

HABITER LA NUISANCE

**Quand le bruit devient une
opportunité pour le projet
d'architecture**



HABITER LA NUISANCE

**Quand le bruit devient une opportunité
pour le projet d'architecture**

Marion Beuchat
Énoncé théorique de master
EPFL ENAC SAR
Janvier 2023
Directeur pédagogique : Prof. Emmanuel Rey
Professeur : Prof. Marilyne Andersen
Maître EPFL : Loïc Fumeaux

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le professeur Emmanuel Rey, directeur du Laboratoire LAST de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne et Loïc Fumeaux, mon maître EPFL et collaborateur du laboratoire LAST, pour leur suivi et leurs conseils tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier Amadeus Dorsch du bureau BDE Architekten, Simon Chessex et Virgine Fürst du bureau Lacroix Chessex et Patrick Aeby du bureau Aeby & Perneger Associés SA pour m'avoir donné accès aux informations de leur bâtiment et pour avoir répondu à mes questions.

Finalement je remercie ma famille pour leur soutien tout le long du travail et leur relecture attentive.

Table des Matières

Avant-propos	7	Hypothèses de projet	105
Introduction	11	Yverdon-les-Bains, un avenir prometteur	107
Constat actuel	13	Une ville remplie d'histoire	109
Perspective	15	Une parcelle à fort potentiel	113
Méthodologie	17	Programme	117
Enjeux	21	Conclusion	121
Évolution de la ville et des transports	23	Bibliographie	127
Problèmes environnementaux	31	Livres	129
Questions socioculturelles	35	Articles	131
Enjeux légeaux	41	Sites internet	137
Défis	45	Autres	141
Stratégies architecturales	47		
Comprendre le bruit	49		
Prendre de la distance	53		
Créer une barrière	57		
Une ventilation alternative	65		
Absorber ou refléter	69		
Synthèse	71		
Stratégies architecturales	73		
Immeuble résidentiel et commercial, Baden	75		
La maison d'étudiant, Genève	81		
Quartier des Halles, Morges	91		
Synthèse	101		

AVANT-PROPOS

Avant-propos

Ce travail s'inscrit dans le cadre du cursus du master en architecture à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Il représente une base théorique et établit les principes et les réflexions qui serviront au projet de master, qui s'effectuera le semestre prochain.

La question de notre futur climatique est très importante à mes yeux. Elle incite les architectes à changer leurs pratiques et manières de penser. Pour y faire face nous devons changer dans beaucoup de domaines notamment le secteur des transports, sur lequel l'architecture et l'urbanisme exercent une grande influence. Mais pour inciter les gens à prendre les transports publics, il faut que la population y ait accès facilement, ce qui se traduit par la construction de logements à proximité.

Je me suis donc intéressée à la question de la construction de logements quand ils sont en contact direct avec des nuisances sonores. Ces réflexions font suite à de plusieurs lectures sur le thème des cités-jardins et aux interrogations que m'a apportées Monsieur Blaise Arlaud, architecte acousticien, lors d'une présentation donnée dans le cadre du cours architecture et réhabilitation à l'EPFL.

Il est important pour moi que les enjeux environnementaux et toutes les questions qu'ils soulèvent soient au cœur de la réflexion architecturale.

INTRODUCTION

fig.1 évolution de la population suisse [Mio]

Source: ©OFS

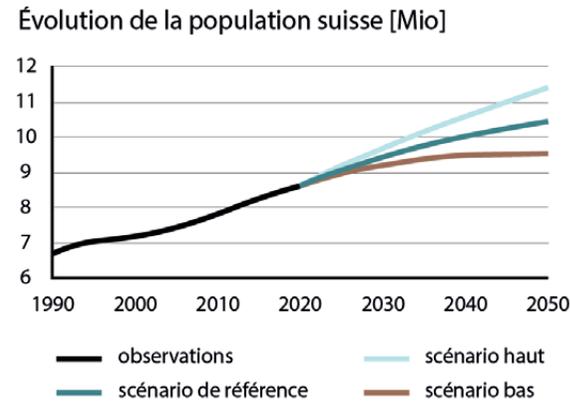


fig.2 évolution du transport de personnes [voyageurs-km]

Source: ©OFS

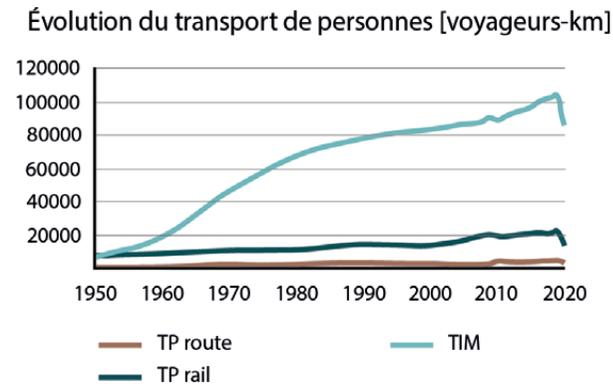
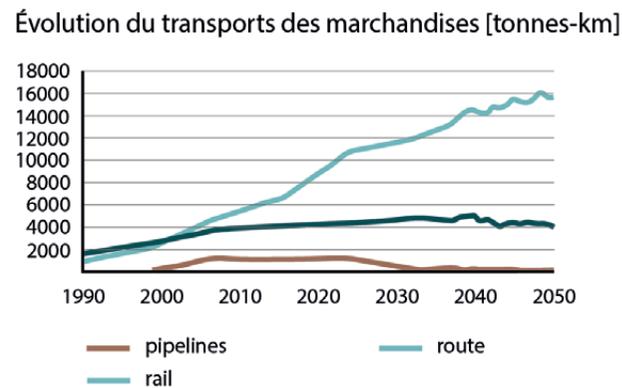


fig.3 évolution du transport de marchandises [tonnes-km]

Source: ©OFS



Constat actuel

La population suisse est passée d'un peu plus de 3'280'000 d'habitants en 1900 à plus de 8'670'000 en 2021¹. Dans les villes de plus de 100'000 habitants, les aires d'habitations ont augmenté de 38% entre 2013 et 2018 alors que les aires industrielles ont décliné de 26%². Entre 1980 et 2019, le trafic routier pour la mobilité individuelle a augmenté de 54% et celui du chemin de fer de 118%³.

Pour répondre à la demande croissante de logements, les villes se sont intéressées à des parcelles, à première vue, très contraignantes. On a donc vu apparaître de plus en plus de concours d'architecture dans des zones sensibles, telles que les parcelles bordant les chemins de fer. De nombreux quartiers de logements se sont développés à proximité de ces axes de transports. La compagnie des chemins de fer fédéraux suisses, les CFF, ont un pôle dédié à l'immobilier⁴ et ont multiplié les projets de logements ces dernières années. On peut citer comme exemple le quartier du parc du Simplon à Renens, réalisé par les architectes du bureau Ferrari architectes⁵ ou le projet du quartier Letzibach à Zürich, réalisé par le bureau Adrian Streich Architeketen AG⁶.

1 OFS, « Bilan de la population résidente permanente par canton, de 1991 à 2021 - 1991-2021 | Tableau ». <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/23064761>.

2 OFS, « Statistiques des villes suisses ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen/uebersichtsdarstellungen/statistik-schweizer-staedte.html>.

3 OFS, « Mobilité et transports ». 2021

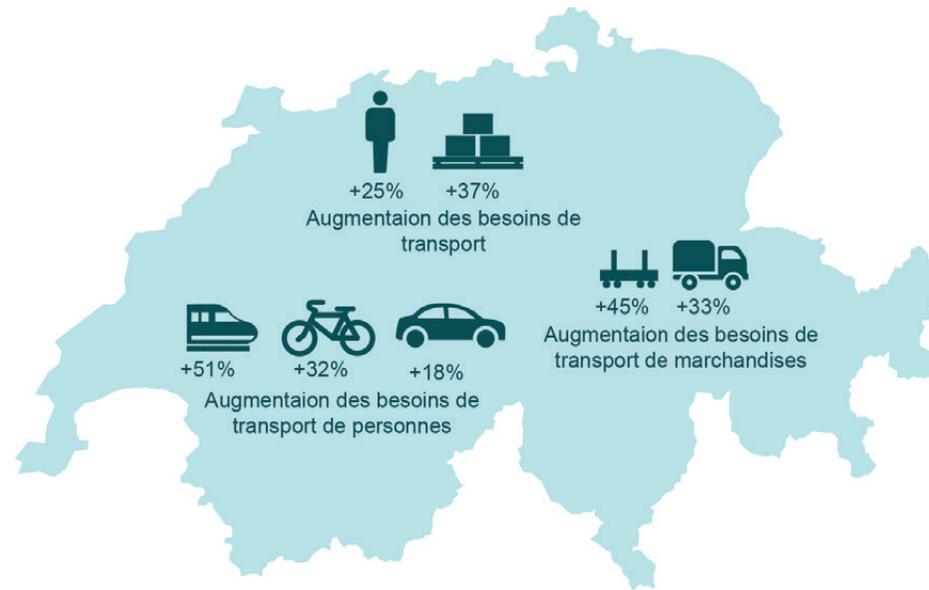
4 « Home ». <http://www.adriantreich.ch/>.

5 « Ferrari Architectes | Parc du Simplon | Bureau d'architecture, Lausanne - Architecte - Logement - Rénovation - Transformation - Urbanisme ».

6 CFF Immobilier. « Immobilier au cœur de la mobilité. » <https://sbb-immobilien.ch/fr/>.

fig.4 perspective transport 2040

Source: © Perspectives d'évolution du transport 2040



Perspectives

D'après le scénario de référence de l'évolution de la population suisse effectué par l'office fédérale de la statistique, la Suisse comptera environ 10.4 millions d'habitants en 2050⁷. Cette augmentation induira indéniablement une augmentation de la demande de logement et par conséquent, les villes devront trouver de nouvelles parcelles constructibles.

D'après les scénarios pour 2040 imaginés par l'office fédéral du développement du territoire⁸, le transport terrestre continuera d'augmenter, quoique plus lentement que ces 20 dernières années, au vu de l'augmentation de la population. Malgré le taux d'utilisation élevé de la mobilité individuelle motorisée, ce sont les transports en communs qui afficheront la plus grande croissance avec +51,5 %. Concernant l'acheminement des marchandises, le constat est le même. Le transport routier domine, mais le transport ferroviaire montre une plus forte augmentation avec +45%, comparé aux +33% du trafic routier.

Les CFF ont de nombreux projets de logements pour les années à venir, tels que le projet 23/25 à Zürich, prévu pour 2023, ou le projet du développement du site de la gare à Wettingen, prévu pour 2027⁹.

L'évolution de la demande en logement en parallèle de l'augmentation générale du trafic ferroviaire, ne va que accroître le nombre de situations conflictuelles entre villes et transport public. L'architecte aura donc un grand rôle à jouer dans leur cohabitation, en offrant un confort optimal pour les habitants tout en permettant l'évolution du réseau de transports publics dans une démarche de transition écologique.

7 OFS, « Scénarios pour la Suisse ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/bevoelkerung/zukuenfftige-entwicklung/schweiz-szenarien.html>.

8 Humm, Sidler, et Faktor Journalisten AG « Perspectives d'évolution du transport 2040 ». Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral du développement territorial ARE, août 2016.

9 CFF Immobilier. « Immobilier au cœur de la mobilité. » <https://sbb-immobilien.ch/fr/>.

Méthodologie

Ce travail s'articulera autour de l'étude des stratégies architecturales à mettre en place lors de l'implantation de logements à proximité des voies ferrées.

Après avoir parlé de l'intérêt grandissant pour les parcelles proches des voies ferrées, nous aborderons les différents enjeux autour du bruit, de l'accroissement de la ville, de l'évolution des transports et du confort des habitants. Cela se fera à travers l'étude des enjeux historiques de l'évolution des transports et l'impact qu'elle a eu sur nos villes, les enjeux environnementaux avec la densification des villes et le changement de modes de transport pour réduire nos émissions de GES et œuvrer pour la transition écologique, l'études des enjeux socioculturels autour des sons, du bruit et du confort, ce qu'ils représentent pour nous, les opportunités qu'ils nous offrent et l'impact qu'ils ont sur notre santé et des enjeux légaux concernant le bruit, les transports et la construction.

La suite analysera les différents outils à disposition des architectes qui peuvent être mise en place pour garantir un confort optimal de l'habitat dans des milieux bruyants. Pour chacune des stratégies, il y aura une analyse des échelles auxquelles elles peuvent être appliquées, les fonctions qu'elles peuvent accueillir et les formes qu'elles peuvent prendre.

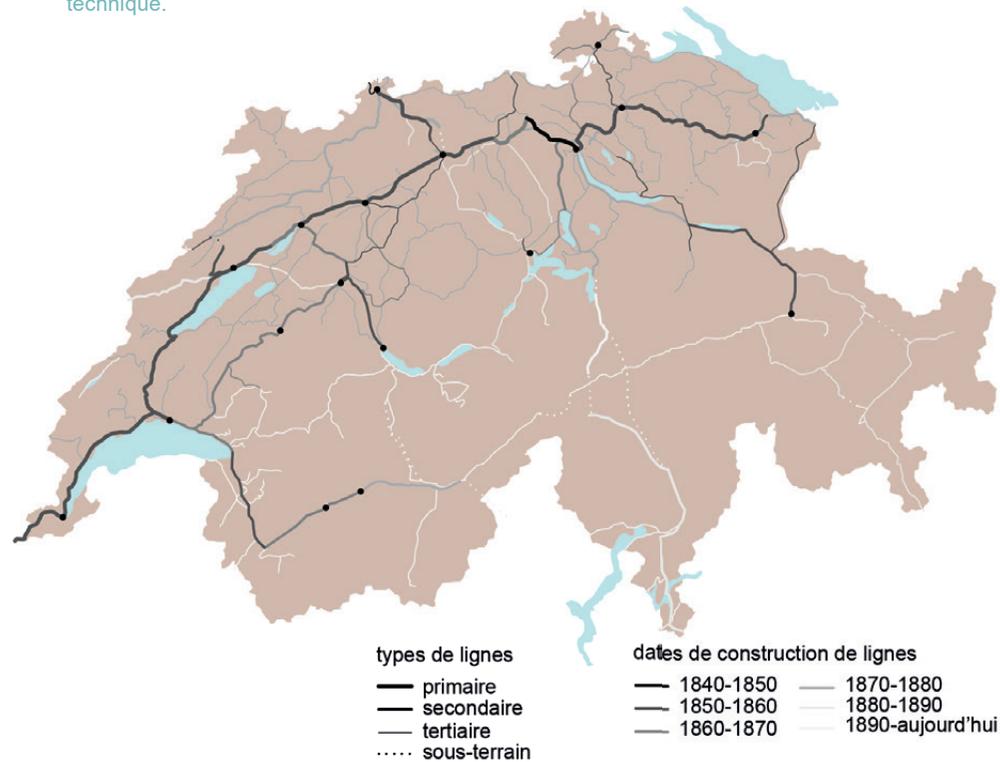
Cette analyse sera effectuée sur trois bâtiments qui mettent en œuvre des stratégies différentes dans l'implantation de logements à proximité des voies ferrées, une stratégie typologique, une stratégie expressive et une stratégie dans la matérialité.

Puis, avant de conclure, un site sera choisi pour un projet et analysé pour y définir une programmation spécifique.

ENJEUX

fig.5 carte de l'évolution du réseau ferroviaire suisse

Sources: @swisstopo
 ©Les chemins de fer suisses au cours d'un siècle : aperçu historique et technique.



Les lignes se sont surtout construites et densifiées sur la plaine avant d'atteindre les Alpes.

Évolution de la ville et des transports

Le système de rail était déjà utilisé au Moyen-Âge dans les mines. En Suisse, les plus anciens rails trouvés sont en bois, ceux du col de l'Ofen dans les Grisons, trouvés en 1993, qui datent de 1441¹⁰. Par la suite, les rails eurent leur essor au début du XIX^{ème} siècle avec l'invention de la locomotive à vapeur en Grande-Bretagne. Les pays européens suivirent en construisant leurs réseaux ferroviaires à partir de 1830. En Suisse, le chemin de fer est plus tardif. Le premier tronçon construit sera celui de Saint-Louis-Bâle, sur la ligne Strasbourg-Bâle, en 1844. Mais la première ligne entièrement suisse sera celle qui relie Zurich à Bâle, construite pas la compagnie Nord-Suisse, qui en réalité n'ira pas jusqu'à Zurich mais s'arrêtera à Baden dû à des conflits entre les cantons¹¹. Ce retard Suisse, peut être expliqué, d'après Paul Bairoch, par le caractère montagneux du relief, par la rareté du charbon, par l'absence de grandes villes et par l'absence d'un pouvoir centralisé¹². « L'État fédéral de 1848 est le garant d'une stabilité politique fondée sur la recherche de consensus qui peut ainsi stimuler les investissements tout en assurant, quoiqu'imparfaitement, un équilibre interne. »¹³

En 1852, une loi fédérale octroya le droit de la construction et de l'exploitation des chemins de fers aux cantons en dépit de la confédération. « Le financement se fit à l'aide de capitaux privés et de subventions communales et cantonales, ce qui obligea les compagnies de chemins de fer, sociétés

10 Bärtschi, Dubler. « Chemins de fer ». <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007961/2015-02-11/>

11 Bärtschi, Dubler. « Chemins de fer ». <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007961/2015-02-11/>

12 Bairoch, « Les spécificités des chemins de fer suisses des origines à nos jours ». 38.

13 Tissot, « Les chemins de fer en Suisse au XIX^{ème} siècle », 74. <https://doi.org/10.4000/rhcf.1534>.



Habiter la nuisance

anonymes, à privilégier la rentabilité dans leurs projets et dans leur exploitation. »¹⁴ C'est seulement en 1854 qu'une deuxième ligne a été construite, en réalité un tronçon d'environ 13km reliant Bâle à Liestal. C'est en 1855 que les constructions prennent une réelle ampleur avec la construction de huit nouvelles lignes en un an, représentant un total de 172km. Par la suite, le réseau s'agrandit rapidement pour atteindre 236km en 1859.¹⁵

Dès 1860, une grande partie des compagnies ferroviaires devaient affronter des problèmes financiers et ont obtenu de l'aide des pays voisins, désireux de la création de liaisons transalpines.¹⁶ Malgré un manque de capitaux, toutes les lignes principales furent construites avant 1970.

Dans le courant de l'année 1872, une deuxième loi sur les chemins de fer sera adoptée. Avec elle, la confédération se voit offrir les droits de la construction, de l'exploitation et de la tarification, qui étaient aux mains des cantons depuis 20 ans. Les lignes continuèrent de se densifier, principalement sur le plateau.

A la fin du XIXème siècle, aucune liaison directe n'existait entre la Suisse et l'Italie, les chemins de fer suisses s'étant arrêtés au pieds des Alpes. Le trafic se faisait donc soit à l'Est par l'Autriche et la ligne du Brenner, soit à l'Ouest par la France et la ligne du Mont-Cenis. C'est en 1869 qu'un accord fut trouvé pour la construction du Gothard, inauguré en 1882. Il permit un trafic entre le Nord et le Sud de l'Europe à travers la Suisse, qui gagna en importance dans le transit de marchandises. Le peuple suisse approuva également en 1878 l'octroi

14 Bärtschi, Dubler. « Chemins de fer ». <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007961/2015-02-11/>, consulté le 25.12.2022.

15 Bairoch, « Les spécificités des chemins de fer suisses des origines à nos jours ». 38.

16 Bärtschi, Dubler. « Chemins de fer ». <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007961/2015-02-11/>

Enjeux

de subventions concernant deux transversales dans les Alpes, une à l'Est et une à l'Ouest. Celle de l'Est ne se réalisera pas et celle de l'Ouest, le Berne-Lötschberg-Simplon sera inauguré en 1913. A cette même époque, la Suisse était leader en terme de trafic de voyageur, grandement aidé par l'essor du tourisme qui représentait 19% du trafic voyageur total.

La révolution du chemin de fer a permis une réduction des coûts du transport et une nette progression de la vitesse. « Si l'on prend les voyages ordinaires et des distances dépassant les 100 km, la vitesse commerciale (c'est-à-dire y compris les arrêts) était de l'ordre de 3,0-3,5 km à l'heure à la veille de la révolution industrielle en Europe, grâce notamment à l'amélioration des routes et à la qualité des diligences. Avant cela, les chiffres sont encore plus faibles : de l'ordre de 2,0-2,5 km/heure. Or, si l'on prend un exemple suisse, des 1860, soit quelques années après la mise en service de la ligne Genève-Berne, il ne fallait plus que 5 heures 26 minutes (soit 28 km/heure) pour relier ces deux villes (arrêts compris) ; des 1914, il s'agissait de 2 heures 49 minutes (soit 53 km/heure); et, actuellement (1988), il s'agit de 1 heure 42 minutes (soit 88 km/heure).»¹⁷

La Suisse, du fait de sa pauvreté en charbon, a été une nation pionnière dans l'électrification de son réseau. La première ligne électrique fut celle du tramway reliant Vevey – Montreux – Chillon en 1888. Mais le premier tronçon électrifié d'intérêt général en Europe a été celui reliant Berthoud à Thoune, en 1899. La pénurie de charbon lors des deux Guerres Mondiales a poussé la Suisse à



fig.6 Automotrice de tramway électrique Ce 1/2 Nr 4 Vevey-Montreux-Chillon VMC 1888

Source: ©Roger Hofstetter/Verkehrshaus



fig.7 Locomotive électrique double Ae 8/14 no 11852 CFF 1939

Source: ©Roger Hofstetter/Verkehrshaus

17 Bairoch, « Les spécificités des chemins de fer suisses des origines à nos jours », 36.



Habiter la nuisance

18 Bairoch, « Les spécificités des chemins de fer suisses des origines à nos jours » 45.



fig.10 Locomotive électrique pour trains marchandises Ge 6/6 I no 402 Chemins de fer rhétiques RhB 1921
Source: ©Roger Hofstetter/Verkehrshaus

19 CFF. « Historique | CFF ». <https://company.sbb.ch/fr/entreprise/profil/historique.html>.

20 Gisler-Jauch, Rolf. « Automobile ». Dictionnaire historique de la Suisse (DHS)

21 Tissot, « Les chemins de fer en Suisse au XIXe siècle ». Revue d'histoire des chemins de fer, no 42-43

22 Humm, Sidler, et Faktor Journalisten AG, « Perspectives d'évolution du transport 2040 ». Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral du développement territorial ARE.

23 Cargo sous terrain. « Qu'est-ce que CST? ». <https://www.cst.ch/was-ist-cst/>.

électrifier son réseau rapidement. En 1930, 67% du réseau était électrifié, puis 96% en 1953, jusqu'à atteindre 99% en 1985.¹⁸

Peu après les débuts de l'électrification des trains suisses, en 1898, passa à une nationalisation de ses chemins de fer et par la suite, la création des CFF. « C'est en 1902 qu'a débuté l'histoire mouvementée des Chemins de fer fédéraux suisses CFF. Certes, les trains de la Schweizerische Centralbahn (SCB) circulaient déjà depuis le 1er janvier 1901 pour le compte de la Confédération, mais il a fallu attendre que les conditions juridiques soient réunies avant d'assister à la création des CFF.»¹⁹

Dès le milieu du XXème siècle, c'est au tour de la voiture de connaître un essor en dépit des chemins de fer.²⁰ La répartition entre les voyageurs en voiture et ceux en train passa de 50% chacun en 1950 à environ 90% et 10% en 1980. Ceci affecta grandement les CFF qui ont vu fermé plus de 400 gares et restaurants.²¹ Malgré cela le trafic voyageur des trains a par la suite continué d'augmenter avec grâce au nombre de voyageurs. Et il est prévu qu'il augmente encore de 51,5% jusqu'en 2040.²² Le transport de marchandises va également augmenter que ce soit pour le rail ou la route, avec une importance plus grande pour le rail. Et la croissance de l'acheminement par camion pourra être moindre avec la mise en place du projet Cargo sous terrain, qui vise à créer un réseau de transport de marchandises de petites tailles dans un réseau souterrain reliant différentes agglomérations.²³

Que ce soit le train ou la voiture, ces inventions du secteur du transport ont eu un grand impact sur la vie. « La période 1850-1950 fut véritablement l'ère des chemins de fer : par l'ampleur et le faible coût de leurs prestations, ceux-ci révolutionnèrent les transports et, combinés avec la navigation

Enjeux

maritime, permirent de mettre fin aux crises aiguës d'approvisionnement et aux famines dans les pays industriels. »²⁴. Ils eurent également un grand impact sur les villes. Le train favorisa l'augmentation démographique des villes bien desservies telle que Zurich, en réduisant celle des villes les moins bien desservies tel que dans les Grisons. A son tour, la voiture permit à la population de délaisser les villes pour les banlieues vertes et par là augmenter leur qualité de vie. Mais l'étalement urbain et l'augmentation du nombre de pendulaires a révélé les problèmes environnementaux engendrés par la mobilité individuelle. Et les gares, initialement à l'extérieur de la ville, se sont retrouvées en leur centre. Cela induit des nuisances sonores des chemins de fer à l'intérieur de la ville.

24 Bärtschi, Dubler. « Chemins de fer ». 14. <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007961/2015-02-11/>



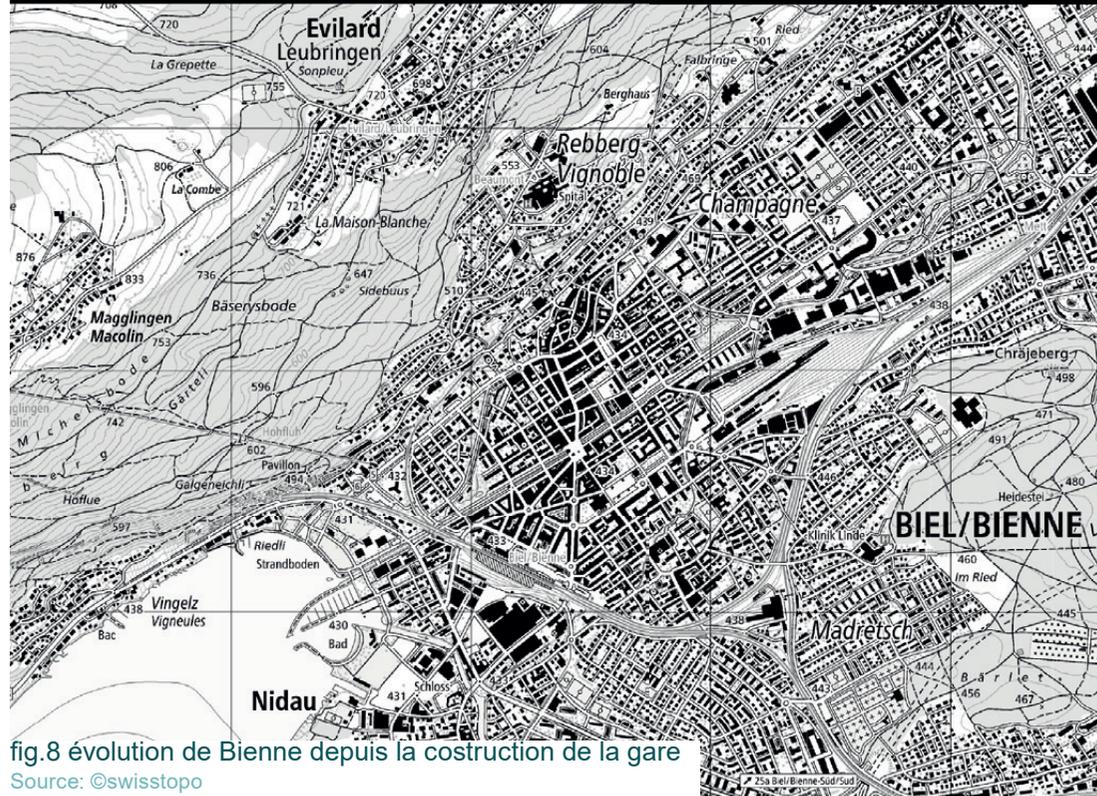
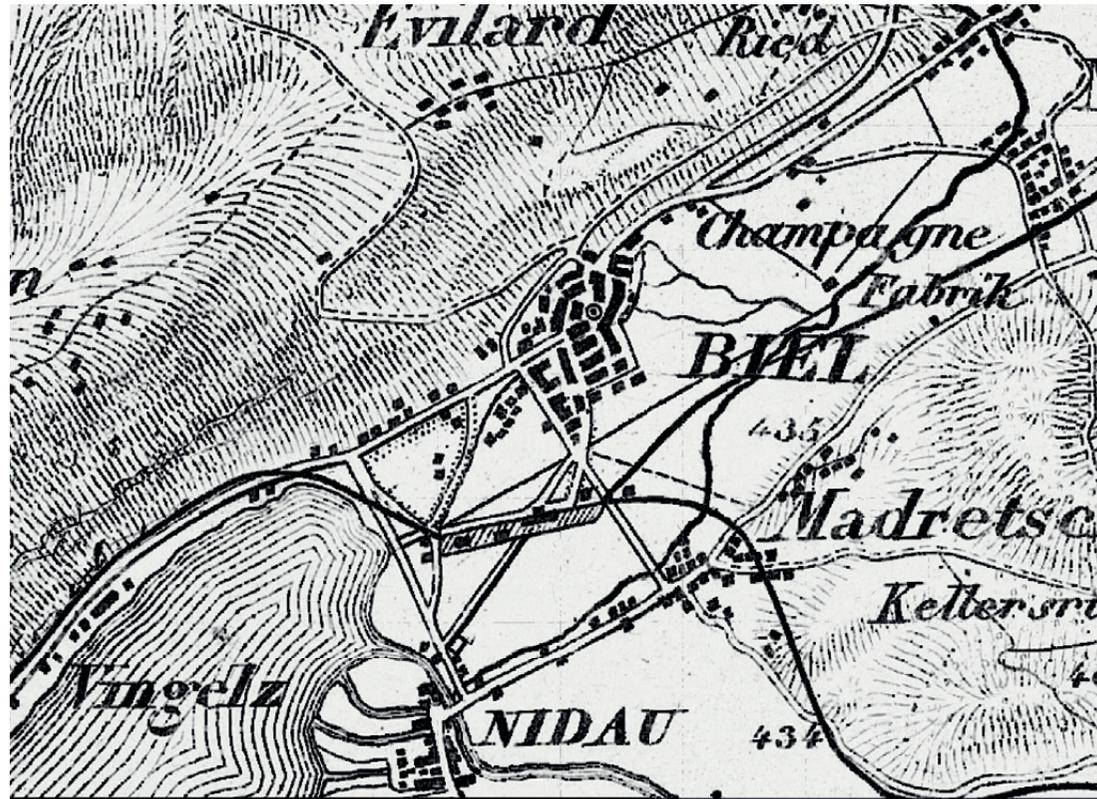


fig.8 évolution de Bienne depuis la construction de la gare
Source: ©swisstopo



fig.9 évolution de Lausanne depuis la construction de la gare
Source: ©swisstopo

fig.11 répartition des émissions de CO₂ eq par secteur, en Suisse

Le secteur des transports est le secteur qui émet le plus de CO₂ eq. en Suisse.

Source: ©LITRA

Répartition des émissions de CO₂ eq par secteur

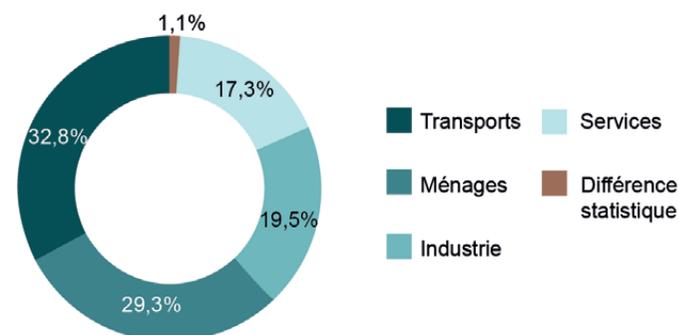
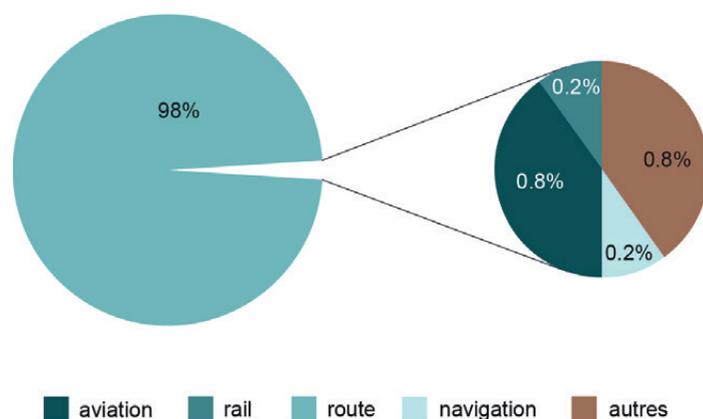


fig.12 répartition des émissions de CO₂ eq par mode de transport 2019, en Suisse

Le transport par rail ne représente que 0,2% des émissions du secteur des transports.

Source: ©LITRA

Répartition des émissions de CO₂ eq par mode de transport 2019



Problèmes environnementaux

Nous faisons face actuellement à une crise climatique. Depuis la révolution industrielle, l'être humain a changé sa manière de produire et de consommer, grâce à des pratiques qui relâchent de grandes quantités de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Leur concentration a donc nettement augmentée et cela a dérégulé notre climat. D'après le dernier rapport du GIEC, cela a induit une augmentation globale des températures de la terre, l'augmentation des précipitations moyennées, le recul des glaciers à l'échelle planétaire, l'acidification des océans et l'élévation du niveau des océans. D'après leurs scénari « La température à la surface du globe continuera à augmenter au moins jusqu'au milieu de ce siècle, dans tous les scénarios d'émissions considérés. Un réchauffement planétaire de 1,5 °C et 2 °C sera dépassé au cours du 21e siècle, sauf si des réductions importantes des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre ont lieu au cours des prochaines décennies. »²⁵

En Suisse, le secteur des transports représentait 32,8%²⁶ de la consommation énergétique totale en 2020, et était l'auteur de 40%²⁷ des émissions de gaz à effet de serre du pays. Ces chiffres lui confèrent une place importante dans la lutte suisse pour une transition énergétique. Il est impératif d'effectuer de grands changements dans la mobilité suisse.

Le secteur suisse des transports peut être divisé en plusieurs sous-secteur que sont la route, le rail, le trafic aérien, la navigation et les autres. Le sous-secteur de la route était l'auteur de 86%²⁸ de la consommation d'énergie et de 98%²⁹ d'émissions de GES du secteur des transports. Un changement de mobilité de la route vers le rail et la mobilité douce

²⁵ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cangement climatique 2021 Les bases scientifiques physiques Résumé à l'intention des décideurs, 15.

²⁶ LITRA, « Les transports en chiffres ».

²⁷ LITRA, « Les transports en chiffres ».

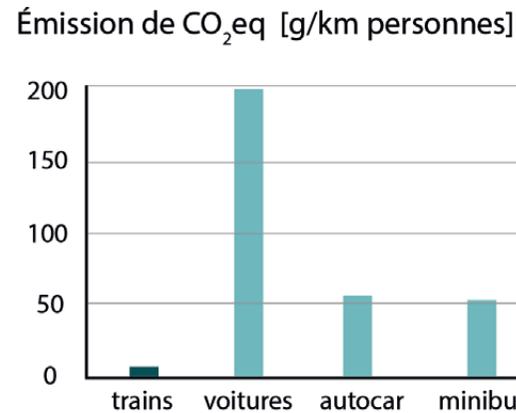
²⁸ LITRA, « Les transports en chiffres ».

²⁹ LITRA, « Les transports en chiffres ».

fig.13 émissions de CO₂ eq. [g/km-personne]

Le train est un mode de transport à très faible émissions de CO₂ eq., presque 25 fois moins que la voiture.

Source: ©bfmag



doit opérer pour réduire nettement la consommation énergétique et les émissions de GES.

En terme d'émissions, les chemins de fer suisses émettent 8g³⁰ de CO₂ équivalent par kilomètre par personne face à 198g³¹ pour la voiture. Un déplacement de la mobilité de la route vers le rail est son souhaitable. De plus, la suisse possède un réseau de voies ferrées très étendu avec 5'317 km de rails.³² Il permet l'accès à tout le territoire, aidé par le reste des transports publics sont les bus, les cars, les métros et les tramways. De plus, le train se voit être un moyen de transport bien plus sécurisé que la voiture. En effet, en 2019, 187 personnes sont décédées à la suite d'un accident de la route contre 17 décès imputable au rail.³³

Dans une optique de réduire l'étalement et d'améliorer l'accès aux transports publics, la densification de la ville proche de ces derniers est inévitable. Elle permettra de préserver les espaces de forêts et de surfaces improductives accueillant la biodiversité qui représentent 31,8% et 25,1%³⁴ de la surface du pays et les surfaces agricoles qui occupent 35,2%³⁵ du territoire. De plus, une densification de la ville favorisera la mobilité douce en plus des transports publics. Pour densifier il est obligatoire de construire proche des axes tout en gardant un confort optimal et créant des espaces calmes.

30 www.bfmag.ch, « Calculateur en ligne v2.0 ». <https://www.mobitool.ch/fr/outils/calculateur-en-ligne-v2-0-15.html>.

31 www.bfmag.ch, « Calculateur en ligne v2.0 ». <https://www.mobitool.ch/fr/outils/calculateur-en-ligne-v2-0-15.html>.

32 OFS – Statistique des transports publics (TP); OFS, OFROU – Longueurs des routes (STL); OFS, OFAC – Statistique de l'aviation civile (AVIA_ZL); Union pétrolière – Oléoducs

33 OFS, « Mobilité et transports ». 2021

34 OFS, « Utilisation et couverture du sol ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung.html>.

35 OFS, « Utilisation et couverture du sol ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung.html>.

Questions socioculturelles

Notre ouïe est l'un des sens qui nous permet d'analyser et de comprendre notre environnement. Il nous permet de communiquer à travers la parole et est fortement connecté à notre émotionnel. Les réalisateurs de films le savent très bien et l'utilisent pour amplifier nos émotions. Un film d'horreur sans son n'est pas aussi terrifiant qu'avec. Une scène émouvante l'est encore plus avec une musique bien choisie. Mais il n'y a pas que les films qui se servent de notre ouïe pour manipuler nos émotions, les parcs d'attractions le font aussi. Ils se servent également de la musique pour nous faire entrer dans leur monde et nous rendre joyeux. Le lien entre le son et les émotions m'a particulièrement touché quand ma cousine, sourde de naissance mais implantée très jeune, a débranché ses implants auditifs avant de faire une attraction à sensation, pour avoir moins peur. Le silence a donc un effet calmant et apaisant sur nous. Le son est défini comme :

Son ³⁶

nom masculin

1. Sensation auditive engendrée par une onde acoustique.
2. Toute vibration acoustique considérée du point de vue des sensations auditives ainsi créées : Son strident.
3. Volume, intensité sonore d'un appareil : Baisser le son.
4. Ensemble des techniques d'enregistrement et de reproduction des sons, en particulier au cinéma, à la radio, à la télévision : Ingénieur du son.

³⁶ Larousse, « Définitions : son - Dictionnaire de français Larousse ». <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/son/73436>.

Il y a une partie du son très objective que nous pouvons mesurer comme sa fréquence ou son intensité, maîtrisée par les physiciens actuels, et une partie subjective, liée à nos émotions et propre à chacun. Et ces sons font partie de notre

environnement et le caractérise. Murray Schäfer a parlé en 1979 de paysage sonore.³⁷ Il trouve que les architectes ne prennent pas assez en compte la dimension sonore. Les sons sont principalement générés par l'humain qui se déplace et interagit avec son milieu et il est modelé par l'espace qui l'entoure. Il est donc possible de façonner l'espace afin de modeler le son.³⁸ Le paysage est composé de formes de couleurs, de matières, mais aussi de sons.³⁹ Il est donc très spécifique au lieu et à ses habitants, mais également au temps, l'ambiance sonore ne va pas être la même suivant l'heure de la journée, dans une zone résidentielle, on entendra les cris des enfants dans l'après-midi et la nuit sera très calme. Elle varie aussi durant l'année, proche d'une étendue d'eau, on peut entendre les grenouilles au printemps mais pas en été. Dans un article intitulé les chorographies de l'urbanité sonore, Olivier Barbey, architecte, explique que grâce au son, « L'utilisateur peut ainsi se rendre compte des heures d'éveil et d'endormissement d'une rue ou d'un quartier. Plus encore : il peut observer la densité des signaux sonores selon leurs natures. »⁴⁰.

Murray Schafer distingue les sonorités toniques que l'être humain ne perçoit pas toujours, les signaux sonores et les marqueurs sonores qui caractérisent un lieu. Les sonorités toniques sont produites par la nature, tel que le bruit du vent dans les arbres ou l'eau qui ruisselle. Les signaux sonores sont produits par l'homme et représentent les bruits des conversations de la population ou le bruit des transports. Finalement, les marqueurs sonores sont ceux qui caractérisent les lieux, comme les cloches des églises ou les fontaines. Comme les sons sont en partie due aux propriétés architecturales du lieu, les modifier revient à modifier le paysage sonore. Le fait de remplacer les pavés par de l'asphalte certes réduit le bruit causé par les transports, mais modifie complètement la caractéristique sonore du

37 Schafer, «Le paysage sonore.» Musiques et musiciens. Paris: J.-C. Lattès, 1979.

38 Schirmer, «Stadtlandschaft als akustische Kulturlandschaft – ein erkanntes Kulturerbe = La ville bruyante comme paysage culturel acoustique – un patrimoine culturel méconnu.» Romanica Bd. 29. Berlin: Weidler Buchverlag, 2013. 93.

39 Frochoux, Marc. « Moins de bruit? Non, plus de son! | Espazium », 18 janvier 2017.

40 Balaý, Olivier. « Les chorographies de l'urbanité sonore ». Géocarrefour 78, no 2 (1 avril 2003): 159-65.

lieu. Ce bruit, pour lequel les pavés sont remplacés, est défini comme suit :

Bruit ⁴¹

nom masculin

1. Ensemble des sons produits par des vibrations plus ou moins irrégulières ; tout phénomène perceptible par l'ouïe : Écouter le bruit de la pluie.
2. Ensemble des sons perçus comme étant sans harmonie, par opposition à la musique : Lutter contre le bruit.
3. Son imprévu qui vient se superposer au rythme continu de quelque chose, d'un appareil : Il y a un bruit dans le moteur.
4. Nouvelle ou opinion répandue dans le public, retentissement public d'un événement : Le bruit de son succès s'est répandu.

Le bruit a dans sa définition un côté négatif, mais cette part négative est très subjective et dépend de chaque individu et du contexte dans lequel il se trouve. Une certaine musique va être considérée comme agréable par quelqu'un qui va l'écouter à un concert, mais désagréable par un habitant proche du concert qui essaie de dormir. Mais ce bruit a des effets indéniables sur notre santé. « La recension des écrits sur les effets du bruit sur la santé mentale présente des avancées significatives sur lesquelles un consensus se dégage : les études fondamentales ont largement convaincu en ce qui concerne la relation entre bruit et stress [...] »⁴². Il peut également créer des troubles du sommeil, de la dépression, de l'anxiété, de la fatigue, du diabète, des troubles de la concentration ou des maladies cardio-vasculaires.⁴³ Même si nous pouvons quantifier le bruit avec sa fréquence et son intensité, il existe tout de même de grandes incertitudes concernant la limite à partir duquel il est néfaste.⁴⁴ Cela est aussi dû à des différences de l'impact que le bruit a sur l'être humain en fonction de sa nature. Les bruits de l'eau ou de vent, à une haute intensité, aura moins d'impact sur la santé que le bruit des

41 Larousse, Éditions. « Définitions : bruit - Dictionnaire de français Larousse ». <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/bruit/11476>.

42 Makopa Kenda, Agoub, et Ahami, « Les effets du bruit sur la santé mentale », 177.

43 Baukultur-Laerm, « Grundwissen zu gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm ».

transports à une plus faible intensité.⁴⁵

44 Probst-Hensch, Nicole. « L'étude SiRENE ». 2019 19:0506 19, no 0506 (30 janvier 2019): 77-82.

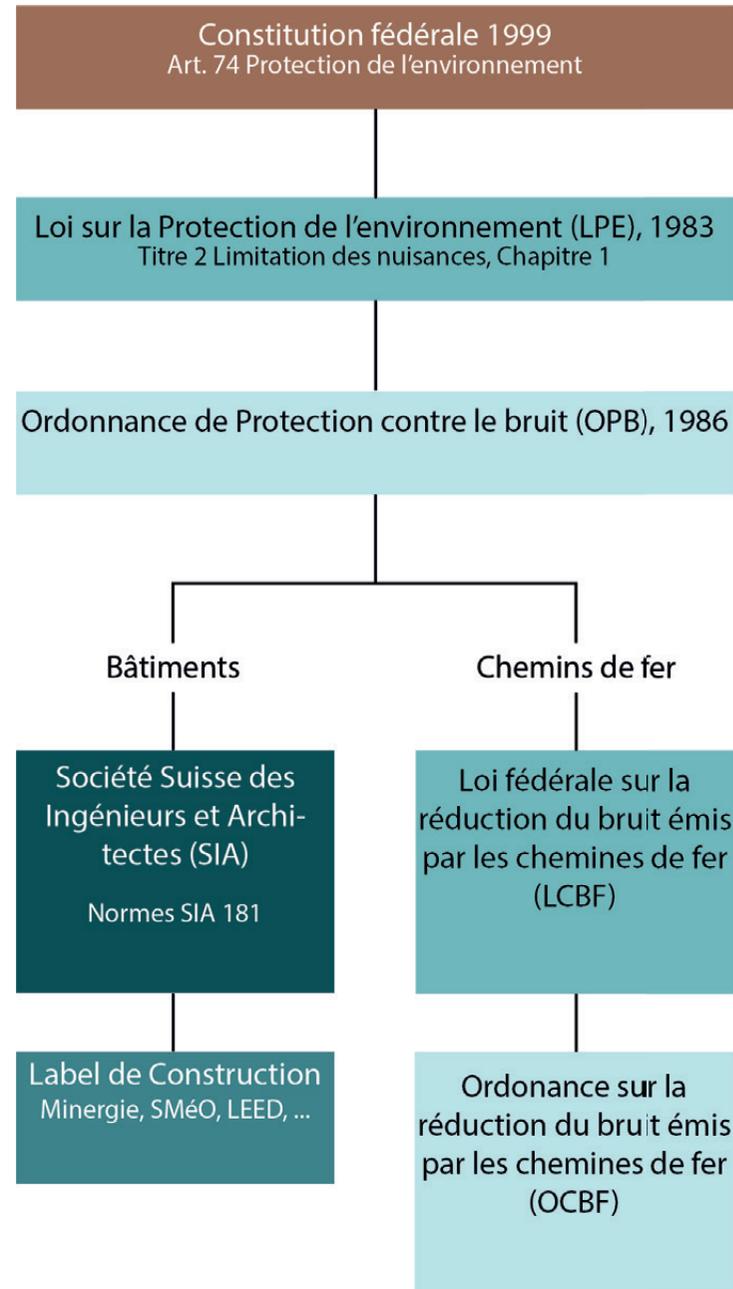
Il est donc nécessaire à l'être humain de pouvoir vivre dans des zones calmes. Pourtant, en termes de confort, l'acoustique est l'un des points dont la population est la moins satisfaite. D'après une étude menée au sein du centre international de l'environnement intérieur et l'énergie de l'université technique du Danemark, dans une échelle de satisfaction allant de -3 (très insatisfait) à 3 (très satisfait), le niveau de bruit a obtenu un score proche de 0 et l'intimité sonore un score proche de -1.⁴⁶ Cela signifie que les exigences des lois ne sont soit pas appliquées soit insuffisantes, dû à la complexité à déterminer les limites.

45 Bohannon, « Major European Cities Are Quietly Missing Antinoise Deadline ». *Science* 321, no 5886 (2008): 189-189.

46 Frontczak et al., « Quantitative Relationships between Occupant Satisfaction and Satisfaction Aspects of Indoor Environmental Quality and Building Design », 2012.

fig.14 Organisation de la structure légale en Suisse

Source: © Marrion Beuchat



Enjeux légaux

La constitution fédérale suisse intègre en 1999 à l'article 74 de la quatrième section, la protection de l'environnement.⁴⁷ Elle fait suite à la loi sur la protection de l'environnement (LPE) de 1985.⁴⁸ Dans les atteintes à l'environnement elle prend en compte les pollutions atmosphériques, les pollutions des eaux, les rayons, les vibrations et le bruit. Dans la première section de son chapitre 1 du titre 2 concernant la limitation des nuisances, article 11, elle indique que les limitations doivent se faire à la source tant que la technique et l'économie de moyen le permette. Les articles 19 à 25 se concentrent plus précisément sur le bruit et les vibrations. Lorsque les émissions ne peuvent pas être limitées à la source, les propriétaires des bâtiments exposés doivent mettre en place des systèmes de protection au niveau des locaux destinés au séjour prolongé de personnes. La confédération fixe des valeurs de planification pour les déterminations de nouvelles zones à bâtir, notamment destinées au logement, qui sont plus exigeantes que les valeurs limite d'immissions. L'ordonnance de protection contre le bruit, OPB⁴⁹, émise en 1986, détermine des degrés de sensibilité au bruit selon les types de programmes et les limites de bruit acceptées pour ces dernières, dans son annexe 3. Elle interdit la construction de nouveaux bâtiments de logements dans des zones avec des valeurs d'émission supérieures aux limites autorisées, sauf si des mesures d'aménagement ou de construction de protection sont mises en place ou qu'il existe un intérêt prépondérant à leur construction.

Concernant les chemins de fer, une loi fédérale sur la réduction du bruit émis, la LBCF⁵⁰, a été faite en 2000 suivi d'une ordonnance, l'OBCF, en 2015. Ces

47 Constitution fédérale suisse, 1999, art.74

48 Loi sur la protection de l'environnement, LPE, 1985, titre 2 chapitre 1.

49 Ordonnance de protection contre le bruit (OPB), 1986

50 Loi fédérale sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (LBCF), 2000

deux lois viennent compléter la LPE. La protection contre le bruit doit dans un premier temps être remplie par des mesures au niveau des véhicules et des voies, et si elles ne suffisent pas, des mesures doivent être prises pour limiter sa propagation. Dans la majorité des cas, cette deuxième mesure se traduit principalement par la mise en place de murs antibruits.

D'après l'article 3 alinéa 1 de l'OBCF, « L'Office fédéral des transports (OFT) tient un cadastre des émissions afin de vérifier que les immissions admissibles fixées conformément à l'art. 37a, al. 1, OPB ne sont pas dépassées.»⁵¹. Depuis 2020, il existe une interdiction de circulation sur le réseau ferroviaire suisse des wagons étrangers bruyants. Cela a permis de réduire les émissions du trafic ferroviaire de nuit.⁵²

La construction de bâtiment est régie par la société suisse des ingénieurs et architectes, SIA, qui possède une section concernant le bruit, la SIA 181 mise à jour en 2020.⁵³ Elle détermine le type de sensibilité des locaux, aucune, faible, moyenne (correspondant aux chambres, séjours et cuisines habitables) ou élevée. Sur la base de l'OPB, elle détermine les valeurs d'exigences de l'indice d'affaiblissement pour le bruit aérien en provenance de sources extérieurs selon le niveau de sensibilité au bruit et du degré de nuisance. Ces valeurs sont majorées de 3dB dans le cas d'exigences accrues.

Certains labels de constructions durables prennent en compte la question du confort humain et donc du confort acoustique. Dans le cas du label suisse Minergie Eco, les valeurs avec exigences accrues de la SIA 181 sont demandées.⁵⁴ Les labels internationaux tel que LEED ou BREAM, ont généralement des exigences inférieures à celle de Minergie Eco.⁵⁵

La LBDF demande aux sociétés de chemin de fer de réduire leurs émissions de bruit pour protéger deux tiers des zones d'habitation.⁵⁶ Malgré un effort de leur part, le travail de réduction à la source, sur les rails et les trains, ne suffit pas. Ils sont donc obligés d'utiliser d'autres moyens de protection, applicables sur les parcelles étroites à leur disposition. Ils n'ont d'autres choix que de mettre en place des murs antibruits, sur de grandes longueurs, ce qui est une absurdité du point de vue urbanistique. Il faudrait donc que la responsabilité de la protection contre le bruit soit en partie donnée aux architectes et urbanistes, tout en continuant à inciter les sociétés de chemins de fer à réduire les émissions des transports.

De plus, les valeurs des normes SIA se rapprochent plus de l'inconfort acceptable que d'un vrai confort. Les labels durables ayant les exigences les plus importantes se basent sur les exigences accrues de la SIA. Cela montre que l'intérêt qu'ils portent à l'acoustique n'est que secondaire. Il est donc important de remettre la question acoustique au centre du débat, de durcir les niveaux d'exigences et de donner plus de responsabilité et de liberté aux architectes.

⁵⁶ Loi fédérale sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (LBCF), 2000, art.2 al.3

⁵¹ Ordonnance sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (OBCF), 2015

⁵² CFF « Protection contre le bruit | CFF ». <https://company.sbb.ch/fr/entreprise/responsabilites/developpement-durable/protection-de-l-environnement/protection-contre-le-bruit.html>.

⁵³ Normes SIA 181

⁵⁴ MINERGIE, « 1.5 ME-ECO Online 2020, Nouvelles constructions Hab. collectif, 4 octobre 2022 », 2020.

⁵⁵ MARK ET AL., « Guide STANDARDS ET LABELS DE LA CONSTRUCTION DURABLE EN SUISSE ».

Défis

Les trains sont ancrés dans l'histoire et la culture de la Suisse. Nous avons à disposition l'un des réseaux de trains le plus dense du monde.⁵⁷ Face au changement climatique nous devons diminuer drastiquement nos émissions de GES et cela se fait notamment par une plus grande utilisation des transports publics. Nous devons également densifier nos villes pour limiter l'étalement urbain, favoriser la mobilité douce et accueillir la future population. Cela se passe notamment par la construction de logements proches des axes de transports. Mais le Bruit engendré par ces derniers a de graves effets sur la santé si nous y sommes confrontés régulièrement et de manière prolongée. Il faut donc que les architectes créent des espaces de vie calmes et confortables. Les lois actuelles en Suisse protègent les habitants du bruit mais restent encore insuffisantes pour réellement les protéger et sont floues sur les solutions existantes. Pour cela, les architectes doivent comprendre le bruit et connaître les outils qui leur permettent d'améliorer la vie de la population.

L'architecte doit prendre en compte la notion acoustique pour pouvoir continuer de créer nos villes sans être contraint par le bruit. Il doit créer des espaces qui garantissent le confort des habitants en sublimant le bâtiment par la condition du bruit. Les données du bruit doivent être considérées dans la toute première phase du projet, comme l'est la vue. Sinon la ville continuera de se densifier avec des murs antibruits et des façades aveugles. Il existe pourtant de nombreux outils à disposition de l'architecte qui lui permettent de construire proche des nuisances.

⁵⁷ SwissCommunity, « Les trains suisses forment le réseau le plus dense au monde ».

**PRINCIPES
ARCHITECTURAUX**

Comprendre le bruit

Avant de commencer à décrypter les outils à disposition de l'architecte, il faut comprendre ce qu'est le bruit et comment il agit pour pouvoir travailler avec.

Le son est une vibration se propageant dans l'air qui fait varier très légèrement la pression atmosphérique, c'est ce qu'on appelle la pression acoustique. Et c'est la mise en vibration du tympan qui nous permet d'entendre les sons. Un son est une onde, que l'on détermine par sa fréquence, qui est le nombre d'oscillations faite dans une seconde. Elle est mesurée en Hertz [Hz]. L'oreille humaine entend les fréquences de 20 à 15'000 Hz, cela s'appelle le domaine du son. Plus la fréquence du son est grande plus le son nous paraît aigu, et à l'inverse, plus la fréquence est basse plus le son paraît grave. La vitesse du son dans l'air, notée c , est de 340m/s. La longueur d'onde est la distance parcourue pendant une oscillation, elle est notée λ et équivaut à la vitesse sur la fréquence : $\lambda=c/f$. La longueur d'onde détermine le comportement de l'onde face à un obstacle, si un obstacle fait plus d'un tiers de la longueur d'onde, il bloquera l'onde.⁵⁸

L'intensité de l'onde est exprimée en décibel [dB]. Le décibel est une expression « [...] de la mesure d'un niveau sonore. Il s'agit d'une unité sans dimension permettant d'exprimer le rapport des valeurs de deux puissances, ou de deux pressions, ou de deux intensités. »⁵⁹ Son échelle est logarithmique. De ce fait, deux sources émettant le même nombre de décibels simultanément, ne seront pas entendues comme le doublement de décibels mais correspondra à une augmentation de 3dB. Pour une sensation d'un bruit deux fois plus fort, il faut

⁵⁸ Rapin, Jean-Marie. L'acoustique du bâtiment: manuel professionnel d'entretien et de réhabilitation. Paris: Eyrolles, 2017.

⁵⁹ Hamayon, Loïc. Réussir l'acoustique d'un bâtiment: conception architecturale, isolation et correction acoustiques. 3e éd. Moniteur référence technique. Paris: Le Moniteur, 2013. 10-11.

60 Baukultur-Laerm, « Akustik-Einmaleins für Architektinnen und Architekten ».

une différence de 10dB., ce qui correspond à dix sources de même volume.⁶⁰

Dans le bâtiment, trois nuances de bruit sont prises en compte : le bruit aérien, qui se déplace dans l'air, le bruit solidien, qui se déplace dans les matériaux et le temps de réverbération, qui est l'interaction de l'onde sonore avec les surfaces alentours. Dans le cas de bruits émis par des chemins de fer, l'étude se concentre principalement sur les bruits aériens extérieurs.

Pour respecter les valeurs limite de l'OPB et de la SIA, il faut à la fois respecter les valeurs d'isolation de la façade, mais également respecter les valeurs limites d'exposition au bruit, d'après le tableau de l'annexe 4 art.2 de l'OPB, mesuré au centre des fenêtres.

fig.15 fonctionnement d'une onde sonore

Source: © Marion Beuchat

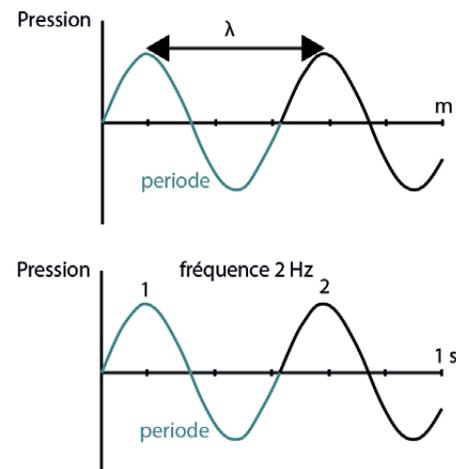
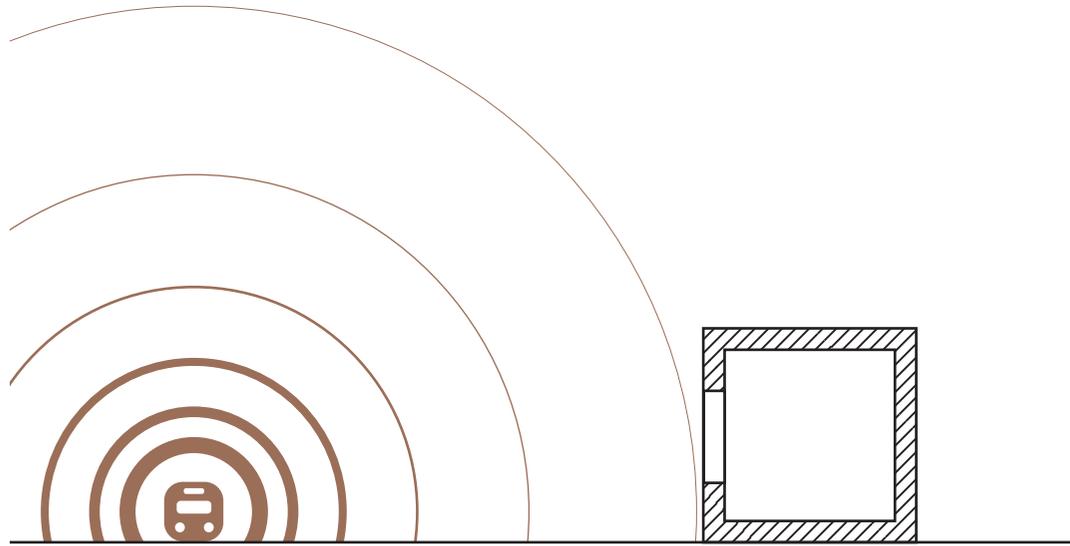


fig.16 principe: prendre de la distance

Source: © Marion Beuchat



Prendre de la distance

L'une des premières indications données lors de la construction à proximité d'axes bruyants, est le fait de s'éloigner de la source de bruit. En effet, le bruit diminue de 3db⁶¹ à chaque doublement de la distance avec la source. Donc s'éloigner d'une source comme on l'entend généralement, de manière horizontale, permet de réduire la gêne. Mais cette stratégie cause d'autres problèmes. L'espace laissé vacant entre la source et la nouvelle construction deviendra soit un espace extérieur très bruyant et donc peu utilisé soit un nouveau bâtiment abritant des activités peu sensibles. Dans le premier cas, avoir des espaces aussi grands offrant si peu de qualité n'est plus possible lors d'une volonté de densification de la ville. Il faut maximiser les espaces disponibles à la construction et garder des espaces extérieurs de qualité, ce qui passe par également par la qualité acoustique. Dans le deuxième cas de figure, implanter un bâtiment accueillant des fonctions peu sensibles revient à une stratégie de zoning. Cela va à l'encontre de la mixité recherchée lors de la densification, qui permet de rapprocher les fonctions et favoriser la mobilité douce.

La stratégie de prendre de la distance n'est pas utilisable uniquement à l'échelle urbaine, elle peut être appliquée à une échelle typologique. Il peut être judicieux de placer les pièces très sensibles au bruit à l'opposé de sa source. Cela permet de protéger les pièces sensibles, mais expose au bruit d'autres pièces. Il en découle souvent des façades aveugles ou des façades de services du côté du bruit, avec uniquement les pièces de services, comme les salles de bain, les escaliers et les couloirs. L'aménagement des fonctions est donc très important, mais utilisé comme unique stratégie,

61 Baukultur-Laerm, « Akustik-Einmaleins für Architektinnen und Architekten ».

fig.19 stratégie: disposition de fonctions

Un bon agencement des fonctions dans le bâtiment peut permettre aux pièces sensibles de ne pas être exposé au bruit

Source: © Marion Beuchat

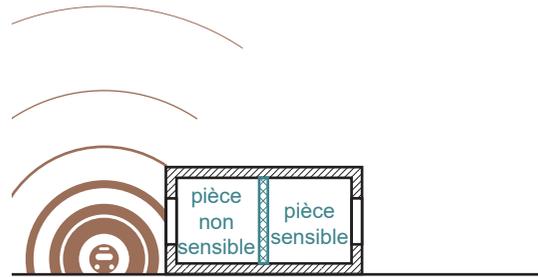


fig.17 stratégie: topographie

Le travail de la topographie peut être utilisé pour créer une distance entre le bâtiment et les voies ferrées.

Source: © Marion Beuchat

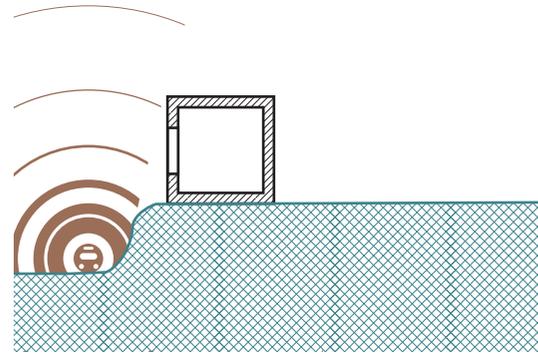
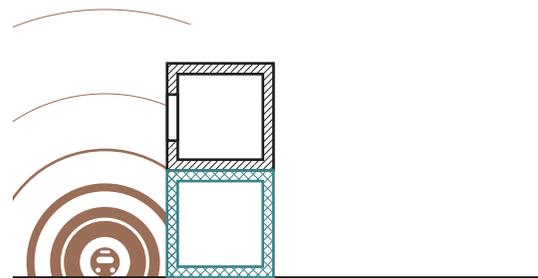


fig.18 stratégie: socle

Un agencement des fonctions dans les étages permet aux pièces sensibles de s'éloigner du bruit.

Source: © Marion Beuchat

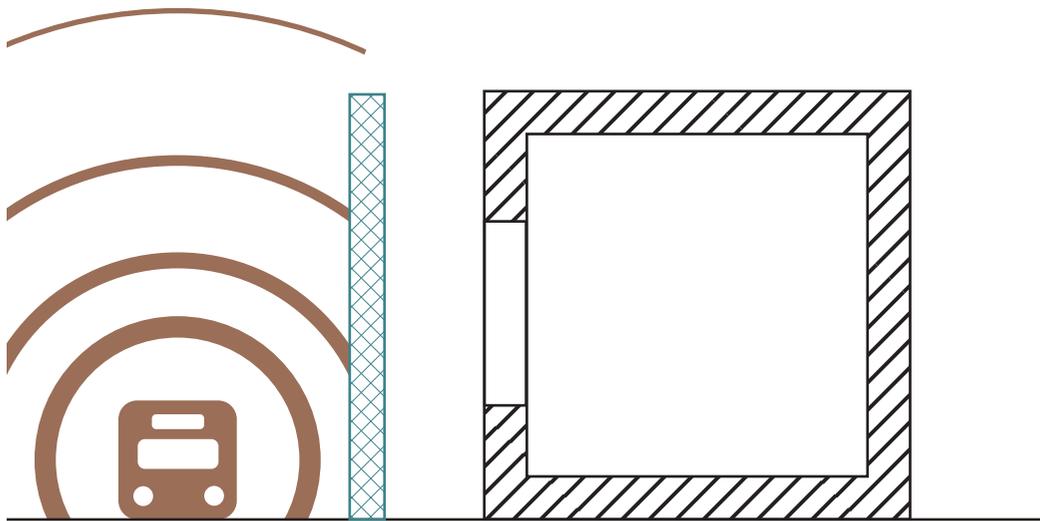


il implique des façades aveugles ou pauvres en ouvertures, ce qui appauvrit l'architecture.

Une autre possibilité d'éloignement du bruit est de le faire de manière verticale, ce qui peut se faire de deux manières différentes. La première est à un niveau topographique, en surélevant le bâtiment par rapport au niveau de la source de bruit. Mais la modification de la topographie est un chantier supplémentaire et la création d'une structure soit interne, soit externe, tel qu'un mur. La deuxième possibilité est au niveau de l'organisation des fonctions dans le bâtiment. Positionner les programmes peu sensibles dans les premiers étages du bâtiment permet d'avoir les programmes sensibles aux niveaux supérieurs, donc les niveaux les plus éloignés de la source de bruit. Cette stratégie est d'autant plus intéressante, à l'inverse de l'éloignement horizontal, qu'elle tire parti de la mixité des programmes.

fig.20 principe: créer une barrière

Source: © Marion Beuchat



Créer une barrière

Le second type de stratégie est le plus intuitif : il s'agit de créer une barrière entre le bruit et la zone à protéger. C'est d'ailleurs la stratégie adoptée par les sociétés de chemins de fer avec les murs antibruit le long des voies. Mais le mur antibruit est imaginé par un physicien et a un grand impact d'un point de vue urbanistique qui n'est pas assez pris en compte. Cette stratégie a un impact important et positif d'un point de vue acoustique, mais ne devrait pas être appliquée régulièrement. Pourtant les lois demandent aux sociétés de chemins de fer de réduire leurs émissions de bruit. Dans un premier temps un travail est fait sur les rails et les véhicules, mais cela n'est pas suffisant. La deuxième solution utilisée est le mur antibruit. Elle est finalement la seule solution qui leur reste car ils n'ont généralement ni la place ni les moyens de mettre en place d'autres stratégies.

Le principe de créer une barrière peut être décliné en stratégies à tous les niveaux d'échelle. À l'échelle urbaine, un bâtiment de plusieurs étages, positionné le long d'une voie ferrée, permet de protéger la zone qui se trouve de l'autre côté, qu'il s'agisse d'espaces extérieurs ou d'autres bâtiments. Le bâtiment lui-même devient la barrière antibruit. Mais dans ce cas-là, des stratégies à plus petite échelle, protégeant les pièces sensibles du bâtiment, doivent être mises en place.

Une autre stratégie à échelle urbaine peut être de créer une barrière à l'aide de la topographie. Mais comme toutes stratégies topographiques, elle nécessite un chantier supplémentaire et une structure interne. Une stratégie paysagère possible est d'utiliser la végétation. Cependant l'impact de cette stratégie est compliquée à mesurer.⁶² Il dépendra

⁶² Defrance, Jean, et Barrière, « Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ? »

fig.21 stratégie: ouverture en toiture inclinée

Une ouverture dans le pan d'une toiture inclinée, permet de ne pas être dans le chemin de propagation du bruit.

Source: © Marion Beuchat

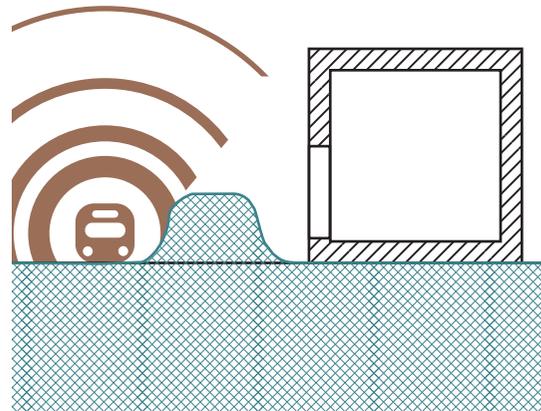


fig.22 stratégie: double peau, espace tampon

La double peau sert de grande barrière pour protéger la façade interne du bâtiment.

Source: © Marion Beuchat

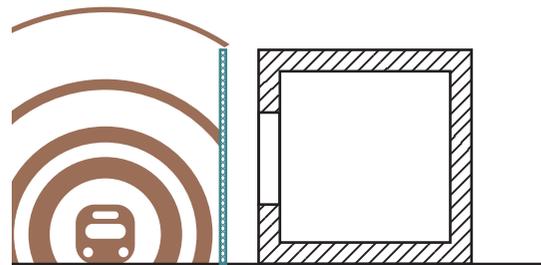
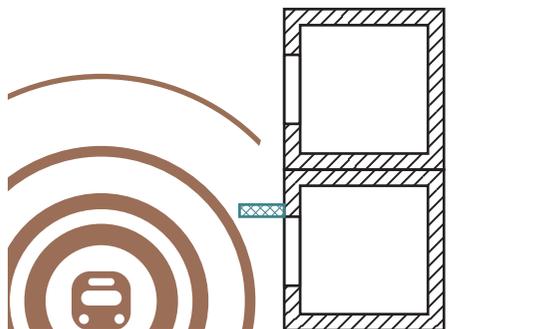


fig.23 stratégie: lucarne

L'avant-toit d'une toiture inclinée va servir de barrière au bruit pour l'ouverture au niveau de la lucarne. En plus d'apporter de la lumière elle permet une ventilation naturelle.

Source: © Marion Beuchat



de l'épaisseur et de la densité de la végétation mise en place. Une ligne d'arbres ne provoquera aucune diminution du bruit, mais rajoutera d'autres bruits, comme celui du vent dans les feuilles ou celui des oiseaux nichant dans les arbres. En revanche une forêt pourra induire une diminution des décibels. Le type de forêt va faire varier l'impact acoustique qu'elle aura, une forêt d'arbres caducs verra son impact diminuer en hiver, lorsque toutes les feuilles seront tombées. De plus, « [...] pour un même niveau sonore reçu, une personne est d'autant plus sensible au bruit (la bruyance, c'est-à-dire le caractère bruyant perçu, augmente) que la source sonore est visuellement bien occultée. Ceci nous suggère que la mise en place, pour des objectifs de diminution du bruit, d'une bande de forêt le long d'une infrastructure routière ne doit être envisagée que si cette bande est suffisamment profonde (plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur) et suffisamment dense, sans quoi la protection visuelle réellement créée entraînera une augmentation de la sensibilité au bruit de trafic pouvant se traduire par une évaluation subjective de la bruyance plus élevée que celle attendue. »⁶³ Les stratégies végétales sont intéressantes d'un point de vue paysager et de biodiversité, mais ne sont pas assez fiables pour être utilisées comme unique stratégie.

Ces stratégies peuvent également se développer à l'échelle du bâtiment. Une première stratégie peut être de mettre une double peau, avec la première peau qui protège du bruit la deuxième façade. Si la distance entre les deux est augmentée, cela crée un espace intermédiaire, appelé espace tampon, qui offre un espace sans programmation que les habitants pourront s'approprier.

Une seconde stratégie à l'échelle du bâtiment peut être d'utiliser des avant-toits. Ils sont généralement mis en place pour abriter les entrées de la pluie ou

⁶³ Defrance, Jean, et Barrière, « Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ? » Santé Publique S1, no HS1 (2019). 192.

fig.24 stratégie: coursives et balcon

Le balcon et la coursive, en plus d'offrir un espace extérieur ou une espace de distribution, bloquent la propagation du bruit avec leur garde-corps.

Source: © Marion Beuchat

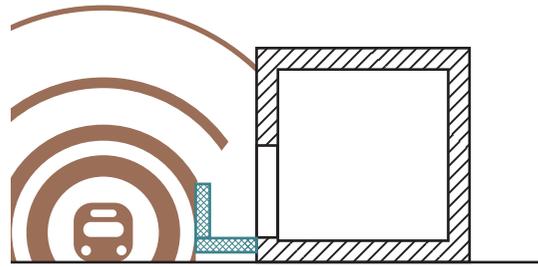


fig.25 stratégie: loggia

La loggia, en plus d'offrir un espace extérieur, bloque la propagation du bruit avec son garde-corps.

Source: © Marion Beuchat

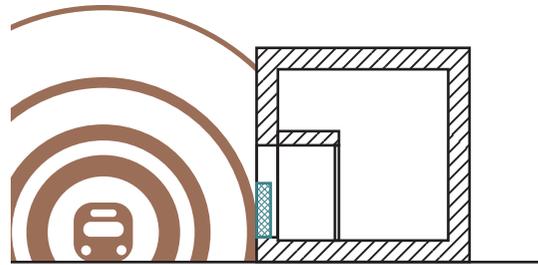
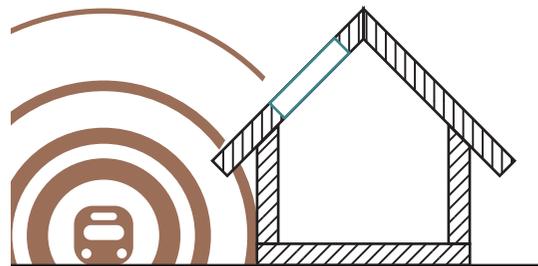


fig.26 stratégie: ouverture en toiture inclinée

Une ouverture dans le pan d'une toiture inclinée, permet de ne pas être dans le chemin de propagation du bruit.

Source: © Marion Beuchat



limiter les gains solaires en été, mais ils peuvent également servir de barrière antibruit pour l'étage de dessus quand la source se trouve proche du bâtiment.

Une autre stratégie serait d'avoir un système de distribution par coursives avec garde-corps plein, ce qui revient à installer un mur antibruit devant chaque étage du bâtiment. La distance entre le garde-corps et la façade permet d'abaisser le garde-corps, qui a entre autres fonctions celle du mur anti-bruit. D'autre part, plus l'étage sera en hauteur, et donc éloigné de la source de bruit, plus l'angle d'incidence sera petit, ce qui réduira d'autant la hauteur minimale du garde-corps plein nécessaire.

Cette stratégie de garde-corps plein peut être utilisée, comme dit précédemment, pour protéger un étage entier de bâtiment lors de l'utilisation de coursive, mais elle peut également être utilisée à l'échelle typologique pour protéger une seule pièce à l'aide d'un garde-corps plein au niveau d'un balcon ou d'une loggia. Le garde-corps aura alors la même fonction de mur anti-bruit que dans le cas de la coursive.

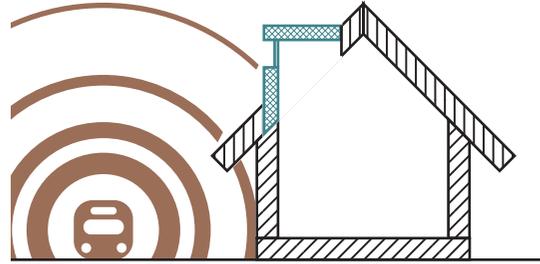
Les lucarnes en toiture sont également une stratégie pour avoir une ouverture protégée des nuisances sonores. Le toit et l'avant toit servent de barrière aux ouvertures verticales des lucarnes. En plus d'apporter de la lumière sous la toiture, les lucarnes n'ont généralement pas besoin de protections au bruit supplémentaires.

Dans ce type de stratégie, le composant faisant effet d'objet anti-bruit peut avoir toutes sortes de matérialités, même si certains matériaux seront plus efficaces que d'autres. Cette barrière peut être faite de matériaux lourds et opaques, comme le béton ou la brique, légers et opaques, comme le bois avec

fig.27 stratégie: lucarne

L'avant-toit d'une toiture inclinée va servir de barrière au bruit pour l'ouverture au niveau de la lucarne. En plus d'apporter de la lumière elle permet une ventilation naturelle.

Source: © Marion Beuchat



de l'isolation phonique, ou translucides, comme le verre. De plus, elle peut accueillir d'autres fonctions comme des panneaux solaires ou un mur végétal.

Dans ce type de stratégie, le composant faisant effet d'objet antibruit peut avoir toutes sortes de matérialités, même si certains matériaux seront plus efficaces que d'autres. Cette barrière peut être faite de matériaux lourds et opaques, comme le béton ou la brique, légers et opaques, comme le bois avec de l'isolation phonique, ou translucides, comme le verre. De plus, elle peut accueillir d'autres fonctions comme des panneaux solaires ou un mur végétal.

fig.28 principe: une ventilation alternative

Source: © Marion Beuchat



Une ventilation alternative

L'un des principaux problèmes lors de l'implantation de logements à proximité d'axes bruyants, est la nécessité d'avoir accès à une ventilation naturelle qui ne crée pas d'inconfort acoustique. Pour cela plusieurs alternatives sont possibles.

À l'échelle du bâtiment, il vaut la peine de maximiser les surfaces de façade du côté calme, pour maximiser le nombre d'ouvertures permettant une ventilation agréable. Pour ce faire, il est possible de construire un bâtiment dit en peigne, qui possède une façade à redans.

À une échelle typologique, cela peut se traduire par différentes stratégies, l'une d'elle étant d'avoir des pièces traversantes qui disposent au minimum d'une fenêtre d'aération sur un endroit calme. Pour ceci, il peut être judicieux de travailler sur des bâtiments étroits avec des typologies d'appartements en longueurs. Mais il est également possible d'avoir des ouvertures en toiture, qui sont protégées de la nuisance sonore dû à leur plan non perpendiculaire à celui du bruit.

Une seconde possibilité serait de créer un espace extérieur protégé du bruit, un atrium, par lequel il est possible d'aérer. Cette stratégie est très efficace. Elle offre un espace extérieur calme, protégé par le bâtiment. Elle peut cependant créer des problèmes d'intimité selon son agencement et son apport en lumière diminue à mesure que le nombre d'étages augmente.

Il est également possible d'avoir certaines pièces avec une double hauteur et une fenêtre d'aération en hauteur, qui expose au bruit la partie supérieure

fig.29 stratégie: pièce transversale

La transversalité des pièces offre, en plus de la lumière naturelle, au moins une ouverture sur un espace non-bruyant.

Source: © Marion Beuchat



fig.30 stratégie: atrium

Un atrium permet d'offrir un espace extérieur calme, de la lumière naturelle, et une ventilation par un espace non-bruyant.

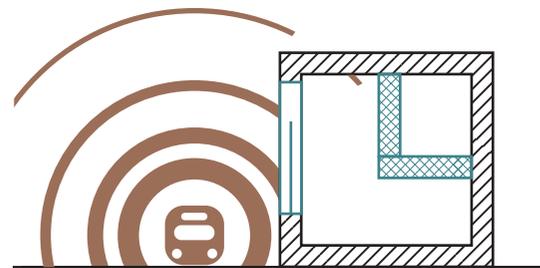
Source: © Marion Beuchat



fig.31 stratégie: double hauteur

Une ouverture en partie haute d'un double hauteur permet une aération de la pièce en exposant au bruit une partie non-accessible par les habitants.

Source: © Marion Beuchat



de la pièce, qui est inaccessible. Cette stratégie n'est pas prise en compte d'un point de vue légale, car la mesure devant être prise au milieu de la fenêtre, elle ne satisferait pas les niveaux exigés. Pour cela, à l'heure actuelle, elle peut être utilisée uniquement lors de dérogation faite par le canton⁶⁴, ou lors de constructions dans des zones où les valeurs d'immissions prévues dans la loi ne sont pas dépassées, mais que le bruit reste tout du moins gênant pour les habitants.

La dernière stratégie possible est de créer un redan au niveau de la façade pour former une fenêtre en retrait, protégée du bruit. Cette solution ne peut être utilisée que sur les façades se trouvant perpendiculaires à la source de bruit. De plus, elle ne permet une ventilation naturelle et calme qu'à une seule pièce.

⁶⁴ Ordonnance de protection contre le bruit (OPB), 1986, ch.5 art. 31

fig.32 principe: absorber ou refléter

Source: © Marion Beuchat

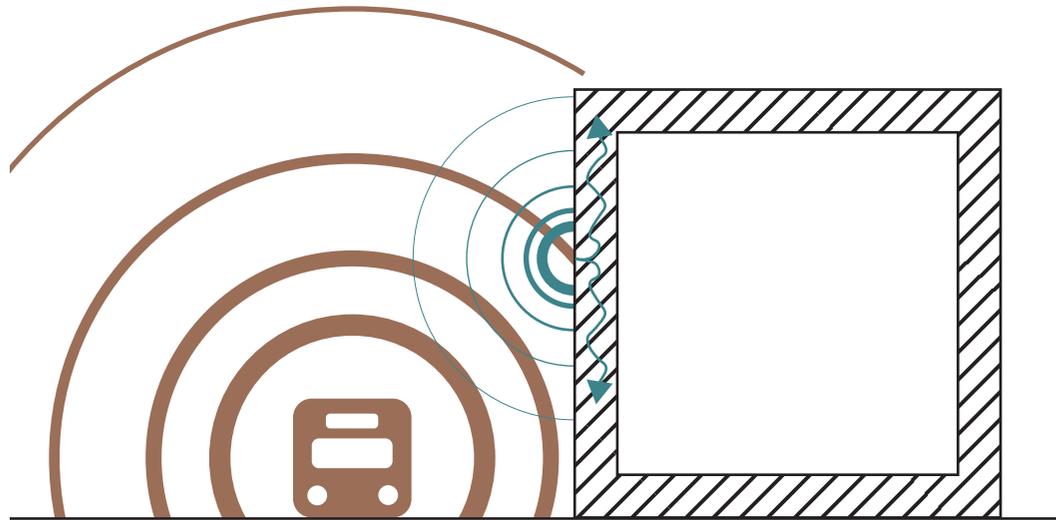


fig.33 stratégie: refléter

Toutes les surfaces lisses et rigides vont refléter une partie du bruit, ce qui peut être dérangeant dans certains contextes.

Source: © Marion Beuchat

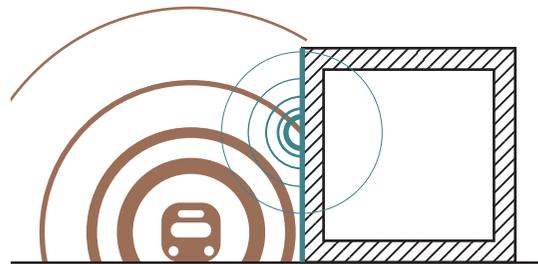
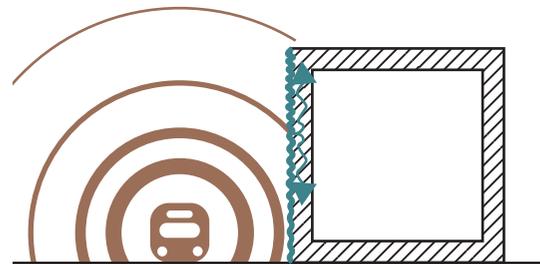


fig.34 stratégie: absorber

Toutes les surfaces poreuses vont absorber en partie le bruit et empêcher une réverbération.

Source: © Marion Beuchat



Absorber ou refléter

Un nouveau bâtiment dans le paysage sonore est un nouvel objet avec lequel le son va interagir. Il est donc important de prendre en compte le contexte et de connaître l'impact qu'il aura sur lui. Lors de l'isolation d'un bâtiment, les matériaux peuvent diminuer la transmission du bruit en l'absorbant ou en le reflétant.

Plus un matériau sera lisse, plus il reflètera le son. Cela va impacter les espaces environnants en augmentant le bruit reçu par certains bâtiments. En effet, les bâtiments seront exposés au bruit de la source ainsi qu'au bruit de la source reflété par le nouveau bâtiment. Comme matériau lisse très réfléchissant on trouvera le verre et le béton lisse.

Pour éviter que le bâtiment reflète le bruit et vienne créer un inconfort supplémentaire aux bâtiments alentour, il est bien de mettre en place une façade absorbante. Pour qu'une façade ne réfléchisse pas trop le bruit, elle doit être en relief ou poreuse. Cela peut être fait avec une ondulation du matériau, une surface perforée ou une surface rugueuse.

Des matériaux absorbants sont nécessaires dans la mise en place de stratégies évoquées précédemment. Notamment sous les loggias, balcons ou coursives pour que le son ne se reflète pas contre ces parties et finisse par rentrer dans les espaces que l'on cherche à protéger. Il est aussi nécessaire d'avoir un plafond absorbant dans le cas d'une fenêtre sur une double hauteur, pour que les sons soient présents uniquement dans la partie haute de la pièce, non atteignable par l'être humain.

Synthèse

Quatre outils principaux à disposition de l'architecte pour maximiser le confort acoustique ont été analysés. Ils peuvent tous prendre des formes différentes, à des échelles différentes. Il est important que l'architecte se saisisse de ces outils très tôt dans le projet pour que les stratégies fassent partie intégrante du projet et qu'elles ne soient pas ajoutées à la fin en le desservant. Elles peuvent être combinées, ce qui offre une large gamme de possibilités à créer. De plus, certaines peuvent être appliquées sur des bâtiments existants lors de transformation ou d'extension. Modifier un garde-corps ou rajouter des espaces extérieurs avec des balcons, permet d'augmenter considérablement le confort acoustique d'un bâtiment, sans entreprendre de grands travaux.

La densification de la ville et l'utilisation des transports publics est indispensable dans la transition écologique. Cependant, elles augmentent toutes deux le bruit en ville. Les architectes doivent donc faire preuve d'intelligence et de créativité face à ces contraintes grandissantes.

ÉTUDES DE CAS

fig.35 plan de situation redessiné

Source: ©swisstopo



Immeuble résidentiel et commercial, Baden

L'immeuble résidentiel et commercial de Baden a été construit par le bureau BDE Architekten⁶⁵, basé à Winterthur. Le bâtiment se trouve au centre de la ville, juste à côté de la gare, aux pieds de la colline accueillant les ruines du château de Stein.



65 « Schlossberg Baden », <https://www.bde.ch/projekte/schlossberg-baden>.

fig.36 photo immeuble résidentiel et commercial, Baden depuis les quais.

Source: © Marion Beuchat

Le bâtiment fait face aux réseaux ferrés et à une route principale avant qu'ils ne disparaissent dans le tunnel qui traverse la colline du château. Il prend la forme spéciale d'une parcelle trapézoïdale. Il possède deux sous-sols et trois étages. Un arrêt de bus situe devant le rez-de-chaussée, ce dernier accueillant des commerces. Au premier étage, qui recouvre les commerces et l'arrêt de bus, se trouve un étage de bureaux. Les deux derniers étages sont consacrés au logement. La distribution se fait par un couloir central. On trouve des logements mono-orientés sud-est et des logements transversaux en duplex. Ces logements font face aux voies ferrées avec un séjour à double hauteur, munie d'une baie vitrée. Ils sont organisés de manière à avoir les pièces de vie à l'étage du bas, et un atrium ainsi que des chambres et bureaux à l'étage. Les



fig.37 photo depuis la gare de Baden

Source: © Marion Beuchat

fig.37 façade Ouest

Source: © Marion Beuchat



appartements vont de deux à quatre pièces et demie.

Le bâtiment faisant face au bruit, cela permet de protéger la place qui se trouve à l'arrière. En plus de surélever les logements, les architectes ont développé des typologies avec un système de ventilation alternatif. Les appartements mono-orientés ne sont pas exposés au bruit. Les appartements en duplex disposent d'une grande baie vitrée sur double hauteur offrant une vue sur le paysage ferroviaire. Comme aucune ouverture n'est possible sur la grande baie vitrée, l'espace de jour est ventilé par une fenêtre en hauteur, s'ouvrant sur l'atrium. Ce dernier permet donc d'apporter de la lumière dans un bâtiment qui atteint 25 mètres au plus large et d'offrir une ventilation naturelle et calme à travers un espace extérieur à l'abri des nuisances sonores. Cette stratégie de mise en place d'un atrium a été imaginée et suivie depuis le début des réflexions de projet.

Le choix de la double hauteur vitrée sur les voies ferrées relève tout de même un problème d'intimité. Lors de la visite effectuée sur place, la majorité des stores étaient restés fermés.

Pour conclure, malgré les contraintes de la parcelle et du bruit des chemins de fer, les architectes ont réussi à construire des typologies qui offrent du confort en termes d'acoustique et de lumière, aux habitants, en offrant une vue sur le paysage ferroviaire, si important dans l'histoire de la Suisse. Le bruit a été la source d'une nouvelle spatialité et forme d'habitat.



fig.38 photo façade Est

Source: © Marion Beuchat



fig.39 photo intérieure

Source: © Georg Aerni

fig.40 coupe transversale redessinée

Source: © BDE Architekten

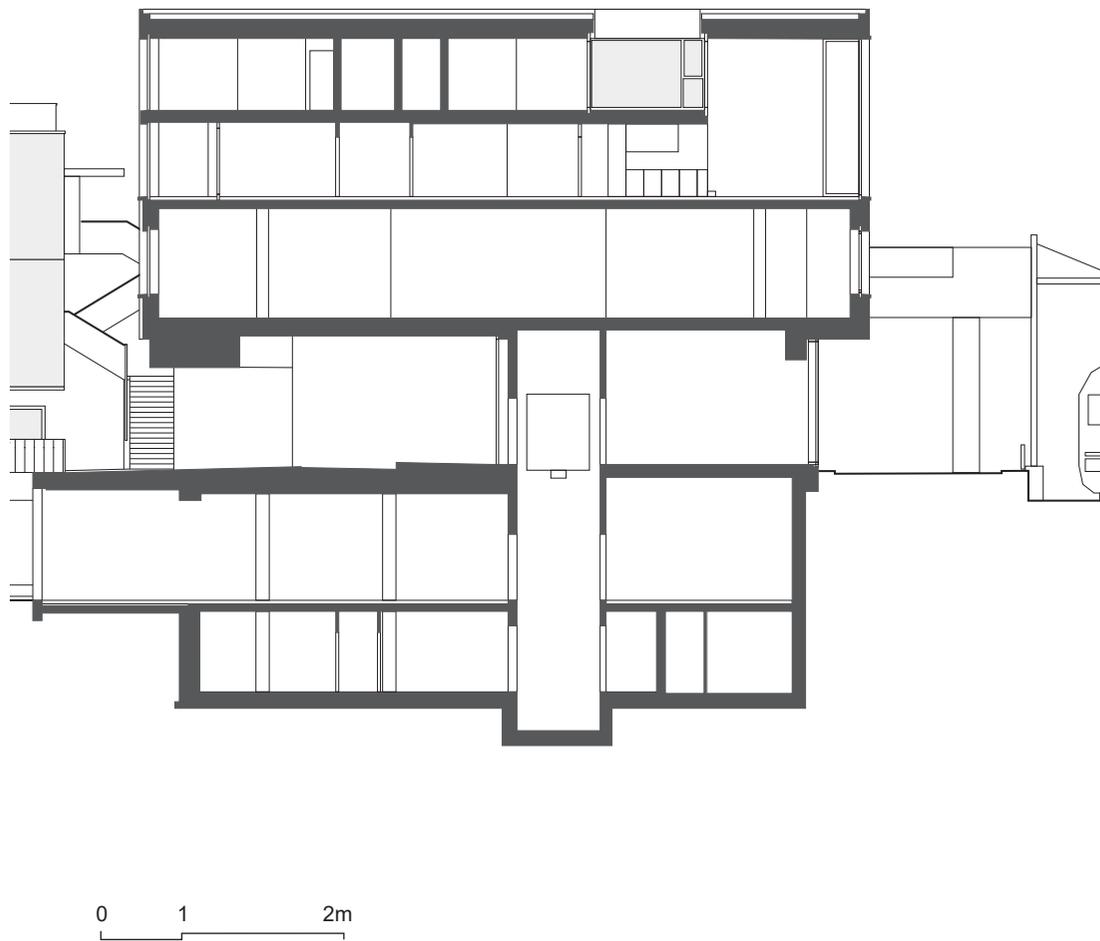


fig.41 plan étage 2 logements redessiné

Source: © BDE Architekten

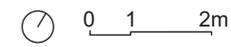


fig.42 plan étage 1 logements redessiné

Source: © BDE Architekten

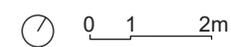
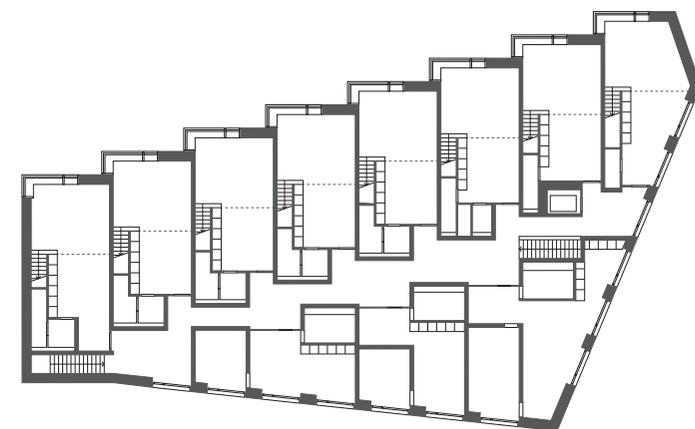
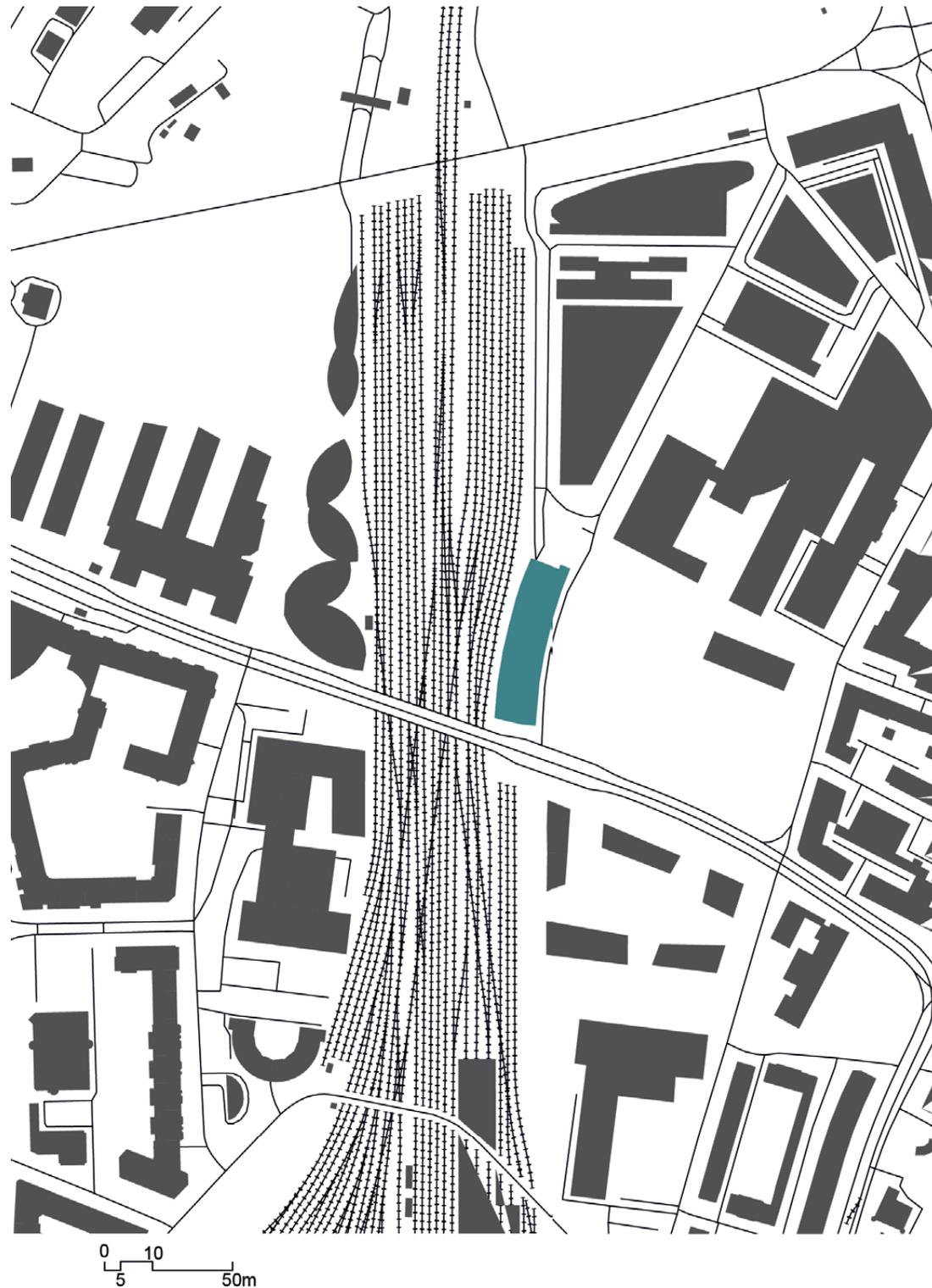


fig.43 plan de situation redessiné

Source: © swisstopo



La maison d'étudiant, Genève

La maison d'étudiant de Genève a été construite par le bureau d'architecture Lacroix-Chessex⁶⁶, basé à Genève. Il a été construit à la suite d'un concours pour des logements d'étudiants pour la *Geneva graduate institute*, sur une parcelle à côté de la gare de Genève-Sécheron. Il se trouve dans le quartier des nations, qui accueille l'institut de hautes études internationales et du développement, le campus Biotech et le consulat d'Espagne.

Lors de la phase de concours, l'équipe de projet du bureau Lacroix-Chessex ne contenait pas d'acousticien, mais pour autant, le sujet du bruit a été important dès le début de la conception. La première idée pour la protection contre le bruit était de faire une distribution par coursive avec un garde-corps plein. Cette idée a été le fil rouge tout au long de la phase de concours. Elle s'est avérée très convaincante et sera validée par l'acousticien lors de la phase d'avant-projet.



Le bâtiment est orienté est-ouest et adopte une forme arquée pour épouser la forme des voies des

66 « Lacroix Chessex, Radek Brunecky · IHEID Maison Des Étudiants ». http://www.lacroix-chessex.ch/fre/projet/022_iheid/images.



fig.44 photo façade Ouest

Source: © Marion Beuchat



fig.45 photo façade Est

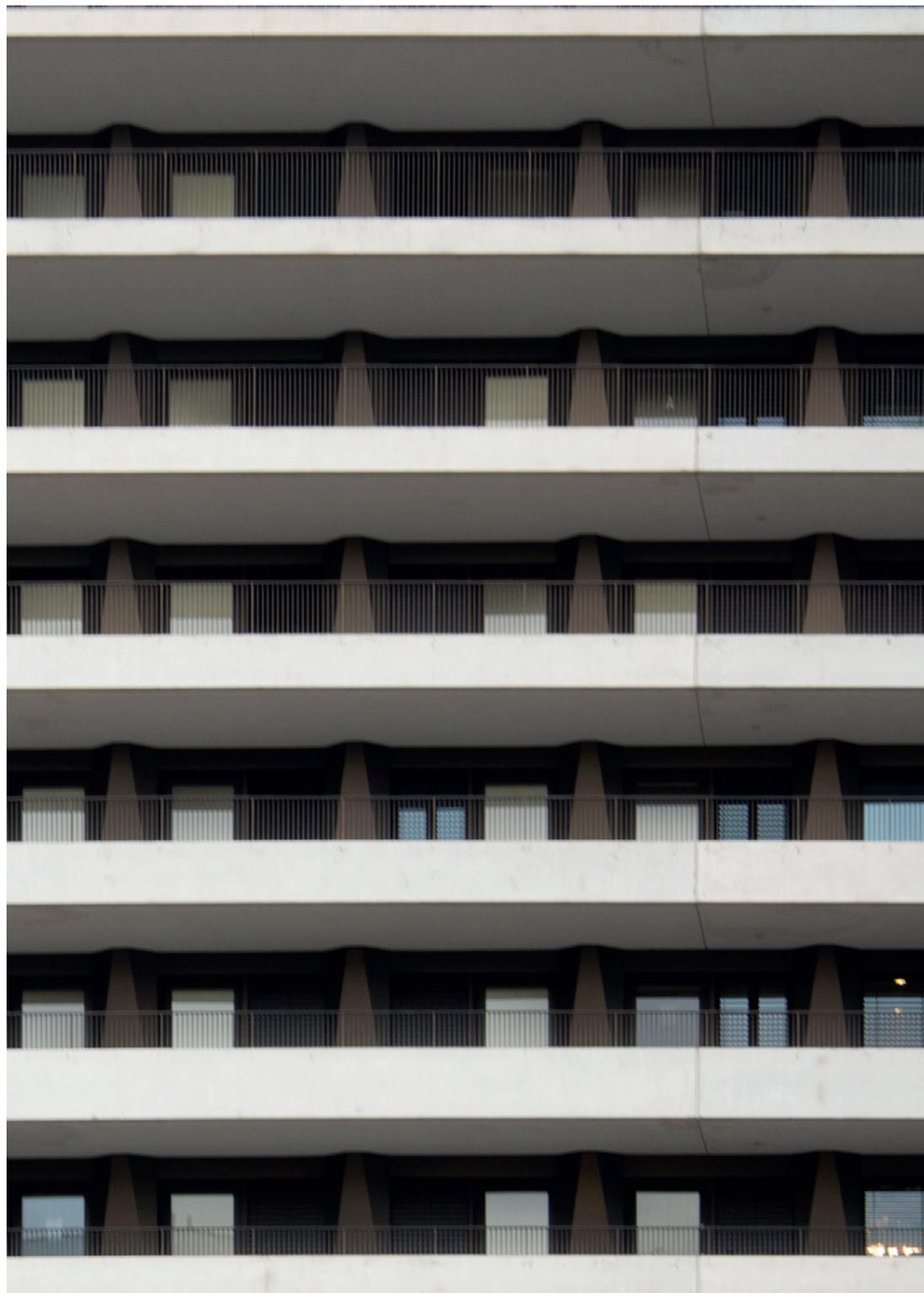
Source: © Marion Beuchat

fig.46 photo garde-corps

Source: © Marion Beuchat

fig.47 photo façade Ouest

Source: © Marion Beuchat



chemins de fer. Il se constitue d'un socle de cinq étages et d'un parking. Il est muni d'un plateau au niveau de l'avenue de France qui permet d'offrir un espace d'entrée et de supporter les étages supérieurs du bâtiment. Ces derniers sont constitués de plateaux en béton, accueillent en leur centre les appartements pour les étudiants et les espaces communs au rez-de-chaussée. Ces plateaux permettent une distribution par coursière d'un côté, et des espaces extérieurs privés de l'autre. La distribution verticale, se fait quant à elle par deux cages d'escaliers et ascenseurs se trouvant entre certains appartements. On trouve comme typologie : des studios et des collocations à deux, trois ou quatre chambres. Tous les appartements sont traversants et sont toujours organisés de telle manière à avoir les espaces de séjours, cuisines et salle à manger à l'ouest, donnant sur la coursière et le réseau ferroviaire, les espaces de toilettes et salles de douche au centre, et les chambres à l'est, s'ouvrant sur des espaces extérieurs.



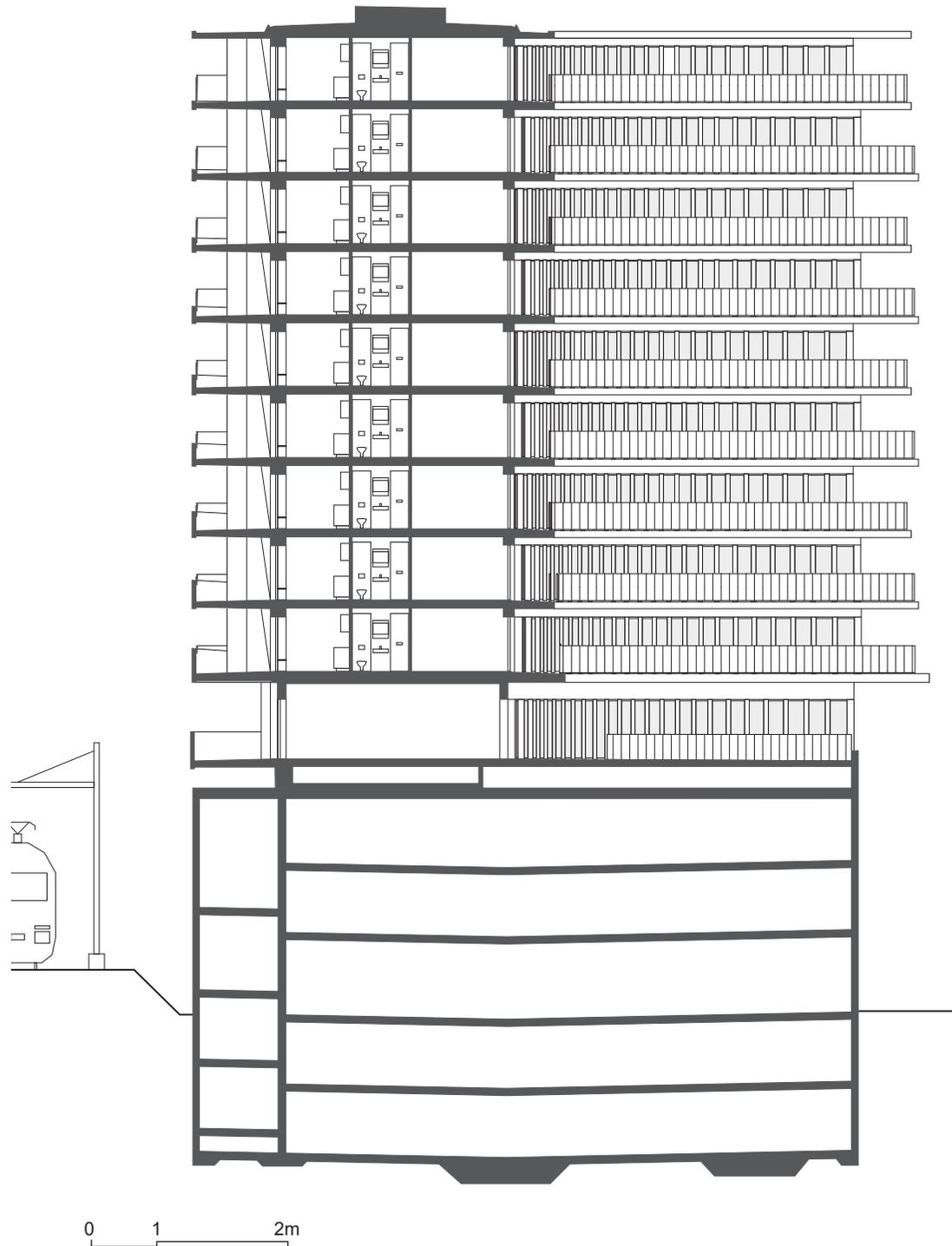
fig.48 photo façade Ouest

Source: © Marion Beuchat

En termes de bruit, la disposition du bâtiment, face aux voies de chemin de fer, permet de protéger du bruit la zone arrière. Le socle du bâtiment permet

fig.49 coupe transversale redessinée

Source: ©Lacroix-Chessex

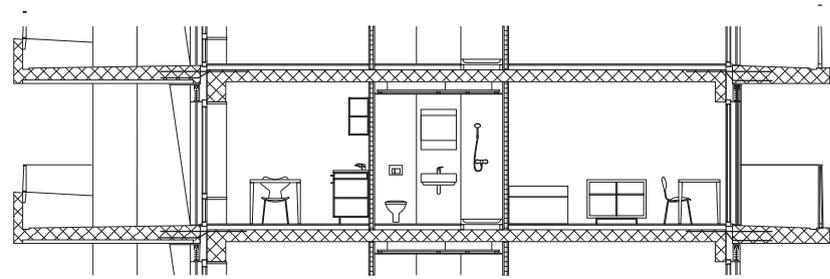


éloigner les habitations du bruit. La proximité des logements au réseau en plan et leur éloignement en coupe, permettent d'avoir des angles d'incidence du bruit aigus et donc de limiter la hauteur des protections. Ces protections sont faites par le repli de la dalle en béton formant le garde-corps. Plus les étages sont hauts et donc éloignés du bruit, plus son angle d'incidence est aigu et plus la hauteur nécessaire du garde-corps est faible. Cela a permis de réduire la hauteur du garde-corps au profit d'un garde-corps léger en métal en montant dans les étages et allège le bâtiment. Finalement, Les typologies traversantes des appartements permettent d'avoir les pièces les plus sensibles au bruit, les chambres, placées du côté calme.

En conclusion, la prise en compte des enjeux acoustiques dès le commencement du projet permet de construire des bâtiments qui, en plus d'offrir un confort certain aux habitants, se servent de la contrainte acoustique pour nourrir l'expression architecturale et ancrer le bâtiment dans son contexte.

fig.50 coupe longitudinale d'un studio redessiné

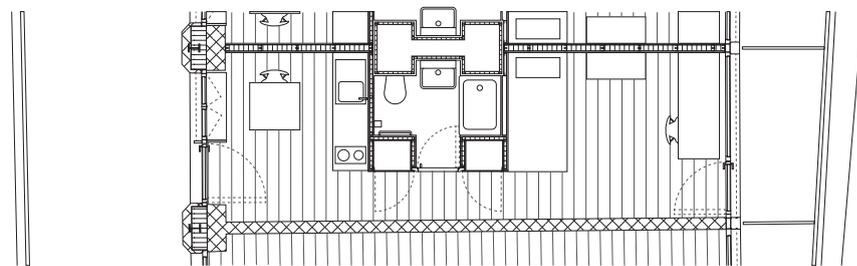
Source: ©Lacroix-Chessex



0 1 2m

fig.51 plan d'un studio redessiné

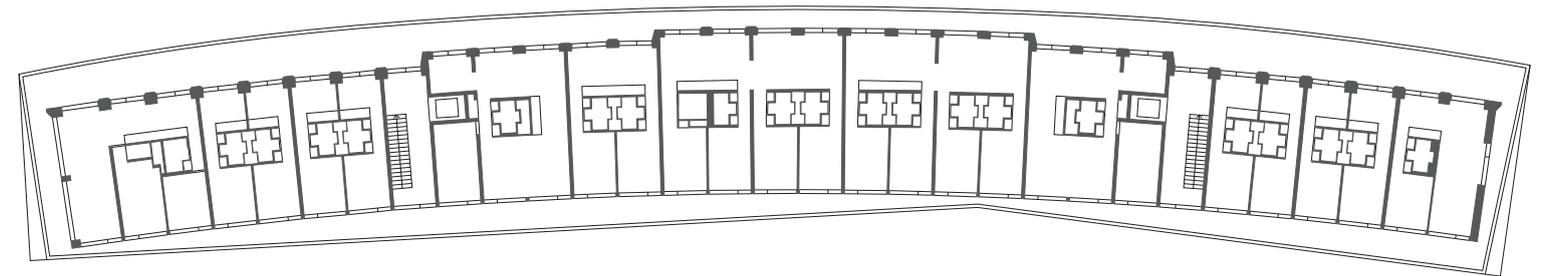
Source: ©Lacroix-Chessex



0 1 2m

fig.52 plan d'étage type redessiné

Source: ©Lacroix-Chessex



0 1 2m

fig.53 plan de situation redessiné

Source: ©swisstopo



Quartier des Halles, Morges

Le quartier des halles de Morges a été construit par le bureau Aeby & Perneger Associés SA⁶⁷, à la suite d'un concours organisé par les CFF conjointement avec la ville de Morges. Il se trouve au sud de la gare de Morges et de l'autoroute.

Le concours consistait en la construction d'un quartier mixte de logements et commerces. Après discussion avec Monsieur Patrick Aeby, la dimension acoustique n'était pas demandée lors du concours, mais étudiée par la suite avec un acousticien.

Le quartier se compose d'une barre le long des voies de chemin de fer et un îlot formé de deux bâtiments en L à l'arrière. Les rez-de-chaussée sont commerciaux et les étages accueillent des bureaux et des logements. Dans le cadre de la protection contre le bruit, le bâtiment analysé est l'immeuble le long des voies. Le bâtiment se trouve sur un socle commercial de deux étages, dont un semi-enterré donnant sur le quartier et un au niveau des voies ferrées. Sept étages surmontent le socle, en retrait du côté de la gare, avec un étage de bureaux et six de logements. La partie ouest du bâtiment est desservie par trois cages d'escaliers avec ascenseurs en façade nord, tandis que la partie est, est desservie par quatre escaliers et ascenseurs au centre. Chaque cage d'escaliers dessert trois appartements, dont un est mono-orienté au sud, de deux pièces et demie et deux sont traversants, de deux, trois ou quatre pièces et demie. Chaque appartement dispose d'un espace extérieur au sud. La façade est rythmée par des bandeaux horizontaux qui se retournent sur les quatre façades, alternant entre vitré et revêtement en béton. Une extension du socle à l'ouest est prévue prochainement,

67 « SAB_Quartier des Halles_Morges | Aeby Perneger ». <https://www.aeby-perneger.ch/projects/quartier-des-halles-morges-gare-sud/>.



fig.54 photo façade Sud

Source: © Marion Beuchat



fig.55 photo façade Nord

Source: © Marion Beuchat

fig.56 photo revêtement façade

Source: © Marion Beuchat



c'est la raison pour laquelle les revêtements ne se retournent pas à cet endroit-là.

Le bâtiment qui fait face aux rails permet de garder le reste du quartier au calme. Le socle permet d'éloigner les logements du bruit, mais également des accidents de transport de produits chimiques. Le retrait du bâtiment par rapport au socle permet de protéger en partie l'étage du bureau. Les appartements mono-orientés au sud ne souffrent pas du bruit produit par les chemins de fer. Concernant les appartements traversants, leur typologie est organisée de manière à avoir la pièce de vie avec cuisine traversante et les chambres orientées au Nord, exposées au bruit. Les chambres étant des pièces sensibles, elles ne peuvent pas être exposées à un bruit supérieur à 55 dB, selon l'OPB, valeur dépassée dans ce cas. Ce problème a été géré



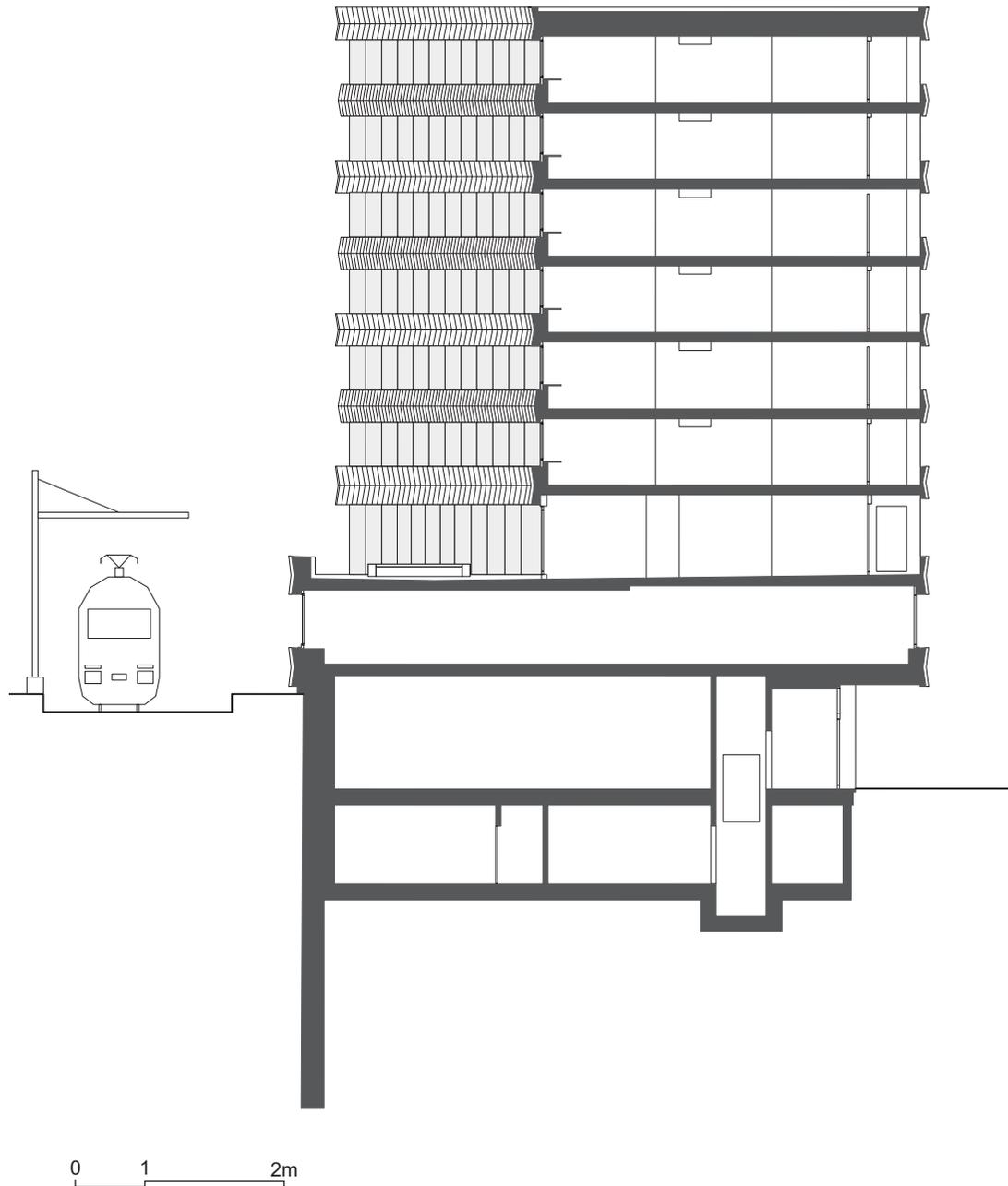
après la phase de concours, avec un acousticien. La solution adoptée est une vitre coulissante qu'il est

fig.57 photo deuxième vitrage coulissant

Source: © Marion Beuchat

fig.58 coupe transversale redessinée

Source: ©Aeby & Perneger Associés SA



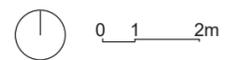
possible de placer devant la fenêtre pour permettre une aération naturelle tout en protégeant du bruit. Les habitants des immeubles de l'autre côté du réseau ferré et de l'autoroute avaient émis la peur que la nouvelle construction vienne refléter le bruit et par conséquent augmenter le niveau sonore chez eux. Pour cela, les architectes ont imaginé un revêtement ondulé en béton préfabriqué. Cette forme spéciale d'ondulation, inspirée du revêtement des murs anti-bruit, permet d'absorber une partie du bruit et de ne pas créer de gêne supplémentaire aux immeubles d'en face. Le revêtement se trouve en bandeau à chaque étage du bâtiment avec une alternance entre une forme concave et convexe.

Il est dommage que la dimension acoustique n'ait pas été prise en compte dès le début du projet. Le deuxième vitrage coulissant, stratégie principale pour protéger les chambres, a été imaginé par un ingénieur acousticien. Il y a pourtant, comme démontré plus tôt, de nombreuses stratégies à la portée des architectes pour faire face aux problèmes acoustiques. Cependant, la stratégie du deuxième vitrage coulissant s'intègre très bien dans le bandeau vitré de la façade.

Pour conclure, la prise en compte des enjeux de réflexion et d'absorption du bruit a permis une réflexion sur la matérialité et le relief du revêtement de façade et de trouver une solution morphologique qui lie le bâtiment à son contexte et lui donne une expression en lien à son rapport au bruit.

fig.59 plan d'étage type
redessiné

Source: ©Aeby & Perneger
Associés SA



Analyse Immeuble commercial, Baden

	Échelle			
	Urbaine	Morphologique	Typologique	Constructive
Spatialité	Le bâtiment se constitue d'un socle de 4 étages d'activités qui permettent au logements de se distancer de la source de bruit et de la surplomber le paysage urbain	Le bâtiment s'implante sur la parcelle avec une largeur conséquente et utilise cette largeur pour créer des atrioms qui offrent un espace extérieur calme, un apport en lumière naturelle, ainsi qu'une meilleure ventilation des espaces		
Expression		Les appartements sont disposés de telle sorte qu'au deuxième étage on trouve des appartements exposés du côté calme et le premier étage des duplex exposés au bruit. à l'étage supérieur on trouve le dernier étage des duplex sur toute la largeur du bâtiment Les appartements en duplex bénéficient d'une double hauteur qui offre un panorama sur l'espace ferroviaire, un grand apport en lumière naturelle		
Matérialité				

Analyse Maison d'étudiant, Genève

	Échelle			
	Urbaine	Morphologique	Typologique	Constructive
Spatialité	Se présente face aux chemins de fer et offre une vue plongeante sur le paysage ferroviaire grâce au surelèvement des logements avec le socle d'activité Le bâtiment se constitue d'un socle de 4 étages d'activités qui permettent au logements de se distancer de la source de bruit et de la surplomber le paysage urbain			
Expression	Le bâtiment s'arque légèrement pour épouser la forme des chemins de fer qui ouvre le bâtiment sur le paysage	Distribution par coursive qui offre un espace commun extérieur et protège les appartements du bruit L'étroitesse du bâtiment permet des typologies traversantes qui permettent une meilleure ventilation et un bon apport en lumière	La hauteur des parapets en béton des coursives diminue au fur et à mesure que l'on monte dans les étages pour n'avoir que la dimension nécessaire à son rôle de barrière anti-bruit, ce qui allège la silhouette du bâtiment	
Matérialité				Le béton permet par sa masse d'avoir une bonne isolation aux bruits aériens

Analyse Quartier des Halles, Morges

	Échelle			
	Urbaine	Morphologique	Typologique	Constructive
Spatialité	Le bâtiment se constitue d'un socle de 2 étages d'activités qui permettent au logements de se distancer de la source de bruit et de la surplomber le paysage urbain Deviens écran protecteur au quartier de logements se trouvant derrière			
Expression		Le deuxième vitrage protège les ouvertures en s'intégrant au badeau vitré		
Matérialité	L'ondulation du revêtement de façade permet d'absorber le son et des protéger les habitations se trouvant de l'autre côté			L'ondulation du revêtement de façade permet d'intégrer le bâtiment dans son contexte ferroviaire

Synthèse

Les trois études de cas précédentes ont montré qu'il est possible, à travers la contrainte de bruit, de trouver des solutions à toutes les échelles et de plusieurs natures, qui peuvent être mises en place et sublimer l'architecture. En intégrant la dimension acoustique dès le début des réflexions, les stratégies architecturales de protection contre le bruit, font partie intégrante de la proposition architecturale. Tous les projets étudiés sont placés le long des voies ferrées, en surélevant les logements afin de faire une barrière à l'échelle urbaine et protéger les quartiers se trouvant à l'arrière. C'est avec de telles constructions qu'il est possible de diminuer le nombre de murs anti-bruit et d'avoir un contexte urbain cohérent et confortable.

Chacun des bâtiments étudiés met en valeur le paysage ferroviaire, qui a une grande importance dans notre histoire et fait partie intégrante du paysage urbain. Ils se trouvent, tous les trois, à proximité de gare et accueillent des fonctions mixtes, ce qui s'inscrit dans une démarche de densification de la ville et d'une accessibilité facilitée aux transports publics. Par leur implantation et leur intégration des stratégies architecturales, ils offrent un confort acoustique aux habitants des bâtiments eux-mêmes, mais également aux habitants des bâtiments qu'ils protègent du bruit. Finalement, ils arrivent à satisfaire les exigences des lois et normes suisses grâce à l'architecture.

Le cas de l'immeuble résidentiel et commercial de Baden s'est emparé de la nuisance sonore pour développer une stratégie spatiale, à l'échelle typologique. Celui de la maison d'étudiant à Genève le fait à travers l'expression de la façade, à l'échelle

du bâtiment. Finalement le projet du quartier des Halles à Morges développe sa stratégie à travers la matérialité de sa façade.

La prise en compte de la nuisance sonore dès les premières réflexions, sa connaissance et l'appropriation des stratégies pour sa réduction permettent d'obtenir des projets qui ne subissent pas le bruit mais qui s'en servent pour être sublimés.

HYPOTHÈSES DE PROJET



fig.60 plan de situation

Source: © swisstopo

Yverdon-les-Bains, un avenir prometteur

Cette étude étant faite dans le cadre d'un projet de Master, elle sera suivie d'un projet architectural mettant en pratique la thématique abordée. Cette partie est donc dédiée au choix, à l'analyse et à l'élaboration du programme du futur projet.

Le site de projet choisi est une parcelle se trouvant à l'embranchement entre deux voies, sur la commune d'Yverdon-les-Bains dans le nord du canton de Vaud.

Le canton de Vaud va voir sa population nettement augmenter. Le nombre de ménages augmentera de 30% dans le canton de Vaud contre une augmentation moyenne suisse de 20% à l'horizon 2050. Cette augmentation le place comme le troisième canton ayant la plus forte progression après l'Argovie et Zoug, à environ 30 et 31%⁶⁸. Avec son positionnement stratégique au bord du lac de Neuchâtel, sur la ligne de chemin de fer entre Genève et Saint-Gall, Yverdon-les-Bains semble être une ville avec un fort potentiel de progression. La région lémanique étant déjà très dense, le canton ne pourra pas y accueillir toute sa nouvelle population. Yverdon semble donc avoir un futur prometteur avec la liaison horaire directe avec Lausanne et sa liaison demi-horaire régionale.

Le site choisi se trouve à proximité du lac et de la gare, dans une zone industrielle proche d'une zone de logements, pris entre la ligne reliant Yverdon à au reste du plateau, à l'Est, la ligne Yverdon – Sainte-Croix à l'Ouest et le canal de Bey au Nord. La parcelle, de forme triangulaire pointant au sud, mesure près de 11'000 m². Elle est actuellement

68 OFS. « Scénario des ménages »

occupée par quatre entrepôts accueillant deux carrosseries, un concessionnaire automobile et une entreprise d'équipements spécialisés pour bateaux et voitures.

Au vu de l'augmentation de la population prévue dans le canton de Vaud et la place stratégique de la ville d'Yverdon-les-Bains, cette ville apparaît pertinente pour une densification. De plus, elle se trouve sur la ligne Genève – Saint-Gall, très utilisée par le transport ferroviaire de marchandises la nuit. Elle est donc confrontée aux problèmes du bruit ferroviaire.

Une ville remplie d'histoire

Yverdon-les-Bains est habitée depuis le néolithique. À l'âge de fer, nos ancêtres ont compris l'importance stratégique du lieu et l'appelèrent Eburodunum, signifiant forteresse de l'if, qui évoluera en Everdun puis Yverdon. Elle se trouvait à la croisée des voies terrestres, reliant l'Italie à la Gaule centrale et la basse vallée du Rhône à la haute vallée du Rhin. Mais elle est également à la croisée des voies navigables navigables, de la mer du Nord les marchandises passaient par le Rhin, l'Aar puis la Thielle pour passer en mobilité terrestre jusqu'au Léman. Cela lui a donné une place de choix dans le commerce.⁶⁹

A la fin du XVIIème siècle, Yverdon accueille des réfugiés, les huguenots français et les vaudois du Piémont, qui apportent avec eux leur savoir-faire dans le milieu du textile.⁷⁰ La ville était un lieu favorable au développement de l'industrie du textile grâce à ses nombreux cours d'eau et sa terre de foulon. L'industrie se développe jusqu'à la fin du XIXème siècle où les ateliers sont désaffectés.⁷¹ Le XVII siècle voit également se concrétiser le projet d'un canal entre le Lac de Neuchâtel et le Léman dans le but de relier le Rhin au Rhône. Il sera finalement réalisé uniquement jusqu'à Chavornay, mais sera très utilisé jusqu'au XVIIIème siècle. En 1953, un projet similaire reviendra sur la table mais ne sera pas réalisé.⁷² Au début du XIXème siècle, un ébéniste réalise la première fabrication industrielle de meubles. Les sculptures devenant trop chères, il a inventé des décorations appliquées, réalisé en bois mince gaufré sur de moules métalliques.⁷³ Mais au début de XXème siècle, l'industrie grandit au détriment de l'artisanat.

⁶⁹ Duvoisin, Pierre, Jean-Luc Iseli, et Rodolphe Kasser. Merveilleux Yverdon-les-Bains. Lausanne: Ed. du Grand-Pont, 1987.

⁷⁰ Herzig, Henri. Le vieil Yverdon raconté par la carte postale (1890-1920). Yverdon: Ed. du Faubourg de la Croix-Blanche, 1976. 8.

⁷¹ Brand, « Fabriquer le vêtement au XVIIe siècle : l'exemple d'une manufacture de laine à Yverdon ». 2015

⁷² s. n., « La liaison Rhône-Rhin par la Suisse ». 21 mai 1966.

⁷³ Duvoisin, Pierre, Jean-Luc Iseli, et Rodolphe Kasser. Merveilleux Yverdon-les-Bains. Lausanne: Ed. du Grand-Pont, 1987.



fig.61 photo ancienne usine
Leclanché

Source: © Marion Beuchat

En termes de transports, Yverdon est également pionnière. En 1855 la ligne de chemin de fer Yverdon – Bussigny, la troisième entièrement en Suisse, est créée et en 1861 c'est celle de Yverdon – Vaumarcus.⁷⁴ La ligne Yverdon – Ste-Croix vit le jour en 1893, financée entièrement par William Barbey, qui émit la condition qu'elle ne soit jamais en exploitation le dimanche, ce qui sera respecté pendant 25ans. De ces débuts en traction à vapeur, le train ne sera mis en traction électrique qu'en 1945. Il transportait d'abord les ouvriers et la chaux pour la cimenterie, aujourd'hui disparue.⁷⁵ Actuellement il est utilisé principalement par les pendulaires.

⁷⁴ Mathys, Ernst. Hundert Jahre Schweizerbahnen: historisch und technisch dargestellt: 1841-1941 = Les chemins de fer suisses au cours d'un siècle: aperçu historique et technique. 2. Aufl. Bern: Mathys, 1943.

⁷⁵ Primatesta, Alain. Ces merveilleux petits chemins de fer suisses. Genève: Mythraz, 2009. 17.

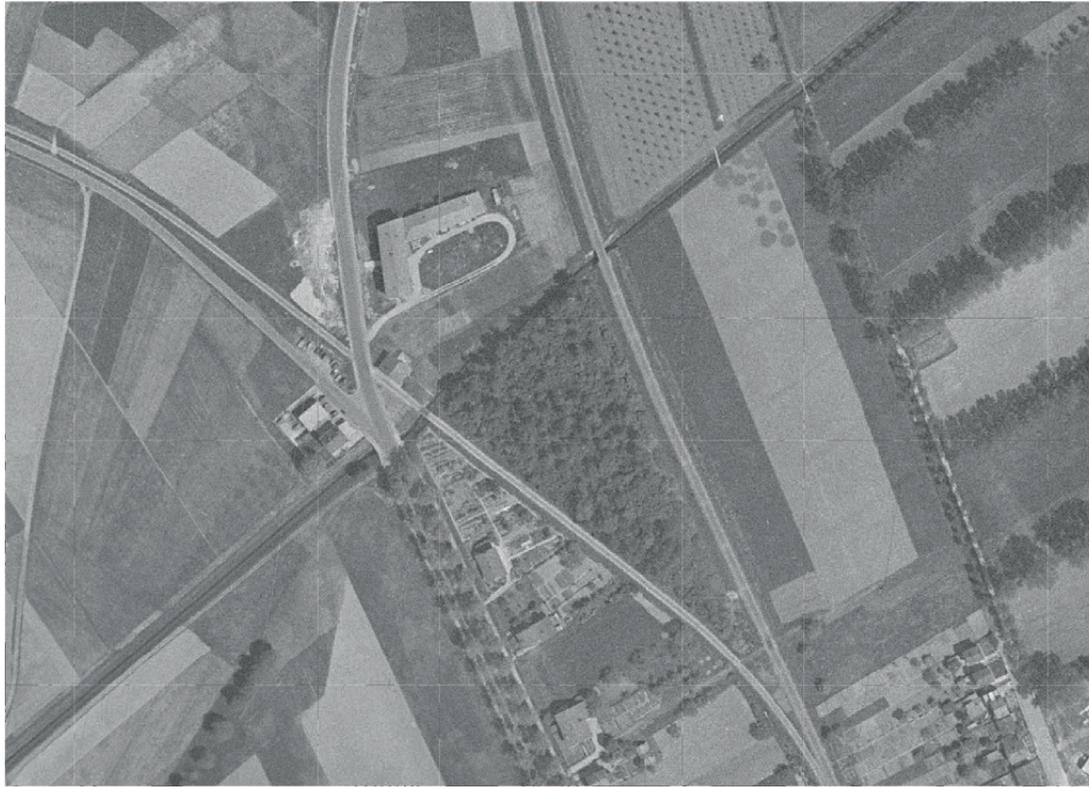


fig.62 orthophoto de 1965

Source: © swisstopo



fig.63 plan masse redessiné

Source: ©swisstopo

Une parcelle à fort potentiel

La parcelle choisie se trouve entre la route de Grandson et la ligne de chemin de fer qui est une zone industrielle où se trouvent notamment les bâtiments de l'usine Leclanché, classés comme objets d'intérêt local. On trouve tout de même quelques logements dans cette zone. De l'autre côté des voies de chemin de fer, on trouve également une zone industrielle et une zone d'habitations individuelles. La parcelle a d'abord été une petite forêt avant d'être rasée pour y construire des entrepôts dans les années 1960. Au niveau de la mobilité, elle est bien desservie avec une ligne de bus passant par la rue de Grandson, qui dispose d'un arrêt à proximité du site. Il est également possible d'atteindre la gare de Yverdon William Barbey en un peu plus de 5min à pied et la gare principale d'Yverdon et accessible en moins de 10min de bus.

La voie ferrée à l'est du site est empruntée par une dizaine de trains passagers par heure, pendant la journée, et est un axe utilisé par le trafic de marchandises pendant la nuit. La ligne se trouvant à l'ouest, qui relie Yverdon à Sainte-Croix, voit passer environ quatre trains par heure en journée et est très peu utilisée pour le trafic marchandises. La parcelle est exposée, la nuit, à un bruit ferroviaire de 50 à 60 dB et en journée cela augmente jusqu'à 65 dB par endroit.

La parcelle est principalement bétonnée, mais possède une partie de sol végétal. Elle se trouve à côté du canal de Bey. En plus des bruits engendrés par les trains, les chants des oiseaux dans les arbres et ceux des canards du canal, font partie du paysage sonore du site.

Habiter la nuisance

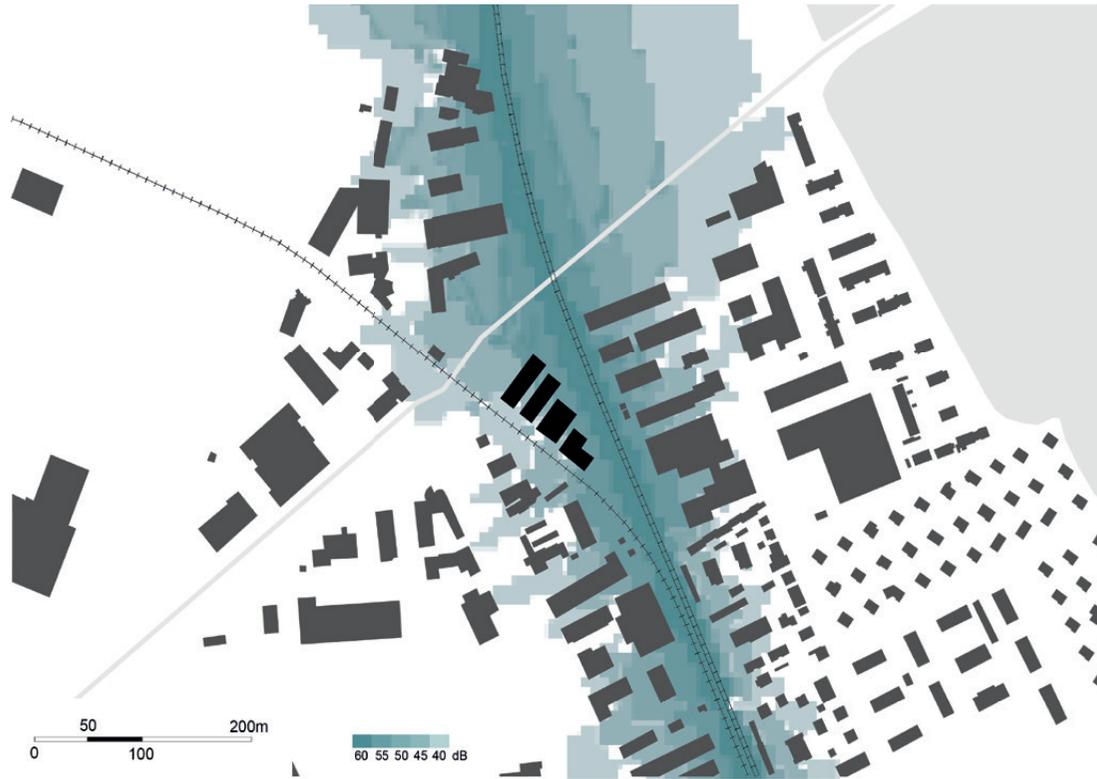


fig.64 carte du bruit ferroviaire de nuit redessiné
Source: ©swisstopo

fig.65 photo de l'entrée du site
Source: © Marion Beuchat



fig.66 photo du site
Source: © Marion Beuchat



Hypothèses de projet

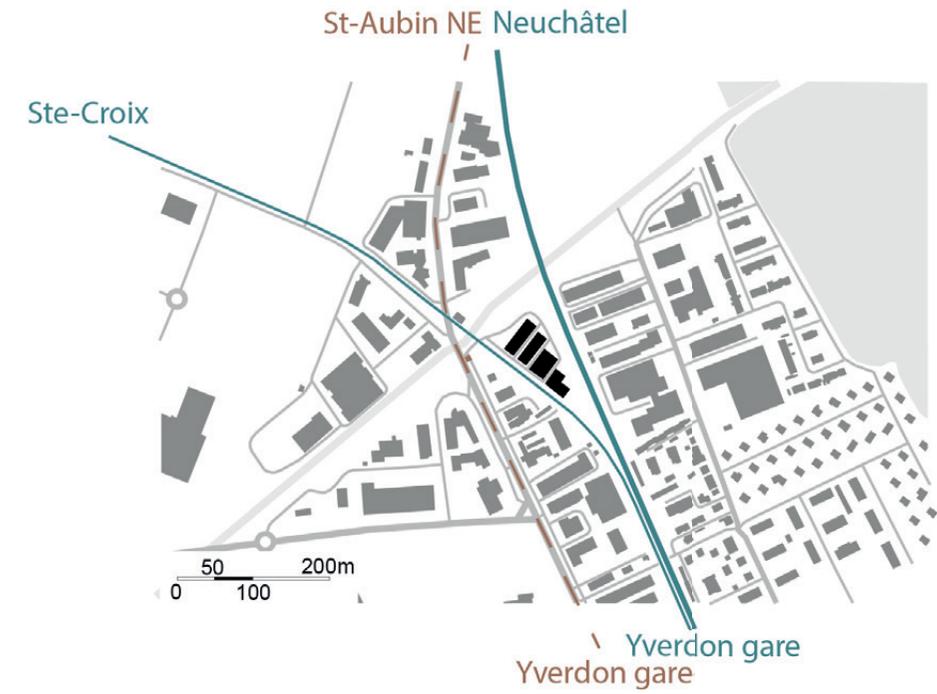


fig.67 schéma de mobilité redessiné
Source: ©swisstopo

fig.68 photo canal
Source: © Marion Beuchat



fig.69 photo biodiversité du canal
Source: © Marion Beuchat



Programme

Yverdon a une grande partie de son histoire basée sur le commerce, l'artisanat et l'industrie. De plus le site choisi se trouve dans une zone industrielle, proche des anciens bâtiments de l'usine Leclanché. Il me semble donc important de garder un programme du secteur secondaire. Le site actuel accueillant une entreprise d'équipements spécialisés pour bateaux, une entreprise dans le commerce et la construction de bateaux peut être adaptée.

Avec l'augmentation démographique et les problèmes écologiques, la densification de la ville est nécessaire et elle passe par la mixité des programmes et l'implantation de logements proches des axes de transports. Le plan directeur communal d'Yverdon, datant de 1997, interdit la construction de logements entre la rue de Grandson et la ligne de chemin de fer, où se situe la parcelle choisie. J'imagine deux raisons possibles à cela, la première étant le bruit engendré par ces deux axes de transport, et la seconde étant le caractère et l'histoire industrielle du lieu. Mais il a été démontré à travers ce travail que l'architecte possède plusieurs outils pour construire des habitations dans des lieux bruyants tout en garantissant un certain niveau de confort acoustique à l'intérieur des logements. Concernant la deuxième raison possible, le caractère industriel du lieu peut être conservé avec des programmes d'industries et d'artisanat au rez-de-chaussée. Le plan datant de plus de 25 années et la demande en logements ne cessant de croître, les directives vont très certainement changer prochainement. Je me permets donc d'inclure des logements dans le programme.

Mon projet intégrera donc un espace accueillant une petite industrie d'environ 2'500 m², qui représente la surface actuellement utilisée, et des appartements sur environ 13'000m², pour une densité de 1,4 :1.

CONCLUSION

Conclusion

Pour conclure, l'accroissement de la population va mener à construire de nouveaux logements dans des zones de plus en plus complexes, notamment proches des voies de transport.

Le transport ferroviaire est ancré dans l'histoire de notre pays. Il a permis de nous développer et a eu un impact sur l'accroissement de certaines villes. Ces dernières septante années, il a en partie été remplacé par la voiture, ce qui a permis à une grande partie de la population de déménager dans les banlieues vertes, pour plus de confort.

Mais l'impact écologique de la voiture est désastreux et l'expansion des villes détruit des terres cultivables et de la biodiversité. Il est impératif de renforcer la mobilité douce et les transports publics afin de réduire la mobilité individuelle. Pour cela il est nécessaire d'arrêter l'expansion de la ville et de la densifier. Cette densification se fait notamment dans les zones bruyantes qu'il faut réussir à traiter sans réduire le confort des habitants. La ville doit devenir plus confortable que les villages et elle doit faciliter l'accès aux transports publics et à la mobilité douce, pour que la voiture ne soit plus la meilleure option.

Pour densifier, la ville doit améliorer son confort. Mais le bruit, notamment des transports, peut avoir des impacts néfastes sur la santé. C'est pour cela qu'il est important de prendre en compte le bruit et d'offrir des espaces calmes à la population. Cependant, tous les bruits ne sont pas nuisance et ils font partie intégrante de la culture du lieu. L'architecte doit prendre conscience de la dimension auditive, et ne pas se focaliser uniquement sur le sens de la vue. Ceci peut engendrer de belles

opportunités de projet ainsi que mieux l'intégrer au lieu.

Les lois demandent aux sociétés ferroviaires de réduire leurs émissions de bruit. Malgré un effort de leur part, le travail de réduction à la source ne suffit pas. Ils n'ont d'autres choix que de mettre en place des murs anti-bruit sur de grandes longueurs, ce qui est une absurdité du point de vue urbanistique. Il faudrait donc que la responsabilité de la protection contre le bruit soit en partie donnée aux architectes et urbanistes, tout en continuant à inciter les sociétés de chemins de fer à réduire les émissions des transports. De plus, les valeurs des normes de construction sont plus proches d'un inconfort acceptable que d'un vrai confort. Les labels durables ne portent à l'acoustique qu'un intérêt secondaire. Il est donc important de remettre la question acoustique au centre du débat, durcir les niveaux d'exigences et donner plus de responsabilités et de libertés aux architectes.

De nombreuses stratégies urbanistiques, architecturales, typologiques et constructives sont à disposition de l'architecte pour assurer un confort aux habitants lorsque que les logements sont proches des voies de transport. Quatre principes peuvent être mis en place : prendre de la distance, mettre en place une barrière, créer une ventilation alternative, absorber ou refléter. Chaque principe peut prendre la forme de différentes stratégies, à diverses échelles. De plus, elles peuvent être combinées entre elles dans un même bâtiment pour assurer un confort maximal. Les nombreuses possibilités de mises en forme des stratégies et leurs combinaisons offrent une grande variété de résultats possibles, qui n'attendent que les architectes pour être expérimentés.

Les études de cas montrent qu'il est possible,

à travers la contrainte de bruit et des solutions architecturales adaptées à la situation acoustique, de sublimer l'architecture. En intégrant la dimension acoustique dès le début des réflexions de projet, les stratégies de réduction de la nuisance sonore font partie intégrante de la proposition architecturale. Les constructions face au réseau ferré permettent de protéger les espaces à l'arrière. C'est avec cela qu'il sera possible de diminuer le nombre de murs anti-bruit et avoir un contexte urbain cohérent et confortable. Les stratégies peuvent avoir un impact sur la spatialité, l'expression ou la matérialité du bâtiment. La prise en compte de la nuisance sonore dès les premières réflexions, sa connaissance et l'appropriation des principes permettent d'obtenir des projets qui ne subissent pas le bruit mais qui s'en servent pour être sublimés.

La densification de la ville avec la prise en compte des enjeux acoustiques est un vaste terrain de jeu sur lequel les architectes n'ont pas fini de jouer.

BIBLIOGRAPHIE

Livres

- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT DIVISION ACOUSTIQUE.
Etude des modes de protection phonique aux abords des voies rapides urbaines: rapport de fin d'étude, 1er juillet 1969. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1969.
- DUVOISIN, PIERRE, JEAN-LUC ISELI, ET RODOLPHE KASSER. Merveilleux Yverdon-les-Bains. Lausanne: Ed. du Grand-Pont, 1987.
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT.
Cangement climatique 2021 Les bases scientifiques physiques Résumé à l'intention des décideurs. Suisse: GIEC, 2021.
- HAMAYON, LOÏC. Réussir l'acoustique d'un bâtiment: conception architecturale, isolation et correction acoustiques. 3e éd. Moniteur référence technique. Paris: Le Moniteur, 2013.
- HERZIG, HENRI. Le vieil Yverdon raconté par la carte postale (1890-1920). Yverdon: Ed. du Faubourg de la Croix-Blanche, 1976.
- MATHYS, ERNST. Hundert Jahre Schweizerbahnen: historisch und technisch dargestellt : 1841-1941 = Les chemins de fer suisses au cours d'un siècle : aperçu historique et technique. 2. Aufl. Bern: Mathys, 1943.
- MEISSER, MATHIAS. L'acoustique du bâtiment par l'exemple: 50 cas concrets d'isolation et de correction dans le neuf et l'ancien. Moniteur technique. Paris: Le Moniteur, 1983.
- PRIMATESTA, ALAIN. Ces merveilleux petits chemins de fer suisses. Genève: Mythraz, 2009.
- RAPIN, JEAN-MARIE. L'acoustique du bâtiment: manuel professionnel d'entretien et de réhabilitation. Paris: Eyrolles, 2017.
- SCHAFFER, RAYMOND MURRAY. Le paysage sonore. Musiques et musiciens. Paris: J.-C. Lattès, 1979.
- SCHIRMER, KAROLINE. Stadtlandschaft als akustische Kulturlandschaft – ein verkanntes Kulturerbe = La ville bruyante comme paysage culturel acoustique – un patrimoine culturel méconnu. Romanice Bd. 29. Berlin: Weidler Buchverlag, 2013.
- STRAUSS, MAX, M. REINHEIMER, ET SCHWEIZERISCHE BUNDESBAHNEN. CFF, électrification achevée. Berne: CFF, 1960.

Articles

- ACHARD, G., G. SAUCE, ET M. KARROUM. « Les aspects acoustiques lors de la conception des bâtiments ». *Le Journal de Physique IV* 04, no C5 (mai 1994): C5-163-C5-166. <https://doi.org/10.1051/jp4:1994530>.
- AMPHOUX, PASCAL. « Évolution des modes de vie et prospective de l'habiter sonore ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 1 janvier 1990. <https://doi.org/10.5169/SEALS-129053>.
- AUGOYARD, JEAN-FRANÇOIS. « Qualité sonore des espaces publics ou privés : Multiexposition et Multinuissances ». *Acoustique et Techniques*, no 14 (1991): 6-7. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02104002>.
- AZKORRA, Z., G. PÉREZ, J. COMA, L.F. CABEZA, S. BURES, J.E. ÁLVARO, A. ERKOREKA, ET M. URRESTARAZU. « Evaluation of Green Walls as a Passive Acoustic Insulation System for Buildings ». *Applied Acoustics* 89 (mars 2015): 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>.
- BAIROCH, PAUL. « Les spécificités des chemins de fer suisses des origines à nos jours ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 1989. <https://doi.org/10.5169/SEALS-81008>.
- BALAY, OLIVIER. « Les chorographies de l'urbanité sonore ». *Géocarrefour* 78, no 2 (1 avril 2003): 159-65. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.253>.
- BÄRTSCHI, HANS-PETER. DUBLER, ANNE-MARIE. « Chemins de fer », *Dictionnaire historique de la Suisse (DHS)*, version du 11.02.2015, traduit de l'allemand. Online: <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007961/2015-02-11/>, consulté le 25.12.2022.
- BAUKULTUR-LAERM. « Akustik-Einmaleins für Architektinnen und Architekten », s. d., 7.
- . « Akustische Qualität und Stadtklima », s. d., 2.
- . « Denkmalschutz und Lärmschutz », s. d., 3.
- . « Grundlagen zur Lärmschutzgesetzgebung », s. d., 3.
- . « Grundwissen zu gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm », s. d., 2.
- . « Lärmschutz im Architekturwettbewerb », s. d., 3.
- . « PLANUNGSHILFE LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN », s. d., 6.
- . « Schalldämmanforderungen nach SIA-Norm 18 », s. d., 2.
- BEN HADJ SALEM, MOHSEN, ET CHIRAZ CHTARA. « Le paysage sonore comme

révéléateur de l'esprit du lieu : une sécrétion latente ». *Vertigo* : la revue électronique en sciences de l'environnement 18, no 3 (2018). <https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2014-v14-n1-vertigo04929/1065303ar/>.

BOHANNON, JOHN. « Major European Cities Are Quietly Missing Antinoise Deadline ». *Science* 321, no 5886 (2008): 189-189. <https://www.jstor.org/stable/20054455>.

BRAND, PATRICIA. « Fabriquer le vêtement au XVIIe siècle : l'exemple d'une manufacture de laine à Yverdon ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 2015. <https://doi.org/10.5169/SEALS-847129>.

BRAUNE, BERNARD. « Les possibilités techniques d'une insonorisation active et passive ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 7 février 1990. <https://doi.org/10.5169/SEALS-77244>.

BÜHLMANN, LUKAS, ANNEMARIE STRAUMANN, ET SONIA BLIND. « Densification et protection contre le bruit ». Traduit par Léo Biétry, VLP-ASPAN, 1/2015 (février).

CHATELAIN, MARC. « Évolution des transports urbains en 50 ans en Suisse romande ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 24 septembre 1955. <https://doi.org/10.5169/SEALS-61362>.

CHAUDOIR, PHILIPPE. « Spectacles, fêtes et sons urbains ». *Géocarrefour* 78, no 2 (1 avril 2003): 167-72. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.265>.

DEFRANCE, JÉRÔME, PHILIPPE JEAN, ET NICOLAS BARRIÈRE. « Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ? » *Santé Publique* S1, no HS1 (2019): 187-95. <https://doi.org/10.3917/spub.190.0187>.

DORAND, JEAN-PIERRE. « Histoire, économie et société, (Paris) n° 1, 1992 "Les transports terrestres en Europe continentale (XIXe et XXe siècles)" ». *Schweizerische Zeitschrift für Geschichte = Revue suisse d'histoire = Rivista storica svizzera* Histoire, économie et société, no 1 (Paris 1992).

EMERY, DANIEL. « Évolution des temps de voyage et des vitesses en Suisse ». *Revue d'histoire des chemins de fer*, no 42-43 (1 septembre 2012): 191-99. <https://doi.org/10.4000/rhcf.1552>.

FOWLER, MICHAEL D. « Soundscape as a Design Strategy for Landscape Architectural Praxis ». *Design Studies* 34, no 1 (1 janvier 2013): 111-28. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.06.001>.

FRONTCZAK, M., S. SCHIAVON, J. GOINS, E. ARENS, H. ZHANG, ET P. WARGOCKI. « Quantitative Relationships between Occupant Satisfaction and Satisfaction Aspects of Indoor Environmental Quality and Building Design ». *Indoor Air* 22, no 2 (2012): 119-31. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00745.x>.

GASTBERGER, THOMAS, ET LEITER LÄRMBEKÄMPFUNG. « Lärmschutz im Architektur-wettbewerb », 2019, 4.

GEISLER, ELISE. « Vers une qualité sonore des espaces publics », décembre 2018. www.projetsdepaysage.fr.

GISLER-JAUCH, ROLF. « Automobile ». *Dictionnaire historique de la Suisse (DHS)*, version du 21.01.2015, traduit de l'allemand. Online: <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/013901/2015-01-21/>, consulté le 28.12.2022.

KOHUT, TOM. « Noise Pollution and the Eco-Politics of Sound: Toxicity, Nature and Culture in the Contemporary Soundscape ». *Leonardo Music Journal* 25 (2015): 5-8. <https://www.jstor.org/stable/43832520>.

LAFON, JEANNE. « Esthétiques sonores et transsensorielles du rapport à la ville dans les parcs et jardins urbains ». *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, no 14 (14 juillet 2016). <https://doi.org/10.4000/paysage.8273>.

LAMANTIA, FRÉDÉRIC. « Les effets "territorialisants" des sons, reflets de la société en ses lieux et de ses états d'âme ». *Géocarrefour* 78, no 2 (1 avril 2003): 173-75. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.281>.

MAAG, TROND, TAMARA KOCAN, ET ANDRES BOSSHARD. « Pour une qualité acoustique des espaces publics et résidentiels urbains », juillet 2016.

MAKOPA KENDA, ISRAEL, MOHAMED AGOUB, ET A.O.T. AHAMI. « Les effets du bruit sur la santé mentale : recension des écrits ». *Santé mentale au Québec* 39, no 2 (15 décembre 2014): 169-81. <https://doi.org/10.7202/1027838ar>.

MOM, GIJS. « Schweizerische Zeitschrift Für Geschichte/Revue Suisse d'histoire/Rivista Storica Svizzera » 28, no 1 (2007): 129-31. <https://www.proquest.com/docview/196622488/citation/F7E3CC66998A4E12PQ/1>.

MONTÈS, CHRISTIAN. « La ville, le bruit et le son, entre mesure policière et identités urbaines ». *Géocarrefour* 78, no 2 (1 avril 2003): 91-94. <https://journals.openedition.org/geocarrefour/168>.

PECQUEUX, ANTHONY. « Le son des choses, les bruits de la ville ». *Communications* 90, no 1 (2012): 5-16. <https://doi.org/10.3917/commu.090.0005>.

PROBST-HENSCH, NICOLE. « L'étude SIRENE ». 2019 19:0506 19, no 0506 (30 janvier 2019): 77-82. <https://medicalforum.ch/fr/detail/doi/fms.2019.03433>.

S. N. « La liaison Rhône-Rhin par la Suisse ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 21 mai 1966. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68370>.

- SAULNIER, NATALIA, ET CHRISTINE ZANIN. « Le bruit comme facteur de nuisance à la qualité de la vie du citoyen ». *Géocarrefour* 78, no 2 (1 avril 2003): 121-28. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.197>.
- SCHLOSSBERG, GESCHÄFTSHAUS. « Schlossberg Mixed-Use Building », s. d., 18.
- SCHNEIDER, HANSPETER. « ViaStoria : l'approche du paysage ferroviaire par la recherche et la promotion touristique en Suisse ». *Revue d'histoire des chemins de fer*, no 32-33 (1 novembre 2005): 51-68. <https://doi.org/10.4000/rhcf.563>.
- SNCF RÉSEAU - FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT. « Le bruit ferroviaire en questions & réponses », décembre 2018, 40.
- STRYJENSKI, JEAN. « Atténuation du bruit par des espaces intermédiaires: les loggias ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 23 août 1989. <https://doi.org/10.5169/SEALS-76983>.
- TISSOT, LAURENT. « Histoire de l'électricité En Suisse: La Dynamique d'un Petit Pays Européen 1875-1939 » 22, no 2 (2001): 163. <https://www.proquest.com/docview/196620650/citation/C234BE0C744342DCPQ/1>.
- . « Les chemins de fer en Suisse au XIXe siècle : état des lieux ». *Revue d'histoire des chemins de fer*, no 42-43 (1 septembre 2012): 67-90. <https://doi.org/10.4000/rhcf.1534>.
- . « Transports publics au 20e siècle ». *Text/html,application/pdf,text/html*, 2010. <https://doi.org/10.5169/SEALS-871771>.
- TROND MAAG, ANDRES BOSSHARD. « Frag die Fledermaus: Fünf Werkzeugkästen zur Klangraumgestaltung ». *Lärminfo* 19 (s. d.).
- VARDAXIS, NIKOLAOS-GEORGIOS, DELPHINE BARD, ET KERSTIN PERSSON WAYE. « Review of Acoustic Comfort Evaluation in Dwellings—Part I: Associations of Acoustic Field Data to Subjective Responses from Building Surveys ». *Building Acoustics* 25, no 2 (juin 2018): 151-70. <https://doi.org/10.1177/1351010X18762687>.

Sites internet

ARE, OFFICE FÉDÉRAL DU DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL. « Évolutions relatives au transport de marchandises ». Consulté le 25 novembre 2022. <https://www.are.admin.ch/are/fr/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven2050/entwicklungen-guterverkehr.html>.

HLS-DHS-DSS.CH. « Chemins de fer ». Consulté le 25 décembre 2022. <https://hls-dhs-dss.ch/articles/007961/2015-02-11/>.

MINERGIE. « ECO ». Consulté le 29 décembre 2022. <https://www.minergie.ch/fr/certification/eco/>.

FERRARI-ARCHITECTES. « Ferrari Architectes | Parc du Simplon | Bureau d'architecture, Lausanne - Architecte - Logement - Rénovation - Transformation - Urbanisme ». Consulté le 17 novembre 2022. <https://www.ferrari-architectes.ch/portfolio/entrepots-cff>.

ARCHDAILY. « Gallery of Maison Des Etudiants / Lacroix Chessex - 35 ». Consulté le 26 juillet 2022. <https://www.archdaily.com/448436/maison-des-etudiants-lacroix-chessex/52841173e8e44e22250000de-maison-des-etudiants-lacroix-chessex-floor-plan>.

DIVISARE. « Lacroix Chessex, Radek Brunecky · IHEID Maison Des Étudiants ». Consulté le 26 juillet 2022. <https://divisare.com/projects/236279-lacroix-chessex-radek-brunecky-iheid-maison-des-etudiants>.

LUZERN, VERKEHRSHAUS DER SCHWEIZ, 6006. « L'électrification du rail ». Consulté le 1 janvier 2023. <https://www.verkehrshaus.ch/fr/magazine/lelectrification-du-rail.html>.

ARCHDAILY. « Maison Des Etudiants / Lacroix Chessex », 15 novembre 2013. <https://www.archdaily.com/448436/maison-des-etudiants-lacroix-chessex>.

LECLANCHÉ. « Notre Histoire ». Consulté le 22 décembre 2022. <https://www.leclanche.com/fr/a-propos-de-nous/notre-histoire/>.

CARGO SOUS TERRAIN. « Qu'est-ce que CST? » Consulté le 25 novembre 2022. <https://www.cst.ch/was-ist-cst/>.

OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE. « Bilan de la population résidante permanente, de 1861 à 2021 - 1861-2021 | Tableau ». Office fédéral de la statistique, 25 août 2022. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/23064761>.

———. « Bilan de la population résidante permanente par canton, de 1991 à 2021 - 1991-2021 | Tableau ». Office fédéral de la statistique, 25 août 2022. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/23064807>.

- . « Le réseau des différents modes de transport - 1950-2022 | Tableau ». Office fédéral de la statistique, 28 septembre 2022. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/23226408>.
- . « Scénarios pour la Suisse ». Consulté le 9 novembre 2022. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/bevoelkerung/zukunftige-entwicklung/schweiz-szenarien.html>.
- . « Statistiques des villes suisses ». Consulté le 17 novembre 2022. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen/uebersichtsdarstellungen/statistik-schweizer-staedte.html>.
- . « Utilisation et couverture du sol ». Consulté le 1 janvier 2023. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung.html>.
- GEO.ADMIN.CH. « Swiss Geoportal ». Consulté le 8 octobre 2022. <https://map.geo.admin.ch>.
- SWISSCOMMUNITY. « Les trains suisses forment le réseau le plus dense au monde ». Consulté le 03 janvier 2023. <https://www.swisscommunity.org/fr/nouvelles-et-medias/revue-suisse/article/les-trains-suisses-forment-le-reseau-le-plus-dense-au-monde>.
- WEIL, JULIEN. « Le bureau d'architectes Aeby Perneger et Associés primé pour l'élaboration du Quartier des Halles à Morges. » CFF Immobilier, 6 août 2021. <https://sbb-immobilien.ch/fr/story/le-bureau-darchitectes-aeby-perneger-et-associes-prime-pour-l-elaboration-du-quartier-des-halles-a-morges/>.
- WWW.BFMAG.CH, BÜRO FÜR MOBILITÄT AG. « Calculateur en ligne v2.0 ». mobitool. Consulté le 27 novembre 2022. <https://www.mobitool.ch/fr/outils/calculateur-en-ligne-v2-0-15.html>.
- ZUERICH, ETH-BIBLIOTHEK. « L'énergie de pointe et l'exportation/ Évolution des transports urbains en 50 ans en Suisse romande ». E-Periodica. Consulté le 19 novembre 2022. <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-002%3A1955%3A81%3A%3A1104>.
- « baukultur-laerm.ch – Baukultur Lärm ». Consulté le 16 juillet 2022. <https://baukultur-laerm.ch/>.
- « Bons exemples – baukultur-laerm.ch ». Consulté le 8 octobre 2022. <https://baukultur-laerm.ch/gute-beispiele/>.
- « Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change ». Consulté le 27 décembre 2022. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.
- « Historique | CFF ». Consulté le 19 novembre 2022. <https://company.sbb.ch/fr/entreprise/profil/historique.html>.

- « Home ». Consulté le 1 janvier 2023. <http://www.adrianstreich.ch/>.
- CFF Immobilier. « Immobilier au cœur de la mobilité. » Consulté le 17 novembre 2022. <https://sbb-immobilien.ch/fr/>.
- « LACROIX CHESSEX - 022_iHEiD ». Consulté le 26 juillet 2022. http://www.lacroixchessex.ch/fre/projet/022_iheid/images.
- « Protection contre le bruit | CFF ». Consulté le 8 janvier 2023. <https://company.sbb.ch/fr/entreprise/responsabilites/developpement-durable/protection-de-l-environnement/protection-contre-le-bruit.html>.
- « Protection contre le bruit – baukultur-laerm.ch ». Consulté le 8 octobre 2022. <https://baukultur-laerm.ch/laermschutz/>.
- « Rapport trimestriel des chemins de fer 3|2022 : Le trafic voyageurs s'est repris, le trafic marchandises est à un niveau élevé et la demande de sillons-kilomètres établit un record ». Consulté le 26 novembre 2022. <https://litra.ch/fr/publication/rapport-trimestriel-des-chemins-de-fer-32022/>.
- « RS 101 - Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999 ». Consulté le 19 novembre 2022. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1999/404/fr#tit_3/chap_2/sec_4.
- « RS 742.144 - Loi fédérale du 24 mars 2000 sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (LBCF) ». Consulté le 19 novembre 2022. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2000/342/fr>.
- « RS 742.144.1 - Ordonnance du 4 décembre 2015 sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (OBCF) ». Consulté le 1 janvier 2023. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/890/fr>.
- « RS 814.01 - Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE) ». Consulté le 1 janvier 2023. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1984/1122_1122_1122/fr.
- « RS 814.41 - Ordonnance du 15 décembre 1986 sur la protection contre le bruit (OPB) ». Consulté le 19 novembre 2022. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1987/338_338_338/fr.
- « SAB_Quartier des Halles_Morges | Aeby Perneger ». Consulté le 17 novembre 2022. <https://www.aeby-perneger.ch/projects/quartier-des-halles-morges-gare-sud/>.
- « Schlossberg Baden ». Consulté le 5 janvier 2023. <https://www.bde.ch/projekte/schlossberg-baden>.

Autres

MINERGIE, « 1.5 ME-ECO ONLINE 2020, NOUVELLES CONSTRUCTIONS HAB. COLLECTIF, 4 OCTOBRE 2022 », 2020.

6T-BUREAU DE RECHERCHE. « La répartition modale du transport de voyageurs en Suisse - synthèse et enjeux pour les transports publics. », 2019.

BELDI, ORFEO, BERNHARD ADAMEK, ET UELI STÜCKELBERGER. « Faits et arguments concernant les transports publics suisses ». Union des transports publics, 2022.

CONFÉRENCE DES TRANSPORTS DE SUISSE OCCIDENTALE. « La Suisse occidentale doit prendre le bon train ! », 2018.

FROCHAUX, MARC. « Moins de bruit? Non, plus de son! | Espazium », 18 janvier 2017. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/moins-de-bruit-non-plus-de-son>.

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. « Changement climatique 2021 Les bases scientifiques physiques Résumé à l'intention des décideurs. » Suisse: GIEC, 2021.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. « Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change » [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers. « Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change » [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.

HUMM, OTHMAR, CHRISTINE SIDLER, ET FAKTOR JOURNALISTEN AG. « Perspectives d'évolution du transport 2040 ». Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral du développement territorial ARE, août 2016.

LAROUSSE, ÉDITIONS. « Définitions : bruit - Dictionnaire de français Larousse ». Consulté

le 25 juillet 2022. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/bruit/11476>.

———. « Définitions : son - Dictionnaire de français Larousse ». Consulté le 25 juillet 2022. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/son/73436>.

LITRA. « Les transports en chiffres ». LITRA, s. d.

MARK, KATRIN, HEIKE ZEIFANG, SARAH ACKERMANN, ET FABIAN KASTNER. « Guide STANDARDS ET LABELS DE LA CONSTRUCTION DURABLE EN SUISSE ». Réseau Construction durable Suisse NNBS, novembre 2021.

OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE. « Mobilité et transports », 2021, 13.

OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE (OFS). « Monitoring des scénarios de l'évolution de la population de la Suisse 2020-2050 ». Office fédéral de la statistique (OFS), Neuchâtel 2022.

SCHLOSSBERG, GESCHÄFTSHAUS. « Schlossberg Mixed-Use Building », s. d., 18.

SCHÜTZ, NADINE. « La dimension acoustique dans l'enseignement du paysage Propos recueillis par Marc Frochoux | Espazium », 18 janvier 2017. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/la-dimension-acoustique-dans-lenseignement-du-paysage>.

Normes SIA 181, 2020.

SOLDATA ACOUSTIC. « Guide pour la prise en compte du bruit lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments ». Service Communication Pold, octobre 2016

