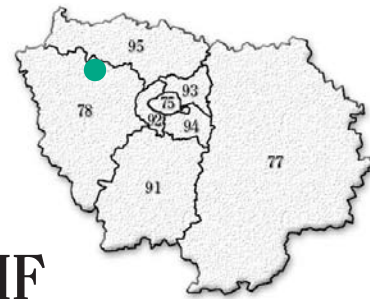


CHAUFFAGE ET RAFRAICHISSEMENT D'UN BATIMENT ADMINISTRATIF



LES MUREAUX

LES POINTS FORTS

- ✓ Coût global plus faible grâce à des coûts d'entretien et de fonctionnement réduits.
- ✓ Emissions de gaz à effet de serre moindres.
- ✓ Souplesse du système avec la possibilité de réglage des températures par zone.
- ✓ Economie d'énergie.

La Ville des Mureaux, dans le souci de regrouper ses 200 agents administratifs dispersés dans une vingtaine de lieux différents et également pour améliorer la qualité du service rendu à ses administrés, décide, en 2002, de créer un centre regroupant tous les services administratifs de la ville.

Le bâtiment, mis en service début 2005, présente des caractéristiques très intéressantes du point de vue de l'efficacité énergétique : rupteurs de ponts thermiques, 10 m² de panneaux solaires pour la fourniture de 60 % des besoins d'eau chaude, double vitrage à isolation renforcée, système de gestion technique centralisée et production de cha-



La pompe à chaleur.



Le pôle administratif des Mureaux.

leur et de froid à partir d'une pompe à chaleur sur nappe. Le bâtiment de 4 500 m² répartis sur trois niveaux atteint des performances thermiques inférieures de 10 % aux performances de référence ($U_{bât} = U_{bât-réf} - 10\%$).

Nous détaillons dans cette fiche le système de chauffage, ventilation et rafraîchissement assuré par une pompe à chaleur (PAC) sur nappe couplée à un plancher chauffant rafraîchissant.

Chauffage, ventilation et rafraîchissement par PAC eau/eau

Quel est le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur sur nappe ? La chaleur est prélevée dans une nappe phréatique, un lac, une réserve d'eau ou encore un cours d'eau. Cette chaleur est ensuite trans-

férée par la pompe à chaleur au circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage.

La pompe à chaleur qui équipe le pôle

Le coefficient de transmission thermique U

Le coefficient de transmission thermique U est mesuré en W/m² °C. U bât est l'ensemble des déperditions par les parois (murs, planchers, toitures, baies) et des déperditions par les ponts thermiques. Le coefficient $U_{bât-réf}$ représente un coefficient de déperditions moyen du bâtiment.

LES INTERVENANTS

Maître d'Ouvrage : la ville des Mureaux
Entrepreneur : Quille
Etude thermique : Alto
Etude sous-sol : CEBTP

Suivi énergétique : EDF R&D
Géologue : Hydromines
Foreur : Cotrasol
Pompe à chaleur eau/eau : CIAT
Plancher chauffant rafraîchissant : Acome

administratif des Mureaux assure le chauffage des locaux l'hiver ; l'été, le rafraîchissement est assuré par l'eau de la nappe via un échangeur.

La source d'énergie est ici la nappe aquifère. La profondeur des deux puits (pompage et réinjection) est de 30 mètres.

La pompe à chaleur eau/eau est une Thermaciat LPG 900 Z de chez CIAT. L'appareil comprend le compresseur, le détendeur, un échangeur de chaleur, une unité de commande et un petit système de distribution d'air qui contient le ventilateur de conduit, le filtre et un système pour enlever l'eau provenant de la condensation lors du refroidissement de l'air.

Le **fluide frigorigène** contenu dans la pompe à chaleur assure les transferts thermiques entre le réseau d'eau chaude et le réseau d'eau glacée. Il s'agit ici de R407 c. Inoffensif pour la couche d'ozone, ce fluide frigorigène est en revanche un gaz à effet de serre environ 1 600 fois plus actif que le CO₂. Les opérations de maintenance en sont d'autant plus délicates.

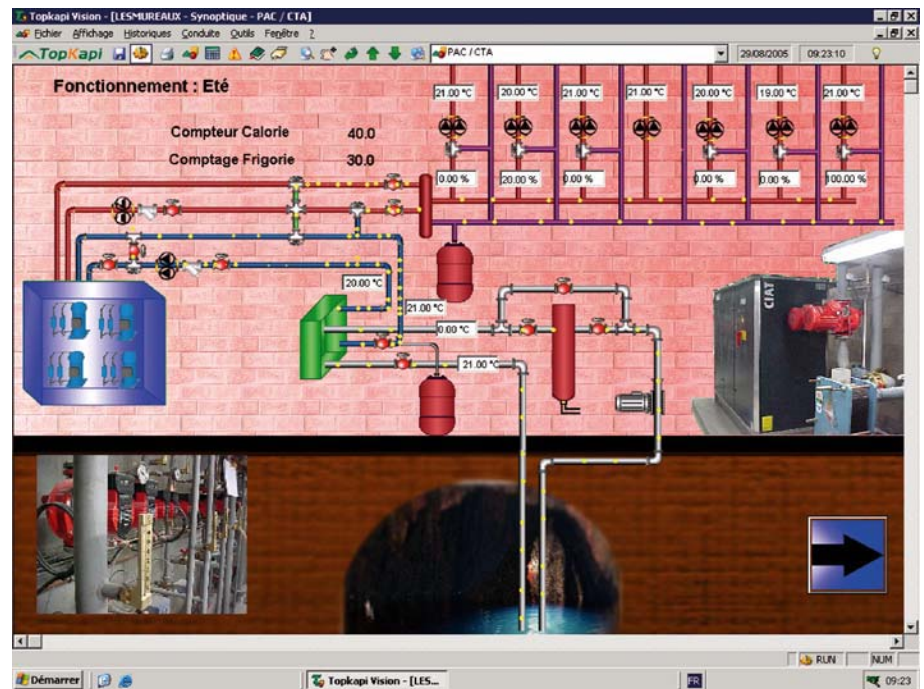
Le **compresseur** élève la température du fluide frigorigène en le comprimant. Il s'agit ici d'un compresseur scroll (à vis) : par rapport à un compresseur à piston, cela permet d'améliorer la performance des machines. Il est plus robuste ; il est adapté à la variation de vitesse : les machines équipées de compresseurs à vis sont à privilégier car cette technologie permet une régulation en fonction du taux de charge (de 15 % à 100 % par exemple).

L'**échangeur** permet au milieu chaud de transférer la chaleur dans le milieu froid. Il assure ainsi une séparation physique entre l'eau de la nappe et l'eau du réseau de chauffage/rafraîchissement, évitant ainsi tout risque de pollution accidentelle de la nappe et protégeant la pompe à chaleur des impuretés contenues dans l'eau de nappe. L'échangeur est ici un échangeur à plaques brasées en titane. Dans le cas de forte concentration en sulfures et en fer, il est



Le forage d'une profondeur de 30 m.

Schéma de la PAC sur nappe via le logiciel Topkapi assurant la GTC du bâtiment



nécessaire de prévoir un échangeur en titane. Les échangeurs à plaques brasées sont constitués d'un empilage de tôles gaufrées séparées par des tôles planes, l'ensemble formant une couche de passage du fluide. Les échangeurs brasés ont une très bonne efficacité énergétique; ils sont également très compacts.

L'étude hydrogéologique et géothermique du sous-sol

Afin de dimensionner au plus juste la pompe à chaleur, il est fondamental de pouvoir disposer d'informations précises sur le sous-sol. L'étude des cartes hydrogéologiques détaillées et des résultats de forages disponibles permet de déterminer la température et le débit moyen produit par l'aquifère capté par le forage qui alimentera la pompe à chaleur. Ces deux caractéristiques permettent de déterminer la puissance thermique fournie par le forage et constituent les données d'entrée du logiciel de dimensionnement de la PAC.

Aux Mureaux, l'étude du sous-sol a été réalisée par Hydromines. L'objet de l'étude était de préciser la ou les ressources potentielles et les caractéristiques prévisionnelles des futurs forages.

L'aquifère retenu par l'étude est la nappe de la craie du Sénonien* pour laquelle les résultats de forages disponibles donnent des débits supérieurs à 23 m³/heure.

Pour valider ces premières données, deux captages d'eau souterraine ont été exécutés par forages à la profondeur de 28 m par la société Cotrasol qui a alors réalisé les pre-

miers essais de pompage.

Ce test a permis de confirmer l'aquifère du Sénonien* et de définir le débit d'exploitation de l'ouvrage (32 m³/h).

Conformément à l'article 131 du code minier et à la loi sur l'eau du 3 janvier 1982, une déclaration de "sondage, ouvrage souterrain ou travail de fouille si profondeur supérieure à 10 m" a été faite à la DRIRE avant les premiers forages.

Le dimensionnement des installations et l'étude thermique

Une étude thermique du futur bâtiment a été réalisée par le bureau d'études Alto.

Dans un premier temps, des informations ont été recueillies pour connaître les éléments de cadrage qui constituent l'étude thermique. Le bureau d'études a ensuite travaillé sur le dimensionnement des installations de chauffage, ventilation et rafraîchissement, suivi d'une simulation des besoins, avant de s'atteler à l'étude comparative des solutions.

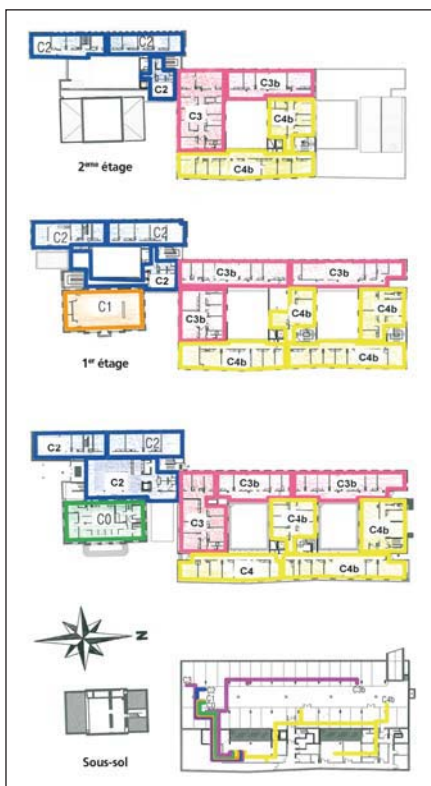
Les éléments pris en compte dans l'étude thermique

- Surface du bâtiment et type d'occupation des différentes pièces.

*Nappe de la craie du Sénonien : la craie est une roche poreuse et fissurée (la perméabilité de fissures permet un écoulement important) ; le Sénonien est une formation du crétaïc datant d'environ 85 millions d'années et se situant entre 20 et 30 mètres de profondeur.

- **Description de l'enveloppe opaque et des surfaces vitrées** : murs extérieurs en béton avec isolant, mur toiture béton et polyuréthane, double vitrage avec menuiserie à rupture de pont thermique.

- **Modélisation et découpage du bâtiment en zones homogènes thermiquement** : pour déterminer les charges de chauffage et de refroidissement, il faut d'abord diviser le bâtiment en zones thermiques. Puis, les charges de zone sont évaluées en fonction des pertes thermiques de l'enveloppe, des gains solaires, des gains internes (éclairage, occupants, équipement), de l'infiltration et de la ventilation. Le logiciel CA-SIS a permis de découper le bâtiment en 24 zones thermiquement homogènes.



Plan des 24 zones thermiques.

- **Définition de scénarios pour le calcul des charges de chauffage et de rafraîchissement** : diverses hypothèses sont posées sur les types de locaux et leurs heures et jours d'occupation, sur l'éclairage sur le matériel informatique et bureautique, sur les consignes de température de chauffage et de rafraîchissement ou encore sur la ventilation.

Le dimensionnement et la simulation des besoins

Pour chacune des 24 zones, le logiciel CA-SIS a été utilisé pour déterminer mois par mois les besoins de chauffage et de rafraîchissement. Pour l'ensemble du bâtiment, les

besoins de rafraîchissement s'étalent de mai à septembre, et de chauffage, d'octobre à avril, avec des besoins simultanés faibles.

L'étude comparative des solutions

Une fois les besoins connus, la comparaison s'est faite entre une solution chaufferie au gaz naturel couplé à un groupe froid à condensation à eau et la pompe à chaleur. La deuxième solution a été retenue pour ses nombreux avantages.

Les avantages des pompes à chaleur sur nappe

Efficacité énergétique

La pompe à chaleur permet de transférer de l'énergie d'un niveau à basse température vers un niveau à température plus élevée. Ce transfert consomme de l'énergie, mais l'énergie restituée par la pompe à chaleur est bien supérieure à l'énergie qui est fournie pour la faire fonctionner. Ce phénomène est défini par le coefficient de performance (COP) qui caractérise la capacité de l'appareil à restituer de la chaleur et permet de comparer les performances des appareils entre eux sous des conditions d'essais normalisés.

Ainsi pour 1 kWh consommé d'énergie électrique, ce sont 3 à 4 kWh d'énergie thermique qui sont restitués au bâtiment, soit 2 à 3 kWh d'énergie renouvelable et gratuite, correspondant à un COP de 3 à 4.

Stabilité et rendement uniforme

Les pompes à chaleur alimentées par un forage captant un aquifère puisent ou rejettent l'énergie dans l'eau de la nappe. La température de l'eau par rapport à l'air ambiant est stable tout au long de l'année. Cette stabilité permet aux pompes à chaleur géothermales d'afficher un rendement élevé et uniforme quelle que soit la température de l'air extérieur.

Énergie renouvelable

La température de l'eau contenue dans les aquifères de faible profondeur est constante. Les pompes à chaleur sur nappe peuvent alors extraire une partie de l'énergie ainsi stockée pour chauffer les bâtiments en hiver et, en été, inverser le processus pour rejeter la chaleur excédentaire des bâtiments dans l'aquifère pour rafraîchir l'air.

Avantages environnementaux

Les pompes à chaleur sur nappe ne transférant (sous forme de chaleur) que trois ou quatre fois la quantité d'énergie qu'ils consomment en électricité, leurs émissions de gaz à effet de serre en sont diminuées d'autant.

Rentabilité

Le coût global des pompes à chaleur sur nappe est inférieur à ceux des systèmes classiques du fait de la gratuité d'une partie de la ressource, de la durée de vie supérieure des appareils et des coûts d'entretien inférieurs, même si leurs coûts d'installation sont plus élevés.

Intégration architecturale

L'un des intérêts de ce système est de pouvoir placer les appareils dans un local technique requérant moins de place que les systèmes centraux et ainsi éviter les éventuelles nuisances visuelles et acoustiques liées à leur mise en œuvre à l'extérieur.

Souplesse

Les pompes à chaleur sur nappe sont des systèmes locaux qui permettent donc une souplesse dans le choix du lieu de leur implantation, au sein du bâtiment. En planifiant bien, elles permettent un cloisonnement flexible des locaux et une adaptation facile en cas d'agrandissement.

Les démarches administratives

En fonction des critères de débit et de profondeur du forage, il faut déposer soit une déclaration, soit une demande d'autorisation. Le seuil de profondeur a été fixé à 100 mètres sur toute l'Ile-de-France. Les procédures d'autorisation sont obligatoires si les deux critères de profondeur et de débit sont atteints ou dépassés.

Forage supérieur à 10 m de profondeur	Déclaration à la DRIRE (article 131 du code minier)
Débit supérieur à 80 m³/heure	Autorisation en Préfecture
Débit compris entre 8 et 80 m³/heure	Déclaration en Préfecture
Débit inférieur à 8 m³/heure et à 1 000 m³/an	Aucune déclaration

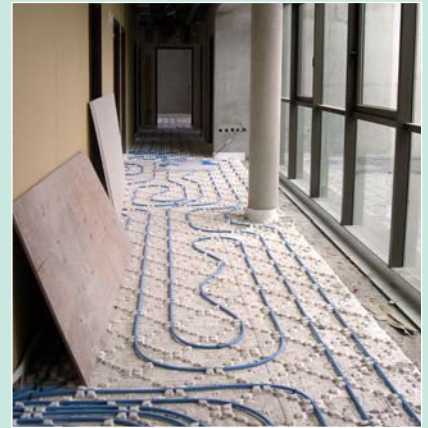
Le plancher chauffant rafraîchissant

L'émetteur choisi pour le pôle administratif des Mureaux est un plancher chauffant à eau chaude basse température utilisé comme mode de chauffage et/ou rafraîchissement de marque ACOME.

Le principe est la circulation d'eau dans un tube en polyéthylène qui est clipsé dans les plots autobloquants d'une dalle d'isolation en polystyrène expansé.

Placé dans une chape pouvant recevoir différents revêtements de sols (le carrelage est le revêtement le mieux adapté), un réseau de canalisations parcourt l'ensemble du bâtiment dans lequel circule de l'eau chauffée ou rafraîchie par la pompe à chaleur, selon les besoins :

- en hiver, la chaleur de l'eau diffuse dans les tubes à travers la chape qui rayonne vers les corps, objets et parois environnantes pour réchauffer à leur tour l'air ambiant ;
- en été, le plancher absorbe la chaleur du logement et procure un rafraîchissement de l'ordre de 3 à 4 °C par rapport à l'extérieur. Cette chaleur est rejetée, via l'échangeur, dans la nappe, sans mise en service de la pompe à chaleur. Le rafraîchissement est ainsi assuré à partir de la seule consommation d'énergie électrique de la pompe de puits (et donc pour une dépense très faible).



Tubes en polyéthylène du plancher chauffant.

CONTACTS

ARENE Ile-de-France

Marie-Laure Falque-Masset
94 bis, avenue de Suffren
75015 Paris
ml.falquemasset@areneidf.org

Ville des Mureaux

Dominique Bulle,
Responsable Cellule énergie
Hôtel de ville
78135 Les Mureaux Cedex
dbulle@mairie-lesmureaux.fr

ADEME

Délégation régionale Ile-de-France

Norbert Bommensatt
6-8, rue Jean Jaurès
92807 Puteaux
norbert.bommensatt@ademe.fr

CSTB

4, avenue du Recteur Poincaré
75016 Paris
www.cstb.fr

Association HQE

4, avenue du Recteur Poincaré
75016 Paris
a.hqe@assohqe.org

Bureau d'études ALTO

7, allée Newton
77420 Champs-sur-Marne
alto@alto-ingenierie.fr

Association française des pompes à chaleur (AFPAC)

c/o CERTEX
22, rue de la Pépinière
75008 Paris
afpac@easyconnect.fr

COSTIC

102, route de Limours
78471 Saint Rémy-les-Chevreuse Cedex
contact@costic.com

BRGM

3, avenue C. Guillemin - BP 6009
45060 Orléans Cedex 2
geothermie-citeg@brgm.fr

EDF Recherche et Développement

José Naveteur et Serge Barrois
Les Renardières
BP 46 - Route de Sens Ecuelles
77818 Moret-sur-Loing
jose.naveteur@edf.fr
serge.barrois@edf.fr

DRIRE Ile-de-France

10, rue Crillon
75194 Paris cedex 04
www.ile-de-france.drire.gouv.fr/

POUR EN SAVOIR PLUS

- Fiche ARENE : Le pôle administratif HQE des Mureaux, septembre 2005.
- La pompe à chaleur, Déterminer - Installer - Entretien, Jacques Bernier, Editions PYC Livres, 2004.
- Les pompes à chaleur géothermiques, fiche ADEME n° 3 696, janvier 2003.
- Guide pompes à chaleur sur nappe ADEME/ARENE/BRGM/EDF, 2005.
- Actes du colloque ADEME/COSTIC /UCF, Pompes à chaleur dans l'habitat : techniques, marché et perspectives, juin 2005.
- Revue CVC (chauffage, ventilation, conditionnement d'air), bimestrielle.

Sites internet à consulter

- www.ademe.fr
- www.arenidf.org
- www.afpac.org
- www.geothermie-perspectives.fr
- www.brgm.fr
- www.costic.com
- www.heatpumpcentre.org
- www.canren.gc.ca

Rédaction Marie-Laure Falque-Masset et Benoît Garrigues (ARENE).
Remerciements à José Naveteur (EDF), Alain Desplan (BRGM) et Olivier Goyènèche (BRGM).
Coordination éditoriale : Muriel Labrousse assistée de Pascale Gorges (ARENE).