

Rapport final, DIS 11206 / 51000, janvier 2002

Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre rechargées en été, pompe à chaleur avec désurchauffeur et production d'eau chaude solaire

Bilan après 5 ans d'exploitation

Élaboré par
Bernard Matthey
Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils SA
2205 Montezillon

*A la mémoire et en souvenir de
Monsieur Christophe Menthonnex, architecte du bâtiment.*

SOMMAIRE

	Page
SOMMAIRE	3
RESUME	5
1. INTRODUCTION.....	6
1.1 MANDAT	6
1.2 OBJECTIFS	6
1.3 LA DEMARCHE	7
1.4 LES RESISTANCES	7
2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS.....	8
2.1 ENTREPRISES ET FOURNISSEURS.....	8
2.2 LE BATIMENT, DEMANDE THERMIQUE	8
2.3 L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE.....	8
2.4 LA POMPE A CHALEUR	10
2.5 LES SONDES EN TERRE	11
2.6 LES INSTALLATIONS SOLAIRES	11
2.7 REGIME DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME SONDES EN TERRE - PAC - ABSORBEURS SOLAIRES	11
2.8 LE SYSTÈME DE MESURES.....	12
3. RESULTATS ET COMMENTAIRES DES ENREGISTREMENTS GRAPHIQUES	13
3.1 PRÉSENTATION	13
3.2 ANNEE 1996.....	13
3.2.1 TEMPERATURE ENTREE - SORTIE DES SONDES EN TERRE	13
3.2.2 ENERGIE ET COP	14
3.2.3 ENERGIE SOLAIRE ET ENERGIE ELECTRIQUE POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUE.....	15
3.2.4 COMMENTAIRES GENERAL AUX GRAPHIQUES DE L'ANNEE 1996.....	16
3.3 ANNEES 1997, 1998, 2000	16
3.3.1 MESURES.....	16
3.3.2 TEMPERATURES D'ENTREE ET DE SORTIE	16
3.3.3 ENERGIE ET COP	17
3.3.4 ENERGIE SOLAIRE ET ENERGIE ELECTRIQUE POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUE.....	17
4. BILANS THERMIQUES.....	18
4.1 LES RESULTATS MENSUELS	18
4.2 LES BILANS ANNUELS	18
4.3 LES INDICES DE CONSOMMATION.....	19

5. RECHARGE SOLAIRE OU PAS ? SIMULATIONS DU SYSTEME DE STOCKAGE SAISONNIER	21
5.1 LE MODÈLE DE LUND.....	21
5.2 DONNEES	21
5.3 SIMULATION - RESULTATS BRUTS.....	21
5.4 COMPARAISON DES RÉSULTATS DE LA SIMULATION AVEC LES VALEURS MESUREES	22
5.5 APRES VINGT ANS	22
5.6 RECHARGE OU PAS	23
6. ASPECTS ECONOMIQUES	24
6.1 LE COUT DE L'ÉLECTRICITÉ	24
6.2 INVESTISSEMENTS	24
6.3 BILAN FINANCIER D'EXPLOITATION.....	24
7. REMERCIEMENTS.....	26

Bibliographie

Tableaux

Figures

Dossier photos

Annexes

RESUME

L'immeuble Grand-Pont 6 à Lutry mis en service en 1993 (15 logements) est équipé de 770 m de sondes terre en double U placées sous le bâtiment, de 80 m² d'absorbeurs solaires pour la recharge du terrain connectés à une pompe à chaleur de 49 kW (COP moyen = 3.37). Un désurchauffeur et 30 m² de capteurs solaires avec vitrage produisant 50 % des besoins en eau chaude sanitaire complètent l'équipement.

Trois ans de mesures révèlent une stabilité parfaite des rendements, qui sont en parfait accord avec les prévisions, ainsi qu'une excellente fiabilité des installations.

La recharge estivale des sondes placées dans la molasse marneuse sous le bâtiment permet un gain de 0.3 unités de COP et garantit que la température moyenne des sondes ne s'abaisse jamais au-dessous de 0°C, évitant ainsi les risques d'affaissement du terrain. La part de l'électricité nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire (2'300 l/j) représente le 15 % de l'énergie utile à cette production. La chaleur du bâtiment est fournie à raison de 77 % par les capteurs solaires et les sondes en terre. L'indice énergétique du bâtiment E_{th} est de 58 MJ/m²an et le coût de l'électricité pour le chauffage, la production d'eau chaude et les circulateurs de fr. 40.— par mois par logement. Rapporté au standard Minergie (doublement de la part de l'électricité), l'indice énergétique E_{th} serait de 115 MJ/m²an, soit largement au-dessous de la valeur seuil exigée (150 MJ/m²an).

Le bilan financier révèle que des efforts doivent encore être faits pour abaisser les investissements unitaires de manière à rendre le prix de la chaleur plus proche de celui d'une installation conventionnelle.

Cette étude a été accomplie avec l'aide de l'Office fédéral de l'énergie. L'auteur est seul responsable du contenu et des conclusions.

1. INTRODUCTION

1.1 MANDAT

L'immeuble Grand-Pont 6 à Lutry a été équipé d'une pompe à chaleur sur sondes en terre avec recharge de celles-ci par absorbeurs solaires sans vitrage.

Conçu en 1990-1991, mis en service en novembre 1993, cet immeuble était, en Suisse romande du moins, l'un des premiers bâtiments locatifs à être équipé d'une pompe à chaleur sur sondes en terre.

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a souhaité que les installations soient instrumentées, de manière à ce que l'on puisse en connaître le bilan thermique.

Ceci a conduit l'Office fédéral de l'énergie à demander au maître de l'ouvrage, M. Daniel Buche à Lutry de réaliser cette tâche. La mise en place du système de mesures, l'acquisition des données et leur interprétation ont été confiées à Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils SA.

Le financement de ce travail a été assuré par l'Office fédéral de l'énergie dans le cadre de l'encouragement à des projets ayant un caractère de pilote et de démonstration. Le suivi du projet à l'OFEN a été assuré par M. Fabrice Rognon.

Le présent rapport constitue le rapport final du projet.

1.2 OBJECTIFS

Sachant le caractère "pilote et démonstration" du projet, les mesures effectuées étaient destinées avant tout à :

- confirmer que le projet était conçu de façon rationnelle et fiable,
- confirmer, par des mesures, que le dimensionnement des installations était en accord avec les besoins,
- comparer les résultats des mesures aux valeurs de simulation données par le modèle de Lund EED, qui n'existe pas encore à l'époque de la construction, mais utilisé actuellement pour le dimensionnement d'installations avec sondes en terre multiples,
- vérifier que le bilan énergétique final du bâtiment était en accord avec les valeurs annoncées,
- recommander, le cas échéant, et pour d'autres installations similaires, des adaptations et modifications du schéma de principe ou de dimensionnement,
- faire connaître cette installation dans les milieux de la construction.

1.3 LA DEMARCHE

Partant d'une installation existante, en service depuis deux ans, on a placé un équipement de mesures relié à un modem permettant de rapatrier les résultats auprès du bureau chargé du dépouillement et de l'interprétation des données. Après un an, un rapport a montré que le système d'acquisition fonctionnait correctement. Les mesures ont ensuite été poursuivies durant quatre ans, avec interruption d'une année pour raisons administratives.

1.4 LES FIGURES

L'exemplaire original du rapport contient les originaux des figures des annexes 6 à 8 en couleur, ce qui en permet une meilleure lisibilité. La représentation en noir - blanc de ces annexes avec divers traitillés a été travaillée de manière à permettre une première lecture aisée. Au lecteur qui le souhaiterait, il est possible de transmettre une copie couleur des figures ou une disquette contenant les données.

1.5 LES RESISTANCES

Au moment de rédiger le présent rapport, nous avons eu l'occasion de passer en revue le courrier consacré au financement du projet de mesures. Nous avons relevé en particulier les résistances du comité P+D travaillant sous mandat de l'OFEN à financer les mesures sous prétexte que l'installation était coûteuse et que la recharge n'apportait que peu d'amélioration au rendement de l'installation.

Puisse le présent rapport infirmer la phrase "*Les experts résistent avec compétence à la nouveauté*" et convaincre ces derniers que leur jugement préalable n'était pas vraiment justifié.

2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

2.1 ENTREPRISES ET FOURNISSEURS

On trouvera au tableau 1 la liste des principaux intervenants et fournisseurs. Au plan pratique, le chantier s'est déroulé normalement de janvier 1992 à novembre 1993, date de la mise en service. Nous en profitons pour remercier ici toutes les personnes et entreprises qui ont participé de près ou de loin à ce projet, en particulier en raison de son caractère nouveau.

2.2 LE BATIMENT, DEMANDE THERMIQUE

On trouvera au tableau 2 les données principales relatives à l'enveloppe du bâtiment et à ses caractéristiques thermiques.

Les figures 1 et 2 représentent le bâtiment et situent son implantation.

Le volume du bâtiment est de 5'390 m³ habitables et sa surface de référence énergétique est de 1'866 m².

La puissance des déperditions thermiques par l'enveloppe et pour le renouvellement de l'air (calorimétrie) est de 37.3 kW.

La consommation prévue d'énergie pour couvrir les besoins en chauffage et en eau chaude ont été estimés à 110'000 kWh/an.

Le bâtiment est situé à proximité du lac Léman dont il a pratiquement l'altitude.

Le sous-sol est occupé par un garage pour les voitures des locataires.

2.3 L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE

Dès la conception du bâtiment, le maître de l'ouvrage a souhaité en faire une référence en matière énergétique et obtenir des consommations minimum. Ingénieur civil de formation, mais aussi par son esprit à innover, M. Daniel Buche a estimé qu'un chauffage par pompe à chaleur devait être envisagé.

L'installation de chauffage, dont un schéma de principe détaillé est donné à la figure 3 se compose des éléments suivants :

Production de chaleur

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est assurée par une **pompe à chaleur électrique d'une puissance de 49 kW** au maximum à l'évaporateur. Celle-ci soutire l'énergie côté évaporateur sur **sept sondes terrestres en double U de 110 m** de longueur, situées sous le bâtiment et **80 m²** d'**absorbeurs solaires** situés sur le toit du bâtiment qui assurent la recharge thermique des sondes en terre.

Production d'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est préparée dans **deux accumulateurs sanitaires de 1'500 l et 2'000 l.** **30 m² de capteurs solaires** fournissent de l'énergie dans les accumulateurs à travers un échangeur à plaques.

Un deuxième échangeur à plaques, alimenté par la pompe à chaleur, fournit un complément d'énergie lorsque cela est nécessaire. **Le désurchauffeur** de la pompe à chaleur alimente en eau chaude la partie supérieure de l'accumulateur de 2'000 l. **Une résistance électrique de 12 kW** permet d'assurer, en cas de panne de la pompe à chaleur, une production minimale d'eau chaude sanitaire.

Distribution de chaleur

La distribution de la chaleur dans le bâtiment est assurée par un chauffage par le sol divisé en trois groupes, à savoir *Groupe appartements sud*, *Groupe appartements centraux* et *Groupe des bureaux*.

Le chauffage est dimensionné pour une température de départ **de 43°C** pour une température **extérieure de -7°C**.

Chaque boucle du chauffage-sol est équipée d'un élément de réglage hydraulique permettant l'adaptation du débit d'eau aux valeurs calculées.

Régulation

La régulation de la pompe à chaleur et des trois groupes de chauffage est réalisée par régulateurs individuels équipés de microprocesseurs à affichage digital, qui permettent le pilotage et la gestion de chaque élément, et la lecture instantanée des différentes températures et consignes demandées.

Les sondes d'ambiance permettent d'arrêter l'installation de chauffage lorsque la température s'élève, en raison des apports solaires passifs et internes.

La régulation des circuits absorbeurs solaires et capteurs solaires est réalisée par des régulateurs classiques avec enclenchement et déclenchement du circulateur sur un différentiel de température avec hystérèse.

Capteurs solaires pour la préparation d'eau chaude sanitaire

La surface de 30 m² de capteurs solaires (inclinaison 60°) placés en toiture permet de couvrir les besoins en eau chaude sanitaire de l'immeuble par beau temps. L'eau, réchauffée dans les capteurs solaires, est conduite dans un échangeur de chaleur à plaques qui transfère cette énergie tout d'abord dans l'accumulateur de 1'500 l et lorsque celui-ci est chargé, une vanne 3 voies commute la charge dans la moitié inférieure de l'accumulateur de 2'000 l.

Les capteurs solaires sont posés sur des supports en béton préfabriqués posés sur le sol de la toiture, côté nord et sont disposés en trois groupes distincts et d'orientation identique (S30°W).

Absorbeurs solaires pour la recharge des sondes en terre

80 m² d'absorbeurs solaires sont placés sur le toit de la partie sud du bâtiment (inclinaison 10°, orientation S30°W). Les absorbeurs sont liés au circuit des sondes terrestres. L'énergie fournie par les absorbeurs sert au réchauffage des sondes terrestres pendant l'été.

Ventilation des cuisines et des sanitaires

Les cuisines et les locaux sanitaires sont ventilés mécaniquement.

Chaque local à ventiler est muni d'un ventilateur à turbine radiale et commandé par l'interrupteur de l'éclairage. Les ventilateurs sont équipés d'une temporisation à l'enclenchement de 40 secondes et de 6 minutes au déclenchement. Chaque ventilateur est raccordé à une conduite séparée placée dans les gaines techniques. L'air vicié est expulsé en toiture.

Chaque hotte de cuisine est raccordée à une conduite séparée. L'air vicié est expulsé en toiture. Le ventilateur est intégré dans la hotte de cuisine. L'entrée d'air a lieu par le biais de grilles réglables placées dans les cadres des fenêtres.

Ventilation du garage souterrain

Une installation de ventilation avec un débit de 2'000 m³/h assure le renouvellement d'air nécessaire. Le ventilateur est commandé à choix par la lumière, la porte de garage ou une horloge. L'air vicié est expulsé en toiture.

Un thermostat anti-feu déclenchera l'installation en cas d'incendie.

Le garage souterrain n'est pas chauffé.

On trouvera au tableau 3 un récapitulatif des valeurs remarquables des équipements.

2.4 LA POMPE A CHALEUR

La pompe à chaleur, de marque Soltherm, a été choisie parce qu'elle était à l'époque l'une des meilleures sur le marché au point de vue des rendements, en particulier par la surface développée élevée de l'évaporateur et du condenseur.

D'autre part, le concepteur souhaitait qu'elle soit équipée d'un désurchauffeur pour garantir une production d'eau chaude à haute température.

A l'usage, on constate que le désurchauffeur produit environ le 30 % des besoins en chaleur destinés à la production d'eau chaude sanitaire.

Le tableau 4 résume les caractéristiques de la machine sur la base des données du constructeur.

Les coefficients de performance sont (en fonction des températures du condenseur et de l'évaporateur) :

0/35°C	3.8
0/45°C	3.3
0/55°C	2.9

Le recours à une recharge solaire des sondes en terre était souhaité, en particulier pour améliorer le coefficient de performance annuel moyen.

L'autre raison tenait au fait que l'on souhaitait absolument éviter le gel des sondes qui, dans les terrains molassiques marneux, peut entraîner des affaissements, non tolérables ici puisque les sondes sont situées sous le bâtiment.

2.5 LES SONDES EN TERRE

On trouvera au tableau 5 les caractéristiques détaillées des sondes, ainsi que les puissances spécifiques soutirées. La figure 4 donne l'emplacement des sondes sous le bâtiment.

Compte tenu de pressions différentielles possibles entre la molasse glissée, la moraine et la molasse en place, il a été convenu de remplir les sondes avec un mélange de bentonite et de ciment plutôt qu'avec un sable de quartz plus conducteur thermiquement. Aucun artésianisme n'a été observé lors des forages. En revanche, le niveau saturé du terrain (niveau de la nappe souterraine) est proche de la surface et correspond sensiblement au niveau du lac. Un mouvement lent de la nappe souterraine dans la moraine n'est pas à exclure. En revanche, la molasse chattienne, à composition le plus souvent marneuse, exclut pratiquement des mouvements de l'eau supérieurs à quelques décimètres par an. On trouvera à l'annexe 1 un log géologique établi par le professeur Aurèle Parriaux. Notons que le bâtiment se trouve sur un glissement de terrain, connu à Lutry. L'épaisseur du recouvrement à l'aplomb du bâtiment est de 30 m.

La puissance thermique unitaire extraite des sondes varie entre 35 et 55 W/m selon les températures de fonctionnement. La température du condenseur ne dépassant que très rarement 45°C, la puissance soutirée est généralement située entre 45 et 55 W/m. L'énergie soutirée du terrain (moyenne 3 ans) **est de 130 kWh/an** sous réserve de la non comptabilisation de l'alimentation en direct de l'évaporateur par les absorbeurs.

2.6 LES INSTALLATIONS SOLAIRES

Les données techniques des installations sont au tableau 6. L'inclinaison forte des capteurs (60 degrés) est destinée à éviter une surproduction estivale et accroître la participation de l'installation en mi-saison.

On verra que la part d'énergie fournie par les capteurs avec vitrage est nettement supérieure aux valeurs prévues. Ces valeurs sont même parfois supérieures à celles qu'on observe pour les absorbeurs sans vitrage. Les causes possibles de cette situation seront discutées plus loin.

2.7 REGIME DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME SONDES EN TERRE - PAC - ABSORBEURS SOLAIRES

Trois régimes ont été initialement prévus, à savoir :

Régime sans soleil

La PAC fonctionne pour le chauffage ou la production d'eau chaude. L'énergie fournie à l'évaporateur provient en totalité des sondes en terre. C'est la situation la plus courante en hiver.

Régime avec soleil et avec PAC

La PAC fonctionne pour le chauffage ou la production d'eau chaude, elle soutire simultanément de la chaleur des absorbeurs solaires et des sondes en terre. Les deux circulateurs sont en service simultanément (débit total 8.2 m³/h). On évite ainsi un excès de température qui pourrait parvenir à l'évaporateur par un mélange des deux circuits.

Régime avec soleil, PAC arrêtée

La pompe à chaleur est arrêtée. Les absorbeurs solaires sont connectés directement sur les sondes en terre. Le circulateur sondes-évaporateur est arrêté.

2.8 LE SYSTEME DE MESURES

On trouvera au tableau 7 un récapitulatif des équipements de mesures. Cette liste n'appelle pas de commentaires. Le tableau 17 en donne les coûts et la liste des entreprises concernées par ces équipements.

3. RESULTATS ET COMMENTAIRES DES ENREGISTREMENTS GRAPHIQUES

3.1 PRESENTATION

Les données ont été enregistrées et moyennées sur **des périodes d'une heure**. Les valeurs sont représentées graphiquement en couleur, chaque feuille représentant un mois d'enregistrement (annexes 2, 3 et 4).

Compte tenu du nombre élevé de paramètres, chaque mois a exigé trois dessins. Les regroupements par dessin des paramètres enregistrés ont été faits en fonction de leur "parenté". Les années se suivant et se ressemblant, on a volontairement insisté sur le descriptif "pas à pas" des valeurs de l'année 1996. Rappelons également que l'installation est en service depuis octobre 1993.

3.2 ANNEE 1996

3.2.1 TEMPERATURE ENTREE - SORTIE DES SONDES EN TERRE

Janvier 1996

Le ΔT entrée - sortie des sondes en exploitation par la PAC est constant ($\sim 4^{\circ}\text{C}$). La température à la sortie des sondes est pratiquement toujours supérieure ou égale à 5°C .

Février 1996

Jusqu'au 25 février, il n'y a pratiquement pas de recharge par les absorbeurs et la température à la sortie des sondes atteint $+4^{\circ}\text{C}$ à la fin d'un cycle journalier d'exploitation. La recharge du stock et le prélèvement de chaleur en direct sur les absorbeurs à la fin du mois permettent de gagner 2°C sur la température minimum.

Mars 1996

Le temps de fonctionnement de la PAC diminue progressivement, la recharge est plus fréquente dans l'après-midi. Conséquence : la température à la sortie des sondes en terre, qui se confondait avec la température à l'entrée dans l'évaporateur, se dissocie momentanément. Les absorbeurs rechargent de plus en plus souvent le stock. La température de l'eau retournant dans les sondes en terre atteint déjà plus de 25°C dans l'après-midi.

Avril 1996

L'énergie prélevée par la PAC diminue. Elle ne fonctionne plus les 2, 19 et 20 avril. La recharge par les absorbeurs est effective (température maximum 35°C). La température à la sortie des sondes après recharge est relativement constante (environ 20°C). Lorsque la PAC est en fonction (à la fin du mois), la température à la sortie des sondes ne s'abaisse pratiquement pas au-dessous de 10°C .

Mai 1996

Alternance de périodes avec et sans chauffage. La température des absorbeurs dépasse pour la première fois 40°C et le retour du stock après recharge 25°C. On relèvera (30 et 31 mai, courbe orange) qu'au début de la phase de recharge, la température de l'eau revenant des sondes vers les capteurs s'abaisse, puis remonte progressivement. Ce phénomène indique que, pendant la nuit, la température moyenne des sondes s'est refroidie et que les premiers retours sont froids. Il faut environ deux heures pour que l'effet de la recharge commence à se faire sentir à la sortie des sondes.

Juin 1996

Belle phase de recharge. On ne soutire pratiquement plus rien à l'évaporateur. La température des absorbeurs plafonne aux environs de 40°C, la puissance de stockage vers 50-55 kW. Le retour du stock est aux environs de 25°C.

Lorsque la PAC est en marche par une journée sans soleil, l'entrée à l'évaporation est voisine de 15°C.

Juillet 1996

Commentaires identiques à ceux du mois de juin, la température minimum de l'eau sortant des sondes au démarrage de la recharge est d'environ 20°C. Elle était de 15°C au mois d'avril. On aurait donc gagné 5°C dans la température du stock.

3.2.2 ENERGIE ET COP

Janvier 1996

L'énergie prélevée est donnée sous forme de puissance horaire. L'énergie moyenne délivrée par le condenseur atteint 37 kWh/h au maximum. Le désurchauffeur donne 6 kW au maximum. La consommation d'électricité atteint 14 kW.

On relève les fluctuations du COP liées aux interruptions qui permettent un relèvement des températures à la sortie des sondes. Au milieu du mois, le COP est de 3.5. Il descend parfois vers 3.0 à la fin du mois.

Février 1996

Les graphiques ne sont pas très différents de ceux de janvier. Les 2, 5, 20 et 21 février, la PAC fonctionne plusieurs heures sans interruption. Le COP minimum est alors de 3.0.

A vérifier : la courbe de l'énergie de l'évaporateur qui peut être nulle lorsque la PAC fonctionne.

Mars 1996

Sous l'effet de la recharge, surtout vers la fin du mois, le COP est souvent au-dessus de 4.0.

Avril 1996

L'enclenchement de la PAC devient de plus en plus rare. Annuler le dernier jour du graphique.

Mai 1996

Les apports solaires pour la production d'eau chaude conduisent à l'arrêt presque total de la PAC dont les COP varient beaucoup : température élevée à l'évaporateur au départ, production

d'eau chaude à température relativement élevée. Le désurchauffeur apporte toujours de l'énergie.

Juin 1996

La PAC n'est pratiquement plus en service. Annuler le dernier jour.

Juillet 1996

Commentaires identiques à ceux du mois de juin.

3.2.3 ENERGIE SOLAIRE ET ENERGIE ELECTRIQUE POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Janvier 1996

Le condenseur de la PAC participe à la production d'eau chaude une fois par jour au moins (fin de journée ou début de journée).

Les panneaux solaires se sont enclenchés 17 jours sur 31.

La base de la production de l'eau chaude est fournie par le désurchauffeur.

Février 1996

Lorsqu'il y a ensoleillement, les panneaux solaires et le désurchauffeur suffisent. Pourquoi enclenchement du barreau électrique le 27 février ?

Mars 1996

La PAC ne participe à l'eau chaude que 6 jours durant le mois. Le reste du temps, désurchauffeur et panneaux solaires suffisent.

Avril 1996

Les panneaux solaires prennent progressivement la relève du désurchauffeur. L'enclenchement du barreau électrique pourrait être dû à une température trop élevée de l'accumulateur pour permettre l'enclenchement de la PAC.

Mai 1996

La part des panneaux solaires est de plus en plus importante. Participation de la PAC et de son désurchauffeur par jours moins ensoleillés.

Juin 1996

L'installation solaire produit l'essentiel des besoins en eau chaude sanitaire (ECS).

Juillet 1996

Mêmes commentaires qu'en juin. La production baisse vers la fin du mois. Est-ce l'effet des vacances (température élevée du boiler) ?

3.2.4 COMMENTAIRES GENERAL AUX GRAPHIQUES DE L'ANNEE 1996

Le système PAC - absorbeurs - capteurs paraît bien fonctionner.

La participation du désurchauffeur à la production d'eau chaude est remarquable et le couple désurchauffeur - capteurs fonctionne bien.

Les COP de la PAC sont pratiquement toujours supérieurs à 3.0 (tableau 12).

La fiabilité de l'installation en général est remarquable.

3.3 ANNEES 1997, 1998, 2000

3.3.1 MESURES

Les valeurs de 1999 n'ont pas été enregistrées, la période prévue de mesures étant terminée. En revanche, avant de terminer l'étude et parce que l'équipement de mesures était encore en place, il a été convenu de prolonger les mesures durant la première moitié de l'année 2000.

3.3.2 TEMPERATURES D'ENTREE ET DE SORTIE

On ne décèle pas de modifications significatives, si ce n'est que, pour la première fois, la température de retour vers les sondes descend en dessous de 0°C en janvier 1998 (sortie 3.5°C, retour -0.5°C).

Les compteurs de chaleur comptabilisant l'énergie des absorbeurs lorsqu'ils sont en direct sur l'évaporateur n'enregistrent aucune valeur. En revanche, on constate, rarement en janvier, plus souvent en février et mars et en octobre ou novembre, que la courbe donnant la température à la sortie des absorbeurs en direction de l'évaporateur, s'abaisse brutalement, ce qui signifie que le circuit est actif. Le reste du temps, la température indiquée est plus ou moins celle du local, c'est-à-dire sans signification.

On peut donc considérer que, si le compteur n'est pas actif puisqu'il totalise 0 kWh après trois ans, il y a par moment utilisation directe de la chaleur des absorbeurs. A la lecture des graphiques de températures, on voit que les quantités d'énergie concernées sont relativement faibles, certainement moins de 10 % de la part fournie à l'évaporateur. Ce point sera discuté lors de la simulation des sondes en terre.

En décembre 1997, les enregistrements des énergies ont été déficients, ce qui facilite la lecture des températures. Pour le calcul des bilans, les valeurs manquantes seront extrapolées à partir des degrés-jours.

En janvier 2000, on constate que la puissance horaire moyenne maximum utilisée par l'évaporateur a notablement diminué, passant de 18 à 12 kW. On verra que cette diminution est à mettre très certainement sur le compte d'une dérive du compteur de chaleur de l'évaporateur. Ceci est confirmé par le fait qu'on ne décèle pas de modification des températures à l'évaporateur et des quantités d'énergie fournies par le condenseur par rapport aux autres années.

3.3.3 ENERGIE ET COP

Le coefficient de performance (COP) est donné en incluant l'énergie consommée par les circulateurs. On ne distingue pas de modifications significatives par rapport à l'année 1996.

La puissance électrique absorbée par le compresseur diminue de 1 à 1.5 kW entre janvier 1996 et janvier 2000.

On ne décèle pas de dérive du COP et plutôt une amélioration de la puissance moyenne maximum fournie par le désurchauffeur.

3.3.4 ENERGIE SOLAIRE ET ENERGIE ELECTRIQUE POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Là encore on ne distingue pas de modifications significatives d'avec les valeurs de 1996.

Mai 1998 est un mois où l'installation solaire a pratiquement suffit à fournir l'eau chaude sanitaire du bâtiment, le seul appoint ayant été donné par le désurchauffeur.

Les raisons de l'enclenchement du barreau électrique nous sont mal connues et devraient être recherchées, même si l'apport direct reste insignifiant sur le bilan.

D'une manière générale on constate que l'installation fonctionne bien et que les seules pannes observées sont celles de l'acquisition des données.

4. BILANS THERMIQUES

4.1 LES RESULTATS MENSUELS

On trouvera aux tableaux 8, 9, 10 et 11 les bilans thermiques mensuels tirés des enregistrements de consommation. Sur ces tableaux figurent également les principales températures de référence et les coefficients de performance mensuels moyens.

Comme mentionné sous 3.3.2, l'énergie fournie ne coïncide pas avec les valeurs obtenues à partie de l'équation

$$\text{Énergie à l'évaporateur} = \text{énergie au condenseur} + \text{énergie au désurchauffeur} - \text{consommation d'électricité de la PAC}$$

En 1996 le compteur à l'évaporateur donne 61'103 kWh alors que le bilan exige qu'on lui fournisse 70'495 kWh. La différence est de 13 %. Elle s'accroît encore en 1997 puis en 1998. Les causes de cette dérive du comptage ne nous sont pas connues. Il est probable qu'il s'agit d'un encrassement de la turbine du compteur détecté trop tard pour être corrigé.

Dans le calcul des bilans, et particulièrement pour la simulation des sondes en terre, nous avons donc considéré les valeurs calculées. Le fait de disposer de tous les éléments du bilan, sauf un qui est ainsi calculé par déduction, ne remet toutefois pas en question l'interprétation des résultats.

L'évolution des consommations, mois par mois, est conforme à la demande en énergie d'un bâtiment conventionnel et évolue au pro rata des degrés-jours.

Les coefficients de performance mensuels moyens (COP) varient entre 3.13 et 3.90, en fonction des conditions de température à l'évaporateur. Les moyennes annuelles 3.34 (1996), 3.38 (1997) et 3.38 (1999) sont remarquablement stables et plutôt conformes aux prévisions du fabricant. On ne décèle pas de dérive d'année en année prouvant à la fois le bon comportement des sondes en terre et la fiabilité de la machine.

L'énergie fournie par les absorbeurs solaires et par les capteurs vitrés évolue en accord avec le climat et l'ensoleillement. On relève en particulier, de par l'inclinaison des capteurs vitrés, une bonne productivité durant les entre-saisons en regard de ce que produisent les absorbeurs.

Condenseur et désurchauffeur complètent bien les déficits solaires.

On relèvera également que les valeurs de consommation d'énergie des circulateurs coïncident bien avec les énergies qu'ils contribuent à fournir. En intégrant la consommation des circulateurs, on abaisse le coefficient de performance moyen de 8 %, cette valeur étant la même pour les trois ans d'observation.

4.2 LES BILANS ANNUELS

Chauffage

Les consommations observées sur trois années successives sont très proches et sans dérive décelable (tableau 12).

Condenseur et désurchauffeur produisent donc annuellement 101'000 kWh/an pour une consommation d'énergie électrique de 30'000 kWh. Les deux-tiers de l'énergie nécessaire au chauffage proviennent donc de l'environnement.

On relèvera la part significative produite par le désurchauffeur (11.6 %) qui rend possible la production d'eau chaude sanitaire à 55°C, voire 60°C.

Les temps de fonctionnement de la PAC avec condenseur à 55°C en sont ainsi réduits, de même que l'appoint par le barreau électrique.

Eau chaude sanitaire

L'eau chaude est produite à 51 % par les capteurs solaires avec vitrage. Rappelons qu'il y en a 2.5 m² par logement (2.0 m² si l'on inclut les bureaux) (tableau 13). Le désurchauffeur produit 28 % de la chaleur nécessaire à la production d'eau chaude, le condenseur le 19 % et le barreau électrique 1.6 %.

La consommation moyenne d'eau chaude du bâtiment est de 2'290 l/j (valeur estimée à partir de la consommation d'énergie, $\Delta T = 10-55^\circ\text{C}$), soit 190 l par jour et par appartement. Le nombre d'habitants ne nous est pas connu.

L'électricité consommée pour la production d'eau chaude est le 13.7 % de ce qu'elle serait avec un boiler électrique conventionnel. Autrement dit, le système de production d'eau chaude consomme **7.3 fois moins d'énergie que si elle était produite avec un boiler électrique.**

4.3 LES INDICES DE CONSOMMATION

On trouvera au tableau 14 le détail des calculs des indices énergétiques.

La consommation d'énergie thermique calculée à partir de la consommation de chaleur du bâtiment vaut

$$\begin{aligned} Q_{th} &= 248 \text{ MJ/m}^2\text{an} \\ \text{ou} \quad & 68.9 \text{ kWh/m}^2\text{an} \end{aligned}$$

La conjonction de la pompe à chaleur et de la production des capteurs solaires pour l'eau chaude donne un indice énergétique chaleur

$$\begin{aligned} E_{th} &= 58 \text{ MJ/m}^2\text{an} \\ \text{ou} \quad & 16.1 \text{ kWh/m}^2\text{an} \end{aligned}$$

Les valeurs limites admises selon le standard SIA pour un bâtiment de ce type avec **chauffage et production d'eau chaude au mazout** ($\eta = 0.75$) seraient respectivement

$$\begin{aligned} Q_{th} &= 272 \text{ MJ/m}^2\text{an} \\ E_{th} &= 362 \text{ MJ/m}^2\text{an} \end{aligned}$$

Chauffé au mazout, de façon classique, le bâtiment Grand Pont 6 à Lutry consommerait 18'800 l de mazout par an alors qu'il en consomme l'équivalent de 3'000 l, mais sous forme d'électricité. Restons donc prudents dans les comparaisons !

En résumé, on pourra dire que **les trois-quarts de l'énergie nécessaire à la production de chaleur et d'eau chaude du bâtiment proviennent de son environnement immédiat.**

Au moment où la pompe à chaleur devra être changée, en choisissant une machine récente plus performante, on devrait pouvoir gagner encore 5'000 kWh par an d'électricité et obtenir un indice E_{th} proche de 45 MJ/m²an.

Enfin, on signalera que les prévisions de consommation d'électricité pour les besoins en chaleur établies en 1993 (annexe 4) coïncident parfaitement avec les mesures, preuve que les méthodes de dimensionnement (calcul de l'enveloppe, rendement des installations) sont maintenant parfaitement fiables.

5. RECHARGE SOLAIRE OU PAS ? SIMULATIONS DU SYSTEME DE STOCKAGE SAISONNIER

5.1 LE MODELE DE LUND

L'Université de Lund (Suède), sous l'impulsion de MM. Hellström et Claesson en particulier, a développé divers modèles de simulation permettant de dimensionner les sondes en terre utilisées pour alimenter des pompes à chaleur. Les bases théoriques des modèles sont en particulier développées dans l'ouvrage de G. Hellström : *Groundwater storage, Thermal Analyses of Duct Storage Systems*. Univ. of Lund, 1991.

Une variante, le modèle EED, est particulièrement approprié à la simulation des conditions de l'immeuble Buche à Lutry.

Le modèle est normalement conçu pour dimensionner un groupe de sondes. Dans le cas présent, nous l'avons utilisé pour valider à posteriori les résultats des mesures effectuées en comparant les valeurs du calcul et les valeurs mesurées. Avantage, nous disposons de valeurs précises des flux entrants et sortants puisqu'ils avaient été mesurés. Le modèle EED présentait aussi l'avantage de répondre à cette question souvent posée : *Vaut-il la peine de recharger une sonde en terre ou un groupe de sondes ?*

5.2 DONNEES

On trouvera au tableau 15 un descriptif sommaire de la lithologie des terrains traversés par les sondes et au tableau 16 les propriétés physiques du terrain et du fluide caloporteur circulant dans les sondes, ainsi que les données géométriques des sondes et du forage considérés pour la simulation.

Les conditions aux limites sont celles de l'année 1997 qui a été prise comme référence pour fixer les flux mensuels d'énergie injectés et soutirés. Tel que conçu le modèle EED ne permet en effet pas de varier les flux entrants et sortants année après année. Sachant que les trois années d'observation montrent que les bilans thermiques sont pratiquement identiques, l'imprécision introduite est acceptable.

5.3 SIMULATION - RESULTATS BRUTS

On trouvera à l'annexe 2 les résultats bruts donnés par le modèle pour les conditions avec recharge, à l'annexe 3 les résultats de la simulation sans recharge saisonnière et à l'annexe 4 avec une recharge équivalent aux prélèvements.

Les températures calculées sont les valeurs moyennes entre l'entrée et la sortie des sondes.

Après une année d'exploitation (conditions de 1997), la température moyenne en janvier est de 4.12°C. Elle est de 3.09°C après cinq ans et 2.52°C après vingt ans. La recharge étant inférieure (71 MWh/an) au soutirage (46 MWh/an), il y a diminution lente (1.6 K) sur les vingt premières années. Cette baisse est, par exemple, de 1.2 K en mars et 1.0 K en novembre.

En absence de recharge solaire, la température après vingt ans en janvier est de 0.46°C, soit une chute de 3.7 K au lieu de 1.6 K avec recharge. Le gain dû à la recharge est donc de 2.1 K en janvier. Il est de 1.9 K en mars après vingt ans et de 1.7 K en décembre après vingt ans.

Les tableaux 22 et 23 donnent un résumé des comparatifs des valeurs de température des sondes avec ou sans recharge après vingt ans.

5.4 COMPARAISON DES RESULTATS DE LA SIMULATION AVEC LES VALEURS MESUREES

Les tableaux 18, 19, 20, 21, et 22 permettent de comparer les résultats des mesures et des calculs, en particulier en ce qui concerne les maxima et les minima.

Première constatation : les températures simulées et mesurées sont proches. Deuxième observation : le modèle donne une baisse régulière de la température alors que les mesures révèlent une certaine stabilité, voire une remontée, comme en 1998. Effet probable de quantités d'énergie soutirées variant dans la réalité alors que le modèle impose une année-type.

Les maxima de température observés au moment de la recharge estivale coïncident bien avec ceux donnés par le calcul.

Les minima calculés pour chaque mois s'abaissent d'année en année, ce qui n'est pas le cas des valeurs observées. Le modèle est donc de 2 à 3 degrés plus pessimiste pour les valeurs minimales, puisqu'en trois ans la température de retour vers les sondes n'a été inférieure à 0°C que durant une dizaine de jours.

En ce qui concerne les valeurs moyennes, relevons enfin que les valeurs calculées sont plus élevées à partir de février et jusqu'en septembre.

5.5 APRES VINGT ANS

La validation du modèle EED sur les premières années d'exploitation nous autorise à extrapoler le comportement du système et à rechercher son état après vingt ans.

Trois variantes ont été considérées :

- Variante avec recharge égale au soutirage
- Variante avec recharge correspondant au 65 % de l'énergie extraite (situation actuelle)
- Variante sans recharge (100 % géothermie).

Le tableau 23 donne une synthèse des résultats obtenus, après vingt ans.

Relevons que l'équilibrage du bilan (recharge = 100 %) par l'augmentation de la surface d'absorbeurs solaires ne serait pas très coûteuse, le reste des infrastructures (conduites, pompes, régulation) restant pratiquement identique). Le gain de température calculé avec une recharge égale au soutirage par rapport à une exploitation 100 % géothermique sont, pour les mois froids :

- janvier	3.2 K
- février	4.1 K
- mars	6.5 K
- avril	7.7 K
- octobre	5.5 K
- novembre	3.8 K
- décembre	3.5 K

5.6 RECHARGE OU PAS

Dans le cas de l'immeuble Buche à Lutry on a vu que les gains de température dus à la recharge sont plutôt modestes et inférieurs à notre attente, en particulier en janvier et en décembre (tableau 22). Le bénéfice est plus important et s'accroît plus les mois sont chauds.

Le bénéfice est en revanche certain pour les valeurs de pointe parce que la température moyenne minimum ne s'abaisse jamais (après vingt ans) au-dessous de -1°C, écartant ainsi les risques d'affaissement du terrain dus au gel et des dégâts possibles au bâtiment. D'autre part lors du remplacement de la pompe à chaleur il est certain que la nouvelle machine sera plus performante et donc sollicitera davantage les sondes. A ce moment-là les limites de capacité des sondes, sans recharge auront été atteintes avec risque de congélation et d'affaissement du terrain.

La figure 5 donne la relation entre le coefficient de performance et la température moyenne des sondes.

A partir de 12 à 13°C la tendance à l'accroissement s'inverse complètement. Le fait qu'on produit de l'eau chaude en été explique certainement une partie du phénomène. Il doit toutefois y avoir une cause liée aux caractéristiques de la PAC que nous ne savons expliquer pour l'instant.

La figure 6 donne la relation COP-température des sondes pour les valeurs jusqu'à 13°C. On ne décèle pas "de vieillissement" du rendement du système PAC-sondes durant les trois années d'observation. A partir de cette relation, il est possible d'estimer les gains d'énergie obtenus par la recharge.

Il n'était pas possible, à moins de simuler l'installation avec des pas de temps horaire, de connaître exactement l'amélioration du COP en raison de la recharge. Partant de l'accroissement des températures mensuelles moyennes entraîné par la recharge et en considérant les données du tableau 23 on peut dire que le gain en COP sera de

- avec recharge à 60 % : 0.3 unité de COP
- avec recharge à 100 % : 0.5 unité de COP

Les économies d'électricité sur la PAC actuelle seraient alors de

- avec recharge à 60 % : 3'000 kWh/an (~ fr. 600.--/an)
- avec recharge à 100 % : 4'300 kWh/an (~ fr. 800.--/an)

Dans le cas de l'immeuble Buche – Lutry, on peut affirmer que la recharge des sondes en terre, en élevant la température du liquide caloporteur des sondes entraîne une économie d'énergie électrique de la PAC d'environ 10 %. Cette économie pourrait atteindre 15 % au cas où l'on équilibrerait soutirage et recharge.

6. ASPECTS ECONOMIQUES

6.1 LE COUT DE L'ELECTRICITE

On trouvera au tableau 24 une analyse du coût de l'électricité. Le prix de vente à Lutry est de 18.5 cts le jour et de 13.5 cts la nuit. La consommation en 1999-2000 pour toutes les fonctions du chauffage, PAC comprise, a été de 34'600 kWh/an, dont 88 % ont été consommé au tarif jour. **Le prix moyen hors taxe est de 17.9 cts par kWh et de 20.5 cts par kWh TTC.**

Rapporté au loyer, les charges en énergie pour le chauffage et l'eau chaude ont été de fr. 39.50 par mois.

6.2 INVESTISSEMENTS

On a vu que le bilan du bâtiment était intéressant et remarquable puisque pratiquement les trois-quarts de l'énergie consommée sont d'origine solaire ou géothermique.

Il était utile de récapituler les investissements consacrés par le maître de l'ouvrage (tableau 25). **Le bâtiment a coûté 5.8 millions de francs tout compris**, c'est-à-dire avec le terrain, les honoraires d'architecte et d'ingénieurs spécialisés, les aménagements extérieurs, etc. Il s'agit d'un bâtiment qui, bien que dit locatif, présente une qualité d'exécution que l'on ne rencontre pas toujours dans le domaine de la PPE.

Le chauffage a coûté 7.6 % de l'investissement total et les installations sanitaires le 5.1 %.

Circuit des absorbeurs et circuit des sondes en terre constituent à eux seuls le 45 % des investissements totaux pour le chauffage. La distribution de chaleur coûte un peu moins de 30 %. La pompe à chaleur représente le 10 % du coût de l'installation de chauffage. Si des efforts d'économie doivent être faits, c'est bien sur l'ensemble circuit absorbeurs – sondes en terre qu'il s'agit de porter l'effort. Une exécution en série et fréquente devrait permettre d'en abaisser le prix. La réalisation de sondes plus performantes devrait également permettre de diminuer leur longueur. Le tableau 26 donne quelques valeurs de référence spécifiques, utiles pour des comparaisons ou des estimations现实的 des coûts.

6.3 BILAN FINANCIER D'EXPLOITATION

On trouvera au tableau 27 un essai de bilan financier et une évaluation comparative de l'installation avec une installation conventionnelle au mazout EL.

Si les frais de fonctionnement (maintenance et achat d'énergie) permettent un gain annuel estimé à fr. 3'000.— par la pompe à chaleur, les annuités entraînées par les investissements rendent l'installation non compétitive au plan économique si l'on admet un prix de référence TTC de fr. 0.50 par litre pour le mazout. Celui-ci devrait être de TTC fr. 1.07 par litre pour obtenir un équilibre. Ainsi calculé, le prix de la chaleur délivrée par l'installation est 37 % plus cher que ce qu'il serait avec une installation au mazout.

L'augmentation de loyer liée aux investissements consacrés à produire de l'énergie thermique de manière efficace peut être estimée à fr. 55.— par mois et par logement.

L'installation de chauffage de l'immeuble Buche à Lutry est une installation pilote conçue il y a maintenant près de dix ans pour un maître d'ouvrage particulièrement exigeant.

Actuellement on trouverait sur le marché une pompe à chaleur dont le COP moyen serait de 0.4 unité de COP supérieure. En utilisant des absorbeurs solaires de type piscine, on pourrait renoncer à l'inox pour les absorbeurs, mais surtout pour les liaisons entre les capteurs qui pourraient être en PE. D'autre part, le prix des sondes en terre a diminué.

A partir des coûts modifiés donnés au tableau 28, on a estimé le bilan financier d'une installation simplifiée telle qu'on pourrait l'envisager aujourd'hui (tableau 29). Le prix de revient de la chaleur géothermique s'abaisse alors de 28.4 à 24.8 cts par kWh contre 20.7 pour de la chaleur produite au mazout.

L'installation serait alors compétitive avec une installation au mazout pour autant que celui-ci coûte 91 cts par litre.

Il est frappant de constater que le prix de l'électricité n'intervient alors que pour 18 % dans le prix de la chaleur de la PAC et qu'il faudrait disposer d'électricité à 2 cts par kWh pour que l'installation soit compétitive avec du mazout EL à 50 cts par litre.

C'est donc bien en réalisant une pompe à chaleur fonctionnant au mazout EL, attractive au plan financier, c'est-à-dire produite en très grande série, que l'on devrait atteindre la meilleure efficacité tant énergétique qu'économique.

7. REMERCIEMENTS

Monsieur Daniel Buche, maître de l'ouvrage, ingénieur civil de formation, a voulu et obtenu un bâtiment de haute qualité, y compris dans ses équipements énergétiques. En acceptant et en participant financièrement à cette étude, il permet que l'on situe bien les avantages technico-économiques d'un système de gestion énergétique qui trouve de plus en plus souvent d'applications.

Monsieur Christophe Menthonnex, malheureusement décédé peu après la fin du chantier, en fut l'architecte de talent. Il a accepté le caractère pilote de l'installation en marquant son intérêt.

Les entreprises, dont la liste est donnée au tableau 1, ont participé à ce projet avec intérêt.

Les collaborateurs de B. Matthey SA, Sylvain Langel, Daniel Blicklé, Catherine Dubois, Jakob Büchi, Sonia Freiburghaus, Nataliya Denchik et Marina Nuñez ont travaillé au projet ou à l'interprétation des résultats.

Monsieur Fabrice Rognon de l'Office fédéral de l'énergie a su défendre le projet de mesures devant une commission d'experts plutôt réticente et sûre d'elle. Il a aussi accepté avec patience le long délai avant la remise du rapport.

Que toutes les personnes mentionnées ici soient remerciées. Le chemin vers un monde durable et consommant peu d'énergie est long et exige de régler de nombreux détails. Merci à elles d'y contribuer ainsi modestement.

*Montezillon – Lutry
janvier 2002*

B. Matthey

BIBLIOGRAPHIE

Bennet J. et al. 1987. Multipole method to compute the conductive heat flours to and between pipes in a composite cylinder, notes on heat transfer. 3-1987. Dept. of Building technology and mathematical physics, University of Lund.

Hellström G., Sanner B. Software for dimensioning of deep boreholes for heat extraction, in : Proceedings of the Calostock'94, Espoo, Finland, 1994, pp. 195-200.

Hellström G., Eskilson P. 1995. Earth Energy Designer, Preliminary version. Dept. of Mathematical Physics, University of Lund.

Matthey B., Pahud D. 1995. Recherche des paramètres permettant d'élever la température moyenne circulant dans les sondes en terre. 2^{ème} rapport intermédiaire, travaux effectués en 1995, mesure et test in situ.

Matthey B., Pahud D., Büchi J. in : W. Bussman (Ed.), Améliorer la productivité des sondes en terre: calculs et mesures in situ. Geothermie Energie der Zukunft Tagungsband 4, Konstanz, Deutschland, 1996.

Matthey B., Freiburghaus S., Langel S. 1999. Stockage de chaleur solaire par sondes verticales et couplage à une pompe à chaleur. Géothermie CH, Bulletin de la Société suisse pour la géothermie (SSG). N° 24, 9^{ème} année, juin 1999, pp. 9-12.

Pahud D., Matthey B. 2001. Comparison of the thermal performance of double U-pipe borehole heat exchangers measured in situ. Energy and Buildings 33. Elsevier, 2001, pp. 503-507.

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

TABLEAUX

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 1 Principaux intervenants et fournisseurs des installations techniques.

• Maître de l'ouvrage	Daniel Buche, 1095 Lutry
• Architectes	Carnal & Menthonnex SA, 1005 Lausanne
• Ingénieurs CVSE	Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils SA, 2205 Montezillon
• Installation chauffage	Knapps & Baumann, 1000 Lausanne
• Installations sanitaires	Cofal, 1003 Lausanne
• Sondes en terre	Grundag SA, 9202 Gossau
• Régulation	Elfero SA, 1588 Cudrefin
• Pompe à chaleur	Mani & Fink SA, 4573 Lohn
• Absorbeurs solaires non vitrés	Energie solaire SA, 3960 Sierre
• Capteurs solaires non vitrés	Agena SA, 1510 Moudon

OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION BATIMENT LOCATIF A LUTRY

Tableau 2 Caractéristiques thermiques du bâtiment.

• Surface de référence énergétique SRE	1'866 m ²
• Surface de l'enveloppe extérieure	2'380 m ²
• Volume du bâtiment	5'390 m ³
• Rapport surface enveloppe/volume	0.44
• Rapport surface enveloppe/SRE	1.28
• Nombre d'étages habitables	3
• Nombre de logements	12
• Nombre de bureaux (~ 110 m ² par bureau)	3
• Coefficient U des vitrages	1.3 W/m ² K
• Coefficient U des fenêtres	1.5 W/m ² K
• Coefficient U des murs extérieurs	0.30 W/m ² K
• Coefficient U contre sol et garage	0.24 W/m ² K
• Coefficient de déperdition moyen de l'enveloppe du bâtiment	0.44 W/m ² K
• Calorimétrie (déperditions par l'enveloppe)	1'047 W/K
• Puissance totale des déperditions par l'enveloppe (-7°C)	28.2 kW
• Puissance thermique spécifique rapportée au volume	6.9 W/m ³
• Puissance thermique spécifique rapportée à la surface SRE	20.0 W/m ²
• Calorimétrie du bâtiment	37.3 kW
• Ventilation du bâtiment	
- Reprise	aspiration mécanique WC et cuisines
- Air frais	grille réglable dans les cadres des fenêtres
• Degrés-jours moyens à Lausanne	3'375 DJ/an
• Consommation prévue d'énergie thermique lors de la planification du bâtiment Q_{th}	110'000 kWh/an
• Indice de dépense d'énergie thermique prévu lors de la planification E_{th}	62 MJ/m ² an
• Prix du bâtiment, y compris terrain, CFC 1 à 4	5.8 millions de francs
• Année de construction	1993

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 3 Données techniques générales sur l'installation de chauffage et de production d'eau chaude.

◆ Production de chaleur	
- Pompe à chaleur, puissance (y compris désurchauffeur) (0/45°C)	49 kW
- Puissance à l'évaporateur	34 kW
- Coefficient de performance (0/45°C)	3.3
- Puissance de chauffe	37.3 kW
◆ Installation solaire	
Capteurs solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (avec vitrage)	
- Surface	30 m ²
- Nombre de capteurs	15
- Modèle	Agena-Azur
- Inclinaison	60 degrés
- Orientation	S30°W
Absorbeurs solaires sans vitrage pour la recharge des sondes en terre	
- Surface	80 m ²
- Nombre d'éléments	40
- Modèle	Energie solaire SA
- Inclinaison	10 degrés
- Orientation	S30°W
◆ Sondes en terre	
- Nombre de sondes	7
- Profondeur	110 m
- Longueur totale	770 m
- Type	double U, PE
- Diamètre	32 mm
- Distance moyenne entre sondes	14.5 m
- Emplacement	sous le bâtiment
◆ Production d'eau chaude	
- Volume du boiler 1	1'500 l
- Volume du boiler 2	2'000 l
- Recharge par PAC (boiler 1)	45 kW
- Recharge par désurchauffeur (boiler 1)	4.5 kW
- Corps de chauffe électrique (secours) (boiler 1)	12 kW
- Recharge par solaire thermique (boilers 1 + 2)	~ 18 kW
◆ Distribution de chaleur	
- Type	plancher chauffant
- Surface chauffage-sol	1'440 m ²
- Températures de dimensionnement (-7°C)	43/33°C
- Puissance de chauffe (calorimétrie)	37.3 kW
- Part solaire direct dans la production d'eau chaude	52 %

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 4 Caractéristiques nominales de la pompe à chaleur.

◆ Puissances		
- Fournisseur		Mani-Fink
- Marque		Soltherm
- Modèle		06 64 21
- Puissance thermique	- 0/35°C	56.9 kW
	- 0/45°C	49.5 kW
	- 0/55°C	43.2 kW
- Puissance électrique (0/45°C)		15 kW
- Puissance frigorifique	- 0/35°C	42.3 kW
	- 0/45°C	34.5 kW
	- 0/55°C	27.2 kW
◆ Evaporateur		
- Débit en exploitation géothermique		6.5 m ³ /h
- Débit en exploitation géothermique et solaire		8.2 m ³ /h
- Perte de charge évaporateur (6.5 m ³ /h)		12 kPa
- Surface de l'évaporateur		7.1 m ²
- Différentiel de température (6.5 m ³ /h)		4.5 K
◆ Condenseur		
- Débit		4.3 m ³ /h
- Perte de charge		28 kPa
- Température maximum		47°C
- Surface		10.2 m ²
- Différentiel de température (sans désurchauffe)		10 K
- Température à la sortie condenseur en production d'eau chaude		50°C
◆ Désurchauffeur		
- Débit d'eau sanitaire		0.26 m ³ /h
- Perte de charge		10 kPa
- Surface		3.15 m ²
- Différentiel de température (45/60°C)		15 K
- Puissance		4.5 kW
◆ Divers		
- Fluide frigorifique		R22
- Bruit		64 dB
- Compresseur		Bristol
- Marque		à piston, hermétique
- Type		
- Prix (1992)		fr. 35'000.--

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 5 Caractéristiques des sondes en terre.

• Nombre de sondes	7
• Longueur totale des sondes	770 m
• Profondeur des sondes	110 m
• Emplacement	sous le bâtiment
• Distance moyenne entre les sondes	14.5 m
• Disposition	en U
• Terrains traversés	alluvions / moraine / molasse
• Niveau saturé	- 3 m sous la surface
• Altitude du terrain	375 m
• Diamètre de forage	130 mm
• Entreprise	Grundag
• Date des forages	février 1993
• Type de sonde	double U
• Diamètre des tubes	DN 32 mm
• Epaisseur	3 mm
• Remplissage annulaire	bentonite + ciment
• Débit circulant dans les sondes	
- en recharge solaire	3.2 m ³ /h
- en circulation sur évaporateur	6.5 m ³ /h
• Vitesse du fluide dans un tube	
- en recharge solaire	0.08 m/s
- sur évaporateur	0.16 m/s
• Nombre de Reynolds	
- en recharge solaire	1200
- en circulation sur évaporateur	2500
• Remplissage	éthylène glycol + eau pour -20°C
• Contenance du circuit sondes en terre – évaporateur	2'700 l
• Puissance thermique unitaire	
- en recharge solaire	61.7 kW (80.2 W/m)
- sur l'évaporateur	42.3 kW (55 W/m)
	34.5 kW (45 W/m)
	27.2 kW (35 W/m)
• Energie annuelle soutirée du terrain	
- valeur de dimensionnement	80'000 kWh/an soit 103 kWh/m an
- valeur mesurée (moyenne sur 3 ans)	101'240 kWh/an soit 131 kWh/m an ¹⁾
• Conductivité thermique moyenne estimée des terrains traversés	2.5 W/mK
• Chaleur volumique moyenne estimée des terrains traversés	2.2 MJ/m ³ K

¹⁾ Sous réserve de la part de la fourniture (non comptabilisée) des absorbeurs vers le condenseur, sans passer par le stock.

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 6 Installations solaires.

◆ **Production d'eau chaude sanitaire**

Nombre de capteurs	15
Type	Agena-Azur
Dimensions	2360 x 860 mm
Vitrages	monovitrage
Surface totale effective	30 m ²
Inclinaison	60 degrés
Orientation	S 30° W
Remplissage	éthylène-glycol -30°C
Contenance de l'installation (capteurs)	60 l
Charge des boilers	par échangeur à plaques externe
Débit du circuit solaire	1'350 l/h soit 45 l/m ²
Raccordement	en série, par groupe de 5
Distance entre les rangées de capteurs	4.8 m
Production attendue	14'400 kWh/an soit 480 kWh/m ² an
Production mesurée	
- max (1998)	21'000 kWh/an soit 700 kWh/m ² an
- min (1996)	17'950 kWh/an soit 598 kWh/m ² an
Part de la production d'eau chaude	
- attendue	50 %
- mesurée	52 %

◆ **Absorbeurs solaires pour recharge des sondes en terre**

Nombre d'éléments	40
Type	Energie solaire SA
Composition	inox gaufré
Surface sélective	chrome noir
Surface sélective des absorbeurs	77.2 m ²
Surface par absorbeur	1.93 m ²
Inclinaison	10 degrés
Orientation	S 30° W
Remplissage (absorbeurs seuls)	éthylène glycol -30°C
Contenance de l'installation	160 l
Liaisons absorbeurs - sondes	inox V4A
Débit circuit solaire	3.2 m ³ /h soit 40 l/h m ²

J.

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 6 Installations solaires.
(suite)

♦ **Absorbeurs solaires pour recharge des sondes en terre (suite)**

Débit circuit solaire	3.2 m ³ /h soit 40 l/h m ²
Différentiel de température maximum entre entrée et sortie des capteurs	
– dimensionné	18 K
– mesuré	22 K
Température maximum des absorbeurs	
– dimensionné	33°C
– mesuré	42°C
Puissance thermique maximum de l'installation	
– dimensionné	68 kW soit 850 W/m ²
– mesuré	82 kW soit 1'060 W/m ²
Energie produite annuellement pour la recharge des sondes ¹⁾	
– maximum (1998)	47'400 kWh soit 614 kWh/m ² an
– minimum (1996)	44'900 kWh soit 582 kWh/m ² an

¹⁾ Part en production directe sur l'évaporateur de la PAC non comptabilisée.

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 7 Liste des points de mesure et nature de la mesure.

point de mesure	désignation	moyen de mesure	grandeur mesurée
Q1	Energie évaporateur PAC	compteur de chaleur	kWh
Q2	Energie condenseur PAC	compteur de chaleur	kWh
Q3	Energie désurchauffeur PAC	compteur de chaleur	kWh
Q4	Energie absorbeurs-PAC	compteur de chaleur	kWh
Q5	Energie absorbeurs-sondes	compteur de chaleur	kWh
Q6	Energie panneaux solaires ECS	compteur de chaleur	kWh
Q7	Energie absorbée PAC (électricité)	compteur électrique	kWh

1.2 Mesure de température

point de mesure	désignation	moyen de mesure	grandeur mesurée
T1	Température entrée sondes	PT100	°C
T2	Température sortie sondes	PT100	°C
T3	Température entrée évaporateur	PT100	°C
T4	Température sortie absorbeurs	PT100	°C

1.3 Mesures d'heures de fonctionnement

point de mesure	désignation	moyen de mesure	grandeur mesurée
H1	Pompe évaporateur	contacte de relais	h
H2	Pompe condenseur	contacte de relais	h
H3	Pompe désurchauffeur	contacte de relais	h
H4	Pompe absorbeurs	contacte de relais	h
H5	Compresseur PAC petite vitesse	contacte de relais	h
H6	Compresseur PAC grande vitesse	contacte de relais	h
H7	Pompe charge accu. ECS	contacte de relais	h
H8	Barreau électr. accu. ECS	contacte de relais	h
H9	Barreau électr. accu. ECS	contacte de relais	h
H10	Pompe charge accu. solaire	contacte de relais	h
H11	Pompe primaire circuit solaire	contacte de relais	h

OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY

Tableau 8

Température de référence et bilans mensuels des principaux producteurs et consommateurs de chaleur obtenus par le relevés des compteurs pour l'année 1996.

	SONDES								POMPE A CHALEUR						ABSORBEURS			PRODUCTION ECS			
	Températures				Recharge				COP			Energies			Energies			Energies			
	t1 entrée sondes [°C]	t2 sortie sondes [°C]	t3 entrée évapor. [°C]	t4 sortie absor- beurs [°C]	t1 entrée sondes [°C]	t2 sortie sondes [°C]	Q1 évapo- rateur mesuré [kWh]	Q1' évapo- rateur calculé [kWh]	Q2 com- pres- seur [kWh]	Q3 désur- chauf- feur [kWh]	Q7 com- pres- seur [kWh]	H1,2,3,7 circula- teurs [kWh]	prod. chauf- feur [kWh]	Q5 rechar- ge sondes [-]	H4 circula- teurs [kWh]	Q6 cap- teurs solaires [kWh]	Q3 désur- chauf- feur [kWh]	Q2 conden- seur PAC [kWh]	H8,9 bar- reaux électr. [kWh]	H10,11 circula- teurs [kWh]	
JANVIER	2.9	6.3	6.4	0.0	11.0	7.6	11'240	12'129	15'609	2'083	5'563	429.8	3.18	2.95	67	0.7	337	2'083	1'285	0	9.9
FEVRIER	2.4	5.8	5.9	0.0	14.9	9.1	7'255	11'713	15'291	1'987	5'565	396.6	3.10	2.90	477	5.2	806	1'987	620	14	19.7
MARS	5.6	8.2	8.3	0.0	18.7	11.7	8'901	9'135	11'726	1'348	3'939	353.8	3.32	3.05	2'786	29.0	1'860	1'348	173	0	38.6
AVRIL	8.8	11.0	11.2	0.0	25.4	16.0	3'708	3'787	4'852	438	1'503	167.3	3.52	3.17	5'100	48.2	1'791	438	2'456	47	37.8
MAI	9.8	11.9	11.9	0.0	28.1	18.0	2'696	2'830	3'327	451	948	114.3	3.99	3.56	6'671	57.6	2'081	451	453	39	45.9
JUIN	13.5	16.1	16.1	0.0	33.5	21.7	203	210	249	39	78	17.4	3.69	3.02	8'248	67.4	2'255	39	80	0	46.1
JUILLET	11.6	14.0	14.1	0.0	33.3	21.9	464	486	567	89	170	22.7	3.86	3.40	8'554	71.1	2'130	89	162	0	43.0
AOUT	19.2	17.8	19.5	0.0	31.8	21.4	77	80	90	24	34	3.2	3.35	3.07	6'261	54.6	2'128	24	90	0	42.8
SEPTEMBRE	11.1	14.1	14.1	0.0	26.8	18.3	2'869	2'976	3'617	331	972	145.4	4.06	3.53	4'011	42.5	2'059	331	262	155	39.3
OCTOBRE	9.2	12.1	12.1	0.0	21.3	15.2	5'410	6'774	8'06	1'907	268.5	3.97	3.48	2'060	27.5	1'533	806	542	148	31.1	
NOVEMBRE	5.3	8.6	8.6	0.0	17.6	13.1	8'882	9'609	12'077	1'599	4'067	357.4	3.36	3.09	466	6.6	625	1'599	836	145	13.0
DECEMBRE	2.8	6.4	6.5	0.0	12.0	9.1	9'400	11'867	15'185	2'045	5'363	410.7	3.21	2.98	175	2.8	347	2'045	1'260	101	8.9
TOTAL/Moyenne	8.5	11.0	11.2	0.0	22.9	15.3	61'103	70'495	89'364	11'240	30'109	2'687	3.34	3.07	44'875	413	17'951	11'240	8'219	650	376

Notes Production d'énergie des absorbeurs en direct sur le condenseur (Q4) non disponible

Q1' = Q2 + Q3 - Q7

OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY

Tableau 9

Température de référence et bilans mensuels des principaux producteurs et consommateurs de chaleur obtenus par le relevés des compteurs pour l'année 1997.

	SONDES						POMPE A CHALEUR						ABSORBEURS			PRODUCTION ECS					
	Températures			Recharge			Energies			COP			Energies			Energies					
	t1 entrée sondes [°C]	t2 sortie sondes [°C]	t3 entrée évapor. sondes [°C]	t4 sortie absor- beurs sondes [°C]	t1 entrée sondes [°C]	t2 sortie sondes [°C]	Q1 évapo- rateur mesuré [kWh]	Q1' évapo- rateur calculé [kWh]	Q2 conden- seur [kWh]	Q3 désur- chauf- feur [kWh]	Q4 compre- seur [kWh]	Q5 rechar- ge sondes [kWh]	H1 2,3,7 circula- teurs [kWh]	H4 circula- teurs [kWh]	Q6 cap- solaire [kWh]	Q7 conden- seur PAC [-]	Q3 désur- chauf- feur [kWh]	Q2 conden- seur PAC [kWh]	H8,9 bar- reaux électr. [kWh]	H10,11 circula- teurs [kWh]	
JANVIER	1.8	5.6	5.6	0.0	4.7	5.8	5'181.3	1'3710.0	17'726.0	2'409.0	6'425.0	446.3	3.13	2.93	15	0.2	284	2'409	19'42	12	9.2
FEVRIER	3.4	6.8	6.8	0.0	15.4	9.7	7'390.8	9'941.0	12'466.0	1'681.0	4'206.0	356.4	3.36	3.10	1'050	12	1'270	1'681	725	29	32.7
MARS	6.7	9.4	9.4	0.0	19.5	12.4	2'424.6	8'026.0	9'813.0	1'304.0	3'091.0	321.2	3.60	3.26	3'623	36.7	2'154	1'304	450	15	51.7
AVRIL	7.9	10.8	10.8	0.0	25.0	15.4	2'806.2	5'730.0	7'497.0	455.0	2'222.0	252.8	3.58	3.21	4'679	43.1	2'300	455	299	48	55.8
MAI	9.6	11.4	11.4	0.0	28.4	17.6	2'394.9	2'642.0	3'140.0	451.0	949.0	98.3	3.78	3.43	7'403	60.6	2'451	451	406	0	60.7
JUIN	13.1	14.3	14.5	0.0	22.3	14.4	1'070.1	1'108.0	1'307.0	228.0	427.0	97.3	3.59	2.93	5'765	68.0	1'926	228	571	384	71.3
JUILLET	12.4	14.1	14.2	0.0	31.6	20.3	802.8	835.0	979.0	167.0	311.0	34.2	3.68	3.32	7'698	61.1	2'330	167	409	0	58.5
AOUT	16.9	17.8	18.2	0.0	34.1	22.4	126.9	132.0	151.0	36.0	55.0	9.6	3.40	2.89	8'330	67.5	2'399	36	148	0	58.2
SEPTEMBRE	15.2	17.1	17.2	0.0	31.1	20.9	85.5	87.0	105.0	20.0	38.0	9.1	3.29	2.65	5'268	49.0	2'723	20	76	0	61.5
OCTOBRE	7.1	10.3	10.3	0.0	26.3	17.9	6'219.9	6'483.0	7'951.0	1'074.0	2'542.0	232.6	3.55	3.25	1'839	18.7	1'461	1'074	595	0	36.6
NOVEMBRE	5.3	8.6	8.6	0.0	13.7	10.6	9'654.3	10'037.0	12'342.0	1'752.0	4'057.0	388.2	3.47	3.17	262	2.6	900	1'752	11'50	21	24.6
DECEMBRE	2.6	6.3	6.4	0.0	0.0	0.0	9'800.0	12'314.0	15'538.0	2'257.0	5'481.0	426.8	3.25	3.01	175	2.0	696	2'257	1'734	134	19.8
TOTAL/Moyenne	8.5	11.0	11.1	0.0	21.0	14.0	4'795.7	7'1045.0	8'9015	11'834	29'804	2'673	3.38	3.11	46'106	422	20'894	11'834	8505	641	54.1

Notes Production d'énergie des absorbeurs en direct sur le condenseur (Q4) non disponible.

En italiques, valeurs non disponibles, extrapolées à partir des degrés-jours et des valeurs de l'année 1996.

Q1' = Q2 + Q3 - Q7

Tableau 10

Température de référence et bilans mensuels des principaux producteurs et consommateurs de chaleur obtenus par le relevés des compteurs pour l'année 1998.

	SONDES								POMPE A CHALEUR								ABSORBEURS				PRODUCTION ECS			
	Températures				Recharge				Energies				COP				Energies				Energies			
	t1 [°C]	t2 [°C]	t3 [°C]	t4 [°C]	t1 entrée sondes [°C]	t4 sortie absor- beurs [°C]	t1 entrée sondes [°C]	t2 sortie sondes [°C]	Q1 évapo- rateur mesuré [kWh]	Q1' évapo- rateur calculé [kWh]	Q2 conden- seur [kWh]	Q3 désur- chauf- feur [kWh]	Q7 compre- seur [kWh]	H1,2,3,7 circula- teurs [kWh]	PAC seuil [-]	prod. cha- leur [-]	Q5 rechar- ge sondes [kWh]	H4 circula- teurs [kWh]	Q6 cap- teurs solaires [kWh]	H8,9 bar- reaux électr. [kWh]	H10,11 circula- teurs [kWh]			
JANVIER	2.5	6.3	6.3	0.0	11.5	8.3	5548.2	12642.0	16218.0	2174.0	5750.0	429.9	3.20	2.98	4.1	0.4	939	2'174	0	0	25.1			
FÉVRIER	3.5	6.9	7.0	0.0	17.0	10.5	5'104.2	9761.0	12'410.0	1'484.0	4'133.0	342.0	3.36	3.10	1'494	18	1'799	1'484	168	0	44.0			
MARS	4.1	7.4	7.5	0.0	18.9	11.7	5'947.2	9833.0	12'438.0	1'458.0	4'063.0	359.3	3.42	3.14	2'281	23	2'111	1'458	449	0	48.7			
AVRIL	6.1	9.0	9.1	0.0	23.8	14.5	4'649.4	7305.0	8'874.0	1'241.0	2'810.0	261.1	3.60	3.29	3'992	37	1'755	1'241	705	44	44.0			
MAI	10.9	12.4	12.6	0.0	30.5	19.7	693.0	1'082.0	1'271.0	184.0	3'730	45.9	3.90	3.47	8'516	76.5	2'854	184	0	0	67.4			
JUIN	14.8	15.4	15.6	0.0	31.8	21.1	350.4	538.0	632.0	124.0	218.0	36.0	3.47	2.98	8'522	76.0	2'414	124	0	34	59.9			
JUILLET	20.7	18.9	19.7	0.0	33.6	22.7	48.0	72.0	84.0	22.0	34.0	9.0	3.12	2.47	9'600	84.4	2'511	22	83	61	61.5			
AOUT	18.2	17.2	17.7	0.0	33.2	22.6	119.4	187.0	213.0	53.0	79.0	7.2	3.37	3.08	7'650	69.6	2'515	53	213	0	58.0			
SEPTEMBRE	13.2	15.3	15.5	0.0	27.7	19.7	535.8	823.0	985.0	168.0	330.0	34.0	3.49	3.17	3'280	36.2	1'752	168	561	89	43.8			
OCTOBRE	8.0	11.1	11.2	0.0	21.5	15.6	4'419.6	6'908.0	8'209.0	1'198.0	2'499.0	288.3	3.76	3.37	1'627	22.1	1'286	1'198	850	155	33.6			
NOVEMBRE	4.2	7.7	7.8	0.0	16.4	12.0	7'048.8	11'106.0	13'813.0	1980.0	4'687.0	401.4	3.37	3.10	371	4.9	1'095	1'980	981	40	28.4			
DECEMBRE	2.6	6.4	6.5	0.0	12.0	9.1	9'800.0	11'740.0	15'000.0	2040.0	5'300.0	420.0	3.25	3.00	100	2.0	500	2'000	1'700	100	15.0			
TOTAL/Moyenne	9.1	11.2	11.4	0.0	23.2	15.6	44'264	71'997.0	90'147	12'126	30'276	2'634	3.38	3.11	47'472	450	2'1531	12'086	5'110	524	529			

Notes Production d'énergie des absorbeurs en direct sur le condenseur (Q4) non disponible.

En italiques, valeurs non disponibles, extrapolées à partir des degrés-jours et des valeurs de l'année 1996.

Q1' = Q2 + Q3 - Q7

OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY

Tableau 11

Température de référence et bilans mensuels des principaux producteurs et consommateurs de chaleur obtenus par le relevés des compteurs pour l'année 2000.

	SONDES								POMPE A CHALEUR						ABSORBEURS			PRODUCTION ECS							
	Températures				Recharge				Energies			COP			Energies			Energies							
	t1 [°C]	t2 [°C]	t3 [°C]	t4 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	Q1 évapo- rateur mesuré [kWh]	Q1' évapo- rateur calculé [kWh]	Q2 conden- seur [kWh]	Q3 conden- seur [kWh]	Q7 compres- seur [kWh]	H1.2,3,7 circula- teurs [kWh]	PAC seuil [kWh]	prod. cha- leur [-]	Q5 rechar- ge sondes [kWh]	H4 circula- teurs [kWh]	Q6 cap- teurs solaires [kWh]	Q2 conden- seur PAC [kWh]	H8,9 bar- reaux électr. [kWh]	H10,11 circula- teurs [kWh]					
JANVIER	2.1	5.8	6.0	0.0	0.0	13.5	7.9	4'410.6	7'400.0	6'063.0	11'738.0	14'706.0	2'352.0	5'320.0	404.1	3.21	2.98	0	0.0	904	2'352	0	100		
FEVRIER	2.3	5.8	6.0	0.0	0.0	12.0	7.6	4'596.6	7'090.0	9'185.0	14'53.0	3'238.0	264.1	3'298.0	3'04	145	3.29	3.04	610	1'453	2	0			
MARS	4.7	7.9	8.0	0.0	0.0	24.1	15.3	3'853.8	5'996.0	8'867.0	10'22.0	2799.0	362.0	3'53	3.13	2'061	60.5	1'443	1'022	60	1'296	67.1			
AVRIL	5.6	8.7	8.8	0.0	0.0	30.7	20.4	61.8	96.0	109.0	22.0	961.0	2'260.0	235.4	3.65	3.31	5'084	46.7	2'019	961	47	0	43.7		
MAI	15.4	15.9	16.9	0.0	0.0	32.4	21.7	12.6	21.0	22.0	8.0	35.0	35.0	37.7	3.74	1.80	6'932	81.8	2'147	22	82	654	64.2		
JUIN	14.9	16.6	17.2	0.0	0.0	30.1	20.7	738.0	1'165.0	1'354.0	245.0	434.0	46.0	23.0	9.0	0.8	3.33	3.05	7'877	74.0	2'263	8	74	0	54.7
JUILLET	10.8	13.4	13.4	0.0	0.0	32.0	22.2	26.4	40.0	46.0	12.0	18.0	46.0	46.0	18.0	3.22	1.41	7'539	81.6	2'059	12	82	336	55.2	
AOÛT	14.9	17.0	17.5	0.0	0.0																				
DECEMBRE																									
TOTAL/Moyenne																									

Février-mars 2000, mois incomplets !

Notes Production d'énergie des absorbeurs en direct sur le condenseur (Q4) non disponible.
En italiques, valeurs non disponibles, extrapolées à partir des degrés-jours et de l'année 1996.
 $Q1' = Q2 + Q3 - Q7$

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 12 Bilans énergétiques annuels de l'installation de production de chaleur pour le chauffage.

	1996	1997	1998	Moyenne 3 ans	
	[kWh/an]	[kWh/an]	[kWh/an]	[kWh/an]	[%]
Chaleur consommée par l'évaporateur - relevée - corrigée	61'103 70'495	47'957 71'045	44'264 71'997	51'108 71'197	70.3
Chaleur délivrée par le condenseur	89'364	89'015	90'147	89'508	88.4
Chaleur délivrée par le désurchauffeur (ECS)	11'240	11'834	12'126	11'733	11.6
Chaleur délivrée par la PAC (condenseur + désurchauffeur)	100'604	100'849	102'273	101'242	100
Electricité pour la PAC	30'109	29'804	30'276	30'063	29.7
Electricité pour les équipements annexes (circulateurs)	2'687	2'673	2'634	2'664	2.6
Coefficient de performance de la PAC [s.d.]	3.34	3.38	3.38	3.37	
Coefficient de performance de la PAC, en incluant les équipements annexes [s.d.]	3.07	3.11	3.11	3.10	

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 13 Bilans énergétiques annuels pour la production d'eau chaude sanitaire.

	1996	1997	1998	Moyenne 3 ans
	[kWh/an]	[kWh/an]	[kWh/an]	[kWh/an]
Chaleur produite par les capteurs solaires	17'951	20'894	21'031	19'960
Chaleur produite par le désurchauffeur	11'240	11'834	10'086	11'053
Chaleur produite par le condenseur de la PAC	8'219	8'505	5'110	7'278
Chaleur produite par le barreau électrique	650	641	524	605
TOTAL pour eau chaude	38'060	41'874	36'751	38'895
Electricité consommée par la PAC pour le désurchauffeur et le condenseur pour l'eau chaude	5'826	6'017	4'495	5'446

Part de l'énergie solaire directe en %	52.8 %	49.8 %	57.2 %	51.3 %
Part de l'énergie solaire indirecte (sondes géothermiques et absorbeurs) en %	35.8 %	34.2 %	29.1 %	33.1 %
Part de l'électricité pour la production d'eau chaude	11.4 %	16.0 %	13.7 %	13.7 %
Consommation d'eau chaude en l/j	2'241 l/j	2'466 l/j	2'164 l/j	2'290 l/j
Indice énergétique pour la consommation d'eau chaude E_{ec}				
- Brut (chaleur PAC + solaire)	73.5 MJ/m ² an	80.8 MJ/m ² an	71.0 MJ/m ² an	75.1 MJ/m ² an
- Net (électricité)	8.4 MJ/m ² an	12.9 MJ/m ² an	9.7 MJ/m ² an	11.7 MJ/m ² an

Note Surface de référence énergétique SRE = 1'866 m²

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 14 Bilan énergétique général annuel du bâtiment et indices de référence énergétiques.

	1996	1997	1998	Moyenne 3 ans
	[MJ/m ² an]	[MJ/m ² an]	[MJ/m ² anv]	[MJ/m ² an]
Consommation de chaleur pour le chauffage Q_{ch}	172	172	174	173
Consommation de chaleur pour l'eau chaude Q_{ec}	73	81	71	75
Consommation totale de chaleur Q_{th}	245	253	245	248
Indice énergétique pour le chauffage E_{ch}	50	44	48	47
Indice énergétique pour l'eau chaude E_{ec}	8	13	10	10
Indice énergétique chaleur E_{th}	58	57	58	58
Part de l'énergie renouvelable pour la couverture des besoins en chaleur du bâtiment - Pour le chauffage - Pour l'eau chaude - Pour le total	71 % 89 % 76 %	74 % 84 % 77 %	72 % 86 % 76 %	72 % 86 % 77 %
Indice énergétique E_{th} du bâtiment si l'on se réfère au standard Minergie	116 MJ/m ² an	114 MJ/m ² an	116 MJ/m ² an	115 MJ/m ² an

Notes

Surface de référence énergétique considérée SRE = 1'866 m²

Valeur limite de l'indice pour obtenir le label Minergie $E_{th} \leq 150$ MJ/m²an

Dans les bâtiments Minergie chauffés par une pompe à chaleur, la consommation d'énergie électrique pour le chauffage et la ventilation est comptée double.

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 15 Descriptif géologique des terrains traversés par les sondes en terre et situation.

Profondeur	Nature du terrain	Géologie
0 à - 6 m	Limons sableux	Colluvions
-6 à -15 m	Marnes et grès fins	Molasse dissociée Glissement de Converney - Taillepied
-15 à -35 m	Graviers sableux limoneux	Moraine rhodanienne
-35 à -110 m	Grès fins et marnes bariolées	Molasse rouge Chattien inférieur

Niveau saturé ~ -3 m

Altitude 375 m

Coordonnées 541.900/150.220

Relevés : Marc Weidmann – Géologue – Jongny

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 16 Données considérées dans la simulation par le modèle EED.

• Conductivité du terrain	2.5 W/mK
• Chaleur spécifique du terrain	$2.2 * 10^6$ J/m ³ K
• Température naturelle à la surface	11°C
• Flux géothermique	0.07 W/m ²
• Configuration des forages	en U
• Profondeur des forages	110 m
• Distance moyenne entre forages	14.5 m
• Type de sonde	double U
• Diamètre du forage	130 mm
• Diamètre du tube	32 mm
• Epaisseur du tube	3 mm
• Conductivité du tube	0.42 W/mK
• Espace entre les tubes	86 mm
• Conductivité de la bentonite	1.5 W/mK
• Résistance tube – remplissage	0.0
• Conductivité thermique du fluide	0.45 W/mK
• Capacité thermique du fluide	3'725 J/kgK
• Densité du fluide	1'042 kg/m ³
• Viscosité du fluide	$9.9 * 10^{-3}$ kg/ms
• Point de congélation	-17°C
• Débit par forage	$0.26 * 10^{-3}$ m ³ /s

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 17 Descriptif et récapitulatif des coûts des équipements de mesures.

Description	Entreprise	Montant
Compteurs de chaleurs		
Débitmètres	Knapps & Baumann	6'020.00
Calculateurs	"	5'550.00
Mise en service	K & B et Aquametro	740.00
Isolation des débitmètres	Entreprise spécialisée	1'700.00
Doigts de gants pour sondes de température	Knapps & Baumann	320.00
Main d'œuvre (inst. compteur, vid./rempl. des circuits)	"	3'190.00
Sous-total		17'520.00
Rabais		700.00
Escompte		320.00
TVA		1'072.00
TOTAL KNAPPS & BAUMANN		17'572.50
Câbles électriques		
Tableau électrique – système d'acquisition	Caudrelec SA	1'620.10
Compteur de chaleur – système d'acquisition	"	641.10
Sondes PT 100 – système d'acquisition	"	592.10
Alimentation 220 V compteurs de chaleur	"	122.05
Débitmètres et sondes de température – compteur de chal.	"	723.20
Alimentation 220 V système d'acquisition	"	580.25
Ligne téléphonique MODEM système d'acquisition	"	640.90
Sous-total		4'919.70
Rabais		491.95
Escompte		
TVA		287.80
TOTAL CAUDRELEC SA		4'715.55
Modification dans tableau électrique		
Fourniture et pose du compteur d'électricité	RTE SA	668.00
Câblage des contacts pour compteurs d'heures	"	531.00
Sous-total		1'199.00
Rabais		146.00
Escompte		21.00
TVA		67.00
TOTAL RTE SA		1'099.00
Raccordement et mise en service du système d'acquisition		
Branchement des câbles au système d'acquisition	B.Matthey Ing.-Conseils SA	500.00
Configuration du système d'acquisition (1)	"	1'000.00
Mise en service et mise au point du transfert des données par Modem (1)	"	500.00
Déplacements		120.00
TVA		138.00
TOTAL B. MATTHEY SA		2'258.00
COUT TOTAL DU SYSTEME DE MESURE		25'645.05

(1) Le système d'acquisition et le modem sont récupérés sur l'installation de la salle polyvalente de Cortaillod

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 17 Descriptif et récapitulatif des coûts des équipements de mesures.
(suite)

3. Coût du relevé, de l'interprétation et du transfert des résultats des mesures

Description	Entreprise	Montant
Relevé		
Transfert des données par modem et mise en forme Excel Contrôle sur place du système d'acquisition	B.Matthey Ing.-Conseils SA "	2'760.00 2'240.00
Interprétation		
Dépouillement et mise en forme (graphiques) des résultats Analyse et interprétation des résultats	B.Matthey Ing.-Conseils SA "	9'200.00 6'440.00
Transfert		
Rapports intermédiaires (une fois par année de mesure) Rapport final Publication dans les revues spécialisées	B.Matthey Ing.-Conseils SA " "	7'620.00 2'660.00 1'850.00
Sous-total		32'770.00
TVA		2'130.00
TOTAL RELEVE, INTERPRETATION DES RESULTATS ET TRANSFERT DES RESULTATS		34'900.00

4. Récapitulation

4.1 Coûts		
Coûts appareils de mesure		25'645.05
Coûts relavée, interprétation et transfert des résultats		34'900.00
Coûts totaux des mesures		60'545.05
4.1 Subventions		
Subventions P+D (2)		62'000.00
Subventions spéciales pour analyse des résultats (~50% des coûts d'analyse)		17'450.00
Total subventions		79'450.00

(2) Ce montant correspond à 27% de l'investissement non amortissable, estimé par la Confédération à Fr.228'673.- (y compris les appareils de mesure, Fr.25'000.-)

Tableau 18 Températures (°C) dans les sondes en terre durant troisième année d'exploitation (1996)

Mois	Température ¹⁾ moyenne mensuelle mesurée dans les sondes en terre	Mesurées			Calculées		
		Valeurs de pointe mesurées			Valeurs calculées à la fin du mois avec recharge solaire		
	Température (minimum du mois) de retour vers les sondes avec PAC en exploitation	Température (minimum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terre	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température moyenne mensuelle dans les sondes en terre	
janvier	4.6	4.5	0.5	14.0	2.5	3.28	-0.21
février	4.1	6.5	2.5	19.0	4.5	5.97	0.16
mars	6.9	7.0	3.0	25.0	5.0	8.74	1.58
avril	9.9	12.0	8.0	25.5	10.0	10.96	3.73
mai	10.8	11.5	7.5	42.0	9.5	14.74	5.55
juin	14.8	14.0	10.0	34.0	12.0	15.01	5.96
juillet	12.8	12.0	8.0	41.5	10.0	16.54	6.72
août	18.5	16.5	12.5	36.0	14.5	17.54	7.53
septembre	12.6	11.0	7.0	32.0	9.0	15.85	6.80
octobre	10.7	8.0	4.0	23.0	6.0	9.81	2.83
novembre	6.9	4.5	0.5	16.5	2.5	6.30	0.94
décembre	4.6	4.5	0.5	17.0	2.5	4.45	0.17
						10.88	3.44
							-0.77

1) Note: Valeur obtenue en faisant la moyenne des températures entrée - sortie des sondes en terres

Tableau 19 Températures (°C) dans les sondes en terre durant quatrième année d'exploitation (1997)

Mois	Température ¹⁾ moyenne mensuelle mesurée dans les sondes en terre	Valeurs de pointe mesurées			Valeurs calculées à la fin du mois avec recharge solaire			Calculées		
		Température (minimum du mois) à la sortie des sondes	Température (minimum du mois) de retour vers les sondes avec PAC en exploitation	Température (maximum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terres	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température maximum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terres	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service
janvier	3.70	4.0	0.0	2.0	3.17	-0.32	9.97	2.33	-1.15	
février	5.10	7.0	3.0	23.0	5.0	5.86	0.05	15.01	4.44	-0.95
mars	8.05	11.5	7.5	28.5	9.5	8.63	1.47	22.11	5.62	-0.20
avril	9.35	11.0	7.0	24.0	9.0	10.86	3.63	25.44	7.08	1.35
mai	10.50	10.0	6.0	37.0	8.0	14.65	5.45	30.87	9.09	2.26
juin	13.70	11.0	7.0	28.0	9.0	14.92	5.88	31.18	10.21	3.00
juillet	13.20	12.0	7.0	37.5	9.5	16.46	6.63	32.88	10.52	3.15
août	17.35	18.0	14.0	37.0	16.0	17.46	7.45	32.64	11.03	3.68
septembre	16.15	16.0	12.0	31.5	14.0	15.76	6.72	29.65	11.12	3.76
octobre	8.70	6.5	2.5	17.0	4.5	9.72	2.74	23.26	7.24	0.95
novembre	6.95	6.0	2.0	12.0	4.0	6.21	0.85	17.33	4.84	-0.41
décembre	4.45	5.0	1.0		3.0	4.37	0.09	10.79	3.19	-1.02

1) Note: Valeur obtenue en faisant la moyenne des températures entrée - sortie des sondes en terres

Tableau 20 Températures (°C) dans les sondes en terre durant cinquième année d'exploitation (1998)

Mois	Mesurées			Calculées		
	Température ¹⁾ moyenne mensuelle mesurée dans les sondes en terre	Valeurs de pointe mesurées		Valeurs calculées à la fin du mois avec recharge solaire		Valeurs calculées à la fin du mois (hypothèse: pas de recharge solaire)
	Température (minimum du mois) de retour vers les sondes avec PAC en exploitation	Température (maximum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec recharge solaire	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terres	
janvier	4.40	4.0	0.0	12.0	2.0	3.09
février	5.20	6.0	2.0	23.0	4.0	-0.40
mars	5.75	8.0	4.0	31.0	6.0	5.78
avril	7.55	9.0	5.0	32.0	7.0	8.55
mai	11.65	16.0	12.0	39.0	14.0	10.78
juin	15.10	14.0	10.0	38.0	12.0	14.56
juillet	19.80	16.0	12.0	29.0	14.0	16.37
août	17.70	16.5	12.5	37.0	14.5	17.38
septembre	14.25	13.0	9.0	27.5	11.0	15.69
octobre	9.55	9.0	5.0	24.0	7.0	9.64
novembre	5.95	5.0	1.0	19.0	3.0	6.14
décembre	4.50				4.30	4.30

1) Note: Valeur obtenue en faisant la moyenne des températures entrée - sortie des sondes en terres

Tableau 21 Températures (°C) dans les sondes en terre durant septième année d'exploitation (2000)

Mois	Température ¹⁾ moyenne mensuelle mesurée dans les sondes en terres	Mesurées				Calculées			
		Température (minimum du mois) de retour vers à la sortie des sondes	Température (minimum du mois) de retour vers les sondes avec PAC en exploitation	Température (maximum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terres	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terres	Température (maximum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service
janvier	3.95	4.0	0.0	2.0	2.96	-0.53	9.76	1.71	-1.77
février	4.05	5.0	1.0	17.0	3.0	-0.16	14.80	3.82	-1.56
mars	6.30	6.5	2.5	22.0	4.5	8.42	1.26	21.90	5.01
avril	7.15	10.0	6.0	36.0	8.0	10.65	3.42	25.23	6.48
mai	15.65	15.0	11.0	37.0	13.0	14.44	5.24	30.67	8.50
juin	15.75	14.5	10.5	40.0	12.5	14.72	5.67	30.98	9.62
juillet	12.10	12.0	8.0	41.0	10.0	16.25	6.43	32.68	9.93
août	15.95	15.0	11.0	36.0	13.0	17.25	7.25	32.44	10.45
septembre						15.56	6.52	29.45	10.55
octobre						9.52	2.54	23.06	6.67
novembre						6.01	0.65	17.13	0.38
décembre						4.17	-0.11	10.60	-0.97
								2.64	-1.57

1) Note: Valeur obtenue en faisant la moyenne des températures entrée - sortie des sondes en terres

**OFEN - PROJET PILOTE ET DÉMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTTRY**

Tableau 22 Températures calculées (°C) dans les sondes en terre durant vingtième année d'exploitation

Mois	Valeurs calculées à la fin du mois avec recharge solaire			Valeurs calculées à la fin du mois (hypothèse: pas de recharge solaire)	
	Température moyenne mensuelle calculée dans les sondes en terres	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service	Température (maximum du mois) retour vers les sondes avec recharge solaire	Température moyenne mensuelle dans les sondes en terres	Température moyenne (minimum du mois) entre entrée et retour, avec PAC en service
janvier	2.52	-0.97	9.32	0.46	-3.02
février	5.21	-0.60	14.37	2.58	-2.80
mars	7.99	0.83	21.47	3.78	-2.04
avril	10.22	2.99	24.80	5.26	-0.47
mai	14.02	4.82	30.24	7.29	0.45
juin	14.30	5.25	30.55	8.42	1.21
juillet	15.83	6.01	32.26	8.74	1.37
août	16.84	6.83	32.02	9.27	1.92
septembre	15.15	6.10	29.04	9.38	2.01
octobre	9.11	2.13	22.65	5.51	-0.79
novembre	5.60	0.25	16.72	3.13	-2.13
décembre	3.77	-0.15	10.20	1.49	-2.72

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 23 Températures moyennes (°C) dans les sondes en terre calculées pour la vingtième année d'exploitation pour 3 scénarios de recharge

Mois	Températures moyennes à la fin du mois après 20 ans		Températures maximales et minimales à la fin du mois avec 100 % de recharge			
	Recharge équivalente au soutirage de 100 %	Recharge selon les conditions actuelles d'exploitation (65 % de recharge)		Pas de recharge solaire (0 %)	min	max
janvier	3.64	2.52	0.46	0.14	10.44	
février	6.65	5.21	2.58	0.60	17.42	
mars	10.28	7.99	3.78	2.39	25.24	
avril	12.92	10.22	5.26	4.88	28.83	
mai	17.67	14.02	7.29	7.19	37.10	
juin	17.49	14.30	8.42	7.44	37.22	
juillet	19.69	15.83	8.74	8.53	38.43	
août	20.95	16.84	9.27	9.50	34.77	
septembre	18.29	15.15	9.38	8.33	31.31	
octobre	11.06	9.11	5.51	3.72	24.33	
novembre	6.95	5.60	3.13	1.54	14.53	
décembre	5.01	3.77	1.49	0.69	11.41	

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 24 Coût de l'électricité pour le chauffage (PAC et circulateurs).
Base : années 1999-2000

• Tarif de jour	18.5 cts/kWh
• Tarif de nuit	13.5 cts/kWh
• Consommation du 01.01.99 au 31.10.2000	34'646 kWh
- dont tarif de jour	30'705 kWh
- dont tarif de nuit	3'941 kWh
• Part de la facture pour l'achat d'électricité de jour	fr. 5'680.—
• Part de la facture pour l'achat d'électricité de nuit	fr. 532.—
• Part de la facture pour l'achat d'électricité	fr. 6'212.—
• Part des taxes fixes et TVA	fr. 888.—
• Prix moyen de l'électricité (hors taxes)	17.9 cts/kWh
• Prix moyen du courant électrique avec taxes fixes et TVA	20.5 cts/kWh
• Prix mensuel moyen par logement de l'énergie électrique consacrée au chauffage TTC	fr. 39.50/mois

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 25 Récapitulatif des coûts des installations CVS.

	[fr.]	[%]
◆ Général		
Coût du bâtiment, y compris terrain, frais d'étude et frais annexes	5'800'000.--	100
Installation de chauffage et de ventilation	443'000.--	7.6
Installations sanitaires	295'000.--	5.1
Total Installation CVS	738'000.--	12.7

◆ Détails chauffage-ventilation		
Sondes en terre, y compris circuit et raccordements	100'100.--	22.6
Absorbeurs solaires, y compris circuit, raccordements et études techniques	100'200.--	22.6
Pompe à chaleur	42'700.--	9.6
Installation solaire pour production d'eau chaude sanitaire	39'300.--	8.9
Distribution de chaleur dans le bâtiment et régulation	120'900.--	27.3
Ventilation	28'000.--	6.3
Divers	11'800.--	2.7
TOTAL chauffage + ventilation	443'000.--	100.0

Note : Tous les prix sont indiqués avec honoraires pour études techniques inclus.

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 26 Prix unitaires indicatifs des composants de l'installation de chauffage.

◆ Ensemble de l'installation	
Par mètre carré de surface de référence énergétique (SRE)	fr. 237.--/m ²
Par unité de puissance thermique installée (49 kW)	fr. 9'040.--/m ²
Par mètre carré de plancher chauffé	fr. 307.--/m ²
Par unité de volume du bâtiment	fr. 82.--/m ³
◆ Circuit des sondes en terre	
Par mètre de sonde verticale (forage seul)	fr. 78.--/m
Par mètre de sonde verticale (complet)	fr. 130.--/m
Par unité de puissance extraite (45 W/m)	fr. 2.90/W
Par unité énergétique tirée du terrain	fr. 1.40 /kWh an
◆ Absorbeurs solaires et leur circuit	
Par unité de surface	fr. 1'252.--/m ²
Par unité de puissance produite	fr. 1.25/W
Par unité d'énergie produite	fr. 2.20/kWh an
◆ Solaire pour eau chaude sanitaire (sans boiler)	
Par unité de surface	fr. 1'310.--/m ²
Par unité d'énergie produite	fr. 2.00/kWh an
◆ Pompe à chaleur	
Par unité de puissance	fr. 71.--/kWh
Par unité d'énergie produite	fr. 0.42/kWh an

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 27 Estimation du prix de revient de l'énergie et bilan financier.

• Demande de chaleur Q_{ch} mesurée	248 MJ/m ² an soit 128'500 kWh/an
• Consommation de combustible avec une chaudière mazout ($\eta=0.75$) E_{th}	171'000 kWh/an
• Consommation d'électricité avec la pompe à chaleur (58 MJ/m ² an) E_{th}	30'000 kWh/an
• Achat de combustible et frais de fonctionnement, variante mazout	
- Combustible (TTC)	fr. 8'500.--/an
- Maintenance	fr. 1'200.--/an
- TOTAL	fr. 9'700.--/an
• Achat d'électricité et maintenance, variante PAC + solaire	
- Electricité	fr. 6'200.--/an
- Maintenance	fr. 500.--/an
- TOTAL	fr. 6'700.--/an
• Gain sur les achats d'énergie et les frais de maintenance avec la PAC (mazout TTC à 50 cts/l, électricité TTC 20.5 cts/kWh)	fr. 3'000.--/an
• Valeur de l'installation solaire + pompe à chaleur (sondes en terre absorbeurs, capteurs, pompe à chaleur)	fr. 282'000.--
• Valeur d'une chaufferie mazout de remplacement, y compris cheminée, citerne de 20'000 l, chaudière de 50 kW	fr. 90'000.--
• Plus-value installation PAC + solaire	fr. 192'000.--
• Annuités liées à la plus-value PAC + solaire (intérêt 4.5 %, amortissement 20 ans)	7.7 % soit fr. 14'700.--/an
• Plus-value annuelle nette due à l'installation solaire (14'700 - 3'000)	fr. 11'700.--/an
• Prix de revient de la chaleur produite par l'installation, variante mazout	
- Valeur de l'installation	fr. 251'000.--
- Annuité (4.5 %, 25 ans)	6.74 %
- Annuités	fr. 16'900.--/an
- Combustible et maintenance	fr. 9'700.--/an
- TOTAL mazout	fr. 26'700.--/an
Prix de revient de la chaleur	20.7 cts/kWh
• Prix de revient de la chaleur produite par l'installation, variante PAC + solaire	
- Valeur de l'installation	fr. 443'000.--
- Annuité (4.5 %, 25 ans)	6.74 %
- Annuités	fr. 29'800.--/an
- Electricité et maintenance	fr. 6'700.--/an
- TOTAL PAC + solaire	fr. 36'500.--/an
Prix de revient de la chaleur	28.4 cts/kWh
• Prix du combustible (mazout) pour que l'installation PAC + solaire soit compétitive	10.7 cts/kWh

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 28 Estimation du prix de l'installation de chauffage et de ventilation dans le cas où l'on recherche une diminution des investissements par le choix de composants meilleur marché.

• Sondes en terre, y compris circuits de raccordement	75'000.—
• Absorbeurs solaires en PE, y compris raccordements	75'000.—
• Pompe à chaleur	42'000.—
• Production d'eau chaude solaire	38'000.—
• Distribution de chaleur et régulation	120'000.—
• Ventilation	28'000.—
• Divers	10'000.—
• TOTAL	388'000.—

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Tableau 29 Estimation du prix de l'énergie et bilan financier dans le cas où l'on recherche une diminution des investissement par le choix de composants meilleurs marché et en tenant compte de l'amélioration des coefficients de performance des PAC actuelles.

• Demande de chaleur Q_{ch} mesurée	248 MJ/m ² an soit 128'500 kWh/an
• Consommation de combustible avec une chaudière mazout ($\eta=0.75$) E_{th}	171'000 kWh/an
• Consommation d'électricité avec la pompe à chaleur (58 MJ/m ² an) E_{th} (COP 3.8)	25'000 kWh/an
• Achat de combustible et frais de fonctionnement, variante mazout	
- Combustible (TTC) (50 cts/l), soit 5.0 cts/kWh	fr. 8'500.--/an
- Maintenance	fr. 1'200.--/an
- TOTAL	fr. 9'700.--/an
• Achat d'électricité et maintenance, variante PAC + solaire	
- Electricité	fr. 5'200.--/an
- Maintenance	fr. 500.--/an
- TOTAL	fr. 5'700.--/an
• Gain sur les achats d'énergie et les frais de maintenance avec la PAC (mazout TTC à 50 cts/l, électricité TTC 20.5 cts/kWh)	fr. 4'000.--/an
• Valeur de l'installation solaire + pompe à chaleur (sondes en terre absorbeurs, capteurs, pompe à chaleur)	fr. 230'000.--
• Valeur d'une chaufferie mazout de remplacement, y compris cheminée, citerne de 20'000 l, chaudière de 50 kW	fr. 90'000.--
• Plus-value installation PAC + solaire	fr. 140'000.--
• Annuités liées à la plus-value PAC + solaire (intérêt 4.5 %, amortissement 20 ans)	7.7 % soit fr. 10'780.--/an
• Plus-value annuelle nette due à l'installation solaire (10'780 - 4'000)	fr. 6'780.--/an
• Prix de revient de la chaleur produite par l'installation, variante mazout	
- Valeur de l'installation	fr. 251'000.--
- Annuité (4.5 %, 25 ans)	6.74 %
- Annuités	fr. 16'900.--/an
- Combustible et maintenance	fr. 9'700.--/an
- TOTAL mazout	fr. 26'700.--/an
Prix de revient de la chaleur	20.7 cts/kWh
• Prix de revient de la chaleur produite par l'installation, variante PAC + solaire	
- Valeur de l'installation	fr. 388'000.--
- Annuité (4.5 %, 25 ans)	6.74 %
- Annuités	fr. 26'200.--/an
- Electricité et maintenance	fr. 5'700.--/an
- TOTAL PAC + solaire	fr. 31'900.--/an
Prix de revient de la chaleur	24.8 cts/kWh
• Prix du combustible (mazout) pour que l'installation PAC + solaire soit compétitive	9.1 cts/kWh

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

FIGURES

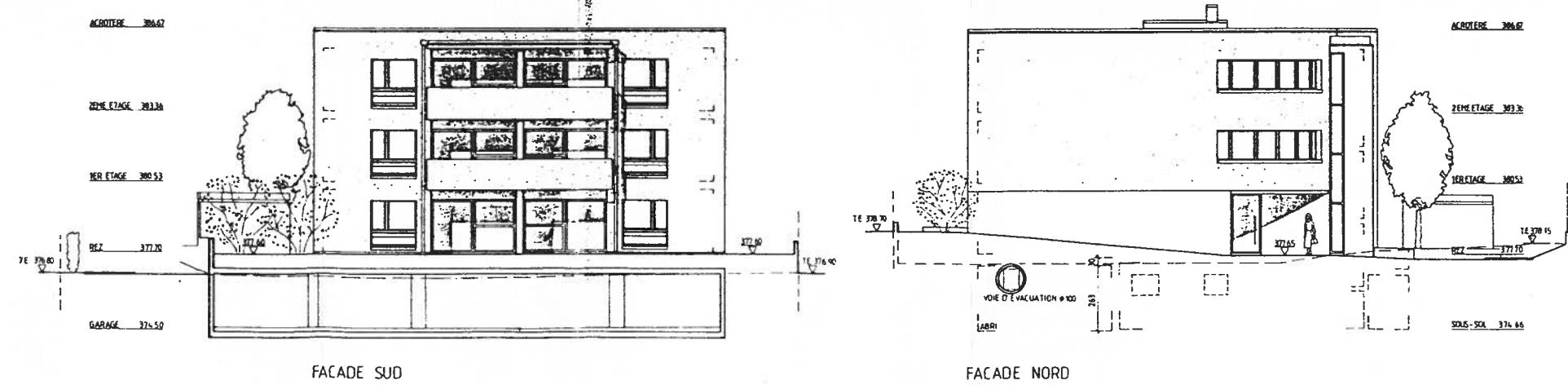
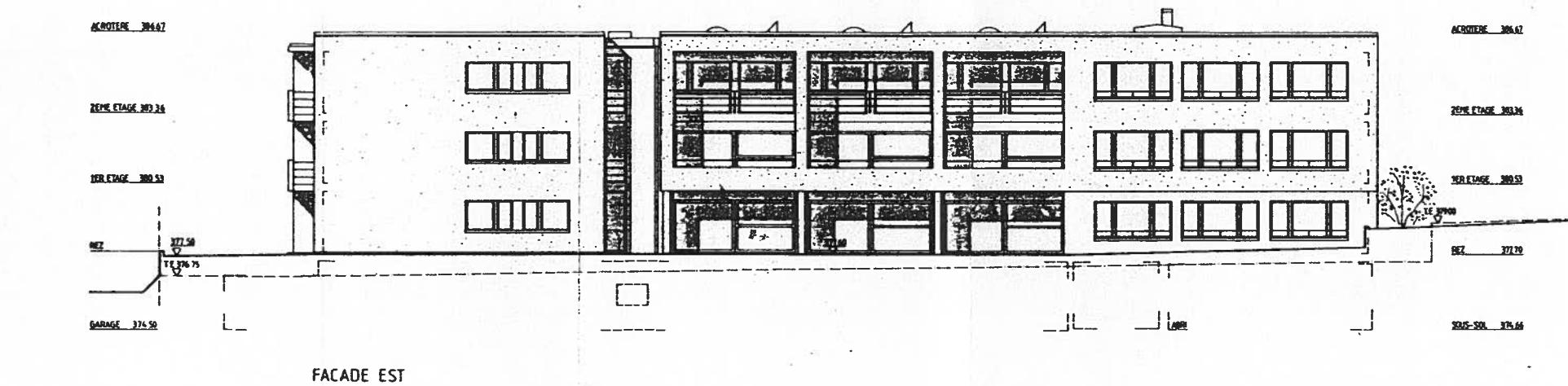
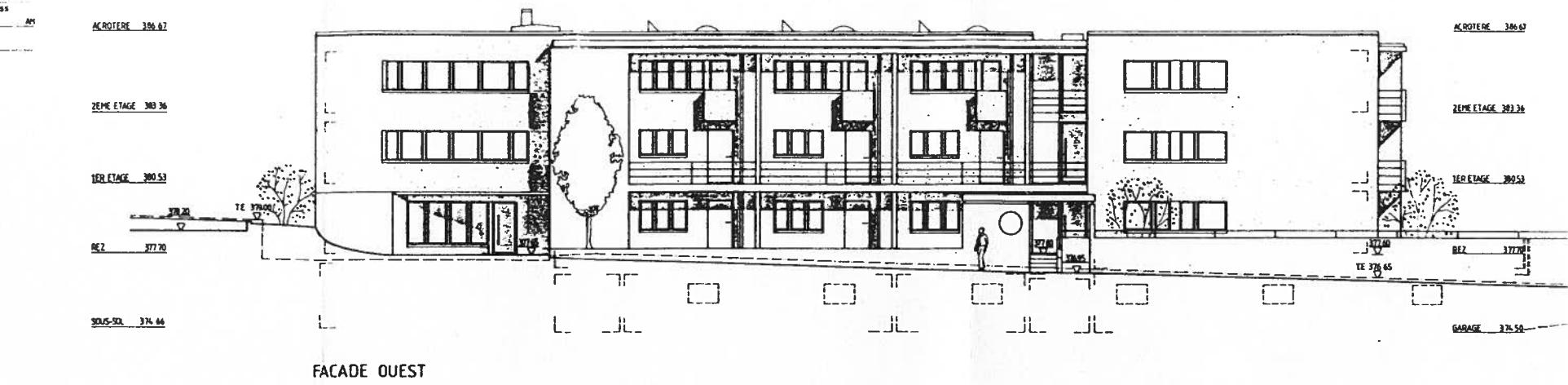
OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY

Figure 1 Façades du bâtiment. Projet : bureau d'architecture Carnal & Menthonnex – Lausanne.

PROJET-118 DE M. D. BUCHÉ, LUTRY
GENRE : RECONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE INCENDIÉ
IMMEUBLE LOCATIF ET GARAGE EN SOUS SOL
TITRE : MISE A L'ENQUETE
FACADES NORD, SUD, EST, OUEST
Carnal-Lausanne Menthonnex SA
Atelier d'Architecture
Pec de Turner 11
1000 Lausanne
Téléphone 021 312 24 22 23
Fax 021 312 24 50

314-16
Dessin : AM
0.50 M2
28.05.91
Echelle : 1:200

LE PROPRIÉTAIRE : _____
L'ARCHITECTE : _____



OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION BATIMENT LOCATIF A LUTRY

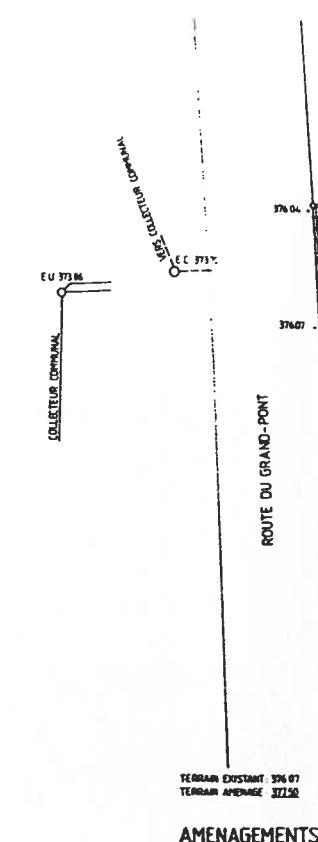
Figure 2 Plan d'accès au bâtiment et plan de la toiture avec implantation des panneaux solaires.
Projet : bureau d'architecture Carnal & Menthonnex – Lausanne



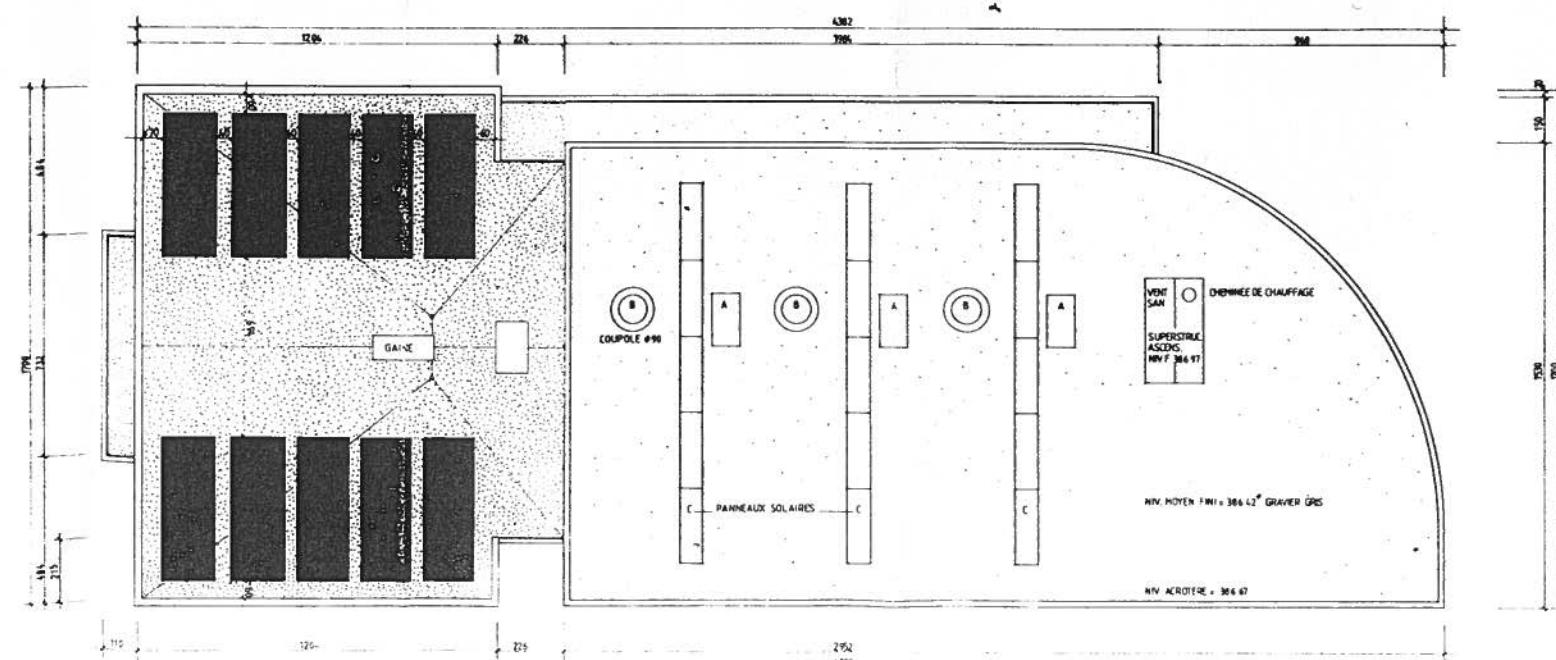
LE PROPRIÉTAIRE

L'ARCHITECTE

L'ARCHITECTE



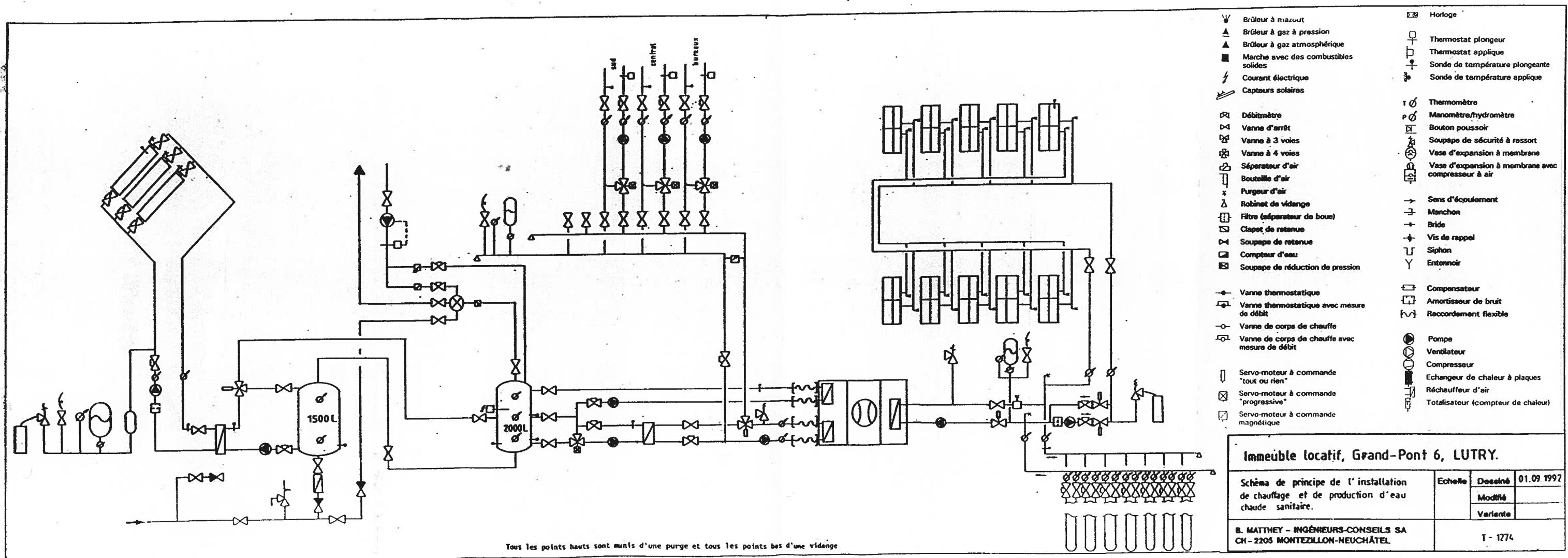
AMENAGEMENTS EXTERIEURS



PLAN DE TOITURE

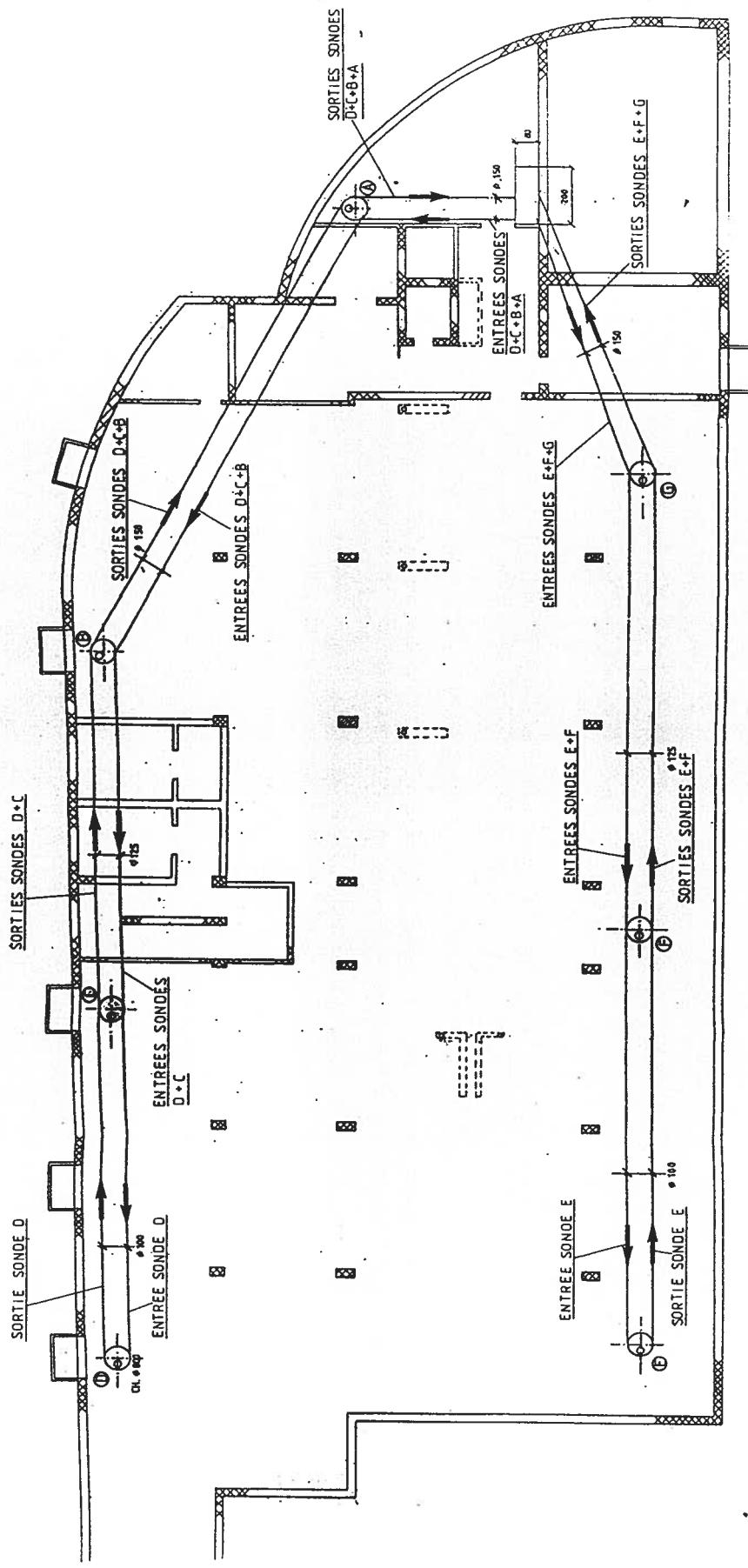
OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY

Figure 3 Schéma de principe et descriptif des composants des installations de production d'eau chaude et de chauffage.



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

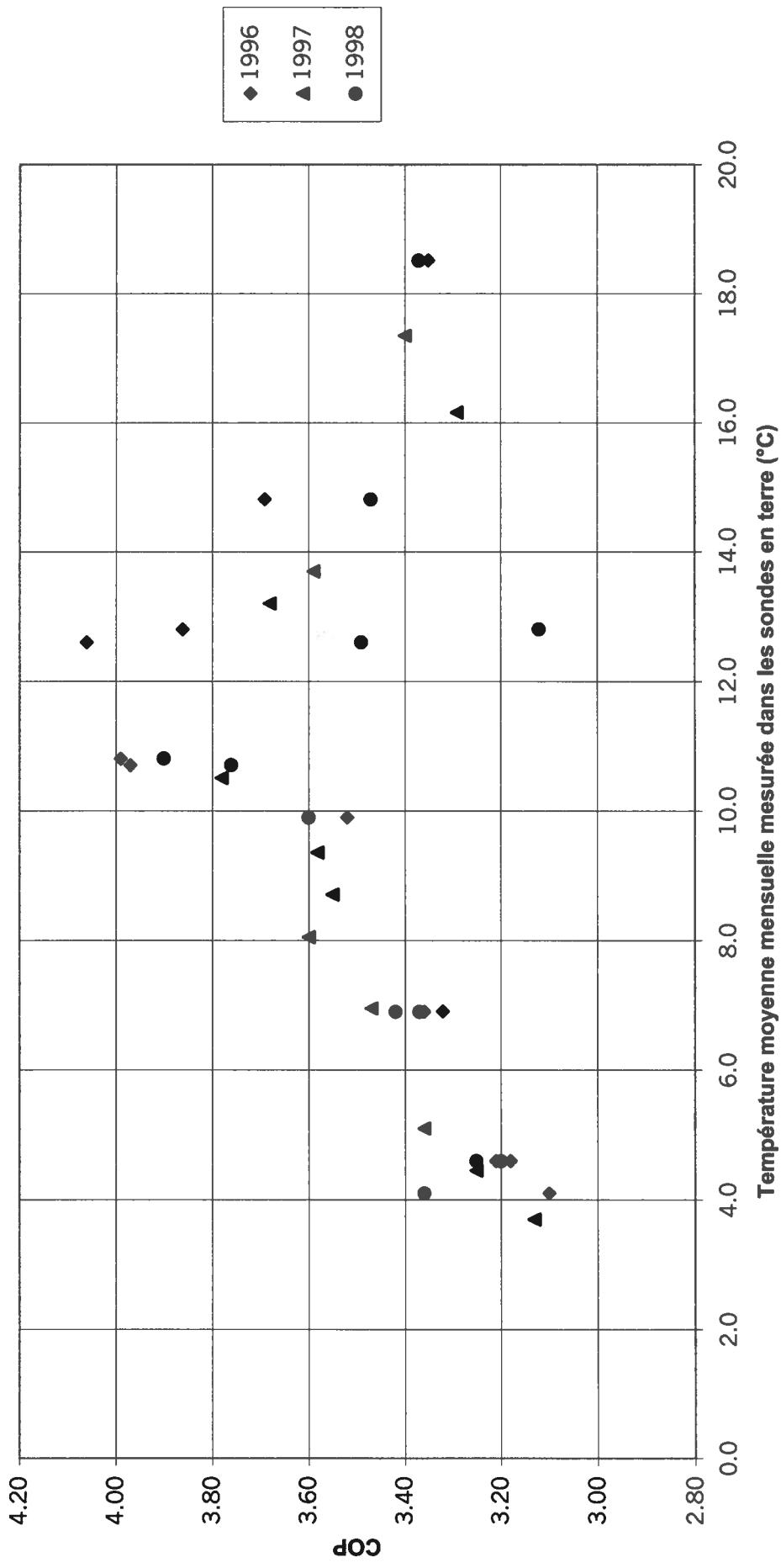
Figure 4 Emplacement des sondes et tracé des conduites sous le bâtiment.



Immeuble locatif, Grand-Pont 6, Lutry		Remplacé par
Remplace		Remplace
Plan sous-sol		
Sondes terrestres, emplacement et dimensions des gaines et chambres		
B. MATTHEY - INGÉNIEURS-CONSEILS SA CH - 2205 MONTREUIL-NEUCHÂTEL	1 - 1274	
01.09.1992		
1/100	Echelle	
15.07.93	Modifié	
	Variant	

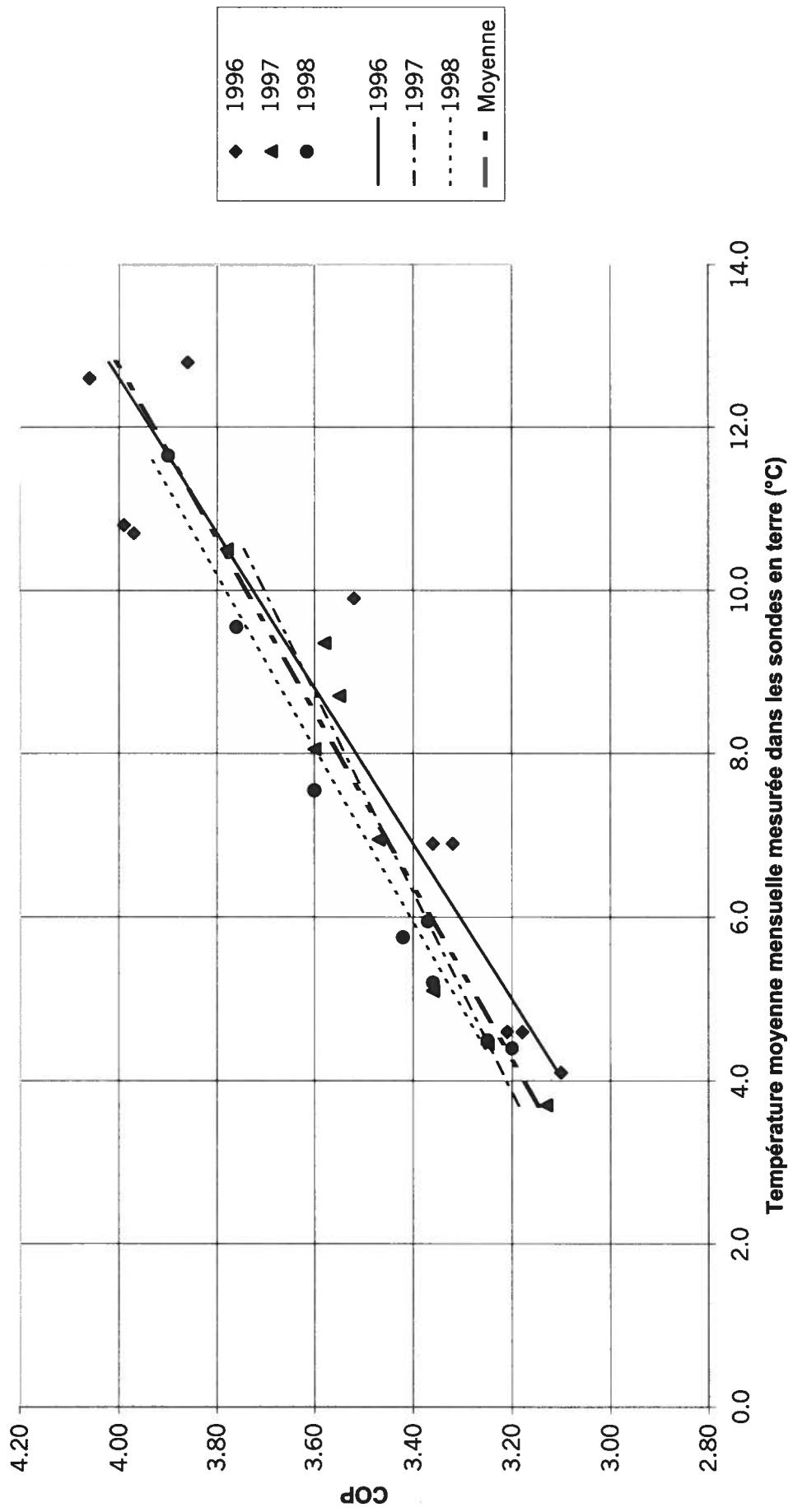
**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Figure 5 Coefficients de performance mensuels moyens mesurés de la PAC en fonction de la température moyenne des sondes. Ensemble des valeurs



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Figure 6 Coefficients de performance mensuels moyens mesurés de la PAC en fonction de la température moyenne des sondes. Valeurs considérées jusqu'à +13°C et droites de régression



OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

DOSSIER PHOTOS

**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Photo n° 1 Vue de la toiture. En arrière-plan, les capteurs solaires vitrés. Au premier-plan, les absorbeurs pour la recharge des sondes en terre.

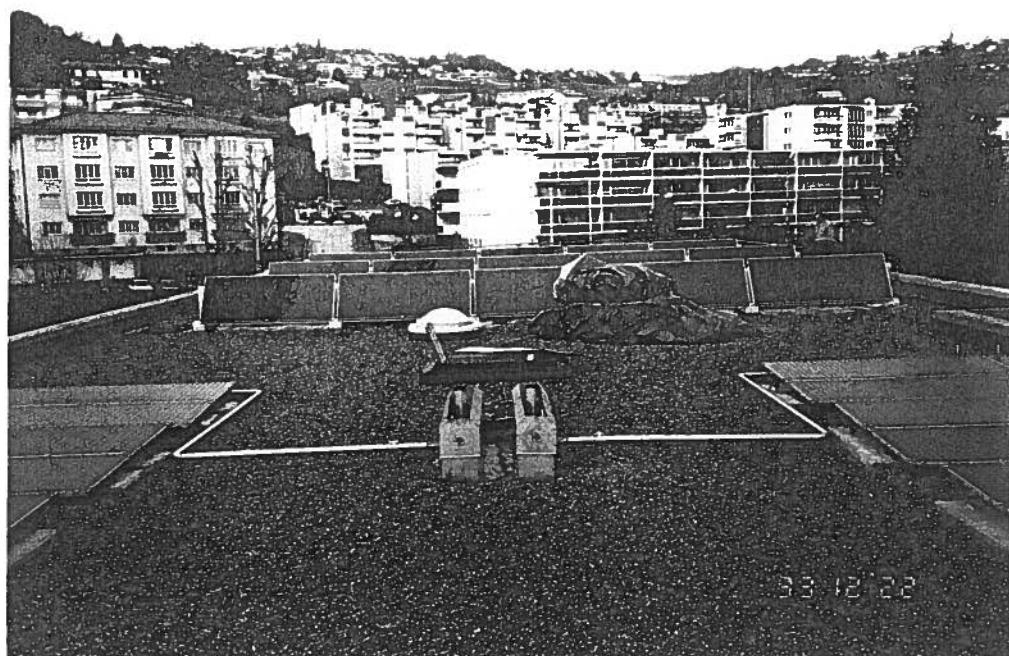
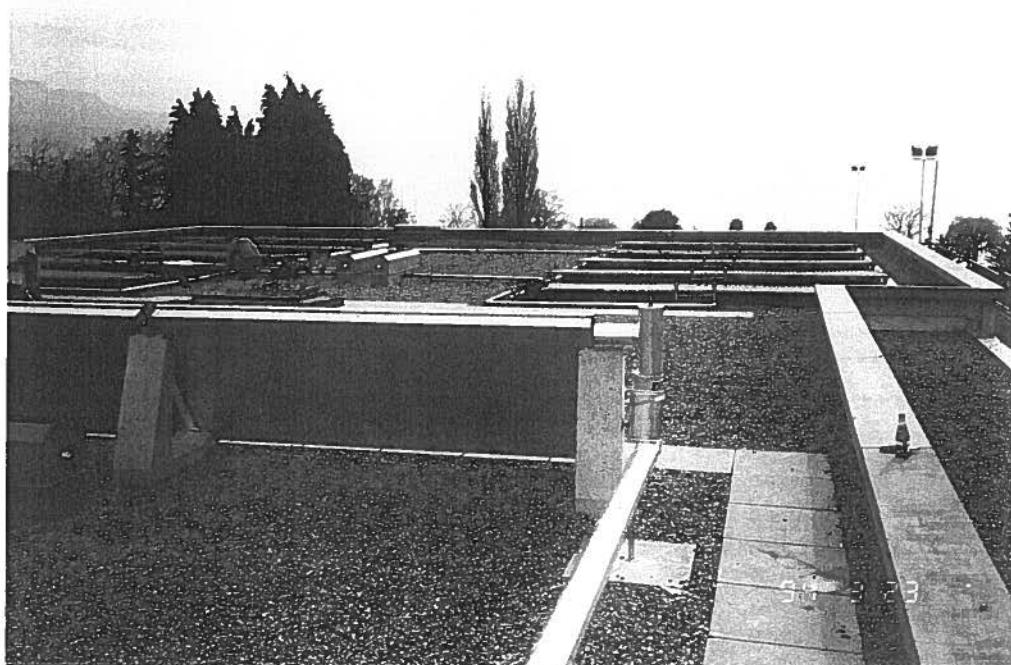


Photo n° 2 Absorbeurs solaires en inox pour la recharge des sondes terre.



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Photo n° 3 Détail des absorbeurs solaires.

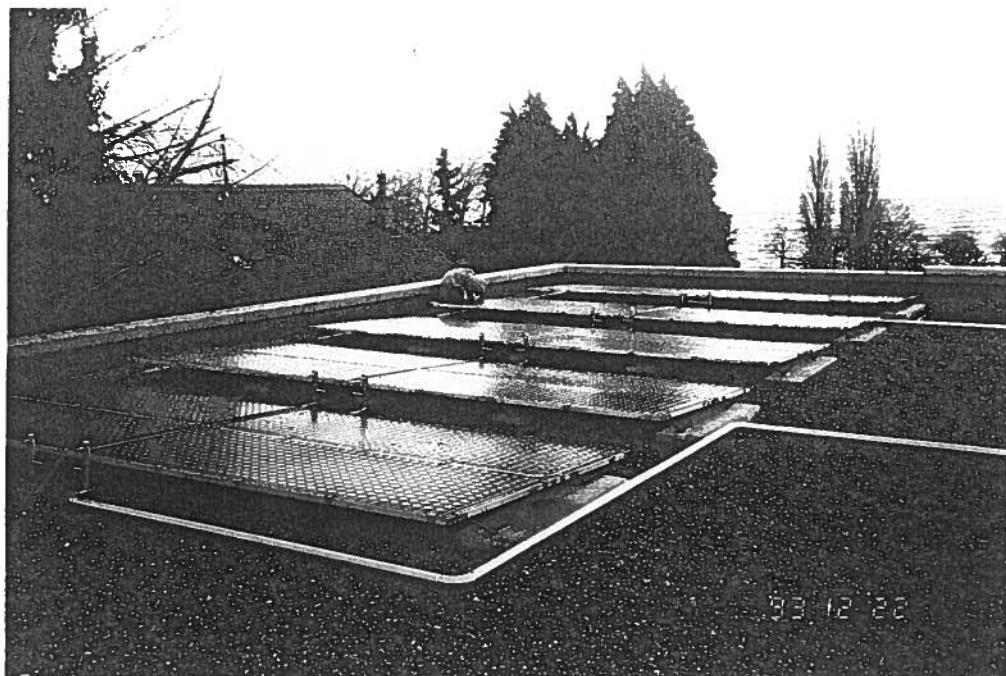
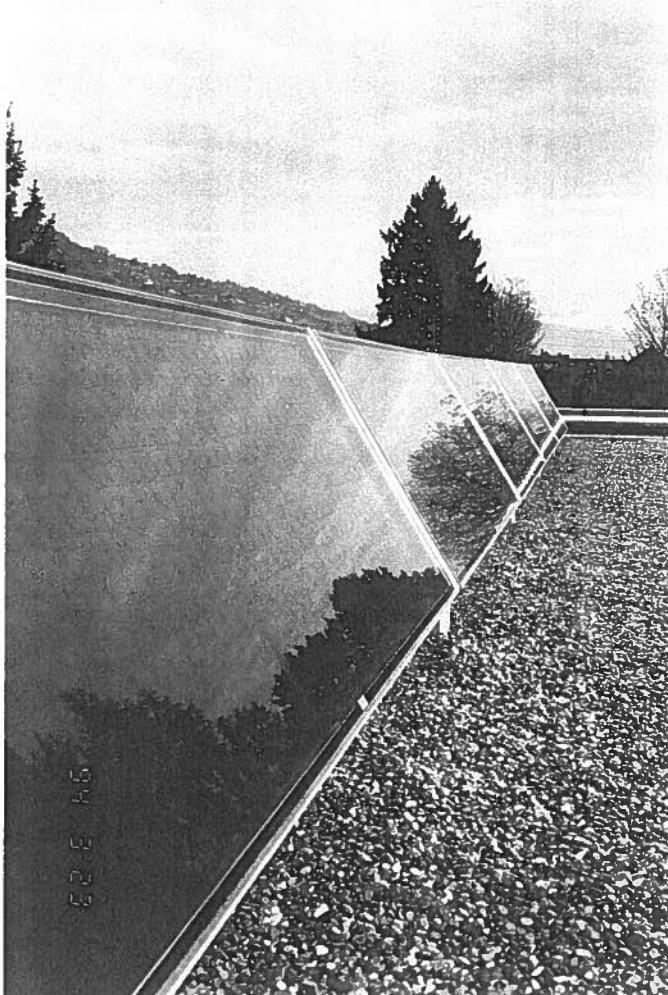


Photo n° 4 Capteurs solaires vitrés pour la production d'eau chaude.



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Photo n° 5 Foreuse en fond de fouille pour la pose des sondes en terre.

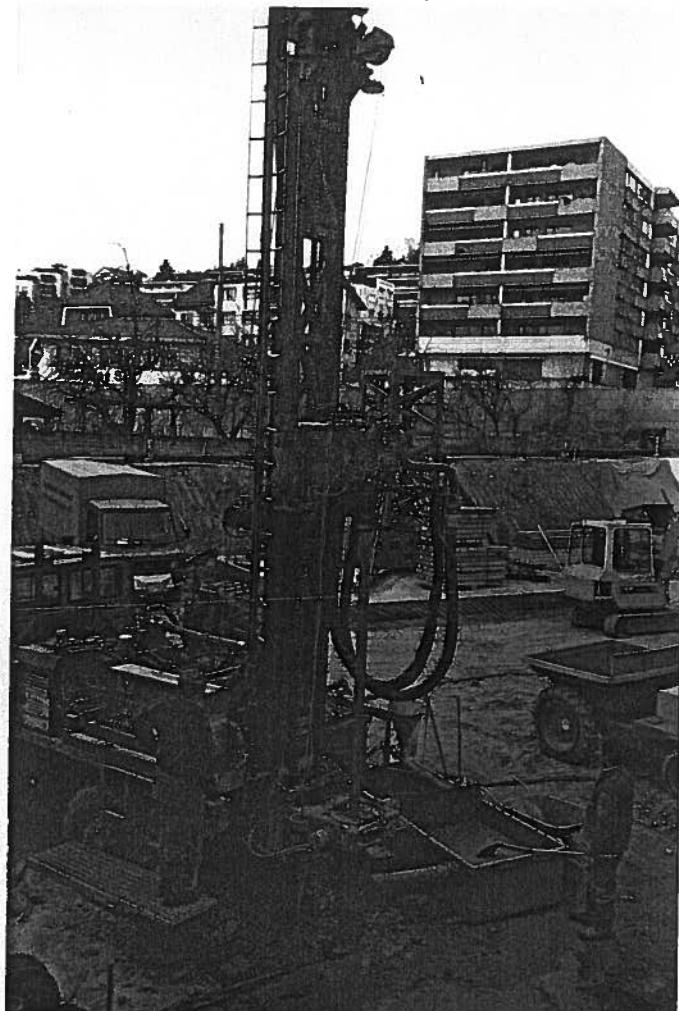


Photo n° 6 Puits de visite permettant d'accéder à la jonction sondes-conduite de liaison.



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Photo n° 7 Vue du bâtiment en construction (sept. 1993), angle NE.

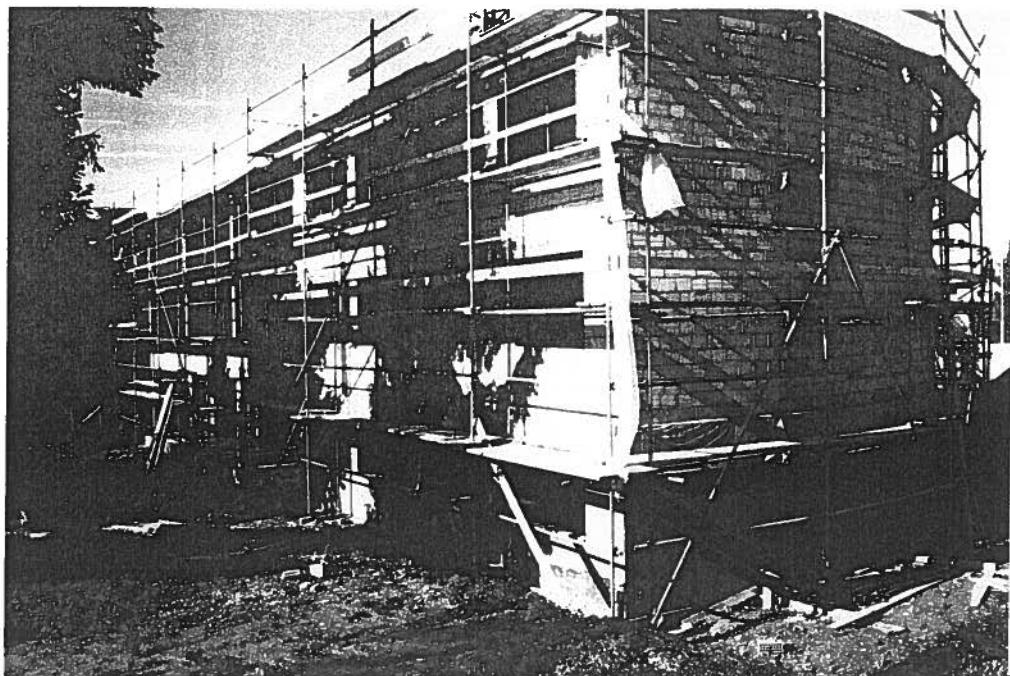
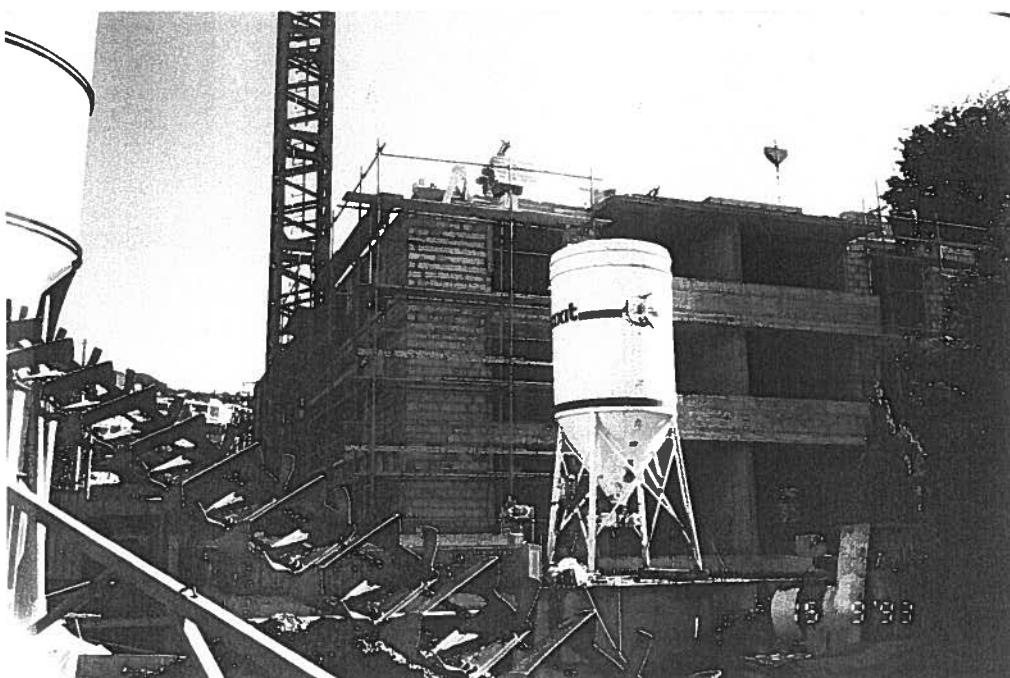


Photo n° 8 Vue du bâtiment en construction (sept. 1993), côté lac.



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Photo n° 9 Collecteur-distributeur du circuit des sondes en terre et des absorbeurs solaires.

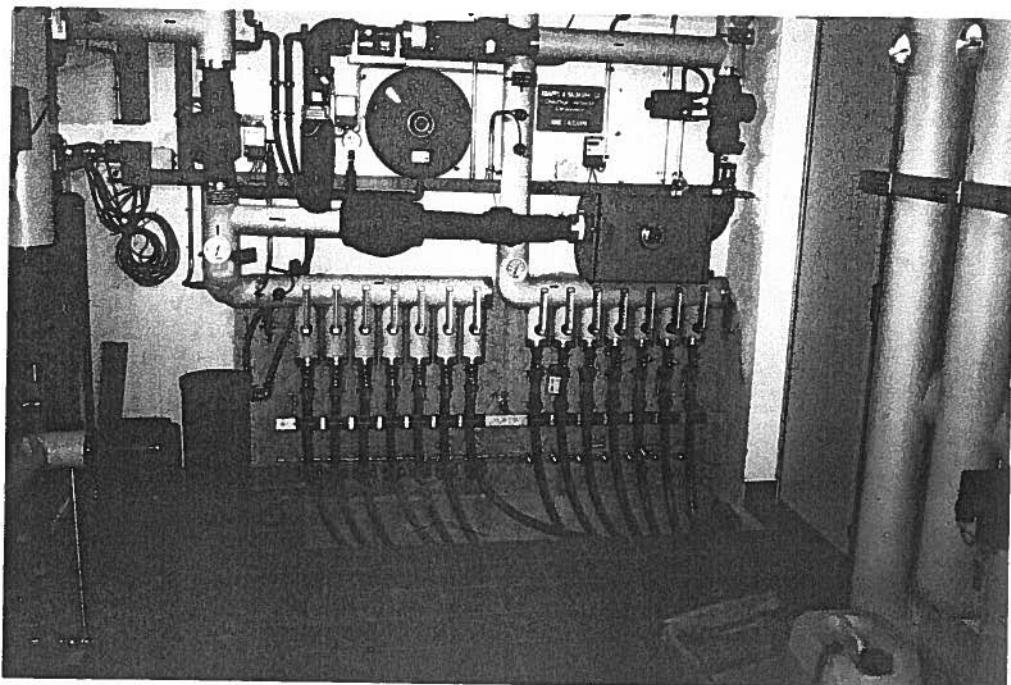
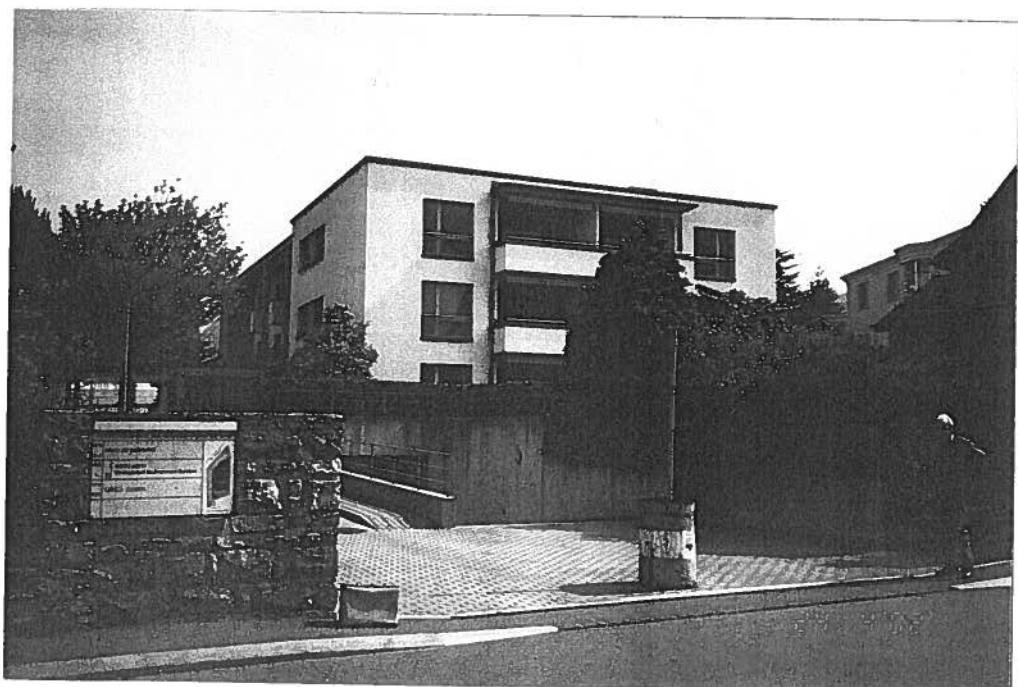


Photo n° 10 Façade sud du bâtiment. Architecte : Ch. Menthonnex.



**OFEN - PROJET PILOTE ET DEMONSTRATION
BATIMENT LOCATIF A LUTRY**

Photo n° 11 Vue des deux boîters. Au centre l'échangeur du circuit des panneaux solaires pour la préparation d'eau chaude sanitaire.

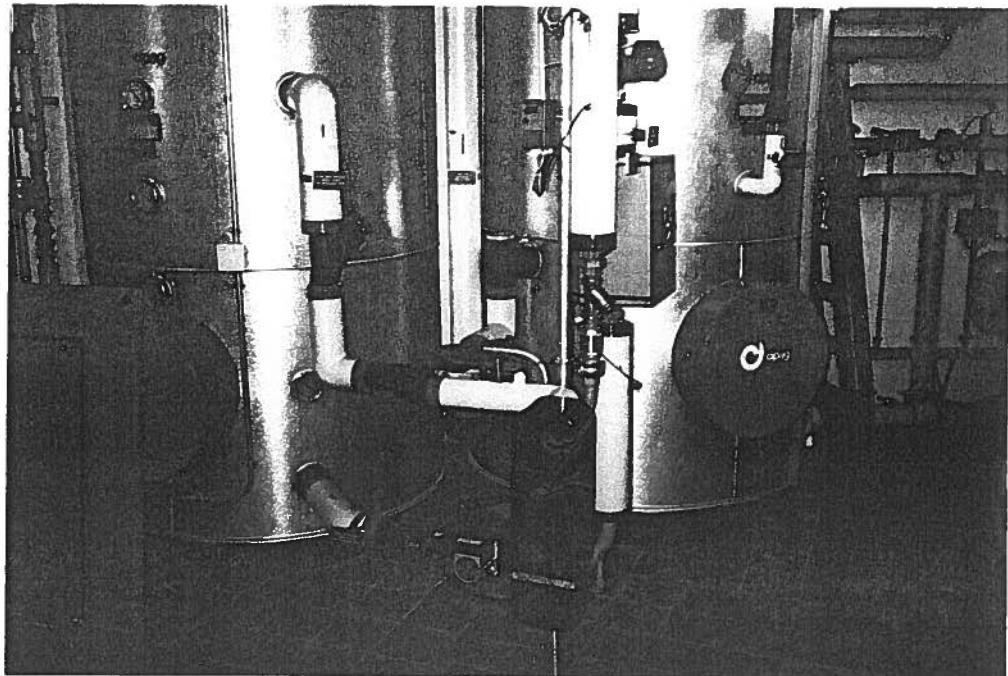
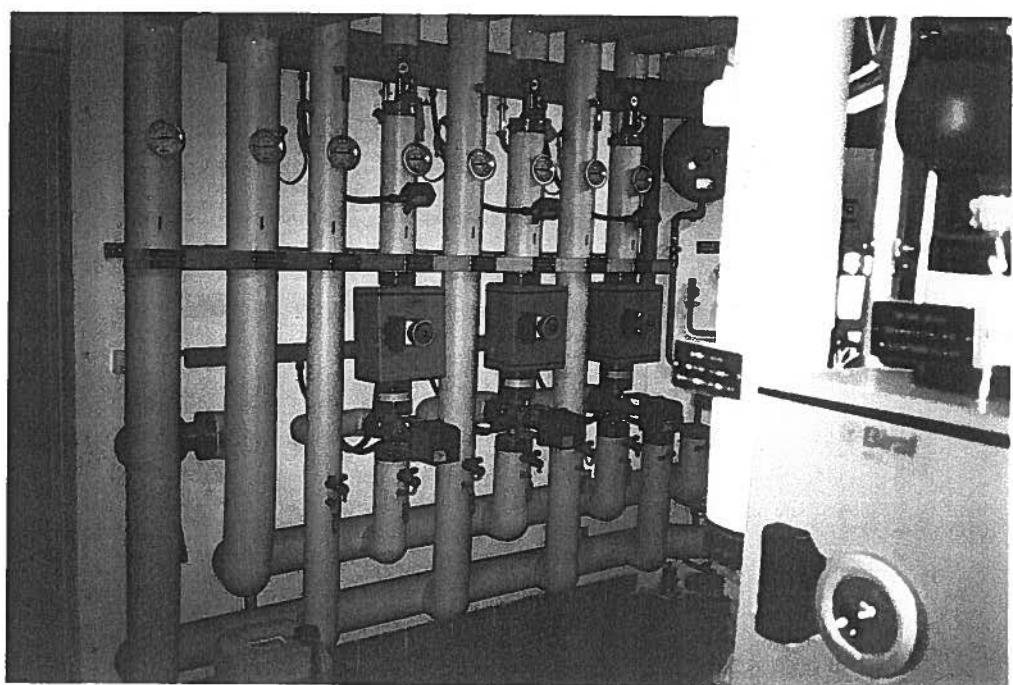


Photo n° 12 Vue du collecteur chauffage (deux groupes chauffage, un groupe eau chaude sanitaire).



OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXES

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 1

Données géologique des forages. Rapport A. Parriaux - EPFL

Dr Aurèle Jean PARRIAUX

Professeur
à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
p.a. EPFL
CH-1015 LAUSANNE
Tel (021) 693 23 52

COPIE

Monsieur D. BUCHE
Route de Lavaux 302
1095 LUTRY

Lausanne, le 10.11.93

Concerne : Sonde géothermique sur votre propriété de Lutry

Monsieur,

A votre demande, j'ai examiné les conditions géologiques de votre sonde géothermique. Cet examen a porté sur le contexte géologique régional et sur les échantillons rotary collectés par vos soins lors de l'exécution des forages profonds. J'ai considéré également le dossier Schopfer et Karakas du 20.2.91 avec ses sondages courts.

L'identification des cuttings de la Preussag donne la coupe suivante :

2 m : mélange informe de sables fins lacustres avec galets morainiques rhodaniens
4 m : moraine limono-graveleuse
6 m : molasse micogréuse oxydée
8 m : molasse marneuse grise
10 m : molasse marneuse avec débris de grès grossier
12 m : microgrès gris dur
20 m : gravier alluvionnaire rhodanien, propre, éléments arrondis
30 m : moraine argilo-graveleuse gris-beige
40 m : molasse marneuse grise
50 m : molasse marneuse grise
60 m : molasse marneuse bigarrée
70 m : molasse marneuse grise
80 m : molasse marneuse légèrement bigarrée
90 m : molasse marneuse légèrement bigarrée
100 m : molasse marneuse légèrement bigarrée
110 m : molasse marneuse légèrement bigarrée

Cette coupe peu usuelle résulte de l'histoire géologique particulière de cette zone. Les terrains glaciaires et la molasse jusqu'à une profondeur de plus de 12 m appartiennent au grand glissement de Converney. Ces masses instables ont glissé sur les alluvions lacustres du delta de

la Lutrive et la moraine en place. La molasse dès 30 m environ correspond au substratum tertiaire subalpin connu dans le Layaux.

L'implication géothermique de cette configuration est nette. La plus grande partie de la sonde se trouve dans une assise très peu perméable. La molasse est toujours franchement marneuse. Par conséquent, les flux d'eau souterraine entre 30 et 110 m peuvent être considérés comme négligeables, au maximum de quelques l/mn. Au point de vue géothermique, l'apport calorifique par les circulations d'eau souterraine, qui est fondamental dans le bilan énergétique d'une sonde, est ici extrêmement réduit. Votre sonde n'exploite pratiquement que le flux géothermique proprement dit.

Dans ces circonstances, l'adjonction à l'installation d'une recharge estivale solaire est particulièrement appropriée. Elle permettra de garantir un meilleur rendement de la sonde à long terme.

Dans l'espoir que ces renseignements vous seront utiles, je vous prie d'agréer, Monsieur, mes salutations les meilleures.



Prof. Aurèle PARRIAUX

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 2

Résultats de la simulation des sondes en terre (modèle Lund FED).

Avec conditions d'exploitation réelles (année 1997).

Résultats après 1, 2, 5, 10 et 20 ans

EED version 990211 Date: 2002-1-30 Time: 11.17
by Per Eskilson, Goran Hellstrom, Thomas Blomberg & Burkhard Sanner
Input file: I:\LUND\EED99\LUTR20.DAT This output file: I:\LUND\EED99\LUTR20.O

MEMORY NOTES FOR PROJECT

1:
2:
3:
4:
5:

D E S I G N D A T A

GROUND

Ground thermal conductivity	2.500 W/m, K
Ground heat capacity	2200000 J/m ³ , K
Ground surface temperature	11.00 C
Geothermal heat flux	0.0700 W/m ²

BOREHOLE

Configuration: 7 : 3 x 3, U-configuration	
- g-function No.	103
Borehole depth	110.00 m
Borehole spacing	14.50 m
Borehole installation	DOUBLE-U
Borehole diameter	0.130 m
U-pipe diameter	0.032 m
U-pipe thickness	0.0030 m
U-pipe thermal conductivity	0.420 W/m, K
U-pipe shank spacing	0.0860 m
Filling thermal conductivity	1.500 W/m, K
Contact resistance pipe/filling	0.0000 K/ (W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.

Number of multipoles 10

Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.450 W/m, K
Specific heat capacity	3725 J/kg, K
Density	1042 kg/m ³
Viscosity	0.009900 kg/m, s
Freezing point	-17.0 °C
Flow rate per borehole	0.000260 m ³ /s

BASE LOAD

Seasonal performance factor (heating)	999999.00
Seasonal performance factor (cooling)	999999.00

Monthly energy values

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	13.71	0.01	
FEB	9.94	1.05	
MAR	8.03	3.62	
APR	5.73	4.68	
MAY	2.64	7.40	
JUN	1.11	5.76	
JUL	0.83	7.70	
AUG	0.13	8.33	

SEP	0.09	5.27
OCT	6.48	1.84
NOV	10.04	0.26
DEC	12.31	0.17
Total	71.04	46.09

PEAK LOAD

Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	30.60	18.0	20.00	1.0
FEB	31.60	20.0	40.00	1.0
MAR	32.50	10.0	60.00	2.0
APR	32.50	4.0	70.00	2.0
MAY	33.00	4.0	80.00	3.0
JUN	32.50	4.0	80.00	3.0
JUL	32.80	4.0	80.00	4.0
AUG	31.76	4.0	80.00	3.0
SEP	31.76	4.0	70.00	3.0
OCT	32.14	10.0	60.00	2.0
NOV	32.03	15.0	50.00	1.0
DEC	31.15	18.0	20.00	1.0

Number of simulation years 20

First month of operation JAN

C A L C U L A T E D V A L U E S

Total borehole length 770.0 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal 0.4138 K/(W/m)

Reynolds number 670

Thermal resistance fluid/pipe 0.1768 K/(W/m)

Thermal resistance pipe material 0.0787 K/(W/m)

Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

Borehole therm. res. fluid/ground 0.1008 K/(W/m)

Effective borehole thermal res. 0.1103 K/(W/m)

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	24.37	39.74	-25.97
FEB	15.82	41.04	-51.95
MAR	7.84	42.21	-77.92
APR	1.87	42.21	-90.91
MAY	-8.46	42.86	-103.90
JUN	-8.28	42.21	-103.90
JUL	-12.21	42.60	-103.90
AUG	-14.58	41.25	-103.90
SEP	-9.22	41.25	-90.91
OCT	8.26	41.74	-77.92
NOV	17.39	41.60	-64.94
DEC	21.60	40.45	-25.97

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	4.12	3.40	3.09	2.80	2.52
FEB	6.55	6.08	5.78	5.50	5.21
MAR	9.17	8.85	8.55	8.27	7.99
APR	11.29	11.09	10.78	10.50	10.22
MAY	15.00	14.88	14.56	14.29	14.02
JUN	15.26	15.14	14.84	14.57	14.30
JUL	16.80	16.66	16.37	16.11	15.83
AUG	17.83	17.65	17.38	17.11	16.84
SEP	16.14	15.95	15.69	15.42	15.15
OCT	10.07	9.90	9.64	9.38	9.11
NOV	6.55	6.39	6.14	5.87	5.60
DEC	4.69	4.55	4.30	4.04	3.77

BASE LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature 2.52 C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 16.84 C at end of AUG

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	0.64	-0.09	-0.40	-0.69	-0.97
FEB	0.73	0.27	-0.03	-0.31	-0.60
MAR	2.01	1.69	1.39	1.11	0.83
APR	4.06	3.86	3.55	3.27	2.99
MAY	5.80	5.68	5.37	5.10	4.82
JUN	6.21	6.10	5.79	5.53	5.25
JUL	6.98	6.84	6.55	6.29	6.01
AUG	7.83	7.65	7.37	7.11	6.83
SEP	7.10	6.91	6.64	6.38	6.10
OCT	3.10	2.92	2.67	2.40	2.13
NOV	1.19	1.04	0.78	0.52	0.25
DEC	0.41	0.27	0.02	-0.24	-0.51

PEAK HEAT LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature -0.97 C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 6.83 C at end of AUG

PEAK COOL. LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	10.92	10.20	9.89	9.60	9.32
FEB	15.70	15.23	14.93	14.65	14.37
MAR	22.65	22.33	22.03	21.75	21.47
APR	25.87	25.66	25.36	25.08	24.80
MAY	31.22	31.11	30.79	30.52	30.24
JUN	31.52	31.40	31.10	30.83	30.55
JUL	33.23	33.09	32.80	32.54	32.26
AUG	33.02	32.84	32.56	32.30	32.02
SEP	30.04	29.84	29.58	29.31	29.04
OCT	23.62	23.44	23.19	22.92	22.65
NOV	17.67	17.51	17.26	16.99	16.72
DEC	11.12	10.98	10.73	10.46	10.20

PEAK COOL LOAD: YEAR 20

MIN. COOL. LOAD: 1000000
Minimum mean fluid temperature 9.32 C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 32.26 C at end of JUL

***** END OF FILE *****

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 3

Résultats de la simulation des sondes en terre (modèle Lund EED).

**Extraction de chaleur seule selon valeurs de l'année 1997,
pas de recharge.**

EED version 990211 Date: 2002-1-30 Time: 12.38
by Per Eskilson, Goran Hellstrom, Thomas Blomberg & Burkhard Sanner
Input file: I:\LUND\EED99\LUTSR20.DAT This output file: I:\LUND\EED99\LUTSR20

MEMORY NOTES FOR PROJECT

1:
2:
3:
4:
5:

D E S I G N D A T A

GROUND

Ground thermal conductivity	2.500 W/m, K
Ground heat capacity	2200000 J/m ³ , K
Ground surface temperature	11.00 °C
Geothermal heat flux	0.0700 W/m ²

BOREHOLE

Configuration:	7 : 3 x 3, U-configuration
- g-function No.	103
Borehole depth	110.00 m
Borehole spacing	14.50 m
Borehole installation	DOUBLE-U
Borehole diameter	0.130 m
U-pipe diameter	0.032 m
U-pipe thickness	0.0030 m
U-pipe thermal conductivity	0.420 W/m, K
U-pipe shank spacing	0.0860 m
Filling thermal conductivity	1.500 W/m, K
Contact resistance pipe/filling	0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.

Number of multipoles 10

Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.450 W/m, K
Specific heat capacity	3725 J/kg, K
Density	1042 kg/m ³
Viscosity	0.009900 kg/m, s
Freezing point	-17.0 °C
Flow rate per borehole	0.000260 m ³ /s

BASE LOAD

Seasonal performance factor (heating)	999999.00
Seasonal performance factor (cooling)	999999.00

Monthly energy values

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	13.71	0.00	
FEB	9.94	0.00	
MAR	8.03	0.00	
APR	5.73	0.00	
MAY	2.64	0.00	
JUN	1.11	0.00	
JUL	0.83	0.00	
AUG	0.13	0.00	

SEP	0.09	0.00
OCT	6.48	0.00
NOV	10.04	0.00
DEC	12.31	0.00
Total	71.04	0.00

PEAK LOAD

Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	30.60	18.0	0.00	0.0
FEB	31.60	20.0	0.00	0.0
MAR	32.50	10.0	0.00	0.0
APR	32.50	4.0	0.00	0.0
MAY	33.00	4.0	0.00	0.0
JUN	32.50	4.0	0.00	0.0
JUL	32.80	4.0	0.00	0.0
AUG	31.76	4.0	0.00	0.0
SEP	31.76	4.0	0.00	0.0
OCT	32.14	10.0	0.00	0.0
NOV	32.03	15.0	0.00	0.0
DEC	31.15	18.0	0.00	0.0

Number of simulation years 20

First month of operation JAN

C A L C U L A T E D V A L U E S

Total borehole length 770.0 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal 0.4138 K/(W/m)

Reynolds number 670

Thermal resistance fluid/pipe 0.1768 K/(W/m)

Thermal resistance pipe material 0.0787 K/(W/m)

Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

Borehole therm. res. fluid/ground 0.1008 K/(W/m)

Effective borehole thermal res. 0.1103 K/(W/m)

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	24.39	39.74	-0.00
FEB	17.69	41.04	-0.00
MAR	14.28	42.21	-0.00
APR	10.19	42.21	-0.00
MAY	4.70	42.86	-0.00
JUN	1.97	42.21	-0.00
JUL	1.49	42.60	-0.00
AUG	0.23	41.25	-0.00
SEP	0.15	41.25	-0.00
OCT	11.53	41.74	-0.00
NOV	17.86	41.60	-0.00
DEC	21.91	40.45	-0.00

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	4.12	2.99	2.10	1.28	0.46
FEB	5.90	5.08	4.20	3.39	2.58
MAR	6.91	6.25	5.39	4.59	3.78
APR	8.25	7.71	6.86	6.06	5.26
MAY	10.17	9.72	8.87	8.08	7.29
JUN	11.25	10.82	9.99	9.21	8.42
JUL	11.54	11.10	10.30	9.53	8.74
AUG	12.06	11.60	10.81	10.05	9.27
SEP	12.14	11.68	10.91	10.15	9.38
OCT	8.22	7.79	7.03	6.28	5.51
NOV	5.79	5.39	4.64	3.89	3.13
DEC	4.11	3.73	2.99	2.25	1.49

BASE LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature 0.46 C at end of JAN
 Maximum mean fluid temperature 9.38 C at end of SEP

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	0.63	-0.49	-1.39	-2.21	-3.02
FEB	0.52	-0.30	-1.18	-1.99	-2.80
MAR	1.09	0.43	-0.43	-1.23	-2.04
APR	2.52	1.97	1.12	0.33	-0.47
MAY	3.33	2.88	2.03	1.25	0.45
JUN	4.04	3.61	2.78	2.00	1.21
JUL	4.18	3.74	2.93	2.16	1.37
AUG	4.71	4.25	3.46	2.70	1.92
SEP	4.78	4.32	3.55	2.79	2.01
OCT	1.93	1.49	0.74	-0.02	-0.79
NOV	0.54	0.13	-0.61	-1.36	-2.13
DEC	-0.10	-0.48	-1.22	-1.96	-2.72

PEAK HEAT LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature -3.02 C at end of JAN
 Maximum mean fluid temperature 2.01 C at end of SEP

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	4.12	2.99	2.10	1.28	0.46
FEB	5.90	5.08	4.20	3.39	2.58
MAR	6.91	6.25	5.39	4.59	3.78
APR	8.25	7.71	6.86	6.06	5.26
MAY	10.17	9.72	8.87	8.08	7.29
JUN	11.25	10.82	9.99	9.21	8.42
JUL	11.54	11.10	10.30	9.53	8.74
AUG	12.06	11.60	10.81	10.05	9.27
SEP	12.14	11.68	10.91	10.15	9.38
OCT	8.22	7.79	7.03	6.28	5.51
NOV	5.79	5.39	4.64	3.89	3.13
DEC	4.11	3.73	2.99	2.25	1.49

PEAK COOL LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature 0.46 C at end of JAN
 Maximum mean fluid temperature 9.38 C at end of SEP

***** END OF FILE *****

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 4

Résultats de la simulation des sondes en terre (modèle Lund EED)

**Extraction de chaleur selon les valeurs de l'année 1997,
recharge équivalente aux prélèvements.**

EED version 990211 Date: 2002-1-30 Time: 10.51
by Per Eskilson, Goran Hellstrom, Thomas Blomberg & Burkhard Sanner
Input file: I:\LUND\EED99\LUTRY20.DAT This output file: I:\LUND\EED99\LUTRY20

MEMORY NOTES FOR PROJECT

1:
2:
3:
4:
5:

D E S I G N D A T A

GROUND

Ground thermal conductivity	2.500 W/m, K
Ground heat capacity	2200000 J/m ³ , K
Ground surface temperature	11.00 C
Geothermal heat flux	0.0700 W/m ²

BOREHOLE

Configuration:	7 : 3 x 3, U-configuration
- g-function No.	103
Borehole depth	110.00 m
Borehole spacing	14.50 m
Borehole installation	DOUBLE-U
Borehole diameter	0.130 m
U-pipe diameter	0.032 m
U-pipe thickness	0.0030 m
U-pipe thermal conductivity	0.420 W/m, K
U-pipe shank spacing	0.0860 m
Filling thermal conductivity	1.500 W/m, K
Contact resistance pipe/filling	0.0000 K/ (W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.

Number of multipoles 10

Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.450 W/m, K
Specific heat capacity	3725 J/kg, K
Density	1042 kg/m ³
Viscosity	0.009900 kg/m, s
Freezing point	-17.0 °C
Flow rate per borehole	0.000260 m ³ /s

BASE LOAD

Seasonal performance factor (heating)	999999.00
Seasonal performance factor (cooling)	999999.00

Monthly energy values

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	13.71	0.02	
FEB	9.94	1.62	
MAR	8.03	5.59	
APR	5.73	7.22	
MAY	2.64	11.42	
JUN	1.11	8.89	
JUL	0.83	11.89	
AUG	0.13	12.86	

SEP	0.09	8.14
OCT	6.48	2.84
NOV	10.04	0.40
DEC	12.31	0.26
Total	71.04	71.15

PEAK LOAD

Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	30.60	18.0	20.00	1.0
FEB	31.60	20.0	50.00	1.0
MAR	32.50	10.0	70.00	2.0
APR	32.50	4.0	80.00	2.0
MAY	33.00	4.0	100.00	3.0
JUN	32.50	4.0	100.00	3.0
JUL	32.80	4.0	100.00	3.0
AUG	31.76	4.0	80.00	3.0
SEP	31.76	4.0	70.00	3.0
OCT	32.14	10.0	60.00	2.0
NOV	32.03	15.0	30.00	1.0
DEC	31.15	18.0	20.00	1.0

Number of simulation years 20

First month of operation JAN

C A L C U L A T E D V A L U E S

Total borehole length 770.0 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal	0.4138 K/(W/m)
Reynolds number	670
Thermal resistance fluid/pipe	0.1768 K/(W/m)
Thermal resistance pipe material	0.0787 K/(W/m)
Contact resistance pipe/filling	0.0000 K/(W/m)
Borehole therm. res. fluid/ground	0.1008 K/(W/m)
Effective borehole thermal res.	0.1103 K/(W/m)

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	24.36	39.74	-25.97
FEB	14.80	41.04	-64.94
MAR	4.34	42.21	-90.91
APR	-2.66	42.21	-103.90
MAY	-15.62	42.86	-129.87
JUN	-13.85	42.21	-129.87
JUL	-19.66	42.60	-129.87
AUG	-22.64	41.25	-103.90
SEP	-14.32	41.25	-90.91
OCT	6.48	41.74	-77.92
NOV	17.14	41.60	-38.96
DEC	21.44	40.45	-25.97

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	4.13	3.62	3.63	3.63	3.64
FEB	6.90	6.63	6.64	6.64	6.65
MAR	10.40	10.27	10.27	10.28	10.28
APR	12.94	12.92	12.91	12.92	12.92
MAY	17.62	17.68	17.66	17.67	17.67
JUN	17.44	17.49	17.48	17.49	17.49
JUL	19.66	19.68	19.68	19.68	19.69
AUG	20.97	20.94	20.95	20.95	20.95
SEP	18.32	18.27	18.28	18.28	18.29
OCT	11.08	11.05	11.07	11.06	11.06
NOV	6.96	6.94	6.95	6.95	6.95
DEC	5.00	5.00	5.01	5.01	5.01

BASE LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature 3.64 C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 20.95 C at end of AUG

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	0.64	0.13	0.14	0.14	0.14
FEB	0.85	0.58	0.59	0.60	0.60
MAR	2.51	2.38	2.38	2.38	2.39
APR	4.90	4.88	4.87	4.88	4.88
MAY	7.14	7.20	7.18	7.19	7.19
JUN	7.39	7.45	7.43	7.44	7.44
JUL	8.50	8.52	8.52	8.53	8.53
AUG	9.52	9.49	9.50	9.50	9.50
SEP	8.36	8.32	8.33	8.33	8.33
OCT	3.73	3.70	3.72	3.72	3.72
NOV	1.55	1.53	1.54	1.54	1.54
DEC	0.68	0.68	0.69	0.69	0.69

PEAK HEAT LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature 0.14 C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 9.50 C at end of AUG

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 20
JAN	10.93	10.42	10.43	10.43	10.44
FEB	17.67	17.40	17.41	17.41	17.42
MAR	25.37	25.23	25.24	25.24	25.24
APR	28.85	28.83	28.82	28.82	28.83
MAY	37.05	37.11	37.09	37.10	37.10
JUN	37.16	37.22	37.21	37.22	37.22
JUL	38.40	38.42	38.42	38.42	38.43
AUG	34.78	34.76	34.76	34.77	34.77
SEP	31.34	31.30	31.31	31.31	31.31
OCT	24.34	24.31	24.33	24.33	24.33
NOV	14.53	14.52	14.53	14.53	14.53
DEC	11.41	11.41	11.42	11.41	11.41

PEAK COOL. LOAD: YEAR 20

Minimum mean fluid temperature 10.44 C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 38.43 C at end of JUL.

***** END OF FILE *****

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 5

**Prévision des consommations d'énergie et d'électricité
de l'immeuble établie en 1993.**

IMMEUBLE GRAND-PONT 6 A LUTRY

PREVISION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES DE LA POMPE A CHALEUR ET DES POMPES DE CIRCULATION

1. BILAN ENERGETIQUE

Pertes par l'enveloppe :	110'000 kWh
Production eau chaude sanitaire :	35'000 kWh
Gains internes et solaire passif :	37'000 kWh
Production capteurs solaires ECS :	14'000 kWh

2. PUSSANCES ELECTRIQUES

A) Pompe à chaleur, aux conditions SOW45 :

Petite vitesse : $P_{\text{thermique}} = 25 \text{ kW}$
 $P_{\text{électrique}} = 8 \text{ kW}$

Grande vitesse : $P_{\text{thermique}} = 49.5 \text{ kW}$
 $P_{\text{électrique}} = 15 \text{ kW}$

B) Pompes de circulation :

- Circuit absorbeurs : 0.35 kW
- Circuit sondes en terre : 0.4 kW

BATIMENT GRAND PONT 6 A LUTRY

PROPRIETAIRE : DANIEL BUCHE A LUTRY

INVESTISSEMENT

FONCTIONNEMENT

Entretien de la PAC Frs/an 700 -

Achat d'électricité

COP : 3
Prix : 20 cts/kWh

FRAIS FINANCIERS

Intérêt 5 %, amortissement 15 ans
Annuités 9,63 % Frs/cap. 22'700

Prix de revient de l'énergie 0,32 €/kWh

Variante dans le cas où l'électricité va tout

15 cts/kWh 0,30 Frs/kWh

3. TEMPS DE MARCHE

A) Pompe à chaleur

Base : - 80 % de la chaleur de chauffage est produite par la PAC à petite vitesse

- L'eau chaude sanitaire est produite par la PAC à grande vitesse

$$\begin{aligned} Q_{\text{chauffage}} &= \text{Pertes par l'enveloppe - gains internes et solaire passif} \\ &= 110'000 \text{ kWh} - 37'000 \text{ kWh} \\ &= 74'000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{ECS}} &= \text{Productions ECS - production capteurs} \\ &= 35'000 \text{ kWh} - 14'000 \text{ kWh} \\ &= 21'000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Heures de marche petite vitesse :} & \quad \frac{80\% \text{ de } Q_{\text{chauffage}}}{\text{Puissance PAC petite vitesse}} \\ (\text{heures PV}) & \quad = \frac{0.8 \times 74'000 \text{ kWh}}{25 \text{ kW}} \\ & \quad = 2'368 \text{ heures} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Heures de marche grande vitesse :} & \quad \frac{(20\% \text{ de } Q_{\text{chauffage}}) + Q_{\text{ECS}}}{\text{Puissance PAC grande vitesse}} \\ (\text{heures GV}) & \quad = \frac{(0.2 \times 74'000) + 21'000}{49.5} \\ & \quad = 723 \text{ heures} \end{aligned}$$

B) Pompes de circulation

- Circuit absorbeurs : 80 % des heures d'ensoleillement des mois de mai à septembre
= 900 heures

Il est admis que pendant la période de chauffage, les absorbeurs travaillent en parallèle avec les sondes. Dans ce cas, la pompe de circulation du circuit absorbeur est arrêtée. La pompe des sondes assure la circulation dans les deux circuits.

- Circuit sondes en terre : heures de marche total PAC
= 2'368 + 723 = 3'091 heures

4. CONSOMMATION D'ELECTRICITE

A) Pompe à chaleur :

$$\begin{aligned} \text{Qél. PAC} &= (\text{heures PV} \times \text{puiss. él. PV}) + (\text{heures GV} \times \text{puiss. él. GV}) \\ &= (2'368 \text{ h} \times 8 \text{ kW}) + 723 \text{ h} \times 15 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Qél. PAC} = \underline{29'789 \text{ kWh}}$$

B) Pompes de circulation :

- Circuit absorbeurs : Qél. circul. abs. = heures abs. x puiss. abs.

$$= 900 \text{ h} \times 0.35 \text{ kW}$$

$$\text{Qél. circul. abs.} = \underline{315 \text{ kWh}}$$

- Circuit sondes en terre : Qél. circul. sondes = heures sondes x puiss. sondes

$$= 3'091 \text{ h} \times 0.4 \text{ kW}$$

$$\text{Qél. circul. sondes} = \underline{1'236 \text{ kWh}}$$

Montezillon, le 10 novembre 1993

Buche3.doc

Bernard Matthey
Ingénieurs-Conseils SA

CH - 2205 Montezillon

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 6

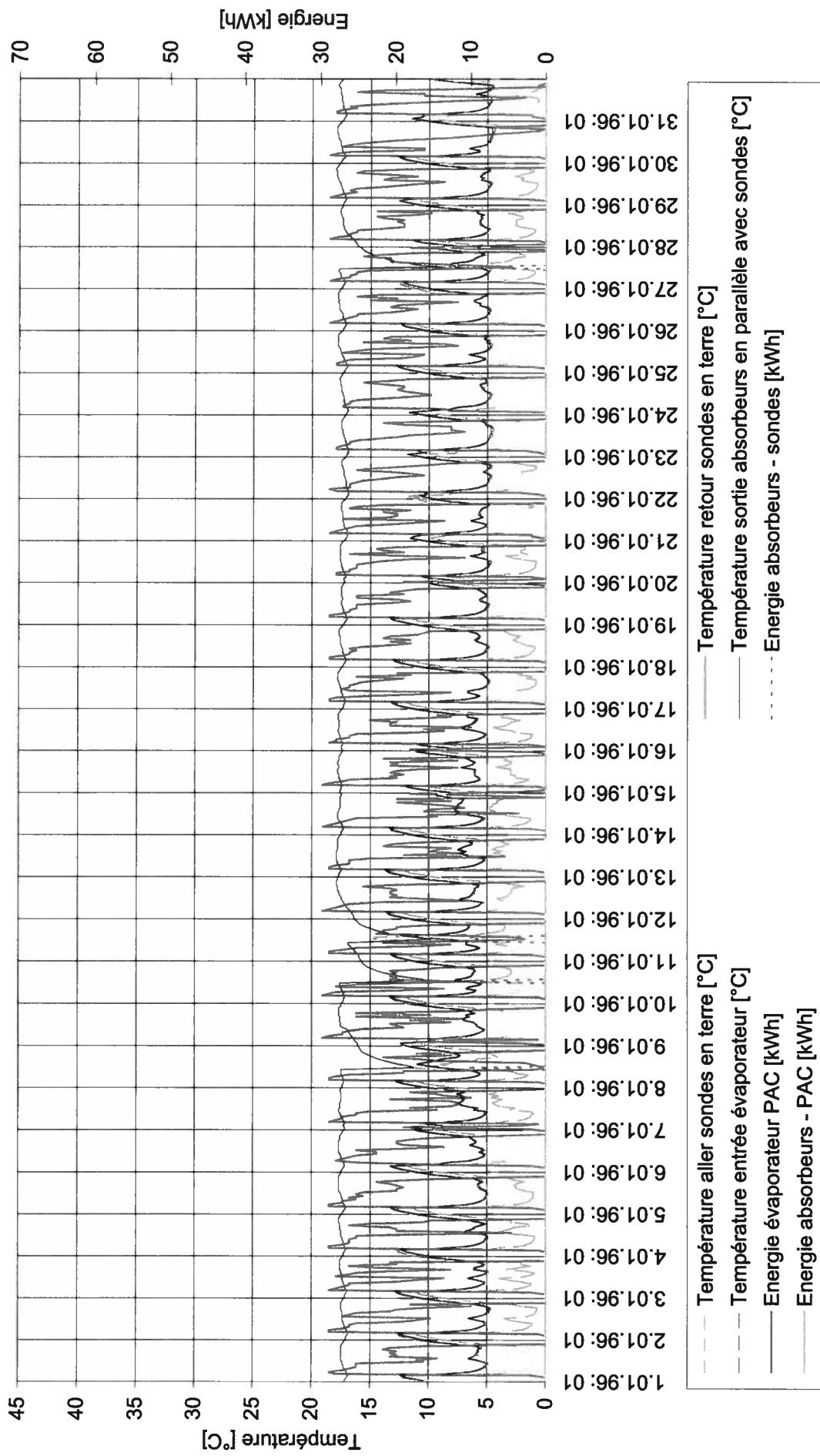
**Température et énergie à l'entrée et à la sortie des sondes en terre
(770 m) et des absorbeurs solaires (80m²).**

Note : les résultats sont représentés avec un pas de temps horaire (1 kWh/h = 1 kW)

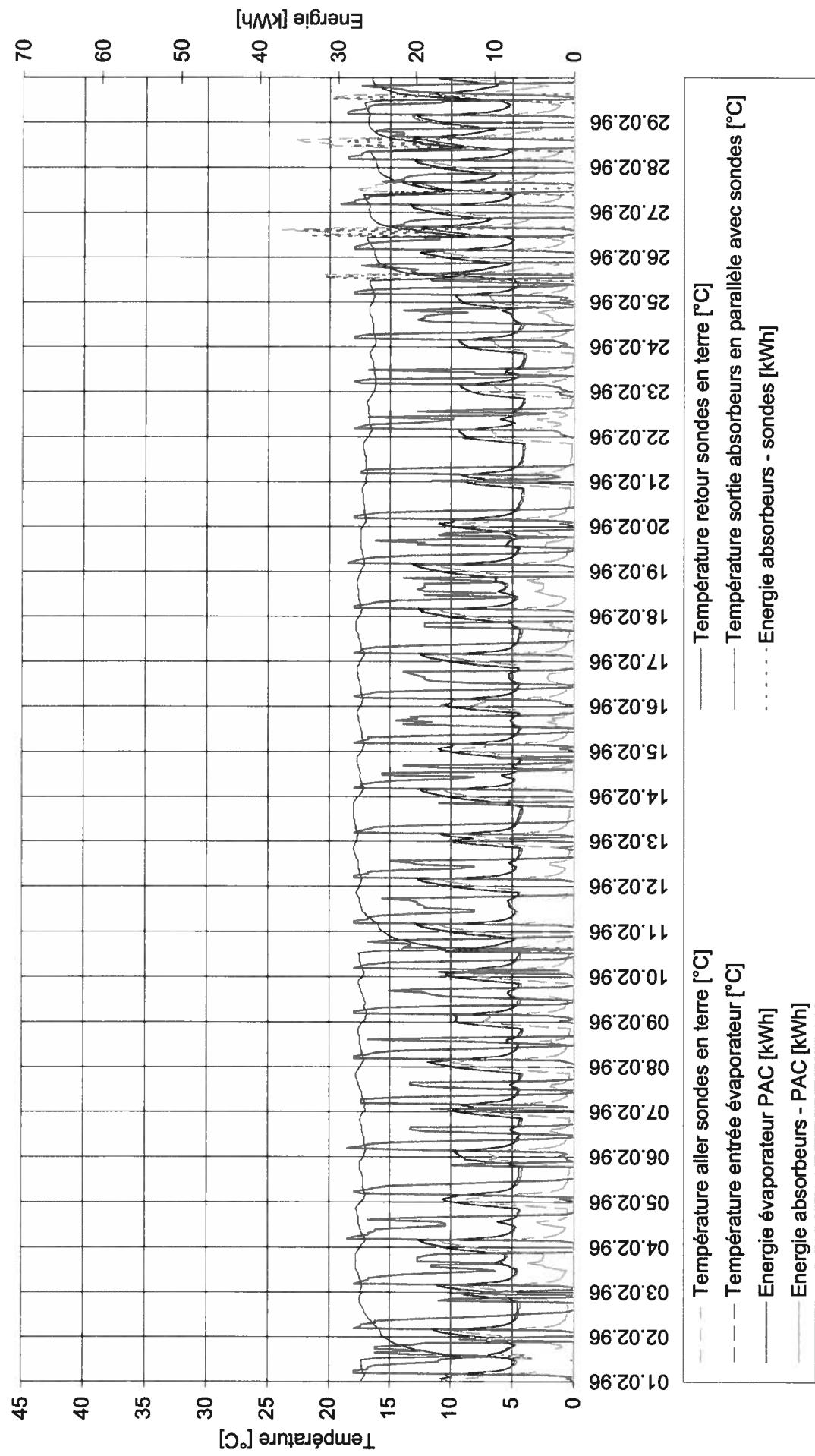
Une copie couleur des graphiques est disponible auprès de l'auteur du rapport.

Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry

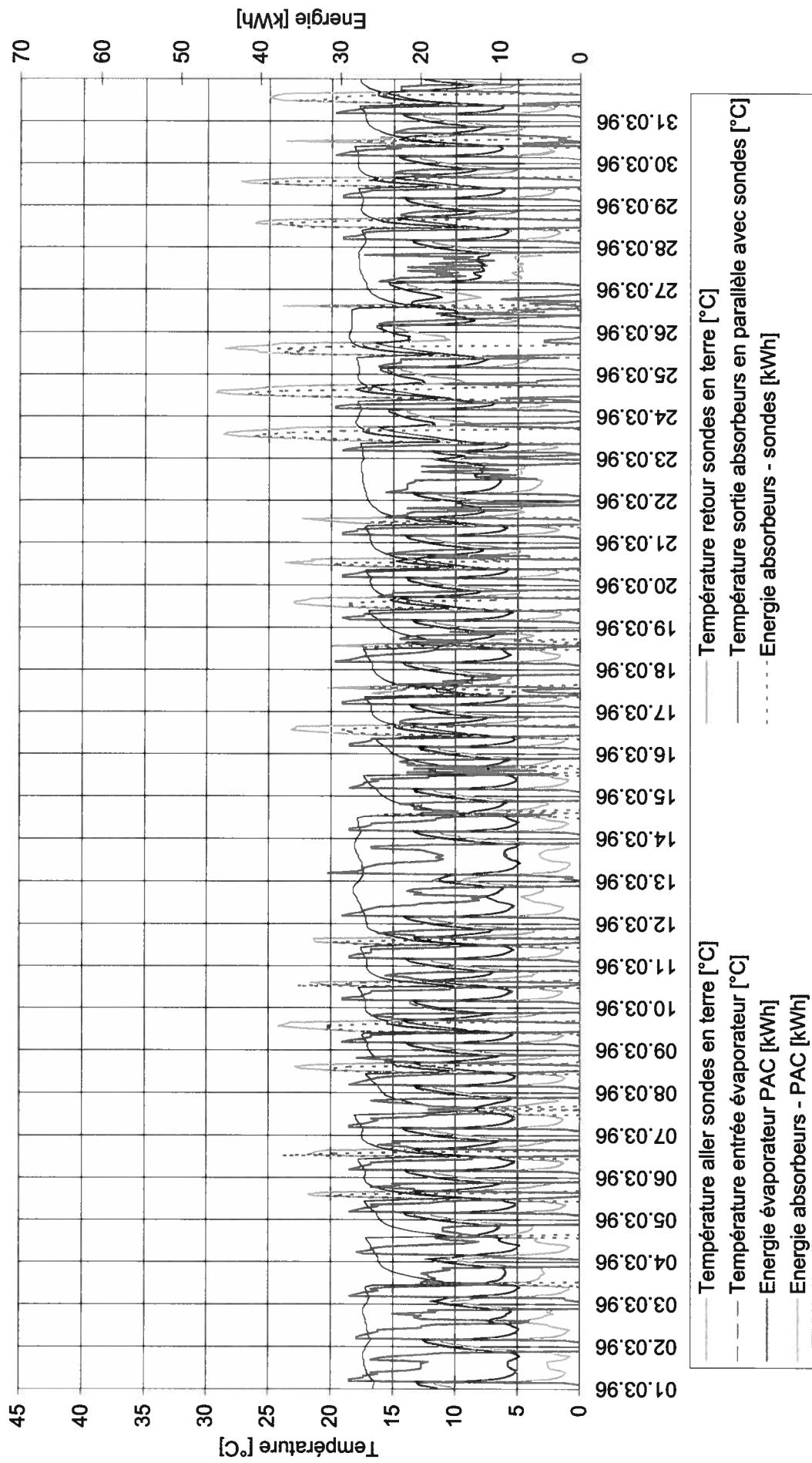
Production des sondes en terre et
Mois de janvier 1996



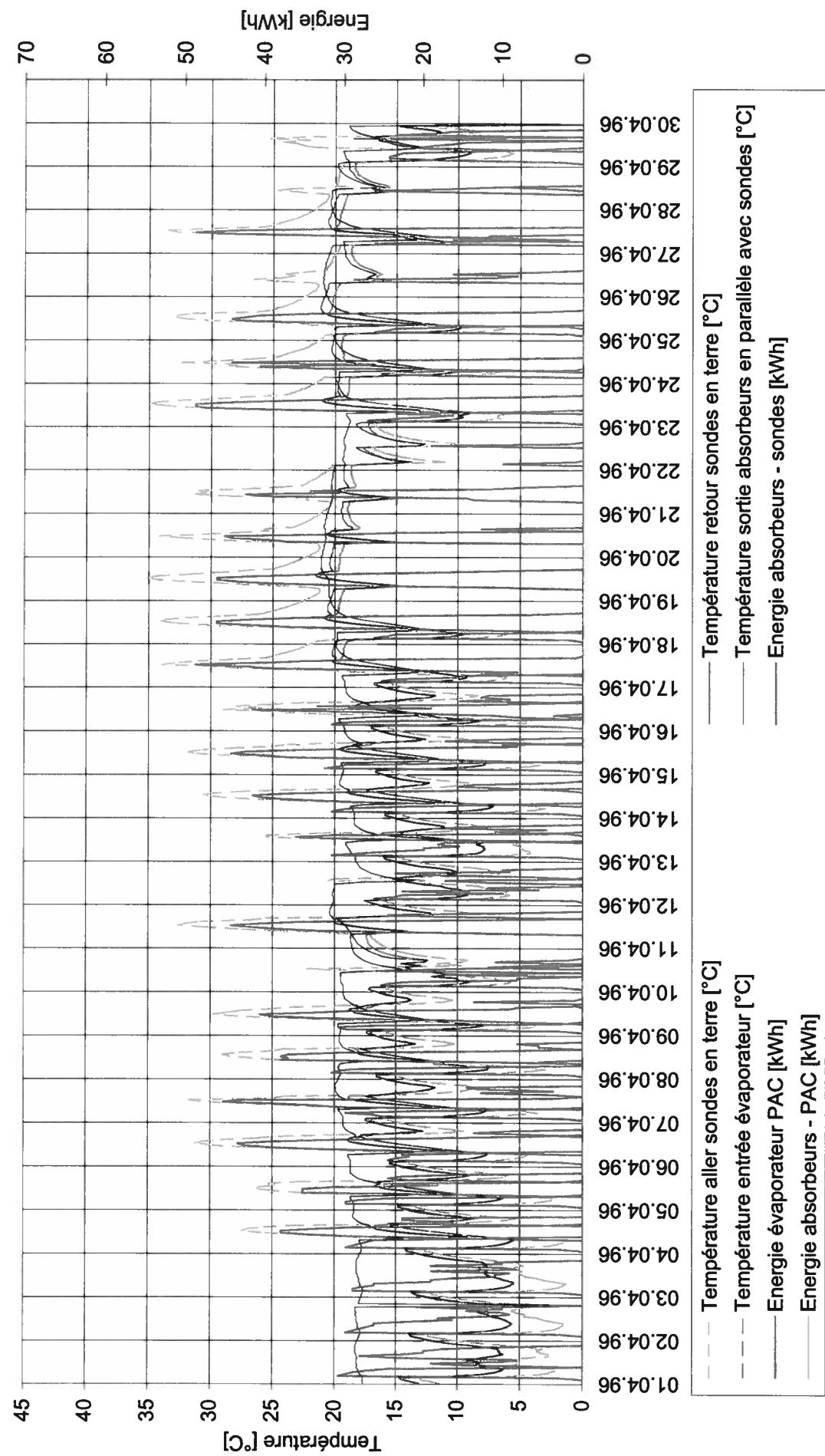
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de février 1996



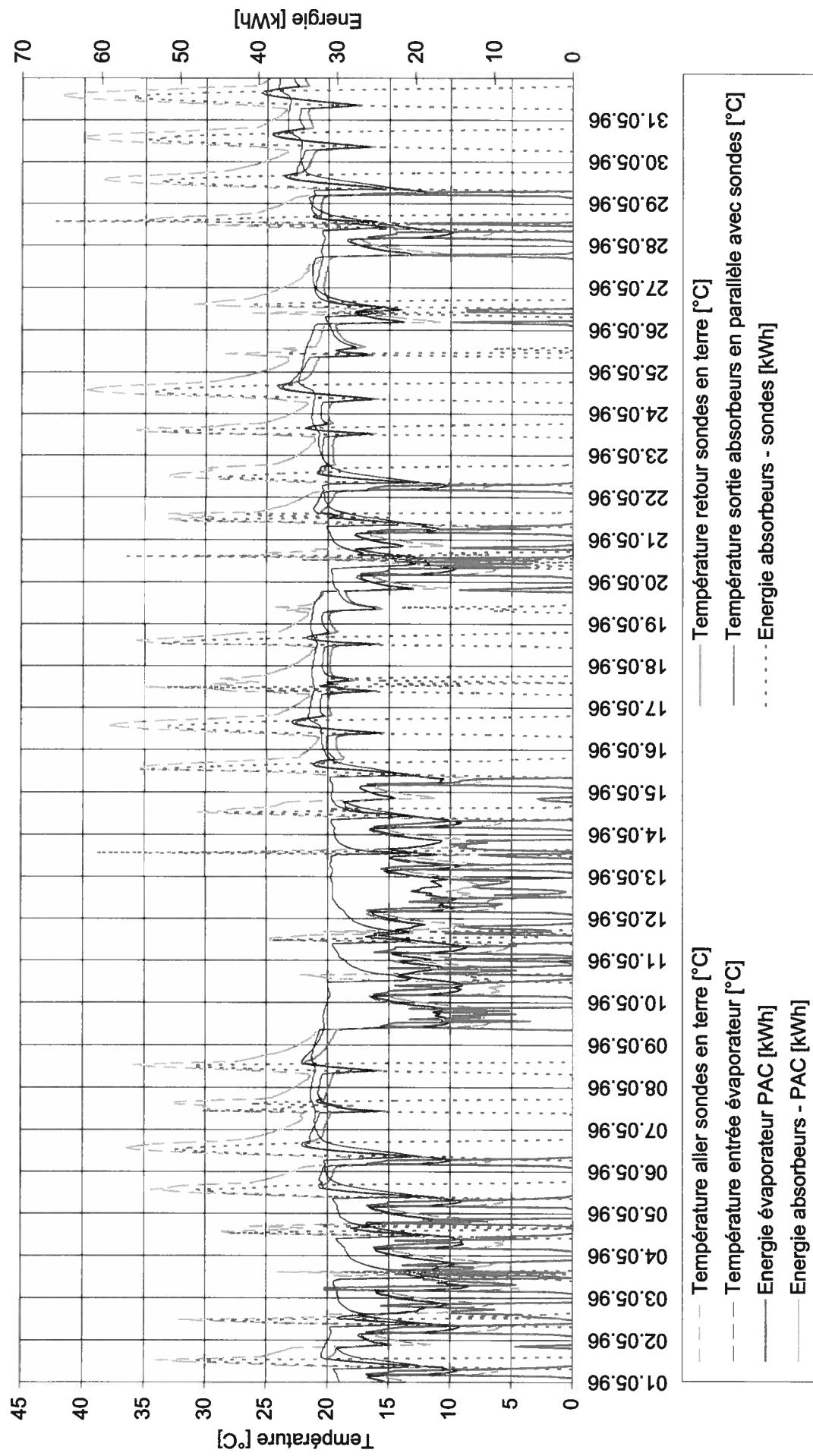
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mars 1996



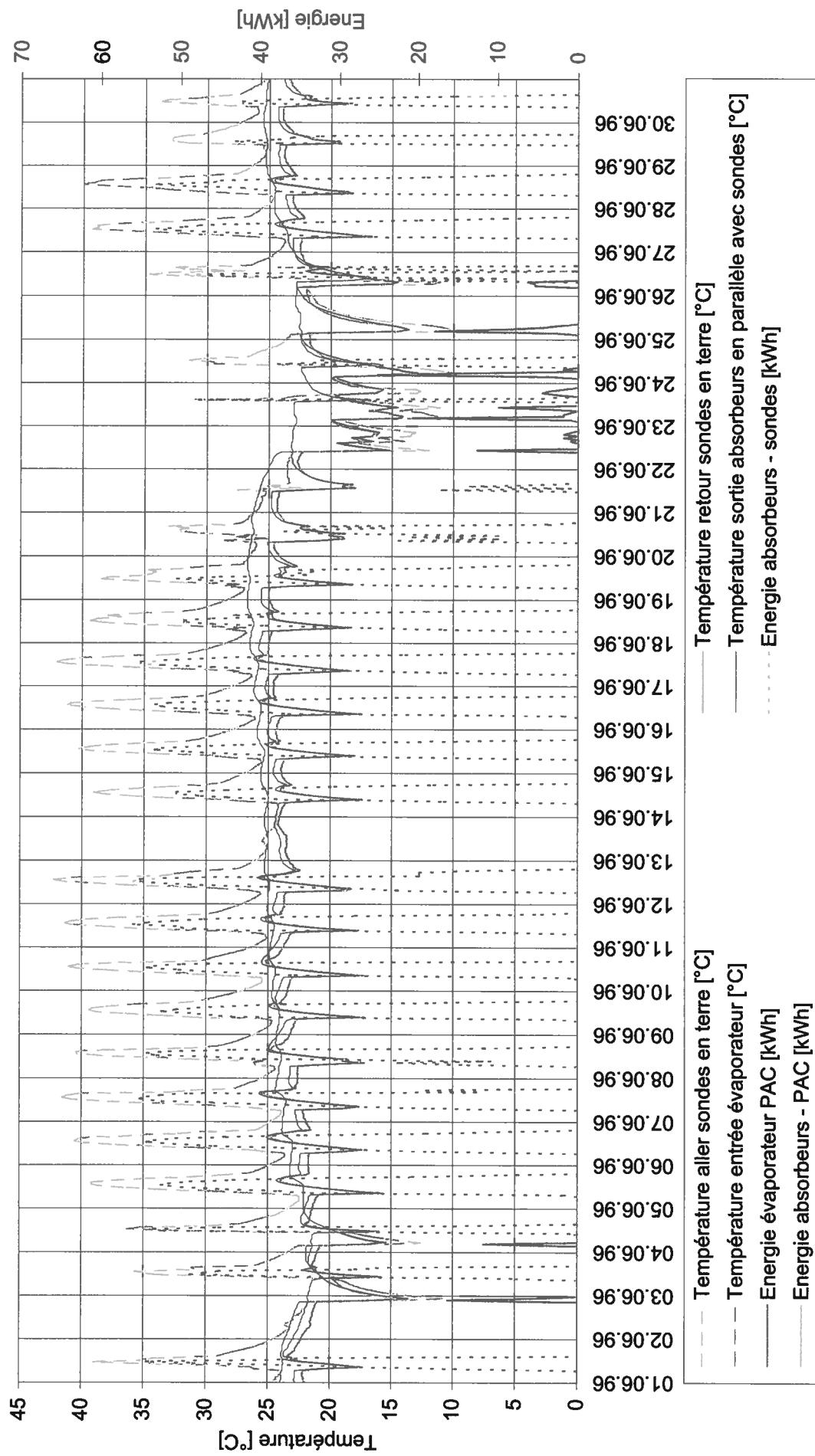
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois d'avril 1996



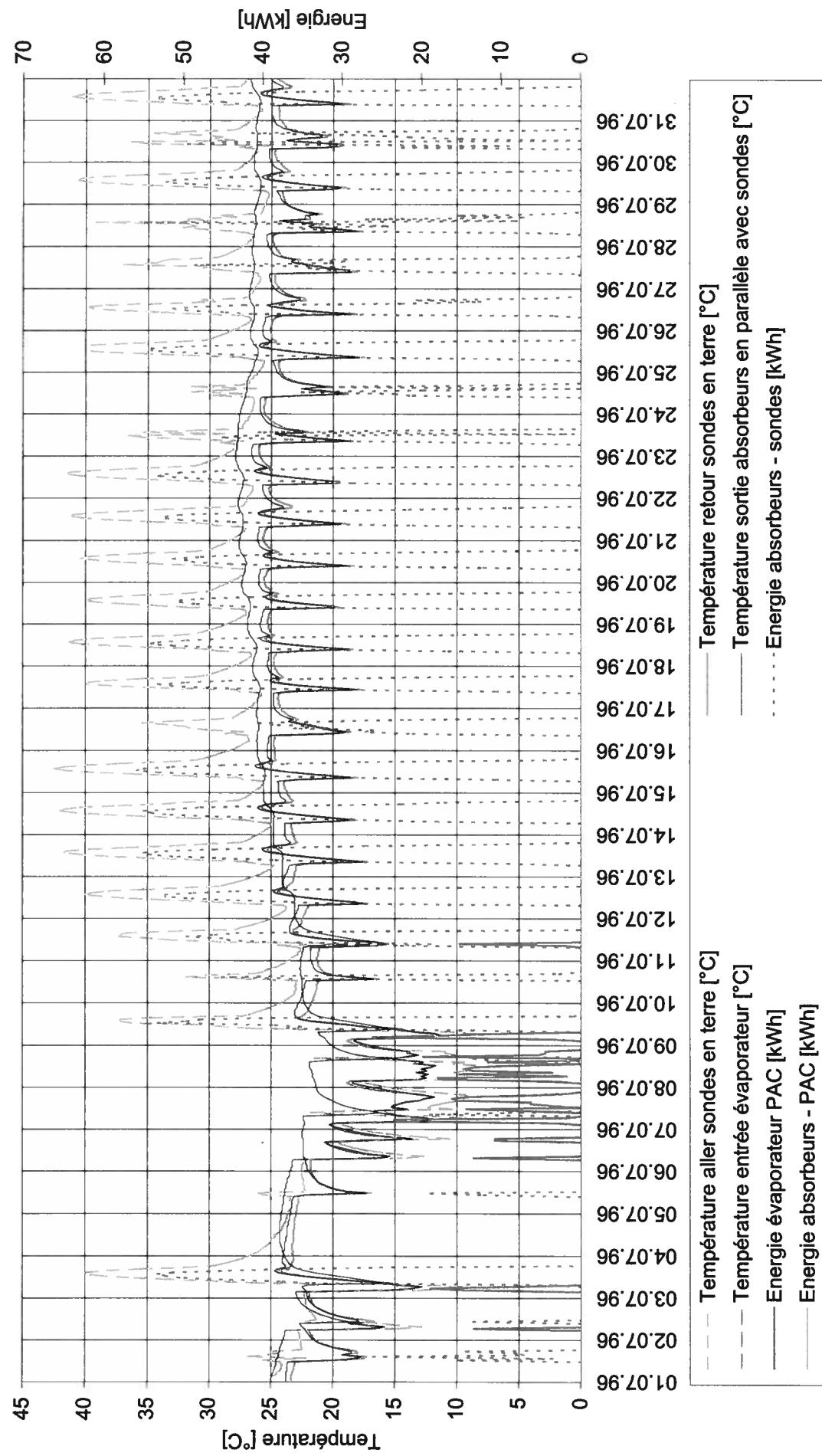
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mai 1996



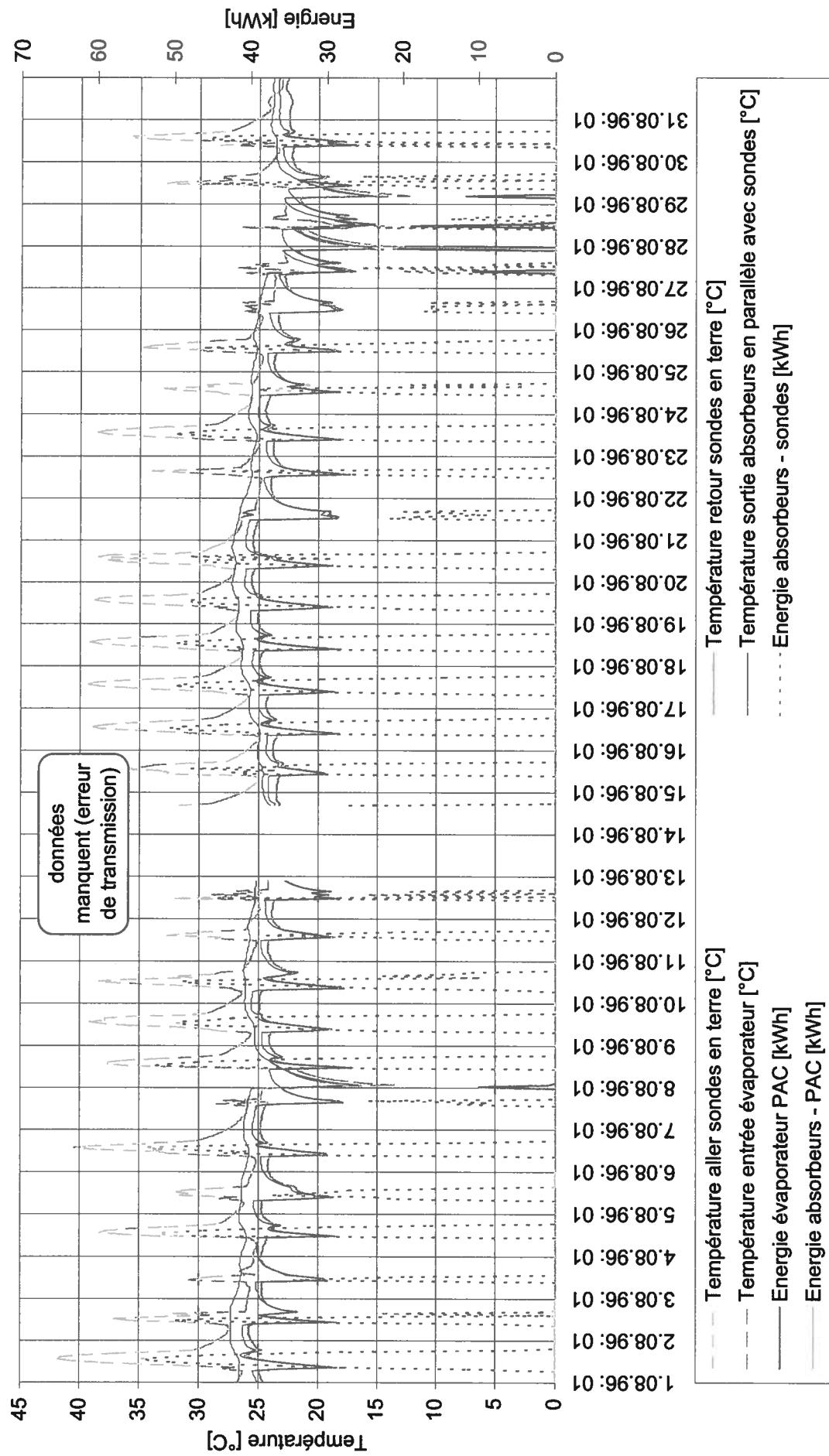
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juin 1996



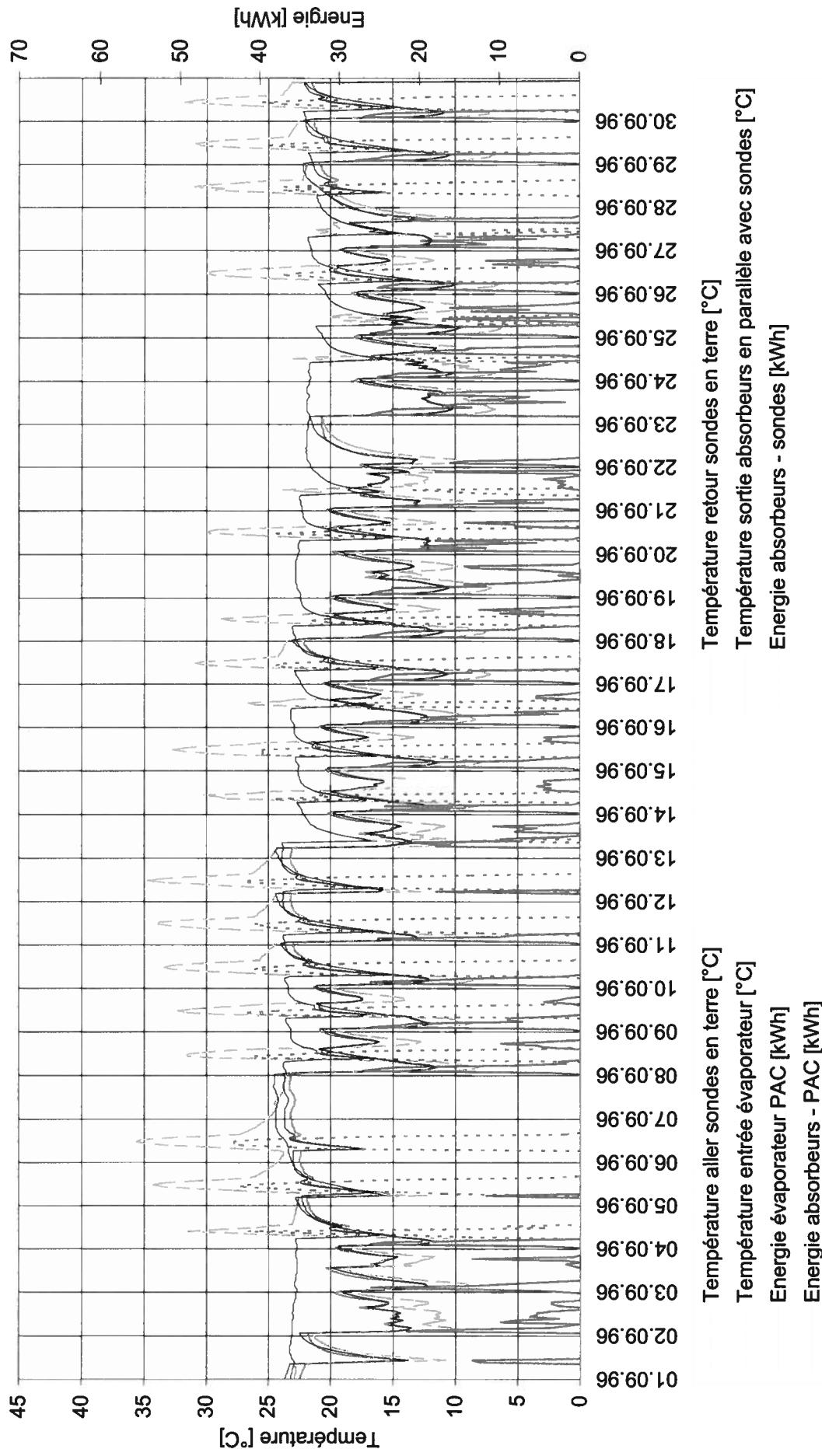
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juillet 1996



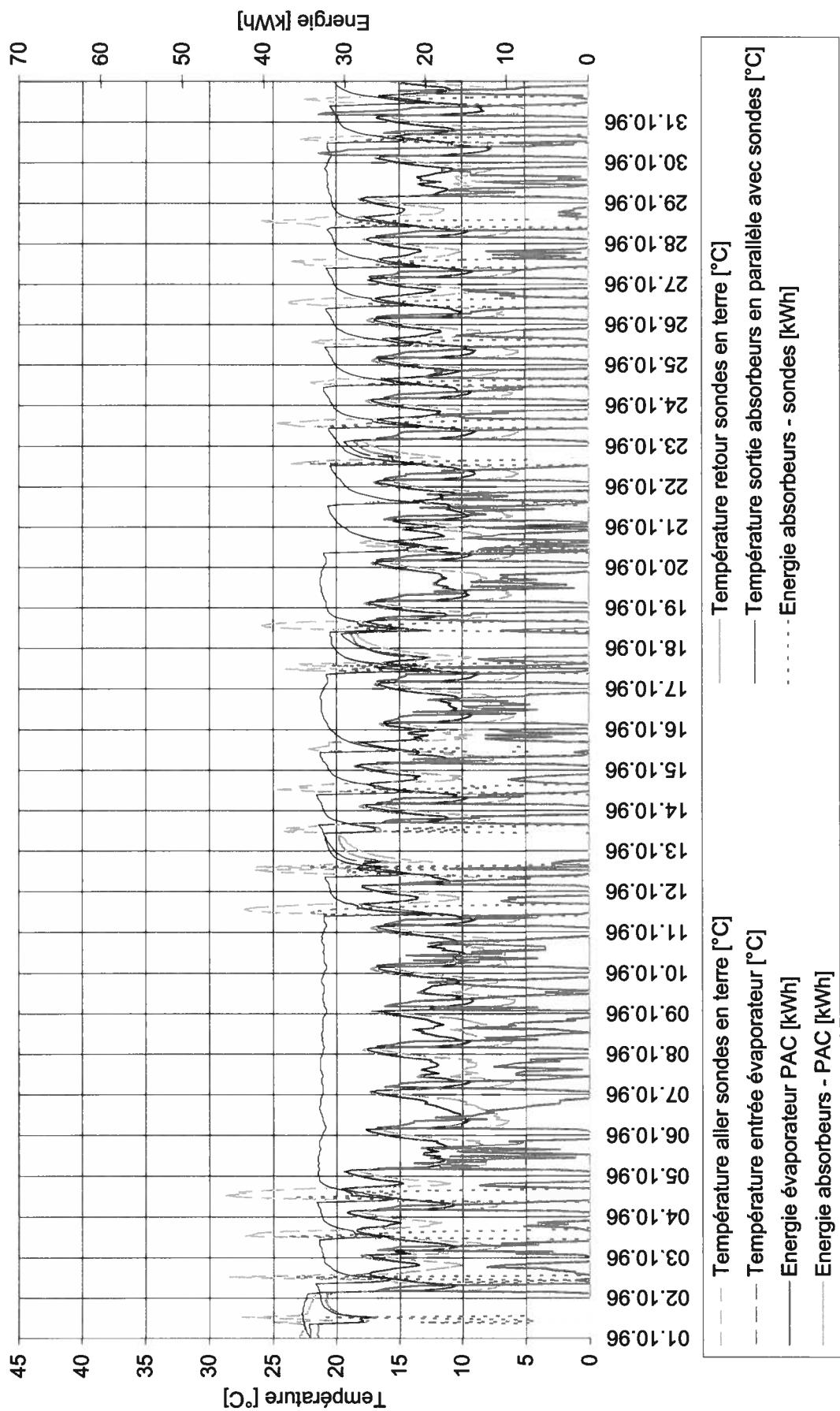
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois d'août 1996



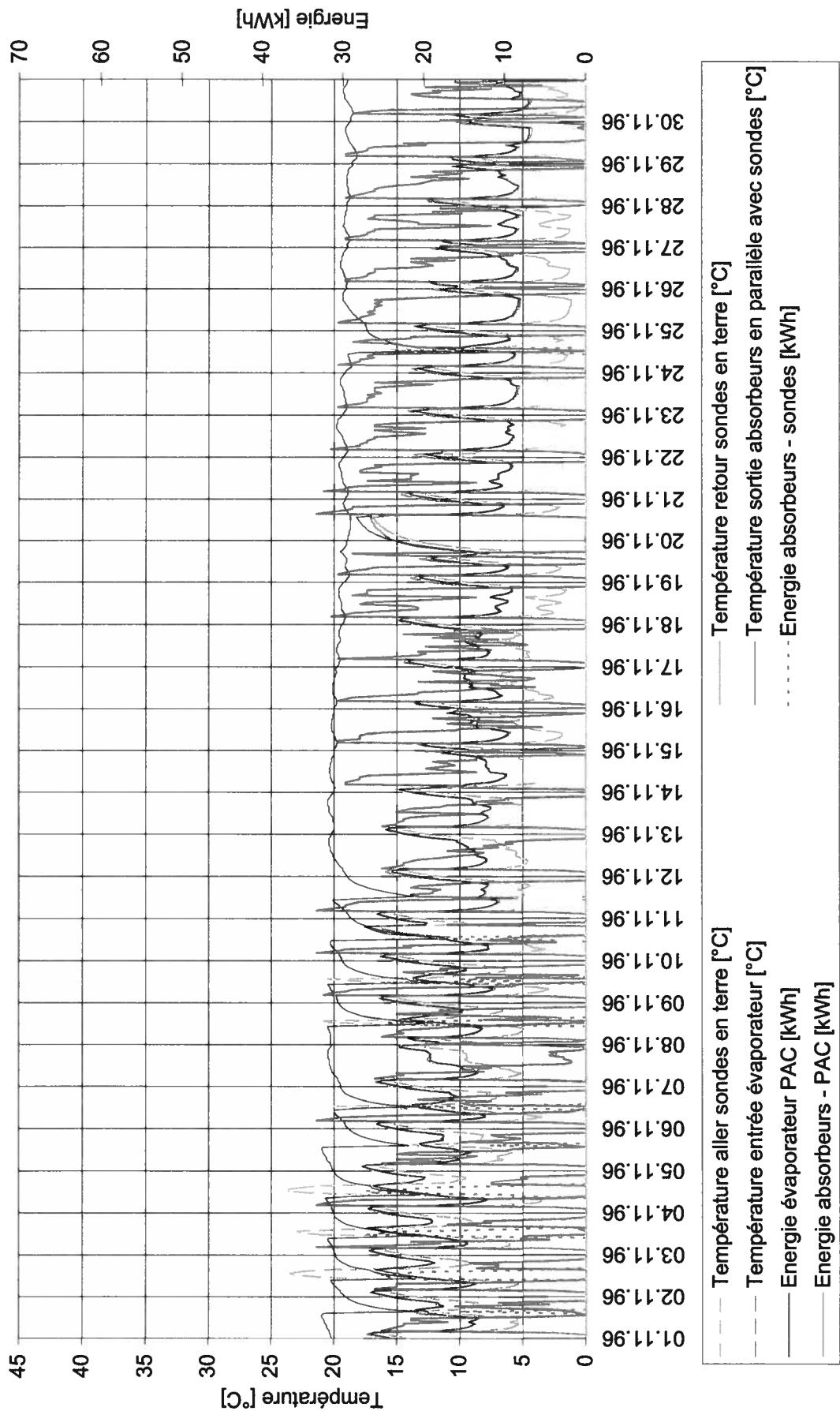
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides calporteurs
Mois de septembre 1996



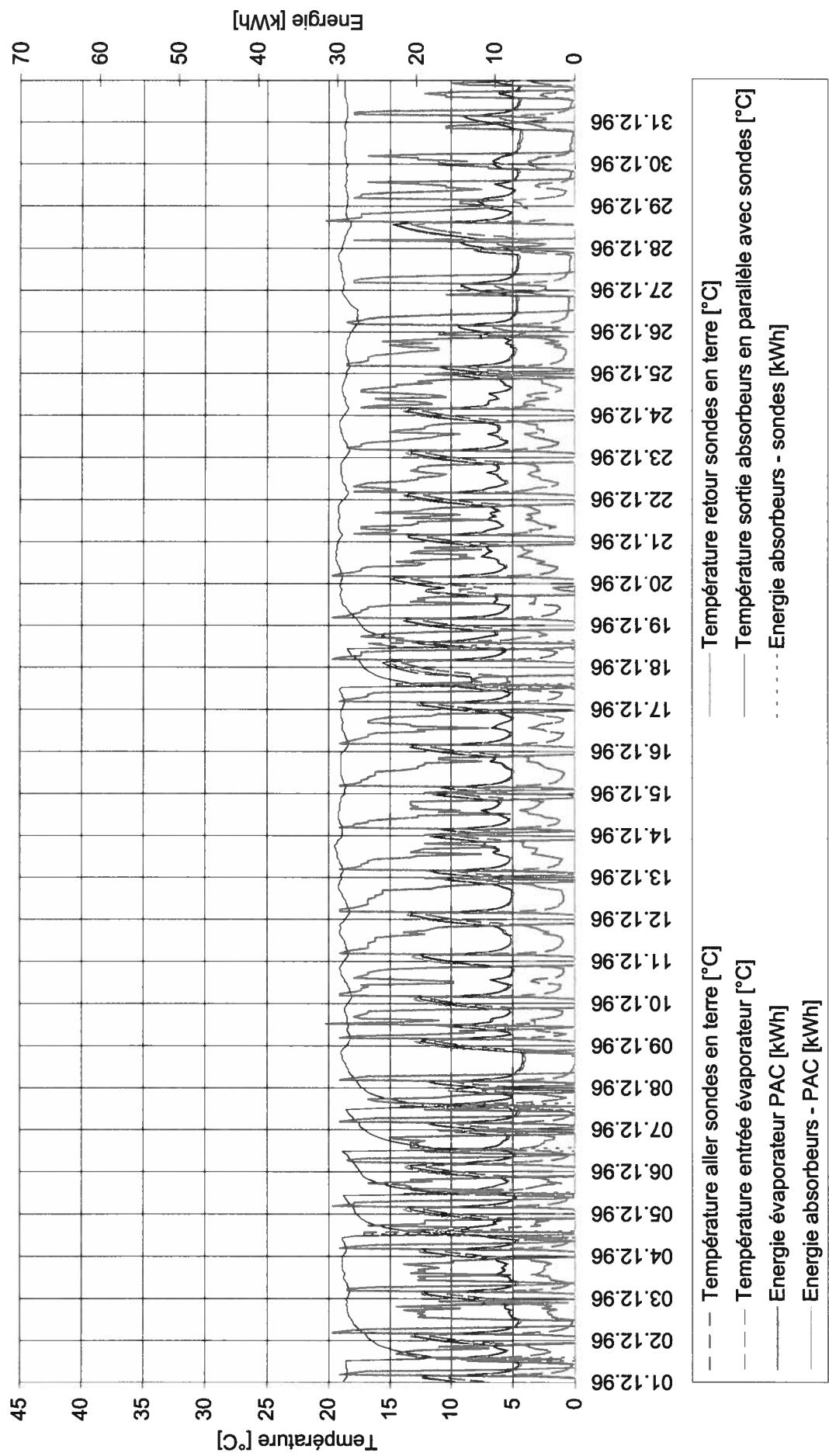
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois d'octobre 1996



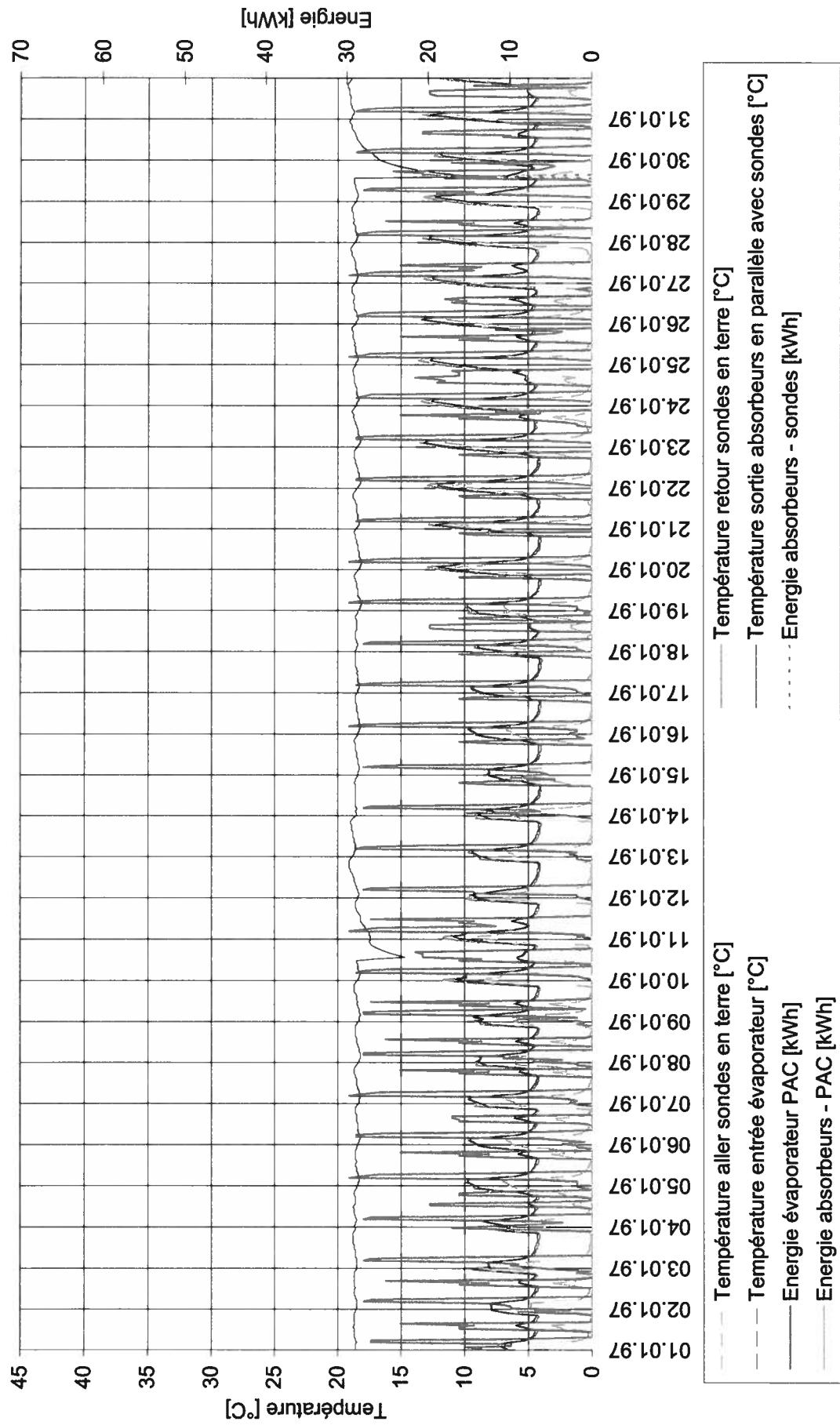
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de novembre 1996



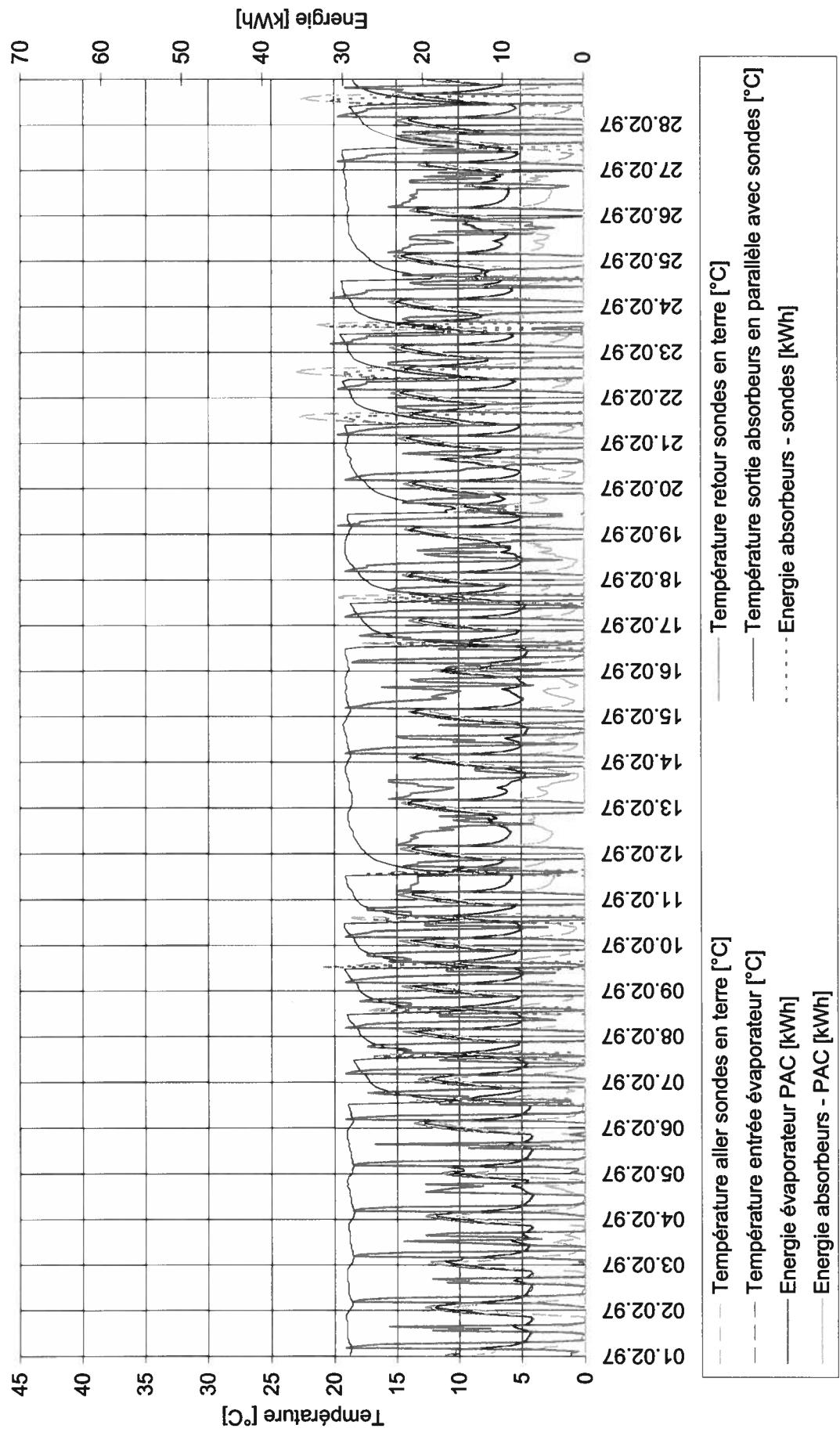
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de décembre 1996



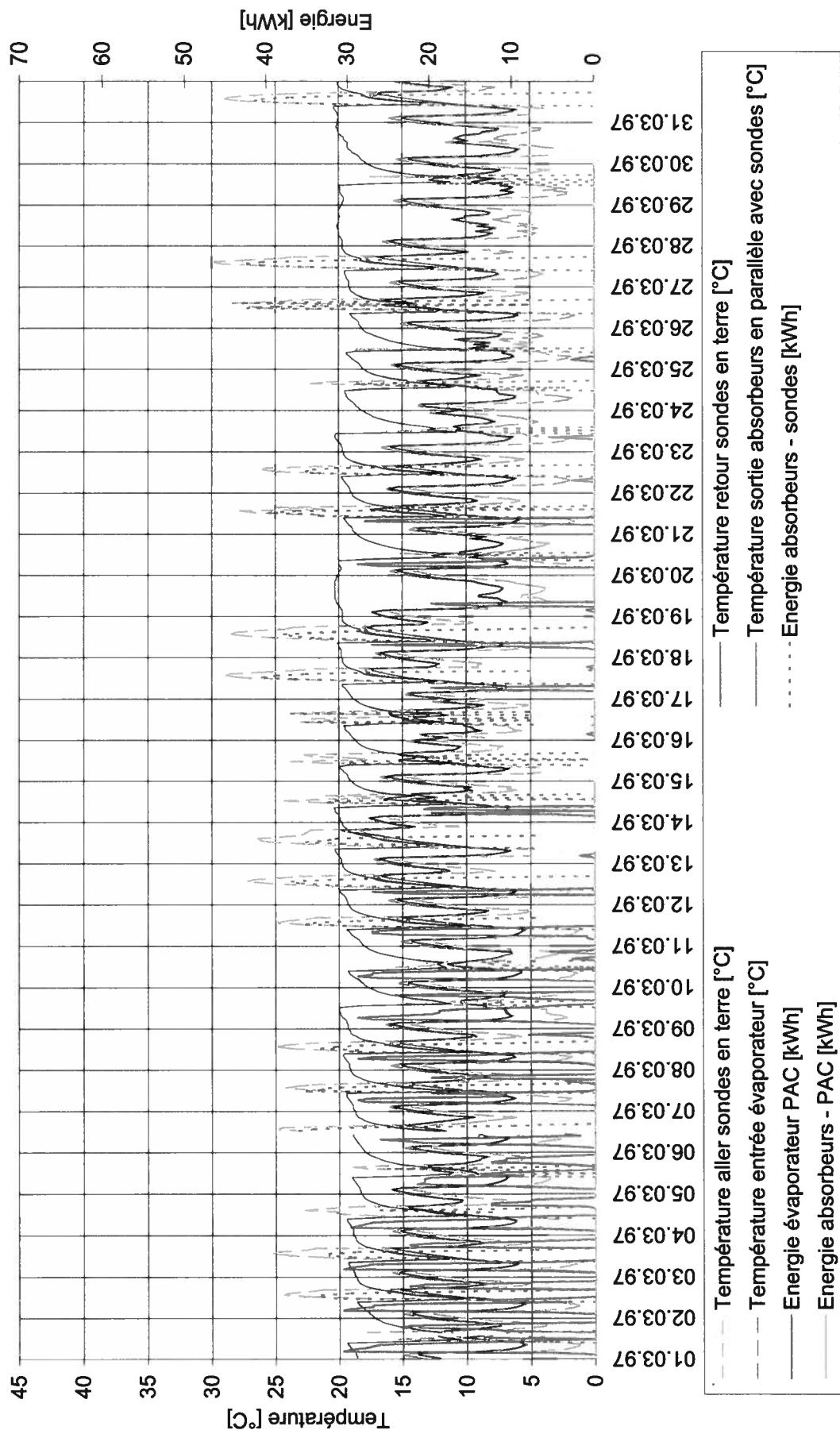
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de janvier 1997



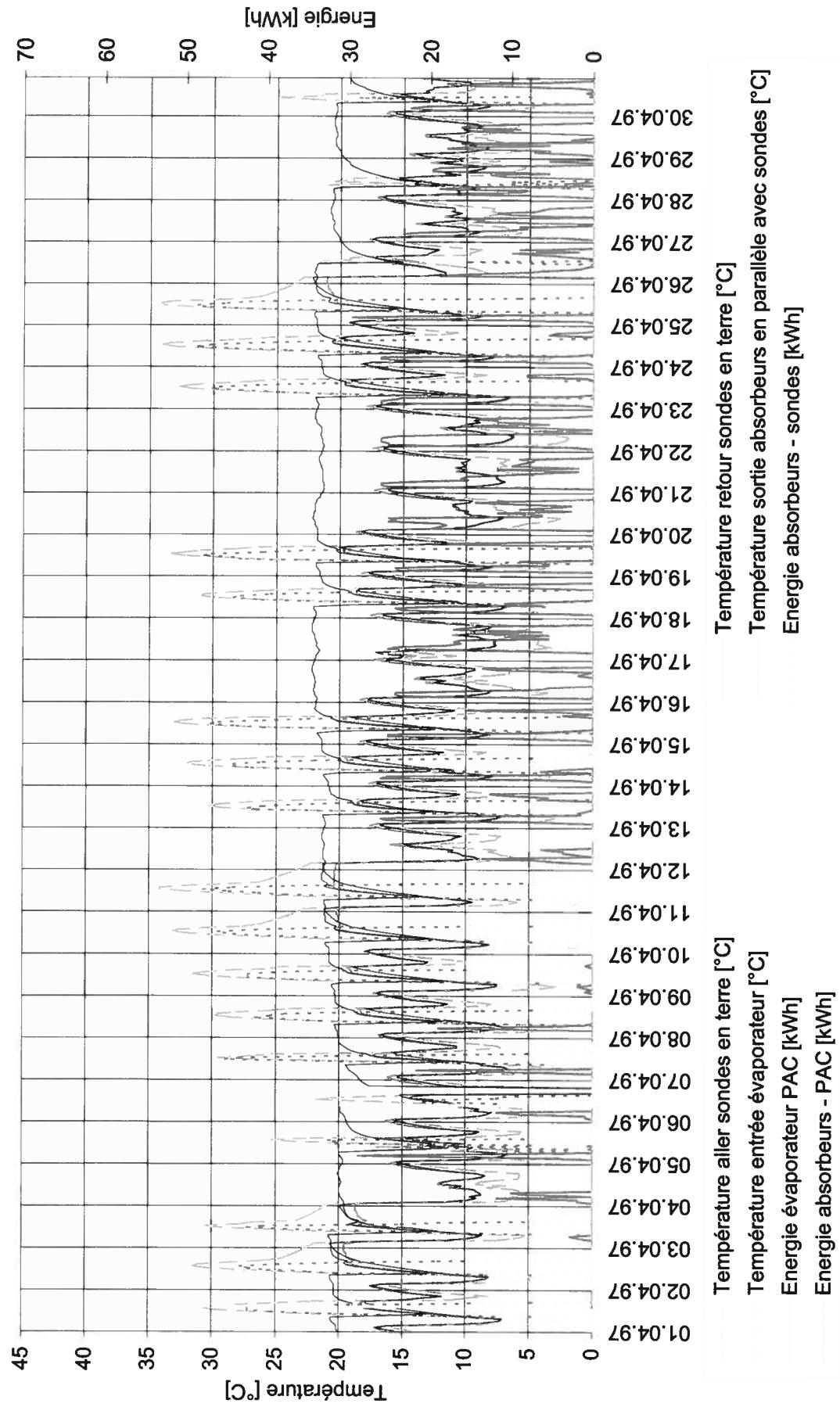
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de février 1997



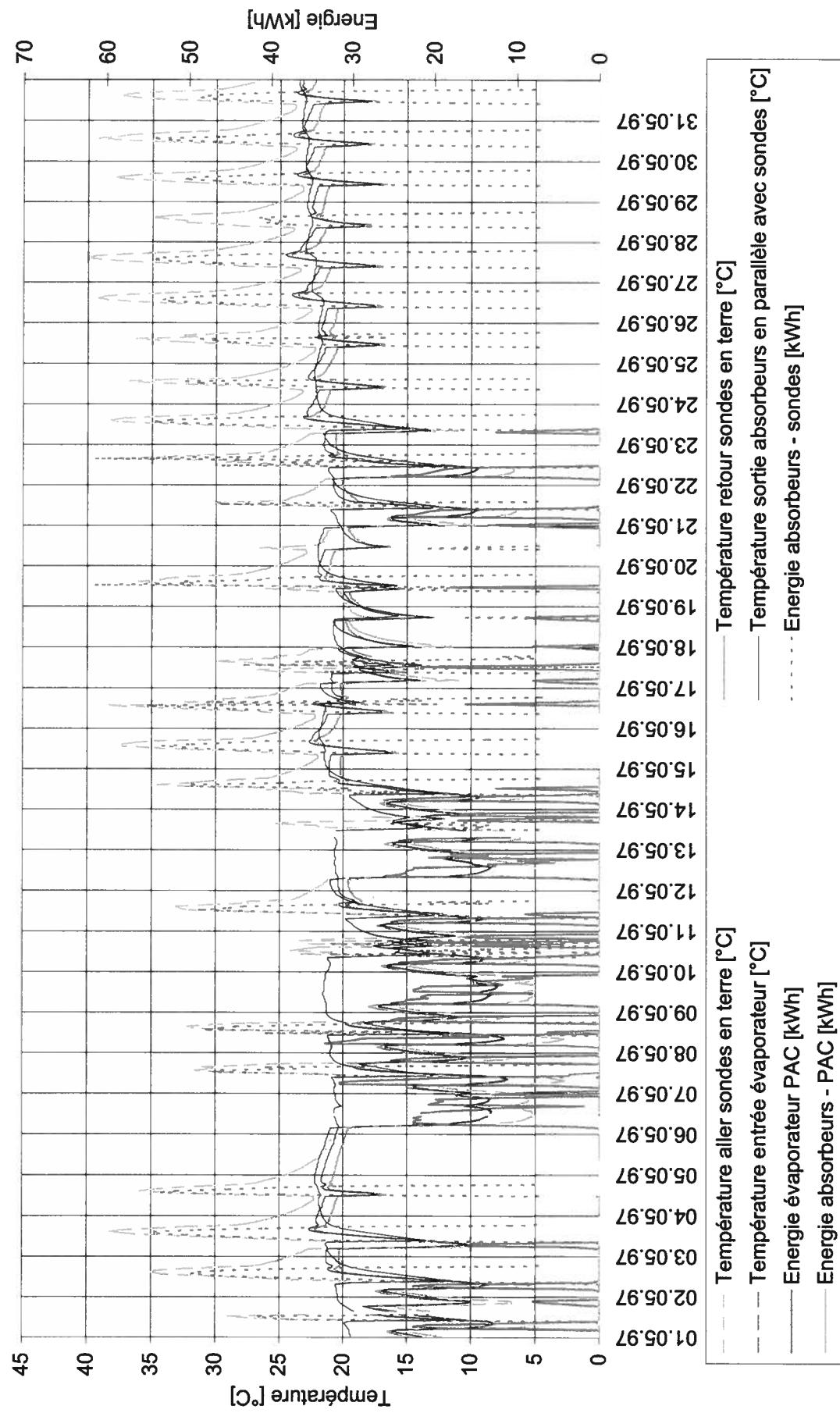
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mars 1997



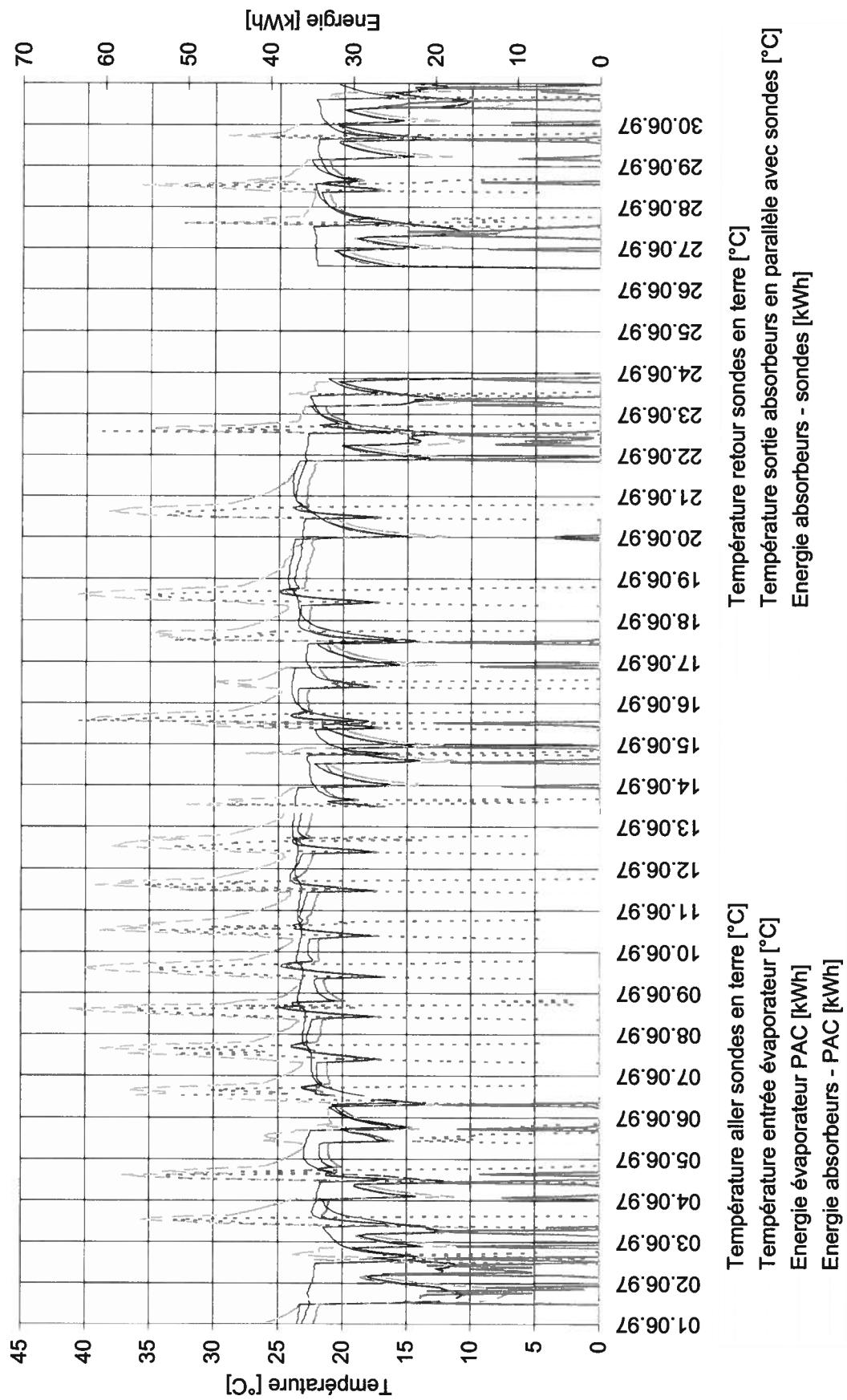
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois d'avril 1997



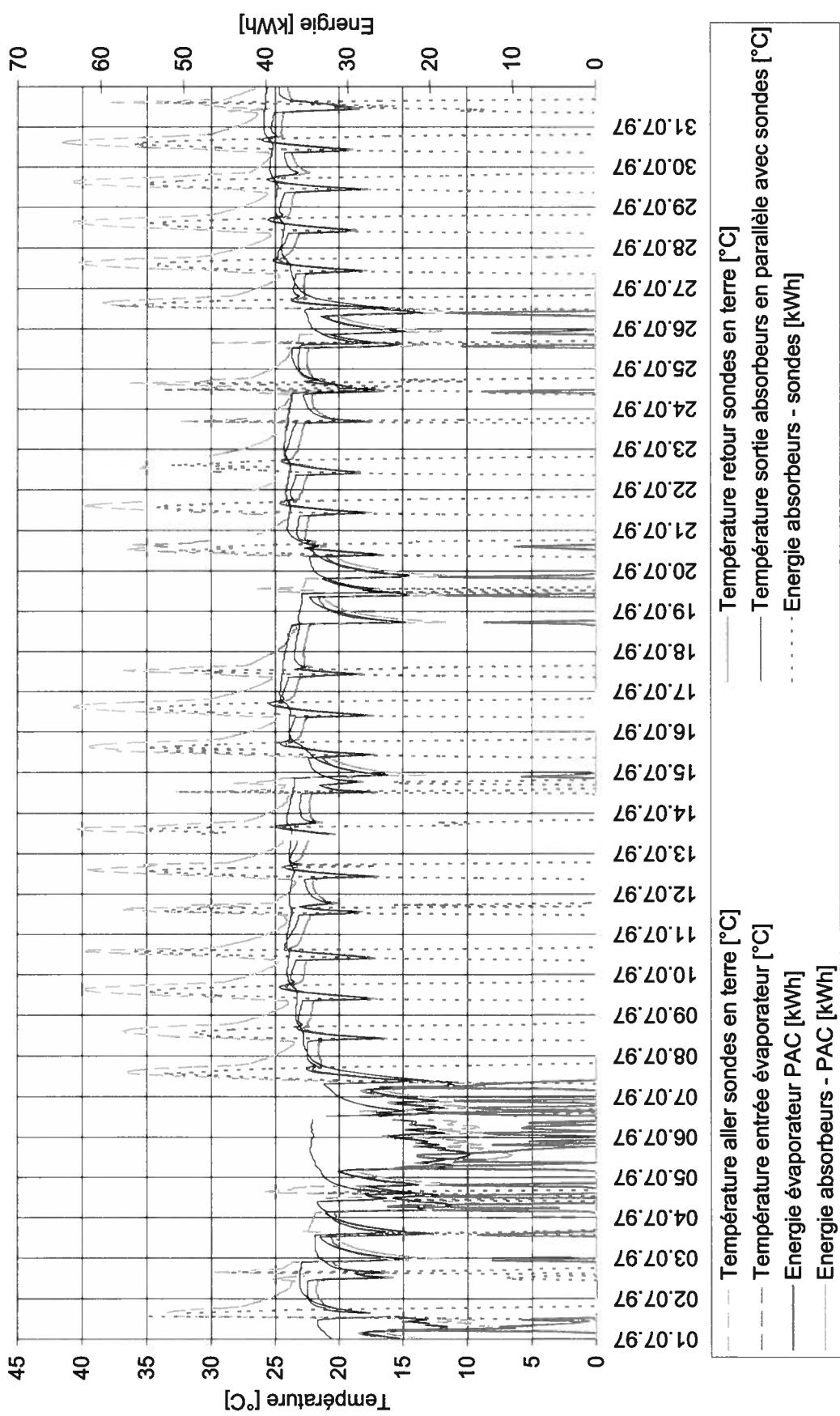
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mai 1997



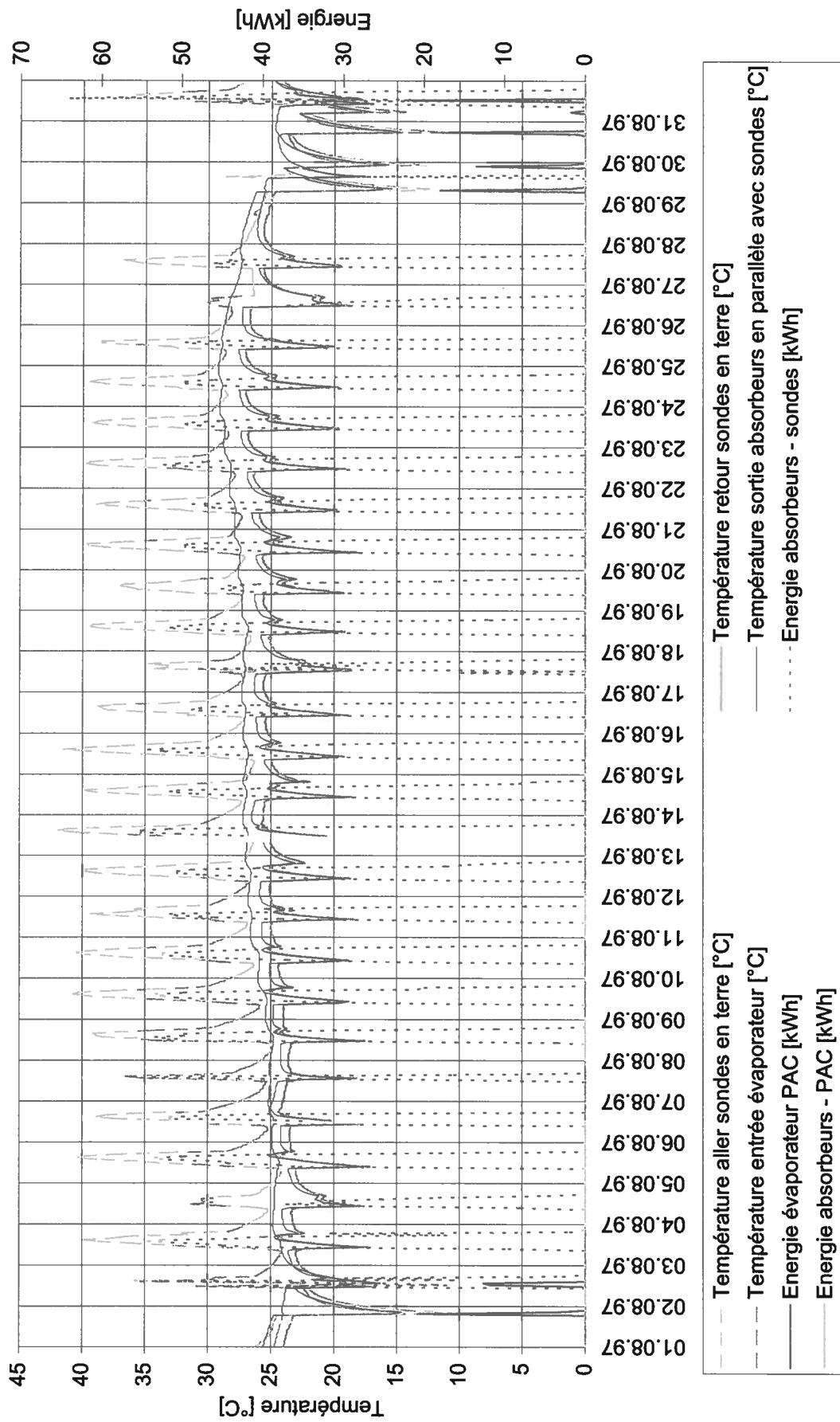
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juin 1997



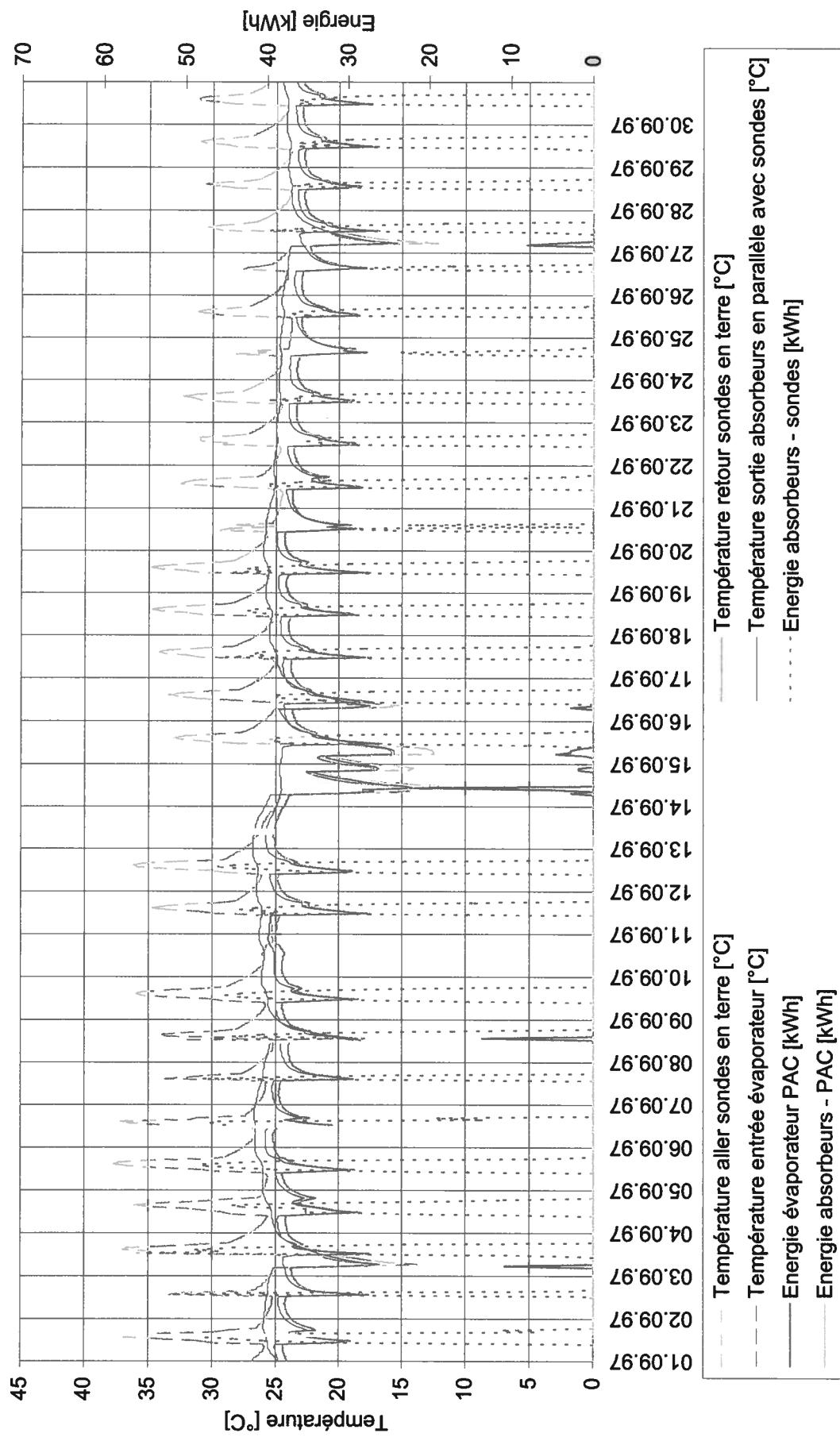
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juillet 1997



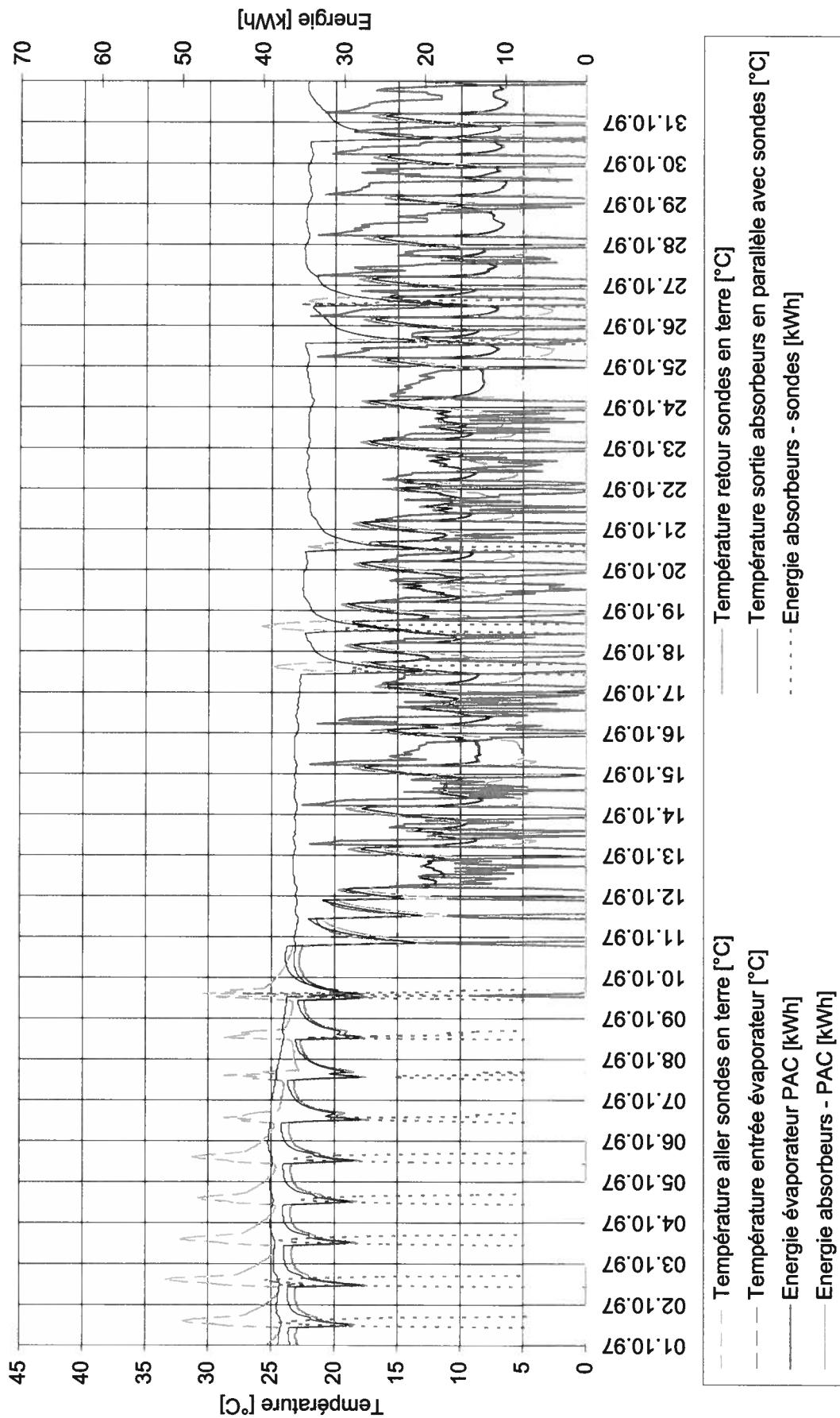
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
 Mois d'août 1997



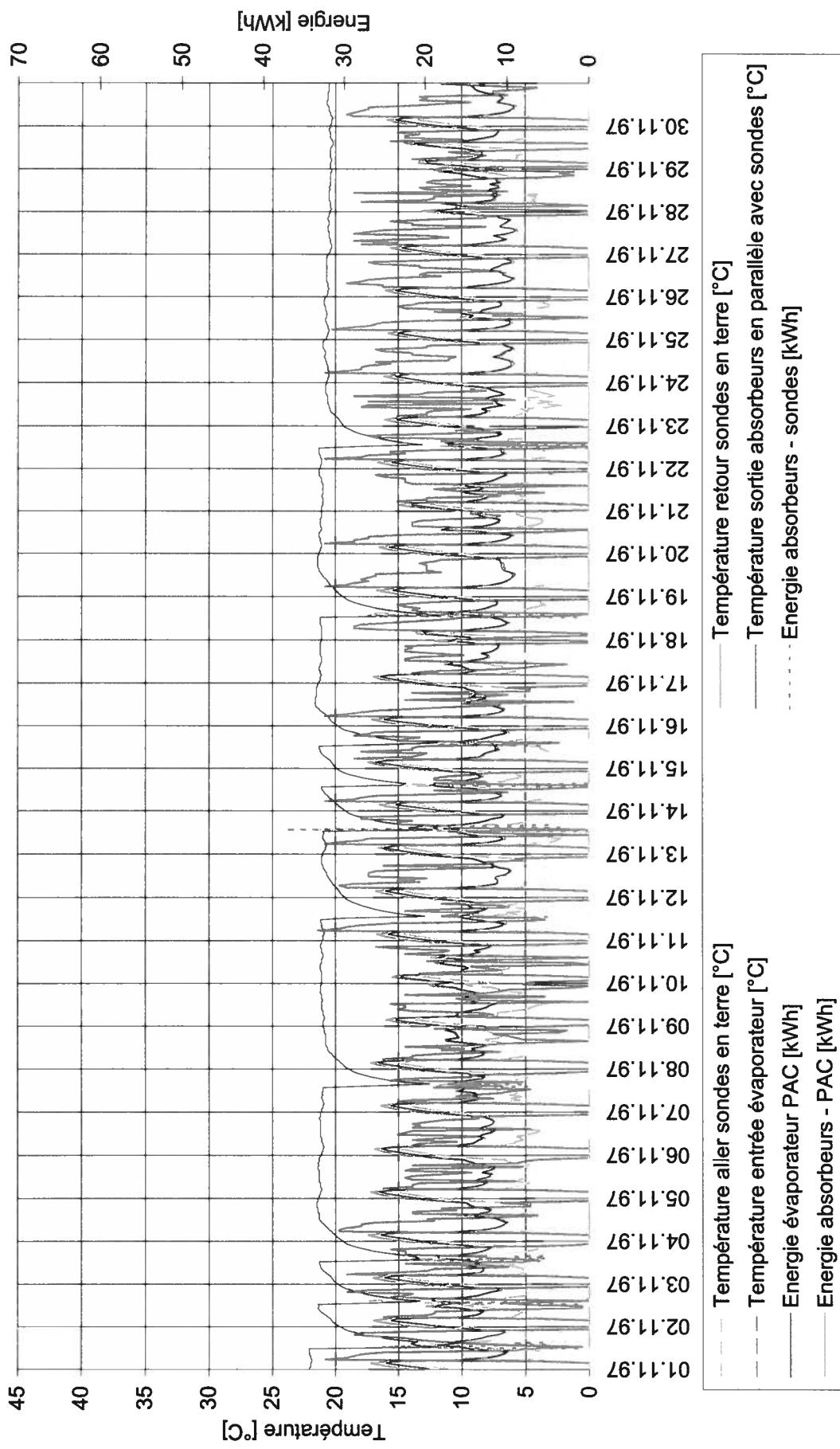
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de septembre 1997



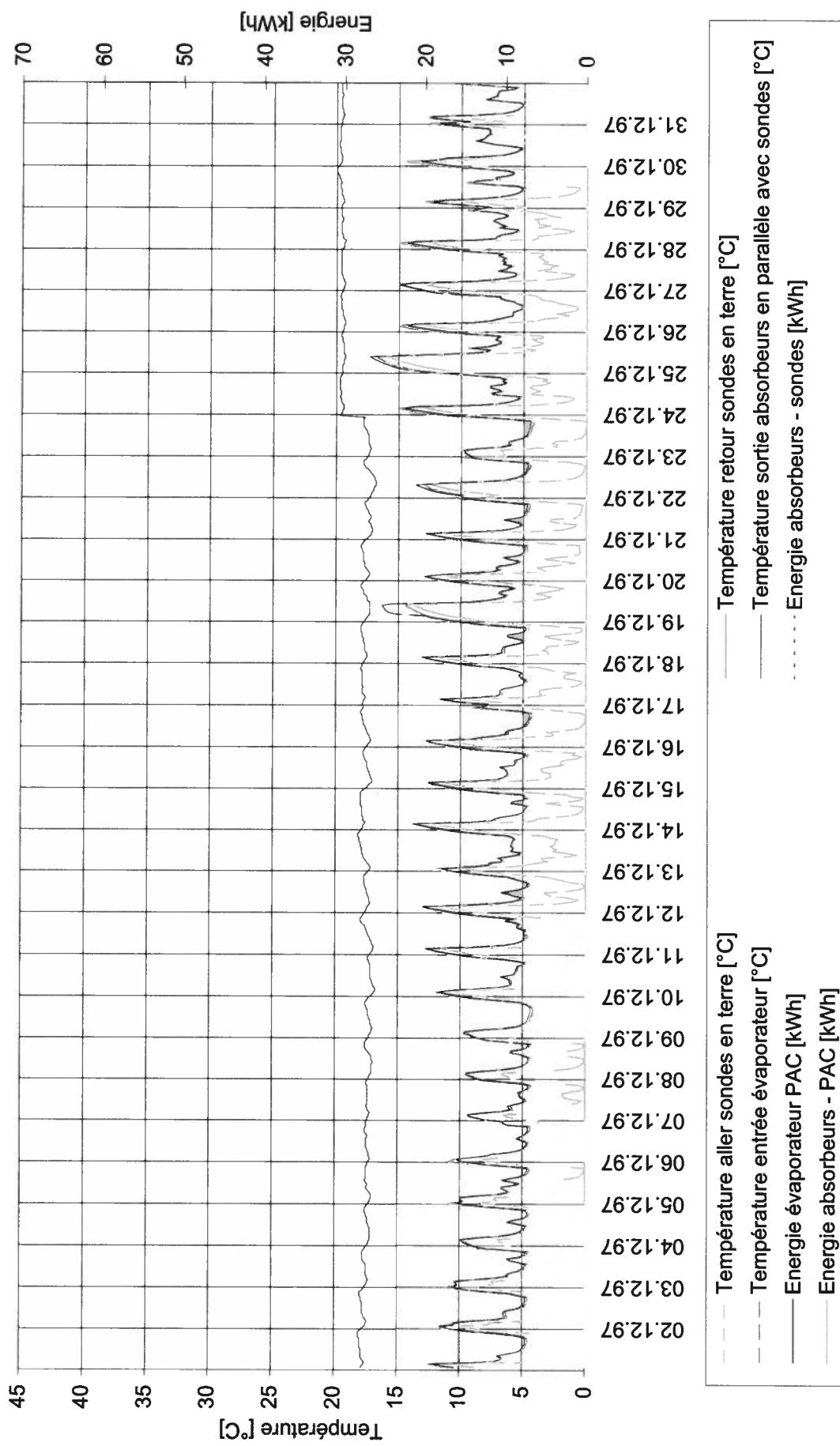
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois d'octobre 1997



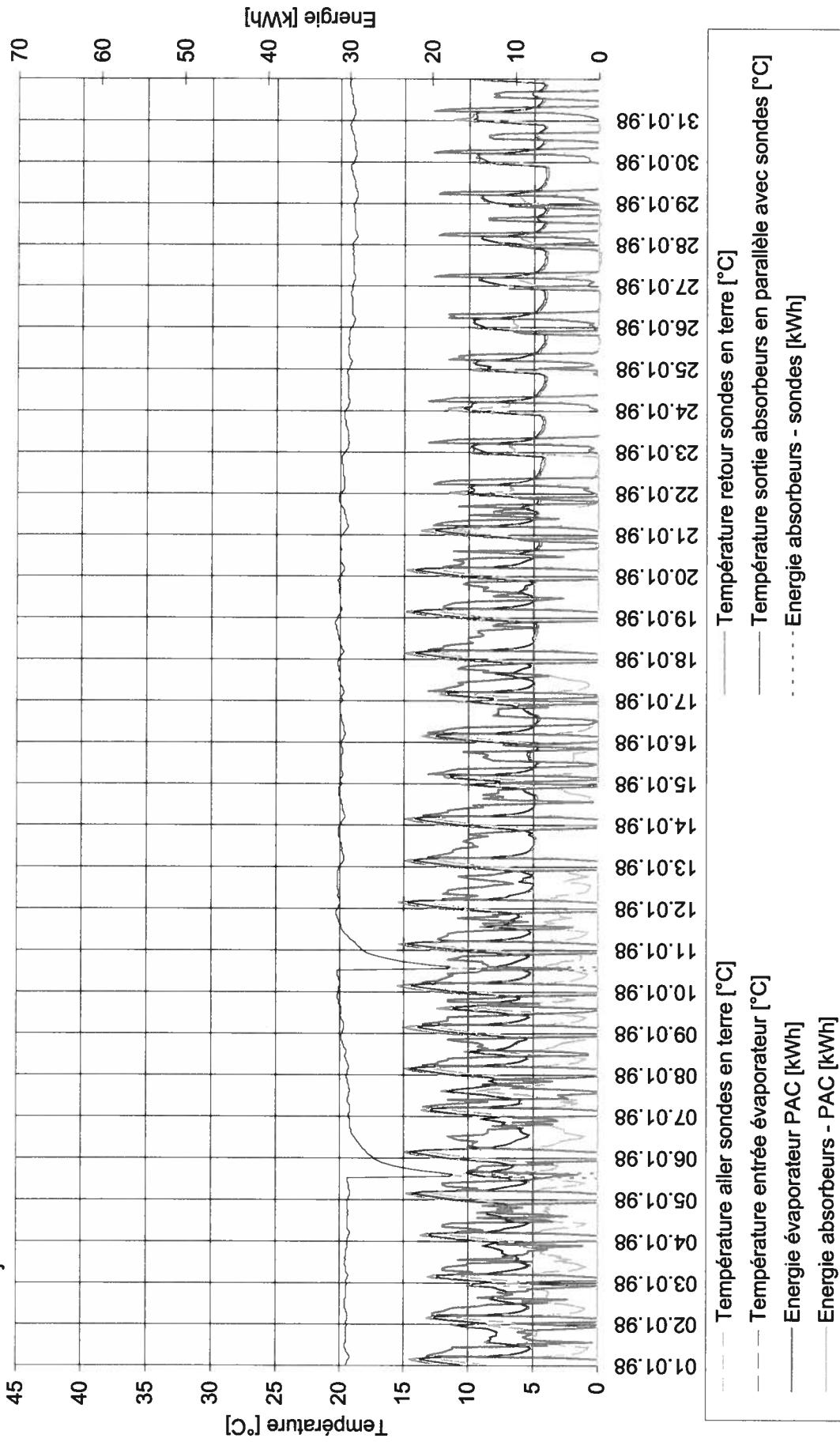
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
 Mois de novembre 1997



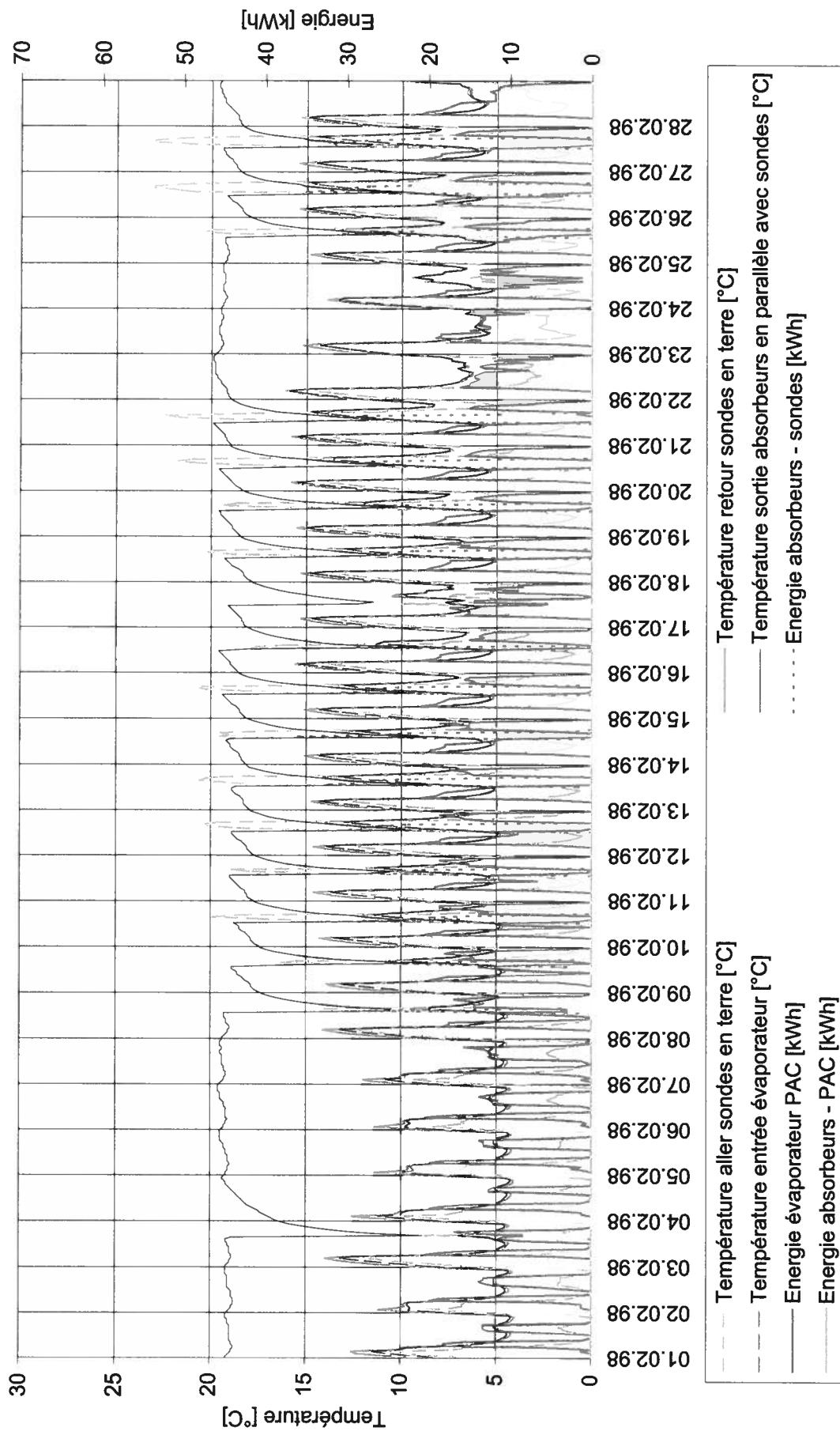
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
 Mois de décembre 1997



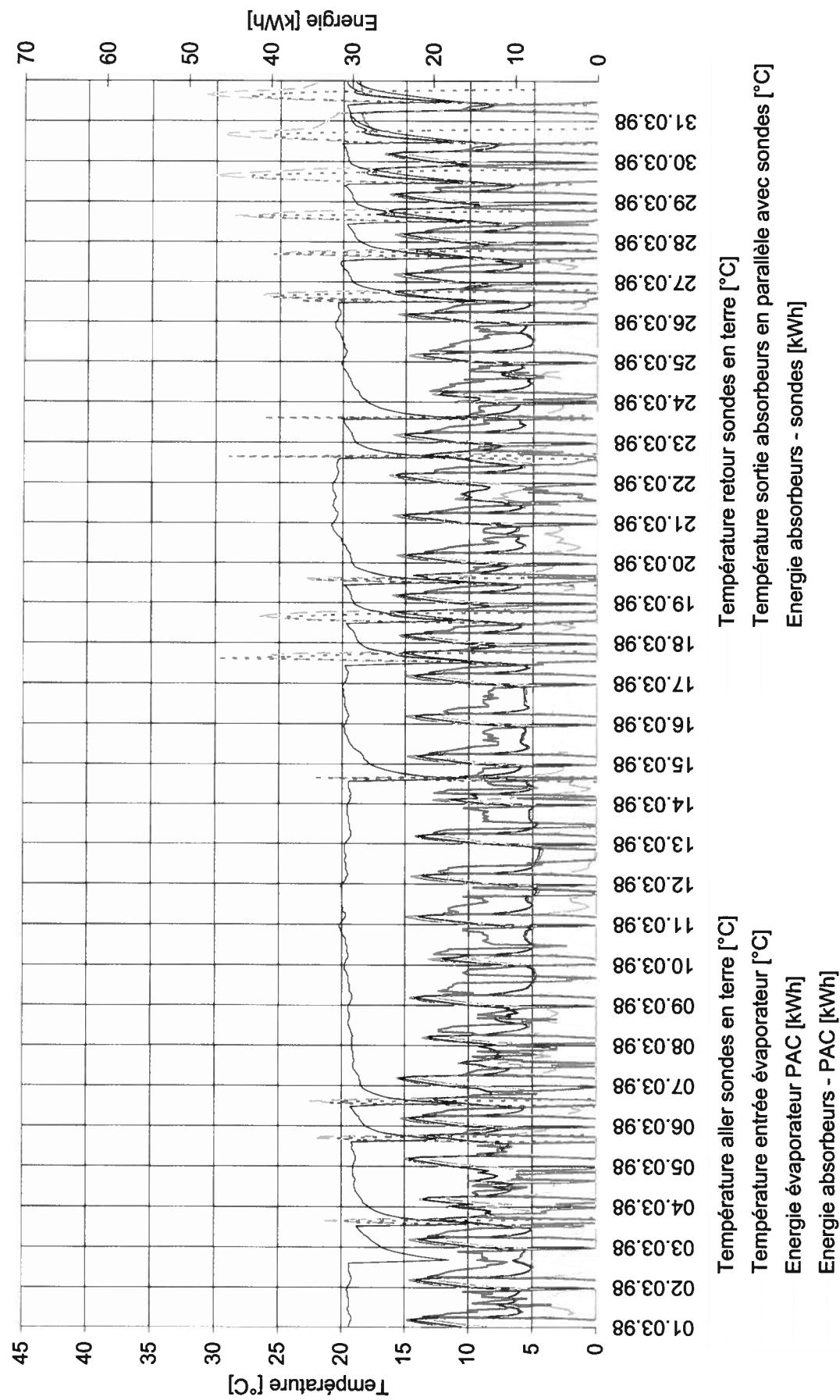
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de janvier 1998



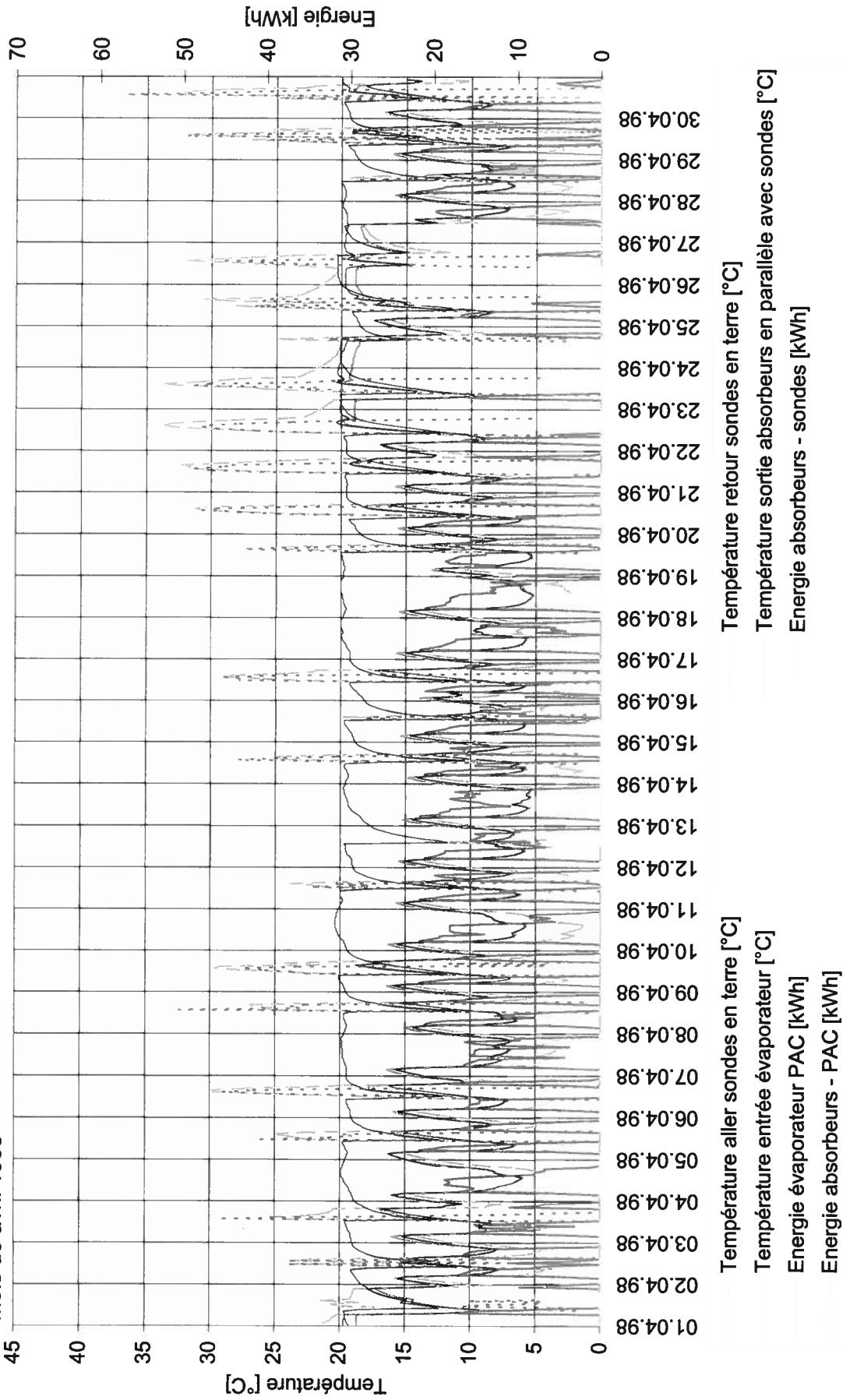
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de février 1998



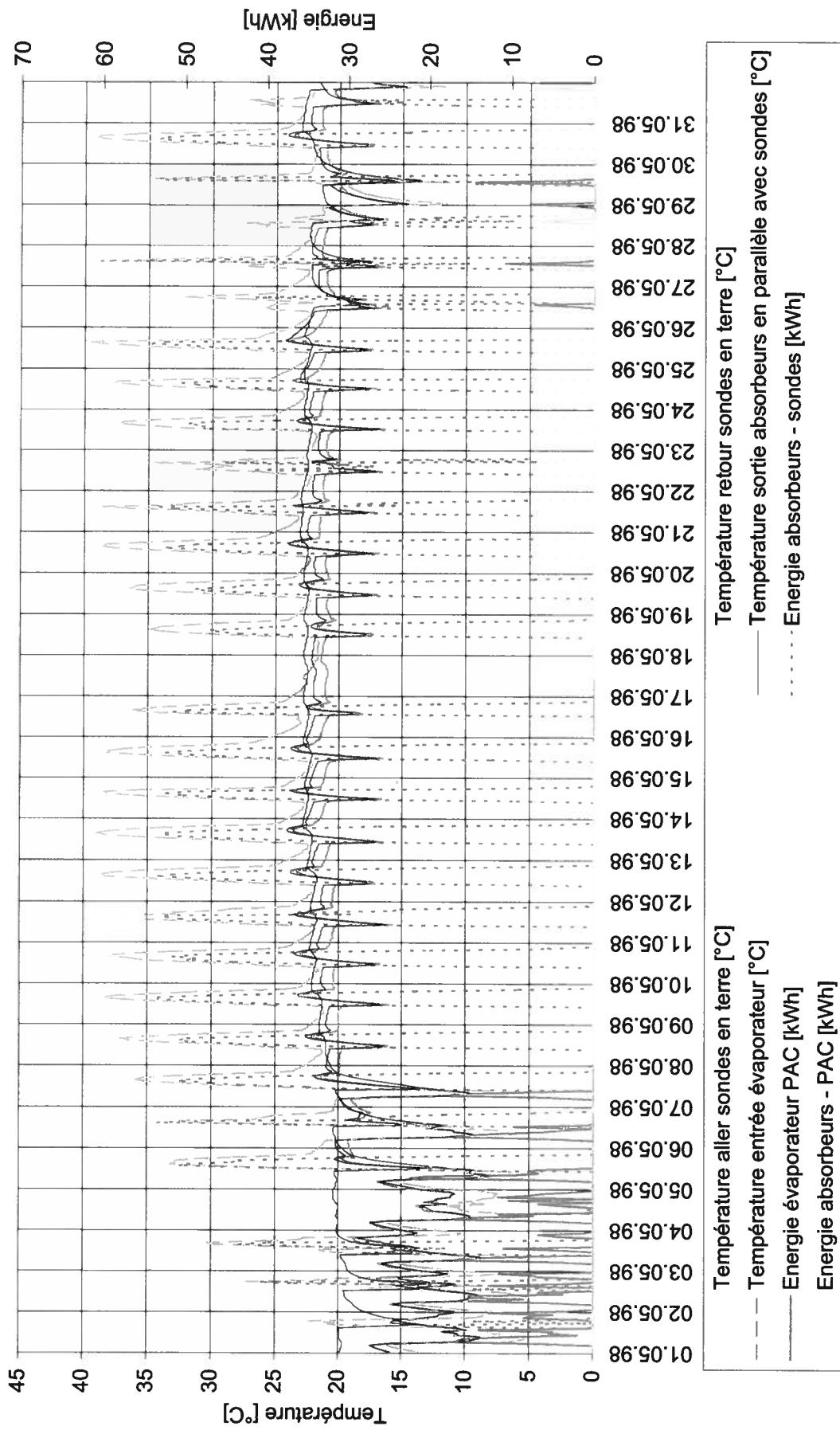
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mars 1998



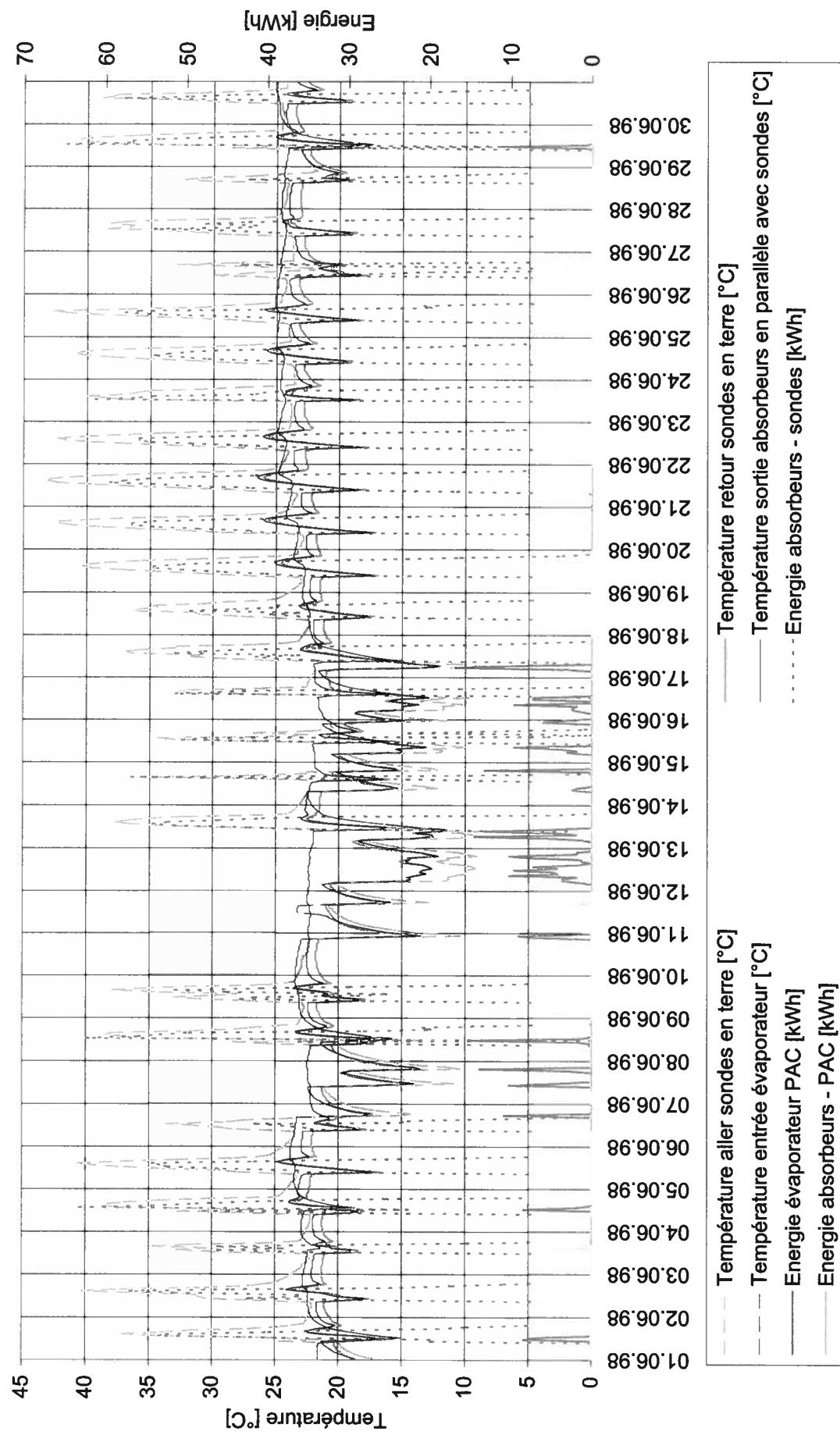
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de avril 1998



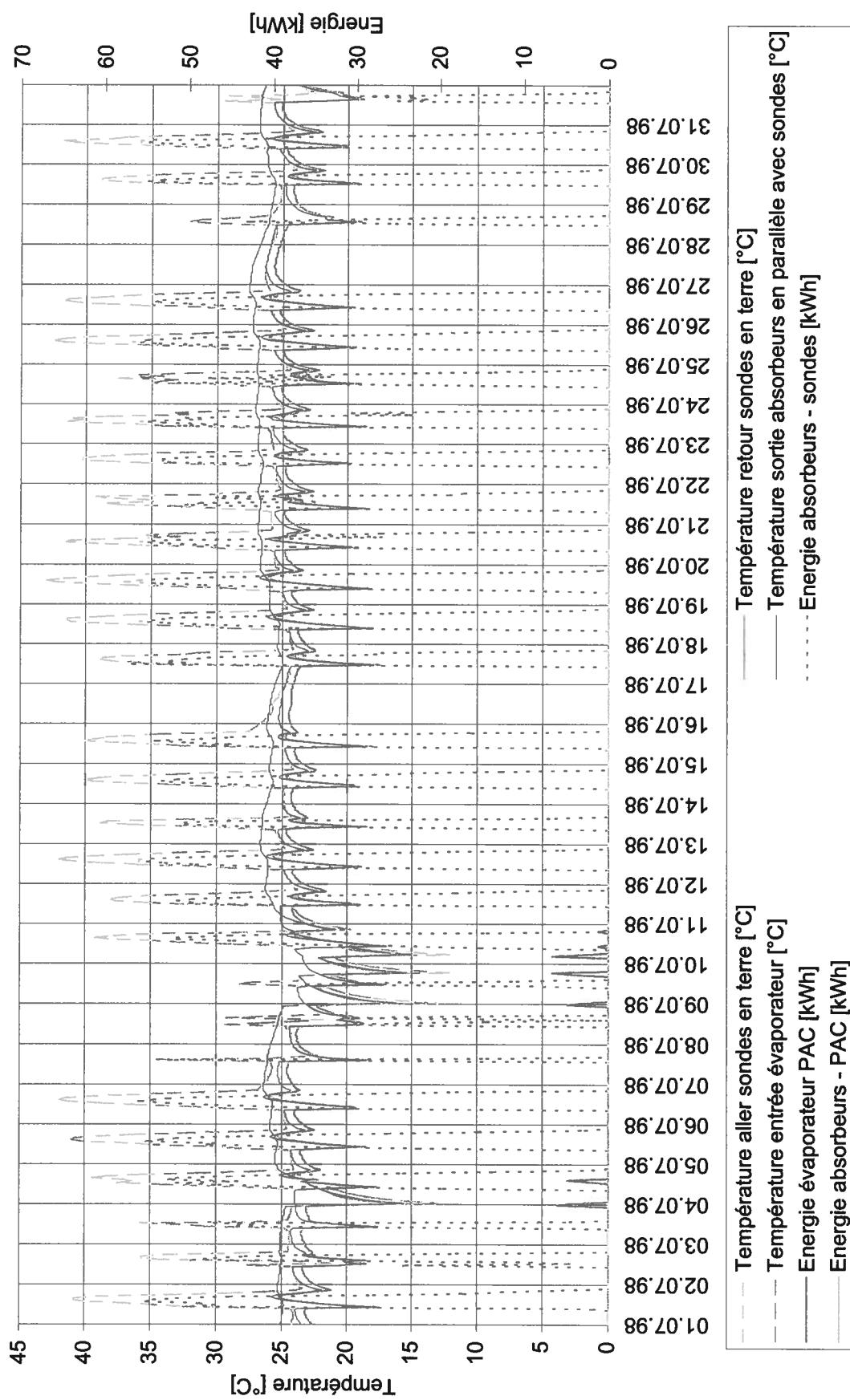
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mai 1998



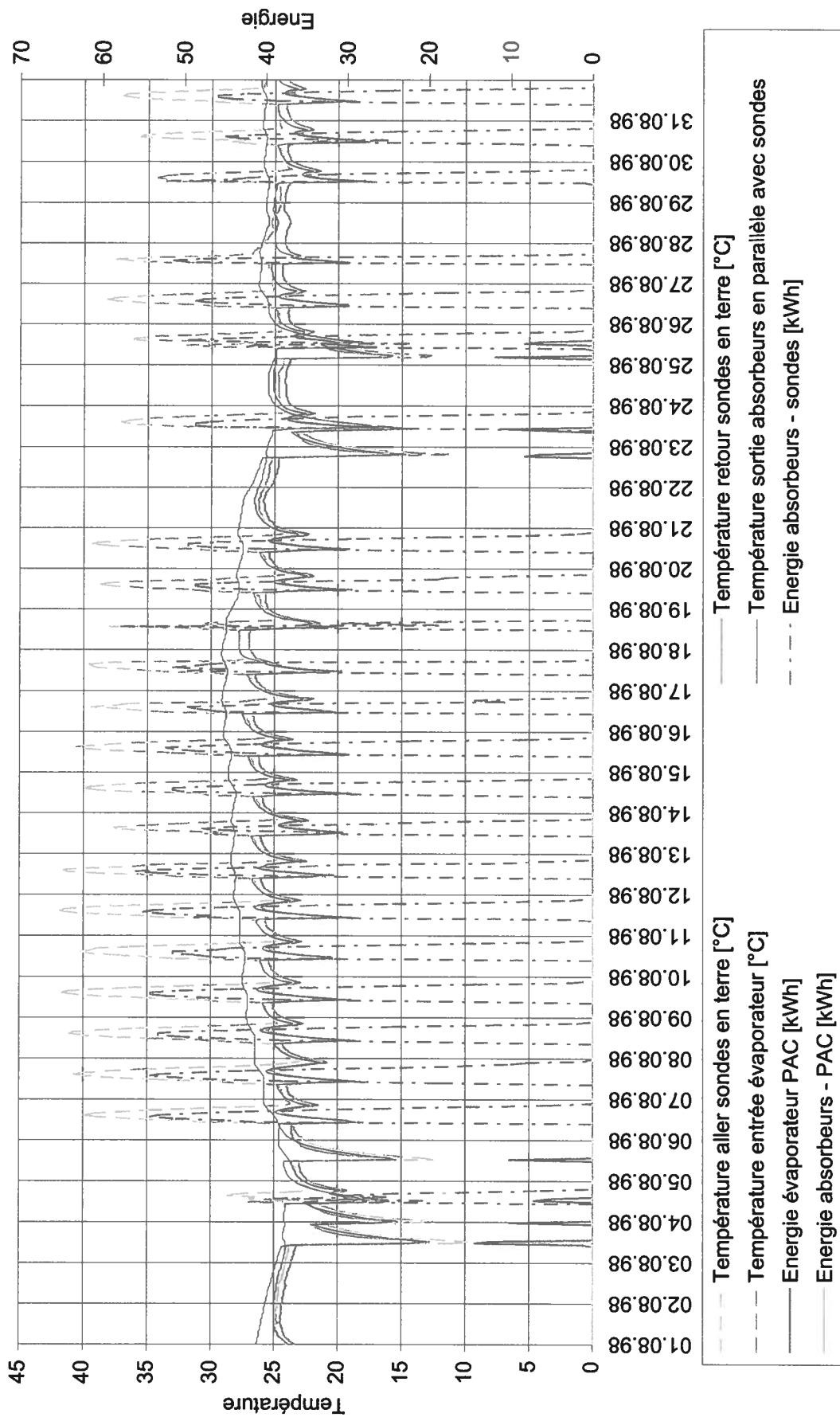
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juin 1998



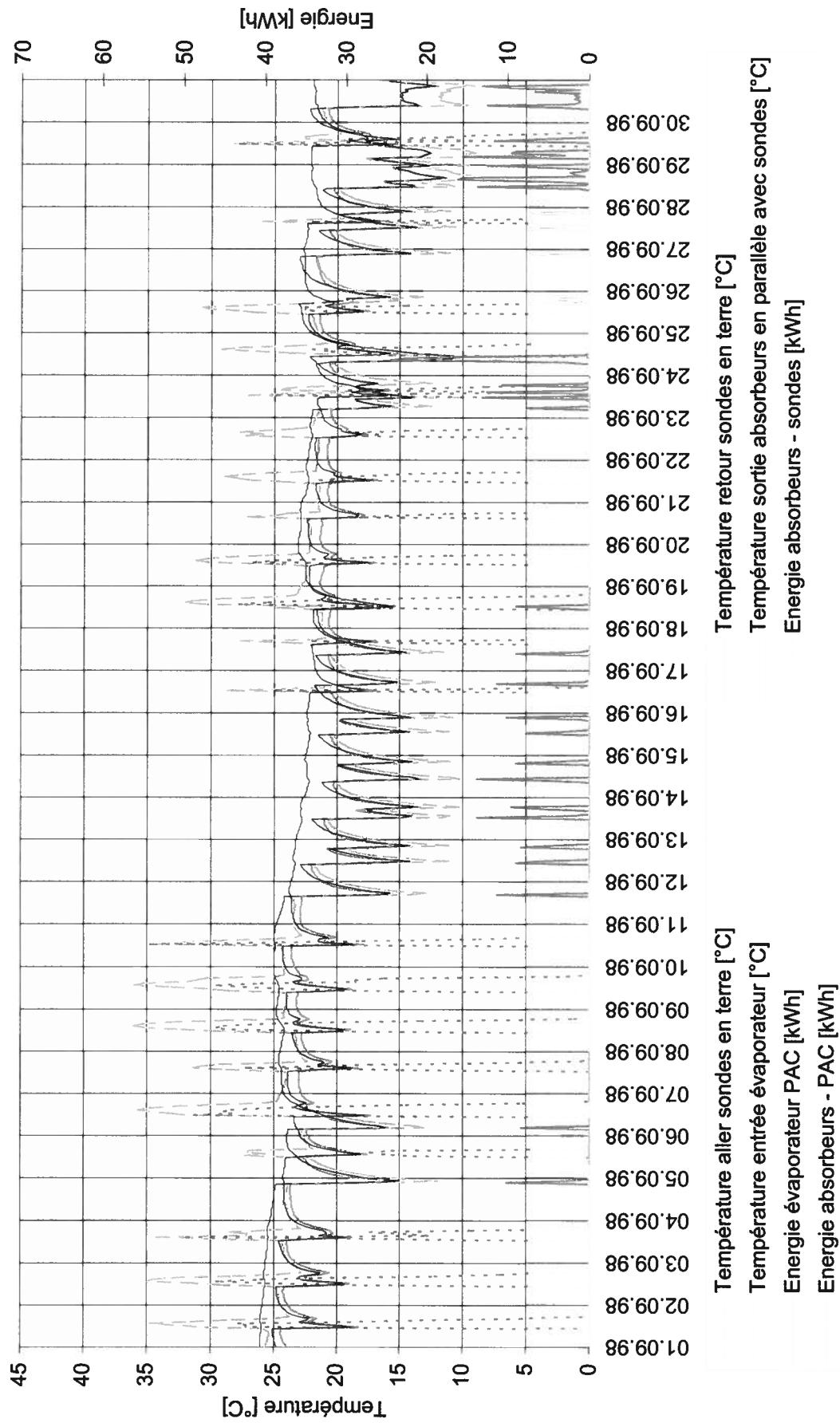
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juillet 1998



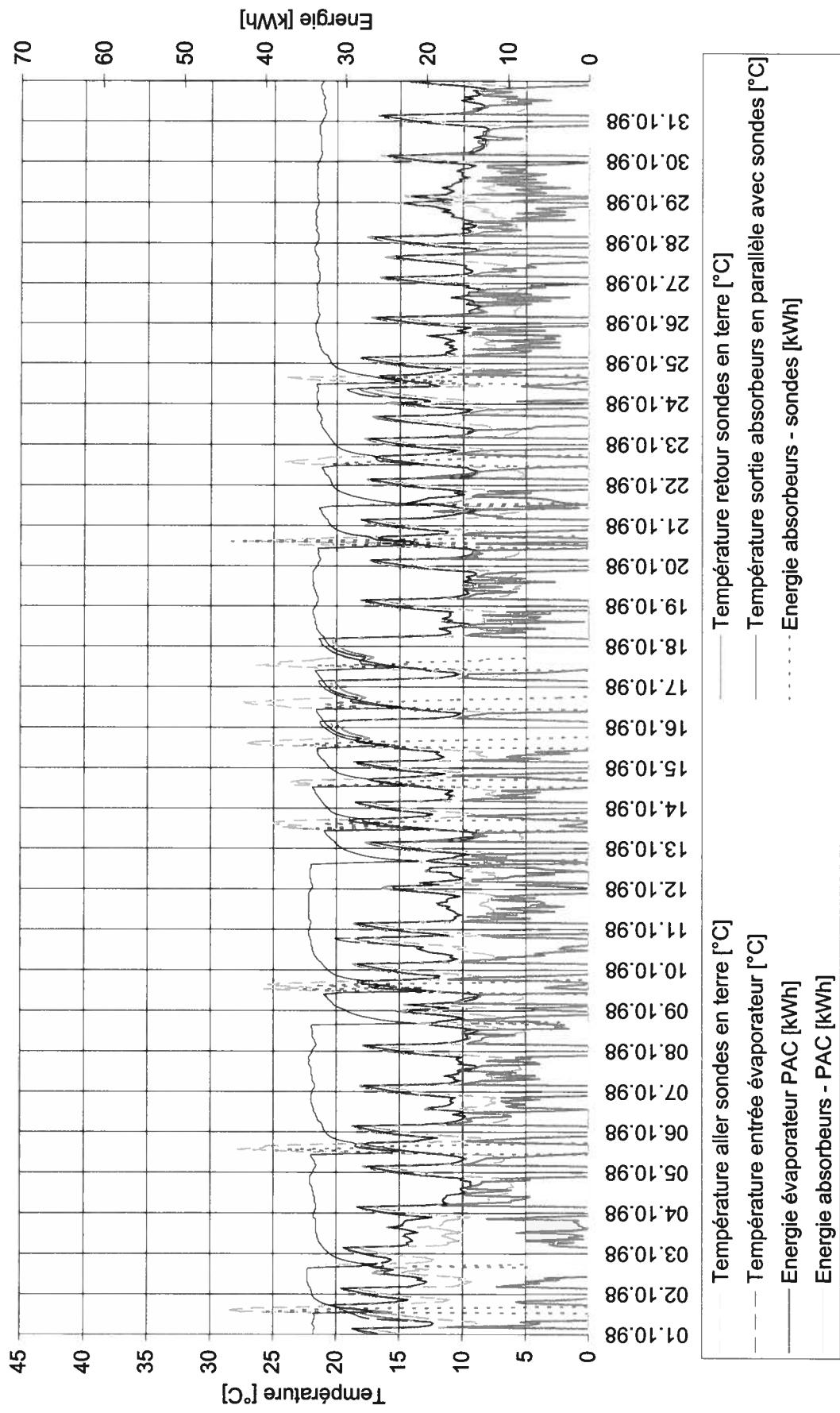
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
 Mois d'août 1998



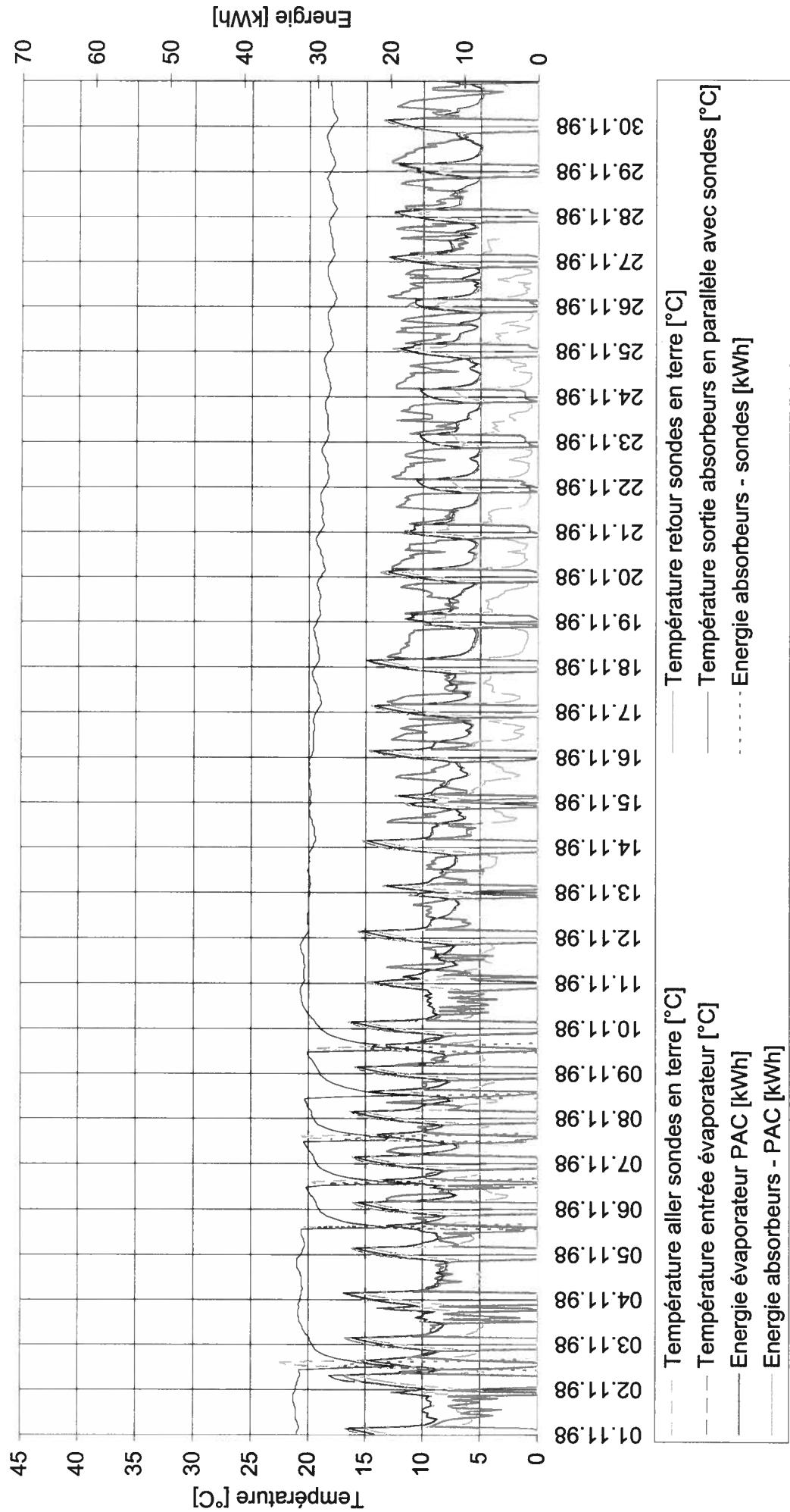
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de septembre 1998



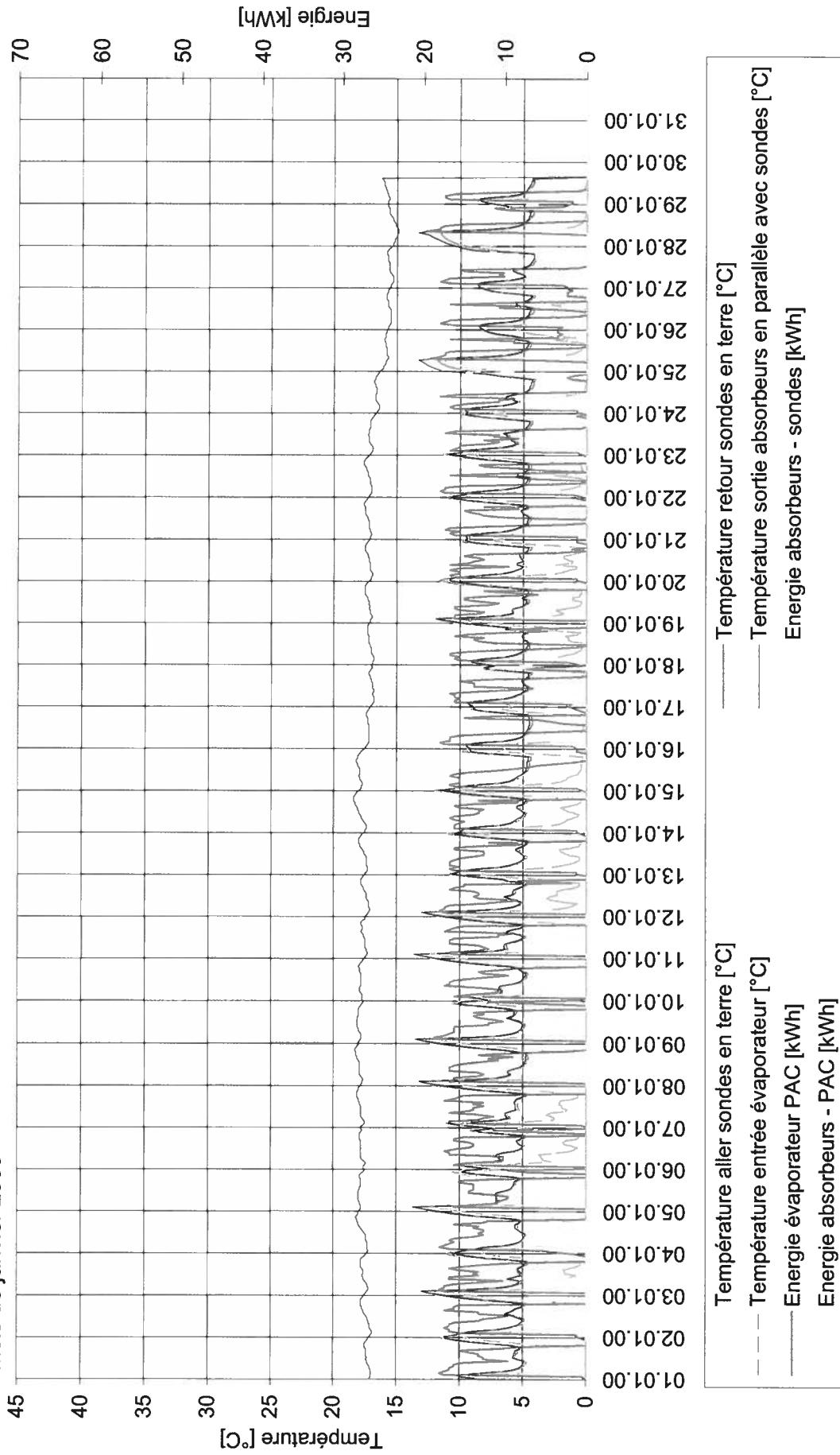
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
 Mois d'octobre 1998



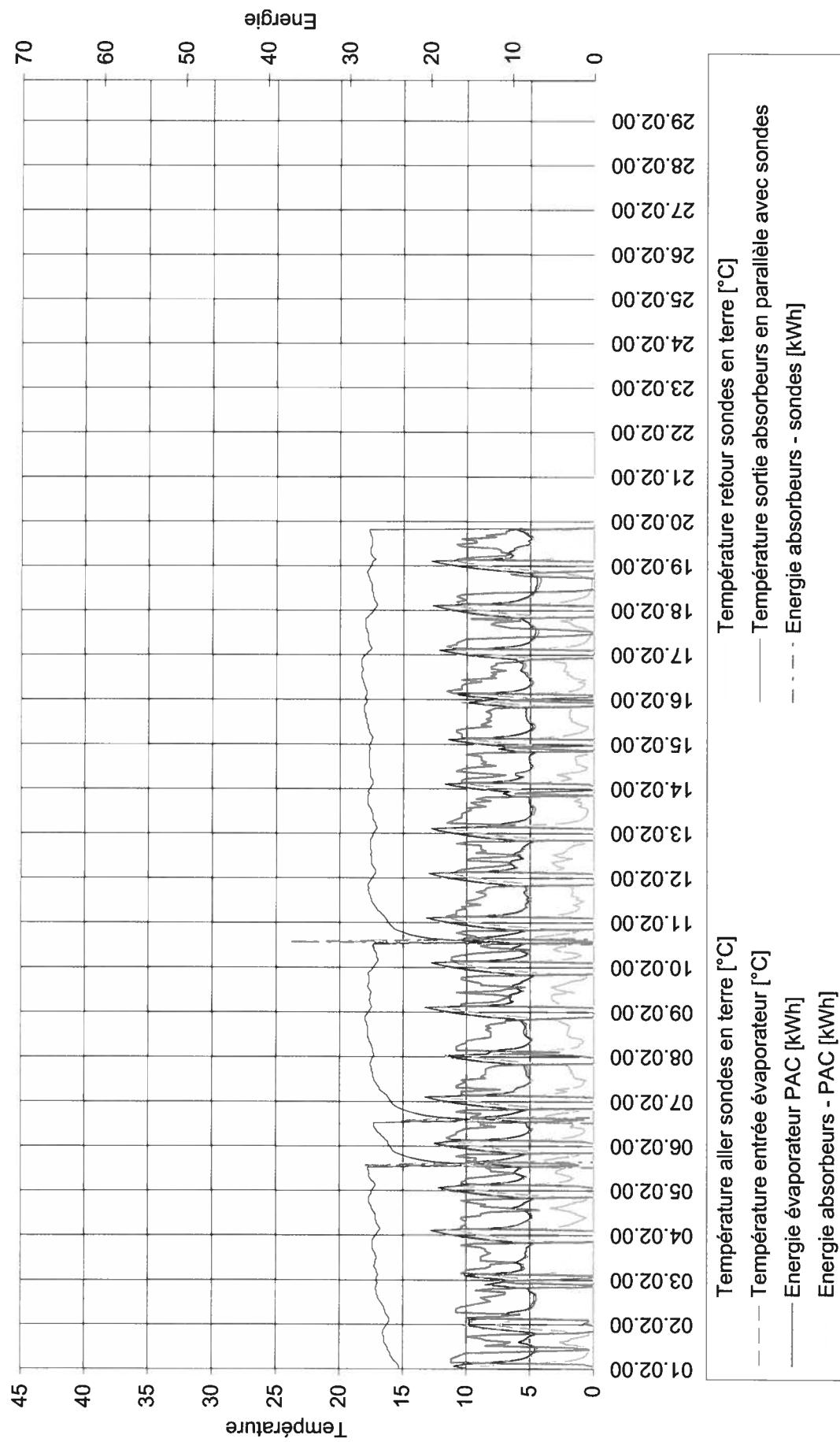
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de novembre 1998



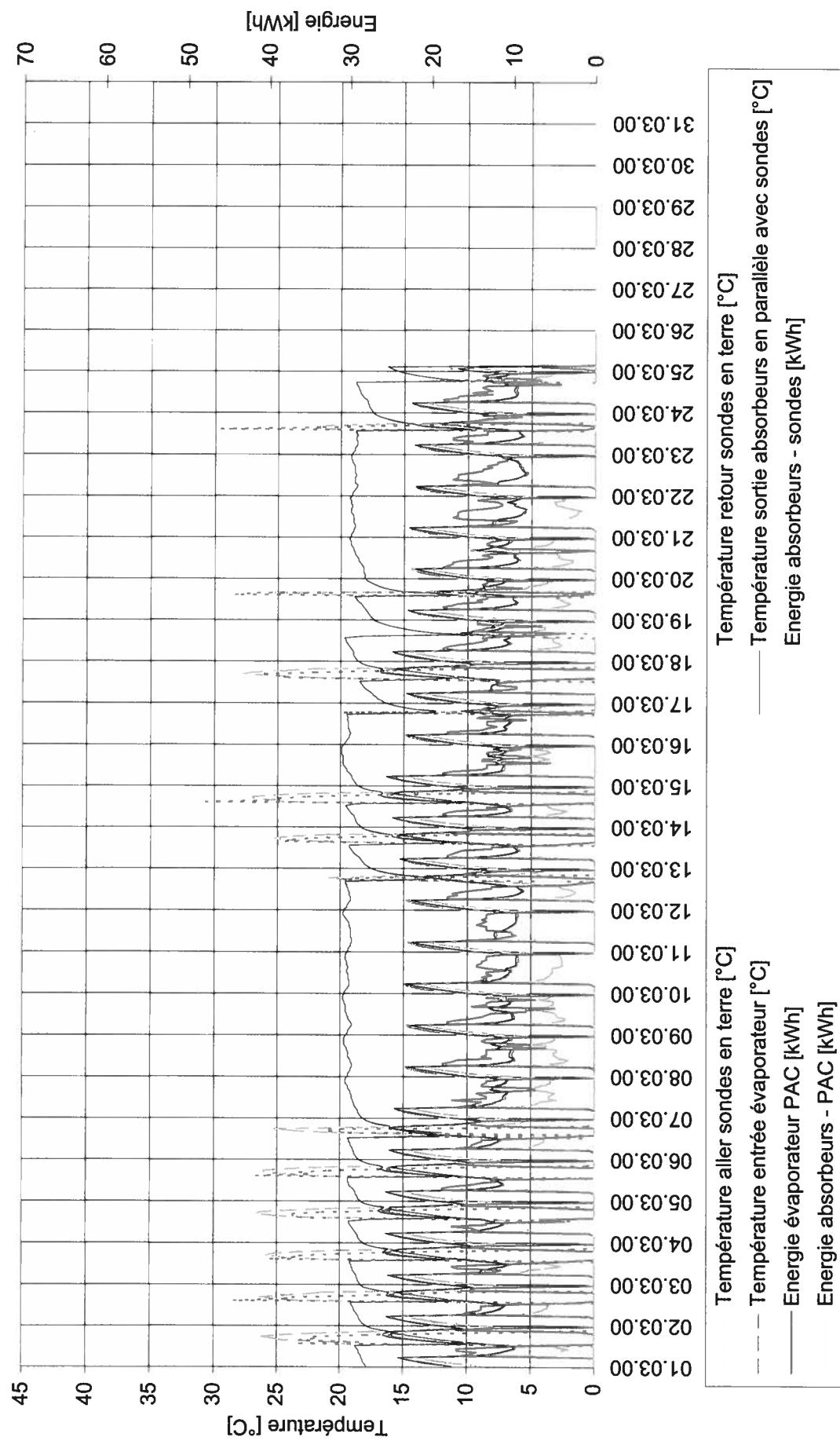
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Production des sondes en terre et des absorbateurs solaires et températures des fluides caloporteurs
 Mois de janvier 2000



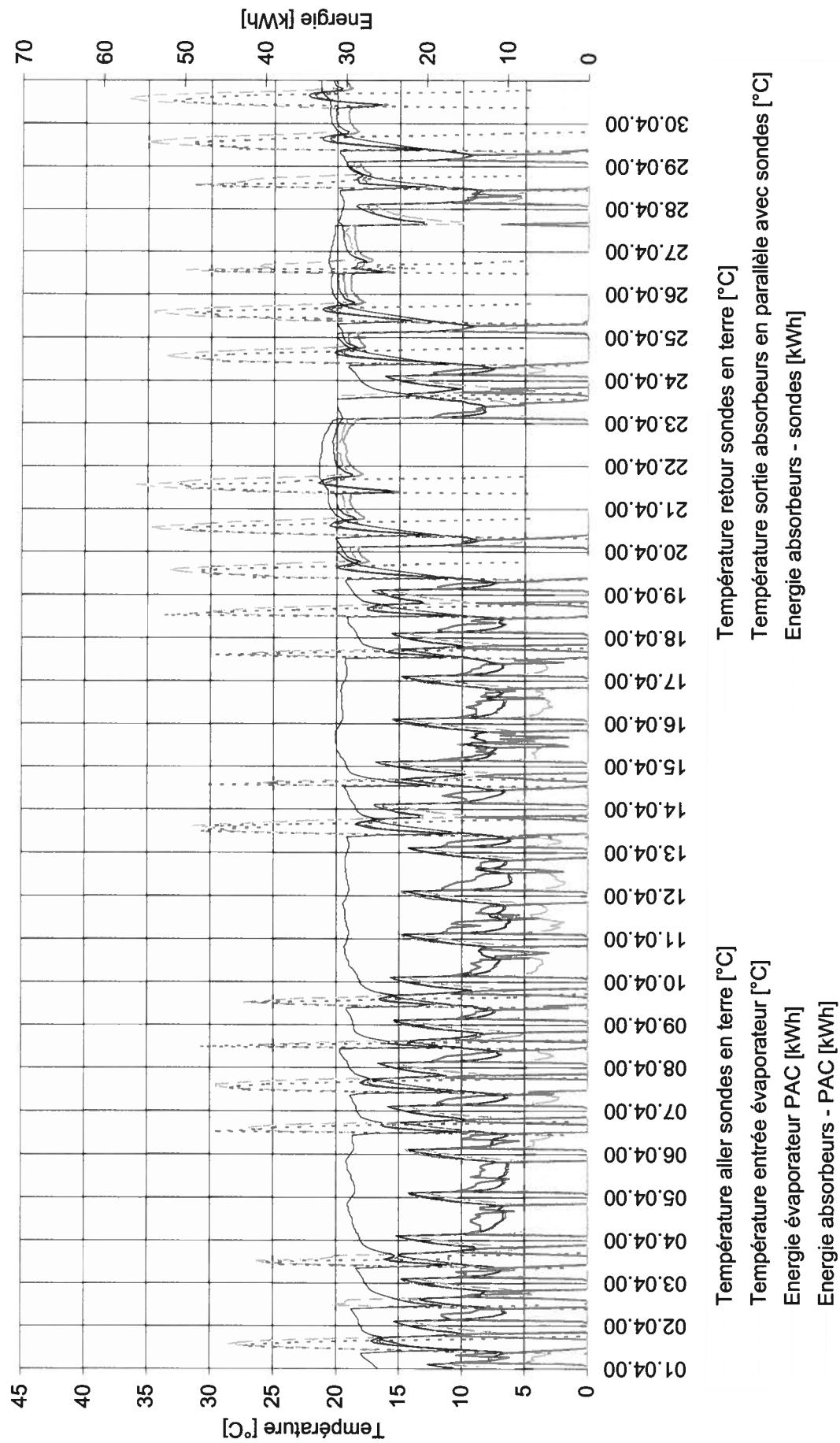
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de février 2000



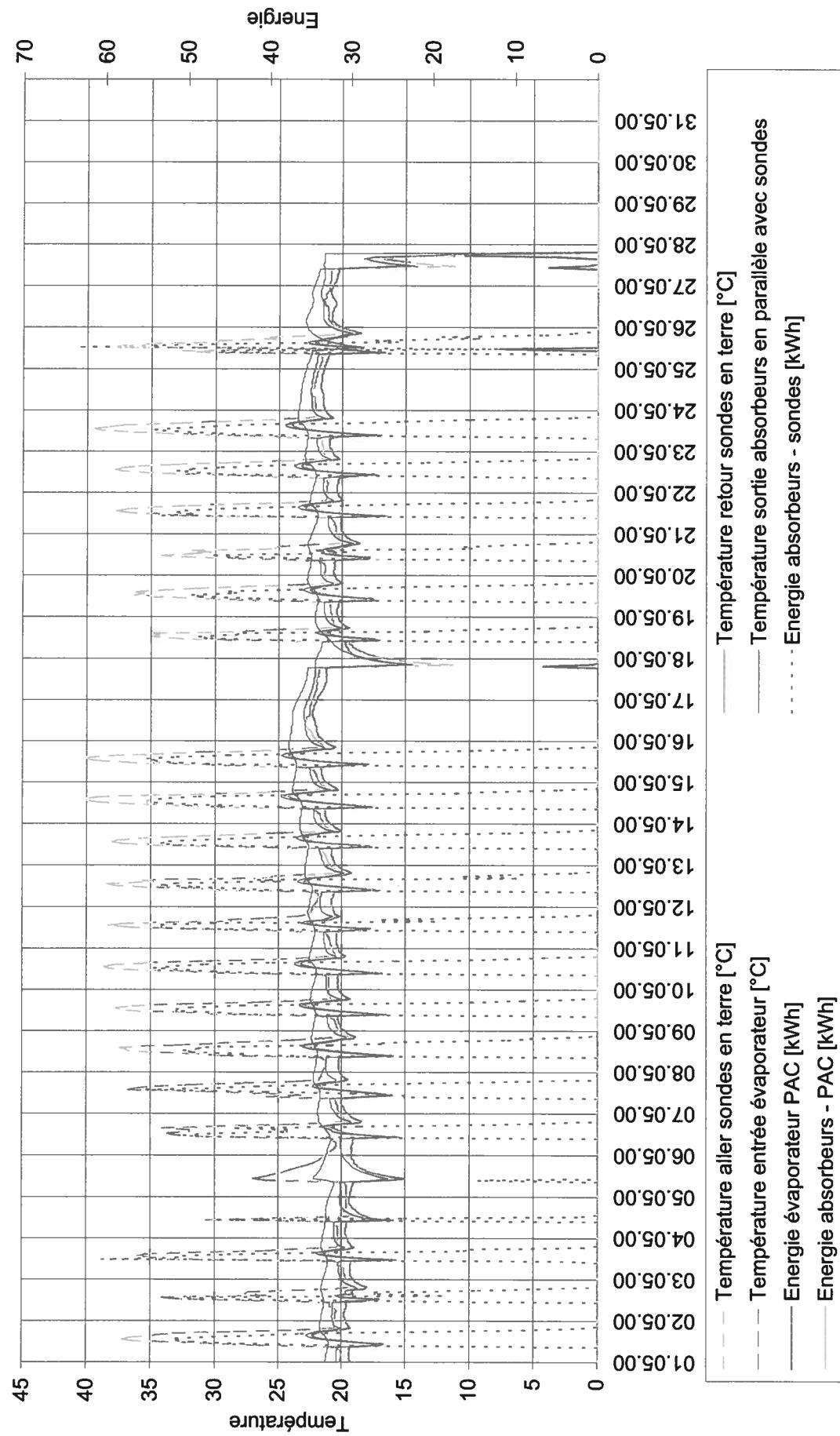
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mars 2000



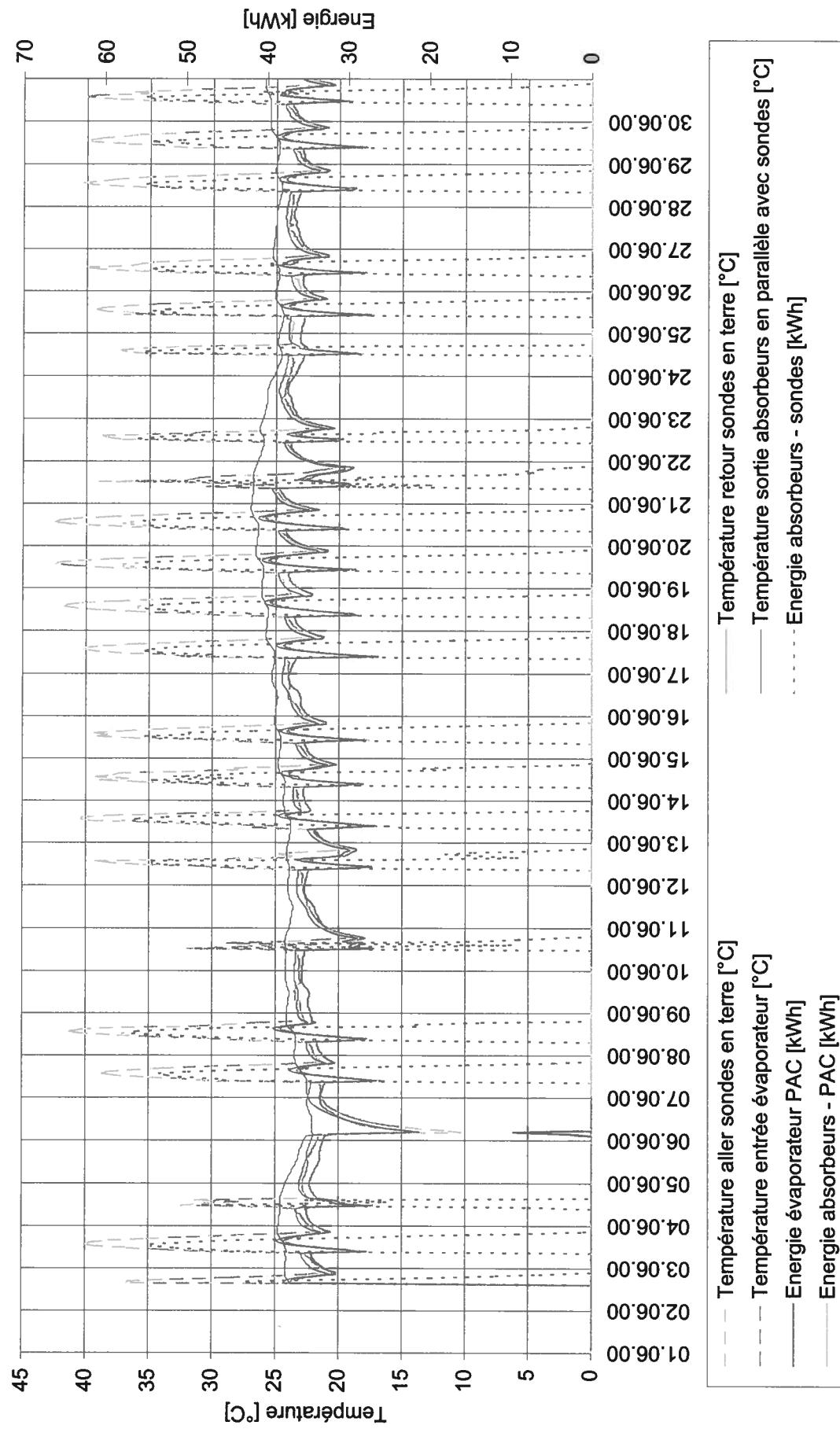
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de avril 2000



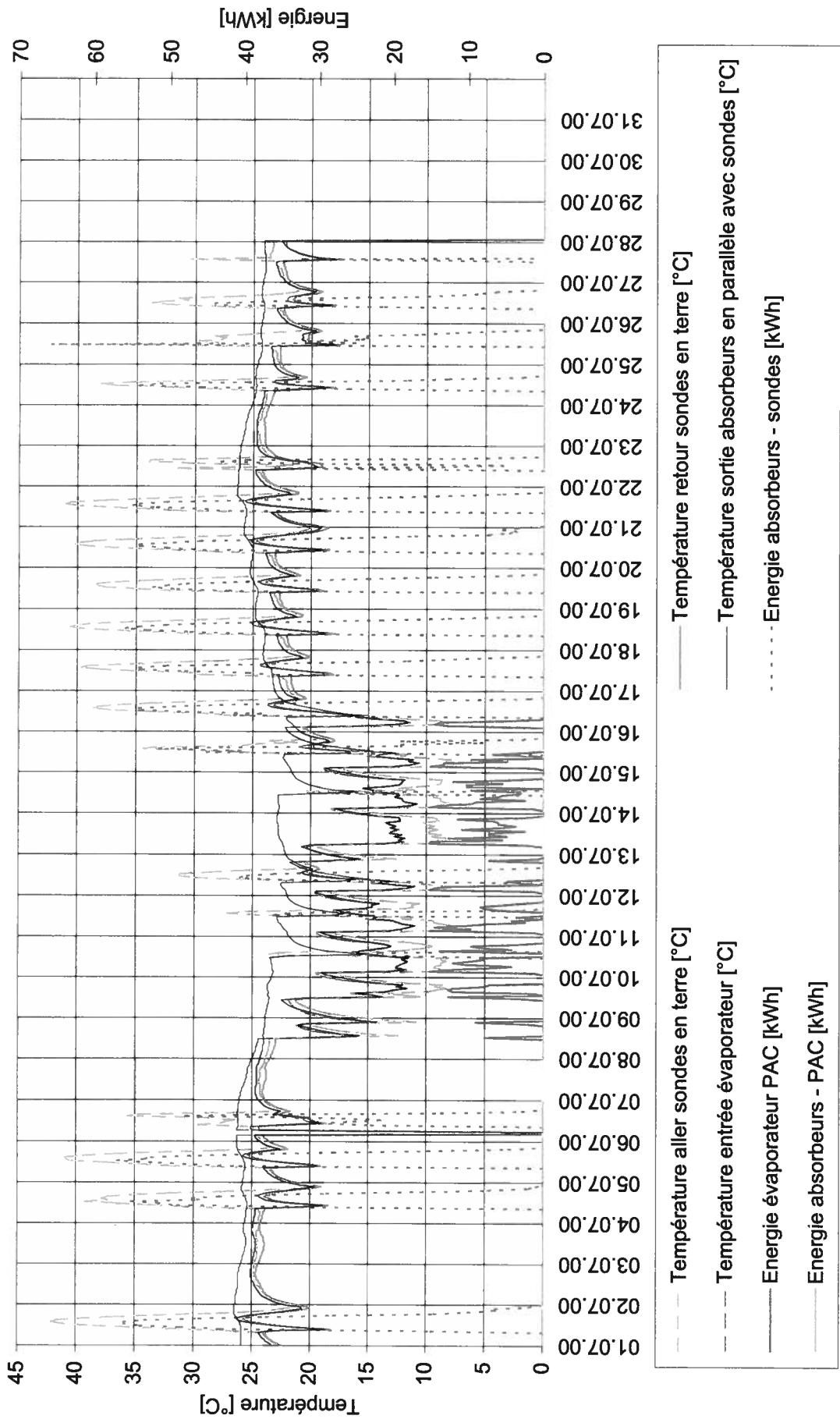
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de mai 2000



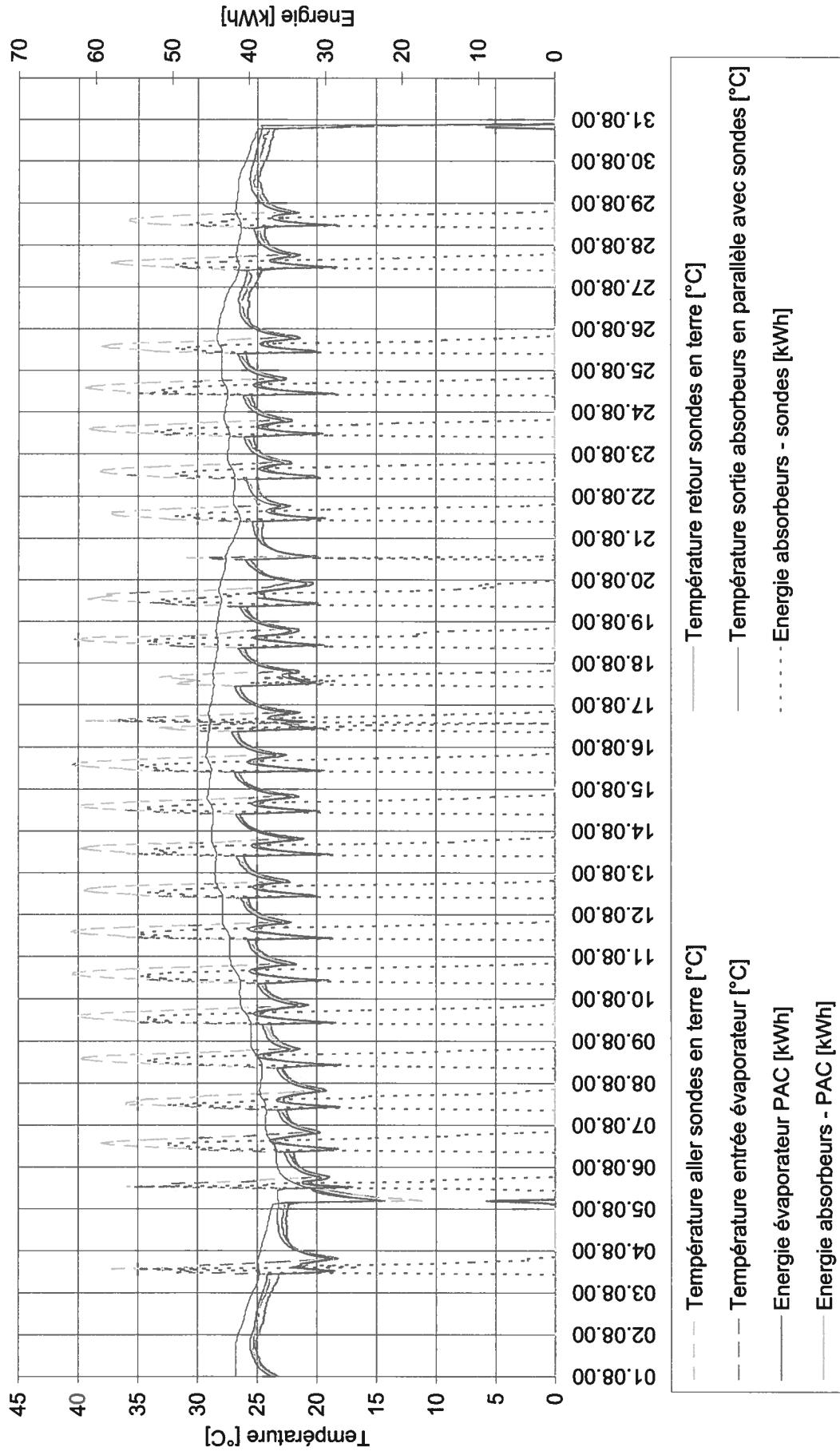
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juin 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois de juillet 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Production des sondes en terre et des absorbeurs solaires et températures des fluides caloporteurs
Mois d'août 2000



OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

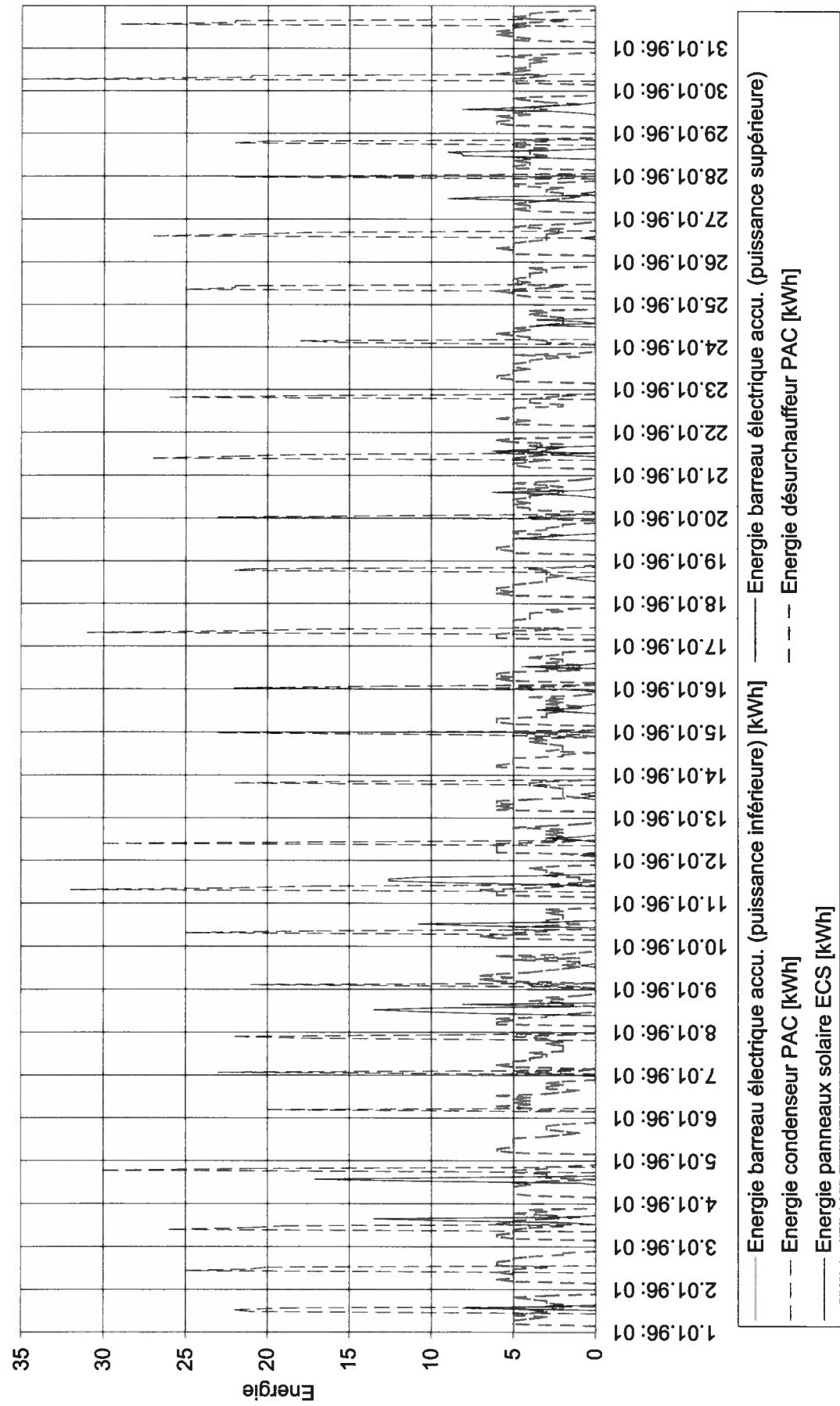
ANNEXE 7

**Production d'eau chaude sanitaire : Energie produite par les
capteurs solaires (un vitrage), par le désurchauffeur, par le
condenseur et par le barreau électrique.**

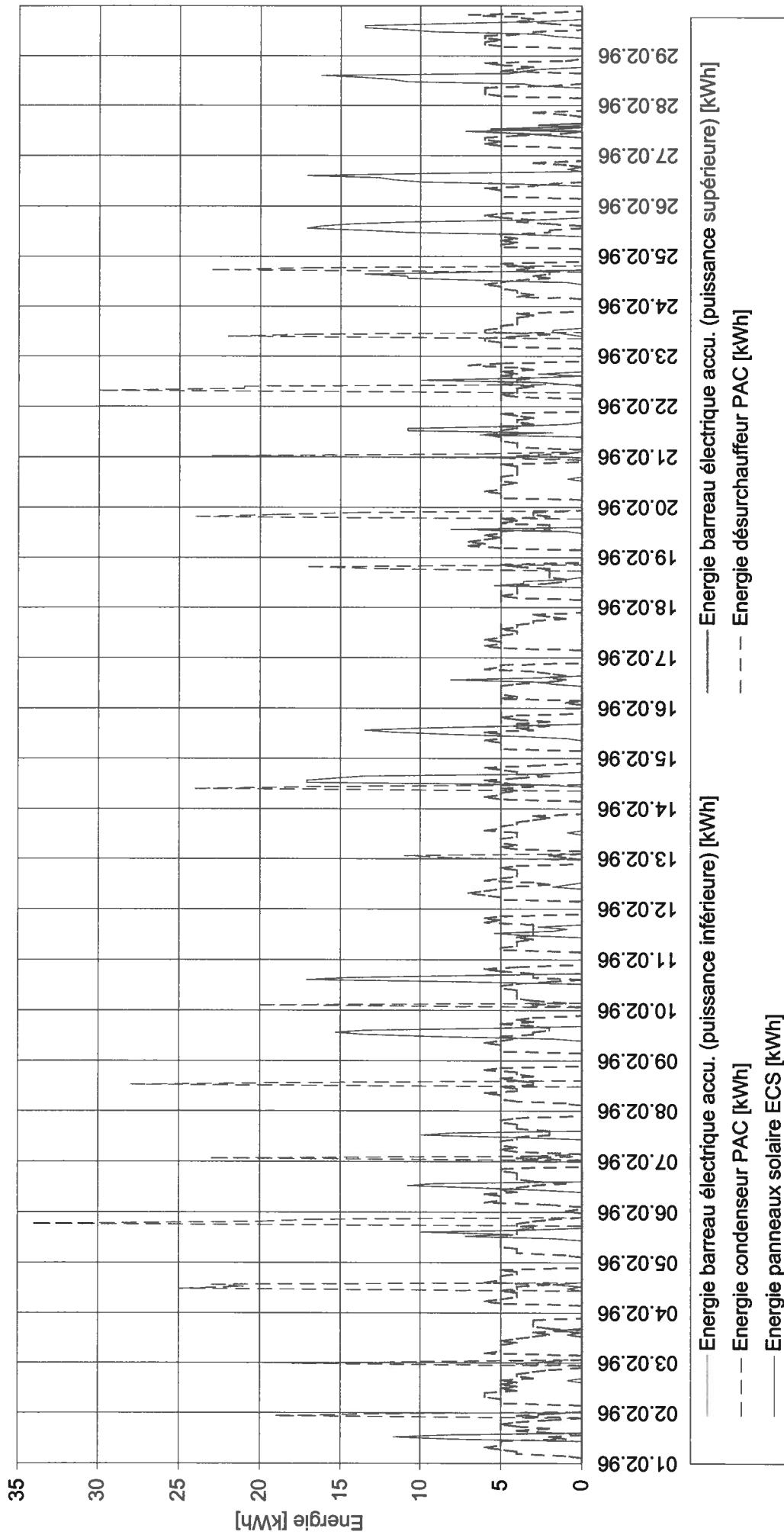
Note : les résultats sont représentés avec un pas de temps horaire (1 kWh/h = 1 kW)

Une copie couleur des graphiques est disponible auprès de l'auteur du rapport.

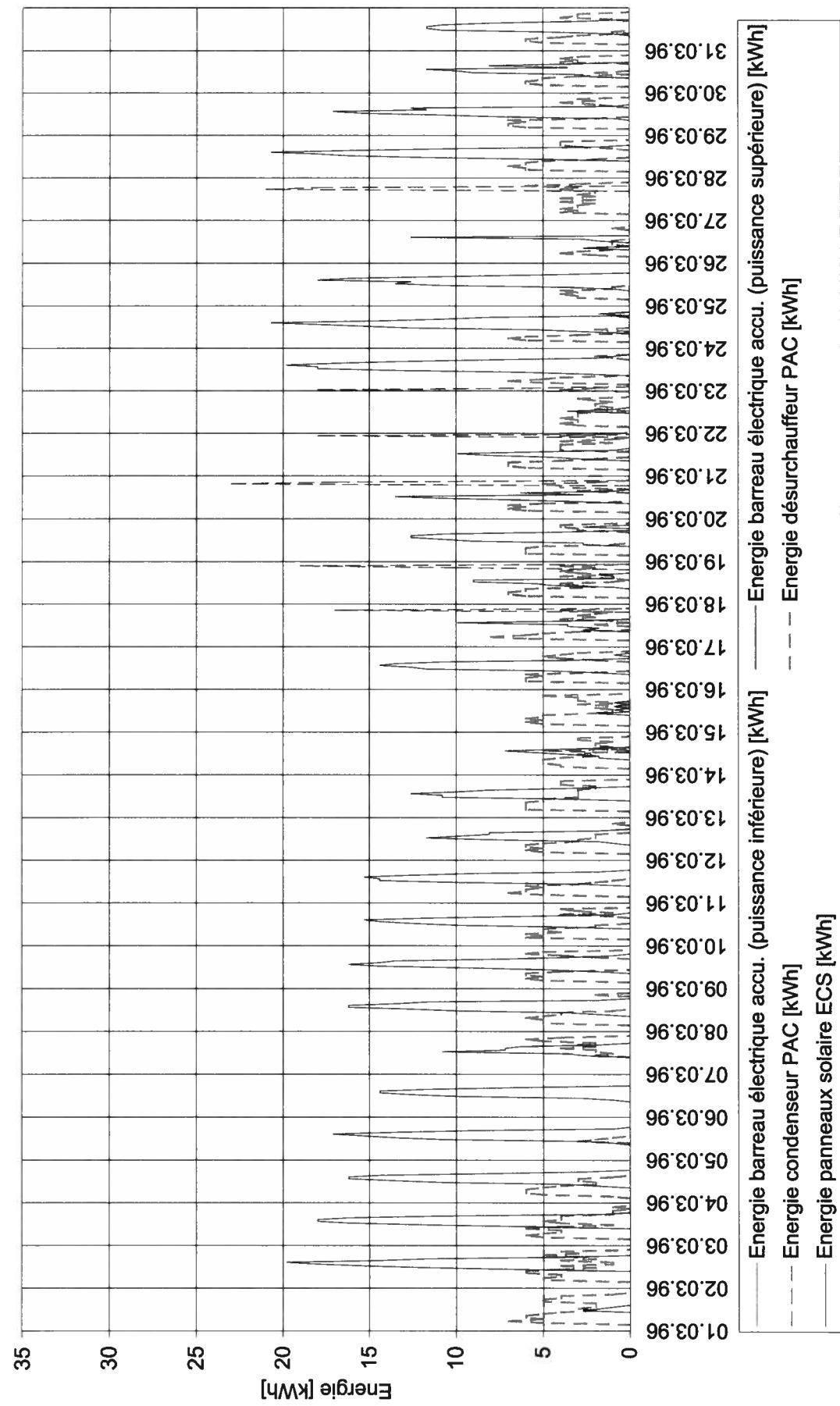
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de Janvier 1996



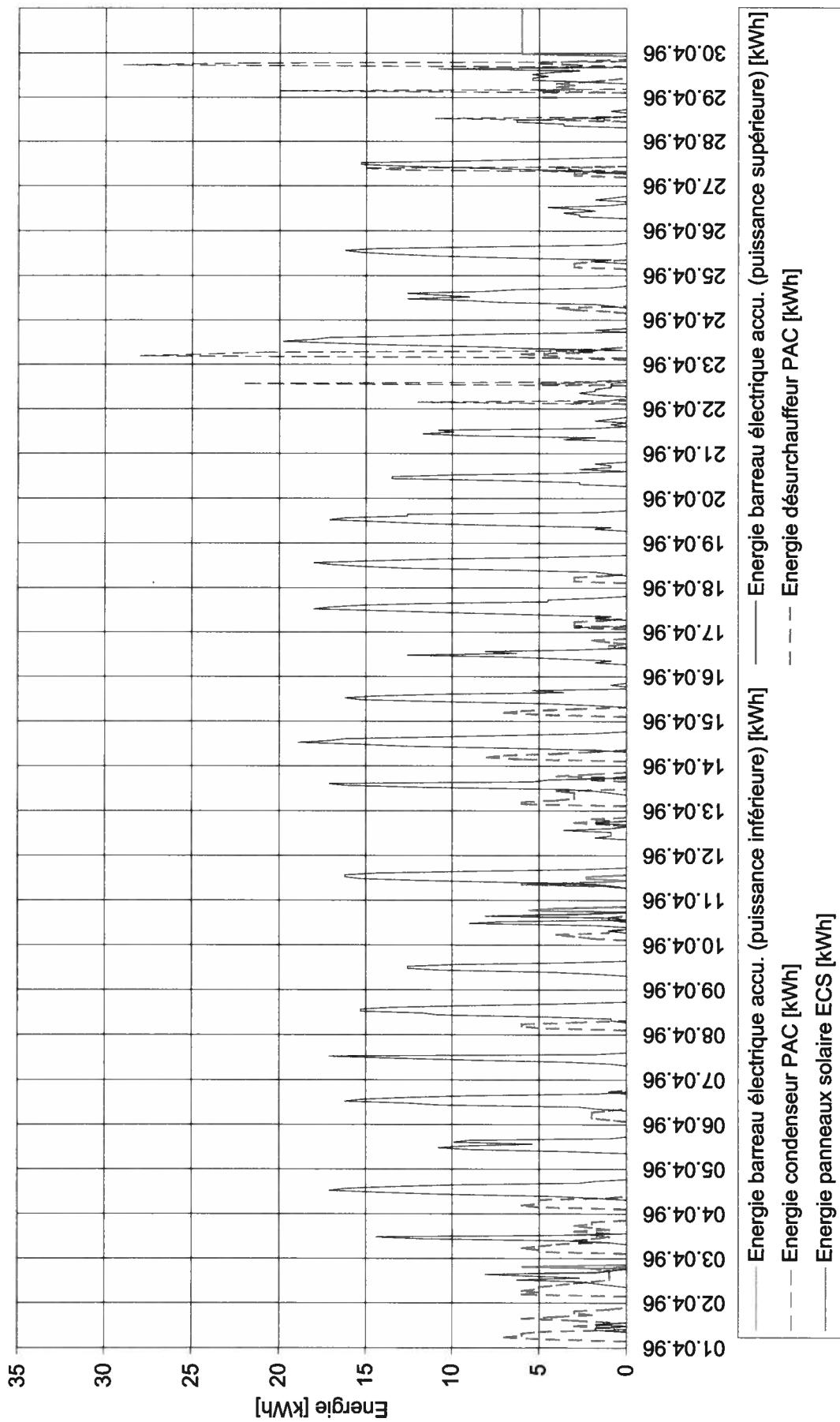
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de février 1996



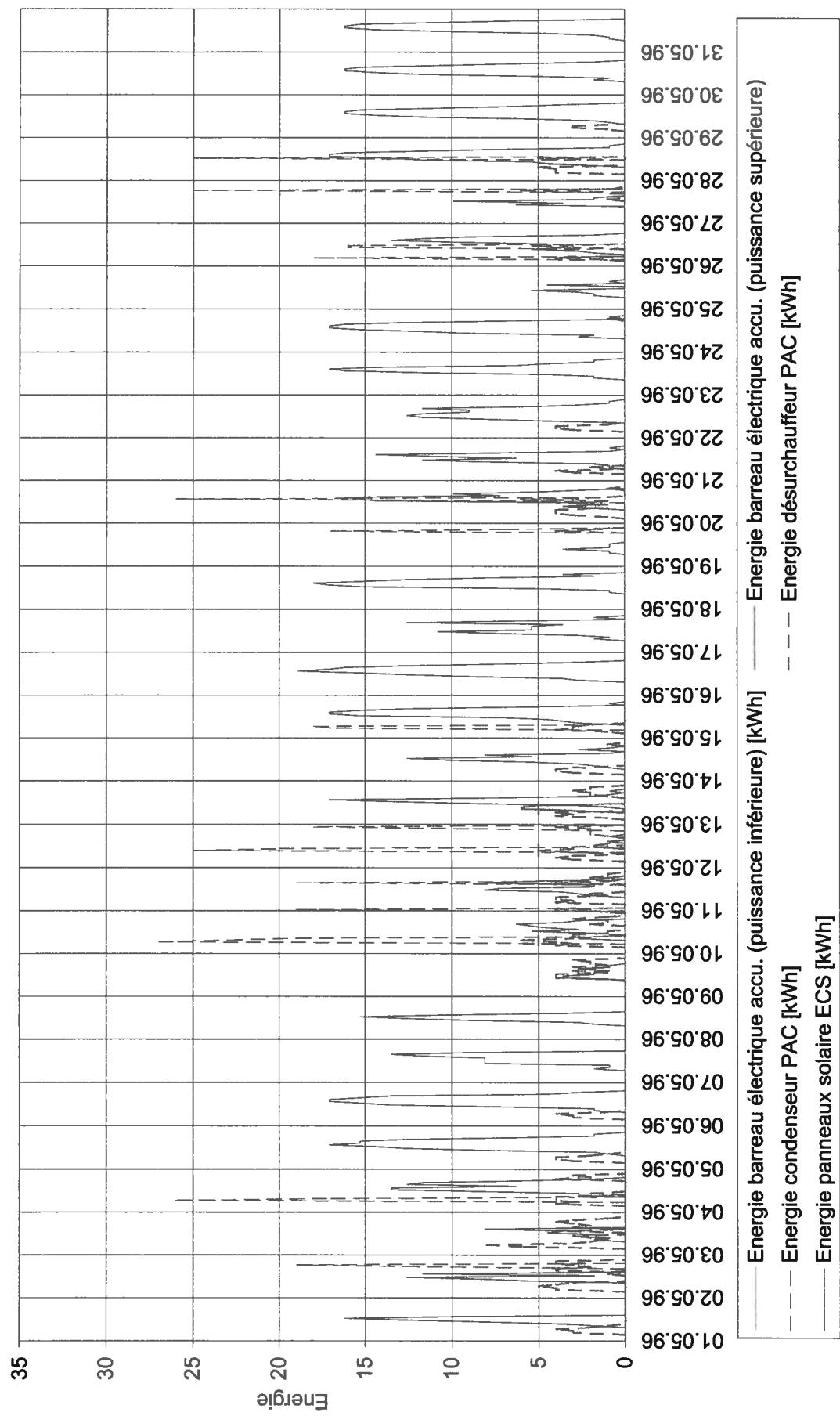
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mars 1996



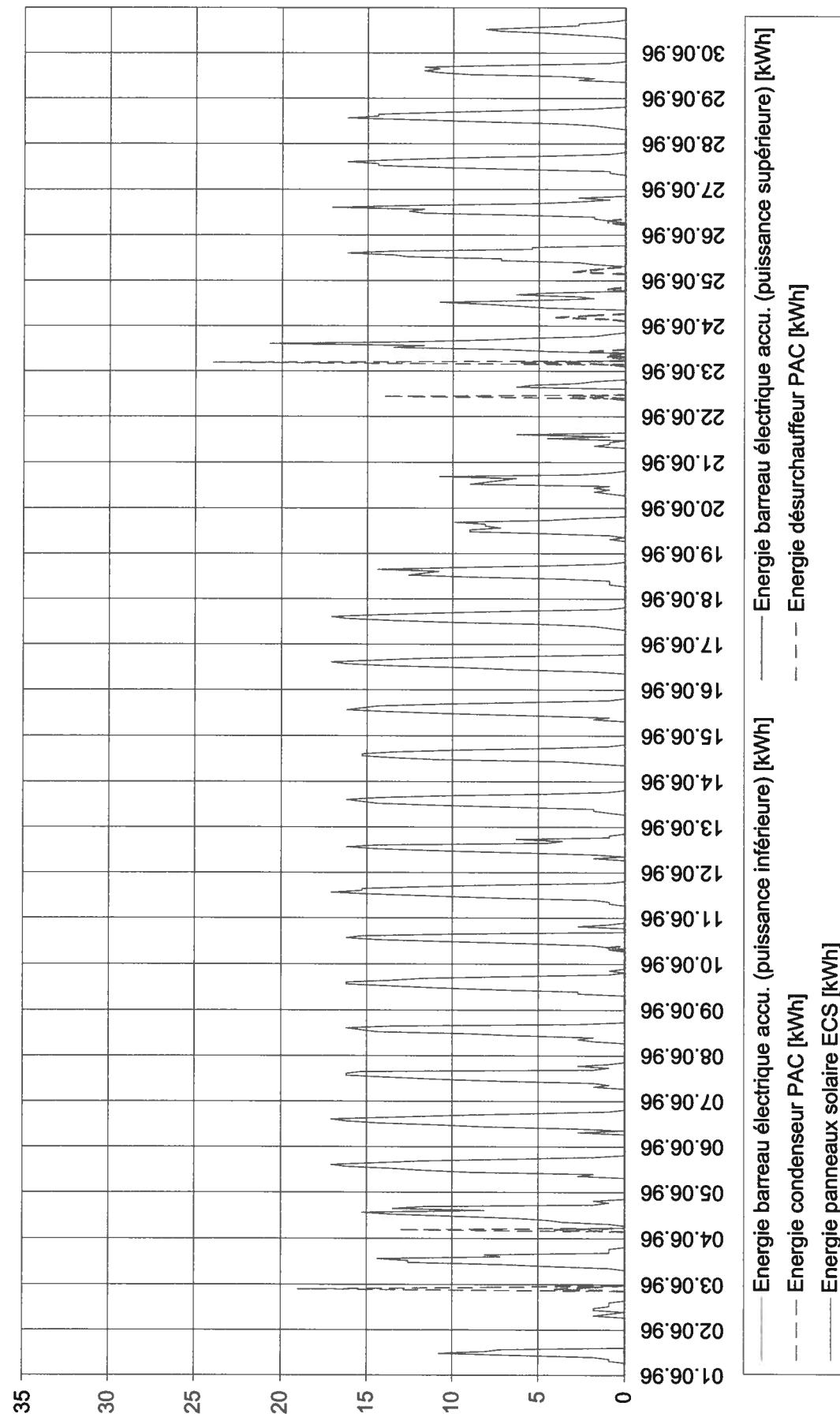
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois d'avril 1996



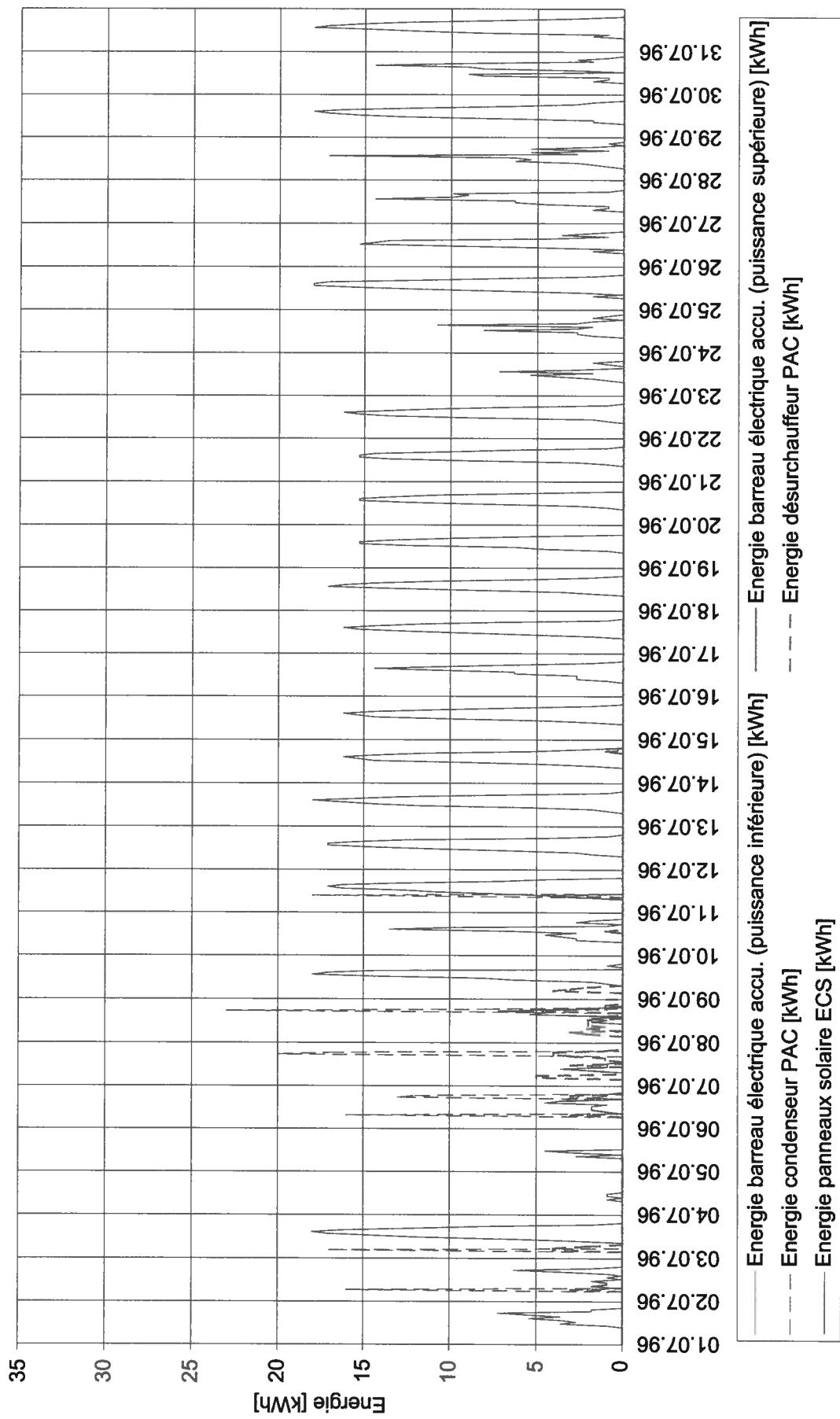
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mai 1996



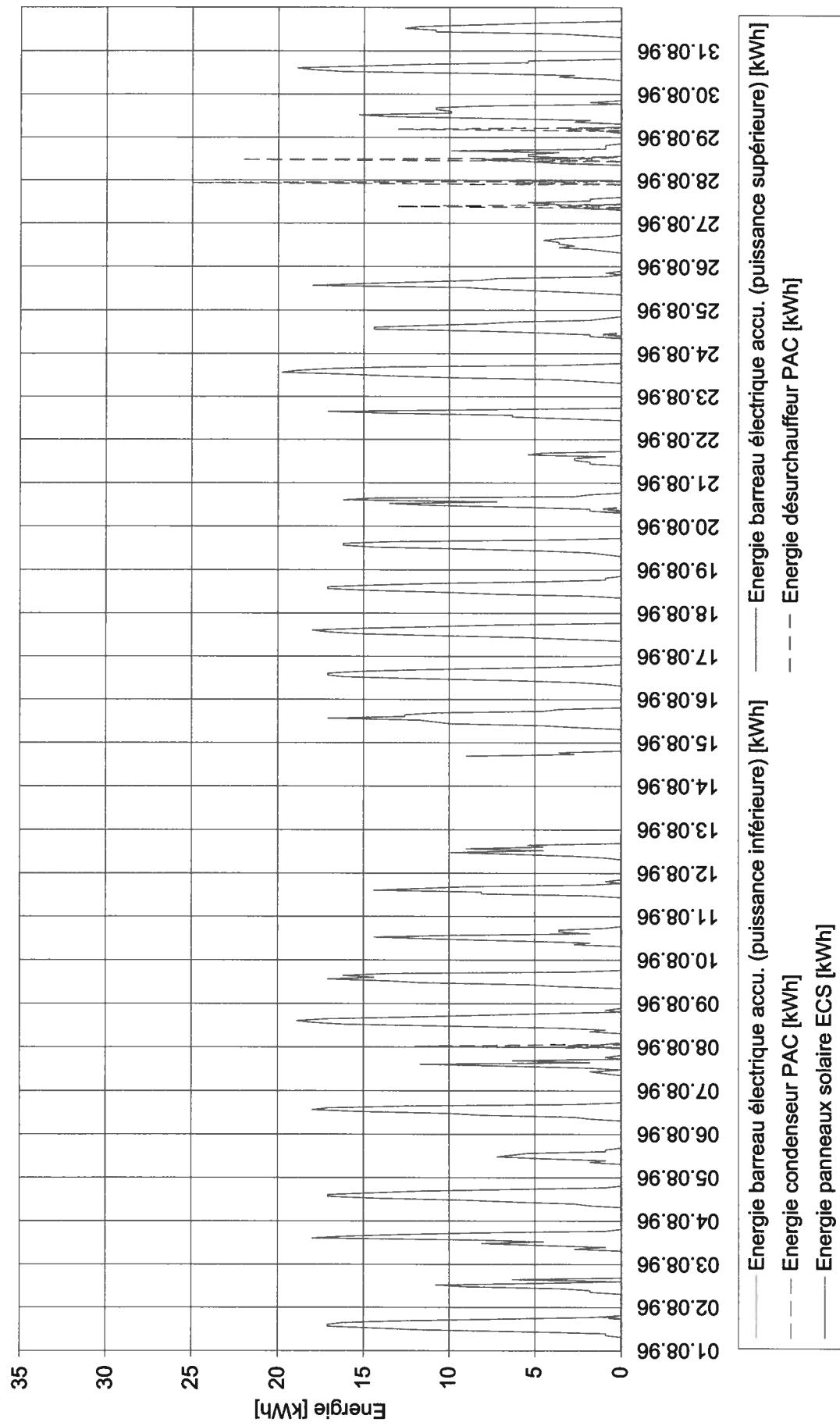
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juin 1996



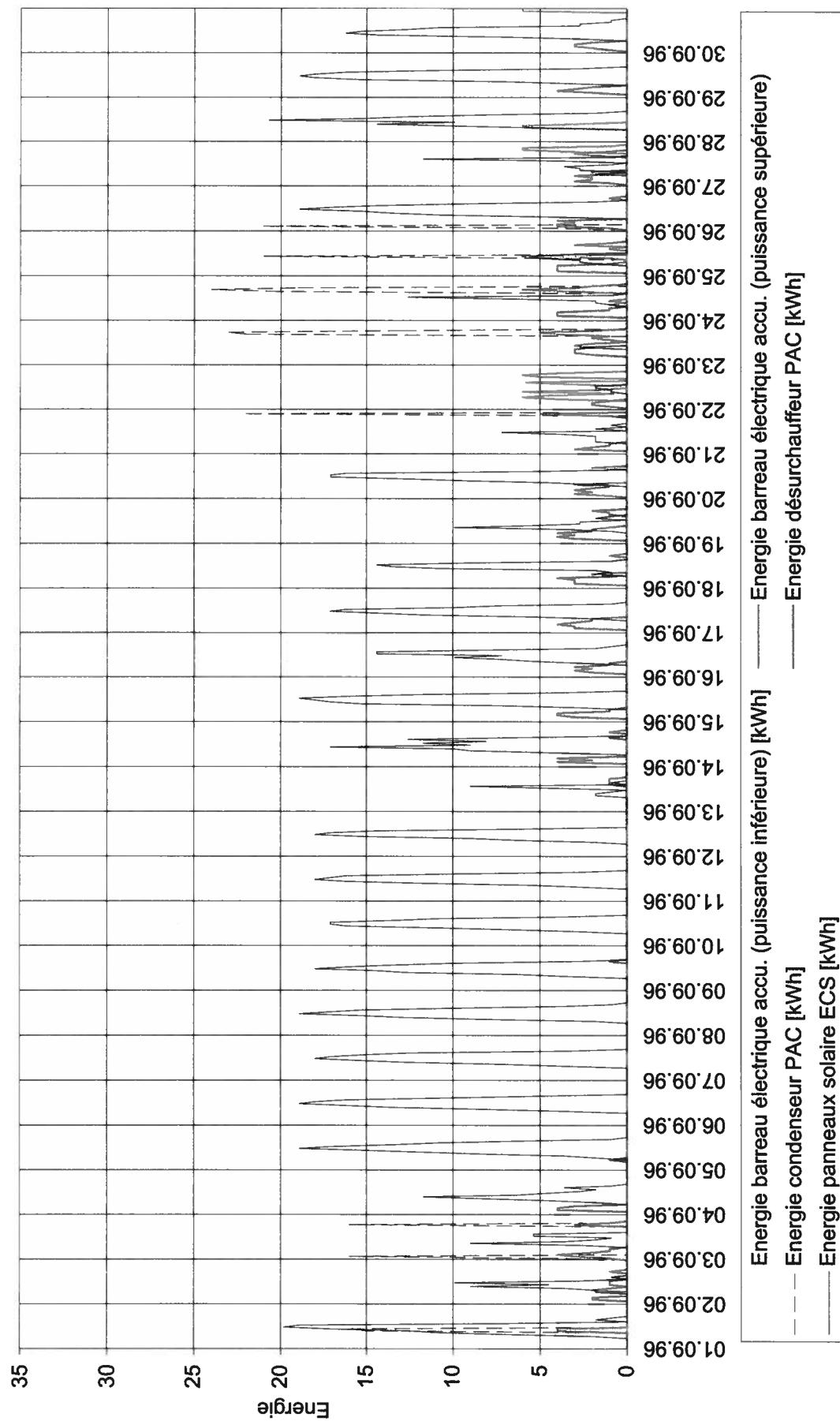
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juillet 1996



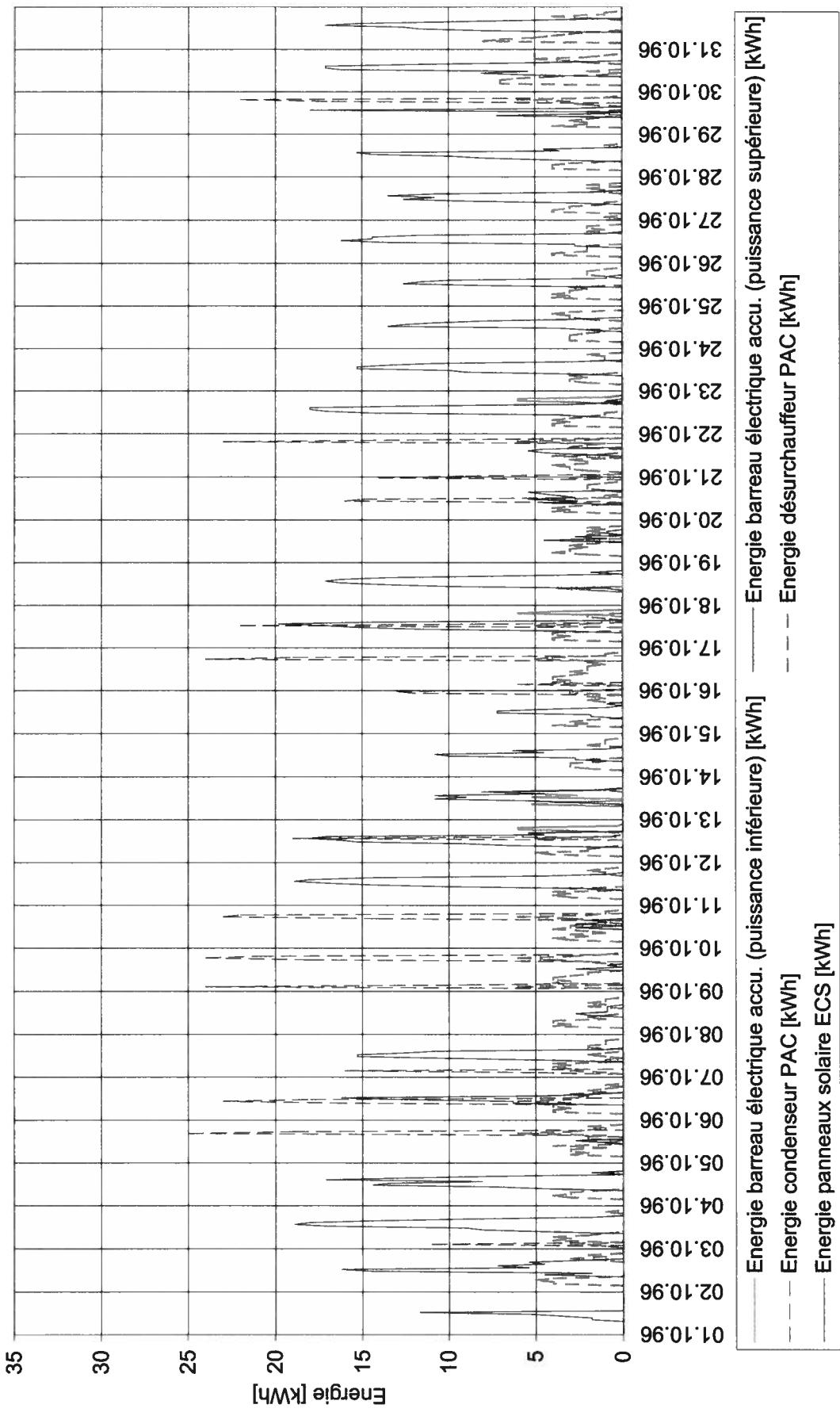
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois d'août 1996



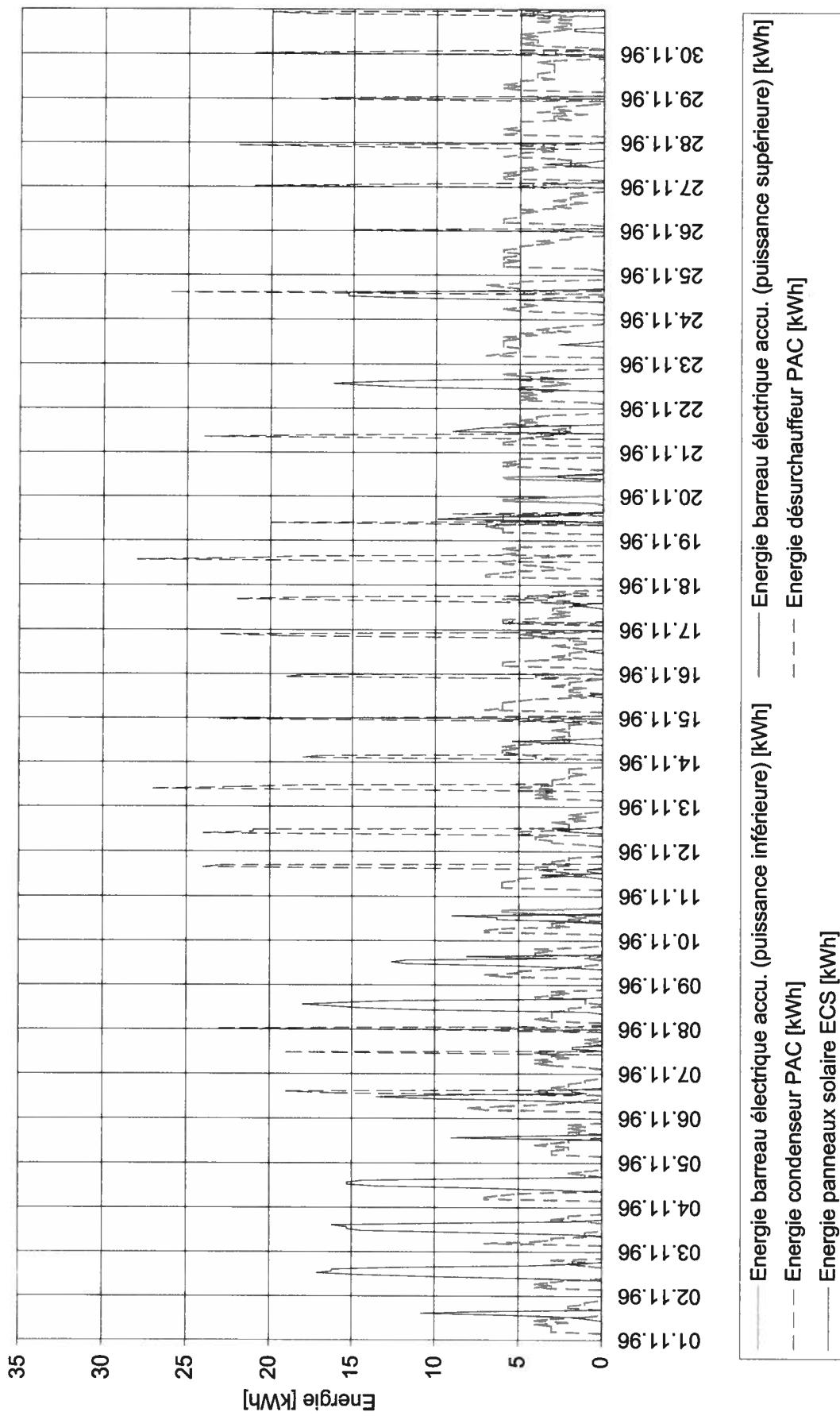
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de septembre 1996



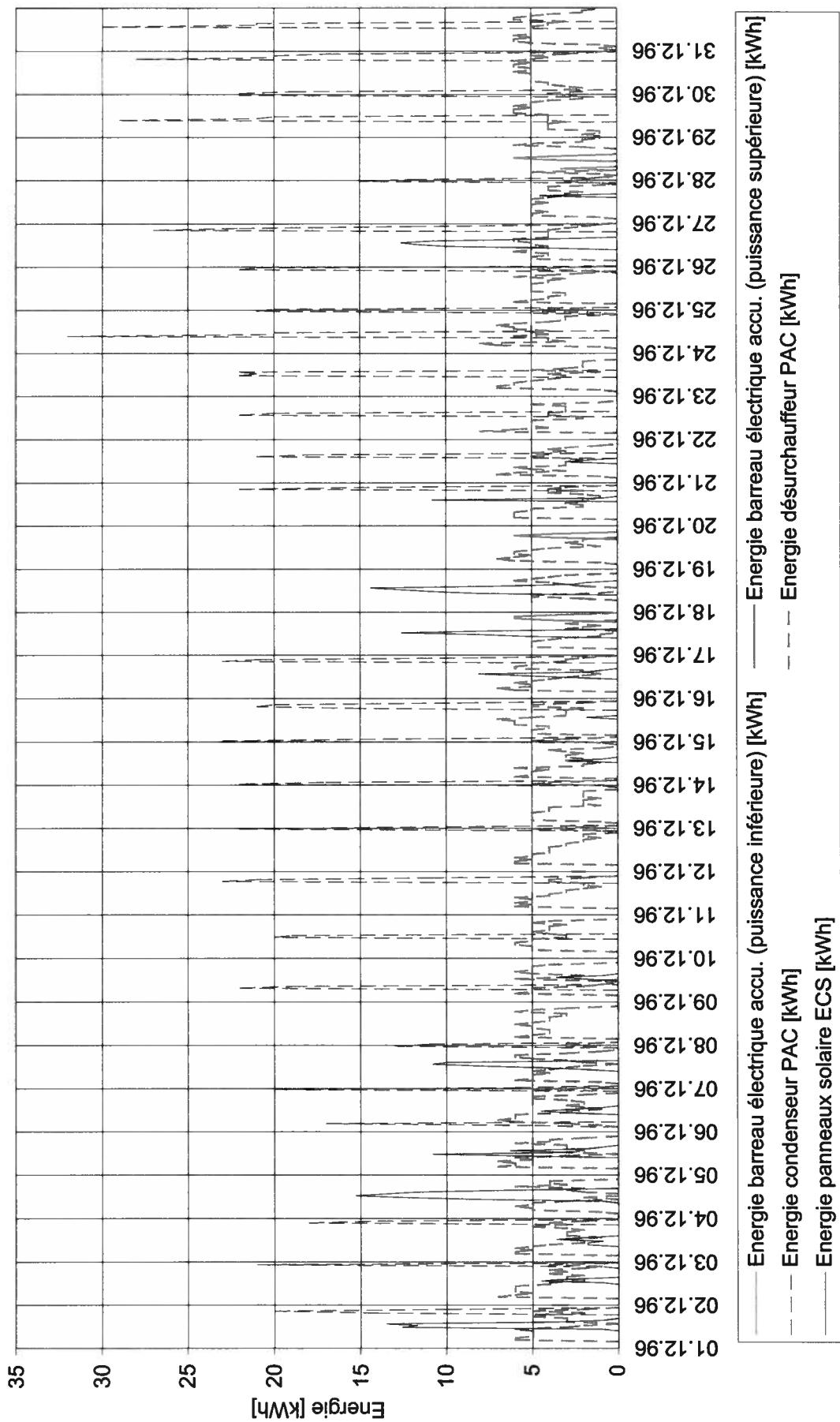
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois d'octobre 1996



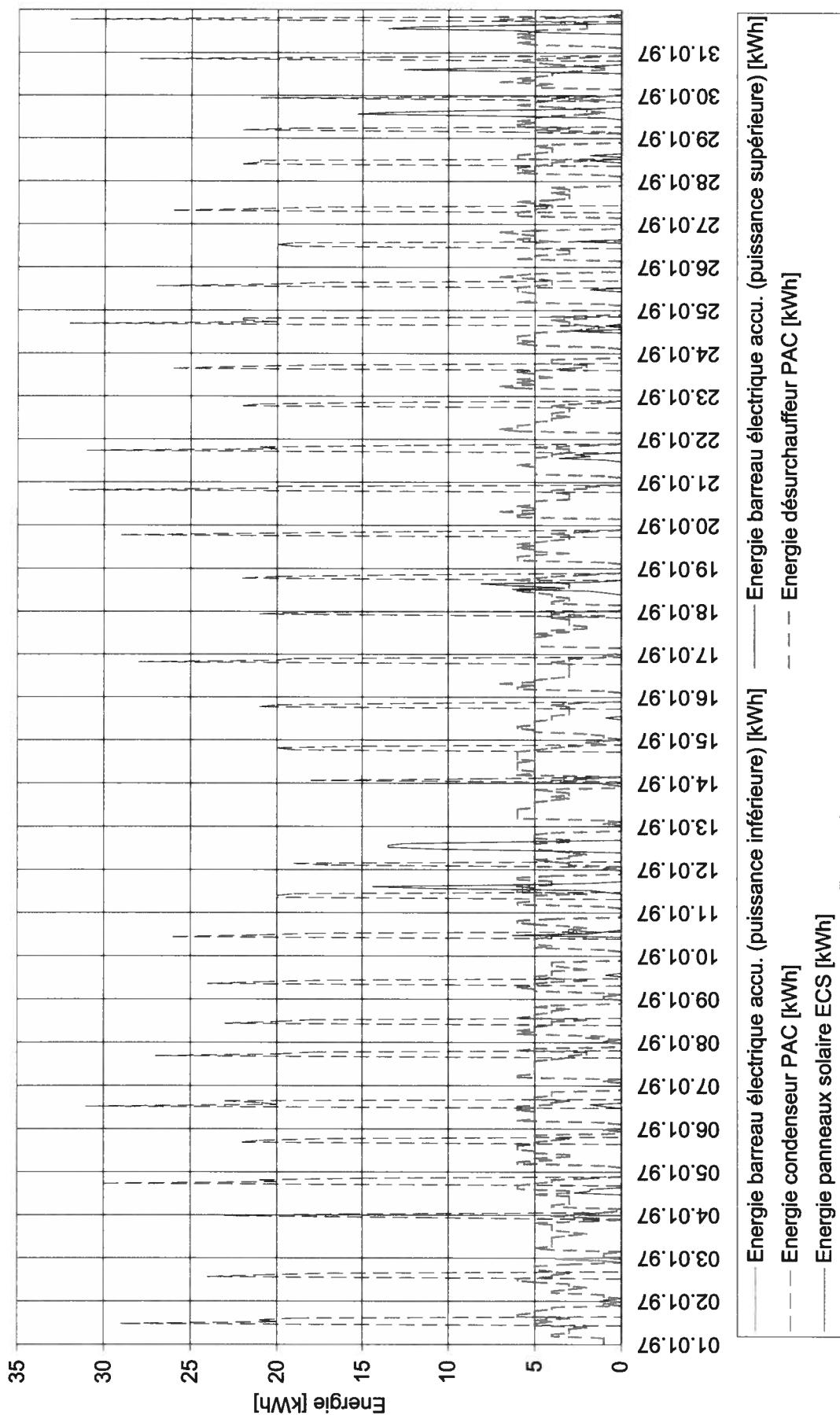
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de novembre 1996



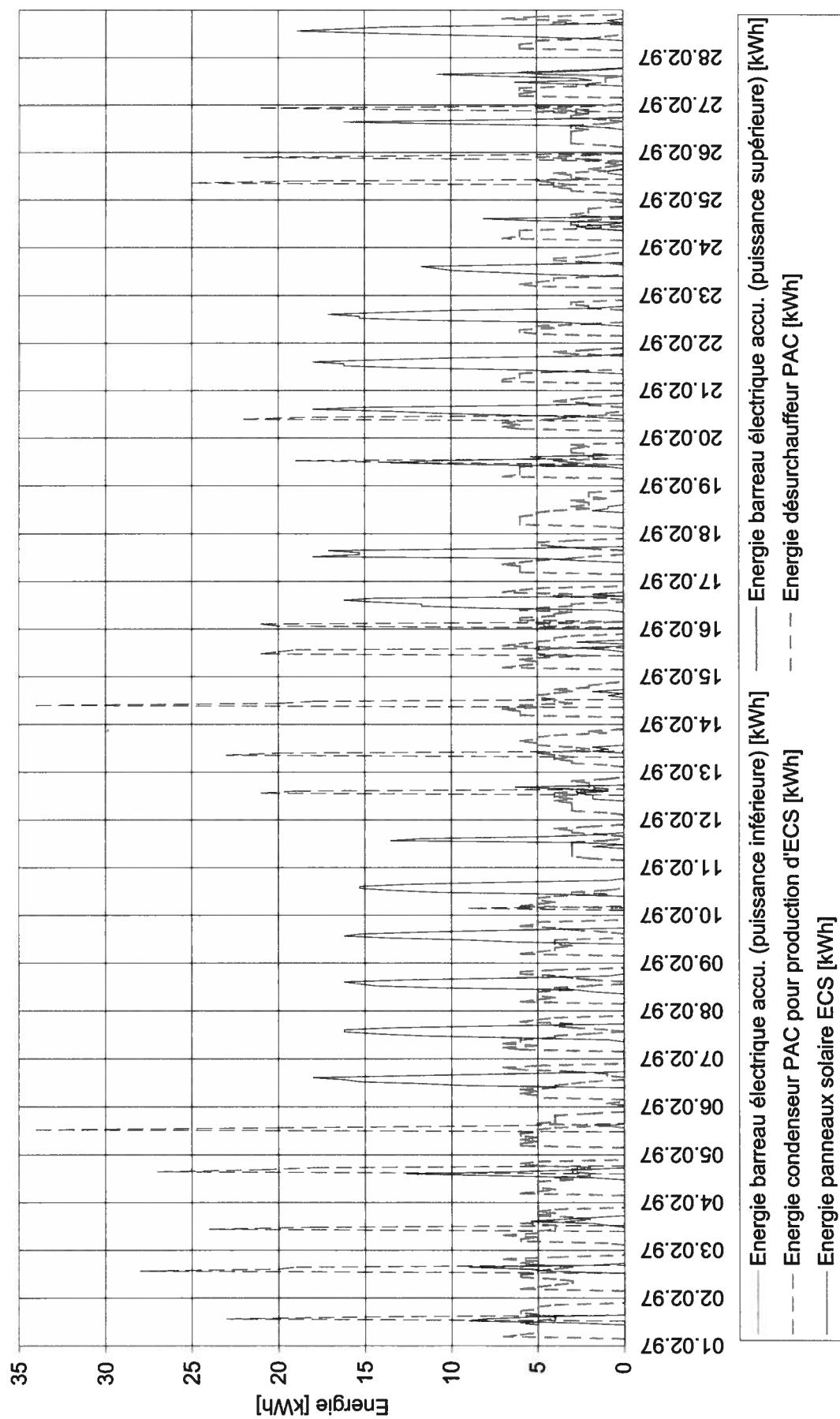
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de décembre 1996



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de janvier 1997



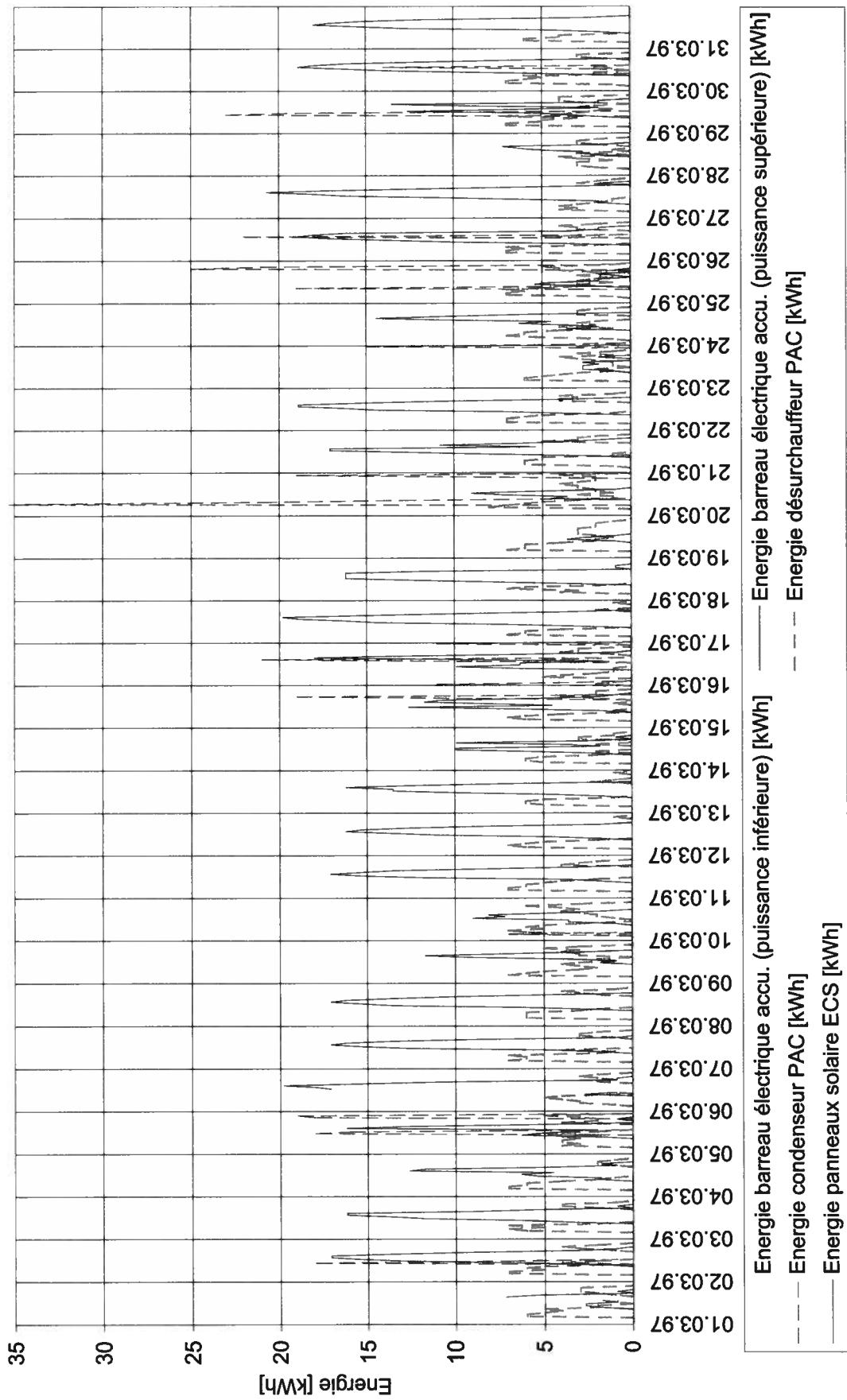
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de février 1997



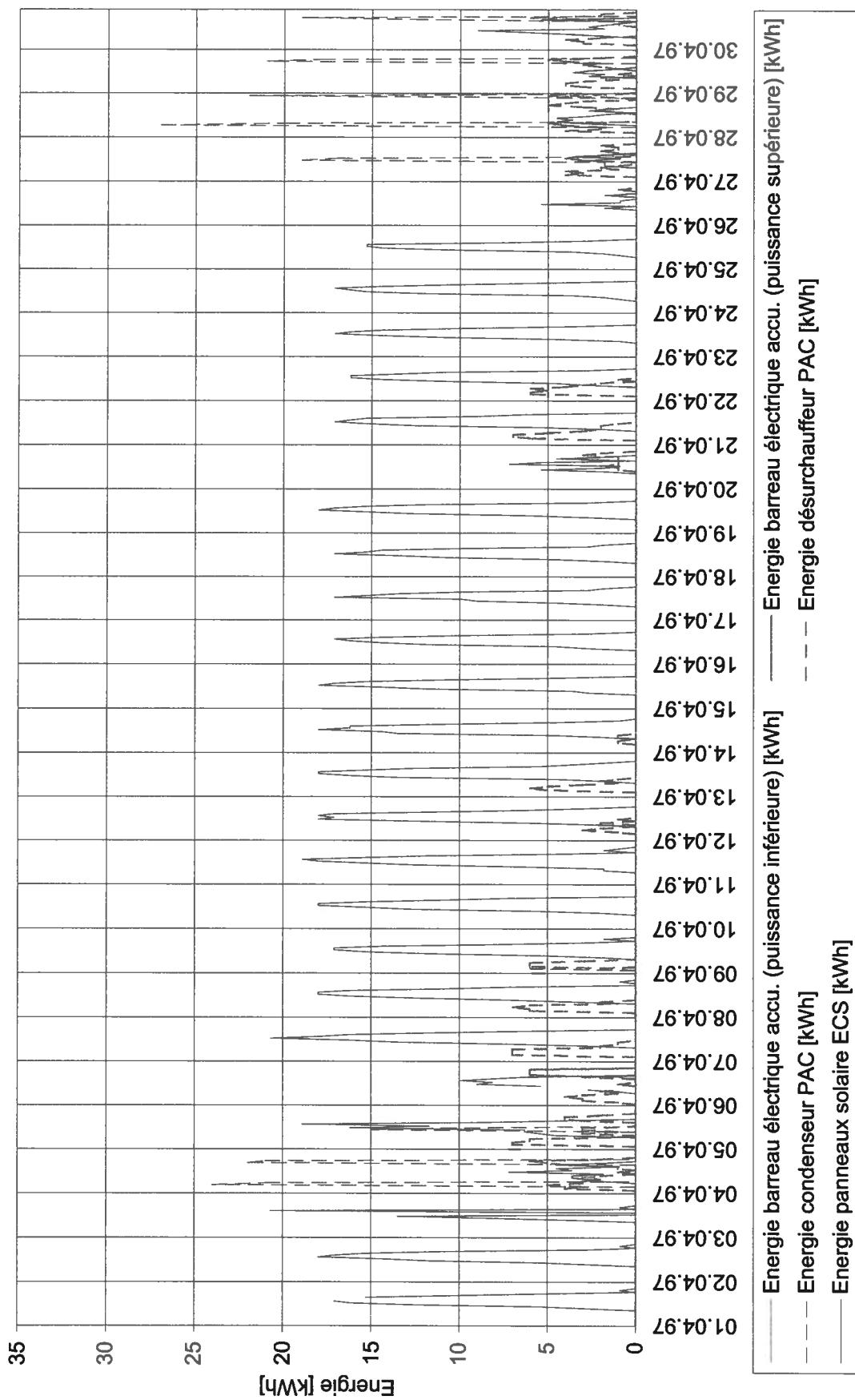
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry

Energie produite par les capteurs

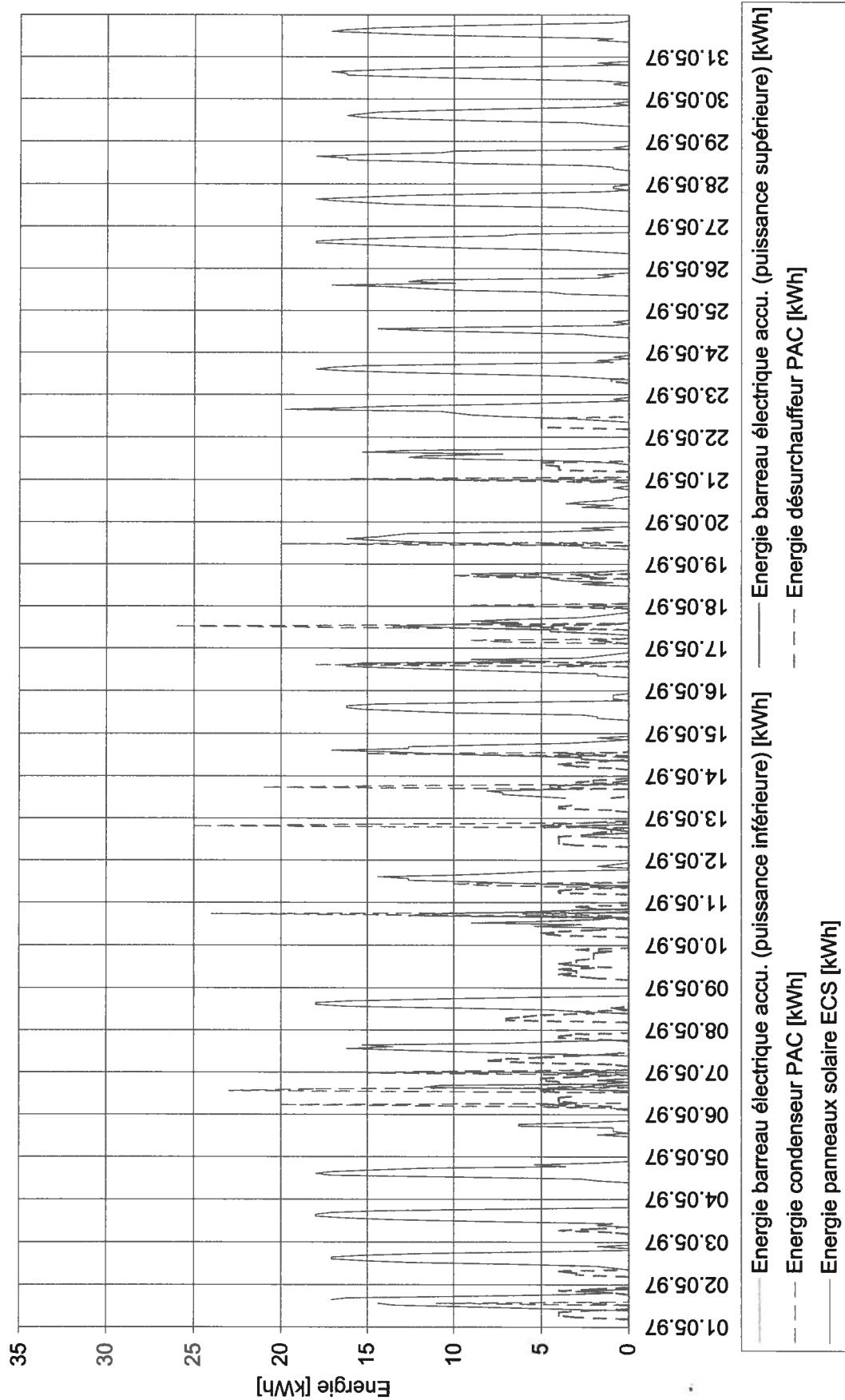
Mois de mars 1997



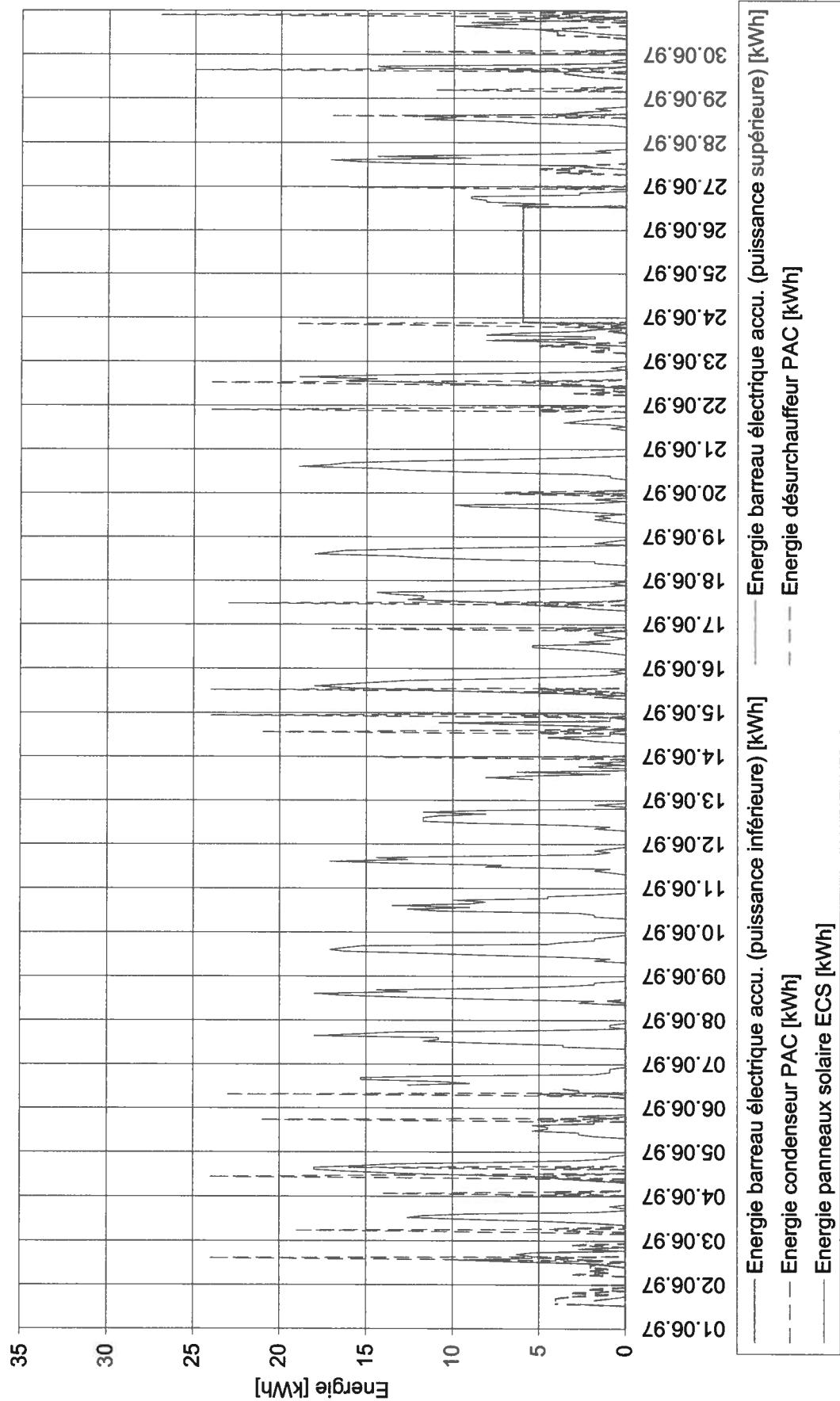
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois d'avril 1997



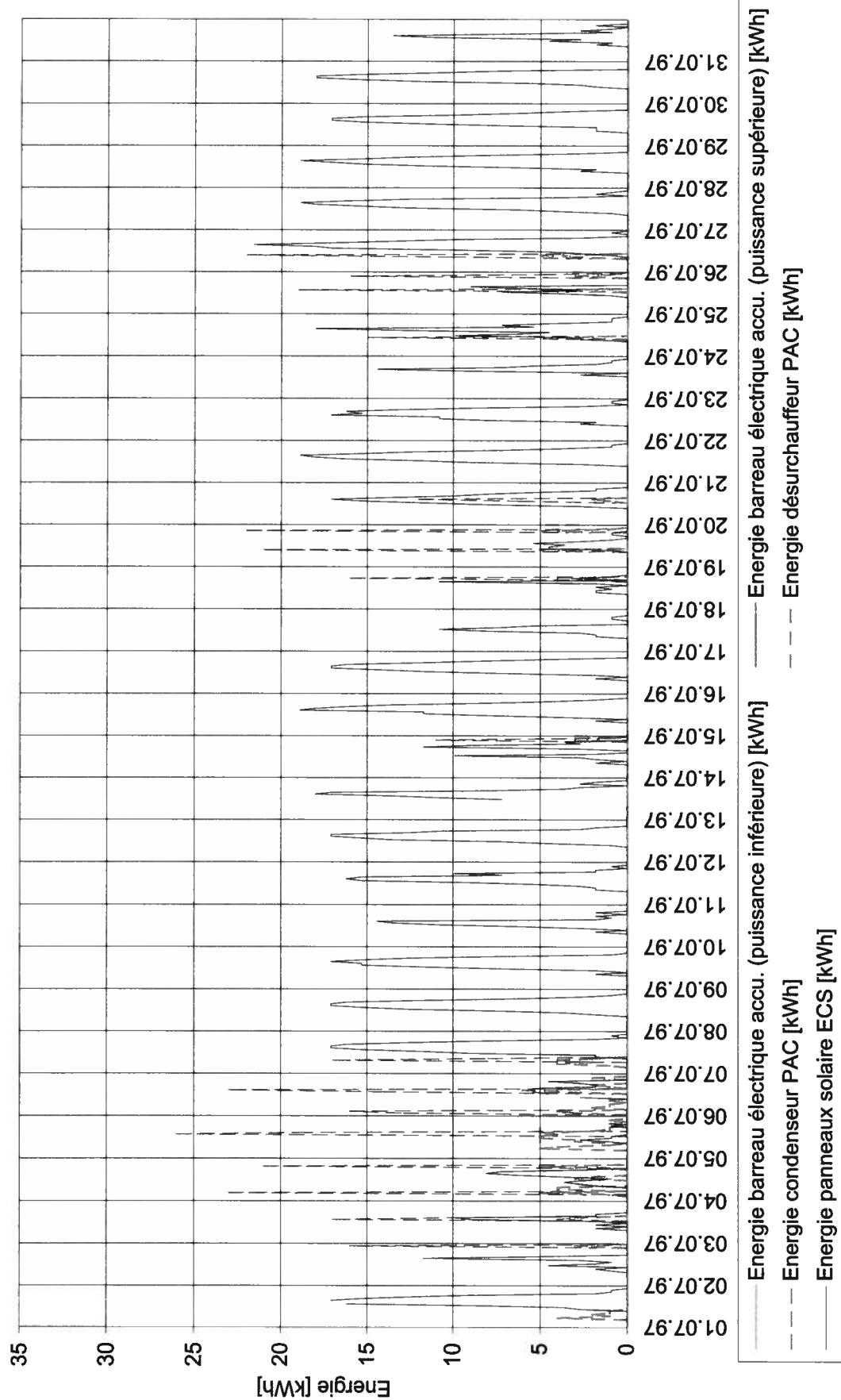
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mai 1997



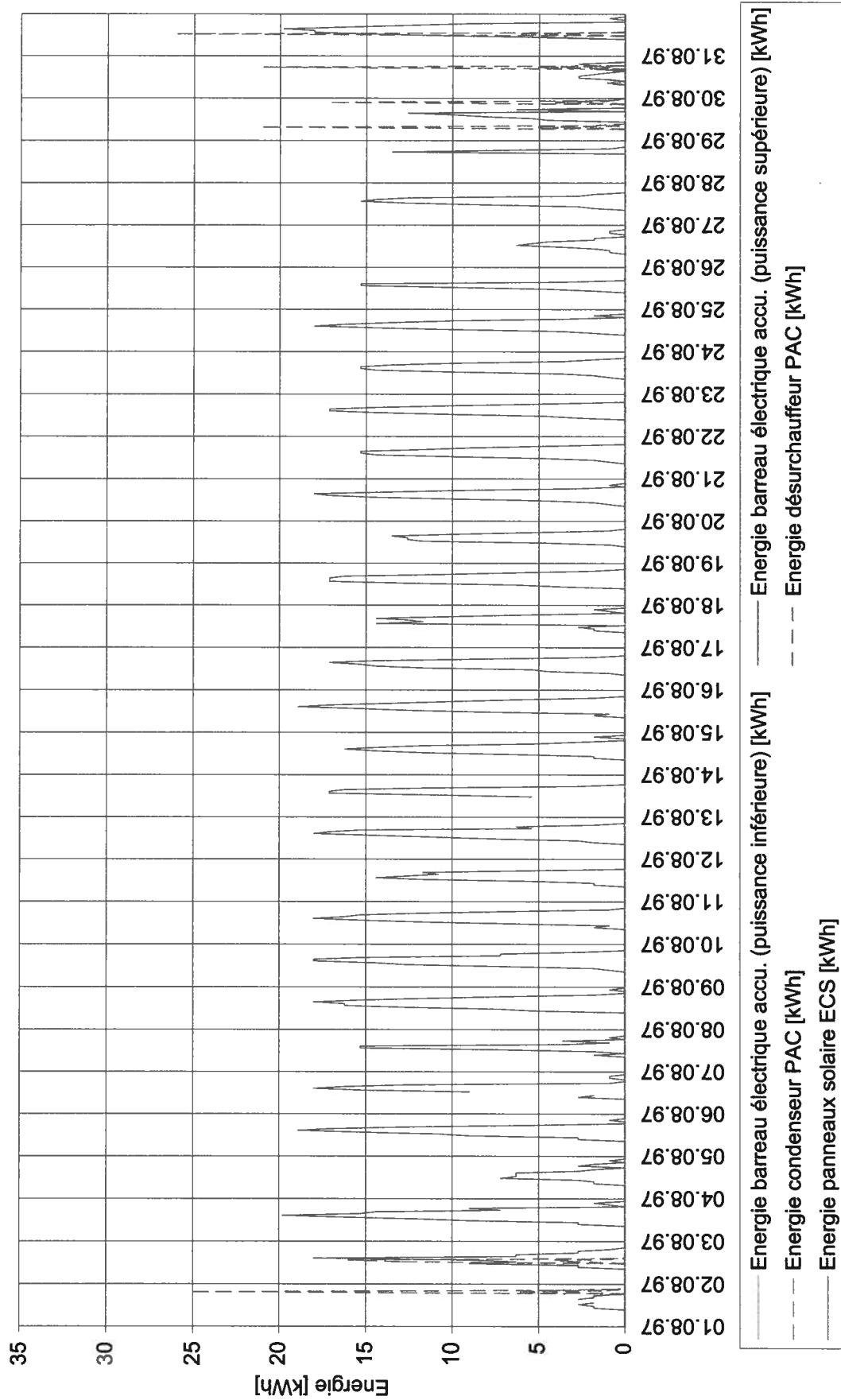
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juin 1997



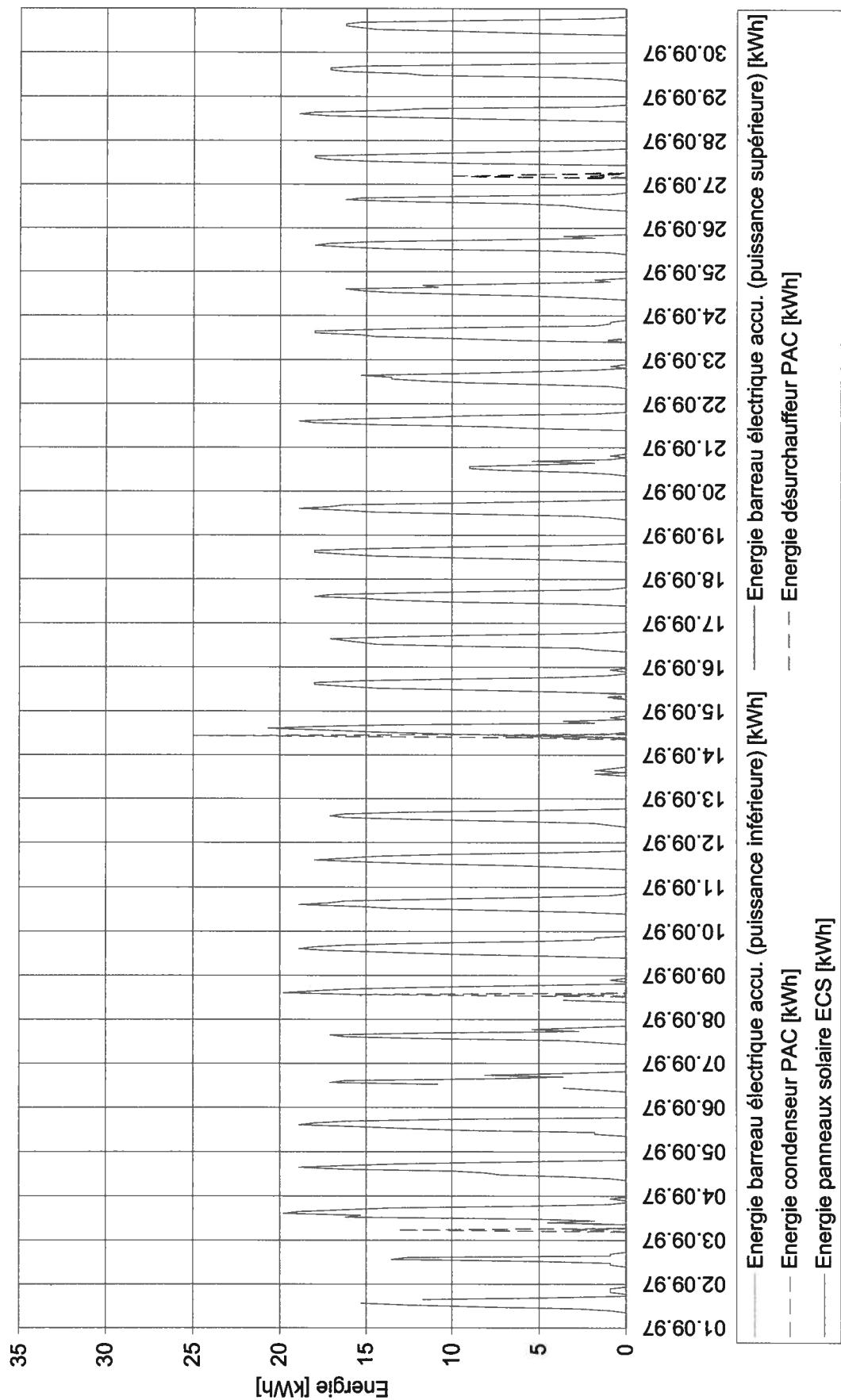
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juillet 1997



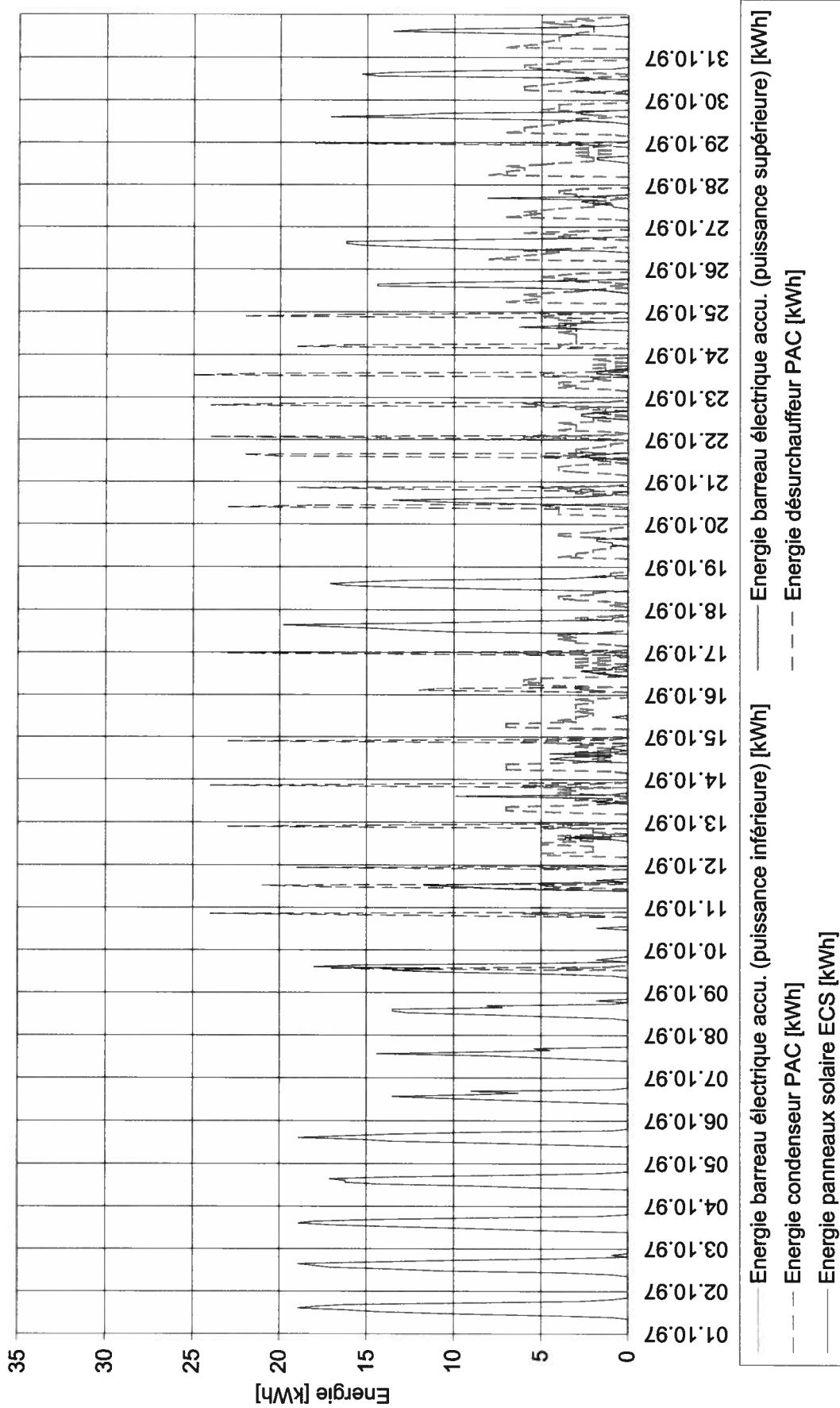
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois d'août 1997



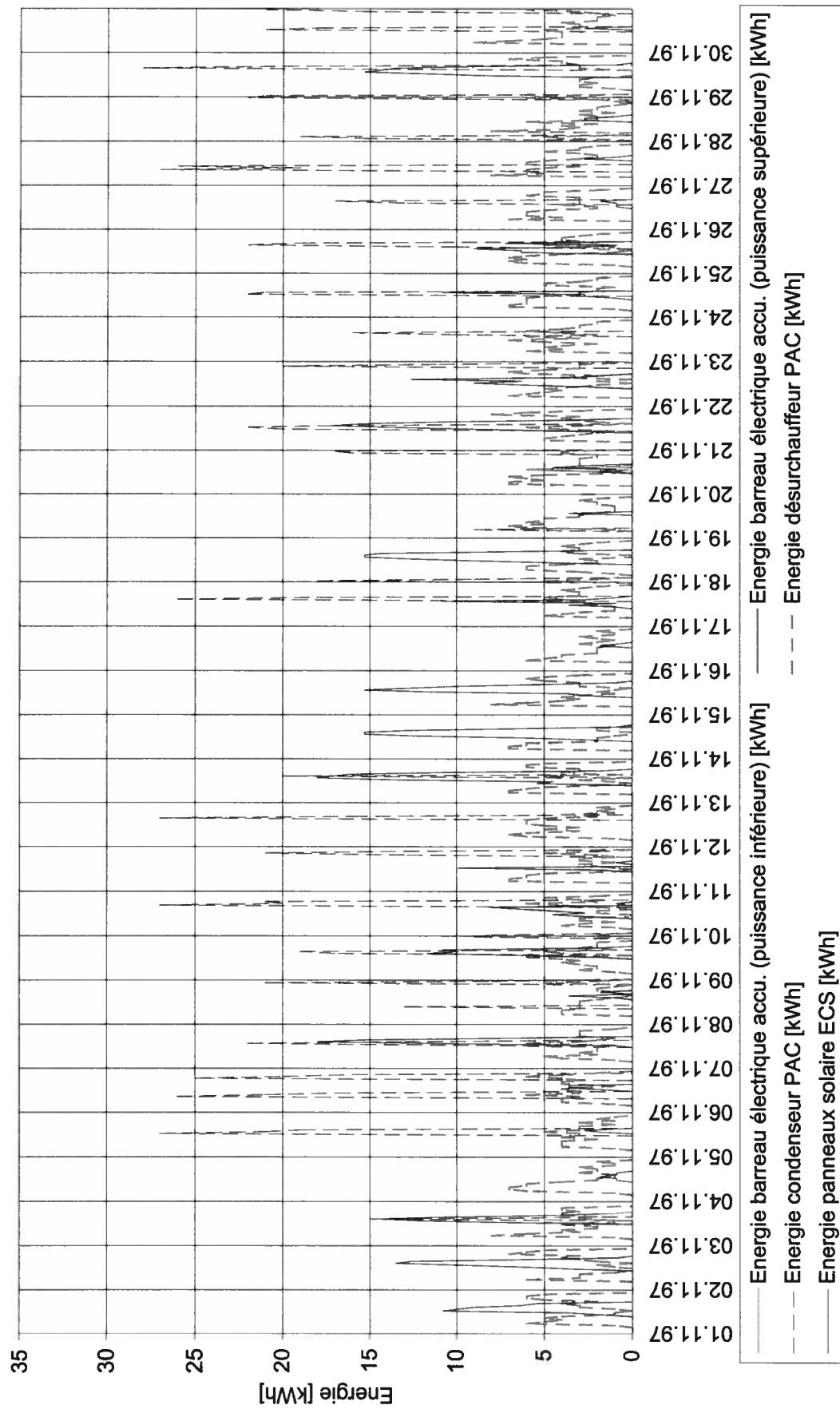
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de septembre 1997



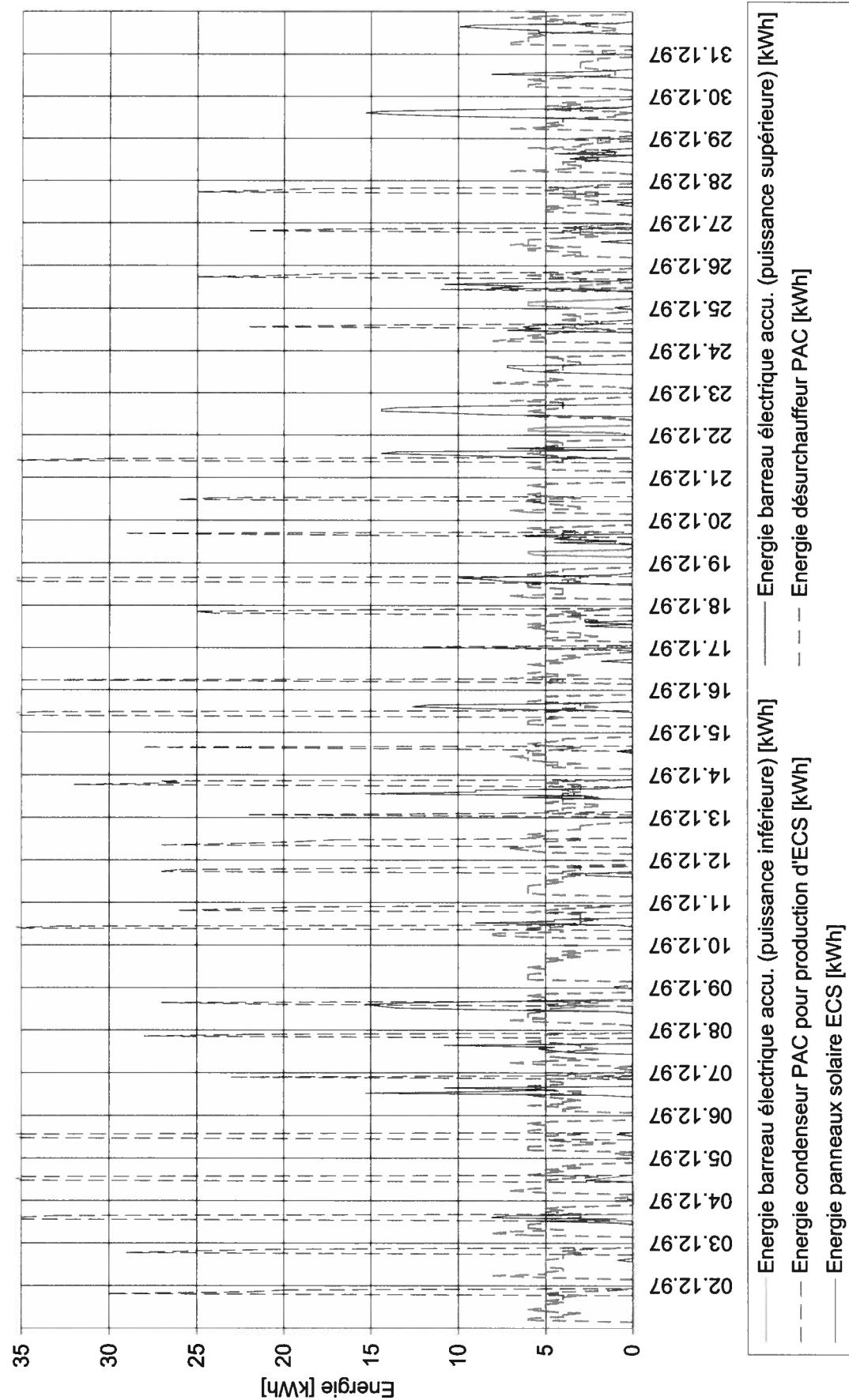
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois d'octobre 1997



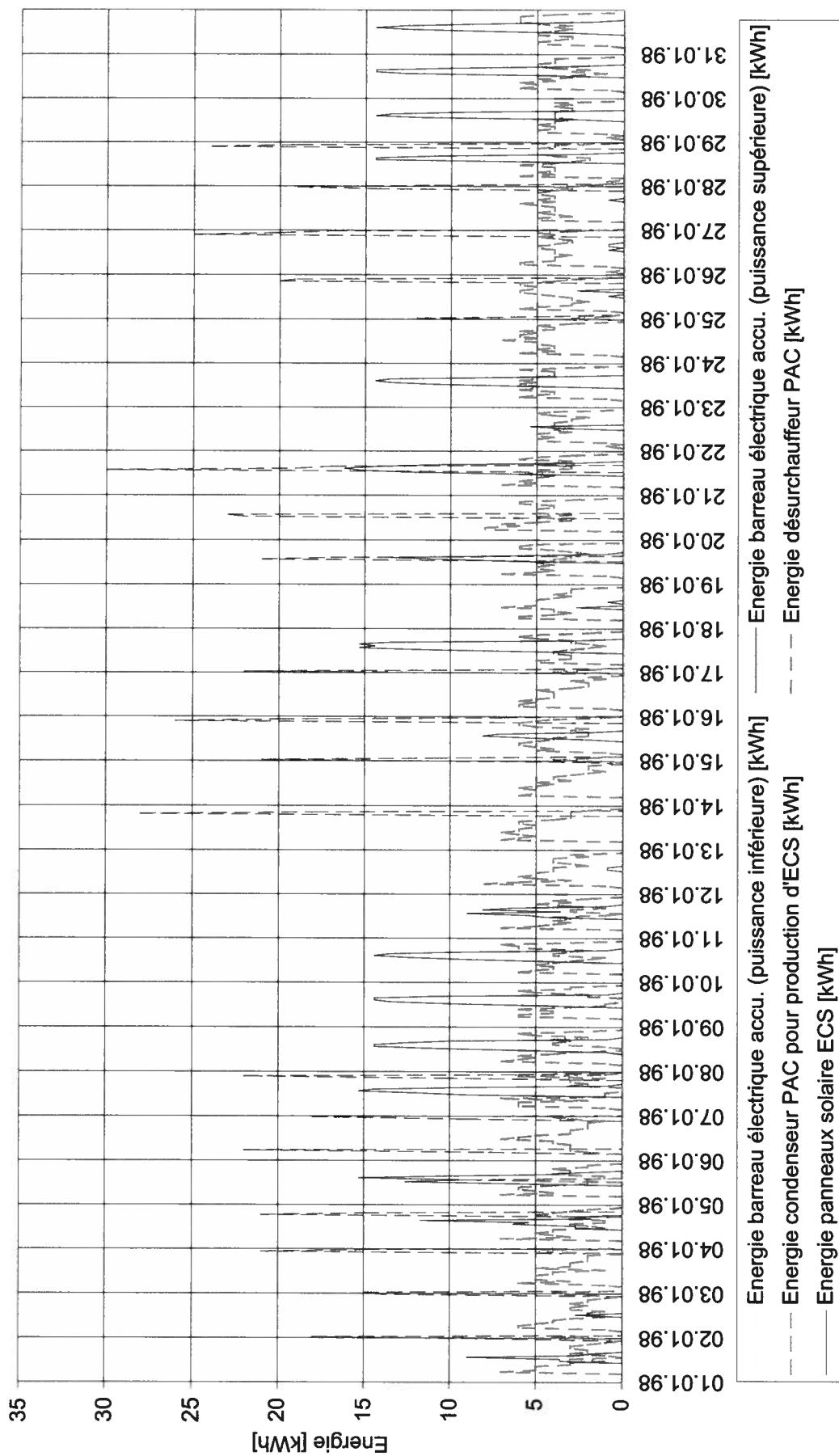
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de novembre 1997



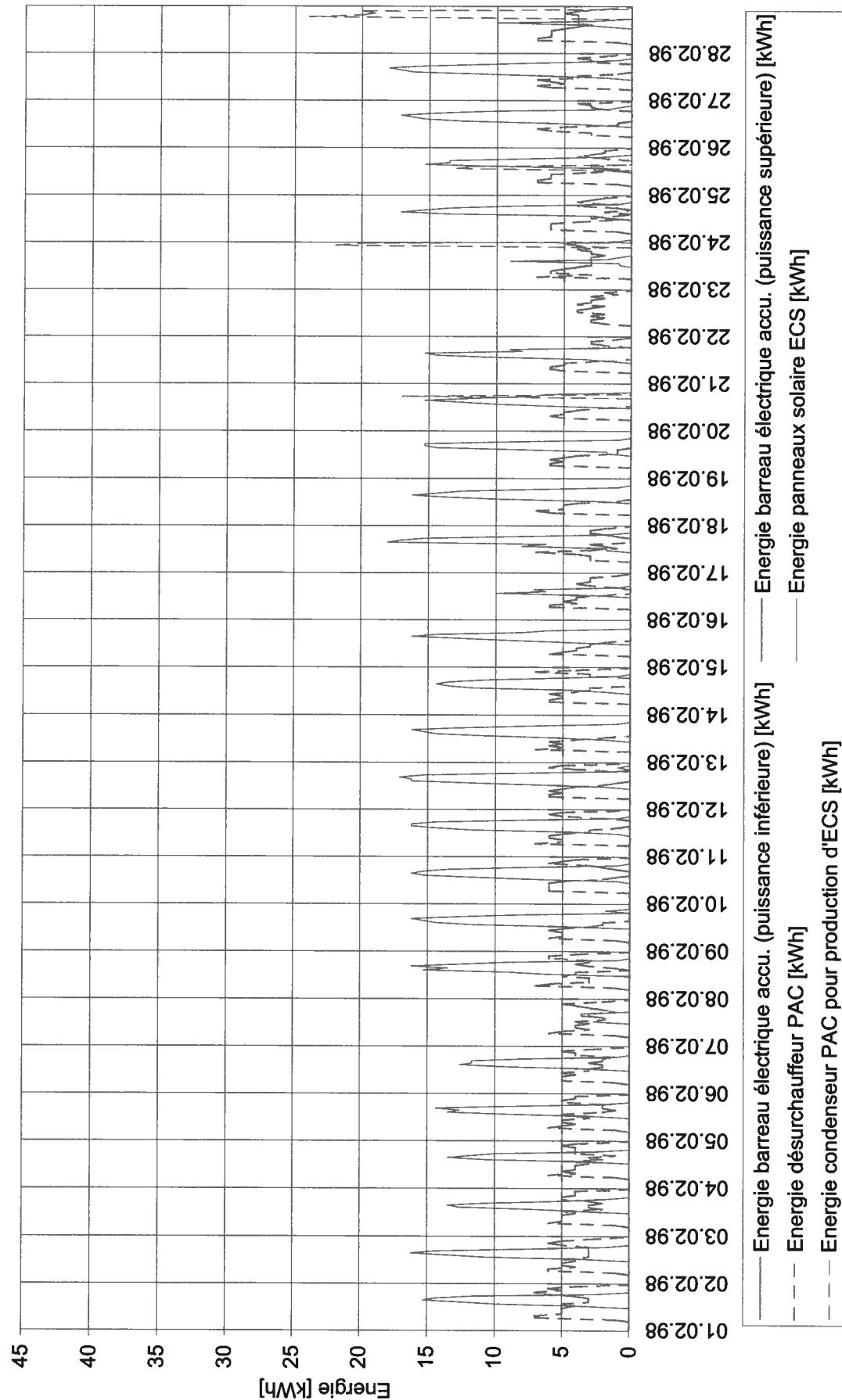
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de décembre 1997



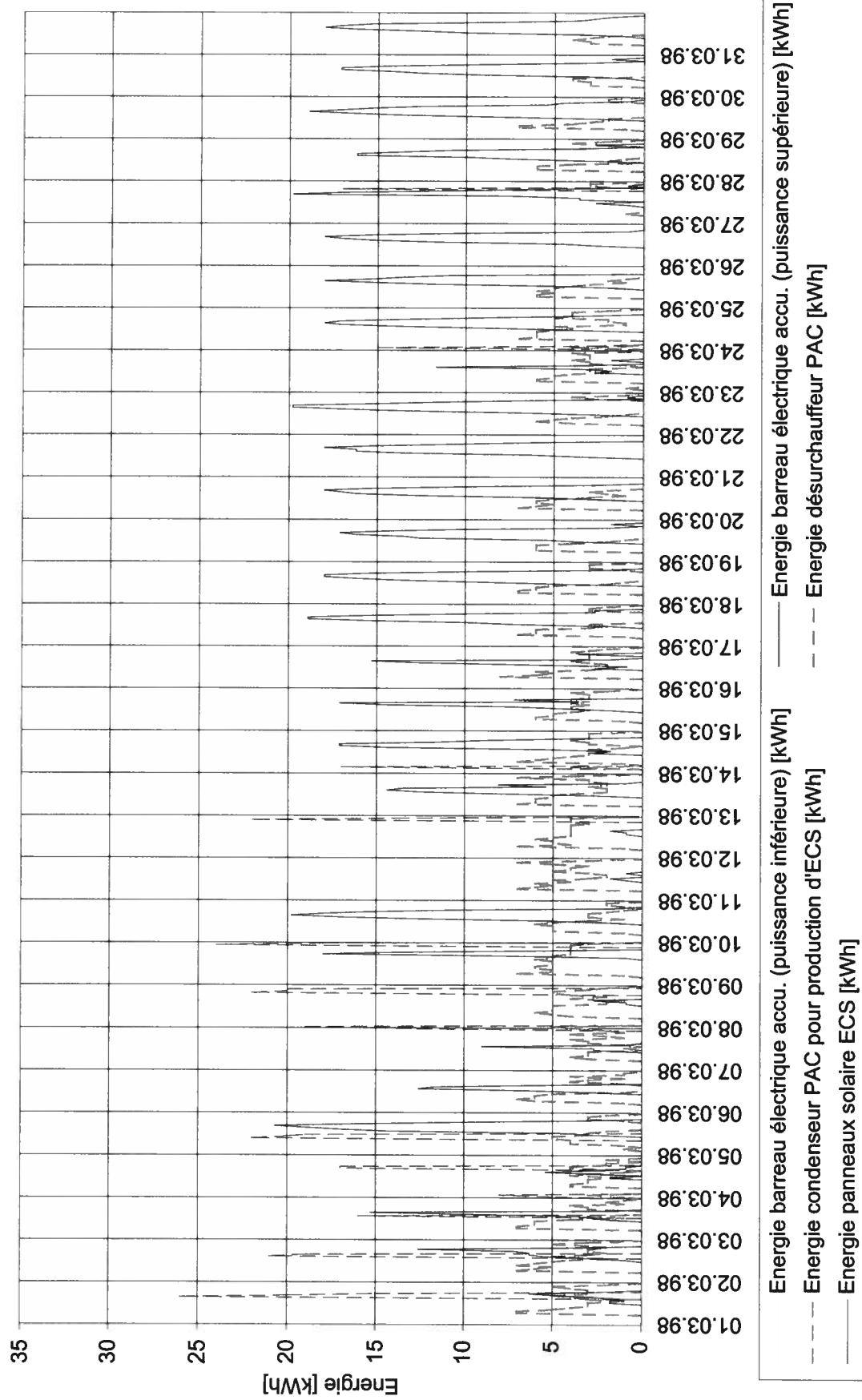
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de janvier 1998



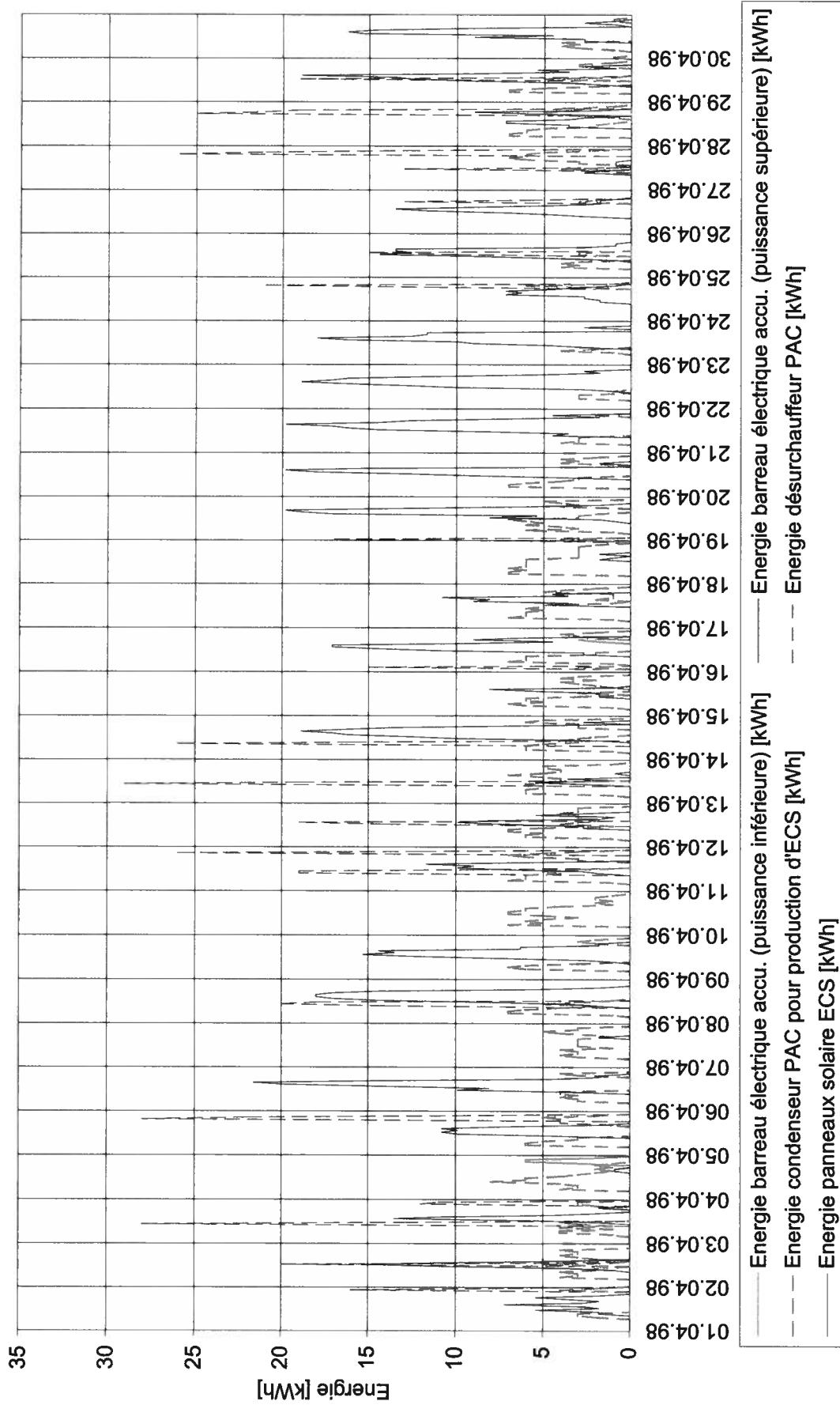
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de février 1998



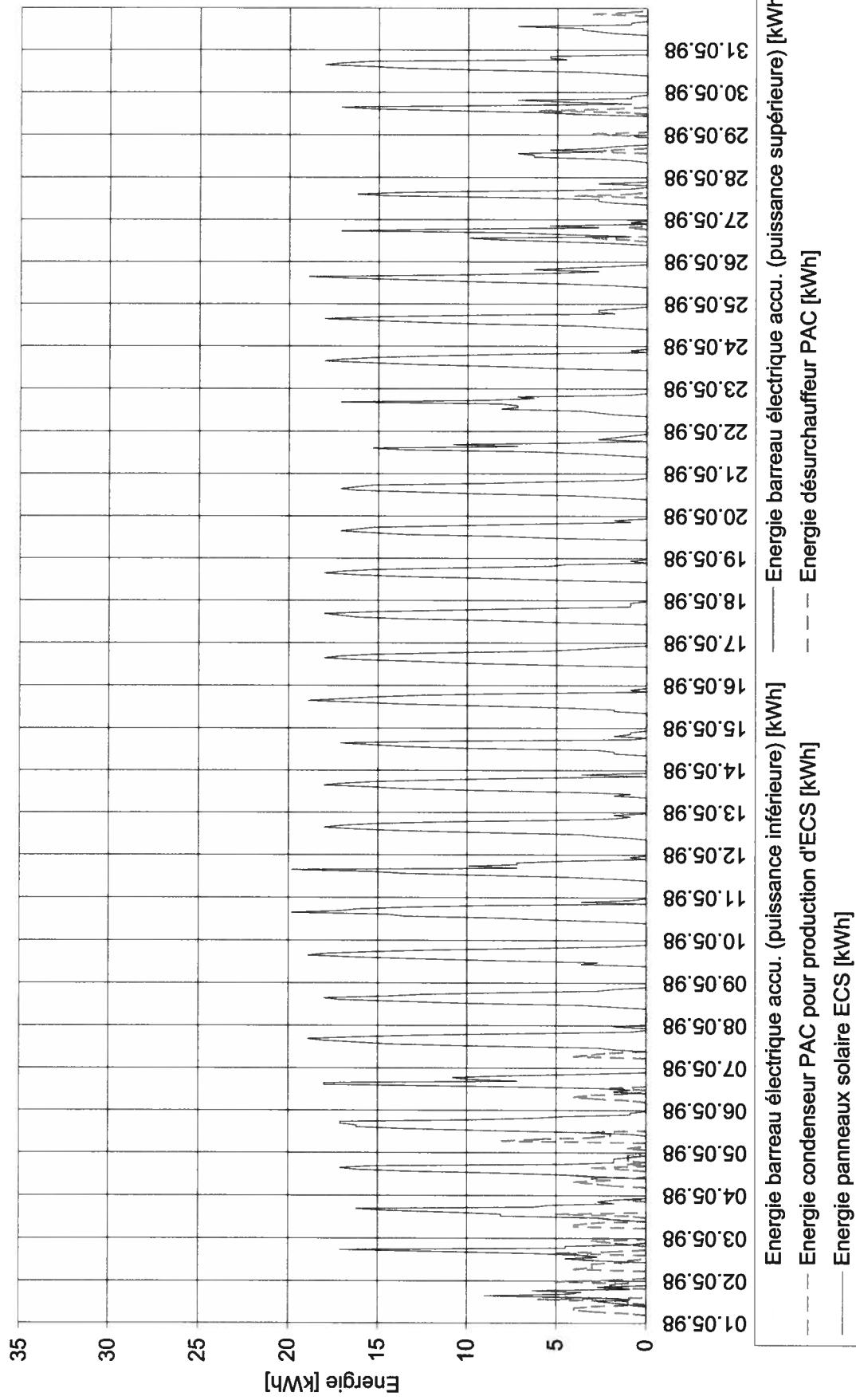
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mars 1998



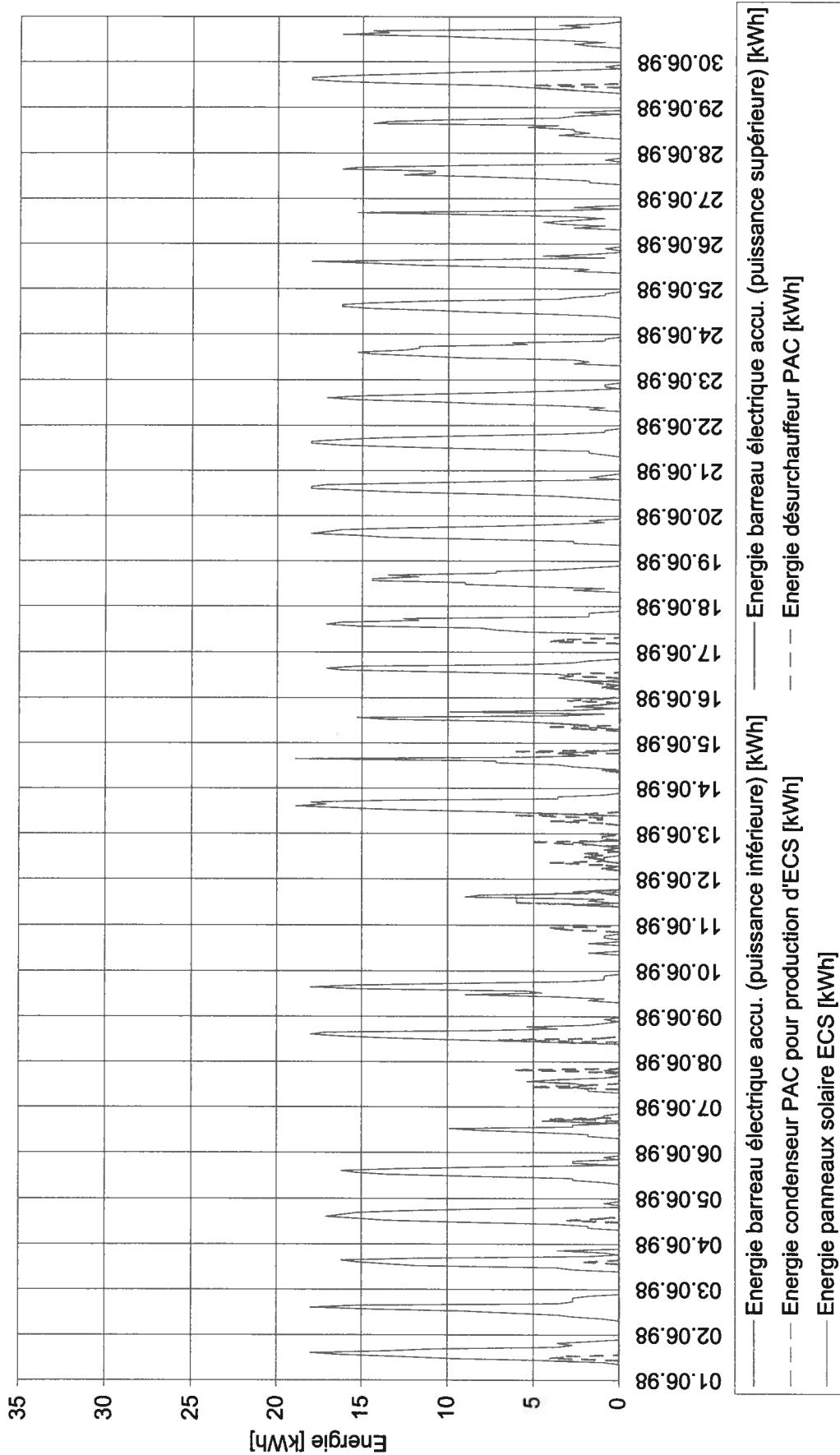
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de avril 1998



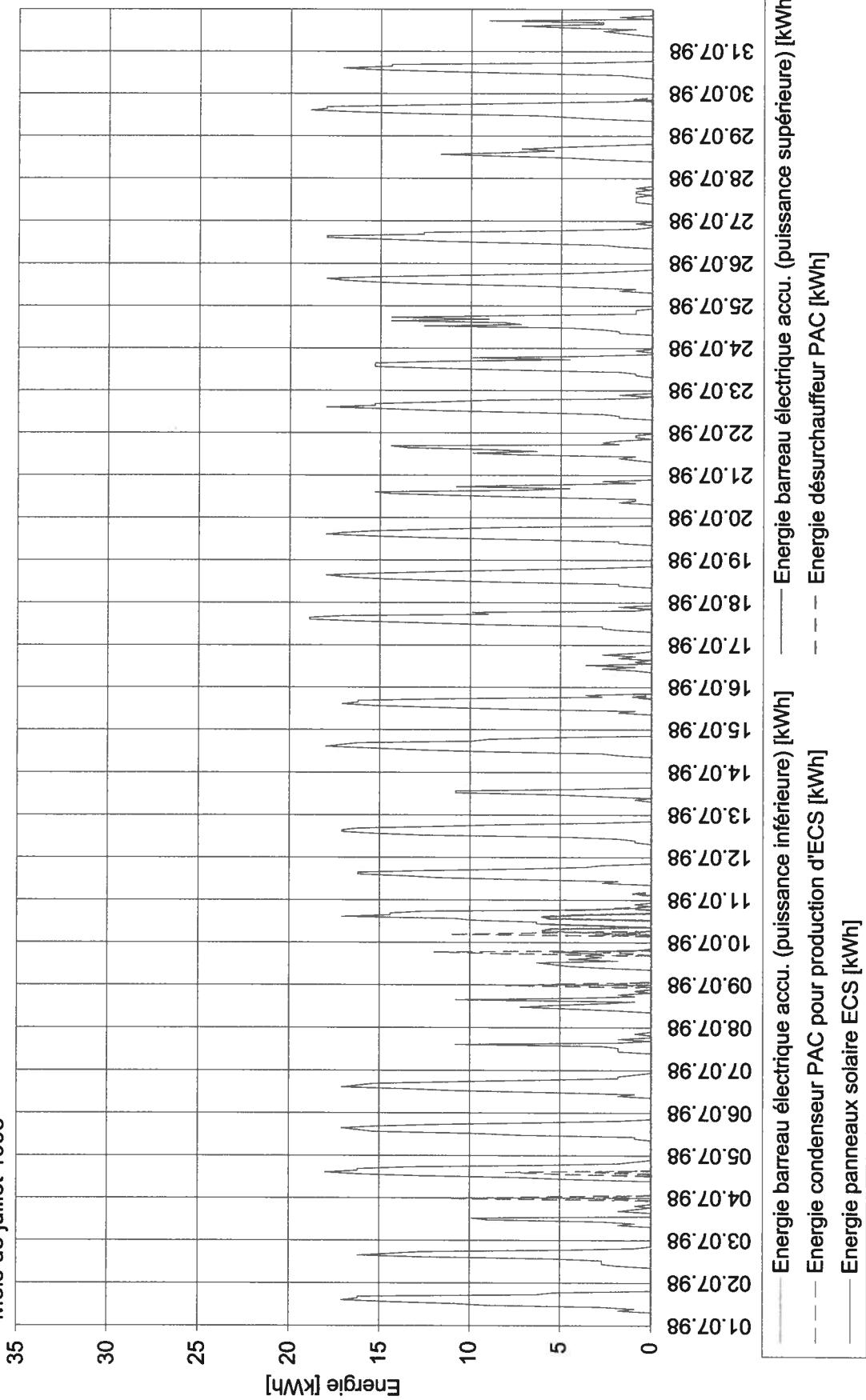
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mai 1998



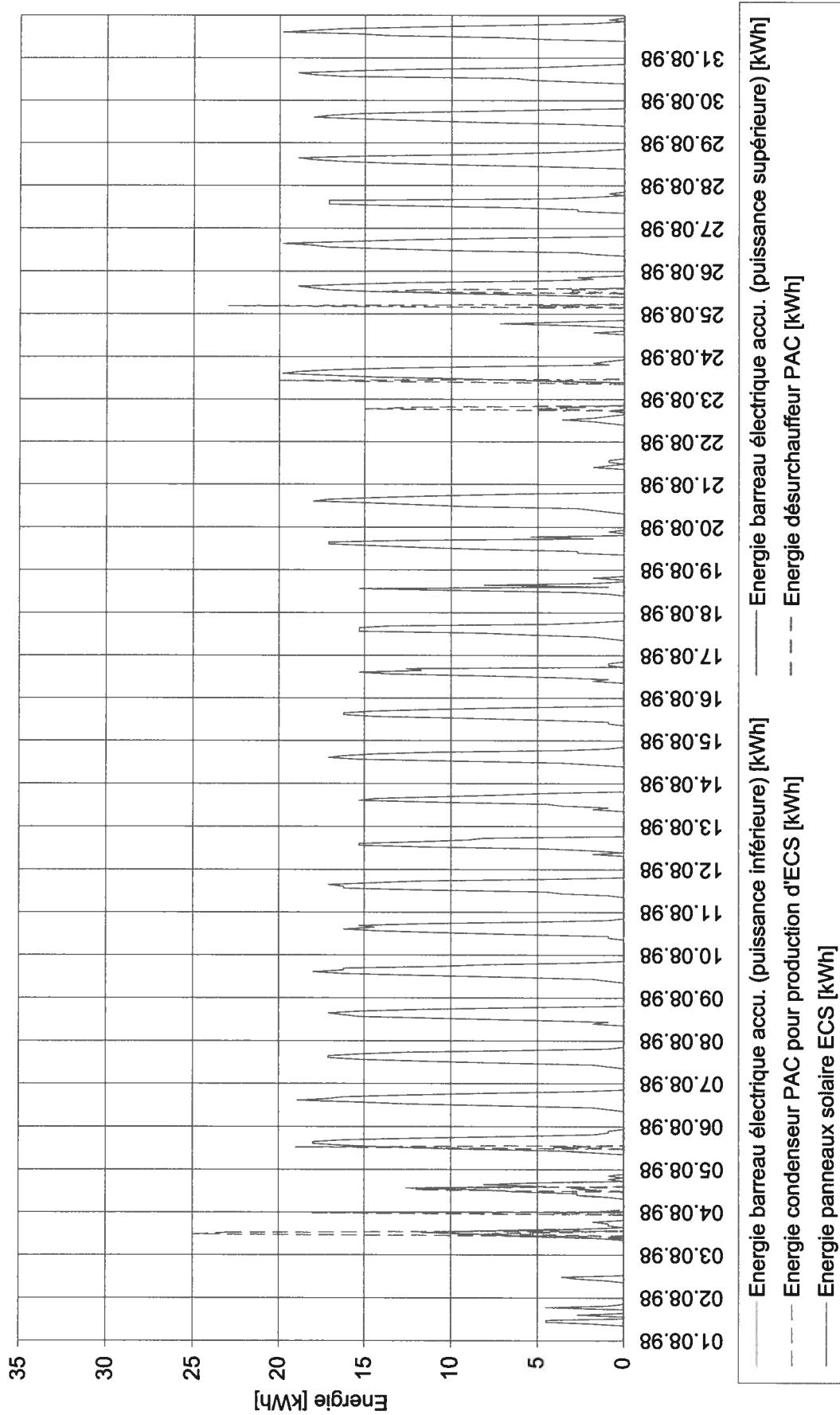
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juin 1998



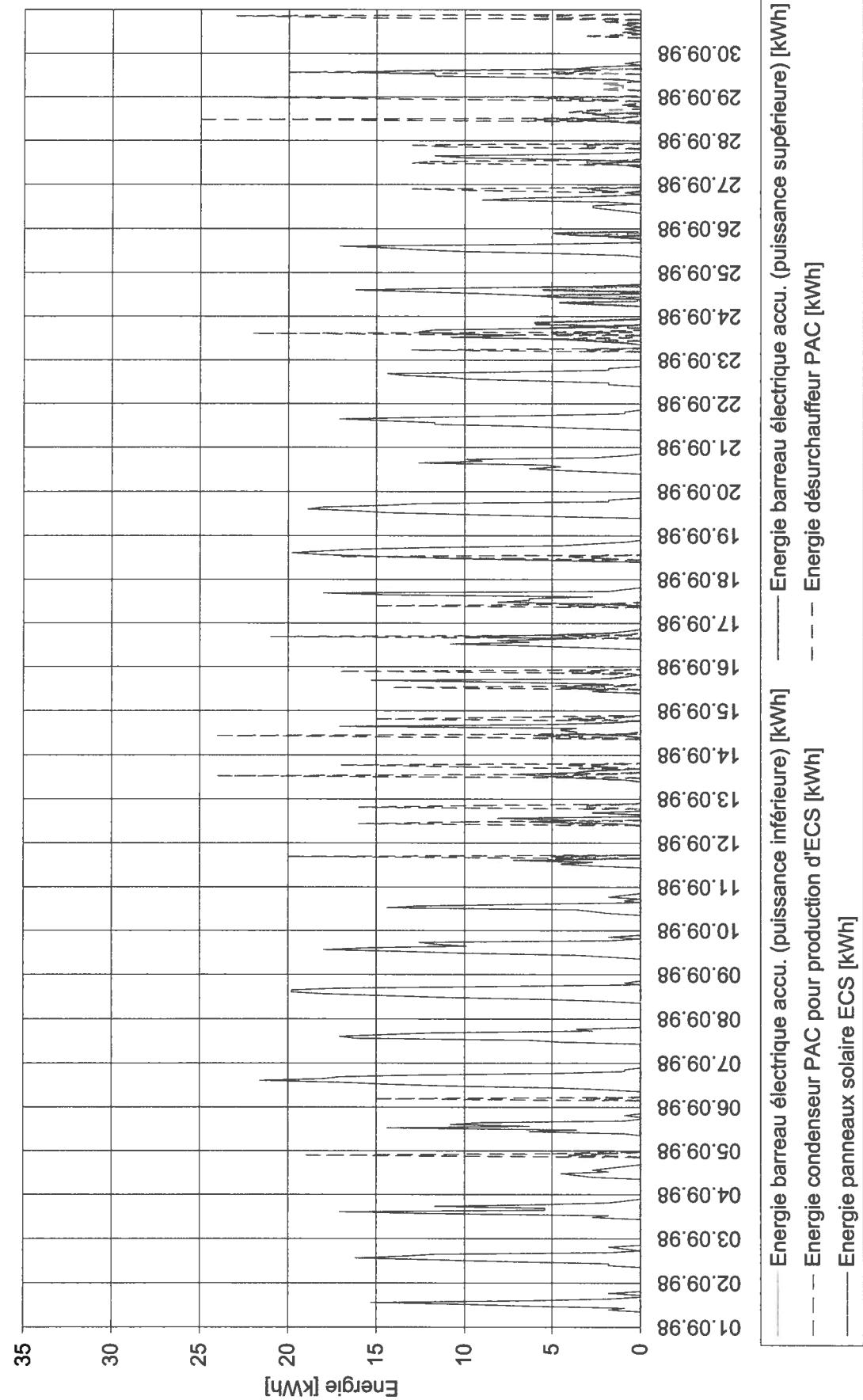
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juillet 1998



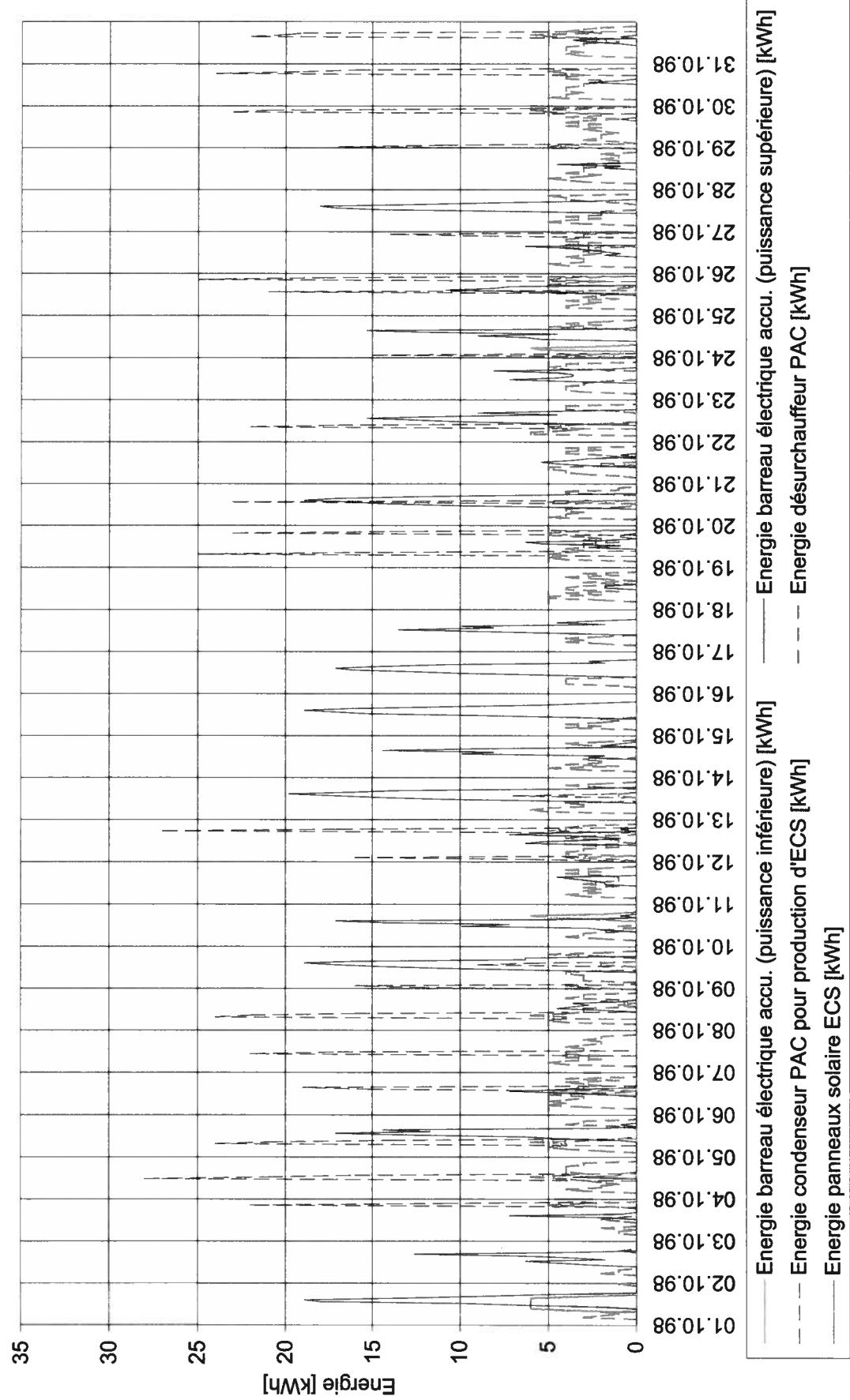
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de août 1998



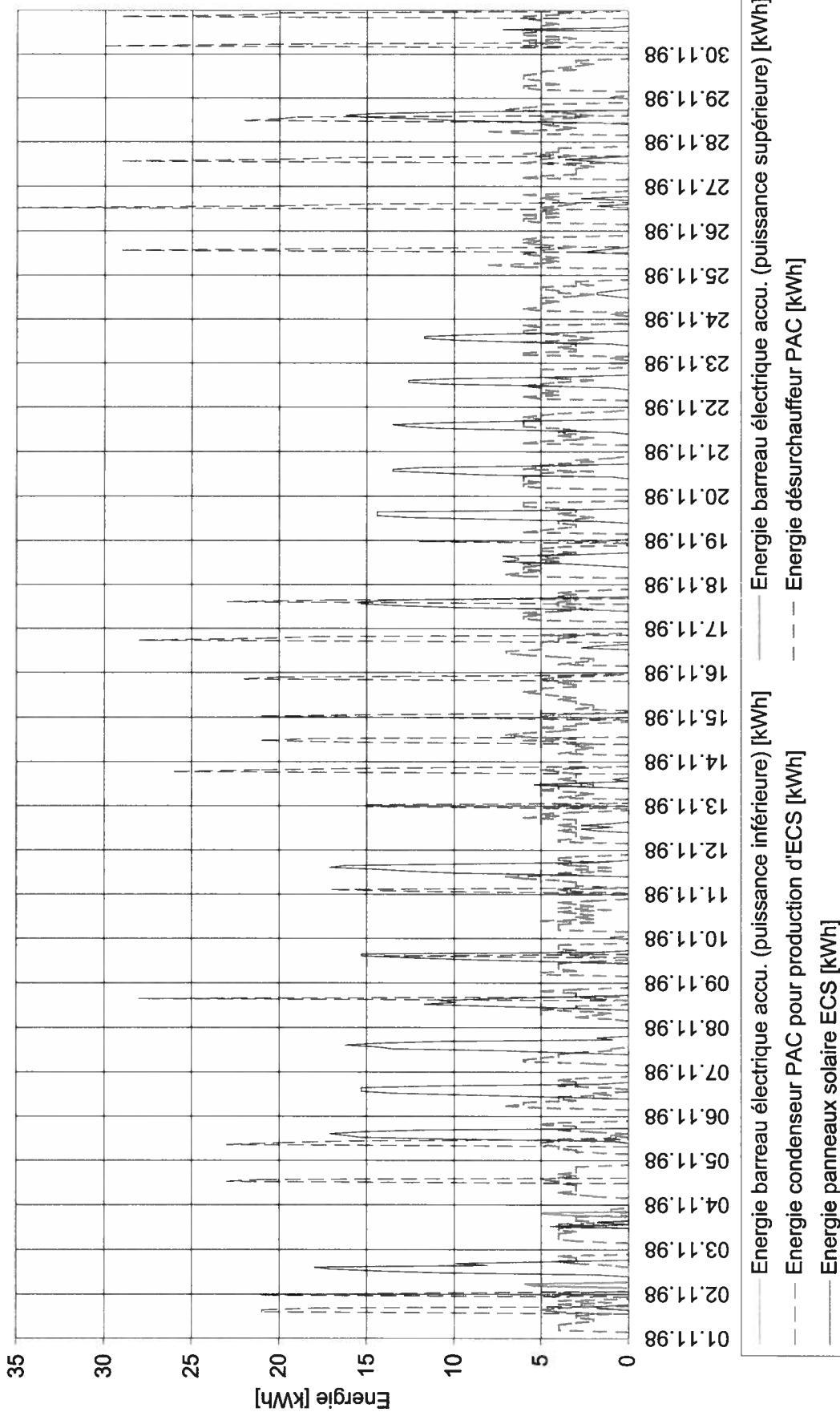
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de septembre 1998



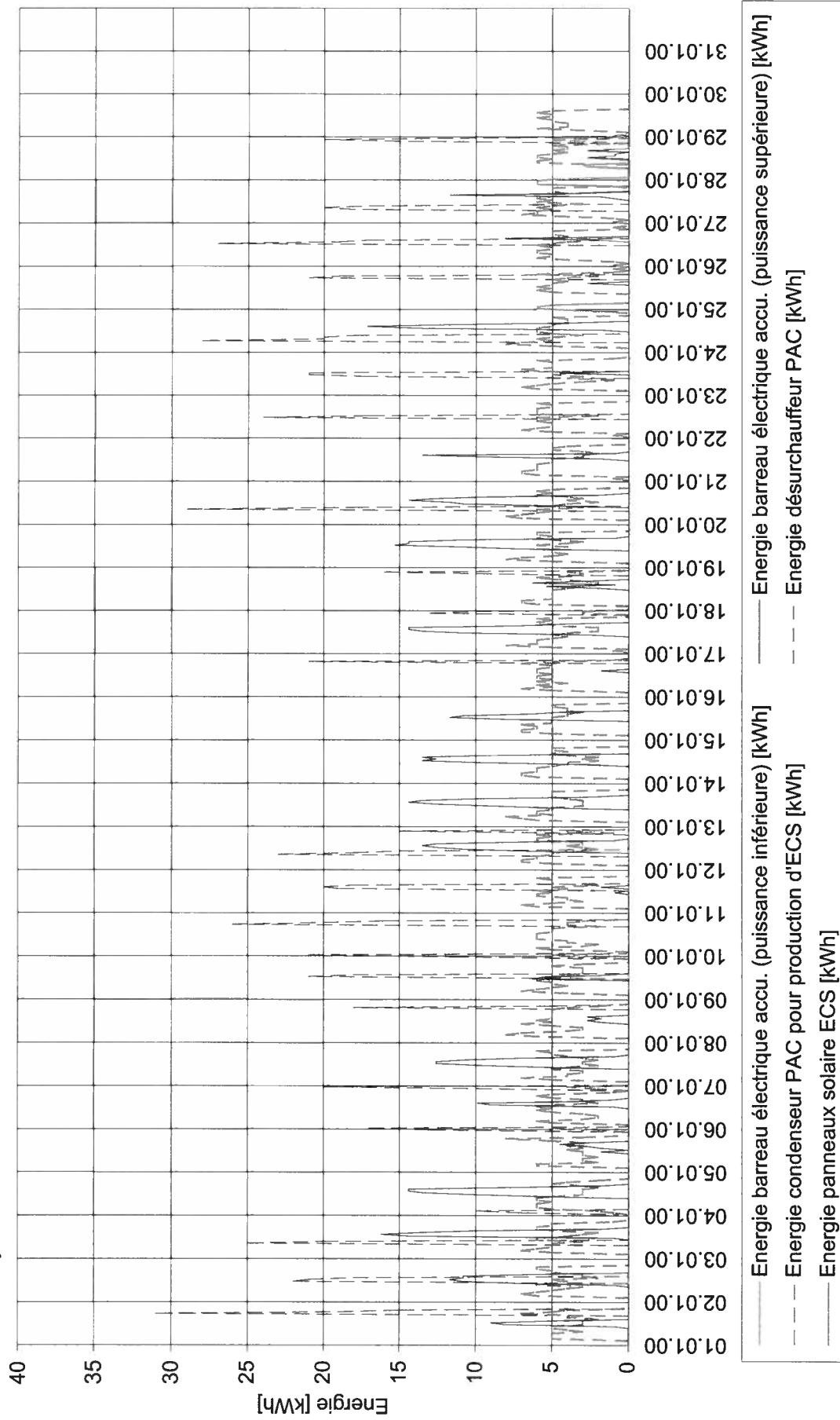
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de octobre 1998



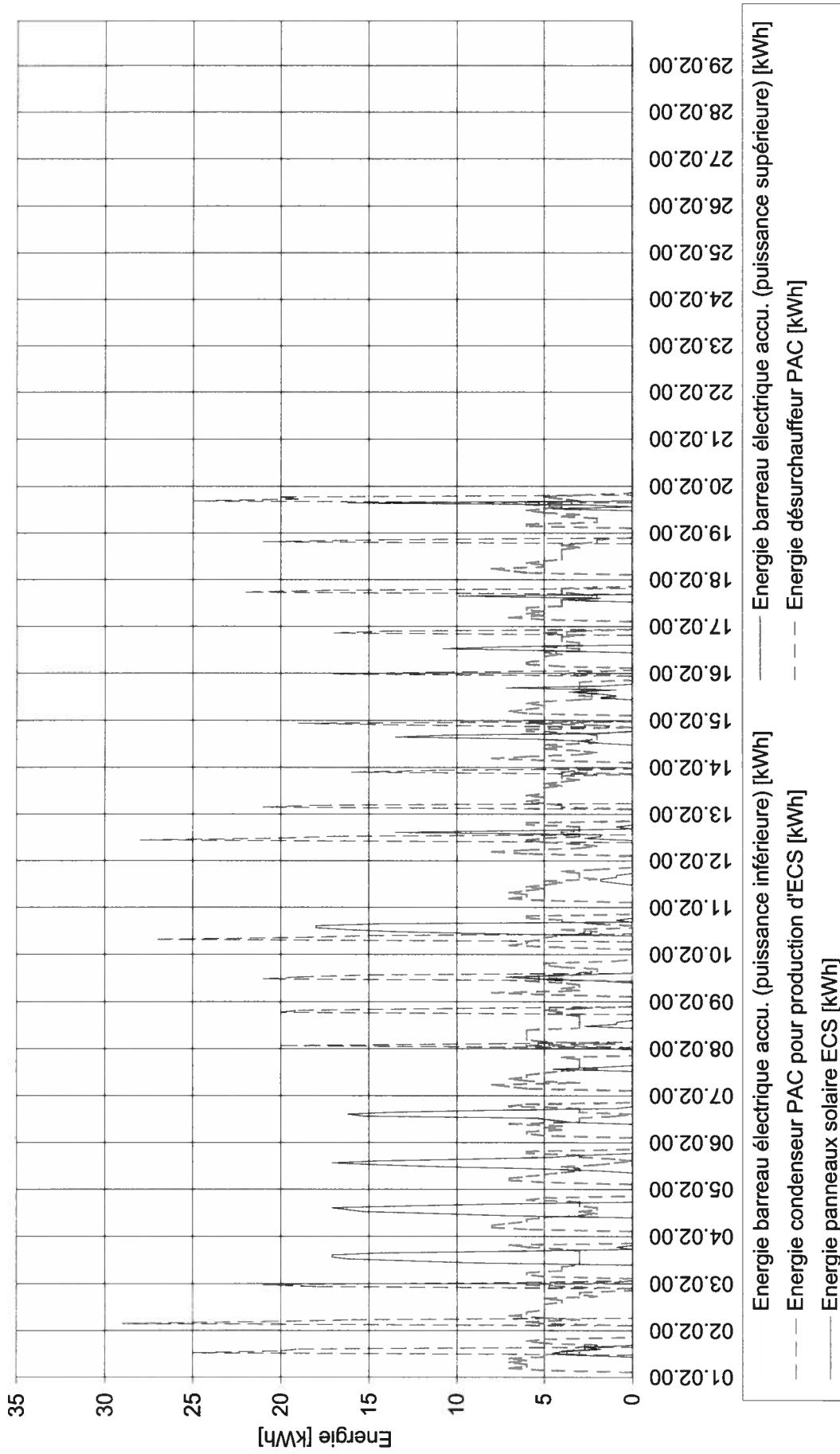
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de novembre 1998



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de janvier 2000

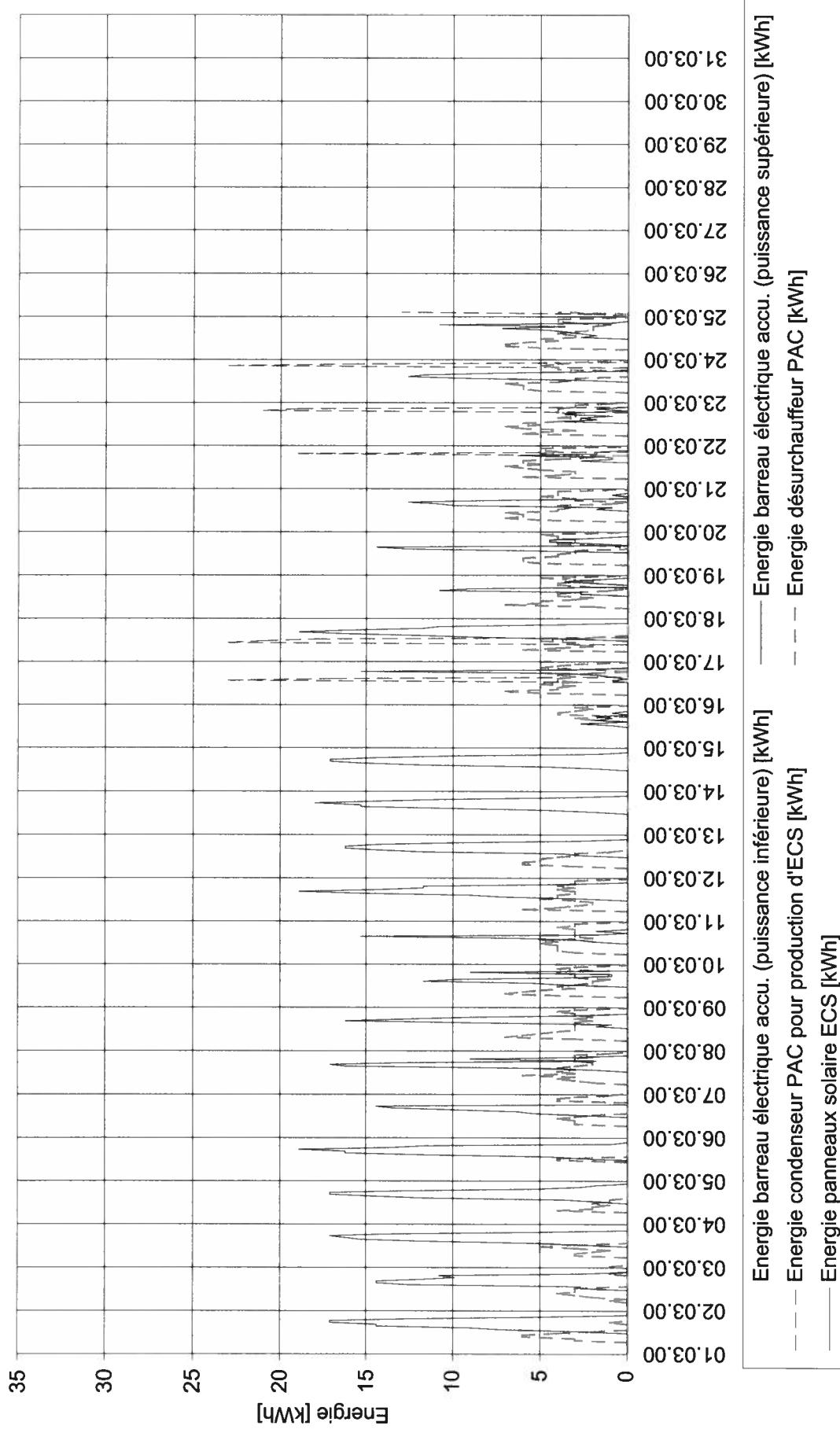


Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de février 2000

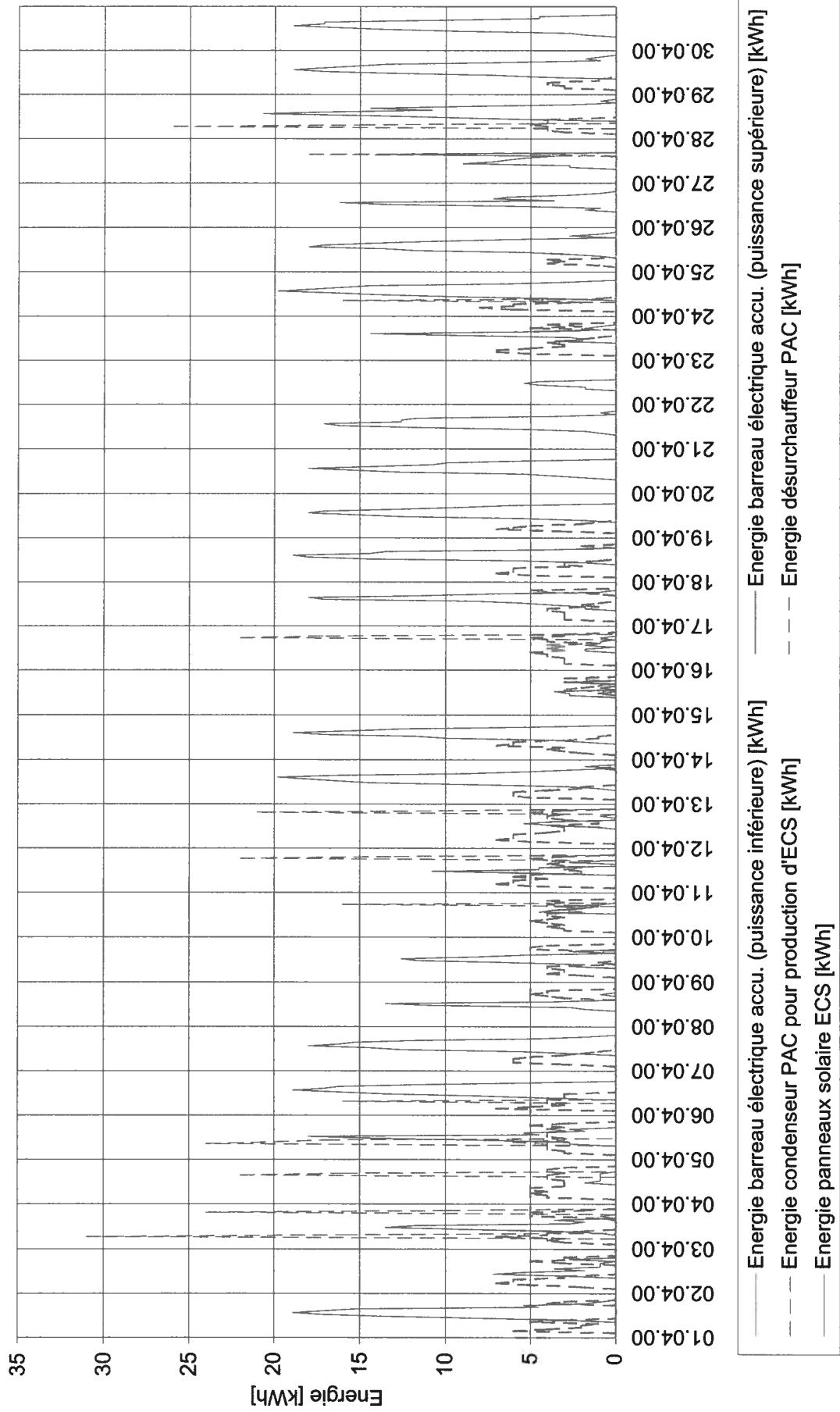


Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry

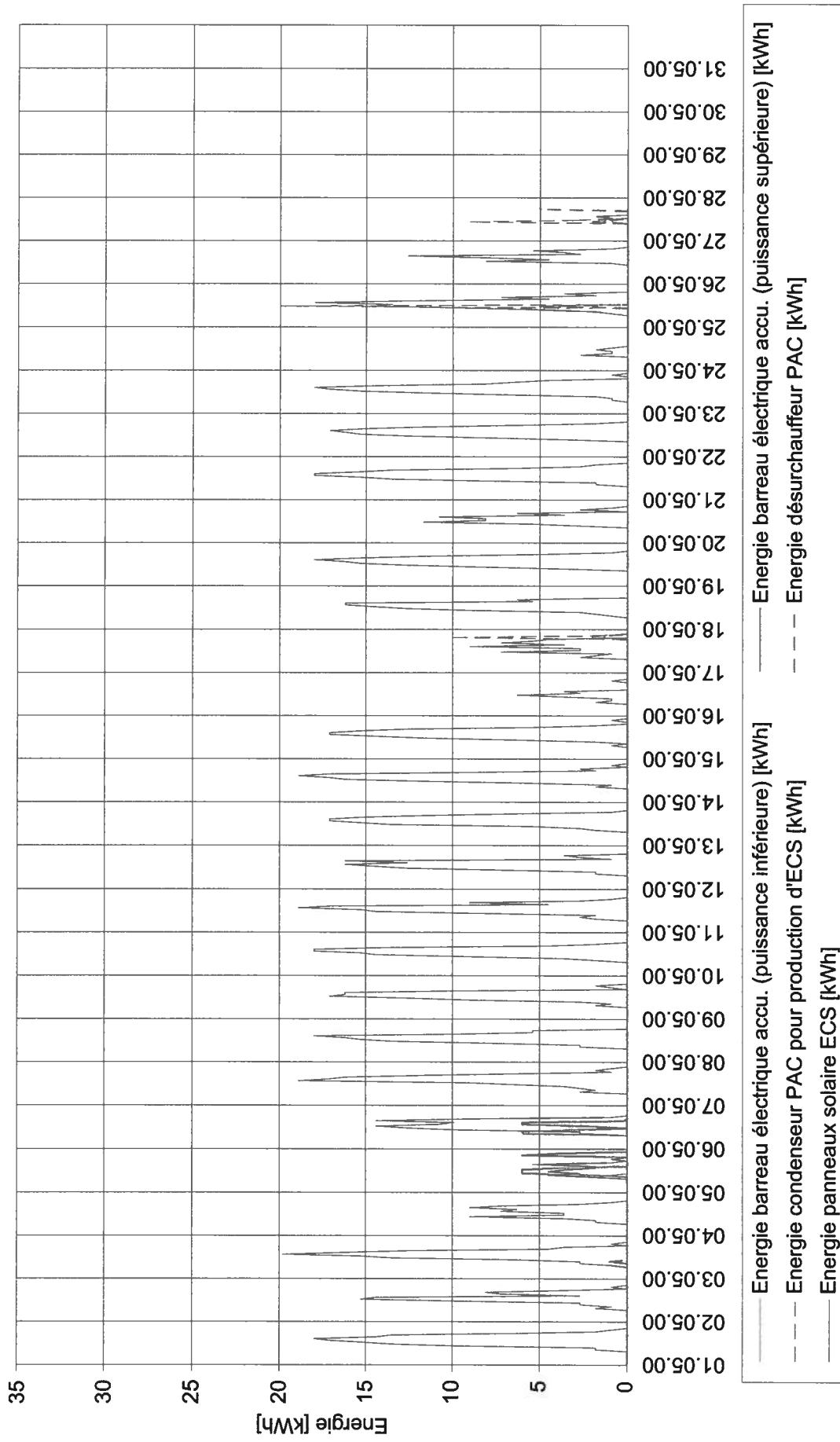
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mars 2000



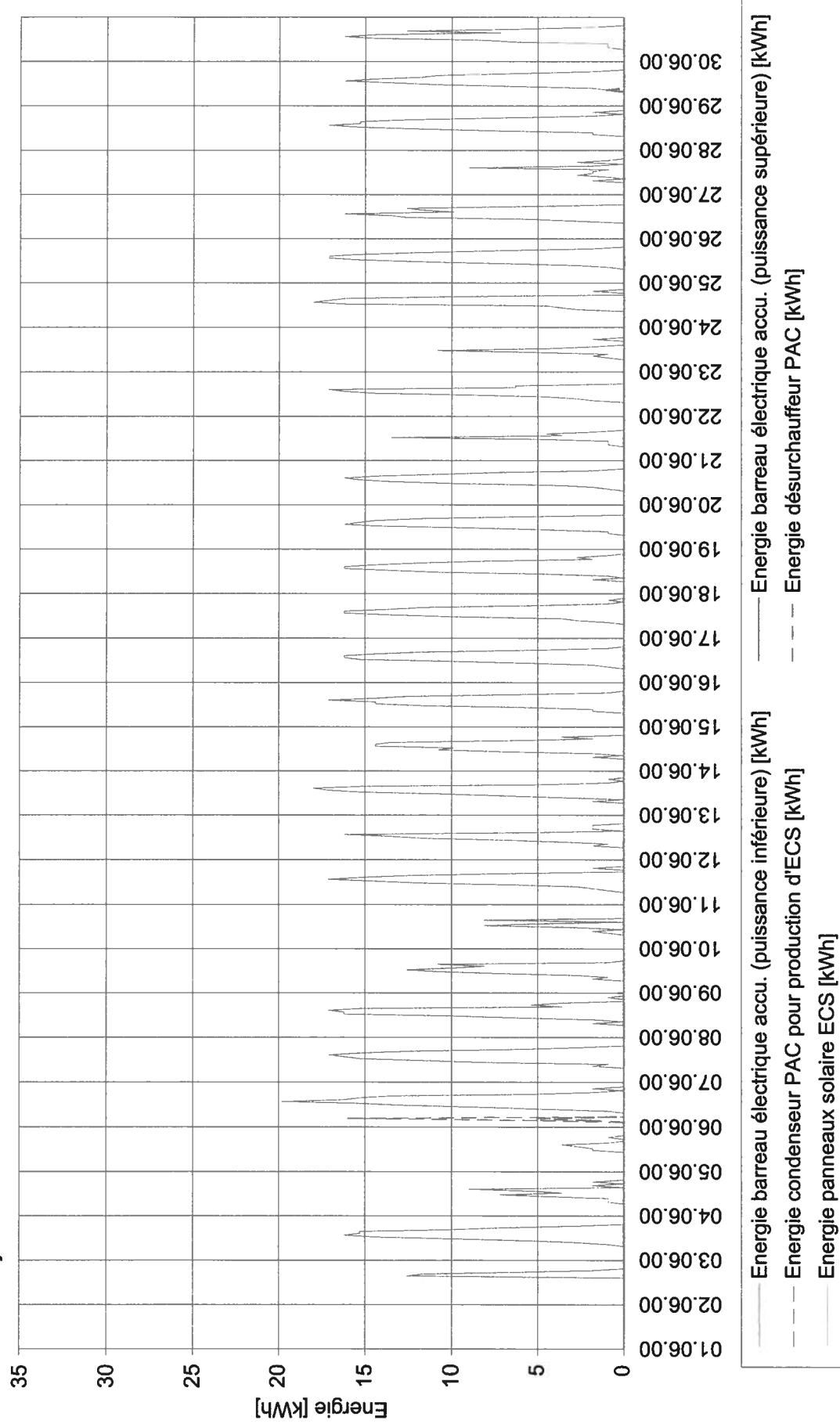
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de avril 2000



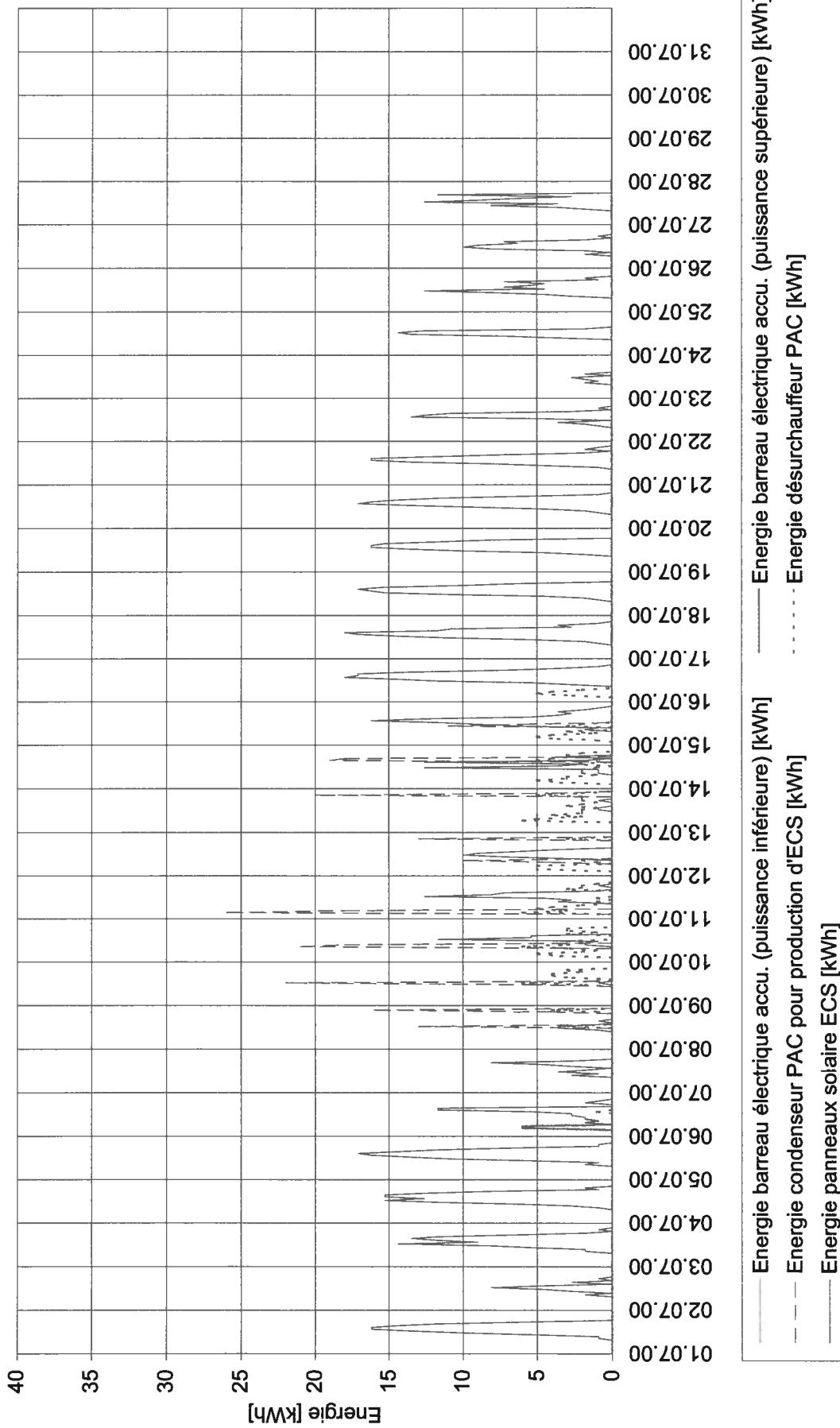
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de mai 2000



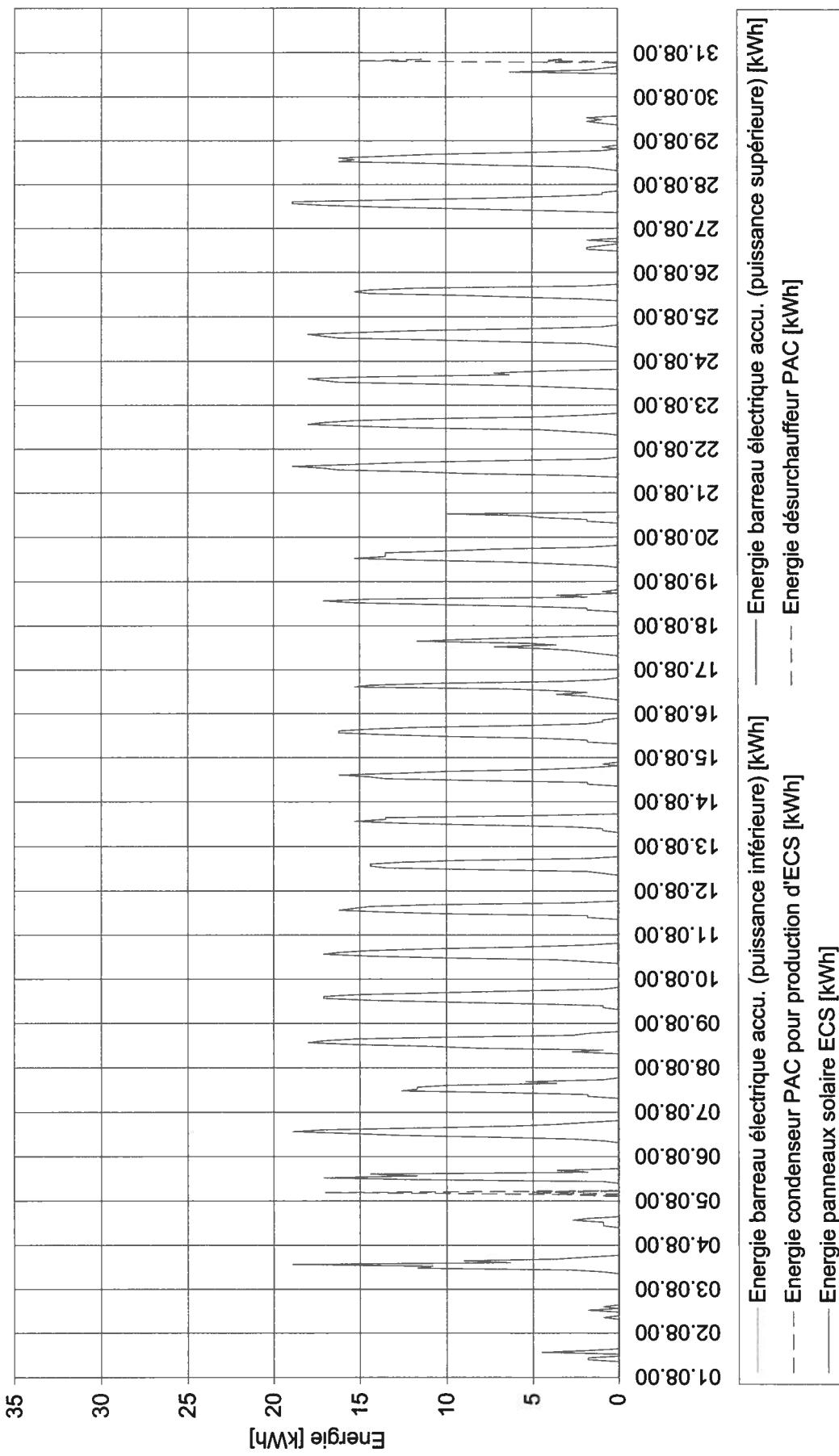
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juin 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
Mois de juillet 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Energie produite par les capteurs solaires et énergie consommée par les barreaux électriques pour la production d'ECS
 Mois d'août 2000



OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE

PROJET PILOTE ET DE DEMONSTRATION

***Bâtiment locatif à Lutry avec sondes en terre
rechargées en été, pompe à chaleur avec
désurchauffeur et production d'eau chaude solaire.***

Bilan après 5 ans d'exploitation

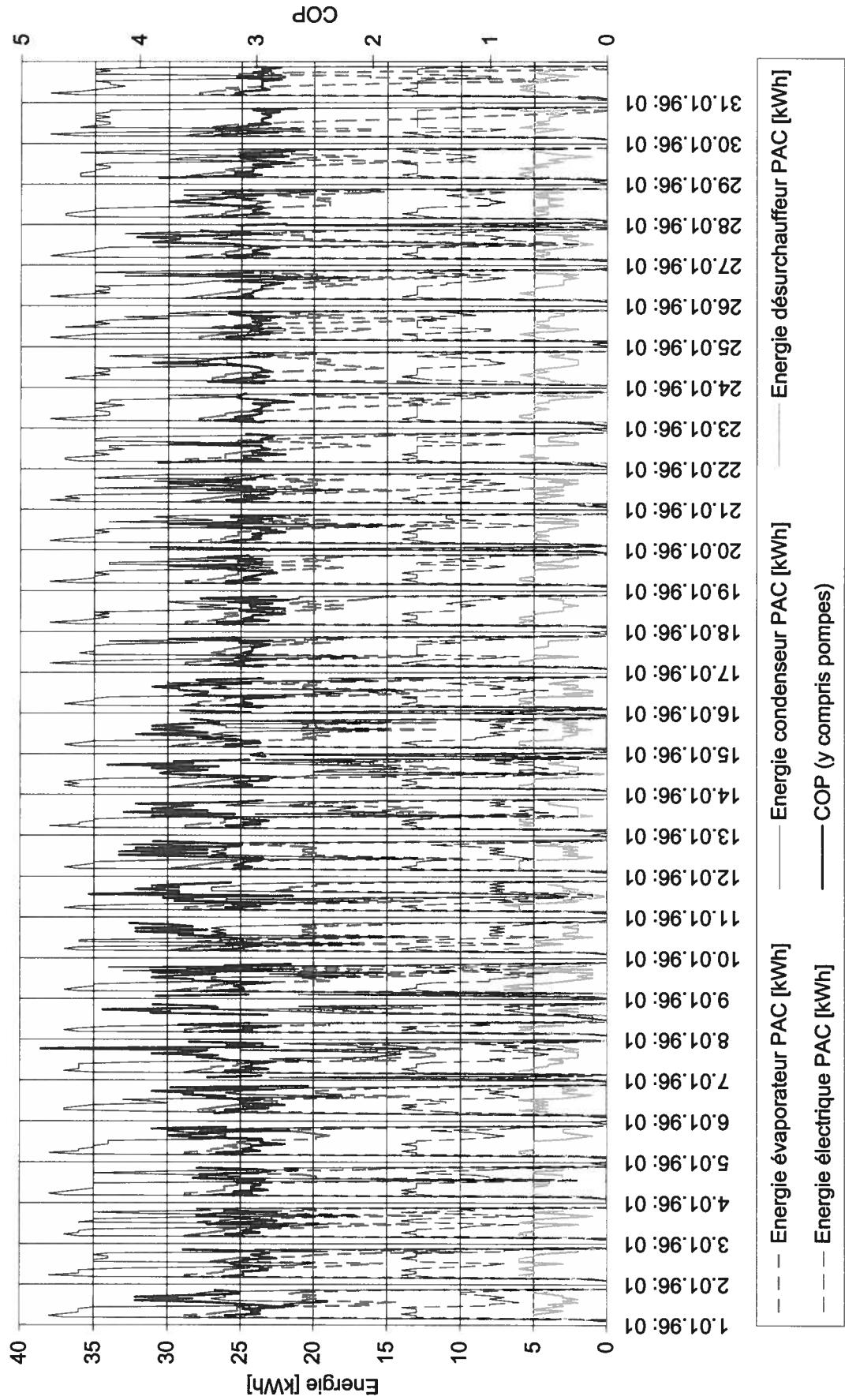
ANNEXE 8

**Energie produite et consommée par la pompe à chaleur et valeur des
coefficients de performance.**

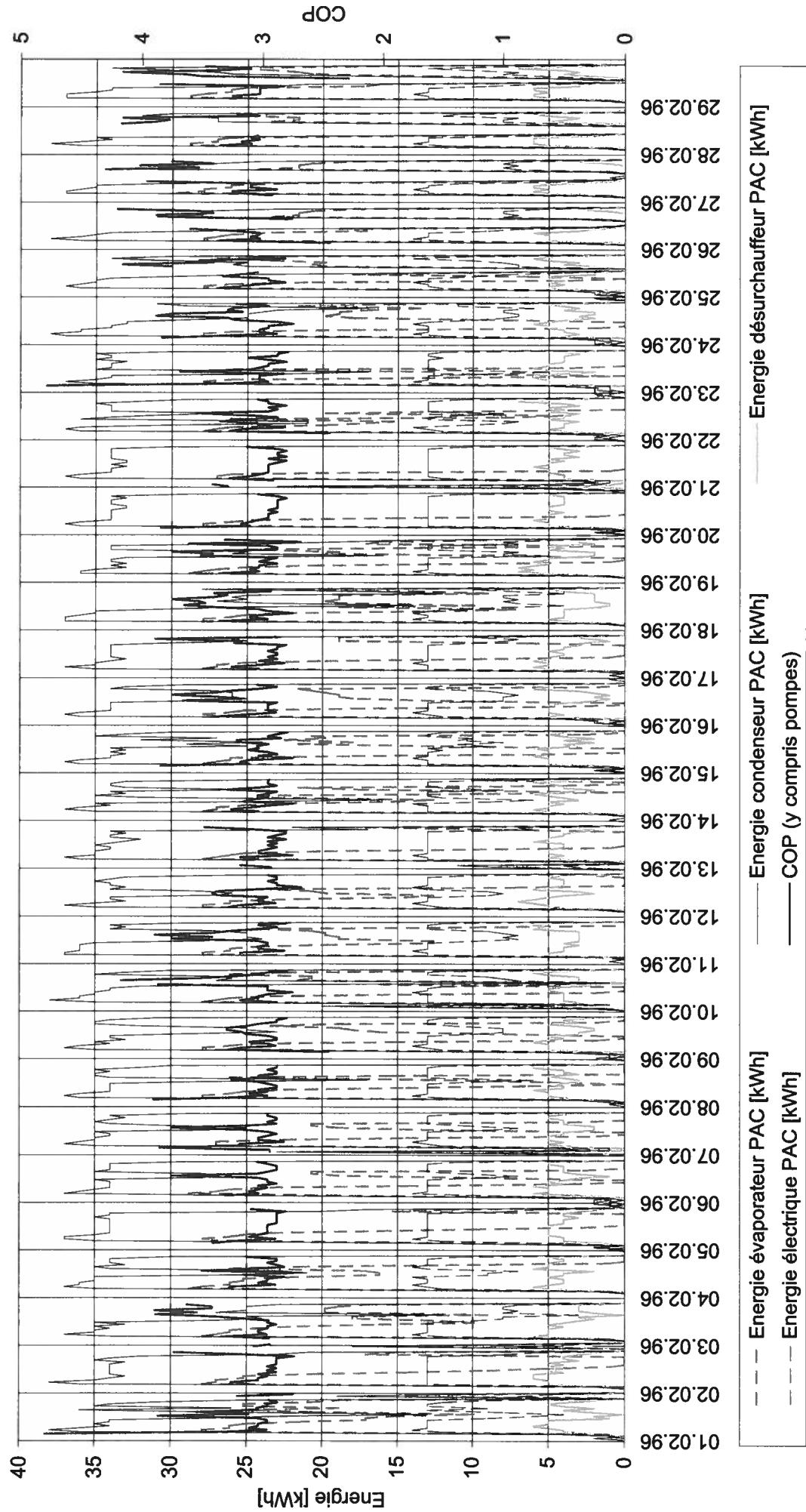
Note : les résultats sont représentés avec un pas de temps horaire (1 kWh/h = 1 kW)

Une copie couleur des graphiques est disponible auprès de l'auteur du rapport.

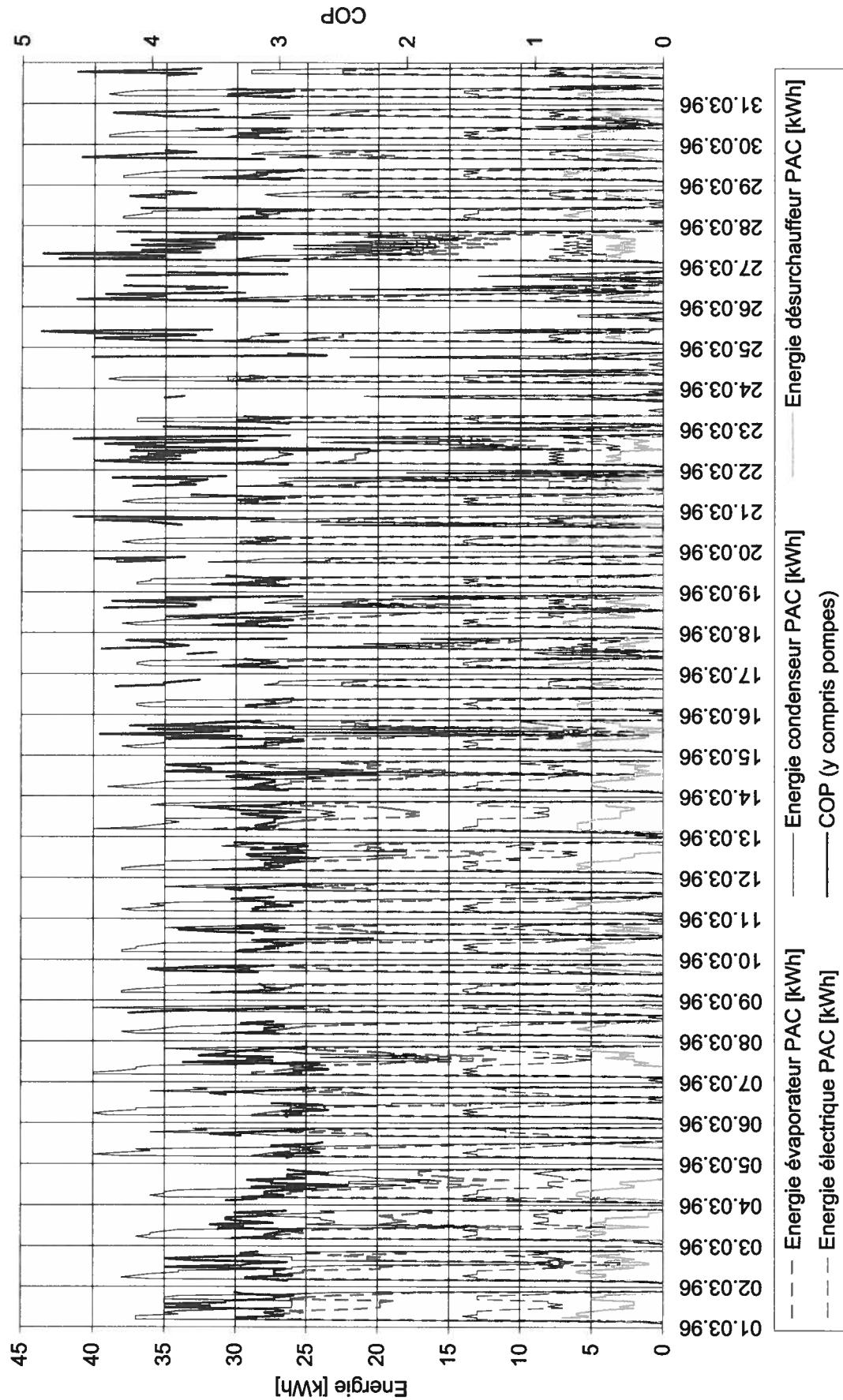
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Energie produite et consommées par la PAC
 Mois de janvier 1996



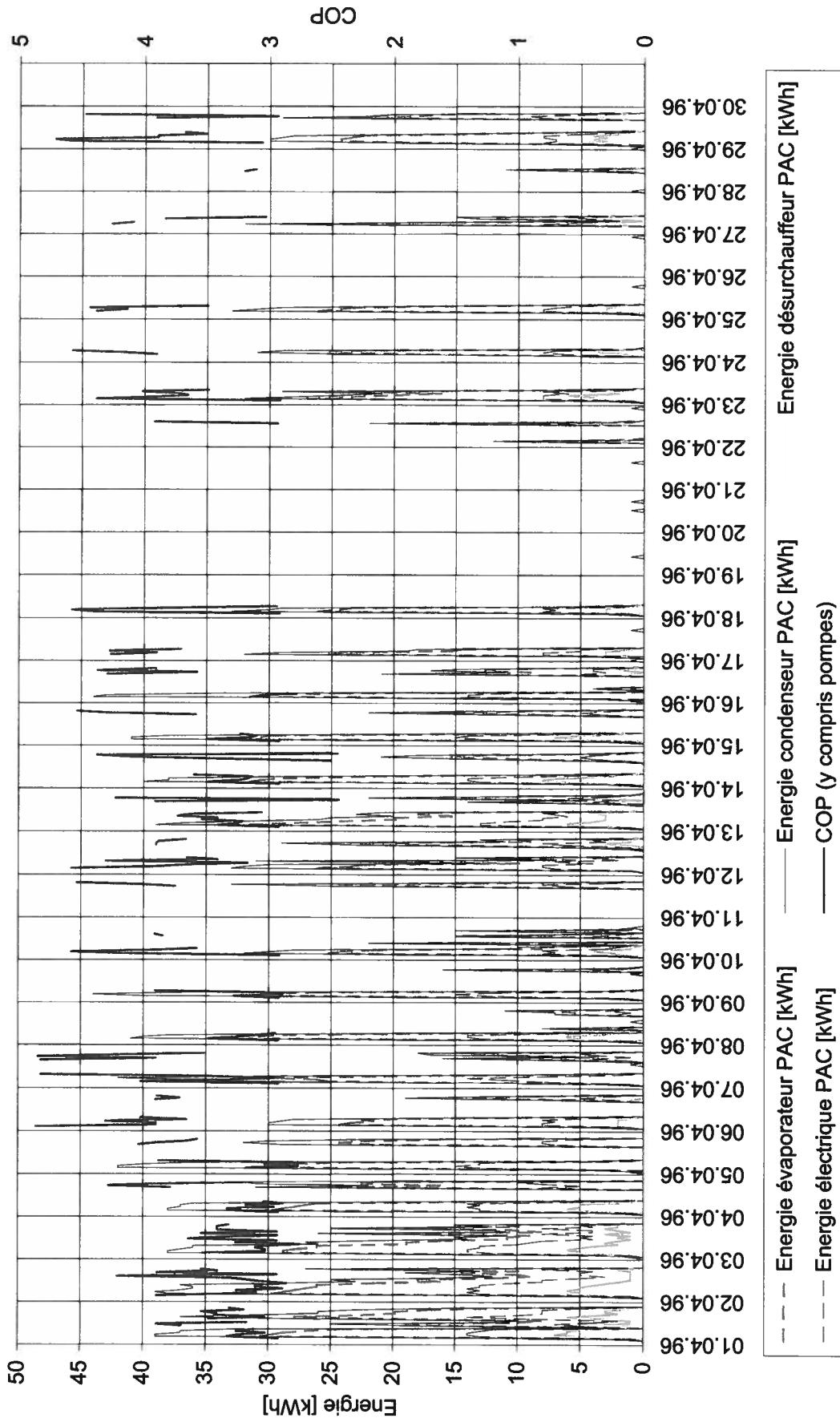
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de février 1996



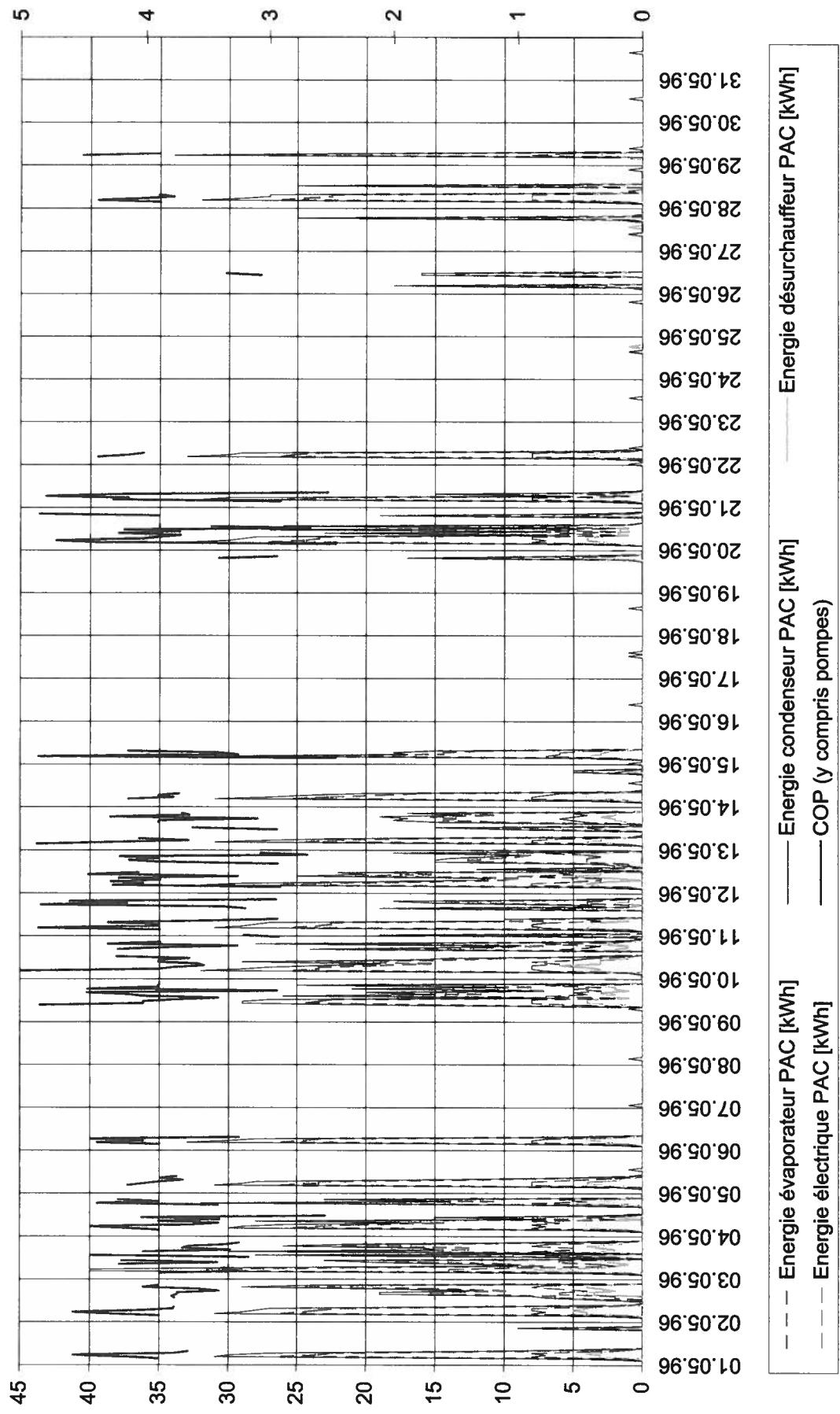
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de mars 1996



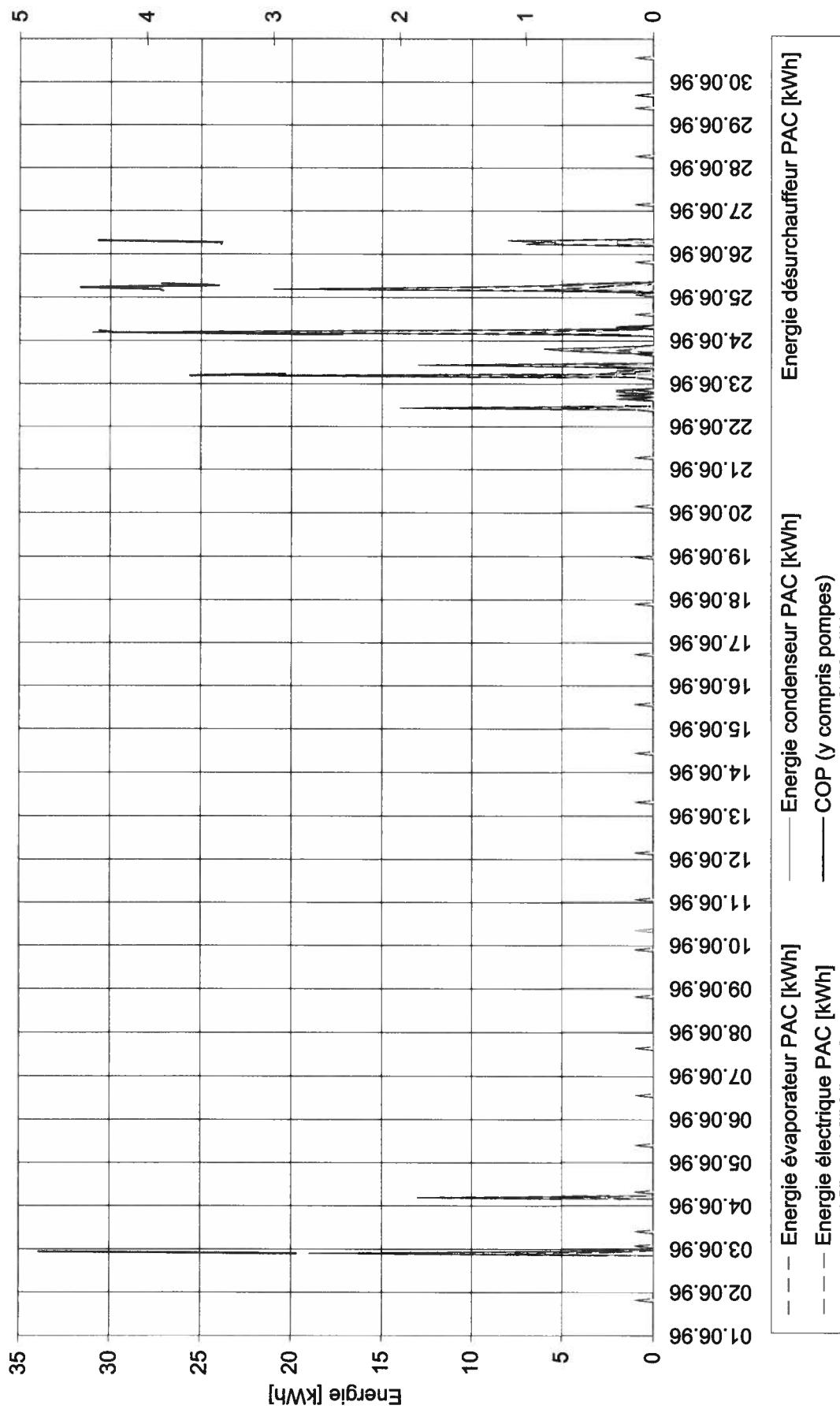
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois d'avril 1996



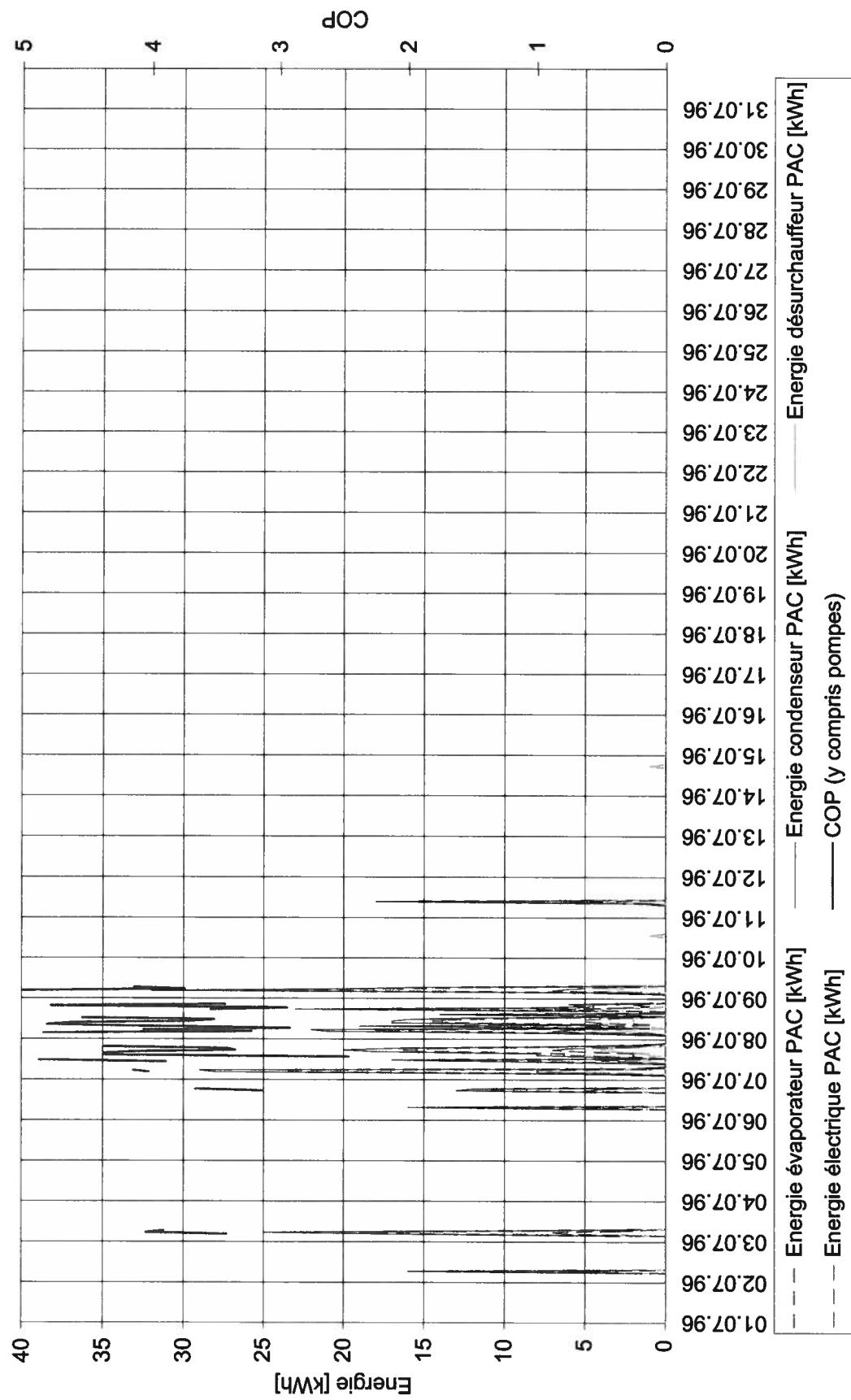
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de mai 1996



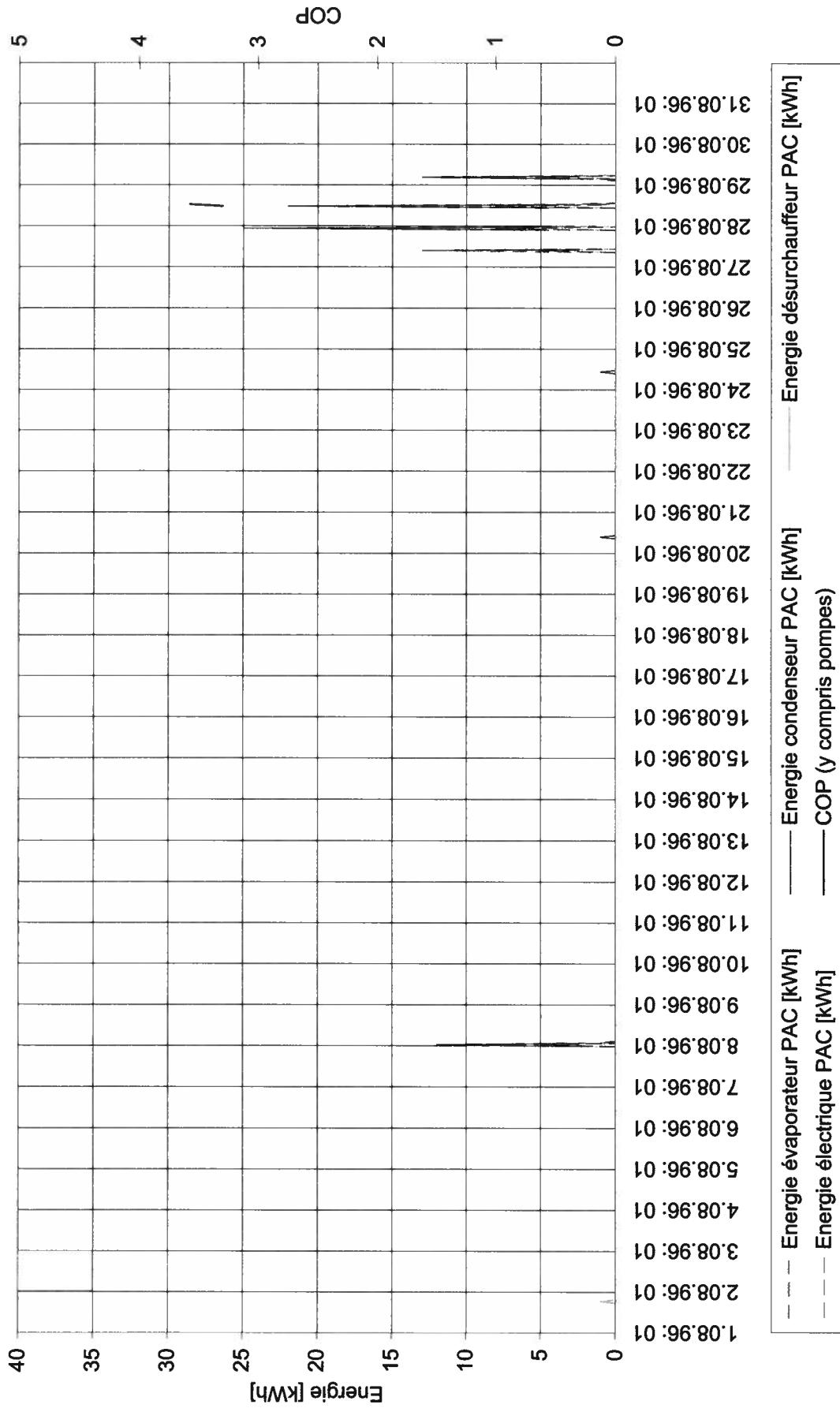
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de juin 1996



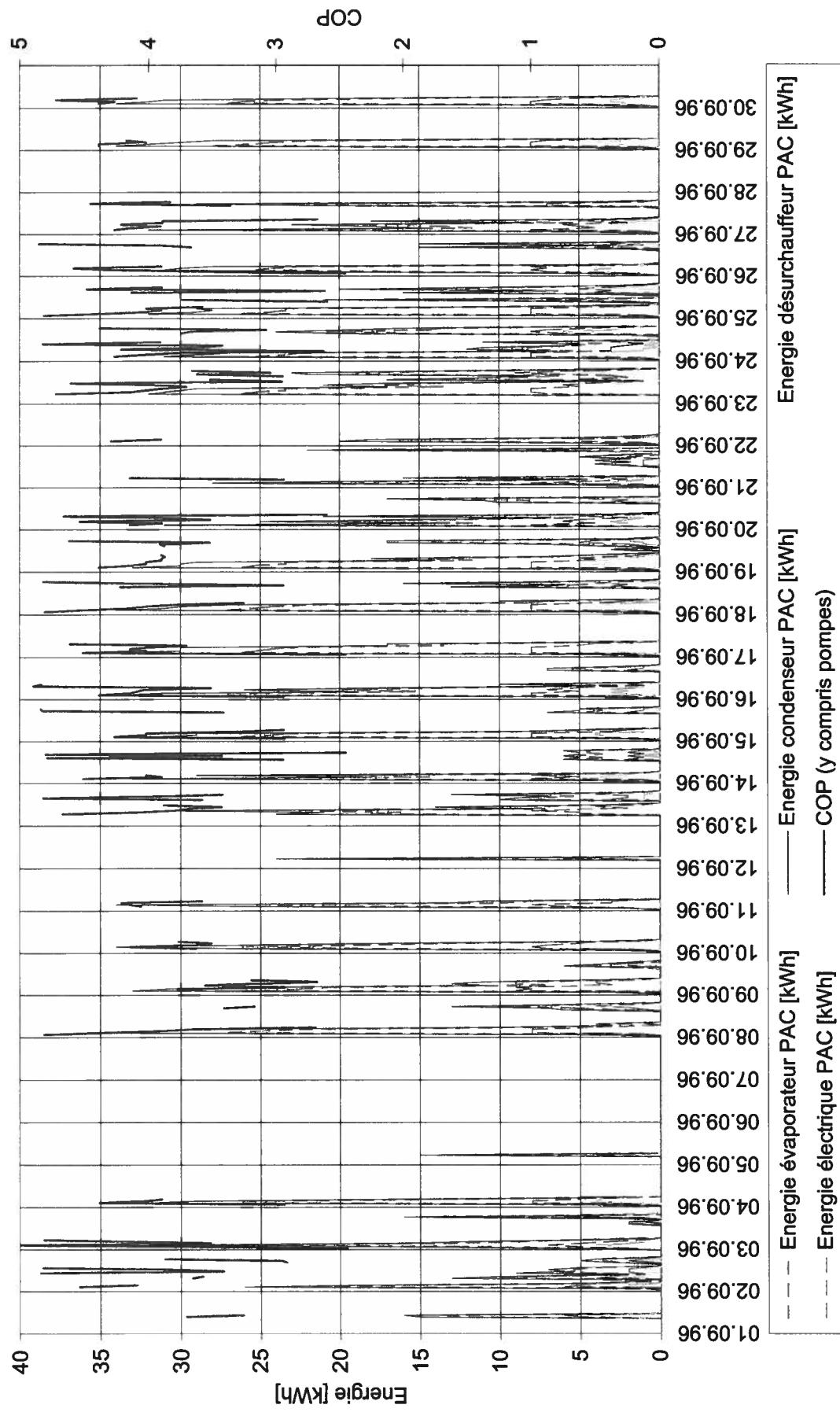
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Energie produite et consommées par la PAC
 Mois de juillet 1996



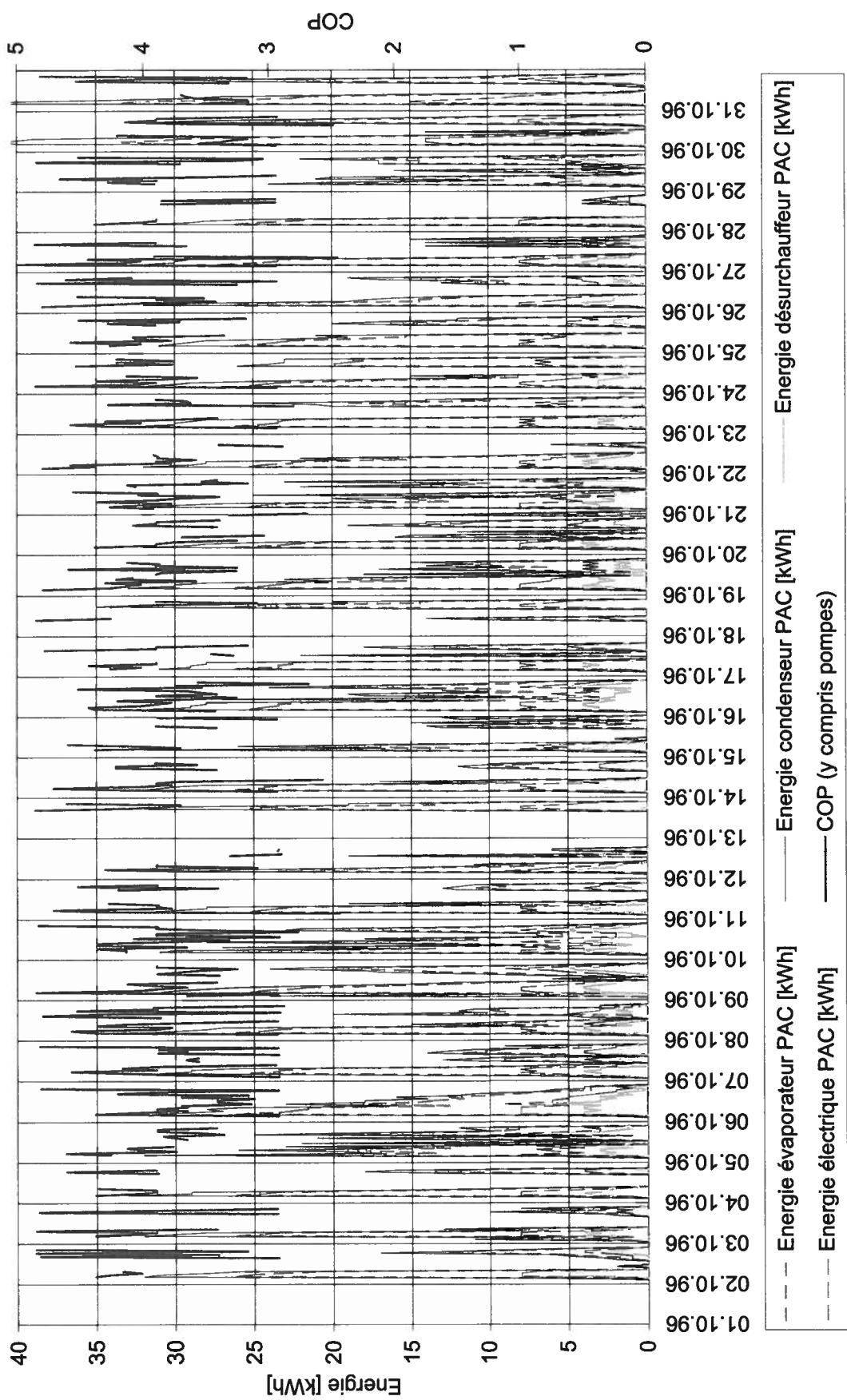
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois d'août 1996



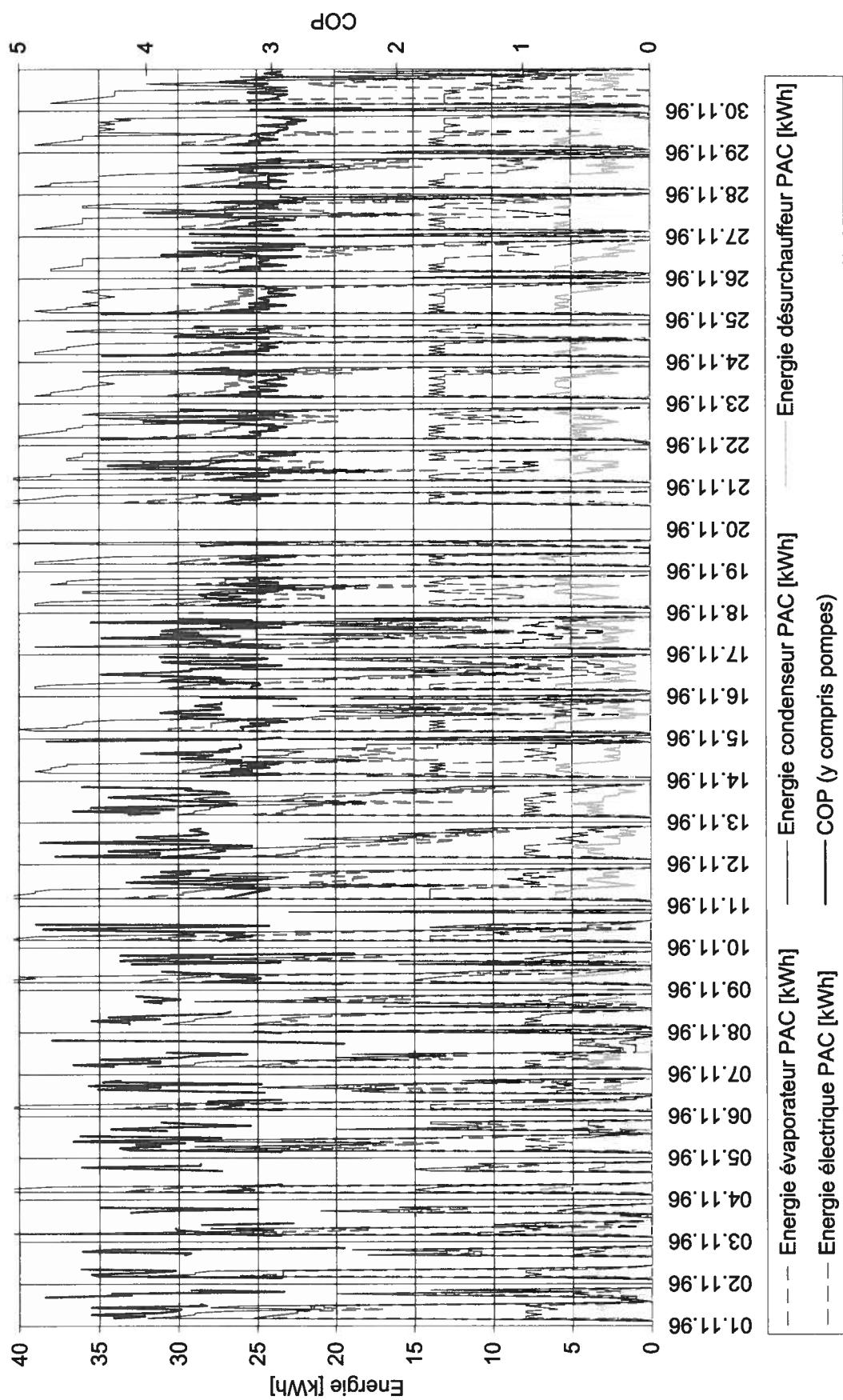
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de septembre 1996



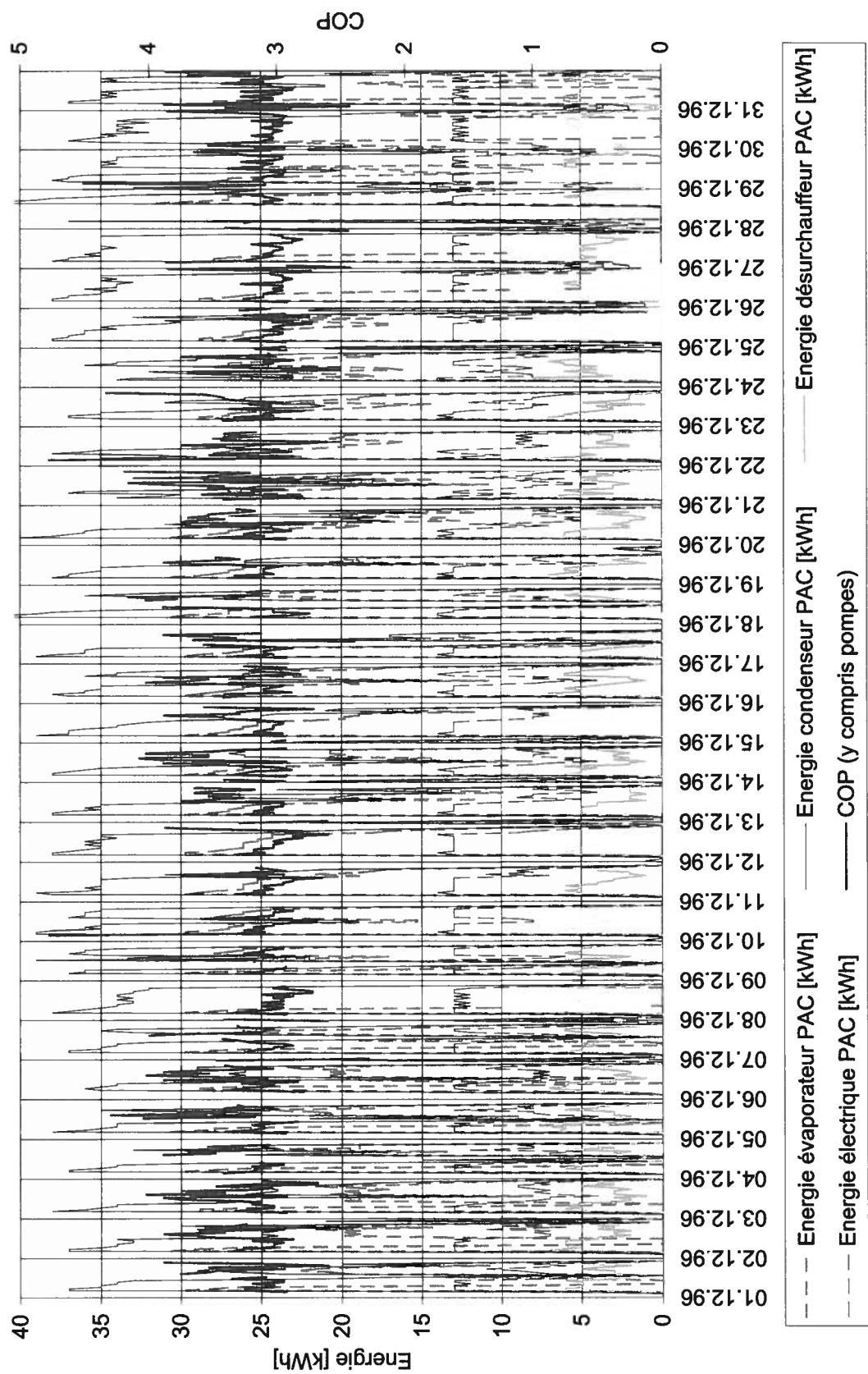
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois d'octobre 1996



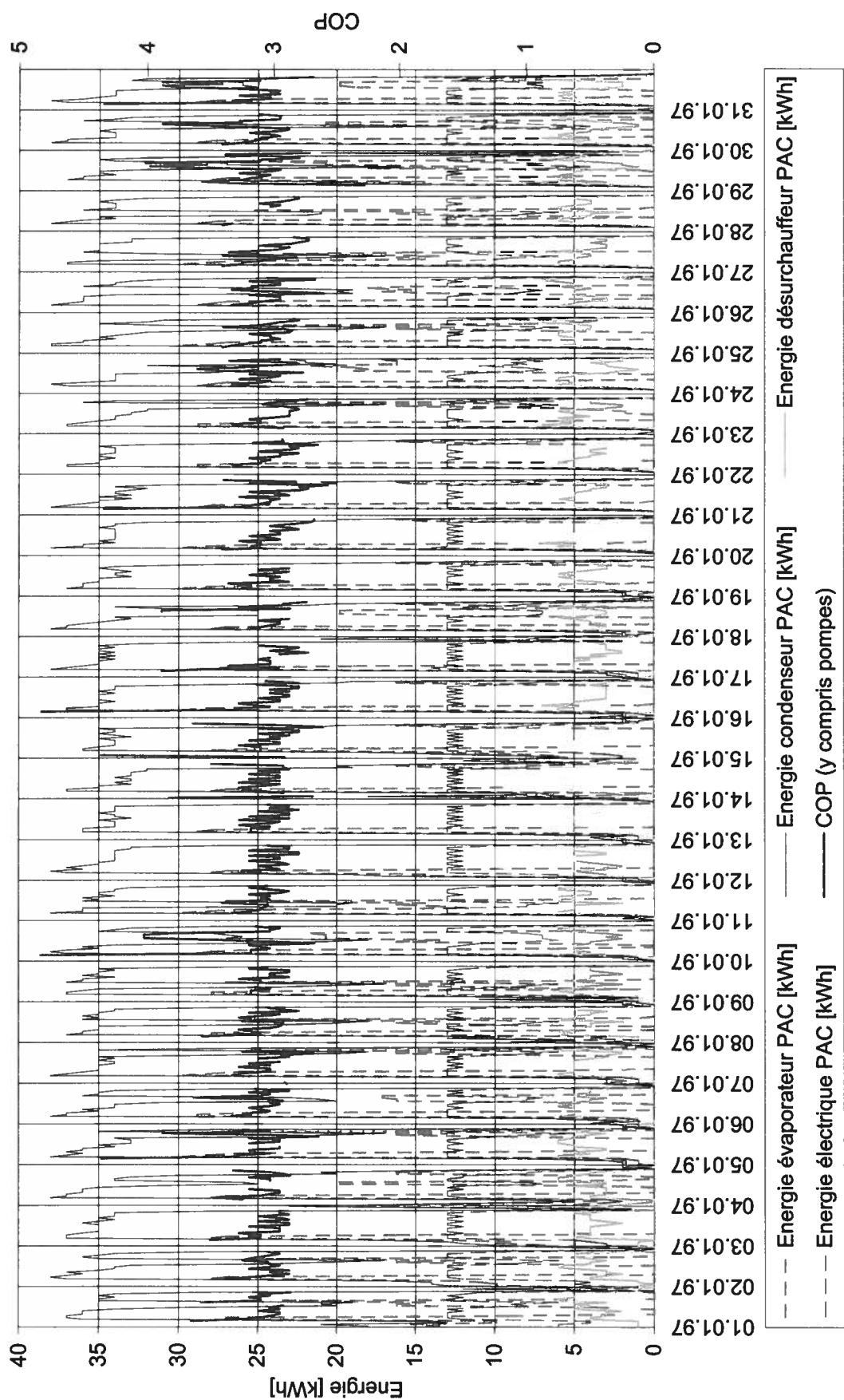
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de novembre 1996



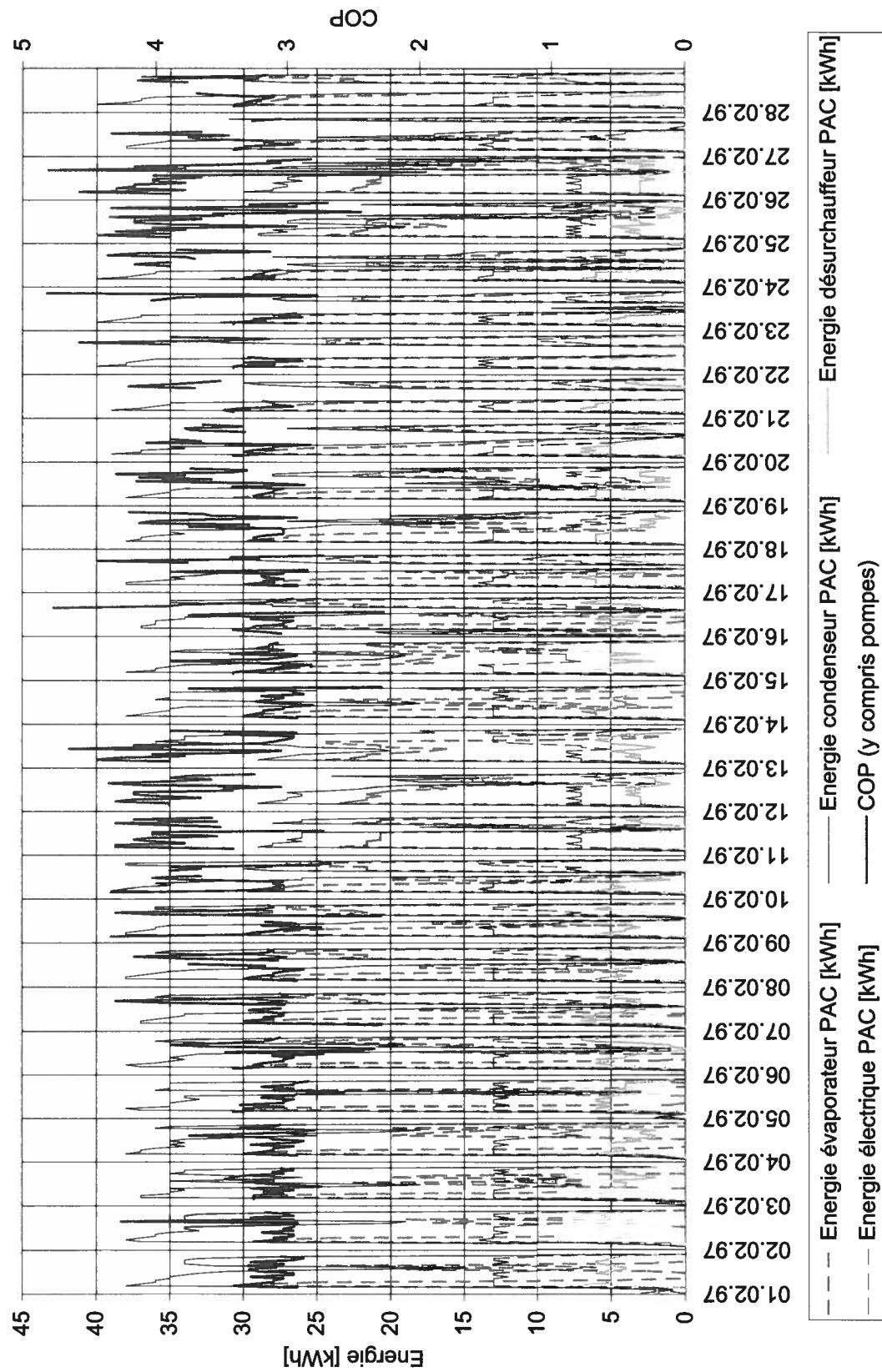
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de décembre 1996



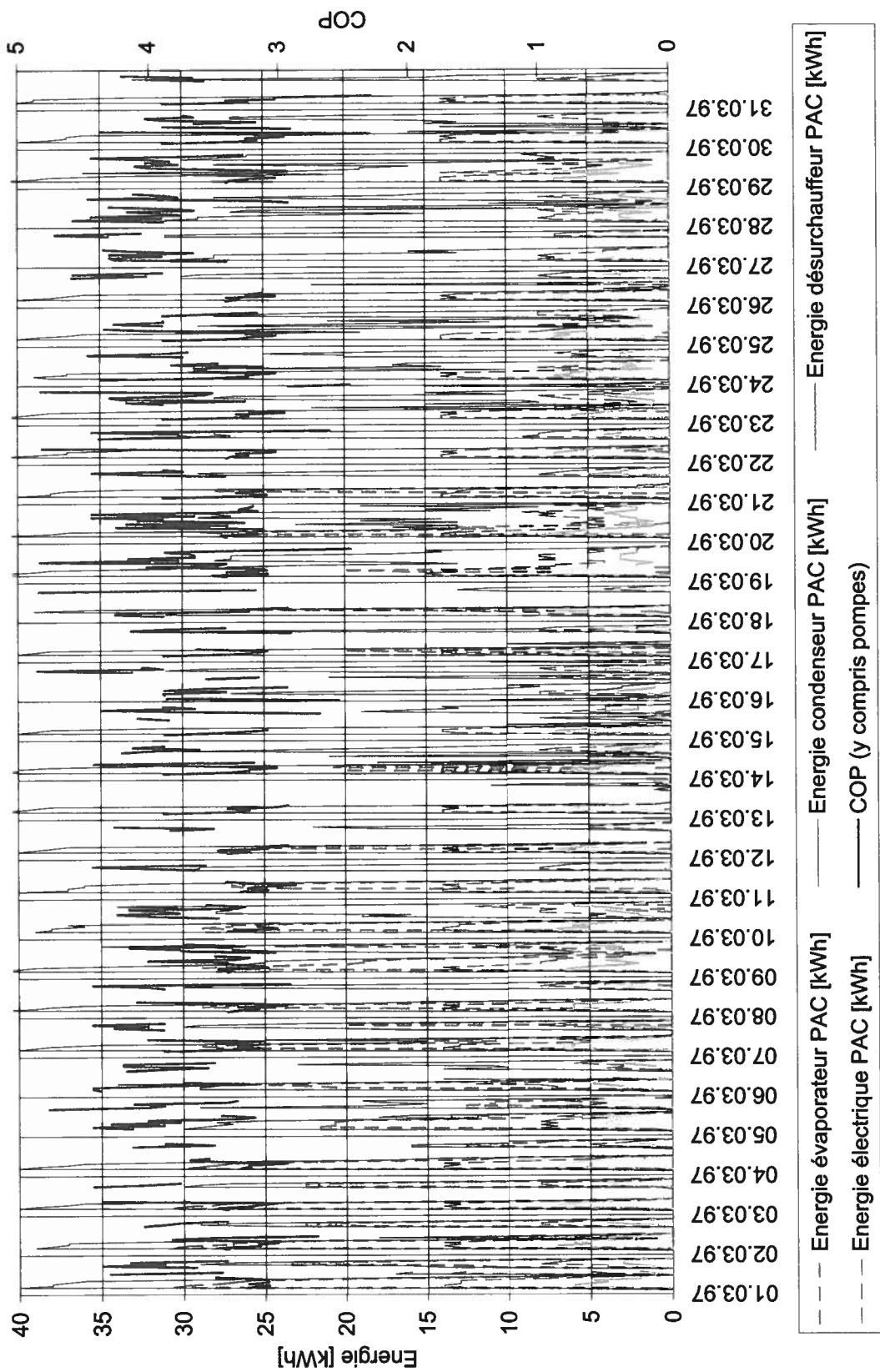
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de janvier 1997



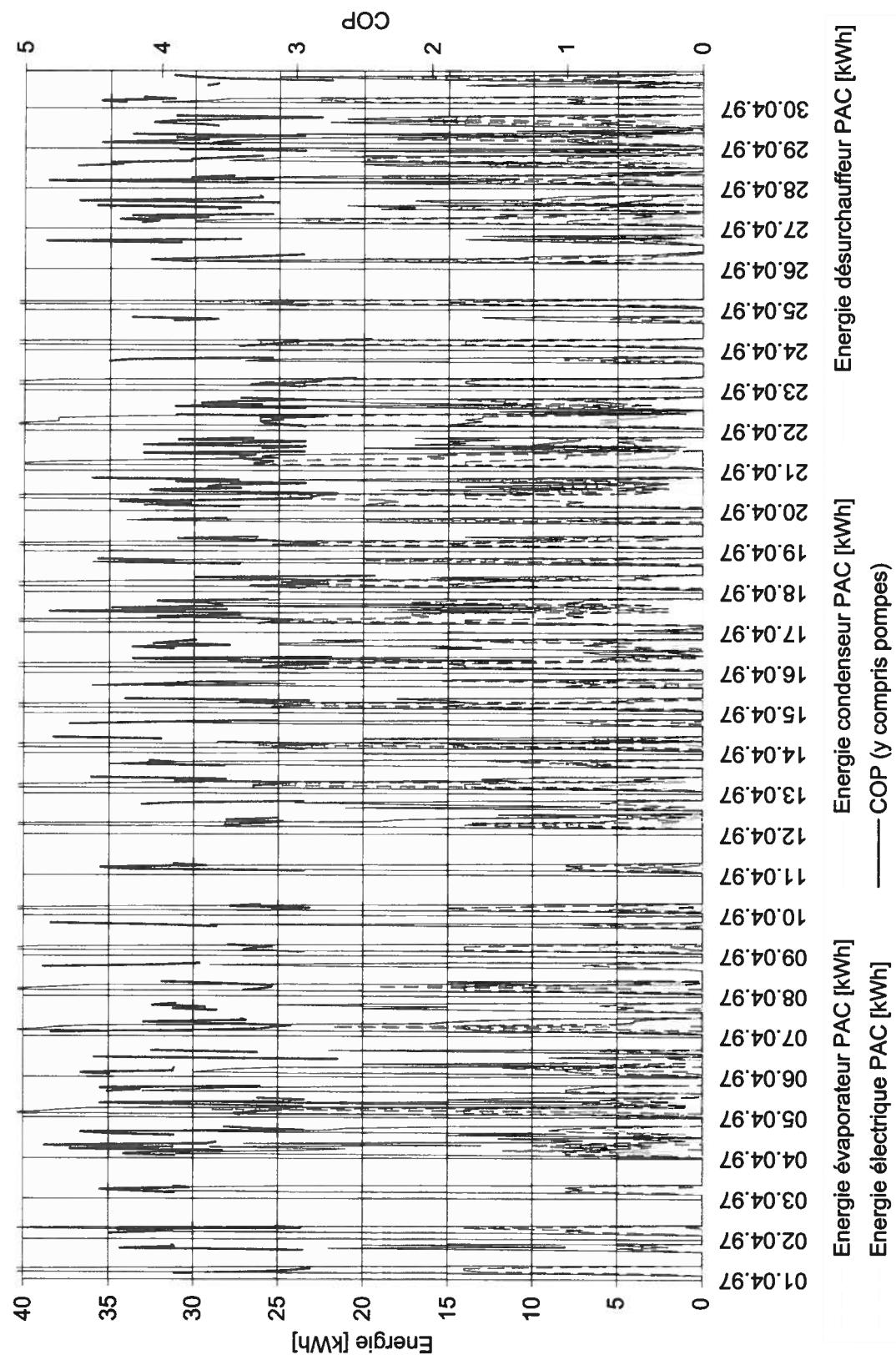
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de février 1997



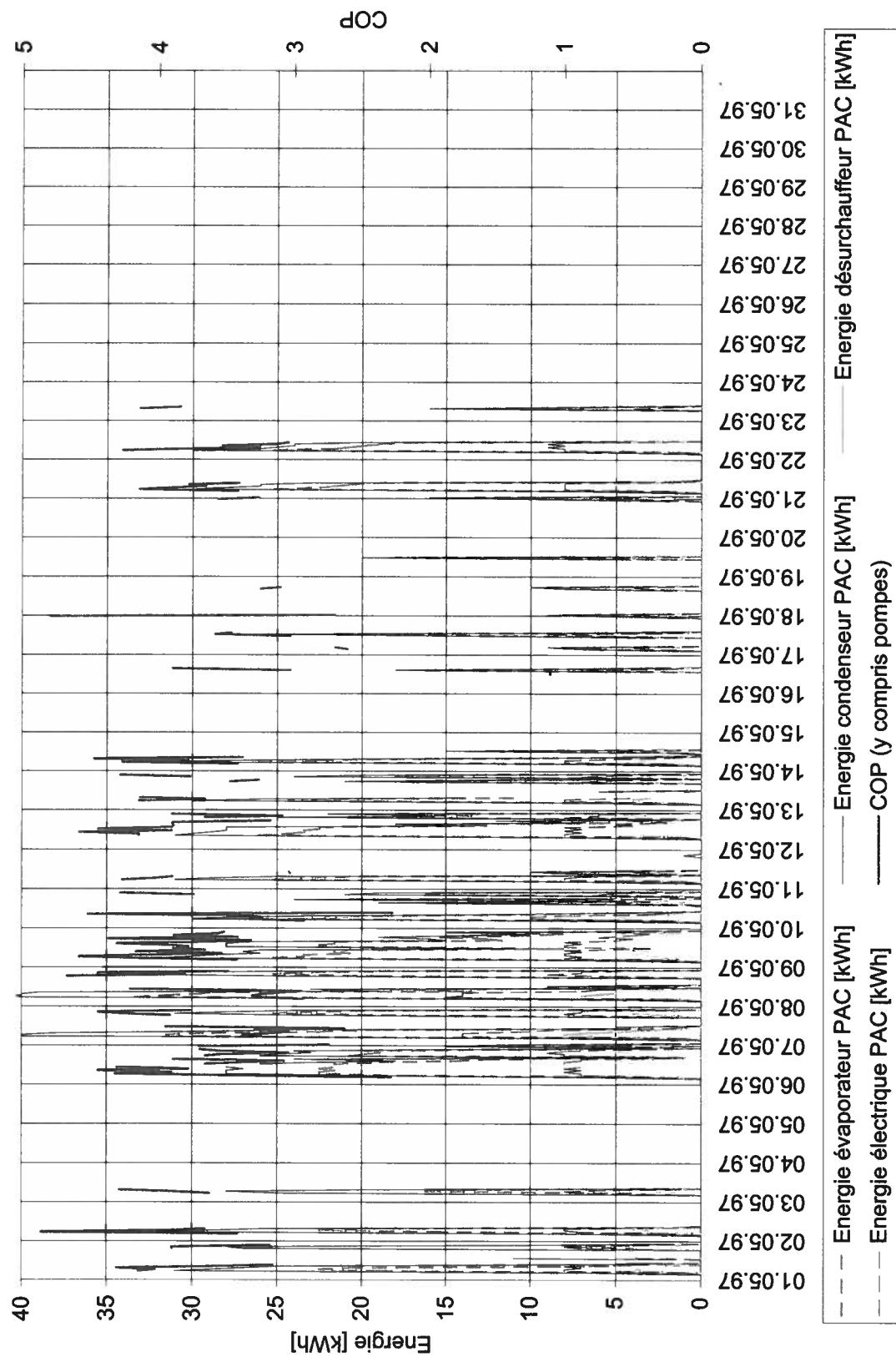
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de mars 1997



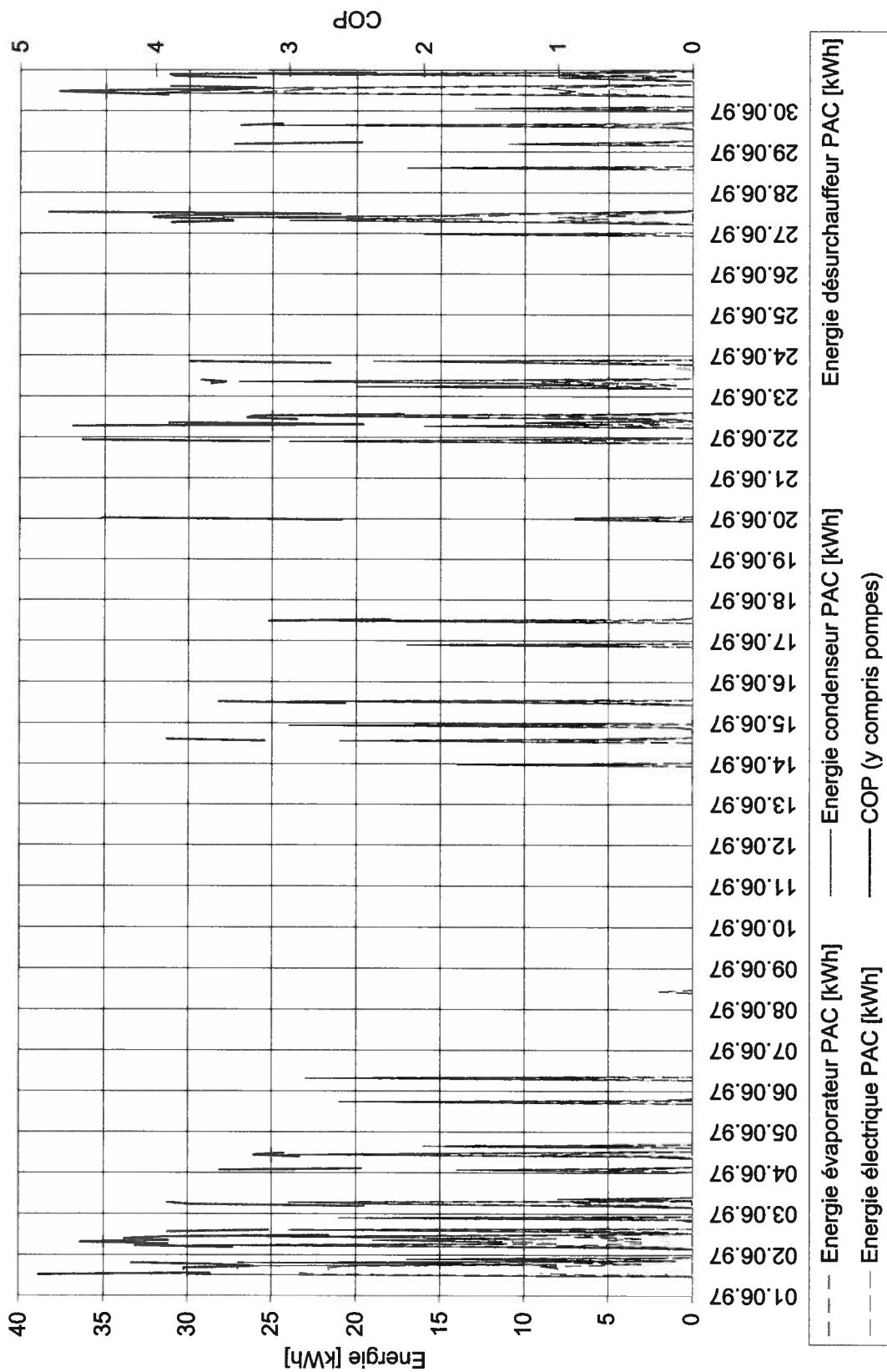
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois d'avril 1997



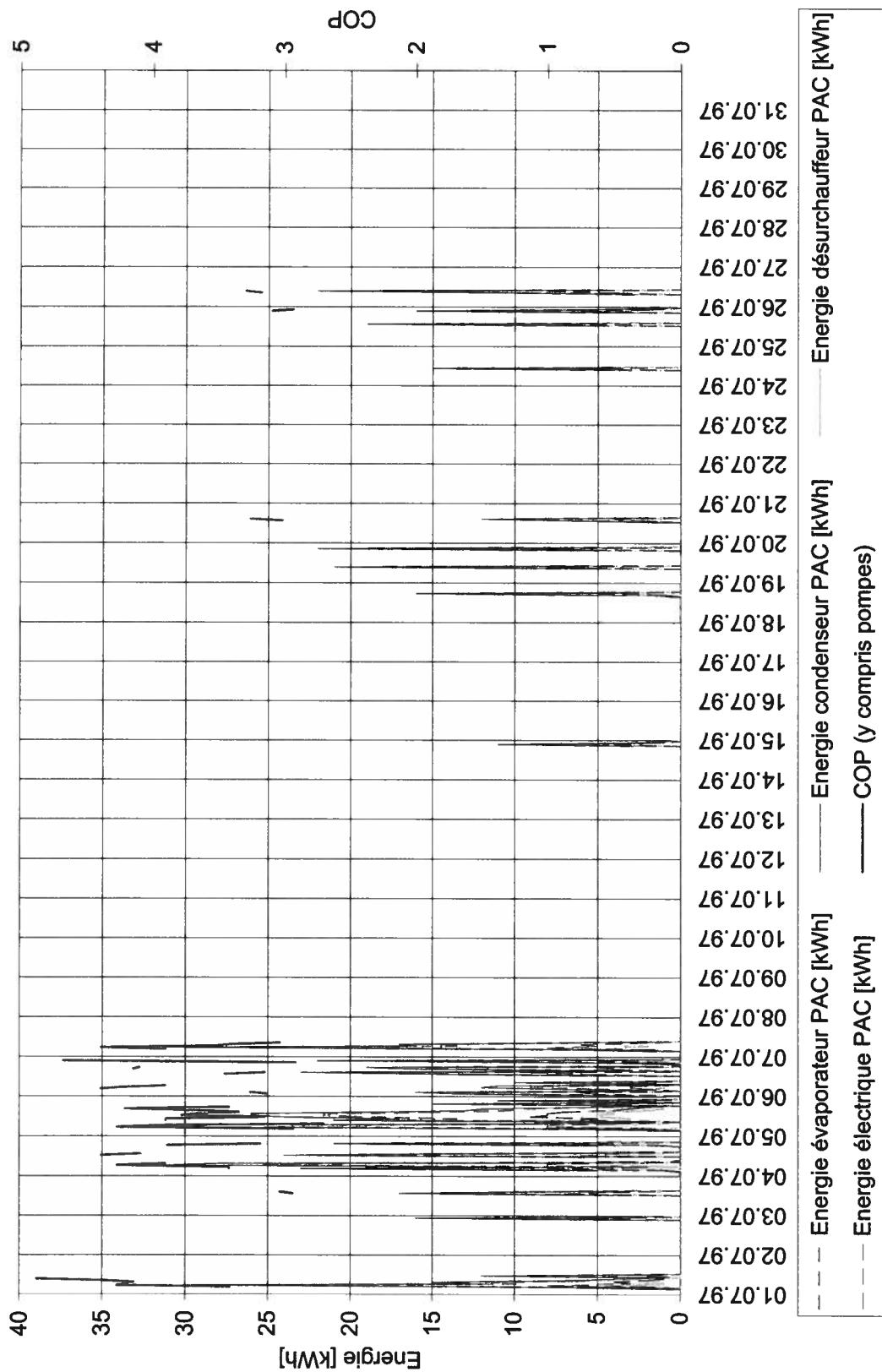
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de mai 1997



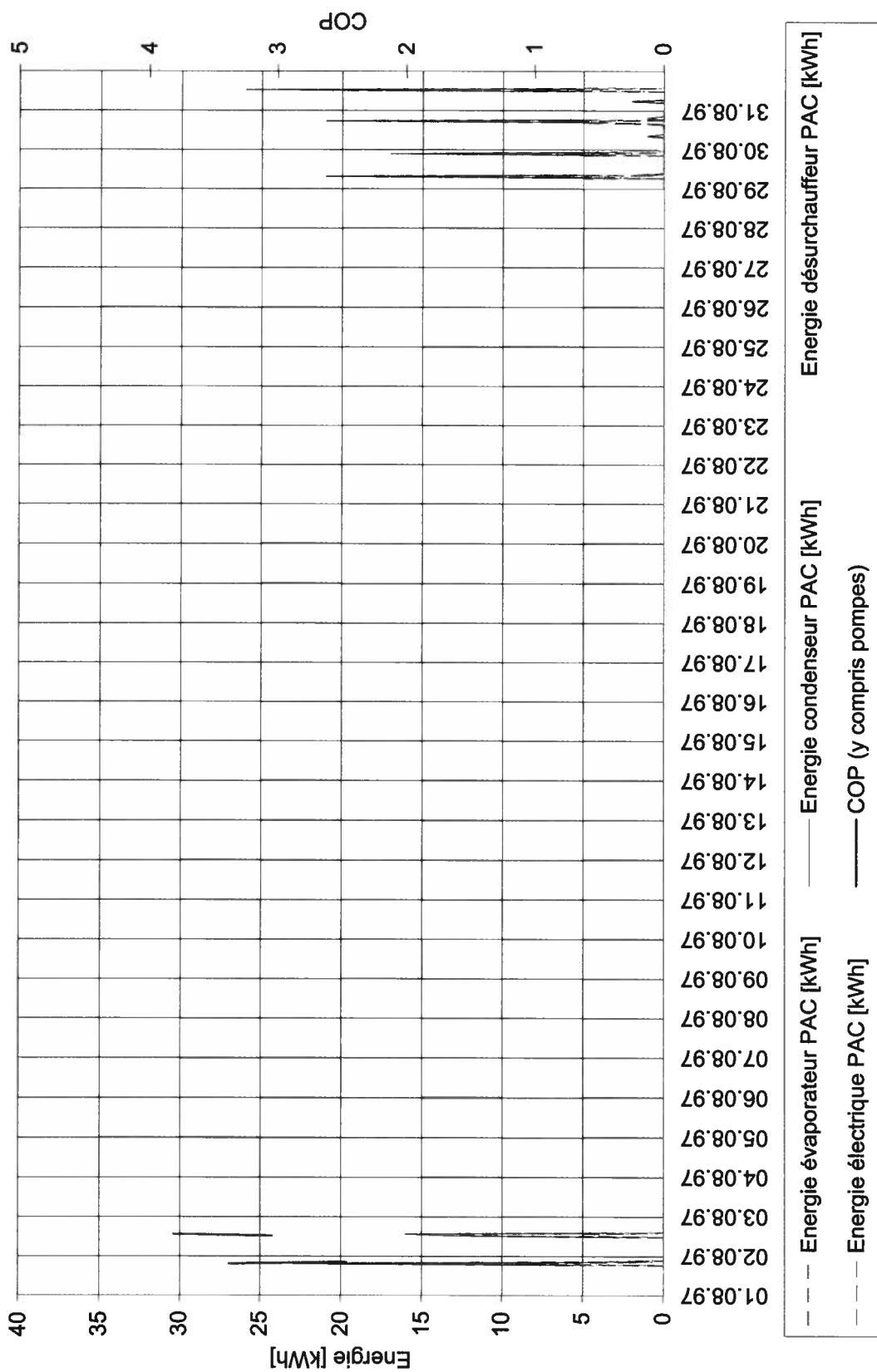
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de juin 1997



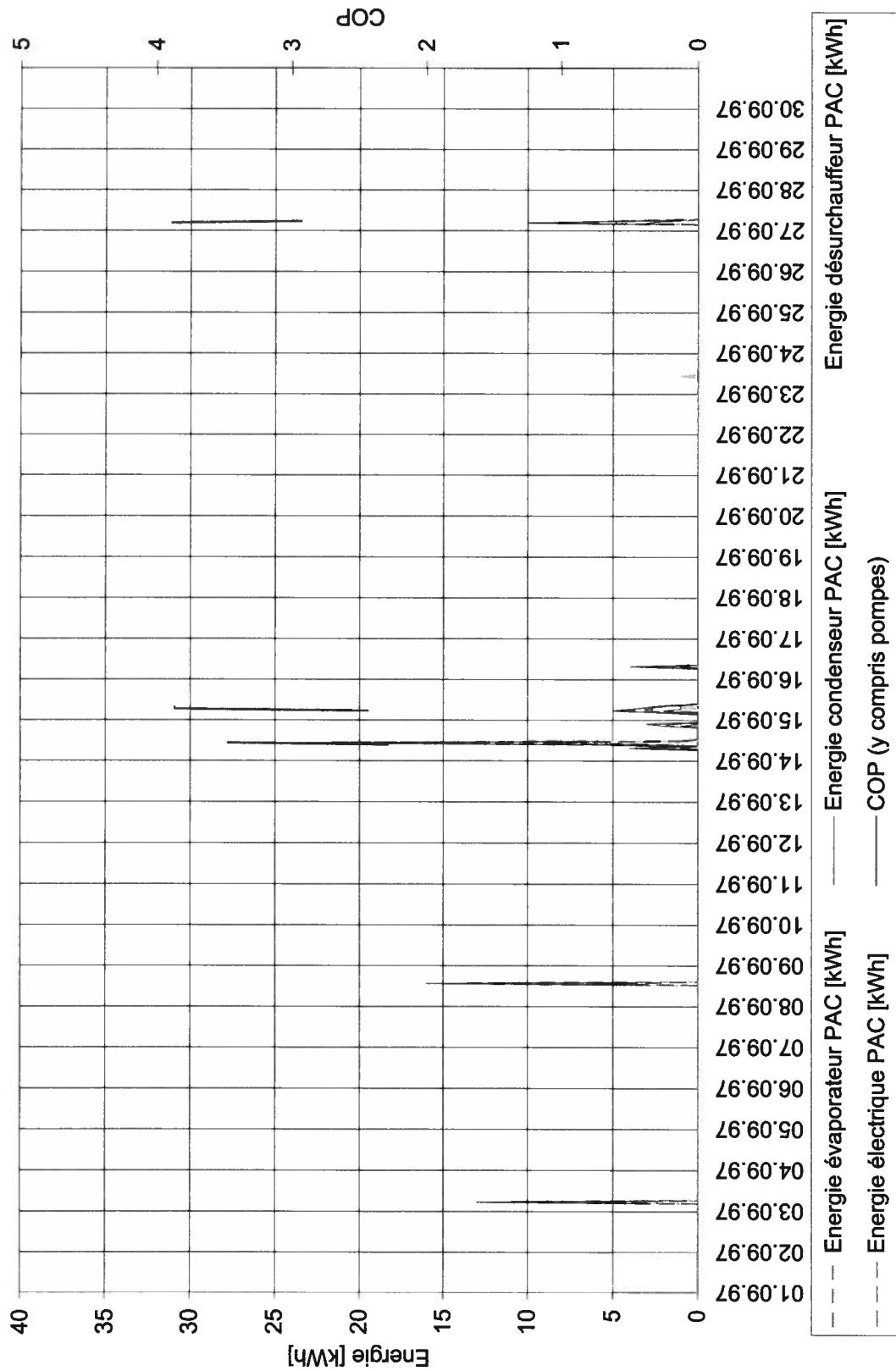
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de juillet 1997



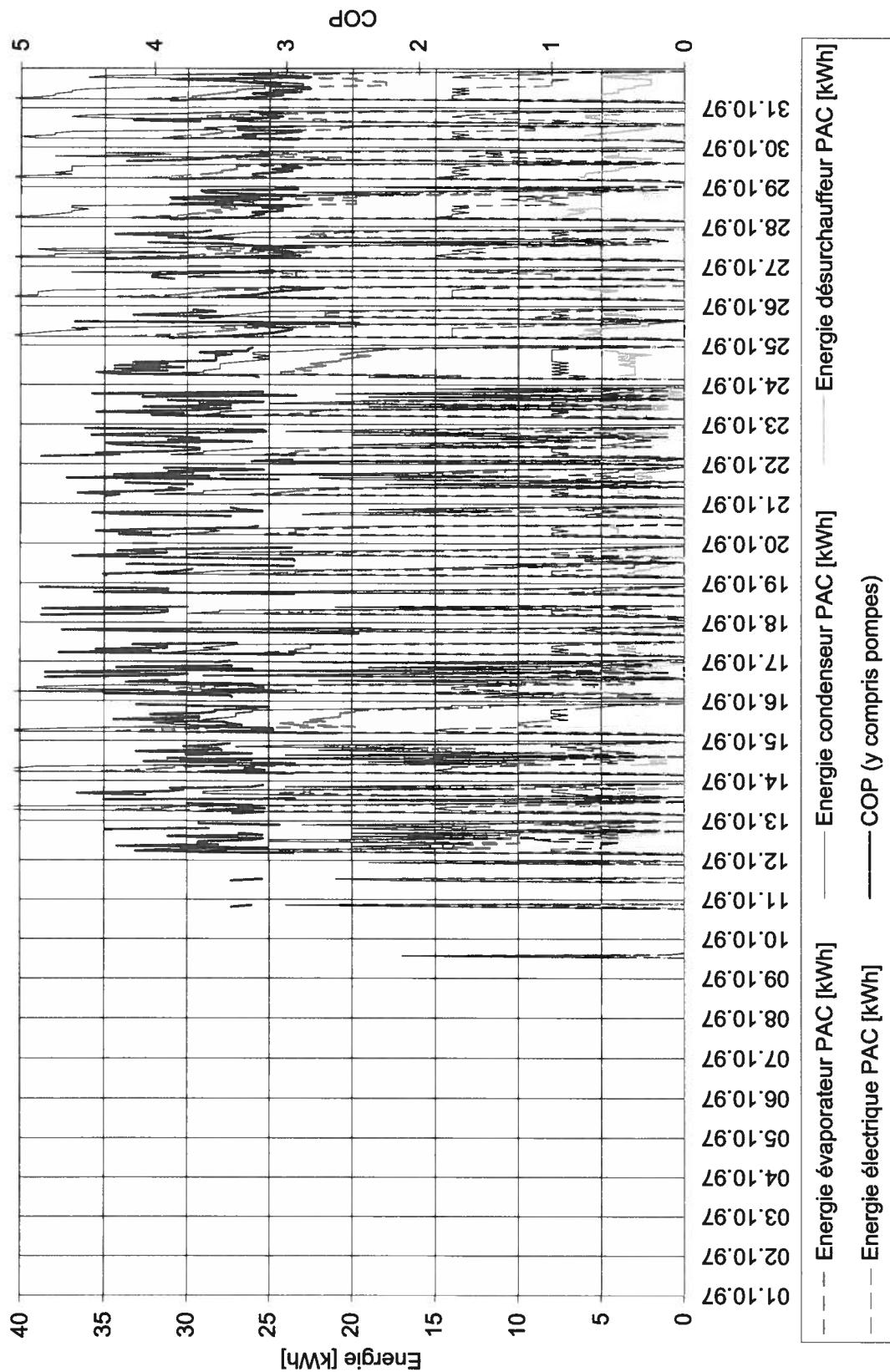
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois d'août 1997



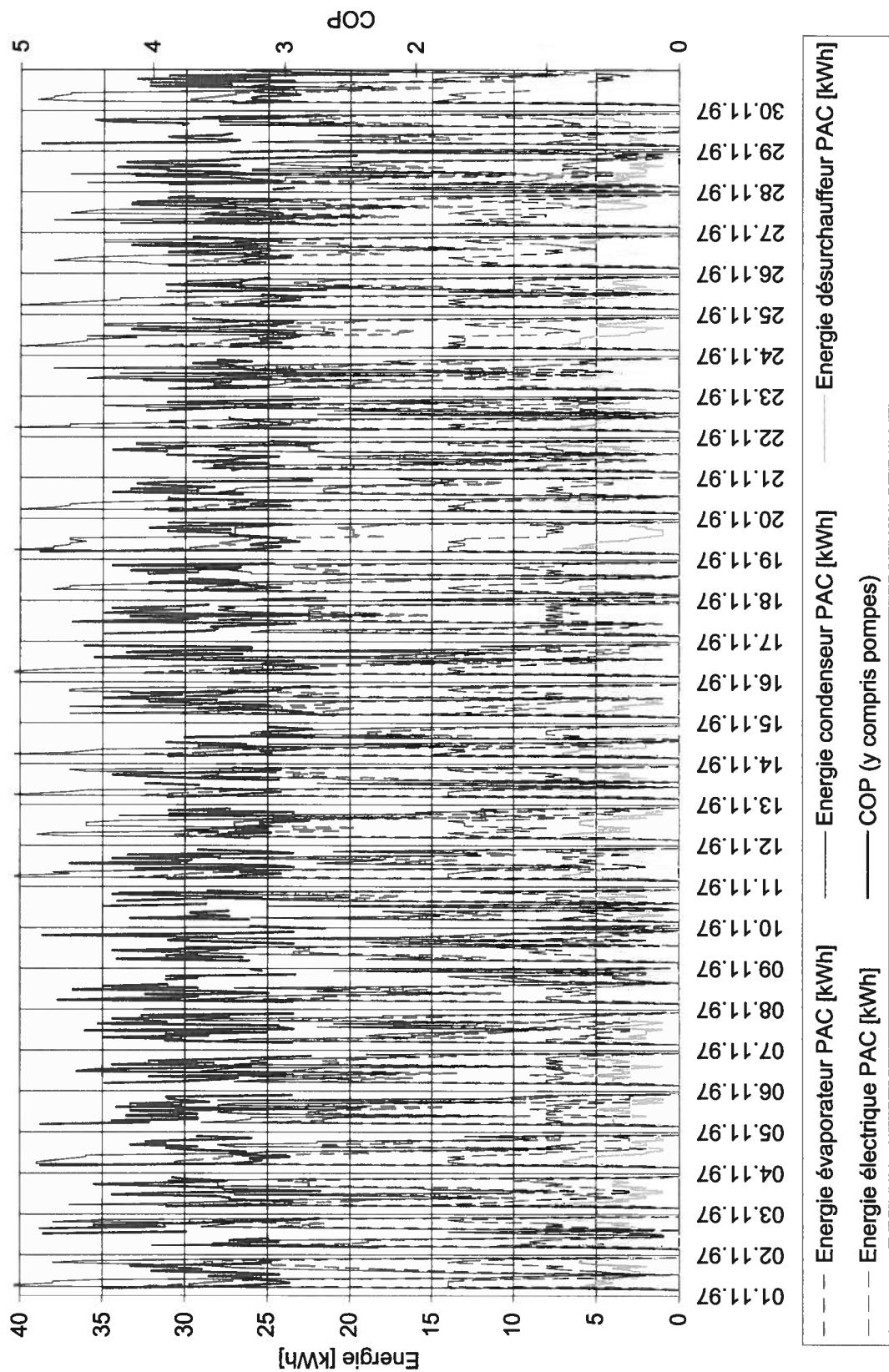
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de septembre 1997



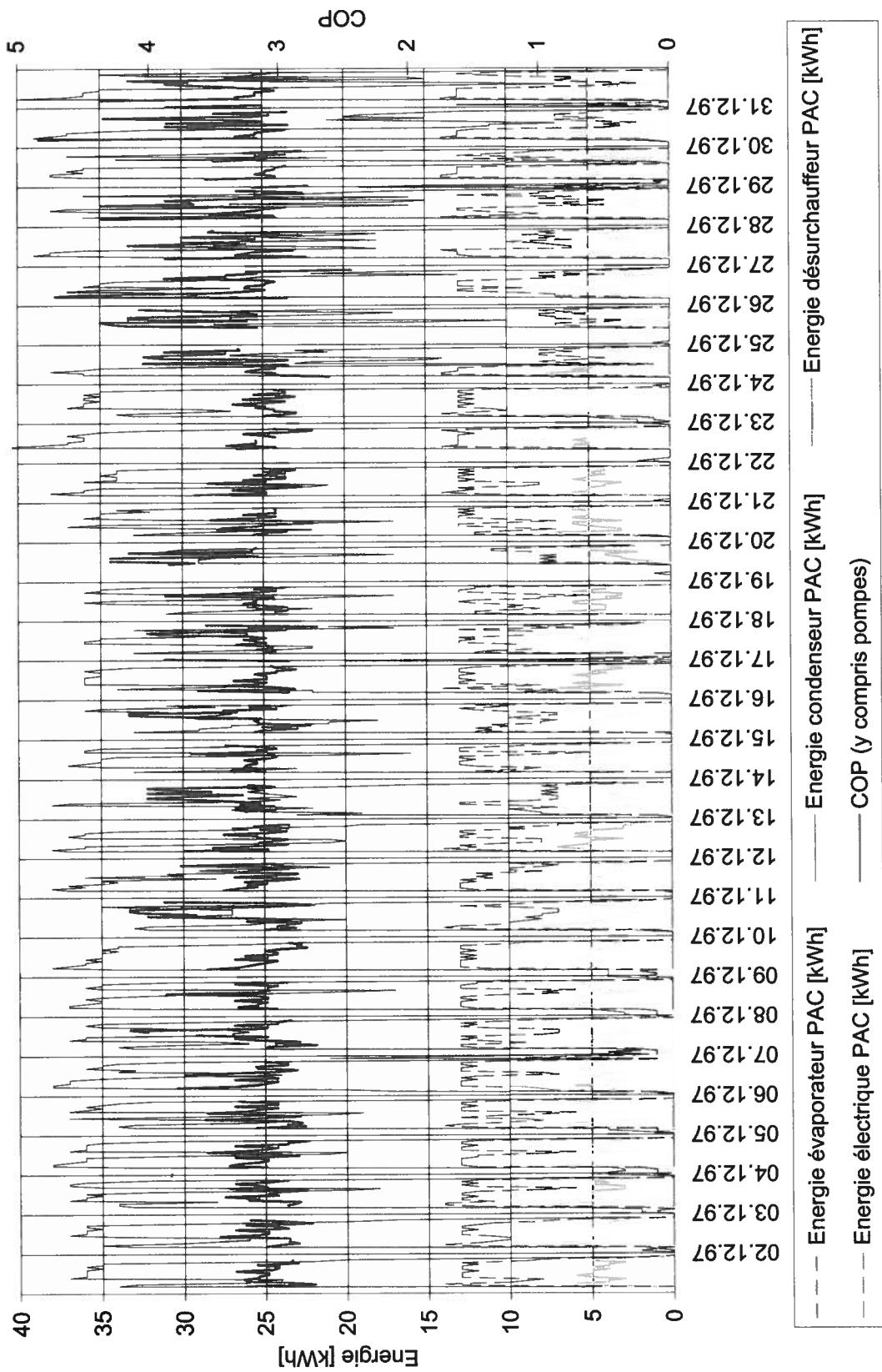
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois d'octobre 1997



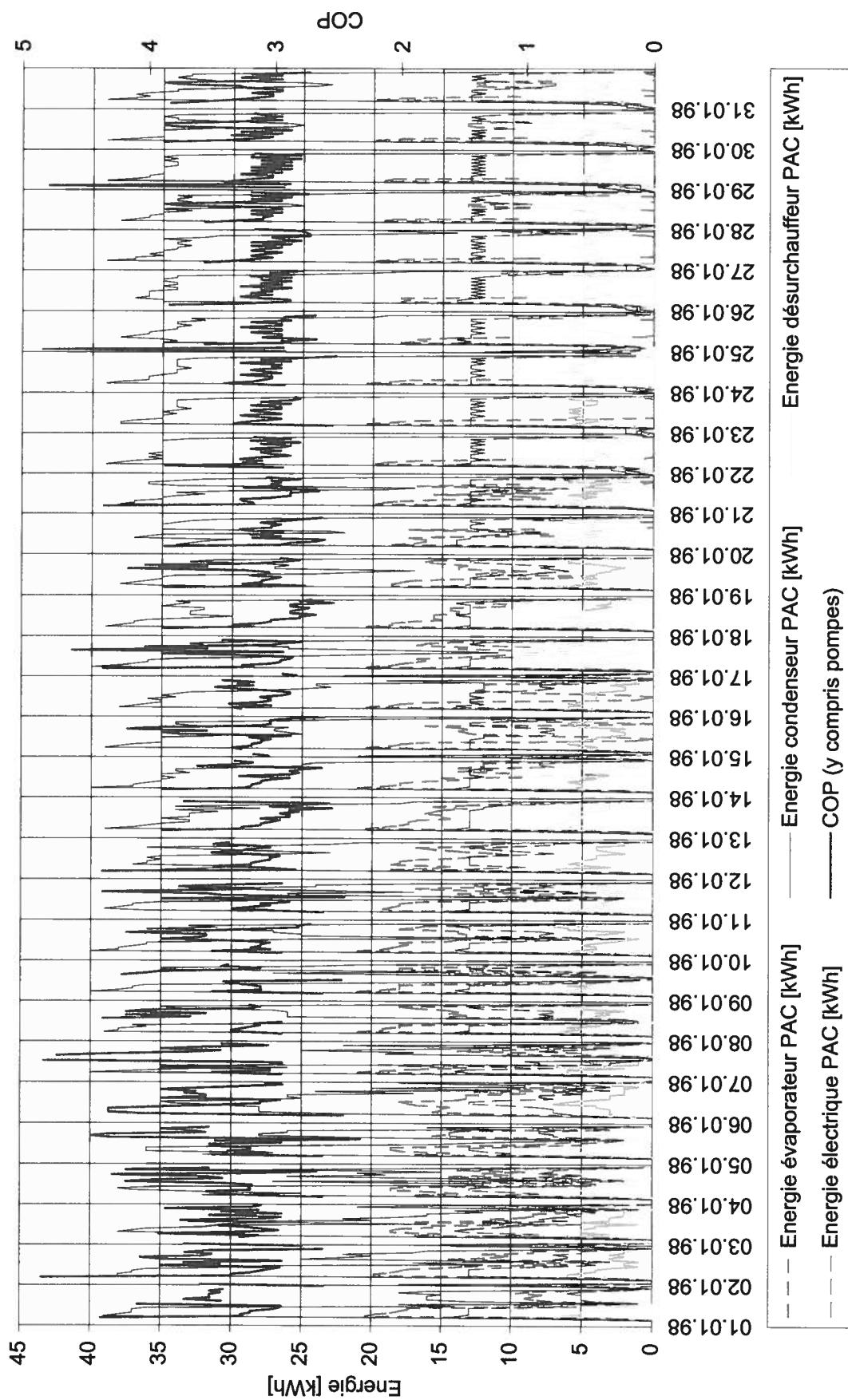
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de novembre 1997



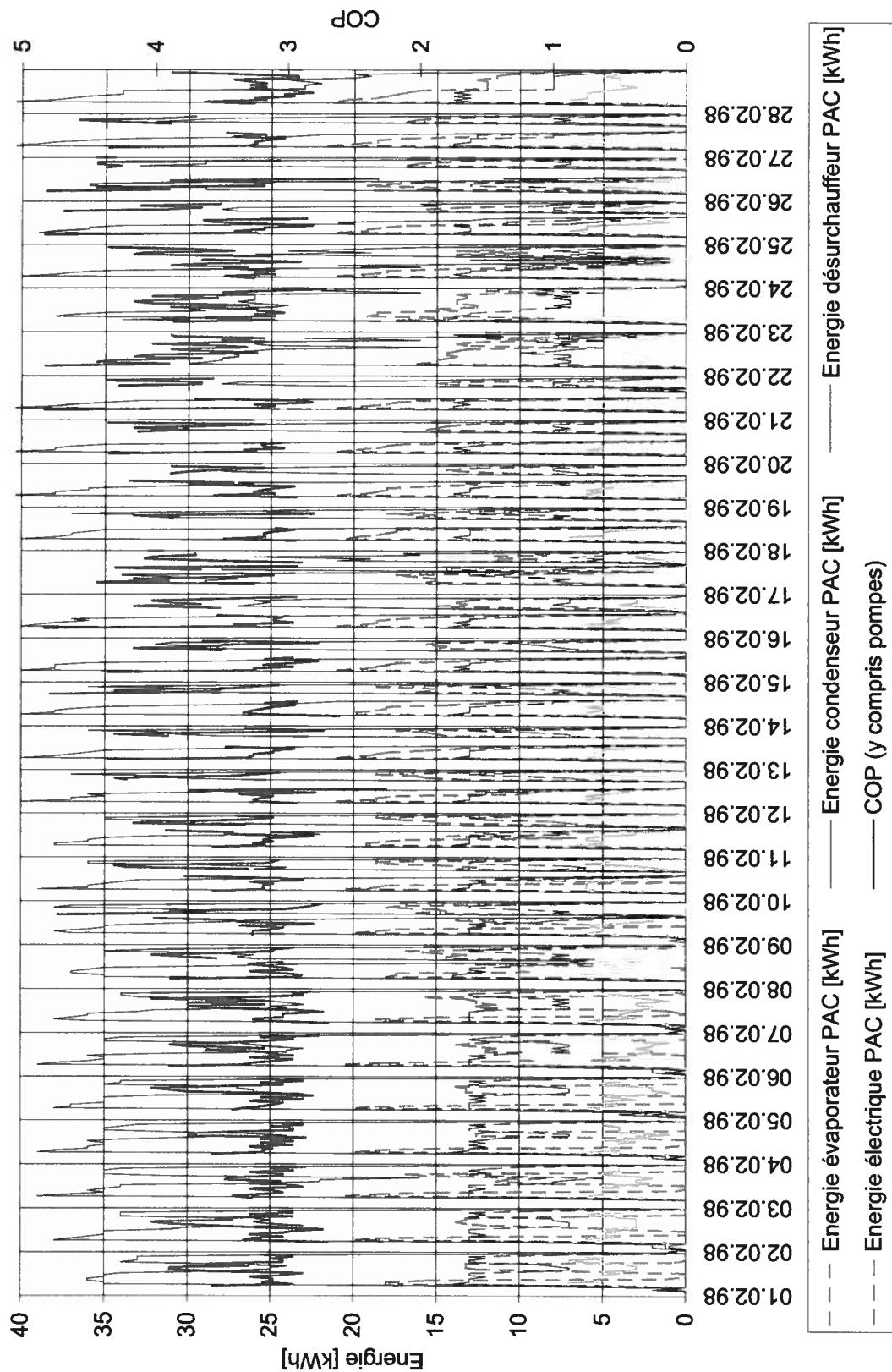
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de décembre 1997



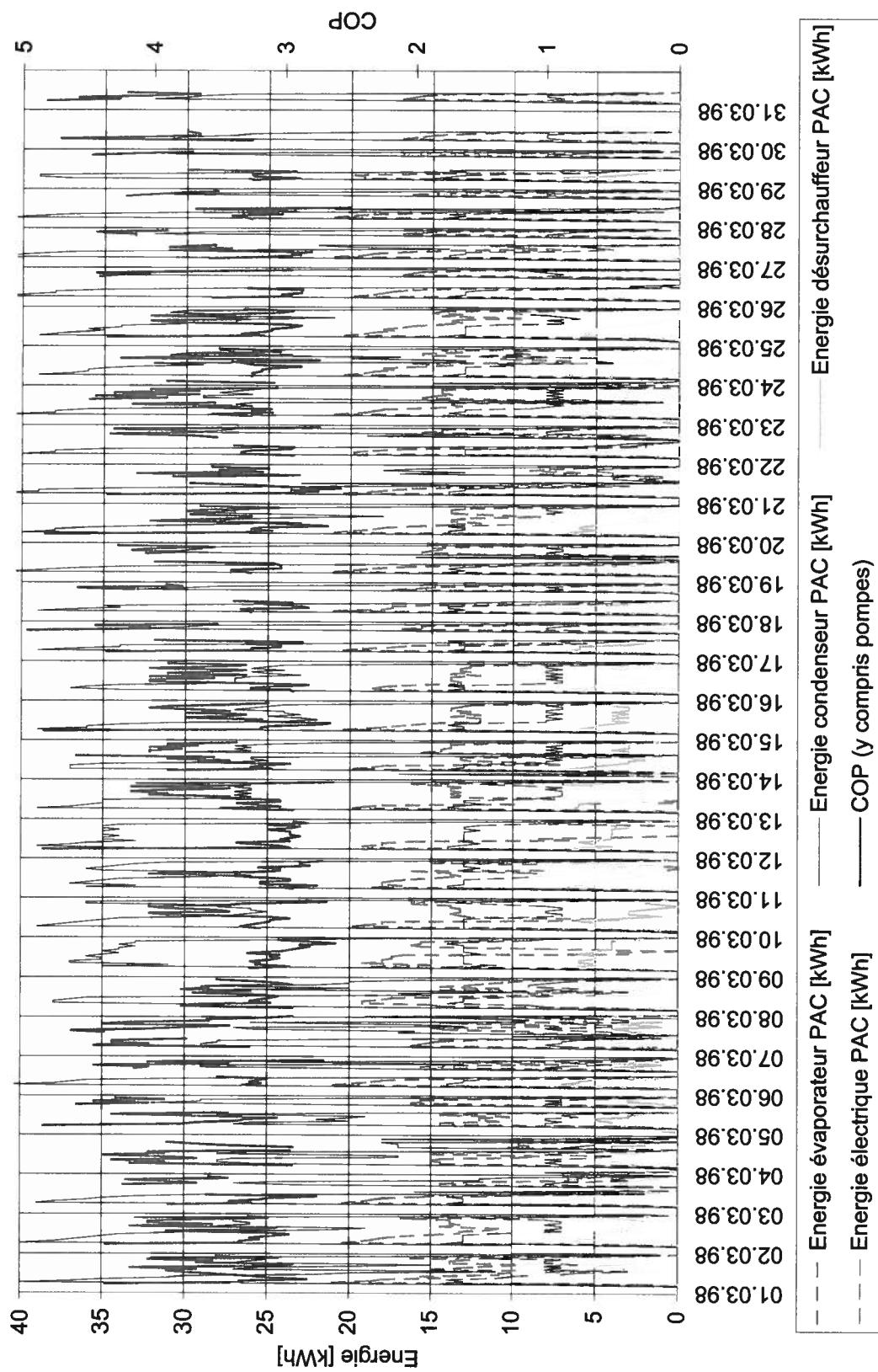
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de janvier 1998



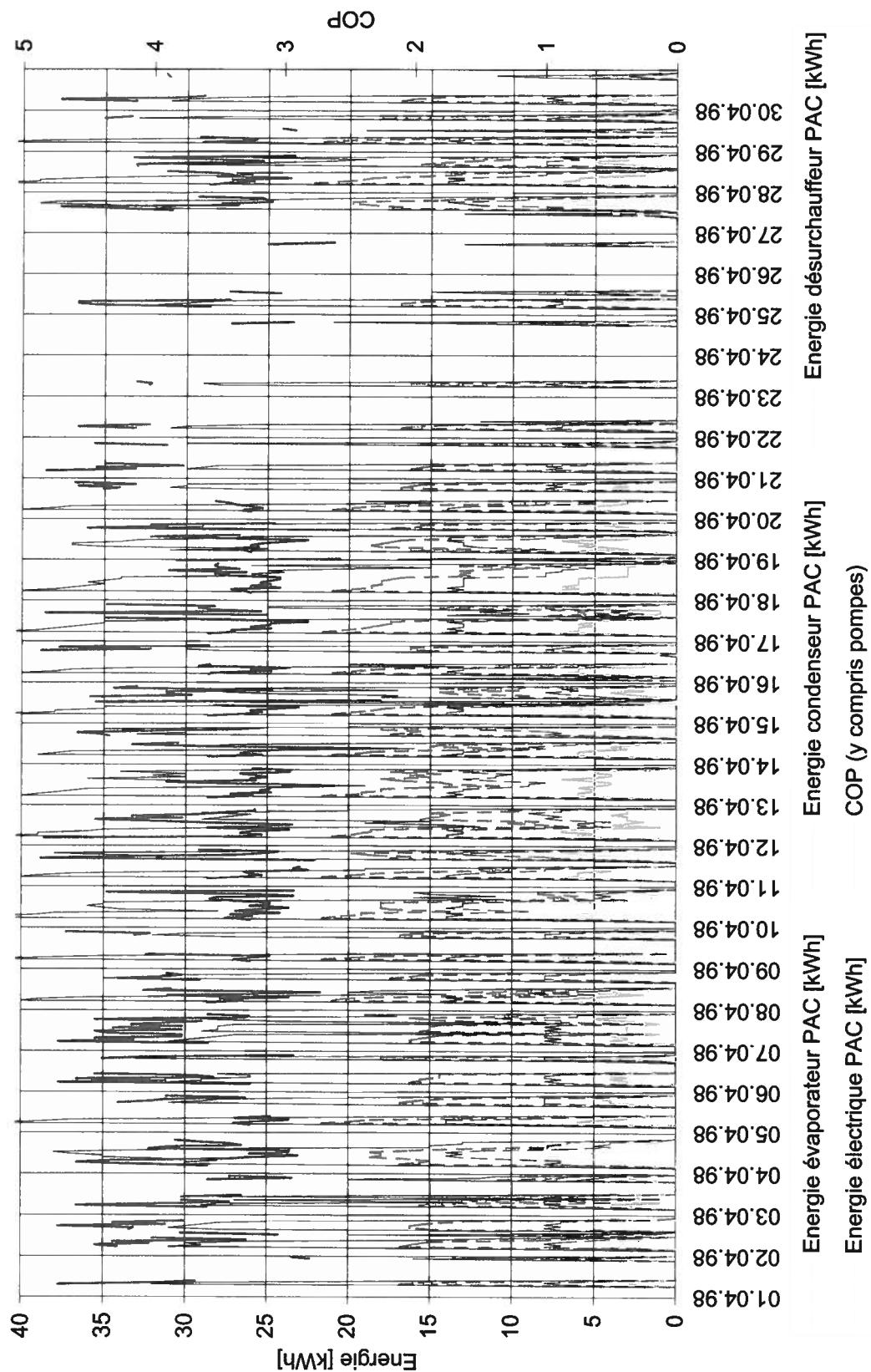
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de février 1998



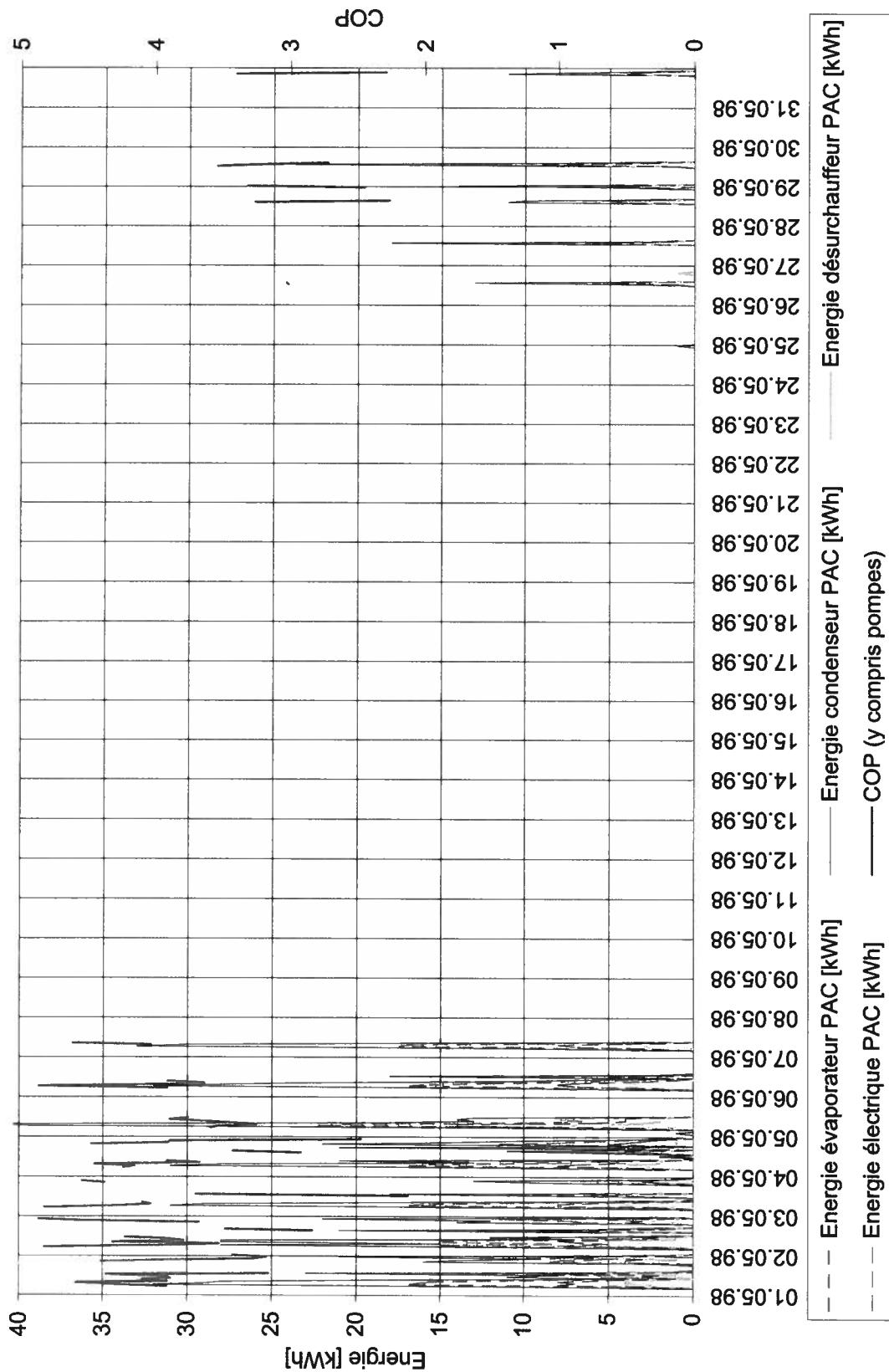
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de mars 1998



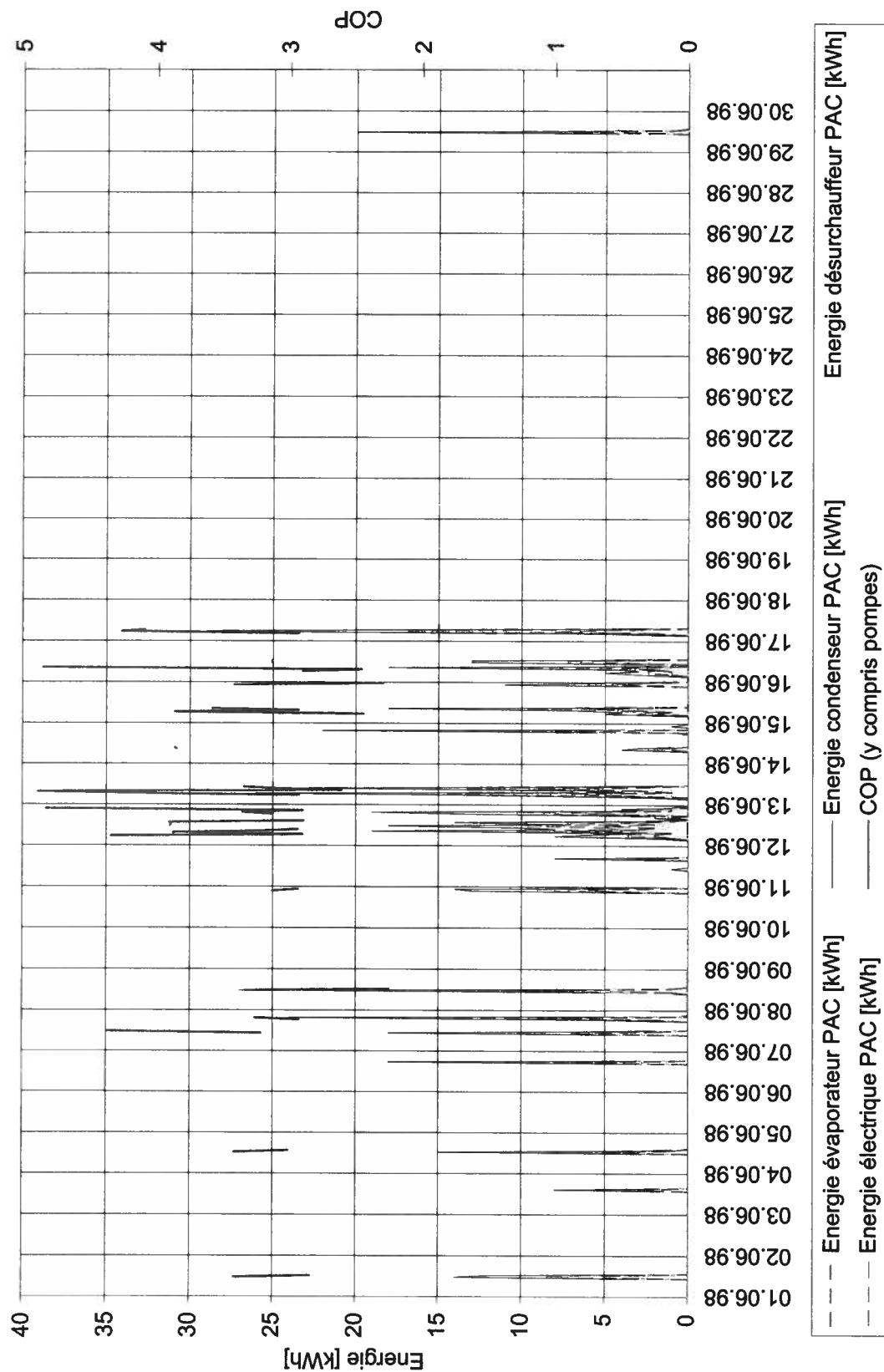
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommées par la PAC
Mois de avril 1998



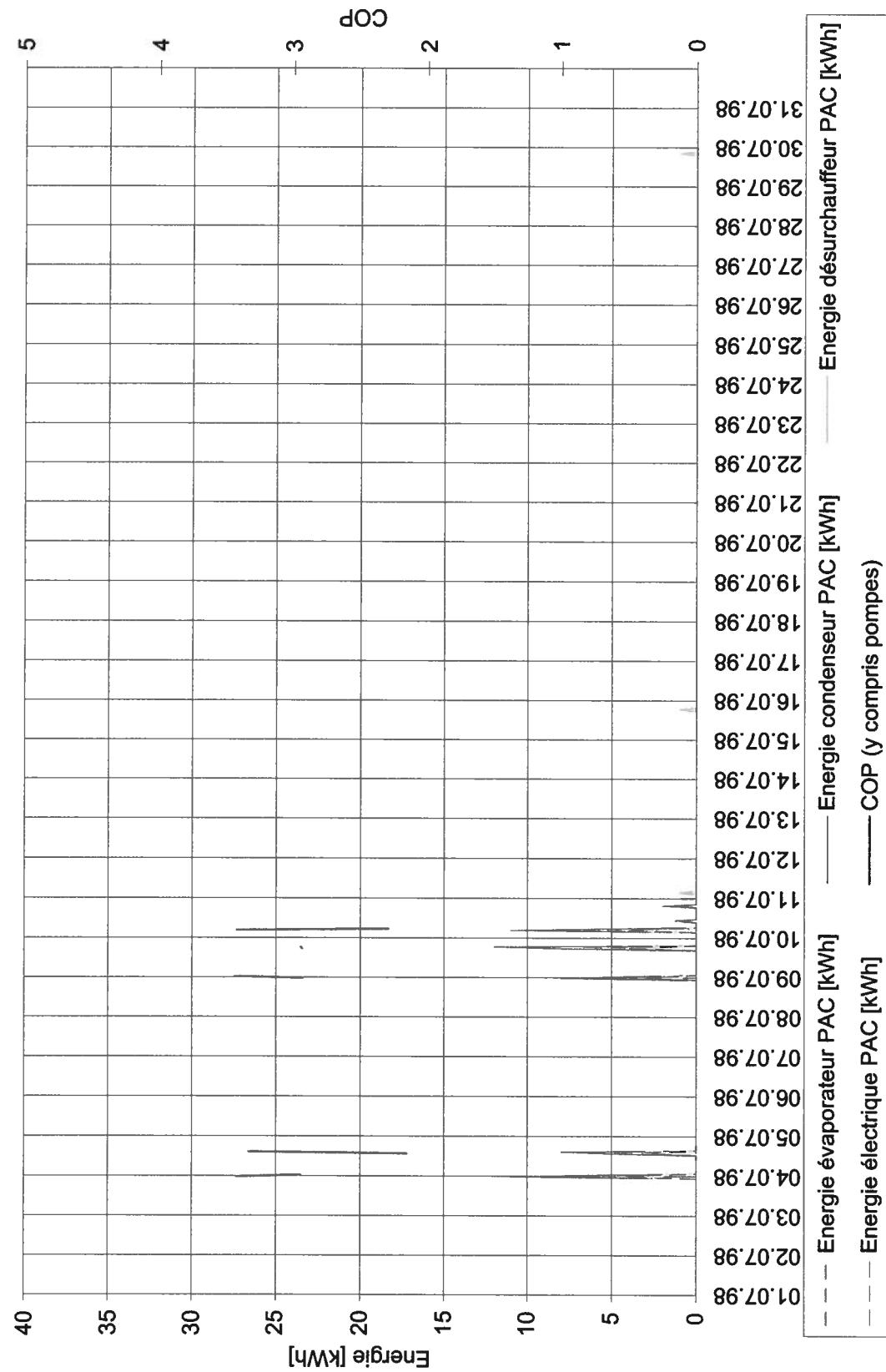
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de mai 1998



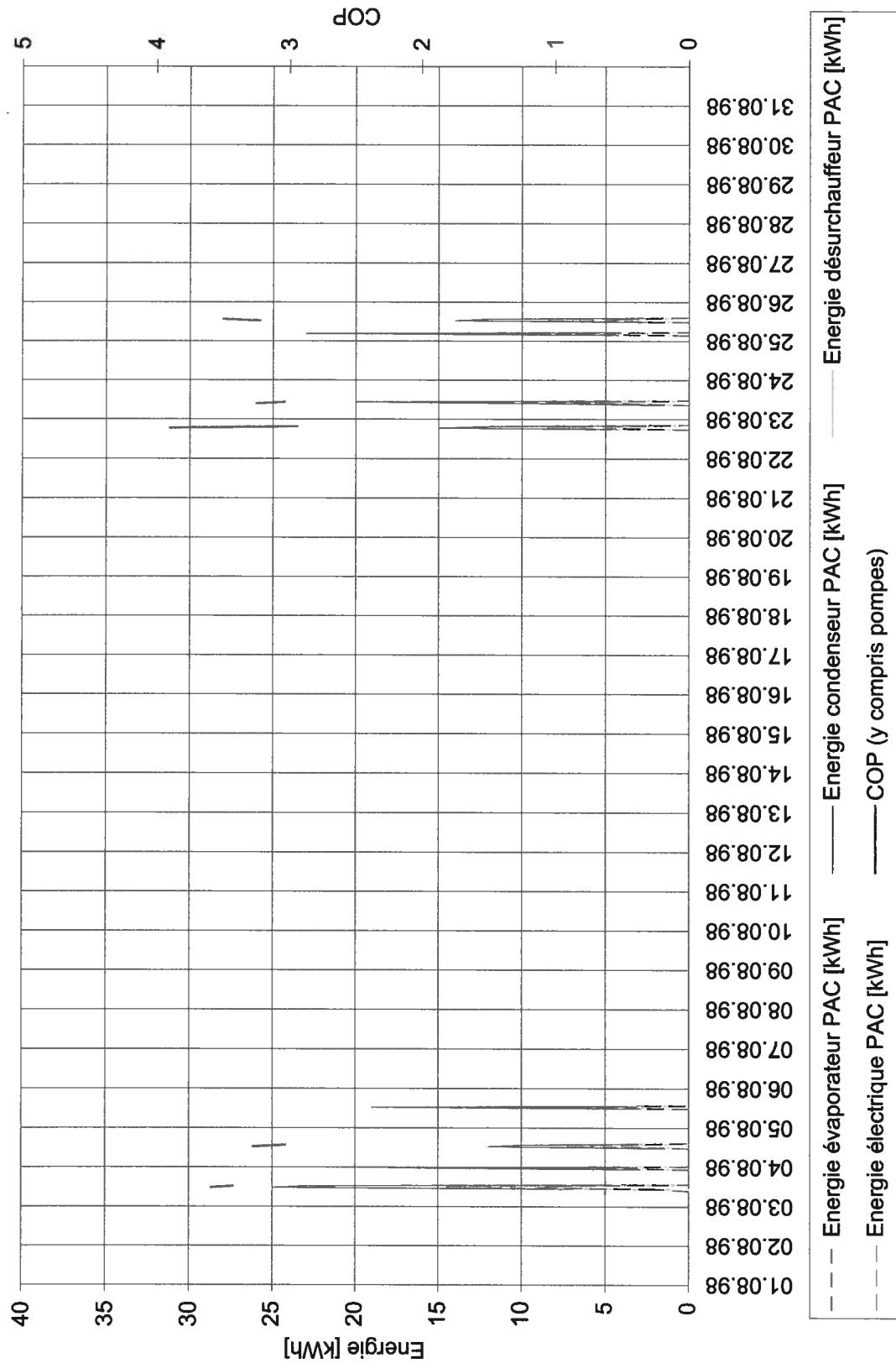
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de juin 1998



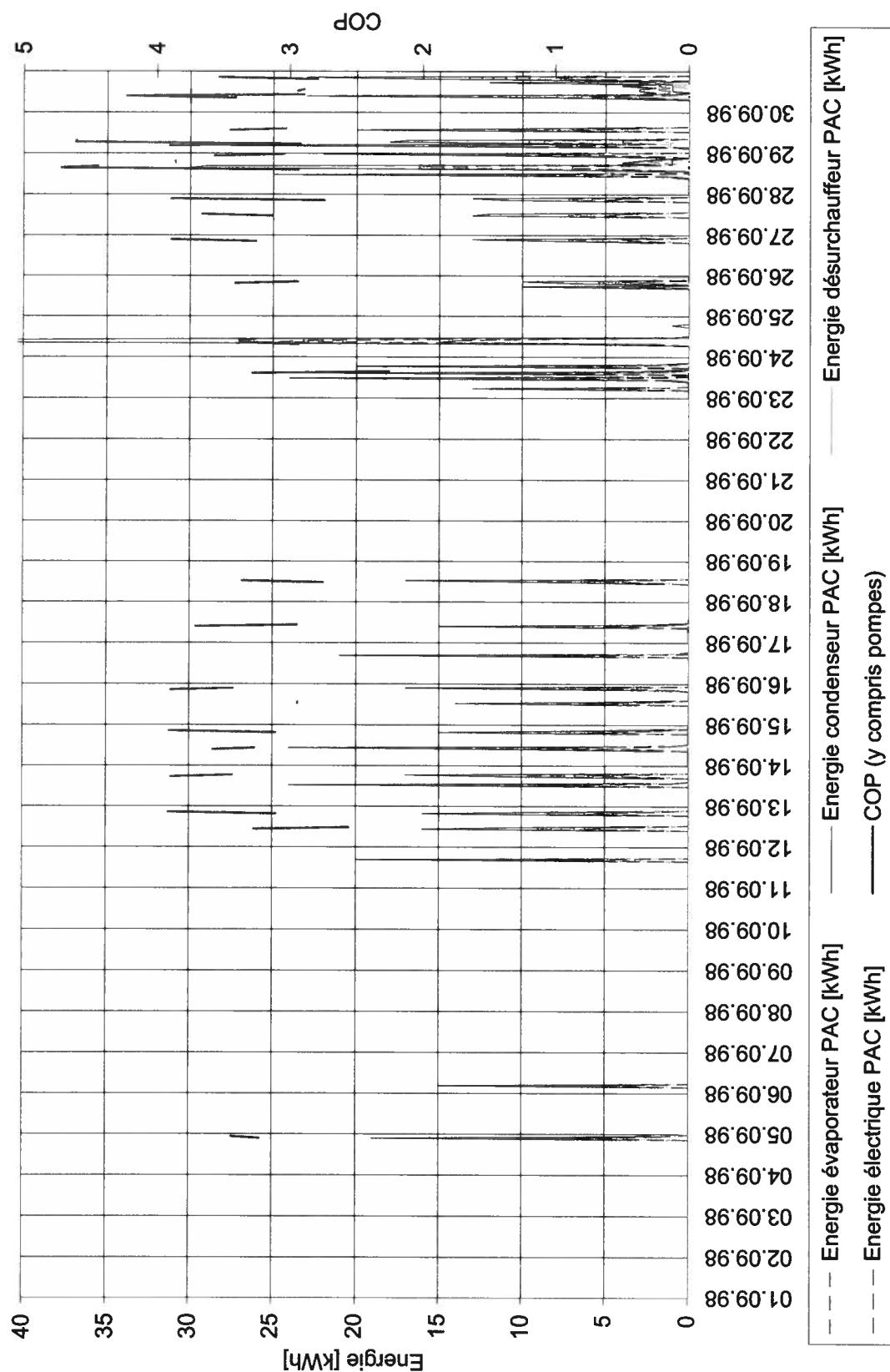
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de juillet 1998



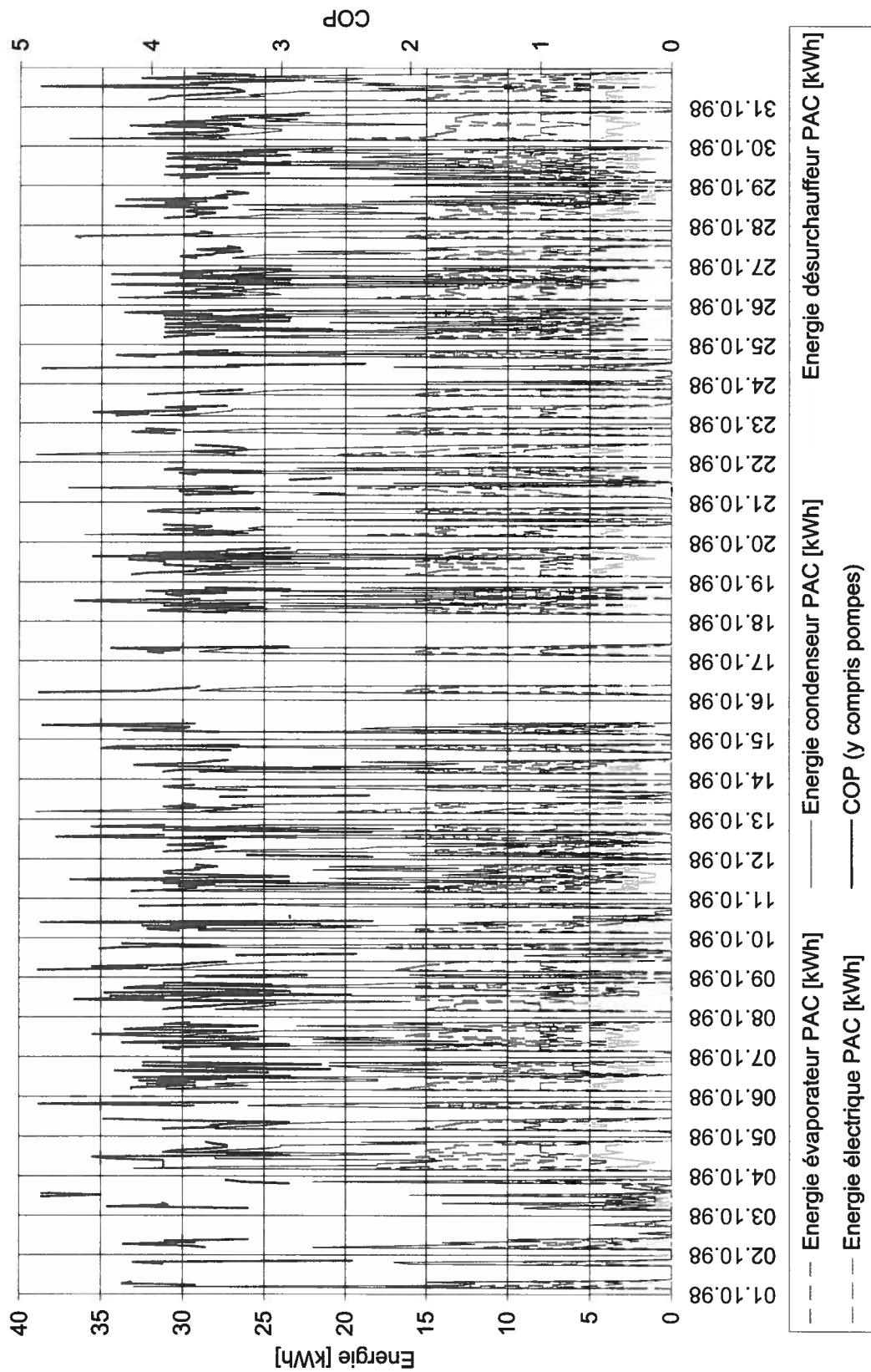
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Energie produite et consommée par la PAC
 Mois de août 1998



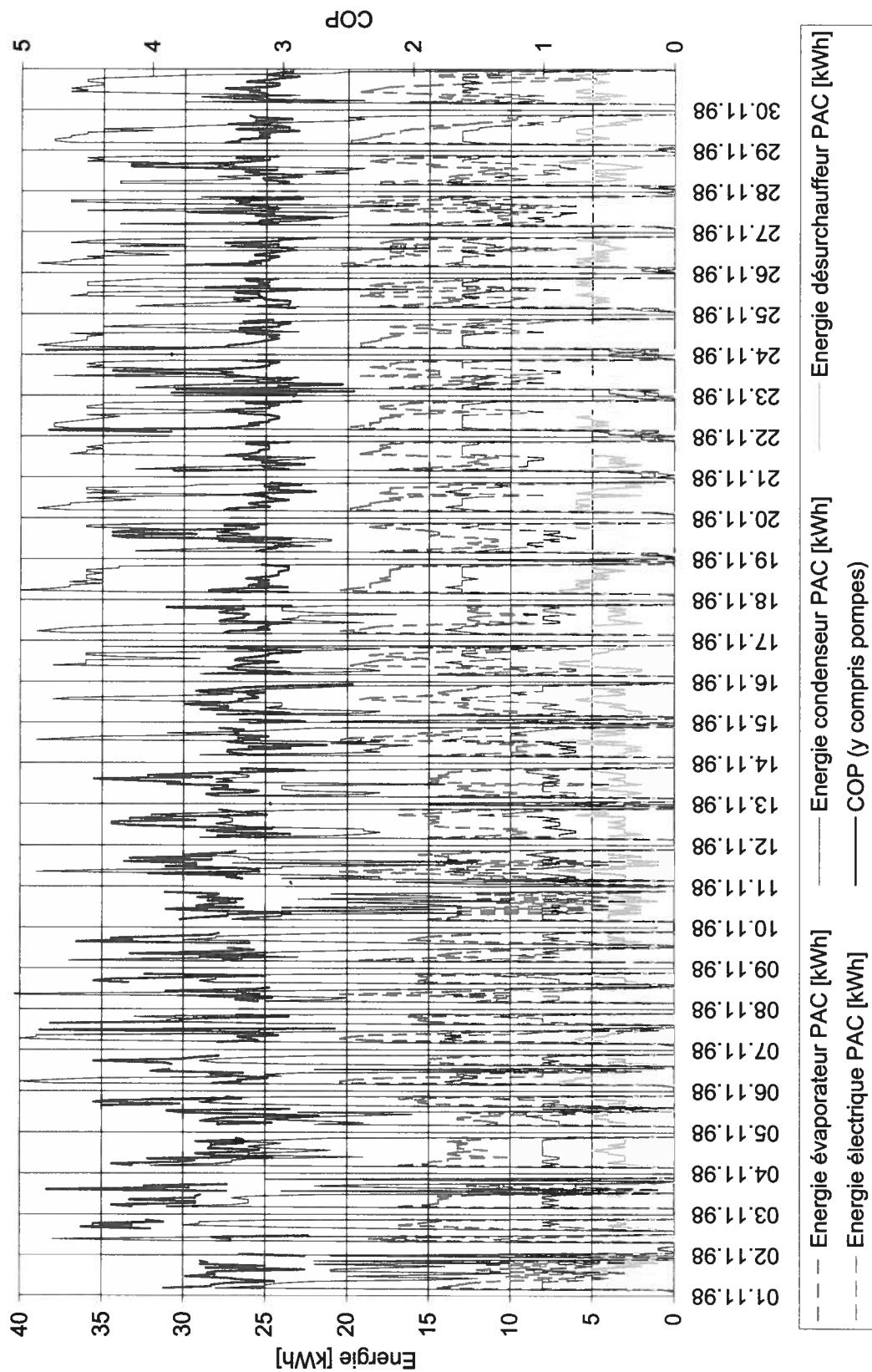
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
 Energie produite et consommée par la PAC
 Mois de septembre 1998



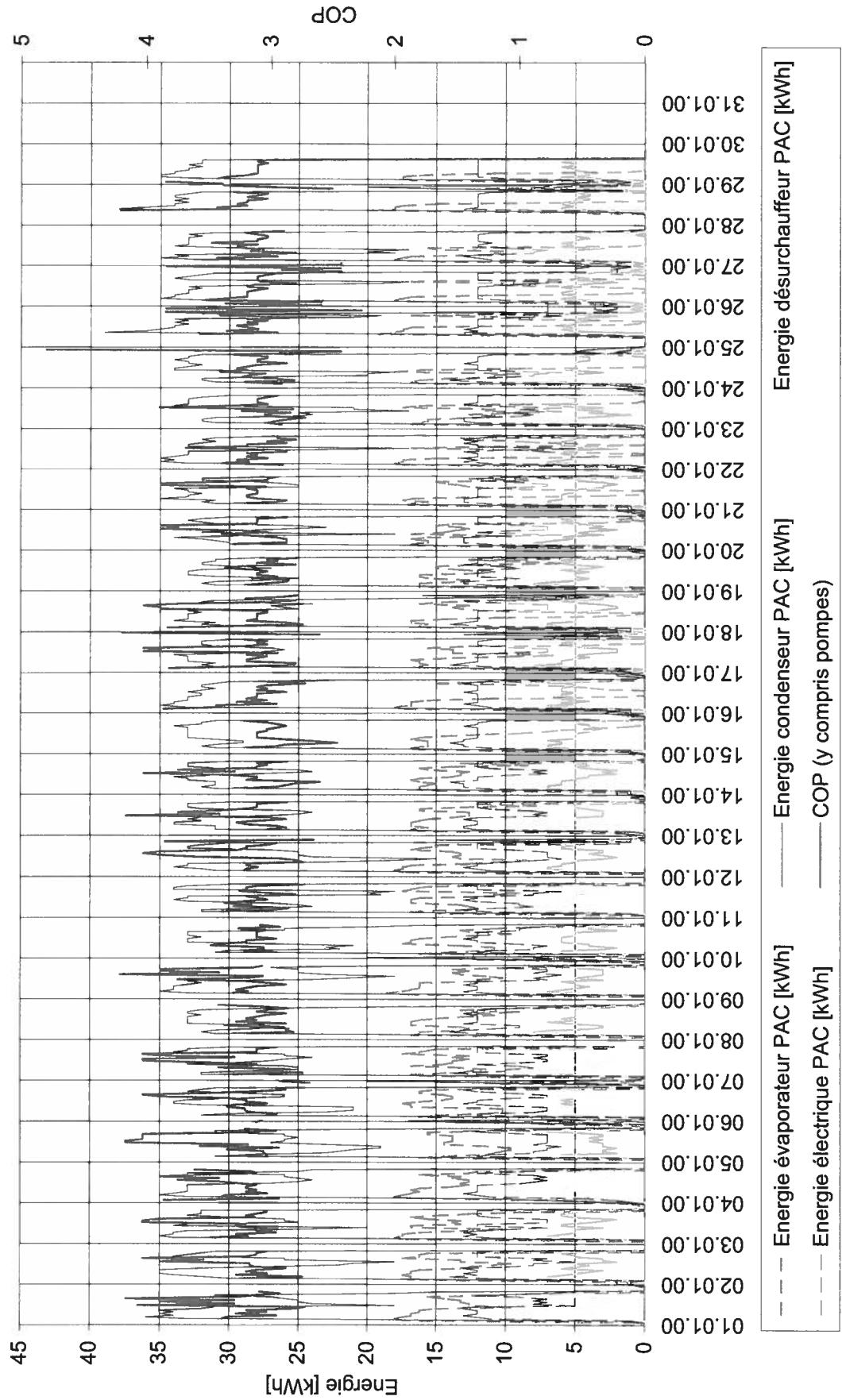
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de octobre 1998



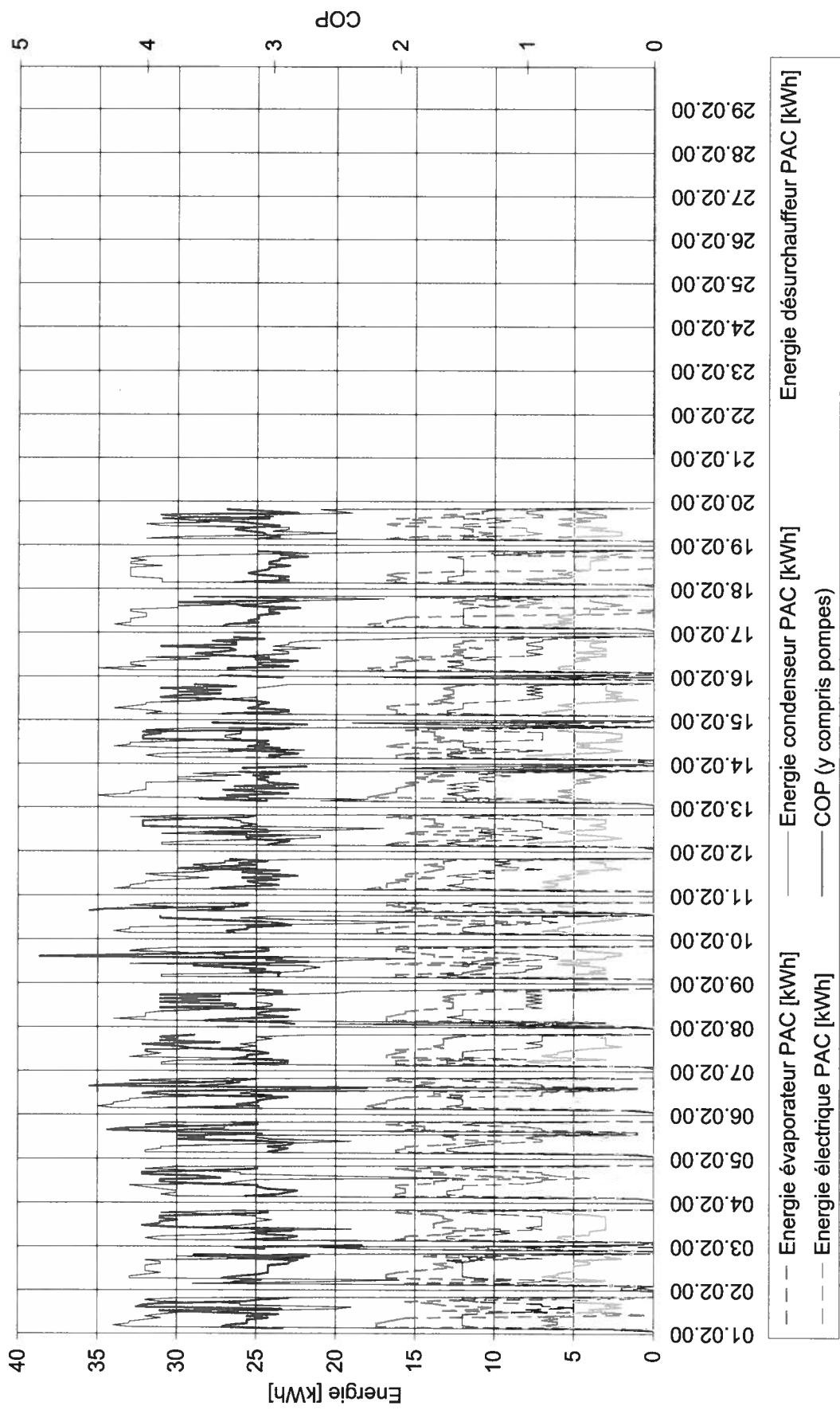
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de novembre 1998



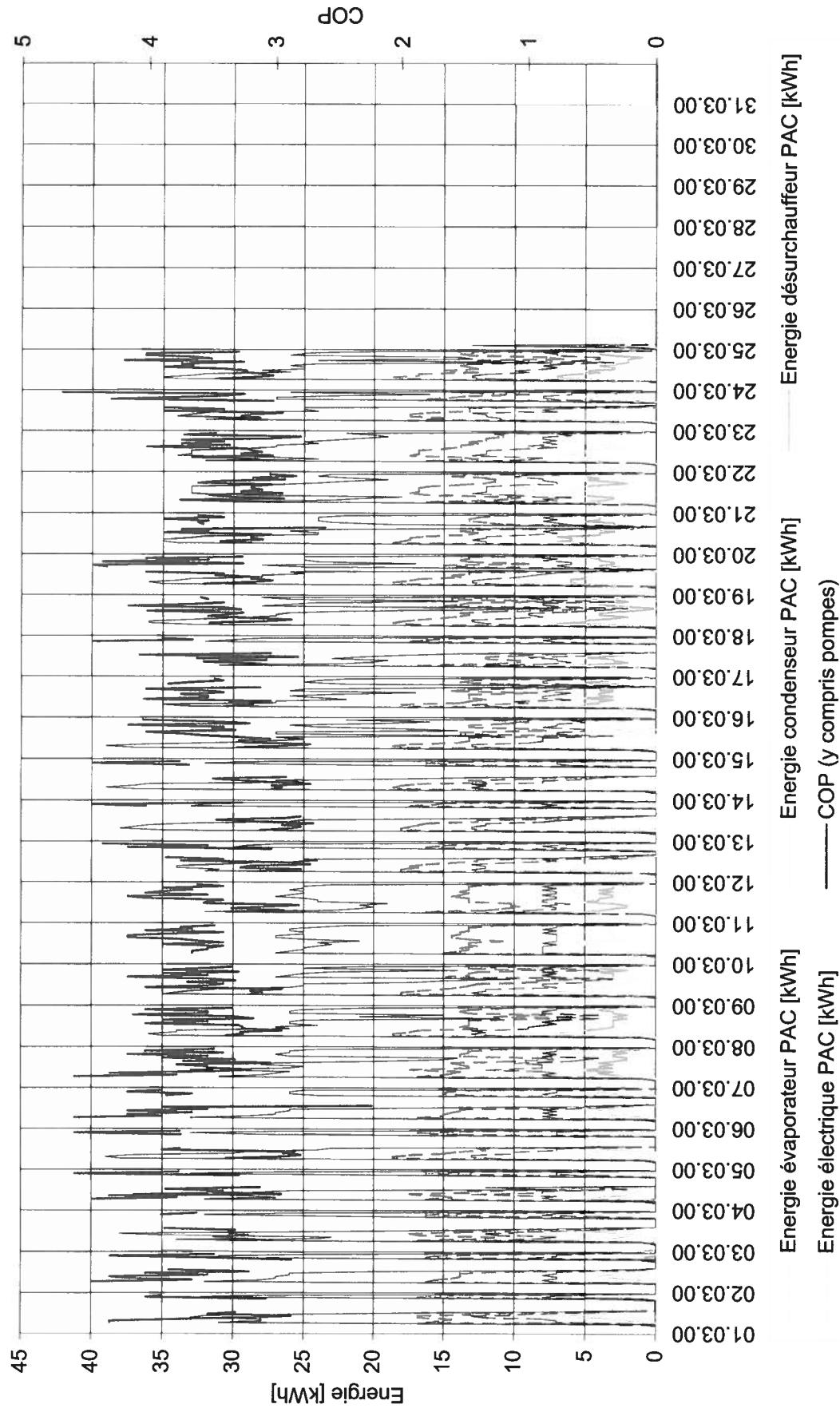
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de janvier 2000



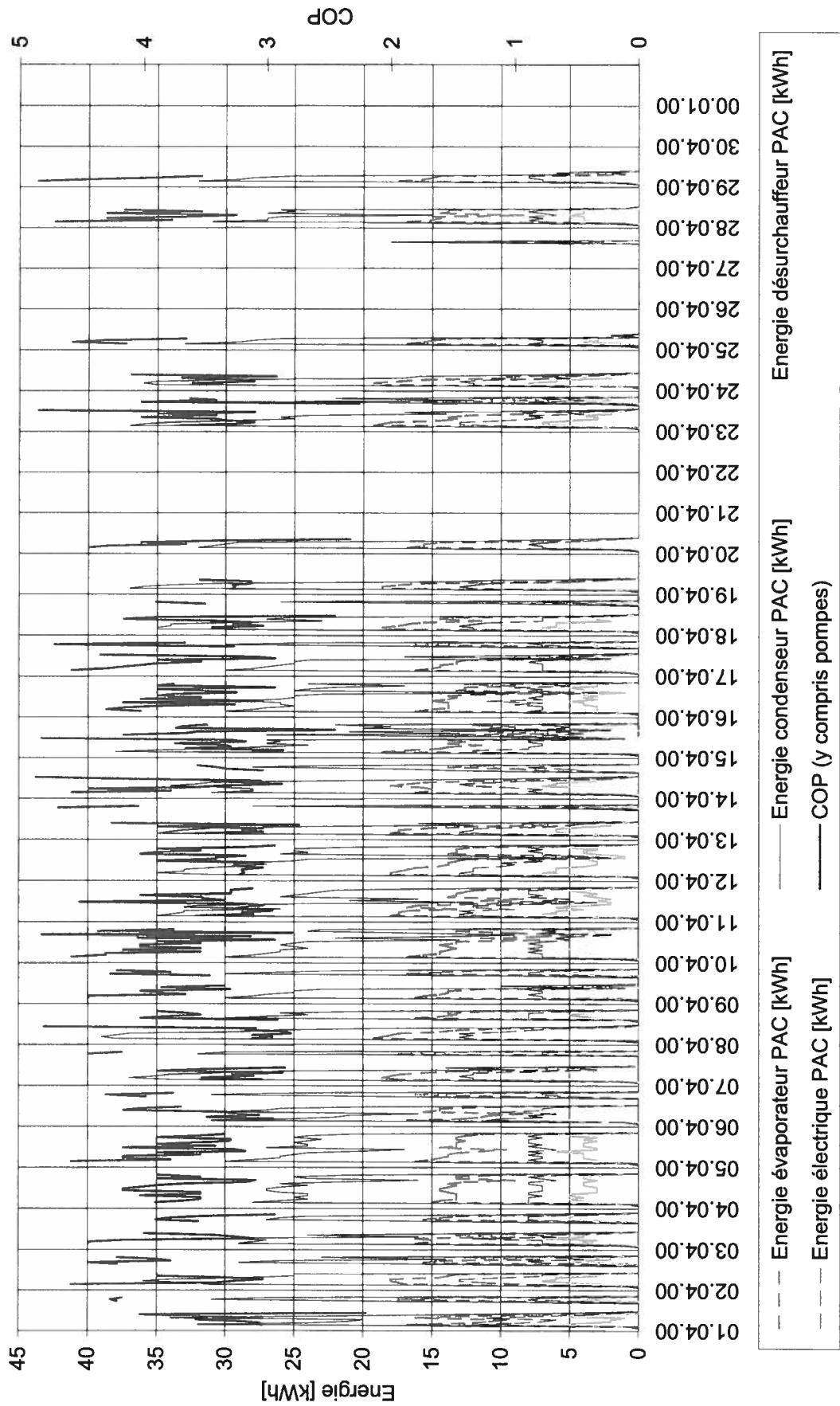
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de février 2000



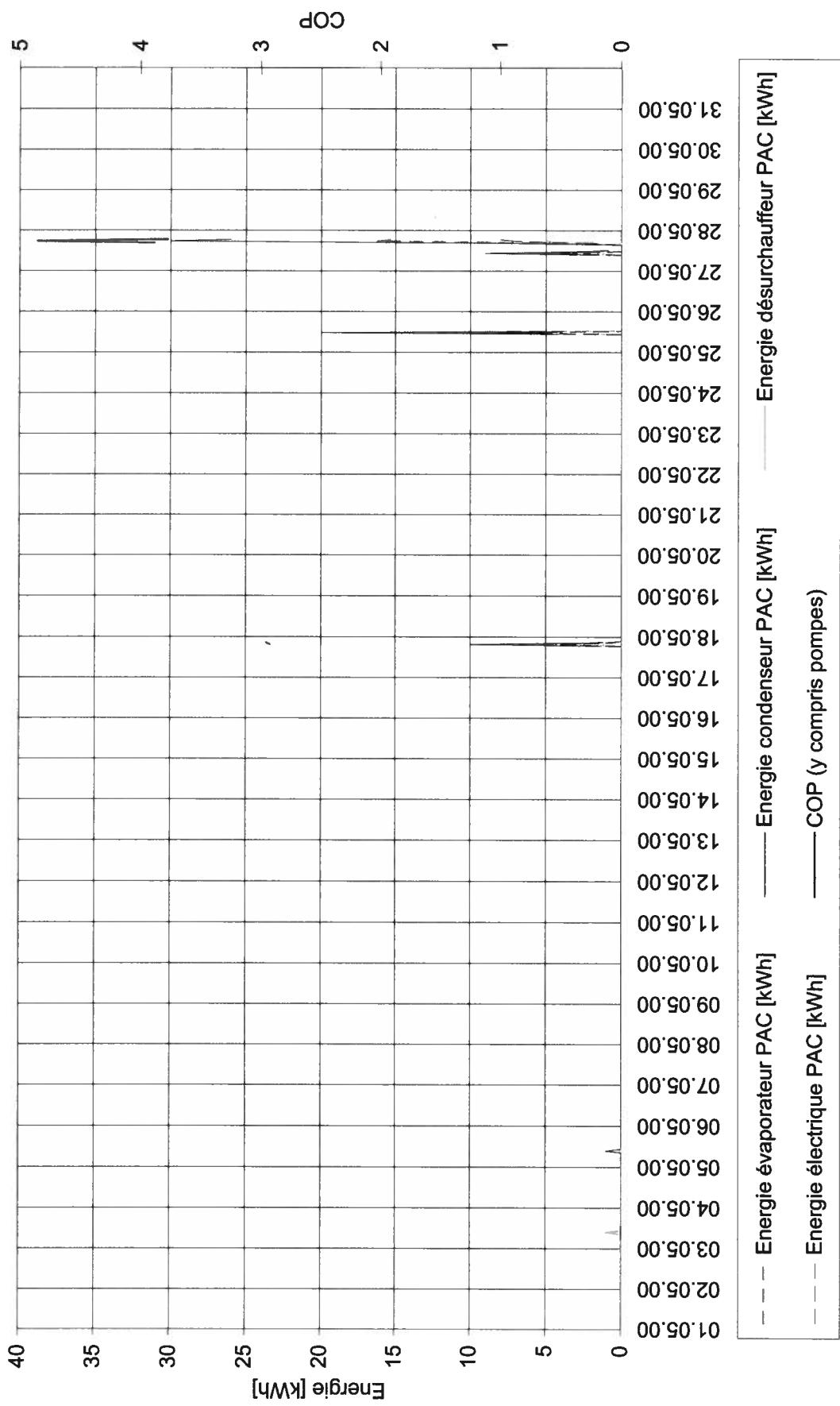
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de mars 2000



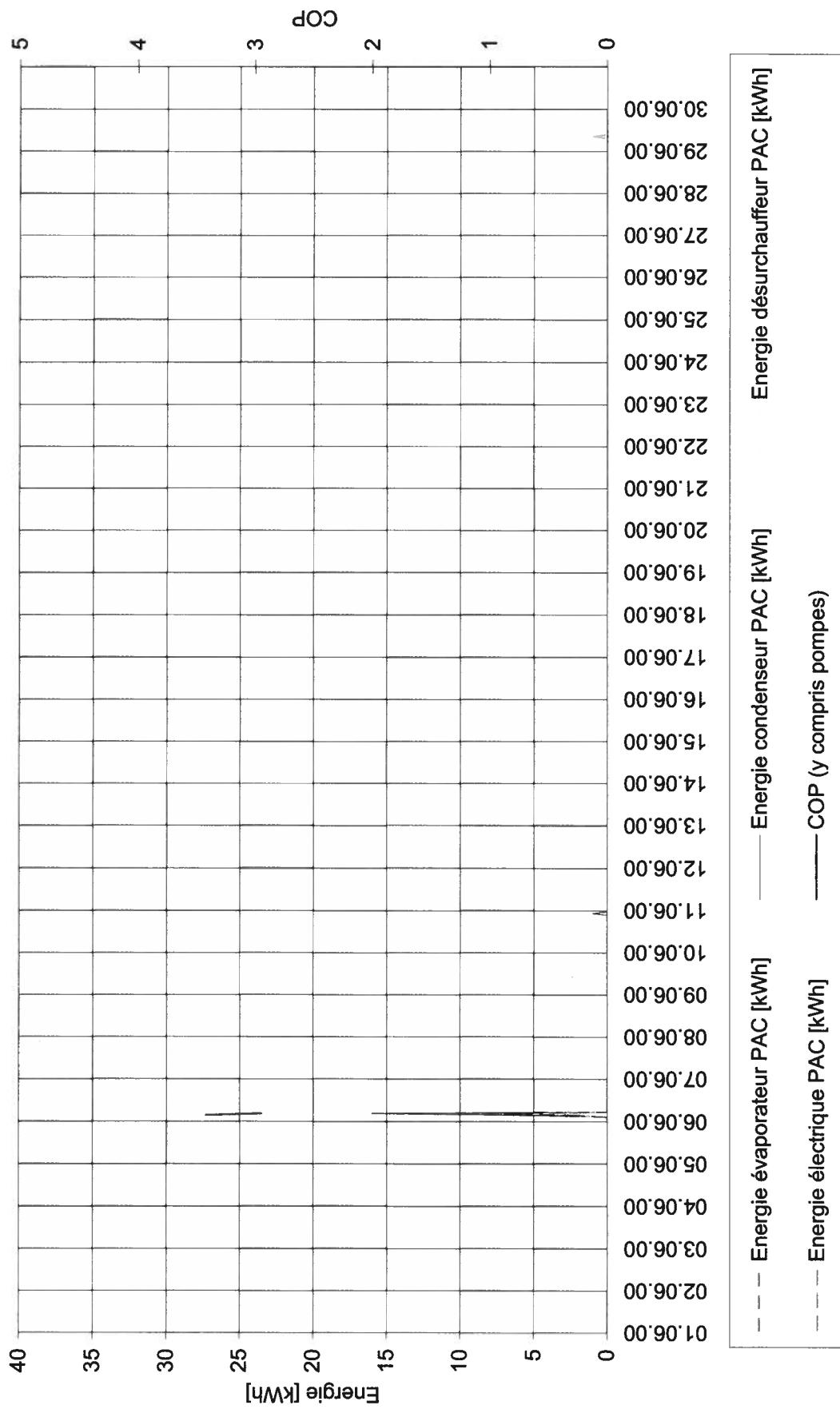
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois d'avril 2000



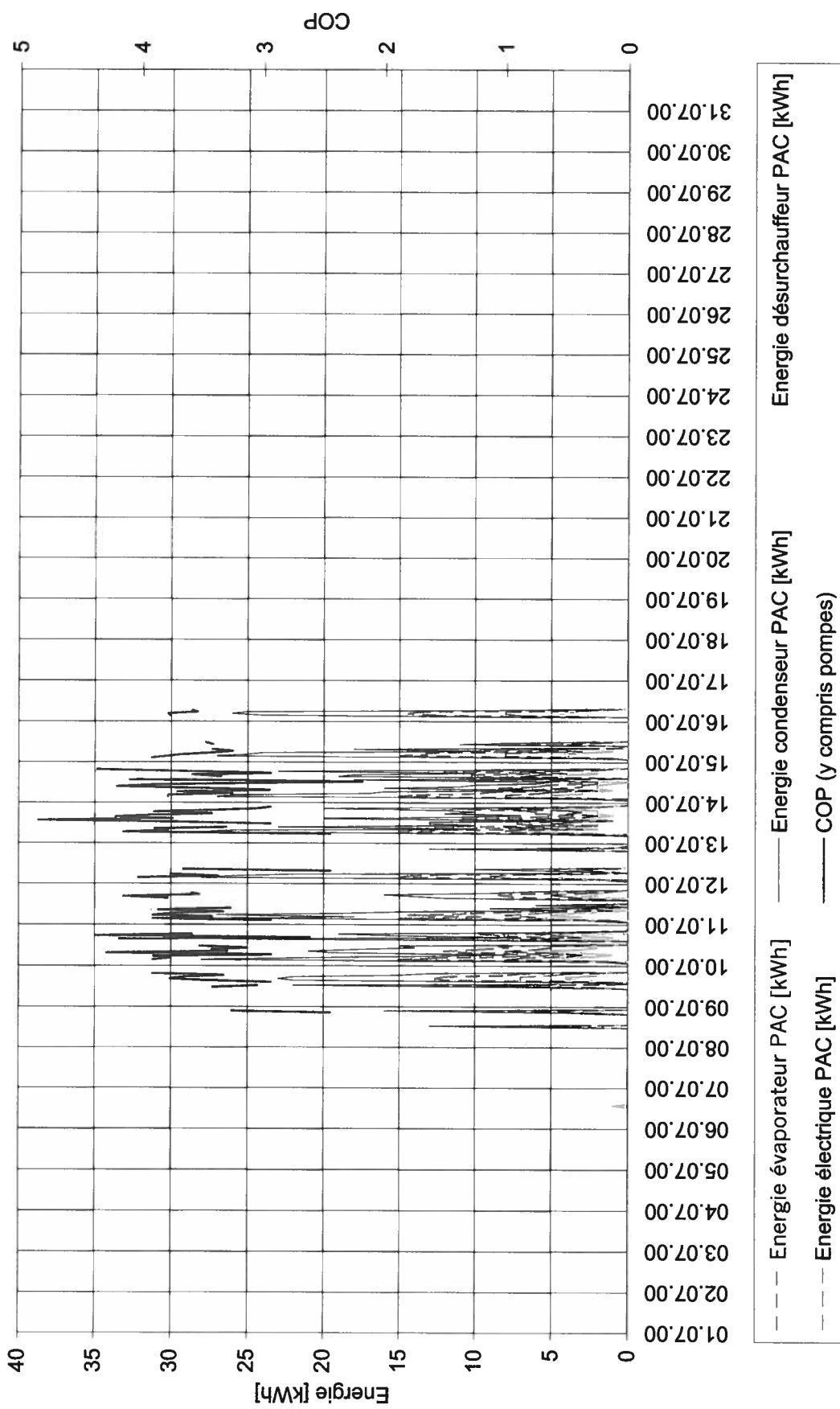
Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de mai 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de juin 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois de juillet 2000



Immeuble Grand-Pont 6 - Lutry
Energie produite et consommée par la PAC
Mois d'août 2000

