisations comme pour les robots « à pression ».

Quatre robots à pression possèdent le même niveau de puissance (en moyenne 710W) Durant nos recherches nous avons en effet remarqué que les installateurs préconisaient généralement une puissance de 1CV (soit 735W) pour un bon fonctionnement des robots. Nous avons également observé des robots plus puissants que la moyenne dans deux piscines.

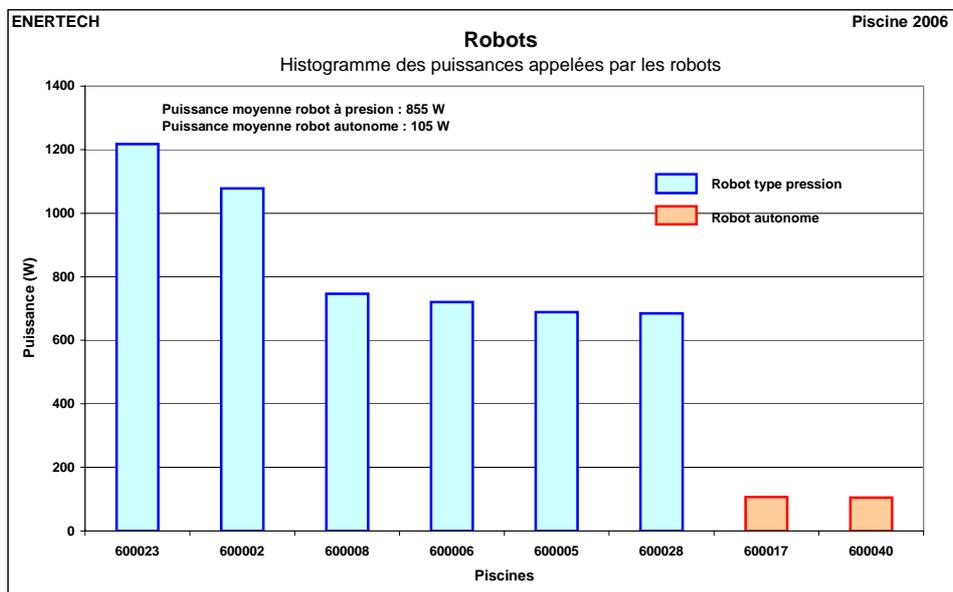


Figure 6.1 : Puissances appelées par les robots

VI.2 DUREE DE FONCTIONNEMENT ET COURBE DE CHARGE

VI.2.1 Durée de fonctionnement

La figure 6.2 représente les durées de fonctionnement des robots observées sur la période. La durée moyenne de fonctionnement quotidien des robots toutes technologies confondues est de 5,4 heures. La durée moyenne de fonctionnement des robots autonomes est légèrement plus faible (4,5 heures) que celle des robots à pression (5,7 heures).

Les robots fonctionnent environ deux fois moins longtemps que les pompes de filtration. Là encore des écarts importants existent d'une piscine à l'autre.

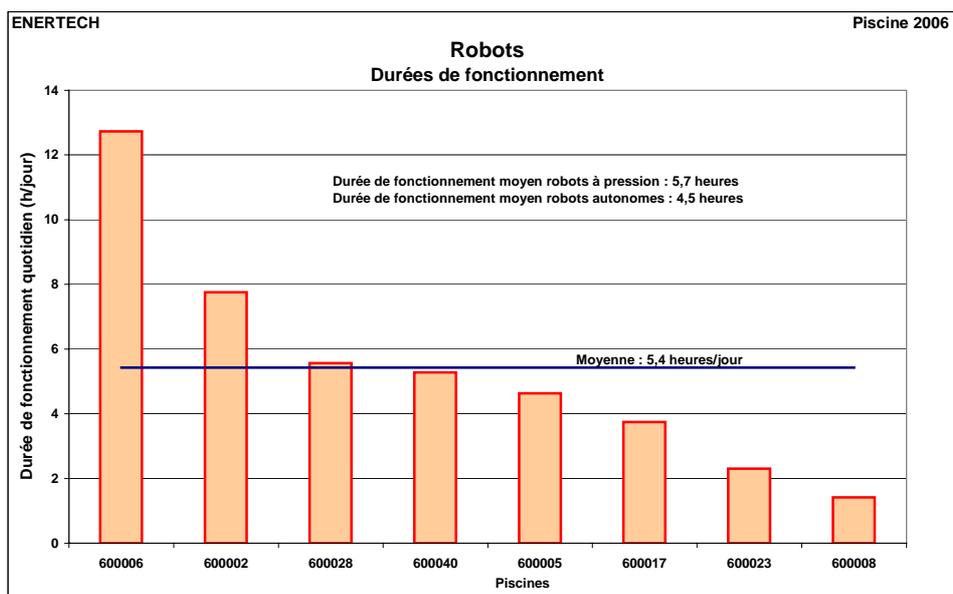


Figure 6.2 : Histogramme des durées de fonctionnement des robots

VI.2.2 Courbe de charge moyenne des robots nettoyeurs

Sur le graphique de la figure 6.3 on a fait figurer la courbe de charge journalière des robots et celle des pompes de filtration. On voit que les deux équipements fonctionnent dans les mêmes créneaux horaires.

La figure 6.4 quant à elle représente le taux de fonctionnement horaire des pompes de filtration et des robots. En moyenne sur la journée, le taux de fonctionnement des robots est de 19%, soit bien moins que celui des pompes (40%).

Etude des robots nettoyeurs

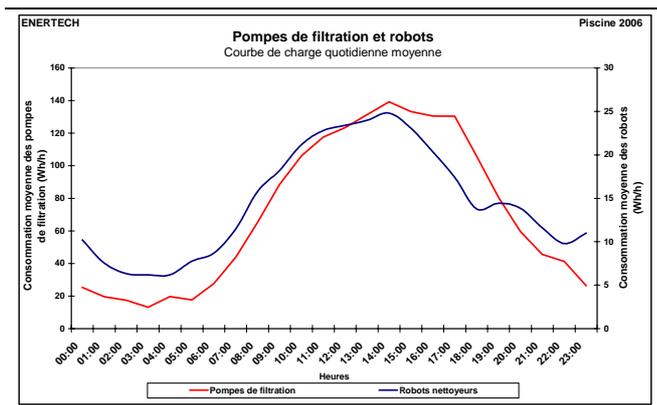


Figure 6.3 : Courbe de charge moyenne des pompes de filtration et des robots

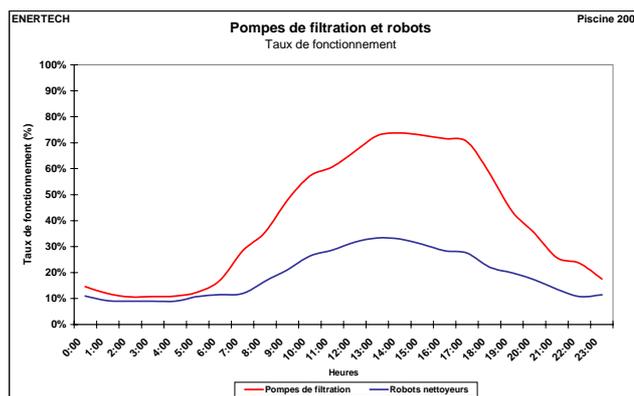


Figure 6.4 : Taux de fonctionnement des robots

VI.3 CONSOMMATIONS DES ROBOTS NETTOYEURS

La consommation des robots atteint plus de 18% de la consommation des piscines qui en sont équipées. La consommation moyenne est de 436kWh/an soit un coût de 43€TTC/an (569kWh/an pour les robots « à pression » contre 34kWh/an pour les robots autonomes).

Sur la figure 6.5, on observe une très nette différence de consommation entre les robots autonomes et les robots à pression. Les robots autonomes consomment environ 16 fois moins d'énergie que les autres robots. C'est essentiellement la faible puissance de ces appareils qui explique la différence de consommation. De plus les robots autonomes possèdent un programmeur interne permettant de commander leurs allumages et extinctions.

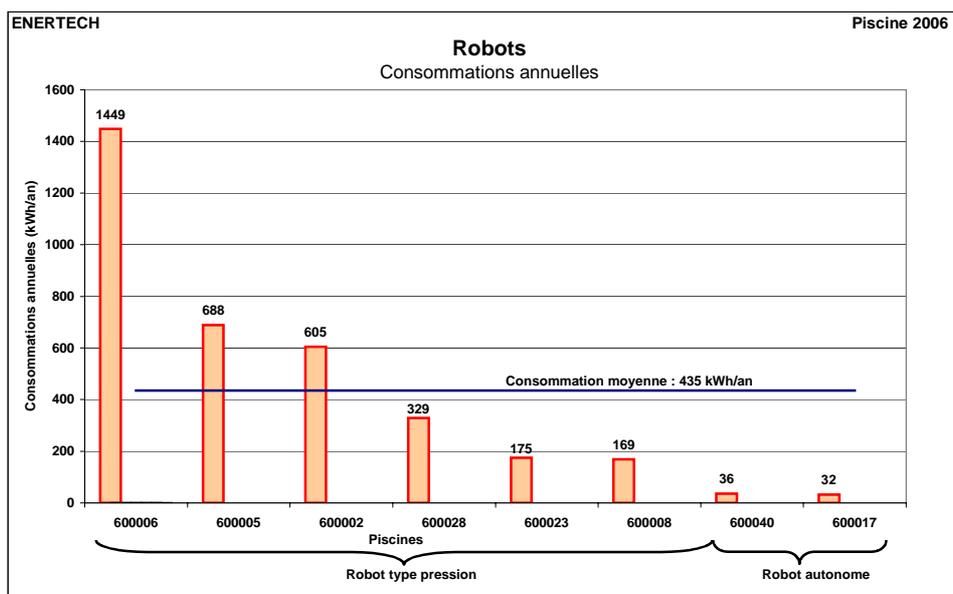


Figure 6.5 : Histogramme des consommations des robots nettoyeurs

Partie VII : Etude des autres postes de consommations

VII.1 ECLAIRAGE

VII.1.1 Etude des puissances d'éclairage installées

Au total, seules 14 piscines possèdent un éclairage sous-marin du bassin. La figure 7.1 reprend les puissances appelées par les différents circuits d'éclairage des piscines. La puissance moyenne installée est de 390W (11 piscines prises en compte). Cependant, il existe de grandes disparités entre les piscines, principalement parce que le nombre de points lumineux varie beaucoup. De plus, certaines piscines possèdent, outre des spots encastrés dans le bassin, d'autres points d'éclairage (allée menant à la piscine, etc....) sur le même circuit.

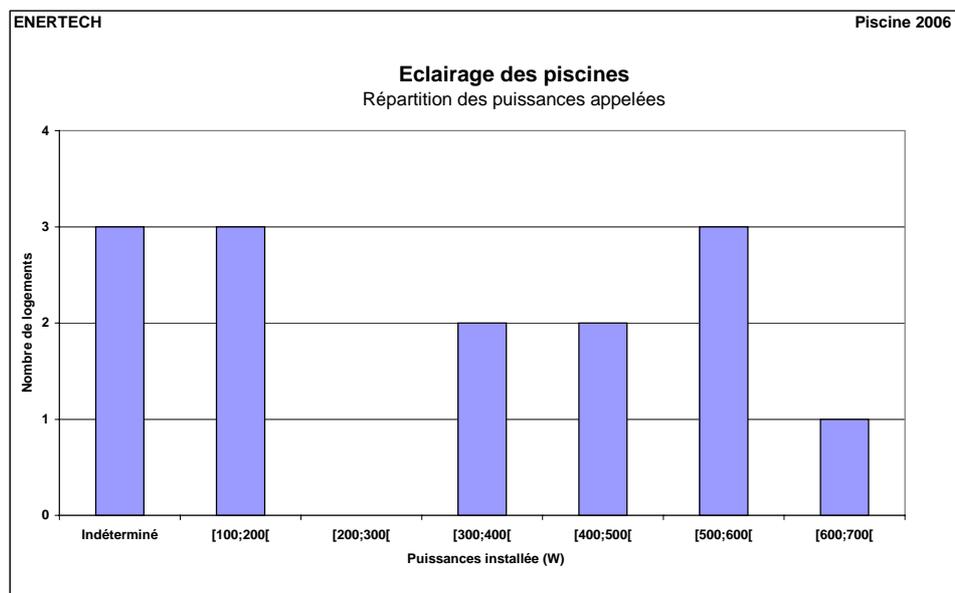


Figure 7.1 : Répartition des puissances appelées par les circuits d'éclairage

VII.1.2 Durées de fonctionnement

La figure 7.2 représente les durées de fonctionnement observées sur les 14 piscines. La moyenne s'établit à 5,3 heures de fonctionnement par an. Sur cet échantillon, deux éclairages de piscine n'ont pas fonctionné du tout. Pour trois autres, on observe des durées inférieures à une heure.

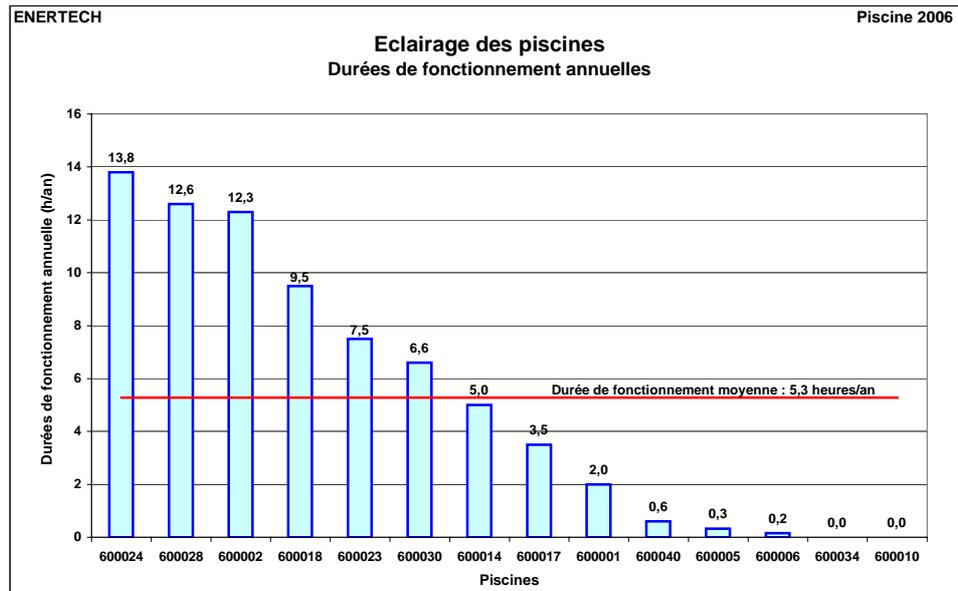


Figure 7.2 : Histogramme des durées de fonctionnement des circuits d'éclairage

VII.1.3 Consommations d'éclairage

La consommation moyenne d'éclairage est de 5,2 kWh/an soit 0,62€ TTC/an. Cette consommation est faible, elle reflète une durée de fonctionnement très courte des éclairages.

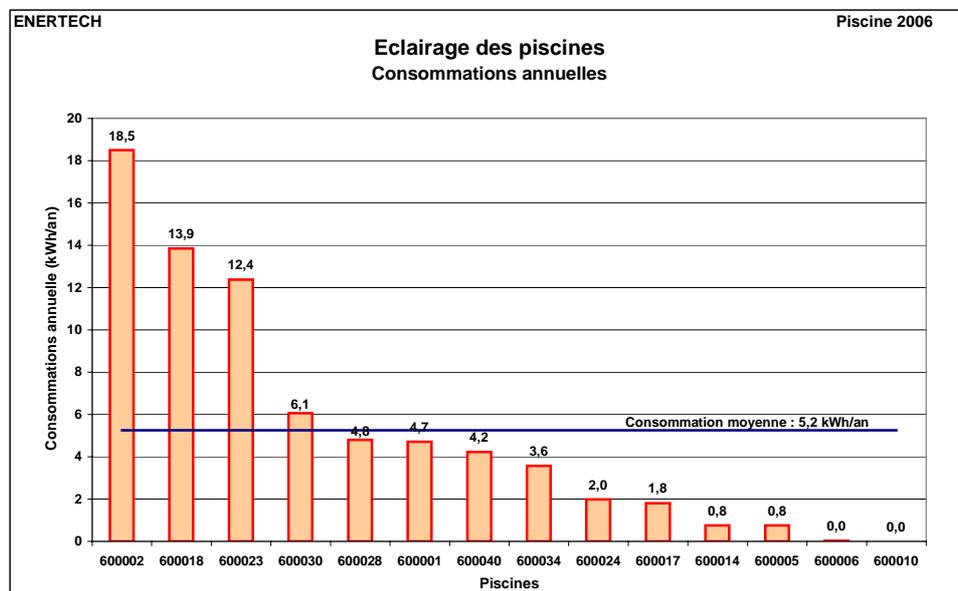


Figure 7.3 : Histogramme des consommations annuelles des circuits d'éclairage

La figure 7.4 représente la part de la consommation de l'éclairage en séparant la consommation de veille de celle de marche. 35% des circuits d'éclairage possèdent une veille.

On remarque une grande différence en terme de répartition des consommations. Ainsi, si toutes les piscines avaient la même consommation à l'arrêt que la piscine 600002, la consommation moyenne passerait de 5kWh/an à 9kWh/an. La différence entre les consommations à l'arrêt s'explique par une différence de conception électrique (commande effectuée au secondaire, contacteur). La puissance de veille moyenne est de 0,73W, le maximum est de 2,4W pour la piscine 600002.

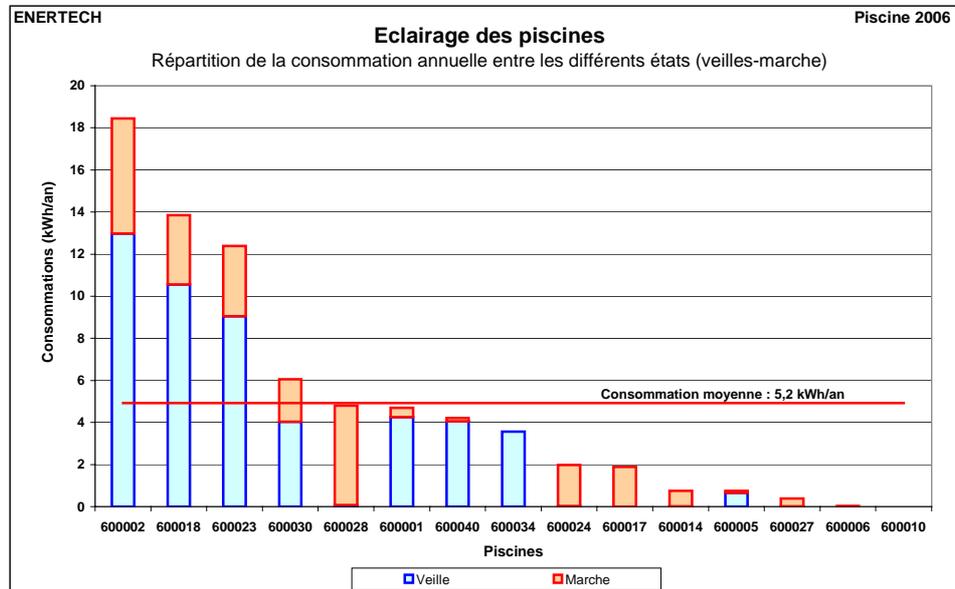


Figure 7.4 : Répartition de la consommation des circuits d'éclairage

VII.2 ELECTROLYSEURS

Deux électrolyseurs ont été suivis. La consommation moyenne est de 127 kWh/an soit 12,5€TTC/an (99kWh/an pour la piscine 600023 et 156kWh/an pour la piscine 600026).

Sachant que le système d'électrolyse est disposé sur la conduite en sortie de filtre à sable, il est normal que le fonctionnement des électrolyseurs soit le même que celui des pompes. Leurs durées moyennes de fonctionnement sont égales à celles des pompes de filtration soit 8,5 heures/jour pour la piscine 600023 et 10,0 heures/jour pour la piscine 600028. On observe, lorsque les pompes de filtration sont en marche, deux fonctionnements différents :

- L'électrolyseur de la piscine 600023 (cf. figure 7.5) opère par cycles : durant 55 minutes la puissance absorbée est de 93W puis la puissance passe à 0W pendant 5 minutes.
- Le second appareil, lorsqu'il fonctionne, appelle une puissance quasi constante (environ 160W, cf. figure 7.5).

Il n'existe pas de puissance de veille car l'alimentation de ces appareils est relayée par le même contacteur que celui des pompes.

Etude des autres postes de consommations

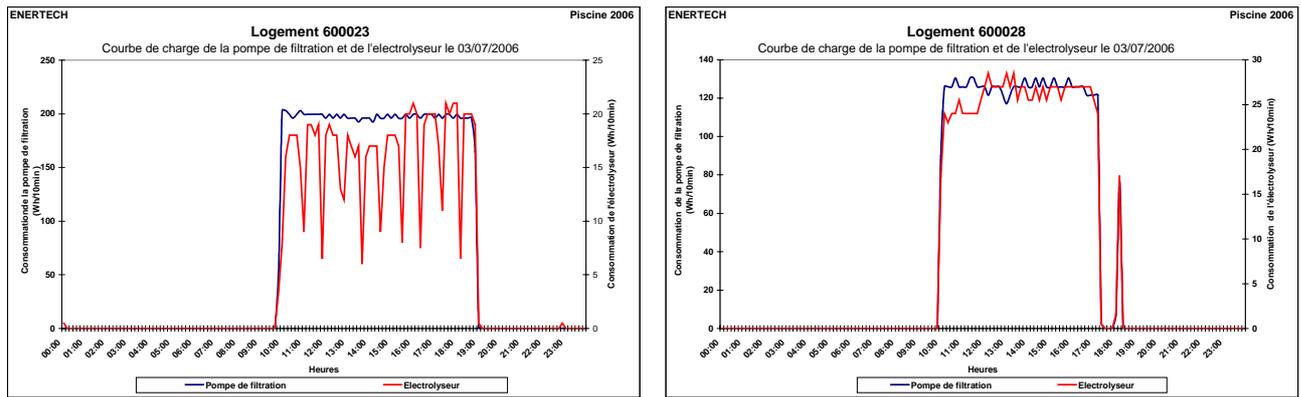


Figure 7.5 : Courbe de charge des pompes de filtration et des électrolyseurs des piscines 600023 et 600028 (respectivement gauche et droite)

La figure 7.6 représente la consommation journalière des électrolyseurs en fonction de la température extérieure. Dans un cas (piscine 600023), on voit que la consommation augmente avec la température. Ceci est probablement dû à l'augmentation de la durée de fonctionnement des pompes de filtration.

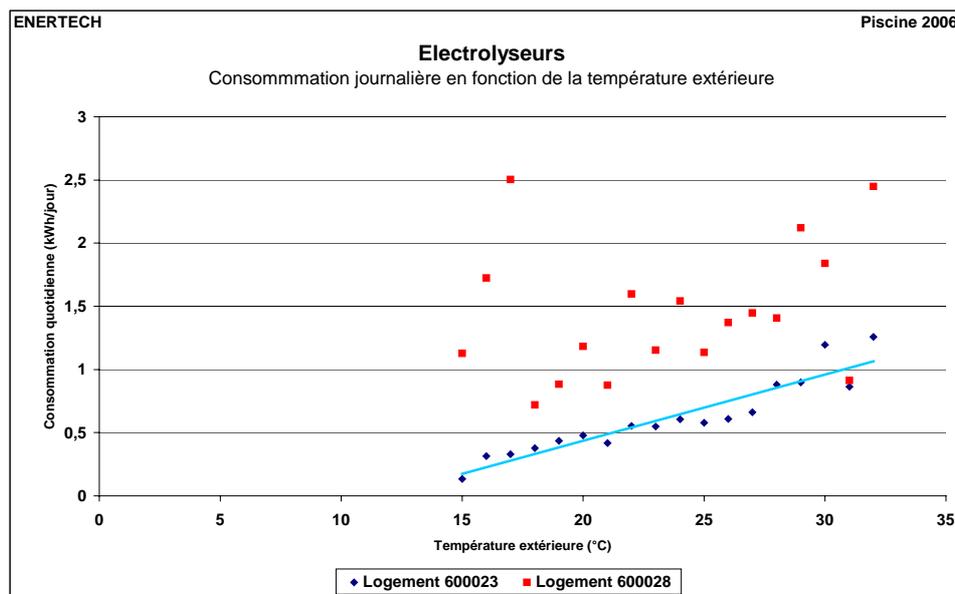


Figure 7.6 : Consommation journalière des électrolyseurs en fonction de la température extérieure

VII.3 REGULATEURS DE PH

Une seule piscine est équipée d'un régulateur de pH. Cet appareil consomme environ 5kWh/an (0,5€ TTC/an). La puissance moyenne appelée est de 6,2W avec environ 7 pics d'une puissance supérieure à 20W sur l'ensemble de la période de suivi.

Il est étonnant que le contrôleur de pH marche lorsque la pompe de filtration n'est pas en fonctionnement (cf. figure 7.7). En effet, on ne voit alors pas comment les produits chimiques peuvent être injectés dans la piscine. Il semble que le fonctionnement de ce régulateur soit commandé manuellement.

Etude des autres postes de consommations

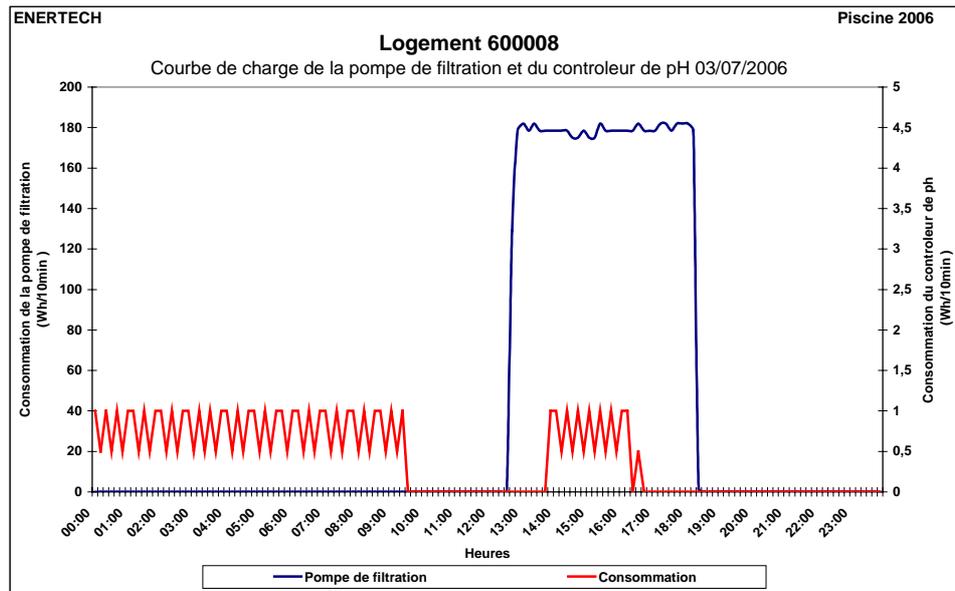


Figure 7.7 : Courbe de charge du contrôleur de pH de la piscine 600008 le 03/07/2006

La figure 7.8 montre qu'il existe une corrélation entre la température extérieure et la consommation de l'appareil. La corrélation n'est pas parfaite, mais il semble que la consommation diminue avec l'augmentation de la température extérieure. Ce comportement va à l'inverse de ce qui a été observé pour les autres postes de consommation de la piscine.

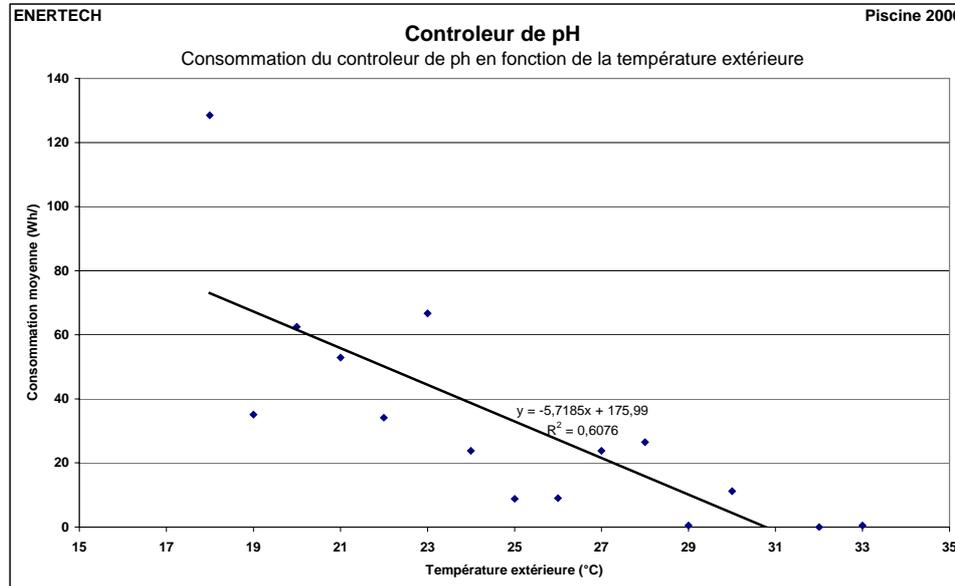


Figure 7.8 : Consommation du régulateur de pH en fonction de la température extérieure

VII.4 COUVERTURE ELECTRIQUE

Une seule piscine (piscine 600040) était équipée d'une couverture électrique. La consommation annuelle de ce poste est de 10,3kWh/an (0,9€ TTC/an) soit 0,3% de la consommation totale de la piscine. 93% de la consommation est absorbée en veille (3W).

Le fonctionnement de la couverture automatique n'est pas géré par horloge, elle est toutefois manœuvrée quasiment tous les jours. La figure 7.9 représente le nombre d'allumages de la couverture en fonction de l'heure de la journée. Il n'existe pas de règle quant au fonctionnement de la couverture. On remarque simplement un nombre plus important de fonctionnements à 9 heures et 20-21heures qui pourrait respectivement représenter l'ouverture et la fermeture de la couverture.

Il faut rappeler que l'usage de la couverture devrait être généralisé. En effet, la présence d'une couverture permet de réduire considérablement les consommations d'eau (évaporation) et d'énergie (en s'évaporant le bassin se refroidit).

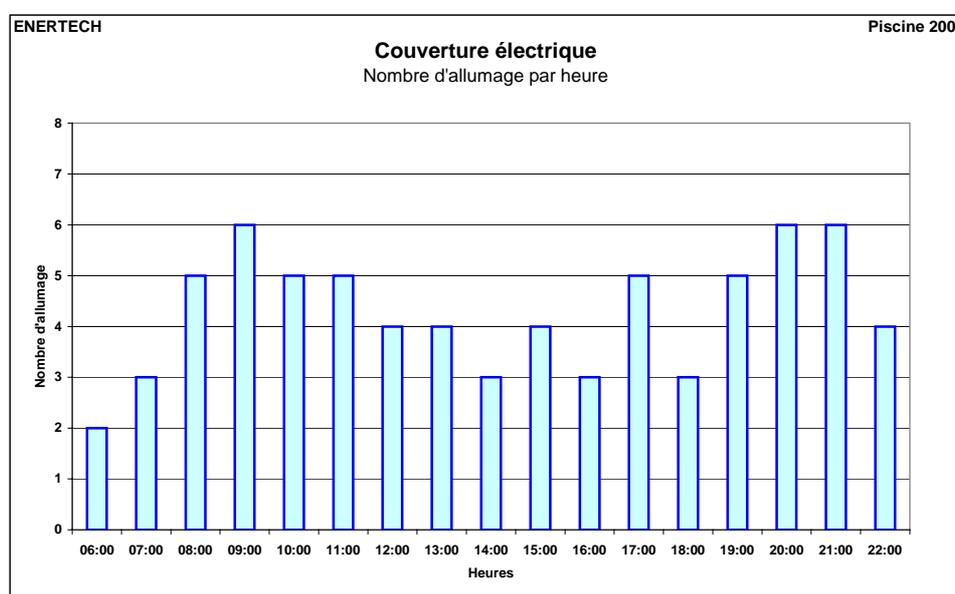


Figure 7.9 : Répartition horaire des allumages de la couverture électrique

VII.5 NAGE A CONTRE COURANT

La nage à contre courant est exécutée par une pompe qui pompe l'eau de la piscine, l'accélère afin de créer un courant suffisant à la nage à contre courant. La pompe utilisée dans ce but (piscine 600005) est une pompe de puissance 2,8kW.

La consommation annuelle de cet usage est de 59 kWh/an (6€ TTC/an) soit 3% de la consommation de la piscine (cf. figure 7.10).

Etude des autres postes de consommations

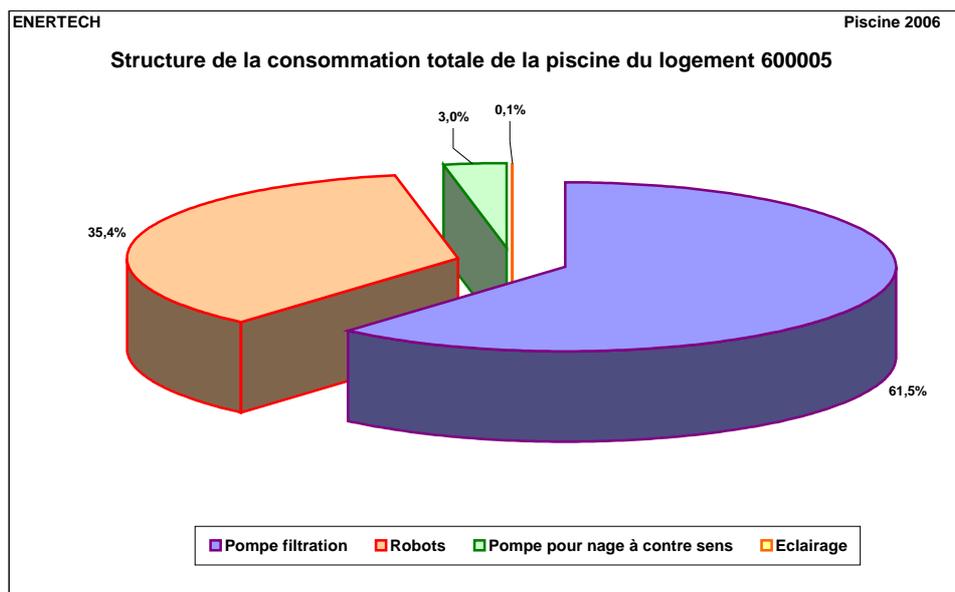


Figure 7.10 : Structure de la consommation de la piscine équipée de la nage à contre courant

La pompe a été enclenchée 95 fois sur la période de suivie. La durée moyenne de fonctionnement de la nage à contre courant est de 13 minutes. La durée de fonctionnement totale est de 21 heures/an.

La figure 7.11 reprend le nombre d'allumages observés en fonction de l'heure de la journée. On remarque que c'est entre 14 et 18 heures que la nage à contre courant est le plus souvent en fonctionnement.

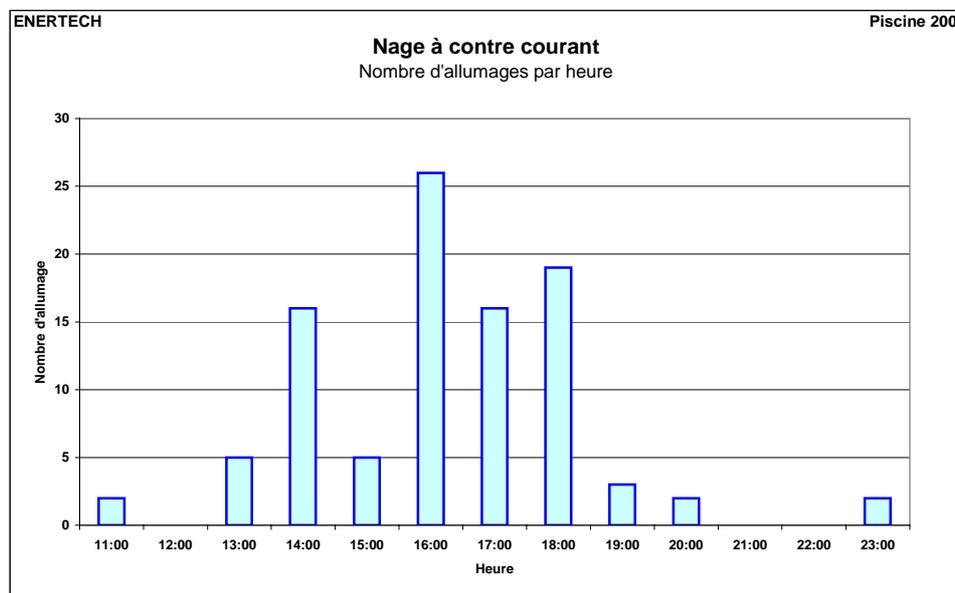


Figure 7.11 : Répartition horaire des allumages de la nage à contre courant

VII.6 REGULATION SOLAIRE

La seule piscine étant équipée de ce dispositif est la piscine 600006. La régulation pour le chauffage solaire de l'eau a consommé 3,1kWh (0,2€TTC/an). La puissance absorbée par ce dispositif est de 0,5W. Cette puissance est absorbée de manière aléatoire.

Partie VIII : Economies envisageables

VIII.1 POMPES DE FILTRATION

VIII.1.1 Introduction

Les résultats des paragraphes suivants sont dérivés de la seule étude scientifique, à notre connaissance, ayant été réalisée sur l'optimisation énergétique des systèmes de circulation d'eau des piscines privées. Cette étude nommée « Swimming pool circulation system- Energy Efficiency Optimization Study » a été réalisée en 1984 par l'Université de Floride.

Dans cette étude 120 piscines ont été suivies pendant deux ans. Diverses solutions visant à réduire les consommations d'électricité ont été testées au cours du projet.

VIII.1.2 Dimensionnement

VIII.1.2.1 Principes généraux

Le dimensionnement de la pompe de filtration d'une piscine se fait en tenant compte :

- du volume du bassin
- des pertes de charges totales : filtre, tuyaux, raccords...

Il est inutile d'installer une pompe surdimensionnée. En effet, un débit trop élevé par rapport à la taille de filtre nuit à la qualité de la filtration en diminuant le phénomène de décantation sur le filtre.

Un dimensionnement optimum consiste à combiner :

- Un temps de recyclage (temps nécessaire au volume d'eau total de la piscine pour traverser le filtre) de l'ordre de 6 heures
- Une vitesse de passage sur le filtre faible, de l'ordre de $40/50\text{m}^3/\text{heure}/\text{m}^2$ ou moins. On peut aussi surdimensionner le filtre pour réduire les pertes de charge induites dans ce filtre.
- Des pertes de charges minimums (diamètre de tuyaux important, pas ou peu de coudes, large filtre à sable)

Le tableau de la figure 8.1 résume en fonction de la contenance des piscines les paramètres à respecter pour dimensionner un système efficace sur le plan énergétique.

Volume (m3)	Débit pompe (m3/h)	Dimensions des tuyaux		Puissance moteur (W)	Débit filtre m3/h	Nombre maximum de coudes à 90°C
		(inch)	(mm)			
30	6	1.5"	40/49	245	8	1
45	8	2"	50/60	245	11	1
61	10	2"	50/60	368	15	2
76	13	2"	50/60	552	18	2
91	16	2.5"	66/76	552	23	2
106	18	2.5"	66/76	552	27	2
121	20	2.5"	66/76	736	31	3
136	23	3.0"	80/90	1104	34	3
152	25	3.5"	89?	1104	38	4

Figure 8.1 : Recommandations pour la conception de piscines énergétiquement efficaces (selon l'étude de l'Université de Floride)

VIII.1.2.2 Evaluation du temps de recyclage des bassins suivis

On souhaite évaluer le temps de recyclage des bassins suivis afin de vérifier le bon dimensionnement des pompes installées.

Nous ne connaissons pas les pertes de charges des installations instrumentées. On estime qu'elles sont de l'ordre de 6mCE. Cette valeur est issue du support de cours du stage de formation professionnelle du groupe Procopi (formation pour piscinistes). Il s'agit d'une valeur moyenne utilisée pour le dimensionnement des pompes. Cependant, il faut noter que cette hypothèse est entachée d'une grande incertitude étant donné que les pertes de charges peuvent varier énormément d'une piscine à l'autre.

La figure 8.2 donne la courbe reliant le débit à la puissance pour 26 pompes du commerce (4 constructeurs différents). On a pris des références de pompes suivies au cours de la campagne de mesures. La puissance considérée est la puissance maximale car les fabricants n'ont pas été en mesure de nous fournir les variations de puissance en fonction du point de fonctionnement. Pour chaque pompe on a pris le débit pour une hauteur manométrique de 6 mètres de colonne d'eau.

Sachant que la puissance est liée aux pertes de charges par la formule suivante :

$$P = \frac{D \times \Delta P}{\eta}$$

Avec P : Puissance (W)
D : Débit (m³/s)
ΔP : Pertes de charge (Pa)
η : Rendement (%)

On en déduit que le rendement des pompes est seulement de 26%.

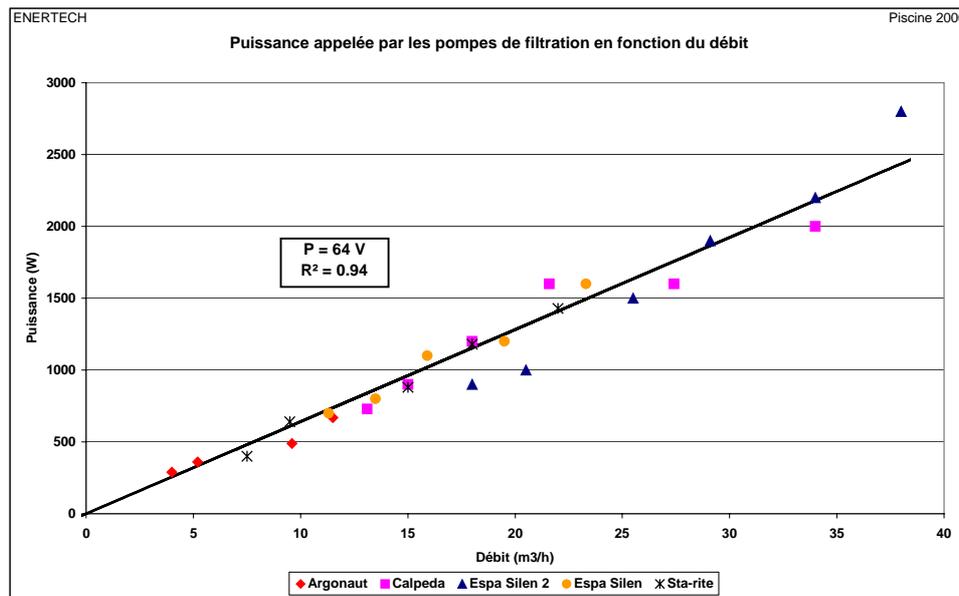


Figure 8.2 : Relation existant entre la puissance appelée par les pompes de filtration et le débit

Connaissant les puissances appelées par les pompes grâce aux mesures, la courbe de la figure 8.2 permet d'estimer leur débit et donc le temps de recyclage des piscines. Nous avons considéré la puissance maximale observée car le dimensionnement doit être fait pour un filtre propre (donc une puissance maximale).

Le graphique de la figure 8.3 indique la répartition des temps de recyclage. Le temps de recyclage moyen sur l'échantillon est 4 heures 10 avec un minimum de 1 heure 50 et un maximum de 7 heures 10.

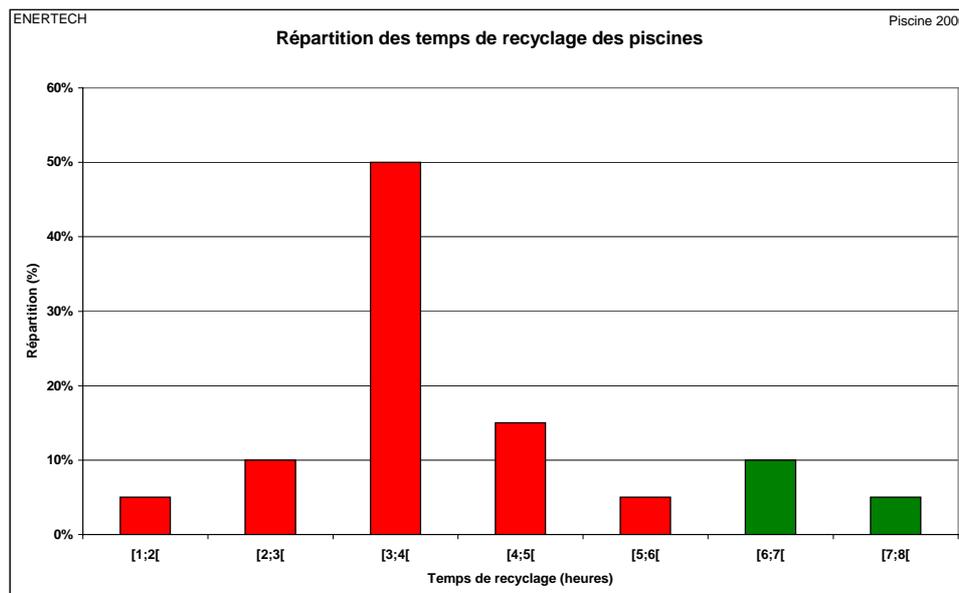


Figure 8.3 : Répartition des temps de recyclage

On remarque que 85% des piscines ont un temps de recyclage inférieur à la valeur préconisée par les professionnels. La moitié des pompes de l'échantillon sont dimensionnées pour avoir un temps de recyclage compris entre 3 et 4 heures soit la moitié de la valeur préconisée.

Ce mauvais dimensionnement conduit probablement à une mauvaise filtration (vitesse de passage du filtre trop rapide) et une consommation d'électricité accrue.

VIII.1.2.3 Calcul des économies envisageables

Le graphique de la figure 8.4 donne la réduction de puissance envisageable grâce à un dimensionnement correct des pompes de filtration. Le débit a été déterminé en divisant par 6 le volume du bassin (correspondant aux 6 heures nécessaires au renouvellement de l'eau de la piscine) et on a considéré une perte de charges de 6 mètres de colonne d'eau (mCE). Dans chaque cas on a choisi la pompe la plus adaptée. L'économie ainsi calculée est plutôt minorée car on a considéré la puissance nominale du moteur qui est dans tous les cas supérieure à la puissance appelée au point de fonctionnement.

Il est à noter que dans le cas d'une installation neuve, on pourrait encore sensiblement réduire les puissances en choisissant des faibles pertes de charges pour les canalisations et le filtre.

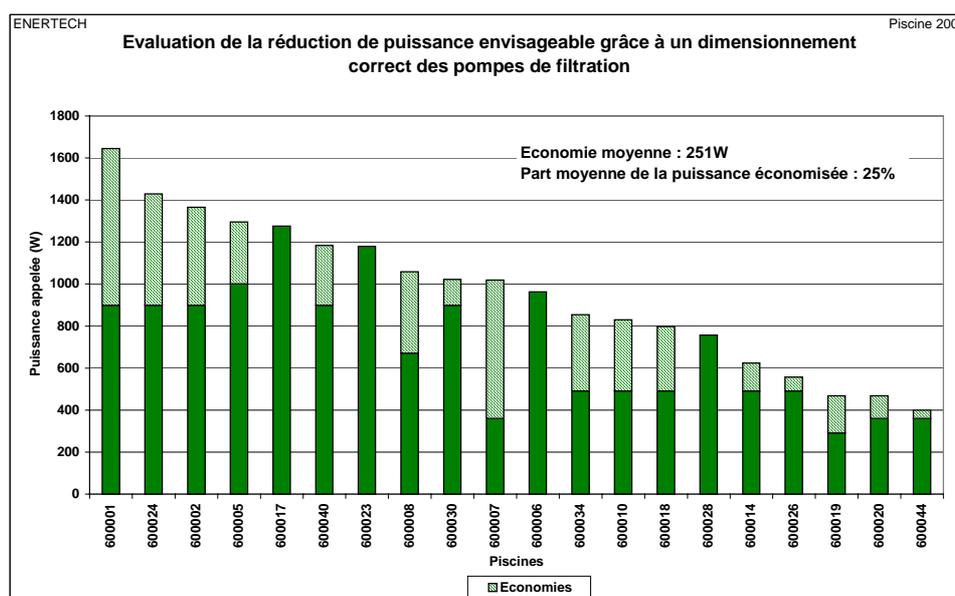


Figure 8.4 : Evaluation de la réduction de puissance envisageable grâce à un dimensionnement correct des pompes de filtration

On voit que pour 4 piscines, soit 20% de l'échantillon, la pompe est bien dimensionnée. En moyenne, grâce à un choix judicieux, on peut économiser 251W par pompe ce qui représente le quart de la puissance actuelle appelée. Si on ne tient pas compte des 4 pompes dont le dimensionnement est correct, l'économie s'élève à 314W, soit plus du tiers de la puissance.

La figure 8.5 représente la consommation annuelle actuelle, la consommation annuelle après le changement des pompes par des pompes de puissance adaptée ainsi que les

économies réalisées. Les indications disponibles au-dessus des barres du graphique sont l'énergie économisée en kWh/an et le pourcentage d'économie.

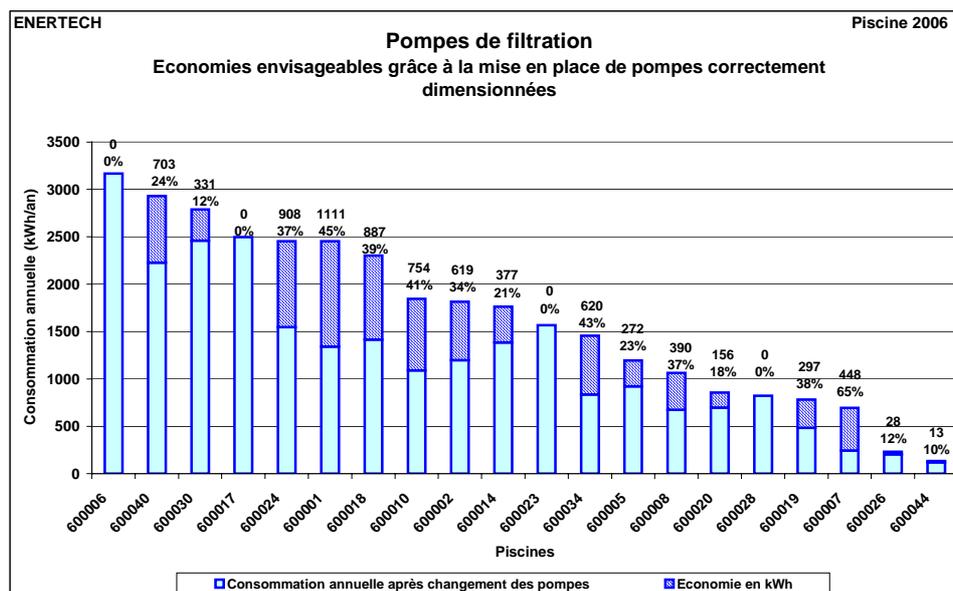


Figure 8.5 : Histogramme des économies réalisables grâce à un bon dimensionnement des puissances des pompes de filtration

L'économie moyenne d'énergie est de 495 kWh/an/piscine (soit 49€TTC/an/piscine d'économisé en prenant en compte le type d'abonnement de chaque logement) si l'on ne prend que les pompes ayant un mauvais dimensionnement. L'économie maximale est obtenue par la piscine 6000001 avec 1111kWh/an d'économie soit 113€TTC.

Mais il faut se souvenir que le choix d'une pompe se fait en général, après calcul supposé du besoin, en adoptant la pompe la plus proche dans le catalogue, mais offrant toujours un débit supérieur. Le surdimensionnement est toujours inhérent aux pompes à vitesse constante. La principale source d'économie consistera donc à l'évidence à adopter une pompe à vitesse variable afin d'en ajuster parfaitement le débit aux besoins.

VIII.1.3 Durée de fonctionnement

VIII.1.3.1 Idées reçues

Pour déterminer la durée de fonctionnement des pompes, les fabricants de piscines appliquent diverses règles dont les fondements sont inconnus. Le tableau de la figure 8.6 donne un exemple du type d'information qu'on peut trouver à ce sujet.

Temps de filtration par jour pour une piscine extérieure		
Température de l'eau	Chlore, Brome, Oxygène actif autres	PHMB et autres produits non oxydants
jusqu'à 10 °	2 h	2 h
de 10 à 12°	4 h	4 h
de 12 à 16 °	6 h	7 h
de 16 à 24°	8 h	12 h
de 24 à 27°	10 h	14 h
de 27 à 30°	15 - 20 h	15 - 20 h
au-delà	20 - 24 h	24 h

A partir d'une eau à +20°C, on peut également se baser sur le calcul :

$$\frac{\text{Température}}{2} = \text{Nombre d'heures par jour de filtration}$$

Figure 8.6 : Exemple d'information donné par les fabricants de piscines concernant le temps de fonctionnement des pompes

Un des objets du projet de recherche américain était de déterminer la durée quotidienne minimum de filtration. Il a permis de contredire plusieurs idées reçues reprises ci-après.

Contre-vérité n°1 : Il est nécessaire de faire fonctionner la pompe au moins 8 heures par jour en été

Dans cette étude, plus de 100 piscines dont la pompe fonctionnait 4 heures ou moins ont été suivies pendant 2 ans. Une comparaison de la qualité de l'eau a été faite sur toute la période avec un échantillon de piscines choisies au hasard et qui avaient des durées de fonctionnement de plus de 8 heures/jour. Aucune différence n'a été observée au niveau de la qualité de l'eau. En règle générale, si on n'observe pas de problème de clarté de l'eau (algues mortes), il n'est pas nécessaire de filtrer la totalité du volume du bassin quotidiennement.

Contre-vérité n°2 : Réduire le nombre d'heures de fonctionnement quotidien des pompes augmente le besoin en produits chimiques

Les propriétaires des piscines ayant participé au projet n'ont pas signalé une utilisation de produits chimiques supérieure à celle du groupe qui n'a pas modifié la durée de fonctionnement. Dans l'échantillon il y avait deux sociétés de maintenance qui entretenaient des piscines privées. Elles affirment n'avoir observé aucun changement notable en besoin de produits chimiques.

Contre-vérité n°3 : Réduire le nombre d'heures de fonctionnement quotidien accroît le besoin de brossage/d'utilisation du robot

Le brossage et le besoin d'utilisation des robots dépendent de la quantité de débris qui tombe dans la piscine. Si le skimmer est efficace, au cours des 15 premières minutes de fonctionnement de la pompe, la plupart des débris de surface vont être évacués. Toute durée de filtration supplémentaire ne sera nécessaire que si les débris accumulés au fond de la piscine ont été suffisamment agités pour pouvoir être conduits jusqu'au filtre. Dans le cas contraire, faire fonctionner la pompe après 15 minutes revient à filtrer de l'eau propre.

Dans deux cas il peut être nécessaire d'avoir des durées de fonctionnement de la pompe supérieures :

- quand les piscines sont équipées de systèmes automatiques de nettoyage et que celui-ci n'est pas mis en route tous les jours. Cependant il est à noter que si le système de nettoyage est activé 3 heures par jour (voir moins dans certains cas), le temps de filtration peut être maintenu très faible.
- Quand la piscine est entourée par une végétation luxuriante.

Contre-vérité n°4 : Il est nécessaire de faire circuler la totalité de l'eau du bassin au moins une fois par jour

105 piscines de l'échantillon américain fonctionnaient avec moins d'un renouvellement quotidien et aucun changement notable n'a été remarqué dans la qualité de l'eau. La règle préconisant un renouvellement par jour est basée sur l'hypothèse que les particules qui ont besoin d'être filtrées restent uniformément en suspension dans tout le volume de la piscine alors que ces particules normalement soit coulent, soit flottent.

Contre-vérité n°5 : Le fait de faire circuler l'eau empêche aux algues de se former sur les murs

Ou encore (trouvé dans un manuel de formation professionnelle)

Il est préférable de faire fonctionner la filtration pendant la journée et par de longues périodes, afin d'éviter la prolifération d'algues car certaines requièrent pour leur développement beaucoup de lumière solaire.

On observe que des algues se forment sur les murs des piscines même si la pompe fonctionne en permanence. L'examen de plus de 100 piscines au cours de l'étude américaine montre que faire fonctionner la pompe ne remplace pas un nettoyage physique et chimique poussé. Dans les piscines étudiées on a observé un développement d'algues lorsqu'elles étaient mal entretenues, et ce quelle que soit la durée quotidienne de fonctionnement de la pompe.

Contre-vérité n°6 : La pompe devrait fonctionner pendant les heures de jour

Il n'y a aucune preuve scientifique qui justifie cette affirmation. Les seules raisons qui peuvent pousser à procéder de la sorte sont le bruit et le nettoyage. Si le nettoyage se fait manuellement la pompe doit fonctionner à ce moment. En cas de nettoyage automatique, celui-ci peut se faire de nuit sans souci.

Contre-vérité n°7 : La pompe devrait toujours être allumée lorsqu'il y a des nageurs dans la piscine

Faire circuler l'eau à travers le filtre permet d'évacuer les débris. Ce sont les produits chimiques qui maintiennent la qualité sanitaire de l'eau. Tant que la propreté de l'eau est acceptable (cette notion varie d'ailleurs d'un usager à l'autre), il n'est pas nécessaire de faire tourner la pompe même si des baigneurs sont dans la piscine.

Le seul avantage que l'on peut voir à un fonctionnement de la pompe lorsque la piscine est utilisée est que les baigneurs agitent l'eau, font remonter les débris et de ce fait aident la pompe et le filtre à faire leur travail.

Contre-vérité n°8 : La pompe doit fonctionner pour que les produits chimiques se mélangent et agissent

Des preuves basées sur l'observation de terrain et l'analyse théorique suggèrent que le mélange et l'action des produits chimiques ne dépendent pas du fonctionnement de la pompe. Le mélange des produits chimiques lorsque la pompe ne fonctionne pas se produit selon la loi du mouvement thermique aléatoire des particules moléculaires. En effet, dans le cas des particules de taille infime, les vitesses thermiques sont beaucoup plus élevées que les vitesses gravitationnelles. Très rapidement après leur insertion, la concentration de la solution est uniforme.

Contre-vérité n°9 : Allumer et éteindre la pompe plus d'une fois par jour augmente la consommation d'électricité et entraîne une panne plus rapide du moteur

Les moteurs sont conçus pour résister à plusieurs dizaines de milliers d'allumages. La surpuissance observée à la mise en route dure seulement quelques secondes.

Contre-vérité n°10 : Installer une pompe puissante améliore la circulation d'eau de la piscine

L'énergie consommée par une pompe dépend du produit de la perte de charge du réseau et du débit. Pour un système hydraulique donné, la relation entre la perte de charge et le débit n'est pas linéaire. La perte de charge augmente avec le carré du débit. Ainsi doubler la puissance électrique de la pompe va seulement permettre d'augmenter le débit de 26%.

Conclusion

On recommande de faire fonctionner la pompe au maximum quatre heures par jour. On pourra même réduire davantage cette durée de fonctionnement, à trois voire deux heures quotidiennes. On procédera par essais successifs jusqu'à déterminer la valeur minimale acceptable. On pourra répartir ce fonctionnement au cours de la journée, sans impératif particulier.

VIII.1.3.2 Economies envisageables par diminution des durées de fonctionnement

Le graphique 8.7 représente la consommation annuelle de chaque pompe en limitant la durée quotidienne de fonctionnement à 4 heures. L'économie moyenne est de **970kWh/an/piscine**, soit **59%** de réduction par rapport au mode de fonctionnement actuel. L'économie financière moyenne s'élève à 95€TTC/an.

L'économie maximale est obtenue par la piscine 600006 (2340kWh/an soit 215€TTC/an), ce qui n'est pas étonnant au vu des durées actuelles de fonctionnement (en moyenne 18heures/jour).

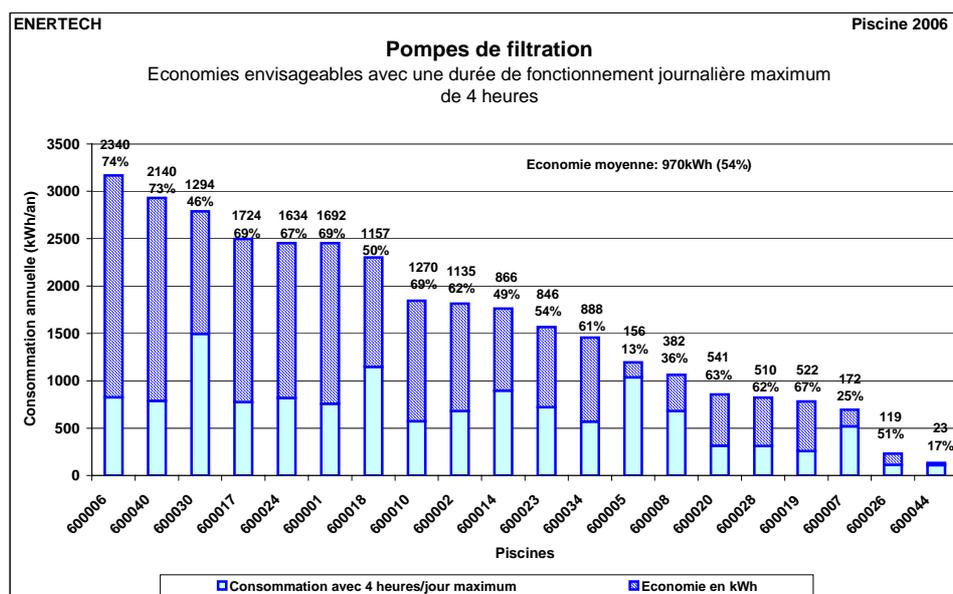


Figure 8.7 : Economies réalisables en réduisant la durée de fonctionnement des pompes de filtration à 4 heures/jour

A noter que pour une durée de fonctionnement de respectivement 3 et 2 heures maximum (durées qui pourront être testées), l'économie moyenne est de 1130 kWh/an/1290 kWh/an soit 64%/79% de moins que la consommation actuelle. L'économie financière est alors de 111€TTC/an/127 €TTC/an.

VIII.1.3.3 Economies envisageables par changement de pompes et diminution des durées de fonctionnement

On étudie ici la mise en place des deux actions de manières simultanées :

- un changement des pompes par des pompes plus adaptées aux piscines (cf. calcul du chapitre VIII 1.2.3.)
- une réduction de la durée de fonctionnement quotidienne des pompes de piscines à 4 heures.

Le graphique de la figure 8.8 représente la consommation résultante après ces deux modifications.

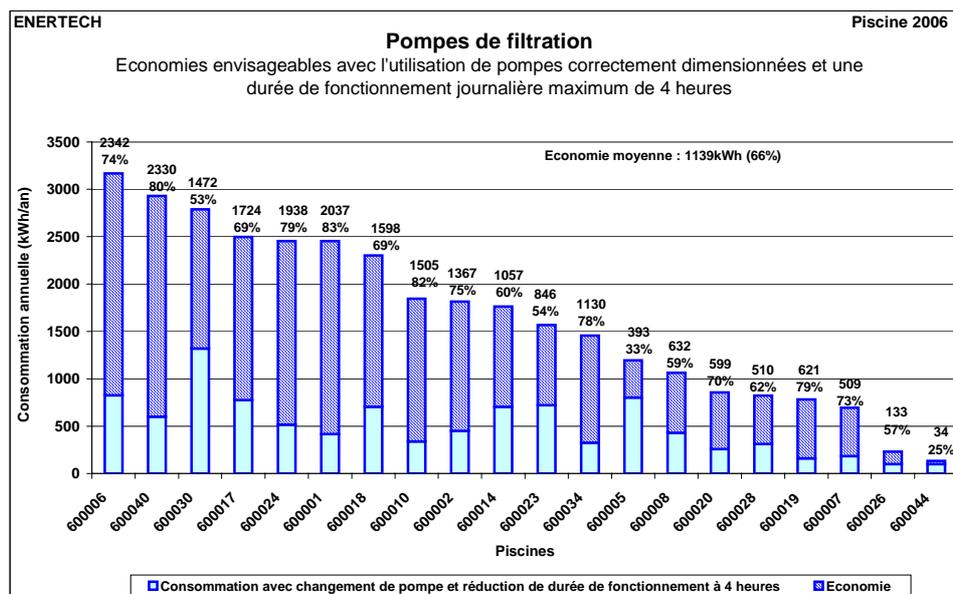


Figure 8.8 : Economies réalisables grâce à un bon dimensionnement des pompes et une réduction de la durée de fonctionnement à 4heures/jour

Les économies engendrées par la mise en place de ces actions valent 1130kWh/an/piscine soit 69% de la consommation initiale (112€TTC/an/piscine).

Si l'on réduit la durée à 3heures et 2 heures de fonctionnement journalier, l'économie passe de 66% (fonctionnement pendant 4heures) à respectivement 77% et 84% (1260 et 1380kWh/an/piscine en moyenne).

La figure 8.9 représente l'évolution de la consommation moyenne de notre échantillon en fonction des deux actions à entreprendre pour des durées maximums de fonctionnement des pompes de 4, 3 et 2 heures. Cette figure illustre le fait que l'action à mettre prioritairement en œuvre est la réduction des durées de fonctionnement (jusqu'à 79% d'économie pour une durée de 2 heures). En plus de permettre d'importantes économies, cette action est gratuite, ce qui la rend d'autant plus prioritaire.

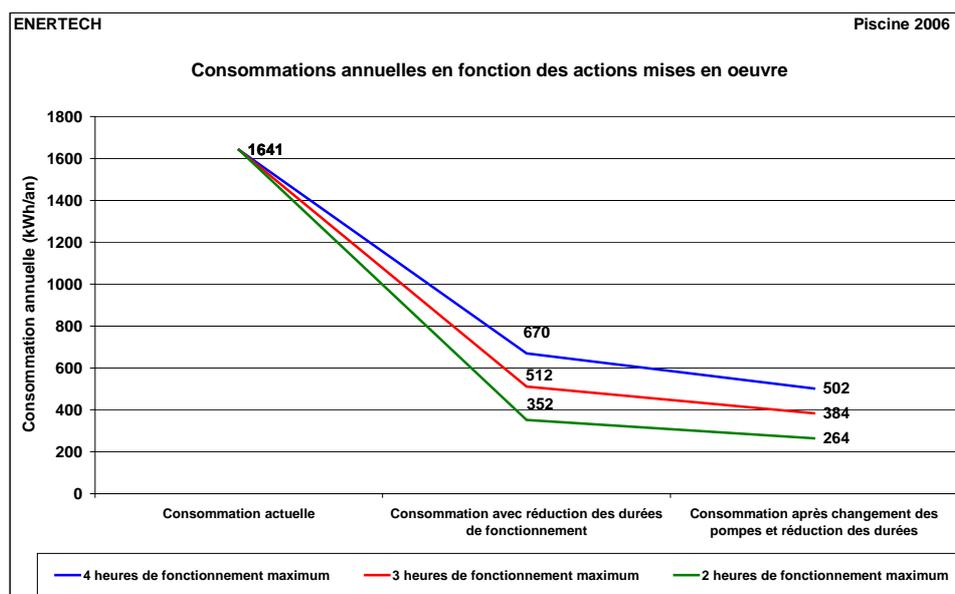


Figure 8.9 : Evolution des économies envisageables en fonctions des actions menées

VIII.1.4 Utilisation de pompes performantes avec une puissance adaptée

On envisage dans ce paragraphe l'utilisation d'une pompe qui, à notre connaissance, n'est pas encore disponible pour les piscines mais qui existe déjà pour d'autres applications, notamment les pompes de bassin ou de piscines naturelles. Elle est munie d'un moteur ECM (moteurs à courant continu de nouvelle génération). Ces moteurs sont actuellement utilisés pour certains circulateurs de chauffage (classe énergétique A) et pour les ventilateurs. Ils sont très économes en énergie. Au-delà du moteur, l'ensemble de la conception des pompes utilisant cette technologie a été revu et les pièces entrant dans leur composition sont toutes « à haut rendement » grâce à des profilés très soignés et des matériaux performants (carbone, etc....).

Etant donné que les caractéristiques débit/pression nécessaires pour les pompes de piscines existent pour des pompes de circulation d'eau chaude, nous pensons qu'il doit être possible d'adapter cette technologie à cette application. L'utilisation de la technologie ECM et l'optimisation du design des pompes de piscine devrait permettre une économie d'au moins 23%. Pour arriver à cette valeur, nous avons pris le rapport entre une pompe de circulation de chauffage classique et une pompe de piscine classique. Nous y avons ensuite affecté les économies réalisées grâce à l'emploi d'une motorisation ECM en remplacement d'une motorisation classique pour les pompes de circulation de chauffage.

Le graphique 8.10 reprend les économies envisageables grâce à l'utilisation de pompes performantes (moteur ECM) bien dimensionnées (cf. chapitre VIII 1.2.3). La réduction de consommation moyenne s'élève à 612 kWh/an (37% d'économie) soit 60€TTC/an.

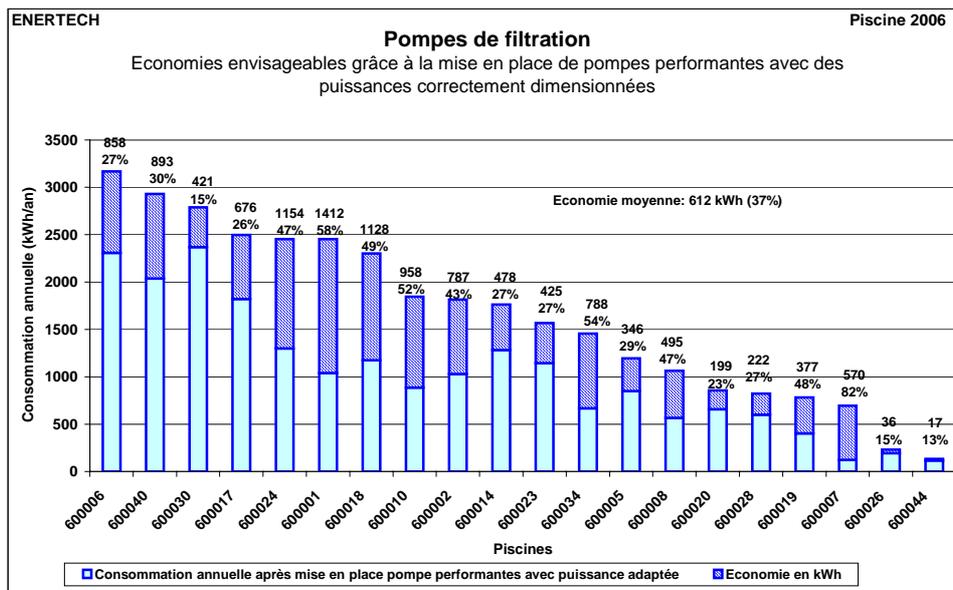


Figure 8.10 : Economies réalisables grâce à l'utilisation de pompes équipées de moteur ECM correctement dimensionnées

Le graphique de la figure 8.11 représente quant à lui les économies envisageables grâce au changement de pompes décrit ci-dessus et à une réduction de la durée de fonctionnement à 4 heures par jour. L'économie moyenne est dans ce cas de 1220kWh/an/piscine (120€ TTC/an/piscine), ce qui représente 74% de la consommation initiale.

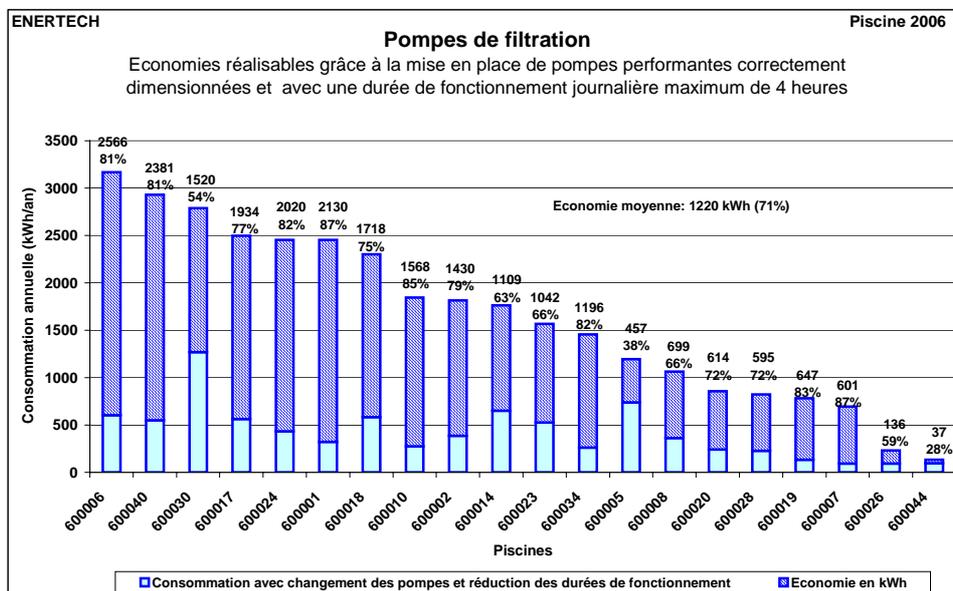


Figure 8.11 : Economies réalisables avec des pompes performantes ayant une puissance adaptée et une durée de fonctionnement maximum de 4h/jour

VIII.2 ROBOTS NETTOYEURS

Tout comme pour les pompes de filtration, il existe deux solutions :

- Réduire la durée de fonctionnement quotidienne des robots à 3 heures maximum (valeur conseillée par l'étude américaine si le robot est actionné tous les jours). Comme pour les pompes on pourra tester des durées inférieures afin de trouver l'optimum. Cette solution n'implique pas d'investissement particulier.

- Utiliser des robots autonomes car cette technologie est bien moins énergivore que les robots à pression (pour mémoire, la puissance appelée est 8 fois moindre).

VIII.2.1 Réduction des durées de fonctionnement

La réduction des durées de fonctionnement s'effectuera grâce une horloge de programmation pour les robots à pression. Quant aux robots autonomes, ils sont pour la plupart programmables, il sera par conséquent nécessaire de les (re)programmer correctement.

La figure 8.12 représente les économies réalisables par une réduction de la durée de fonctionnement à 3 heures par jour. On s'aperçoit que le potentiel d'économie est plus faible que pour les pompes de filtration. Ceci est imputable à une durée de fonctionnement initiale des robots quasiment deux fois inférieures à celle des pompes de filtration.

L'économie moyenne pour les robots à pression vaut 290 kWh/an soit 50% de la consommation initiale (ou encore 27€ TTC/an). Pour les robots autonomes, l'économie moyenne se situe à 12kWh/an, soit 36% (1,2€TTC/an).

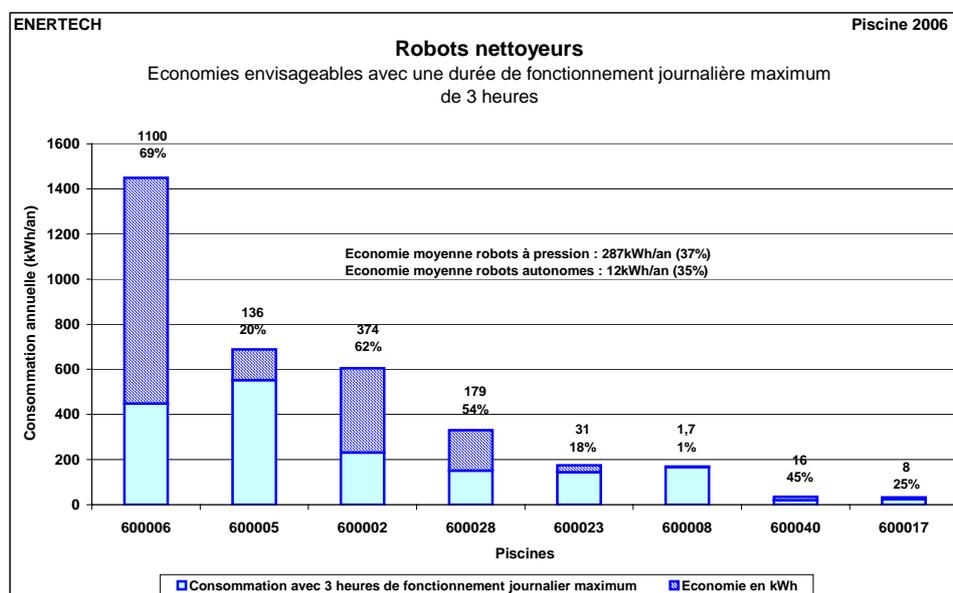


Figure 8.12 : Economies réalisables en réduisant la durée de fonctionnement des robots à 3 heures/jour

VIII.2.2 Utilisation de robots autonomes

Comme indiqué dans le chapitre VI, on observe une très nette différence entre les puissances absorbées par les robots autonomes et les robots à pression, respectivement en moyenne 105W et 855W. De plus les robots autonomes ont une durée de fonctionnement légèrement inférieure, en moyenne 4,5 heures pour les robots autonomes contre 5,7 heures pour les robots à pression (mais cette différence peu significative est peut-être imputable à la taille restreinte de notre échantillon). Il n'est donc pas étonnant que la consommation des robots autonomes soit 16 fois plus faible.

Nous préconisons donc l'utilisation de robots nettoyeurs autonomes. La figure 8.13 représente les économies réalisables grâce au changement de technologie pour les piscines équipées de robots à pression. L'économie moyenne est de 491 kWh/an soit 86% de la consommation initiale. Le coût moyen annuel passe alors de 57€TTC/an à 8€TTC/an

Sachant que le coût moyen d'un robot à pression est de 731€TTC et que le coût moyen d'un robot autonome est de 1 234€TTC, au moment du changement d'équipement on optera pour un robot autonome. Le surcoût sera amorti en 10ans.

Ce temps de retour est important mais il faut garder à l'esprit dans le cas d'une installation neuve que le choix d'un robot à pression est plus onéreux que celui d'un robot autonome. Il est en effet nécessaire de réaliser une installation hydraulique en plus de l'installation électrique tandis que pour un robot autonome, seul une prise électrique est nécessaire.

De plus, lors de la campagne de mesure nous avons observé une piscine sujette à des fuites à ce niveau. En effet, les robots à suppression nécessitent des canalisations spécifiques (devant être installée lors de la création de la piscine). Pour des raisons économiques l'installateur de la piscine a branché le surpresseur en série avec la pompe de filtration et certains éléments (notamment les coudes) n'ont pas supporté la pression exercée par le surpresseur.

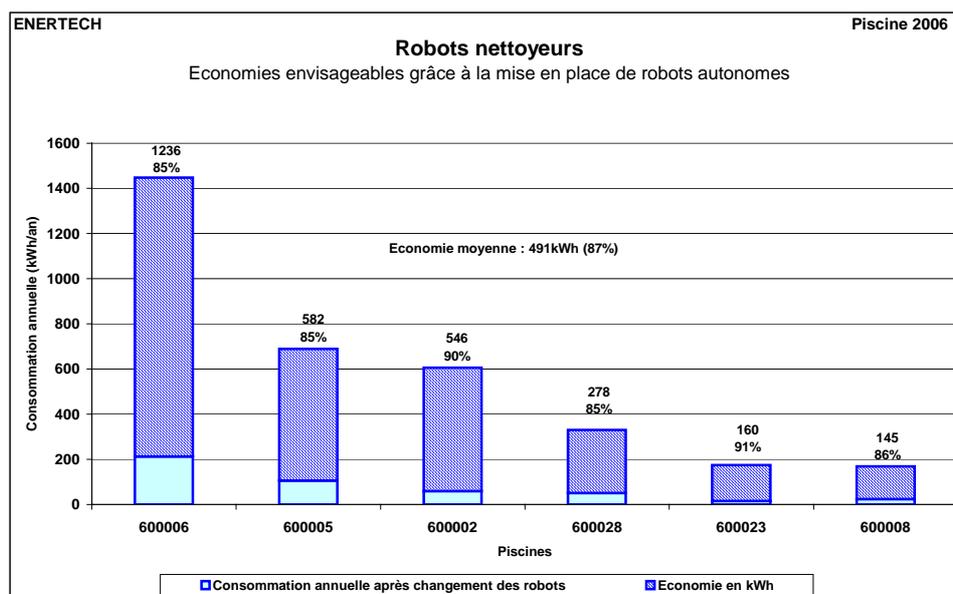


Figure 8.13 : Economies réalisables grâce à un changement des robots à pression par des robots autonomes

VIII.2.3 Utilisation de robots autonomes et réduction de durée de fonctionnement

Nous étudions ici la mise en place de robots autonomes en remplacement des robots à pression ainsi qu'un réglage des durées de fonctionnement journalier à 3 heures maximum.

L'économie moyenne est de 530 kWh/an soit 92% de la consommation initiale pour les piscines étant équipées de robot « à pression » (correspondant à 53€TTC), ce qui réduit légèrement le temps de retour en cas de changement de robot.

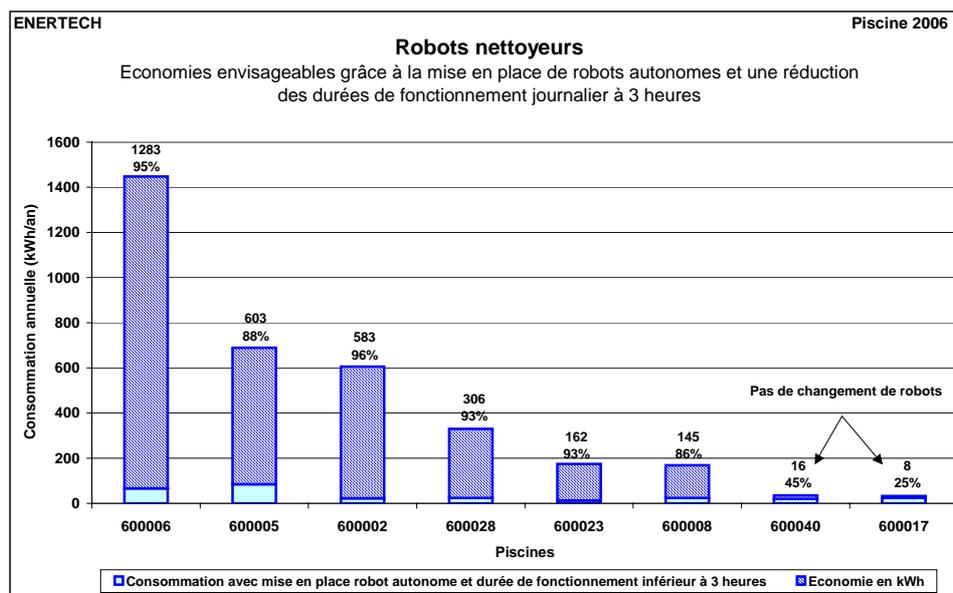


Figure 8.14 : Economies réalisables grâce à un changement des robots à pression par des robots autonomes avec une durée de fonctionnement journalière de 3 heures

VIII.3 SYNTHÈSE DES ÉCONOMIES

VIII.3.1 Récapitulatif des économies réalisables à l'heure actuelle

Les économies réalisables portent sur les trois postes suivants :

- Les pompes de filtration, (économie moyenne 1139 kWh/an soit 66% d'économie) pour cet usage l'économie prend en compte :
 - Un changement des pompes par des pompes (à moteur asynchrone classique) dont la puissance est correctement dimensionnée.
 - Une durée de fonctionnement maximum journalière de 4 heures
- Les robots nettoyeurs, (économie moyenne 401 kWh/an soit 78% sur l'ensemble des robots) pour cet usage les économies ont été calculées avec
 - Un passage de la technologie « à pression » à la technologie autonome
 - Une réduction de la durée de fonctionnement quotidienne à 3 heures
- Les systèmes d'éclairage, dans ce cas, nous avons uniquement pris en compte les économies liées à la suppression des veilles. Cette mesure implique une

coupure au primaire du transformateur sans contacteur (économie de 3kWh/an).

Grâce à l'ensemble de mesures précédemment citées, la consommation moyenne des piscines passe de **1860 kWh/an** à **550 kWh/an** soit **70% d'économie** (69% pour les piscines hors sol et 70% pour les piscines enterrées). L'économie financière moyenne est de 127€ TTC/an (26€TTC pour les piscines hors sol et 145€TTC pour les piscines enterrées).

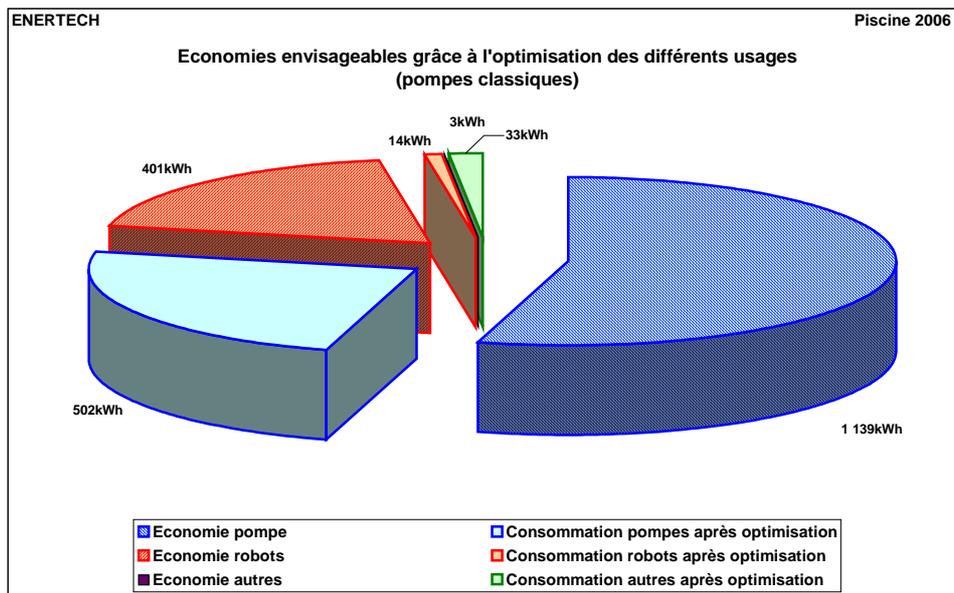


Figure 8.15 : Répartition des économies en fonction des grands postes (avec moteur classique)

Le graphique suivant reprend les économies réalisées pour chaque piscine. L'économie maximum générée est de 3725 kWh/an (79% d'économie) pour la piscine 600006 soit 342€TTC d'économie annuelle.

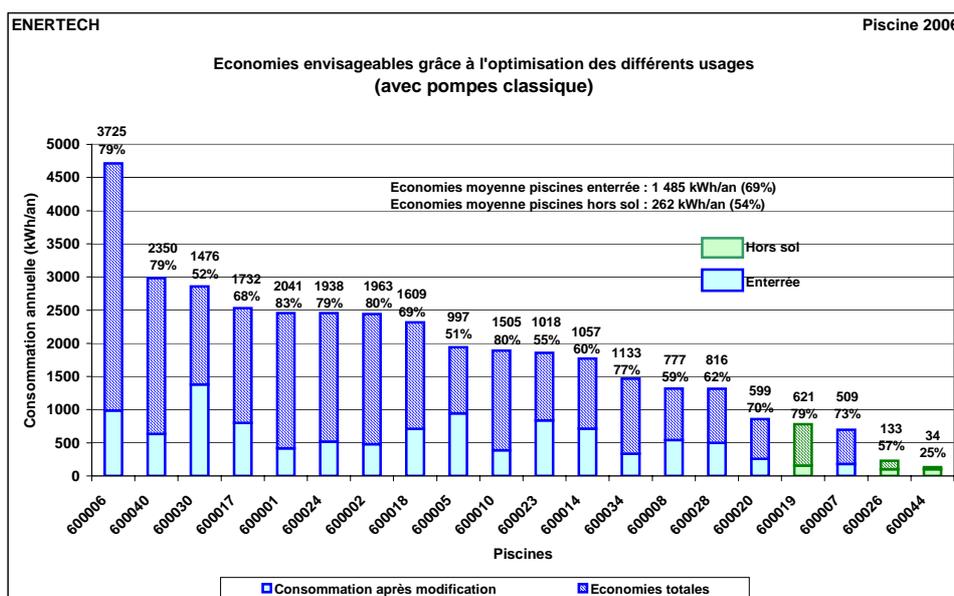


Figure 8.16 : Economies réalisables maximum (avec pompes à moteur classique)

VIII.3.2 Récapitulatif des économies réalisables dans le futur

Dans ce paragraphe les économies indiquées tiennent compte des mêmes mesures pour les robots et l'éclairage. Concernant les pompes on considère une durée de fonctionnement maximum de 4 heures et un changement des pompes par des pompes haut rendement (moteur ECM, non disponible actuellement) dimensionnées correctement.

Les économies pour les piscines enterrées sont de **1579 kWh/an** soit **75%** d'économie ou encore **154 € TTC/an**. Pour les piscines hors sol les économies sont en moyenne de **274kWh/an (72%)**. L'économie financière s'y afférant est de **27 €TTC/an**.

L'économie totale moyenne toutes piscines confondues est, avec l'ensemble des mesures de **1 383 KWh/an** soit **74%** d'économie

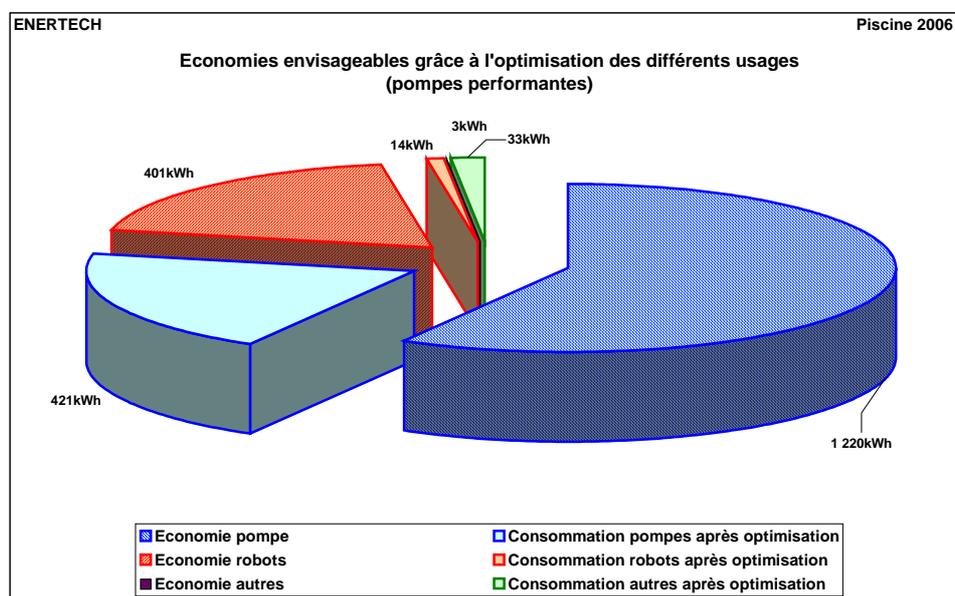


Figure 8.17 : Répartition des économies en fonction des grands postes (avec les pompes à haut rendement)

L'économie maximum est atteinte par la piscine 600006 avec **3 949kWh/an** d'économie soit **84%** de la consommation initiale.

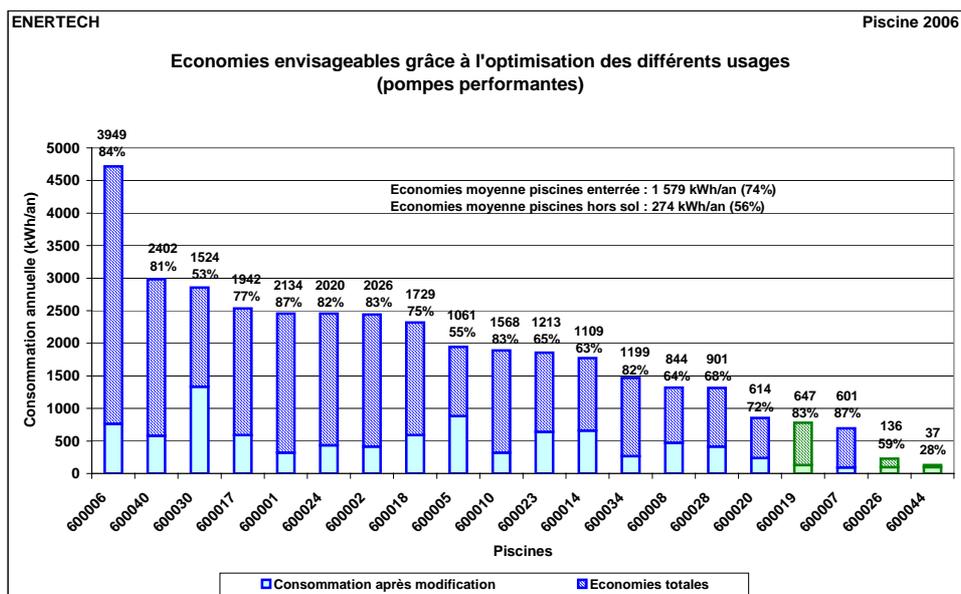


Figure 8.18 : Economies maximums réalisables (pompes à haut rendement correctement dimensionnées, robots autonomes, suppression de la veille de l'éclairage)

Partie IX : Conclusion

En extrapolant les valeurs observées sur notre échantillon à l'ensemble du parc français des piscines, on obtient une consommation globale de **1 924 GWh** par an pour l'ensemble du parc dont 91% sont affectés aux piscines enterrées, le reste correspondant aux piscines hors sol. Or le parc augmente chaque année de 5%. Il est donc nécessaire d'agir vite afin d'enrayer cette croissance des consommations.

On a vu au cours de cette étude que cette consommation pourrait être divisée par plus de 3,8, soit un gisement d'économies d'environ 1 424 GWh/an.

Suite à ces premiers résultats, on préconise de mettre en œuvre plusieurs actions afin de pouvoir généraliser les solutions d'économies :

- Mener, comme cela a été fait aux Etats-Unis, une étude de terrain sur l'impact d'une réduction des durées de fonctionnement des pompes de filtration et des robots. On peut par exemple envisager de travailler à nouveau sur l'échantillon suivi au cours de l'été 2006. On réduira progressivement les durées programmées afin de déterminer la valeur optimale.
- Former les professionnels du secteur au dimensionnement correct des équipements
- Inciter les fabricants de pompes de piscines à améliorer l'efficacité énergétique de leur produit, notamment en intégrant la technologie ECM pour les moteurs.
- Informer les usagers sur l'impact des piscines en terme de consommation d'électricité.