



HAL
open science

Le Cnam : terrain de recherches énergétiques

Mathieu Fernandez, Linnéa Rollenhagen-Tilly

► **To cite this version:**

Mathieu Fernandez, Linnéa Rollenhagen-Tilly. Le Cnam : terrain de recherches énergétiques. Cahiers d'histoire du Cnam, 2014, L'enseignement de la chimie industrielle et du génie chimique au Cnam, vol.02 (2), pp. 117-150. hal-02996672

HAL Id: hal-02996672

<https://hal.science/hal-02996672>

Submitted on 9 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Le Cnam : terrain de recherches énergétiques

Mathieu Fernandez
HT2S, EA 3716, Cnam.

Linnéa Rollenhagen Tilly
AUSser, UMR 3329.

Résumé

Cet article présente quelques résultats d'une étude concernant les consommations énergétiques des bâtiments du Cnam aux XIX^e et XX^e siècles. D'une part le résumé d'une étude historique présente l'évolution des bâtiments et les discussions concernant l'énergie au sein de cette institution. D'autre part, l'application d'une méthodologie élaborée dans le cadre plus général du travail « Des profondeurs des caves à la canopée, histoire et prospectives des politiques énergétiques d'une capitale économe : 1770-2030 » (projet Ignis Mutat Res), a pour but d'évaluer l'évolution des consommations énergétiques dans un bâtiment public sur plus de deux siècles.

Aborder la question de l'énergie à travers l'histoire contemporaine

Une étude diachronique de l'ensemble bâti occupé par le Conservatoire National des Arts et Métiers (Cnam) nous a permis d'aborder les questions du chauffage et de l'éclairage dans un bâtiment public sur la longue durée. Cette longue durée va ici de 1829 à 1949 où le chauffage et l'éclairage représentent l'énergie consommée par le bâtiment. Les limites chronologiques correspondant à une période pour laquelle nous avons suffisamment de sources. Notre choix s'est avéré pertinent car, même si les bâtiments du Cnam ne sont pas à la pointe de l'innovation énergétique, l'institution elle-même, dans ses fonctions de recherche et de formation, est un haut lieu de l'innovation. En effet, les discussions rapportées par nos sources sur la modernisation des installations du chauffage et de l'électricité reflètent des débats qui corroborent les problématiques de l'appel à la recherche *Ignis Mutat Res*

(IMR)¹ : penser l'architecture, la ville et le paysage au prisme de l'énergie. En tant que laboratoire et incubateur de la modernité technique, le Conservatoire a compté parmi ses professeurs et administrateurs nombre de spécialistes de l'énergétique et de l'ingénierie. Les documents d'archives illustrent bien cette fonction car les débats ne sont pas seulement budgétaires mais concernent aussi des aspects et des options techniques et architecturales liées². Enfin, la documentation reflète des complications liées à l'adaptation de bâtiments anciens à des nouveaux usages.

Un intérêt supplémentaire et important de ce cas d'étude est la continuité des sources d'archives que nous y avons dépouillées. L'analyse exhaustive des budgets disponibles sur la période 1820-1950 nous permet de déduire les courbes du poids du coût de l'énergie dans le budget de l'établissement et d'en réaliser des conversions en Watt par mètres carrés chauffés. Ces courbes nous importent

dans le cadre du projet *Ignis Mutat Res*, car elles permettent un changement d'échelle entre des consommations énergétiques à l'échelle de la ville³, et celles à l'échelle du bâtiment qui sont au cœur de notre sujet. Ainsi, nous proposons une restitution puis des conclusions qui seront argumentées en deux parties : une histoire qualitative et une histoire quantitative.

L'histoire qualitative concerne les hommes, leurs correspondances, leurs choix. Elle permet de suivre l'innovation, de la dater, de l'argumenter. Elle apporte les problématiques historiques et les contextualisations nécessaires pour échapper à une histoire qui serait seulement chronologique. Par exemple, les correspondances des architectes en chef permettent d'appréhender la réalité du lien entre la question de l'innovation architecturale et de l'innovation énergétique.

L'histoire quantitative crée une continuité sur la période par plusieurs types de rendus. De la courbe du poids énergétique dans le budget aux « DPE historiques », nous les avons retenus pour répondre aux besoins spécifiques des questions posées par l'appel à la recherche et à notre parti pris d'une histoire longue contexte d'un état actuel et futur.

1 IMR est un appel à la recherche lancé par le Ministère de la Culture et de la Communication de 2011 à 2014. La présente étude est issue des résultats de l'équipe HPCE (2011-2013), répondant à IMR et dirigée par Emmanuelle Gallo. L'équipe de recherche a discuté la stratégie générale technique, historique et prospectiviste. Des membres se concentrent sur des cas d'études répondant à des caractéristiques spécifiques, ayant en commun d'être des bâtiments publics intégrés au territoire parisien.

2 Lise Cloître nous a très bien accueillis aux archives du Cnam et grâce à ses conseils nous avons pu parcourir de nombreux documents. Un site Web disponible sur l'intranet du Cnam, réalisé par M. Lippmann (ayant travaillé pour le Cnam et passionné par l'histoire de l'institution) retrace l'histoire des bâtiments du VII^e siècle jusqu'en 1969 (événements, dates, noms et illustrations diverses) [<http://ww2.cnam.fr/smdc/>].

3 Voir les travaux novateurs et récents de Eunhye Kim (2013), sous la direction de Sabine Barles, que nous avons pu découvrir durant la journée d'étude « Contributions à l'histoire des consommations énergétique à l'échelle de la ville et des bâtiments publics », organisée par notre équipe HPCE à l'École nationale supérieure d'architecture de Paris Belleville le 9 septembre 2013.

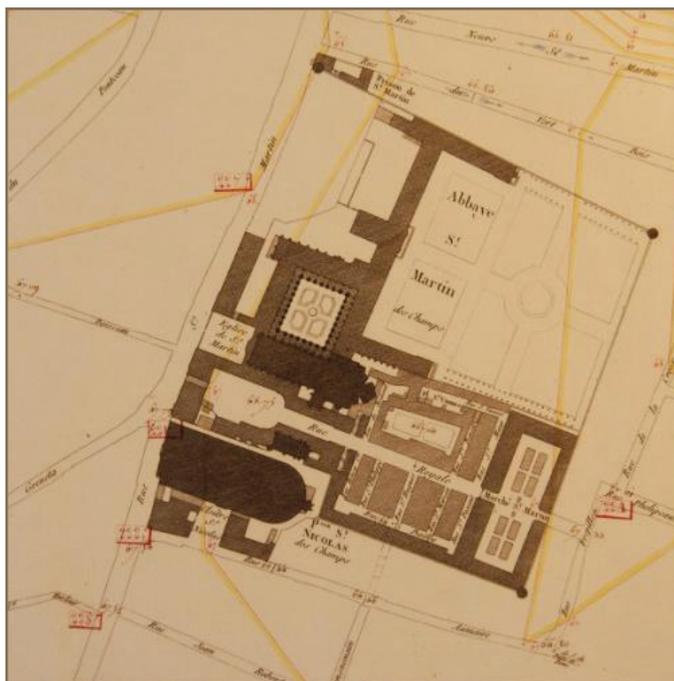
Histoire succincte de l'îlot urbain et des bâtiments du Cnam

Le Cnam recouvre actuellement deux îlots urbains. Installées dans les bâtiments du prieuré Saint-Martin-des-Champs dès 1798, les constructions anciennes et hétérogènes sont progressivement adaptées aux nouvelles fonctions tout au long des XIX^e et XX^e siècles – cherchant constamment à densifier et à optimiser la parcelle historique. Il s'agit d'une tranche urbaine importante, au centre du vieux Paris dense, dont les adaptations conçues par des initiés sont documentées dans les archives. Cela nous a poussés à observer les liens entre savoir théorique, administration et évolution urbaine.

Au début du XIX^e siècle, en l'absence de directives précises, l'architecte François Jacques Delannoy (1755-1835) improvise un programme de réhabilitation pour aménager des espaces d'expositions, d'ateliers et d'enseignement. Ces travaux sont dictés par l'urgence et le manque de moyens financiers. La construction d'un amphithéâtre est décidée par un décret du roi en 1819 dans l'ancien cloître, adossé contre le réfectoire - aujourd'hui investi par la bibliothèque. Le succès de l'enseignement dans les années 1830 (au détriment du musée) ainsi que le souci de la Monarchie de Juillet de développer une politique favorable à l'artisanat, sont à l'origine d'un grand développement dans

les années 1840. L'architecte chargé de l'institution est alors Léon Vaudoyer (1803-1872), nommé à cette fonction en 1838. Il multiplie les projets de modifications sur la demande de l'administrateur général Claude Pouillet (1790-1868) et du Conseil des Bâtiments Civils. Ces travaux d'envergure commencent en 1846 selon les plans d'un projet accepté en 1844, comprenant un second amphithéâtre (aménagé vis-à-vis le premier et longeant l'église en 1845-1847), la restauration du réfectoire, la réinstallation de la bibliothèque ainsi que l'aménagement progressif de laboratoires et de cabinets pour les professeurs dans l'ancien bâtiment de la Mairie du Xe arrondissement. La construction d'un bâtiment pour le « portefeuille industriel » est projetée par les architectes Dubois et Vaudoyer, mais les travaux durent trente ans (1848-1878) du fait des expropriations opérées. Ces travaux transforment la morphologie de l'îlot Saint-Martin. La mise en service d'un auditorium de 700 places augmente les coûts de chauffage et d'éclairage (de 3 % à plus de 10 % du budget global). Le coût de l'énergie fait désormais partie des préoccupations de l'administrateur général, remplacé lors des troubles de la Révolution de 1848-1849 qui voit l'occupation du Cnam par les insurgés puis sa prise d'assaut par la Garde Républicaine. Pendant trente ans, de 1849 à 1880, Arthur Morin (1795-1880), ingénieur militaire et théoricien de l'énergie appliquée, dirige l'institution. La température minimale doit être de 15 °C et, selon des tests effectués par Morin la température moyenne se

Les ilots du Cnam : en 1788 et en 2014



Girard, P.-S., Verniquet, E., Plan de nivellement général de la ville de Paris rapporté sur l'Atlas du plan général de la ville de Paris de Verniquet, env. 1805.



Extrait de la base de données géomatique de l'Atelier Parisien d'Urbanisme BDAPUR 2010, 2012.

situé autour de 20 °C. Avec le Second Empire l'église est dégagée, des réservoirs d'eau sont installés dans la tour (destinés à alimenter les machines hydrauliques dans la nef) et les bâtiments longeant la rue Saint-Martin sont projetés; ces travaux sont accompagnés par de nombreux réaménagements intérieurs. Des extensions souterraines sont lancées en octobre 1932 sur les plans de Louis Hippolyte Boileau (1878-1948) et Jacques Debat-Ponsan (1882-1942). Le gros œuvre est terminé en 1933 et l'ensemble achevé en 1935.

La construction de l'îlot de l'école Centrale est décidée en 1874 et confiée à l'architecte René Demimuid (1835-1881). Suite au décès de ce dernier le projet est repris et réalisé par Jules Denfert, l'école ouvrant fin 1884. L'édifice se compose de quatre côtés d'un rectangle de 99,6 m x 60,9 m avec un amphithéâtre dans l'angle sud-ouest. Le bâtiment est chauffé à la vapeur par la société Geneste & Herscher, à l'exception de l'administration qui dispose d'un calorifère à air chaud Perret & Olivier (en brique). L'école consomme du gaz pour sa cuisine et avait sa propre usine d'électricité. Quand l'École Centrale quitte Paris en 1954, le bâtiment revient au Cnam. Il s'agit ainsi d'un ensemble de constructions hétérogènes adaptées avec les moyens du bord à des besoins qui évoluent constamment. La particularité étant toutefois l'intérêt pour les techniques et les compétences de son administration, spécificités que nous développerons plus dans les para-

graphes suivants.

Étude qualitative : le Cnam et l'énergie, méthodologie et sources

Les procès-verbaux du conseil d'administration du Cnam nous informent sur les débats concernant les équipements électriques et de chauffage durant la dernière moitié du XIX^e siècle et le début du XX^e siècle. Nous relevons également des informations concernant le chauffage et l'électricité jusqu'au milieu des années 1930. Les données ne sont pas homogènes : certaines années il n'y a aucune autre information que le budget général; à l'inverse, pour d'autres, les comptes rendus sont très détaillés surtout lorsque des nouvelles installations sont envisagées. Pour la période 1931-1963, nous avons également parcouru les correspondances des architectes en chef de l'institution qui relatent des échanges administratifs (surtout avec le directeur du Cnam) ainsi qu'avec divers entrepreneurs (notamment des devis).

La hiérarchie administrative est apparente. Les membres du conseil d'administration, sous la supervision du directeur du Cnam, débattent sur les modalités de modernisation de l'institution au sein du « conseil de perfectionnement ». Des membres de ce conseil forment des commissions avec des spécialistes extérieurs pour faire des propositions, des études techniques, etc. Les

problèmes budgétaires apparaissent clairement, le Cnam étant budgétairement lié à plusieurs ministères et institutions, les priorités de ces dernières divergeant souvent. Nous pouvons ainsi suivre les problèmes de financement de ces installations et les discussions concernant le coût des énergies. À titre d'exemple, lorsque les amphithéâtres souterrains sont achevés, le ministre des finances n'accorde pas les crédits demandés pour ces nouveaux espaces. Lors d'une délibération du conseil, M. Nicolle présente une lettre du ministre des finances refusant les crédits supplémentaires demandés pour assurer les dépenses de chauffage et d'éclairage, tant pour l'exercice 1933 que pour l'exercice 1934. M. Coutray suppose alors que l'administration des finances doit être insuffisamment renseignée, car :

« il s'agit, en l'espèce, de bâtiments nouveaux construits conformément au vote du parlement : le fonctionnement des nouveaux services, créés en application de la loi sur l'outillage national, ne peut être assuré sans l'inscription de crédits nouveaux indispensables pour subvenir aux dépenses d'entretien, de chauffage et d'éclairage ».

Les administrateurs du Cnam soulignent que cette dépense ne peut être évaluée avant même qu'aient été construits les locaux, ainsi ils jugent que :

« les motifs allégués par l'administration des finances pour refuser les crédits ne peuvent être retenus car ils entraîneraient nécessairement la fermeture des nouvelles salles, ce que l'administration des finances n'a sûrement pas compris. La mise en service des amphithéâtres sou-

terrains, particulièrement vastes et des locaux nouvellement aménagés, comporte nécessairement une augmentation sensible des frais de chauffage et d'éclairage. Refuser l'augmentation des crédits demandés équivaut, en fait, à rendre inutilisables les perfectionnements apportés au Conservatoire et à exiger la fermeture d'amphithéâtres et de locaux dont la construction et l'aménagement autorisés par le parlement, poursuivis par l'administration ont fait l'admiration générale et n'ont pas peu contribué au Conservatoire à assurer, dans des conditions particulièrement satisfaisantes, sa mission éducative⁴. »

Peu de temps après, M. le Président expose au conseil qu'il est intervenu instamment auprès du gouvernement en vue d'obtenir, conformément aux intentions exprimées, au nom du Sénat, par M. Regnier, rapporteur général de la commission des finances du Sénat, le relèvement de 311 000 francs demandés, au titre du chapitre VI du budget de l'enseignement technique, indispensable pour assurer les frais de chauffage et d'éclairage des nouveaux locaux du Conservatoire, espérant que le ministre des finances ne tarde pas à donner satisfaction à cet égard⁵. Les sources consultées ne nous renseignent malheureusement pas sur la fin de ce conflit.

Le dépouillement nous a également permis de constituer plusieurs listes de personnes : architectes, administrateurs, professeurs. Certains noms sont bien

4 [Archives Cnam – Procès-verbaux du conseil d'administration 1934, pp. 65-67.]

5 [*Ibid.*, p. 31.]

connus, d'autres restent plus anonymes : lorsque nous disposons d'informations sur les architectes en chef il s'avère qu'ils furent souvent des élèves, ou firent partie de l'entourage, d'ingénieurs-architectes innovants : Claude Jean Baptiste Jallier de Savault (1740-1806) élève de Jacques-Germain Soufflot et André Granet (1881-1974), gendre de Gustave Eiffel et collègue d'Auguste Perret.

Différentes installations de chauffage au Cnam

Au milieu du XIX^e siècle le projet de chauffage fut confié à Léon Duvoir-Leblanc qui installe un calorifère à eau chaude, sa spécialité, dans les deux amphithéâtres⁶. Des tuyaux d'eau sont amenés sous le grand amphithéâtre et réchauffent l'air « montant » et, en 1862 une haute cheminée de ventilation pour ces espaces est construite dans la cour (démolie en 1933). En 1880 des épreuves sont effectuées à l'aide de la pompe à pression d'une chaudière verticale à bouilleurs et foyers intérieurs à la pompe à vapeur et à l'aide de la pompe à pression d'une chaudière cylindrique d'occasion du Cnam ; à la fin d'octobre 1898 le nettoyage annuel de la chaudière Belleville du Conservatoire est réalisé « comme d'habitude ».

⁶ 1849 : travaux calorifères pour 36 000 francs ; 1883 : calorifère du petit amphithéâtre pour 3 000 francs ; 1892 : l'architecte Gabriel Auguste Ancelet (1829-1895) prévient le directeur qu'il doit faire établir des cuvettes à eau au-dessous des foyers des calorifères qui n'en possèdent pas encore.

Puis MM. Grouvelle et Arquembourg, installent un chauffage à vapeur mis en service en octobre 1900 (peut-être s'agit-il du même système que celui présenté à l'exposition universelle de 1900). Pendant l'hiver 1900-1901, les degrés de température exigés par le cahier des charges ne sont pas atteints et le chauffage exige plus de combustible qu'indiqué. Les constructeurs avouent s'être trompés dans le calcul de la consommation maximum de combustible. Ainsi, afin d'atteindre les degrés de température exigés, ils modifient les installations intérieures et augmentent le nombre de radiateurs afin d'atteindre les degrés de température exigés. Lors de débats autour de ce problème, le conseil d'administration du Cnam souligne que l'économie de consommation avait été le motif déterminant du choix de ces constructeurs et de leur système de chauffage mais que les besoins du service n'exigeaient pas que la température intérieure des galeries soit supérieure à 11 ou 12 degrés. Ils concluent qu'une transaction avec les constructeurs s'impose car :

- d'une part l'enlèvement et le remplacement intégral de tous les travaux laissés pour compte à d'autres constructeurs ne peuvent être faits qu'entre le 15 avril et le 15 octobre 1903, cette période de six mois étant matériellement insuffisante et le fonctionnement des services risquant d'être arrêté pendant un temps plus ou moins long au commencement de l'hiver 1903 ;
- d'autre part, la commission reconnaît la bonne exécution des travaux et réclame seulement une indemnité en

compensation du supplément de combustible résultant de l'erreur de calcul commise par les constructeurs.

Lorsque l'installation du chauffage à la vapeur dans le nouveau bâtiment du laboratoire d'essais et dans le bâtiment Vaucanson devient nécessaire, Gustave-Adolphe Gerhardt (1867-1921), architecte du Conservatoire, est d'avis de confier ce travail, par un marché de gré à gré, à MM. Grouvelle et Arquembourg. Il argue que l'administration des Beaux-Arts s'est engagée lors du premier concours à confier à ces entrepreneurs toutes les extensions du chauffage à la vapeur dans le Conservatoire. Le motif déterminant de s'adresser à la maison Grouvelle et Arquembourg est cependant que, si l'installation d'appareils connexes est faite par deux entrepreneurs différents, la responsabilité du fonctionnement ne peut être déterminée contre aucun d'eux car celui qui serait chargé de la manutention ne manquerait pas de rejeter ses propres fautes sur les imperfections des installations de son confrère. En outre, ces entrepreneurs devraient consentir à faire une importante réduction sur le prix de leur devis si, d'autre part, on les exonérait de l'indemnité dont il avait été question. À cette même occasion l'option de se passer du concours d'un entrepreneur de chauffage est également discutée. La conclusion est qu'une économie peut en effet être réalisée mais que cela provoquerait des complications, car le Conservatoire serait obligé de licencier après six mois de travail les mécaniciens ou chauffeurs recrutés au commencement de l'hiver, après six mois de travail, tandis que les entrepreneurs

de chauffage auraient conservé, même en été, leurs meilleurs ouvriers. Ainsi, le Conservatoire ne trouverait vraisemblablement que des mécaniciens ou chauffeurs renvoyés par des patrons. En outre le Conservatoire serait obligé de payer en permanence un mécanicien supplémentaire pour parer aux absences fortuites résultant de maladies, tandis qu'un entrepreneur, sur un simple coup de téléphone, envoie immédiatement les remplaçants nécessaires dans tous les cas possibles, maladie, accident, ivresse, insubordination, etc. Enfin, le marché met à la charge de l'entrepreneur non seulement les accidents de travail proprement dits, mais encore les avaries de matériel résultant du fait des ouvriers (chaudière brûlée, dynamos faussées, etc.). La solvabilité personnelle de l'entrepreneur supprime à cet égard tout aléa pour le Conservatoire tandis qu'il n'aurait aucun recours utile contre les mécaniciens et chauffeurs auteurs d'accidents de matériels survenus par leur faute. Ainsi, l'entretien et la manutention des appareils de chauffage à la vapeur du Conservatoire sont confiés par l'administration des Beaux-Arts à la maison Grouvelle et Arquembourg.

Par contre, afin de ne pas subir les évaluations très onéreuses d'un entrepreneur obligé de tenir compte dans un forfait des abaissements de température les plus excessifs et les plus prolongés, l'administration du Conservatoire pouvant surveiller directement la consommation du charbon ne charge pas l'entrepreneur de fournir à forfait le combustible. En 1907 il est suggéré que le Conservatoire aurait avan-

tage à traiter directement avec une mine du Nord ou du Pas-de-Calais, obtenant ainsi des fournitures très homogènes et peut-être même une diminution de prix. En outre, les briquettes d'Anzin peuvent être substituées aux grains lavés demi-gras. Mais ceci pose alors deux problèmes.

D'une part les tentatives faites pour traiter directement avec les mines n'aboutissent pas, la Mine d'Aniche ayant seule consenti à se présenter à l'adjudication du 29 août 1901 et le prix qu'elle soumissionne est très supérieur à celui de l'adjudicataire. Le représentant d'Aniche explique que les Mines préfèrent traiter de gré à gré, ne voulant pas faire concurrence, dans une adjudication publique, aux marchands de gros de Paris

D'autre part, les Mines se servant du service de camionnage de la Compagnie du Nord, ne peuvent effectuer la livraison que dans la cour de l'établissement et ne se chargent pas du coltinage du charbon de la cour à la cave de dépôt. Or, les aménagements du Conservatoire ne permettent pas l'accès direct à la cave par des regards et des soupiraux. Le charbon étant versé des voitures, il fallait ainsi accéder à cette cave assez éloignée par un escalier; le coltinage à dos d'homme augmenterait donc très sensiblement le prix de la fourniture. Le Conservatoire ne disposant pas du personnel nécessaire pour ce coltinage qui ne saurait incomber aux gardiens, rencontrerait les plus grandes difficultés à recruter rapidement des coltineurs occasionnels nécessaires pour les livraisons très fractionnées. Ainsi, l'administration conclut que la

clause du cahier des charges obligeant le fournisseur à assurer le coltinage est une nécessité. En outre elle décide d'étudier, avec l'architecte du Conservatoire, les aménagements qu'il serait possible de réaliser pour amener directement les charbons livrés de la voiture du camionneur à la cave de dépôt sans coltinage à dos d'homme. Enfin, des nouvelles démarches doivent être faites auprès des mines pour les amener à traiter directement avec le Conservatoire, tout au moins pour les combustibles spéciaux nécessaires au service du chauffage central à la vapeur. Ils constituent la plus grosse partie des approvisionnements: le tout-venant pour calorifères et le Charle-roi pour foyer ne forment qu'un appoint, pouvant être achetés dans le commerce sur simple commande

Dans sa séance du 23 juillet 1908, le conseil d'administration autorise l'aménagement de soutes à charbon, destinées à permettre d'emmagasiner une plus grande quantité de combustibles que précédemment et d'assurer d'une façon régulière le chauffage des divers services sans avoir à craindre les difficultés de livraison si un hiver rigoureux venait à se produire. Le coût de l'installation, 3 299 francs, est amorti sur le prix du combustible dès la première année (sur les 300 tonnes de réserve emmagasinées pendant la saison d'été, on réalise une économie totale de 3 163 francs).

Avec la guerre (1917), l'approvisionnement en charbon du Conservatoire devient difficile: sur les 600 tonnes nécessaires, seules 200 à 250 peuvent

provenir des mines du Nord, le surplus devant être demandé à l'importation. Afin d'éviter les lenteurs d'une correspondance, des représentants du Cnam se rendent à Rouen où ils visitent les principaux importateurs de charbon. Ainsi ils reçoivent la proposition d'une péniche de 300 à 320 tonnes ou bien de 200 à 250 tonnes de « Cardiff grains lavés » certes à un prix assez élevé, mais ce charbon ne comportant pas plus de 10 % de poussière convient bien aux chaudières du Cnam, alors que le charbon des mines du Nord en contient de 40 à 50 %.

En 1921 le conseil déduit que, pour la fourniture de combustible pour l'hiver, il n'est guère possible de revenir aux habitudes d'avant-guerre et de procéder à des adjudications. En raison de la crise minière que vient de traverser l'Angleterre, le conseil juge qu'il est prudent d'assurer rapidement une partie de la fourniture nécessaire au Cnam. Le combustible nécessaire au chauffage du Conservatoire pendant un hiver ne pouvant prendre place en totalité dans les sous-sols de l'établissement, les négociants en charbon ont auparavant accepté de passer chaque été un marché pour une double livraison (l'une pendant l'été, l'autre pendant l'hiver). Or, en 1923-1924, par suite de la pénurie des stocks et de l'incertitude des cours, les négociants refusent de soumissionner pour une livraison pendant l'hiver suivant. Dans ces conditions, le directeur demande au conseil l'autorisation de faire appel à une concurrence restreinte en vue de la fourniture de la quantité de combustible pouvant immédiatement trouver place dans les sous-sols

(200 tonnes environ) et de faire procéder dans le courant de l'hiver à un nouvel appel pour le complément nécessaire à l'approvisionnement du Conservatoire.

Parmi les membres du conseil d'administration, nous trouvons des professeurs d'électricité et de systèmes de chauffage, spécialistes contemporains cherchant à faire les meilleurs choix et si possible améliorer les installations existantes aux moindres coûts, parfois en profitant de leur enseignement pour effectuer des expériences (des travaux dirigés)⁷. Tel est le cas lorsque le préfet de police rappelle :

l'ordonnance du 22 juin 1898 interdisant, dans Paris, l'émission des fumées noires, épaisses et prolongées en priant le directeur de prendre des mesures pour remédier aux fumées dégagées par la cheminée principale du Conservatoire.

Et en 1904, lorsque l'administration hésite entre un changement du charbon consommé ou l'installation d'un fumi-vore, le conseil opte pour des essais avec plusieurs solutions après avoir débattu sur la question. Les procès-verbaux rendent

⁷ Par exemple Arthur Morin administrateur du Cnam de 1849 à 1880, spécialiste du chauffage ; et Louis Auguste Édouard Sauvage, professeur de construction de machines à l'École des Mines de Paris à partir de 1887, ingénieur en chef honoraire des Chemins de fer de l'État, professeur au Cnam et lauréat de l'Institut. Il publia plusieurs ouvrages, dont *Mécanique pratique des machines à vapeur* (1963) ou, en relation avec le Cnam, le texte « Chauffage et ventilation des amphithéâtres du Conservatoire des Arts et Métiers » (*Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, Paris, 1864-1865).

Les architectes en chef des bâtiments du Cnam 1799-1963

ARCHITECTES EN CHEF DU CNAM	ANNÉES
François Jacques Delannoy	1799 à ...
Claude Jean-Baptiste Jallier de Savault	1806
Antoine-Marie Peyre	1811 à 1828
Dubois	
Léon Vaudoyer	1838 à 1872
Gabriel-Auguste Ancelet (collaboration avec Vaudoyer, nommé architecte du CNAM en 1872)	
Le centralien René Demimuid	1874
Jules Denfert	
Adolphe Gerhardt	vers 1900
Henri-Louis Deneux (architecte des monuments historiques)	rénovation de l'église en 1914
Louis Hippolyte Boileau	... à 1935
Jacques Debat-Ponsan	1935 à 1938
André Granet	1938 à ...
Charles Musetti (architecte en chef)	1948
Pierre Sardou (architecte en chef)	
Jacquin (architecte en chef)	1963

Quelques innovations énergétiques : 1904-1927

DATE	OBSERVATIONS		CONCLUSIONS
	POSITIVES	NÉGATIVES	
1904	<p>1. Remplacer les charbons demi-gras pour forges (dits tout venant) par des grains demi-lavés demi-gras, dont la combustion donne une fumée blanche, très légère sans suie.</p> <p>2. Les combustibles anthraciteux donnent des meilleurs résultats que les grains lavés.</p> <p>Installation d'un appareil fumivore "procédé Cavanaugh" – 1 500 francs par chaudière.</p>	<p>3. Combustible plus cher (soit environ + 1 000 francs/an – coût atténué par un pouvoir calorique plus fort + le coût compatible avec le budget).</p> <p>4. Nécessiterait un changement des foyers et des grilles – sauf si utilisation à l'état de gros morceaux (gailletterie) dont le prix est inabordable pour un emploi industriel.</p>	<p>D'abord substitution des grains lavés 1/2 gras au tout-venant de forge – si résultats non satisfaisants, essais avec un appareil Cavanaugh – négocier avec l'octroi de Paris pour que le CNAM puisse bénéficier de la taxe réduite de 1 franc par tonne.</p>

suite →

DATE	OBSERVATIONS	CONCLUSIONS
1906/07	<p>Substitution des briquettes d'Anzin aux grains lavés (les prix sont en forte hausse à cause de l'extension de leur emploi dans la région de Paris), faire des essais l'hiver prochain pour voir si ces briquettes conviennent bien aux foyers des chaudières du conservatoire;</p> <p>+ si elles ne dégagent pas plus de fumées noires que les grains lavés et si le prix procure une économie;</p> <p>+ faire des nouvelles démarches auprès des Mines pour un traitement direct avec le CNAM au moins pour les combustibles spéciaux nécessaires au service du chauffage central à la vapeur - qui constituent la plus grosse partie des approvisionnements - le charbon tout venant pour calorifères; le charbon type Charleroi pour foyers qui ne forment qu'un appoint (pouvant être acheté dans le commerce sur simple commande).</p>	<p style="text-align: center;">1908/09</p> <p>Suite aux expériences des dernières années : adjudication des charbons pour l'hiver 1908-09 selon un cahier des charges.</p> <p>Adjudication annoncée par voie d'affiches fournitures de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - env. 410 000 kg de charbon de terre - 5 000 000 kg de grains lavés demi-gras pour chaudières à vapeur tubulaires, type Belleville - 30 000 kg de charbon tout venant pour calorifères - 30 000 kg de charbon demi-gras type Charleroi, peu fumeux et de bonne qualité calorifique pour les fourneaux de cuisines et foyers domestiques en gros morceaux de gailleterie - 50 000 kg de fines et menus pour calorifères Michel Perret
1927	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le fumivore Wilton a atténué un peu la fumée noire, mais ne l'a pas fait disparaître; M. Winckler, inventeur et ingénieur de la maison Wilton, demande que le conservatoire l'autorise à compléter son appareil placé sur une chaudière, afin de poursuivre la démonstration de son système fumivore qui donnerait de bons résultats en province. 2. L'économiseur fumivore Hoefleur a réalisé une économie de consommation mais ne s'est pas montré fumivore. 3. Pour faire disparaître la fumée, le chauffage au mazout, en employant les brûleurs S.A.I.M., a été proposé et semblerait assez déduisant parce qu'il entraînerait une réduction du personnel des chauffeurs et la disponibilité de locaux en sous-sols assez importants; mais la dépense de chauffage serait plus élevée. Une étude de cette installation a été faite gracieusement par M. Citroën. 	<p>Le fumivore Wilton et l'économiseur fumivore Hoefleur ont été essayés avec un succès médiocre.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. De cette étude résulte que la dépense de premier établissement serait fort élevée. 5. La fumivorité tient surtout à la qualité du charbon et à la façon dont on conduit la chauffe. Il estime qu'une prime de 150 francs par mois accordée aux chauffeurs serait plus opérante que la mise en service d'appareils plus perfectionnés. <p>Dans un avenir de 4 à 5 ans, on pourrait envisager l'installation à Paris de chauffages centraux par quartiers, et, s'il en était ainsi, l'abonnement du conservatoire à un chauffage de ce genre se présenterait comme la solution la plus heureuse.</p>

compte des arguments pour et contre chacune des propositions ainsi que les conclusions, exposant aussi bien des raisons techniques que budgétaires.

Malgré des expériences avec différents systèmes, en 1927 le problème n'est toujours pas résolu. Il est alors entendu qu'en attendant l'installation de chauffage central, on s'efforcera de rechercher un combustible ou un mélange de combustibles provoquant moins de fumée, au moment du renouvellement du marché de charbon et que des consignes plus précises seront données aux chauffeurs pour éviter la production de fumée noire. À cette occasion le professeur Emilio Augustin Damour⁸ fait observer que cette mise au point serait bien facilitée par l'acquisition de quelques appareils de contrôle de la combustion, en outre bien utiles aux démonstrations des travaux pratiques de chauffage industriel.

L'année suivante, le conseil accorde l'ouverture d'un crédit de 1 000 francs au professeur Damour pour continuer ses essais de fumivorité appliqués aux bat-

teries de chauffage du Cnam. Le conseil autorise également les établissements Salaberri à installer dans l'une des chaudières de la salle de chauffe du Conservatoire un appareil fumivore économiseur, installation faite aux frais des établissements Salaberri sans aucun engagement d'acquisition d'un appareil et ce quel que soit le résultat des essais. Trois ans plus tard, le conseil accepte l'installation d'un appareil fumivore-économiseur sur l'une des chaudières du Cnam. Le Docteur Lobligeois, chef du service de radiologie de l'hôpital Bretonneau, officier de la légion d'honneur et Conseiller municipal, se porte garant pour cette installation qui, selon lui, donnera une fumivorité naturelle complète et permettra de réaliser au moins 20% d'économies. Les données réunies dans le cadre de ce travail ne nous ont pas permis de vérifier cette promesse. En janvier 1930, deux nouvelles propositions sont faites.

La compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz (12 place des États-Unis, Montrouge) propose de mettre gratuitement à la disposition du Cnam un compteur d'eau chaude et des appareils de contrôle de chauffe des quatre chaudières. Cette installation est jugée présenter un réel intérêt pédagogique pour les travaux pratiques de chauffage industriel (tels que la mesure du tirage, des quantités de houille brûlées, l'analyse des gaz de la combustion, etc.) et peut même conduire à quelques améliorations dans la marche des chaudières. Le coût de cette installation (comprenant manomètres, pyromètres, analyseurs en-

⁸ Emilio Augustin Damour, ingénieur civil des mines, professeur au Cnam (1925-1934); réalisa des travaux sur le chauffage industriel, la verrerie, la chimie industrielle, fut lauréat de l'Institut (1912) et membre du jury de l'Exposition universelle de Paris (1900). Il est l'auteur de plusieurs publications sur le chauffage et le combustible: *Le chauffage industriel et les fours à gaz: utilisation de la chaleur et récupération* (1898); *Les sources de l'énergie calorifique*, avec Jean Carnot, Étienne Rengade (1912); *Les Moyens d'accélérer le progrès dans l'économie de combustible* (1920); *Cours de chauffage industriel* (publications du Cnam).

registreurs des produits de la combustion, instruments de mesures de l'eau consommée, de la vapeur produite et du combustible dépensé) est évalué à environ 20 000 francs.

La société d'amélioration des rendements thermiques et de fumivorité, recommandée par Damour, qui a travaillé pour eux avec succès, dans les usines de la C^{ie} des Forges & Aciéries de la Marine et d'Homécourt ainsi que dans une chaufferie de la Société Babcock et Wilcox, propose de faire disparaître les fumées de la grande cheminée du Cnam et d'assurer en même temps une économie d'environ 20 % sur la consommation du combustible. Damour souligne à cette occasion que :

cet essai me donnerait une occasion de mettre au point la chaufferie du Cnam en vue des travaux pratiques de chauffage industriel [et] ne coûterait rien au Conservatoire, si la société en question pouvait se payer sur l'économie réalisée.

Il a auparavant fait un essai de fumivorité sur une batterie de chaudières Belleville à Montreuil où il a réussi à faire disparaître la fumée ; il a obtenu des résultats satisfaisants sur d'autres chaudières à Hautmont et à la Courneuve, après des essais de repassage des imbrûlés grâce à un réglage minutieux.

En 1932 enfin, un projet et un cahier des charges sont dressés pour la transformation des chaudières du chauffage central au mazout – cette transformation, facilement réalisable du point

de vue technique, présente de nombreux et importants avantages dont les principaux sont :

- une économie très appréciable ;
- la possibilité d'accroître facilement la puissance de chauffe de l'installation, avantage précieux au moment où la création de locaux en sous-sols va être entreprise ;
- la suppression des suies, fumées et poussières, particulièrement gênantes tant pour le Conservatoire et son musée que pour les habitants du quartier ;
- la libération de 300 m² de caves auparavant employées pour stocker les réserves de charbon. Ces caves, parfaitement sèches, très hautes de plafond, et bien aérées peuvent servir à l'extension des laboratoires pour les travaux pratiques des élèves, extension qui devient nécessaire.

La dépense à envisager pour la transformation et la révision générale de l'installation existante est estimée à environ 300 000 francs et doit entraîner une économie (combustible, entretien, salaire du personnel) d'environ 30 000 francs par an.

Chauffage de la bibliothèque et réfection du grand amphithéâtre

À l'occasion de la présentation du budget en 1917, le directeur signale au conseil le chauffage défectueux de la bibliothèque. Les appareils de distribution de la chaleur sont insuffisants pour

l'immense vaisseau de la bibliothèque, la moyenne des températures n'ayant atteint que quelques degrés au-dessus de zéro dans les hivers normaux. Par les froids rigoureux de janvier et février, le thermomètre est descendu dans la salle de lecture à un degré au-dessous de zéro. Cet état de choses est d'autant plus regrettable que le nombre des lecteurs est assez élevé depuis 1915. Le directeur s'entretient de la question avec l'architecte du Conservatoire. La bibliothèque, monument historique, se prête mal, tant par son esthétique que par ses proportions, à un chauffage convenable. Mais de l'avis de M. Jaussely, il paraît possible de remédier en partie à l'insuffisance constatée au moyen d'un système de rampes passant sous les pieds des lecteurs ; selon lui ce système, alors en usage dans un certain nombre de bibliothèques de Paris, a donné de bons résultats.

Éclairage au Cnam

La nécessité de bien éclairer les bâtiments, aussi bien les salles de cours, les amphithéâtres, la bibliothèque que le musée, est régulièrement discutée. Étant donné qu'il s'agit d'un ensemble hétérogène avec plusieurs bâtiments anciens, les travaux sont compliqués et onéreux. En 1857 un éclairage au gaz est installé dans les salles des cours et les amphithéâtres (pour un coût de 15 000 francs) et, dix ans après dans les galeries et dans la bibliothèque.

Vingt ans plus tard, en 1886, une

usine électrique est installée au rez-de-chaussée du bâtiment des textiles dans l'ancienne salle de l'école de dessin : une machine à vapeur entraînant quatre génératrices, ce qui nécessite la construction d'une cheminée de 26 m de haut dans la cour de l'administration. Le courant est d'abord distribué dans la bibliothèque et les amphithéâtres puis dans les laboratoires auprès de l'église. Lorsque le Cnam se raccorde au réseau de la Société anonyme d'éclairage et de force électrique du quartier en 1892, l'usine est conservée pour servir de source d'énergie d'appoint.

En 1900-1901 une commission d'électricité et la commission des finances étudient différentes options pour installer un éclairage et un service électrique au Conservatoire. Une fois les propositions adoptées, des négociations sont engagées et approuvées avec la compagnie parisienne de l'air comprimé, la société doit alors effectuer des travaux d'arrivée de courants et d'installations dans les services antérieurement desservis par le secteur et par l'ancienne usine d'électricité.

En 1901-1902, cette commission estime que les lampes à arc, alimentées par des conducteurs installés dans les combles de la bibliothèque – c'est-à-dire des fils courant le long des bois d'une vieille charpente dans un grenier qui ne peut être soumis à aucune surveillance – présentent un véritable danger : l'installation initiale date alors de 1888 et la compagnie de l'air comprimé avait uni-

quement changé les fils et amélioré la canalisation existante. Le conseil demande ainsi en urgence une installation provisoire supprimant tous les fils du grenier avant de procéder à une étude avec l'architecte pour déterminer le mode définitif d'éclairage de la bibliothèque. Quelques mois plus tard les conducteurs électriques sont supprimés dans les combles de la bibliothèque et l'éclairage des lampes à arc est rétabli provisoirement au moyen de câbles volants. Le projet d'une transformation définitive de l'éclairage de la bibliothèque au moyen de lampes incandescence était mis à l'étude par l'architecte et la direction. En accord avec l'architecte, une somme de 1 500 francs doit être payée par l'administration des Beaux-Arts et le surplus, 3 700 francs, reste à la charge du Conservatoire (imputé sur le chapitre IV du budget de 1902).

Bilan de l'étude qualitative

Ces débats reflètent une volonté continue d'améliorer et moderniser les installations techniques de chauffage et d'éclairage aux moindres frais. Ils relatent des hésitations et des argumentations pour et contre certaines solutions, avancées par des spécialistes de l'époque. Nous pouvons également constater que ces équipements doivent être entretenus régulièrement, l'enjeu financier est important. Pour le chauffage, la question du choix du combustible est récurrente, les options dépendent d'ailleurs du contexte économique.

Étude quantitative : données statistiques tirées de la longue période

Les objectifs

Le Cnam vit en tant qu'institution depuis 1794 et s'installe sur son emplacement actuel en 1798. L'extension régulière au cours du XIX^e siècle l'amène à couvrir deux îlots du troisième arrondissement. Sa dimension administrativement unifiée nous apporte des données sur une longue période pour les phénomènes énergétiques, dans ce qui tient lieu à la fois d'institution et de lieu urbain cohérent (deux îlots).

Cette section vise à donner de la continuité aux données brutes recueillies pour conjecturer plusieurs phénomènes longs à atteindre par l'exemple. Les rendus permettront d'esquisser des réponses qu'il nous était difficile de trouver à travers l'état de la recherche au début du projet. Le coût de l'énergie du bâtiment est-il volatil ou stable durant le XIX^e siècle? Quelle en est la tendance longue? Quel lien ce phénomène entretient-il avec les notions d'architecture – ramené au m² –? De conjoncture – volatilité des cours –? Ou bien de confort – comprenant l'évolution de la consommation due à ce dernier, rarement visualisable –?

Comme dans la plupart des études statistiques de coûts historiques, il est difficile d'incorporer avec certitude des données fluctuantes et discutables comme l'inflation ou bien, pour notre propos, l'efficacité de la transformation de la

matière première énergétique. Il faut remarquer que c'est toujours le cas de nos jours, si l'on considère les *Diagnostics de Performance Énergétique* (DPE), dont les ratios entre énergie primaire et énergie finale ne font pas l'unanimité scientifique (comme l'efficacité de la transformation produisant l'électricité).

Ainsi, notre choix est de ramener le coût de l'énergie à son poids dans le budget de l'institution. Cela permet de mettre en évidence un marqueur long, reflétant un résultat issu d'une évolution architecturale, d'une notion de confort, ainsi que d'une habileté des administrateurs à choisir les vecteurs les plus efficaces de leur époque. L'étude qualitative précédente l'a montré et c'est elle qui permettra d'interpréter au mieux les tendances.

Pour représenter puis interpréter les données recueillies dans les services d'archives, nous choisissons trois types de rendus :

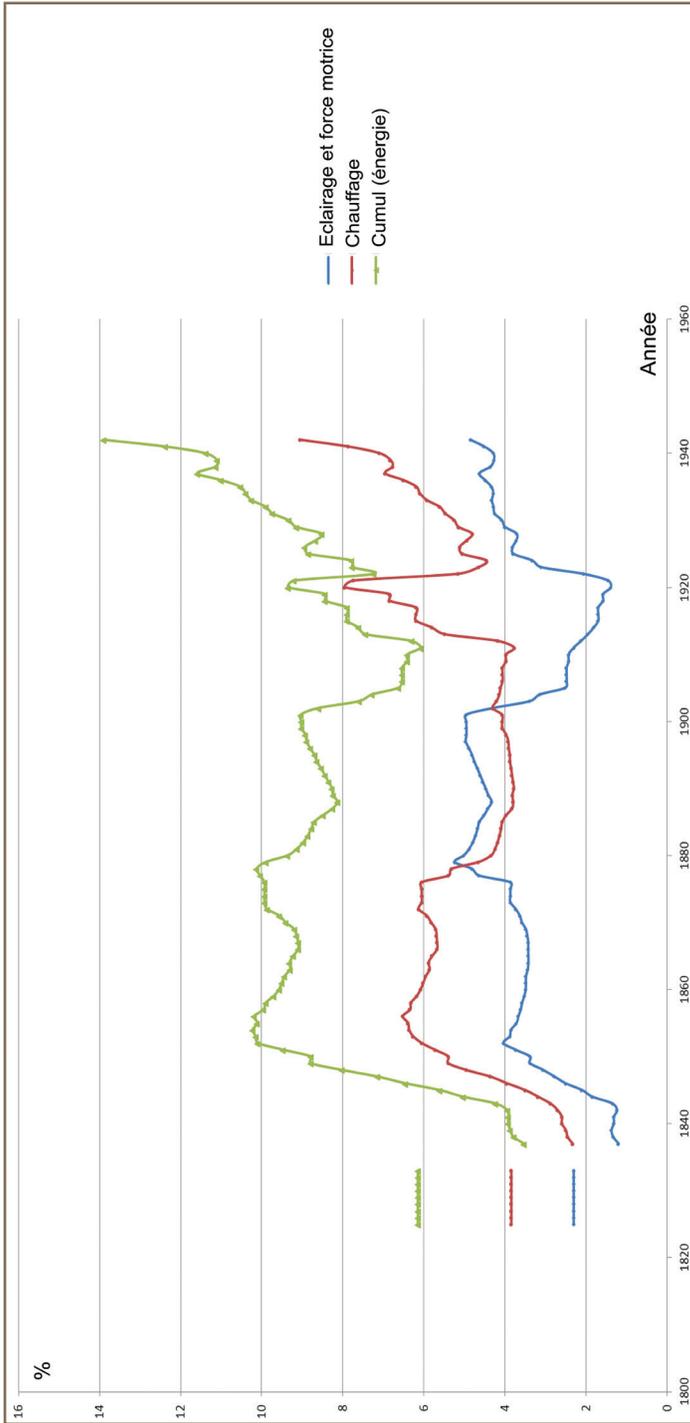
1. La courbe de la moyenne lissée sur dix ans du poids des chapitres « chauffage » et « éclairage », ramenés au budget total de fonctionnement de l'établissement.
2. La coupe architecturale du Cnam, corrélée aux plans historiques, permet d'observer les évolutions architecturales correspondant aux périodes d'analyse, d'y incorporer des lieux énergétiques et d'en quantifier les surfaces utiles et chauffées.

3. L'objet « DPE historique », que nous avons conçu grâce à la pluridisciplinarité de l'équipe de recherche et qui permet de relier architecture et énergie de façon diachronique, mission initiale de la recherche IMR appliquée ici du côté de l'histoire. Cet indicateur n'est pas indemne de critiques et de problèmes techniques. À minima, celles liées au DPE actuellement utilisé, mais également d'autres liées à l'aspect diachronique que nous lui ajoutons. Nous en explicites quelques-unes plus loin.

Les rendus

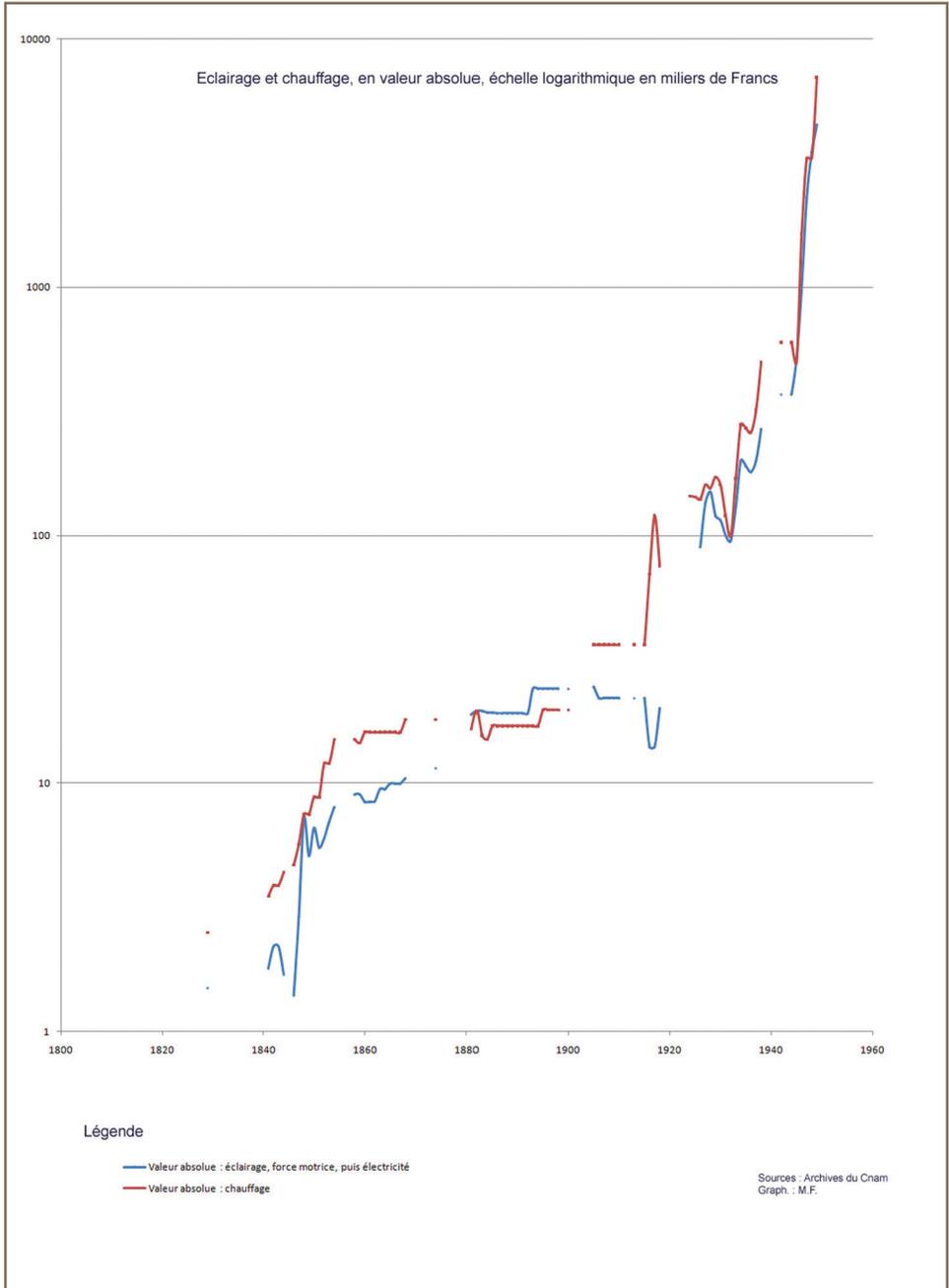
Voir les illustrations ci-après.

1. La courbe du poids des chapitres « éclairage », « chauffage » et « énergie » dans le budget total du Cnam de 1825 à 1949.
2. Chapitres « chauffage » et « éclairage », - en valeur absolue (informatif).
3. Coupe « énergétique » du Cnam par l'agence Villien (Elsa Besson et Benjamin Ciardi).
4. Les plans historiques et la surface chauffée associée.
5. Le Cnam, sections par étages, en 2013.
6. DPE historiques, développés et complétés par Vincent Dellac.
 1. DPE surface chauffée 1794-1840
 2. DPE surface utile 1794-1840
 3. DPE surface chauffée 1840-1853
 4. DPE surface utile 1840-1853.



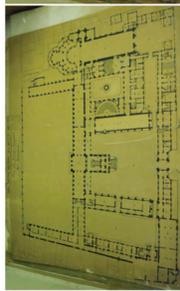
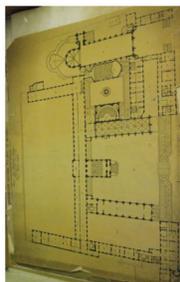
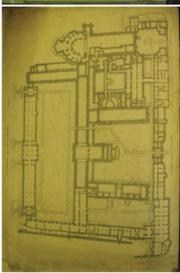
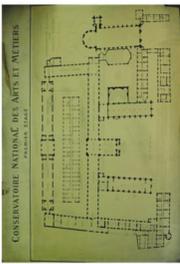
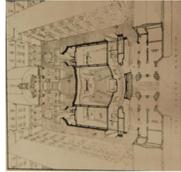
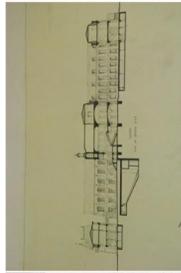
Rendu 1

La courbe du poids des chapitres «éclairage» - bleue -, «chauffage» - rouge -, et «énergie» - leur somme, verte -, dans le budget total du Cnam. Exprimées en %, de 1825 à 1949



Rendu 2

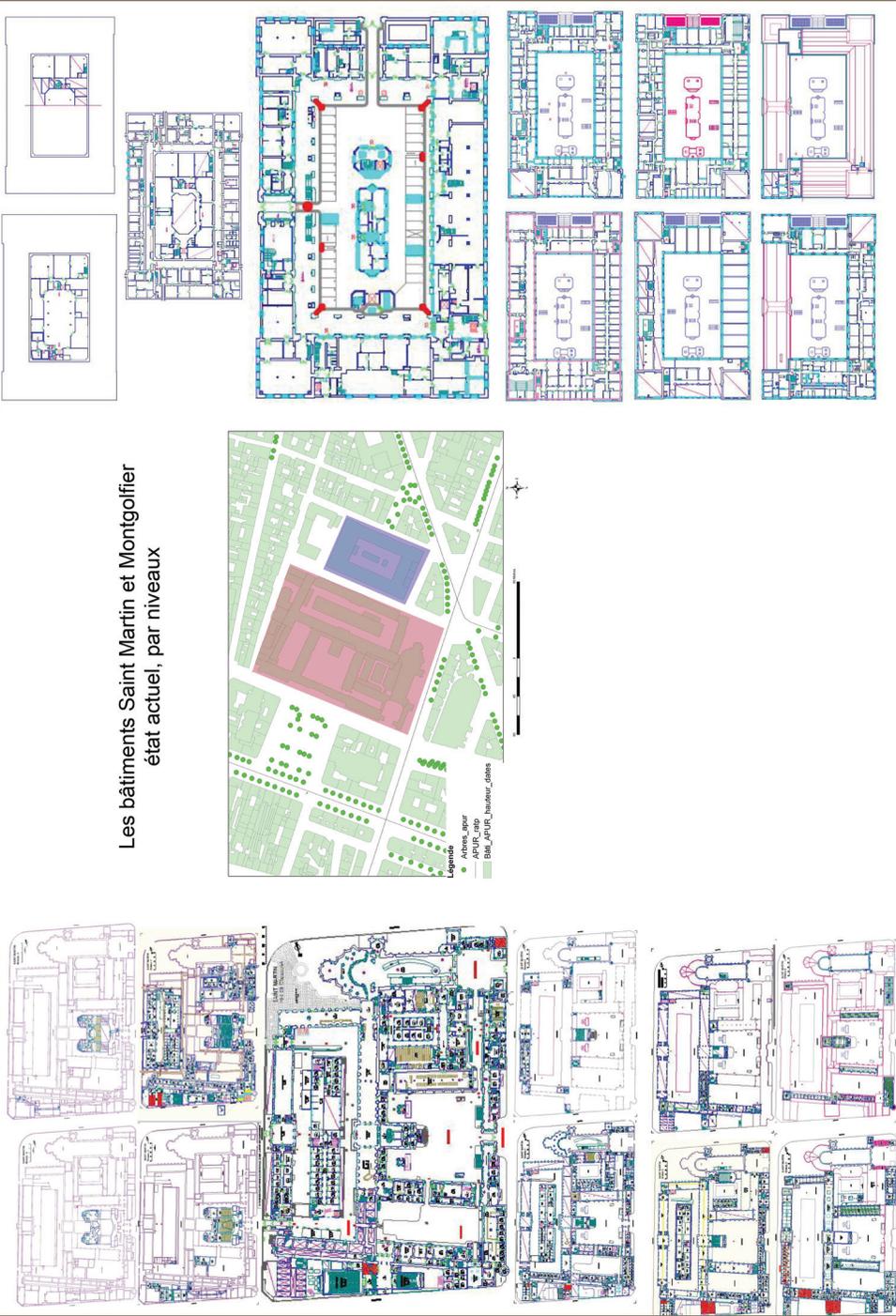
Chapitres « chauffage » et « éclairage », - en valeur absolue (informatif)

<p>Avant 1840 :</p> <p><u>Chauffés :</u></p> <p>Le CNAM ne compte qu'un amphithéâtre, le vieil amphithéâtre : 200 m²</p> <p>La bibliothèque, restaurée par Léon Vaudoyer par la suite : 400 m²</p> <p>Bureaux de Mrs les professeurs : 239m²</p> <p>Total : 839 m²</p> <p><u>Qui seraient chauffés actuellement :</u></p> <p>Total : 4078 m²</p>	<p>Après 1850 :</p> <p><u>Sont chauffés :</u></p> <p>Les parties précédentes : 839m²</p> <p>2 amphithéâtres ajoutés : 308m²</p> <p>Dont</p> <p>Le grand amphithéâtre : 218m²</p> <p>Le petit amphithéâtre : 88m²</p> <p>Les bureaux de l'administration : environ 400m²</p> <p>Total : 1547 m²</p> <p><u>Qui seraient chauffés actuellement :</u></p> <p>Total : 8450 m²</p>
  	    

Rendu 4

Les plans historiques et la surface chauffée associée

Les bâtiments Saint Martin et Montgolfer
état actuel, par niveaux



Rendu 5

Le Cnam, sections par étages, en 2013

Gracieusement fournie par le service technique de l'établissement

Consommations annuelles d'énergie		Surface chauffée : 1 547 m²	
Période de relevés de consommations considérée : 1840 - 1853			
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales
	détail par usage en Francs	détail par usage en tonnes de charbon et en Kilogrammes d'huile végétale	détail par usage en kWh _{EP}
Chauffage	6881	187.6527399	1355228.088
Eau chaude sanitaire	-	-	-
Refroidissement	-	-	-
Ventilation	-	-	-
Eclairage	4133	3471.18236	35676.8123
Bureautique	-	-	-
Ascenseur(s)	-	-	-
Autres usages	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-
TOTAL	11014		1390904.9
Consommations annuelles d'énergie			
Période de relevés de consommations considérée : 1840 - 1853			
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales
	détail par usage en Francs	détail par usage en tonnes de charbon et en Kilogrammes d'huile végétale	détail par usage en kWh _{EP}
Charbon	6881	187.6527399	1355228.088
Huile végétale	4133	3471.18236	35676.8123
Bois, biomasse	-	-	-
Electricité	-	-	-
Gaz	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-
TOTAL	11014		1390904.9
Consommation estimée : 899 kWh_{EP}/m².an			
Estimation des émissions GES : 337 kg_{CO2}/m².an			

Consommations annuelles d'énergie		Consommations en énergie primaire	
Période de relevés de consommations considérée : 1840 - 1853		Surface totale : 8 450 m ²	
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales
	détail par usage en Francs	détail par usage en tonnes de charbon et en kilogrammes d'huile végétale	détail par usage en kWh _{EP}
Chauffage	6881	187.6527399	1355228.088
Eau chaude sanitaire	-	-	-
Refroidissement	-	-	-
Ventilation	-	-	-
Eclairage	4133	3471.18236	35676.8123
Bureautique	-	-	-
Ascenseur(s)	-	-	-
Autres usages	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-
TOTAL	11014		1390904.9
Consommations annuelles d'énergie			
Période de relevés de consommations considérée : 1840 - 1853		Surface totale : 8 450 m ²	
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales
	détail par énergie en Francs	détail par énergie en tonnes de charbon et en kilogrammes d'huile végétale	détail par énergie en kWh _{EP}
Charbon	6881	187.6527399	1355228.088
Huile végétale	4133	3471.18236	35676.8123
Bois, biomasse	-	-	-
Electricité	-	-	-
Gaz	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-
TOTAL	11014		1390904.9
Consommation estimée : 165 kWh _{EP} /m ² .an		Estimation des émissions GES : 62 kg _{CO2} /m ² .an	

Consommations annuelles d'énergie				Surface totale : 4 078 m ²	
Période de relevés de consommations considérée : 1794 - 1840					
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire	
	détail par usage en Francs	détail par usage en tonnes de charbon et en Kilogrammes d'huile végétale	détail par usage en kWh _{EP}	détail par usage en kWh _{EP}	détail par usage en kWh _{EP}
Chauffage	2500	67.20741599	485371.9583	485371.9583	485371.9583
Eau chaude sanitaire	-	-	-	-	-
Refroidissement	-	-	-	-	-
Ventilation	-	-	-	-	-
Eclairage	1500	1185.146168	12180.93231	12180.93231	12180.93231
Bureautique	-	-	-	-	-
Ascenseur(s)	-	-	-	-	-
Autres usages	-	-	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-	-	-
TOTAL	4000		497552.8906	497552.8906	497552.8906
Consommations annuelles d'énergie					
Période de relevés de consommations considérée : 1794 - 1840					
				Surface totale : 4 078 m ²	
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire	
	détail par usage en Francs	détail par usage en tonnes de charbon et en Kilogrammes d'huile végétale	détail par usage en kWh _{EP}	détail par usage en kWh _{EP}	détail par usage en kWh _{EP}
Charbon	2500	67.20741599	485371.9583	485371.9583	485371.9583
Huile végétale	1500	1185.146168	12180.93231	12180.93231	12180.93231
Bois, biomasse	-	-	-	-	-
Electricité	-	-	-	-	-
Gaz	-	-	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-	-	-
TOTAL	4000		497552.8906	497552.8906	497552.8906
Consommation estimée : 122 kWh_{EP}/m².an					
Estimation des émissions GES : 46 kg_{CO2}/m².an					

Rendu 6 - DPE historiques, développés et complétés par Vincent Dellac

Tableau 3 : DPE surface chauffée 1840-1853

Consommations annuelles d'énergie		Surface chauffée : 839 m ²	
Période de relevés de consommations considérée : 1794 - 1840			
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales
	détail par usage en Francs	détail par usage en tonnes de charbon et en kilogrammes d'huile végétale	détail par usage en kWh _{EP}
Chauffage	2500	67.20741599	485371.9583
Eau chaude sanitaire	-	-	-
Refroidissement	-	-	-
Ventilation	-	-	-
Eclairage	1500	1185.146168	12180.93231
Bureautique	-	-	-
Ascenseur(s)	-	-	-
Autres usages	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-
TOTAL	4000		497552.8906
Consommations annuelles d'énergie			
Période de relevés de consommations considérée : 1794 - 1840			
	Budgets	Consommations en unités de base	Consommations en énergies finales
	détail par énergie en Francs	détail par énergie en tonnes de charbon et en kilogrammes d'huile végétale	détail par énergie en kWh _{EP}
Charbon	2500	67.20741599	485371.9583
Huile végétale	1500	1185.146168	12180.93231
Bois, biomasse	-	-	-
Electricité	-	-	-
Gaz	-	-	-
Production d'énergie à	-	-	-
TOTAL	4000		497552.8906
Consommation estimée : 593 kWh_{EP}/m².an			
Estimation des émissions GES : 222 kg_{CO2}/m².an			

Quelques points qualitatifs sur les rendus

• *La courbe*

La comptabilité appliquée des années 1820 aux années 1940 permet de traiter de façon unifiée les données annuelles, les chapitres étant les mêmes d'une année sur l'autre. Il est possible de pousser cette méthode jusqu'au début des années 1950 mais plus ensuite car l'énergie cesse alors d'être une ligne à part entière.

Il faut donc, pour la suite, revenir aux méthodes plus récentes d'analyses, comme, par exemple, au Centre Pompidou (une consommation en Watt, ou par coût réel monétaire corrigé par l'inflation) pour compléter la tendance longue. Au Cnam, nous retrouvons à partir de 1997 de telles données dans le service comptabilité.

Nous n'avons par ailleurs pu accéder aux archives comptables de la CPCU ou d'EDF entre 1950 et 1997.

• *La coupe*

Celle-ci est une coupe actuelle dont la spécificité est d'être énergétique et de montrer l'épaisseur du bâtiment selon nous plus à même d'illustrer le propos énergétique que le plan. Il faut garder les plans historiques pour observer les évolutions.

• *Les indicateurs DPE*

Pour la méthode générale du DPE, et sa compréhension technique, nous renvoyons à la section dédiée du rapport final HPCE (Gallo, 2013). Retenons ici les éléments spécifiques suivants :

Année	TOTAL
	Montgolfier + Saint Martin (EDF + CPCU + GDF)
1997	4 613 141
1998	4 695 481
1999	4 809 364
2000	4 439 487
2001	4 907 000
2002	5 607 947
2003	5 927 804
2004	6 295 619
2005	6 457 720
2006	6 725 455
2007	7 039 586

Consommation électrique et énergétique du Cnam (1997-2007), en Francs.

1. Le volume n'est pas pris en compte, seuls les mètres carrés le sont. Dans le cas d'un bâtiment comme la bibliothèque, ancien réfectoire des moines du prieuré médiéval, la perte de l'information du volume est dommageable.
2. À propos de la température de chauffage et sa régularité : le DPE ne les prend pas non plus en compte. Il produit des résultats moyens, au mètre carré, à l'année. Pourtant intervient ici la spécificité du bâtiment public d'enseignement, par rapport par exemple à l'économie domestique d'un immeuble. Des relevés de température à la fin du XIX^e siècle nous montrent que les amphithéâtres sont chauffés à environ 20-22 °C en hiver. Ils ne le sont que durant les jours d'enseignement, hors vacances et horaires nocturnes. Notre méthode ambitionne ici de comparer des bâtiments publics entre eux et entre époques sur une année de fonctionnement mais il faut garder en mémoire que ces spécificités ne sont pas prises en compte par le DPE lors de l'interprétation.
3. À propos de la part d'incertitude des «DPE historiques» : les surfaces, en mètres carrés chauffés et non chauffés et considérées comme «utiles», sont issues de comparaison entre les fichiers Autocad actuels du bâtiment et les plans historiques du Cnam, associés aux

éléments qualitatifs d'archives. Il est difficile d'obtenir des données parfaitement rigoureuses, il faut donc bien les considérer comme les ordres d'idées les plus crédibles. Les résultats en Watt et émissions CO₂ doivent l'être comme tels également. Les données sur le prix des matières premières ne sont pas régulières dans les archives historiques. Nous les trouvons parfois et déduisons du budget alors affecté les quantités consommées sur une période proche historiquement (exemple : prix de la tonne de charbon de la Compagnie du Nord, où le Cnam s'approvisionne durant la seconde moitié du XIX^e siècle). Une part d'incertitude contrôlée est donc contenue dans ces données.

Analyse et interprétations

• *La courbe énergétique*

On constate une baisse du poids global de l'énergie dans le budget au cours du XIX^e siècle, qui passe de plus de 10 % en moyenne à moins de 6 %. Le choc des guerres est visible. La volatilité des coûts d'approvisionnement est postérieure à la première guerre mondiale. Il faut mettre en parallèle ces courbes avec celles du coût général de l'énergie à Paris, qui reste très stable durant le XIX^e siècle jusqu'au premier conflit mondial comme les courbes de l'approvisionnement en ressources énergétiques de l'APHP, réalisées par ailleurs, peuvent le démontrer.

• *Coupe énergétique et plans*

En parallèle, il y a une augmentation des surfaces utiles et des surfaces chauffées : le confort augmente. Le sous-sol, quasi inexistant au début du XIX^e siècle, représente aujourd’hui presque un tiers de la surface utile de l’établissement. Il prend par ailleurs, au fil des innovations, le quasi-monopole de la localisation des sources énergétiques et de leur transformation. Alors que le bois était traditionnellement stocké en surface, le charbon est stocké en caves sur 300 m² jusqu’en 1932. Les sous-stations CPCU y sont localisées. Le réseau s’y déploie.

• *Indicateurs*

Deux d’entre eux sont issus des DPE : les kWh^{EP}/m².an et les kg^{CO₂}/m².an. Le premier représente l’énergie consommée à l’année, au mètre carré, en énergie

primaire : c’est l’énergie réelle et physique consommée. Le second représente un impact CO₂ au mètre carré : il tient compte de l’émission carbonique de l’énergie utilisée.

• *Comparaison diachronique des consommations*

La consommation en Watt par mètre carré chauffé, donnée par le premier indicateur, montre que le Cnam au XIX^e siècle est dans le même ordre de grandeur que le Centre Georges Pompidou à son achèvement en 1977. Étant chauffé au bois et au charbon, son empreinte écologique est plus importante, si l’on part du principe, comme l’implique une seule prise en compte des émissions carbonées, que l’électricité alimentant le Centre Pompidou en 1977, en majeure partie d’origine nucléaire, est « propre ».

Bâtiment, période étudiée	kWh^{EP}/m².an (consommation en Watt, Énergie Primaire)	kg^{CO₂}/m².an (consommation en équivalent kg CO ₂)
Cnam, 1794-1840	593	222
Cnam, 1840-1853	899	337
Cnam, 1794-1840 <i>ramené à la surface utile</i>	122	46
Cnam, 1840-1853 <i>ramené à la surface utile</i>	165	62
Centre Pompidou, 1977-1997	1192	39
Centre Pompidou, 2000-2012	665	36
École Wattignies, 2012	291	46
École Wattignies, 2013	243	17

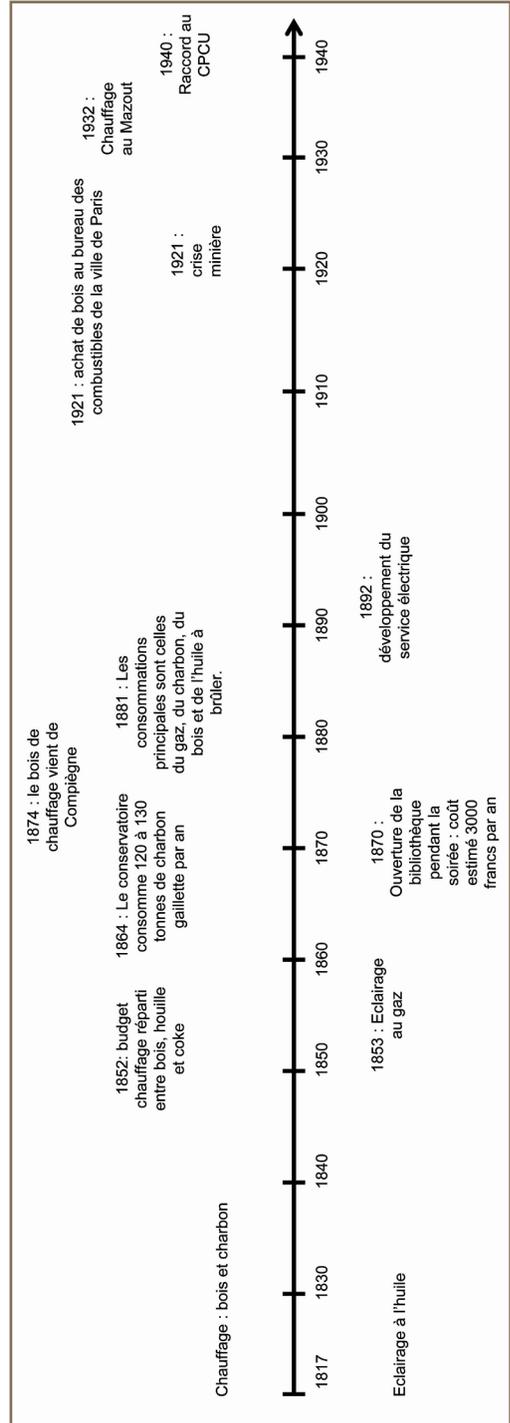
**Pour mémoire et comparaisons
entre bâtiments parisiens étudiés par HPCE et époques.**

Le manque d'efficacité quant à la surface chauffée est démontré par la comparaison «DPE surface réelle» et «DPE surface utile». Alors que la surface réelle chauffée amène à des consommations de 600 à 900 kWh^{EP}/m².an (= Pompidou 1977), une surface chauffée qui serait égale à la surface utile (si on avait chauffé tout le bâtiment), amènerait à des consommations de l'ordre de 120 à 160 kWh^{EP}/m².an, inférieures à un bâtiment modèle comme l'école Wattignies.

Donc, cette comparaison des «DPE surface chauffée» et «DPE surface utile» montre qu'à l'échelle du bâtiment, le XIX^e siècle consomme une énergie plutôt inférieure à celle que nous consommons actuellement. Par contre, il se limite aux parties essentielles: le facteur limitant est bien économique. On peut tenir le même type de comparaison pour les émissions: au mètre carré chauffé, l'empreinte CO2 du bâtiment est plus importante qu'un bâtiment actuel. En surface utile, elle est similaire, quand bien même la source d'énergie est le charbon.

Bilan de l'étude quantitative

En termes de types d'approvisionnements énergétiques et de systèmes, les ruptures sont nombreuses sur notre période. Rappelons la frise des innovations concernant l'énergie, datées :



L'innovation énergétique au Cnam, 1817-1940

Architecturalement, les conséquences sont un changement de fonctions de parties du bâtiment. Certaines parties comme les caves des extensions du XIX^e siècle sont en partie dédiées au stockage énergétique. Le bâtiment a même eu sa propre centrale de production, avec l'usine électrique construite en 1886 au rez-de-chaussée du bâtiment des textiles dont une cheminée de 26 m fut érigée dans la cour de l'administration (actuelle cour d'honneur).

La coupe montre que, malgré l'absence de variété actuelle après le foisonnement dix-neuviémiste, les sous-sols ont acquis et conservé le statut de lieu de l'approvisionnement énergétique, actuellement par les réseaux EDF et CPCU et de sa transformation via les sous-stations CPCU. Le point de vue économique que nous avons développé, conforte l'idée d'innovations « rentables » : le poids global de l'énergie n'augmente quasiment jamais du fait de l'innovation – exception faite de l'électricité qui est largement justifiée par d'autres intérêts. Par ailleurs, l'éclairage qui en budget compte pour presque la moitié, reste très faible en terme de poids énergétique en Watt par rapport au chauffage (environ 3 % du total). Par contre il est cher : presque la moitié du budget énergie.

À propos de l'évolution globale de la consommation énergétique, le XIX^e siècle chauffe donc moins de surface avec une quantité totale d'énergie primaire qui est inférieure à l'actuelle. En valeur totale pour le bâtiment on y consomme moins, s'autolimitant du fait du facteur bud-

gétaire. Au mètre carré réel chauffé on consomme plus qu'aujourd'hui. Nous avons donc démontré à l'aide d'arguments quantitatifs que le XIX^e siècle consacre le budget possible à l'énergie mais qu'en recherche d'efficacité, il se concentre sur les surfaces essentielles.

Pour résumer ces idées conclusives, nous pouvons estimer qu'il y a un poids global de l'énergie qui n'est pas dépassé : une borne haute en quelque sorte. Des améliorations constantes visent à libérer des marges budgétaires. De nouvelles technologies et modes de transformation permettent de chauffer davantage de surface avec le même budget, et une augmentation assez faible en termes de Watt mobilisés. Petit à petit, elles permettent l'accès au confort contemporain (chauffage de la quasi-totalité de la surface utile). À propos de cette borne, importante, nous pourrions la fixer d'après notre analyse au Cnam à entre 10 et 14 % du budget total entre 1817 et 1940. Les pics sont les années 1850 (10 %), 1870-1875 (10 %), vers 1900, les années 1917-1925 (9 %), puis la fin des années 1930 (14 % en 1940). Les efforts d'optimisation sont eux constants.

Conclusion

Grâce à cette enquête sur un bâtiment/flot urbain, compris par un biais nouveau et dans la longue durée, nous pouvons réfuter trois idées reçues :

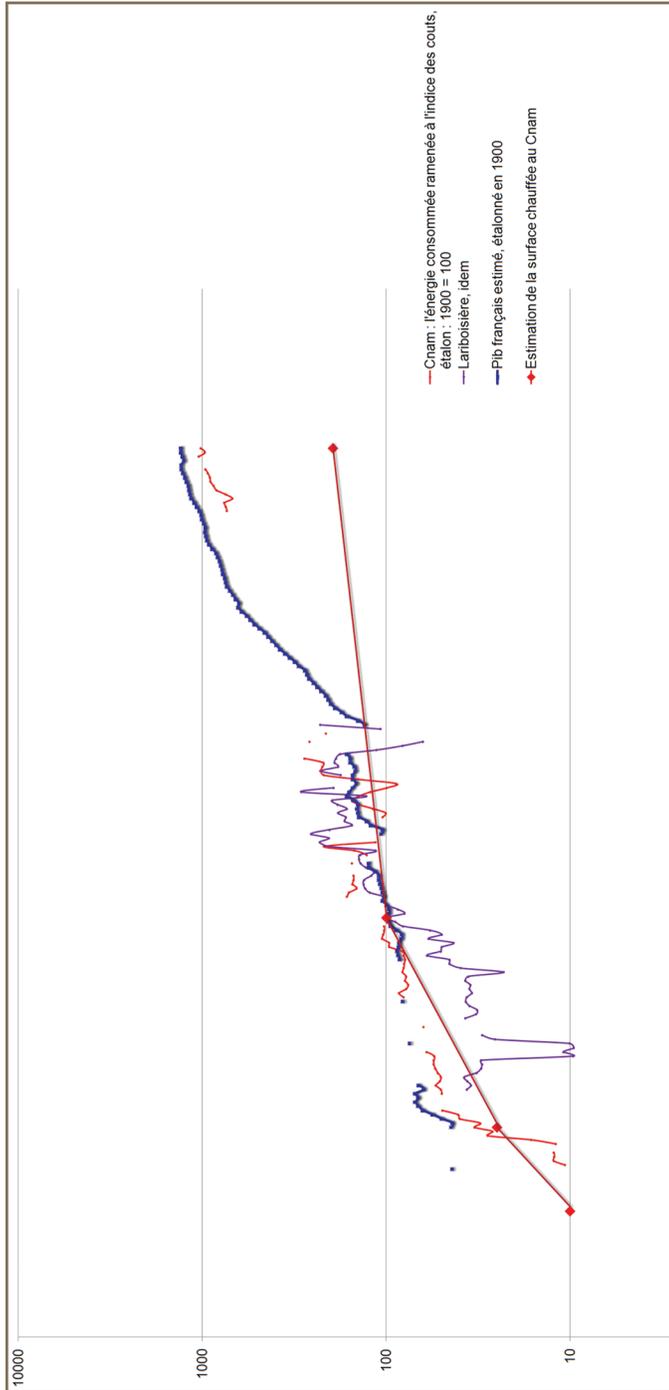
1. Le coût de l'énergie augmente régulièrement. Non, car s'il augmente de façon assez prévisible en valeur monétaire (même corrigée de son inflation), du fait de l'augmentation du confort et de la surface chauffée, il baisse en terme de poids budgétaire (qui est davantage gage de réalité économique, en tout cas pour les administrateurs) et ce depuis 1850 jusqu'à la première guerre mondiale (voir la courbe des dépenses énergétiques).

Le xx^e siècle se comporte différemment : les variations ont une origine plus conjoncturelle qu'architecturale et l'augmentation est constante au moins depuis 1950 (dans une dynamique similaire à celle de la richesse économique, ici représentée par le PIB). Le bâtiment est particulièrement sensible aux chocs économiques des deux guerres mondiales.

2. Il y a des révolutions techniques rapides au xix^e siècle. Non, il y a une adaptation permanente et l'innovation n'est ni brutale ni ne provoque de ruptures remarquables dans nos courbes. Nous observons en réalité un mix énergétique quasi permanent, basé sur le bois, le charbon, l'huile, le gaz puis l'électricité. Les périodes

de transition sont longues (plus de 70 ans pour le bois/charbon). Par contre, à partir de 1932, chauffage urbain et électricité de réseau prennent le monopole total conservé jusqu'à aujourd'hui.

3. L'histoire énergétique est nécessairement conjoncturelle et extérieure. Non, au xix^e siècle, les administrateurs s'emparent en permanence de la question et font valoir leur culture technique ainsi que les procédés et approvisionnements disponibles dans Paris pour faire évoluer leur bâtiment et leur modèle de gestion. Initiatives, innovations et remise en question y sont constantes.



Dynamique de la consommation énergétique, de la surface chauffée estimée, de l'économie générale, échelonnés en base 100 en 1900 (échelle logarithmique)