

Mathieu STOPPA
Énoncé théorique de Master
EPFL - Section d'Architecture

BASSE

LA CENTRALE ÉNERGÉTIQUE URBAINE,
VECTEUR DE TRANSITION PAR LE PROJET ARCHITECTURAL

TENSION



2023 Mathieu Stoppa

Ce document est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution (CC BY <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

Les contenus provenant de sources externes ne sont pas soumis à la licence CC BY et leur utilisation nécessite l'autorisation de leurs auteurs.

BASSE TENSION

LA CENTRALE ÉNERGÉTIQUE URBAINE, VECTEUR
DE TRANSITION PAR LE PROJET ARCHITECTURAL

Mathieu Stoppa

Lausanne
Janvier 2023

Énoncé théorique de master

SAR Section d'Architecture

ENAC Faculté de l'Environnement Naturel, Architectural et Construit

EPFL École Polytechnique fédérale de Lausanne

Groupe de suivi :

Prof. Emmanuel Rey (directeur pédagogique)

Elena Cogato Lanza

Martine Laprise (maître EPFL)

Table des matières

Avant-propos	8
Introduction	10

Première partie : Haute tension

Énergie en Suisse	18
Quelques définitions pour commencer	21
Le système énergétique suisse	22
RESSOURCES ET IMPORTATION : L'ENVIRONNEMENT	22
TRANSFORMATION : LES CENTRALES ÉNERGÉTIQUES	25
CONSOMMATION : LA DEMANDE PERMANENTE ET LE RENOUVELABLE ?	33
Un système gourmand et dépendant	35
Énergie et territoire	38
L'ordre électrique ou les infrastructures du capitalocène	40
L'ordre électrique suisse	45
Un macro-système vasillant	51
Énergie et architecture	54
Fin de la société préindustrielle.	
Des proto-centrales	57
Société industrielle.	
La grandeur hydraulique	63
Société de consommation I.	
L'or noir, omniprésent mais presque invisible	75
Société de consommation II.	
L'atome plutôt que le pétrole	79
Un héritage architectural entre rupture et continuité	83

Deuxième partie : Éviter le black-out

Centrales en transition	88
L'ENJEU DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE	89
INTERROGER LES PRATIQUES SPATIALES DE LA TRANSITION	90
Politique et technique.	
Un contexte à saisir	91
POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE SUISSE ET OBJECTIFS	91
LES RESSOURCES ET LES TECHNIQUES POUR LA TRANSITION	92
Territoire.	
La centrale au delà de l'objet technique	97
LE TERRITOIRE-RESSOURCE	99
ENJEUX AUTOUR DE LA VISIBILITÉ	103
IMPACT PAYSAGER ET ENVIRONNEMENTAL	103
APPROPRIATION ET GESTION DE L'ÉNERGIE	107
Architecture.	
À la recherche d'un nouveau langage de l'énergie	113
EN QUÊTE DE SYNERGIES	115
INTÉGRATION DANS UN ENVIRONNEMENT BÂTI OU NATUREL	117
L'ÉNERGIE COMME ÉLÉMENT DE PROJET	125
Etudes de cas	138
Vers de nouvelles centrales	139
La peau de la centrale comme interface entre l'énergie et le public.	143
COPENHAGUE : LA PÉNINSULE D'AMAGER, POUMON DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE	143
LA BIOMASSE COMME ÉLÉMENT CONCEPTUEL	145
L'ESPACE PUBLIC ET LA MISE EN LUMIÈRE DE L'ÉNERGIE	147
Quand un bâtiment devient une centrale énergétique participative.	153
PARIS ET SON PLAN CLIMAT	153
UN GRAND ABRI PHOTOVOLTAÏQUE	155
UNE RÉHABILITATION AUX PROGRAMMES MULTIPLES	157

Juxtaposition de programmes en milieu urbain.	161
LONDRES : DES CENTRALES INTÉGRÉES AU TISSU URBAIN	161
LA TRANSPARENCE DES PROCESSUS DE TRANSFORMATION	163
CONTEXTE URBAIN DENSE ET PROGRAMMES MULTIPLES	165

Troisième partie : Baisser la tension

Baisser la tension	172
Une nouvelle infrastructure énergétique.	174
L'agglomération lausannoise en transition	177
LAUSANNE ET SES ÉNERGIES	177
LE CAD LAUSANNOIS	179
UNE NOUVELLE CENTRALE À LAUSANNE	183
Conclusion	188
Bibliographie	192

Avant-propos

Alors que l'approvisionnement énergétique fait la une de l'actualité depuis de nombreux mois, cette thématique anime régulièrement mes pensées depuis que j'ai commencé mon master. Les réflexions et les recherches menées dans le cadre d'un atelier de projet d'architecture du paysage m'ont emmené dans ce vaste et complexe domaine qu'est l'énergie. Au cœur des débats, la transition énergétique, sur toutes les langues aujourd'hui, se base grandement sur la relocalisation des processus d'extraction et de transformation, afin d'exploiter des ressources locales et renouvelables à l'échelle temporelle de l'être humain. En conséquence, la mutation du système d'approvisionnement se matérialise dans l'espace par une décentralisation et un dénombrement d'installations de production d'électricité ou de chaleur. Une évidence m'est vite apparue : l'infrastructure énergétique, de plus en plus visible, ne peut plus se limiter à sa seule fonction de transformation et de distribution de l'énergie. Elle doit intégrer d'autres usages, servir d'autres causes et entrer en harmonie avec le paysage et le territoire qu'elle occupe. En ce sens, l'architecte dispose d'une palette de d'outils multiples, pluridisciplinaires, et d'une capacité de compréhension d'enjeux qui vont au-delà de son domaine. Ces compétences lui permettent de se saisir du cadre technique de l'infrastructure pour l'enrichir par le projet.

Alors que la transition énergétique semble enfin prendre son envol, le projet architectural semble avoir un rôle important si ce n'est majeur à jouer dans la traduction dans l'espace de ce défi sans précédent. À la quête d'un nouveau modèle de la centrale énergétique, c'est ce que cherche le présent travail.

Introduction

L'approvisionnement constant en énergie est à la base du mode de vie contemporain occidental. L'ubiquité et l'abondance apparentes de chaleur, d'électricité et de carburants ont longtemps masqué un système complexe d'extraction et de transformation des ressources qui a progressivement déconnecté les êtres humains de leur territoire et allongé les chaînes de production dont seuls les terminaux sont visibles. Les effets de cette activité humaine intense obligent à adapter les modes de vie et les systèmes qui les nourrissent. La transition énergétique, au sens d'une « *transformation de notre approvisionnement énergétique* »¹ de sources fossiles vers des sources renouvelables, est incontournable pour réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre et ralentir le réchauffement climatique.

Cette transformation nécessaire questionne l'infrastructure énergétique actuelle, qui doit entreprendre sa mue. La conversion d'énergies naturelles et renouvelables se fait sous des modalités bien différentes de l'exploitation des ressources fossiles ou nucléaires. Cela nécessite des changements dans l'infrastructure elle-même, mais aussi dans les pratiques économiques, culturelles, sociales, territoriales et spatiales. La relocalisation et la décentralisation des processus de production sont deux nouvelles cartes avec lesquels doivent savoir jouer les acteurs du territoire. Au cœur des enjeux, les centrales énergétiques, vues ici comme des équipements qui transforment une ressource pour fournir une grande quantité d'énergie utilisable, sont à la quête d'un nouveau modèle. Elles deviennent de plus en plus nombreuses, afin d'exploiter les ressources naturelles moins centralisées et plus diverses que le charbon, pétrole, le gaz ou encore les combustibles nucléaires. En ce sens, leur importance grandissante dans le paysage

1 Boulouchos et al., « Système énergétique suisse 2050 », 5.

et les milieux habités génère des conflits en termes d'usages, de visibilité, de modèle de gestion ou encore d'impact sur l'environnement. La centrale énergétique de demain doit donc savoir se rendre acceptable, voire désirable. Quel est le rôle du projet architectural dans cette quête ? Quelles sont les effets de la relocalisation dans l'espace ? La recherche effectuée mène à une hypothèse de proximité : les centrales énergétiques locales, qui seront explorées sous leurs diverses formes, sont-elles des vecteurs de transition vers une société plus en phase avec son territoire et ses ressources ? Enfin, la centrale énergétique peut-elle se situer en milieu urbain et devenir approchable, palpable, voire habitable ? La compréhension du système actuel, de l'infrastructure existante et de l'héritage architectural qu'ils ont livré, ainsi qu'un regard sur les pratiques actuelles de la transition énergétique, permettent de répondre à ces questions.

L'approche adoptée dans le cadre de ce travail permet de saisir le système d'approvisionnement énergétique dans ses multiples dimensions. La centrale énergétique ne se limite pas à un objet architectural, mais alimente un réseau bien plus vaste et porte en elle une vision d'un certain modèle de société et d'un rapport au territoire spécifique. La recherche ne se limite donc pas à l'échelle de la centrale en elle-même, mais vise à comprendre le système dans lequel elle s'inscrit. Pour cela, trois angles d'approche structurent la réflexion. Le premier est d'ordre politique et technique et pose le cadre global, immatériel, dans lequel s'inscrit la thématique de l'approvisionnement énergétique et de sa transition vers l'utilisation de ressources moins nuisibles. Les deux suivants portent sur la matérialisation du premier dans l'espace. L'un se concentre sur la dimension du territoire, au sens du rapport entre celui-ci et la société qui l'occupe. L'autre traite les objets de l'énergie en tant qu'architecture, dans leurs dimensions culturelles et matérielles. Ces trois angles accompagnent et structure le développement du travail.

Le recours au champ lexical de l'électricité pour nommer trois différentes parties cherche à illustrer le sens de la réflexion, d'une infrastructure d'approvisionnement énergétique à grande échelle vers une reconfiguration locale de la transformation et de la distribution de l'énergie. D'une « haute tension » qui caractérise le capitalisme et le capitalocène hérités du vingtième siècle à une « basse tension » plus en phase avec les ressources et les individus d'un territoire, en passant par une transition qui doit permettre la survie du système, autrement dit « d'éviter le black-out ».

La première partie, intitulée « haute tension » porte sur la compréhension du système d’approvisionnement énergétique suisse et « l’ordre électrique » qui le matérialise dans l’espace. Un premier chapitre propose une entrée par les chiffres, basés sur les statistiques de l’Office fédéral de l’énergie (OFEN) de l’année 2021. Ces données révèlent les particularités du mix énergétique suisse et ses atouts et faiblesses. Le second chapitre traduit ce système dans l’espace et permet de comprendre, grâce à des éléments théoriques, cartographiques et photographiques, comment l’infrastructure énergétique a transformé le territoire et façonné les modes de vies de la société de consommation. Un troisième chapitre se concentre sur l’histoire des centrales énergétiques, ces lieux qui alimentent l’infrastructure, et dont architecture exprime souvent un rapport particulier à l’énergie, au paysage et à l’environnement.

Les trois premiers chapitres témoignent ainsi d’un système sous « haute tension ». La seconde partie, « éviter le black-out », propose un regard sur les pratiques de la transition énergétique en Suisse et construit une grille de réflexions qui alimente l’hypothèse de relocalisation de centrales énergétiques en milieu habité, voire urbain. Les trois angles d’approche sont repris et structurent ce chapitre, pour comprendre la multiplicité des enjeux de la mutation du système énergétique d’une part au niveau technique, mais surtout, dans l’espace, pour cerner la réflexion à une échelle de plus en plus petite et l’illustrer par des exemples récents de centrales énergétiques. Trois études de cas étrangers, qui illustrent plusieurs des aspects développés, viendront enrichir cette seconde partie.

Finalement, la troisième partie conclut la recherche en « baissant la tension ». Elle ouvre vers la proposition d’un nouveau modèle de la centrale énergétique et établit les prémisses d’une exploration qui aura lieu sous la forme d’un projet dans le contexte lausannois.

Première partie.

HAUTE TENSION





1



Énergie en Suisse

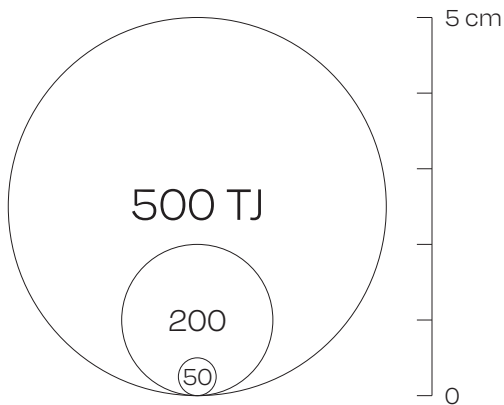
Une entrée par les chiffres

Avant de parler d'architecture, il convient de se familiariser avec le système complexe sur lequel s'est bâti notre mode de vie contemporain et qui a dessiné le territoire de la société de consommation. Ce premier chapitre cherche à rendre visible le fonctionnement du système énergétique suisse et d'exprimer les ordres de grandeur en jeu. Il a pour but, non pas de résumer l'évolution du système (chose qui sera faite indirectement au chapitre 3, illustré à travers l'évolution des centrales énergétiques et de leur architecture), mais de dresser l'état actuel d'un modèle vacillant, qui d'après bon nombre d'experts de l'énergie et du climat,² a trop tardé à amorcer sa mutation pour faire face à l'urgence climatique, retard révélé au grand jour par la situation actuelle brûlante due au contexte géopolitique notamment. Afin de saisir la complexité du système, les statistiques illustrent et accompagnent l'analyse. Sauf mention contraire, les données présentées sont les statistiques officielles de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) de l'année 2021.³

² notamment Stéphane Genoud, Marc Muller et Martine Rebetez dans les médias suisses

³ OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».

Légende des graphiques des pages suivantes



1 cm = 10 térajoule

Agents énergétiques primaires

- pétrole et produits pétroliers
- combustibles nucléaires
- gaz
- force hydraulique
- charbon
- ordures ménagères/déchets
- bois
- autres énergies renouvelables :
 - énergie solaire
 - énergie éolienne

Agents énergétiques secondaires

- produits pétroliers
- gaz naturel/biogaz
- électricité
- chaleur à distance

QUELQUES DÉFINITIONS POUR COMMENCER

A titre préliminaire, il est nécessaire de clarifier quelques concepts clés qui sont récurrents lorsque l'on parle d'énergie. Celle-ci se définit comme un flux physique qui « *quantifie le changement d'état d'un système* ». ⁴ Elle est exprimée en joules (J) selon le système international (SI). Dans le contexte de l'approvisionnement énergétique qui nous concerne, le térajoule (TJ), soit mille milliards de joules) est utilisé pour uniformiser les statistiques entre les différentes formes d'énergie. Par exemple, la quantité d'une ressource matérielle (bois, charbon, pétrole, etc.), s'exprimant généralement en litres ou tonnes, a un équivalent en joules, tout comme une force de la nature (vent, force hydraulique, etc.). Les graphiques de ce chapitre sont donc exprimés en térajoules afin de conserver cette uniformité. Cependant, une fois transformée en chaleur ou en électricité, l'unité exprimée, et qui s'applique notamment aux prix, est le kilowattheure (kWh). Un watt-heure correspond à 3600 joules. Pour donner un ordre de grandeur, la consommation moyenne annuelle d'un ménage suisse avoisine les 5000 kWh.

Bien qu'invisible, l'énergie est omniprésente. Elle n'apparaît ni ne disparaît jamais, mais se transforme. Pour cette raison, le terme de « production » d'énergie, souvent utilisé, signifie plutôt « transformation » ou « conversion ». A ce titre, les centrales énergétiques sont des « convertisseurs », utilisant des ressources (fossiles, nucléaires, renouvelables) contenant de l'énergie pour la convertir en une forme utilisable (chaleur, électricité, carburant).

L'énergie ne doit pas être confondue avec la puissance, exprimée en watts (W), équivalent à un joule par seconde. La puissance d'un convertisseur est sa capacité à transformer de l'énergie. Si on la multiplie par un temps donné, on obtient une quantité d'énergie. Par exemple, l'éolienne de Dorénaz (VS), dans la vallée du Rhône, a une puissance de 2000kW. Pendant l'année 2021, elle a produit plus de quatre millions de kilowattheures, ce qui signifie qu'elle a tourné pendant l'équivalent de 2100 heures de vent. Elle a ainsi fourni l'équivalent de la consommation de 840 ménages sur une année. ⁵

⁴ Jancovici, Blain, et Sapin, *Le monde sans fin*, 18.

⁵ Estimation d'après géodonnées OFEN, swisstopo

LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE SUISSE

Le système énergétique se compose d'une multitude d'étapes de conversion et se base sur des ressources variées, illustrées par les graphiques des pages suivantes. Les sources primaires d'énergies, après avoir été converties en sources secondaires, sont distribuées via un réseau ou stockées, jusqu'à être consommées sous forme d'énergie utile dans les ménages, les industries, les services et les transports.

RESSOURCES ET IMPORTATION : L'ENVIRONNEMENT

La Suisse base son approvisionnement sur une multitude de ressources extraites de l'environnement (aussi appelés « agents énergétiques primaires »). Cependant, malgré cette diversité, de grandes disparités apparaissent, mettant en avant une large dépendance envers certaines ressources. Ainsi, le pétrole et ses dérivés représentent près du tiers du mix énergétique du pays. Le gaz et les combustibles nucléaires combinés avoisinent les 30%. Près des trois quarts des agents énergétiques sont importés, la plupart étant des agents fossiles ou, dans le cas où ils n'émettent pas de dioxyde de carbone, produisent des déchets radioactifs.

En revanche, le quart du mix est composé d'agents indigènes. Le sous-sol suisse étant relativement pauvre en ressources (hydrocarbures, uranium ou charbon),⁶ c'est la force hydraulique qui représente un véritable pilier historique de l'approvisionnement énergétique du pays, complété par la biomasse (bois) et plus récemment par la valorisation des ordures et déchets ainsi que les nouvelles énergies renouvelables. On constate dès lors que les ressources indigènes sont donc entièrement renouvelables à l'exception d'une part des déchets et ordures !

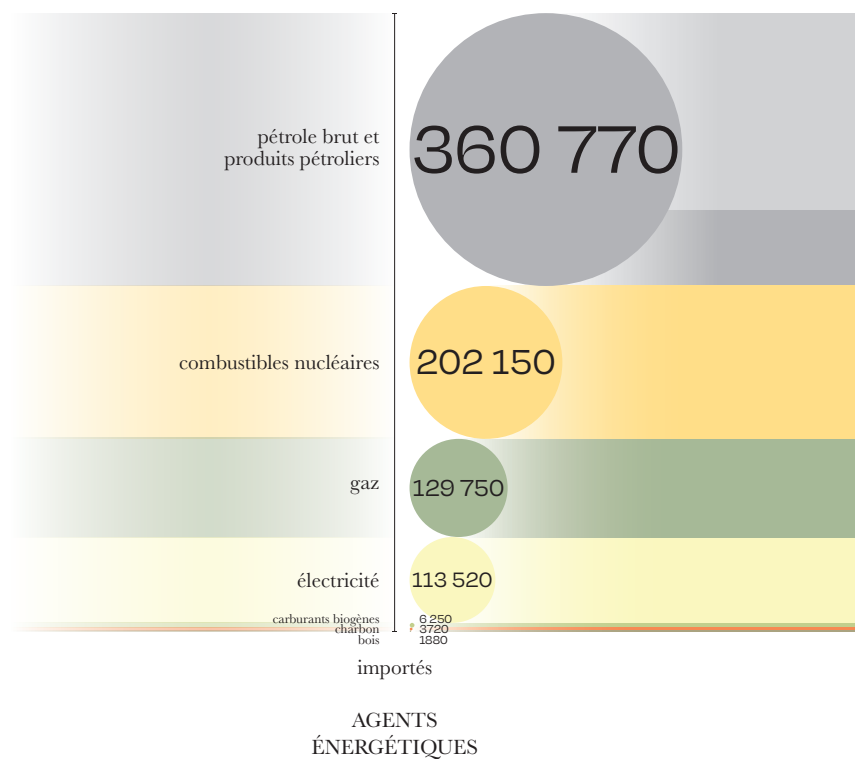
Les matières premières fossiles et combustibles présentent l'avantage d'avoir une forte concentration d'énergie, ce qui leur donne un avantage important face aux ressources renouvelables et naturelles, qui subissent plus fortement la loi de l'entropie, telle que définie par Holmgren,⁷ qui veut que l'énergie, partant d'un foyer concentré, a tendance à se diluer et à se disperser, pour finalement disparaître complètement en se transformant.

6 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé ».

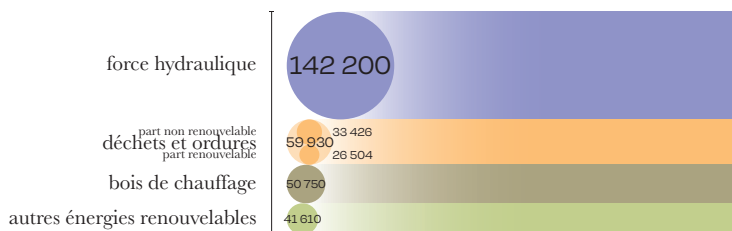
7 Holmgren, Permaculture.

Agents énergétiques primaires importés

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».



indigènes

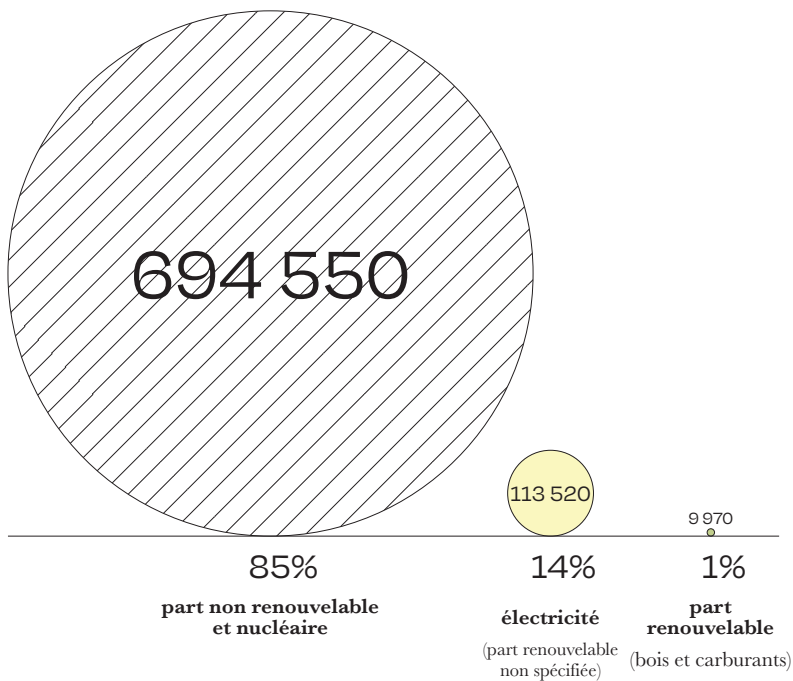


Agents énergétiques primaires indigènes

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».

Comparaison des parts renouvelables en haut, agents importés, en bas, agents indigènes

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».



TRANSFORMATION : LES CENTRALES ÉNERGÉTIQUES

Ces ressources primaires sont amenées à être transformées par des convertisseurs, afin d'obtenir des agents énergétiques dits « secondaires », qui pourront être distribués dans le réseau. Tout processus de conversion génère des pertes, plus ou moins importantes. Ce sont ces lieux de transformation qui seront appelés « centrales énergétiques » par la suite et cristallisent l'enjeu de ce travail : il s'agit de constructions, de bâtiments ou d'ensemble de construction ou de bâtiments dont le but premier est de transformer des ressources pour délivrer une quantité d'énergie conséquente dans un réseau, au-delà de la centrale elle-même. Ainsi, la centrale énergétique se positionne comme un élément d'un système plus grand, une étape parmi d'autres entre l'extraction d'une ressource primaire de l'environnement et la consommation d'énergie sous forme utile. Elle est intrinsèquement liée et interdépendante du reste de l'infrastructure énergétique. La compréhension d'une centrale, de ses composants techniques, matériels, voire culturels et de son implantation dans le territoire réside aussi dans une vision plus large.

On peut aisément classer ces convertisseurs par type de ressource utilisée, ceux-ci étant très généralement conçus pour transformer un agent énergétique primaire en une, voire plusieurs, formes d'énergie. Le pilier de l'approvisionnement se constitue de lieux de transformation très performants (notamment ceux faisant usage d'agents fossiles, disponibles en très faible quantité localement) et condensés, alors que d'autres exploitent des ressources plus locales mais leur rendement est moindre, leur taille est réduite et sont répartis de manière plus homogène sur le territoire. Par ordre décroissant de quantité d'agents énergétiques utilisés, on identifie ci-après les principaux types de centrales. Si leurs spécificités architecturales, dans un cadre historique, seront développées au chapitre 3, il convient ici d'évoquer brièvement les ordres de grandeur en jeu et les particularités de chaque technologie.

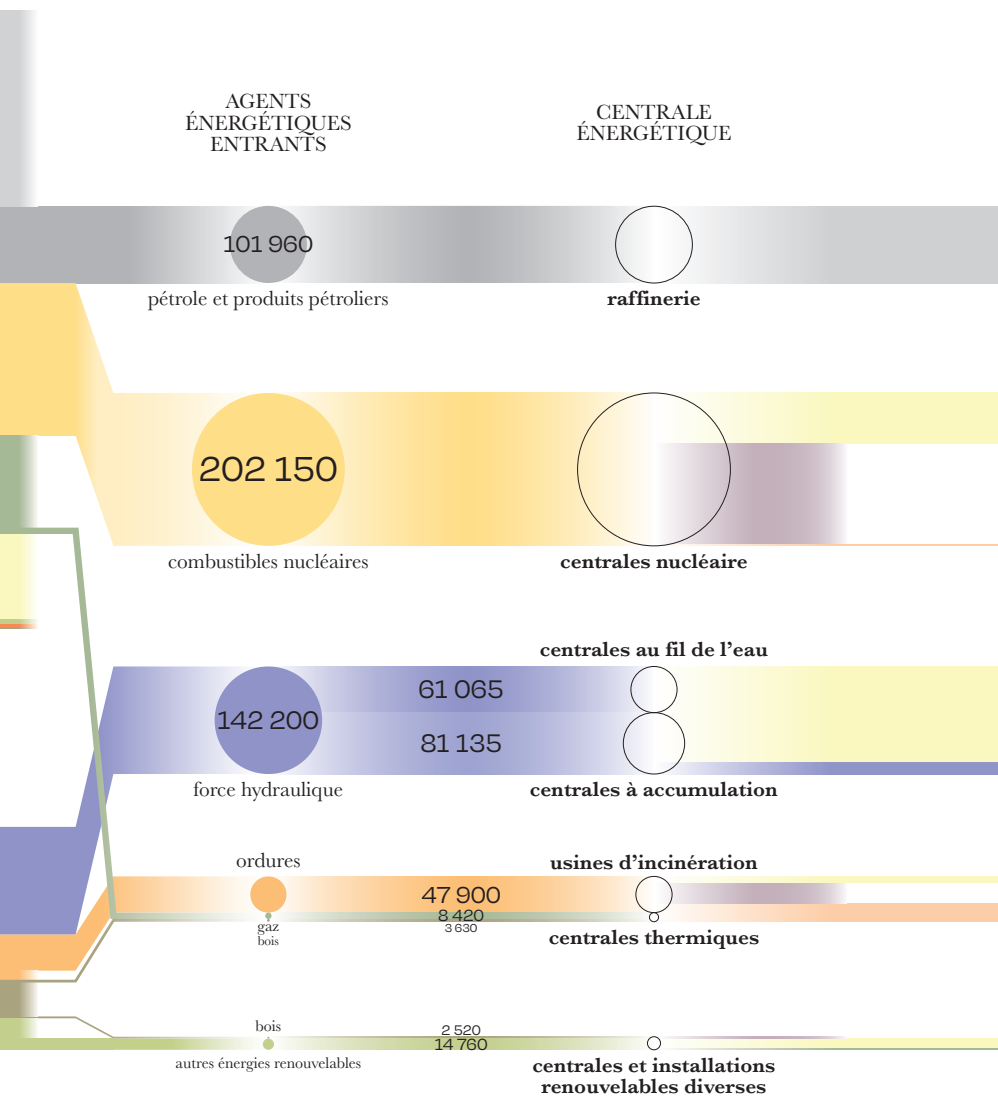
Centrales nucléaires

La Suisse compte aujourd'hui 3 centrales nucléaires sur son territoire, après la mise hors service définitive de celle de Mühleberg. Elles convertissent des combustibles nucléaires à base d'uranium enrichi, acheté sur le marché mondial⁸ en électricité, qui a la particularité d'être décarbonée. Malgré leur faible nombre, elles composent à elles seules

8 Swissnuclear, « La matière première uranium ».

La transformation d'énergie en Suisse, ou le travail des centrales énergétiques

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».



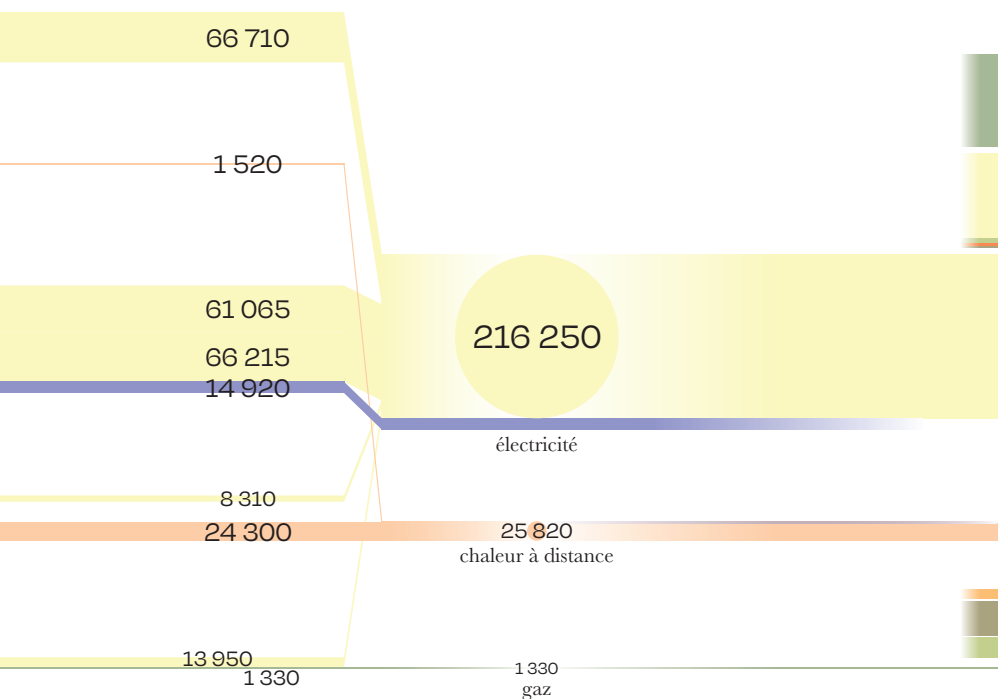
Agents énergétiques secondaires issus de des centrales énergétiques suisses

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».

AGENTS ÉNERGÉTIQUES SORTANTS

101 540

produits pétroliers





La raffinerie de Cressier (NE)

près de 30% du mix électrique suisse en 2021. Elles équilibrent la production annuelle d'électricité grâce à leur flexibilité, car le procédé de combustion d'agents nucléaires peut se faire en tout temps et à toute heure. Leur activité est la plus importante dans les mois d'hiver et au début du printemps, lorsque la production hydroélectrique est au plus bas. En outre, une partie de la chaleur de la combustion dans les centrales de Gösgen et Beznau est redistribuée dans un réseau régional de chauffage à distance.⁹

Raffinerie

Le pétrole peut compter sur le même principal avantage que l'énergie nucléaire : son rendement très haut. Avec une faible quantité de matière (autrement dit une forte concentration d'énergie), on peut produire une grande quantité d'énergie utile. La désormais unique raffinerie de Suisse à Cressier – celle de Collombey ayant cessé son activité en 2015 – traite un peu moins d'un tiers des produits pétroliers consommés en Suisse, en convertissant du pétrole brut importé en divers huiles de chauffages et carburants.

Barrages à accumulation

Contrairement aux centrales nucléaires et autre raffinerie, les barrages à accumulation sont des centrales exploitant directement les forces de la nature, en les convertissant en énergie utilisable. Elles captent l'eau des bassins versants des régions montagneuses, en particulier alpines, profitant de la topographie du paysage suisse pour retenir l'eau issue de la fonte des neiges et des précipitations. Par gravité, l'énergie générée par la pression de l'eau est convertie en électricité. Il s'agit d'une précieuse réserve d'énergie, qui prend la forme de lacs artificiels et permet d'adapter la production selon la variation des conditions saisonnières et climatiques.

Centrales au fil de l'eau

Cumulées aux barrages, les centrales au fil de l'eau sont le véritable pilier historique de l'approvisionnement énergétique suisse, représentant plus de 60% de la production d'électricité en 2021. Comme leur nom l'indique, elles se placent le long des cours d'eau et utilisent la force du courant pour générer de l'électricité. La production électrique de ces centrales, contrairement aux barrages, dépend directement des phénomènes naturels. Un débit d'eau faible baisse le rendement alors que lors d'un débit supérieur à la capacité d'absorption de la centrale,

9 OFEN, « Statistique suisse de l'électricité 2021 ».



L'usine d'incinération des ordures ménagères de Monthey (SATOM)

l'excédent ne peut être valorisé et passe par-dessus le barrage.¹⁰ Ces centrales sont réparties sur l'ensemble du territoire, où le débit des rivières est suffisamment élevé pour générer du courant. Le chapitre 3 évoque notamment l'architecture de ces très nombreux édifices constituant un véritable patrimoine.

Centrales d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) et autres centrales thermiques

Ces installations utilisent des combustibles divers pour générer de la chaleur, éventuellement couplée à une production d'électricité. Une large part de cette production est issue de la valorisation de la chaleur issue de la combustion des ordures ménagères dans les centrales d'incinération (UIOM), qui désormais récupèrent ces excédents plutôt que de les laisser s'échapper dans l'environnement. D'autres installations, généralement plus petites, brûlent du gaz ou du bois pour alimenter le réseau électrique ainsi que systèmes locaux de chauffages à distance, dont quelques exemples intéressants par leurs qualités programmatique, matérielle ou conceptuelle seront développés au chapitre 4.

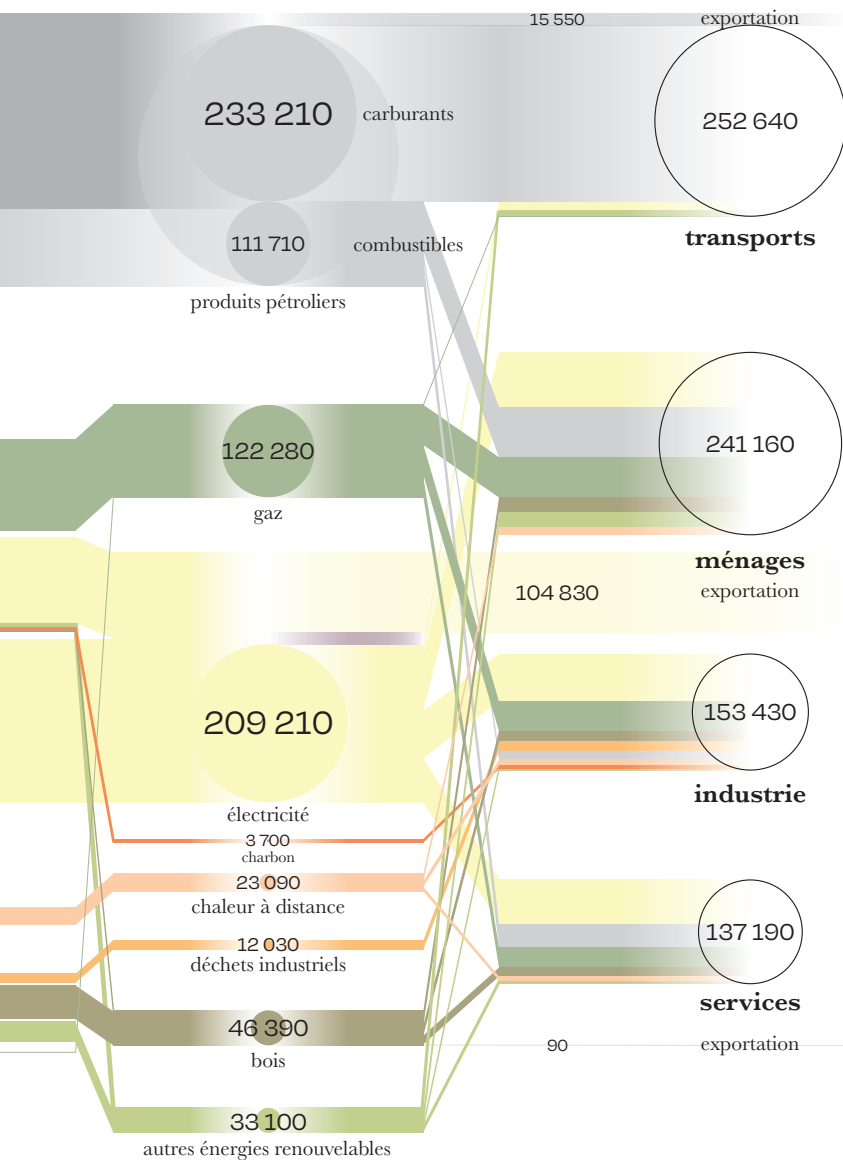
Autres centrales et installations renouvelables et autoproduction

En plus de la force hydraulique et du bois, d'autres sources renouvelables, dites nouvelles énergies renouvelables (rayonnement du soleil, vent, chaleur de la terre), occupent aujourd'hui une portion encore négligeable, mais tout de même grandissante, dans le mix énergétique. Les convertisseurs de ces nouvelles énergies seront également présentés plus en détail au chapitre 4.

¹⁰ OFEN, 19.

Consommation finale d'agents énergétiques en Suisse

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».



DISTRIBUTION ET STOCKAGE : LE RÉSEAU

Les agents secondaires sont distribués dans les différents secteurs de la société, qu'ils soient sous forme d'électricité, de chaleur ou de combustibles. Le transport de ces agents, des centrales vers les lieux de consommation, se matérialise par des réseaux, plus ou moins visibles, d'électricité, de chaleur, de gaz et autres carburants, par des sites de stockage notamment d'électricité, d'hydrocarbures ainsi que par des terminaux tels que stations-services, bornes de recharge, jusqu'aux prises électriques. C'est ce système réticulaire qui a permis le développement de notre société moderne. L'impact spatial et territorial de cette infrastructure, au sens entendu par Picon comme un « *objet ou un système technique de grande ampleur destiné à servir de support à certaines activités* »,¹¹ sera développé au chapitre 2.

CONSOMMATION : LA DEMANDE PERMANENTE

Le système énergétique est basé sur la demande. L'énergie est délivrée selon les besoins des consommatrices et consommateurs. Ainsi, l'énergie est disponible à tout moment et en apparence de manière illimitée, donnant l'illusion d'une infinité et d'une ubiquité de la ressource. Dans une société de consommation, les combustibles fossiles (produits pétroliers et gaz) et nucléaires rendent possible un approvisionnement constant en carburant, chaleur et électricité. Un manque éventuel est compensé par les importations et le surplus est exporté.

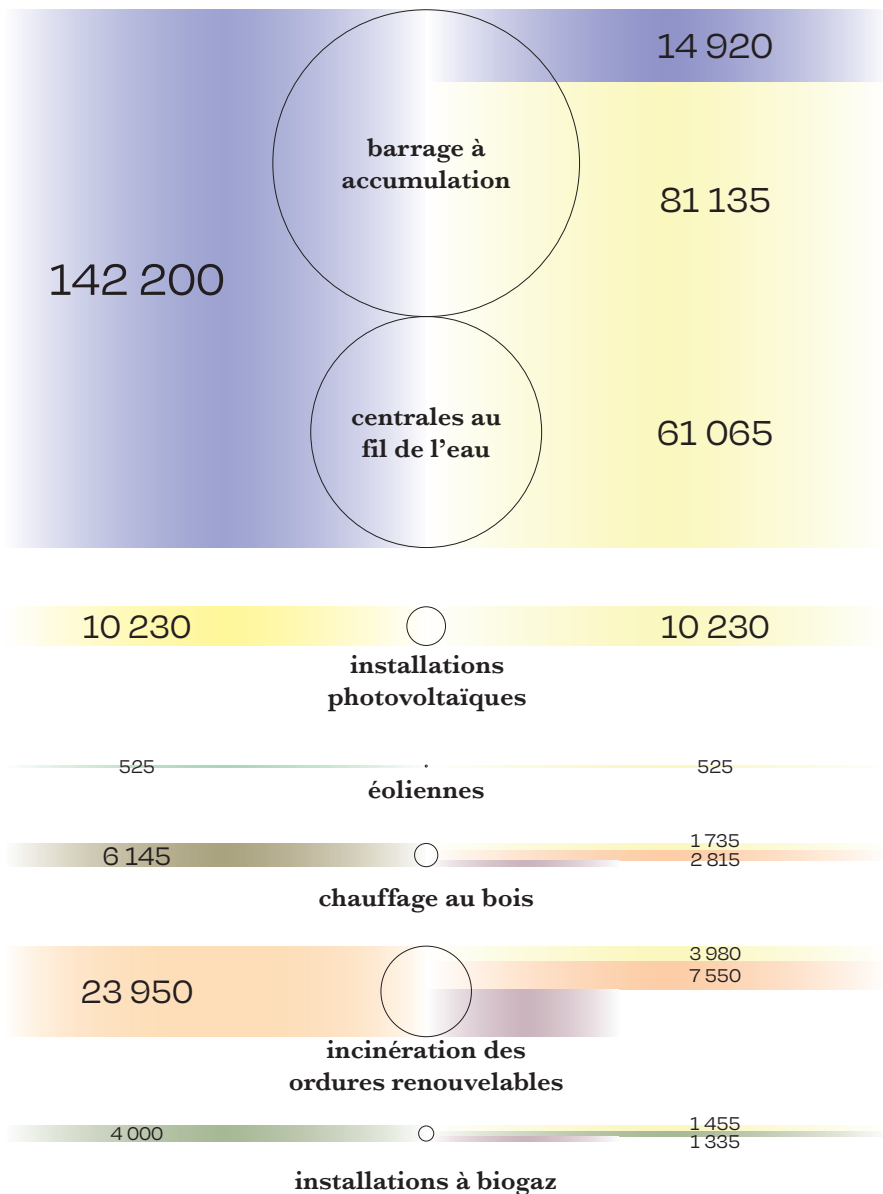
ET LE RENOUVELABLE ?

Les sources d'énergie renouvelables sont presque entièrement converties en électricité. L'hydroélectrique occupe naturellement une place considérable dans ce mix. Le photovoltaïque et le vent en poupe depuis quelques années. Quant aux éoliennes, leur production d'électricité est presque anecdotique et progresse lentement à cause des procédures laborieuses pour la création de nouveaux parcs. Les centrales thermiques, utilisant le bois ou valorisant les ordures ménagères couplent la production de chaleur à distance et d'électricité. Le potentiel de ces différentes sources d'énergie ainsi que leurs effets dans l'espace seront approfondis au chapitre 4.

¹¹ Picon, « Infrastructure et imaginaires Une lecture alternative du changement technique », 51.

La transformation d'énergies renouvelables en Suisse

Source : OFEN, « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ».



UN SYSTÈME GOURMAND ET DÉPENDANT

Les statistiques parlent d'elles-mêmes. La Suisse dépend largement des importations, pour la plupart d'agents primaires ou secondaires fossiles ou nucléaires, des ressources déconnectées du territoire. Elle vit au-delà de ses moyens et se repose sur les pays voisins pour garantir son approvisionnement. Cela se traduit par une vulnérabilité face aux crises et aux pénuries. Pour une meilleure souveraineté, une mutation du système est nécessaire. Les effets dans l'espace de cette transformation, en lien avec la stratégie énergétique de la Confédération suisse, sont développés plus loin. La production d'énergie devant être relocalisée, de nouveaux convertisseurs voient le jour dans le territoire, sous la forme de centrales énergétiques. La matérialisation de ces infrastructures est donc un enjeu spatial, territorial et architectural, auquel le travail veut s'attaquer. Entre rupture et continuité, ce système doit être capable d'éliminer ses éléments devenus indésirables (fossiles et nucléaires), tout en s'appuyant sur d'autres piliers, existants (hydroélectricité) ou en développement (nouvelles énergies renouvelables). Se réinventer sans tout jeter, tel est le défi en cours de réalisation, auquel l'architecte pourrait contribuer.





2



Énergie et territoire

*Comment l'infrastructure
énergétique façonne
l'environnement et la
société de consommation*

Comment le système énergétique décrit au chapitre précédent se traduit-il dans l'espace ? Quels effets a-t-il dans le territoire ? La suite cherche à comprendre et illustrer les pratiques spatiales qui ont accompagné le déploiement des diverses infrastructures énergétiques au cours du vingtième siècle, qui rendent possible le mode de vie contemporain et le confort que nous connaissons. Si le chapitre 3 portera plus particulièrement sur les centrales en tant qu'architecture, celui-ci place ces installations dans un système plus large, sans qui elles n'auraient pas lieu d'être et auquel elles sont indispensables. On s'intéresse ici à l'infrastructure énergétique dans son ensemble, définie par Fanny Lopez comme une « *infrastructure matérielle qui permet la production, le transport et le stockage de différentes formes d'énergies (centrales et réseaux électriques, oléoducs, gazoducs). C'est l'artefact qui transforme et canalise des éléments de l'environnement (eau, air, énergie, ressource) en flux, fluide ou matière consommables. L'infrastructure est le cœur battant du territoire qui se transforme. Leur échelle, leur architecture et leur intégration raconte un rapport spécifique entre le territoire et ses ressources* ». ¹² Cette définition met en évidence le rôle l'infrastructure dédiée à l'énergie comme l'un des organes vitaux du système et du territoire que l'on habite. Les ressources, qui alimentent cet organe, apparaissent également comme un élément déterminant. Cet ouvrage constitue la base de ce chapitre et, de manière plus large, accompagne la réflexion menée au long de ce travail. Ce raisonnement commence donc par une approche plus globale, qui permet de comprendre le contexte dans lequel s'inscrivent les centrales et de faire apparaître l'idéologie d'un système basé sur des ressources énergétiques provenant d'autres territoires et apparemment abondantes dans le but d'assouvir la société de consommation dans laquelle nous vivons.

¹² Lopez, L'ordre électrique, 91.

L'ORDRE ÉLECTRIQUE OU LES INFRASTRUCTURES DU CAPITALOCÈNE

La quantité disponible croissante des ressources en énergie est à la base de l'évolution des sociétés. La mise en place de réseaux de transport d'énergie a rendu possible un fort accroissement de la consommation, avec ou sans la présence de ressources à proximité. Les innovations techniques permettent de passer d'une dépendance locale limitant l'utilisation d'énergie – et donc le développement des activités humaine – à une apparente liberté toujours plus grande et une disponibilité aujourd'hui permanente et durablement abordable de chaleur, de carburants et d'électricité. Cette apparente ubiquité abondante crée un décalage entre les processus de production et les consommateurs et consommatrices. Les prix très avantageux privilégient le transport des biens plutôt que l'exploitation locale et rend vivable des territoires autrefois inhabitables. Ce constat n'est pas valable uniquement pour l'énergie, mais c'est bien grâce à la découverte de nouveaux agents et de nouvelles techniques pour leur exploitation que le mode de vie moderne s'est développé au cours du vingtième siècle, des modes de transport individuels au zonage et au mitage du territoire, en passant par des biens de consommation d'une provenance toujours plus éloignée. Les territoires utilisent plus d'énergie que leur capacité bio-productive et se rendent dépendants de ressources externes, faisant largement dépasser leur empreinte écologique au-delà de leurs limites géographiques.¹³ Lopez avance la notion de capitalocène. Au-delà de l'anthropocène, concept développé par Paul Crutzen, identifiant une nouvelle ère géologique caractérisée par l'impact des activités humaines sur l'environnement, l'idée de capitalocène précise que c'est le capitalisme qui est responsable de cette destruction, rendue possible par le charbon puis le pétrole. C'est une prise de position contre l'âge d'or des Trentes Glorieuses et son économie basée sur les énergies fossiles.¹⁴ L'exploitation capitaliste des ressources carbonées répond à une logique d'extractivisme et de domination des humains sur la nature, à laquelle l'infrastructure énergétique du vingtième siècle contribue.

13 Lopez, 27.

14 « Anthropocène ou capitalocène ? »

Dans *L'ordre électrique*, Fanny Lopez montre comment déploiement de systèmes techniques à très grande échelle renforce le capitalocène. Ces macro-systèmes techniques, (en anglais large technical systems ou LTS), contribuent au développement d'un urbanisme « LTS », qui invisibilise le rapport aux ressources et à l'énergie.¹⁵ Les réseaux sont enfouis, dissimulés et les lieux de productions sont éloignés. Ils contribuent au clivage entre ville et campagne et accentue le dualisme entre nature et culture. Le gigantisme de ces infrastructures va « *figer dans les temps et les territoires [...] l'imaginaire de l'ordre électrique* ». ¹⁶ Ces réseaux « invisibles » sont théorisés dans les utopies des groupes radicaux comme Archizoom, Archigram et le Superstudio avec leur Supersurface, un plancher équipé continu et uniforme. Ils traduisent un tel rapport à une énergie disponible partout et en tout temps que l'architecture peut se dématérialiser et devient inutile. Ces projets sont dessinés dans une période d'abondance énergétique, de manière telle que seule la surface est dessinée, l'infrastructure en dessous ne faisant pas partie du projet.¹⁷

L'infrastructure énergétique soutient et développe donc un système capitalocène, basé sur l'extraction profonde des ressources de la nature, transportées et transformées au moyen d'interventions gigantesques. Ses effets territoriaux se matérialisent de manière centralisées autours de convertisseurs géant, à partir desquels se développent de vastes réseaux dont restent visibles uniquement les lignes de transport d'électricité, perçant les paysages avant d'être enterrées.

15 Lopez, *L'ordre électrique*, 11.

16 Lopez, 41.

17 Rahm, *Histoire naturelle de l'architecture*, 262-63. Lopez, *L'ordre électrique*, 24-28.



Convergence des lignes électriques sur le site de l'importante usine hydroélectrique de Mühleberg (BE).

Le pétrole transforme le paysage de l'Entre-deux-Lacs (NE)





Le paysage de l'énergie dans le Chablais, entre lignes à haute tension et réservoirs à hydrocarbures.



L'infrastructure énergétique imposante de la campagne de la Thielle (NE).

La Suisse n'échappe pas à l'ordre électrique, qui l'a façonnée au cours du siècle dernier. Les lignes électriques à moyenne, haute et très haute tension sont visibles à peu près partout dans le territoire et leurs pylônes rythment le paysage rural. Ils transportent l'électricité depuis les centrales lointaines vers les villes, s'effaçant avant celle-ci, rattrapés par une sous-station qui baisse la tension et enfouit le courant sous terre, bien à l'abri des yeux des citadines et citadins. Les réseaux sont rendus invisibles, l'énergie ressort timidement par les petites prises électriques dans les logements, bureaux et autres espaces d'activités des villes et villages suisses.

Dès les années 1890, les développements techniques permettent d'élever la tension du courant et, par conséquent, limiter les pertes de transport et augmenter les distances. Des centrales hydroélectriques peuvent être construites loin des zones d'habitation, où le potentiel hydraulique bien plus important est renvoyé sous forme électrique vers les lointains consommateurs et consommatrices.¹⁸ De nouveaux moyens de transports, comme le tramway, qui transforment l'image des villes et les modes de vie, apparaissent grâce à cette plus grande disponibilité de l'électricité. La fameuse *Ronde annuelle des marteaux-piqueurs ou les Mutations d'un paysage*, cette série de sept planches réalisées par l'illustrateur suisse Jörg Müller, montre l'évolution d'un paysage iconique au cours des chantiers du vingtième siècle et la transformation des modes de vie qui vont avec. Par l'accroissement des distances entre les centrales électriques et les consommatrices et consommateurs, les lignes à haute tension ainsi que la surveillance centralisée des réseaux gagnent en importance.¹⁹ La connexion du réseau avec l'Allemagne et la France dès 1958 agrandit un peu plus le macro-système.

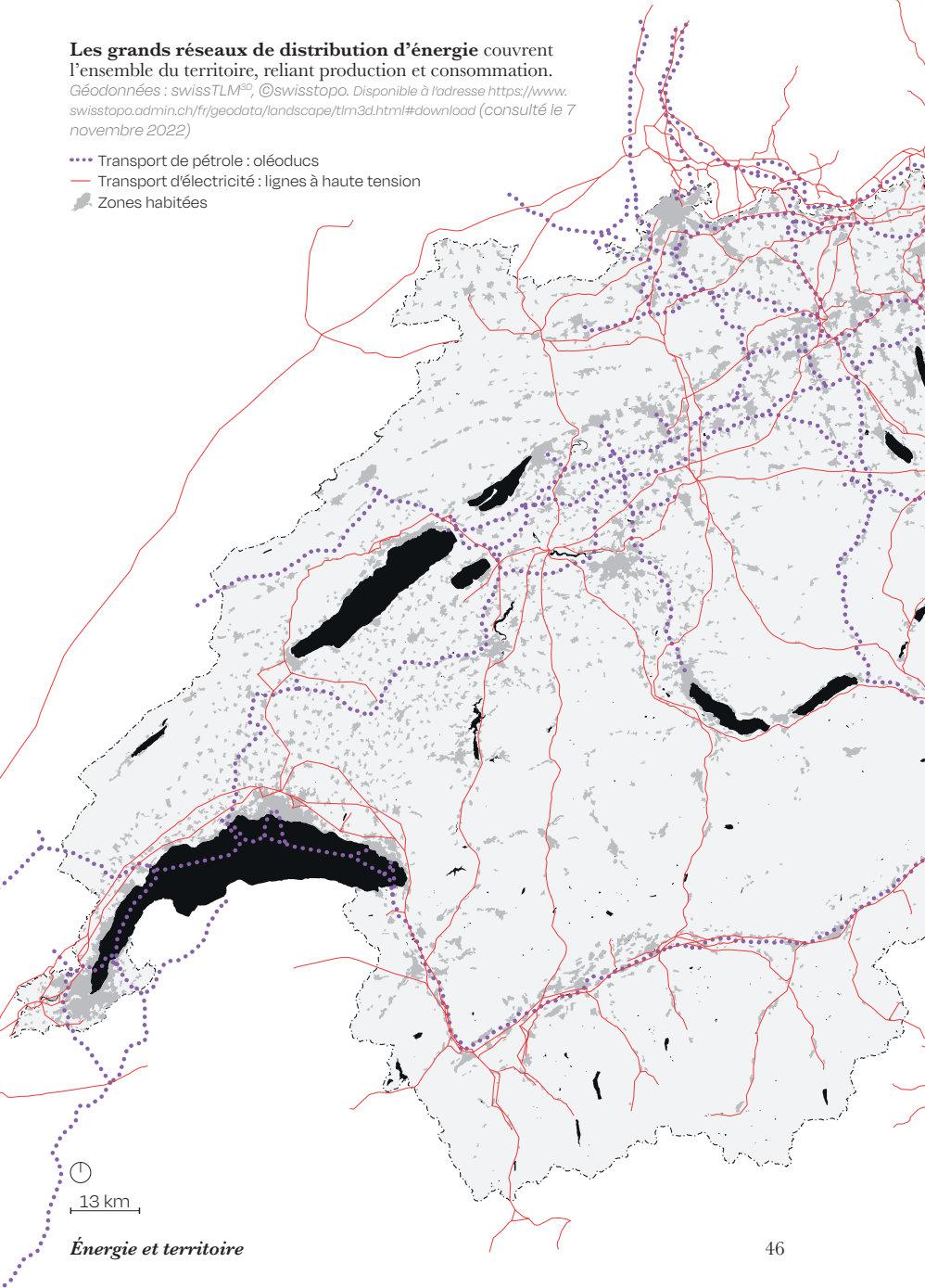
18 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé », 241.

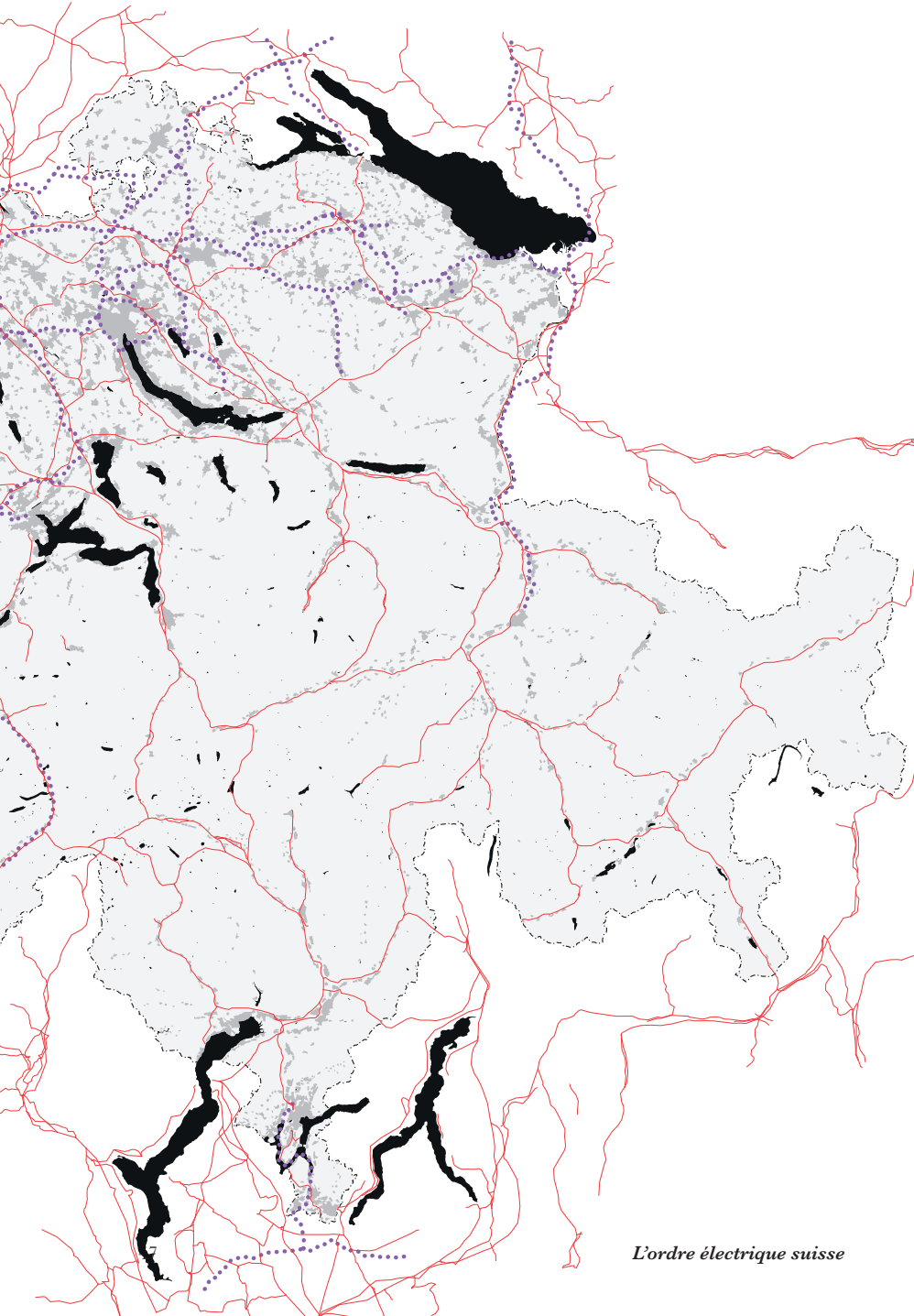
19 BKW, « L'évolution du système énergétique suisse ».

Les grands réseaux de distribution d'énergie couvrent l'ensemble du territoire, reliant production et consommation.

Géodonnées : swissTLM^{2D}, @swisstopo. Disponible à l'adresse <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/tlm3d.html#download> (consulté le 7 novembre 2022)

- Transport de pétrole : oléoducs
- Transport d'électricité : lignes à haute tension
- Zones habitées

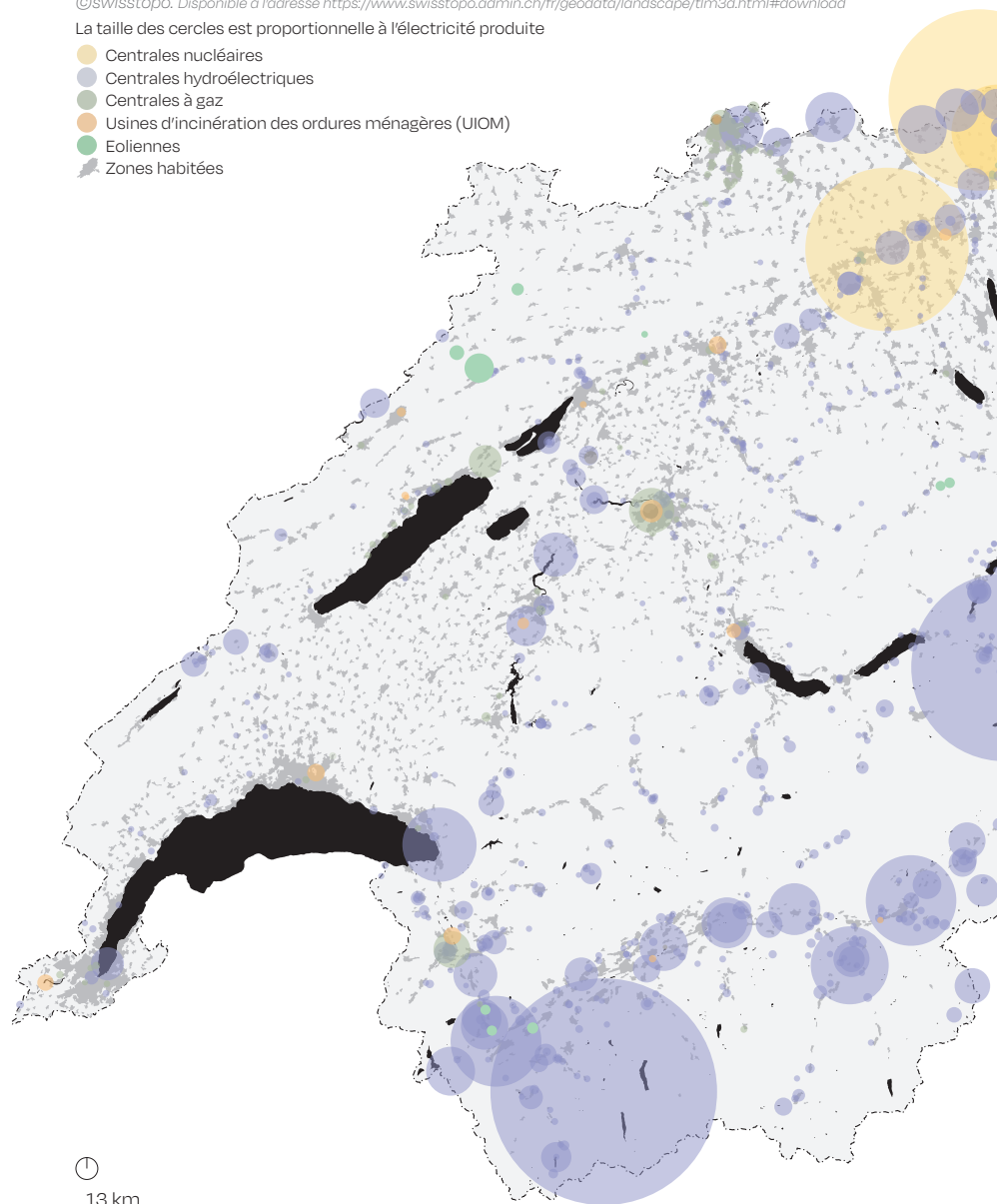




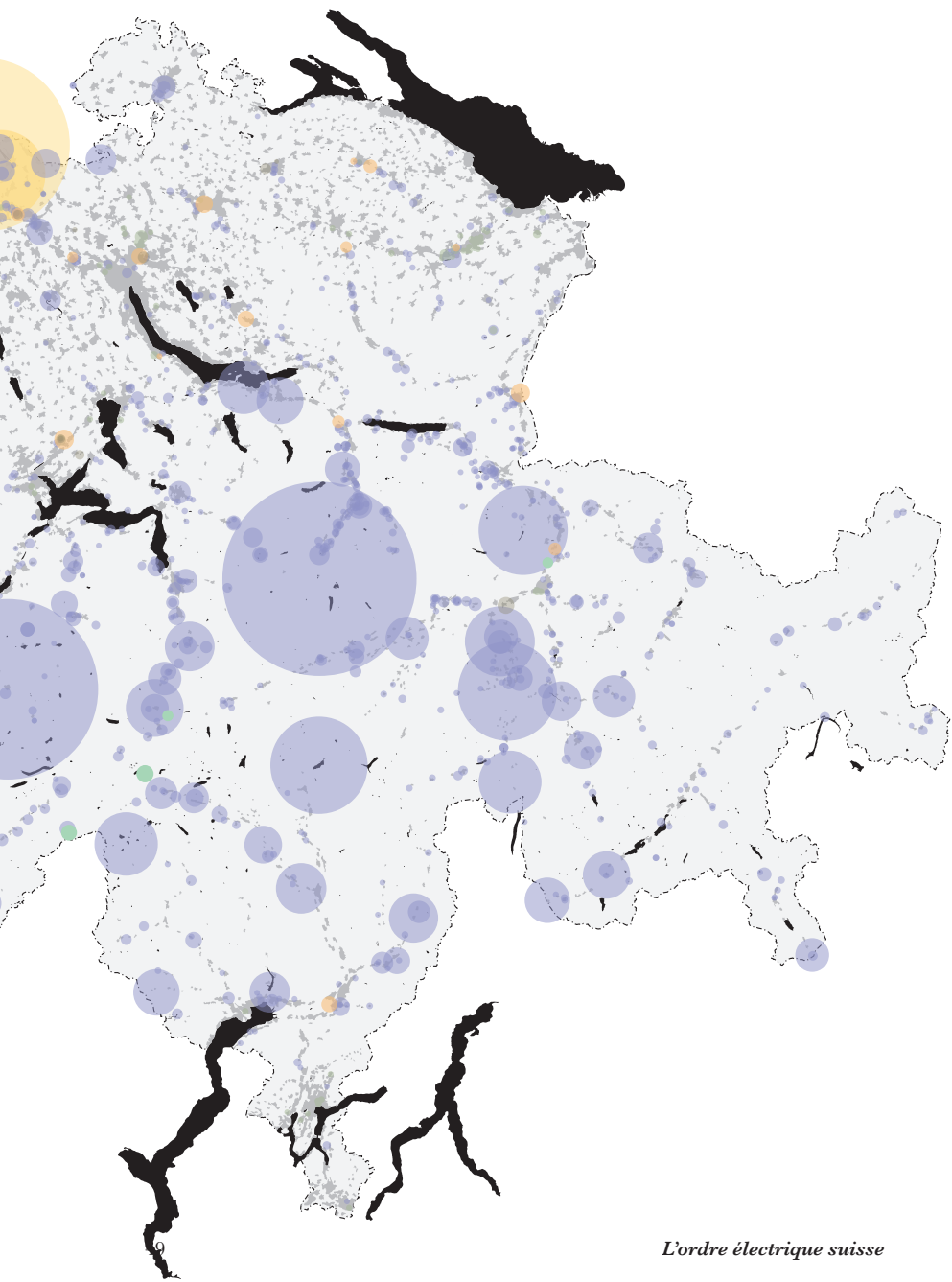
Les principales centrales électriques. Les plus importantes sont les usines hydroélectriques, souvent loin des lieux de consommation. Géodonnées : swissTLM[®], ©swisstopo. Disponible à l'adresse <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/tlm3d.html#download>

La taille des cercles est proportionnelle à l'électricité produite

- Centrales nucléaires
- Centrales hydroélectriques
- Centrales à gaz
- Usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM)
- Eoliennes
- Zones habitées



⊙
13 km



Les grands barrages renforcent l'ordre électrique, véritables mastodontes dans la montagne, objets techniques contrôlant dominant la nature. Leur emprise s'étend souvent au-delà du lac de retenue lui-même, avec une succession d'installations coordonnées au sein du même bassin versant. Ils symbolisent la puissance des fournisseurs d'électricité.

La réalisation d'oléoducs dans les années 1960 éloigne un plus encore les limites de la provenance de l'énergie. Une liaison transalpine relie le port de Gênes, où s'amarrent les pétroliers, à la raffinerie de Colombey. Cette infrastructure pétrolière modifie profondément le paysage du Chablais. Le site de la raffinerie est relié à la centrale thermique de Chavalon, qui brûle une part des combustibles raffinés pour produire de l'électricité, dont l'excédent est pompé depuis le Léman vers le lac artificiel de l'Hongrin. Ce macro-système caractérise aujourd'hui cette région, transformée par ces infrastructures de grande ampleur dédiées à l'énergie. Ici comme ailleurs, les carburants et combustibles sont stockés dans des réservoirs à hydrocarbures qui s'éparpillent sur le territoire et en marge des villes. La raffinerie de Cressier, située au pied du Jura entre les lacs de Neuchâtel et de Biemme, est raccordée à l'oléoduc sud-européen qui part de Marseille et qui approvisionne les raffineries, de la plaine du Rhône jusqu'à Lyon puis continuant jusqu'en Allemagne. Le réseau ferroviaire sert aussi à distribuer le pétrole raffiné vers les consommatrices et consommateurs.

L'arrivée du nucléaire dans le paysage énergétique suisse renforce la centralisation de la production énergétique et des réseaux sont développés pour acheminer l'électricité atomique vers les consommateurs et consommatrices. L'irruption de la centrale de Mühleberg dans la campagne bernoise, bien que dissimulée dans un vallon, transforme le paysage rural alentour avec les lignes à haute tension qui l'accompagne. Les tours de refroidissements des centrales de Gösgen et Leibstadt, par leur taille gigantesque et les nuages de vapeur qui en sortent transforment un peu plus le territoire.

UN MACRO-SYSTÈME VASCILLANT

Les apports théoriques, cartographiques et photographiques mettent en avant les fragilités et les effets du déploiement de l'infrastructure énergétique dans le territoire. L'éloignement grandissant des lieux de production (qu'il s'agisse ici de l'énergie mais plus globalement des pratiques agroalimentaires et d'autres biens de consommation) a contribué à la déconnexion entre les citoyennes et citoyens et les ressources et à un mode de vie basé sur l'abondance et l'ubiquité de l'énergie bon marché et carbonée.

Désormais, les enjeux sont multiples. Il s'agit d'abord de questionner nos rapports à la technique, face aux macro-systèmes contrôlés par une poignée d'acteurs puissants. Comment mettre fin à cet oligopole ? Ensuite, la fragilité de ce système qui a transformé le paysage, largement basé sur les ressources fossiles et nucléaires importées, remet en question notre rapport aux ressources. La relocalisation de l'extraction des ressources de la nature et leur transformation semble être incontournable pour échapper sortir du capitalocène. À nouveau, les enjeux oscillent entre rupture et continuité, avec une infrastructure existante bien présente dans l'espace qui doit être capable de se réinventer, se transformer et retomber en mains citoyennes.



ENP

DANGER DE MORT ←

SAUTERELLE INTERDITE
NE POUXÉZ LA RIVE GAUCHE





3



Énergie et architecture

*L'héritage de la
centrale énergétique*

Après une lecture territoriale de l'infrastructure énergétique et de ses lieux de transformation, il est temps de s'intéresser à la centrale en tant qu'objet architectural, dans sa matérialité, ses programmes et ses usages. Les deux derniers siècles ont légué des édifices dédiés à l'énergie dont beaucoup comptent aujourd'hui comme patrimoine. D'abord camouflées ou décorées, ces centrales électriques, thermiques, nucléaires ou hydrauliques ont connu un changement d'échelle et une monumentalisation, à tel point d'être comparées à des cathédrales,²⁰ alors qu'on retrouve parfois la structure basilicale composée d'une nef et de bas-côtés. Elles deviennent symboles de l'ordre électrique, comme le résume Fanny Lopez : *« La perte du lieu et l'invisibilisation de la chaîne des ressources et de leur transformation sont caractéristiques de l'organisation territoriale des infrastructures du capitalocène et de l'idéologie qui leur est associée. Dans ce cadre, les centrales énergétiques restent des monuments énergétiques parlants. Les centres d'énergies, les centrales électriques et autres, ont une épaisseur architecturale et sociale. Tout au long du 20e siècle, leur grande échelle, associée à une recherche stylistique spécifique, questionne les stratégies de mise en visibilité ou d'invisibilisation, dont la prise en compte est nécessaire au devoir d'inventaire, de compréhension et de transformation des objets techniques du capitalisme électrique »*.²¹ Si ce constat ne se base pas sur le cas helvétique, il est tout de même valable pour l'architecture de l'énergie en Suisse. Les centrales sont des architectures emblématiques du siècle dernier. Les enjeux d'expression ou non de la technique et de visibilité s'appliquent tout particulièrement à ce patrimoine suisse.

20 Allemand et al., *Paysages et énergies*, 21; Lopez, *L'ordre électrique*, 38.

21 Lopez, *L'ordre électrique*, 33-34.

Ce chapitre combine une approche typologique des centrales, au sens de la technologie de conversion et de la ressource utilisées, et une approche chronologique, illustrant l'addition de ces types d'édifices qui témoignent en même temps de l'évolution du rapport de la société à l'énergie. Sa structure se base à la fois sur un article du Dictionnaire historique de la Suisse²² et sur un écrit de l'historien Cédric Humair.²³ Le premier met en perspective la disponibilité des ressources et les technologies disponibles avec les différentes sociétés et économies qui se sont succédées : préindustrielles, industrielles et de consommation. Le second porte sur les transitions qu'a connu le système énergétique suisse, avec les arrivées successives de nouveaux agents énergétiques qui bouleversent le mix (charbon, hydroélectricité, pétrole puis nucléaire). La combinaison de ces deux visions similaires permet de comprendre l'évolution du mix énergétique et les types de centrales qui voient le jour pour pallier à la consommation grandissante d'énergie.

22 Marek, « Energie ».

23 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé ».

FIN DE LA SOCIÉTÉ PRÉINDUSTRIELLE. DES PROTO-CENTRALES

L'économie préindustrielle se basait sur des ressources en énergie locales, faute d'autres moyens. La force humaine et animale ainsi que la chaleur issue de la biomasse des forêts étaient les principales sources d'énergie. Elle correspond à une société agraire, dans une époque pré-infrastructurelle.²⁴ Sans infrastructure, les centrales n'existaient pas encore. L'économie repose sur des activités à faible demande énergétique notamment dans le domaine du luxe (broderie, horlogerie). Ainsi, des industries textiles à proximité des cours d'eau exploitent la force hydraulique, mais ne peuvent être considérées comme des centrales, puisqu'il s'agit d'autoconsommation. En s'appuyant sur le bois pour compenser les fluctuations saisonnières des rivières, la Suisse est presque autarcique sur le plan énergétique, au détriment de ses forêts qui sont surexploitées pour fournir du chauffage aux habitations.²⁵

Alors que certaines usines à gaz existaient déjà, notamment à Genève, Berne et Lausanne dès les années 1840, pour alimenter l'éclairage public, le développement du réseau ferroviaire permet de faire chuter le prix de la houille. La Suisse connaît sa première transition énergétique, à partir de 1855, de la biomasse vers le charbon, qui compose à son apogée près de 80% du mix énergétique avant le premier conflit mondial.²⁶

²⁴ Marek, « Énergie ».

²⁵ Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé ».

²⁶ Humair, 237.



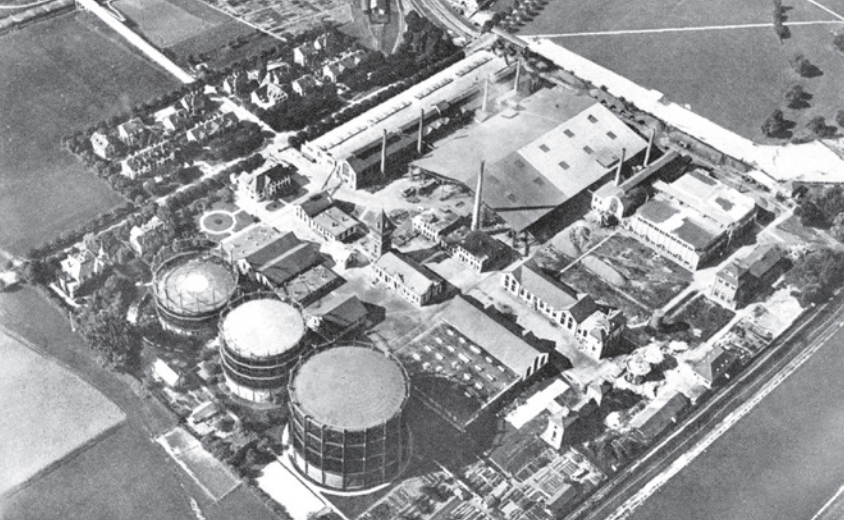
L'usine à gaz de Malley qui accueille aujourd'hui un théâtre et qui a connu beaucoup d'interventions.

Les usines à gaz, premières véritables centrales énergétiques, utilisent le charbon étranger pour fabriquer un carburant, le gaz de ville destiné d'abord à l'éclairage public.²⁷ Leur architecture est souvent fonctionnelle, se limitant aux éléments techniques nécessaires. Un article du Bulletin technique de la Suisse romande de 1932 décrit la nouvelle usine de Sion par la succession rationnelle des dispositifs nécessaires à la manutention du charbon et sa conversion en gaz.²⁸ Cette conception se traduit par une architecture à fort caractère industriel, lui conférant une image pittoresque dans le paysage. Cette construction est implantée dans la zone encore marécageuse au sud de la gare, afin de libérer les riverains sédunois des nuisances occasionnées. On a donc déjà tendance à éloigner les centrales des lieux habités, tout en les gardant suffisamment proche des infrastructures d'approvisionnement, souvent ferroviaires. L'usine de Malley, à Lausanne, suit la même logique, se situant alors entre les villes de Lausanne et de Renens, et à proximité des chemins de fer.²⁹ A la différence de Sion, un certain soin quant au choix des matériaux est évoqué par l'ingénieur en charge de la construction, apportant des notes de gaieté par les nuances des différents types de pierre et de brique. La construction en pierre confère une certaine grandeur à l'architecture grâce aux grandes baies arquées entourée de meneaux de pierre locale. De plus, la générosité de l'espace des halles dédiées aux machines offre une grande flexibilité dans l'usage. Un théâtre occupe désormais ce qu'il reste de l'usine. La reconquête de ces architectures de l'énergie par des activités culturelles ou de loisirs est pratique commune. A Zurich, l'impressionnante usine à gaz de Schlieren accueille aujourd'hui un centre de grimpe, exploitant la hauteur sous plafond généreuse. D'autres centrales utilisent le gaz ou d'autres combustibles comme le charbon pour produire de l'électricité à partir de la fin du dix-neuvième siècle. Ces nouveaux édifices sont de vastes halles dont la façade recourt à un style historicisant, à l'image de l'usine électrique de la Chaux-de-Fonds. Ce sera également le cas des centrales hydroélectriques, qui se développent en parallèle.

27 Duc, Frei, et Perroux, Eau, gaz, électricité.

28 Duval, « La nouvelle usine à gaz de Sion ».

29 Cornaz, « La nouvelle usine à gaz de la ville de Lausanne, à Malley ».



Le site des gazomètres de Schlieren (ZH)

Eduard Spelterini, <https://w.wiki/6Dss> (consulté le 14 janvier 2023)

Usine électrique sur le site de Schlieren

CC-BY-SA-4.0 JoachimKohler-HB, <https://w.wiki/6Dsm> (consulté le 14 janvier 2023)





L'usine électrique de La Chaux-de-Fonds

CC BY 3.0 Roland Zumbuehl, <https://w.wiki/6Dsy> (consulté le 14 janvier 2023)



L'usine hydroélectrique de l'Oelberg dans la basse-ville de Fribourg, en lien avec le barrage de la Maigrauge en amont.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE. LA GRANDEUR HYDRAULIQUE

Grâce aux innovations technologiques dans le domaine de l'électricité, la Suisse opère à partir du tournant du vingtième siècle une transition vers l'énergie hydraulique, qui dépasse les 30% du mix énergétique à l'issue de la Seconde Guerre mondiale.³⁰ La topographie et l'hydrologie du pays lui permettent d'exploiter cette ressource abondante et de se mettre à la conquête des rivières. L'électrification du territoire se fait particulièrement vite, car la Suisse réagit rapidement pour faire face à des crises du charbon entre les guerres en augmentant son autonomie en matière d'approvisionnement énergétique.³¹ C'est aussi à cette époque que décuple la consommation et que se développent les réseaux de tramway et la mécanisation dans l'industrie notamment.³² La Suisse se montre pionnière dans le domaine de l'hydroélectricité, comptant dans ses rangs le premier barrage en béton d'Europe, proposé en 1870 par l'ingénieur audacieux Guillaume Ritter.³³ Cette installation est réhaussée en 1909 et une galerie souterraine dévie l'eau de la Sarine jusqu'à la centrale de l'Oelberg, dans la basse-ville fribourgeoise.³⁴ Dès lors, naît une véritable « architecture de l'électricité », selon Michael Jakob,³⁵ qui connaît, après quelques réalisations peu significatives, une phase grandiose correspondant à la période qui s'étend jusqu'à la fin du second conflit mondial. Elle se caractérise par des centrales dont la « *réalité électrique se parait d'un habillement éclectique aux vagues formes néo-romanes, néo-gothiques ou*

30 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé », 237.

31 Marek, « Energie ».

32 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé », 241.

33 Frochaux, « Quand la force de l'eau transformait les villes ».

34 Morel, « La Sarine ».

35 Föex, Architecture et électricité.



L'usine hydroélectrique de Küblis (GR) en pied de vallée. Nicolaus Hartmann, 1922.
CC BY-SA 4.0 Repower AG, <https://www.wiki/6Dt9> (consulté le 14 janvier 2023)

L'usine électrique de Hagneck (BE) au bord du lac de Bielle. 1900.



néo-classiques et se voulait tour à tour un palais, un château, un monastère ou un chalet électrique ». ³⁶ Ce nouveau type de bâtiment, généralement de grande échelle, cache d'abord sa fonction technique par le recours à des architectures connues, qui varient selon les contextes. On distingue d'un point de vue technique et typologique deux catégories de centrales. Les usines électriques au fil de l'eau utilisent un barrage dans un cours d'eau dans le but d'élever la pression et faire tourner des turbines grâce au fort débit fluvial. Les usines en pied de vallée exploitent une importante chute d'eau pour activer des turbines. Ces deux types utilisent cependant tous les deux un langage architectural qui cherche une forme de monumentalité historicisante plutôt qu'une expression de la technique. Dans les Grisons par exemple, l'architecte Nicolaus Hartmann réalise une centrale en pied de vallée, à Küblis (GR), dont la forme et la matérialité évoquent un monastère. Ce plan est cependant tiré de contraintes techniques, qui définissait l'organisation en croix comme optimale. Déjà en 1920, lorsque le concours a été lancé, une intégration au paysage dans un style local (Heimatstil) était demandée. ³⁷ De nombreuses autres réalisations marquent cette tendance qui oppose la modernité de la technique ou une « *vision rationaliste d'une esthétique industrielle* » à l'intérieur et « *l'architecture de la représentation nourrie de rhétorique* » ³⁸ à l'extérieur. C'est le cas en 1886 déjà, à Genève. La ville entreprend la construction de l'usine des Forces motrices de la Coulouvrenière, qui lui permet, en plus de la correction de l'écoulement du Rhône qui était prioritaire, de produire une quantité d'électricité importante, séparant le fleuve en deux bras. ³⁹ Une telle intervention permet de répartir les industries sur l'ensemble du canton, qui grâce à l'électricité n'ont plus l'obligation de se situer au bord des cours d'eau. ⁴⁰ Dans le canton de Berne, l'usine électrique de Mühleberg, véritable colosse dans le paysage, est une centrale qui correspond au type « au fil de l'eau », avec son barrage d'un côté et le bâtiment des machines de l'autre, mais son ampleur est telle qu'elle retient un lac. Sa structure en béton, laissée apparente, imite une composition et des modénatures classicistes, témoignant de la tendance architecturale de l'époque à monumentaliser ces centrales électriques dans un style parfois éclectique.

36 Föex, 8.

37 Seger, « Kraftwerkzentrale Küblis - ein Zeitzeuge », 9.

38 Föex, Architecture et électricité, 9.

39 Duc, Frei, et Perroux, Eau, gaz, électricité, 23-24.

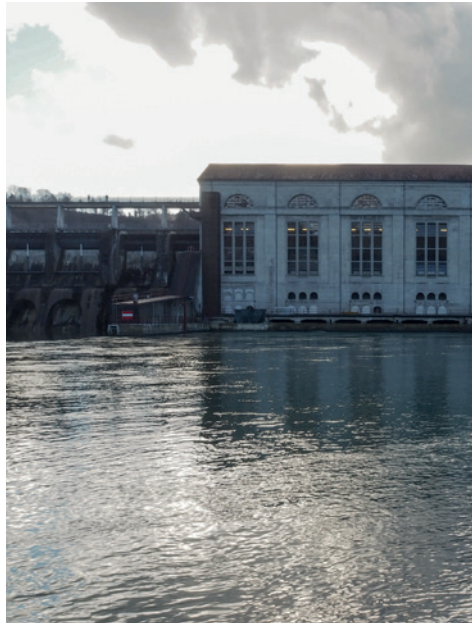
40 Frochaux, « Quand la force de l'eau transformait les villes ».



Le Bâtiment des Forces motrices à Genève ou l'ancienne usine électrique de la Coulouvrenière. Théodore Turrettini, 1886.

La grande halle des turbines du Bâtiment des Forces Motrices

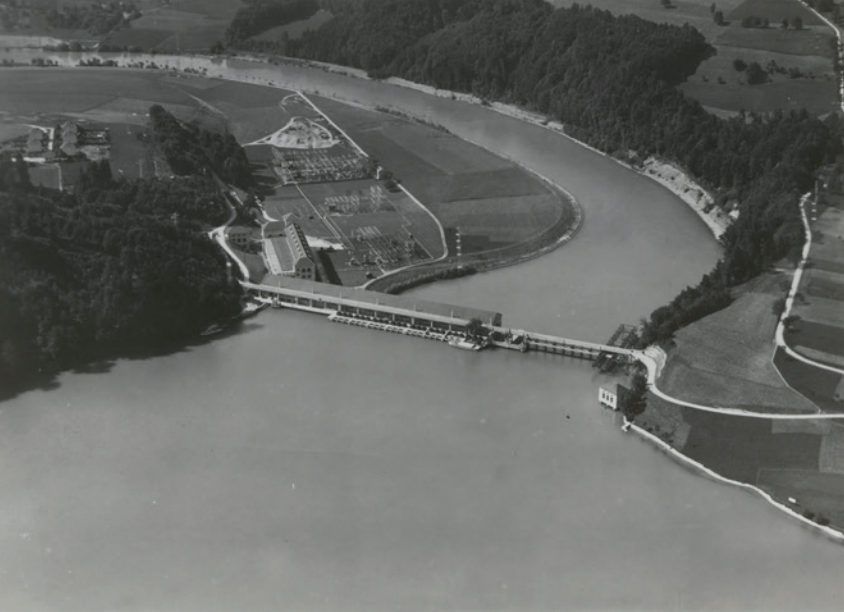




La centrale hydroélectrique de Mühleberg (BE), le bâtiment des turbines à droite, et le barrage. Walter Bösiger, 1920

Le fronton en béton apparent du bâtiment des turbines, indiquant « *Usine électrique Mühleberg, construite en 1917-1920, en temps de guerre et de difficultés économiques. Un monument à l'énergie et au dévouement des dirigeants et aux travailleurs* ».





Le site de l'usine hydroélectrique de Mühleberg Vue aérienne (entre 1920 et 1937) avec, au premier plan, le Wohlensee.

Walter Mittelholzer/ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz, <http://doi.org/10.3932/ethz-a-000493575> (consulté le 14 janvier 2023)

Le bâtiment des machines (sur la gauche), retient le débit de l'Aar .





Centrale hydroélectrique de Birsfelden (BL) Hans Hofmann, 1954.
CC BY-SA 3.0 Roland Zumbuehl, <https://w.wiki/6Duh> (consulté le 14 janvier 2023)

La centrale électrique « joyeuse » le long du Rhin

Werner Friedli/ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz, <http://doi.org/10.3932/ethz-a-000361349> (consulté le 14 janvier 2023)





Le barrage de la Grande Dixence (VS), colosse de béton et figure de l'épopée hydraulique de la Suisse. 1961.

CC BY-SA 4.0 Roland Zumbuehl, <https://w.wiki/6Dui> (consulté le 14 janvier 2023)

Après la seconde guerre mondiale, « *la grandeur se dissimule de plus en plus à l'intérieur des montagnes, ou se cache derrière une simple architecture fonctionnelle – avec quelques belles exceptions comme la halle des machines de l'usine électrique de Birsfelden* », ⁴¹ ainsi que l'usine électrique de Chandoline à Sion, reliée au complexe de la Grande Dixence et réalisée par l'ingénieur Daniel Buzzi. Sa forme simple et élégante ne se limite cependant pas aux contraintes fonctionnelles, avec une attention particulière aux détails. ⁴² La centrale électrique de Birsfelden (BL), au fil du Rhin, présente un travail particulier sur la forme de la structure ainsi que la couleur, qui montre l'effort de l'architecte Hans Hofmann de construire une centrale « joyeuse », qui s'insère gaiement dans le nouveau paysage. ⁴³

En dehors de ces deux exemples, les centrales hydroélectriques ont tendance à perdre en visibilité, jusqu'à l'enfouissement de certaines installations dans des galeries souterraines. Les nouvelles constructions ont un caractère standardisé et anonyme. ⁴⁴ Le regard se tourne alors vers les grands barrages de montagne, qui, dès les années 1950, contribuent à pallier la demande croissante en électricité d'une société de plus en plus consommatrice. ⁴⁵ Construisant la Suisse moderne, ces énormes œuvres de génie civil vont à la conquête de la montagne, comme le montre la caméra de Jean-Luc Godard lors du chantier de la Grande Dixence (VS). ⁴⁶ Les barrages ne se limitent pas au milieu alpin, à l'image de celui de Schiffenen (FR), au nord de la ville de Fribourg, qui vient transformer un vallon dans lequel sillonne la Sarine. Construit à la fin des années 1950, il permet au canton de Fribourg d'augmenter son autonomie en électricité et fait office de pont pour la route cantonale. ⁴⁷ Sa matérialité et sa grandeur témoignent d'un gigantisme et d'une forme de brutalisme qui caractérisent l'architecture des centrales énergétiques de l'après-guerre. Ces grands ouvrages d'art ont cependant attiré une grande attention et le soin apporté aux usines de plus petites dimensions, qui a formé un patrimoine de l'architecture de l'énergie, a été oublié dans la seconde moitié du vingtième siècle.

41 Schwander, « Kraft und Architektur ». Traduit du texte original en Allemand : « *Nach dem Krieg verkroch sich die Grandezza immer mehr ins Bergesinnere oder versteckte sich hinter simpler Zweckarchitektur – mit einigen schönen Ausnahmen wie die Maschinenhalle des Kraftwerks Birsfelden* ».

42 Valentini, Wallis Departement für Verkehr, Bau und Umwelt, et Archives de la Construction Moderne, L'architecture du 20e siècle en Valais 1920-1975, 156.

43 Hofmann, « Kraftwerk Birsfeld », 43.

44 Föex, Architecture et électricité, 9-10.

45 Marek, « Energie ».

46 Opération « Béton ».

47 Piller, « L'aménagement hydro-électrique de Schiffenen ».



Le barrage de Schiffenen (FR) illustre le gigantisme des installations hydroélectriques d'après-guerre. 1964.



Le barrage intègre la route cantonale



La centrale thermique de Chavalon en haut à droite, sur un promontoire qui la rend visible de loin

SOCIÉTÉ DE CONSOMMATION I. L'OR NOIR, OMNIPRÉSENT MAIS PRESQUE INVISIBLE

Le contexte post-guerre et le début des Trentes Glorieuses coïncide avec la montée du pétrole, qui, bien qu'utilisé dès le début des années 1920, est désormais largement exploité afin de répondre à la demande croissante en énergie d'une société de plus en plus consommatrice. Elle compose près des trois quarts du mix énergétique avant les chocs pétroliers des années 1970.⁴⁸ Si cette nouvelle source d'énergie transforme radicalement le territoire et les modes de vie, seules 3 centrales énergétiques convertissent du pétrole ou des produits dérivés. Deux d'entre elles n'ont pas un grand intérêt dans la présente recherche. En effet, les raffineries de Collombey (VS) et Cressier (NE) peuvent difficilement être considérés comme des objets architecturaux. Elles transforment le pétrole brut qui est ensuite distribué et stocké sous diverses formes, avant d'être généralement consommé sous forme de carburants pour les transports (essence, diesel) ou de combustibles pour les systèmes de chauffages individuels (mazout).

⁴⁸ Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé », 237.



La centrale thermique de Chavalon à Vouvry (VS) et ses teintes bleues qui cherchent à l'intégrer dans le paysage. Atelier des Architectes Associés (AAA), 1965.
CC-BY-SA Armin Kübelbeck, <https://www.wiki/6Duq> (consulté le 14 janvier 2023)

Le site de Chavalon, à gauche les cheminées de refroidissement, à droite la centrale thermique et les maisons des cadres en contrebas.
CC-BY-SA 4.0 Swissair Photo AG/ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz, <http://doi.org/10.3932/ethz-a-000371467> (consulté le 14 janvier 2023)



La centrale thermique de Chavalon, à Vouvry (VS) était l'unique centrale en Suisse qui utilise des dérivés du pétrole pour produire de l'électricité. Elle récupèrait les résidus lourds des processus de raffinage sur la commune voisine de Collombey. Le projet, dont l'implantation et les gabarits sont donnés par des contraintes techniques et environnementales, apporte un soin particulier à l'intégration de la centrale dans le paysage, comme l'affirme l'un de ses concepteurs, René Vittone, membre de l'Atelier des architectes associés (AAA) dans *L'œuvre*.⁴⁹ L'introduction de plans biais ainsi que l'accentuation des formes requises par les gabarits adoucissent l'intégration de la centrale thermique sur ce promontoire visible depuis le Chablais et la Riviera vaudoise. Des teintes de bleus ont été choisies pour s'harmoniser avec le ciel, sans pour autant masquer la fonction industrielle des bâtiments. Dans un numéro spécial du *Bulletin technique de la Suisse romande* dédié à la centrale thermique de Chavalon, Vittone et son associé Alin Décoppet s'interrogent sur le rôle de l'architecte dans un projet où les études techniques avaient déjà défini beaucoup de paramètres.⁵⁰ Selon eux, l'apport de l'architecte consiste ici en deux points, à savoir l'intégration dans le paysage en fonction des gabarits d'implantation préalablement donnés et le choix des éléments de l'enveloppe.

Si la centrale de Chavalon est unique en son genre par son combustible, elle nous éclaire sur les capacités de l'architecte à intervenir sur un système technique afin de le rendre plus acceptable et mieux intégré.

49 Vittone, « La Centrale thermique de Vouvry VS ».

50 Vittone et Décoppet, « Rôle de l'architecte dans l'étude et la réalisation de la Centrale thermique de Vouvry ».



La centrale nucléaire de Mühleberg, au bord de l'Aar .1972.

SOCIÉTÉ DE CONSOMMATION II. L'ATOME PLUTÔT QUE LE PÉTROLE

La dernière transition énergétique significative en Suisse débute en 1969 avec la mise en service de la centrale nucléaire de Beznau (AG), complétée par un second réacteur en 1972, la même année que l'ouverture de celle de Mühleberg (BE). Deux autres installations de ce type voient le jour à Gösgen (SO) en 1979 et finalement à Leibstadt (AG) en 1984. La production de ces cinq réacteurs atomiques atteignait près d'un quart du mix énergétique après l'ouverture du dernier.⁵¹ L'augmentation de la consommation électrique lors des décennies précédentes pousse la Suisse à diversifier sa production pour compléter l'apport de l'hydraulique. Si l'électricité thermique (générée par la combustion de produits pétroliers) est un temps envisagée, ce qui permettra la réalisation de la centrale de Chavalon, la Confédération mise sur l'atome pour des enjeux militaires notamment.⁵²

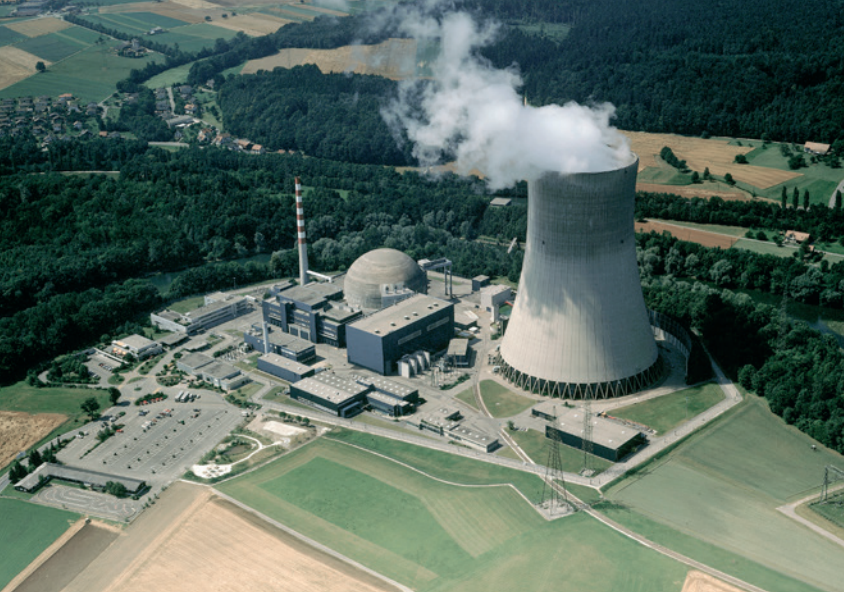
Les centrales nucléaires s'installent le long de cours d'eau pour des besoins techniques de refroidissement, mais aussi à proximité d'installations hydroélectriques existantes, déjà connectées au réseau à haute tension. C'est le cas des quatre centrales suisses, situées le long de l'Aar ou du Rhin.

À l'instar de la centrale thermique de Vouvry, l'architecture des centrales nucléaires est principalement réglée par des contraintes techniques, qui leur confèrent des propriétés formelles propres. Dans un numéro de *L'œuvre* en 1976 intitulé *L'architecture des centrales atomiques*, la préface se conclut sur le fait que « [l']architecte doit être consulté pour façonner le visage de nos grandes œuvres de demain ». ⁵³ Dans l'article suivant, Claude Parent, l'architecte de l'atome par excellence en France, souligne qu'une certaine sensibilité est

51 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé », 237.

52 Humair, 44-45.

53 Stierlin, « Vers une architecture de l'âge nucléaire? », 240.



La centrale nucléaire de Gösgen (SO) et son énorme tour de refroidissement. 1979.
CC BY-SA 4.0 Somorjai Zsolt/ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv, <http://doi.org/10.3932/ethz-a-000032890> (consulté le 14 janvier 2023). Image éditée.

nécessaire dans la conception d'une centrale, car, contrairement à un barrage généralement situé dans une région alpine, elle est présente dans une vallée le long d'un cours d'eau, au vu de toutes et tous. Son acceptation passe par l'intégration dans un site, c'est pourquoi, selon ces mots « *[l']ingénieur ne peut plus rester seul maître d'un jeu dont les règles lui échappent.* ».⁵⁴ Cependant, le reste du numéro décrit précisément le fonctionnement et l'implantation des centrales d'un point de vue technique, y compris de celles en cours de projet à l'époque. L'implication d'architectes est évoquée une seule fois, dans une phase tardive de la conception de la centrale de Gösgen, concernant le choix du revêtement de la tour de refroidissement et du réacteur. Il se porte sur un béton laissé apparent pour une meilleure intégration dans le paysage, avec l'accord des associations cantonales et fédérales de protection de la nature et du patrimoine. Alors qu'une teinte foncée aurait été privilégiée tant en termes esthétiques que techniques, on y a renoncé pour des raisons économiques.⁵⁵

Les sites des centrales suisses se composent de deux à trois corps principaux. La partie « nucléaire », contenant le réacteur, se caractérise par une forme de dôme ou de cylindre. Le second corps, généralement un volume parallélépipède, est dédié à la transformation de la chaleur du réacteur en électricité qui est distribuée dans le réseau. Ces deux éléments structurent les deux premières centrales réalisées, à Beznau, où le système est doublé, et à Mühleberg. En effet, elles peuvent utiliser l'eau de l'Aar pour se refroidir, ce qui a été limité pour les deux autres, à Gösgen et Leibstadt, qui ont dû s'équiper chacune d'une tour de refroidissement. Ce troisième élément est le plus proéminent et celui qu'on associe régulièrement à l'imaginaire de la centrale nucléaire. Cette structure, en béton armé dans les cas helvétiques, de forme hyperboloïde et haute de l'ordre de 150 mètres, n'est rien d'autre qu'un grand espace vide où est propulsé l'excédent d'eau chaude pour être refroidi naturellement. Cet objet sculptural marquant le paysage rejette en réalité de la vapeur d'eau. Les centrales nucléaires sont de grands objets définis par la technique, qui constituent un patrimoine bâti par leur grandeur, mais n'ont laissé que peu de place au projet architectural lors de leur conception.

54 Parent, « L'architecte Claude Parent et les centrales nucléaires = Der Architekt Claude Parent und die Kernkraftwerke », 241.

55 « Das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken », 255.

UN HÉRITAGE ARCHITECTURAL ENTRE RUPTURE ET CONTINUITÉ

L'architecture, la matérialité et l'échelle des centrales racontent aussi la société qui les a construites et le rapport qu'elle entretenait avec les ressources. Alors que les premières usines électriques, dans une époque industrielle, cherchaient à s'intégrer dans le paysage et dans la culture, par le recours à des formes architecturales et des matérialités familières, le gigantisme de la société de consommation d'après-guerre a peu à peu rompu le lien autrefois fort avec un territoire et ses ressources. A l'aube de la transition, une rupture se crée entre les grands objets de l'énergie, qui ont caractérisé la seconde moitié du vingtième siècle, et les enjeux environnementaux actuels. Les différentes transitions n'ont pas remplacé des agents énergétiques, mais sont venues additionner de nouvelles ressources pour pallier é la consommation croissante, qui doit aujourd'hui être considérablement réduite.

Il ne faut cependant pas négliger l'héritage architectural de ce siècle de progrès techniques considérables. Les exemples d'usines hydroélectriques notamment peuvent servir d'inspiration quant à leur intégration dans un site, leur ancrage dans un territoire-ressource et leur matérialité, qui cherche à dialoguer avec le contexte culturel ou paysager. Ce patrimoine peut être constitutif d'un renouveau architectural des centrales énergétiques, comme le dit Michael Jakob. *« Une meilleure connaissance de ce répertoire permettrait en outre le développement d'une architecture électrique nouvelle et digne de ce nom, dans le respect de la nature et sous le signe de la transparence ».*⁵⁶

56 Föex, Architecture et électricité, 10.

Deuxième partie.

ÉVITER LE
BLACK-OUT





4

Centrales en transition

Interroger les pratiques spatiales et techniques de la transition énergétique en Suisse

L'ENJEU DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Aujourd'hui, la nécessité d'accélérer la transition énergétique ne fait plus l'ombre d'un doute. Depuis les menaces de pénuries d'électricité prononcées par le Conseil fédéral en octobre 2021, le retard accumulé par la politique suisse a été révélé au grand jour, bien que certains experts et politiciens avaient déjà averti du risque encouru et proposé des plans ambitieux dans la lutte pour la réduction d'émissions de CO₂.⁵⁷ Pourtant, la situation n'est pas inédite, comme le révèle Giulia Marino en mentionnant des propos tenus par un ingénieur en 1955 au sujet de la dépendance de la Suisse aux charbons et mazouts étrangers et de la nécessité d'exploiter les ressources nationales. « Remplacez le charbon et le mazout par du gaz naturel importé d'Allemagne et de l'énergie nucléaire produite dans les centrales françaises, la dépendance énergétique de la Suisse est toujours criante ». ⁵⁸ Alors que l'urgence se fait sentir, on ne peut se permettre d'attendre l'arrivée d'innovations miracles encore de développement, promises par les ingénieurs. La nécessité d'agir rapidement et d'utiliser et développer des technologies à disposition, ayant déjà largement fait leurs preuves, se dessine comme une évidence. Cela signifie qu'il faut travailler avec l'existant, faire évoluer le macro-système énergétique et l'adapter à de nouvelles pratiques. Le système, en mutation, voit apparaître de nouvelles stratégies et de nouveaux acteurs mettant progressivement fin à l'oligopole des grands fournisseurs.⁵⁹ Bien qu'apparues dès les années 1980, les nouvelles énergies renouvelables ne sont appliquées qu'à petite échelle jusqu'aux années 2000, quand les politiques publiques commencent à soutenir les énergies alternatives et la décentralisation.⁶⁰

57 Nordmann, Le plan solaire et climat; Haeberli, « Les freins qui bloquent la Suisse dans sa transition énergétique ».

58 Marino, « Carte blanche – Aux sources de la transition énergétique ».

59 BKW, « L'évolution du système énergétique suisse ».

60 Lopez, L'ordre électrique, 117.

INTERROGER LES PRATIQUES SPATIALES DE LA TRANSITION

À l'heure où la transition semble enfin gentiment prendre son envol, l'enjeu de sa traduction dans l'espace et dans le territoire semble passer en second plan face à l'urgence du problème. On constate que le débat s'articule autour de l'impact visuel de ces nouveaux convertisseurs, jugeant l'acceptabilité d'objets techniques tels éoliennes ou panneaux photovoltaïques dans l'environnement naturel ou bâti, comme le témoigne divers études.⁶¹ On veut rendre acceptable quelque chose qui ne l'est pas toujours. Peut-on alors s'inspirer du patrimoine de l'architecture électrique légué par les bâtisseurs de la première moitié du vingtième siècle ? L'avenir des centrales énergétiques se limite-t-il à des objets techniques qui s'imposent dans le paysage, au service de centralités urbaines toujours aussi gourmandes en énergie ? Ce chapitre propose un regard sur les pratiques actuelles de la transition énergétique sous trois angles, correspondant aux trois premiers chapitres. Il s'agit premièrement de comprendre la transition dans ses enjeux politiques et techniques, puis d'interroger les pratiques spatiales, dans des dimensions territoriale et architecturale. Il se construit sur la base des observations précédentes sur ce système entre rupture et continuité, ainsi que sur des apports bibliographiques en lien avec les pratiques de la transition dans l'espace. Quel rôle peut jouer l'architecture dans la mutation du système énergétique ? La suite explore les modalités de la relocalisation de la transformation de l'énergie en vue d'une potentielle intégration en milieu urbain.

61 voir notamment Wissen Hayek et al., « ENERGYSCAPE – Recommendations for a Landscape Strategy for Renewable Energy Systems ».

POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE SUISSE ET OBJECTIFS

Dans le sillage de la COP 21 de Paris, en 2017, le peuple suisse a accepté la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération. Ses principaux piliers sont la sortie progressive du nucléaire dès lors que la sécurité des centrales ne sera plus garantie, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la promotion des énergies renouvelables.⁶² L'objectif est d'atteindre la neutralité carbone d'ici la moitié du siècle. Cela passera par de grands changements dans le système d'approvisionnement, comme par exemple la transformation des installations de chauffage, dont le mazout et le gaz devront être remplacés par des pompes à chaleur et des réseaux de chauffage à distance alimentés par des combustibles renouvelables (biomasse ou ordures ménagères) ou par la chaleur du sous-sol.⁶³

62 DETEC, « Stratégie énergétique 2050 ».

63 Henchoz, « Perspectives énergétiques 2050+ : scénarios pour un avenir énergétique renouvelable et climatiquement neutre. »

Quelques axes importants sont mis en avant dans un rapport de l'académie suisse des sciences intitulé *Système énergétique suisse 2050*.⁶⁴ Une hiérarchie chronologique définit les priorités, à commencer par la réduction de la consommation, puis les mesures d'efficacité. Après ces mesures de sobriété viennent le remplacement du reste du fossile par le renouvelable, la réutilisation des matériaux et, finalement, la mise en place de dispositifs de captation du carbone dans l'atmosphère. Concernant l'approvisionnement électrique, l'hydraulique restera le principal pilier et sera rejoint par le photovoltaïque. Le mix sera complété par des dispositifs de cogénération chaleur-électricité basé sur la combustion renouvelable, auxquels s'ajouteront l'éolien et éventuellement la géothermie profonde. Une approche globale sera nécessaire, notamment pour associer différentes sources d'énergie et permettre le stockage sous forme d'hydrogène et de méthane notamment. Le rapport mentionne que certains métiers disparaîtront ou se transformeront, alors que de nouvelles filières de formations seront nécessaires. De plus, il souligne la nécessité de définir des zones prioritaires pour les infrastructures ou, au contraire, pour le paysage et la biodiversité. Finalement, la réduction des besoins en matières premières, principalement exportées, par la valorisation, la réutilisation et la diversification présente également un levier important. Les enjeux sont donc multiples et les réponses spatiales devraient être prises en main par les architectes.

LES RESSOURCES ET LES TECHNIQUES POUR LA TRANSITION

La transition énergétique se fera donc par la diversité des solutions. La multiplicité des technologies ouvre un nouveau champ pour la création de centrales énergétiques et l'appropriation architecturale de ces nouveaux convertisseurs. Voici un tour d'horizon des ressources et techniques disponibles, dont le potentiel, les avantages et les inconvénients sont développés par le rapport *Système énergétique suisse 2050* dans sa version complète.⁶⁵ Les chiffres avancés plus loin sont, sauf mention contraire, issus de ce document. Le but est d'identifier des types pouvant être appliqué en milieu urbain et contenant un potentiel pour le projet architectural. La compréhension technique par

64 Rapport complet en anglais et sa version résumée en Français : Boulouchos et al., « Swiss Energy System 2050 »; Boulouchos et al., « Système énergétique suisse 2050 ».

65 Boulouchos et al., « Swiss Energy System 2050 », 17-19. Les centrales nucléaires et les centrales à gaz à cycle combiné, bien que présentes dans ce rapport, sont exclues ici, les premières, certes décarbonées, proposant une alternative à trop long terme, et les secondes, au contraire, consistant en des solutions carbonées pour assurer l'équilibre à court-terme du réseau.

l'architecte semble en effet à nouveau gagner en importance, dimension quelque peu perdue dans la période postmoderne, qui a, notamment à cause de l'ordre électrique et l'invisibilisation des ressources, encore plus dissocié nature et culture.⁶⁶

Eau et hydroélectricité

La Suisse a historiquement misé sur sa topographie et son hydrographie pour s'approvisionner en énergie, si bien que le potentiel hydroélectrique restant est limité. La production actuelle se stabilise autour de 35 TWh par année et pourrait être augmentée de l'ordre de 10% au maximum avec la surélévation de barrages existants ou la création de nouvelles infrastructures, mais, bien que ces installations garantissent une certaine stabilité du réseau électrique, l'acceptabilité de nouveaux projets de ce type est faible, notamment à cause de l'impact conséquent sur les écosystèmes.⁶⁷ Ces projets font l'objet de discussion entre politiques et organisations protectrices de l'environnement.⁶⁸ Si les projets de surélévation des barrages ne concernent pas la présente problématique, de plus petites installations, au fil de l'eau, peuvent être intégrées en milieu habité et perpétuer la culture de l'architecture hydraulique suisse.

Soleil et photovoltaïque

Le soleil est une ressource d'énergie illimitée et disponible partout sur le territoire. Naturellement, on cherche à exploiter cette abondance du rayonnement. Le potentiel photovoltaïque estimé est élevé : l'Office fédéral de l'énergie communique un potentiel de 50 TWh pour les toits du parc bâti existant et de 17 TWh pour les façades.⁶⁹ Si ces installations sont assez largement acceptées dans le milieu construit, ces éléments suscitent tout de même des questionnements en termes de culture du bâti.⁷⁰ Les fluctuations de la production suivant la course du soleil, des dispositifs de stockage quotidien sont essentiels pour sécuriser le réseau et d'autres sources d'énergie sont nécessaires pour l'approvisionnement hivernal. Le soleil est donc un pilier de la transition énergétique grâce à son potentiel élevé. Cependant, la fabrication des panneaux est dépendante d'un système mondialisé, dont les délais de livraison ne sont pas contrôlables. La finitude des ressources en

66 Rahm, Histoire naturelle de l'architecture; Lopez, L'ordre électrique, 82.

67 Boulouchos et al., « Système énergétique suisse 2050 », 11.

68 « Quelle place pour l'énergie hydraulique, dans une perspective 100% renouvelable? »

69 OFEN, « Les toits et les façades des maisons suisses pourraient produire 67 TWh d'électricité solaire par an ».

70 Claessens-Vallet, « Forum Énergie + Patrimoine ».

métaux, indisponibles localement, nécessaires pour la production de ces éléments et surtout des batteries est soulevée par des experts en énergie et en génie minier. Face à ce degré d'incertitude, il est nécessaire de construire une conscience collective autour du potentiel impact invisible que peut avoir une énergie d'apparence propre. De plus, la main d'œuvre est aujourd'hui insuffisante en Suisse pour installer la puissance nécessaire, d'où la nécessité de former plus professionnels de la transition.⁷¹

Les cellules photovoltaïques, grâce à leur modularité, permettent une intégration à l'architecture. Pour être considérée comme une centrale, l'installation prend généralement une surface particulièrement grande. Cet aspect sera développé plus loin et illustré par une étude de cas dans le contexte parisien.

Vent et éoliennes

Le vent est une énergie qui a l'avantage d'équilibrer la production électrique sur l'année, compensant en hiver la baisse de rendement du photovoltaïque. Si le Conseil fédéral prévoit la production de 4,3 TWh d'électricité issue du vent d'ici 2050, le potentiel varie grandement selon la géographie. Ainsi, les cantons de Berne et de Vaud sont destinés à devenir les plus grands contributeurs en énergie éolienne à l'avenir, tout comme les crêtes du Jura.⁷² L'implantation de ces infrastructures est définie géographiquement, où les vents sont les plus favorables, et ont donc un impact visuel sur le territoire en question, rencontrant souvent l'opposition des riverains et des organisations de protection du paysage. Tout comme les panneaux photovoltaïques, les ressources et les infrastructures nécessaires à la fabrication de ces turbines sont externalisées et dépendent d'une production mondialisée.⁷³ De plus, les procédures sont longues pour la mise en place de parcs éoliens. Les éoliennes sont des dispositifs techniques de grande ampleur, difficilement intégrable en ville. Des turbines de plus petite échelle pourraient toutefois être envisageables plus près des milieux habités.

71 Gillioz et Kottelat, « La Suisse manque de main-d'oeuvre pour installer des panneaux solaires ».

72 ARE, « Conception énergie éolienne ».

73 Bihouix, L'âge des low tech, 83.

Géothermie

A l'instar de l'énergie du soleil, la chaleur de la terre – ou de l'eau – est une source de chaleur – ou de fraîcheur – permanente. Alors qu'elle est relativement facilement accessible à petite profondeur par des dispositifs à l'échelle individuelle, les dispositifs centralisés, alimentant des réseaux de chaud ou de froid demandent des interventions plus conséquentes sur l'environnement. La capacité de couplage à une production électrique est limitée. Aujourd'hui, il n'existe en Suisse aucune centrale géothermique générant de l'électricité, celle-ci demandant de très hautes températures et donc des sondes de plusieurs kilomètres de profondeur.⁷⁴ Les centrales géothermiques sont donc des installations très techniques, dont la rentabilité financière n'est pas encore assurée. Leur ampleur ne permet que peu de flexibilité et leur acceptabilité en milieu urbain est limitée.

Biomasse, ordures ménagères et les centrales de cogénération

Les centrales de cogénération, basée sur la combustion de biomasse (bois ou biogaz) ou des ordures ménagères renouvelables, présentent l'avantage de produire de l'énergie en tout temps, indépendamment des conditions climatiques, contrairement aux autres sources renouvelables. Le rapport souligne un coût d'investissement nécessaire plutôt bas. Dans le cas de la biomasse, il s'agit de ressources d'une part neutres en CO₂, mais aussi durable car la matière organique dédiée aux centrales de cogénération est issue d'une première utilisation, que ce soit sous forme de matériau de construction ensuite revalorisés en copeaux ou pellets, ou pour l'alimentation humaine ou animale qui permet la production de biogaz.⁷⁵ De telles centrales doivent se situer à proximité de réseaux de chauffage à distance, pour valoriser la chaleur issue de la production d'électricité, ce qui les rend particulièrement intéressantes pour l'étude en vue d'une intégration en milieu urbain. Des exemples de chaufferies basées sur la biomasse, avec ou sans cogénération seront montrés plus loin.

74 OFEN, « Géothermie ».

75 OFEN, « Energie de la biomasse ».

Les systèmes de stockage

Les énergies naturelles, notamment le vent, le soleil et la force de l'eau, fluctuent selon les saisons. Afin d'équilibrer la production sur l'année, des dispositifs de stockage d'énergie sont nécessaires pour soulager le réseau des pics de productions saisonniers ou quotidiens. Les dispositifs mis en place dans ce but peuvent également être considérés comme des centrales ou convertisseurs d'énergie. Parmi eux, le pompage-turbinage présente un moyen de stockage à longue durée d'une puissance importante, jusqu'à 1MW, à l'image de la centrale de Nant-de-Drance,⁷⁶ mais il fait face à la même problématique que l'hydroélectrique car les sites adaptés à de nouvelles installations de ce genre se font rares. Un autre moyen de stocker l'électricité excédentaire estivale (solaire ou hydraulique) est de la convertir en hydrogène par électrolyse (Power to X), pouvant être à nouveau transformé en électricité, moyennant des pertes, ou utilisé comme carburant alternatif aux produits pétroliers. Des électrolyseurs sont idéalement installés à proximité des centrales au fil de l'eau, comme c'est le cas à Gösgen, pour valoriser les surplus d'électricité produite.⁷⁷

À l'image des réservoirs à hydrocarbures que nous connaissons aujourd'hui, de nouveaux lieux de stockage d'énergie seront nécessaires, à des dimensions variables, comme des batteries ou des réservoirs à combustibles de synthèses tel hydrogène et méthane. Le sous-sol et l'eau permettent de stocker de l'énergie sur une longue durée, notamment en réinjectant de la chaleur dans le sol lors des pics estivaux de production d'électricité et des rejets des systèmes de refroidissements de locaux. Même si ces dispositifs ne sont pas des centrales énergétiques en tant que telles, il convient de les mentionner car ils font partie de l'ensemble du système et permettent de saisir des enjeux dans leur globalité.

76 Kolb, « Les défis techniques de l'équipement électromécanique d'une centrale de pompage-turbinage de 900 MW ».

77 Alpiq, « Production d'hydrogène exempt de CO2 ».

TERRITOIRE. LA CENTRALE AU DELÀ DE L'OBJET TECHNIQUE

Le second chapitre a mis en évidence les limites de l'infrastructure énergétique comme macro-système technique. L'ampleur et l'invisibilisation des réseaux ont conduit à l'éloignement que l'on connaît aujourd'hui entre consommation et production, tant dans les modes de vie que dans l'espace. La provenance lointaine des ressources énergétiques et le manque de transparence dans les processus de transformation ont rendu la technique de moins en moins accessible. Alors que la transition dans la forme que l'on connaît pousse, par définition, à la relocalisation de l'approvisionnement énergétique, celle-ci a des effets qui commencent à redéfinir nos rapports à l'énergie, aux ressources et à la technique. Les lignes qui suivent cherchent à comprendre ces changements et, dans la mesure du possible, de comprendre leur implication spatiale dans le territoire suisse.

La transition énergétique se traduit spatialement par une relocalisation et une décentralisation des processus de transformation. Ces deux phénomènes ont des conséquences sur le territoire qui sont développées ici sous quatre angles : le rapport aux ressources locales, la visibilité des nouvelles centrales, leur impact sur l'environnement et le paysage et l'appropriation de leurs dispositifs techniques.

LE TERRITOIRE-RESSOURCE

La transition énergétique passe par l'utilisation des ressources locales. Le soleil, le vent, la géothermie, la force hydraulique et la biomasse sont autant de sources d'énergies disponibles localement, qu'il faut apprendre – ou réapprendre – à utiliser. C'est l'occasion de rétablir un rapport de proximité aux ressources, au territoire et à la nature. Une plus grande autonomie énergétique d'un territoire passe par un nouvel « *équilibre métabolique à une échelle locale* », avec le déploiement à des échelles diverses, du bâtiment à la région, de dispositifs de transformations ou stockage d'énergie.⁷⁸ Philippe Bihoux plaide pour « *faire société à l'échelle du village, de la ville, de la région* », afin de focaliser les échanges uniquement sur ce qui n'est pas disponible localement.⁷⁹ Cette approche pourrait tendre vers une société véritablement écologique, au sens où l'entend Lopez, « *ayant un impact minime (pollution, transformation) sur les milieux, et dont la gouvernance territoriale serait assurée par un collectif conscient des limites de ses ressources et de l'échange écologique inégal que pourrait autoriser son dépassement* ».⁸⁰ Bien que porteuse d'une vision à plus long terme, cette approche permet de comprendre l'enjeu d'une redéfinition du rapport aux ressources, qui tend vers une logique de proximité et de meilleure harmonie avec l'environnement. Lopez utilise l'analogie au vernaculaire, soulignant sa capacité à utiliser les ressources, matérielles ou énergétiques, et le climat d'un lieu pour ramener la question ressources au premier plan et réduire les dépendances.⁸¹ Cela passe par des dispositifs de transformations spécifiques au lieu et donc à son climat, et dont leur complexité technique reste limitée, à l'image de la biomasse.⁸²

Cette vision presque pittoresque d'un retour à la nature n'est bien sûr pas applicable à court ou moyen terme. Cependant, elle représente un objectif vers lequel on peut tendre, en commençant par relocaliser l'approvisionnement énergétique de nos villes, notamment en déployant des réseaux de chaleurs alimentés par des ressources provenant directement de l'aire urbaine ou de sa proximité immédiate, pour en faire une source d'énergie renouvelable urbaine.⁸³

78 Lopez, L'ordre électrique, 105.

79 Bihoux, L'âge des low tech, 127.

80 Lopez, L'ordre électrique, 82.

81 Lopez, 72.

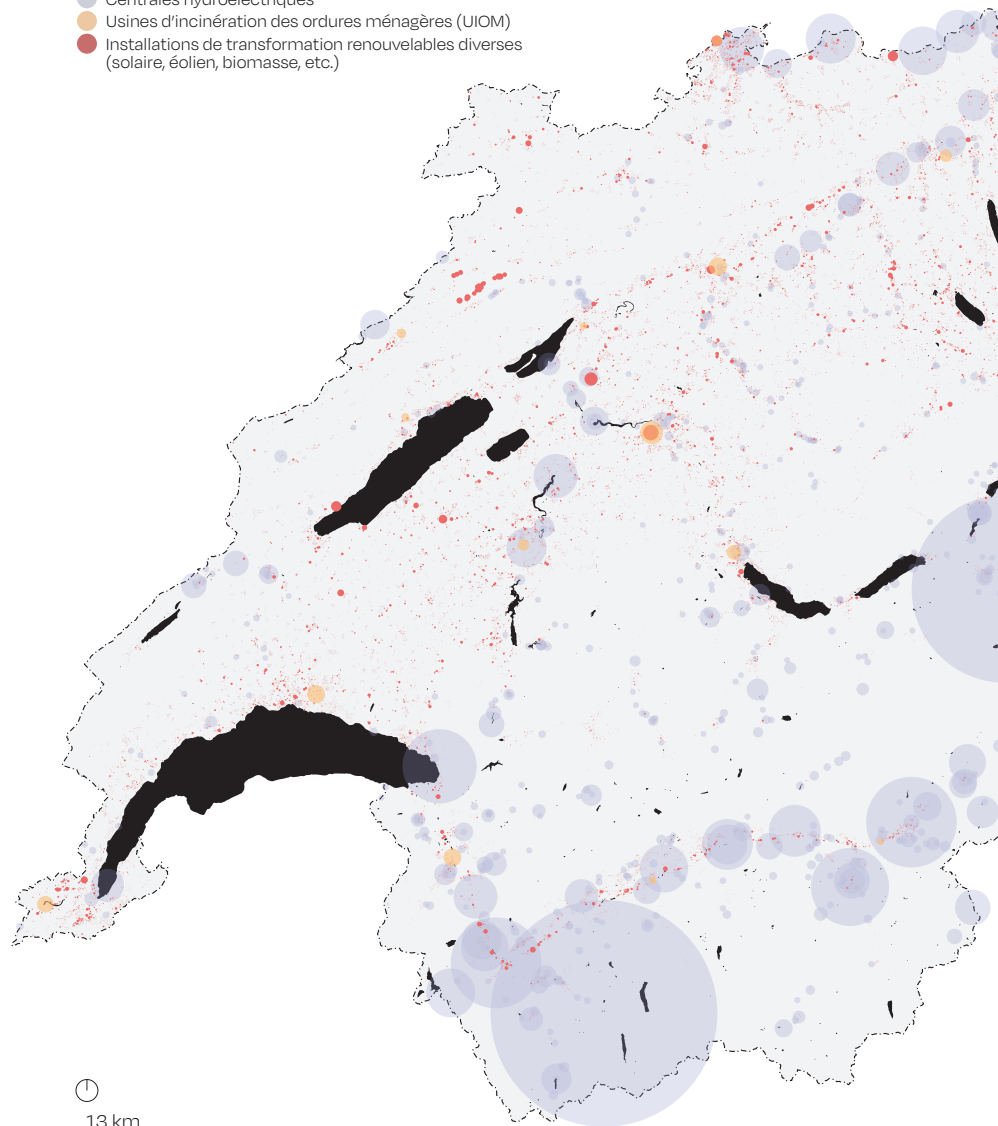
82 Bihoux, L'âge des low tech, 260-61.

83 Shah et Keirstead, Urban Energy Systems, 96.

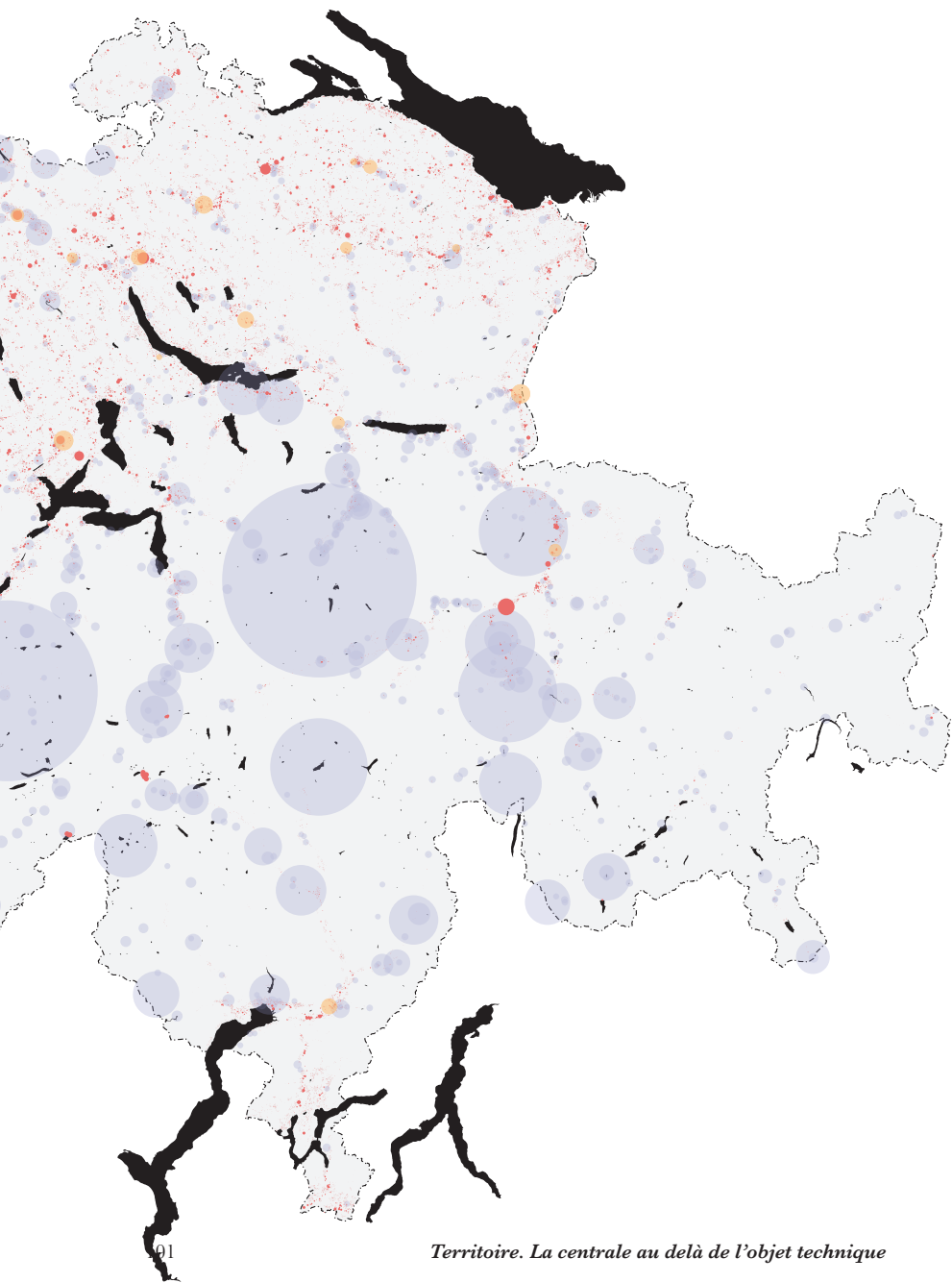
Les énergies renouvelables décentralisent la production d'électricité, en se rapprochant des lieux de consommation. Géodonnées : swissTLM[®], @swisstopo. Disponible à l'adresse <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/tlm3d.html#download> (consulté le 7 novembre 2022)

La taille des cercles est proportionnelle à l'électricité produite

- Centrales hydroélectriques
- Usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM)
- Installations de transformation renouvelables diverses (solaire, éolien, biomasse, etc.)



13 km





La centrale de chauffage à distance d'Orbe (VD) dévoile ses machines grâce à la grande baie vitrée côté rue. MAK architecture, 2019.

ENJEUX AUTOUR DE LA VISIBILITÉ

Par définition, la transition relocalise et décentralise les processus de transformation. On passera donc de grandes centrales, parfois invisibilisées et au service d'un grand territoire, à des infrastructures de plus petite échelle mais plus nombreuses. En conséquence, ces nouvelles installations sont bien plus visibles et présentes dans le paysage du quotidien. On distingue encore cependant une forme de dichotomie entre d'un côté des convertisseurs qui génèrent des conflits à cause de leur visibilité et de l'autre une tendance à les invisibiliser et à les éloigner de la consommation, dans le sillage de l'ordre électrique, à l'image de centrales solaires dans les Alpes.

La présence accrue de dispositifs de transformation d'énergie dans le paysage quotidien peut participer à une dynamique de transition. En effet, des travaux⁸⁴ montrent que l'implication citoyenne dans la gestion énergétique ainsi que la visibilité des processus de production contribuent à une plus grande sobriété chez des individus. La proximité et la compréhension du système technique fait prendre conscience de la valeur de l'énergie, fait grandir la sensibilité des citoyennes et citoyens à leur consommation d'énergie et, de manière plus large, contribue à constituer une nouvelle représentation de la technique et de l'énergie. Encore faut-il que ces dispositifs visibles au quotidien soient soigneusement intégrés dans leur environnement. Quelques exemples seront montrés lorsque l'architecture des centrales sera abordée, à l'image de la chaufferie à Orbe, qui affiche par une grande ouverture vitrée les dispositifs techniques de la centrale sur la rue.

IMPACT PAYSAGER ET ENVIRONNEMENTAL

Au-delà de l'impact visuel des nouveaux convertisseurs d'énergie dans le paysage, le paramètre environnemental est également un critère qui peut faire basculer l'acceptabilité d'un projet. La relocalisation des processus de transformations a, dans certains cas, des effets importants sur les écosystèmes. Ainsi, les oppositions à des projets de surélévation de barrages ou de création parcs éoliens évoquent souvent des effets négatifs sur la biodiversité. La problématique engendrée par la dispersion de l'énergie disponible, en opposition à la forte concentration d'énergie dans un combustible fossile par exemple, rend les centrales bien plus grandes, à quantité égale d'énergie fournie. L'emprise spatiale dans le territoire suisse des convertisseurs de la transition

84 Dobigny 2009a, 218 et Raineau 2009, 205-213, cités par Lopez, L'ordre électrique, 164.



La centrale solaire de Payerne, mise en service en 2015

38'000 m² de panneaux photovoltaïques alimentent un tiers des ménages de la ville.



dépasse largement, en termes de nombre et de surface, celle des centrales fossiles. Ce paramètre pose les limites d'une transition énergétique rapide qui se concrétise au détriment du paysage et de la nature. Par exemple, la création d'infrastructures photovoltaïques de grande ampleur en haute montagne alimente le débat au niveau politique. Ces installations sont désormais soutenues par « l'offensive solaire » du Parlement, qui réduit les exigences environnementales,⁸⁵ et qui accepte ainsi un sacrifice du paysage pour permettre de fournir une électricité nationale, qui a tout de même pour avantage de produire bien plus en hiver qu'une installation à plus basse altitude, grâce au reflet de la neige et de l'ensoleillement plus important. Cependant, les organisations de défense de la nature, ainsi que certains politiciens et politiciennes, questionnent d'une part l'impact visuel sur le paysage, mais aussi la création de réseaux d'acheminement, tant pour les travaux que pour le transport d'électricité, ainsi que les fondations dans le sol nécessaires à ancrer les modules photovoltaïques.⁸⁶ L'artificialisation des sols, en particulier de milieux encore naturels, apparaît donc comme un enjeu supplémentaire de la transition énergétique, qui est aussi une transition paysagère.⁸⁷ De tels projets renforcent un peu plus l'ordre électrique et la vision macro-systémique qu'il porte. Rendre invisible de nouvelles centrales, occupant de surfaces naturelles considérables, perpétue la déconnexion entre production et consommation mise en avant au chapitre 2 et la logique de domination sur la nature. D'autres types de centrales photovoltaïques apparaissent en plaine, artificialisant des terres agricoles, comme c'est le cas au sud de la ville de Payerne (VD), qui a installé 38'000 m² de panneaux photovoltaïques. Cette énorme surface permet de produire l'équivalent de la consommation d'un tiers des habitants de la commune. Dans ce cas précis, il s'agit d'une parcelle, bien que non construite, en zone industrielle, qui sera bâtie après 25 ans d'exploitation comme centrale solaire,⁸⁸ mais l'artificialisation d'une telle surface pour un champ photovoltaïque questionne.

Les oppositions entre protection de l'environnement et développement des énergies renouvelables font ressortir la nécessité de faire des compromis en faveur de la nature, réduisant certes la productivité

85 ATS KEYSTONE-SDA-ATS, « Le Parlement s'accorde sur une offensive solaire ».

86 « Jérémie Savioz, chargé d'affaires à Pro Natura VS, s'oppose aux grands projets solaires dans les Alpes valaisannes »; Clivaz, « Gondosolar ».

87 Allemmand et al., *Paysages et énergies*, 9.

88 Groupe E, « Bien plus qu'un parc solaire ».



Le barrage de Hagneck et son aménagement paysager. Penzel Valier, 2015.

L'embouchure de l'Aar est renaturée en même temps que la production électrique est augmentée.

© Données: CNES, Spot Image, swisstopo, NPOC. Disponible à l'adresse : <https://map.geo.admin.ch> (consulté le 14 janvier 2023). Couleurs éditées.



d'une installation. En ce sens, la relocalisation de l'énergie sur des surfaces déjà artificialisées est à privilégier. Les milieux urbanisés n'offrent certes pas de surfaces aussi grande qu'une parcelle agricole ou qu'une prairie alpine, mais présentent l'avantage de permettre de préserver la nature ou le territoire productif rural. Le déploiement du photovoltaïque sur de grandes infrastructures existantes telles que chemin de fer et autoroute proposent une alternative à l'artificialisation des terres agricoles, à l'image du projet de couverture de l'autoroute A9 à Fully (VS). Les larges toitures, industrielles notamment, offrent également un large potentiel de production et une décentralisation plus conséquente.

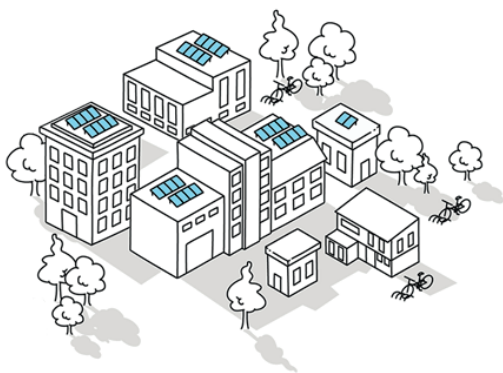
Certains nouveaux bâtiments dédiés à la production de chaleur ou d'électricité montrent une attention particulière à la biodiversité, en travaillant non seulement sur l'édifice lui-même, mais aussi sur une revalorisation de ses environs. On peut citer la nouvelle usine hydroélectrique à Hagneck (BE), au bord du lac de Biemme, qui, en plus de remplacer une installation existante par un projet architectural de qualité, requalifie l'ensemble du site de l'embouchure de l'Aar dans le lac et redonne une place importante à la faune et à la flore. La ville de Vevey, qui a inauguré en 2018 sa nouvelle centrale à bois aux Toveires, transforme et renature le site de son ancien stand de tir en consacrant une partie du budget à la réalisation d'un biotope à côté de la chaufferie, accompagné d'une balade didactique.⁸⁹

APPROPRIATION ET GESTION DE L'ÉNERGIE

La multiplicité des technologies disponibles ou en cours de développement pour mettre en œuvre la transition énergétique interroge notre rapport à la technique. Alors que l'être humain a dans son histoire toujours mené une lutte technique contre l'épuisement des ressources en ayant recours à l'innovation,⁹⁰ ce combat ou tendance au progrès a mené à une spécialisation de plus en plus importante et, si on l'applique à l'énergie, à la centralisation des sites d'extraction et de transformation des ressources, renforçant l'ordre électrique et les grands fournisseurs d'énergie. La tendance de ces opérateurs est de continuer la production, en particulier d'électricité, à distance, en remplaçant les centrales existantes par des parcs éoliens ou solaires, et en développant des micro-réseaux sur lequel ils peuvent garder

89 Di Matteo, « Un chauffage à distance entre ville et nature ».

90 Bihouix, *L'âge des low tech*, 27-29.



PAS À PAS, TOIT APRÈS TOIT,
UN EFFORT COMMUN POUR FAIRE AVANCER
LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE!

Slogan et illustration de principe de la bourse solaire de Renens

© Ville de Renens, <https://www.boursesolaire.ch> (consulté le 14 janvier 2023) [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

le contrôle par des systèmes souvent high-tech.⁹¹ En Suisse, on voit apparaître des centrales solaires de grande ampleur, comme à Payerne ou dans les Alpes.

Cette tendance à la croissance verte dans un modèle capitaliste où les grands acteurs de l'énergie continuent à dominer le marché peut cependant être questionnée. Le recours à des technologies toujours plus complexes comme les smart grids n'est certes pas à exclure, mais continuent de creuser le fossé entre production et consommation. La technique peut, en partie au moins, rester ou revenir dans les mains des citoyennes et citoyens. Lopez cite à ce titre Gilbert Simondon qui, en 1958, préconisait que l'être humain ne doit pas tout laisser à l'automatisation, mais rester le « régleur » ou l'organisateur dans une société où les objets techniques sont devenus la norme.⁹² Philippe Bihoux, dans son livre intitulé *L'âge des low tech, vers une civilisation techniquement soutenable*, préconise un recours modéré à la technique, de privilégier des machines plus accessibles et plus facilement réparables, quitte à sacrifier une part de productivité, pour garantir une société conviviale, c'est-à-dire dans laquelle l'être humain contrôle l'outil et pas l'inverse.⁹³

Cette vision se matérialise aujourd'hui avec l'apparition de nouveaux acteurs de l'énergie, des individus à la fois consommateurs et producteurs, qui peuvent contribuer à des projets énergétiques. La participation citoyenne « permet à tout un chacun d'investir à la hauteur de ses moyens dans des projets qui restent sous le contrôle des citoyens et des collectivités » dans la logique d'un développement local.⁹⁴ Elle permet de « de diversifier le financement des énergies renouvelables, de promouvoir l'appropriation locale des projets, de sensibiliser les usagers » et facilite l'acceptation citoyenne d'un projet malgré d'éventuelles contreparties nécessaires en termes de délais et de coûts.⁹⁵ Cette participation prend souvent la forme de centrales photovoltaïques, sous diverses nominations. Parmi beaucoup d'exemples, la ville de Nyon a créé une centrale solaire citoyenne sur le toit d'une école en collaboration avec une coopérative solaire active dans la région de la Côte vaudoise.⁹⁶ Les Services industriels genevois (SIG) permettent depuis 2020 à sa population d'acquérir un

91 Lopez, *L'ordre électrique*, 196-99.

92 Lopez, 137-38.

93 Bihoux, *L'âge des low tech*.

94 Jedliczka, « Des propositions pour un modèle alternatif fondé sur le renouvelable ».

95 Masboungi et Dupont, 200 initiatives pour la transition énergétique des territoires, 22.

96 « Les Nyonnais financent une nouvelle centrale solaire ».



Le chauffage à distance de Léchelles est géré par une coopérative villageoise. Joud Vergély Beaudoin, 2017.

mètre carré solaire pour 330 francs sur le Stade de Genève.⁹⁷ La ville d'Yverdon-les-Bains exploite des grandes toitures de son nouveau parc industriel pour proposer une offre solaire participative.⁹⁸ Finalement, la bourse solaire de Renens propose un financement participatif pour couvrir les toits de la commune de panneaux photovoltaïques.⁹⁹ Ces nombreuses initiatives se limitent cependant à la pose de modules photovoltaïques sur de larges toitures existantes et ne font pas l'objet de véritables projets architecturaux. Néanmoins, elles proposent des alternatives aux modèles de centralisation et contribuent à une diversification et une décarbonisation du mix énergétique.¹⁰⁰ De plus, les coopératives énergétiques permettent un « empowerment » citoyen et une réappropriation de l'énergie autour d'un projet commun.¹⁰¹ C'est le cas par exemple dans le village de Léchelles (FR), où la centrale de chauffage à distance intégrée dans un nouveau bâtiment public à multiples usages est en main d'une coopérative fondée par les habitants. Elle leur permet de créer un réseau indépendant et garantit le contrôle sur la provenance des ressources combustibles utilisées.¹⁰² Cette réalisation, intéressante à d'autres égards, met en avant le potentiel du projet architectural dans la mutation du système d'approvisionnement énergétique.

97 SIG, « Inauguration de la centrale solaire participative du Stade de Genève | SIG ».

98 Commune d'Yverdon-les-Bains, « Solaire participatif ».

99 Bourse Solaire Participative, « Bourse Solaire Participative, la transition énergétique citoyenne ».

100 Lopez, *L'ordre électrique*, 143.

101 Lopez, 144.

102 Frochaux, « Salle multi-usage « La grange au pré », Léchelles, Belmont-Broye (FR), 2017 - Le petit dragon de la Broye ».

ARCHITECTURE. À LA RECHERCHE D'UN NOUVEAU LANGAGE DE L'ÉNERGIE

La centrale énergétique de la transition alimente de multiples réflexions à l'échelle du territoire, du rapport aux ressources aux nouveaux modes de gestion de l'énergie. Qu'en est-il de ses qualités en termes de programmes, de matérialité, d'architecture ? En quoi le projet architectural permet-il d'accompagner la transition énergétique ? Une série de réalisations récentes (dès le tournant du vingt-et-unième siècle) font émerger de nouvelles thématiques et constituent sans doute la naissance d'un nouveau patrimoine architectural de l'énergie. Le nombre de nouvelles centrales, notamment de chaleur à distance, réalisées lors des deux dernières décennies étant élevé, la suite ne prétend pas à l'exhaustivité. Il s'agit d'une collection de projets qui alimentent les réflexions sur l'hypothèse de ramener des centrales énergétiques en milieu urbain.



Salle polyvalente de Léchelles (FR) avec locaux pour les sapeurs-pompiers (à gauche) et pour la chaufferie du CAD (à droite). Joud Vergély Beaudoin, 2017.

EN QUÊTE DE SYNERGIES

Les convertisseurs d'énergie de la transition sont bien souvent des installations techniques monofonctionnelles, isolées et inaccessibles. Cependant, on voit apparaître de plus en plus de démarches qui cherchent à combiner les usages, de manière plus ou moins créative et dont la qualité visuelle varie. Le solaire photovoltaïque, grâce à une certaine flexibilité dans l'intégration des modules, produit quelques exemples qui apportent une qualité fonctionnelle supplémentaire à celle de la simple génération d'électricité. Par exemple, la couverture d'un tronçon d'autoroute à Fully permet aussi de réduire les nuisances de bruit du transport routier et de diminuer les besoins en services hivernaux en cas de forte neige.¹⁰³ Un usage en tant que couvert ou ombrière pour des parkings notamment, permet d'alimenter en énergie des véhicules électriques et protéger des conditions climatiques (pluie, grêle, soleil, etc.). Cependant, de telles structures se matérialisent souvent par une simple ossature métallique couverte de modules photovoltaïques standard, sous lesquels se trouvent des câbles et autres onduleurs. Il s'agit donc d'installations réalisées dans un but purement technique. L'énergie solaire est aussi compatible avec l'agriculture, comme le montre l'Agroscope de Conthey, qui superpose des modules photovoltaïques à des cultures, permettant de régler les conditions lumineuses et climatiques sur celles-ci.¹⁰⁴ Ces solutions techniques témoignent d'un potentiel d'intégration à la conception architecturale de nouvelles centrales, mais sont aujourd'hui plutôt limitées à une dimension fonctionnelle, déterminée par des contraintes liées à l'usage (agriculture, trafic routier, stationnement) et à l'énergie (orientation, inclinaison).

Il est encore difficile de trouver en Suisse des centrales énergétiques dont le programme dépasse la seule production d'énergie. Il se limite généralement à des locaux dédiés à l'accueil des visiteurs, créant un interface de communication entre l'entreprise fournisseuse d'énergie et la population. Des chaufferies alimentant un réseau de chaleur à distance sont parfois intégrées à un bâtiment public. C'est le cas de la centrale de la coopérative CAD de Lécheltes, dans la commune de Belmont-Broye (FR), réalisée par les architectes Joud Vergély Beaudoin. Positionnée en bordure du village, la salle polyvalente, élément princi-

103 « On recherche activement de nouveaux sites pour le déploiement de nouveaux panneaux solaires ».

104 Agroscope, « Mise en service d'une installation agrivoltaïque expérimentale à Agroscope Conthey ».

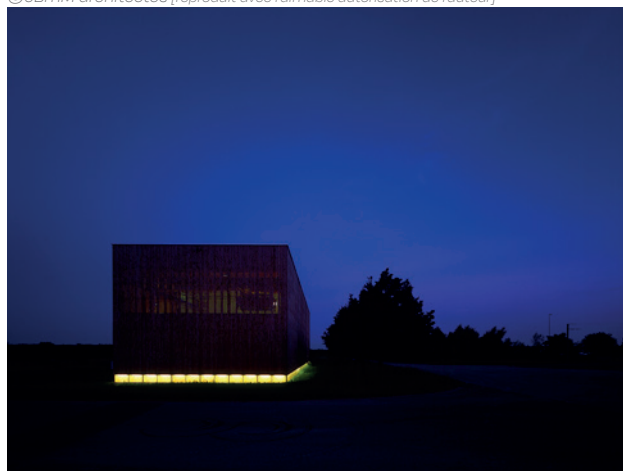


Chaufferie de Bière (VD), Pierre Bonnet et Bridel Architectes, 1999.

©cBmM architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

L'apparence légère de la chaufferie grâce au socle en polycarbonate.

©cBmM architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



pal du programme, accueille en plus un local pour les sapeurs-pompiers, côté village, et un espace dédié aux machines de la chaufferie, côté « champs », marquant, avec sa cheminée qui domine le reste du volume, la porte d'entrée dans le tissu bâti. Les différents programmes ne communiquent pas entre eux et sont indépendants les uns des autres, seule l'enveloppe uniforme en bardeaux de tuiles les unit dans un même volume. Il s'agit d'un « *objet intrigant, un de ces bâtiments que l'on ne parvient pas à saisir, tant leur forme ambiguë échappe aux représentations partagées dans l'inconscient collectif* », ¹⁰⁵ témoignant de la juxtaposition de ses différentes fonctions. Au-delà de la diversité programmatique de cette centrale, sa bonne intégration dans le contexte, grâce à son implantation dans la pente et sa matérialité, est digne d'intérêt pour les considérations de ce travail et nous mène au point suivant.

INTÉGRATION DANS UN ENVIRONNEMENT BÂTI OU NATUREL

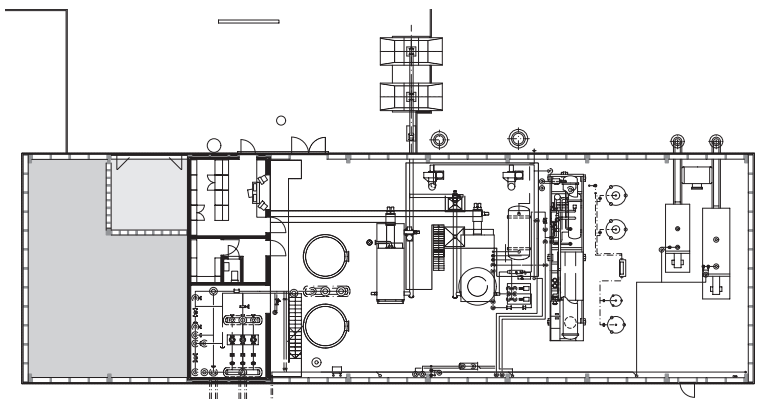
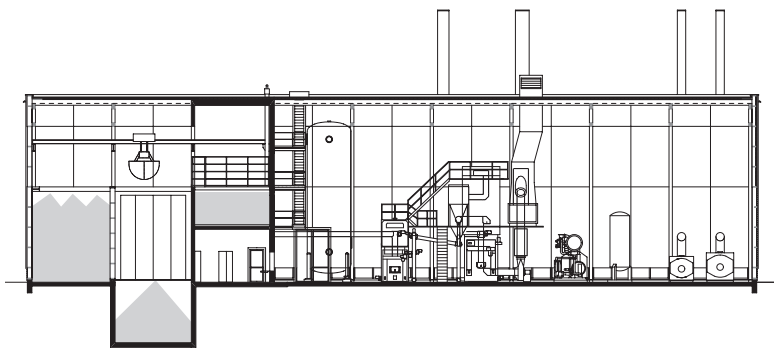
Ces dernières années, grâce notamment au développement de réseaux de chauffage à distance, une nouvelle génération d'édifices dédiés à l'énergie a vu le jour. Lopez fait état de l'apparition, au tournant des années 1990, dans plusieurs pays d'Europe dont la Suisse, de nouvelles centrales énergétiques de plus petite échelle, utilisant des ressources en lien avec leur territoire et les qualifie de « vecteurs d'urbanité ». ¹⁰⁶ Elles se distinguent par la qualité de leur intégration, dans un environnement bâti ou naturel.

Michael Jakob ¹⁰⁷ révèle notamment les qualités de la chaufferie de Bière (VD), réalisée en 1999 par les architectes Bonnet et Bridel, destinée à alimenter en chaleur la place d'arme voisine, en plus de produire de l'électricité en hiver. Il souligne sa « *forte présence dans le paysage* » et son apparence légère et élégante, malgré sa taille importante, rendue possible grâce à la transparence de son socle. Les hautes cheminées en aluminium rompent avec l'horizontalité du volume. L'utilisation du matériau bois comme structure (hormis les fondations et un compartiment étanche au feu réalisés en béton) et comme enveloppe crée un lien fort avec la forêt, d'où vient le bois qui est utilisé comme combustible dans la chaufferie. Cette réalisation témoigne d'un soin particulier apporté à la centrale en tant qu'objet architectural

105 Frochaux, « Salle multi-usage « La grange au pré », Léchelles, Belmont-Broye (FR), 2017 - Le petit dragon de la Broye ».

106 Lopez, *L'ordre électrique*, 122-23.

107 Jakob, « *Arquitectura y Energía = Architecture and Energy* », 60-61.



Chaufferie de Bière (VD), Plan et coupe 1:500. De droite à gauche, la salle des chaudières, un noyau en béton contenant divers locaux et le silo pour stocker les copeaux de bois. Pierre Bonnet et Bridel Architectes, 1999.

©cBmM architectes [reproduits avec l'aimable autorisation de l'auteur]

dans son paysage.

Dans un autre registre, la nouvelle centrale hydroélectrique de Hagneck (BE) se démarque par son intégration dans un paysage alluvial entre nature recomposée et production d'électricité. Celle-ci alimente l'équivalent de 30'000 ménages bernois (110 GWh) et contribue au haut degré d'autonomie électrique du canton.¹⁰⁸ Ce barrage, qui s'ajoute au riche répertoire de l'architecture hydroélectrique suisse, se compose de la salle des machines côté est et des piliers du barrage de l'autre côté, ainsi que d'un pont permettant la traversée du canal. Réalisé en béton armé, une teinte jaunâtre a été ajoutée au mélange afin de faire écho à la couleur de la molasse caractéristique de la région, rendue visible par le percement du canal de Hagneck¹⁰⁹ lors des travaux de correction des eaux du Jura. L'équipe composée d'un architecte, d'un ingénieur civil et d'un architecte paysagiste évite de créer un volume massif, grâce à l'abaissement du niveau du pont, le faisant passer le long du barrage et du bâtiment des machines. Les trois éléments distincts « *s'inscrivent ainsi plus harmonieusement dans le paysage sensible* ».¹¹⁰ Les abords de l'ensemble constituent une sorte de promenade architecturale le long de cette infrastructure et une continuité fluide et dynamique des itinéraires piétons et cyclables des rives du lac de Biemme. La piste cyclable traverse, par un premier pont, le bras du canal qui mène à la centrale électrique historique, pour aboutir sur l'entrée d'un centre de visiteurs intégré au bâtiment des machines. Les angles arrondis de la façade accompagnent naturellement un virage jusqu'au pont, qui permet de voir l'intérieur de la salle des machines, puis de longer les piliers du barrage et d'entrevoir les Alpes à l'horizon du canal entre ceux-ci. La présence de nombreux panneaux d'informations sur l'ensemble du site permet aux passantes et passants de se familiariser avec les thématiques de l'énergie et de la biodiversité de ce lieu haut en nature.

Dans un cadre bâti, la construction de centrales demande également une attention particulière à son intégration. Bon nombre de chaufferies sont situées en limite des zones bâties ou dans des zones artisanales ou industrielles et sont des bâtiments purement fonctionnels. En revanche, dans un contexte habité, la centrale de chauffe devient un objet architectural intégré dans le tissu urbain ou villageois, comme la centrale de Léchelles. Avec leur projet au Lüssihof, à Zoug,

108 BKW, « Mise en service de la centrale au fil de l'eau la plus moderne de Suisse ».

109 Scitz, « Du courant au fil de l'eau et dans le paysage ».

110 « CENTRALE HYDROELECTRIQUE DE HAGNECK ».



Le nouveau barrage hydroélectrique de Hagneck (BE). Un pont pour piétons et cyclistes longe l'installation et permet de voir l'intérieur de la salle des machines. Penzel Valier, 2015.

L'embouchure de l'Aar dans le lac de Biemme est revalorisée par des aménagements énergétiques et paysagers.





Le béton pigmenté de la nouvelle installation fait écho à la molasse locale. Les façades courbes fluidifient la promenade le long des rives.



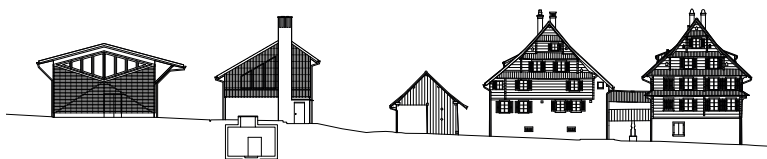
Lüssihof (ZG), intégration d'une chaufferie et d'autres activités dans un contexte patrimonial. Graber Pulver Architekten, 2017.

© Georg Aerni/Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Le socle en béton clair réinterprète les murs blancs traditionnels de la région. La cheminée de la chaufferie prolonge le soubassement et se démarque du bois.

© Georg Aerni/Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



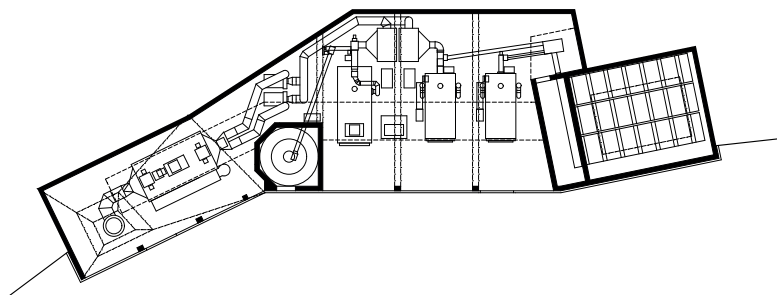
Lüsihof. Elévation 1:800. Coupe dans le silo de la chaufferie.

© Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Centrale de chauffe de Lungern (OW). Sa cheminée couronne un volume en bois à mi-pente entre le bâtiment des services forestiers et une entreprise de construction bois. HUGGENBERGERFRIES ARCHITEKTEN, 2010.

© HUGGENBERGERFRIES ARCHITEKTEN [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Le bâtiment enterré d'un côté. Le bois combustible peut être délivré par la route au niveau supérieur dans le silo, à droite. 1:500.

© HUGGENBERGERFRIES ARCHITEKTEN [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

le bureau bernois Graber Pulver va un cran plus loin, en réalisant deux petits bâtiments contenant une charpenterie, un garage, des espaces administratifs ainsi qu'une centrale thermique dans un ensemble rural inscrit au patrimoine. Alors que le bois domine dans la composition des façades, le socle en béton clair, où se situe la chaufferie, fait écho au rez-de-chaussée traditionnellement blanc des constructions rurales avoisinantes.¹¹¹ La grande cheminée s'élève dans la continuité du socle et fait référence au « Ofenhaus », édifice typique du four commun villageois, traditionnelle centralité énergétique.¹¹² Avec cette réalisation, les architectes parviennent à intégrer la chaufferie qui, malgré sa petite échelle, s'affirme grâce à une expression qui évoque des formes traditionnelles spécifiques au lieu.

Il est plus aisé de trouver des exemples d'intégration dans un contexte bâti lorsqu'il s'agit de petites installations. A l'instar du projet Lüssihof, la petite centrale de chauffe de Lungern (OW), par les architectes Huggenbergerfries, s'harmonise avec les constructions avoisinantes grâce à sa matérialité, mais affirme, par son implantation contre la pente, un caractère infrastructurel. Elle s'inscrit dans un site fortement imprégné par le matériau bois, dont le recours en façade et partiellement en structure évoque le combustible des chaudières. En effet, la nouvelle construction fait le lien entre une entreprise de construction bois et les bâtiments dédiés à l'exploitation forestière plus haut.¹¹³

Les centrales en milieu bâti font donc l'objet d'une attention particulière pour les insérer dans des contextes dignes de protection. Souvent, l'expression de l'énergie devient une inspiration pour le projet architectural, à l'image de la cheminée de la centrale de Lungern qui signale la fonction du bâtiment.

L'ÉNERGIE COMME ÉLÉMENT DE PROJET

Certains de ces exemples de centrales bien intégrées dans leur environnement portent également une autre dimension intéressante dans le cadre du présent travail. Lorsque les dispositifs techniques nécessaires à la transformation d'énergie servent d'inspiration au projet architectural, il en découle des conceptions formelles intéressantes, expression de l'énergie produite et de la ressource utilisée, explorant un nouveau langage propre à l'énergie. L'échelle réduite de ces bâti-

111 Herzog, « Zentrum = Centre = Centro-Sud ».

112 « Ersatzneubauten Lüssihof, Zug ».

113 HUGGENBERGERFRIES, « Heizzentrale, Lungern ».



La centrale du chauffage à distance de Guin (FR) est dotée d'une ouverture continue sur ses quatre façades, témoignant le flux d'énergie. Brühlart Ducret, 2015.

ments et leur technologie plus simple, si on les compare aux grandes centrales thermique et nucléaires abordées au chapitre 3, permet une plus grande créativité. La compréhension de la technique permet à l'architecte de se l'approprier en tant qu'élément de projet.

La cheminée est souvent l'élément le plus marquant d'une centrale, notamment lorsqu'il s'agit d'une chaufferie pour un réseau de chaleur à distance. La chaufferie de Lignières (NE) en témoigne par sa forme, évoquant le « thuyé », énorme cheminée centrale caractéristique des fermes jurassiennes.¹¹⁴ Comme la plupart des centrales à bois, l'édifice se compose de trois parties : un vaste espace pour stocker le bois, un silo, qui alimente les chaudières, et la salle des machines. Ici, le tout est intégré sous un même toit, mais une distinction est faite entre les espaces étanches à l'air, soit la salle des machines, face à la route, et la zone dédiée au stockage et au silo, simplement fermée par des claustras en rondins qui créent un lien avec la forêt au loin.

La centrale du chauffage à distance d'Orbe (VD) tire aussi sa conception du processus de génération d'énergie.¹¹⁵ Le bureau zurichois MAK utilise habilement l'élément de la cheminée pour exprimer la fonction première du bâtiment tout en lui conférant une apparence plus domestique qu'industrielle. L'utilisation d'une structure en bois est privilégiée afin de correspondre à la fonction du bâtiment, qui brûle des copeaux. Au-delà de ses vocations fonctionnelle et esthétique, cette réalisation se caractérise par une dimension qui se veut éducative, avec une large ouverture montrant l'intérieur. Positionnée sur le trajet d'enfants se rendant à l'école, elle fait entrer l'énergie renouvelable dans le quotidien.

Cette volonté de mise en visibilité de l'intérieur se retrouve dans la chaufferie à Guin (FR), où les architectes Brülhart Ducret réalisent une ouverture continue et irrégulière sur tout le périmètre de ce bâtiment situé dans une zone artisanale. Pour eux, cette bande exprime le flux d'énergie.¹¹⁶

Pour terminer, un exemple d'une toute autre échelle retient particulièrement l'attention, par son envergure, son architecture imposante et sa manière d'approcher le public pour le sensibiliser aux processus techniques. La centrale énergétique « Forsthaus », des architectes Graber Pulver, impressionne, tant depuis l'autoroute que depuis les voies ferrées de l'autre côté, par son volume imposant et ses façades

114 « Chauffage à distance à bois 2523 Lignières (NE) ».

115 Oppliger, « Élégance technique ».

116 Brülhart Ducret, « Heizzentrale – Brülhart Ducret ».



La cheminée de la chaufferie de Lignières (NE), inspirée d'éléments d'architecture vernaculaire rurale. Repele architectes, 2009



La chaufferie de Lignières se situe en contrebas du village et alimente son réseau de CAD avec du bois local.

A Orbe, le bois est utilisé comme revêtement façade pour évoquer le combustible utilisé.





Centrale énergétique Forsthaus, Berne. La silhouette puissante sort de la forêt, de jour comme de nuit. Graber Pulver Architekten, 2013.

© Hannes Henz/Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Un corridor pour les visiteurs longe l'entier du bâtiment.

© Georg Hemi/Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



en béton rythmées par les éléments de préfabrication. De nuit, la silhouette de la haute cheminée est illuminée, montrant la transformation permanente d'énergie. Remplaçant initialement l'ancienne centrale à incinération des ordures ménagères de l'agglomération bernoise, la nouvelle construction est également équipée d'une centrale à bois et d'une autre à gaz, produisant de l'électricité pour près de la moitié de la ville.¹¹⁷ Pour accompagner une intervention d'une telle échelle, les architectes ont voulu en faire un aimant pour le public et montrer, par l'organisation linéaire des trois types d'installations, les processus de transformation de manière didactique.¹¹⁸ Cette prise en compte de l'humain dans une telle machine a donc influencé l'organisation du plan. Thomas Pulver souligne que la volonté d'insuffler un caractère public dans cette infrastructure était présente dès les premières réflexions, bien que cet aspect n'occupait pas une place importante dans le programme du concours.¹¹⁹ Ainsi, la façade sur la ville exprime un cheminement organisé pour les visiteurs. Un grand escalier attire le public depuis la rue, menant à un centre d'accueil. Depuis là, un corridor vitré long de trois cents mètres longe l'entier du bâtiment et montre, grâce à des ouvertures rondes vers l'intérieur, les processus de transformation de l'énergie et les technologies des différentes installations. Cet espace longiligne est mis en scène dans une couleur jaune qui le rend particulièrement visible la nuit depuis l'extérieur. Par la mise en scène de la production de chaleur et d'électricité, au moyen d'un dispositif architectural élaboré, le Forsthaus cherche donc à rapprocher les consommateurs et consommatrices de l'énergie. Cette nouvelle centralité énergétique de la ville de Berne n'est pas un bâtiment figé dans le temps. La conception en éléments préfabriqués en béton permet une adaptation du volume en cas de besoin. De plus, le site accueille désormais un projet pilote de stockage géothermique saisonnier, un système utilisant les excédents d'énergie produits par l'usine, notamment lorsque les besoins en chauffage à distance sont moindres, en chauffant de l'eau ensuite injectée dans le sol afin d'être réutilisée en hiver pour réduire les besoins en matières combustibles.¹²⁰

117 « Energiezentrale Forsthaus Bern (EZF) ».

118 Huber, « Wie das Kraftwerk in den Wald kam ».

119 Solt et al., « Gesellschaftlicher Relevanz eine Form geben ».

120 Energie Wasser Bern, « Geospeicher ».



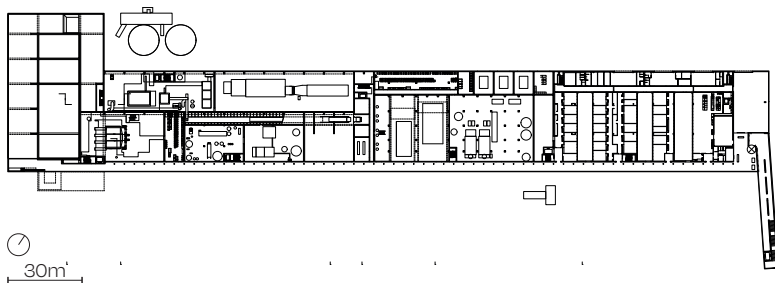
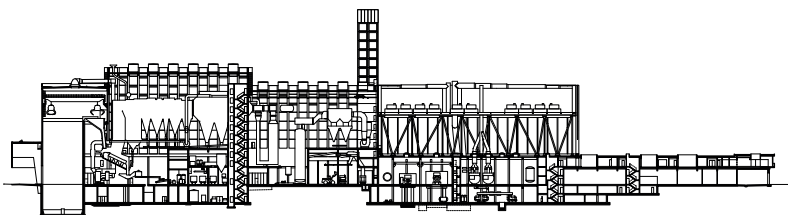
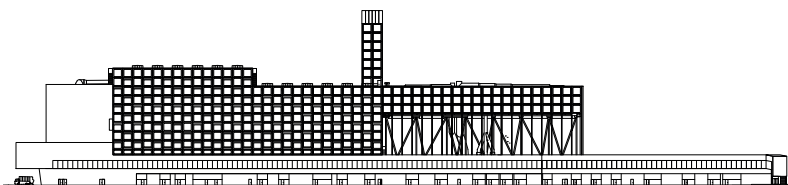
Centrale énergétique Forsthaus, Berne. Graber Pulver Architekten, 2013.

© Hannes Henz/Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Des fenêtres dans le corridor montrent la transformation d'énergie.

© Hannes Henz/Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]





Centrale énergétique Forsthaus. Elévation, coupe, plan 1:3000. La façade et le plan mettent en évidence le parcours pour les visiteurs, qui commence par l'escalier tout à bois, à gaz et d'incinération des ordures, visibles dans la coupe

© Graber Pulver Architekten [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

La transition énergétique étant désormais une urgence, le déploiement rapide de nouveaux dispositifs dans le territoire est une nécessité. Les trois déterminants d'une transition, identifiés par Humair,¹²¹ doivent désormais être des accélérateurs et non des freins à la transition : outre la rentabilité financière croissante des sources d'énergie renouvelables et la situation politique qui encourage à développer une plus grande indépendance énergétique, le troisième levier, socio-culturel, doit faciliter l'acceptation des nouveaux projets qui vont bouleverser les hiérarchies des acteurs en place et les habitudes de la population. C'est dans ce sens que le projet architectural peut contribuer à transformer les quotidiens, rendre l'infrastructure acceptable, créer des lieux désirables autour et au sein des objets de l'énergie. Alors que la mutation du système se matérialise sous de multiples formes dans le territoire, les centrales de chauffage à distance ou de cogénération présentent le plus grand potentiel d'intégration dans un tissu bâti, comme l'ont illustré les exemples dans la dernière partie de ce chapitre. Cependant, le photovoltaïque, sur lequel misent largement les politiques pour remplir les objectifs de l'accord de Paris, apparaît lui aussi comme une technologie qui peut être intégrée en milieu urbain à une échelle relativement grande, tout en proposant de nouveaux modèles de gestion, en intégrant notamment la participation citoyenne. Des centrales urbaines, publiques, multifonctionnelles existent-elles ? Les exemples suisses ont révélé des pratiques qui vont dans ce sens, mais leur taille est souvent limitée – ou particulièrement grande pour le cas de la Forsthaus de Berne – et elles restent généralement situées dans des contextes peu denses ou légèrement en marge des centres habités.

121 Humair, « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé », 246.





5



Etudes de cas

*Des exemples de centrales
énergétiques en milieu urbain*

Les exemples suisses de centrales énergétiques, dont l'usage ne se limite pas à la production d'énergie elle-même, et situées en milieu habité relativement dense n'existent apparemment pas (encore). Le présent chapitre explore trois cas d'étude étrangers qui nourrissent la réflexion sur le développement de centrales énergétiques désirables, multifonctionnelles et intégrées en milieu urbain. Alors que la planification de la transition énergétique est souvent évoquée à l'échelon national, les agglomérations, peuvent agir de manière plus efficace grâce à des processus de décisions plus rapides, elles qui concentrent la demande d'énergie.¹²²

Le choix des études de cas se porte sur trois villes, Copenhague, Paris et Londres. Les centrales énergétiques deviennent, comme le souligne Fanny Lopez, vecteur d'urbanité, espaces publics abordables et arguments touristiques.¹²³ Les réalisations témoignent des stratégies de transition énergétique de ces villes. La sélection des différentes centrales couvre plusieurs thématiques. Premièrement, la centrale de cogénération Amager BIO4 de Copenhague concerne la transition du charbon à la biomasse d'un vaste site dédié à la production d'énergie, alors que la centrale photovoltaïque de la Halle Pajol à Paris se porte sur la réhabilitation d'une structure industrielle et que l'Energy Hub dans le quartier Elephant and Castle à Londres est une nouvelle construction pour alimenter un grand projet de régénération urbaine. Deuxièmement, l'une se situe à la limite de la ville, dans la zone portuaire de Copenhague, l'autre le long des voies ferroviaires parisiennes et la dernière au cœur d'un contexte urbain londonien dense. Troisièmement, la technologie et les ressources utilisées diffèrent. Les deux centrales de cogénération, bien que toutes deux basées

122 Shah et Keirstead, *Urban Energy Systems*, 3-4.

123 Lopez, *L'ordre électrique*, 122-26.



BIO4 Amager

Gottlieb Paludan architects, 2017

© Jens Lindhe/Gottlieb Paludan architects

[reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Halle Pajol

Jourda Architectes, 2012

© Jourda architectes

[reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Elephant & Castle Energy Hub

Morris+Company, 2019

© Morris+Company

[reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Carte modifiée.

Source: CC BY-SA 3.0 maix, <https://w.wiki/6Dxu> (consulté le 14 janvier 2023)

sur la biomasse, se distinguent par deux échelles complètement différentes. La Halle Pajol accueille quant à elle une centrale photovoltaïque en plus de son programme initial. Quatrièmement, c'est justement la place de la transformation de l'énergie dans l'ensemble du bâtiment et sa relation avec le reste du programme qui se révèle digne d'intérêt. Dans l'exemple français, l'énergie est un élément additionnel au cahier des charges, venant enrichir le projet. Dans le cas danois, la grande centrale de cogénération, qui est le cœur du bâtiment, est enveloppée par une peau qui devient espace public et façade de l'énergie. Quant à la centrale britannique, les machines de transformation d'énergie partagent les mêmes murs que d'autres espaces dédiés à la communauté.

L'étude propose trois exemples qui rassemblent un certain nombre d'éléments développés chapitre précédent. Les hypothèses de proximité et de visibilité sont le vecteur commun de ces cas d'étude, tous trois en milieu urbain et témoins de politiques volontaires de relocaliser et décentraliser la production d'énergie. En quête d'acceptabilité voire de désirabilité, ces réalisations sont exemplaires à plus d'un titre. Le soin apporté à la matérialité, la multiplicité des fonctions et la mise en visibilité des procédés de transformation d'énergie sont quelques facteurs qui contribuent à créer à un environnement de qualité et à changer les pratiques de production et de consommation d'énergie.

L'étude de ces cas ne suit certes pas la structure du chapitre précédent, mais l'analyse prend en compte les nombreux aspects développés auparavant. Chaque étude commence par une introduction à l'échelle de la ville en question. Les technologies utilisées, l'énergie transformée, la question des ressources, la problématique de la gestion et de la propriété de l'énergie et les enjeux paysagers sont développés de manière spécifique à chaque cas. Enfin et surtout, c'est la dimension architecturale de ces centrales à laquelle on s'intéresse en profondeur, qui comprend la matérialité, la diversité programmatique, le rapport à l'énergie et l'insertion dans un contexte urbain. Plutôt que de les comparer, il s'agit d'identifier les principales qualités propres à chacun de ces exemples.



L'Amager BIO4 dans la baie de Copenhague. 1:15000

© Google Earth 2021. Image modifiée.



150m

Architecte	Gottlieb Paludan Architects, Copenhagen
Année d'achèvement	2021
Surface bâtie	12'500m ²
Coût	DKK 1,5 milliards (€ 200 millions)
Maître d'ouvrage	HOFOR (service public du Grand Copenhague)
Programmes	Centrale de cogénération Espaces publics
Type d'intervention	Intervention sur la façade de la nouvelle centrale et plan directeur
Energie	Cogénération à partir de copeaux de bois, puissance de 500MW

LA PEAU DE LA CENTRALE COMME INTERFACE ENTRE L'ÉNERGIE ET LE PUBLIC. *AMAGER BIO4, COPENHAGUE*

COPENHAGUE : LA PÉNINSULE D'AMAGER, POUMON DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

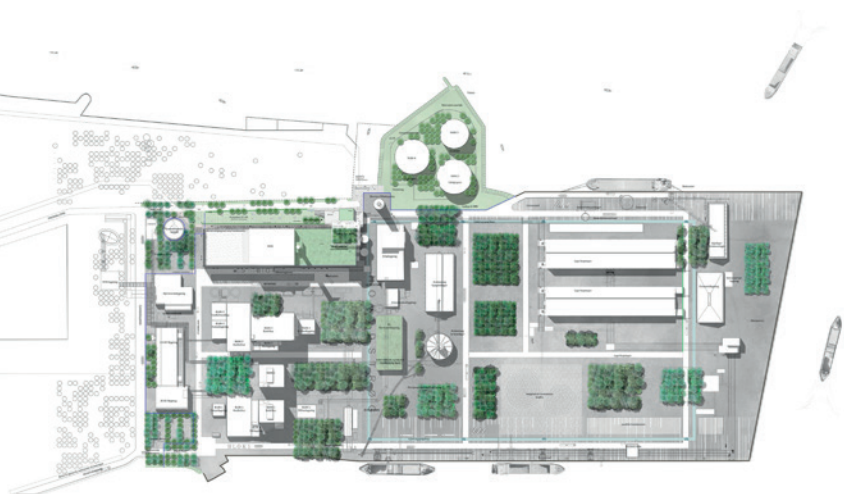
Le Danemark est un pays ambitieux dans sa politique énergétique. Sa situation géographique lui permet notamment de développer des parcs éoliens en mer. Le financement citoyen est d'ailleurs devenu une obligation légale dans ce genre de démarche, puisque 20% du capital des sociétés de projets éoliens doit être ouvert aux riverains.¹²⁴ La ville de Copenhague vise la neutralité carbone à l'horizon 2025. Pour concrétiser cet objectif, elle peut compter sur ses coopératives éoliennes et surtout sur son réseau de chaleur à distance qui couvre 98% des logements de l'agglomération.¹²⁵ Celui-ci est notamment approvisionné par les infrastructures situées dans la partie nord de l'île d'Amager, près du centre-ville. Il s'agit d'une zone portuaire historiquement dédiée à l'industrie, principalement énergétique, comme en témoignent les nombreux réservoirs à hydrocarbures et les grands sites de transformation. La transition de ce secteur vers des énergies moins carbonées a commencé par la réalisation de la centrale d'incinération des déchets « Copenhill » du Bjarke Ingels Group (BIG). Celle-ci rend visible la quantité de CO₂ émise par la combustion des déchets, en lâchant des anneaux de fumée visibles depuis toute la ville. A la recherche d'un nouvel imaginaire de ce que doit être un équipement public,¹²⁶ l'architecte ajoute un autre programme, dédié aux loisirs, grâce à l'adaptation de la forme du bâtiment pour en faire une piste de ski artificielle. La démarche, intéressante, cherche à rendre la transition désirable. Il s'agit là plutôt d'un coup de communication, selon Lopez, l'obsolescence de la centrale étant déjà partielle.¹²⁷ Voisine de Copenhill, la centrale de cogénération BIO4, plus récente, propose une approche moins iconique mais intéressante dans sa conception et sa réalisation.

124 Masboungi et Dupont, 200 initiatives pour la transition énergétique des territoires, 22.

125 Masboungi et Dupont, 134.

126 Slavin, « An Incinerator with a View ».

127 Lopez, L'ordre électrique, 135.

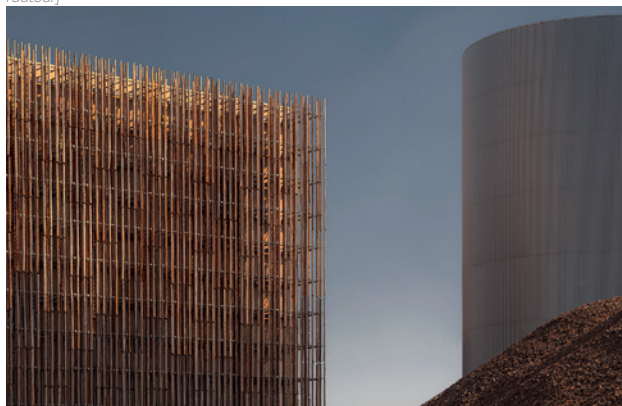


Plan de site avec aménagements paysagers prévus. Les abords de la centrale, en haut à gauche sur le plan, seront aménagés selon le concept de la forêt.

© AMV/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

La façade composée de rondins de bois servira de combustible à la fin de sa durée de vie.

© Jens Lindhe/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Cette réalisation des architectes danois Gottlieb Paludan est le fruit d'un concours organisé par HOFOR, le fournisseur énergétique principal de l'agglomération. Le site sur lequel s'implante cette nouvelle construction accueillait une centrale à charbon dédiée à la production de chaleur et d'électricité. L'intervention architecturale dans le cadre du concours se limite à la façade de ce colosse de 200 mètres de long pour 65 mètres de large et 46 mètres de haut, la volumétrie étant déjà définie par les besoins techniques spécifiques à la centrale. Un plan directeur pour revaloriser le site et le rendre à la fois plus fonctionnel et plus accessible au public fait également partie du programme.

LA BIOMASSE COMME ÉLÉMENT CONCEPTUEL

La nouvelle centrale de cogénération remplace l'ancienne, qui utilisait le charbon comme combustible, afin de permettre à la ville de devenir la première capitale au monde neutre en carbone dès 2025. De la biomasse durable, sous forme de copeaux valorisant les déchets de bois, alimente les installations d'une puissance de 500 MW. Celles-ci permettent de combler 30% des besoins totaux en chauffage à distance de l'ensemble de la ville.¹²⁸ La situation relativement centrale dans la capitale permet de limiter les pertes de chaleur dans le réseau grâce aux distances relativement faibles.¹²⁹ Cette infrastructure étant considérable, la compagnie Hofor, maître d'ouvrage, est consciente de la nécessité de rendre la production transparente et d'en faire un site fréquentable pour touristes et locaux. Le programme du concours insiste sur l'importance de la façade du bâtiment, qui se voit depuis le centre de Copenhague et d'autres lieux importants de la capitale.¹³⁰ La proposition de l'équipe gagnante développe le thème de la forêt tant sur la façade que dans le plan directeur, évoquant le matériau utilisé comme combustible. La réalisation permet, selon les mots de l'un des architectes associés, Jesper Gottlieb, de « *créer une histoire dans laquelle on peut réellement s'immerger, une histoire à propos de la forêt et de la transition vers les énergies renouvelables* ». ¹³¹ La façade est composée de troncs d'arbres qui, après une durée de vie estimée à 30 ans, seront transformés en pellets pour alimenter la centrale. Le

128 LAB HOFOR.

129 Slavin, « An Incinerator with a View ».

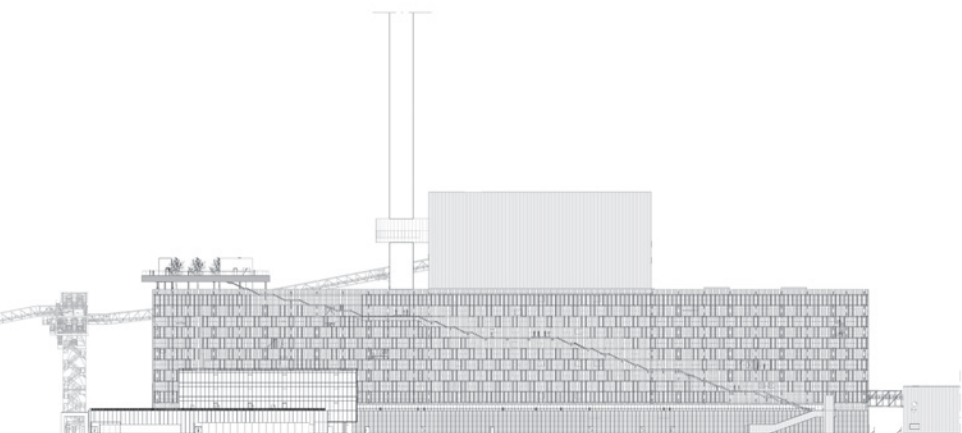
130 Sweco Architects, « Dommerbetænkning, Arkitekturprojekt på Amagerværket ».

131 Giermann, « Gottlieb Paludan Architects Design a Forest-Inspired Biomass Unit for Copenhagen ». Traduit du texte original en Anglais : « *create a story that you can actually enter, a story about the forest and about the transition to sustainable energy* ».



Le contexte portuaire et industriel marque l'esprit du site.

© Jens Frederiksen/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



L'espace public parcourt toute la façade et aboutit sur une plateforme panoramique.

© Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

titre du projet rendu au concours évoque le thème de la biomasse. En transformant le sens du terme de centrale électrique (power plant) par l'inversion des deux mots, la proposition s'intitule « Plant Power », traduit littéralement comme « la force des plantes ».

L'ESPACE PUBLIC ET LA MISE EN LUMIÈRE DE L'ÉNERGIE

La mise en œuvre de la thématique de la forêt se matérialise avant tout sur les façades, composées de troncs fixés verticalement à des éléments métalliques qui les détachent du mur, donnant une apparence légère. Sur la façade principale, qui fait face à la baie et à une esplanade, un escalier sort du volume pour engager le public à monter d'un niveau pour aboutir sur une galerie qui occupe toute la longueur du bâtiment. Les baies vitrées continues permettent de voir à l'intérieur. Au-dessus de cet élément, la couche de revêtement en troncs d'arbres est démultipliée afin de donner une grande épaisseur à la façade, suffisamment large pour d'accueillir un grand escalier droit qui parcourt l'édifice dans toute sa longueur. La façade devient, grâce aux 5 à 6 couches, une forêt, selon l'un des collaborateurs du projet.¹³² A différents paliers, des ouvertures ciblées offrent une relation visuelle avec l'intérieur. Le point culminant est une plateforme végétalisée qui donne une vue sur le site entier et sur le paysage alentour marqué par la silhouette du centre-ville d'un côté et, de l'autre, par les éoliennes et d'autres infrastructures imposantes. Cette promenade est une manière de faire expérimenter la centrale aux visiteurs et les sensibiliser aux enjeux de durabilité et d'énergie.¹³³ Gottlieb souligne la volonté exprimée par Hofor, compagnie détenue par la municipalité, d'ajouter une fonction éducative au bâtiment. Celle-ci se matérialise par ce dispositif dédié au public, ainsi que par un plan pour l'ensemble du site, qui prévoit la plantation de nombreux arbres qui viendront coloniser ces espaces très minéraux et confirmer la nouvelle identité d'un lieu qui vit sa mutation du charbon à la biomasse.

Un travail important a été mené pour « mettre en lumière » la centrale et offrir une présence nocturne de ce nouveau repère urbain dans le Skyline de la ville. Des projecteurs, installés sur le quai devant la façade principale, illuminent la « forêt » de manière dynamique. « *La lumière projetée révèle avec douceur la profondeur et la texture de la façade, alors que l'énergie dans l'animation l'exalte comme une*

132 MARTIN | Enchanted by Light, Meet BIO4, a Poetic Celebration of Wood-Fired Energy.

133 Giermann, « Gottlieb Paludan Architects Design a Forest-Inspired Biomass Unit for Copenhagen ».

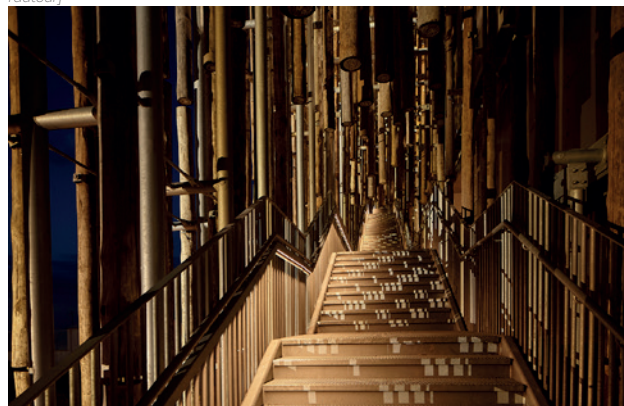


La galerie continue sur l'entier de la façade principale offre une vue sur le centre-ville ainsi qu'à l'intérieur de la centrale.

© Allan Toft/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Un escalier mène à la plateforme et évoque une forêt.

© Allan Toft/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



source d'électricité pour la ville », comme décrivent les designers qui ont conçu le système d'éclairage, précisant que d'autres tons peuvent remplacer la lumière blanche chaude par défaut afin d'encourager la participation de la communauté à l'avenir.¹³⁴

L'approche proposée par Gottlieb Paludan révèle plusieurs éléments intéressants. L'intervention uniquement sur la façade, alors que les volumes ont été définis préalablement, n'entrave pas à la réussite d'un projet où le rôle de l'architecte consiste à rendre un objet technique colossal approachable, vivable et convivial. L'intervention, par sa matérialité, son soin au détail, notamment concernant l'éclairage, et ses dispositifs de déambulation contribue à rendre plus transparents les processus de transformation d'énergie et stimule une dynamique autour de l'énergie dans un espace devenu public. L'échelle de l'objet caractérise la politique énergétique d'une ville qui mise sur de grandes infrastructures, centralisées mais locales, pour son approvisionnement.

134 Speirs Major, « BIO4, Power Station, Amagerværket ». Traduit du texte original en Anglais : « *The projected light gently reveals the depth and texture in the façade, while the energy in the animation celebrates it as a source of power for the city* ».



La façade animée par un jeu de lumière rend visible ce haut lieu de l'énergie de jour comme de nuit.

© Allan Toft/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



La plateforme publique offre une vue sur le paysage énergétique environnant.

© Jens Lindhe/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Un espace public couronne la centrale.

© Jens Lindhe/Gottlieb Paludan Architects [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]





La Halle Pajol le long des voies ferrées. 1:15000

© Google Earth 2021. Image modifiée.



150m

Architecte	Jourda Architectes, Paris
Année d'achèvement	2012
Surface bâtie	9633 m ²
Coût	€ 27 millions
Maîtres d'ouvrage	Ville de Paris Fédération unie des auberges de jeunesse SEMAEST
Programmes	Auberge de jeunesse Locaux commerciaux Salle de spectacles Bibliothèque Jardin public
Type d'intervention	Réhabilitation d'une halle existante
Energie	410 MWh annuels; 3500m ² de photovoltaïque

QUAND UN BÂTIMENT DEVIENT UNE CENTRALE ÉNERGÉTIQUE PARTICIPATIVE. LA HALLE PAJOL, PARIS

PARIS ET SON PLAN CLIMAT

Bien que moins rapide que Copenhague dans sa transition énergétique, ne disposant pas des mêmes ressources naturelles, la ville de Paris se montre tout aussi ambitieuse et mise, à l'instar de la Suisse, sur le soleil pour réussir sa transition. Son plan climat¹³⁵ vise une production d'énergie renouvelable locale à la hauteur de 20%, basée sur le photovoltaïque et la géothermie, le reste devant être obtenu grâce à la coopération avec d'autres territoires, qui fourniront de l'énergie issue du soleil, du vent et de la biomasse. La couverture d'un cinquième des toits de la capitale permettra de remplir les objectifs de neutralité carbone. On voit donc qu'une ville dense et peuplée nécessitera toujours d'un apport externe en ressources, mais la production en milieu urbain doit être maximisée. La ville favorisera la décentralisation de la gestion de l'électricité, donnant plus de place à de nouveaux gestionnaires. Elle soutient ainsi les coopératives citoyennes afin de développer les projets solaires. Les opportunités de créer de nouvelles centrales solaires urbaines seront saisies. C'est justement la première d'entre elles, un exemple pionnier, qui nous intéresse ici.

135 Ville de Paris, Direction des Espaces Verts et de l'Environnement, « Plan climat de Paris ».



Depuis le jardin, les installations photovoltaïques sur les sheds sont visibles en sous-face.

© Jourda architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

L'entrée de la bibliothèque indique la production des panneaux photovoltaïques installés sur un tableau (en haut à gauche).

© Jourda architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



La Halle Pajol, projet réalisé par Jourda architectes, est une ancienne halle ferroviaire au nord de la Gare de l'Est. La réhabilitation de cette halle conserve la structure en sheds, la libère de ses façades et insère de nouveaux programmes sous cette canopée. Une auberge de jeunesse de 330 lits, des locaux commerciaux ainsi que des équipements culturels et un jardin public composent le cahier des charges. L'ensemble destiné à être un manifeste de construction durable, il devient un bâtiment à énergie positive grâce à une production d'électricité qui dépasse largement les besoins, ce qui permet de le considérer ici comme une centrale énergétique.

UN GRAND ABRI PHOTOVOLTAÏQUE

La Halle Pajol, grâce à l'installation photovoltaïque recouvrant une grande partie de la surface de ses sheds, devient lors de sa mise en service, la première centrale solaire urbaine de France et aujourd'hui encore la plus grande en Ile-de-France. Sa production annuelle d'électricité avoisine les 410 MWh.¹³⁶ L'orientation sud des sheds et leur inclinaison sont très favorables à une telle installation. Alors que 2500m² étaient requis, la ville a accepté le pari de dépasser les objectifs légaux et le cahier des charges et d'installer 1000m² supplémentaires de panneaux photovoltaïques.¹³⁷ Le bâtiment à énergie positive redistribue donc l'excédent d'électricité dans le réseau. Dès le premier janvier 2021, cette énergie n'est plus vendue à l'opérateur national EDF, mais à la coopérative Enercoop, une organisation qui lutte pour la « *réappropriation locale de l'énergie* »¹³⁸ et qui garantit la livraison d'une électricité entièrement renouvelable. L'installation de la Halle Pajol contribue à un ancrage local de la production d'énergie et redonne du pouvoir aux citoyennes et citoyens en les rapprochant et les sensibilisant au système technique de l'énergie. Elle participe à la décentralisation de la production, luttant contre le monopole d'EDF.

Sur la façade de l'entrée de la bibliothèque, un tableau digital indique en temps réel les performances de l'installation photovoltaïque en quantifiant l'électricité produite et le nombre de tonnes de dioxyde de carbone économisées. Pour les usagers de la halle et les visiteurs de l'auberge, les nuitées abordables (30 euros), la visibilité de l'instal-

136 Masboungi et Dupont, 200 initiatives pour la transition énergétique des territoires, 117.

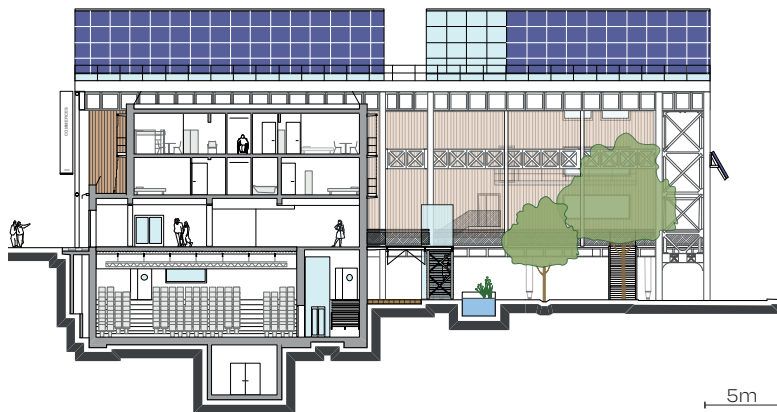
137 Guislain, « La halle Pajol, un manifeste brut de décoffrage ».

138 Énergie Partagée Association, « La Halle Pajol approvisionne Enercoop en énergie renouvelable ».



Les programmes se glissent sous les sheds d'origine, couverts d'une centrale solaire coopérative.

© Jourda architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Un bâtiment allongé fait le lien entre rez-de-chaussée et rez-de-jardin. Coupe 1:500.

© Jourda architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

lation – les cellules photovoltaïques étant visibles en sous-face des panneaux – et la conception architecturale durable de l'ensemble sensibilisent à la consommation énergétique et proposent une forme de tourisme écologique. La Fédération unie des auberges de jeunesse (FUAJ) cherche d'ailleurs à inciter les gestes durables au quotidien chez ses hôtes par la mise en place d'une signalétique spécifique, dans le cadre d'une ambition à plus long terme de faire évoluer les pensées et les comportements dans une direction durable.¹³⁹

UNE RÉHABILITATION AUX PROGRAMMES MULTIPLES

La réhabilitation de la halle intervient sur les sheds, dont seule la structure métallique est conservée. Celle-ci est couverte majoritairement de panneaux photovoltaïques. Les pans orientés nord sont eux couverts d'une verrière, tout comme une bande centrale des sheds orientés sud pour laisser pénétrer la lumière au cœur du complexe. Près de la moitié de la surface couverte est occupée par un jardin qui s'étend sur le périmètre autour de la halle. Il redonne ainsi place à la nature dans un site industriel et offre un nouveau parc public pour le quartier. Il s'agit d'un équipement assez unique en son genre puisque cet espace vert est protégé et ombragé. Sur l'autre moitié, dans la longueur, s'étend un bâtiment qui combine une multitude de programmes. La construction mixte composée d'éléments porteurs verticaux en bois et de dalles en béton ne touche pas la structure originale. Alors que les installations techniques, de grande ampleur malgré une conception architecturale qui a recours à de nombreuses stratégies passives, sont en partie reléguées en sous-sol, le « rez-jardin » accueille des locaux dédiés à des activités diverses (salle de spectacle, salles de réunions, cuisine et restaurant). Au-dessus, les commerces ainsi que l'accueil de l'auberge de 330 lits s'ouvrent sur une esplanade publique depuis laquelle les modules photovoltaïques sont bien visibles. A l'extrémité nord de la halle, le volume se retourne pour occuper toute la largeur et offrir une façade publique face au parc voisin. Il abrite une bibliothèque. La grande variété programmatique de la halle, composée par des volumes qui évitent de toucher la structure originale, rend le lieu attractif et fréquentable en toute heure. Le bâtiment s'inscrit dans une série d'équipements culturels et de loisirs aux alentours.¹⁴⁰

139 Guislain et Graffin, La halle Pajol, 21.

140 Visite #12 la ZAC et Halle Pajol (Paris, XVIIIème).



Le jardin couvert est un espace public au bénéfice des riverains qui peuvent se rapprocher de la production d'énergie.

© Jourda architectes [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

La Halle Pajol contient plusieurs éléments qui enrichissent l'hypothèse de centrales énergétiques en milieu urbain. Elle montre que la réhabilitation de structures industrielles existantes en bon état offre un potentiel important en termes de surface pour le déploiement d'éléments photovoltaïque à large échelle. Si elle semble se situer à la limite entre la définition de centrale énergétique et celle d'un bâtiment à énergie positive, la forme de gestion coopérative de l'énergie fait d'elle une véritable centralité énergétique, car elle rassemble des acteurs autour d'un projet de financement commun et rend visible les convertisseurs d'énergie. Bien que ce mode de gestion n'ait pas été prévu dès le début du projet, l'architecte peut tout de même influencer la réappropriation citoyenne de l'énergie en créant de telles installations. La conception dans une logique de développement durable est une démarche enrichissante tant sur le plan social que sur la limitation de l'impact environnemental d'une telle intervention. Finalement, la richesse en termes de programmes fait de cette centrale énergétique un lieu bon à vivre en pleine ville, complété par l'apport d'éléments de renaturation.



L'Elephant & Castle Energy Hub au coeur d'un quartier en mutation. 1:15000

© Google Earth 2021. Image modifiée.



150m

Architecte	Morris+Company, Londres
Année d'achèvement	2019
Surface bâtie	4360 m ²
Coût	£ 7 millions
Maîtres d'ouvrage	Lendlease (promoteur immobilier)
Programmes	Centrale de cogénération Garderie Café et espace communautaire Parc de poche
Type d'intervention	Nouvelle construction
Energie	Cogénération à partir de gaz naturel et biogaz pour au moins 3000 ménages

JUXTAPOSITION DE PROGRAMMES EN MILIEU URBAIN.

ELEPHANT & CASTLE ENERGY HUB

LONDRES : DES CENTRALES INTÉGRÉES AU TISSU URBAIN

La ville de Londres se montre également ambitieuse dans sa politique énergétique. Depuis 2010, la Greater London Authority, qui administre la région de l'agglomération londonienne, favorise la relocalisation et la décentralisation de la transformation d'énergie, afin d'atteindre une production décentralisée et locale à la hauteur de 25% de l'énergie totale délivrée d'ici 2025.¹⁴¹ Cette politique volontariste à l'échelle de l'agglomération traduit la recherche d'une plus grande résilience face à l'infrastructure nationale, elle aussi en transition. De cette volonté politique naissent un grand nombre de projets de centrales énergétiques pour de nouveaux réseaux de chauffages urbains. Ces centrales de cogénération (produisant également de l'électricité) deviennent des infrastructures emblématiques et de nouveaux repères dans le paysage urbain. Une attention particulière est donnée à l'architecture de ces nouveaux objets techniques, avec une tendance souvent manifeste à révéler son intérieur et à garantir la transparence des procédés de transformation d'énergie. Cela se traduit de manière parfois sculpturale, les cheminées monumentales exaltant la technique, comme le Low Carbon Energy Centre dans la Greenwich Peninsula, délivrée en 2017 par les architectes C.F. Møller, dont l'associé Rolf Nielsen souligne l'importance de ces nouveaux types de bâtiments, leur rôle de communication et de transparence autour de la gestion de l'énergie et leur contribution à la « création de lieux » (placemaking).¹⁴² Il est intéressant de constater que ces nouveaux types ne sont pas appelés des centrales énergétiques (energy plant), mais plutôt des centres d'énergie (energy centre). On peut y voir une forme de mise à égalité entre l'humain et la technique, avec des centrales qui peuvent désormais être plus qu'une simple infrastructure monofonctionnelle et opaque.

Dans la lignée de ces exemples foisonnants de la politique énergétique de la ville, l'Elephant Park Energy Hub attire particulièrement l'attention, car ce centre énergétique cristallise plusieurs enjeux présents dans les autres exemples londoniens, avec son insertion dans un milieu urbain dense, sa diversité programmatique et la mise en visibilité de son système technique entre autres.

141 Lopez, L'ordre électrique, 156; Lopez, 182.

142 Walsh, « The Architect's Power in Tomorrow's Energy Infrastructure ».



L'Energy Hub dévoile ses machines sur l'espace public.

© Morris+Company [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Les chaudières sont facilement remplaçables en cas d'évolution technique grâce à des éléments de construction réversible.

© Morris+Company [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Dans le cadre d'un grand projet immobilier de régénération urbaine portée par le promoteur Lendlease, un centre d'énergie est réalisé pour alimenter en chaleur les nouveaux bâtiments en cours de réalisation. Les architectes de Morris+Company proposent un bâtiment aux allures sculpturales qui combine une centrale de cogénération et d'autres espaces dédiés aux résidents, révélant par la façade et le volume une dimension intrigante qui traduit l'hybridité des programmes.

LA TRANSPARENCE DES PROCESSUS DE TRANSFORMATION

Le projet immobilier de régénération urbaine à Elephant and Castle, dans le sud de Londres, compte selon les promoteurs compte les plus durables en son genre au niveau mondial.¹⁴³ Grâce à la cogénération de chaleur et d'électricité par combustion de gaz naturel et de biométhane, les deux installations de 800 kW de l'Energy Hub alimentent en chaleur (eau chaude sanitaire et chauffage) les 3000 ménages du projet, ainsi que la cinquantaine de locaux commerciaux. L'électricité produite est quant à elle distribuée dans le grand réseau. Pour l'instant, la centrale est considérée comme un centre d'énergie « bas carbone », car elle a recours en partie au gaz naturel, mais celui-ci sera remplacé dans le courant de l'année 2023 par du biogaz dans une perspective 100% renouvelable.¹⁴⁴ La centrale est en outre dimensionnée pour alimenter 1000 ménages supplémentaires. Face à l'éventuelle évolution technologique et l'arrivée de systèmes plus performants, la façade, y compris le socle en béton préfabriqué, est conçue de manière réversible, permettant de changer l'équipement si nécessaire.¹⁴⁵ Cette flexibilité apparaît comme un atout clé dans une perspective de durabilité, économisant l'effort de créer de nouvelles infrastructures à connecter aux réseaux ou de mener de lourds travaux d'adaptation.

Les machines sont rendues visibles depuis la rue grâce à une large ouverture, donnant une valeur pédagogique à l'architecture qui montre comment l'énergie est produite au cœur de la ville.¹⁴⁶ Une autre baie, à l'intérieur, crée un lien visuel entre la centrale énergétique et l'espace communautaire du café. Cette confrontation entre les programmes et l'espace public propose une transparence dans les processus de pro-

143 « Sustainability at Elephant Park ».

144 E.ON, « Elephant & Castle ».

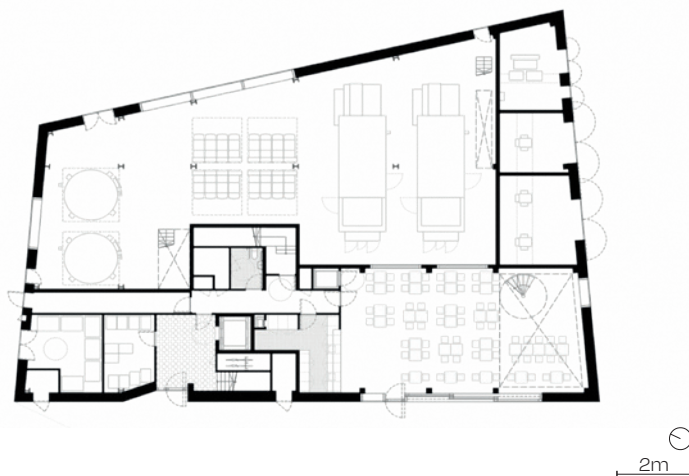
145 « Case Study: The Energy Hub by Morris+Company ».

146 Pintos, « Energy Hub / Morris+Company ».



Le bâtiment affirme sa fonction particulière en se distinguant de ses voisins en brique rouge traditionnelle.

© Morris+Company [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]



Le plan imbrique plusieurs programmes. Des relations visuelles sont créées entre l'espace café communautaire et la centrale, alors que la garderie communique moins avec le reste du programme, celle-ci occupant les deux derniers étages. 1:200.

© Morris+Company [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

duction d'énergie, relocalisés en ville, pour contribuer à l'acceptabilité de la technique et la rapprocher des citoyens et citoyennes.

CONTEXTE URBAIN DENSE ET PROGRAMMES MULTIPLES

La situation du bâtiment est assez particulière pour une centrale énergétique. Celle-ci se redéfinit, passant d'un équipement technique que l'on cherche à dissimuler, tant par sa situation que sa matérialité, à un repère urbain, qui s'affirme par son expression contemporaine et sa diversité programmatique. Au croisement de trois axes routiers, l'Energy Hub est particulièrement visible depuis l'espace public. En termes d'échelle et de volume, il s'adapte et s'intègre au tissu urbain environnant et crée des liens visuels avec les bâtiments alentours, notamment l'école voisine visible depuis les terrasses de la garderie dans les étages supérieurs.¹⁴⁷ Il fait office de porte d'entrée dans le quartier en cours de transformation, qu'il alimente en énergie. La cheminée, point culminant du volume, se positionne dans l'angle des deux rues les plus fréquentées.

La volonté de faire ressortir le bâtiment, par rapport à ses voisins en brique rouge traditionnelle, est délibérée. Sa matérialité et sa forme distinguent ce nouveau type, lui conférant une présence et une attraction. Il devient un point d'ancrage dans le quartier en mutation.¹⁴⁸ Un parc de poche (pocket park), qui conserve les arbres existants du site, est offert aux riverains et aux usagers de l'Energy Hub, depuis lequel on voit aussi les machines à l'intérieur du bâtiment. C'est sur ce petit espace public que sont situées les entrées aux programmes dédiés au quartier, à savoir la garderie et le café communautaire. L'Institut royal des architectes britanniques (RIBA) le qualifie de « réalisation incroyable », notamment pour sa forme sculpturale qui, bien que se distinguant fièrement de ses voisins, n'exagère pas son rôle communautaire.¹⁴⁹

Le caractère hybride du programme mêlant énergie, éducation et communauté est exprimée de manière subtile. Plutôt que de distinguer volumétriquement ou matériellement les différentes fonctions, Morris+Company a cherché à emballer le tout dans un ensemble sculptural intrigant, enveloppé d'un revêtement en aluminium

147 Pintos.

148 Ravenscroft, « Morris + Company Combines Power Plant and Nursery in Elephant & Castle ».

149 Royal Institute of British Architects, « Energy Hub ».



La centrale énergétique devient approchable grâce aux espaces publics offerts aux alentours à l'image de ce « pocket park».

© Morris+Company [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

perforé,¹⁵⁰ qui lui donne une apparence légère et contemporaine. La composition de la façade, avec une série d'ouvertures affleurées de taille et de position différentes, exprime parfois le fonctionnement intérieur ou, au contraire, le dissimule en faisant passer le revêtement devant l'ouverture. Par ce jeu subtil, l'architecte espère ainsi engager les gens à fréquenter le petit parc et les encourager à jeter un coup d'œil à l'intérieur de la centrale énergétique, dont les machines se révèlent derrière de larges baies.¹⁵¹ La perception de la façade change une fois la nuit tombée. Les fenêtres placées en arrière du revêtement se révèlent subtilement grâce à l'éclairage à l'intérieur. Le caractère intrigant de ce centre de l'énergie est ainsi renforcé. Il s'affirme comme un pivot dans un quartier en mutation, de jour comme de nuit.

Par son insertion dans un milieu urbain dense, l'Energy Hub est un projet exemplaire de relocalisation et de décentralisation de la production de chaleur et d'électricité. De plus, la flexibilité de l'installation de cogénération, qui peut être remplacée en cas d'obsolescence et dont le combustible fossile peut facilement être substitué par du biogaz, rend le projet crédible sur la durée. Bien que la transformation d'énergie reste en mains d'un fournisseur privé à la fois gestionnaire et propriétaire, empêchant par ailleurs un empowerment citoyen, la mise en visibilité de celle-ci rapproche les citadines et citadins de la technique. Les moyens architecturaux mis en œuvre pour faire dialoguer l'énergie avec la ville sont multiples. Par le caractère intrigant du volume et de l'enveloppe, cette nouvelle infrastructure, par sa position urbaine stratégique et par sa diversité programmatique, devient une centralité forte. La juxtaposition des programmes peut certes paraître assez brutale, mais elle montre que les convertisseurs d'énergie, dans une échelle revisitée, ont tout à fait leur place en ville et au sein d'un volume combinant divers usages.

150 Ravenscroft, « Morris + Company Combines Power Plant and Nursery in Elephant & Castle ».

151 Ravenscroft.



L'enveloppe et la forme rendent le bâtiment intrigant, selon les architectes, qui souhaitent exprimer l'hybridité de ce hub.

© Morris+Company [reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur]

Ces trois études ont illustré, à des échelles diverses, les modalités de l'intégration de centrales énergétiques en milieu urbain. Chacun des exemples s'étend au-delà d'une simple vocation technique de transformation d'énergie et s'affirme comme un vecteur d'urbanité, occupant une place forte dans la ville. Tous trois créent de nouveaux lieux, abordables, conviviaux, et d'une certaine manière pédagogiques, puisqu'ils sensibilisent directement ou indirectement aux thématiques de production et de consommation d'énergie. Ces réflexions entrent dans le quotidien des individus, touristes ou locaux. Les stratégies diverses, influencées par les politiques à l'échelle des villes ou des agglomérations, qui sont des acteurs puissants de la transition, montrent des degrés d'intervention variés, mais qui ont comme dénominateur commun d'adresser la question de la relocalisation et de réduire la domination de l'ordre électrique des macro-systèmes techniques. L'Energy Hub de Londres et les autres réalisations montrent comment « baisser la tension », pour utiliser l'analogie électrique. La relocalisation et la décentralisation augmentent la résilience locale des territoires et des régions urbaines, réduisant la nécessité de transporter l'énergie dans de vastes réseaux à haute tension. Dans cette dynamique, le projet architectural joue un rôle important pour rendre acceptable et désirable la mutation du système énergétique et devient un vecteur d'une transition vers des sociétés d'une part moins dépendante des agents fossiles, mais aussi moins gourmandes en ressources et socialement plus durable.

Troisième partie

BAISSER

LA

TENSION

An aerial photograph of a city, likely Lausanne, showing a dense urban area with a mix of green spaces and buildings. A large, white, stylized number '6' is overlaid in the upper right quadrant of the image.

6

Baisser la tension

*Des nouvelles énergies dans
l'agglomération lausannoise*

La recherche a mis en avant les multiples enjeux de la transition énergétique. La compréhension du système énergétique dans son ensemble, et de l'infrastructure qui l'accompagne, a permis de saisir les modalités de la relocalisation de la transformation de l'énergie à différentes échelles. Les dimensions territoriales étant intrinsèquement liées à l'extraction et à la transformation de ressources énergétiques, elles alimentent une réflexion dans le projet architectural qui ne se limite plus au bâtiment lui-même.

Ce dernier chapitre entend « baisser la tension », en tentant de poser les bases pour un nouveau type de centrale énergétique de proximité, en milieu urbain. L'intégration de divers programmes, en plus fort lien à l'énergie que l'exemple de l'Energy Hub de Londres, est envisagée pour imaginer un projet dans l'agglomération lausannoise, elle aussi en mutation d'un point de vue énergétique entre autres, qui cristallise les problématiques rencontrées au long de ce travail et qui sont résumées dans ce chapitre.

UNE NOUVELLE INFRASTRUCTURE ÉNERGÉTIQUE. NOUVEAUX RAPPORTS À L'ÉNERGIE, À LA TECHNIQUE ET AU TERRITOIRE

La transition énergétique et la transformation de l'infrastructure a lieu à plusieurs échelles, et se décline au niveau technique, politique et spatial. Le projet architectural peut y contribuer, de près ou de loin, en stimulant les changements de mentalité et en transformant physiquement le système.

Réduire la consommation

La sobriété est essentielle pour tendre vers un mode de vie plus durable. Après une croissance exponentielle vers la technique, partant d'une société agraire en harmonie avec son environnement, suivie d'une société industrielle qui exploite son environnement et supplantée par la société de consommation qui a mené au capitalocène, peut-on tendre vers une société post-consommation, consciente des limites des matérielles de son territoire et capable de vivre en harmonie avec celui-ci ?

Questionner les ressources et la technique

Les territoires deviendront plus résilients en repolitisant le rapport aux ressources, en relocalisant les processus et en limitant la dépendance envers l'extérieur. Le développement technologique ne résoudra pas tout. Il doit être accompagné par des outils moins spécialisées qui permettent une appropriation citoyenne de l'énergie. Les institutions publiques et les fournisseurs d'énergie doivent soutenir ces démarches et les architectes doivent les concrétiser dans l'espace.

Inverser l'ordre électrique

L'ordre électrique des LTS peut être bouleversé grâce à l'apparition de convertisseurs d'énergie décentralisés, basés sur les ressources de leur territoire. Le grand réseau énergétique resterait structurant, mais passerait en second plan et constituerait une réserve de solidarité entre les territoires.¹⁵² En bouleversant cette hiérarchie, les réseaux locaux prennent le dessus et contribuent à une résilience locale.

Créer des communs énergétiques

La transition redéfinit techniquement les modes de production, mais permet aussi de repenser les modèles de gestion et de propriété. Les centrales solaires participatives et les coopératives de chauffage à distance sont des exemples qui unissent les citoyennes et citoyens autour d'un projet commun, rassemblant des idéaux de durabilité et permettant de s'assurer de consommer une source d'énergie propre. L'apparition de ces nouveaux acteurs, les « prosommateurs », contribue à « *inverser la hiérarchie historique du système électrique* ».¹⁵³

Relocaliser la production ou raccourcir les circuits

La volonté de raccourcir la chaîne de production de biens de consommation est une tendance grandissante. On cherche de plus en plus à consommer local, notamment en matière d'alimentation. Ces nouvelles pratiques cherchent à reconnecter les deux bouts de la chaîne, de la graine à l'assiette dans cas de l'agroalimentaire. La consommation de produits disponibles localement et selon la saison est encouragée. Cette analogie s'applique aux énergies renouvelables, dont la source varie selon le contexte géographique, climatique et saisonnier. Tant dans l'agroalimentaire que dans l'énergie, la relocalisation de la production peut être synonyme d'empowerment citoyen.

Transformer de l'énergie en milieu urbain

La transformation d'énergie en milieu habité contribue à une prise de conscience autour de l'énergie et une cohabitation avec elle. Elle favorise l'utilisation d'une énergie propre afin de limiter la pollution de l'air et l'intégration de centrales qui n'émettent que peu de nuisances. Les ressources, provenant de la ville elle-même (soleil) ou de ses alentours immédiats (biomasse) et transformées à l'intérieur de la ville permettent de réduire le déploiement de grands réseaux et de limiter les pertes dues au transport.

¹⁵² Lopez, L'ordre électrique, 196-99.

¹⁵³ Lopez, A bout de flux, 109.

Sensibiliser par l'architecture

La transparence de l'architecture des nouvelles centrales est essentielle pour donner une image propre et pour rendre visible les procédés. Le projet architectural permet d'explorer une large palette d'outils qui sensibilisent à la question de l'énergie, de l'implantation à l'enveloppe en passant par le dialogue entre les différents programmes.

Développer des centrales multifonctionnelles et flexibles

En couplant les nouvelles centrales, urbaines, à d'autres programmes qui bénéficient au public, l'énergie entre dans le quotidien et questionne le rapport à la consommation. L'attraction générée par un autre programme permet de s'approcher des installations de transformations et d'apprendre à les connaître, grâce à une architecture transparente. En outre, la réversibilité des installations, soumises à des développements technologiques qui pourraient les rendre obsolètes, ainsi que leur flexibilité à un agrandissement ou à une reconversion, sont deux aspects qui rendraient le bâtiment-centrale particulièrement durable.

Fabriquer un nouveau patrimoine énergétique (culture du bâti)

L'héritage architectural des centrales énergétiques du vingtième siècle, en particulier les installations hydroélectriques au fil de l'eau, sont aujourd'hui reconnues pour leur pérennité, si elles sont toujours en service, ou alors leurs grands espaces sont reconquis par de nouveaux programmes qui valorisent leurs espaces généreux. Les nouvelles centrales pourraient bien constituer un nouveau patrimoine de l'énergie, comme l'explique Michael Jakob. « *L'industrie électrique a certes transformé de fond en comble nos paysages, mais elle a aussi facilité et dynamisé nos vies. Une architecture électrique qui se veut expression de notre monde contemporain se doit de prendre en compte ces deux tendances. Il sera donc indispensable de ne plus cacher le geste technique, ni la main du constructeur, et surtout de reconnaître à la nature la place qui lui revient* ».¹⁵⁴

154 Föex, Architecture et électricité, 10.

L'AGGLOMÉRATION LAUSANNOISE EN TRANSITION

Dans le but de concrétiser la recherche et les hypothèses formulées précédemment, ce travail se conclut sur des pistes de réflexions pour une application dans le contexte lausannois. L'agglomération Lausanne-Morges est train de se développer sous de multiples axes, parmi eux une stratégie énergétique visant à déployer les énergies renouvelables et les réseaux de chauffage à distance. Dans ce contexte, les réflexions de ce travail permettent d'expérimenter par le projet un nouveau type de centrale, en milieu urbain, qui dialogue avec un contexte spécifique et qui accueille d'autres programmes publics en lien avec l'énergie.

LAUSANNE ET SES ÉNERGIES

Dans le cadre du projet d'agglomération Lausanne-Morges (PALM), une stratégie énergétique a été élaborée.¹⁵⁵ Parmi 5 axes d'action, l'un consiste à développer les réseaux de chaud et de froid à distance en privilégiant les sources d'énergie locales (rejets de chaleur industriels ou de STEP, géothermie, aquathermie et bois-énergie). Un autre, également intéressant dans le cadre des hypothèses de projet, est le développement de la production d'électricité au moyen de panneaux photovoltaïques. Ces principes directeurs se retrouvent dans le Plan climat de la ville de Lausanne.¹⁵⁶ Celle-ci veut décarboner et étendre son réseau de chauffage à distance et accélérer le développement de la production électrique du parc de SI-REN, une entreprise détenue par la ville dont le rôle est de développer les énergies renouvelables pour alimenter le chef-lieu. Finalement, il prévoit aussi de soutenir les projets de financement participatif des énergies renouvelables afin de permettre aux Lausannoises et Lausannois de participer à la production.

155 Epp et BG Ingénieurs Conseils SA, « Planification énergétique du PALM – Stratégie énergétique ».

156 Ville de Lausanne, Municipalité, « Catalogue des axes d'action du Plan climat et mesures proposées ».



Le bâtiment de la chaufferie de Malley, qui valorise les boues de la STEP.

L'usine de Pierre-de-Plan avec son bâtiment historique à droite et des extensions diverses.



Aujourd'hui, l'électricité qui alimente la ville de Lausanne est presque entièrement renouvelable. En 2021, seul 4% de était issu d'agents fossiles ou nucléaires, le reste provenant de l'énergie hydraulique à près de 90%, ainsi que de la valorisation de l'incinération des déchets, de photovoltaïque et d'éolien.¹⁵⁷ Lausanne peut compter notamment sur l'usine hydraulique de Lavey, qu'elle a construite en 1950 pour améliorer son autonomie en électricité, à une cinquantaine de kilomètres de ses frontières communales.¹⁵⁸ Aujourd'hui, des sondages sont menés pour étudier le potentiel géothermique du sous-sol lausannois.¹⁵⁹ Bien qu'il soit trop tôt pour identifier des sites qui permettraient d'exploiter ce potentiel, les études étant en cours, le développement des réseaux de chaleur du chef-lieu sont au cœur des enjeux, puisque trois quarts de la chaleur consommée provient de chauffages individuels au gaz naturel ou au mazout.¹⁶⁰ L'électricité est, elle, déjà largement de provenance renouvelable et pourrait l'être encore plus en cas de réalisation du projet éolien qui prévoit l'installation de 8 grandes éoliennes dans les hauts de la commune.¹⁶¹ Les réseaux de chaleur sont d'ailleurs idéaux dans les zones densément habitées, car l'usage de pompes à chaleur y est limité.¹⁶²

LE CAD LAUSANNOIS

La ville de Lausanne a une histoire particulière avec le chauffage à distance. Dès 1913 un premier projet de chauffage centralisé est évoqué, pour alimenter les bâtiments du complexe hospitalier. C'est finalement en 1933 qu'est mise en service la centrale thermique de Pierre-de-Plan, où se trouvait déjà une usine électrique depuis 1900.¹⁶³ Les avantages évoqués à l'époque rappellent les arguments qui plaident aujourd'hui en faveur de ce type de réseau : diminution de la pollution de l'air grâce à la réduction du nombre de cheminées, facilité d'ajustement de la production de chaleur et suppression des installations de chauffage individuel entre autres. Cette réalisation est visionnaire à l'époque et compte « *parmi les expériences fondatrices dans l'histoire de la rationalisation énergétique européenne* ». ¹⁶⁴ A tel point que « *ce projet pionnier de l'entre-deux-guerres est aujourd'hui*

157 Services industriels Lausanne, « D'où vient l'électricité des SiL? »

158 Richard, « L'usine hydro-électrique de Lavey ».

159 Services industriels Lausanne, « GEOOL SA, la géothermie hydrothermale dans l'Ouest ».

160 Services industriels Lausanne et Ville de Lausanne, « LES SiL EN 2020 ET 2021 », 14.

161 SI-REN, « Éolien ».

162 Boulouchos et al., « Système énergétique suisse 2050 », 13.

163 Richard, « Le chauffage urbain à Lausanne ».

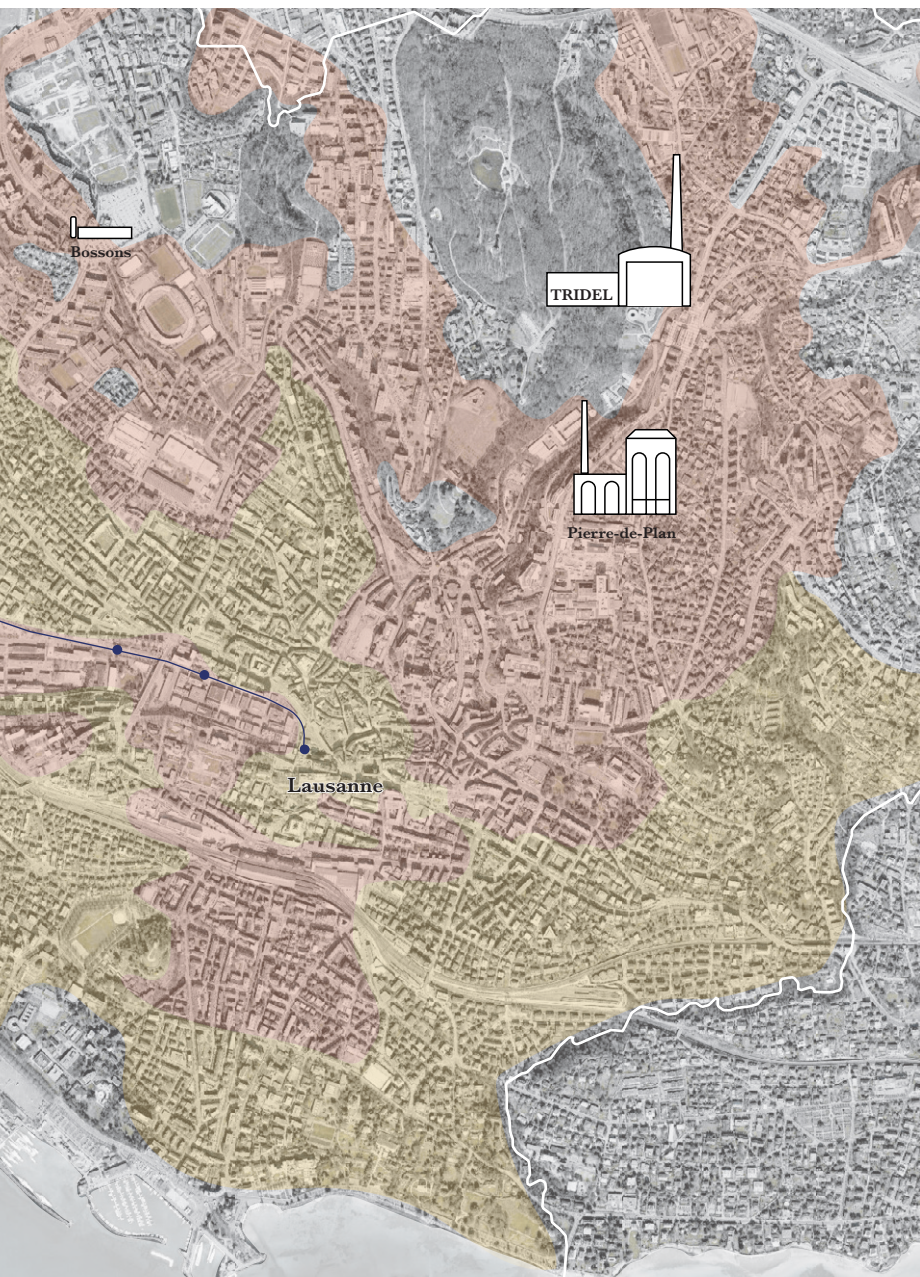
164 Marino, « Carte blanche – Aux sources de la transition énergétique ».



La ville de Lausanne et son infrastructure de chauffage à distance. Le site proposé pour développer une centrale qui alimentera le réseau de CAD sera desservi par le tramway lausannois et se situe à proximité du pôle en développement de Malley, mais aussi de l'École des Métiers (EMTL). 1:25000.

Source: Services industriels Lausanne et Ville de Lausanne, « LES SIL EN 2020 ET 2021 », 14.

Image : © Données: CNES, Spot Image, swisstopo, NPOC. Disponible à l'adresse : <https://map.geo.admin.ch> (consulté le 14 janvier 2023). Couleurs éditées.





La centrale d'incinération des ordures (TRIDEL) fournit près de deux tiers de la chaleur à distance lausannoise.

présenté comme la technique du futur... »¹⁶⁵

Le réseau CAD de Lausanne est actuellement alimenté par plusieurs centrales.¹⁶⁶ L'incinération des déchets de l'usine Tridel représente à elle seule près de 60% de la chaleur distribuée. Pour compléter, quatre chaufferies équipées de chaudières bicom bustibles (gaz et mazout) se répartissent sur le territoire communal. La plus grande est celle de Pierre-de-Plan, avec ses quatre chaudières. La centrale de Bossons, au nord de la ville, est équipée de deux chaudières. Finalement, deux installations valorisent les boues d'épurations, considérées comme renouvelables, l'une sur le site même de la STEP de Vidy et l'autre à Malley, sur le site de l'ancienne usine à gaz.

A l'avenir, les Services industriels de Lausanne auront recours aux énergies naturelles à disposition dans une perspective 100% renouvelable. Des pompes à chaleur renouvelables exploiteront l'eau du lac et les eaux usées. Les forêts lausannoises livreront de la biomasse pour des chaufferies et le potentiel géothermique sera développé.¹⁶⁷

UNE NOUVELLE CENTRALE À LAUSANNE

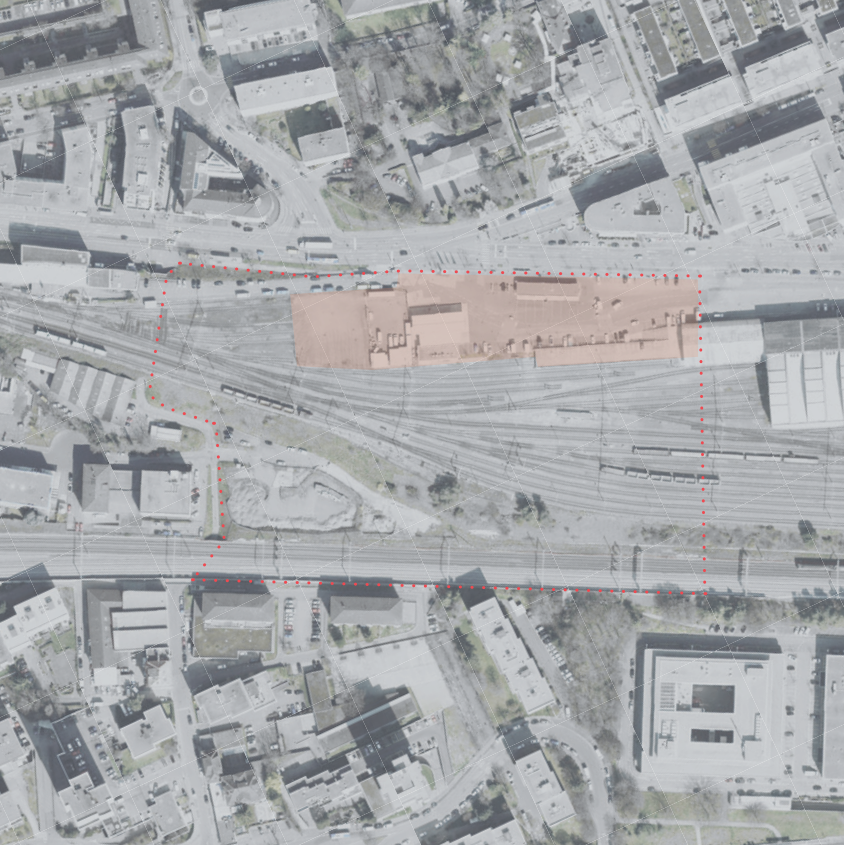
L'agglomération lausannoise vise donc un fort développement de ses réseaux de chaleurs dans les prochaines années. Après avoir été pionnière dans le développement de son chauffage urbain au siècle dernier, on peut oser imaginer un projet architectural qui revisite l'idée même de la centrale, la rendant accessible et la combinant avec d'autres programmes qui bénéficient tant au quartier qu'à la ville, voire à la région. Face à un certain degré d'incertitude dû au fait que des études sur le potentiel géothermique de l'agglomération sont en cours de réalisation ou vont être réalisées, l'hypothèses de technologie imaginée et de site envisagé acceptent un certain degré d'abstraction pouvant mettre en cause une réelle faisabilité. La volonté est toutefois de proposer un projet, bien que probablement porteur d'une certaine dose d'utopie quant à la faisabilité technique ou financière, ancré dans un cadre crédible et réaliste, en phase avec la politique climatique en place.

Le secteur entre Sébeillon et Malley est lui aussi en mutation. Comme vu au chapitre 3, des activités liées à l'énergie ont déjà occupé son sol, avec l'usine à gaz dont les bâtiments sont toujours existants,

165 Marino, « Some Like It Hot ! , Le confort physiologique et ses dispositifs dans l'architecture du XXe siècle », 321.

166 Services industriels Lausanne, « Chauffage à distance ».

167 Services industriels Lausanne et Ville de Lausanne, « LES SiL EN 2020 ET 2021 », 14.



Le site proposé, le long des voies, peut être mis en valeur par le projet de centrale énergétique couplée à un autre programme public.

Image : © Données: CNES, Spot Image, swisstopo, NPOC. Disponible à l'adresse : <https://map.geo.admin.ch> (consulté le 14 janvier 2023). Couleurs éditées.



40m



Parcelle



Périmètre pour l'implantation de la construction

ou les gazomètres qui donnent le nom au quartier mixte en développement. Lieu traditionnellement industriel, il s'est développé le long des voies de chemin de fer entre Renens et Lausanne. L'infrastructure ferroviaire a longtemps joué un rôle clé pour l'acheminement des marchandises et sa présence était d'ailleurs un facteur déterminant pour l'implantation de l'ancienne usine à gaz. Aujourd'hui, une ligne relie le réseau des CFF à l'usine d'incinération des ordures ménagères de la ville de Lausanne, source d'énergie importante pour le chauffage à distance. Selon le même principe, le rail permettrait de transporter les agents énergétiques (biogaz ou bois par exemple) pour alimenter nouvelle une centrale de chauffage à distance ou de cogénération située le long des voies.

La proposition porte sur un site entre les voies de chemin de fer et la rue de Genève, actuellement en travaux pour accueillir le tronçon du nouveau tram lausannois qui reliera le centre-ville de Lausanne à la gare de Renens. Une station est d'ailleurs prévue à côté du site, au carrefour de la rue de Genève et de l'avenue de Morges. L'accessibilité aisée en transports publics permet d'implanter un nouveau programme, en plus de la production d'énergie, dans ce site qui par sa situation entre deux importants axes de transports n'est pas approprié au logement. Un équipement public pourrait au contraire mettre en valeur cette vaste parcelle qui n'est occupée que par une station-service. A proximité de la nouvelle centralité autour de la halte CFF Prilly-Malley, et à mi-chemin entre les centres-villes de Lausanne et de Renens, on peut imaginer un programme didactique ou culturel autour du thème de l'énergie. Un centre d'information et de recherche pourrait voir le jour pour sensibiliser à ces questions et fournir une plateforme d'échange entre fournisseur d'énergie et population. Autre hypothèse, l'École des Métiers (ETML) étant située à quelques centaines de mètres seulement, on peut également imaginer une extension de celle-ci sur ce site afin d'accueillir de nouvelles filières pour former aux métiers de la transition énergétique ou écologique. Dans tous les cas, le projet intégrera les thèmes rencontrés au long du travail et, par un soin apporté à la matérialité, à la volumétrie et à l'articulation de différents programmes, cherchera à créer un lieu attractif qui rapproche les Lausannois et les Lausannoises de leur énergie.



La situation le long d'un axe important entre Lausanne et Renens.

La présence des automobiles caractérise le site aujourd'hui.





Le site est desservi par le réseau ferroviaire pour acheminer les agents énergétiques.

Le chantier du nouveau tramway lausannois, qui desservira le site.



Conclusion

La centrale énergétique apparaît comme une infrastructure clé dans la mutation du système d’approvisionnement. Elle cristallise de multiples enjeux, à des échelles diverses, qui impliquent de près ou de loin le projet architectural. La multitude d’exemples rencontrés au cours de la recherche construit un riche répertoire de projets qui contribuent à la réflexion quant à l’avenir de ces lieux de transformation. Les références les plus intéressantes en termes architecturaux, et les plus répandues actuellement, sont sans doute les chaufferies et autres centrales de cogénération ainsi que, dans une moindre mesure, les usines d’incinération des ordures ménagères, qui ont une toute autre ampleur. En termes d’expression architecturale, la tendance à montrer l’énergie qui est transformée est presque une constante. Les volumes sont souvent caractérisés par les cheminées, éléments les plus emblématiques des nouvelles centrales basées sur des combustibles renouvelables de diverses formes. C’est un élément distinctif qui est souvent traité comme un véritable objet sculptural. En outre, le choix du revêtement, et parfois aussi de la structure, cherche une relation avec le combustible utilisé. La majorité des exemples de centrales valorisant du bois pour produire de la chaleur et de l’électricité ont recours à ce même matériau pour la construction. Le volume et l’enveloppe sont en général les éléments qui permettent la bonne intégration dans un site. Cependant, on constate dans certains exemples

que l'intégration peut aussi se faire par le programme. Le barrage de Hagneck, à la fois usine électrique, promenade de mobilité douce et bénéfique à la biodiversité, en témoigne. Les études de cas, en ce sens, vont plus loin. En créant un espace public sur la peau de la centrale de cogénération d'Amager, Gottlieb Paludan montrent comment rendre une telle infrastructure approachable et comment le public peut en bénéficier. Ils vont un cran plus loin que le Forsthaus de Graber Pulver, qui propose aussi un parcours architectural autour de la centrale, mais qui se limite uniquement aux visiteurs intéressés par la centrale et ne sert pas véritablement d'espace public à ce titre. La Halle Pajol et l'Energy Hub de Londres montrent quant à eux comment, par la diversité programmatique, ces convertisseurs d'énergie deviennent approachables et appropriables. L'exemple londonien est particulièrement frappant par sa confrontation entre un équipement traditionnellement ancré négativement dans l'imaginaire collectif et des espaces pour la communauté et la petite enfance. Le projet architectural contribue ainsi grandement à l'intégration de ces centrales dans leur milieu respectif.

Enfin, les autres thématiques traitées, à l'échelle territoriale notamment, permettent également d'enrichir le projet architectural et de tirer des conclusions qui jouent en faveur de la relocalisation de centrales énergétiques en milieu urbain ou habité. En effet, la préservation de la nature et de la biodiversité, ainsi que l'image du paysage sont menacées par des projets visant à développer des énergies renouvelables. Une situation en ville peut, en plus d'éviter l'artificialisation de terres agricoles ou naturelles, rapprocher véritablement l'énergie de ses consommateurs et consommatrices et créer un lien local, transparent et convivial. Une appropriation citoyenne de l'énergie, en matière d'investissement financier, de gestion, d'usage ou encore de compréhension contribue à une dynamique de transition et de sobriété.

Sur la base de cette multitude de points, résumés dans le dernier chapitre, les nouvelles centrales pourraient être constitutives, à l'image des monuments de l'énergie du siècle dernier, d'un patrimoine architectural témoin de notre époque, où l'humilité de l'intégration soigneuse à proximité de l'habitat remplace l'héroïsme macro-systémique de la conquête de la nature, sous le signe de la cohabitation entre héritage de l'infrastructure du passé et mode de vie d'une société désormais de plus en plus réconciliée avec son territoire-ressources.

Bibliographie

Livres

- Allemand, Sylvain, Patrick Delance, Auréline Doreau, et Bertrand Folléa. *Paysages et énergies: une mise en perspective historique*. Paris: Hermann, 2021.
- Bihoux, Philippe. *L'âge des low tech: vers une civilisation techniquement soutenable*. Anthropocène Seuil. Paris: Éditions du Seuil, 2014.
- Duc, Gérard, Anita Frei, et Olivier Perroux. *Eau, gaz, électricité: histoire des énergies à Genève du XVIIIe siècle à nos jours*. Gollion: Ed. Infolio, 2008.
- Föex, Emmanuel photographe. *Architecture et électricité: un siècle d'architecture électrique en Suisse*. Denges: Ed. du Verseau, 2003.
- Guislain, Margot, et Emmanuelle Graffin. *La halle Pajol: JAP*. Paris: Archibooks + Sautereau, 2014.
- Holmgren, David. *Permaculture: principes et pistes d'action pour un mode de vie soutenable*. L'écopoche. Paris: Rue de l'échiquier, 2017.
- Jancovici, Jean-Marc, Christophe Blain, et Clémence Sapin. *Le monde sans fin*. Paris Barcelone Bruxelles [etc.]: Dargaud, 2021.
- Lopez, Fanny. *A bout de flux*. Paris: Editions Divergences, 2022.
- . *L'ordre électrique: infrastructures énergétiques et territoires*. VuesDensemble. Genève: MetisPresses, 2019.
- Masboungi, Ariella, et Florian Dupont. *200 initiatives pour la transition énergétique des territoires: qui peut faire quoi ?* Ville-aménagement. Paris: Éditions « Le Moniteur », 2018.
- Nordmann, Roger. *Le plan solaire et climat: comment passer de 2 à 20 GW photovoltaïque pour remplacer le nucléaire, électrifier la mobilité et assainir les bâtiments*. Lausanne Paris [Zurich (Suisse)]: Favre Swissolar, 2019.
- Rahm, Philippe. *Histoire naturelle de l'architecture: comment le climat, les épidémies et l'énergie ont façonné la ville et les bâtiments*. Deuxième édition. Paris: Pavillon de l'Arsenal, 2020.
- Shah, Nilay, et James Keirstead. *Urban Energy Systems: An Integrated Approach*. Abingdon: Routledge, 2013.
- Valentini, Christophe, Wallis Département für Verkehr, Bau und Umwelt, et Archives de la Construction Moderne. *L'architecture du 20e siècle en Valais 1920-1975*. Archigraphy thématiques. Gollion: Infolio, 2014.

Chapitres de livre

- Humair, Cédric. « Les transitions énergétiques en Suisse aux XIXe et XXe siècles : comprendre les spécificités d'un petit pays industrialisé ». In *Sous le soleil: systèmes et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours*, par Charles-François Mathis et Geneviève Massard-Guilbaud. Homme et société 04. Paris: Éditions de la Sorbonne, 2019.
- Jedliczka, Marc. « Des propositions pour un modèle alternatif fondé sur le renouvelable : Entretien avec Marc Jedliczka ». In *Nouvelles énergies pour la ville du futur*, édité par Eva Boxenbaum, Brice Laurent, et Annalivia Lacoste, 97-107. i3. Paris: Presses des Mines, 2016. <http://books.openedition.org/pressesmines/2218>.
- Picon, Antoine. « Infrastructure et imaginaires Une lecture alternative du changement technique ». In *Les métamorphoses des infrastructures, entre béton et numérique*, édité par Konstantinos Chatzis, Gilles Jeannot, Valérie November, et Pascal Ughetto, 51-66. Peter Lang, 2017. Consulté le 11 novembre 2022. <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01696673>.

Articles de revue

- Boulouchos, Konstantinos, Urs Neu, Andrea Baranzini, Oliver Kröcher, Nicole Mathys, Joëlle Noilly, Jean-Louis Scartezini, et al. « Swiss Energy System 2050: Pathways to Net Zero CO₂ and Security of Supply - Basic Report ». *Swiss Academies Reports* 17, n° 3 (18 août 2022): 59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6967084>.
- . « Système énergétique suisse 2050 : pistes pour assurer le « zéro émission nette » de CO₂ et la sécurité de l'approvisionnement - Rapport de synthèse ». *Swiss Academies Reports* 17, n° 3 (18 août 2022): 17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6967090>.
- « CENTRALE HYDROELECTRIQUE DE HAGNECK ». *Architecture Suisse* 202, n° 3 (2016): 17-18.
- « Chauffage à distance à bois 2523 Lignières (NE) ». *Architecture Suisse* 176, n° 8 (2010): 31-34.
- Cornaz, Walter. « La nouvelle usine à gaz de la ville de Lausanne, à Malley ». *Bulletin technique de la Suisse romande* 38, n° 4 (25 février 1912): 41-48. <https://doi.org/10.5169/SEALS-29470>.
- « Das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken ». *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art* 63, n° 4 (1976): 255-57. <https://doi.org/10.5169/SEALS-48573>.
- Duval, M.E. « La nouvelle usine à gaz de Sion ». *Bulletin technique de la Suisse romande*, n° 7 (2 avril 1932): 77-80. <https://doi.org/10.5169/SEALS-44824>.
- « Energiezentrale Forsthaus Bern (EZF) ». *Tec21* 139, n° 13-14 (22 mars 2013): 18. <https://doi.org/10.5169/SEALS-323688>.
- Herzog, Andres. « Zentrum = Centre = Centro-Sud ». *Hochparterre : Zeitschrift für Architektur und Design* 31, n° 11 (2018): 52-55.
- Hofmann, Hans. « Kraftwerk Birsfeld : Architekt Hans Hofmann ». Text/html,application/pdf;text/html. *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art* 44, n° 2 (1 février 1957): 38-48. <https://doi.org/10.5169/SEALS-34129>.
- Huber, Werner. « Wie das Kraftwerk in den Wald kam: die Energiezentrale Forsthaus in Bern schluckt nicht nur Abfall. Bäume mussten weichen ». *Hochparterre : Zeitschrift für Architektur und Design* 26, n° 5 (2013): 53-54. <https://doi.org/10.5169/SEALS-392347>.
- Jakob, Michael. « Arquitectura y Energía = Architecture and Energy ». *2G Revista Internacional de Arquitectura* 18, n° II (2001): 60-67.
- Kolb, Stephan. « Les défis techniques de l'équipement électromécanique d'une centrale de pompage-turbinage de 900 MW ». Text/html,application/pdf;text/html. *Tracés : bulletin technique de la Suisse romande* 143, n° 3 (3 février 2017): 6-11. <https://doi.org/10.5169/SEALS-736697>.
- Parent, Claude. « L'architecte Claude Parent et les centrales nucléaires = Der Architekt Claude Parent und die Kernkraftwerke ». *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art* 63, n° 4 (1976): 241-48. <https://doi.org/10.5169/SEALS-48570>.
- Piller, Louis. « L'aménagement hydro-électrique de Schiffenen ». Text/html,application/pdf;text/html. *Bulletin technique de la Suisse romande* 88, n° 9 (5 mai 1962): 125-33. <https://doi.org/10.5169/SEALS-771838>.
- Richard, R. « Le chauffage urbain à Lausanne: l'usine "Pierre-de-Plan" ». *Bulletin technique de la Suisse romande* 92, n° 10 (21 mai 1966): 206-8. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68371>.
- . « L'usine hydro-électrique de Lavey ». *Bulletin technique de la Suisse romande* 92, n° 10 (21 mai 1966): 192-95. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68364>.

- Seitz, Peter. « Du courant au fil de l'eau et dans le paysage ». *Tracés : bulletin technique de la Suisse roma* 143, n° 20 (20 octobre 2017): 6-9. <https://doi.org/10.5169/SEALS-736776>.
- Solt, Judit, Andrea Wiegelmann, Alexander Felix, Marco Graber, et Thomas Pulver. « Gesellschaftlicher Relevanz eine Form geben ». *Text/html,application/pdf/text/html*. *Tec21* 139, n° 13-14 (22 mars 2013): 19-23. <https://doi.org/10.5169/SEALS-323689>.
- Stierlin, Henri. « Vers une architecture de l'âge nucléaire? » *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art* 63, n° 4 (1976): 240.
- Vittone, René. « La Centrale thermique de Vouvry VS : 1963/64. » *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art* 52, n° 7 (juillet 1965): 252-53. <https://doi.org/10.5169/SEALS-40481>.
- Vittone, René, et Alin Décoppet. « Rôle de l'architecte dans l'étude et la réalisation de la Centrale thermique de Vouvry ». *Bulletin technique de la Suisse romande* 92, n° 7 (9 avril 1966): 128-31. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68346>.

Thèse

- Marino, Giulia. « Some Like It Hot ! , Le confort physiologique et ses dispositifs dans l'architecture du XXe siècle: histoire et devenir d'un enjeu majeur ». EPFL, 2014. <https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-6139>.

Rapport et documents divers

- ARE, Office fédéral du développement territorial. « Conception énergie éolienne. Base pour la prise en compte des intérêts de la Confédération lors de la planification d'installations éoliennes ». Berne, 25 septembre 2020. Consulté le 5 décembre 2022. www.are.admin.ch/energieeolienne.
- Epp, Alexandre et BG Ingénieurs Conseils SA. « Planification énergétique du projet d'agglomération Lausanne Morges – Volet 2 : Stratégie énergétique », 12 mai 2022. Consulté le 8 décembre 2022. <https://lausanne-morges.ch/wp-content/uploads/2022/09/PALM-Strategie-energetique-1.pdf>.
- OFEN, Office fédéral de l'énergie. « Statistique globale suisse de l'énergie 2021 ». Berne: Confédération suisse, août 2022. Consulté le 2 novembre 2022. https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/14/1402EC7524F81EE-D80A186BAD7BA2D8E.pdf.
- . « Statistique suisse de l'électricité 2021 ». Berne: Confédération suisse, juillet 2022. Consulté le 2 novembre 2022. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik.html>.
- Services industriels Lausanne et Ville de Lausanne. « LES SiL EN 2020 ET 2021 ». Consulté le 11 décembre 2022. <https://www.lausanne.ch/vie-pratique/energies-et-eau/services-industriels/a-propos-sil/notre-portrait/publications.html>.
- Sweco Architects. « Dommerbetænkning, Arkitekturprojekt på Amagerværket ». Copenhague, mars 2015. Consulté le 11 janvier 2023. <https://docplayer.dk/4956332-Arkitekturprojekt-paa-amagerværket.html>.
- Ville de Lausanne, Municipalité. « Catalogue des axes d'action du Plan climat et mesures proposées ». Site officiel de la Ville de Lausanne, 7 janvier 2021. Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.lausanne.ch/portrait/climat/plan-climat.html>.
- Ville de Paris, Direction des Espaces Verts et de l'Environnement. « Plan climat de Paris, Vers une ville neutre en carbone, 100% énergies renouvelables, résiliente, juste et inclusive. », 2020. Consulté le 11 janvier 2023. <https://cdn.paris.fr/pa>

ris/2020/11/23/99f03e85e9f0d542fad72566520c578c.pdf.

Wissen Hayek, Ulrike, Reto Spielhofer, Boris Salak, Marcel Hunziker, Felix Kienast, Tyler Thrash, Victor R. Schinazi, Tobias Luthe, Urs Steiger, et Adrienne Grêt-Regamey. « ENERGYSCAPE – Recommendations for a Landscape Strategy for Renewable Energy Systems ». Report. ETH Zurich, 9 juillet 2019. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000383049>.

Article de presse

Di Matteo, Karim. « Un chauffage à distance entre ville et nature ». *24 heures*, 24 mars 2018. Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.24heures.ch/un-chauffage-a-distance-entre-ville-et-nature-469084224966>.

Haeberli, David. « Les freins qui bloquent la Suisse dans sa transition énergétique ». *Le Temps*, 31 août 2022. Consulté le 5 janvier 2022. <https://www.letemps.ch/suisse/freins-bloquent-suisse-transition-energetique>.

Marino, Giulia. « Carte blanche – Aux sources de la transition énergétique ». *24 heures*, 3 décembre 2022. Consulté le 12 décembre 2022. <https://www.24heures.ch/aux-sources-de-la-transition-energetique-130949567167>.

Slavin, Terry. « An Incinerator with a View: Copenhagen Waste Plant Gets Ski Slope and Picnic Area ». *The Guardian*, 26 octobre 2016, sect. Cities. Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.theguardian.com/cities/2016/oct/26/incinerator-copenhagen-waste-plant-bjarke-ingels-ski-slope>.

Page web

Agroscope. « Mise en service d'une installation agrivoltaïque expérimentale à Agroscope Conthey ». Agroscope, 7 octobre 2021. Consulté le 11 janvier 2023. https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/aktuell/kurznews/2021/10-07_photo-voltaik-versuchsanlage.html.

Alpiq. « Production d'hydrogène exempte de CO₂ ». Alpiq. Consulté le 5 janvier 2023. <https://www.alpiq.ch/fr/production-denergie/production-dhydrogene>.

ATS KEYSTONE-SDA-ATS. « Le Parlement s'accorde sur une offensive solaire ». L'Assemblée fédérale - Le Parlement suisse, 27 septembre 2023. Consulté le 11 janvier 2023. https://www.parlament.ch/fr/services/news/Pages/2022/20220927112318647194158159038_bsf063.aspx.

BKW. « L'évolution du système énergétique suisse ». BKW. Consulté le 30 novembre 2022. <https://www.bkw.ch/fr/energie/le-systeme-energetique-cellulaire/levolution-du-systeme-energetique-suisse>.

———. « Mise en service de la centrale au fil de l'eau la plus moderne de Suisse ». BKW, 23 octobre 2015. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.bkw.ch/fr/qui-sommes-nous/actualites/medias/communiques-de-presse/mise-en-service-de-la-centrale-au-fil-de-l-eau-la-plus-moderne-de-suisse>.

Bourse Solaire Participative. « Bourse Solaire Participative, la transition énergétique citoyenne ». Bourse Solaire Participative, 2020. Consulté le 8 janvier 2023. <https://www.boursesolaire.ch/accueil/>.

Brühlhart Ducret. « Heizzentrale – Brühlhart Ducret ». Consulté le 9 janvier 2023. <https://www.bruehhardtducret.ch/projekte/heizzentrale>.

Claessens-Vallet, Camille. « Forum Énergie + Patrimoine: l'urgence climatique comme impératif commun », 16 mai 2022. Consulté le 5 janvier 2023. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/forum-energie-patrimoine-lurgence-climatique-comme-imperatif-commun>.

Commune d'Yverdon-les-Bains. « Solaire participatif ». Yverdon-les-Bains Énergies,

2023. Consulté le 8 janvier 2023. <https://www.yverdon-energies.ch/particuliers/energies-renouvelables/mix-energetique-particuliers/solaire-participatif-particulier/>.
- DETEC, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. « Stratégie énergétique 2050 ». Consulté le 5 janvier 2023. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/energie/energiestrategie-2050.html>.
- Énergie Partagée Association. « La Halle Pajol approvisionne Enercoop en énergie renouvelable ». Énergie Partagée, 15 février 2021. Consulté le 1er décembre 2021. <https://energie-partagee.org/la-halle-pajol-approvisionne-enercoop-en-energie-renouvelable/>.
- Energie Wasser Bern. « Geospeicher ». EWB. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.ewb.ch/ueber-uns/unternehmen/kraftwerke/geospeicher.php>.
- Schweizer Baudokumentation. « Ersatzneubauten Lüssihof, Zug », 26 juillet 2018. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.baudokumentation.ch/projekt/ersatzneubauten-luessihof-zug/656732>.
- E.ON. « Power, Warmth and Benefits Combined – Elephant & Castle ». E.ON. Consulté le 4 janvier 2023. <https://www.eon.com/en/business-customers/success-stories/elephant-castle.html>.
- Frochaux, Marc. « Quand la force de l'eau transformait les villes ». Espazium, 30 août 2017. Consulté le 13 janvier 2023. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/quand-la-force-de-leau-transformait-les-villes>.
- . « Salle multi-usage « La grange au pré », Léchelles, Belmont-Broye (FR), 2017 - Le petit dragon de la Broye, DRA III: mention ». Espazium, 2 octobre 2018. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/salle-multi-usage-la-grange-au-pre-lechelles-belmont-broye-fr-2017-le-petit-dragon-de-la-broye>.
- Giermann, Holly. « Gottlieb Paludan Architects Design a Forest-Inspired Biomass Unit for Copenhagen ». ArchDaily, 14 mai 2015. Consulté le 12 décembre 2022. <https://www.archdaily.com/631048/gottlieb-paludan-architects-design-a-forest-inspired-biomass-unit-for-copenhagen>.
- Gillioz, Valérie, et Didier Kottelat. « La Suisse manque de main-d'oeuvre pour installer des panneaux solaires ». RTS Info, 22 mars 2022. Consulté le 13 janvier 2023. <https://www.rts.ch/info/suisse/12922322-la-suisse-manque-de-mainoeuvre-pour-installer-des-panneaux-solaires.html>.
- Guislain, Margot. « La halle Pajol, un manifeste brut de décoffrage ». Le Moniteur, 24 janvier 2014. Consulté le 1er décembre 2022. <https://www.lemoniteur.fr/article/la-halle-pajol-un-manifeste-brut-de-decoffrage.1234709>.
- HUGGENBERGERFRIES. « Heizzentrale, Lungern ». HUGGENBERGERFRIES. Consulté le 11 janvier 2023. <https://hbf.ch/projekte/164-heiz-heizzentrale-lungern>.
- Marek, Daniel. « Energie ». Dictionnaire historique de la Suisse (DHS), 23 octobre 2006. Consulté le 12 décembre 2022. <https://hls-dhs-dss.ch/articles/026220/2006-10-23/>.
- Morel, Philippe. « La Sarine: première rivière européenne domptée par du béton ». Espazium, 8 novembre 2015. Consulté le 13 janvier 2023. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/la-sarine-premiere-riviere-europeenne-domptee-par-du-beton>.
- Batimag. « Les Nyonnais financent une nouvelle centrale solaire ». Consulté le 8 janvier 2023. <https://www.batimag.ch/projets/les-nyonnais-finacent-une-nouvelle-centrale-solaire>.
- OFEN, Office fédéral de l'énergie. « Energie de la biomasse ». Office fédéral de l'énergie OFEN, 20 février 2020. Consulté le 4 novembre 2022. <https://www.bfe.admin.ch/>

bfe/fr/home/versorgung/erneuerbare-energien/biomasse.html.

- . « Géothermie ». Office fédéral de l'énergie OFEN, 27 janvier 2022. Consulté le 4 novembre 2022. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/versorgung/erneuerbare-energien/geothermie.html>.
- . « Les toits et les façades des maisons suisses pourraient produire 67 TWh d'électricité solaire par an ». Office fédéral de l'énergie OFEN, 15 avril 2019. Consulté le 5 janvier 2023. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/communiqués-de-presse/mm-test.msg-id-74641.html>.
- Oppliger, Valentin. « Élégante technique, Centrale de chauffage à distance, Orbe (VD) ». Documentation suisse du bâtiment, 2020. Consulté le 9 janvier 2023. <https://www.batidoc.ch/projet/centrale-de-chauffage-a-distance-orbe-vd/779404>.
- Pintos, Paula. « Energy Hub / Morris+Company ». ArchDaily, 14 mai 2021. Consulté le 4 janvier 2023. <https://www.archdaily.com/961643/energy-hub-morris-plus-company>.
- Ravenscroft, Tom. « Morris + Company Combines Power Plant and Nursery in Elephant & Castle ». Dezeen, 4 mai 2021. Consulté le 17 novembre 2022. <https://www.dezeen.com/2021/05/04/morris-company-nursery-energy-hub-elephant-castle-london/>.
- Royal Institute of British Architects. « Energy Hub ». RIBA. Consulté le 4 janvier 2023. <https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2021/energy-hub>.
- Services industriels Lausanne. « Chauffage à distance ». Site officiel de la Ville de Lausanne. Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.lausanne.ch/vie-pratique/energies-et-eau/services-industriels/a-propos-sil/notre-engagement/efficacite-energetique/chauffage-a-distance.html>.
- . « D'où vient l'électricité des SiL? » Lausanne Energies, octobre 2022. Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.lausanne-energies.ch/article/dou-vient-lelectricite-des-sil/98>.
- . « GEOOL SA, la géothermie hydrothermale dans l'Ouest ». Site officiel de la Ville de Lausanne. Consulté le 12 janvier 2023. www.lausanne.ch/geool.
- SIG. « Inauguration de la centrale solaire participative du Stade de Genève | SIG ». SIG. Consulté le 8 janvier 2023. <https://ww2.sig-ge.ch/actualites/inauguration-de-la-centrale-solaire-participative-du-stade-de-geneve>.
- Speirs Major. « BIO4, Power Station, Amagerværket ». Speirs Major Light Architecture. Consulté le 12 décembre 2022. <https://www.smlightarchitecture.com/projects/2967/bio4-amagerværket>.
- Lendlease Elephant and Castle. « Sustainability at Elephant Park ». Consulté le 12 janvier 2023. <https://www.elephantpark.co.uk/sustainability/>.
- Swissnuclear. « La matière première uranium - Uranium, matière première ». energie-nucleaire.ch, 2022. Consulté le 26 décembre 2022. https://www.kernenergie.ch/fr/uranium-matiere-premiere_content---1--1085.html.
- Walsh, Niall Patrick. « The Architect's Power in Tomorrow's Energy Infrastructure ». Archinect. Consulté le 11 novembre 2022. <https://archinect.com/features/article/150283576/the-architect-s-power-in-tomorrow-s-energy-infrastructure>.

Article de blog

The Architects' Journal. « Case Study: The Energy Hub by Morris+Company », 6 juillet 2021. Consulté le 4 janvier 2023. <https://www.architectsjournal.co.uk/specification/case-study-the-energy-hub-by-morriscompany>.

- Clivaz, Christophe. « Gondosolar: le développement du solaire ne justifie pas tout! » *Politique, écologie et société* (blog), 8 avril 2022. Consulté le 11 janvier 2023. <https://blogs.letemps.ch/christophe-clivaz/2022/04/08/gondosolar-le-developpement-du-solaire-ne-justifie-pas-tout/>.
- Groupe E. « Bien plus qu'un parc solaire ». *Groupe E - le blog* (blog), 12 décembre 2016. Consulté le 11 janvier 2023. <https://blog.groupe-e.ch/activites/parc-solaire-payerne/>.
- Henchoz, Hervé. « Perspectives énergétiques 2050+ : scénarios pour un avenir énergétique renouvelable et climatiquement neutre. Les objectifs de la Confédération sont-ils réalisables ? », 26 avril 2021. Consulté le 5 janvier 2023. <https://blog.romande-energie.ch/fr/economiser-l-energie/137-perspectives-energetiques-2050>.
- Schwander, Andreas. « Kraft und Architektur ». *strom-online* (blog), 19 novembre 2020. Consulté le 30 novembre 2022. <https://strom-online.ch/kraft-und-architektur/>.
- SI-REN. « Éolien ». *SI-REN Les énergies renouvelables de Lausanne* (blog). Consulté le 12 janvier 2023. <https://www.si-ren.ch/eolien/>.

Emissions de radio et de TV

- Scialom Laurence, Vincent Decque, et Corinne Amar. « Anthropocène ou capitalocène ? » *Le Pourquoi du comment : économie et social*. France Culture, 11 octobre 2021. Consulté le 6 janvier 2023. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-pourquoi-du-comment-economie-social/anthropocene-ou-capitalocene-2552791>.
- Revaz, Philippe. « Jérémie Savioz, chargé d'affaires à Pro Natura VS, s'oppose aux grands projets solaires dans les Alpes valaisannes ». *19h30*. RTS, 17 octobre 2022. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.rts.ch/play/tv/19h30/video/en-valais-les-projets-de-grands-parcs-solaires-foisonnent-encourages-par-loffensive-solaire-votee-par-le-parlement?urn=urn:rts:video:13472120>.
- Solari, Lucile. « Quelle place pour énergie hydraulique, dans une perspective 100% renouvelable? » *Prise de Terre*. RTS, 15 janvier 2022. Consulté le 6 janvier 2023. <https://www.rts.ch/audio-podcast/2022/audio/quelle-place-pour-l-energie-hydraulique-dans-une-perspective-100-renouvelable-25793514.html>.

Films et vidéos

- Godard, Jean-Luc. *Opération «Béton»*. Actua-Films, 1954. 16 minutes.
- CNIM Groupe. *LAB HOFOR*, 2019. 3:16 minutes. Consulté le 5 janvier 2023. https://www.youtube.com/watch?v=_M3Fzp_PNUA.
- Heuberger, J.M., Y. Illi, K. Anliker, et R. Altermatt. « On recherche activement de nouveaux sites pour le déploiement de nouveaux panneaux solaires ». *19h30*. RTS, 4 novembre 2021. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.rts.ch/play/tv/19h30/video/on-recherche-activement-de-nouveaux-sites-pour-le-deploiement-de-nouveaux-panneaux-solaires?urn=urn:rts:video:12618119>.
- Martin Professional. *MARTIN | Enchanted by Light, Meet BIO4, a Poetic Celebration of Wood-Fired Energy*, 2021. 9:09 minutes. Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.youtube.com/watch?v=qY56z60vxms>.
- Ekopolis. *Visite #12 la ZAC et Halle Pajol (Paris, XVIIIème)*, 2020. 9:03 minutes. Consulté le 5 janvier 2023. <https://www.youtube.com/watch?v=dhHEWcXAMfQ>.

Mathieu STOPPA

Janvier 2023

EPFL