

# ENQUÊTES DE TERRAIN DANS 50 BÂTIMENTS DE BUREAUX : TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION - ÉCLAIRAGE

## OBJET DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre du plan Eco-Energie de la région PACA, un inventaire des équipements électriques utilisés **pour l'éclairage et les technologies de l'information** a été réalisé dans 50 bâtiments de bureaux. 32 des 50 bâtiments de bureaux sélectionnés sont situés dans le parc d'activité de Sophia-Antipolis (06), et 18 à Draguignan (83). Cet inventaire apporte des informations indispensables à l'évaluation du gisement régional d'économie: il permet de connaître le nombre d'appareils et de luminaires utilisés dans les bureaux, ainsi que les caractéristiques principales pouvant influencer sur leurs consommations. Au total, 525 pièces, 2150 luminaires, 756 ordinateurs et 497 autres appareils de bureautique ont été inventoriés. Des entretiens ont été également réalisés auprès des responsables d'établissement et de 375 usagers afin de savoir s'ils étaient prêts à modifier leur comportement, leurs appareils ou leurs installations électriques, pour consommer moins. Il a été nécessaire de corriger les résultats obtenus pour l'échantillon, afin d'avoir une image plus précise de la situation régionale.

## L'ÉCLAIRAGE DANS LES BUREAUX

### 1 – L'INVENTAIRE

La valeur moyenne de la puissance surfacique installée (en prenant en compte la puissance des ballasts) dans les établissements de la région est de **19,0 W/m<sup>2</sup> pour l'ensemble de l'établissement**.

Le niveau de puissance installée dépend fortement du type de pièce à l'intérieur des bureaux:

Type de pièce	Part de la surface totale des bureaux (estimations)	Puissance installée (W/m <sup>2</sup> )	Part de la puissance totale installée (estimations)
Pièces de bureaux et pièces communes	75%	19,3	76%
Circulations	20%	15,5	16%
Toilettes / vestiaires	5%	28,3	8%

*Figure 1 : part de la puissance totale installée dans chaque type de pièce de l'établissement*

**Les tubes fluorescents** sont les luminaires les plus utilisés et les plus efficaces. Ils représentent presque 2/3 de la puissance installée dans les établissements. Ils sont tous de type T8 à ballasts ferromagnétiques. La moitié environ de ces luminaires sont des pavés de 4 tubes T8 de 18 W. Pour obtenir une luminosité et une efficacité lumineuse accrues, ces luminaires pourraient être remplacés par des pavés de 3 tubes T5 de 14 W à ballasts électroniques dimmables. Encore près d'un tiers des luminaires à tubes fluorescents (les plus anciens) n'ont pas de réflecteur ou utilisent des diffuseurs au lieu de grilles de défilement.

**Les luminaires incandescents et halogènes** représentent plus d'un tiers de la puissance installée dans les bureaux! L'efficacité lumineuse de ces luminaires est très faible (de 5 à 25 lumens par Watt). On doit pouvoir diviser par 5 très facilement la consommation des lampes incandescentes installées, en remplaçant systématiquement les ampoules incandescentes de 60W standard par des lampes basse consommation de 12W. D'après les responsables, l'usage des halogènes de forte puissance a tendance à disparaître : environ ¾ des ampoules halogènes inventoriées ont une puissance inférieure ou égale à 50W. Les lampes basse consommation les plus répandues sont les lampes de bureau TC-D de 11W qui pourraient remplacer les lampes de bureau halogènes.

La part de chaque type de source lumineuse dans la puissance totale installée est présentée dans le tableau de la figure 2.

	Incandescent (hors halogène)	Halogènes	LBC	Tubes fluorescents	TOTAL	Efficacité lumineuse (lumens/Watt)
<b>Pièces de bureaux</b>	4%	25%	2%	68%	100%	<b>54</b>
<b>Couloirs</b>	21%	18%	2%	58%	100%	<b>47</b>
<b>Toilettes</b>	74%	13%	4%	9%	100%	<b>18</b>
<b>Établissement (estimations)</b>	11%	23%	3%	63%	100%	<b>51</b>

*Figure 2 : part des différents types de source dans la puissance installée*

Très peu d'installations électriques ont été conçues dans un souci d'économie d'énergie. On trouve un découpage par zone dans seulement 5% des pièces de bureaux, des commandes centralisées dans seulement 12% des couloirs et des systèmes semi-automatiques (minuterie ou détecteurs de présence) dans seulement 12% des toilettes. Au contraire, près de 10% des pièces de bureaux sont commandées "par plateau": un même interrupteur commande plusieurs bureaux à la fois. L'âge moyen des luminaires est de 8,4 ans. Il y a en moyenne 0,24 luminaire installé par m<sup>2</sup> dans l'établissement.

## 2 – LES ENTRETIENS

➤ Pour les pièces de bureaux, les commandes manuelles classiques devraient être privilégiées par rapport aux solutions automatiques, afin de responsabiliser le personnel aux économies d'énergie. Par contre, dans les autres types de pièces de l'établissement des systèmes permettant l'extinction automatique de l'éclairage peuvent être envisagés. L'utilisation de détecteurs de présence dans les toilettes semble déjà pouvoir se répandre, alors que les minuterie sont en perte de vitesse. Les systèmes de Gestion Technique Centralisée (GTC) pour l'éclairage ne semblent être appréciés que dans un seul très grand établissement.

➤ Il est notable que les entreprises ne font pas de maintenance préventive. Les établissements de moins de trente personnes font souvent appel à une société de maintenance extérieure dès qu'il faut modifier leur installation électrique d'éclairage.

➤ Les responsables reconnaissent généralement que **les tubes fluorescents** sont très efficaces. Mais de nombreux usagers se plaignent de la **qualité** des luminaires à tubes fluorescents (fatigue visuelle, éblouissement, effet stroboscopique, reflets) et du **suréclairage** dû à une trop forte puissance surfacique fluorescente installée : de nombreux tubes ont été démontés dans les bureaux ou des diffuseurs en papier ajoutés, et au moins 15% des usagers jugent que l'éclairage artificiel est excessif. Ainsi, alors que certains médecins du travail constatent des pathologies nerveuses lorsque le niveau d'éclairement dépasse 220 lux pour le travail sur écran d'ordinateur, plus de la moitié des éclairages relevés sur des postes de travail étaient supérieurs à ce niveau.

➤ Les **lampes incandescentes et halogènes** sont appréciées pour la qualité de leur éclairage, mais les responsables sont mécontents de la fréquence et du coût élevés de remplacement.

➤ Les **lampes basse consommation** sont encore peu utilisées mais les responsables semblent satisfaits de leurs qualités, et en particulier de leur durée de vie importante.

## 3 – LES SOLUTIONS ENVISAGÉES

- 1 - Profiter au mieux de l'éclairage naturel
- 2 - Éclairer uniquement les zones nécessaires
- 3 - Se contenter d'un niveau d'éclairement minimal
- 4 - Réduire les durées de fonctionnement
- 5 - Installer des luminaires efficaces

## LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION DANS LES BUREAUX

### L'INVENTAIRE

	Nombre d'appareils pour 100 personnes	Nombre d'appareils pour 100 m <sup>2</sup>	Nombre d'appareils inventoriés
<b>Écrans</b>	124	7,1	725
<b>Postes fixes</b>	98	5,9	665
<b>Portables de bureaux</b>	20	1,0	91
<b>Serveurs</b>	15	0,6	
<b>Imprimantes</b>	50	3,0	247
<b>Fax</b>	11	0,7	53
<b>Photocopieurs</b>	9	0,5	51
<b>Scanners</b>	8	0,4	29
<b>Imprimantes multifonction</b>	4	0,2	12

*Figure 3 : nombre moyen d'appareils pour 100 personnes travaillant dans les bureaux et pour 100 m<sup>2</sup> de bureaux*

Nous avons relevé les caractéristiques principales de ces appareils, d'un point de vue MDE, et en particulier:

- **Écrans** : 11% des écrans utilisés dans les bureaux sont des écrans plats et 89% des écrans cathodiques. La taille la plus fréquente pour les écrans cathodiques comme pour les écrans plats est de 17".
- **Ordinateurs** : les ordinateurs utilisés sur les postes de travail sont pour 91% des modèles standards fabriqués par de grandes marques, pour 86% des postes fixes, et pour 87% des postes individuels. L'âge moyen des ordinateurs de l'échantillon est de 2,7 ans. Le parc d'ordinateurs est en moyenne remplacé tous les 3,5 ans, au cas par cas dans la moitié des établissements.
- **Serveurs** : 92% des établissements de l'échantillon possèdent un ou plusieurs serveurs qui fonctionnent généralement en permanence.
- **Imprimantes** : 60% des imprimantes utilisées sont des imprimantes laser, 35% des imprimantes à jets d'encre, et 5% des imprimantes matricielles. Déjà plus de ¼ des établissements de l'échantillon possèdent au moins une imprimante multifonction.
- **Fax** : tous les établissements de l'échantillon ont la possibilité de recevoir et d'envoyer des fax. 10% des établissements de l'échantillon utilisent uniquement des imprimantes multifonctions pour envoyer ou recevoir des fax.
- **Photocopieurs** : Tous les établissements de l'échantillon ont la possibilité de photocopier des documents. 20% des établissements utilisent uniquement des imprimantes multifonctions pour photocopier leurs documents. Parmi les photocopieurs mono-fonction, 60 % sont des A3 standard, 9% des A4 standard, et 31% des trieuses A3.
- **Scanners** : 84% des établissements de l'échantillon ont accès à la fonction scanner, et ¾ des établissements de l'échantillon possèdent au moins un scanner mono fonction. 93% de ces appareils scannent des documents de taille A4.

### 2 – LES ENTRETIENS

- **Energy Star (E\*) est activé pour 38% des écrans, et 4% des unités centrales.** La durée moyenne paramétrée avant la mise en veille est de 26 minutes pour les écrans, et 45 minutes pour les unités centrales.

Dans plus de 65% des cas, l'écran passe en veille parce que l'ordinateur était activé par défaut à la livraison. Jusqu'à deux fois plus **d'écrans** pourraient être éteints automatiquement puisque presque 75% des systèmes d'exploitation utilisés sont compatibles **E\***. Malgré les problèmes sur certaines installations informatiques, il est certain qu'une part beaucoup plus importante **des unités centrales** pourrait également être mise en veille automatiquement.

Il est notable que:

- environ 2/3 des usagers, et un tiers des responsables informatique ne connaissent pas *E\**,
- aucun responsable n'exige qu'*E\** soit systématiquement activé et configuré sur les unités centrales. La plupart des établissements n'ont pas de politique systématique concernant *E\**, simplement parce qu'aucun responsable n'a ressenti le besoin de l'activer ni eu cette volonté. 80% des responsables, une fois correctement informés, seraient prêts à essayer d'activer *E\** sur les postes.

- seuls 6% des usagers et 20% des responsables informatique sont *a priori* contre l'utilisation d' *E\** sur leurs ordinateurs, généralement parce qu'ils ont peur que cela n'entraîne des problèmes techniques sur l'installation informatique. *E\** souffre d'une mauvaise réputation.

- Selon les usagers, 18% des unités centrales restent allumées en permanence, et plus d'un quart d'entre-elles ne sont éteintes que durant les week-ends. Durant les périodes de travail, l'ordinateur n'est utilisé que 78% du temps. 60% des responsables informatiques ne donnent pas de consigne au personnel concernant **l'extinction manuelle** des appareils la nuit et le week-end. Selon les usagers, c'est vraiment par "manque d'habitude" qu'ils n'éteignent pas ou ne mettent pas en veille leur ordinateur. Seuls environ 20% des responsables informatique imposent ou recommandent l'arrêt, tandis que 20% déconseillent voire n'autorisent pas les usagers à éteindre leurs unités centrales lorsqu'ils ne les utilisent pas. Seulement 1/3 des responsables affirme avoir passé une consigne pour que chaque employé éteigne **les appareils de bureautique** qu'il utilise.

### 3 – SOLUTIONS ENVISAGÉES

- 1 - Diminuer le nombre d'appareils par personne, ce qui ne réduit pas forcément la consommation
- 2 - Réduire le nombre ou la durée des tâches effectuées (sobriété)
- 3 - Éteindre ou mettre en veille les appareils inutilisés (activation d'*Energy Star*)
- 4 - Diminuer le temps de fonctionnement des appareils en veille
- 5 - Choisir du matériel efficace

## CONCLUSION

Avant de sensibiliser le personnel, il semble plus efficace de sensibiliser les responsables des services informatiques et techniques ou même **les intervenants extérieurs** à l'établissement (agents de sécurité et d'entretien; voire les entreprises extérieures de maintenance). Pour les nombreux bâtiments loués, c'est directement les propriétaires des bâtiments qu'il faudrait sensibiliser à la MDE. Enfin, c'est la maison mère ou l'administration nationale qui prendra la décision et fournira les crédits pour une démarche MDE dans les antennes locales.

Pour changer le comportement de son personnel, chaque responsable a testé plusieurs méthodes. Plus de trois quarts des responsables interrogés sont d'accord pour qu'une personne extérieure intervienne afin de sensibiliser le personnel à la MDE, si **la durée de cette intervention n'excède pas 1 heure et quart**. D'autres estiment que l'envoi de courriers divers devrait suffire. Enfin certains ne croient plus à la sensibilisation du personnel et prônent le tout automatique.

- Deux tiers des responsables interrogés seraient *a priori* d'accord pour s'engager dans une modification de l'installation d'éclairage ou du matériel informatique. Ils souhaitent cependant :

- 1 - avoir une estimation de la part d'éclairage et de bureautique dans leur consommation

- 2 - connaître l'investissement nécessaire et le temps de retour des solutions proposées. Les subventions ne sont pas directement demandées, mais devraient servir à ramener ce temps de retour sous **les 3,4 ans en moyenne pour l'éclairage et 3,1 ans pour la bureautique**

- 3 - avoir des renseignements et des garanties techniques sur les solutions proposées (en particulier sur *Energy Star*), et avoir l'assurance qu'ils trouveront de l'aide facilement en cas de problème.

- Le tiers restant n'est pas totalement fermé aux modifications de son installation mais n'en voit pas l'intérêt financier ou ne peut pas décider directement.

Des solutions existent donc pour réduire les consommations électriques dans les établissements tertiaires. Il faut dès à présent sensibiliser le personnel mais aussi les responsables et les sociétés extérieures influentes, à accepter de mettre en oeuvre des solutions alternatives économes en énergie.

Ademe



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

**TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION  
ET ECLAIRAGE -**  
*Campagne de mesures dans 49 ensembles de  
bureaux de la Région PACA*

*Marché n° : 03.40.C.0354*

---

**Rapport final**

---

**Janvier 2005**

**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-internet.fr*

*http ://perso.club-internet.fr/sidler*

**SOMMAIRE**

<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURES</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Objet de l'étude</b>	<b>7</b>
1.1.1 Le plan Eco-Energie	7
1.1.2 Les actions prioritaires	7
1.1.3 L'éclairage et la bureautique dans les bureaux	8
1.1.4 L'enquête préliminaire	8
<b>1.2 Métrologie mise en œuvre</b>	<b>8</b>
1.2.1 Bilan des matériels instrumentés	8
1.2.2 Mode opératoire	10
1.2.3 Difficultés rencontrées	10
1.2.4 Description des appareils de mesures	10
<b>1.3 Traitement des données</b>	<b>14</b>
1.3.1 Définition	14
1.3.2 Méthode d'annualisation des consommations des appareils informatiques	14
1.3.3 Méthode d'annualisation des consommations d'éclairage	15
1.3.4 Calcul du coût d'abonnement	17
<b>CHAPITRE 2 : ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT - INFORMATIQUE</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Les ordinateurs</b>	<b>19</b>
2.1.1 Durée d'utilisation des ordinateurs	19
2.1.2 Les écrans	20
2.1.3 Les Unités centrales	28
2.1.4 Les postes de travail (écrans + unités centrales)	31
2.1.5 Les stations d'accueil et les ordinateurs portables	35
<b>2.2 Les appareils de bureautique et autres équipements</b>	<b>38</b>
<b>2.3 Consommation moyenne par entreprise</b>	<b>41</b>
2.3.1 Introduction	41
2.3.2 Consommations moyennes par unité de surface	42
2.3.3 Consommations moyennes par personne	45
<b>CHAPITRE 3 : ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT - ECLAIRAGE</b>	<b>47</b>
<b>3.1 L'éclairage des pièces de bureaux</b>	<b>47</b>
<b>3.2 L'éclairage des circulations</b>	<b>48</b>
<b>3.3 L'éclairage des locaux communs</b>	<b>49</b>

<b>3.4</b>	<b>L'éclairage des sanitaires</b>	<b>50</b>
<b>3.5</b>	<b>Consommation totale d'éclairage</b>	<b>51</b>
<b>CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA CONSOMMATION TOTALE DES BATIMENTS SUIVIS</b>		<b>52</b>
<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Consommation d'éclairage et d'informatique</b>	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>Consommation électrique totale des bâtiments suivis</b>	<b>53</b>
4.3.1	Etude de la consommation électrique totale	53
4.3.2	Part de la bureautique et de l'éclairage	55
4.3.3	Comparaison avec les bâtiments performants	56
<b>CHAPITRE 5 : GISEMENTS D'ECONOMIES D'ELECTRICITE - INFORMATIQUE</b>		<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>Réduction de la consommation des équipements existants</b>	<b>58</b>
5.1.1	Utilisation d'une barrette multiprise	58
5.1.2	Utilisation d'une horloge pour les équipements de bureautique	59
5.1.3	Arrêt manuel des ordinateurs	60
5.1.4	Activation des gestionnaires de veilles	60
5.1.5	Cas des serveurs	64
<b>5.2</b>	<b>Utilisation d'équipements performants</b>	<b>65</b>
5.2.1	Ecrans plats	65
5.2.2	Stations d'accueil	66
5.2.3	Ordinateurs Portables	67
5.2.4	L'aide au choix d'équipements performants : la base européenne Energy Star	68
<b>5.3</b>	<b>Réduction maximale de consommation possible</b>	<b>71</b>
5.3.1	Les ordinateurs	71
<b>5.4</b>	<b>Réduction de la puissance au moment des pointes régionales</b>	<b>73</b>
5.4.1	Les ordinateurs	73
5.4.2	Les appareils de bureautique	73
<b>CHAPITRE 6 : GISEMENTS D'ECONOMIES D'ELECTRICITE - ECLAIRAGE</b>		<b>75</b>
<b>6.1</b>	<b>Solution de réduction des consommations d'éclairage des installations neuves</b>	<b>75</b>
6.1.1	Choisir des équipements performants	75
6.1.2	Réduire la puissance installée	76
6.1.3	Installer des commandes automatiques	77
<b>6.2</b>	<b>Réduction des consommations d'éclairage des installations existantes</b>	<b>78</b>
6.2.1	Les ampoules halogènes	78
6.2.2	Les ampoules à incandescence	82
6.2.3	Les tubes fluorescents	84

---

<b>6.3</b>	<b>Intérêt des solutions dans les différents types de pièces suivies</b>	<b>88</b>
6.3.1	Les pièces de bureaux	88
6.3.2	Les circulations	88
6.3.3	Les locaux communs	89
6.3.4	Les sanitaires	90
<b>6.4</b>	<b>Réduction de puissance au moment des pointes régionales</b>	<b>90</b>
6.4.1	Réduction de puissance envisageable	90
<b>CHAPITRE 7 : PLAN D’ACTIONS</b>		<b>92</b>
<b>7.1</b>	<b>Action 1 : GUIDER LES ENTREPRISES AU MOMENT DE L’ACHAT</b>	<b>92</b>
7.1.1	Faire la promotion des outils existants (bureautique)	92
7.1.2	Former les professionnels à la vente de matériel performant	92
7.1.3	Elaborer et tester des modèles de fiches d’appels d’offres	93
<b>7.2</b>	<b>Action 2 : AGIR SUR LE STOCK DE MATERIELS EXISTANTS</b>	<b>93</b>
7.2.1	Incitation à l’activation du gestionnaire d’énergie de l’écran	93
7.2.2	Etude préalable à l’activation du gestionnaire d’énergie de l’unité centrale	95
7.2.3	Conception d’une horloge pour appareils de bureautique	95
7.2.4	Lancement d’une opération de « performance contracting » sur l’éclairage	96
<b>7.3</b>	<b>Action 3 : EVALUER ET AFFICHER LES RESULTATS OBTENUS</b>	<b>97</b>

**INTRODUCTION**

Lancé il y a près de 2 ans, le Plan Eco-Energie vise à garantir l'alimentation électrique de la Région Provence Alpes Côte d'Azur sans avoir recours à la construction d'une nouvelle ligne haute tension. Les actions menées jusqu'à présent ont touché les particuliers, les collectivités (territoriales et locales) et l'hôtellerie. Le secteur tertiaire qui représente 16% de la consommation régionale d'énergie<sup>1</sup>, et plus particulièrement les bureaux qui couvrent 25%<sup>2</sup> de la surface tertiaire n'ont pas encore fait l'objet d'actions particulières.

Or, les bureaux doivent être considérés comme une cible prioritaire car ils ont une responsabilité dans la pointe de consommation d'été. En effet, la climatisation appelle alors 40% de la puissance régionale aux moments les plus critiques. Or, les bureaux sont, de façon logique du fait d'apports internes importants, le secteur où la climatisation est la plus implantée. Agir sur les charges électriques, principalement l'éclairage et les équipements de technologies de l'information, présente le double intérêt de réduire la consommation propre de ces usages mais aussi celle de la climatisation. Quand on sait que le coefficient de performance des installations de climatisation dépasse rarement deux, on comprend l'enjeu d'une action tournée vers ces usages. Par exemple, si on parvient à diviser par deux la consommation estivale d'un usage, on réalise, en été, une économie totale de 75% en tenant compte de l'impact sur la climatisation.

Ce secteur, dont le gisement d'économies d'énergie semble important, est très mal connu. Il n'existe que peu d'études à ce sujet. La plupart sont essentiellement fondées sur des estimations, non sur des valeurs mesurées et ont été réalisées il y a déjà plusieurs années. Or les équipements évoluent vite, notamment les matériels liés aux technologies de l'information. Il apparaissent donc indispensables de conduire une campagne de mesures approfondie pour mieux comprendre ce secteur. Une enquête préliminaire à cette campagne de mesures a été conduite au cours de l'été 2003. Elle a permis de définir avec précision les parcs d'appareils présents dans les bureaux et de mieux cerner le niveau d'information et les attentes des acteurs de ce secteur.

La présente étude, fondée sur une importante campagne de mesures, vise à préciser le mode d'utilisation des équipements recensés lors de la première phase de ce travail. Connaître le fonctionnement précis des appareils est indispensable pour imaginer les solutions à mettre en œuvre en vue de réduire les consommations d'électricité et pouvoir juger de leur intérêt. Cela permet de faire apparaître les mesures les plus rentables pour la collectivité et donc d'orienter ses choix en matière d'actions à engager. Une campagne de mesures permet aussi de découvrir des gisements d'économies gratuits, fruits de dysfonctionnements indétectables par un autre moyen.

A l'heure où le parc informatique subit une augmentation constante et où de nouveaux équipements ne cessent d'apparaître dans les bureaux, il semble primordial de maîtriser ce développement et d'employer, voire de créer, des fonctionnalités qui permettent de limiter la consommation de chaque équipement. Il en est de même pour l'éclairage. Alors que la tendance est à l'accroissement du niveau d'éclairage imposé par les normes, il est temps de

---

<sup>1</sup> Données INESTENE, Schéma de Service Collectif de l'Energie 1990/2020, DRIRE

<sup>2</sup> Données BIPE

prendre en compte les changements imposés par l'usage des ordinateurs dans les bureaux, à savoir qu'un faible niveau d'éclairage est plus confortable et même recommandé par la Médecine du travail. D'ailleurs les salariés se plaignent de ce sur-éclairage qui les fatigue. Le bon dimensionnement des installations ainsi que l'utilisation de matériels performants devraient devenir la norme dans les constructions neuves.

## CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

### 1.1 OBJET DE L'ETUDE

#### 1.1.1 Le plan Eco-Energie

Grande consommatrice d'électricité, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ne produit que 50% de l'électricité qu'elle utilise. Cette situation devient très préoccupante notamment lors des fréquents pics de consommation. On observe en hiver vers 19 heures une saturation presque quotidienne principalement due à l'éclairage et au chauffage, et en été une pointe de puissance vers 13 heures, induite à 40% par la climatisation.

La partie Est de la région (Alpes-Maritimes, Est du Var et Alpes-de-Haute-Provence), est alimentée à partir du poste de production de Tavel (Nord-Ouest d'Avignon), via un axe Sud qui va jusqu'à Broc-Carros (près de Nice) et un axe Nord qui s'arrête à Boutre (près de Manosque) ainsi que par une ligne de moindre capacité de transit (225 kV) reliant Boutre à Broc-Carros.

Des études ont montré que la sécurité de l'alimentation électrique régionale ne serait plus garantie dans un avenir proche. Une décision interministérielle a donc été rendue le 5 juillet 2000 pour faire face à cette incertitude majeure. L'Etat a décidé de remplacer la ligne électrique en 225 kV entre **Boutre et Carros** par une ligne 400 kV sur le même tracé et de mettre en œuvre parallèlement un programme de Maîtrise de la Demande d'Electricité et de Développement des Energies Renouvelables. Ce projet porte le nom de Plan Éco-Énergie.

Co-piloté par le Préfet des Alpes-Maritimes et le Président du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec l'appui de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), d'EDF (Electricité de France) et de la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement), le Plan Éco-Énergie réunit également les partenaires suivants : services départementaux déconcentrés de l'Etat, départements et associations des maires concernés, organismes consulaires, RTE (Réseau de Transport d'Electricité), GDF (Gaz de France), associations de protection de l'environnement, organisations professionnelles.

#### 1.1.2 Les actions prioritaires

Les actions prioritaires sur la période 2002-2004 ont été les suivantes :

- 1- Communication et sensibilisation du grand public à la MDE
- 2- Formation des professionnels
- 3- Eclairage performant en résidentiel et tertiaire
- 4- Extension des démarches MDE dans les HLM
- 5- Exemplarité des institutionnels : MDE dans les collectivités locales

### **1.1.3 L'éclairage et la bureautique dans les bureaux**

On a vu que la climatisation était un des usages prépondérants dans la pointe de consommation d'été. Or nous avons montré dans une étude réalisée en 2002 [1] que 40% de la charge de climatisation s'expliquait par les apports internes. Réduire ces apports présente le double avantage de diminuer à la fois leur consommation électrique directe et celle de la climatisation.

Les usages éclairage et bureautique représentent l'essentiel de ces apports (à l'exception bien-sûr de la chaleur dégagée par les occupants) et ils sont très mal connus. Il est donc indispensable de déterminer précisément leur mode de fonctionnement afin de pouvoir proposer des solutions de réductions de consommation électrique. Le comité de pilotage du plan éco-énergie a par conséquent décidé d'organiser une vaste campagne de mesures sur 50 bâtiments de bureaux situés à Draguignan et Sophia Antipolis afin de mettre en œuvre une stratégie efficace de réduction de la consommation des bureaux.

### **1.1.4 L'enquête préliminaire**

La première étape du travail a été réalisée au cours de l'été 2003 et a consisté en une enquête de terrain [2] qui a permis de préciser les équipements de bureautique et d'éclairage présents dans les bureaux. Enertech, chargée de cette enquête, a également conduit des entretiens avec différents personnels des entreprises visitées (dirigeants, technicien de maintenance, informaticien) afin de mieux appréhender les connaissances et la perception de ces acteurs majeurs vis à vis de la problématique posée par le plan éco-énergie.

## **1.2 METROLOGIE MISE EN ŒUVRE**

### **1.2.1 Bilan des matériels instrumentés**

L'enquête préliminaire portait sur 50 bâtiments de bureaux. De façon logique, la campagne de mesures s'est déroulée dans les mêmes établissements. Cependant, on ne dénombre plus que 49 entreprises car l'une d'entre elles a fait faillite avant le début de la campagne de mesures. Le tableau de la figure 1.1 précise le nombre de mesureurs posés dans chaque entreprise. Au total ce sont plus de 300 ordinateurs (écrans et unités centrales), 300 équipements périphériques et 1000 foyers lumineux qui ont été instrumentés.

## Chapitre 1 : Description de la campagne de mesures

Site	Nombre d'ordinateurs instrumentés	Nombre d'appareils de bureautique instrumentés	Nombre de luminaires instrumentés
401001	6	6	21
401002	11	11	32
401003	3	3	15
401004	4	5	17
401005	2	7	15
401007	2	5	11
401008	11	10	27
401009	10	6	23
401010	7	7	26
401011	3	4	12
401012	4	5	11
401013	3	5	14
401014	3	7	9
401015	5	4	16
401016	5	5	9
401017	4	5	11
401018	3	7	8
402001	5	6	21
402002	10	12	35
402003	5	2	17
402004	2	5	9
402005	9	10	36
402006	8	8	27
402007	10	8	32
402008	10	8	37
402009	14	13	35
402010	10	9	34
402011	5	5	20
402012	4	5	23
402013	10	13	29
402014	11	9	34
402015	3	3	12
402016	4	4	21
402017	2	4	11
402018	8	8	14
402019	11	9	35
402020	6	6	29
402021	10	13	36
402022	13	11	34
402023	12	9	38
402024	4	4	11
402025	4	4	12
402026	3	6	17
402027	4	6	14
402028	4	3	20
402029	3	5	11
402030	6	7	31
402031	12	12	35
402032	4	5	3
<b>TOTAL</b>	<b>312</b>	<b>332</b>	<b>1050</b>

*Figure 1.1 : Liste des ordinateurs, équipements de bureautique et foyers lumineux suivis*

### 1.2.2 Mode opératoire

Les foyers lumineux ont été suivis pendant plus de six mois du 21 décembre au 21 juin, période choisie parce qu'elle est symétrique de la période annuelle complémentaire, du point de vue de la durée du jour et de l'éclairage. Ce suivi était nécessaire afin de mieux appréhender l'influence de la saisonnalité sur les consommations. Dans la même période de six mois, les équipements de bureautique ont été instrumentés dans un quart de l'échantillon durant environ un mois chacun, au moyen de campagnes tournantes. En effet, toutes les six semaines, les mesureurs installés étaient vidés des données qu'ils contenaient puis reposés dans 12 ou 13 autres bâtiments de bureaux. Cette opération a été répétée 3 fois. Au mois de juin 2004 a eu lieu la désinstrumentation définitive des lampemètres et du matériel de mesures encore en place sur les appareils informatiques.

La campagne de mesures a donc duré au total plus de 6 mois et le travail de pose et de dépose des mesureurs a pris au total près de 6 semaines.

### 1.2.3 Difficultés rencontrées

Comme cela est fréquent dans les opérations de terrain, une série de difficultés ont été rencontrées au cours de la campagne de mesures. La pose de mesureurs sur les ordinateurs a été la plus délicate. Dans les cas suivants l'installation du matériel a été impossible :

Problèmes rencontrés	Détails
Souris et/ou clavier USB	Mesureur ne fonctionne que sur des ports PS2
Ecran et/ou unité centrale directement branchés sur un onduleur	Problème de prise : le mesureur se branche entre la prise secteur et l'appareil à suivre
Prise de courant inaccessible (plancher technique)	
Utilisateur pressé	
Utilisateur absent	Nécessité d'un mot de passe pour arrêter l'ordinateur
Utilisateur méfiant	Débranche les mesureurs après leur installation
Changement d'équipement au cours de la campagne sans rebranchement du mesureur	
Matériel de mesures débranché par personne du service informatique/ entretien non au courant de la campagne de mesures	

*Figure 1.2 : Résumé des problèmes rencontrés*

### 1.2.4 Description des appareils de mesures

L'instrumentation des points lumineux, des ordinateurs, des appareils de bureautique et du comptage général a été effectuée grâce à 5 types de mesureurs autonomes: le

lampemètre, le wattmètre, le « Pcmètre », le lecteur optique et les pinces ampèremétriques associées à un wattmètre.

#### *1.2.4.1 Le Lampemètre*

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampemètres.

Le lampemètre est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils ce qui permet un montage très rapide sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné. Entièrement autonome, il peut être laissé en place plusieurs années selon la fréquence de mémorisation de données choisie. A la fin de la période de mesures les données mémorisées sont transmises à un ordinateur pour l'analyse.



*Figure 1.3 : Photographie d'un lampemètre*

Seules les durées de fonctionnement sont enregistrées. Il est donc nécessaire, lors de la pose, de mesurer par ailleurs la puissance des appareils d'éclairage (supposée constante sur toute la durée de mesure). On multipliera ces puissances par les durées enregistrées afin de connaître les consommations d'énergie.

Le lampemètre permet une analyse très fine des consommations d'éclairage en fonction du temps.

Rappelons que la durée significative pour la mesure de l'éclairage doit être obligatoirement de **6 mois**, (du 21 juin au 21 décembre ou du 21 décembre au 21 juin). Cette période permet une symétrisation de l'année par rapport à la lumière. On a ainsi une bonne image des consommations annuelles et de leur saisonnalité.

#### *1.2.4.2 Le Wattmètre*

La mesure de la puissance et de la consommation des appareils de bureautique (écrans et unités centrales compris) est réalisée grâce aux wattmètres.

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 dispose de prises mâle et femelle 16A. Il

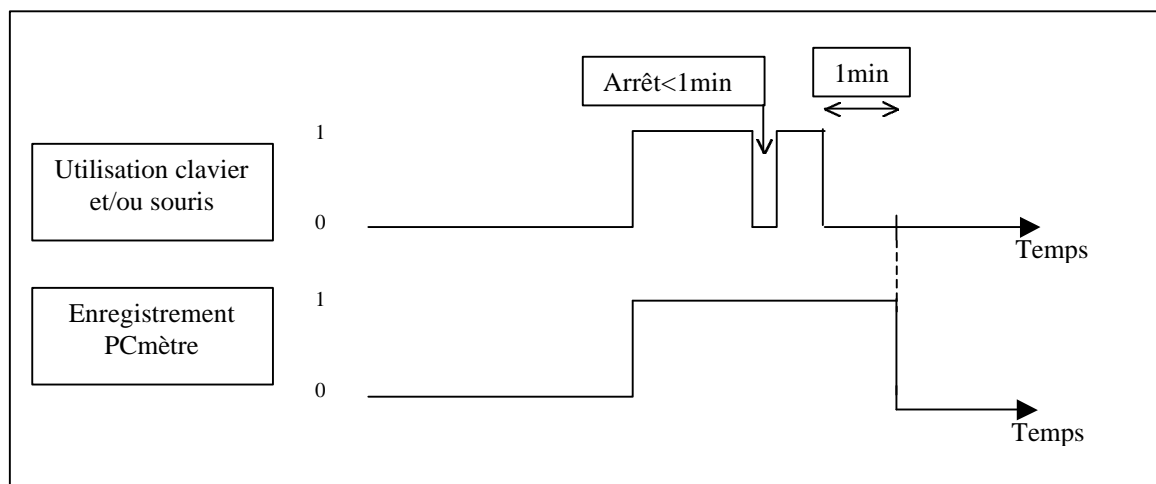
mesure l'énergie avec un pas de temps de 10 minutes. Il est muni d'une mémoire permettant d'enregistrer les données pendant plus d'une année.



*Figure 1.4 : Photographie d'un wattmètre*

#### 1.2.4.3 Le PCmètre

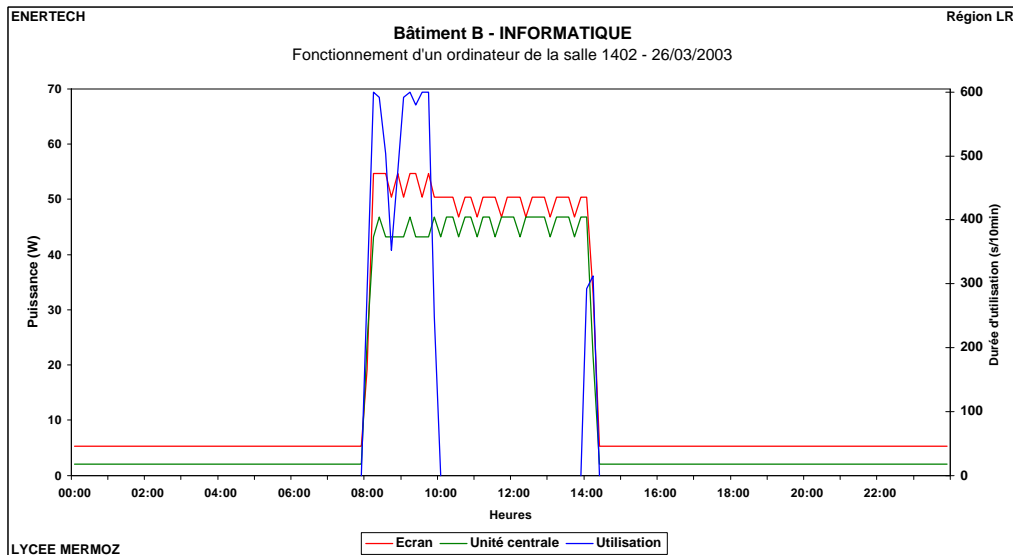
Le PCmètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites que l'on relie à la souris et au clavier d'un ordinateur. Il enregistre les séquences d'utilisation (clavier ou souris) du PC suivi. Ce mesureur permet de connaître avec précision les durées d'utilisation réelles d'un ordinateur. En effet, il enregistre la date et l'heure de début d'utilisation puis clôt l'événement lorsque la souris et le clavier ne sont pas utilisés pendant plus d'une minute. Ce délai est réglable mais des essais ont montré qu'une minute était la configuration optimale car un délai plus court entraîne un nombre d'événements trop important. Ce mode d'enregistrement est décrit sur la figure 1.5.



*Figure 1.5 : Description du mode d'enregistrement du PCmètre*

Grâce aux Pcmètres et aux Wattmètres, nous connaissons la durée d'utilisation (clavier et souris) ainsi que la durée de fonctionnement des écrans et unités centrales. Le graphique de la figure 1.6 donne un exemple des résultats obtenus. On observe tout d'abord que l'écran et l'unité centrale consomment de l'énergie quand ils sont arrêtés (5,3W pour

l'écran et 2,0W pour l'unité centrale). A 8 heures, l'ordinateur est allumé par l'utilisateur. Il est ensuite utilisé jusqu'à 10 heures puis ne l'est plus jusqu'à 14 heures. Cependant, à la fois l'unité centrale et l'écran restent en marche pendant cette période de non utilisation. A 14 heures, l'ordinateur est arrêté. On aurait donc pu économiser l'énergie consommée par l'ordinateur entre 10 et 14 heures (période de non utilisation).



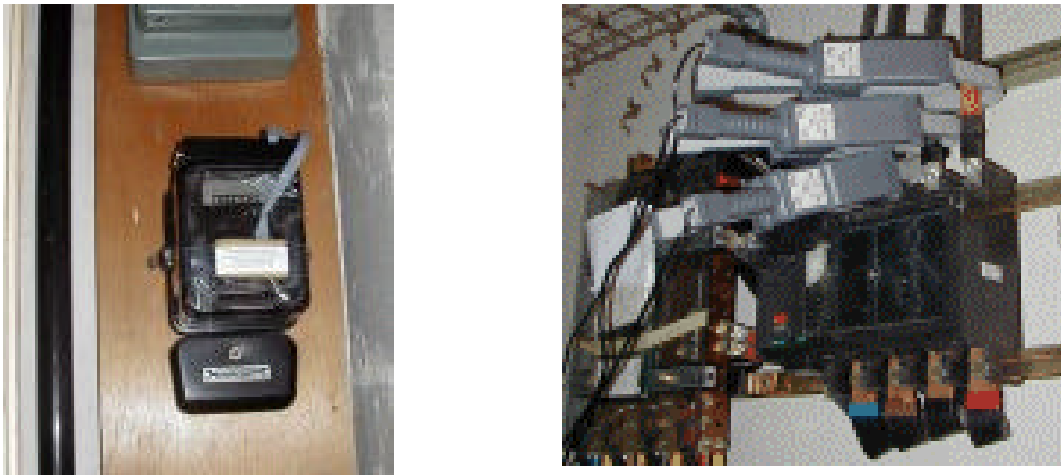
*Figure 1.6 : Mise en évidence des différents états de fonctionnement d'un ordinateur*

#### *1.2.4.4 Mesure du comptage général.*

Deux mesureurs différents sont utilisés pour suivre le compteur général de chaque entreprise :

- Si on suit directement la consommation sur le compteur EDF grâce à un **lecteur optique**, ce capteur optique compte les tours ou les impulsions lumineuses (flash) et mémorise la consommation.
- Si on suit les trois phases, des compteurs électroniques associés à des pinces ampèremétriques assurent la mesure de la puissance active. Les pinces ampèremétriques sont associées à un compteur électronique autonome à mémoire qui enregistre la consommation au pas de temps de 10 minutes. Ce dispositif de type « datalogger » stocke les informations sur place jusqu'à la fin de la campagne de mesure.

Ces enregistreurs fonctionnent sur pile et sont totalement autonome. Leur mémoire permet par ailleurs de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an.



*Figure 1.7 : Compteur électromécanique équipé d'un lecteur optique (gauche) et pinces ampèremétriques pour le suivi des 3 phases (droite)*

### 1.3 TRAITEMENT DES DONNEES

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

#### 1.3.1 Définition

On définit les termes suivants qui seront utilisés dans ce rapport :

**Jours ouvrés** : il s'agit du nombre réglementaire de jours de travail dans une année, soit 225 jours. La durée quotidienne de temps de travail est de 7 heures. On considère donc qu'il y a 1575 heures travaillées par an.

**Jours ouvrables** : il s'agit de tous les jours où un lieu de travail est susceptible d'être occupé, c'est à dire toute l'année sauf les samedis, dimanches et jours fériés. Il y a 254 jours ouvrables pour l'année prise en compte dans cette étude.

#### 1.3.2 Méthode d'annualisation des consommations des appareils informatiques

Pour annualiser les consommations des appareils informatiques, on a considéré que ces équipements étaient utilisés de la même façon toute l'année. On a calculé les profils de consommation pour chaque appareil et chaque jour type (lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi, dimanche et jour de vacances). On a ensuite multiplié les profils par le nombre de jours types d'une année pour obtenir la consommation annuelle.

Le coût afférent à l'appareil suivi a aussi été calculé à partir des profils correspondant aux jours types. Pour ce calcul, on a bien-sûr tenu compte de la nature de l'abonnement dont disposait le client (bleu, jaune, vert).

### 1.3.3 Méthode d'annualisation des consommations d'éclairage

#### 1.3.3.1 Evolution de la durée d'éclairage en fonction du jour de la semaine

Le graphique de la figure 1.8 représente la durée moyenne de fonctionnement quotidien mesurée par l'ensemble des lampemètres de l'échantillon. Il se dégage deux types de jour :

- *Jour de semaine* : du lundi au vendredi la durée de fonctionnement est pratiquement constante. On note cependant une légère diminution du temps de marche des luminaires les mercredis et vendredis qui est probablement le fruit des RTTs. Traditionnellement, un certain nombre de personnes ne travaillaient pas le mercredi (notamment des femmes) mais, depuis l'entrée en vigueur de la réduction du temps de travail, il semble que le vendredi soit aussi souvent chômé.
- *Jour de week-end* : la durée de fonctionnement de l'éclairage n'est pas nulle le week-end, elle vaut plus de 10% de la durée de fonctionnement moyenne d'un jour de semaine. Elle est équivalente le samedi et le dimanche.

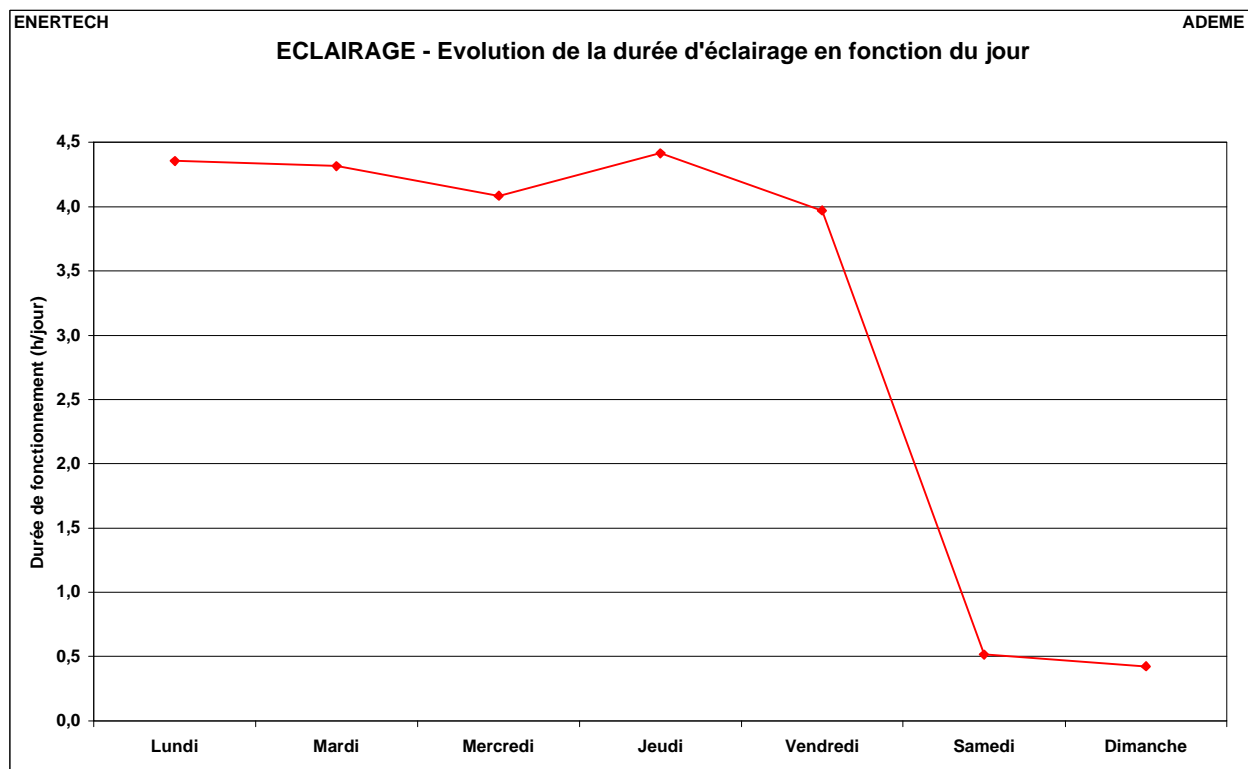
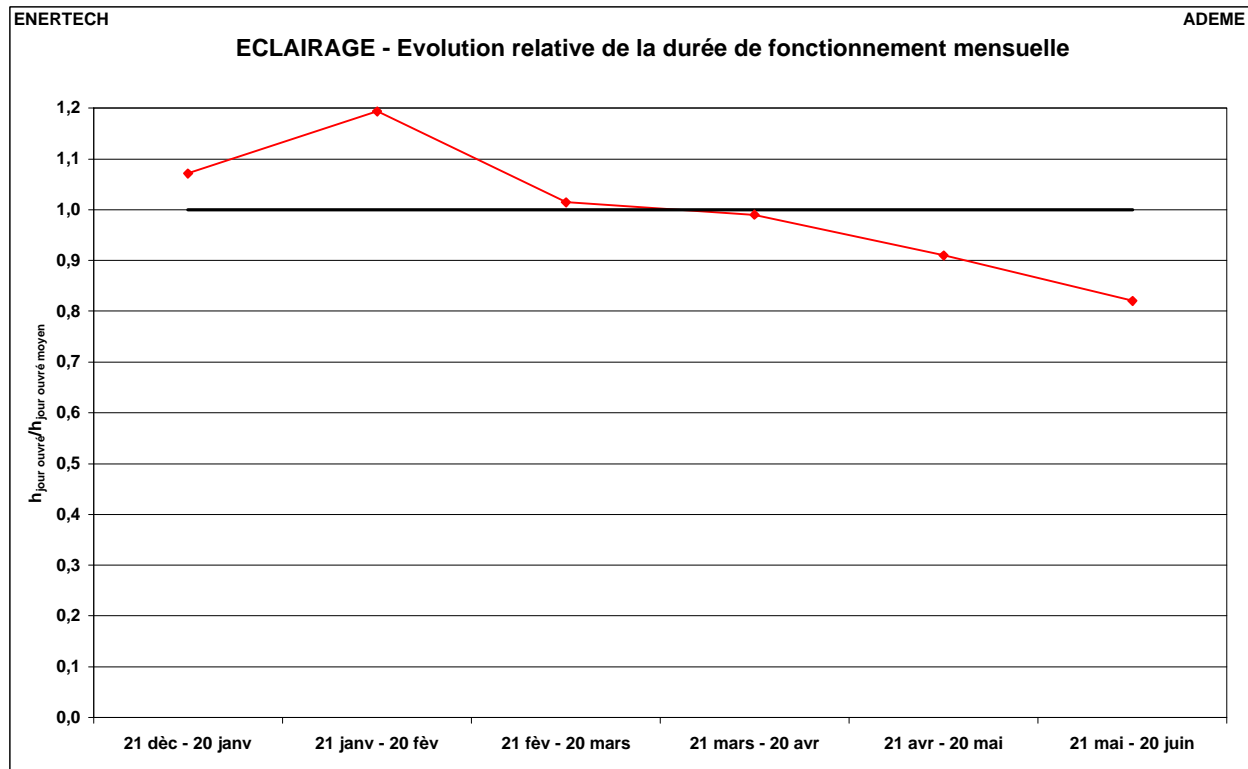


Figure 1.8 : Evolution de la durée d'éclairage en fonction du jour de la semaine

#### 1.3.3.2 Evolution de la consommation en fonction du mois

Contrairement, à l'usage bureautique, la durée de fonctionnement de l'éclairage, comme on le voit sur le graphique de la figure 1.9, varie au cours de l'année. Entre le 21 décembre 2003 et le 21 juin 2004, cette évolution a pratiquement un profil de droite décroissante, à l'exception du premier et du troisième mois. Le temps moyen de marche est

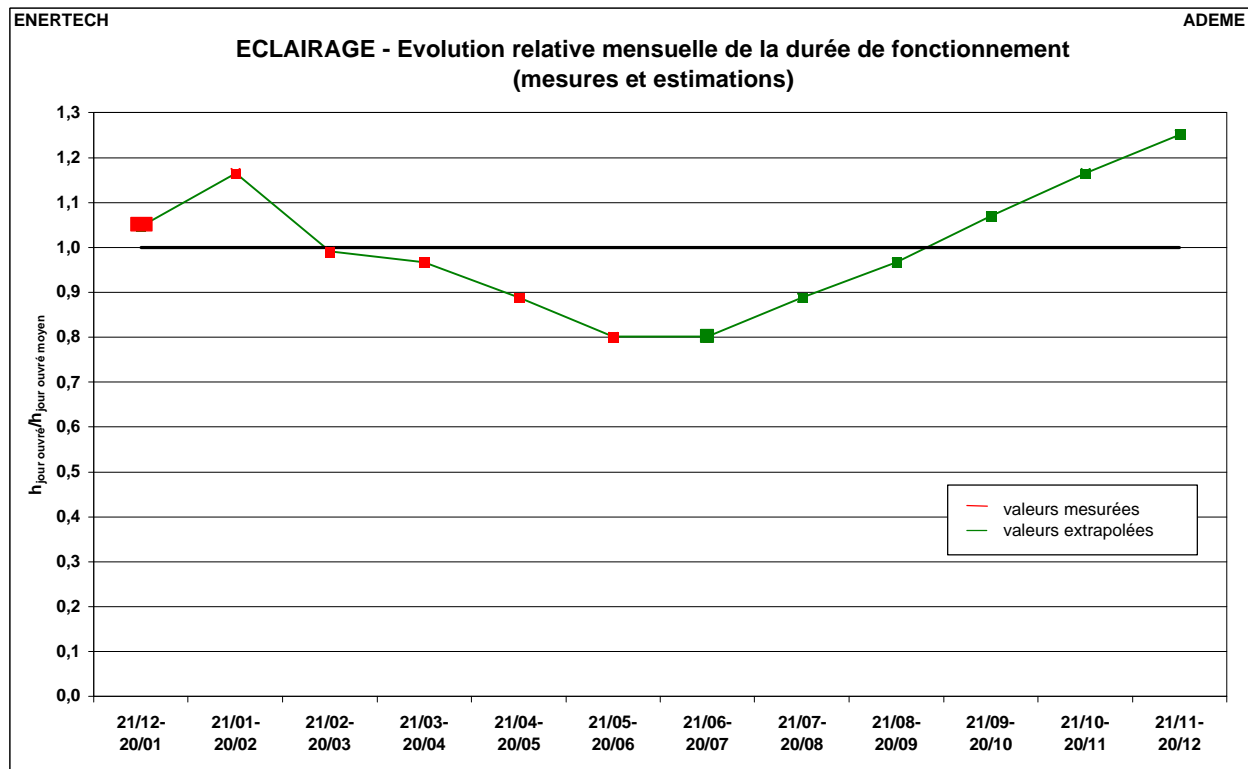
inférieur au cours de ces deux périodes car elles comportent des vacances scolaires. Les employés sont donc absents. Ce phénomène est plus marqué en décembre qu'en février.



**Figure 1.9 : Evolution relative mensuelle de la durée de fonctionnement de l'éclairage**

La saisonnalité dans les bureaux est beaucoup moins marquée que dans l'habitat, ce qui est logique dans la mesure où, contrairement au cas de l'habitat, l'essentiel de l'occupation des bureaux a lieu au cours des heures de jour

Pour calculer le temps moyen de fonctionnement des luminaires suivis, il est nécessaire de connaître la courbe d'évolution de la durée de marche sur toute l'année. La campagne de mesures a eu lieu entre le 21 décembre et le 21 juin pour permettre une symétrisation de l'année par rapport à la lumière. Le graphique de la figure 1.10 représente le profil obtenu en faisant l'hypothèse de cette symétrie centrée sur le 21 juin. Les périodes 21/09-20/10 et 21/11-20/11 ne sont pas les symétriques exacts des mois 21/02-20/03 et 21/12-20/01 car on a gommé l'influence des vacances.



**Figure 1.10: Evolution relative mensuelle de la durée de fonctionnement de l'éclairage (mesures et estimations)**

### 1.3.3.3 Méthode d'annualisation de la durée d'éclairage

Pour reconstituer, la durée de fonctionnement annuel nous avons tenu compte des variations en fonction des jours de la semaine et de la période de l'année. La méthode est la suivante :

- Nous avons défini trois types de jours : jour de semaine (lundi au vendredi), jour de week-end (samedi et dimanche) et jours fériés.
- Pour chacun de ces jours types, à partir des données à 10 minutes, nous avons calculé la courbe de fonctionnement moyen au pas de temps de l'heure pour chaque mois de la période de mesures (21 décembre-20 janvier, 21 janvier-20 février...).
- A l'aide du profil annuel de variation de la durée de fonctionnement (figure 1.9), on calcule la courbe de fonctionnement moyen au pas de temps de l'heure pour les mois pour lesquels on ne possède pas de mesures.
- Pour chaque jour de l'année, on connaît alors le profil de fonctionnement, on peut donc calculer la durée annuelle d'utilisation du luminaire considéré.

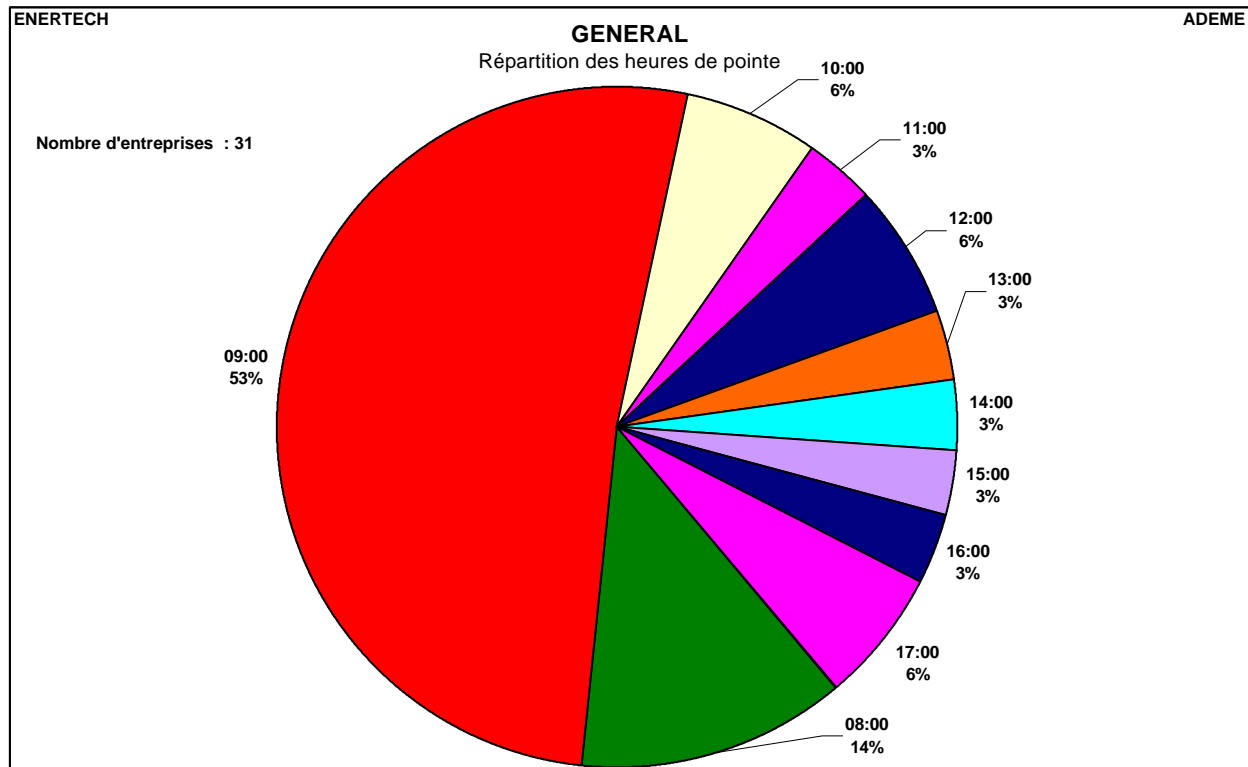
*NB : dans certains cas, nous ne possédons pas de données pour l'ensemble de la période de mesures (ampoule grillée, mesureur enlevé en cours de campagne de mesures...). Dans ce cas, nous avons utilisé la courbe de la figure 1.9 pour reconstituer les données manquantes.*

## 1.3.4 Calcul du coût d'abonnement

Dans près des deux tiers des entreprises (31) nous avons pu suivre le compteur général au pas de temps de dix minutes pendant plus d'un mois. Il est alors possible de connaître à

quelle heure a lieu la pointe de consommation. Pour ce faire on a considéré l'heure qui revenait le plus souvent dans les 10 consommations à dix minutes les plus élevées. Cette méthode n'est pas tout à fait exacte dans la mesure où elle ne tient pas compte de la saisonnalité. Cependant elle est suffisante pour avoir une idée du moment de la journée où la puissance appelée par les entreprises est maximum.

Comme on le voit sur le graphique de la figure 1.11, dans plus de la moitié des entreprises, la pointe a lieu entre 9 et 10 heures et dans près des trois quarts des cas, elle a lieu le matin. La pointe des entreprises ne correspond donc pas à celle que l'on observe au niveau de la Région (13 heures en été et 19 heures en hiver).



*Figure 1.11 : Répartition de l'occurrence des heures de pointes dans les entreprises de l'échantillon*

Lorsque nous n'avons aucune information sur l'heure de pointe d'un établissement ou quand la pointe de consommation se situe en dehors du créneau horaire 9 à 11 heures (période de pointe prise en compte par EDF pour le calcul du montant d'abonnement en tarifs jaune et vert), on a considéré qu'elle avait lieu entre 9 et 10 heures comme dans plus de la moitié des autres entreprises du panel.

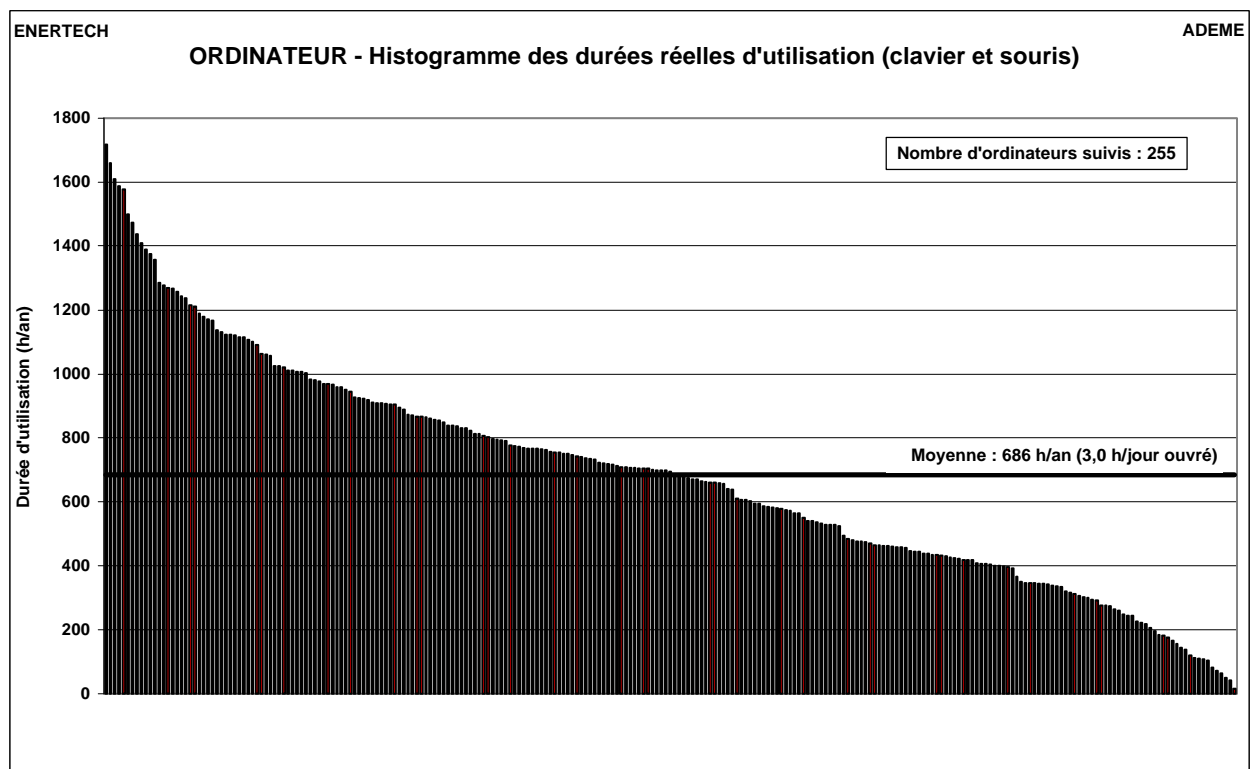
Connaissant l'heure de pointe, le profil d'appel de puissance au cours des jours ouvrés de l'appareil et la nature de l'abonnement, on peut déduire le montant de l'abonnement qui lui est propre. Cette méthode ne fonctionne que pour les tarifs jaunes et verts. Dans le cas des tarifs bleus pour lesquels l'abonnement n'est pas ajusté à la puissance maximum appelée, on n'a pas considéré de coût d'abonnement.

## CHAPITRE 2 : ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT - INFORMATIQUE

### 2.1 LES ORDINATEURS

#### 2.1.1 Durée d'utilisation des ordinateurs

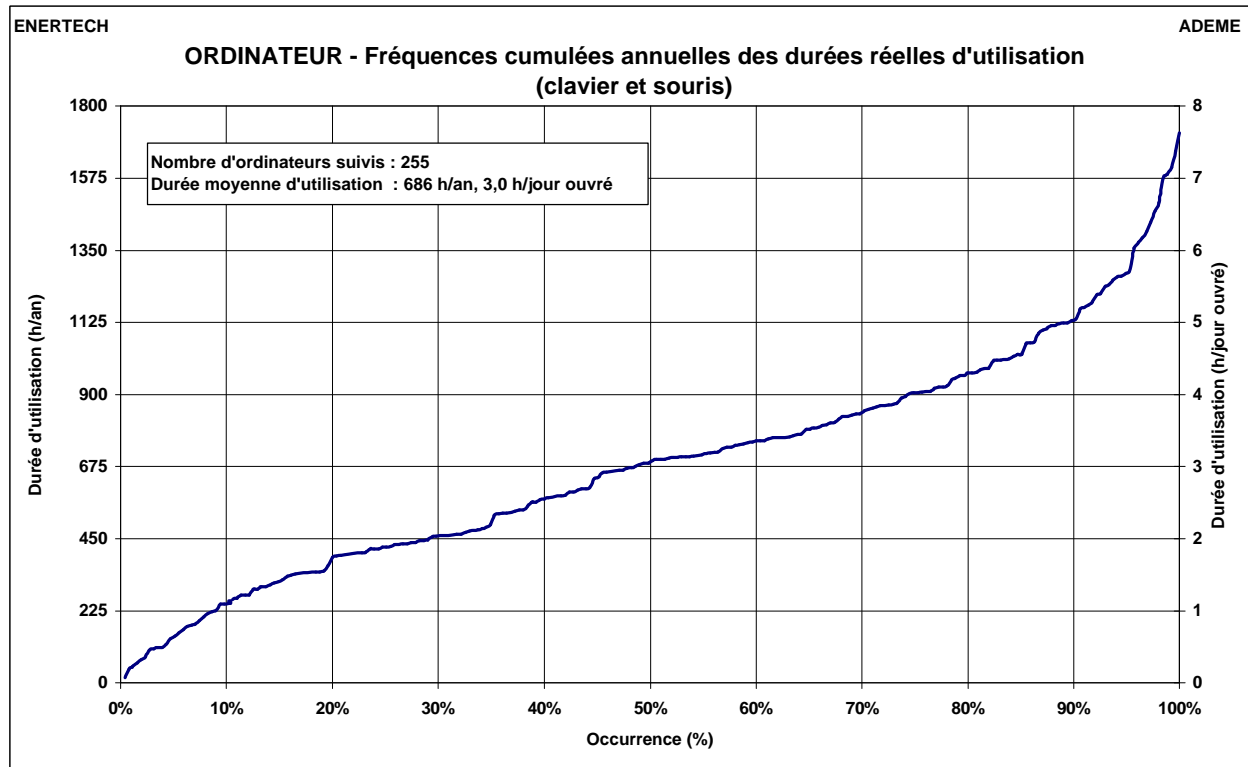
Grâce au Pcmètre on a pu suivre avec précision l'utilisation qui était faite des ordinateurs dont on suivait par ailleurs la consommation. Les résultats sont étonnants : en moyenne, **un ordinateur n'est réellement utilisé que 3 heures par jour ouvré !**



*Figure 2.1 : Histogramme des durées d'utilisation (clavier et souris) des ordinateurs*

La durée d'utilisation varie entre 4 minutes et 7,6 heures par jour ouvré, soit une plage de 1 à 115. Il faut cependant noter qu'on entend ici par utilisation, l'emploi du clavier et de la souris. Ce temps n'inclut par exemple pas le temps où l'utilisateur lit des informations sur l'écran, si cette lecture dure plus d'une minute, sans bouger la souris ni toucher le clavier, ce qui doit assurément être très rare.

Le graphique de la figure 2.2 représente les fréquences cumulées d'utilisation des ordinateurs. On observe que seul un quart des ordinateurs est utilisé plus de quatre heures par jour ouvré ou bien que pour la moitié des machines, cette durée est inférieure à 3 heures par jour ou enfin que seulement 10% des ordinateurs sont utilisés plus de 5 heures par jour.



**Figure 2.2 : Fréquences cumulées des durées d'utilisation des ordinateurs**

Au moment où nous écrivons ce rapport, nous venons de prendre connaissance d'une étude réalisée par la société Microcost. Cette société a installé pendant un mois sur 1 300 000 ordinateurs un « Agent de mesure intelligent » qui permet d'obtenir de nombreuses informations sur le mode d'utilisation des ordinateurs. On apprend notamment que la durée moyenne d'utilisation d'un ordinateur dans le secteur du service (banque, assurance, conseil...) est de 3,01 heures, ce qui est donc rigoureusement identique à la valeur trouvée dans cette étude. Le rapport détaillant les résultats obtenus est disponible à l'adresse <http://www.microcost.com/>.

## 2.1.2 Les écrans

### 2.1.2.1 Remarques préliminaires

*Afin de ne pas alourdir le texte, on ne reprend ici que les résultats principaux. L'analyse détaillée qui conduit à ces conclusions se trouve dans l'annexe 1.*

On précise tout d'abord quelques définitions qui sont valables à la fois pour les écrans et les unités centrales :

- *arrêt sans consommation* : l'équipement informatique est arrêté et débranché ou son alimentation est coupée par un interrupteur extérieur à la machine. Il ne consomme pas d'énergie
- *Arrêt avec consommation de veille* : l'équipement a été arrêté (par le bouton on/off en façade) mais son alimentation n'est pas interrompue, le transformateur reste alimenté et consomme donc de l'énergie.

- *Marche avec utilisation* : l'équipement est allumé et l'utilisateur l'utilise
- *Marche sans utilisation* : l'équipement est allumé et l'utilisateur ne s'en sert pas
- *Marche en veille* : l'équipement est allumé et le gestionnaire d'énergie est activé. Le gestionnaire d'énergie est un dispositif permettant, après un délai de non utilisation fixé par l'utilisateur, de placer automatiquement un équipement en mode veille, ce qui permet une réduction très importante de la consommation. Le gestionnaire d'énergie le plus répandu est Energy Star. Il est installé sur toutes les machines vendues depuis 1999. Ce dispositif ne doit pas être confondu avec les « économiseurs d'écran » dont l'objet est d'éviter la présence d'une image fixe sur un écran afin d'empêcher la dégradation de la couche de phosphore. Un économiseur d'écran n'économise pas d'énergie, il peut même en consommer plus.

### **2.1.2.2 Définition des types d'écran disponibles**

Actuellement deux technologies d'écran sont disponibles à la vente et une troisième, très prometteuse est en phase de développement.

#### *2.1.2.2.1 Les écrans cathodiques*

Les écrans cathodiques ou CRT (photographie de la figure 2.3) – Cathode Ray Tube, en français « tube à rayonnement cathodique » – sont munis d'un tube cathodique, c'est à dire un tube en verre sous vide dans lequel un canon émet un flux d'électrons dirigés par un champ électrique vers un écran couvert de petits éléments phosphorescents.



**Figure 2.3 : Ecran CRT**

Il s'agit des écrans les plus souvent rencontrés actuellement et les moins chers. Un écran 17" cathodique coûte environ 130 € H.T.

#### *2.1.2.2.2 Les écrans plats*

Les moniteurs plats ou LCD (photographie de la figure 2.4) - Liquid Crystal Display, en français « écran à cristaux liquides » - sont composés de deux plaques parallèles rainurées transparentes, orientées à 90°, entre lesquelles est emprisonnée une fine couche de liquide contenant des molécules (cristaux liquides) qui ont la propriété de s'orienter lorsqu'elles sont soumises à du courant électrique.

L'usage des écrans plats se généralise rapidement, notamment parce que leur facteur d'encombrement et leur poids sont très inférieurs à ceux des écrans cathodiques traditionnels. De plus les technologies utilisées dans les écrans plats sont moins consommatrices d'énergie et n'émettent pas de rayonnement électromagnétique.



**Figure 2.4 : Ecran LCD**

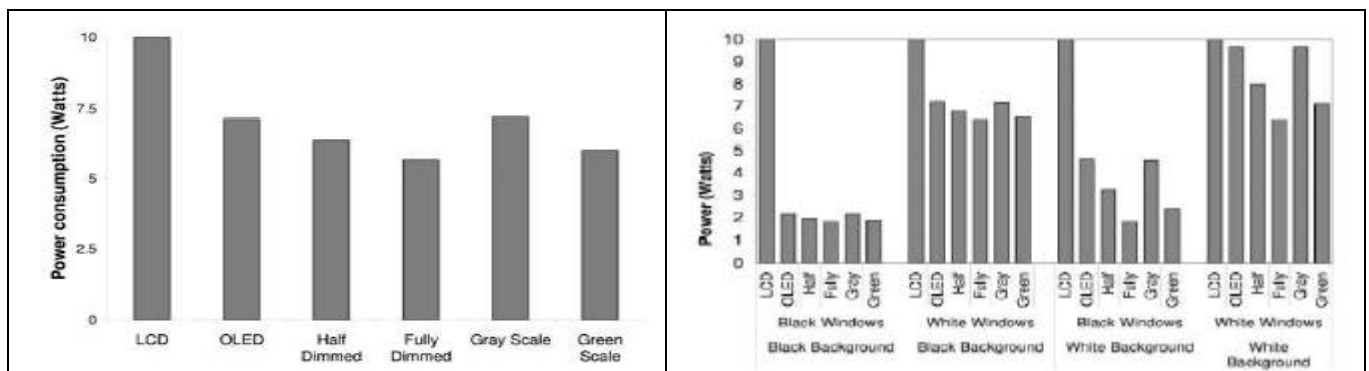
Un écran plat de 15" a approximativement la même surface qu'un modèle cathodique nominal de 17". A présent, la plupart des difficultés rencontrées par la technologie LCD ont été éliminées et il n'existe pratiquement plus aucun domaine qui peut se passer de LCD : la dernière génération de moniteurs plats surpasse souvent les caractéristiques des modèles cathodiques en termes de luminance, de luminosité, etc.

On estime le coût d'un écran plat 15" a environ 390 € H.T., soit un surcoût de 260 € H.T. par rapport à son équivalent cathodique.

#### 2.1.2.2.3 Les écrans OLED

Cette nouvelle technologie d'écran utilise deux couches de matériaux polarisés qui baignent dans une solution à base de cristaux liquides. Quand un courant électrique traverse la solution, les cristaux s'alignent pour bloquer une partie de la lumière et former l'image voulue. Les écrans OLED fournissent des images plus lumineuses.

La consommation électrique est réduite car le rétro-éclairage n'est plus nécessaire. Elle est proportionnelle à la luminosité et aux couleurs de l'image projetée. Des essais menés sur un écran 15" par Subu Iyer et al. [3] ont montré que la réduction moyenne de consommation était de 25% par rapport aux meilleurs écrans plats. Cependant, comme le montre les résultats obtenus dans cette étude (graphique de la figure 2.5), la consommation des écrans OLED dépend beaucoup de l'image projetée. Ainsi, si le fond d'écran est noir et la fenêtre de travail blanche, la réduction est de l'ordre de 25%. Par contre dans le cas contraire (fond d'écran blanc et fenêtre noire), la réduction dépasse les 60%. Cette valeur dépend aussi du réglage du niveau de luminosité (graphique de gauche de la figure 2.5 : quand la luminosité est minimum, on réalise une économie supplémentaire d'environ 10%).



**Figure 2.5 : Variations de puissance en marche observées pour un écran OLED en fonction de divers paramètres d'affichage**

Cependant la fiabilité de ce type d'écran pose encore problème et des améliorations sont nécessaires avant qu'il puisse être produit en masse. Mais fabriqués en série, ces écrans coûteront 20% moins chers que les écrans plats car ils demandent moins de matières premières et d'étapes de fabrication.

### 2.1.2.3 Répartition des écrans suivis

L'enquête préliminaire [2] a montré qu'au niveau régional 89% des écrans utilisés dans les bureaux sont des écrans cathodiques. La figure 2.6 indique la répartition de l'échantillon des écrans suivis en fonction de leurs type et taille. On voit que la part des écrans plats est ici de 19%. Il était en effet impossible de respecter exactement la répartition régionale du fait des difficultés inhérentes à une campagne de mesures (ordinateurs à instrumenter imposés par l'entreprise, absence des personnes...).

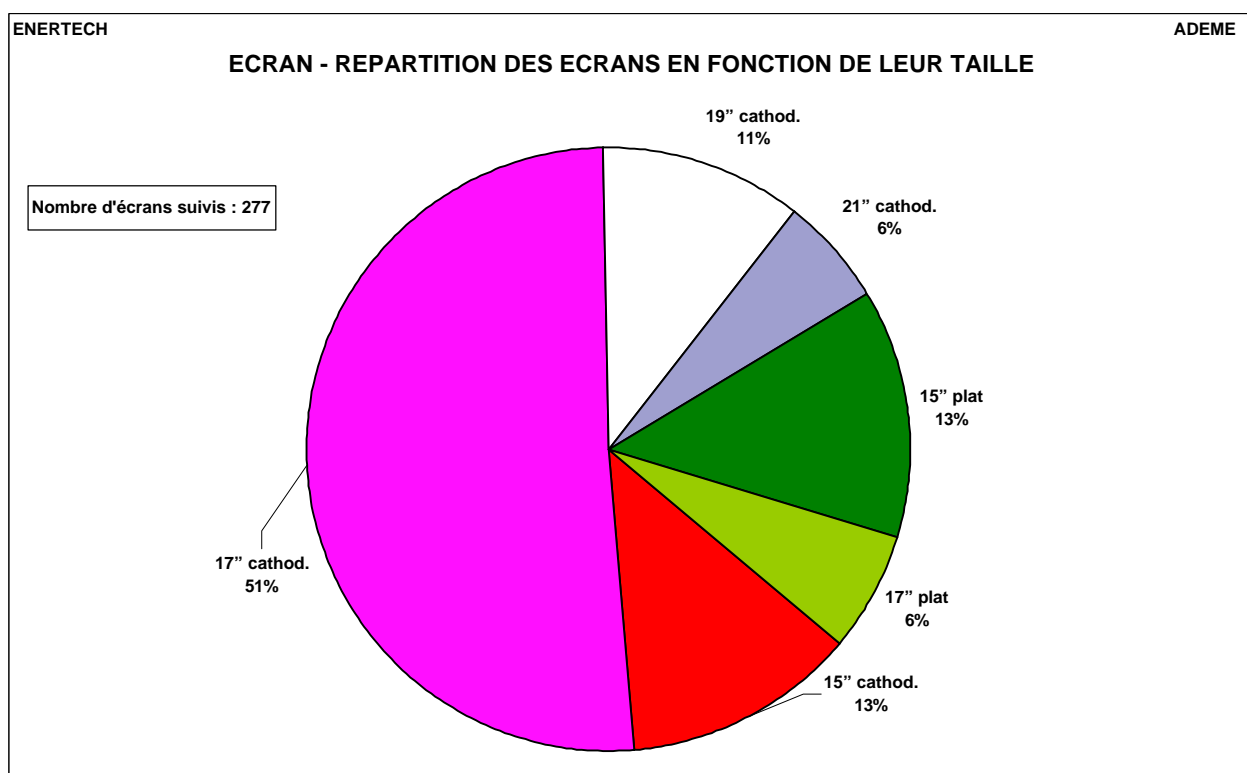


Figure 2.6 : Répartition des écrans de l'échantillon en fonction de leur taille

Cependant, comme cela a déjà été précisé dans le rapport précédent, le taux d'équipement en écrans plats augmente très rapidement. En effet, on a relevé lors des enquêtes [2] que les moniteurs étaient en moyenne remplacés tous les 3,5 ans. On a même vu des écrans changés en cours de campagne de mesures et dans tous les cas les nouveaux moniteurs étaient des modèles plats. Il se peut donc que la part des écrans plats au niveau régional ait déjà augmenté depuis la réalisation de la première enquête (qui précédait cette campagne de mesures de six mois).

### 2.1.2.4 Puissance appelée dans les différents états

Le tableau de la figure 2.7 donne les puissances moyennes dans les différents états en fonction des caractéristiques de l'écran.

	15" plat	17" plat	15" cathod.	17" cathod.	19" cathod.	21" cathod.
$P_{\text{arrêt/veille}}$ (W)	1,7 (1,3) (37)	2,5 (18)	2,8 (34)	2,6 (137)	2,4 (28)	2,7 (16)
$P_{\text{marche}}$ (W)	21 (39)	34 (18)	54 (35)	61 (140)	86 (29)	102 (16)

**Figure 2.7 : Puissances moyennes d'un écran dans les différents états (la valeur entre parenthèse indique le nombre d'écrans suivis)**

Différentes remarques peuvent être faites à propos de ces puissances :

#### **Puissance à l'arrêt et en veille**

- Dans 94% des cas, les puissances de veille et d'arrêt sont identiques. Ces deux valeurs sont différentes seulement pour les écrans les plus anciens.
- Seuls 6% des écrans de l'échantillon ne consomment pas d'électricité quand ils sont arrêtés. Il s'agit là aussi des écrans les plus vieux dont le bouton marche/arrêt agit sur le primaire du transformateur et non sur le secondaire comme c'est le cas sur tous les écrans actuellement.
- Les modèles 15" plat sont les moins consommateurs à l'arrêt, la puissance appelée (si on ne prend pas en compte un écran qui consomme 15W en veille !) est égale à la moitié de celle des autres types d'écran dans le même état.

#### **Puissance en marche**

- Les **écrans plats consomment entre 2,5 et 3 fois** moins que leurs homologues **cathodiques** (on compare les écrans de taille similaire, soit 15" plat et 17" cathodique et 17" plat et 19" cathodique).
- Il existe de grandes disparités de consommation pour une même catégorie d'écran (même taille et même technologie). Ainsi les écrans cathodiques 15" et 17" les plus performants consomment moins que les plus mauvais moniteurs plats. Pour une même catégorie les puissances appelées peuvent varier du simple au double, voire même dans un rapport 1 à 4,2 pour les écrans plats 15". Pour réduire les consommations d'électricité des écrans, il ne suffit donc pas de conseiller l'acquisition d'écrans plats 15" mais il est nécessaire de choisir le modèle qui consommera le moins en marche et à l'arrêt. Nous reviendrons sur ce point plus en détails dans le paragraphe 5.2.4.2.
- Pour une même technologie, l'augmentation de la consommation n'est pas strictement proportionnelle à la taille de l'écran. La consommation est ainsi multipliée par 1,5 quand on passe d'un écran 15" à 17" plat ou 17" à 19" cathodique alors que l'augmentation n'est que de 20% entre un 15" et 17" cathodique et un 19" et 21" cathodique.
- La consommation d'un écran en marche varie en fonction de l'image affichée. Les variations sont plus sensibles pour un écran cathodique (ratio puissance maximale atteinte sur puissance moyenne  $\Delta_{\text{max/moy}} = 120\%$  pour un écran 17" cathodique) que pour un écran plat ( $\Delta_{\text{max/moy}} = 112\%$ ). Plus de détails à ce propos sont donnés dans l'annexe 1.

### ***2.1.2.5 Activation du gestionnaire d'énergie***

Le **gestionnaire d'énergie** est **activé** sur **46% des écrans** suivis. Le taux d'activation est supérieur sur les écrans les plus récents car le gestionnaire est maintenant souvent activé par défaut à la livraison. Le délai configuré est de 20 minutes, délai d'activation que l'on retrouve, de façon logique, pour 65% des écrans passant en veille automatiquement. Or un délai d'activation de 10 minutes paraît ne pas provoquer de gêne pour l'utilisateur et permet de réduire encore davantage la consommation. L'activation par défaut devrait être généralisée sur tous les matériels neufs.

Le gestionnaire d'énergie est activé sur 59% des 15" plats, 50% des 17" plats, 25% des 15" cathodiques, 45% des 17" cathodiques, 53% des 19" cathodiques et 63% des 21" cathodiques.

On note de nombreux dysfonctionnements des gestionnaires d'énergie comme par exemple :

- un passage non systématique en veille (en fonction de l'heure de la journée ou au bout d'un délai différent de la valeur programmée)
- des mises en route intempestives (à un pas de temps donné, la nuit sans raison apparente, à une heure fixe tous les jours...)

On a aussi suivi des moniteurs sur lesquels la fonction de gestion de l'énergie a été désactivée en cours de campagne de mesures. Mais on ignore pourquoi ces gestionnaires ont été désactivés.

Pour plus d'un tiers des écrans passant théoriquement en veille au bout d'un délai de 20 ou 30 minutes, ces phénomènes conduisent à une augmentation de la durée de fonctionnement par rapport au temps de marche théorique. L'accroissement du temps de marche alors observée est compris entre 4 et 390%.

### ***2.1.2.6 Durée de marche***

La durée moyenne de marche d'un écran est de **2510 heures par an** soit un plus de **11 heures par jour ouvré** ou encore 29% d'une année civile. Cela correspond à 159% de la durée du temps de travail (7 heures pendant 225 jours). 4% des écrans marchent en continu et plus des trois quarts fonctionnent plus que la durée du temps de travail. Le **taux d'utilisation**, qui est égal au rapport entre le nombre d'heures d'utilisation d'un écran sur le nombre d'heures de marche moyen d'un écran, vaut **35%**.

### ***2.1.2.7 Consommation***

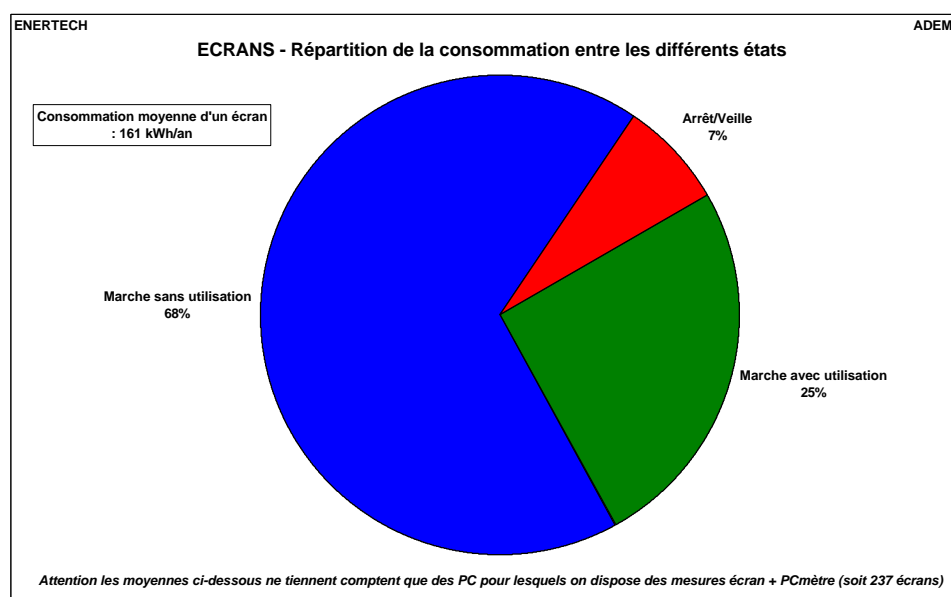
Le tableau de la figure 2.8 résume les consommations moyennes observées pour les écrans en fonction de leur technologie, leur taille et l'activation/non activation du gestionnaire d'énergie.

<b><i>kWh/an</i></b>	<b>15" plat</b>	<b>17" plat</b>	<b>15" cathod.</b>	<b>17" cathod.</b>	<b>19" cathod.</b>	<b>21" cathod.</b>
<b>Consommation moyenne</b>	59 (38)	102 (18)	135 (36)	170 (140)	235 (29)	306 (16)
<b>Gestionnaire d'énergie non activée</b>	77 (16)	158 (9)	152 (27)	209 (79)	320 (13)	490 (6)
<b>Gestionnaire d'énergie activée</b>	46 (22)	47 (9)	83 (9)	120 (61)	166 (16)	196 (10)

**Figure 2.8 : Consommations moyennes d'un écran en fonction de l'activation/ non activation du gestionnaire d'énergie (la valeur entre parenthèse indique le nombre d'écrans suivis)**

La consommation moyenne d'un écran est égale à **161 kWh/an** mais on observe des variations importantes qui dépendent de la technologie (cathodique ou plat), de la taille et enfin de l'activation ou non du gestionnaire d'énergie. Le **remplacement** d'un écran **17" cathodique** avec **gestionnaire de veille non activé** par un écran **plat 15"** muni d'un **gestionnaire de veille** permet de **réduire la consommation de 78%**. On conseille actuellement le choix d'écrans plats pour réduire les consommations d'énergie, ce qui au vue des résultats précédents semble justifié mais cette mesure n'est pas suffisante. En effet, l'activation du gestionnaire d'énergie est une mesure efficace, en moyenne moins que le remplacement d'écran, mais qui peut être faite immédiatement et gratuitement.

Comme on le voit sur la figure 2.9, seul 25% de la consommation correspond à une utilisation, le reste étant affecté à de la marche sans utilisation (68%) et à un état de veille ou d'arrêt (7%). La part de la marche avec utilisation est d'autant plus importante que le taux d'activation du gestionnaire d'énergie est élevé. Ainsi, les écrans 15" plats, 19" cathodiques et 21" cathodiques présentent une proportion de marche avec utilisation supérieure aux autres types d'écran.

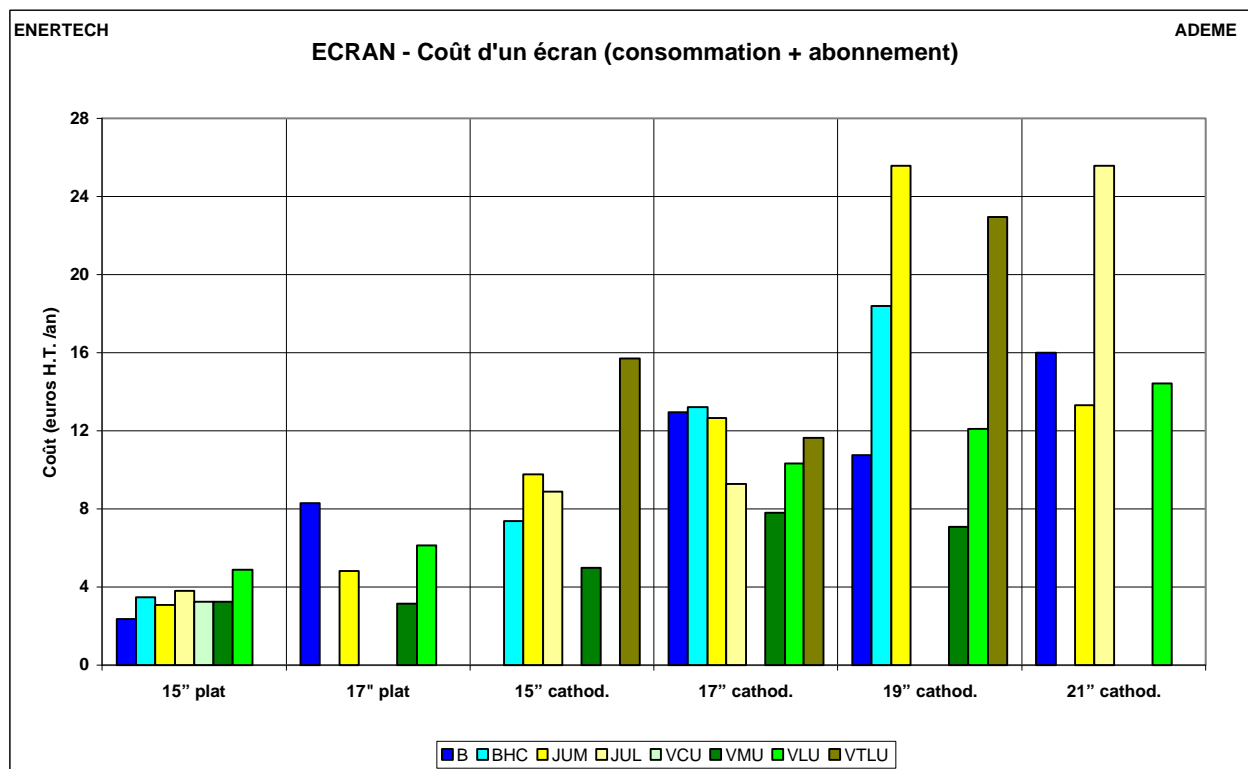


**Figure 2.9 : Répartition de la consommation moyenne d'un écran entre les différents états**

### 2.1.2.8 Coût

Le graphique de la figure 2.10 précise le coût global (abonnement et consommation) associé à chaque type d'écran et de tarif (pour le tarif bleu, on n'a pas pris en compte le coût d'abonnement). Du fait de la multiplicité des tarifs (8 en tout) et de la taille de notre échantillon, les résultats de ce graphique doivent être considérés avec précaution. En effet, dans certaines catégories, la valeurs moyenne est obtenue à partir d'un très faible nombre d'écrans.

En moyenne, tous types d'écrans et de tarifs confondus, le **fonctionnement d'un écran coûte 9,7 euros H.T.** par an. On observe des écarts de coût importants d'un type d'écran à l'autre. Ainsi quel que soit le tarif, la consommation électrique d'un écran 15" plat revient à moins de 5 euros H.T. par an. Plus la taille augmente plus, plus le coût est élevé mais l'augmentation n'est pas proportionnelle, elle dépend essentiellement du profil de consommation des moniteurs de la catégorie. En fonction du tarif, le coût électrique d'écran 21" cathodique est 3 à 7 fois plus élevé que celui d'un modèle 15" plat.



B : Bleu, BHC : Bleu Heures Creuses, JUM : Jaune Utilisations Moyennes, JUL : Jaune Utilisations Longues, VCU : Vertes Courtes Utilisations, VMU : Vert Moyennes Utilisations, VLU : Vert Longues Utilisations, VTLU : Vert Très Longues Utilisations.

**Figure 2.10 : Coût d'électricité (abonnement et consommation) associé à un écran**

### 2.1.3 Les Unités centrales

#### 2.1.3.1 Remarques préliminaires

Afin de ne pas alourdir le texte, on ne reprend ici que les résultats principaux. L'analyse détaillée qui conduit à ces conclusions se trouve dans l'annexe 2.

La gestion d'énergie des unités centrales est plus complexe que celle des écrans. Il existe plusieurs niveaux entre l'état de marche et celui d'arrêt. A chaque niveau, l'ordinateur arrête de nouveaux composants et le temps de réveil de l'ordinateur est donc rallongé. La première version de gestionnaire d'énergie a été introduite en 1993, il s'agissait alors du système APM (Advanced Power Management). De nombreuses conditions devaient être réunies pour que le système fonctionne et dans la pratique il n'était pas fiable. En 1998, un nouveau système de gestion d'énergie, appelée ACPI (Advanced Configuration and Power Interface) a été lancé par Intel. Ce dernier est plus simple et fonctionne globalement mieux. La définition des différents états est donnée dans le tableau de la figure 2.11.

Etat	Description	Consom- -mation	Temps de réveil	Evènem- -ent de réveil	Activation
G0 (S0)	<b>Marche</b> <i>Le système est en marche, les programmes sont exécutés</i>	> 25W	-	-	-
G1 (S1 – S2)	<b>Arrêt des disques durs</b> <i>Le processeur n'exécute pas de programme, le(s) disque(s) dur(s) et l'écran sont en veille</i>	> 25W (mais <S0)	3-5 sec	clavier / souris	délai programmé
G1 (S3)	<b>Veille (Sauvegarde en mémoire vive - RAM –)</b> <i>Tous les composants sont arrêtés exceptés la mémoire principale, dans laquelle est sauvé l'état avant l'arrêt (et des composants qui permettent de réveiller l'ordinateur). NB : si une coupure de courant se produit, les éléments non sauvés seront perdus.</i>	2 – 5W	~ 5 sec	clavier / souris	délai programmé
G1 (S4)	<b>Hibernation/Veille prolongée (sauvegarde sur le disque)</b> <i>Tous les composants sont arrêtés même la mémoire principale (à l'exception des composants qui permettent de réveiller l'ordinateur). L'état avant arrêt est sauvé sur le disque dur. NB il n'y a pas de pertes d'information en cas de coupure de courant.</i>	2 – 5W	~ 15 sec (dépend de la quantité d'information à sauver sur le disque dur)	Bouton on/off	délai programmé et/ou bouton on/off
G2 (S5)	<b>Arrêt incomplet</b> <i>Le système est arrêté et peut être remis en marche uniquement grâce au bouton on/off</i>	2-5W	Boot standard (~ 1 min)	Bouton on/off	Bouton on/off
G3	<b>Arrêt mécanique</b> <i>Le système est mécaniquement arrêté en maintenant appuyé le bouton on/off</i>		-	Bouton on/off	Bouton on/off

Figure 2.11 : Résumé des caractéristiques de la technologie de gestion d'énergie ACPI [4]

### 2.1.3.2 Puissance appelée dans les différents états

Le tableau de la figure 2.12 donne les puissances moyennes observées pour une unité centrale dans les différents états.

<b>P<sub>arrêt</sub> (W)</b>	2,8 (253)
<b>P<sub>veille</sub> (W)</b>	- (1)
<b>P<sub>marche</sub> (W)</b>	47 (258)

**Figure 2.12 : Puissances moyennes d'une unité centrale dans les différents états (la valeur entre parenthèses indique le nombre d'unités centrales suivies)**

Plusieurs remarques peuvent être faites à propos de ces puissances :

#### **Puissance à l'arrêt**

- Toutes les unités centrales ont une consommation non nulle à l'arrêt.

#### **Puissance en veille**

- Le passage en veille n'était activé que sur une unité centrale de l'échantillon. Il est donc impossible de donner une valeur moyenne.
- Sur les unités centrales récentes, la puissance de veille (hibernation) est du même ordre de grandeur que la puissance mesurée à l'arrêt.

#### **Puissance en marche**

- Toutes les unités centrales, à l'exception d'une, consomment **moins de 100W**.
- Les puissances moyennes de marche varient d'une machine à l'autre dans un rapport 1 à 4. La consommation dépend du type, de la marque et du taux d'utilisation du processeur mais aussi de la qualité de l'alimentation.
- Les variations observées au cours de la période pour une même unité centrale sont très supérieures à celles relevées pour les écrans. En effet le ratio  $\Delta_{\max/moy}$  (ratio puissance maximale atteinte sur puissance moyenne qui caractérise les variations de puissance appelée par une même unité centrale) est en moyenne égal à 157%. Dans un cas la consommation varie même dans un rapport de 1 à 3 !
- **Un quart des unités centrales suivies consomment plus, en marche, quand elles ne sont pas utilisées !** Cela s'explique par le fait que l'activation d'un économiseur ou d'un gestionnaire d'énergie pour l'écran nécessite dans certains cas une augmentation de l'activité du processeur, donc une augmentation de sa consommation. On a même vu des ordinateurs pour lesquels cette augmentation annulait le bénéfice lié à l'activation du gestionnaire d'énergie. En d'autres termes, phénomène invraisemblable, l'ordinateur consomme plus quand son écran passe en veille que quand il fonctionne.
- L'ensemble de ces remarques pose le problème de la détermination d'une puissance moyenne de marche qui pourrait caractériser une unité centrale. En effet, cette dernière n'est pas seulement dépendante de la qualité du matériel mais aussi de son mode d'utilisation. Quel paramètre peut on trouver qui permettra à l'utilisateur de choisir l'équipement le moins consommateur correspondant à son besoin ?

### ***2.1.3.3 Durée de marche***

La **durée de marche** moyenne d'une unité centrale est égale à **4004 heures par an**, soit 46% de l'année ou encore près de 18 heures par jour ouvré. Cette durée est supérieure de 60% à celle observée pour les écrans ce qui est dû :

- à un nombre important d'unités centrales qui ne sont jamais arrêtées (15% de l'échantillon contre 4% pour les écrans) et ce souvent sur ordre ou conseil des responsables informatiques.
- à la non activation du gestionnaire d'énergie (activé sur un poste de l'échantillon contre 46% des écrans).

Le taux d'utilisation est évidemment plus faible que pour les écrans, il vaut 25%.

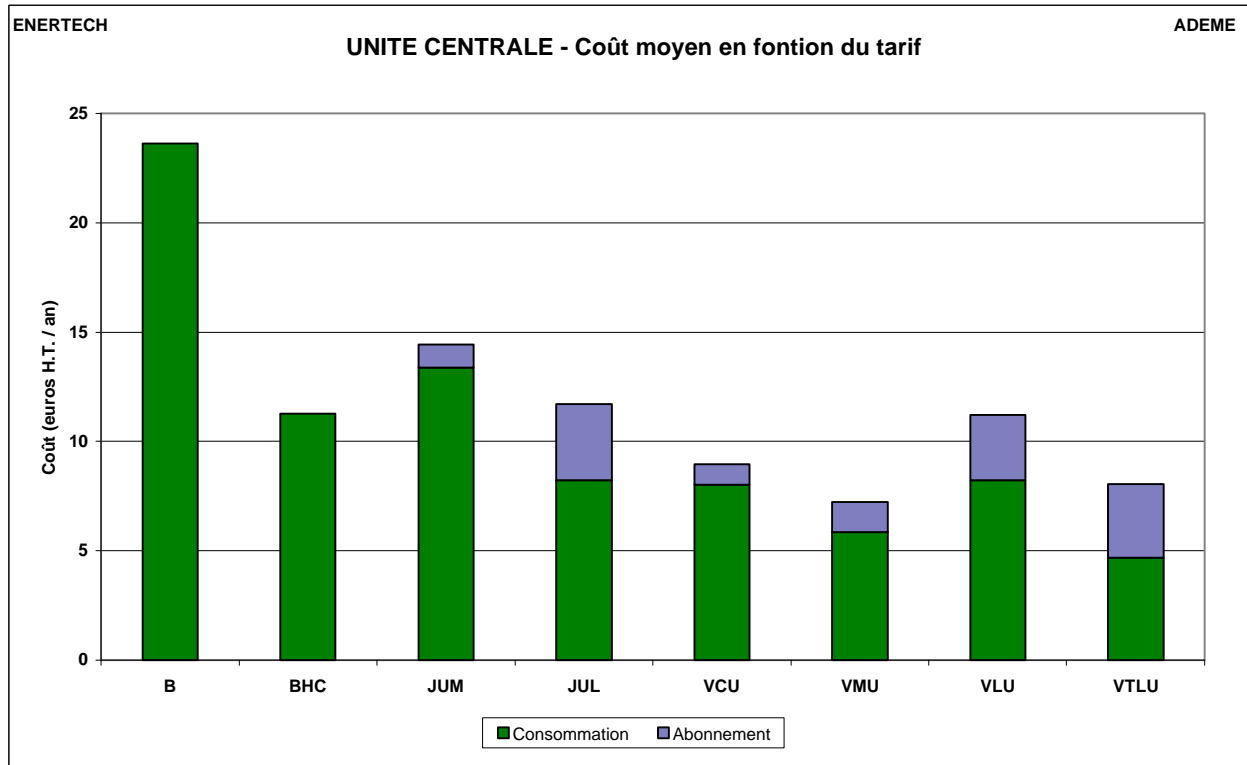
### ***2.1.3.4 Consommation***

La **consommation d'une unité centrale varie entre 29 et 1322 kWh/an et la valeur moyenne sur l'échantillon est de 215 kWh/an**. Les variations observées s'expliquent par des durées de fonctionnement ainsi que des puissances de marche très variées. Ainsi, comme le gestionnaire d'énergie n'est activé sur pratiquement aucun ordinateur, le temps de marche dépend uniquement du comportement de l'utilisateur. Cela conduit à la répartition de la consommation suivante entre les différents états :

- 16% de la consommation correspond à une utilisation de l'unité centrale
- 77% de la consommation équivaut à un état de marche sans utilisation
- 7% de l'énergie est consommée alors que l'ordinateur est arrêté. Cette partie pourrait être économisée si l'unité centrale était arrêtée à l'aide d'une barrette multiprise ce qui éviterait de conserver une consommation à l'arrêt.

### ***2.1.3.5 Coût***

Le **coût moyen de fonctionnement d'une unité centrale** est de **12 euros H.T. par an**. Mais de grandes disparités s'observent en fonction de la nature de l'abonnement (figure 2.13). La part de l'abonnement est inférieure à 30%, sauf pour le tarif Vert Très longues Utilisations, tarif pour lequel le kilowattheure consommé est très bon marché mais l'abonnement très cher.



*B : Bleu, BHC : Bleu Heures Creuses, JUM : Jaune Utilisations Moyennes, JUL : Jaune Utilisations Longues, VCU : Vertes Courtes Utilisations, VMU : Vert Moyennes Utilisations, VLU : Vert Longues Utilisations, VTLU : Vert Très Longues Utilisations.*

**Figure 2.13 : Coût moyen d'une unité centrale en fonction de l'abonnement**

## 2.1.4 Les postes de travail (écrans + unités centrales)

### 2.1.4.1 Puissance appelée dans les différents états

Le tableau et le graphique des figures 2.14 et 2.15 reprennent les puissances moyennes des écrans et unités centrales données dans les paragraphes précédents. Une analyse complémentaire de la puissance appelée par les ordinateurs se trouve dans l'annexe 3.

		Portable	15" plat + SA**	15" plat + UC*	17" plat + UC*	15" cathod. + UC*	17" cathod. + UC*	19" cathod. + UC*	21" cathod. + UC*
ARRÊT	Ecran (W)	-	1,3	1,3	2,5	2,8	2,6	2,4	2,7
	UC* (W)	0,8	1,3	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	Total (W)	<b>0,8</b>	<b>2,6</b>	<b>4,1</b>	<b>5,3</b>	<b>5,6</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>	<b>5,5</b>
MARCHE	Ecran (W)	-	21 (48%)	21 (31%)	34 (42%)	54 (53%)	61 (56%)	86 (65%)	102 (68%)
	UC* (W)	25	23 (52%)	47*** (69%)	47*** (58%)	47*** (47%)	47*** (44%)	47*** (35%)	47*** (32%)
	Total (W)	<b>25</b>	<b>44</b>	<b>68</b>	<b>81</b>	<b>101</b>	<b>108</b>	<b>133</b>	<b>149</b>

\* : UC = Unité Centrale, \*\* : SA = Station d'Accueil, \*\*\* = consommation moyenne de l'ensemble des unités centrales de l'échantillon

Figure 2.14 : Puissances moyennes d'un ordinateur à l'arrêt et en marche

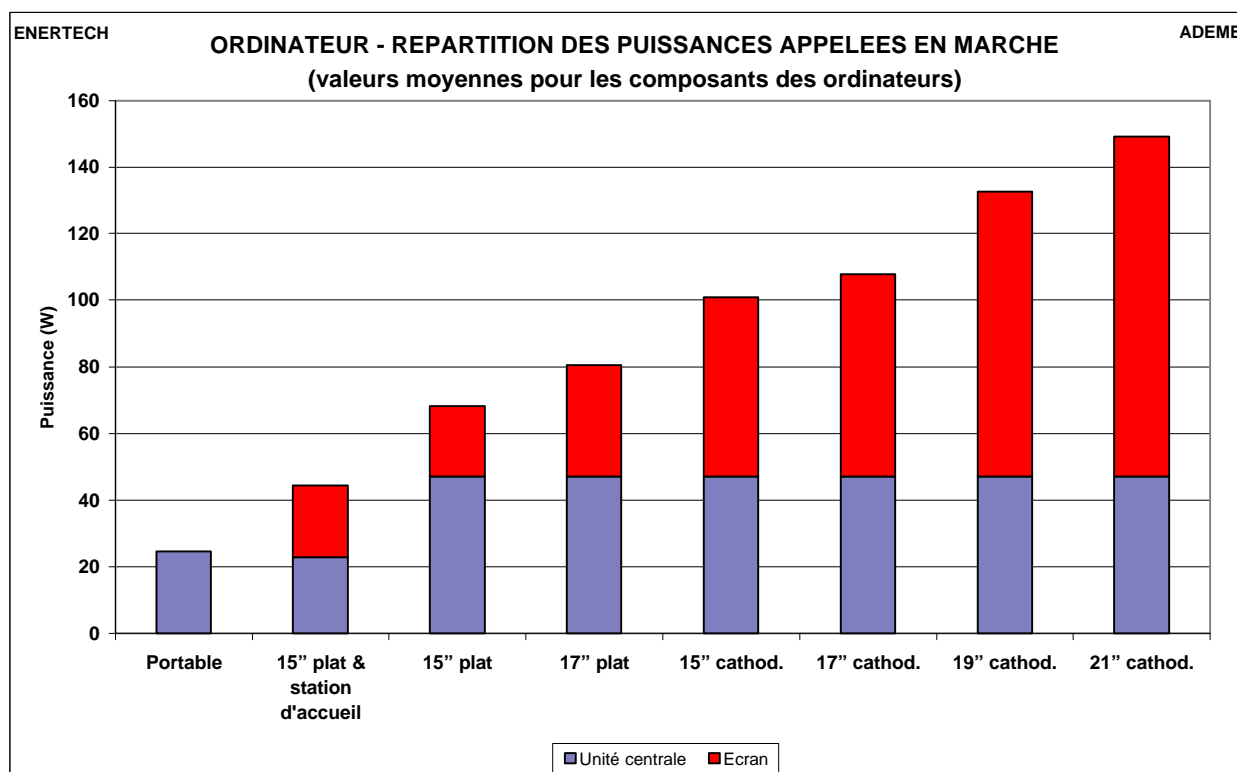


Figure 2.15 : Puissance moyenne appelée en marche pour les différentes configurations d'ordinateur

On peut tirer les conclusions suivantes :

- un ordinateur portable consomme plus de quatre fois moins d'énergie qu'un ordinateur de bureau muni d'un écran cathodique (quelle que soit sa taille)
- L'utilisation d'une station d'accueil plutôt qu'une unité centrale classique (à écran identique) permet de réduire la consommation de 35%
- La puissance appelée par une station d'accueil munie d'un écran plat 15" vaut pratiquement le double de celle d'un ordinateur portable.
- Remplacer un écran 19" cathodique par un modèle plat 17" permet une économie de 37% pour l'ordinateur.
- Remplacer un écran cathodique 17" par un modèle plat 15" permet une économie de 39% pour l'ordinateur.
- Les unités centrales associées aux écrans plats consomment plus que celles munies d'un écran cathodique ce qui semblent montrer que la puissance appelée en marche par les unités centrales a actuellement tendance à augmenter (voir détails en annexe 3).
- La consommation des unités centrales augmente avec la taille de l'écran. Cela se vérifie aussi bien avec les écrans cathodiques qu'avec les plats. De la nature des tâches effectuées découle probablement l'explication. En effet les moniteurs de grande taille sont souvent utilisés pour des applications qui demandent une puissance de calcul élevée, d'où une consommation supérieure de l'unité centrale associée.
- La répartition de la puissance en marche est d'environ deux tiers pour l'écran et un tiers pour l'unité centrale quand l'ordinateur est équipé d'un écran cathodique et ces proportions sont inversées avec un écran plat.

#### 2.1.4.2 Consommation

Le tableau de la figure 2.16 résume les consommations moyennes observées pour chaque type d'ordinateur. La consommation moyenne, tous types de configurations confondus, s'élève à **361 kWh/an**.

		Portable	15" plat + SA**	15" plat + UC*	17" plat + UC*	15" cathod. + UC*	17" cathod. + UC*	19" cathod. + UC*	21" cathod. + UC*
MARCHE	Ecran (kWh/an)	-	59 (31%)	59 (22%)	102 (32%)	135 (39%)	170 (44%)	235 (52%)	306 (59%)
	UC* (kWh/an)	53	130 (69%)	215 (78%)	215 (68%)	215 (61%)	215 (56%)	215 (48%)	215 (41%)
	Total (kWh/an)	<b>53</b>	<b>189</b>	<b>274</b>	<b>317</b>	<b>350</b>	<b>385</b>	<b>450</b>	<b>521</b>

\* : UC = Unité Centrale, \*\* : SA = Station d'Accueil

**Figure 2.16 : Consommations moyennes d'un ordinateur en fonction de la nature de ses composants**

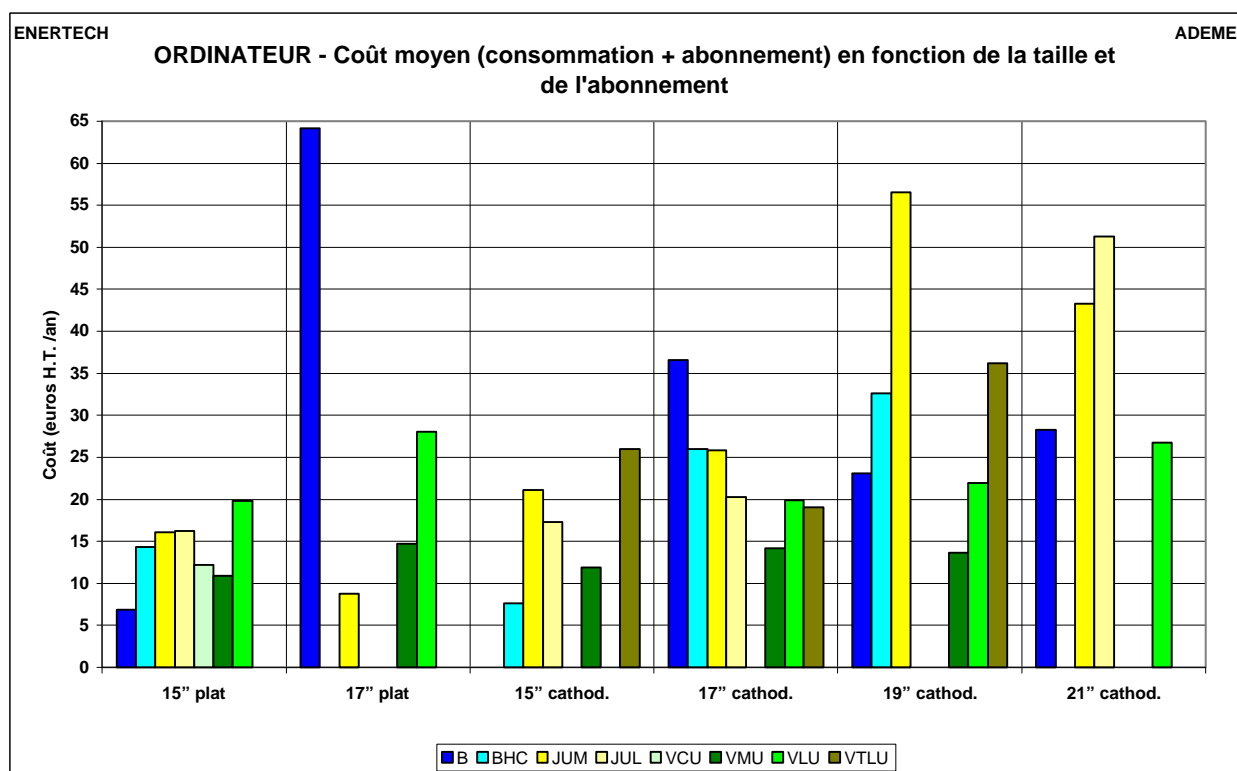
Si on s'intéresse aux consommations associées à un usage effectif de l'ordinateur (voir annexe 3), on s'aperçoit que l'écran et l'unité centrale ont des consommations du même ordre de

grandeur quand le moniteur est de type cathodique. Pour les écrans plat, l'écran ne consomme plus qu'un quart de la consommation totale. Ce changement est dû non seulement au fait que la technologie LCD (écran plat) est plus efficace que la technologie cathodique mais aussi au fait que sur les écrans plats le gestionnaire d'énergie est généralement activé ce qui réduit le temps de marche.

En moyenne, près des trois quarts de la consommation d'un ordinateur correspondent à un état de marche sans utilisation et 7% à un état de veille ou d'arrêt. Ainsi seul **20% de la consommation totale est lié à une utilisation de la machine.**

### 2.1.4.3 Coût

En moyenne sur le **fonctionnement d'un ordinateur coûte 21,8 euros H.T. par an.** On remarque que la réduction de consommation inhérente à l'utilisation d'un écran plat est dégradée par l'utilisation associée d'unité centrale plus puissante.



*B : Bleu, BHC : Bleu Heures Creuses, JUM : Jaune Utilisations Moyennes, JUL : Jaune Utilisations Longues, VCU : Vertes Courtes Utilisations, VMU : Vert Moyennes Utilisations, VLU : Vert Longues Utilisations, VTLU : Vert Très Longues Utilisations.*

**Figure 2.17 : Coût d'électricité (abonnement et consommation) associé au fonctionnement d'un ordinateur**

### 2.1.4.4 Impact global sur l'environnement

Des travaux récents ont essayé de calculer l'impact global des ordinateurs sur l'environnement. Pour ce faire, on considère l'énergie et les matières premières consommées au cours de la vie d'un appareil (« du berceau à la tombe »).

On prend en compte les étapes suivantes :

- Production des matières premières
- Fabrication
- Distribution
- Utilisation
- Fin de vie (démantèlement ou mise en décharge)

Le tableau de la figure 2.18 résume les consommations liées à chaque étape pour un ordinateur muni d'un écran cathodique 15". Pour connaître les hypothèses de calcul on se reportera à l'étude [5].

	<b>Production matières premières</b>	<b>Fabrication</b>	<b>Distribution</b>	<b>Utilisation</b>	<b>Fin de vie</b>
Energie primaire – process – (kWh)	212 (6%)	719 (19%)	4 (0%)	2833 (75%)	3 (0%)

**Figure 2.18 : Consommation d'énergie primaire correspondant à chaque étape de la vie d'un ordinateur muni d'un écran cathodique 15" [5]**

On voit qu'avec 75%, l'utilisation est la phase la plus consommatrice de la vie d'un ordinateur. Cependant si on refait le calcul avec les valeurs que nous avons mesurées (350 kWh/an, durée de vie d'un ordinateur 3,5 ans, soit 1225 kWh sur toute sa vie), la phase d'utilisation est toujours la plus consommatrice mais elle ne représente plus que 57% du total.

Si on considère les résultats d'une autre étude menée sur un ordinateur muni d'un écran cathodique 17" [6], la part de la consommation affectée à l'utilisation est même inférieure à celle de la fabrication –40% contre 60% -.

Il faut aussi garder en mémoire que la gestion des ordinateurs en fin de vie est délicate. En effet, ceux-ci contiennent de multiples composants nocifs pour l'environnement (circuits imprimés, plastiques, alimentations...) et le nombre d'ordinateurs recyclés est encore faible, la plupart étant actuellement placés en décharge. Il est donc essentiel de prolonger la durée de vie des ordinateurs et d'organiser des filières de récupération en fin de vie.

## 2.1.5 Les stations d'accueil et les ordinateurs portables

### 2.1.5.1 Généralités

Les ordinateurs portables du fait de leur taille, de l'amélioration de leurs performances, de la réduction de leur prix d'achat deviennent de plus en plus compétitifs. Ils utilisent des composants optimisés dont l'usage est rendu nécessaire par les contraintes imposées (principalement les risques de surchauffe et l'utilisation d'une batterie pour l'alimentation).

Les performances des ordinateurs de bureau les plus puissants sont toujours supérieures à celles des modèles portables mais on trouve maintenant, à un prix abordable, pour une utilisation des logiciels de bureautique les plus communs, des ordinateurs portables qui présentent des caractéristiques comparables à celles des unités centrales. On verra dans les

paragraphes suivants que sur le plan énergétique, les performances des ordinateurs portables sont largement supérieures à celles des ordinateurs de bureau.

Une station d'accueil est un support sur lequel on vient installer un ordinateur portable. Elle est munie de connecteurs qui permettent de brancher des périphériques (écran, clavier, imprimante...). Quand l'ordinateur portable est inséré dans la station d'accueil, il est similaire à un ordinateur de bureau. Grâce à cet équipement, il est possible de profiter à la fois des avantages de la portabilité en dehors de son lieu de travail et d'un confort d'utilisation comparable à un ordinateur fixe (écran et clavier) au bureau.

### 2.1.5.2 Puissance appelée dans les différents états

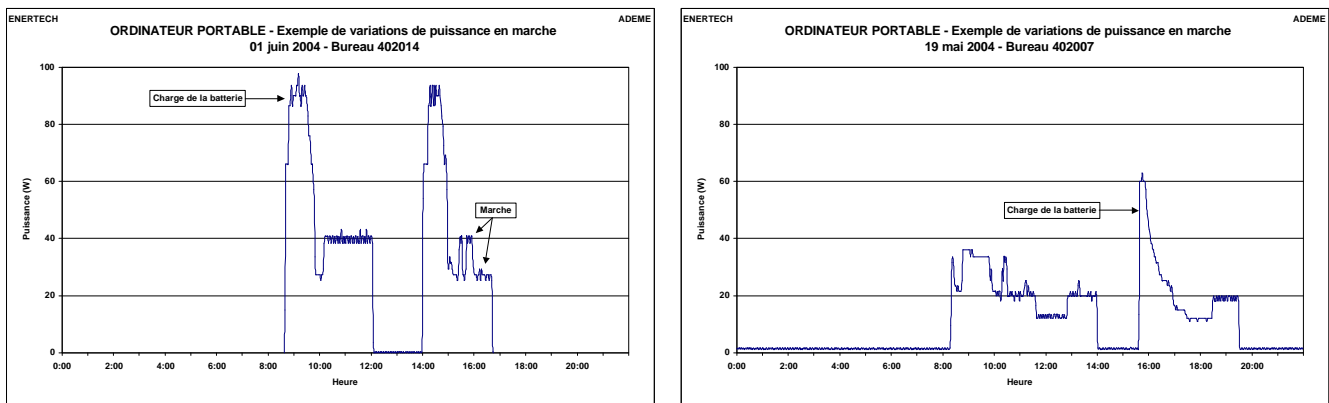
Le tableau de la figure 2.19 donne les puissances moyennes observées pour les portables (seuls ou connectés à une station d'accueil) dans les différents états. La puissance de marche donnée est une puissance moyenne qui comprend les états de charge de la batterie, marche et veille. En effet, nous n'avons pas pu installer de Pcmètres sur les ordinateurs portables et les stations d'accueil. Nous ne savons donc pas comment ils sont utilisés.

	Portable	Station d'accueil
$P_{\text{arrêt}}$ (W)	0,8 (9)	1,3 (5)
$P_{\text{marche/veille/charge}}$ (W)	25 (11)	23 (5)

*Figure 2.19 : Puissances moyennes d'un écran dans les différents états (la valeur entre parenthèse indique le nombre d'écrans suivis)*

### Puissance en marche

Comme on l'a déjà noté pour les écrans et les unités centrales, les puissances appelées en marche varient dans des proportions importantes d'un ordinateur à l'autre mais aussi pour un même ordinateur. Les graphiques de la figure 2.20 qui représentent le profil de puissance observé pour deux ordinateurs au cours de jours types illustrent cette remarque.



*Figure 2.20 : Variations de puissance en marche observées pour deux ordinateurs portables*

Les différences observées s'expliquent par [7] :

- La qualité de l'alimentation : bien que l'efficacité des alimentations d'ordinateurs portables soit très supérieure à celle des unités centrales, il existe cependant des différences entre les modèles. Alors que pour certaines alimentations l'efficacité reste excellente dans tous les modes de fonctionnement, pour d'autres elle s'effondre à charge partielle.
- Les caractéristiques de l'écran (luminosité, dimensions...)
- Le processeur employé

### ***2.1.5.3 Consommation***

Les ordinateurs portables consomment en moyenne 53 kWh/an, soit près de sept fois moins qu'un ordinateur (écran + unité central) moyen. Globalement les ordinateurs portables de notre échantillon sont en marche moins longtemps que les ordinateurs de bureau. Une explication possible des différences de durée de marche constatées réside dans le fait que les utilisateurs de portable sont en principe des gens qui sont souvent en déplacement, donc qui utilisent moins leur ordinateur au bureau. Or nous n'avons pu suivre que la consommation des ordinateurs portables dans un lieu donné, les usagers ayant refusé de transporter le mesureur avec eux.

Les stations d'accueil consomment 130 kWh/an en moyenne, soit plus du double des ordinateurs portables. Pourtant on a vu que les puissances appelées en marche par ces deux équipements étaient du même ordre (ce qui est logique puisqu'une station d'accueil « accueille » un ordinateur portable). L'écart s'explique donc par la durée de marche. En effet, les stations d'accueil suivies ont des durées de marche très importantes, de l'ordre de 2 fois supérieures à celle des portables et 13% supérieure à celle des unités centrales. Cela tendrait à prouver que les personnes qui utilisent fréquemment leur ordinateur portable au bureau emploient des stations d'accueil probablement en raison du confort qu'elles procurent.

### ***2.1.5.4 Coût***

Le coût associé au fonctionnement des ordinateurs portables et des stations d'accueil suivis est respectivement de 3,3 et 5,7 euros H.T.. Si on ne tient pas compte de la station d'accueil qui a le coût le plus élevé (12,2 euros H.T./an), le coût moyen passe à 4 euros H.T./an. La part de l'abonnement est comparable à celle observée pour les écrans et les unités centrales, à savoir 23% pour les portables et 20% pour les stations d'accueil.

## 2.2 LES APPAREILS DE BUREAUTIQUE ET AUTRES EQUIPEMENTS

*Afin de ne pas alourdir le texte, on ne reprend ici que les résultats principaux. L'analyse détaillée qui conduit à ces conclusions se trouve dans l'annexe 4.*

Le tableau de la figure 2.21 indique les caractéristiques de l'ensemble des équipements de bureautique suivis au cours de la campagne de mesures. On peut faire les commentaires suivants :

- Les appareils les plus consommateurs ne sont pas les appareils de bureautique à proprement parlé mais des équipements que l'on trouve dans les espaces de détente. Il s'agit notamment des distributeurs de boissons et des machines à café.
- On trouve dans les bureaux toute une série de petits équipements qui ont des consommations unitaires faibles (broyeur de papier, haut-parleur, téléphone de conférence, balance...) mais qui du fait de leur multiplicité représentent une consommation non négligeable. Ces équipements fonctionnent généralement en continu alors que les durées d'utilisation sont très faibles, ils restent la plupart du temps en veille, alors qu'ils pourraient être débranchés.
- Il est indispensable d'être très vigilant au moment du choix des équipements car les consommations d'un même type d'appareils peuvent varier dans des proportions énormes. Par exemple, la consommation des scanners suivis varie dans un rapport 1 à 283 ou encore celle des faxes dans un rapport 1 à 140 ! Certes il faut tenir compte des performances mais dans ces deux exemples, les durées de marche sont faibles.
- Au cours de cette campagne de mesures, on a suivi pour la première fois (à notre connaissance) des vidéo-projecteurs. La puissance appelée en marche dépend essentiellement de la luminosité fournie par l'appareil. Cependant pour une même puissance lumineuse, on observe des puissances appelées différentes. Tous les appareils suivis, à l'exception d'un, ne sont jamais débranchés et consomment donc de l'électricité en permanence. Cette consommation de veille représente entre 16 et 38% de la consommation totale.
- Les imprimantes laser consomment près de 7 fois plus que les modèles jet d'encre. Les consommations observées au cours de cette campagne de mesures sont très supérieures à celles présentées dans l'étude MACEBUR [8] (+ 54% pour les imprimantes jet d'encre et + 168% pour les imprimantes laser). Cela s'explique notamment par le fait que la durée des arrêts sans consommation a beaucoup chuté depuis 1998 (38% du temps pour les imprimantes laser de MACEBUR et seulement 13% dans notre étude). Les caractéristiques techniques des imprimantes suivies influent bien-sûr aussi sur la consommation. Par exemple les imprimantes noir et blanc réseau consomment près de 20% de plus que les imprimantes locales et 25% de moins que les imprimantes couleur réseau. Il est probable que ces observations traduisent une dégradation des performances des matériels.
- Les photocopieurs tendent à être remplacés par des imprimantes multifonctions. Il s'agit d'appareils qui combinent les fonctions de fax, imprimante, photocopieur et scanner ; tous ces composants étant proposés sous forme d'options. Si on considère les

consommations moyennes de tous les équipements qu'ils peuvent remplacer l'économie est de 28%. Cependant cette économie varie en fonction :

- de la puissance de veille de la machine (certaines imprimantes multifonctions ont une puissance de veille très élevée car elles sont en attente permanente de fax et ne possède pas un mode ECO très performant)
- du délai d'activation du mode veille
- de l'arrêt manuel qui peut être fait en dehors des périodes d'utilisation

## Chapitre 2 : Etat des lieux de l'existant - Equipements informatiques

Appareil	Consommation (kWh/an)	P <sub>moyenne en pointe</sub> (W)	Coût <sub>conso</sub> (€ H.T./an)	Coût <sub>abonnement</sub> (€ H.T./an)	Coût <sub>total</sub> (€ H.T./an)
Distributeur de boissons	3012 (1)	317 (1)	128 (1)	13 (1)	141 (1)
Machine à café (sur pied)	1046 582 - 1700 (3)	177 73 - 349 (3)	52 36 - 75 (3)	9 4 - 14 (2)	58 41 - 88 (3)
Scanner/email/fax	907 (1)	103 (1)	27 (1)	11 (1)	38 (1)
Photocopieur / Impr. multifonctions	681 18 - 2532 (69)	153 7 - 457 (69)	37 1 - 197 (69)	10 0 - 26 (47)	44 2 - 197 (69)
Fontaine eau réfrigérée/chaude	487 (1)	65 (1)	38 (1)	-	38 (1)
Imprimante laser	267 12 - 2316 (122)	52 2 - 503 (122)	13 1 - 107 (120)	3 0-54 (97)	16 1 - 126 (120)
Vidéo-projecteur	173 28 - 255 (5)	46 18 - 94 (5)	8 1 - 14 (5)	2 1 - 6 (5)	11 2 - 16 (5)
Fax	147 10 - 1397 (43)	25 1 - 241 (43)	7 0 - 62 (43)	2 0 - 19 (35)	8 0 - 81 (43)
Cafetière	109 73 - 137 (3)	51 27 - 76 (3)	8 6 - 11 (3)	-	8 6 - 11 (3)
Imprimante matricielle	103 41 - 225 (4)	12 5 - 26 (4)	5 2 - 13 (4)	1 0 - 1 (4)	6 2 - 14 (4)
Scanner	95 2 - 565 (19)	10 0 - 65 (18)	4 0 - 24 (18)	0 0 - 3 (14)	4 0 - 27 (18)
Fontaine eau réfrigérée	90 (1)	8 (1)	7 (1)	-	7 (1)
Balance	71 (1)	8 (1)	6 (1)	-	6 (1)
Téléphone de conférence	56 (1)	6 (1)	2 (1)	<0,5 (1)	2 (1)
Traceur	50 2 - 100 (6)	14 <0,5 - 34 (6)	3 0 - 5 (6)	1 1 - 2 (3)	3 0 - 6 (6)
Imprimante jet d'encre	39 1 - 177 (31)	7 0 - 71 (30)	2 0 - 14 (30)	0 0 - 1 (18)	3 0 - 14 (30)
Haut-parleurs	17 12 - 20 (3)	2 1 - 3 (3)	1 0 - 2 (3)	<0,5 (1)	1 1 - 2 (3)
Destructeur de documents	9 1 - 18 (2)	0 (2)	1 0 - 1 (2)	0 (2)	1 0 - 1 (2)

Figure 2.21 : Caractéristiques des appareils de bureautique suivis

## 2.3 CONSOMMATION MOYENNE PAR ENTREPRISE

### 2.3.1 Introduction

Lors de l'enquête réalisée en 2003 [2], nous avons recensé le parc d'équipements informatiques de chaque entreprise. Nous connaissons aussi dans la plupart des cas la surface de bureaux ainsi que le nombre d'employés. Ces éléments sont résumés dans le tableau de la figure 2.22.

Entreprise	Nombre de salariés	Surface de bureaux (m <sup>2</sup> )	Ordinateurs	Ordinateurs portables	Serveurs	Photocopieurs / Imprimantes multifonctions	Imprimantes	Scanners	Fax	Traceurs
401001	20	586	22	6	3	4	19	1	3	
401002	160	3633	158	4	3	10	112	1	6	
401003	5	250	4	4	1	2	6			
401004	15	250	16		1	1	7		1	
401005	10	185	12		1	1	10	2	1	
401007	4	61	4	2		2	4	2	1	
401008	180	4300	165	15		8	60	3	5	
401009	58	450	58	2	1	1	13		1	
401010	24	580	25		1	2	12	2	1	
401011	7	100	7		2	1	2		1	
401012	13	150	14		1	2	13		1	
401013	7	180	6		1	2	3	2	2	
401014	4	90	5		1	1	5	1	1	1
401015	14	280	12	2	1	1	2			
401016	12	125	11	2	2	1	4	1	1	
401017	6	160	9	1	2	1	2	2	1	
401018	7	150	8		1	2	3		1	
402001	12	960	12	2	1	2	9	1	1	1
402002	213	5000	250	15	15	8	150	2	15	2
402003	25	416	25	6	20	1			1	
402004	5	100	5	1	2	1	3	1	2	
402005	25	540	33	2	4	2	13	1	2	
402006	29		30	6	26	1	5	2	1	
402007	70	1200	70		3	8	20	1	9	
402008	38	1400	31		1	3	13	1	4	
402009	335	8000	475	150	60	7	50		20	1
402010	43	1400	64	3	1	3	22	2	2	
402011	14		18	2	1	1	10		1	
402012	9	210	11	4	3	1	7	2	1	
402013	70	2700	70	20	10	6	12	2	10	
402014	55	800	65		12	4	27	2	5	
402015	4	200	4	3	2	1	4	1	1	
402016	8		7				5		1	
402017	4	169	3	3		1	5	1		
402018	21	300	26	3	2	2	6	2	2	

## Chapitre 2 : Etat des lieux de l'existant - Equipements informatiques

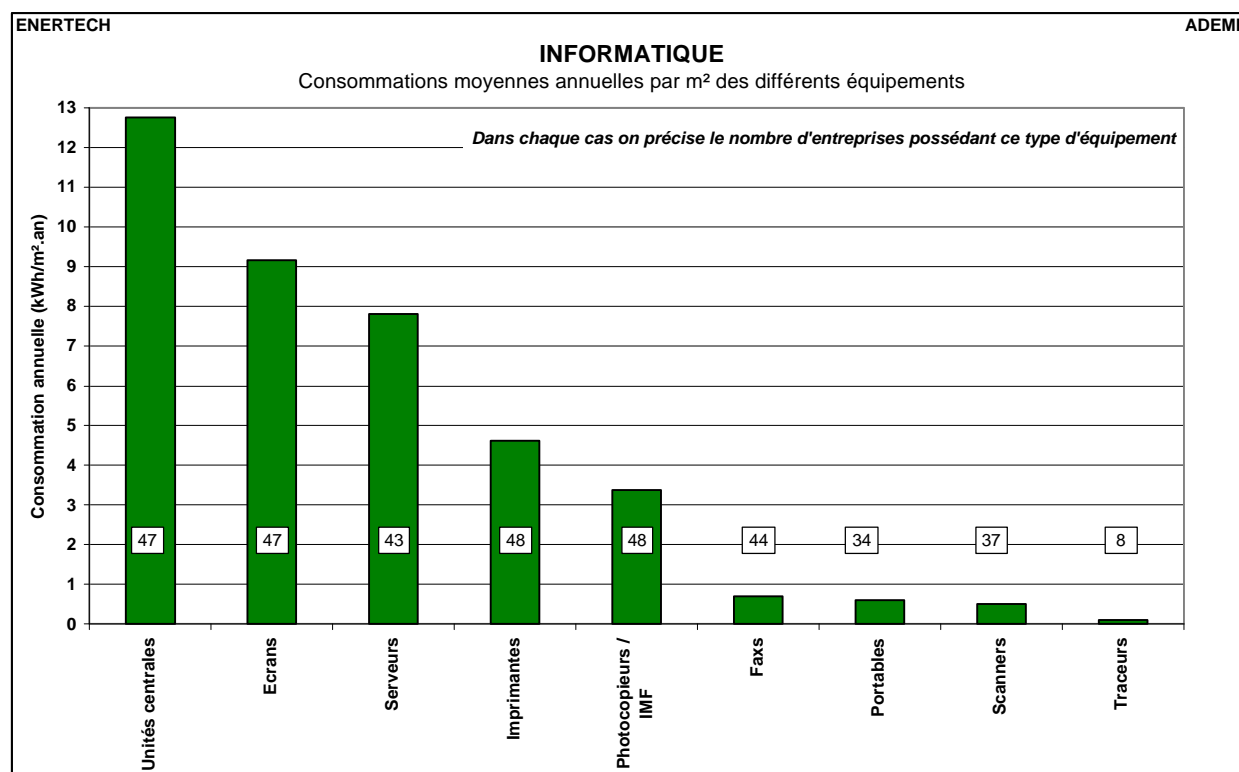
402019	75	2000	160	20	15	3	15	4	2	
402020	25		30	13	3	2	14	1	3	
402021	253		300	3	30	12	100	10	10	
402022	135	2000	169	19	6	7	60	4	7	
402023	1800	41000	2367	458	164	30	730			
402024	10	140	10	2	1	1	2	1		
402025	4	160	10		1	1	7	1		
402026	11	500	4	9	1	1	5	2	2	
402027	14	200	15	0		1	6	3	1	
402028	12	330	13	5	1	2	2	1	1	
402029	8	130	13	3	1	1	2	2	1	1
402030	20	800	20	10	2	3	3	1	2	
402031	550	6843	1200			40	200	20	10	
402032	9	235	12	1	1	1	4	1	2	

*Figure 2.22 : Caractéristiques des entreprises suivies*

Grâce à ces informations et à la consommation moyenne des appareils suivis, nous avons pu reconstituer la consommation annuelle de l'usage bureautique de ces entreprises. Lorsque nous ne possédions aucune valeur moyenne de consommation d'un appareil pour une entreprise, nous avons fait l'hypothèse que cette consommation était égale à la valeur moyenne trouvée sur l'échantillon. N'ayant pas suivi de serveurs, nous considérons qu'ils appellent en permanence une puissance de 115W. Cette valeur est tirée d'une étude suisse sur la consommation des serveurs [9].

### 2.3.2 Consommations moyennes par unité de surface

Le graphique de la figure 2.23 représente les consommations surfaciques moyennes des différents équipements présents dans les bureaux, classées par ordre décroissant.



**Figure 2.23 : Consommations annuelles moyennes par unités de surface des différents équipements**

Les unités centrales consomment plus que l'ensemble des périphériques réunis et, du fait d'une durée de fonctionnement supérieure, leur consommation dépasse celle des écrans (+39%). La consommation des serveurs semble aussi importante comparée au nombre de machines utilisées ce qui est dû au fonctionnement continu de ces équipements qui n'est d'ailleurs pas justifié dans tous les cas.

Le graphique de la figure 2.24 indique la répartition de la consommation surfacique totale entre les différents équipements.

La **consommation annuelle de bureautique** est égale au niveau régional à **40,3 kWh/an.m<sup>2</sup>** (soit 5% de plus que la moyenne de l'échantillon). Pour passer des valeurs observées sur l'échantillon à une moyenne régionale, on utilise les hypothèses développées dans l'enquête préliminaire [2].

Les ordinateurs représentent plus de la moitié de cette consommation et les serveurs près de 20%, soit presque autant que les imprimantes et photocopieurs réunis. Mais il existe des écarts importants d'une entreprise à l'autre. Ainsi, comme on le voit sur le graphique de la figure 2.25, la consommation surfacique varie dans un rapport 1 à 15 en fonction de l'entreprise. Cependant, la consommation surfacique n'est peut-être pas l'indicateur le plus pertinent dans la mesure où la surface allouée par salarié varie de façon importante. On peut par exemple citer le cas d'une entreprise qui a une consommation surfacique parmi les plus faibles de l'échantillon mais qui est par contre dans le premier tiers des entreprises les plus consommatrices par personne.

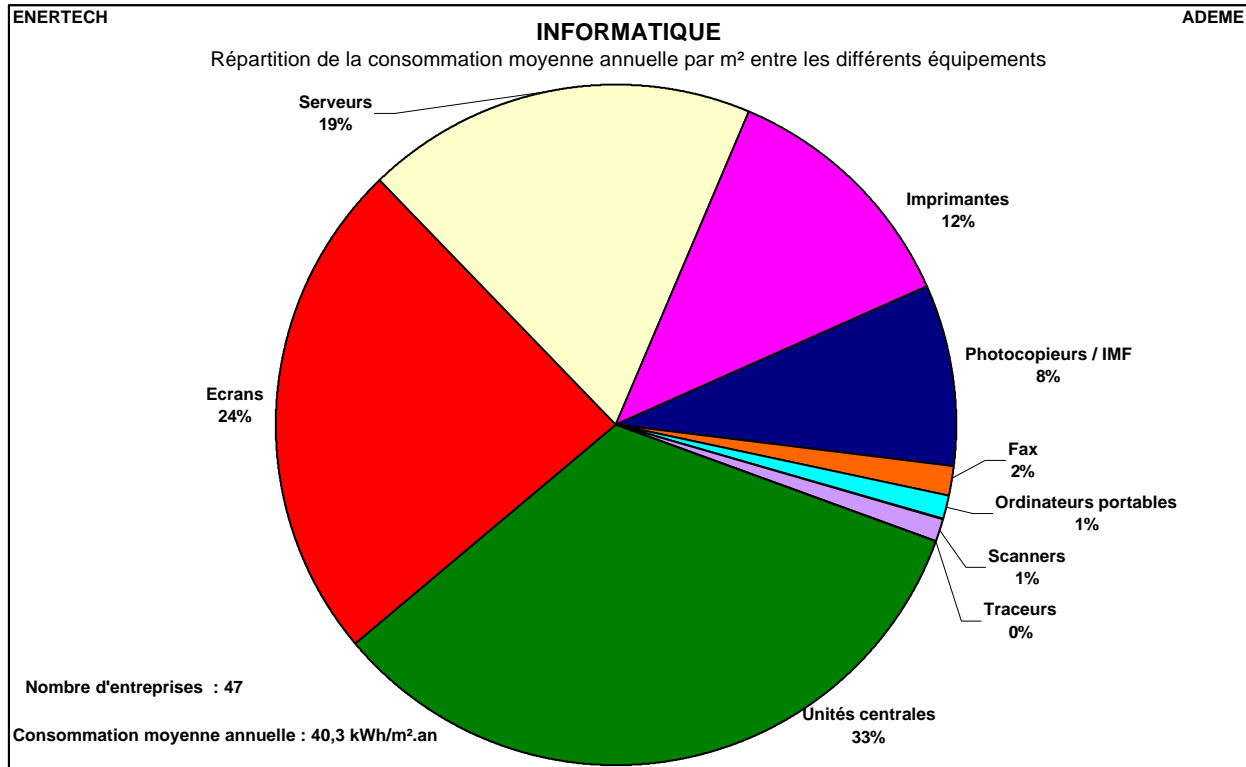


Figure 2.24 : Répartition de la consommation surfacique de bureautique entre les différents équipements

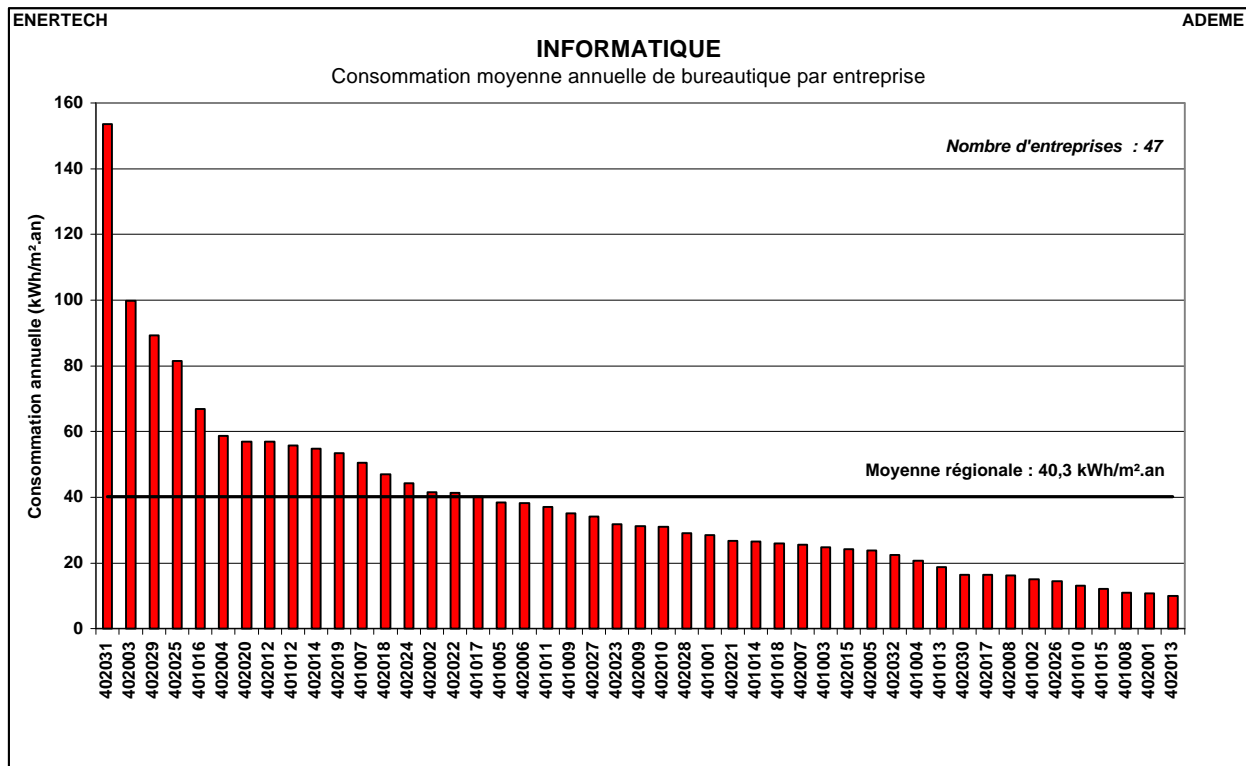
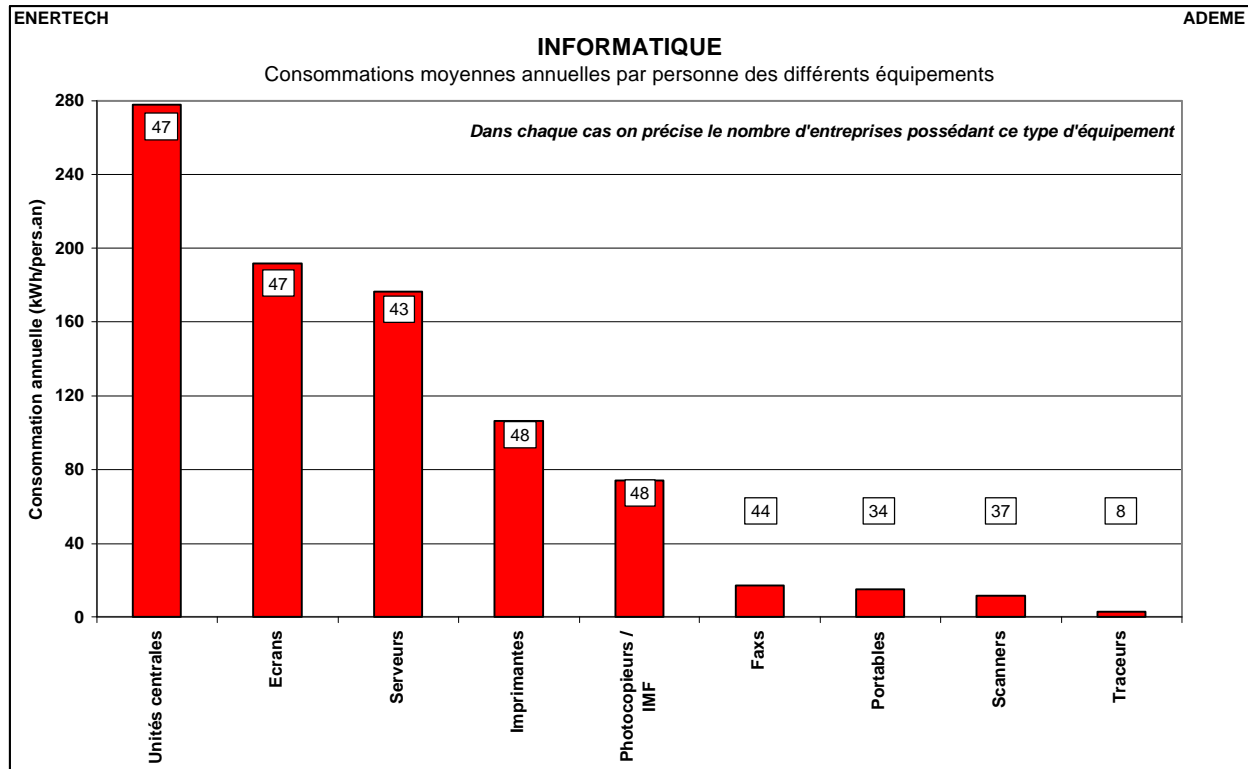


Figure 2.25 : Consommation moyenne annuelle de bureautique par entreprise

### 2.3.3 Consommations moyennes par personne

Comme pour les consommations surfaciques, la consommation par personne des unités centrales est supérieure à celle de l'ensemble des périphériques. Elle dépasse aussi celle des écrans de 45% (voir figure 2.25).



*Figure 2.26 : Consommations annuelles moyennes par personne des différents équipements*

La consommation globale de l'ensemble des équipements de bureautique, au niveau régional, est égale à **878 kWh/an.personne** (la valeur régionale est supérieure de 5% à la moyenne de l'échantillon). Cette valeur est presque aussi élevée que la consommation moyenne par personne d'électricité spécifique à usage domestique en France (1000 kWh/an). Sa répartition entre les différents équipements est similaire à celle de la consommation surfacique. Rappelons qu'on trouve dans les bureaux plus d'un ordinateur par personne (environ 1,2).

La consommation annuelle par personne varie dans un rapport 1 à 14 en fonction de l'entreprise. Cependant si on ne tient pas compte de l'entité la plus consommatrice, ce rapport est ramené à 1 à 8. Le plus gros consommateur pour l'usage bureautique travaille dans le secteur de la formation, il y a donc plus de postes informatiques que de salariés ce qui explique cette consommation élevée.

Dans plus d'un quart des entreprises, la consommation par personne est supérieure à la consommation moyenne d'électricité spécifique à usage domestique, c'est à dire que ces salariés consomment plus sur leur lieu de travail seulement pour les usages de bureautique qu'à leur domicile pour l'ensemble des tâches effectuées !

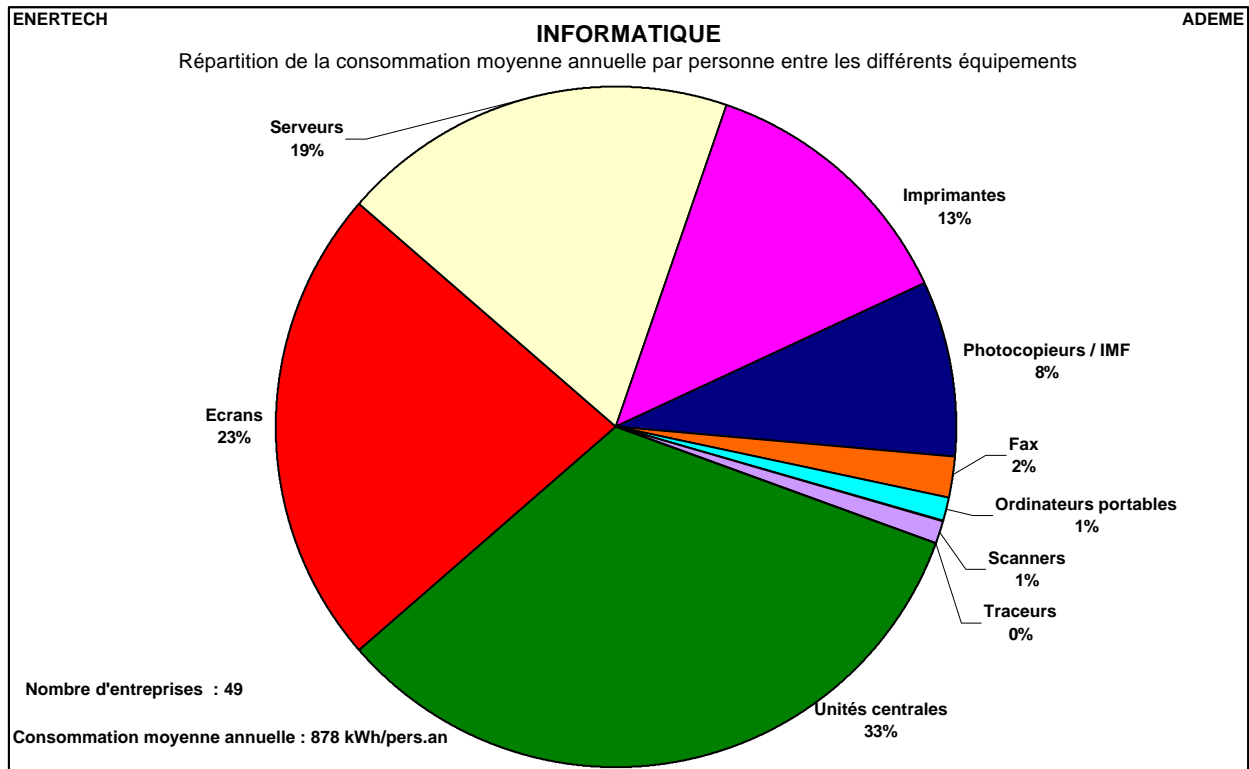


Figure 2.27 : Répartition de la consommation de bureautique par personne entre les différents équipements

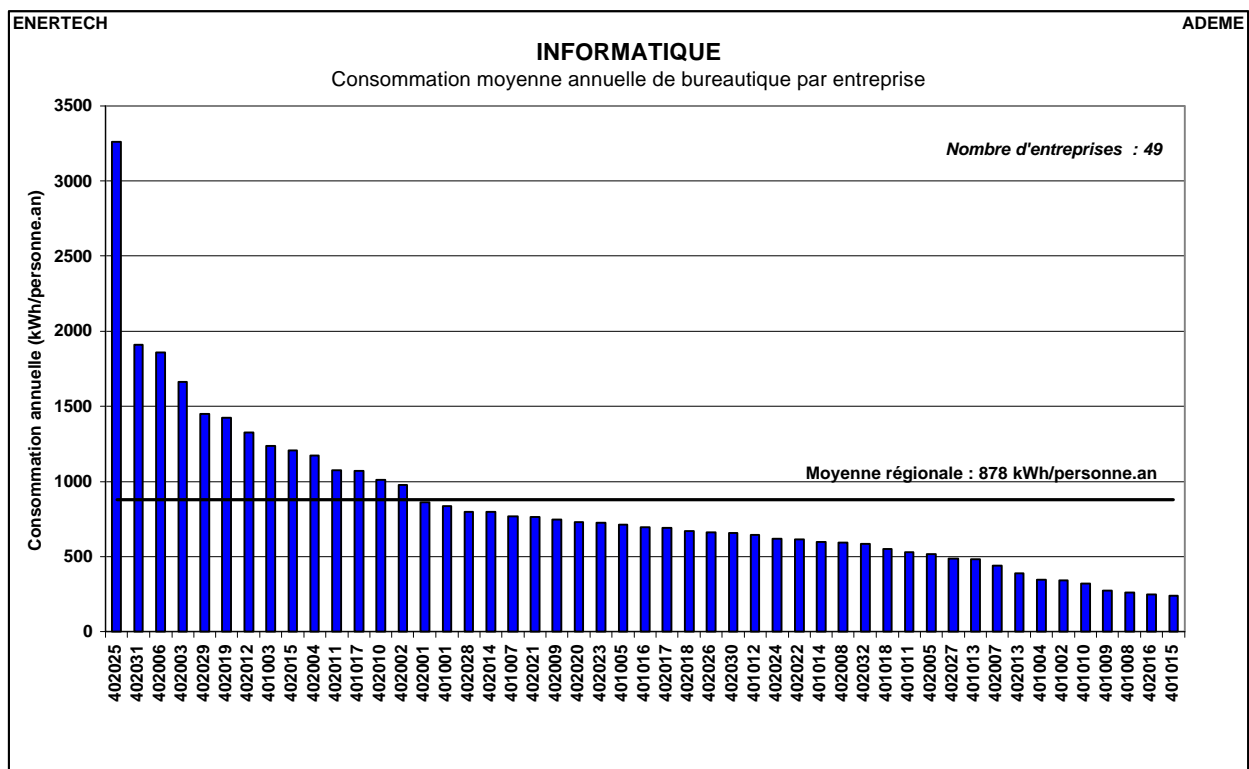


Figure 2.28 : Consommation moyenne annuelle par personne de bureautique par entreprise

## CHAPITRE 3 : ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT - ECLAIRAGE

*Afin de ne pas alourdir le texte, on ne reprend ici que les résultats principaux. L'analyse détaillée qui conduit à ces conclusions se trouve dans l'annexe 5.*

Rappelons qu'au cours de cette campagne de mesures nous avons suivi 1050 points de commande ce qui correspond à plus de 3000 foyers lumineux. Il s'agit à notre connaissance de la plus importante campagne de mesures jamais réalisée concernant l'usage éclairage dans les bâtiments de bureaux.

### 3.1 L'ECLAIRAGE DES PIECES DE BUREAUX

Dans les espaces de bureaux suivis, 89% des luminaires instrumentés étaient munis de tubes fluorescents et 41% de l'échantillon étaient de type pavé 4x18W. En ce qui concerne les lampes de bureaux on dénombre trois types de sources. Les ampoules fluocompactes (11W) et les lampes halogènes (50W) équipent chacune environ 40% de l'ensemble des lampes de bureau. Enfin les 20% restants utilisent une ampoule à incandescence.

L'éclairage des **bureaux individuels** (par opposition aux bureau paysagers) fonctionne **1155 heures par an**, soit 5,1 heures par jour ouvré ou encore 73% du temps de travail réglementaire. En ce qui concerne les **bureaux paysagers**, les luminaires marchent **2513 heures par an** (10 heures par jour ouvrable).

Quand, en plus de son éclairage principal par plafonnier, un bureau est équipé d'un **lampadaire sur pied**, ce dernier est utilisé en moyenne **767 heures par an** alors que dans le cas d'une **lampe de bureau** comme éclairage secondaire, la durée de fonctionnement s'élève à **489 heures par an** (527 heures par an si on ne tient pas compte des lampes de bureau qui n'ont jamais fonctionné au cours de la campagne de mesures).

La durée de fonctionnement de l'éclairage des bureaux individuels varie en fonction de la saison dans une plage de 49% autour de la valeur moyenne de 4,5 heures par jour. Les variations saisonnières sont moins marquées pour l'éclairage des bureaux paysagers (plage de 18% autour de la valeur moyenne de 9,6 heures par jour). Dans tous les cas, la durée d'utilisation est maximum en février et minimum en juin.

Durant les jours de travail, l'éclairage des bureaux individuels atteint son maximum d'utilisation vers 10 heures (il est alors utilisé dans 60% des cas en hiver et 30% en été). Dans un tiers des bureaux où il fonctionnait, il est éteint pour la pause déjeuner et n'est pas toujours rallumé l'après-midi. Les bureaux paysagers sont plus systématiquement allumés au cours de la journée (90% des luminaires suivis en hiver et 65% en été) et l'extinction au moment du déjeuner est moins fréquente (environ 12% des bureaux paysagers éclairés le matin sont éteints au moment du repas contre 33% pour les bureaux individuels).

Dans les bureaux individuels, on mesure en moyenne 1,8 cycles d'allumage par jour ouvré de durée 2,5 heures (bureau à une zone). La moitié des cycles a une durée inférieure à 2 heures. Le cycle le plus long dure 9,5 heures ce qui signifie qu'on n'a pas observé d'oubli

d'extinction d'une nuit entière. On dénombre, en moyenne dans les bureaux paysagers, 1,6 cycles par jour de durée 4,4 heures. Là encore, les luminaires sont toujours éteints en fin de journée. Pour les lampes de bureau, on observe une moyenne de 0,8 cycle de fonctionnement par jour de durée 2,5 heures. La durée des cycles est très proche de celle des plafonniers de bureau individuel, ce qui laisse penser que les deux luminaires sont très souvent actionnés simultanément.

Dans plus de 80% des bureaux individuels, la durée de fonctionnement de l'éclairage en dehors des heures ouvrées (7-20 heures du lundi au vendredi) est inférieure à 10%. Cela n'est vrai que pour 61% des bureaux paysagers, probablement car les usagers du fait qu'ils sont plus nombreux se sentent moins responsables de la gestion de l'éclairage.

La **consommation** moyenne d'électricité pour l'usage éclairage dans les pièces de bureaux s'élève, sur notre échantillon, à **14,6 kWh/m<sup>2</sup>.an** ou encore **369 kWh/personne.an**. 81% de cette consommation est imputable aux tubes fluorescents et le reste est pratiquement exclusivement attribuable à la technologie halogène. Le coût moyen annuel (consommation et abonnement), tous tarifs confondus, est égal à 1,1 euros H.T./m<sup>2</sup> (26 euros H.T./personne).

### 3.2 L'ECLAIRAGE DES CIRCULATIONS

On trouve dans les circulations 54% des luminaires équipés de tubes fluorescents et 16% d'ampoules halogènes ou à incandescence. L'éclairage des **couloirs** fonctionne en moyenne **2740 heures par an** (10,8 heures par jour ouvrable) et celui des **escaliers 1125 heures par an**.

La durée d'éclairage est constante quelle que soit la période de l'année dans le cas des couloirs alors que le temps de marche des luminaires des escaliers varie en fonction de la saison.

Les couloirs sont généralement éclairés de 8 à 19 heures en continu (80% des cas en été et 65% en hiver). Quant aux escaliers, ils sont moins souvent éclairés et l'éclairage artificiel fonctionne en général plutôt le matin et en fin d'après-midi.

Dans un établissement l'éclairage des couloirs marche 24 heures sur 24. De plus dans près de 20% des couloirs, plus d'un quart de la consommation d'éclairage a lieu en dehors des heures ouvrées.

La durée moyenne d'un cycle d'allumage est de 5,6 heures (sans tenir compte des couloirs allumés en permanence) et on compte 1,8 cycles par jour. Tout au plus 5% des cycles correspondent à des dysfonctionnements importants (durée supérieure à 12 heures) mais globalement les durées d'allumage paraissent élevées pour un lieu de passage. Une automatisation de la commande de l'éclairage permettrait de réduire sensiblement le temps de fonctionnement et par là-même la consommation.

Au niveau régional, la **consommation** annuelle moyenne des circulations vaut **7,1 kWh par m<sup>2</sup>** (0,4 euro H.T. par m<sup>2</sup>) ou **176 kWh par personne** (11 euros par personne). En règle générale, plus la taille de l'entreprise est importante, plus cette consommation est élevée. Ce phénomène s'explique probablement encore par le niveau de responsabilité des usagers : plus l'entreprise est grande, moins les employés se sentent le droit (ou le devoir ?) d'agir sur

l'éclairage des espaces communs. Plus des deux tiers de l'électricité est consommée par des tubes fluorescents et plus d'un quart par des sources peu performantes (incandescente et halogène).

### 3.3 L'ECLAIRAGE DES LOCAUX COMMUNS

Un local commun est un local qui fait partie d'un établissement de bureau mais qui n'est ni une pièce de bureau, ni une circulation, ni des sanitaires. Ces locaux sont généralement utilisés par plusieurs employés.

79% des luminaires des locaux communs sont équipés de tubes fluorescents dont la plupart sont des 4x18W ou des 2x36W.

Les caractéristiques de fonctionnement de l'éclairage des locaux communs sont données dans le tableau de la figure 3.1. A l'exception des coins cuisines, des salles de réunion et des archives, la durée annuelle d'éclairage de toutes les pièces communes est supérieure à celle des bureaux individuels (entre 25 et 71%). Il en est de même pour la durée moyenne des cycles.

Local	Durée annuelle de fonctionnement (h/an)	Nombre moyen de cycles par jour ouvré	Durée moyenne d'un cycle (heures/cycle)
Archives	1053	3,3	3,5
Local reprographie	1970	3,2	3,5
Local serveur	1443		
Salle de pause	1653	3,4	2,6
Coin Cuisine	538		
Salle de réunion	530	1,5	1,7

*Figure 3.1 : Caractéristiques de fonctionnement de l'éclairage des locaux communs*

Dans les locaux communs, exception faite des salles de réunion, des halls et des salles d'archives, la durée d'éclairage n'est pas influencée par la saison. Les luminaires, quand ils sont utilisés, marchent toute la journée en continu (cette observation n'est pas valable pour les salles de réunion et les halls). Globalement, le fonctionnement en dehors des heures ouvrées est rare.

La **consommation** annuelle moyenne s'élève à **4,1 kWh/m<sup>2</sup>** (0,3 euro H.T./m<sup>2</sup>) ou encore **108 kWh/personne** (7 euros H.T./personne).

### 3.4 L'ECLAIRAGE DES SANITAIRES

La moitié des luminaires qui équipent les sanitaires sont munis d'ampoules à incandescence et un quart d'ampoules fluocompactes ou de tubes fluorescents. 10% des circuits d'éclairage suivis étaient commandés par minuterie, 4% par détecteur de présence et le reste par interrupteur.

Dans les **sanitaires**, l'éclairage fonctionne en moyenne **1183 heures par an** (cette valeur correspond au temps pendant lequel au moins un foyer lumineux des blocs sanitaires considérés est en marche). Cette durée est inférieure au temps de fonctionnement de l'éclairage de la plupart des locaux communs et est équivalent à celui des bureaux individuels. Les contrôles (minuteries et détecteurs de présence) installés dans certains blocs, tels qu'ils fonctionnent actuellement, ne semblent pas réduire efficacement le temps de marche.

Comme on le voit sur la figure 3.2, les lavabos sont éclairés beaucoup plus longtemps que les cabines, peut-être parce que les usagers craignent que quelqu'un ne soit encore dans une cabine au moment où ils quittent le lieu et n'éteignent donc pas. Le mode de fonctionnement de l'éclairage dans les locaux munis à la fois des sanitaires et du lavabo est très proche de celui des cabines (durée et nombre de cycles quotidiens pratiquement similaires).

Sanitaires	Durée annuelle de fonctionnement (h/an)	Nombre moyen de cycles par jour ouvré	Durée moyenne d'un cycle (heures/cycle)
1 pièce (lavabo + sanitaires)	711	15,9	17
Lavabo	1084	15,4	28
Cabine	669	12,2	40 (20*)

\* : on passe de 40 à 20 minutes si on supprime de l'échantillon les deux oublis de durée supérieure à 4 heures observés au cours de la période de mesures

**Figure 3.2 : Caractéristiques de fonctionnement de l'éclairage des sanitaires**

La durée de fonctionnement de l'éclairage des sanitaires est constante tout au long de l'année ce qui paraît logique vu qu'il s'agit la plupart du temps de locaux borgnes. Si on considère l'ensemble des blocs sanitaires, environ un quart est éclairé entre 10 et 18 heures. Les premières utilisations ont lieu dès 5 heures et les sanitaires sont utilisés jusqu'à 22 heures.

Les oublis d'extinction sont plus fréquents que dans les autres locaux. Dans 70% des blocs suivis, on a relevé au moins un fonctionnement à minuit au cours de la période de mesures. Cependant la durée d'un cycle n'excède jamais 9 heures.

La **consommation annuelle** des sanitaires est égale à **1,2 kWh par m<sup>2</sup>** (0,06 euro H.T./m<sup>2</sup>), soit **32 kWh par personne** (1,7 euros H.T./m<sup>2</sup>). 82% de l'électricité est consommée par des ampoules à incandescence et halogènes basse tension.

### 3.5 CONSOMMATION TOTALE D'ECLAIRAGE

La **consommation moyenne d'éclairage au niveau régional** est égale à **26,7 kWh/m<sup>2</sup>.an** dont :

- 58% pour les bureaux
- 24% pour les circulations
- 14% pour les locaux communs
- 4% pour les sanitaires

Cette valeur est **inférieure de 34% à la consommation de bureautique**. Plus la taille de l'entreprise augmente, plus la consommation surfacique est élevée.

La **consommation moyenne régionale par personne** vaut **674 kWh par an** (23% de moins que la consommation de bureautique).

En moyenne, l'éclairage des bâtiments de bureaux coûte, chaque année, 1,8 euros par m<sup>2</sup> ou encore 44 euros par personne

La puissance moyenne appelée au moment de la pointe régionale d'hiver (19 heures) est de 4,5 W/m<sup>2</sup> et de 6,0W/m<sup>2</sup> pendant la pointe d'été (13 heures).

## CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA CONSOMMATION TOTALE DES BATIMENTS SUIVIS

### 4.1 INTRODUCTION

Nous avons passé un accord avec EDF en début de campagne de mesures qui stipulait qu'elle nous fournirait la consommation annuelle des 49 bâtiments de bureaux que nous avons instrumentés. Cependant, EDF n'a pas été en mesure de nous communiquer l'ensemble des consommations car dans certains cas l'adresse de l'établissement est différente de l'adresse de facturation. Dans ces cas-là, il lui a donc été impossible de retrouver les clients dans sa base de données. Nous avons alors recontacté les entreprises afin qu'elles nous indiquent leur consommation annuelle. Au final :

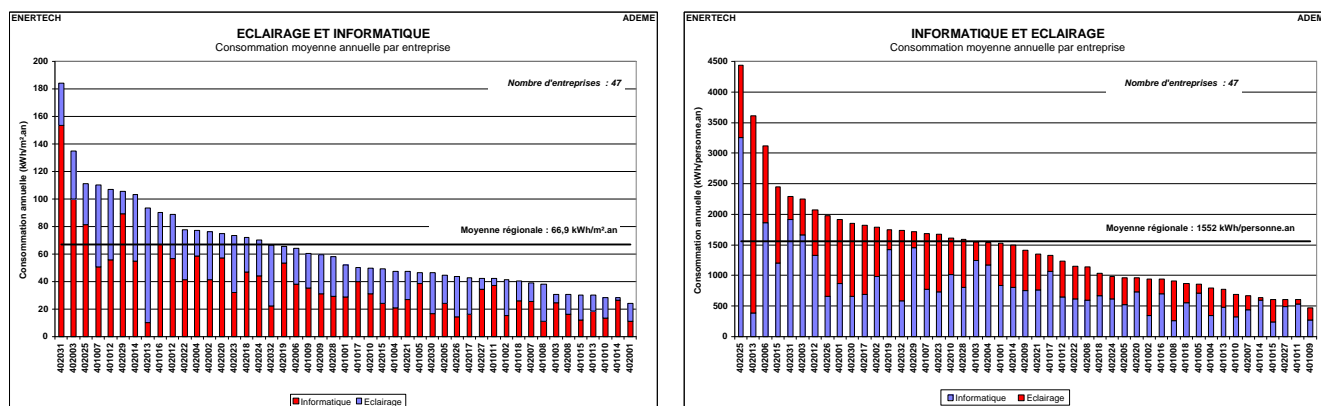
- pour 12% de l'échantillon, nous ne sommes pas parvenus à nous procurer de factures
- pour 2% de l'échantillon (1 entreprise), les bureaux sont occupés depuis moins d'un an
- pour 12% de l'échantillon, plusieurs entreprises sont sur le même compteur.

Nous connaissons donc la consommation annuelle de 74% des bâtiments de l'échantillon. Mais dans 29% des cas (14 bâtiments), le bâtiment ne contient pas uniquement des bureaux (production, garage, magasin...). Pour ces entreprises, nous n'avons pris en compte que les surfaces de bureaux.

Enfin, pour 22 bâtiments, contenant exclusivement des bureaux, nous connaissons la consommation annuelle (45% de l'échantillon).

### 4.2 CONSOMMATION D'ECLAIRAGE ET D'INFORMATIQUE

Les consommations annuelles d'éclairage et de bureautique (surfacique et par personne) sont représentées sur le graphique de la figure 4.1. En moyenne, elles valent 66,9 kWh/m<sup>2</sup>.an ou encore 1552 kWh/personne.an



*Figure 4.1 : Histogrammes des consommations annuelles (surfacique et par personne) d'éclairage et d'informatique*

La consommation conjointe d'informatique et d'éclairage est supérieure à la consommation moyenne d'électricité spécifique à usage domestique (1000 kWh/personne.an) dans près des deux tiers des entreprises !

Dans 70% des bâtiments de bureaux, la consommation de l'usage informatique est supérieure à celle de l'éclairage (figure 4.2).

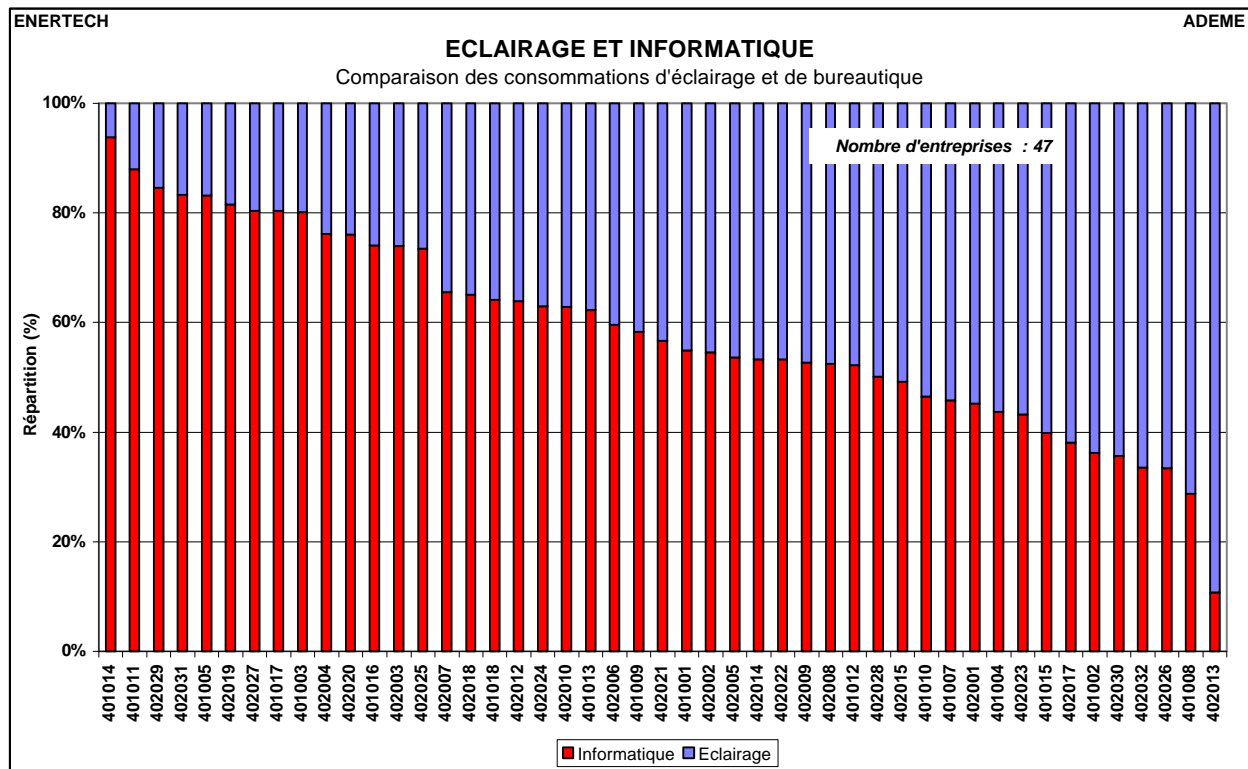


Figure 4.2 : Répartition des consommations annuelles d'éclairage et de bureautique

### 4.3 CONSOMMATION ELECTRIQUE TOTALE DES BATIMENTS SUIVIS

Dans ce paragraphe nous ne prenons en compte que les bâtiments accueillant exclusivement des activités de bureau et dont on connaît la consommation électrique totale annuelle, à savoir 23 bâtiments. 70% des ces bâtiments utilisent l'électricité comme énergie de chauffage (convecteurs, pompes à chaleur...) et 91% sont climatisés.

#### 4.3.1 Etude de la consommation électrique totale

Comme on le remarque sur l'histogramme de la figure 4.3, les consommations électriques surfaciques varient, entre les différents bâtiments de bureaux suivis, dans un rapport 1 à 16. Une des explications de ces variations importantes est que l'électricité n'est pas dans tous les cas utilisée pour les mêmes usages :

- Quand l'électricité n'est utilisée que pour les usages spécifiques (1 bâtiment), la consommation est de 45 kWh/m<sup>2</sup>.an (1783 kWh/personne.an)

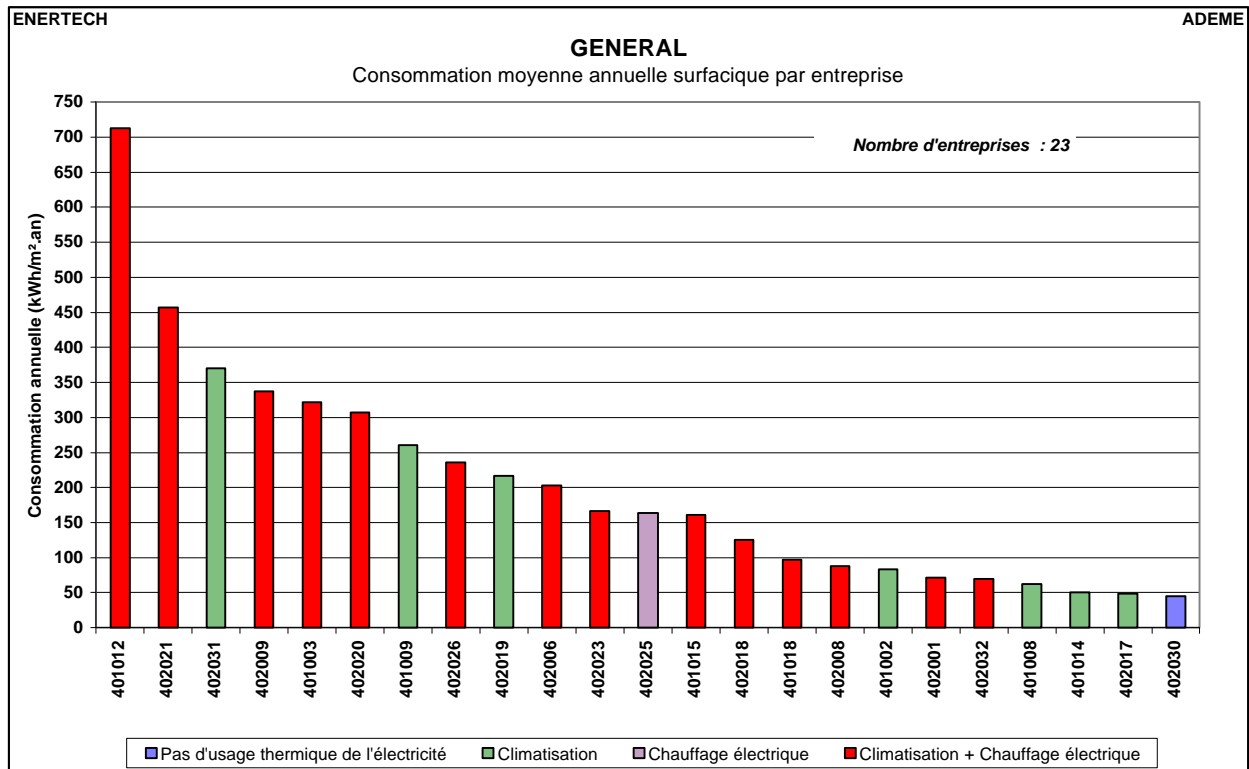


Figure 4.3 : Consommation annuelle surfacique par entreprise

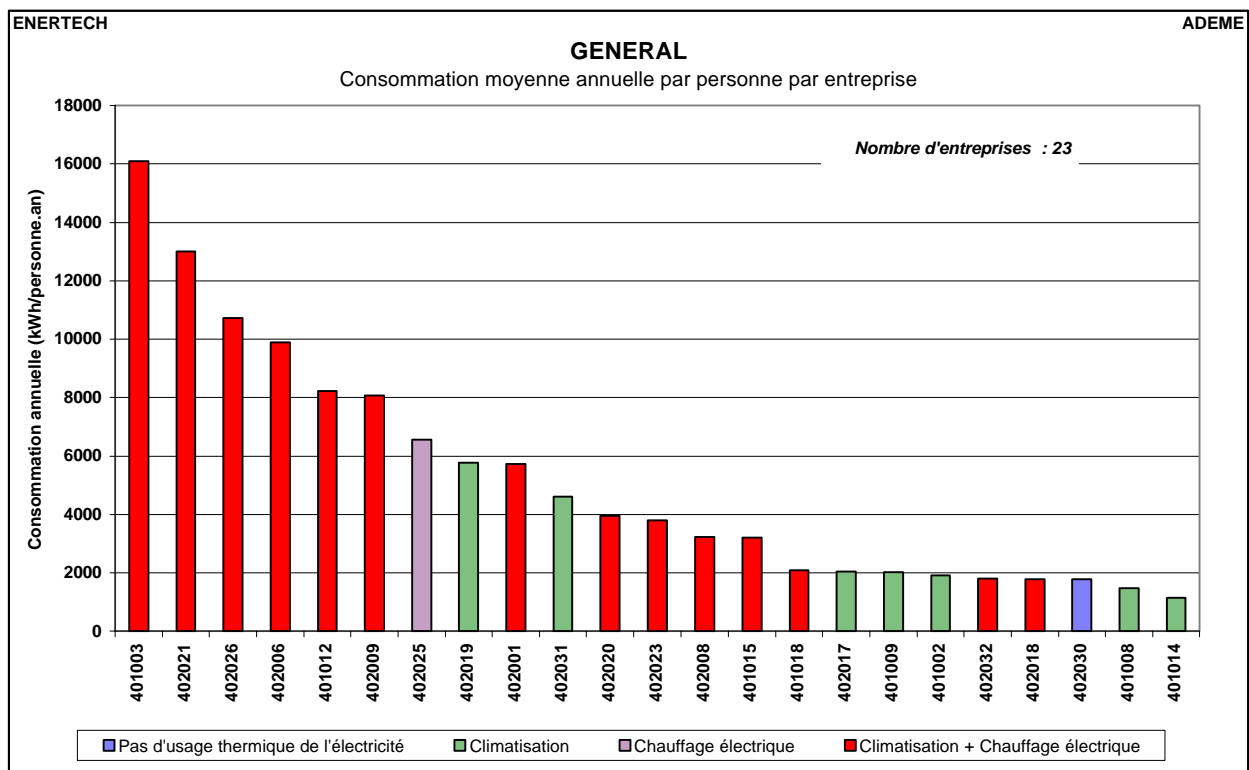


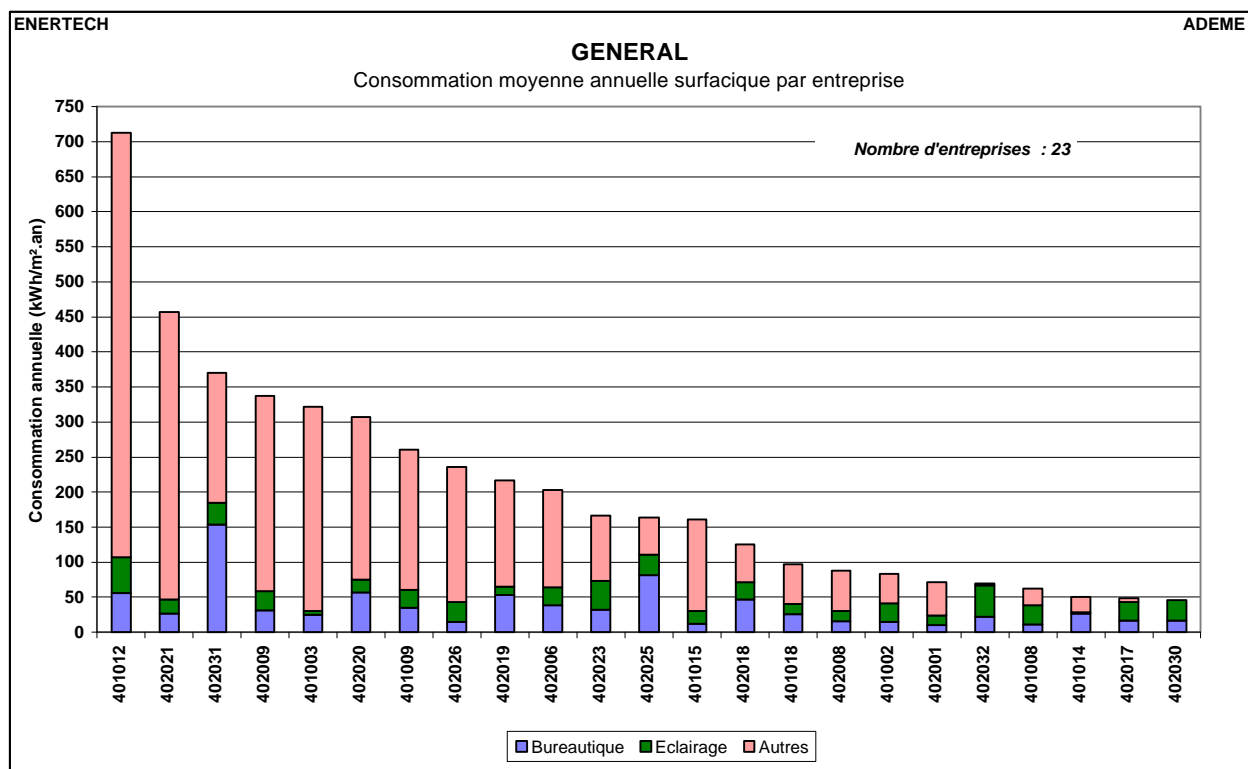
Figure 4.4 : Consommation annuelle par personne et par entreprise

- Quand l'électricité est utilisée pour les usages spécifiques et que le bâtiment est climatisé (7 bâtiments), la consommation moyenne est de 156 kWh/m<sup>2</sup>.an (2708 kWh/personne.an)
- Quand l'électricité est utilisée pour les usages spécifiques, le chauffage et que le bâtiment n'est pas climatisé (1 bâtiment), la consommation moyenne est de 164 kWh/m<sup>2</sup>.an (6563 kWh/personne.an)
- Quand l'électricité est utilisée pour les usages spécifiques, le chauffage et que le bâtiment est climatisé (14 bâtiments), la consommation moyenne est de 240 kWh/m<sup>2</sup>.an (6543 kWh/personne.an).

### 4.3.2 Part de la bureautique et de l'éclairage

La part occupée par l'éclairage et la bureautique diffère en fonction de l'usage qui est fait de l'électricité dans le bâtiment :

- Quand l'électricité n'est utilisée que pour les usages spécifiques (1 bâtiment), les deux usages couvrent la totalité de la consommation. Ce cas (bâtiment 402030) montre les limites de notre méthodologie. Nous commettons ici une erreur en extrapolant nos résultats à l'ensemble des parcs d'appareils de bureautique et de luminaires.



*Figure 4.5 : Répartition de la consommation électrique annuelle entre l'éclairage, l'informatique et les autres usages*

- Quand l'électricité est utilisée pour les usages spécifiques et que le bâtiment est climatisé (7 bâtiments), la part des deux usages varient entre 23 et 89%, la valeur moyenne est de 51%

- Quand l'électricité est utilisée pour les usages spécifiques, le chauffage et que le bâtiment n'est pas climatisé (1 bâtiment), les deux usages couvrent 68% de la consommation (à noter que dans ce bâtiment –402025- la moitié de la consommation est attribuée au seul usage informatique).
- Quand l'électricité est utilisée pour les usages spécifiques, le chauffage et que le bâtiment est climatisé (14 bâtiments), l'éclairage et l'informatique représentent en moyenne 32% de la consommation totale.

### 4.3.3 Comparaison avec les bâtiments performants

Depuis quelques années, les Allemands ont commencé à s'intéresser à la consommation d'énergie des bâtiments de bureaux. Un projet de démonstration [10], appelé « bâtiments optimisés énergiquement (en Allemand *Solarbau*), a débuté en 1995. Il vise à construire des bâtiments de bureaux qui consomment moins de 100 kWh/m<sup>2</sup>.an (énergie primaire). Début 2003, 20 bâtiments adhéraient à ce programme. L'intérêt de cette action est que non seulement elle fournit une aide (financière et technique) à la construction mais elle finance un suivi des performances énergétiques du bâtiment (campagnes de mesures).

Sur le graphique de la figure 4.6, on a représenté les consommations moyennes annuelles surfaciques d'énergie primaire des 15 bâtiments de bureaux pour lesquels l'électricité est la seule énergie employée (usages spécifiques et thermiques). On a pris un coefficient de conversion entre l'énergie finale et l'énergie primaire de 2,58.

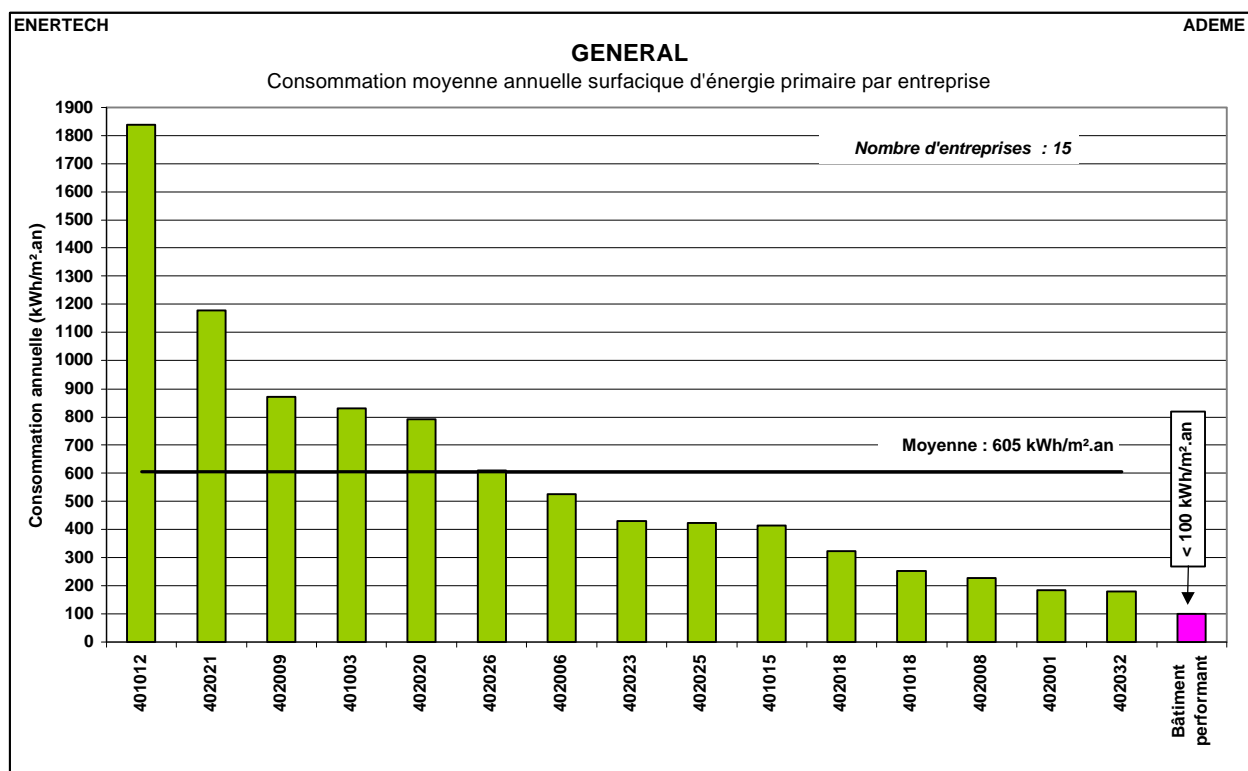
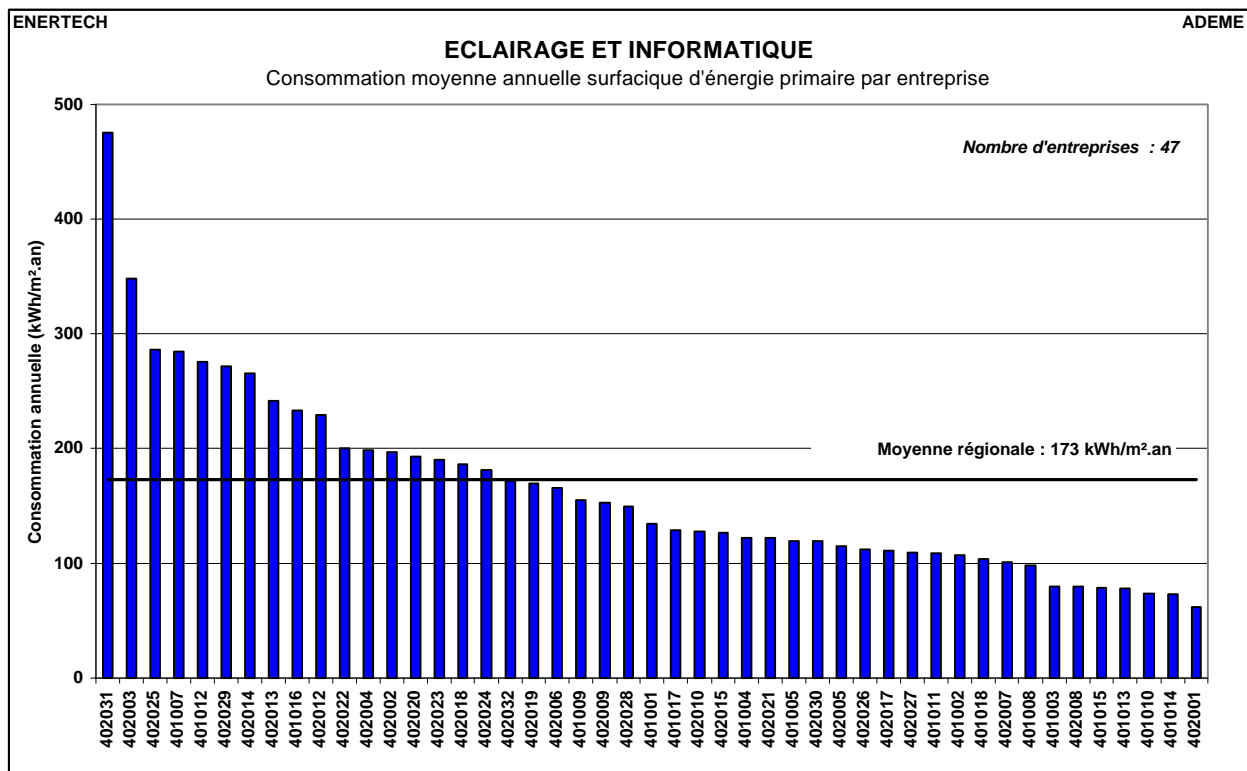


Figure 4.6 : Histogramme des consommations moyennes annuelles surfaciques d'énergie primaire

## Chapitre 4 : Etude de la consommation totale

Les consommations des entreprises suivies valent 1,8 à 18 fois la valeur cible de 100 kWh/m<sup>2</sup>.an. Elles dépassent donc très largement l'objectif fixé pour les bâtiments performants. La valeur moyenne est de 605 kWh/m<sup>2</sup>.an. Rappelons que cette valeur correspond à des bâtiments utilisant comme unique énergie l'électricité.

Comme on le voit sur le graphique de la figure 4.7, dans 83% des bâtiments de bureaux de notre échantillon, les usages éclairage et informatique consomment à eux-seuls plus que la valeur visée pour la consommation totale d'énergie primaire d'un bâtiment performant !



*Figure 4.7 : Histogramme des consommations moyennes annuelles surfaciques d'énergie primaire des usages éclairage et informatique*

## CHAPITRE 5 : GISEMENTS D'ECONOMIES D'ELECTRICITE - INFORMATIQUE

### 5.1 REDUCTION DE LA CONSOMMATION DES EQUIPEMENTS EXISTANTS

#### 5.1.1 Utilisation d'une barrette multiprise

L'ensemble des unités centrales suivies ainsi que 94% des écrans continuent à consommer de l'électricité à l'arrêt. La puissance moyenne appelée à l'arrêt par un ordinateur s'élève en moyenne à 5,2W. Cette consommation peut être supprimée en équipant l'ordinateur d'une barrette multiprise (photographie de la figure 5.1). L'utilisateur lorsqu'il éteint son ordinateur doit alors aussi couper l'alimentation électrique grâce à l'interrupteur de la barrette.



*Figure 5.1 : Ordinateur (écran + unité centrale) alimenté par une barrette multiprise*

La mise en place de ce dispositif permet une économie moyenne de 9 kWh/an pour l'écran et de 14 kWh/an pour l'unité centrale, soit un peu plus de 6% de la consommation totale annuelle. L'économie financière est en moyenne de 0,7 euros H.T./an pour l'écran (maximum 3 euros) et de 0,8 euros H.T./an pour l'unité centrale, soit 1,5 euros H.T./an par ordinateur.

Une barrette multiprises coûte environ 5,5 euros H.T., le temps de retour associé à cette mesure est donc légèrement supérieure à 3 ans et demi. Le temps d'amortissement sera plus court si on branche aussi sur la même prise des périphériques, par exemple une imprimante, un scanner, des haut-parleurs...Et il ne sera plus que de quelques mois si l'ordinateur est arrêté à chaque fois qu'on en a plus besoin.

### 5.1.2 Utilisation d'une horloge pour les équipements de bureautique

On a vu que la plupart des appareils de bureautique continuaient de fonctionner inutilement au cours de la nuit (20 heures à 8 heures) et les week-ends. On pourrait commander leur fonctionnement grâce à une horloge. Le tableau de la figure 5.2 indique l'économie moyenne réalisable pour les appareils considérés. On estime le prix d'une horloge programmatrice à 5,5 euros H.T..

Appareil	Consommation initiale (kWh/an)	Consommation finale (kWh/an)	Economie (kWh/an)	Economie (€ H.T./an)	Temps de retour (an)
Distributeur de boissons	3012	1093	1919 (-64%)	73	0,1
Machine à café (sur pied)	1046	438	608 (-58%)	28	0,2
Scanner/email/fax	907	324	583 (-64%)	16	0,3
Photocopieur / Impr. multifonctions	681	418	263 (-39%)	13	0,5
Fontaine eau réfrigérée/chaude	487	221	266 (-55%)	21	0,3
Imprimante laser	267	141	126 (-48%)	6	1
Vidéo-projecteur	173	134	39 (-23%)	2	2,6
Fax	147	70	77 (-52%)	3	1,6
Cafetière	109	92	17 (-16%)	1	3,1
Imprimante matricielle	103	39	64 (-62%)	3	1,8
Scanner	95	37	58 (-61%)	2	2,4
Fontaine eau réfrigérée	90	39	51 (-57%)	4	1,4
Balance	71	25	46 (-65%)	4	1,4
Téléphone de conférence	56	20	36 (-65%)	1	4,8
Traceur	50	40	10 (-20%)	1	8,6
Imprimante jet d'encre	39	17	22 (-56%)	1	6,4
Haut-parleurs	17	6	11 (-65%)	1	7,7
Destructeur de documents	9	8	1 (-11%)	<0,5	>10

**Figure 5.2 : Economies envisageables grâce à l'ajout d'une horloge (arrêt nuits – 20h>8H - et week-ends) sur les appareils de bureautique**

Pour la plupart des appareils, la consommation en dehors des périodes d'occupation représente plus de la moitié de la consommation totale.

Dans le cas des fax, il est cependant difficile d'accéder à ce gisement car ces appareils doivent rester en marche en permanence en attente d'une réception. France Telecom offre maintenant un service qui permet d'enregistrer sur un répondeur les télécopies quand le fax est arrêté, elles sont imprimées à la remise en service du fax. Il est donc possible de débrancher le fax en dehors des heures d'ouverture de l'entreprise. Mais ce service coûte 1,26 euros par mois. On voit donc qu'il n'est pas rentable.

L'utilisation d'une horloge a un temps de retour très court pour la plupart des appareils de bureautique. On conseille d'installer un programmeur sur les distributeurs de boissons, machines à café, fontaines, photocopieurs, imprimantes multifonctions, imprimantes. On s'assurera d'abord que l'arrêt des appareils ne pose pas de problème, notamment en cas de connexion à un réseau.

Pour les autres appareils, on informera les entreprises de l'intérêt de les débrancher après usage (téléphones de conférence, vidéo-projecteurs, balances, scanners...).

### 5.1.3 Arrêt manuel des ordinateurs

On a vu que 4% des écrans et 15% des unités centrales fonctionnaient en continu. Dans ce cas, la façon la plus simple d'économiser de l'électricité est d'arrêter ces machines lorsqu'elles ne sont pas utilisées, notamment la nuit et les week-ends. Cette action est gratuite et ne demande aucune modification système. Cependant, près de 20% des responsables informatiques interdisent ou déconseillent l'arrêt des ordinateurs la nuit et/ou les week-ends. Il est donc indispensable de discuter avec ces employés pour aller contre les idées préconçues (« les machines vieillissent à cause des variations de tensions au démarrage et à l'arrêt », « un disque dur doit rester chaud »...) et pour imaginer d'autres manières d'effectuer les tâches nocturnes (sauvegardes, actualisation d'antivirus...) afin qu'elles puissent se faire en journée sans déranger les utilisateurs. En outre, il est plus sûr d'arrêter les réseaux en dehors des heures d'utilisation pour les protéger des infiltrations de personnes malveillantes (espionnage, attaque de virus...). On pourra faire appel à une société de services afin d'adopter une architecture qui permet un arrêt du réseau en dehors des heures d'utilisation.

### 5.1.4 Activation des gestionnaires de veilles

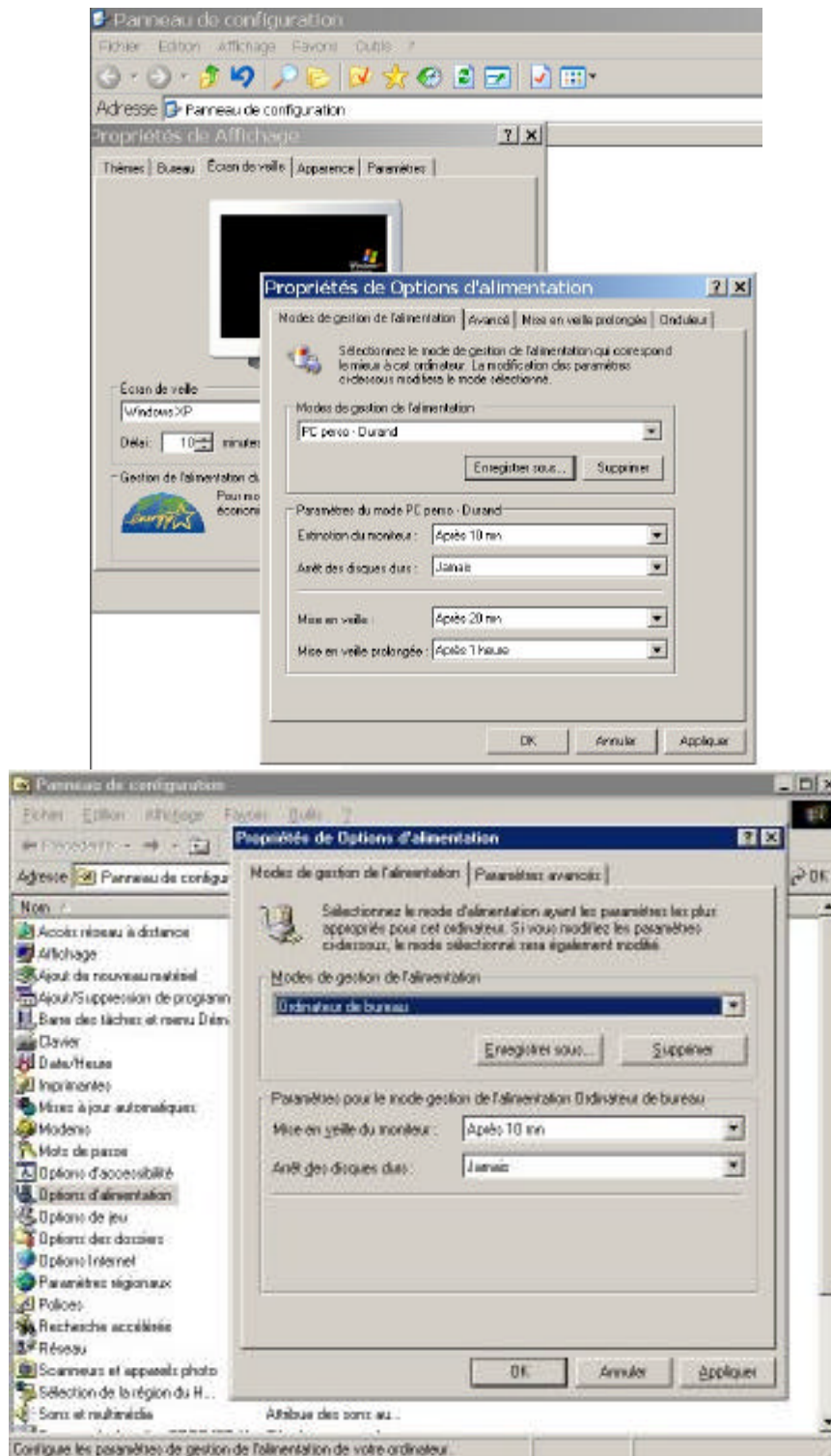
#### 5.1.4.1 Généralités sur les gestionnaires de veilles

##### 5.1.4.1.1 Reconnaître le type de gestionnaire d'énergie de son ordinateur

Pour savoir de quel gestionnaire d'énergie est muni un ordinateur, il faut se rendre dans le menu *gestion des paramètres d'alimentation*. Pour ce faire, depuis le bureau, on clique sur :

- Démarrer
- Paramètres
- Panneau de configuration
- Option d'alimentation

Si les délais paramétrables proposés sont *écran, arrêt des disques durs, veille et veille prolongée*, le gestionnaire est **ACPI** (dernière génération de gestionnaire d'énergie disponible). Si l'option veille prolongée n'est pas proposée, il s'agit d'une version antérieure. La figure 5.3 illustre ces deux possibilités. Attention la présentation de cet écran peut changer d'un ordinateur à l'autre.



**Figure 5.3 : Panneaux de configuration d'un gestionnaire d'énergie ACPI (haut) et de génération antérieure (bas)**

#### 5.1.4.1.2 Délais préconisés

Dans le paragraphe 2.1.3.1, on a décrit les spécifications du système de gestion d'énergie ACPI. Si on veut réduire efficacement les consommations d'énergie tout en

maintenant des temps de remise en marche raisonnables, les délais conseillés sont les suivants:

- Ecran : 10 minutes
- Veille (unité centrale) : 20 minutes
- Veille prolongée (unité centrale) : 60 minutes

Si le temps de sortie de l'état d'hibernation est suffisamment court, on pourra réduire le temps de passage dans cet état à 20 minutes. Il est conseillé de continuer à éteindre chaque jour son ordinateur, non pour des raisons de réduction de consommation (les puissances appelées en hibernation et à l'arrêt sont en général identiques) mais pour lui permettre de redémarrer quotidiennement et donc d'éviter des blocages intempestifs du système.

Des délais plus courts peuvent même être paramétrés (par exemple 5 minutes pour l'écran et 10 minutes pour l'unité centrale). L'économie afférente n'est pas négligeable. Cependant, si on veut que cette mesure soit acceptée, il faudra en parallèle sensibiliser les usagers à la nécessité de réduire leur consommation énergétique. Sans aucune explication, cette mesure pourra être rejetée car vécue comme inconfortable.

Pour les ordinateurs qui sont munis d'un gestionnaire de veille de génération antérieure à ACPI, on paramètrera le passage en veille uniquement de l'écran (délai : 10 minutes). En effet, la gestion d'énergie de l'unité centrale n'est pas suffisamment fiable pour généraliser son utilisation.

Il faut toujours garder en mémoire que le réglage des paramètres de gestion de l'énergie dépend essentiellement de la façon dont l'ordinateur est utilisé. Les valeurs données ci-dessus sont indicatives et devront donc être adaptées en fonction de l'utilisateur.

#### 5.1.4.2 Economies envisageables pour les écrans

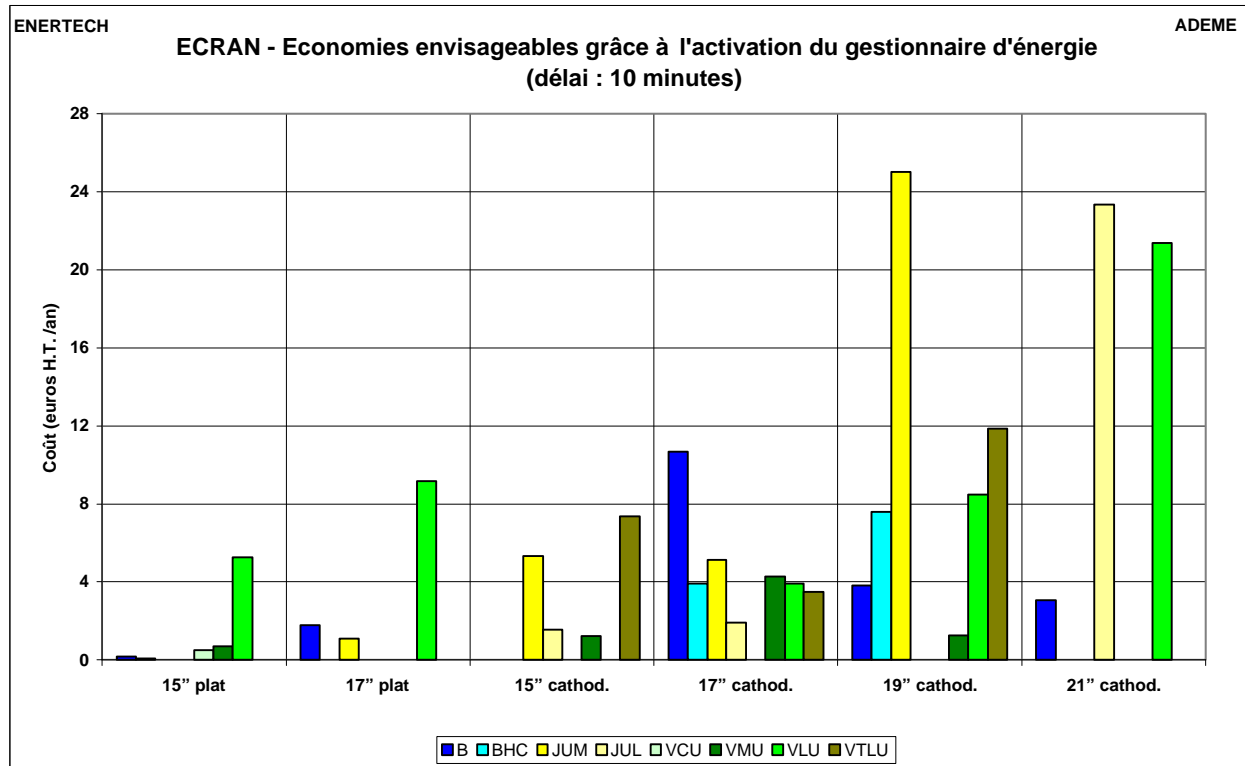
Les réductions de consommation possibles grâce à l'activation du gestionnaire d'énergie sont décrites dans le tableau de la figure 5.4.

	Economies possibles (kWh/an, % de la consommation de marche)					
	Gestionnaire d'énergie non activé					
	15" plat	17" plat	15" cathod.	17" cathod.	19" cathod.	21" cathod.
Délai = 60 min	23 (30%)	107 (57%)	61 (40%)	82 (41%)	183 (56%)	398 (75%)
Délai = 30 min	27 (35%)	113 (60%)	71 (47%)	94 (48%)	195 (60%)	418 (79%)
Délai = 20 min	29 (37%)	117 (62%)	77 (50%)	101 (51%)	201 (62%)	428 (81%)
Délai = 10 min	31 (41%)	122 (64%)	85 (56%)	111 (56%)	210 (65%)	443 (83%)

Figure 5.4 : Economies possibles grâce à différentes temporisations du gestionnaire d'énergie

Pour un écran ne passant pas en veille automatiquement, l'économie moyenne possible en supprimant la consommation à l'arrêt (gain de 9 kWh par an) et en activant le gestionnaire d'énergie (délai : 10 minutes) s'élève à 119 kWh par an, ce qui représente 60% de sa consommation totale. L'économie financière associée est de 4,4 euros H.T. par an et par écran.

L'économie est plus importante pour les écrans de grandes tailles (17" plat, 19" cathodique et 21" cathodique). Pour un écran cathodique 21", le gestionnaire quelle que soit sa temporisation permet de réduire la consommation de plus de 75%, alors que la réduction ne dépasse pas 41% pour un écran plat 15".



*Figure 5.5 : Economies financières envisageables grâce à l'activation du gestionnaire d'énergie (délai : 10 minutes) en fonction de la taille et de la nature de l'écran et du type d'abonnement*

L'économie réalisable varie en fonction de l'entreprise. Quand les ordinateurs sont peu utilisés et que les utilisateurs éteignent rigoureusement après chaque utilisation, elle est faible voire nulle. Par contre, dans les entreprises où les écrans fonctionnent pratiquement en permanence, la consommation peut être divisée par plus de quatre. Dans certaines entreprises, l'économie moyenne par écran dépasse les 500 kWh/an.

#### 5.1.4.3 Economies envisageables pour les unités centrales

On préconise comme délai d'activation du **gestionnaire d'énergie** pour les unités centrales un temps de **20 minutes**. En effet, le délai de 10 minutes conseillé pour les écrans semble trop court car le passage en veille avec consommation identique à celle de l'arrêt nécessite un redémarrage partiel, certes rapide (quelques secondes), de l'unité centrale. Un délai inférieur à 20 minutes peut donc gêner l'utilisateur qui risque alors de désactiver la fonctionnalité. Si on respecte cette préconisation, une économie de 104 kWh par an et par unité centrale est envisageable, ce qui correspond en moyenne à 4,9 euros H.T.. Si, on **supprime** aussi la **consommation à l'arrêt** à l'aide d'une barrette multiprise, l'**économie** s'élève alors à **117 kWh/an soit 58% de la consommation totale**.

L'économie réalisable varie en fonction de l'entreprise dans un rapport 1 à 31. Alors que dans 22% des cas la réduction de consommation possible est supérieure à 200 kWh/an.unité centrale, elle est inférieure à 50 kWh/an.unité centrale pour 39% des entreprises de l'échantillon.

### 5.1.5 Cas des serveurs

L'objet de cette étude n'était pas de suivre la consommation des serveurs. Il est pratiquement impossible d'arrêter un serveur en cours de journée pour poser un mesureur. Cependant, leur niveau de consommation élevé implique qu'on réfléchisse à des solutions de réduction des temps de fonctionnement.

Dans les petites et moyennes entreprises (PME) les serveurs informatiques ne sont généralement pas arrêtés la nuit ou les week-ends. Si on veut profiter du gisement d'économies potentiel, la procédure d'arrêt doit être automatisée, car il n'est pas envisageable d'attendre des usagers qu'ils procèdent à l'«arrêt» manuel du serveur en fin de journée. Actuellement, on manque cependant de dispositifs d'arrêts conformes aux exigences du marché. Afin de démontrer que ceci est aujourd'hui possible, une équipe de chercheurs suisses [11] a développé sur la base d'un serveur Web un dispositif de coupure permettant l'arrêt automatique du serveur connecté et assurant ensuite l'interruption de l'alimentation électrique. L'alimentation électrique est de nouveau rétablie pour le redémarrage. Le serveur Web avec sa connexion Ethernet a été intégré à cet effet dans une réglette de connecteurs étroite, solution typique dans le domaine des technologies de l'information. Les fonctions suivantes ont été intégrées au serveur Web :

- La mise en marche et l'arrêt du serveur peuvent être déterminés pour chaque ordinateur par l'administrateur pour chaque jour de la semaine.
- Les utilisateurs connectés (clients) sont informés avant l'arrêt du serveur. Ils ont alors la possibilité de différer l'arrêt du serveur dans le temps.
- Le démarrage du serveur est possible à partir de n'importe quel ordinateur connecté au réseau (clients), la protection par mot de passe étant disponible en option.
- La commande de toutes les fonctions non pertinentes pour la sécurité est possible via le réseau Internet/Intranet avec un navigateur connu, comme Microsoft Explorer.
- Seul l'administrateur peut exécuter la télémaintenance du serveur - donc un arrêt et un redémarrage inconditionnel – via le réseau Internet.
- La communication du serveur avec le serveur Web est également assurée via TCP/IP. Un logiciel dédié a été réalisé à cet effet.
- L'enregistrement des horaires de mise en marche et d'arrêt du serveur, mot de passe, etc. est effectué directement dans le serveur Web et non pas de manière « volatile ». Une horloge supportée par batterie garantit de surcroît une totale absence d'entretien en cas de coupure de courant.

La solution développée séduit par sa simplicité d'utilisation via le réseau Internet et l'étendue de ses fonctionnalités. Des fonctions annexes, comme la télémaintenance, la protection contre les pirates informatiques pendant les plages mobiles et l'augmentation de la stabilité due aux redémarrages fréquents du serveur sont appréciées par les responsables informatiques. La solution élaborée doit encore être expérimentée dans différents réseaux et avec divers groupes d'utilisateurs. Le serveur Web doit aussi démontrer son aptitude à l'utilisation pratique, notamment en ce qui concerne la stabilité, la disponibilité et la sécurité de fonctionnement.

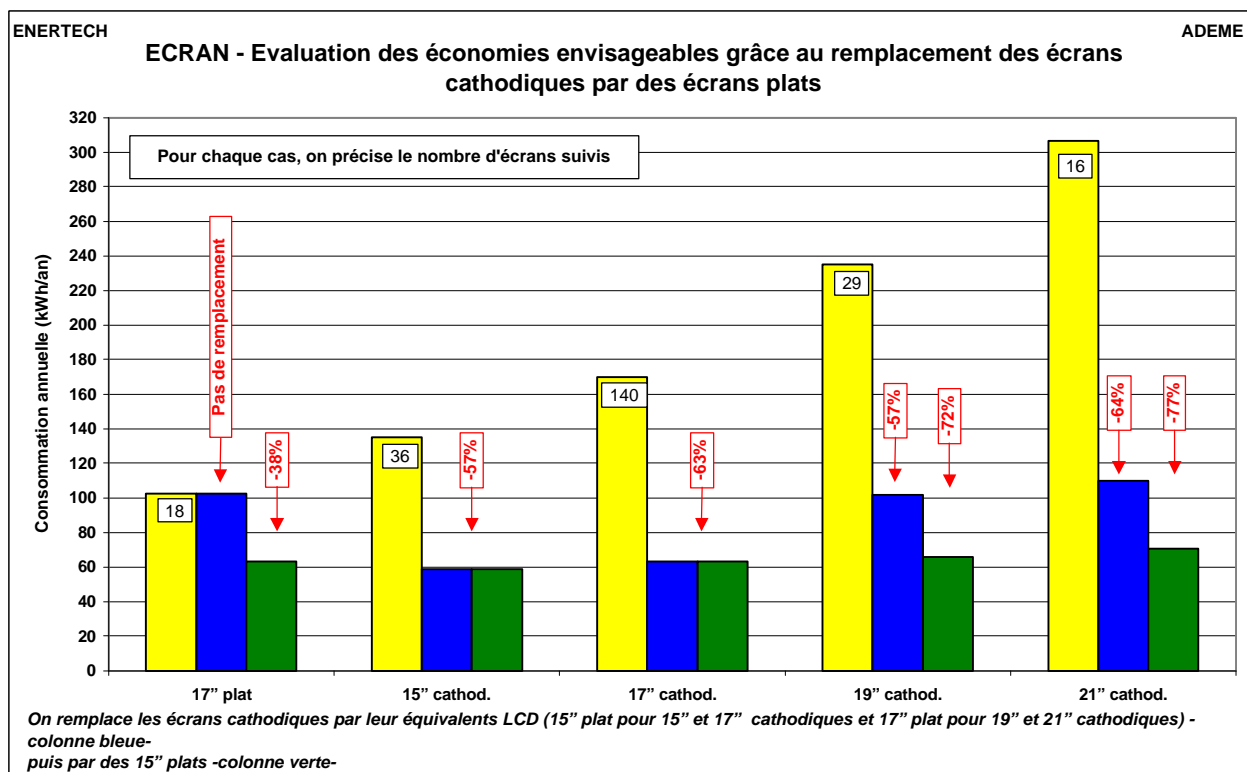
Cette solution devrait être commercialisée avant la fin de l'année 2004 et son prix ne devrait pas dépasser 450 euros.

## 5.2 UTILISATION D'EQUIPEMENTS PERFORMANTS

### 5.2.1 Ecrans plats

Les diverses technologies d'écran disponibles actuellement ont été décrites dans le paragraphe 2.1.2.2.. On a vu grâce à l'étude de notre échantillon que la technologie LCD (écran plat) permettait de rendre un service équivalent à la technologie cathodique pour une consommation très inférieure. Le graphique de la figure 5.6 met en évidence les économies envisageables en remplaçant :

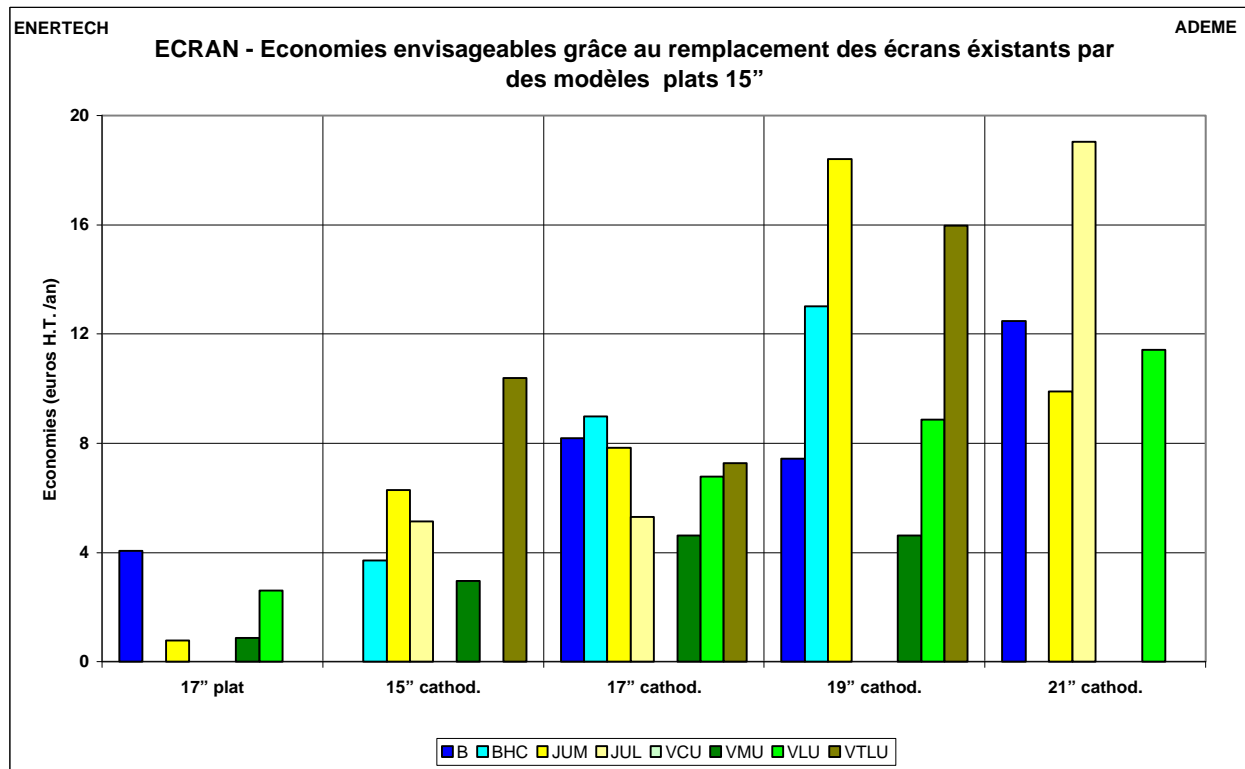
- les écrans cathodiques par leur équivalent plats, c'est à dire un écran plat 15" remplace les modèles 15" et 17" cathodiques et un 17" plat s'utilise à la place des 19" et 21" cathodiques
- tous les écrans par des moniteurs plats 15".



**Figure 5.6 : Economies envisageables grâce au remplacement des écrans cathodiques par leur équivalent plat puis grâce à l'utilisation exclusive d'écran plat 15"**

On voit que le gisement est énorme. En effet, le remplacement des écrans cathodiques par leur équivalent plat permet une économie comprise entre 57 et 64% (76 à près de 200kWh par an et par écran) en fonction de la taille. Cependant, le remplacement d'un écran par un modèle plat 15" conduit à une économie financière moyenne de 6,9 euros H.T./an ou si on ne tient compte que des écrans cathodiques de 7,2 euros H.T./an. Si on estime le surcoût d'un écran plat à 260 euros H.T. (paragraphe 2.1.2.2.2), il faut donc compter plus de 36 ans pour l'amortir ! Certes, comme le montre le graphique de la figure 5.7, l'économie diffère d'un modèle d'écran à l'autre mais même dans le cas le plus favorable (économie estimée à 32 euros H.T./an), le temps de retour reste de l'ordre de 8 ans.

Rappelons que la réduction de consommation n'est pas le seul avantage de la technologie LCD (écran plat) ; ce choix se justifie aussi par le gain de place occasionné et un plus grand confort (fatigue visuelle moindre du fait de l'absence de scintillement).

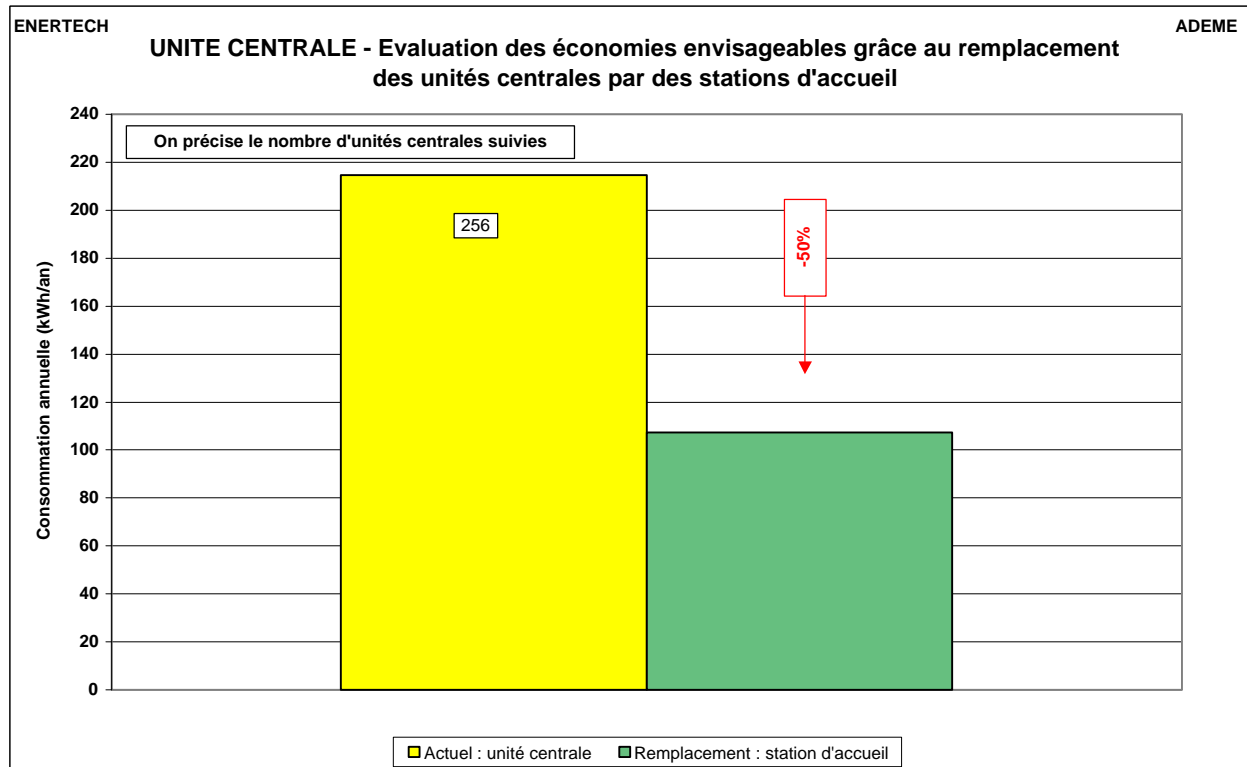


**Figure 5.7 : Economies envisageables grâce au remplacement des écrans existants par des modèles plats 15"**

Comme on l'a indiqué dans le paragraphe 2.1.2.4., tous les écrans plats ne sont pas équivalents du point de vue de leur consommation. Ainsi lors de l'achat d'un nouvel écran, il est indispensable de comparer les puissances appelées en marche des modèles proposés. Pour aiguiller son choix, on pourra utiliser la base de données comparant les performances des différents écrans, disponible sur le site européen d'Energy Star ([http://www.eu-energystar.org/en/en\\_database.htm](http://www.eu-energystar.org/en/en_database.htm)). Plus de détails à ce propos sont disponibles au paragraphe 5.2.4.

## 5.2.2 Stations d'accueil

Le remplacement des unités centrales par des stations d'accueil présente l'avantage de réduire les consommations sans affecter le confort de l'utilisateur qui continue à utiliser son clavier et son écran. Comme on le voit sur le graphique de la figure 5.8, le remplacement des unités centrales existantes par des stations d'accueil permet, en moyenne, de diviser par deux leur consommation, soit une économie de 107 kWh/an.unité centrale ou encore 6,5 euros H.T./an.



**Figure 5.8 : Economies envisageables grâce au remplacement des unités centrales par des stations d'accueil**

Il semble que de plus en plus de sociétés remplacent, au moment de changement de matériel, les ordinateurs de bureau par des modèles portables ou des stations d'accueil.

### 5.2.3 Ordinateurs Portables

L'utilisation d'un ordinateur portable en remplacement d'une unité centrale et d'un écran est sans conteste la solution qui autorise l'économie maximum. En effet, un ordinateur portable consomme 85% de moins qu'un ordinateur de bureau. Cependant, l'utilisation pour de longues durées d'un ordinateur portable pose des problèmes de confort. En effet, l'écran n'est pas à hauteur des yeux et le clavier des ordinateurs portables est plus petit. On pourra donc, comme photographié sur la figure 5.9, utiliser un rehausseur ainsi qu'un clavier standard pour une utilisation de bureau de l'ordinateur portable.



**Figure 5.9 : Exemple de rehausseur pour ordinateur portable**

## 5.2.4 L'aide au choix d'équipements performants : la base européenne Energy Star

### 5.2.4.1 Introduction


ENERGY STAR est un programme international sur base volontaire concernant l'efficacité énergétique. Il a été lancé en 1992 par l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA). Dans le cadre d'un accord passé avec le gouvernement des Etats-Unis, la Communauté européenne participe au programme ENERGY STAR pour ce qui est des équipements de bureau.

La base de données ENERGY STAR offre la possibilité de choisir, parmi le groupe d'équipements de bureau ENERGY STAR proposés, les modèles les plus efficaces en terme de rendement énergétique et précise les performances des équipements cités.



On trouve dans cette base de données des renseignements concernant les écrans, les unités centrales, les ordinateurs portables, les imprimante-faxs, les imprimantes, les scanners, les photocopieurs, les imprimantes multifonctions, les fax et les machines à affranchir. Les informations sont régulièrement mises à jour. On détaille dans les paragraphes suivants les informations relatives aux écrans, aux unités centrales et aux appareils de bureautique.

### 5.2.4.2 Les écrans

La figure 5.10 donne un exemple d'informations extraites de cette base de données. On voit que les écrans présentés ont *a priori* les mêmes caractéristiques et pourtant les consommations varient du simple au double, voire même au triple pour la puissance consommée à l'arrêt. Il faut cependant garder en mémoire que les valeurs indiquées dans cette base de données sont communiquées par les fabricants ; il n'y a pas de protocole de mesures imposé. Or on a vu que la puissance appelée en marche par un écran pouvait varier en fonction de la luminosité, du contraste, du taux de rafraîchissement et de l'image affichée.



Database EC ENERGY STAR®


Monitor EC Energy Star® Qualified Brand+Model	LCD / CRT	On / idle (W)	Sleep mode (W)	Deep sleep (W)	Resolution (pixels)	Screen size (incht)	TCO	MPR II	Mac compatible
 Acer AL1501 <a href="http://www.acer-euro.com">www.acer-euro.com</a>	LCD	17.0		0.8	1024x768	15	x	x	
 Sharp LL-T1520-B <a href="http://www.sharp-eu.com">www.sharp-eu.com</a>	LCD	36.0	3.0	3.0	1024x768	15	x		x

This data was last updated on 02-07-2004.

*Figure 5.10 : Exemple d'information issue de la base de données Energy Star européen (écrans)*




### 5.2.4.3 Les unités centrales

Comme pour les écrans, il est possible de comparer les performances des unités centrales grâce à la base de données Energy Star. Cependant, là encore, la puissance appelée n'est pas mesurée de la même façon par tous les fabricants et on a vu que les variations étaient très supérieures à celles observées pour les écrans. On voit par exemple que les puissances de marche annoncées sur la figure 5.11 sont largement supérieures aux valeurs moyennes observées au cours de la campagne de mesures (seulement une unité centrale sur les 258 suivies avait une puissance moyenne supérieure à 100 Watts et 4, une puissance supérieure à 90W). Or il est légitime de penser que certains ordinateurs de l'échantillon sont des modèles puissants car leurs propriétaires sont des chercheurs qui ont besoin d'une puissance de calcul importante. Les puissances données ici correspondent donc probablement à un fonctionnement à pleine charge du processeur.



**Energy Star®**  
EU Energy Label for Office Equipment

Database EC ENERGY STAR®

Desktop PC EC Energy Star® Qualified Brand+Model	Sleep mode (W)	On / idle (W)	CPU	Speed (MHz)	RAM (MB)	Harddisk (GB)	Cache (KB)	Video RAM (MB)	Operating system	Optical storage	Display (inch)	Speakers	Power supply (W)
 Compaq Presario 6640PT <a href="http://www.hp-expo.com">www.hp-expo.com</a>	4.6	60.0	P 4	2400	512	80			XP	DVD r		x	
 HP Pavilion a220.dk <a href="http://www.hp-expo.com">www.hp-expo.com</a>	4.7	90.0	Athlon XP	2400	512	80			XP	CD r		x	
 Compaq Presario S6190NL <a href="http://www.hp-expo.com">www.hp-expo.com</a>	3.7	111.2	Athlon	2400	512	80			XP	DVD rw			

This data was last updated on 16-07-2004.

© 2004 Copyright European Commission. All rights reserved.

**Figure 5.11 : Exemple d'information issue de la base de données Energy Star européen (unités centrales)**

#### 5.2.4.4 Les appareils de bureautique

Pour chaque type d'appareils de bureautique, on trouve dans la base de données des informations relatives à :

- la (ou aux) puissance(s) en veille
- la technologie employée (par exemple laser ou jet d'encre pour les imprimantes)
- couleur ou noir et blanc
- la vitesse d'impression
- la résolution
- la compatibilité avec les différents types d'ordinateurs...

On dénombre actuellement 515 imprimantes, 50 scanners, 70 photocopieurs, 356 imprimantes multifonctions et 37 faxes.

#### 5.2.4.5 Une autre base de données des équipements performants : top ten

Sur le site Internet [www.topten.ch](http://www.topten.ch), on trouve aussi des informations relatives aux performances énergétiques des appareils de bureautique. La figure 5.12 donne un exemple des informations disponibles pour un écran 15 pouces.



Marque	Fujitsu-Siemens	HP	Fujitsu-Siemens	ELZO	HP	Fujitsu-Siemens	Fujitsu-Siemens
Modèle	SCENICVIEW B15-S	HP L1530	SCENICVIEW B15-1	L367	HP L1502	SCENICVIEW P15-1	SCENICVIEW P15-1A
Prix d'achat (fr.)	750	590	727	870	680	810	792
▲ Coût de l'énergie électrique par h. pour 5 ans	30	30	31	34	35	42	42
Différents raccords	D-SUB	Dual input (VGA et DVI), 15-pin mini D-sub VGA, Digital DVI-D, DVI câble vendu séparément	D-SUB		15-pin D-sub (catalogue VGA)	DVI-D & D-SUB	D-SUB
Diagonale (inch)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Résolution de l'écran	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768
Couleurs	16.7Mio	16.7 Mio	16.7Mio	16.7 Mio	16.7 Mio	16.7Mio	16.7 Mio
Contraste, typiquement	400	400	350	450	400	450	450
Intensité lumineuse (cd/m <sup>2</sup> )	250	250	250	250	250	300	250
Label	TCO 99	TCO 03	TCO 03	TCO 03	TCO 99	TCO 99	TCO 03
Puissance on (watt)	20	25	20	28	30	30	30
Puissance veille (watt)	1	2	2	3	2	2	2
Puissance off (watt)	1	0	1	0	0	1	1
	<a href="#">Voir les favoris</a>	<a href="#">Voir les favoris</a>	<a href="#">Voir les favoris</a>	<a href="#">Voir les favoris</a>	<a href="#">Voir les favoris</a>	<a href="#">Voir les favoris</a>	<a href="#">Voir les favoris</a>
							

Figure 5.12 : Exemple d'information issue de la base de données Top Ten (écrans 15')

Les appareils traités sont :

- les imprimantes multifonctions
- les écrans
- les faxes
- les imprimantes
- les photocopieurs

### 5.3 REDUCTION MAXIMALE DE CONSOMMATION POSSIBLE

#### 5.3.1 Les ordinateurs

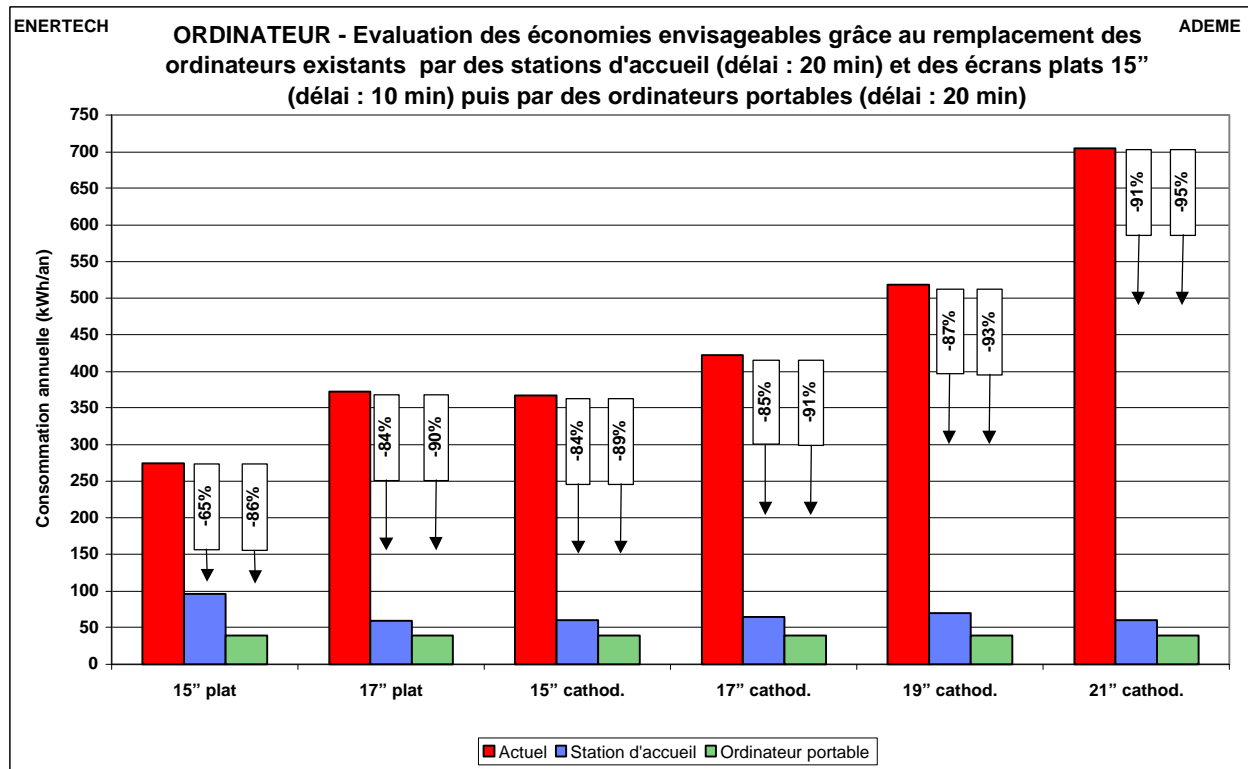
On trouvera dans les annexes 5 et 6 les détails de calculs permettant d'arriver aux résultats présentés ci-après.

On a envisagé deux solutions de réductions maximales des consommations :

- 1- Remplacement des ordinateurs existants par des écrans plats 15" (délai de passage en veille : 10 minutes) et des stations d'accueil (délai de passage en veille : 20 minutes)
- 2- Remplacement des ordinateurs existants par des ordinateurs portables (délai de passage en veille : 20 minutes)

Les résultats obtenus sont donnés sur le graphique de la figure 5.13. Les économies possibles sont considérables : quelles que soient les caractéristiques de l'écran qui équipe l'ordinateur, **on peut diviser par plus de 6 sa consommation en optant pour la solution 1**, exception faite du cas d'une station de travail munie d'un moniteur plat 15" (division par 3). Si on

choisit d'utiliser des ordinateurs portables, la division de la consommation va de 7 (écran plat 15") à 18 (écran cathodique 21")!



*Figure 5.13 : Economie envisageable grâce au remplacement des ordinateurs de bureau par des équipements plus performants*

**Un poste de travail comportant une station d'accueil (délai de passage en veille : 20 minutes) et un écran plat 15" (délai de passage en veille : 10 minutes) consomme 64 kWh/an, soit 82% de moins qu'un ordinateur de bureau moyen.**

**Un ordinateur portable (délai de passage en veille : 20 minutes) consomme 39 kWh/an, soit 89% de moins qu'un ordinateur de bureau moyen.**

Cependant étant donné les coûts de fonctionnement engendrés par les écrans et les unités centrales, on voit bien que ce n'est pas le seul aspect financier qui peut inciter les entreprises à opter pour des ordinateurs portables (ou station d'accueil) et/ou des écrans plats. Il va falloir trouver d'autres motifs (gain de place, respect de l'environnement...) pour les convaincre. Mais comme on va le voir dans le paragraphe suivant, si l'intérêt au niveau individuel, tout du moins financier, ne semble pas de prime abord essentiel, il le devient quand on raisonne à l'échelle régionale.

## 5.4 REDUCTION DE LA PUISSANCE AU MOMENT DES POINTES REGIONALES

### 5.4.1 Les ordinateurs

Comme on l'a expliqué dans le paragraphe 1.1.1, l'objectif du Plan Eco Energie est certes de réduire les consommations d'électricité mais il vise avant tout à sécuriser l'alimentation électrique de la Région PACA. Dans ce qui suit, nous étudions donc l'impact que peuvent avoir les solutions décrites précédemment sur les pointes régionales hivernales (19 heures) et estivales (13 heures).

*On trouvera dans les annexes 5 et 6 les détails de calculs permettant d'arriver aux résultats présentés ci-après.*

Le tableau de la figure 5.14 montre l'impact sur les puissances de pointe saisonnière que pourrait avoir la mise en œuvre d'équipements performants et l'activation du gestionnaire d'énergie (GE).

Action		Été (W)	Hiver (W)
Ecran	Activation gestionnaire d'énergie (GE)	22 (-47%)	13 (-50%)
	Utilisation écran plat 15"	29 (-63%)	8 (-38%)
	Utilisation écran plat 15" + activation GE	40 (-79%)	16 (-60%)
UC	Activation GE	20 (-47%)	14 (-56%)
	Utilisation station d'accueil (SA)	21 (-46%)	9 (-35%)
	Utilisation SA + activation GE	30 (-69%)	15 (-69%)
Ordinateur	Activation GE	42	27
	Utilisation écran plat 15" + SA + GE	70	31

**Figure 5.14 : Réduction de puissances envisageables au moment des pointes régionales d'été (13 heures) et d'hiver (19 heures) grâce à l'activation du gestionnaire d'énergie et à l'utilisation d'équipements performants**

### 5.4.2 Les appareils de bureautique

On a proposé au paragraphe 5.1.2 la mise en place d'horloges qui arrêteraient les appareils de bureautique en dehors des périodes d'occupation. On a conseillé 20 heures – 8 heures comme période d'arrêt mais on peut très bien imaginer que les horloges soient programmées de telle sorte qu'elles coupent les équipements au moment des pointes (13

heures et 19 heures). Le tableau de la figure 5.15 résume les réductions de puissance possibles à 13 et 19 heures pour les différents équipements.

Appareil	Réduction de puissance envisageable (W)	
	13 heures	19 heures
Distributeur de boissons	343	339
Machine à café (sur pied)	198	113
Scanner/email/fax	101	98
Photocopieur / Impr. multifonctions	148	97
Fontaine eau réfrigérée/chaude	83	55
Imprimante laser	46	29
Vidéo-projecteur	32	12
Fax	22	18
Cafetière	42	1
Imprimante matricielle	12	12
Scanner	12	11
Fontaine eau réfrigérée	16	11
Balance	8	8
Téléphone de conférence	6	6
Traceur	16	3
Imprimante jet d'encre	9	6
Haut-parleurs	2	2
Destructeur de documents	<0,5	<0,5

**Figure 5.15 : Impact sur les pointes régionales relatif à l'ajout d'une horloge sur les appareils de bureautique**

L'ajout d'une horloge sur les appareils de type machine à café ou distributeur de boissons a une influence importante sur les pointes régionales. Par exemple, l'impact sur un distributeur de boissons équivaut à l'activation du gestionnaire d'énergie sur 8 ordinateurs en été et 12 en hiver. L'impact sur une imprimante laser est très proche de celui de la mesure proposée pour les ordinateurs.

## **CHAPITRE 6 : GISEMENTS D'ECONOMIES D'ELECTRICITE - ECLAIRAGE**

### **6.1 SOLUTION DE REDUCTION DES CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE DES INSTALLATIONS NEUVES**

Dans le cas d'installations neuves on veillera à respecter les règles énoncées ci-dessous pour réduire au maximum la consommation d'électricité liée à l'usage éclairage.

#### **6.1.1 Choisir des équipements performants**

##### ***6.1.1.1 Les tubes fluorescents performants (T5)***

Les tubes fluorescents utilisés dans tous les immeubles de bureaux visités sont de type T8. Il s'agit du standard actuel, le plus vendu et donc le moins cher. En 1995, une nouvelle gamme de tubes fluorescents, nommés tubes T5, a été introduite. Ils consomment environ 7% de moins que les tubes T8 pour une quantité de lumière équivalente (par exemple 64 lm/W pour un tube T8 de 18W contre 96lm/W pour son équivalent T5 de 14W). De plus, ils contiennent moins de mercure que les tubes T8 standards. Enfin leur durée de vie est environ deux fois plus longue que celle des tubes T8 standards ce qui permet un changement moins fréquent.

Cependant, ils sont sensiblement plus onéreux. Etant moins longs, ils ne peuvent s'utiliser directement en remplacement des tubes T8 et nécessitent donc des luminaires adaptés ou des kits de transformation. Ils ne fonctionnent qu'avec un ballast électronique.

##### ***6.1.1.2 Les ballasts électroniques***

Le ballast sert à l'amorçage de l'arc des tubes fluorescents. Il en existe deux types : ferromagnétique (standard ou faibles pertes) et électronique. Les luminaires rencontrés lors de cette campagne de mesures sont équipés de ballasts ferromagnétiques qui représentent le standard actuel dans l'existant. Le ballast électronique est pourtant plus performant : il consomme moins et augmente l'intensité lumineuse. Par exemple, le remplacement d'un ballast ferromagnétique par un ballast électronique sur un luminaire 2x58W permet une économie d'énergie d'environ 25%, une amélioration de la qualité de l'éclairage (démarrage rapide, absence de scintillement...) et un allongement de la durée de vie des tubes. Cependant, il est actuellement 3 à 4 fois plus cher à l'achat qu'un ballast standard.

##### ***6.1.1.3 Les luminaires***

On trouve une grande variété de luminaires. Afin d'améliorer ses performances, le luminaire doit être muni d'un réflecteur. Celui-ci permet d'éviter le rayonnement uniforme du tube fluorescent dans toutes les directions, il concentre donc le flux lumineux dans la zone désirée. S'il est muni d'un film d'argent, il permet une réflexion de 95% contre 78-90% pour un réflecteur en aluminium grand brillant et 60-88% pour un réflecteur en acier prélaqué blanc neuf. Le luminaire doit aussi être muni d'une grille de défilement dont le rôle est

d'éviter l'éblouissement. Plus particulièrement dans le cas des luminaires pour tubes T5, il est impératif de choisir des optiques élaborées pour obtenir une basse luminance.

Le rendement des luminaires varie de 45 à 75%, induisant un écart de consommation de 40% entre les modèles les meilleurs et les moins bons.

#### **6.1.1.4 Solution à adopter**

Lors de construction neuve (ou de rénovation lourde) on veillera à choisir des luminaires performants présentant un rendement supérieur à 70%, muni de tubes fluorescents de type T5 et de ballasts électroniques.

On n'installera pas de luminaires équipés de sources peu performantes comme l'halogène et l'incandescence. On pourra utiliser des luminaires équipés d'ampoules fluocompactes. Les luminaires devront être de type direct.

On utilisera un logiciel de dimensionnement des installations d'éclairage pour évaluer les performances de la solution imaginée. Les fabricants de luminaires mettent gratuitement à la disposition des bureaux d'études un logiciel de ce type appelé *Dialux*.

### **6.1.2 Réduire la puissance installée**

Afin de réduire la puissance installée tout en maintenant un bon niveau de confort, on optera pour une solution d'éclairage qui vise à maintenir un niveau d'éclairement global relativement bas, de l'ordre de 200 lux. On ajoutera un éclairage ponctuel (lampe de bureau) qui permettra d'atteindre 400 à 500 lux sur le plan de travail.

Cette solution est plus confortable que ce qu'on rencontre actuellement, à savoir un éclairage de 500 lux (voir plus dans certains bureaux...) dans toute la pièce. La médecine du travail conseille d'ailleurs désormais un niveau d'éclairement de 220 lux pour le travail sur écran d'ordinateur. D'autre part, l'enquête préliminaire [2] a mis en évidence l'insatisfaction croissante des usagers qui se plaignent d'un niveau excessif d'éclairage artificiel.



**Figure 6.1 : Exemple d'installation performante d'éclairage d'un bureau (bas niveau d'éclairement de la pièce et appoint par lampe de bureau) [12]**

La puissance installée passe alors de 19,3 W/m<sup>2</sup> (valeur moyenne observée au niveau régional) à moins de 10W/m<sup>2</sup>, soit une réduction d'environ 50%.

### 6.1.3 Installer des commandes automatiques

#### 6.1.3.1 Minuterie

Les minuteries peuvent s'avérer intéressantes pour la commande de l'éclairage des sanitaires. Ce mode de commande était installé dans trois entreprises de notre panel. Cependant la minuterie peut, dans certains cas, représenter une gêne pour l'utilisateur : si ce dernier entre dans les sanitaires déjà allumés, il ne va généralement pas l'actionner. La lumière risque alors de s'éteindre lorsqu'il se trouve dans une cabine, hors de portée du bouton de commande. On leur préférera les détecteurs de présence qui sont décrits dans le paragraphe suivant.

Une minuterie coûte environ 35 euros H.T..

#### 6.1.3.2 Détecteur de présence

Les détecteurs de présence sont des dispositifs couramment employés comme contrôle des installations d'éclairage. L'utilisateur n'agissant pas sur la commande, ils permettent d'éliminer tous dysfonctionnements. De plus, contrairement à la minuterie, la durée d'allumage est pratiquement identique à la présence, ce qui réduit encore la consommation. Enfin le confort est augmenté car il n'est pas nécessaire d'actionner un bouton pour éclairer.

Il existe plusieurs techniques de détection. Nous en détaillons deux dans ce paragraphe :

- **La détection infrarouge** : Les détecteurs de présence utilisant cette technologie détectent le mouvement du corps humain par la mesure du rayonnement infrarouge qu'il émet. Ils comportent un certain nombre de facettes sensibles. Leur rayon d'action est ainsi découpé en une série de segments. C'est le passage d'un corps (et donc de chaleur) du rayon de vision d'une facette vers celui d'une autre facette qui permet de détecter le mouvement. La sensibilité d'un détecteur dépend donc du nombre de segments sensibles. Par exemple, un détecteur dont le rayon de détection est découpé en peu de segments risque de ne pas détecter une personne se dirigeant vers lui. Les détecteurs infra-rouges ne traversent aucune cloison. Ils peuvent être placés soit sur les murs (angle de détection de 120°, 180°...), soit au plafond (angle de détection de 360°).
- **La détection hyperfréquence ou micro-ondes** : elle utilise l'effet Doppler, c'est à dire qu'une onde inaudible pour l'homme est émise puis réflétiée par les objets de la pièce. Le détecteur reçoit le signal réflétié et le compare au signal émis. Si un mouvement a lieu, la fréquence réfléchiée est différente de la fréquence émise. Une des caractéristiques de ce type de détecteurs est qu'ils réagissent à des mouvements se produisant de l'autre côté d'une paroi fine (verre, faux plafonds...). Cette particularité est intéressante dans la mesure où, contrairement au cas de l'infrarouge, il est possible de dissimuler la cellule ce qui limite les risques de vandalisme. Cependant, ces détecteurs sont encore rares et chers.

On conseille donc pour les applications d'immeubles de bureaux des modèles passifs infrarouges. On veillera à choisir des modèles présentant la plus faible consommation de veille possible (moins de 1W).

Ce type de commande peut être utilisé pour piloter l'éclairage des sanitaires, des circulations et des locaux communs (local reprographie, salle de pause, vestiaires...), pièces dans lesquelles les durées d'éclairage actuellement très importantes pourraient être considérablement réduites. Pour ces locaux, on pourra aussi utiliser des luminaires avec détecteur de présence intégré. On peut citer quatre sociétés qui fabriquent des luminaires intérieurs avec détecteur de présence intégré. Trois utilisent un détecteur à infra-rouge (Ensto, Aurum et Züblin) et un fait appel à la technologie à micro-ondes (Steinel). Le tableau de la figure 6.2 précise les caractéristiques des quatre types de luminaires.

Fabricant	Ensto	Aurum	Züblin	Steinel
Source	3 x 9W Fluocompact	2 x 40W max incandescent	2 x 9W Fluocompact	75 W max. incandescent
Technologie de détection	IR	IR	IR	HF (5.8 GHz)
Temporisation	3-18 min	5 sec–7 min	20 sec–10 min	5 sec–15 min
Zone de détection (hauteur : 2,5m)	6 m – 360°	6m – 360°	6m – 360°	8m – 360°
Prix (euros H.T.)	238,67	15	65,91	90

*Figure 6.2 : Comparaison des différents luminaires avec détecteur de présence intégré disponibles*

Il est impossible de calculer le gisement d'économies relatif à la mise en œuvre de contrôle pour commander l'éclairage (minuteries ou détecteurs de présence) car nous ne connaissons pas les trafics dans les circulations, locaux communs et sanitaires. Or cette donnée est indispensable pour estimer la consommation obtenue grâce à l'ajout d'un contrôle.

## 6.2 SOLUTION DE REDUCTION DES CONSOMMATIONS D'ECLAIRAGE DES INSTALLATIONS EXISTANTES

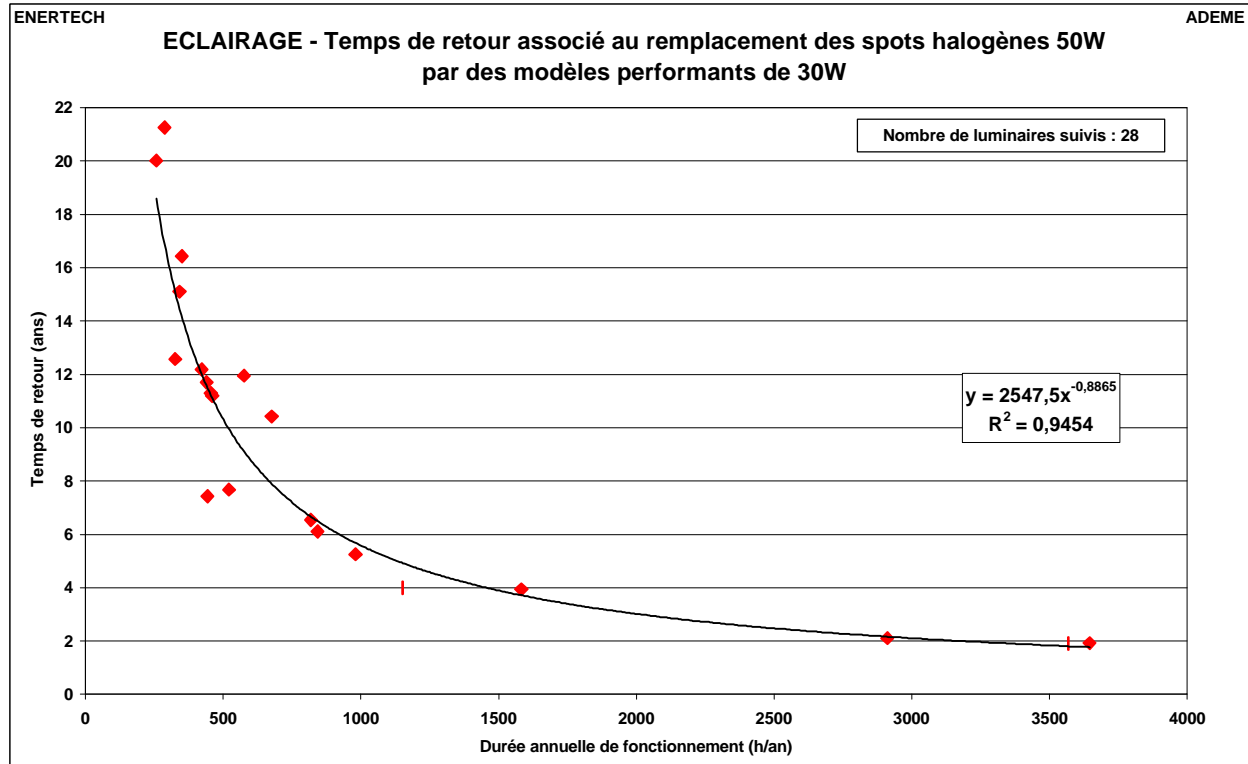
### 6.2.1 Les ampoules halogènes

#### 6.2.1.1 Les spots halogènes basse tension

Depuis quelques années dans les bâtiments neufs ou lors de rénovations lourdes, il est très courant d'installer des spots halogènes basse tension (12V). Ce type d'éclairage présente le mauvais rendement intrinsèque de la technologie à incandescence (environ 20 lumens/watt). Des spots halogènes améliorés pouvant être utilisés en remplacement direct des modèles en place existent. Ils présentent une efficacité pouvant être 40% supérieure et une durée de vie accrue (4000 à 6000 heures au lieu de seulement 1000 à 2000). Ainsi les spots actuels de 50W peuvent être remplacés par des modèles performants de 30W de Philips (Masterline ES) ou Mazda (Pépite Dichro 7 Gold). Par cette action, la **consommation est réduite de 40%**.

Ils coûtent environ 10 euros HT, ce qui correspond à **0,5 euros HT/watt économisé**.

On a suivi 28 ensembles de luminaires de ce type. Dans un quart des cas, le temps de retour associé à la mesure proposée est supérieur à 40 ans (luminaires non représentés sur le graphique de la figure 6.3). Il est inférieur à 10 ans pour seulement 40% de l'échantillon.



**Figure 6.3 : Temps de retour en fonction du nombre d'heures annuel de fonctionnement associé au remplacement des spots halogènes 50W par des modèles performants de 30W**

### 6.2.1.2 Les lampadaires sur pied halogènes

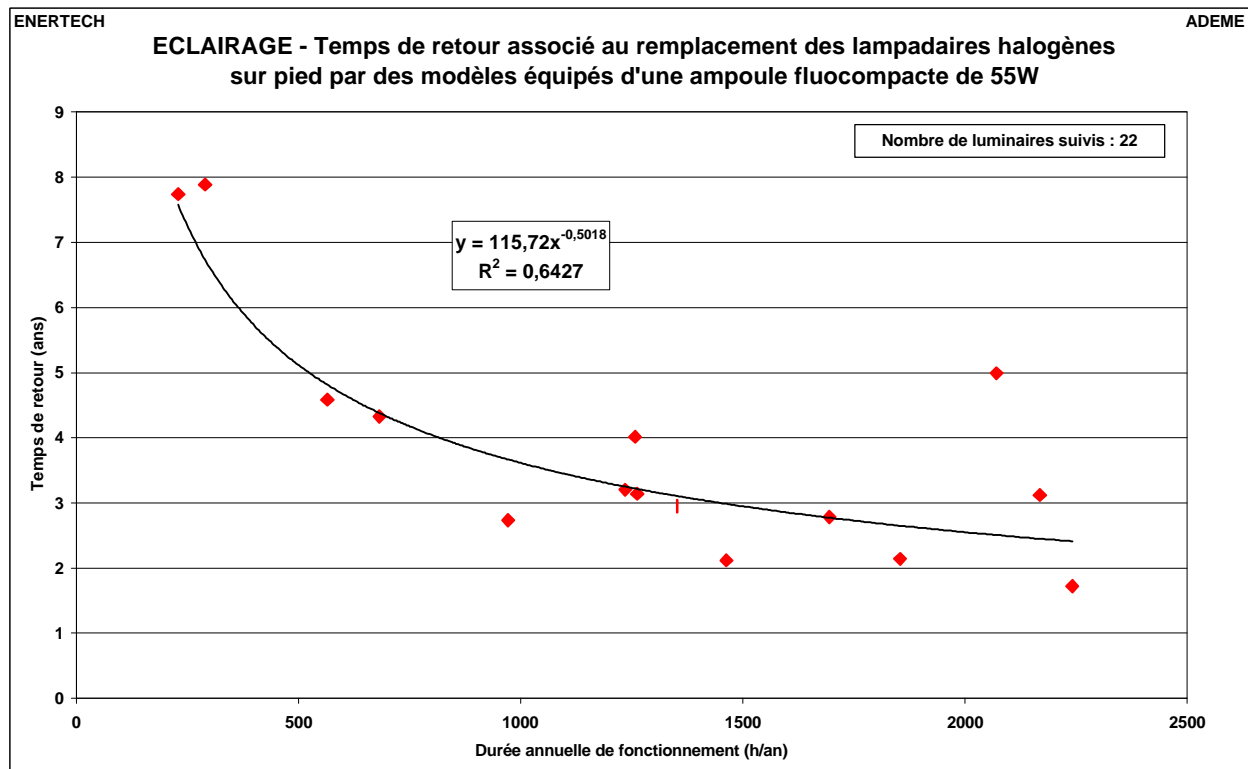
La mesure proposée consiste à remplacer les lampadaires halogènes sur pied de puissances 150, 300 ou 500W par des modèles équipés d'une ampoule fluocompacte de 55W (consommation ballast compris de 70W). L'aspect de ces luminaires est très proche de celui des lampadaires halogènes sur pied. On réalise par ce remplacement une **économie** de :

- **modèle 150W : 53%**
- **modèle 300W : 77%**
- **modèle 500W : 86%**

Un lampadaire sur pied de ce type coûte environ 115 euros H.T., équivalent à :

- **modèle 150W : 1,4 euros HT/watt économisé**
- **modèle 300W : 0,5 euros HT/watt économisé**
- **modèle 500W : 0,3 euros HT/watt économisé**

Sur les 22 lampadaires suivis, près d'un tiers présente un temps de retour supérieur à 20 ans pour cette mesure (non représentés sur la figure 6.4) mais, dans le même temps, dans 41% il est inférieur à 4 ans.



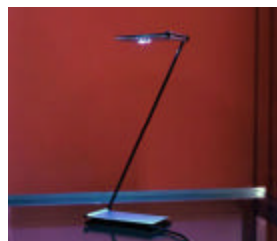
**Figure 6.4 : Temps de retour en fonction du nombre d'heures annuel de fonctionnement associé au remplacement des lampadaires halogènes sur pied par des modèles fluocompacts (ampoule de 55W)**

### 6.2.1.3 Les lampes de bureaux halogènes

42% des lampes de bureau suivies utilisent comme source lumineuse une ampoule halogène basse tension. Ces lampes consomment 50 ou 20W (deux positions) alors que, comme on va le voir dans les paragraphes suivants, il existe des modèles beaucoup plus performants.

#### 6.2.1.3.1 Solution de remplacement du futur

Les premières lampes de bureau à utiliser la technologie à LED ont été fabriquées par de grands designers. Cette technologie permet d'élaborer de nouvelles formes. La qualité de l'éclairage est également appréciée.



**Figure 6.5 : Lampe de bureau à LEDS « Zett » de Baltensweiler**

En 2003, le fabricant Baltensweiler [13] a remporté le prix suisse « Prise d'or » qui récompense les luminaires les plus innovants (photographie de la figure 6.5). Cette lampe est

équipée de 3 Leds de 1 watt chacune (consommation transformateur compris : 4,5 watts) et permet d'obtenir un niveau d'éclairage de 300 lux sur une zone de 60 cm de diamètre. Sa durée de vie est de 20 000 heures. Elle coûte environ 1 300 euros.

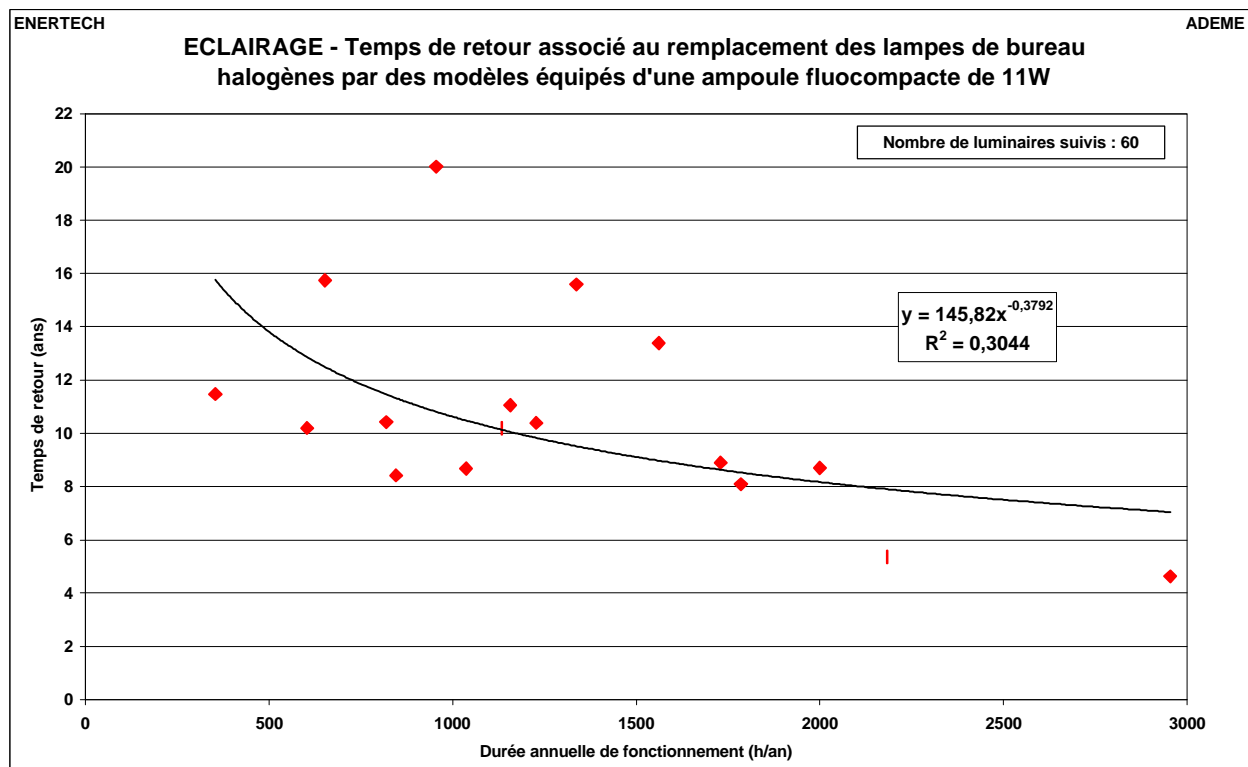
L'usage des leds comme source lumineuse pour lampe de bureau devrait dans les années qui viennent devenir de plus en plus courant. En effet, ce type de source est particulièrement performant sur le plan énergétique pour des applications qui nécessitent un éclairage très directionnel comme c'est le cas pour l'éclairage ponctuel d'un plan de travail.

#### 6.2.1.3.2 Solution actuelle la plus performante

Actuellement, les lampes de bureau les plus performantes disponibles utilisent comme source lumineuse une ampoule fluocompacte. Les modèles équipés d'une ampoule 11W consomment environ 15W (transformateur compris) contre environ 55W pour une lampe de bureau halogène, soit une **économie de 73%**.

Une lampe de bureau avec ampoule fluocompacte coûte environ 40 euros H.T (**1 euro/watt économisé**).

On a suivi 60 lampes de bureau halogènes. Pour 72% des lampes de l'échantillon, le remplacement de l'existant par un modèle fluocompact conduit à un temps de retour supérieur à 20 ans. Ce temps de retour est dans tous les cas supérieur à 4 ans. Cependant le prix des deux types de lampes de bureaux est assez proche, donc si on opte pour un modèle fluocompact au moment du remplacement (assez fréquent) de la lampe, le temps de retour est nul.

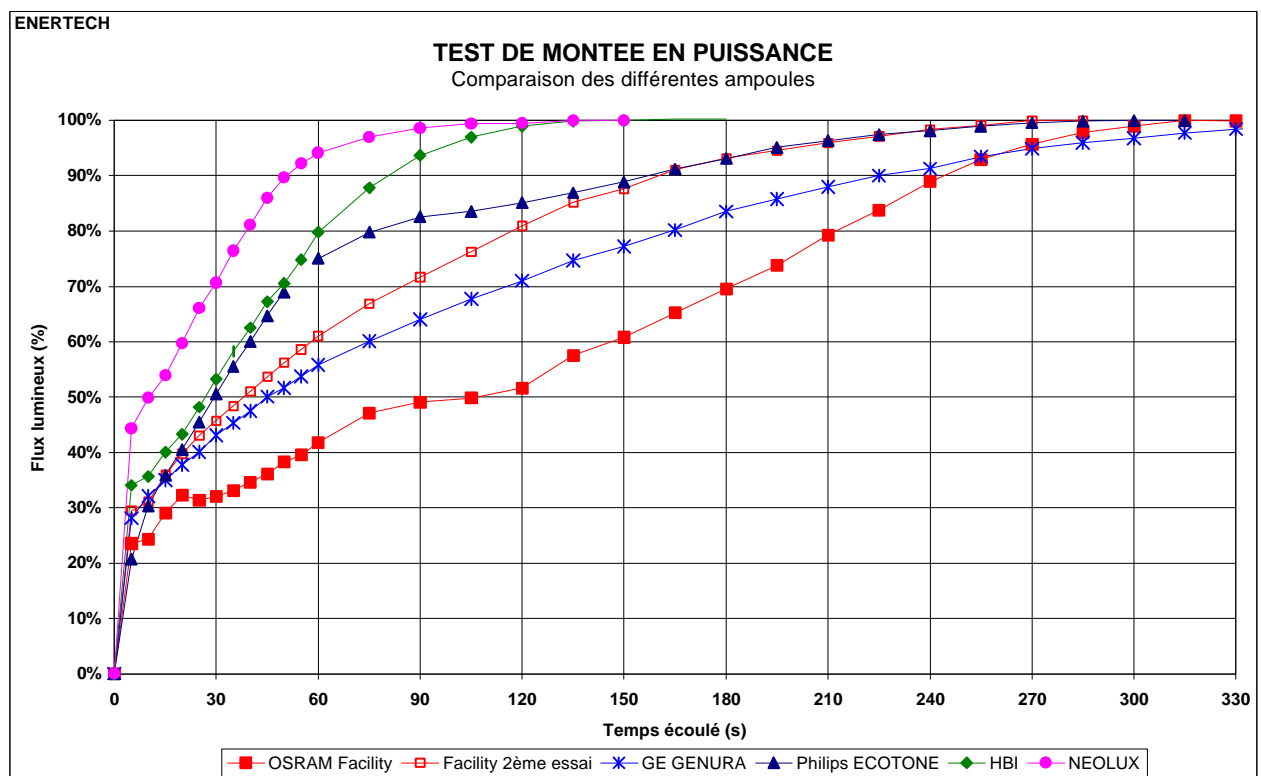


**Figure 6.6 : Temps de retour en fonction du nombre d'heures annuel de fonctionnement associé au remplacement des lampes de bureau halogènes par des modèles fluocompacts (ampoule de 11W)**

## 6.2.2 Les ampoules à incandescence

Les ampoules à incandescence peuvent être remplacées par des lampes fluocompactes. Ces ampoules présentent de nombreux avantages notamment une très longue durée de vie (jusqu'à 15 000 heures) et une bonne efficacité lumineuse de l'ordre de 50 lumens par watt (contre seulement 13 lumens par watt pour les ampoules à incandescence). Elles permettent donc de diviser par environ 4 la puissance appelée pour un même éclairage.

Cependant, l'indice de rendu des couleurs, qui traduit la capacité d'une source lumineuse à reproduire les couleurs naturelles, est d'environ 85 (100 pour l'incandescent). De plus en règle générale, les lampes fluocompactes sont conçues pour un nombre limité d'allumages, et plusieurs minutes sont par ailleurs nécessaires pour atteindre 100% du flux lumineux. Ce dernier point est illustré par le graphique de la figure 6.7 qui montre l'évolution du flux lumineux en fonction du temps pour différentes marques d'ampoules (test réalisé dans notre laboratoire). On observe que l'ampoule la plus performante n'atteint son flux lumineux nominal qu'au bout d'une minute trente. Dans certains cas, il faut compter plus de cinq minutes pour obtenir ce résultat ! En règle générale ce type d'ampoule n'est donc pas indiqué pour une utilisation sur minuterie de courte durée d'une part, du fait de la mauvaise qualité du service rendu (allumage non immédiat, éclairage faible), et d'autre part à cause du nombre d'allumages répétés.



**Figure 6.7 : Evolution du flux lumineux en fonction du temps (à l'allumage)**

Il existe pourtant un modèle de lampe fluocompacte qui a été développé précisément pour une application sur minuterie. Il s'agit de l'ampoule DULUX EL FACILITY d'Osram. Les caractéristiques données par le fabricant sont :

- le nombre d'allumages est infini
- L'allumage s'effectue en moins d'une demi-seconde et 90% du flux lumineux est atteint dans les 100 premières secondes (ce qu'infirmait notre test puisque cette

ampoule est celle qui met le plus de temps à atteindre son flux lumineux nominal – voir figure 6.7- ).

- Leur durée de vie est de 15 000 heures

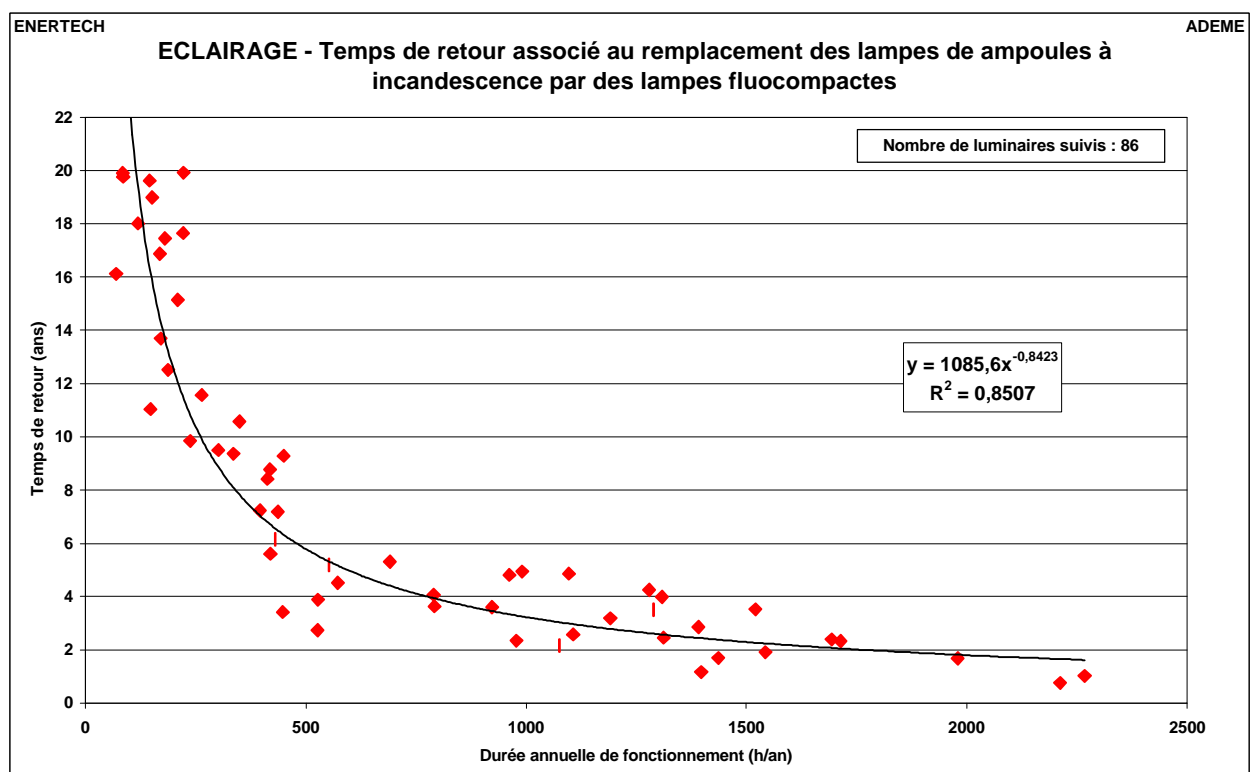
Cette ampoule existe en deux puissances (9 et 14W) et coûte environ 16 euros HT.

Une ampoule fluocompacte classique coûte environ 10 euros H.T.. Le tableau de la figure 6.8 donne des indications quant au modèle à choisir en fonction de la puissance de l'ampoule installée.

<b>Puissance de l'ampoule à incandescence installée (W)</b>	40	50	60	75	100
<b>Puissance de l'ampoule fluocompacte à utiliser en remplacement (W)</b>	11	13	15	20	23
<b>Economie (%)</b>	73%	74%	75%	73%	77%
<b>Coût (euros H.T./W économisé)</b>	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1

**Figure 6.8 : Equivalence des puissances entre ampoules à incandescence et fluocompactes, économies possibles et coût afférent au remplacement**

Comme on le voit sur le graphique de la figure 6.9, le remplacement d'une ampoule à incandescence par une lampe fluocompacte est intéressant dès que la durée de fonctionnement annuel est supérieure à 500 heures par an (2 heures par jour ouvrable), le temps de retour étant alors toujours inférieur à 6 ans. Pour un tiers des sources de notre échantillon (non représenté sur le graphique de la figure 6.9), ce changement conduit à un temps de retour supérieur à 20 ans (durée de fonctionnement annuel inférieure à 220 heures).



**Figure 6.9 : Temps de retour en fonction du nombre d'heures annuel de fonctionnement associé au remplacement des ampoules à incandescence par des lampes fluocompactes**

### 6.2.3 Les tubes fluorescents

#### 6.2.3.1 Le kit de rénovation Retrolux

L'entreprise Opus Light [14] propose un produit, le kit de rénovation *Retrolux* qui permet de transformer un éclairage muni de tubes fluorescents T8 et d'un ballast ferromagnétique en un luminaire performant constitué :

- de tubes T5 qui assurent pratiquement le même éclairage pour une consommation inférieure
- d'un ballast électronique qui permet d'économiser environ 23% d'électricité et qui en outre assure un meilleur confort (pas de clignotement au démarrage, pas d'effet stroboscopique), augmente la durée de vie utile des tubes de 60 % par rapport à un ballast ferromagnétique et améliore le facteur de puissance du luminaire ( $\cos\phi=1$  au lieu de 0,8 avec un ballast ferromagnétique)
- d'un réflecteur en aluminium qui concentre le flux lumineux dans la zone désirée

Ce produit peut s'adapter sur les luminaires existants. Son montage, décrit par la figure 6.10, est simple. Il suffit en effet d'enlever le tube en place et de le remplacer par le kit de rénovation. Cette opération, équivalente à un changement de tube fluorescent, ne nécessite aucun recâblage.



**Figure 6.10 : Procédure d'installation du kit de remplacement RETROLUX**

Le kit de rénovation *Retrolux* permet de profiter des avantages des technologies les plus performantes (tubes T5 et ballasts électroniques) tout en conservant les luminaires en place. Il permet de réduire la puissance appelée par l'éclairage. Le tableau 6.11 résume l'économie associée à la modification des luminaires existants et précise le prix des kits de rénovation.

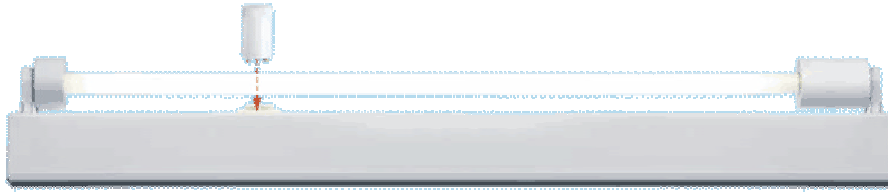
Luminaire en place	Kit de rénovation adapté	Consommation actuelle (W)	Consommation après rénovation (W)	Economies (%)	Prix (euros HT)	Prix (euros HT/W économisé)
1x18W + ballast ferromagnétique	1x14W + ballast électronique	28	17	39%	24	2,2
1x36W + ballast ferromagnétique	1x28W + ballast électronique	45	31	31%	28	2,0
1x58W + ballast ferromagnétique	1x35W + ballast électronique	71	40	44%	30	1,0
4x18W + ballast ferromagnétique	4x14W + ballast électronique	92	64	30%	60	2,1

**Figure 6.11 : Caractéristiques des kits de rénovation RETROLUX**

L'intensité lumineuse d'un tube standard (propre) de 18W muni d'un ballast ferromagnétique est de 1150 lumens, celle des tubes performants (14W) commandés par ballast électronique est de 1350 lumens. Donc, pour un luminaire 4x18W, lors du remplacement des tubes standards par des tubes performants (+ ballasts électroniques), le flux lumineux total sera augmenté de 17 %. Retrolux propose, comme option sur ses kits de rénovation, des ballasts dimmables. Ces derniers offrent la possibilité de réduire le niveau d'éclairage à une valeur fixe ou encore de le faire varier (par exemple en fonction de l'éclairage naturel). Puisque l'utilisation de tubes T5 en remplacement des tubes T8 augmente le flux lumineux, il est envisageable de réduire le niveau d'éclairage quand le niveau initial est suffisant. On estime que l'économie de consommation afférente est égale à la réduction de niveau d'éclairage (indication du fabricant). Par exemple, si on décide de réduire le niveau d'éclairage de 50%, on divisera par deux la consommation du luminaire rénové. Le kit *Retrolux* dimmable coûte 65 euros H.T.. Ne connaissant pas le niveau d'éclairage associé à chaque luminaire suivi, nous n'avons pas envisagé dans les calculs d'économies qui suivent de réduction de consommation liée à une baisse du niveau d'éclairage. Le gisement calculé est donc inférieur à ce qu'il pourrait être si cette solution était adoptée. Le calcul ne tient pas non plus compte de la réduction des charges de climatisation induite qui augmentent pourtant de 50% toutes les économies faites en été.

### 6.2.3.2 Le kit de rénovation Revolux

Le principe de ce kit de rénovation est le même que celui du modèle *Retrolux*, à savoir profiter des avantages de la technologie T5 et du ballast électronique. Ce kit est représenté sur la figure 6.12. Il est distribué en France par la société Comexale [15] et coûte environ 29 euros par tube changé (tube non compris).



**Figure 6.12 : Principe de montage du kit de rénovation REVOLUX**

### **6.2.3.3 Intérêt de la solution dans les espaces de bureaux**

Comme on le voit sur les graphiques de la figure 6.13, le temps de retour associé à la rénovation des luminaires grâce aux kits *Retrolux* est très élevé. Ainsi, dans le cas des luminaires 4x18W (luminaire le plus fréquemment rencontré dans les bureaux), dans les conditions d'utilisation de l'échantillon, il est toujours supérieur à 7 ans et dans 61% des cas, il est même supérieur à 20 ans.

Le temps de retour est légèrement plus favorable pour les luminaires 2x58W. Pour près d'un tiers des luminaires, il est inférieur à 10 ans.

Chapitre 6 : Gisement d'économies d'électricité – Eclairage

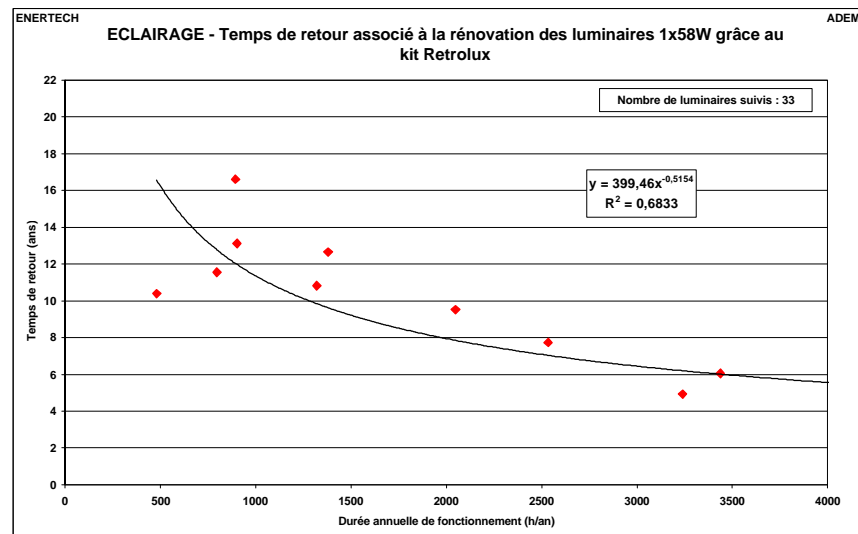
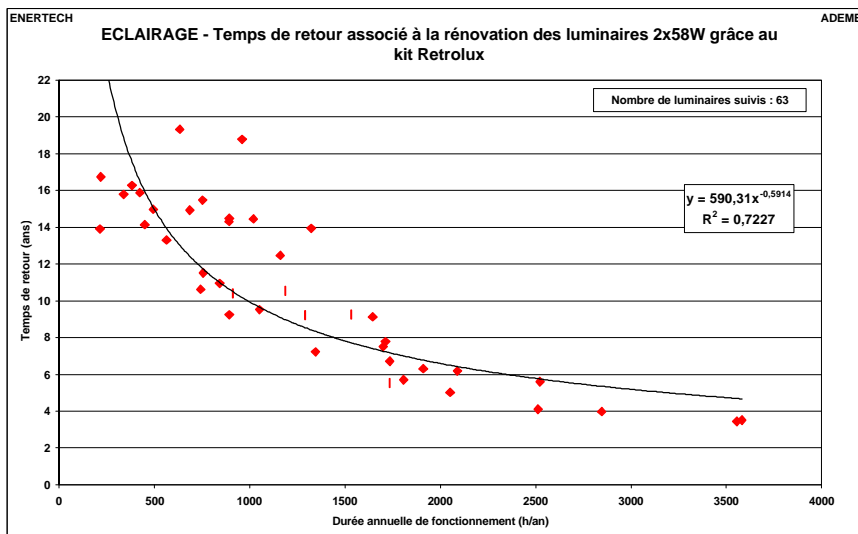
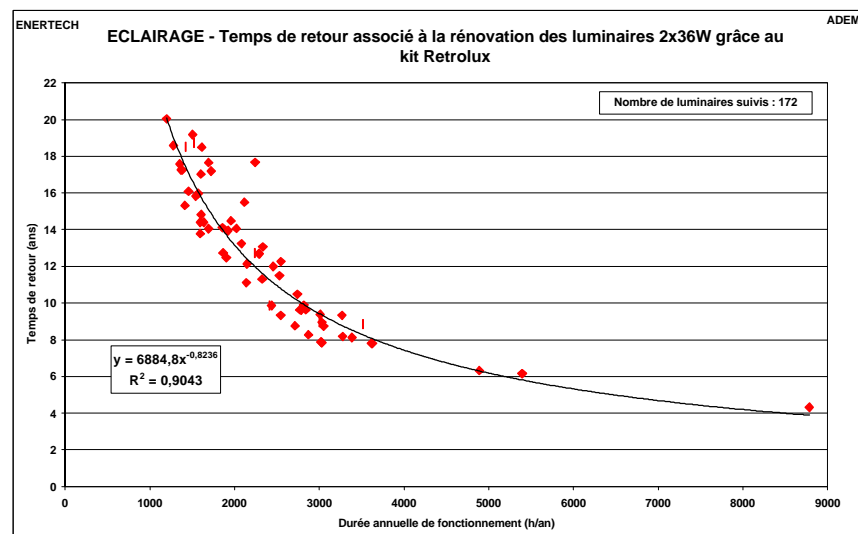
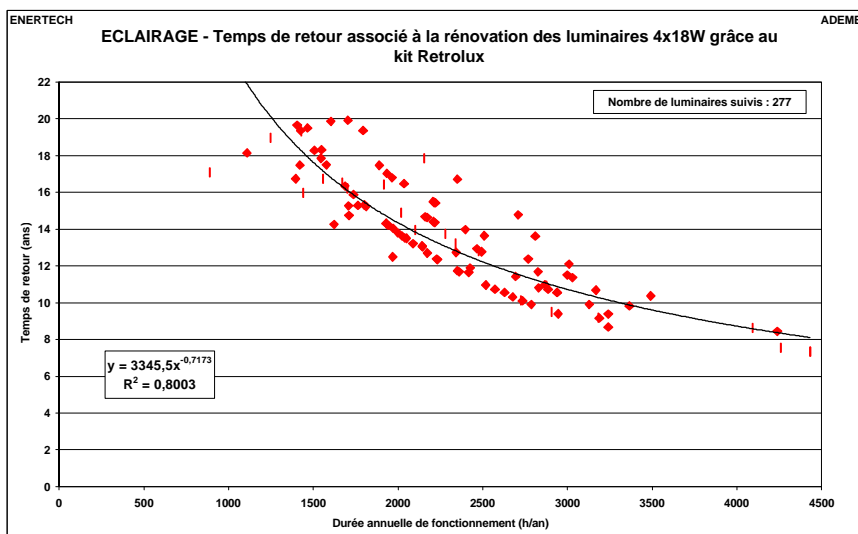
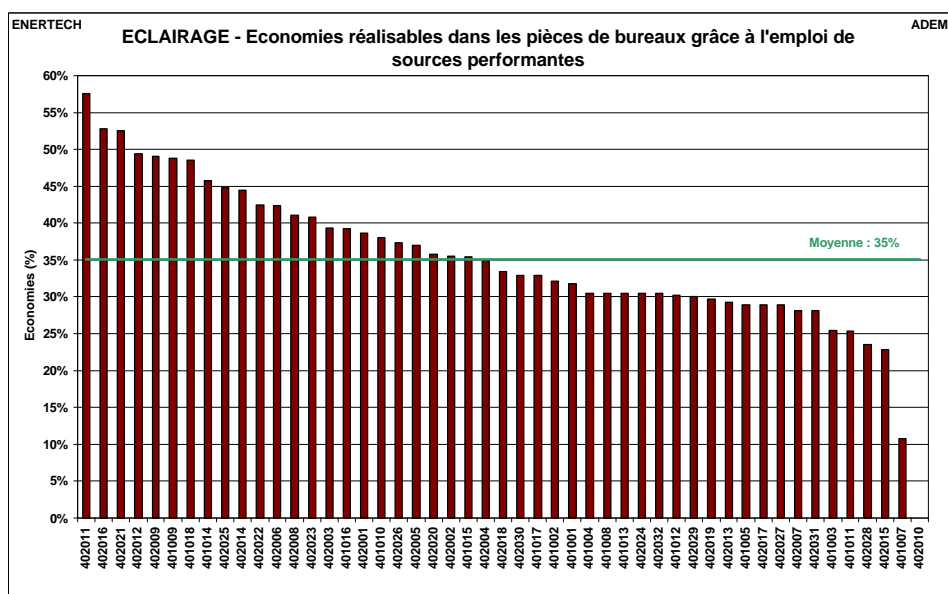


Figure 6.13 : Temps de retour en fonction du nombre d'heures annuel de fonctionnement associé à la rénovation des luminaires à tubes fluorescents existants grâce aux kits RETROLUX

## 6.3 INTERET DES SOLUTIONS DANS LES DIFFERENTS TYPES DE PIECES SUIVIES

### 6.3.1 Les pièces de bureaux

Si on adopte l'ensemble des solutions décrites précédemment (à l'exception des contrôles), on peut réaliser, dans les pièces de bureaux, une économie moyenne de 35% (voir figure 6.14). Dans trois entreprises de l'échantillon, la consommation d'éclairage peut être divisée par plus de deux et dans une il n'y a pas d'économie envisageable (installation d'éclairage actuelle à partir d'ampoules fluocompactes).



*Figure 6.14 : Economies réalisables sur la consommation d'éclairage grâce à la mise en place d'équipements performants - Bureaux*

### 6.3.2 Les circulations

Dans les circulations, l'économie moyenne, représentée sur le graphique de la figure 6.15, est légèrement inférieure à celle possible dans les pièces de bureaux. Cependant dans près de 20% des entreprises, l'économie s'élève à plus de 50% de la consommation actuelle. A l'opposé, dans 12% des cas, il n'y a pas de réduction de consommation envisageable.

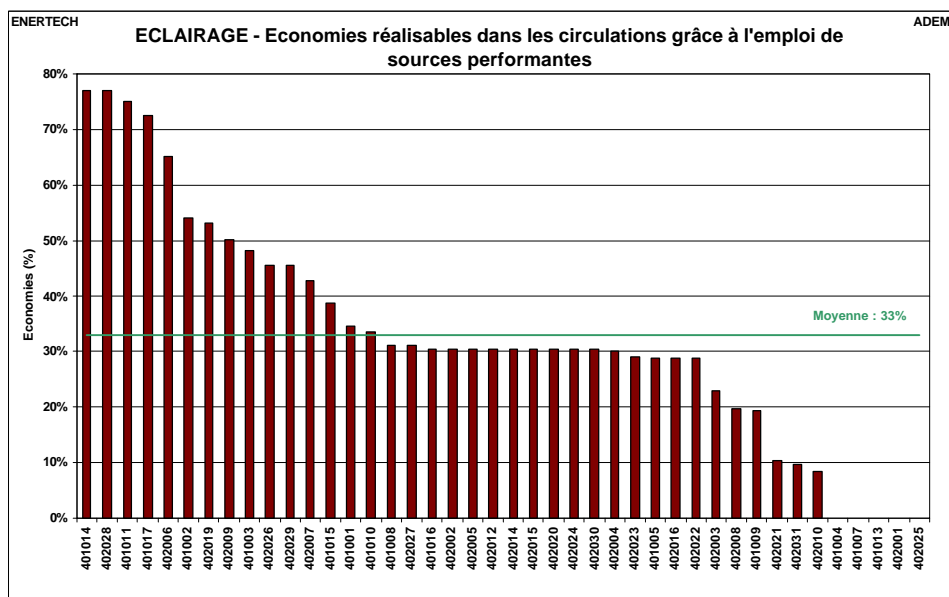


Figure 6.15 : Economies réalisables sur la consommation d'éclairage grâce à la mise en place d'équipements performants - Circulations

### 6.3.3 Les locaux communs

Dans les locaux communs l'économie moyenne est de 34%. Dans toutes les entreprises, des économies sont réalisables. Elles sont comprises, comme on le voit sur le graphique de la figure 6.16, entre 9 et 73%.

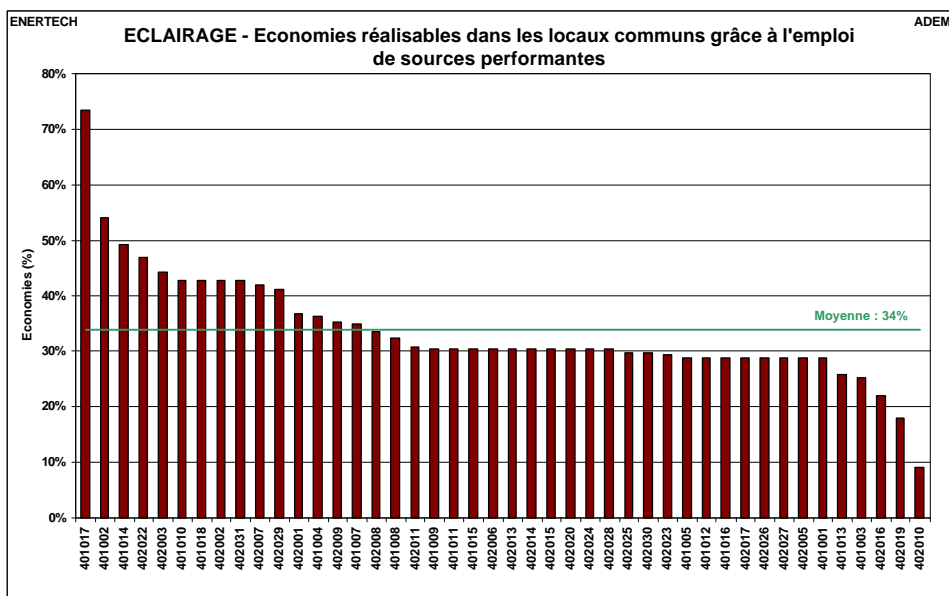


Figure 6.16 : Economies réalisables sur la consommation d'éclairage grâce à la mise en place d'équipements performants – Locaux communs

### 6.3.4 Les sanitaires

C'est dans les sanitaires que la réduction de consommation est la plus importante (52% en moyenne). Cela s'explique par le grand nombre d'ampoules à incandescence qu'on rencontre dans ce type de locaux.

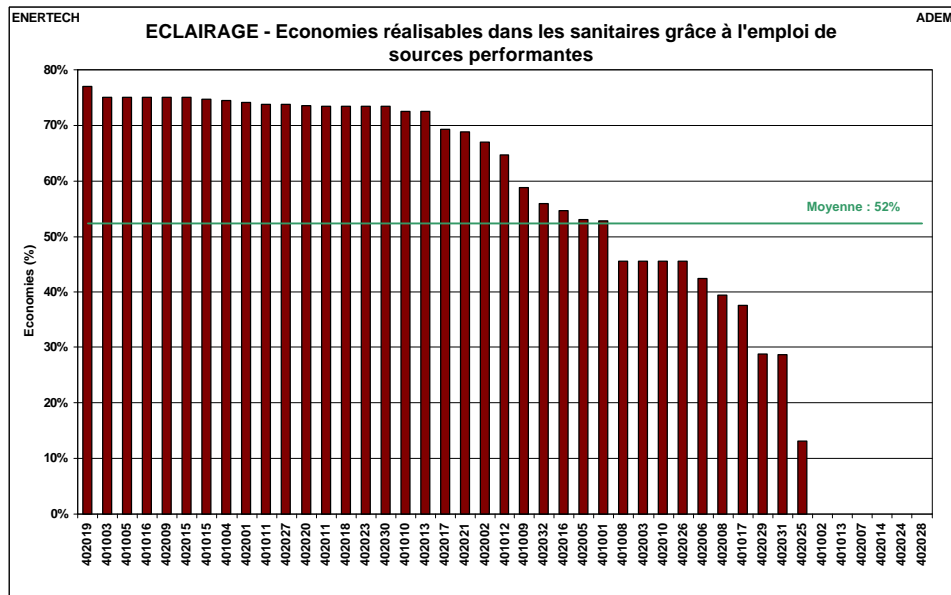


Figure 6.17 : Economies réalisables sur la consommation d'éclairage grâce à la mise en place d'équipements performants – Sanitaires

## 6.4 REDUCTION DE PUISSANCE AU MOMENT DES POINTES REGIONALES

### 6.4.1 Réduction de puissance envisageable

Grâce à toutes les solutions citées précédemment on peut réduire la puissance appelée au moment de la pointe régionale d'hiver de **35%** (1,6W/m<sup>2</sup> ou 46W/personne) et pendant celle d'été de **37%** (2,2W/m<sup>2</sup> ou 58W/personne) et cela sans tenir compte de l'influence sur la consommation de climatisation.

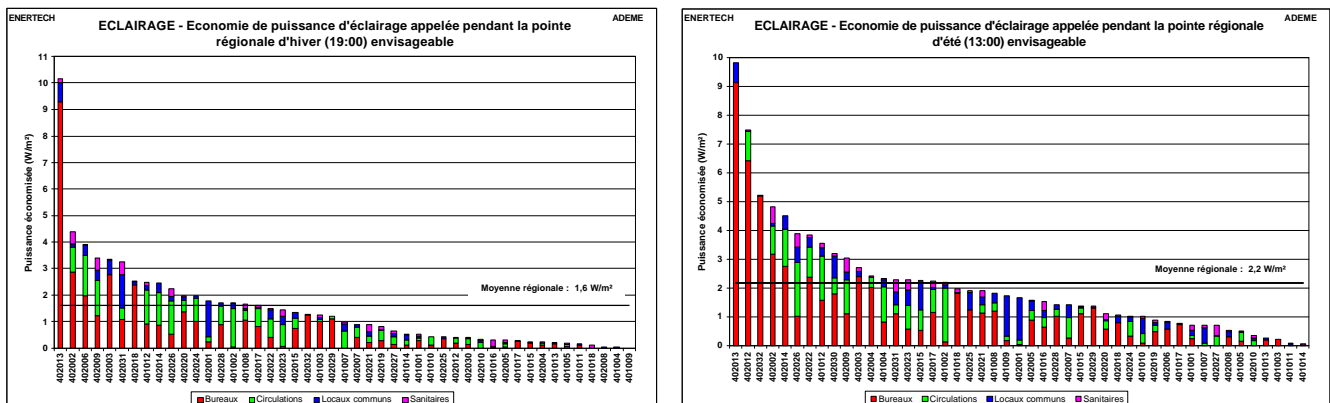


Figure 6.18 : Réduction possible de la puissance(surfacique) d'éclairage au moment des pointes régionales grâce à la mise en place d'équipements performants

Si on fait comme hypothèse que le coefficient de performance des installations de climatisation est de 3, l'action sur l'éclairage permettra une réduction de la consommation électrique pendant la pointe régionale d'été de 87W/personne.

## CHAPITRE 7 : PLAN D' ACTIONS

Au vue des résultats décrits dans les paragraphes précédents ainsi que des remarques émises antérieurement dans le rapport relatif à la première partie de l'étude, le plan d'actions doit se fixer trois objectifs pour permettre une réduction des consommations de bureautique et d'éclairage dans les bureaux :

- 1- Guider les entreprises au moment de l'achat de matériel neuf**
- 2- Réduire la consommation des matériels déjà en place**
- 3- Evaluer et afficher les résultats obtenus**

### 7.1 ACTION 1 : GUIDER LES ENTREPRISES AU MOMENT DE L'ACHAT

#### 7.1.1 Faire la promotion des outils existants (bureautique)

On a vu précédemment qu'il existait des écarts de consommation importants entre des équipements possédant des caractéristiques similaires et qu'on trouvait sur Internet des bases de données très complètes et actualisées fréquemment qui peuvent guider le choix du consommateur. Rappelons les adresses des sites Internet où se trouvent ces renseignements :

- Site européen Energy Star : <http://www.eu-energystar.org/>
- Site suisse Top Ten : <http://www.topten.ch/>

Il est nécessaire de réaliser des outils de communication (brochure, mail envoyé massivement aux entreprises...) qui expliquent aux personnes responsables des achats l'intérêt de choisir du matériel performant et de bien le paramétrer.

#### 7.1.2 Former les professionnels à la vente de matériel performant

La seconde action consiste à former les prescripteurs d'installation d'éclairage et de matériel de bureautique à la vente d'équipement performant. Pour pouvoir la mettre en oeuvre, il est nécessaire de connaître les réseaux de vente. Pour l'éclairage il faudra inventorier les bureaux d'études en charge du lot électricité dans les constructions de bâtiment neuf ou rénovation lourde. En ce qui concerne la bureautique, il sera nécessaire de préciser comment se passent les commandes de matériel (directement à des fabricants, via des revendeurs locaux...).

##### *7.1.2.1 Bureautique*

Les outils élaborés pour les responsables achats des entreprises pourront être utilisés pour former les vendeurs de matériel de bureautique.

### 7.1.2.2 Eclairage

On résumera dans un guide l'ensemble des solutions et préconisations citées dans le chapitre 6. On le fournira à l'ensemble des bureaux d'études qui prescrivent des installations d'éclairage.

### 7.1.3 Elaborer et tester des modèles de fiches d'appels d'offres

Pour aider les entreprises à formaliser leur intention de faire entrer l'efficacité énergétique dans leur critère de choix des nouveaux équipements, on rédigera des modèles de fiches d'appels d'offres. On pourra s'inspirer des exigences données dans le rapport suisse « *Auschreibungunterlagen im Server, PC und Netzwerkbereich* » [16] ou encore des valeurs seuils fixées par l'initiative japonaise « *Green purchasing* » [17]. Ces fiches seront remises aux différents fournisseurs mis en concurrence au moment de tout achat de nouveau matériel.

Les critères seront par exemple :

*Pour les appareils de bureautique*

- Puissance à ne pas dépasser dans les différents états
- Gestionnaire de veille activé et fonctionnant dans toutes les configurations d'utilisation du matériel (par exemple en réseau)
- ...

*Pour l'éclairage*

- Puissance à ne pas dépasser
- Niveau d'éclairement à maintenir
- Caractéristiques des luminaires
- ...

Dans un premier temps, on pourra tester ces fiches sur des collectivités locales partenaires du plan Eco-Energie ou encore sur des entreprises qui ont participé à la campagne de mesures.

## 7.2 ACTION 2 : AGIR SUR LE STOCK DE MATERIELS EXISTANTS

### 7.2.1 Incitation à l'activation du gestionnaire d'énergie de l'écran

On a vu au paragraphe 5.1.4.2 que l'activation du gestionnaire d'énergie d'un écran permettait de réduire sa consommation de 110 kWh par an, soit une baisse de 58%. Cette action permet aussi de réduire en moyenne de 22W et 13W par écran concerné la puissance appelée au moment des pointes, respectivement, d'été et d'hiver. Elle est gratuite et ne pose aucun problème quant au bon fonctionnement de l'ordinateur.

Aux Etats-Unis, une campagne nationale nommée « Million Monitor Drive » a vu le jour en 2003. Elle visait à activer le gestionnaire d'énergie de 1 million d'écrans à travers le pays. Cet objectif a été atteint et fort de son succès, l'équipe d'Energy Star, à l'initiative de cette opération, a relancé l'opération en 2004 avec pour but d'agir cette année sur 2 millions d'écrans.

Pour l'entreprise qui accepte de participer la démarche est simple. Il lui suffit de remplir un formulaire à renvoyer à l'agence Energy Star dans lequel elle précise à quelle date l'activation sera effective et combien de moniteurs seront concernés.

Les arguments avancés pour inciter les entreprises à participer sont les suivants :

- l'action est gratuite et permet de réduire sa facture d'électricité
- elle permet de réduire les émissions de gaz à effets de serre
- l'entreprise prouve par son implication qu'elle participe à l'effort collectif nécessaire pour lutter contre le changement climatique. Elle peut communiquer sur sa participation à ce programme notamment auprès de ses clients (c'est par exemple ce qu'ont fait General Electric, NEC...).

L'agence Energy Star publie sur son site Internet la liste des entreprises participantes. Elle publie aussi des articles relatifs à cette opération dans la presse.

L'idée de cette action peut être reprise au niveau de la Région PACA. On pourra ajouter que le délai d'activation doit être de 10 minutes. De plus, cette action sera l'occasion de sensibiliser les entreprises à propos des risques de non garantie de l'alimentation électrique de la Région dans un avenir proche si rien n'est fait. Cet argument devrait les inciter à participer. On leur fournira bien-sûr toute l'aide nécessaire pour procéder à l'activation du gestionnaire de veille (brochure explicative, « hot line » en cas de problème...). La communication autour de cette opération pourra s'effectuer via les médias locaux (presse, télévision régionale, radio, journal du Plan Eco-Energie) et le site Internet du Plan Eco-Energie.

Le tableau de la figure 7.1 indique la part du déficit que l'on pourra combler en fonction du nombre d'écrans touchés par la mesure.

<b>Nombre d'écrans concernés</b>	<b>Economie de puissance dans la pointe d'été</b> <i>- sans tenir compte de l'économie sur la climatisation -</i> <b>(MW)</b>	<b>Economie de puissance dans la pointe d'été</b> <i>- en tenant compte de l'économie sur la climatisation -</i> <b>(MW)</b>	<b>Economie de puissance dans la pointe d'hiver</b> <b>(MW)</b>
100 000	2,2 (3%)	2,9 (4%)	1,3 (10%)
200 000	4,4 (6%)	5,9 (8%)	2,6 (20%)
300 000	6,6 (8%)	8,8 (11%)	3,9 (30%)
400 000	8,8 (11%)	11,7 (15%)	5,2 (40%)

*NB : entre parenthèses on indique la part du déficit prévu en 2018 comblée*

**Figure 7.1 : Résumé des réductions possibles de puissance au moment des pointes régionales grâce à l'action sur les écrans**

On peut se fixer, pour la première année, un objectif de 100 000 écrans . Ce chiffre est ambitieux mais il n'est pas irréaliste dans la mesure où l'action ne coûte rien aux entreprises. Si le plan de communication est efficace, elles prendront conscience du risque réel qui plane sur l'alimentation électrique de la Région et participeront donc à l'opération.

### 7.2.2 Etude préalable à l'activation du gestionnaire d'énergie de l'unité centrale

On a vu que l'activation du gestionnaire de veille sur les unités centrales était une action aussi efficace que celle décrite dans le paragraphe précédent. En effet l'économie annuelle est de 104 kWh par unité centrale et cette action permet une réduction moyenne de 20W par unité centrale activée sur la pointe d'été et de 14W sur la pointe d'hiver. Le gisement potentiel est toutefois très supérieur car actuellement le gestionnaire d'énergie n'est activé sur pratiquement aucune unité centrale.

Cependant, comme on l'a vu précédemment l'activation du gestionnaire d'énergie peut dans certains cas provoquer des blocages de l'ordinateur et donc une perte d'information. A titre d'exemple, l'agence américaine Energy star qui conseille à grand renfort de publicité l'activation du gestionnaire sur les écrans ne la recommande pas sur les unités centrales.

Avant de conseiller l'activation du gestionnaire d'énergie sur les unités centrales, il est nécessaire d'essayer de comprendre dans quel cas cette action pose problème et comment on peut résoudre le dysfonctionnement. Pour cela, on entrera en contact avec des personnes qui ont étudié cette question. On peut citer par exemple l'Office Fédéral Suisse de l'énergie, le bureau d'étude Terra Novum aux Etats-Unis ou encore l'Agence de l'Energie hollandaise. On rédigera ensuite un guide méthodologique d'activation du gestionnaire d'énergie.

Dans un deuxième temps, l'équipe qui aura fait ce travail de recherche aidera les entreprises de la Région PACA désireuse de mettre en place le dispositif dans la résolution des difficultés qu'elles rencontrent. Elle les assistera par téléphone. Elle consignera dans le même temps les problèmes rencontrés et enrichira son rapport initial.

Une fois les problèmes compris, on utilisera les mêmes outils de communications que ceux mis en place pour inciter à l'activation des gestionnaires d'énergie sur les écrans.

Si l'opération s'avère concluante on pourra procéder de la même façon pour comprendre les modes de gestion d'énergie des serveurs et mettre en place une campagne massive d'activation des dispositifs sur ces ordinateurs qui fonctionnent en continu.

### 7.2.3 Conception d'une horloge pour appareils de bureautique

On a montré au paragraphe 5.1.2 que la consommation des appareils de bureautique en dehors des heures ouvrées (nuits, week-ends et jours fériés) pouvait représenter jusqu'à deux-tiers de la consommation totale. Un grand nombre d'appareils ne possèdent pas de dispositif de mise en veille ou quand ce dernier existe, il ne permet pas toujours une réduction significative de la puissance appelée.

Il s'avèrerait donc intéressant de concevoir un dispositif qui permet d'arrêter les équipements de bureautique en dehors des heures ouvrées mais qui autorise aussi une remise en route de l'appareil dans ces créneaux horaires. Cette horloge doit donc être munie d'une fonction minuterie qui fait que la remise en marche ne dure que pendant un délai programmé (par exemple 15 minutes). On prévoira aussi une réserve de marche afin de ne pas altérer le fonctionnement du système en cas de coupure de courant.

On pourra lancer un concours pour le développement de ce produit. Ainsi on propose à divers fabricants de matériel électronique de participer. Le lauréat se voit garanti, par les partenaires

du Plan Eco-Energie, une certaine quantité d'horloges comme commande initiale (technique du Procurement).

Ces horloges sont données ou vendues à un prix préférentiel aux entreprises en échange de leur participation aux actions de mise en place du gestionnaire d'énergie sur les écrans et les unités centrales (paragraphe 7.2.1 et 7.2.2). Avec l'horloge, on fournit une liste des consommations des appareils de bureautique afin de guider les usagers dans le choix des équipements à arrêter prioritairement en dehors des heures de travail.

#### **7.2.4 Lancement d'une opération de « performance contracting » sur l'éclairage**

Une action sur l'éclairage peut avoir un impact important sur la réduction de puissance appelée pendant les pointes d'hiver et d'été. Dans les immeubles de bureaux, ce sont les luminaires 4x18W qui sont les plus représentés. L'action proposée dans ce paragraphe se focalisera donc sur ce type de luminaire.

On entrera en contact avec les fabricants de kits de rénovation afin d'étudier précisément l'intérêt de leur produit pour le luminaire 4x18W (niveau d'économie réelle, facilité de mise en œuvre...). On s'intéressera à la possibilité de réduction du niveau d'éclairage qu'offre certains kits (par exemple Retrolux), quitte à fournir au moment de la rénovation des lampes de bureau. Une fois que la solution aura été définie, on imaginera un moyen de financer son déploiement à l'échelle régionale. Pour que l'opération fonctionne il faudra que :

- 1- Le fabricant de kits de rénovation propose une solution à 50 euros H.T. par luminaire. Cette baisse de prix devrait être possible car les quantités vendues seront importantes.
- 2- La banque (Crédit Mutuel) qui propose actuellement un prêt bonifié par EDF de 2 000 à 16 000 euros à 2,5% sur 3 ans concède à proposer le même produit mais avec un délai de remboursement de 5 ans. Ainsi chaque année pour la rénovation d'un luminaire 4x18W, on devra rembourser 10,25 euros. Si un accord de ce type n'est pas envisageable avec la banque partenaire, on pourra se renseigner auprès des SOFERGIE sur les possibilités de financement d'une opération de ce type. Les SOFERGIE sont des sociétés financières spécialisées dans le financement par voie de crédit-bail immobilier et mobilier ou sous forme de location simple des investissements destinés à économiser l'énergie ou à protéger l'environnement.
- 3- Les entreprises participantes s'engagent :
  - à faire poser par la personne en charge de la maintenance le kit de rénovation
  - à rénover en priorité les luminaires qui fonctionnent plus de 1000 heures par an (soit plus de quatre heures par jour ouvré)
  - sur le nombre de luminaires à rénover
  - à activer le gestionnaire d'énergie d'un poste informatique pour chaque luminaire changé

L'activation sur le gestionnaire d'énergie devrait permettre d'économiser environ 9 euros par an et la rénovation du luminaire entre 1,4 et 8,2 euros. L'économie devrait donc être, dans tous les cas, supérieure au remboursement du prêt et dans la majeure partie des situations, l'entreprise tirera même un bénéfice de l'opération.

Cette action a un impact fort sur les pointes régionales. Ainsi la rénovation de 100 000 luminaires permet de juguler plus du quart du déficit d'hiver et près de 10% de celui d'été en 2018 (tableau 7.2).

<b>Nombre de luminaires concernés</b>	<b>Economie de puissance dans la pointe d'été</b> <i>– sans tenir compte de l'économie sur la climatisation –</i> <b>(MW)</b>	<b>Economie de puissance dans la pointe d'été</b> <i>– en tenant compte de l'économie sur la climatisation –</i> <b>(MW)</b>	<b>Economie de puissance dans la pointe d'hiver</b> <b>(MW)</b>
100 000	5,5 (7%)	7,3 (9%)	3,5 (27%)
200 000	11,0 (14%)	14,7 (19%)	7 (54%)
300 000	16,5 (21%)	22,0 (28%)	10,5 (81%)
400 000	22,0 (28%)	29,3 (38%)	14 (108%)

*NB : entre parenthèses on indique la part du déficit prévu en 2018 comblée*

**Figure 7.2 : Résumé des réductions possibles de puissances au moment des pointes régionales grâce à l'action sur les luminaires et ordinateurs**

### 7.3 ACTION 3 : EVALUER ET AFFICHER LES RESULTATS OBTENUS

En résumé, les actions proposées dans les paragraphes précédents permettent de réduire de façon importante les consommations d'électricité des usages bureautique et éclairage dans les espaces de bureaux pour des investissements quasiment nuls pour les entreprises. Elles nécessitent de la part des partenaires du plan Eco énergie, dans un premier temps, des efforts de validation puis de mise en œuvre.

Mais la réussite de l'opération tient dans le plan de communication. Il est impératif de faire prendre conscience aux entreprises des problèmes soulevés par le Plan Eco-énergie. De l'efficacité de cette sensibilisation dépendra les résultats du plan d'action. Ainsi, il faudra afficher les résultats obtenus grâce à tous les médias disponibles (presse, télévision, radio, sites Internet...).

Il peut être intéressant de présenter le plan d'action comme une sorte de compétition. On effectuera régulièrement un palmarès des participants, le classement dépendant du niveau d'engagement de l'entreprise. L'ensemble des entreprises sera tenu au courant des avancés du plan ce qui devrait l'inciter à participer à l'effort commun. On pourra même envisager d'offrir des récompenses (moyen supplémentaire de motivation).

Dans chaque entreprise, on établira un contact. Ce « Monsieur/Madame Energie » sera l'interlocuteur à qui on communiquera le programme des actions existantes, les aides financières disponibles, les documents existants... C'est aussi cette personne qui fournira l'état d'avancement des actions engagées dans l'entreprise. Ces informations permettront d'évaluer la réduction de consommation en temps réel et de mettre à jour en permanence le classement régional.

**CONCLUSION**

Cette étude est, à notre connaissance, la plus importante réalisée à ce jour sur la consommation électrique des usages éclairage et technologies de l'information. Des appareils de mesures spécifiques ont permis d'accéder à des informations nouvelles telles par exemple la durée d'utilisation des ordinateurs ; renseignement indispensable pour dimensionner le gisement d'économies envisageable pour cet usage.

Agir sur la consommation des ordinateurs est essentiel puisqu'ils sont responsables de plus de la moitié de la consommation totale liée aux technologies de l'information et même, plus des trois quarts si on considère aussi les serveurs.

Une conclusion essentielle de ce travail est la répartition de la consommation d'électricité d'un ordinateur : seul 20% de celle-ci est à attribuer à un état de marche avec utilisation, le reste correspondant à une marche sans utilisation ou à un arrêt avec veille. On voit donc que les possibilités de réduction des consommations sont considérables.

Un dispositif permettant la mise en veille automatique après un certain délai de non-utilisation existe sur la plupart des ordinateurs. Il semble que les écrans sont, depuis peu, livrés avec ce gestionnaire d'énergie activé. Ainsi, 46% des moniteurs suivis passaient en veille après une période de non-utilisation déterminée. On observe divers dysfonctionnements relatifs à l'activation du dispositif (forte augmentation de la consommation de l'unité centrale au moment du passage en veille de l'écran, activation non-systématique...).

Ce gestionnaire n'est pratiquement jamais utilisé sur les unités centrales. Il est impératif de comprendre quels sont les freins à cette activation et de tenter de les surmonter afin de profiter du gisement d'économies offert.

Enfin on ne peut que déplorer la part toujours plus importante que prend la consommation des équipements à l'arrêt. Un écran ou une unité centrale arrêtés, appellent encore, dans la plupart des cas, une puissance de quelques watts. Cette consommation à l'arrêt représente 7% de la consommation totale d'une unité centrale. Toutes les unités centrales instrumentées présentaient une consommation non nulle à l'arrêt. Il en est de même pour tous les écrans récents.

Dans ce rapport nous avons confirmé que les ordinateurs portables représentent une solution très efficace de réduction de la consommation d'électricité : ils consomment en moyenne 85% de moins qu'un ordinateur de bureau.

Il est maintenant nécessaire d'initier un dialogue avec les fabricants de matériel informatique en leur présentant ces résultats. Ils ont, en effet, un rôle essentiel à jouer dans l'accession à ces gisements d'économies d'électricité. Il faut aussi définir avec eux une méthode standardisée de mesure de la consommation électrique des équipements de bureautique. L'utilisateur doit être informé des performances énergétiques de l'appareil qu'il achète afin d'intégrer ce critère dans sa décision d'achat. Cette démarche a déjà été initiée par l'intermédiaire du label Energy Star. Il est pourtant aujourd'hui encore impossible de connaître la consommation électrique d'un appareil informatique.

La consommation de l'usage éclairage est elle aussi importante bien que dans 70% des bâtiments suivis elle soit inférieure à celle liée aux technologies de l'information. Une installation d'éclairage neuve performante consomme 50% de moins qu'une installation standard pour un surcoût maîtrisé. Des solutions permettant une réduction de plus d'un tiers

de la consommation électrique d'éclairage existent pour la rénovation. Cependant les prix des équipements nécessaires restent élevés.

La mise en place de mesures visant à réduire les consommations des technologies de l'information et de l'éclairage dans les bureaux peut avoir un impact fort sur les périodes critiques d'un point de vue de l'alimentation électrique régionale; à savoir les pointes d'été et d'hiver. Par exemple, l'activation du gestionnaire d'énergie sur l'ensemble des ordinateurs du secteur tertiaire (munis d'un écran cathodique) annulerait la totalité du déficit d'hiver prévu pour 2018 et 38% de celui d'été.

On voit donc que les équipements de bureautique ainsi que l'éclairage des bureaux doivent figurer parmi les cibles prioritaires du Plan Eco-Energie dans les années à venir. Une ébauche de plan d'action a été donnée en fin de rapport. Il est maintenant nécessaire de réfléchir plus en détails sur les actions à mener pour accéder à ces gisements.

Il est aussi primordial de tester les solutions de réduction de consommation proposées dans cette étude au moyen d'opérations pilotes menées dans certains bureaux ayant participé à la campagne de mesures. Cette étape, préliminaire indispensable à l'application des mesures au niveau régional, permettra de valider les potentiels d'économies estimés et de mieux comprendre les difficultés que l'on peut rencontrer lors de la mise en œuvre des solutions.