

La rénovation énergétique de l'hôtel de Vendôme, le cœur historique de l'École des mines de Paris

Par Catherine LAGNEAU⁽¹⁾

Adjointe au chef de service du Conseil général de l'économie et directrice déléguée de l'École des mines de Paris

Le site phare de l'École des mines de Paris, sis boulevard Saint-Michel, abrite son foyer historique qui incarne à la fois l'histoire dans laquelle s'inscrivent les ingénieurs des mines, et le lieu où ils réinventent leurs apports à la société. Chaudron où ils puisent leurs racines et bâtissent leurs ailes, ce lieu majestueux a toujours accompagné les évolutions de l'école et doit aujourd'hui incarner, dans sa chair de pierre, les grands enjeux auxquels l'école prépare ses élèves : en particulier, la rénovation énergétique de son enveloppe fera de cet écrin le signe de l'engagement résolu de son collectif au service de la transition écologique. Le vaste programme de rénovation engagé en 2021 et soutenu par le plan de relance a pour ambition un gain de performance énergétique de 36 %. Une collaboration inédite de l'école avec une *start-up* issue de ses laboratoires permettra de mesurer réellement cette performance avant et après réalisation des travaux et, comme toujours, de confronter la théorie avec la pratique.



Figure 1 : Le site principal de l'École des mines de Paris, au 60, boulevard Saint-Michel – Paris (6^e arrondissement).

⁽¹⁾ Avec mes remerciements à Ludovic Bouvier, Michael Cohen, Jean-Michel Wahart, et à Terao pour l'étude thermique.

L'École des mines de Paris a pour mission de former des scientifiques et cadres de demain capables de dominer les grandes mutations technologiques pour les mettre au service des enjeux contemporains, et plus particulièrement aujourd'hui pour répondre au défi climatique. À la fois scientifique et manager, l'ingénieur des mines est, depuis le XIX^e siècle, un scientifique de haut niveau, qui assume la responsabilité de son action. Le modèle pédagogique de l'école est depuis toujours mu par la maxime qui figure à son fronton : « théorie et pratique ».

L'ancrage théorique de la pédagogie qui y est dispensée se manifeste aujourd'hui par le niveau d'excellence scientifique des enseignants-chercheurs de l'école, regroupés au sein de l'Université PSL (Paris Sciences et Lettres), en prise avec les grandes transitions industrielles, écologiques, numériques et sociales et au faite de la connaissance scientifique. Depuis sa création, en 1783, l'école a toujours enseigné un art des mines éclairé et responsable structuré autour de cours scientifiques mais aussi des questions de compétitivité et des enjeux sociaux et de sécurité des travailleurs. En 1885, ces enseignements évoluent sous l'influence de Frédéric Le Play, ingénieur des mines et pionnier de la sociologie française et de l'économie sociale. Après 1890 et la naissance du modèle d'école généraliste, viennent s'ancrer les sciences humaines et sociales qui s'appuient aujourd'hui sur des laboratoires d'humanités de renommée mondiale et qui sont une des particularités de l'École des mines de Paris.

L'ancrage pratique de l'enseignement dispensé par l'école se fonde depuis l'origine de celle-ci sur des voyages d'études, au travers desquels passait l'apprentissage de l'art des mines dans le monde entier, comme l'attestent les nombreux rapports qui constituent une richesse de la bibliothèque de l'école. Cet ancrage s'appuie aussi, aujourd'hui, sur des stages pratiques réalisés notamment à l'étranger. Surtout, dès la fin du XIX^e siècle, naît le concept de laboratoire entendu d'abord comme un outil d'enseignement, puis aussi comme lieu de progrès des connaissances. « Les nouveaux laboratoires [...] rapprochent constamment les élèves les uns des autres, beaucoup plus que les salles de dessin et les laboratoires de chimie, qui existaient seuls autrefois, et où chaque élève travaillait isolément pour son propre compte. Les nouveaux laboratoires de mécanique, de physique, d'électricité, de chimie industrielle et de métallurgie comportent tous en effet des appareils complexes, souvent très volumineux, dont le fonctionnement doit être étudié par un groupe d'élèves travaillant ensemble. Ils apprennent ainsi en même temps, et sans s'en douter, à bien se connaître, à apprécier leurs qualités réciproques, à découvrir chez leurs voisins, qu'ils soient riches ou pauvres, des valeurs qu'ils ne soupçonnaient pas. Il se crée ainsi des amitiés solides et durables entre élèves appartenant aux classes les plus distantes de la société » (CHESNEAU, 1931). Aujourd'hui, les laboratoires sont principalement dédiés aux activités de recherche, mais, à travers notamment la généralisation des trimestres recherche depuis la réforme du cycle ingénieur en 2019, ils continuent de constituer des lieux essentiels de l'enseignement pratique. Plus qu'un

principe d'apprentissage, l'enseignement des sciences et des techniques est donc aussi le ciment de l'identité quasi familiale des mineurs.

Histoire architecturale du site parisien

L'implantation de l'École des mines de Paris sur cinq sites⁽²⁾ reflète la pluralité de son enseignement et l'étendue de son rayonnement. Ses laboratoires expérimentaux sont installés en proximité de l'écosystème scientifique et industriel sur lequel elle appuie son développement, notamment à Paris-Saclay et à Sophia Antipolis. Situé sur le *cardo maximus* de Paris, l'hôtel de Vendôme constitue le site principal de l'école, lequel est principalement dédié à l'enseignement et est le berceau de ses laboratoires d'humanités. Il s'agit d'un patrimoine d'exception situé entre le jardin du Luxembourg et le boulevard Saint-Michel, une localisation qui permet à l'école d'occuper une position centrale au sein de ce regroupement de savoirs qu'est l'Université PSL⁽³⁾.

Inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques, l'actuel site parisien de l'École des mines a cependant beaucoup évolué depuis ses origines : il est en effet le fruit de multiples évolutions architecturales, qui, depuis son installation en plein Paris, accompagnent les évolutions pédagogiques de l'école. Les bâtiments, pour la plupart, sont âgés de plus de deux siècles, auxquels se sont ajoutées des extensions réalisées à partir de la deuxième moitié du XIX^e siècle, puis dans l'entre-deux guerres.

L'emprise parcellaire du premier hôtel et de son jardin qui s'étendait alors pleinement vers l'ouest, empiétant sur l'actuel jardin du Luxembourg, s'est profondément transformée et réduite après la vente de plusieurs hectares à l'administration du Sénat en 1807 et, plus tard, en 1860, avec le percement, dans le cadre des travaux du Baron Haussmann, du boulevard Saint-Michel à partir de l'ancienne rue d'Enfer.

Le premier hôtel, vraisemblablement construit en 1706 par l'architecte Jean-Baptiste Alexandre Le Blond (en rouge sur la Figure 2 de la page suivante) du moins ce qu'il en reste, fut d'abord la propriété du chanoine de Notre Dame, Antoine de la Porte. Puis, il a été successivement occupé par la Duchesse d'Estrée, en 1712, et par M. de Lesseville, comte de Charbonnière, jusqu'à la location de l'hôtel, en 1714, par Marie-Anne de Bourbon, duchesse de Vendôme, qui a ainsi donné son nom à l'actuel bâtiment. C'est elle qui le fait agrandir pour disposer d'une demeure à la hauteur

⁽²⁾ Outre Paris, les autres sites d'implantation de l'école sont : Fontainebleau, Évry, Sophia Antipolis et Palaiseau.

⁽³⁾ L'Université PSL est composée de onze établissements : le Collège de France, le Conservatoire national supérieur d'art dramatique, l'Université Paris-Dauphine, l'École nationale des chartes, l'École nationale supérieure de chimie de Paris, l'École normale supérieure, l'École pratique des hautes études, l'ESPCI (École supérieure de physique et de chimie industrielles) Paris, l'Institut Curie, l'Observatoire de Paris et Mines Paris.

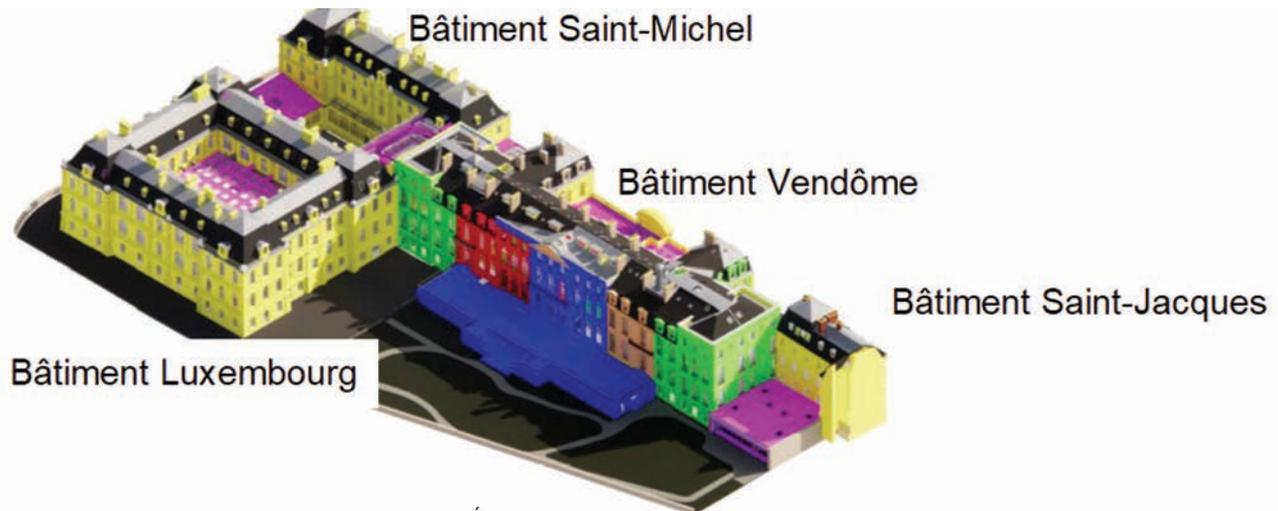


Figure 2 : Les extensions successives du site de l'École des mines.

de son rang (les parties en bleu et orange de la Figure 2 ci-dessus correspondant à l'extension réalisée en 1715, laquelle constitue l'état du bâtiment jusqu'en 1850). À la mort de celle-ci, le Duc de Chaulnes occupera les lieux, puis se succéderont plusieurs grandes familles.

Par suite, plus précisément en 1815, l'École des mines y prend ses quartiers pour y dispenser ses premiers cours, un an plus tard. « Les modifications apportées depuis l'installation de l'École des mines dans l'hôtel ont été motivées tout d'abord par la nécessité d'agrandir les bâtiments devenus trop exigus [au regard du] nombre de ses élèves ». L'hôtel fut par la suite largement modifié et agrandi par les architectes François-Alexandre Duquesney (en 1850, en vert sur la Figure 2), puis Théodore Henri Vallez (en 1860, en jaune) au XIX^e siècle. En 1860, l'élargissement de la rue d'Enfer, pour former le boulevard Saint-Michel, réduit considérablement la surface du site à l'est, obligeant la destruction d'une partie des ailes construites par Duquesney.

L'architecte Vallez a pour projet d'étendre le site de l'École par des extensions au nord comme au sud, formant dès lors une composition architecturale centrée sur l'hôtel de Vendôme. Cette composition symétrique n'a cependant pas totalement vu le jour, puisque si le projet s'est bien concrétisé au nord ; au sud, seule a été édifiée la façade donnant sur le boulevard Saint-Michel.

« Les autres modifications apportées depuis 1860 aux installations primitives de l'École ont été nécessitées par les améliorations successives des laboratoires et des collections qu'il fallait [mettre à niveau au regard] des progrès accomplis dans les sciences et l'industrie : ces aménagements font ainsi partie intégrante de l'enseignement de notre école ». C'est ainsi que des constructions complémentaires ou des réhabilitations d'ampleur ont été réalisées au XX^e siècle (parties en magenta sur la Figure 2) :

- agrandissement du laboratoire de mécanique par le biais de « l'installation de moteurs et de pompes au rez-de-chaussée, dans une construction provisoire en bois, [érigée] en bordure du boulevard Saint-Michel », dès 1911-1912. Cette construction sera remplacée en

1916-1918 par un « bâtiment de pierre, surélevé d'un étage formant une grande salle d'exercices pratiques pour la minéralogie et la géologie », qui, utilisé jusqu'en 1920, deviendra plus tard la cafétéria ;

- création de la salle de lecture de la bibliothèque en 1936, dont la conception est modulaire : « cette salle très spacieuse, munie de tables de travail facilement démontables, peut servir de lieu de réunion [pouvant accueillir] plusieurs centaines de personnes, et répond ainsi à un besoin que ne pouvaient satisfaire ni les collections ni les salles de cours à matériel fixe » ;

- utilisation de la cour centrale du bâtiment Luxembourg pour créer, entre 1937 et 1939, un laboratoire de chimie, sur la base des plans de l'architecte Vaugeois, « suivant un programme et des directives générales » du directeur de l'époque, M. Leprince-Ringuet, et intégrant « des aménagements techniques, selon les indications du Professeur Jolibois, directeur du laboratoire ». Une partie de cette extension était destinée aux élèves, l'autre aux professeurs et à leurs assistants. Ce réaménagement a été conduit dans le cadre d'un vaste plan de transformations engagé sur demande du gouvernement du Front populaire, qui avait alors décidé de lancer une opération semblable à l'actuel plan de relance, au travers des travaux réalisés pour le compte des établissements publics d'enseignement. C'est ce même laboratoire qui fut utilisé par les Allemands entre 1940 et 1944 pour procéder au développement de photographies aériennes. Ils avaient pour ce faire obscurci le plafond translucide, ce qui mécontenta le professeur de chimie, Pierre Jolibois. Le laboratoire sera lui-même remplacé en 1987 par l'amphithéâtre Poincaré (L108-L118) ;

- remplacement de verrières en 1970 pour pouvoir créer deux amphithéâtres baptisés Charpak et Schlumberger (ce dernier ayant été rénové en 2018-2019) ;

- puis, en 1972, création du laboratoire de mécanique, situé au pied du bâtiment Saint-Jacques (voir la Figure 2).

Le site a donc été pétri par deux siècles d'histoire de l'École des mines de Paris, s'ajustant à la fois à sa taille et à l'évolution de son modèle pédagogique original. Si l'École des mines a souhaité conserver cet écrin original, malgré un mouvement massif de migration des

grandes écoles vers Paris Saclay et le développement d'autres sites de l'école plus adaptés aux activités des laboratoires scientifiques contemporains, c'est aussi pour que les élèves soient dépositaires de ce long héritage, et qu'ils imaginent le futur, innovent et entreprennent, sans oublier leurs racines communes et le respect des savoirs et pratiques des anciens.

Cependant, le boulevard Saint-Michel s'efface quand commencent les murs de l'hôtel Vendôme. Site confidentiel, fermé sur lui-même, dégradé, peu adapté aux enseignements d'aujourd'hui, il nécessite un investissement impératif et crucial pour sa rénovation et lui permettre d'incarner dans sa chair de pierre les enjeux auxquels l'école prépare ses étudiants, notamment environnementaux, numériques et sociaux, et refléter son appartenance à une université de rang mondial, qu'est PSL.

La rénovation énergétique du site parisien de l'École des mines

La rénovation énergétique du site parisien de l'École des mines de Paris s'inscrit dans le cadre d'un projet plus large, appelé projet « Grand quartz », dont l'ambition est multiple : elle est à la fois de réhabiliter le site et de valoriser ainsi le patrimoine correspondant, de repenser et d'optimiser l'usage des bâtiments existants, mais aussi d'agrandir le site et de l'ouvrir sur la ville et le jardin du Luxembourg.

Soutenue par le plan de relance lancé en 2020 et englobant notamment la rénovation énergétique des bâtiments publics, la première étape de ce projet se concentre sur un programme ambitieux de rénovation énergétique des bâtiments du site afin de les inscrire dans la trajectoire de rénovation tertiaire à l'horizon 2030 (- 40 % de la consommation énergétique par rapport à celle de 2010).

Les consommations énergétiques du site sont les suivantes (année 2019) :

- chauffage CPCU (réseau de chaleur de la métropole parisienne) : 1 316 MWh/an ;
- électricité : 797 MWh/an.

Ce qui représente, pour un site d'environ 14 000 m² de surface utile brute, une consommation de référence de 151 kWh/m²/an. Une énergie finale qui en termes d'usage estimé se répartit ainsi : 62 % correspond au chauffage, 13 % aux usages de l'informatique (serveurs, bureautique et équipements spécifiques), 12 % à l'éclairage, 8 % à la ventilation et au fonctionnement des pompes, 4 % à la climatisation et production de froid industrielle, et 1 % à la production d'eau chaude sanitaire. En comparaison de la consommation moyenne en énergie finale des bâtiments du même type en France (source : OID – Baromètre 2020), les bâtiments du site de Paris affichent une surconsommation de 5 %, et même de plus de 66 % par rapport à la valeur seuil 2030 du dispositif Éco-énergie Tertiaire.

Les parois historiques n'ont pas fait l'objet de modifications depuis la construction du site. Elles sont constituées de pierre de taille, qui sont dépourvues de toute isolation. Si elles confèrent au bâtiment une forte inertie, celui-ci pâtit cependant d'une résistance thermique faible. Le pourcentage d'ouverture des façades est d'environ 35 %, avec des verrières et fenêtres très détériorées et constituées d'un simple vitrage, ce qui génère des besoins en chauffage très élevés. La résistance thermique des parties ajoutées au XX^e siècle est encore plus dégradée et est très peu efficace (verrières dotées d'un simple vitrage, isolation quasi inexistante) : ce sont de véritables passoires énergétiques (voir le Tableau 1 ci-après).

Les équipements techniques sont vétustes et n'ont pas été conçus dans un objectif d'efficacité énergétique, d'autant plus que la régulation du chauffage est quasi inexistante ; son amélioration permettra des gains énergétiques et de confort importants.

La totalité des façades étant classée à l'inventaire des monuments historiques, une isolation par l'extérieur n'est pas envisageable. Une isolation par l'intérieur est une solution limitée, présentant le risque de modifier l'équilibre hygrothermique des parois et de diminuer la résilience du bâtiment (obtenue grâce à l'importante épaisseur de ses parois) face aux chaleurs estivales. Pour cette même raison, les façades opaques des bâtiments ne sont pas le point le plus faible de l'enve-

Type de parois	Description du bâti en allant de l'extérieur vers l'intérieur	Efficacité
Murs de façade	Pierre de taille pour les parties anciennes (Rth = 0,6 m ² K/W) Béton + isolation par l'intérieur légère sur les parties récentes (1970, Rth = 2 m ² K/W)	Moyenne
Toiture terrasse	Béton + isolation légère sous étanchéité (parties récentes)	Mauvaise
Autres toitures	Combles non isolés (parties anciennes)	Mauvaise
Plancher bas sur terre-plein	Dalle sur terre-plein non isolée	Moyenne
Verrières	Simple vitrage avec menuiserie métallique d'époque (années 1920, Uw = 5 W/m ² K)	Mauvaise
Fenêtres	Simple vitrage avec menuiserie bois pour la plupart (Uw = 5 W/m ² K)	Mauvaise

Tableau 1 : Évaluation qualitative de l'isolation de l'enveloppe du bâtiment – Source : Terao 2021.

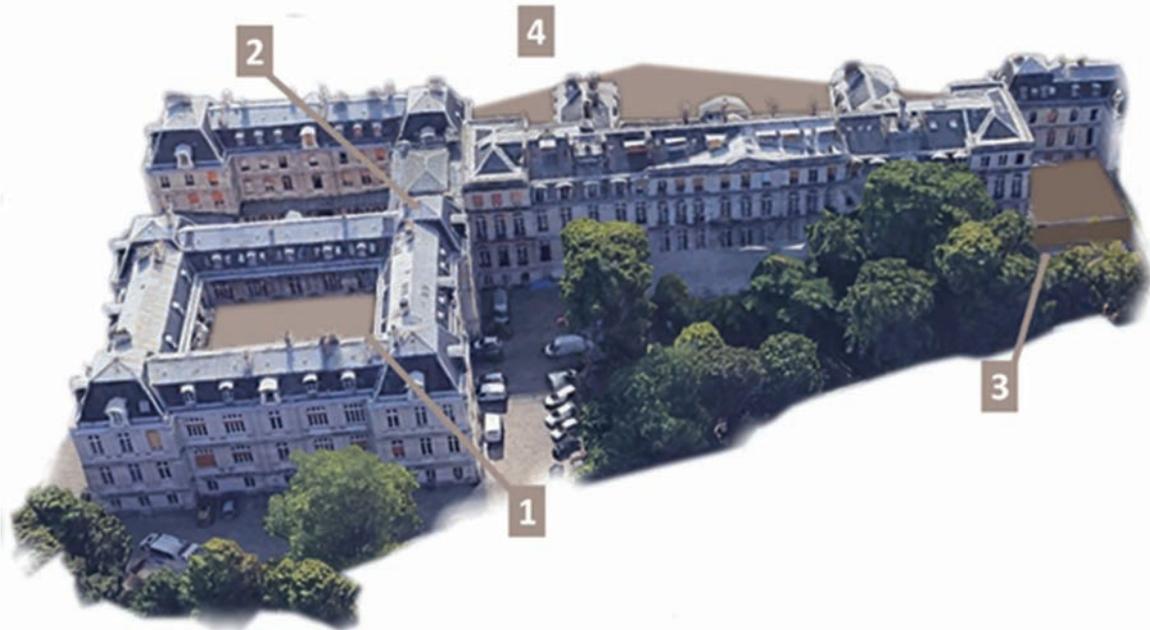


Figure 3 : Le schéma du projet de rénovation du site.

loppe. Les verrières et fenêtres sont, quant à elles, trois fois moins performantes que les fenêtres répondant aux standards actuels. Les pertes les plus élevées sont dues aux parties vitrées et à la toiture.

Compte tenu des caractéristiques précitées, le projet de rénovation énergétique du site se concentre essentiellement sur le changement des menuiseries et des vitrages (partie 4 sur le schéma du projet, voir la Figure 3 ci-dessus) – 687 ouvrants, vitrages et verrières sont concernés, avec l'installation du double vitrage dans l'ensemble des bureaux. Il concerne aussi la rénovation des parties les moins performantes énergétiquement, c'est-à-dire paradoxalement les plus récentes (amphithéâtre Poincaré (espaces L108-L118 1, partie 3 sur la Figure 3), le laboratoire mécatronique (partie 3 de cette même figure). L'espace vitré qui conduit à l'amphithéâtre, en passant sous la salle de lecture de la bibliothèque (partie 2 sur la Figure 3), sera également rénové et deviendra un espace d'accueil et de circulation avec une ouverture vers le jardin et un ascenseur qui rendra la salle de lecture, près d'un siècle après sa construction, enfin accessible aux personnes à mobilité réduite.

Dans la continuité des réfections historiques, ce projet accompagne la stratégie de développement de l'école et l'évolution de son modèle pédagogique : croissance des promotions, modularité des enseignements s'appuyant sur des exercices pratiques, réinvention du rôle de l'école dans la cité et ouverture de celle-ci à la société. Ainsi, l'aménagement du nouvel amphithéâtre (voir la Figure 4 ci-contre) doté de gradins rétractables et se composant de deux espaces qui pourront être utilisés ensemble ou indépendamment l'un de l'autre, permettra non seulement d'accueillir la totalité d'une promotion, mais aussi des conférences ouvertes au public ou des colloques de recherche. De même, dans des espaces contigus, pourront être organisés des séminaires et collations associées, ou des séances de travail collaboratives par exemple. La reconstruction du laboratoire d'électronique et le creusement d'un



Figure 4 : Aménagement du nouvel amphithéâtre.

étage en sous-sol (voir la Figure 5 ci-dessous) permettront de disposer d'espaces d'enseignement dédiés à la réalisation de projets et aux travaux pratiques ; ils viendront compléter les espaces *FabLab* qui, consacrés à la fabrication rapide de prototypes, ont été aménagés entre 2021 et le début de l'année 2022 (notamment dans l'ancien laboratoire de mécanique appelé « salles moteurs », qui accueillait jusqu'en 2021 un enseignement mythique, mais devenu obsolète, dédié au montage et au démontage des moteurs). Ainsi, le site continue de se transformer à l'image des nécessités pratiques de l'enseignement.



Figure 5 : Reconstruction du laboratoire d'électronique et creusement d'un étage en sous-sol.

Performance énergétique du site

Sur l'ensemble du site, et sans présager des performances spécifiques des espaces plus particulièrement rénovés, la performance énergétique attendue pour ce projet est estimée à 36 % (voir le Tableau 2 ci-dessous) :

Actions de performance énergétique	Économies d'énergie estimée (% du total)
Remplacement des fenêtres et verrières	9 %
Isolation des toitures, des combles et des terrasses	2 %
Régulation du chauffage (terminaux et distribution)	8 %
Installation de sondes thermostatiques sur les radiateurs	3 %
Remplacement de tous les auxiliaires de distribution	3 %
Rénovation de la sous-station CPCU	2 %
Mise en place d'une CTA double-flux	5 %
Opération de <i>relamping</i> LED + installation de détecteurs de présence	3 %
Optimisation de la régulation de l'éclairage	1 %

Tableau 2 : Performance énergétique attendue après réalisation du projet – Source : Terao, 2021.

En réalité, si elle a fait l'objet d'études et de simulations, la performance énergétique du site n'est pas précisément connue. C'est pourquoi l'école, toujours mue par sa devise « Théorie et pratique », a souhaité créer un partenariat innovant avec coEnergy, une *start-up* issue des laboratoires de l'école. L'outil CPTB (contrôle de la performance thermique des bâtiments), développé par l'entreprise, sur la base de travaux d'étudiants et chercheurs de l'école, permet de quantifier de manière robuste la performance thermique dynamique intrinsèque d'un bâtiment. Ainsi, à partir de janvier 2022 et avant le démarrage effectif des travaux, des tests CPTB ont été réalisés sur six zones des bâtiments historiques présentant des comportements thermiques distincts. Ces zones ont été préalablement identifiées à l'aide de Pléiades, un logiciel de simulation énergétique des bâtiments, dont le cœur de calcul est également développé au sein de l'école depuis les années 1990. Enfin, une nouvelle campagne de mesures sera réalisée lors de la réception des travaux qui va permettre de démontrer l'impact réel des travaux. En espérant qu'il sera à la hauteur de ce que la théorie espère !

Bibliographie

CHESNEAU G. (1931), *L'École des mines*, s. l. : Association amicale des anciens élèves de l'École nationale supérieure des mines de Paris.

VAUGEOIS L. & LEVRAT A. (1939), « Les nouveaux laboratoires de chimie à l'École nationale supérieure des mines », *La construction moderne*, 5 et 12 mars.

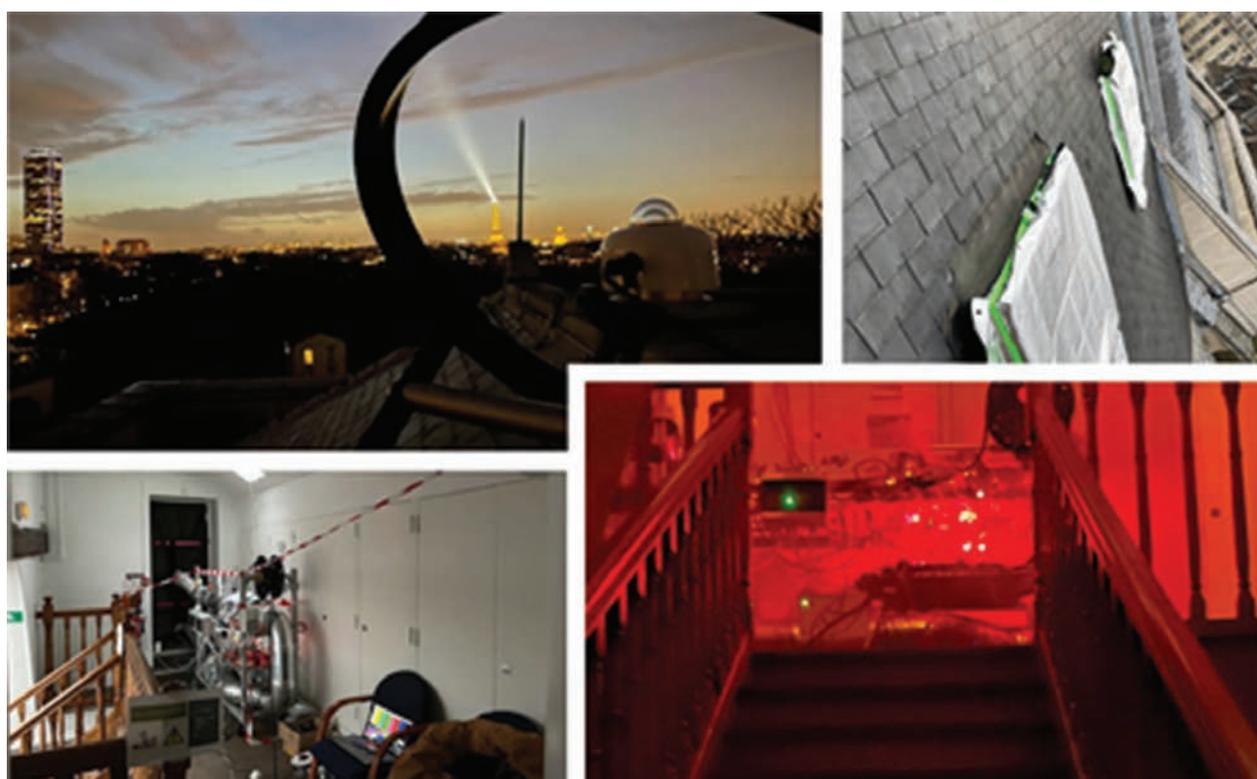


Photo © coEnergy

Figure 6 : En partant de la gauche (en haut) et dans le sens horaire : mesure des flux solaires incidents sur le toit de l'école, mise en place de protections solaires sur les ouvrants, lumière rouge des cartes électroniques en pleine nuit et réalisation de tests sur la terrasse du bâtiment Vendôme.