

Les Oubliés Capables

L'énergie embarquée dans le territoire, moteur du projet urbain

Énoncé théorique
École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Paul Trelu

Prof. Corentin Fivet
Professeur d'énoncé théorique

Prof. Paola Vigano
Directrice pédagogique

Tommaso Pietropolli
Maître EPFL

Janvier 2021

Je tiens à remercier toute l'équipe de suivi de ce travail, pour leur disponibilité et leur avis experts. Les rencontres périodiques avec le Professeur Fivet et la Professeure Vigano, ont permis de guider et nourrir les recherches effectuées. Un remerciement particulier à Tommaso Pietropolli pour ses conseils au moment de traduire les idées discutées, dans le travail qui suit.

Merci à Célia Küpfer pour les échanges qui m'ont beaucoup aidé à guider le travail dans ses débuts.

Je tiens également à remercier pour les entretiens, Noé Basch (Mobius Réemploi), Justine Emringer (Plaine Commune, Grand Paris), et Ian McCall (Losinger Marazzi) pour les nombreux échanges ainsi que la visite de l'initiative réemploi à la Caserne des Vernets.

Merci à ma famille pour les relectures et leur soutien, à mes amis pour les échanges au cours de ce semestre.

1	<u>Introduction</u>	7
	Contexte du projet urbain contemporain	11
2	<u>Transition énergétique dans le bâtiment</u>	
	Energie embarquées et énergies opérationnelles	17
	Gestion des matériaux, notion de déchet	19
	Maintenance et circulation de la matière	22
3	<u>Freins à la conservation de la matière</u>	
	Evolution ou révolution	25
	Cas d'études	27
	Exigences fonctionnelles du bâtiment	54
4	<u>La structure en continu</u>	
	Les différentes couches du bâtiment	59
	Maintenance des structures	61
	Limites et applications	63
	Energie du territoire	66
5	<u>Recherche d'un territoire adaptable</u>	73
	Quelle valeur d'aménagement ?	74
	Conclusion	76
	Bibliographie	78

Contexte

Ce travail est consacré à la question des développements urbains, de l'impact environnemental de notre pratique actuelle, en prenant comme cas d'étude un projet urbain dans le canton de Genève. En vue de la réduction de notre consommation d'énergie embarquée, l'objectif est de redéfinir l'approche projectuelle pour le développement de ce territoire.

Deux chiffres renseignent sur l'impact environnemental du secteur de la construction. Premièrement, les émissions de gaz à effet de serre en phase opérationnelle des bâtiments s'élèvent à 28% du montant émis globalement. En parallèle, 11% des émissions globales sont issues des énergies embarquées dans les bâtiments, émises lors de la construction et la déconstruction de ceux-ci (International Energy Agency and the United Nations Environment Programme, 2018, p.11). Ces mêmes processus amènent le secteur de la construction à Genève 70% des déchets totaux (DETA, DGE et GESDEC, 2018, p.2). Les énergies embarquées et les déchets de chantier sont émis au moment où l'on reconstruit un bâtiment, pour réduire ses émissions opérationnelles ou pour le développement de la ville. Le projet contemporain dans les villes européennes amène les développements urbains à construire sur un territoire déjà largement bâti. Ce sont spécifiquement ces territoires qui nous invitent à considérer la question des énergies embarquées. Durant les dernières décennies la concentration des efforts sur la diminution des énergies opérationnelles a permis des progrès majeurs dans ce domaine. En revanche, les méthodes de construction et de déconstruction du bâtiment évoluent peu, malgré la grande responsabilité du secteur de la construction sur l'extraction des ressources, la production de déchets, et sa consommation énergétique. La transition écologique demandée aux villes nécessite une vision plus globale des émissions de gaz à effet de serre afin de concilier ses perspectives de croissances et ses impératifs environnementaux.

La question centrale est celle d'une société qui évolue plus rapidement que les bâtiments qu'elle construit. Le coût des matériaux et de la démolition sur le marché favorisent un renouvellement rapide du tissu urbain, donc une proportion élevée d'énergie embarquée dans le cycle de vie du bâtiment. Les acteurs en début et en fin de vie des bâtiments sont les propriétaires immobiliers, les autorités et les entreprises de construction. La pratique est grandement influencée par des considérations économiques, encore fixée aujourd'hui sur une production linéaire du bâti. La rapide évolution de notre utilisation du territoire rend incompatible l'utilisation intergénérationnelle des bâtiments, et donc une optimisation de l'investissement énergétique effectué lors de la construction.

En Suisse, les labels écologiques qui visent à favoriser

cette transition sont peu nombreux à considérer le bilan en énergie grise d'un bâtiment. Dans la construction, ceci est un frein pour le développement d'opérations de réemploi ou de transformation de l'existant, au profit des constructions neuves qui restent avantageuses économiquement. La Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA) a publié en 2010 le rapport *L'énergie grise – Établissement du bilan écologique pour la construction de bâtiments* (Pfäffli et Klingler, 2020) qui souligne l'importance grandissante des énergies embarquées dans le bâti dans la transition écologique du secteur de la construction.

Cette étude sur les énergies embarquées nous incite à regarder le territoire comme un réservoir d'énergie, qu'il est possible de valoriser, avec lequel nous pouvons construire la ville. Il est important de pouvoir lire la quantité d'énergie dépensée pour construire le territoire sur lequel nous travaillons, afin de réaliser le coût environnemental que son renouvellement engendrerait. La question est hautement contemporaine. Elle demande de projeter la stabilité présente et future de nos constructions, en cherchant des outils et des leçons dans les constructions passées. Les modèles de développement urbains qui ont bâti nos territoires étaient guidés par des questions de morphologies urbaines, de relation à la ville existante et des nouveaux usages demandés aux bâtiments. Les développements contemporains sont guidés par les mêmes questions culturelles et architecturales mais dans un contexte bâti auquel il faut pouvoir s'adapter pour les raisons environnementales que l'on évoque, mais également sociales et culturelles.

L'évolution de ces territoires bâti a dans un premier temps conduit à des renouvellements complets dans la lignée d'une approche *tabula rasa* du site existant. La réponse actuelle à la gestion des ressources et d'émissions de déchets qu'imposent les cycles de renouvellement urbains est le recyclage d'une partie de la matière issue des démolitions. Cette réponse s'inscrit dans une logique de construction linéaire dite *from cradle to grave* de la matière et de l'énergie qu'elle contient. Le manifeste de William McDonough et Michael Braungart *Cradle to Cradle* (Braungart et McDonough, 2002), nous amène à reconsidérer les cycles de vie des matériaux que l'on imagine rarement comme déchets au moment de leur conception et de leur construction.

La question originale que posait ce travail était celle du réemploi des matériaux dans le cadre des grands projets urbains genevois. Au cours des recherches, nous avons vu que le réemploi présupposait transformation ou démolition du bâti. Le sujet de l'étude s'est dirigé sur les processus préliminaires de la démolition du bâti, afin d'identifier les enjeux de la préservation de l'énergie embarquée dans le périmètre d'un projet urbain.

Objectifs

Ce travail questionne la manière dont le projet urbain et architectural contemporain exploite son environnement bâti. Solidement ancrés dans le secteur de la construction, les projets neufs sont aujourd'hui synonymes de démolition, d'une vision vierge de la parcelle au moment du projet. L'objectif de ce travail est de souligner l'impact environnemental de cette approche afin de proposer un nouveau regard sur le bâti qui permette un projet urbain plus résilient.

Plan

La première partie du travail décrit et identifie les enjeux du territoire sujet de l'étude, l'agglomération franco-valdo-genevoise, dite Grand Genève. Elle situe le projet urbain sujet de l'étude, et le bâti qui le caractérise. La description est révélatrice d'un tissu urbain existant, aujourd'hui contraint d'évoluer face à la densification nécessaire de la ville.

Au regard de ce contexte existant, la deuxième partie décrit les enjeux environnementaux des projets de renouvellement urbains. Face à la nécessité d'une transition énergétique du secteur de la construction, il oriente sur la considération des énergies embarquées. Le chapitre identifie une nouvelle considération de la matière comme potentiel de réforme de la construction.

La troisième partie porte un regard sur le territoire analysé, afin d'identifier les limites des opérations de maintenance de la matière. Par l'étude de quatre bâtiments en instance de démolition, nous relevons les motivations économiques et fonctionnelles qui mènent à considérer aujourd'hui la construction neuve.

La quatrième partie propose un cadre pour le projet architectural, elle amène à reconsidérer notre vision du bâtiment. Elle souligne que l'évolution du territoire doit s'abstraire de la lecture d'un bâtiment unitaire pour considérer la décomposition de ces éléments au regard de leur énergie embarquée, de leur durée de vie et du potentiel de développement qu'ils offrent. La cohérence architecturale de ce discours est confrontée à des références construites, des opérations spontanées, afin de pouvoir projeter de telles approches à l'échelle urbaine.

La cinquième partie confronte la pratique actuelle du projet urbain étudié. Elle inclut la dimension verticale et matérielle à la lecture contemporaine du territoire, qui se développe autour d'infrastructures fortes pour construire de nouveaux quartiers.

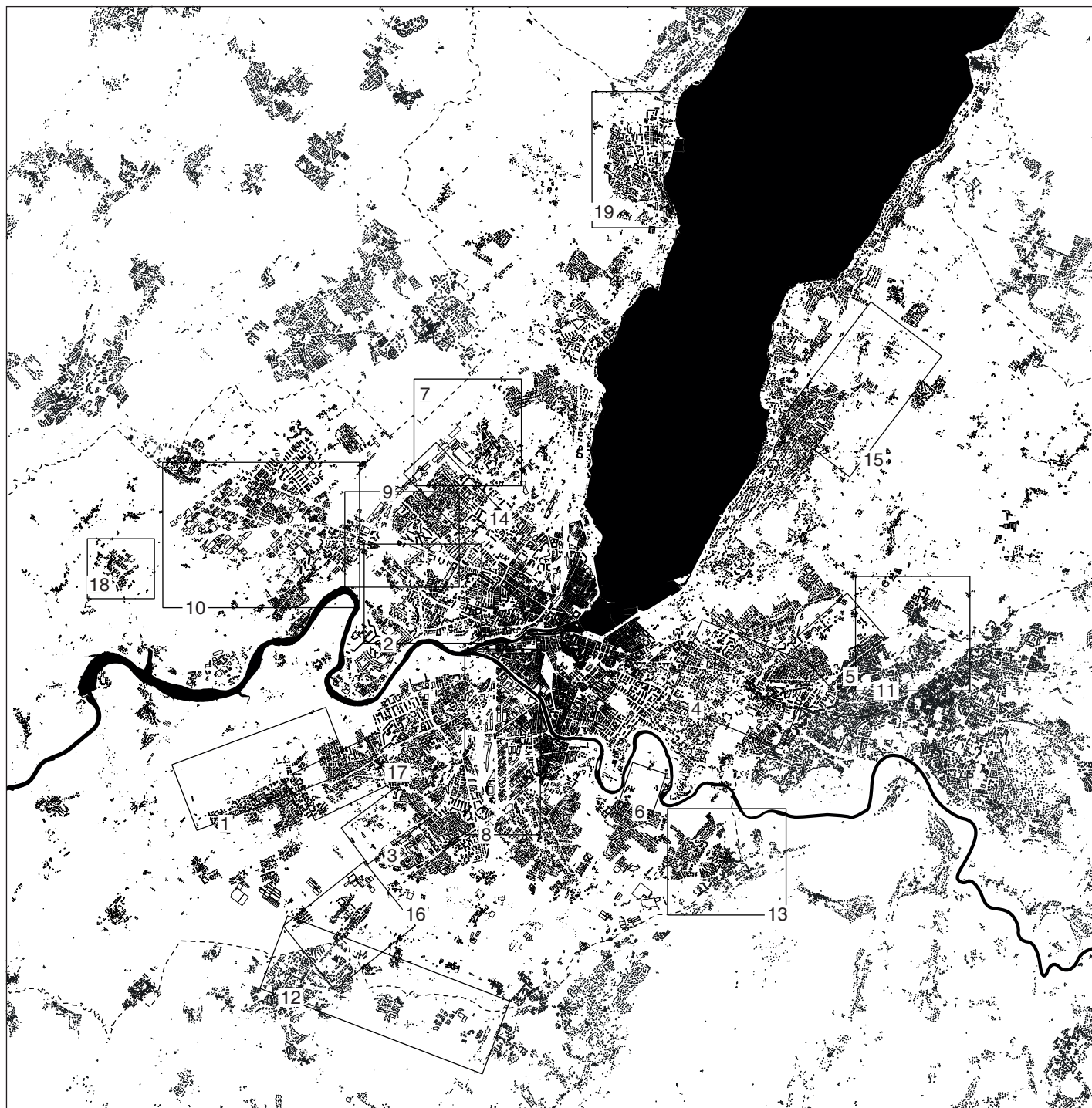


fig. 1

Carte des Grands Projets Genevois

Prioritaires

- 1 Bernex
- 2 Châtelaine
- 3 Cherpines
- 4 Chêne-Bourg
- 5 Communaux d'Ambilly
- 6 Grands Esserts
- 7 Grand Saconnex
- 8 Praille-Acacias-Vernets
- 9 Vernier-Meyrin-Aéroport
- 10 ZIMEYSAVER

Non prioritaires

- 14 Mail Sud-Aéroport
- 15 Pallanterie
- 16 Perly-Certoux
- 17 Route de Chancy
- 18 Satigny
- 19 Versoix

Transfrontaliers

- 11 Puplinge - Gare d'Annemasse
- 12 Saint-Julien - Bardonnex
- 13 Veyrier - Etrembières

10km

L'agglomération du Grand Genève

Le cadre de l'étude s'inscrit dans l'agglomération du Grand Genève. Le cœur de l'agglomération, la ville de Genève et ses communes périphériques, sont enclavées entre la frontière avec la France et le lac Léman. Ce contexte géographique et transfrontalier complexifie la gestion politique et sociale des différents projets urbains sur le territoire.

L'agglomération connaît l'une des dynamiques démographiques les plus fortes d'Europe, avec une hausse de 40% de la population par rapport à 1990, pour atteindre environ un million d'habitants en 2015 (Antoine et al., 2016, p.31). Alors que le canton - et encore plus la ville - de Genève sont dans l'incapacité de fournir suffisamment de logements, cette forte croissance résulte en une expansion rapide du territoire urbanisé dans les zones périphériques. Le projet "Grand Genève, agglomération franco-valdo-genevoise" a pour but d'organiser ce territoire et les différents sous projets urbains, afin de répartir plus équitablement l'offre en logement et en nouveaux emplois entre la France et le canton de Genève.

Dans les faits, entre 2006 et 2012, les tendances de croissance démographique et de création d'emplois de chaque côté de la frontière se sont avérées plus prononcées que dans les études préliminaires. Cette évolution témoigne avant tout de la spécialisation des différents territoires. La production de logements est largement inférieure aux

objectifs dans le canton de Genève, quand à l'inverse les territoires français construisent toujours plus de logements. Dans le même temps, la croissance des emplois est nettement plus forte qu'envisagée dans la partie suisse, le canton de Genève et le district de Nyon, et très faible du côté français (Antoine et al., 2016, p.40). Cette difficulté à prédire et planifier l'évolution de l'agglomération du Grand Genève démontre la complexité d'un projet transfrontalier, quand les facteurs économiques et fonciers sont prépondérants dans le développement territorial. La résilience de l'agglomération et de ces sous-territoires dépend fortement de notre capacité à répartir les logements et les emplois de manière plus homogène pour ainsi réduire la dépendance de l'agglomération à son cœur.

Du côté suisse, le canton de Genève enregistre une des plus fortes croissance démographique de son histoire, mais ne parvient toujours pas à construire suffisamment de logements (Antoine et al., 2016, p.40). Ainsi, Genève est l'un des quatre cantons suisse à avoir un taux de vacance en dessous de 1% (Cherpillod, 2019), et possède les prix immobiliers les plus élevés de Suisse. Dans la perspective de produire rapidement une quantité significative de logements, le canton a identifié dix "grands projets" à développer à l'horizon 2030, et 2050 pour les plus grands projets. Parmi ces dix projets, celui de Praille-Acacias-Vernets possède le plus grand potentiel de densification et est idéalement positionné par rapport au centre-ville de Genève.

Extension de la ville au XXe siècle

La zone du projet Praille-Acacias-Vernet est une ancienne plaine marécageuse en périphérie de la ville de Genève, au sud de la plaine de Plainpalais, qui est coupée du centre par la rivière de l'Arve qui a longtemps empêché le développement du site. Cette rive de l'Arve est construite à partir de la ville de Carouge, qui est intégrée au canton de Genève en 1816. Les débuts de l'industrialisation marquent le développement des axes de circulation et des ponts qui favorisent l'intégration de la plaine à la ville de Genève. En 1912, la Confédération, les CFF, et le Canton de Genève annoncent la construction d'une nouvelle gare marchande à la Praille (Frommel et Arikok, 2006, p.42). Cette décision libère la gare Cornavin de ses fonctions marchandes et les déplace dans la future zone industrielle. La réalisation de ce projet ferroviaire nécessite l'assainissement et le contrôle des terrains de la majorité de la plaine, afin de garantir la faisabilité du projet et empêcher la spéculation sur cette zone. Ainsi, dès 1919 les terrains sont achetés par la Confédération, les CFF et le Canton.

Les travaux d'assainissements débutent en 1935 et durent 15 ans, pour finalement pouvoir joindre la gare de marchandise et de triage et débiter la construction des bâtiments. La place de la gare est construite jusqu'en 1960 et marquée par des bâtiments d'envergure tels que la tour CFF, le silo de la Praille (1957) et les entrepôts des Ports Francs (1968). Au terme des travaux d'assainissements, les terrains nécessaires au fonctionnement de la gare et de ses installations sont cédés aux CFF. Les terrains industriels sont rachetés par le canton et gérés par la Fondation pour les terrains industriels Praille-Acacias (FIPA), créée en 1958. Dès 1963, les premières entreprises s'installent, sur les terrains mis à disposition par la FIPA, et sont soumises au régime du droit de superficie, avec une durée du droit de 90 ans, renouvelables par période de 30 ans (Frommel et Arikok, 2006, p.59).

En marge du site, la Ville de Genève se réserve la frange parallèle à l'Arve pour y construire des équipements publics, tels que la patinoire (1957), la piscine (1968), et la caserne des Vernets (1958).

Un recensement et une étude historique ont été effectués dans le cadre de l'étude du développement du secteur Praille-Acacias-Vernets. Le rapport renseigne sur l'intérêt que présente certains bâtiments directement hérités de cette histoire industrielle du site.

Renouvellement urbain

Si le rapport souligne l'héritage architectural que cette période industrielle laisse à la zone Praille-Acacias-Vernets, il nous montre également un cadre légal et foncier singulier dans le canton, puisque 85% du périmètre considéré est détenu par des propriétaires publics (Cramer



fig. 2

et al., 2007, p.3). Ce cadre permet aux autorités d'envisager dans sa globalité le développement de la zone de 232 hectares.

Ce site à la périphérie de la ville, qui a été relié à celle-ci grâce à la construction d'importantes infrastructures, est utilisé comme une réserve foncière par le canton pour la façonner comme un outil de développement économique de la région. Si Genève imaginait son avenir à la fin du XIXe comme un important nœud ferroviaire, la tertiarisation de l'économie genevoise - et suisse - pousse à délocaliser ces zones industrielles et engage des grands projets de renouvellement urbains. En parallèle de l'urgence de la construction de logements, Genève entend valoriser ses pôles économiques de référence. Les secteurs de l'horlogerie, des arômes et parfums, des sciences de la vie et des technologies médicales, ainsi que le développement du négoce international y sont inclus sous forme d'industrie légère et de bureaux pour favoriser la mixité du quartier.

figure 2

La place de la Gare, photo prise en 1975, aujourd'hui quartier de l'Etoile. (Service des Monuments et Sites)

figure 3

Plan du périmètre du projet Praille-Acacias-Vernets. La zone est contenue entre l'autoroute, les voies ferrées, l'Arve et la ville de Carouge.

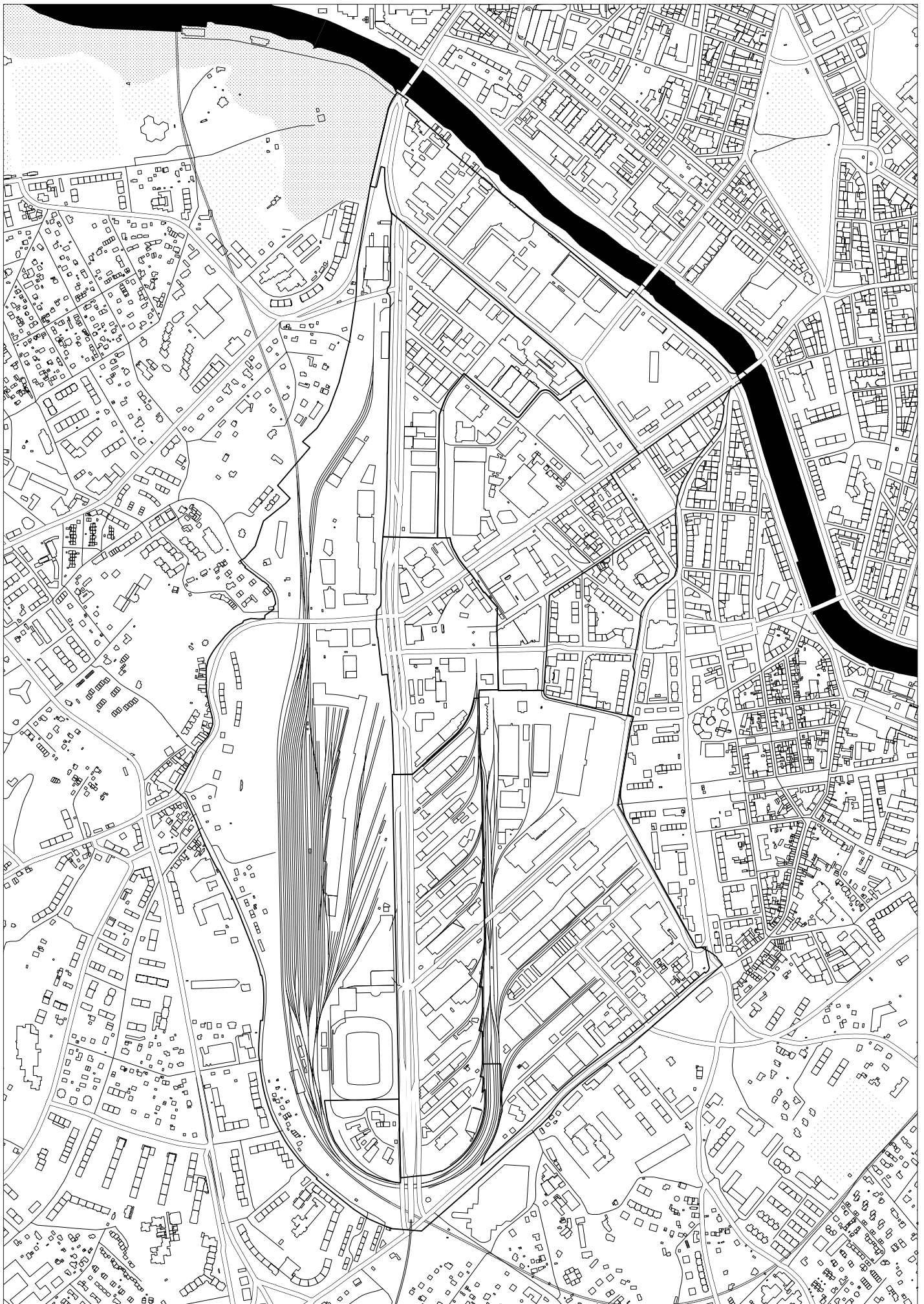


fig. 3

1km



fig. 4

Le quartier, un *pôle économique à forte attractivité* (Cramer et al., 2007, p.22) est divisé en trois entités distinctes. Le secteur Acacias-Vernets, comme pôle de haute technologie qui accueille également des équipements publics, le secteur de Carouge, comme secteur mixte avec des activités tertiaires et commerciales du centre-ville, puis le secteur de la Praille, comme centre d'activités qui bénéficie de sa relation directe avec le réseau ferroviaire, couplé avec des activités tertiaires.

La question que posent ces zones industrielles aujourd'hui aux grandes villes européennes est celle d'un changement d'environnement du projet urbain et architectural. Si le XIXe et le XXe siècle ont bâti des territoires vierges, ceux auxquels sont confrontées nos villes aujourd'hui sont presque entièrement bâtis. La marge d'extension des villes étant largement réduite, la ville aujourd'hui déjà compacte est amenée à se densifier et à reconsidérer des projets urbains effectués, dans l'exemple de la zone industrielle Praille Acacias, il y a soixante ans. Nous constatons à travers les sollicitations de cette zone industrielle, la rapidité avec laquelle évolue notre société et l'usage qu'elle fait de certains territoires. D'un point de vue urbain, cette nécessité de densification de la ville intervient dans un contexte de mobilisation globale face à l'urgence climatique. La rapide évolution de ces territoires et le caractère bâti du contexte dans lequel le projet urbain s'inscrit nous amènent à reconsidérer les méthodes utilisées pour le développer.

fig. 4

Vue aérienne du périmètre du projet Praille-Acacias-Vernets, depuis le sud. ©Nicolas Rychner, 2019.

fig. 5

Détails et surfaces des différents secteurs du projet. Malgré la mixité recherchée dans le quartier, les secteurs ont des affectations prédominantes. (Direction Praille-Acacias-Vernets, 2015)

L'expansion de la ville doit être effectuée au sein de ses frontières. Dans le cas de Genève, le périmètre du projet Praille-Acacias-Vernets présente la meilleure opportunité de développement au vu de sa faible densité et de sa proximité avec la ville. Nous soulignons toutefois le rapprochement dans le temps des deux projets urbains qui se sont développés sur cette zone. Les points fixes du projet contemporain sont les infrastructures routières, ferroviaires, et les éléments paysagers tels que l'Arve, et les parcs. La forte proportion de propriété publique dans le secteur laisse entrevoir une marge de manoeuvre importante pour le développement de la zone. En ce sens, le projet préfigure comme un scénario type de renouvellement de zone industrielle, qu'il est intéressant d'étudier au regard de la conservation du bâti, en tant que témoin des pratiques contemporaines.



Périmètre du projet Praille-Acacias-Vernets

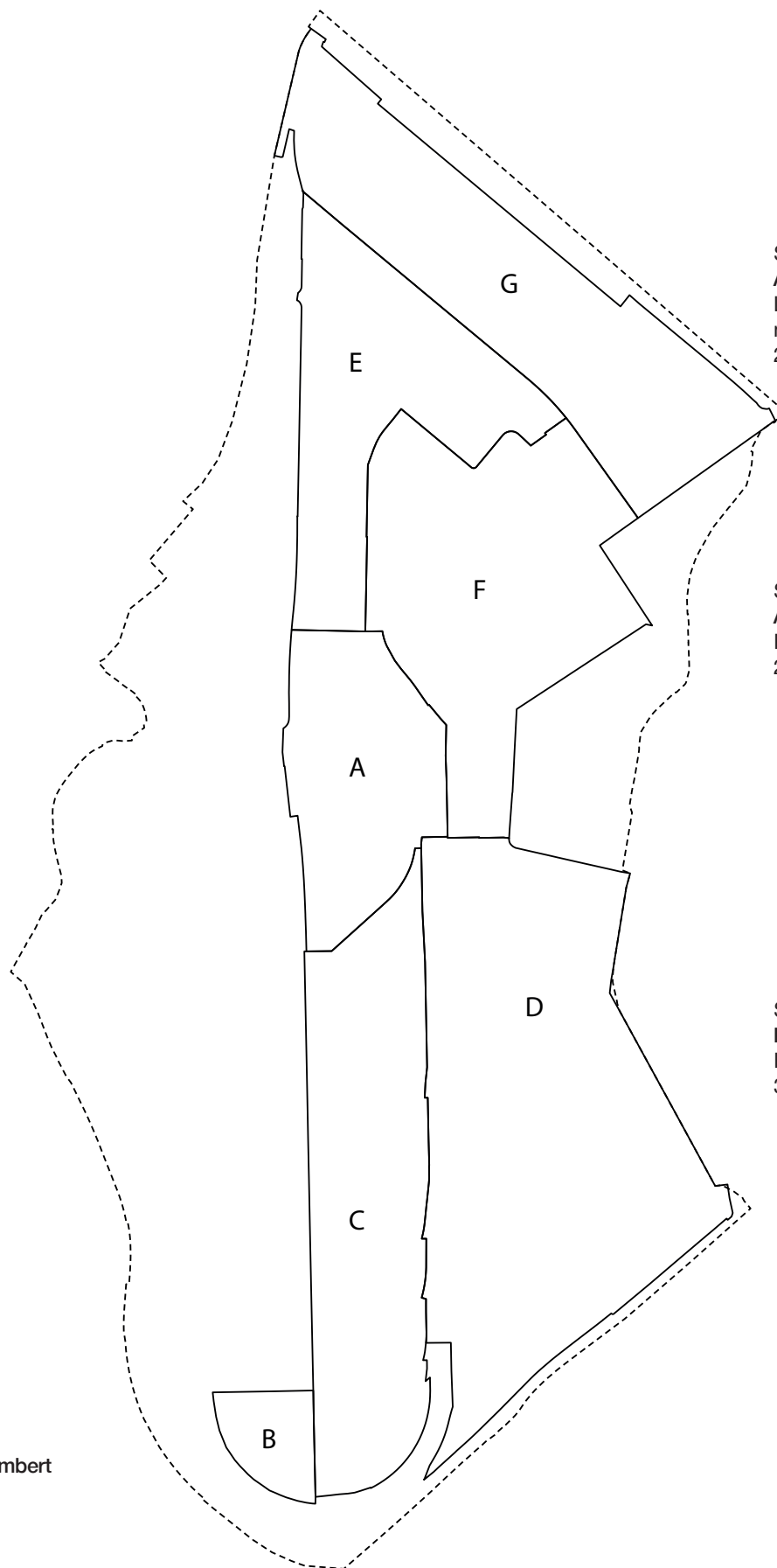
Les secteurs non spécifiés ne sont pas soumis à un plan directeur.

Secteur E
Acacias Ouest
Affectation mixte
16 hectares

Secteur A
Etoile
Activité tertiaire
13 hectares

Secteur C
Prairie Ouest
Activité secondaire/mixte
22 hectares

Secteur B
Prairie Sud-Ouest - Camembert
Activité mixte
3 hectares



Secteur G
Acacias - Bord de l'Arve
Logements et équipements publics
23 hectares

Secteur F
Acacias Est
Prédominance logement
23 hectares

Secteur D
Prairie Est - Grosselin
Prédominance logement
39 hectares



Energie embarquées et énergies opérationnelles

Face à l'urgence climatique, le secteur de la construction doit réduire sa part des émissions de CO₂ qui s'élèvent à 39% des émissions globales (International Energy Agency and the United Nations Environment Programme, 2018, p.11). Les objectifs de réduction des émissions carbone dans la construction sont un enjeu majeur, notamment dans l'Union Européenne qui vise de réduire de 80% ses émissions d'ici à 2050, en rapport à ses niveaux de 1990 (European Commission, 2011, p.3). Au sein de ces émissions, nous distinguons les énergies opérationnelles, émises durant l'exploitation du bâtiment (chauffage, ventilation, électricité par exemple), et les énergies embarquées, relatives à la fabrication des matériaux, leur transport, la construction du bâtiment, et sa déconstruction.

Dans la recherche d'un secteur de la construction à plus faible impact carbone, la majeure partie des efforts sont concentrés sur la réduction des énergies opérationnelles. Par des progrès architecturaux, dans la performance des matériaux et l'apport des nouvelles technologies, les nouveaux bâtiments peuvent atteindre des bilans neutres en carbone durant la phase opérationnelle. Les énergies consommées par le bâtiment sont réduites, et la part restante est compensée par de la production autonome, notamment à l'aide de panneaux solaires.

fig. 6 (page de gauche)
Fondations de l'ancienne tour CFF,
l'un des premiers bâtiments em-
blématique de la zone industrielle
Praille-Acacias. novembre 2020.

fig. 7
Part des différents secteurs dans les
émissions de gaz à effet de serre
globalement.

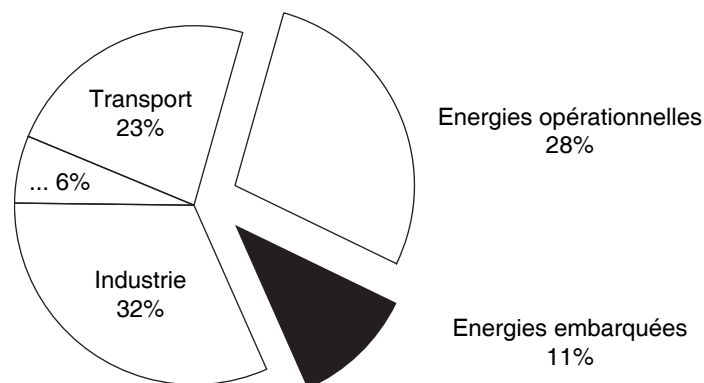


fig. 7

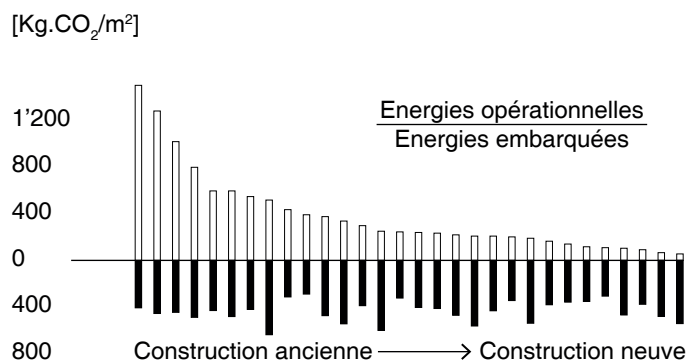


fig. 8

Les avancées dans la réduction des énergies opérationnelles est à contraster avec le peu d'avancées effectuées au niveau des énergies embarquées, qui constituent aujourd'hui 11% des émissions globales et près de 30% des émissions du secteur de la construction (International Energy Agency, 2019, p.54). En 1981, William Whiddon décrit le coût énergétique d'un de ses bâtiments contemporains à quinze années d'émissions opérationnelles, et souligne le potentiel environnemental d'une stratégie de préservation des bâtiments.

Historic preservation has the potential for displacing a large fraction of the energy used directly at the job site and embodied in construction materials. As new and existing buildings are made increasingly efficient in the ways they use energy, embodied energy becomes an even more significant fraction of the energy investment required in the use of buildings.
(Whiddon, 1981, p.113)

Ce pourcentage augmente et est amenée à constituer la totalité des émissions du bâtiment lorsque celui-ci est neutre en émissions opérationnelles (Orr et al., 2018, p.15). Afin de réduire la consommation en énergie embarquée d'un bâtiment, plusieurs approches sont possibles en début et en fin de vie du bâtiment. Au moment de la conception, il est possible d'optimiser le système porteur du bâtiment, afin de réduire la consommation de matière, ou encore d'utiliser des matériaux à faible empreinte carbone. En fin de vie, au moment d'établir le bilan en énergie grise consommée par un bâtiment, il est possible de prolonger la durée de vie de la matière par la maintenance du bâtiment, sa transformation ou le réemploi de ses matériaux.

La valorisation des énergies embarquées dans la matière est étroitement liée avec celle de notre consommation de matières premières et celle de nos émissions de déchets. Ces approches sensibilisent sur la consommation énergétique de la pratique de la construction, au-delà de celle de l'usage du bâtiment. Dans ce sens, la pyramide des

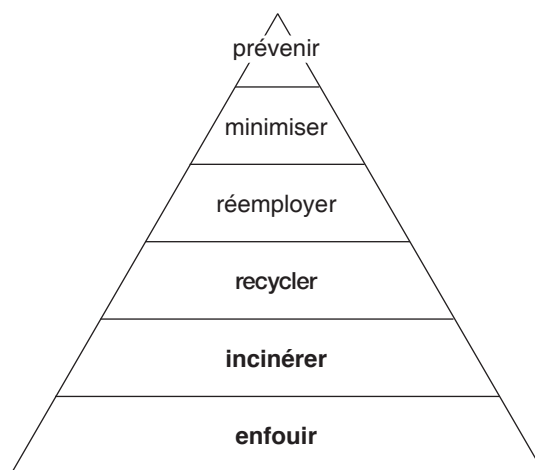


fig. 9

déchets établit l'impact environnemental de notre gestion de la matière au moment de questionner sa fin de vie (Baker-Brown, 2017, p.18). Les trois premiers étages de cette pyramide permettent de conserver la totalité ou une majeure partie de l'énergie embarquée dans les éléments, par sa maintenance, sa réutilisation, ou son réemploi. Le recyclage permet de traiter la question des déchets et de réduire notre consommation de matière première. Finalement, les alternatives d'enfouissements et d'incinérations ne valorisent aucunement la matière, et contaminent la terre ou l'air.

fig. 8
Evolution de la consommation énergétique de 30 maisons d'habitations construites à des époques diverses.
Corentin Fivet, SXL, EPFL, 2007.

fig. 9
Pyramide de la gestion des déchets, inspirée de Baker-Brown.

fig. 10 (page de droite)
Déchets de chantier générés par la mutation du quartier Praille-Acacias-Vernets.
Ecoservices SA, 2013.

Gestion des matériaux, notion de déchet

Aujourd'hui, le recyclage des matériaux est la stratégie dominante dans les chantiers de construction pour valoriser la matière existante. Le recyclage permet de réduire la production de déchets et dans une certaine mesure le besoin en nouvelles matières premières. La question des déchets est la partie visible des impacts environnementaux des renouvellements urbains et est intégrée dans les lois de protection sur l'environnement.

Dans le canton de Genève, 70% des déchets ordinaires sont des déchets de chantier (hors matériaux d'excavation)(DETA, DGE et GESDEC, 2018, p.2). La gestion de l'élimination de ces déchets est un enjeu majeur auquel le Canton de Genève est particulièrement confronté compte tenu de sa densité de surface bâtie, donc la difficulté d'enfouir des matériaux. Ainsi, dans le cadre du grand projet du PAV, en tenant compte du plan directeur retenu à l'horizon 2050, une étude pour la valorisation des déchets minéraux par recyclage a été effectuée afin de retenir une stratégie spécifique à ce développement. Les chiffres sont obtenus après une estimation entre le volume du bâti actuel et les mutations qu'il subira. Cette étude fournit un aperçu de l'état actuel des techniques de recyclage. 83% du volume total de déchets minéraux est théoriquement recyclable, laissant ainsi près de 60'000 m³ à enfouir. Les volumes recyclés sont intégrés dans des sous-couches routières, dans des aménagements extérieurs ou encore pour la fabrication de béton recyclé. Les granulats issus des minéraux recyclables peuvent être intégrés à hauteur de 25% dans la construction de béton recyclé (Ecoservices SA, 2013, p.5).

Marc Angélil et Cary Siress soulignent le caractère ambivalent de la matière qui constitue nos ville dans leur article *Going Around in Circles: Regimes of Waste*. D'un côté, nous imaginons que cette matière est simplement stockée dans l'environnement alors qu'elle est en réalité en circulation et en transformation permanente (Angélil et Siress, 2010, p.254). Le coût énergétique de ces actions de transformation et de circulation se traduit directement dans notre consommation d'énergie embarquée.

Au moment de réduire l'impact des énergies embarquées, les stratégies en début et fin de vie du bâtiment doivent aller au-delà de la gestion des déchets et donc du recyclage. Recycler demande un investissement énergétique pour sa réduction à l'état de matière première, puis pour sa reconstruction en matériau. Par son traitement de la matière et en adéquation avec les textes de lois, le recyclage légitime la production de déchets. Les études réalisées et le grand volume de déchets estimé démontrent l'établissement d'une réelle économie du déchet qui tend à banaliser leur existence et stimuler leur disponibilité.

Le site du PAV a été choisi pour développer la majorité

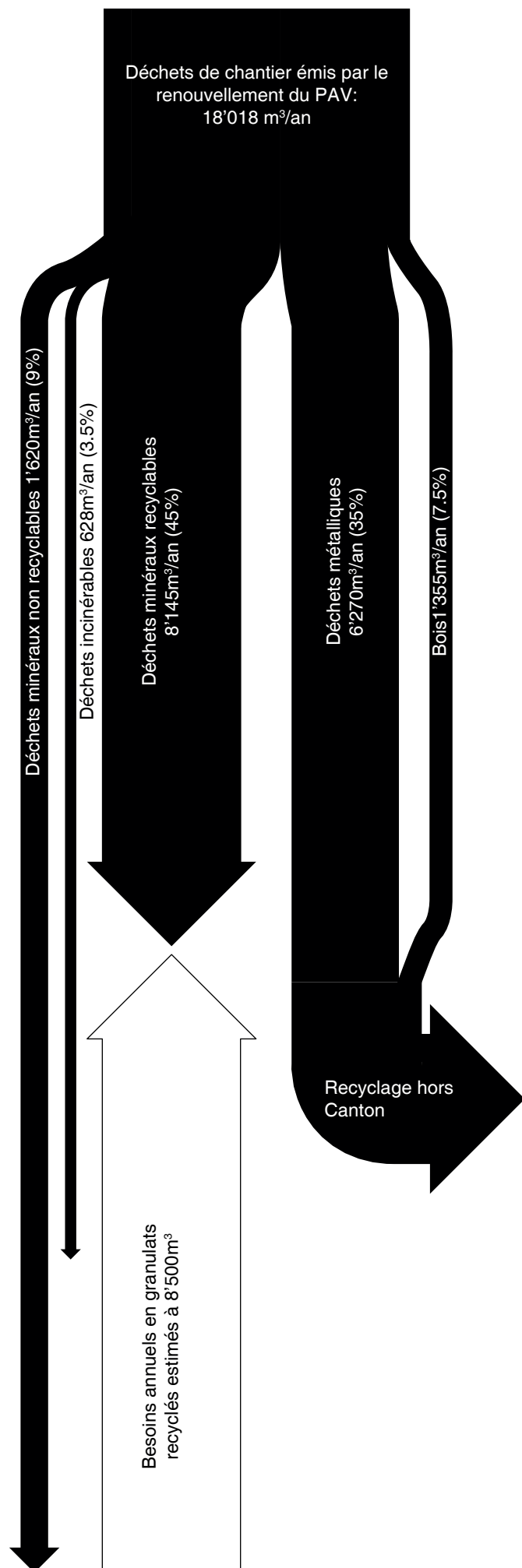
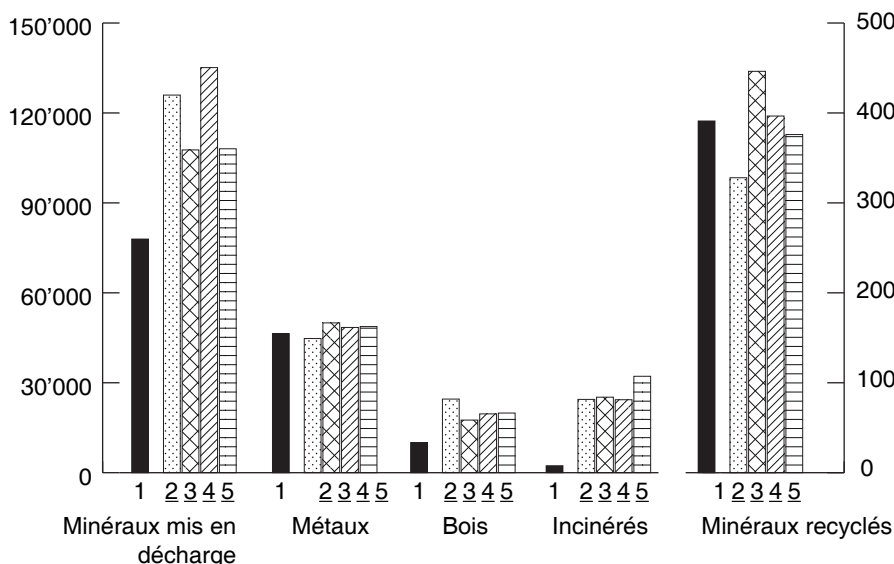
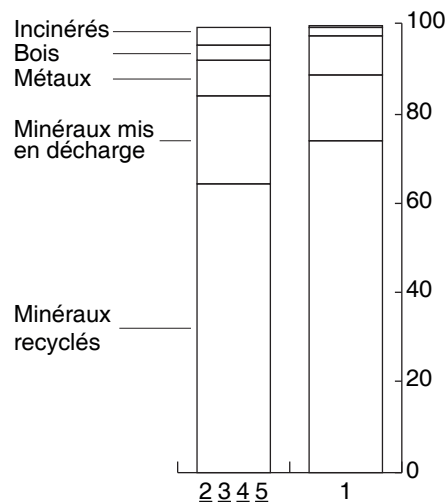


fig. 10

Déchets de
chantier (tonnes)



Part des déchets générés,
par matériaux (%)



1 : Projection des déchets émis par la démolition des bâtiments du secteur Praille-Acacias-Vernets
2 3 4 5 : Déchets de chantiers émis dans le canton de Genève en 2015, 2016, 2017 et 2018

fig. 11

des logements proches du centre ville car son affectation industrielle rend le site très peu dense et aujourd'hui obsolète au regard de sa proximité avec la ville. Le tissu urbain de ce site est donc favorable à un renouvellement, puisque considéré comme essentiellement constitué de bâtiments industriels, et de constructions plus éphémères. Nous remarquons que les graphiques des déchets de chantiers recensés à Genève entre 2015 et 2018 et les projections de déchets générés par le renouvellement du PAV, révèlent des similitudes dans la proportion des matériaux issus des démolitions. Les volumes émis ne sont pas confrontés directement puisque la temporalité des deux données est différente, l'une étant annuelle, l'autre étant basé sur une projection à l'horizon 2050. Nous supposons que les fortes variations du taux de minéraux recyclés et de déchets incinérés entre les données annuelles du canton et les estimations du projet proviennent du caractère théorique de l'étude, à l'inverse des relevés cantonaux qui sont factuels.

citée, le travail questionne l'émission même de ces déchets et cherche à définir un cadre plus précis et cohérent pour la considération de l'existant dans le cadre de ce renouvellement.

La similitude entre les matériaux trouvés sur le site industriel du PAV et dans les déchets de chantiers du Canton de Genève nous informe sur l'utilisation homogène des matériaux de construction dans les différents types de bâtiments. Elle amène à considérer l'hypothèse d'un site dont le bâti est plus urbain qu'une simple zone industrielle pour le renouvellement. L'étude sur la valorisation des déchets minéraux dans le PAV évalue les émissions de déchets du projet afin de mieux les gérer durant son déroulement. Adresser la question des énergies embarquées nécessite d'envisager notre consommation énergétique au-delà de l'échelle temporelle des énergies opérationnelles, et traite d'un thème invisible à l'inverse des déchets produits par les démolitions de bâtiments. Ainsi, à l'inverse de l'étude

fig. 11

Déchets de chantier générés par la mutation du PAV, catégorisés par matériaux.

Ecoservices SA, 2013.

fig. 12 (page de droite)

Déchets émis par la mutation des différents secteurs au sein du périmètre du projet.

Ecoservices SA, 2013.

Part des déchets émis par secteur et
par matériaux (%)

9	10	7	8	8	6	7
19	10		32	26	49	40
		36				
61	70	44	48	54	31	40
8	8	8	9	9	10	9
A	B	C	D	E	F	G

Secteur E
Acacias Ouest
Volume estimé: 80'530 m³
Volume démolé par surface:
0.50 m³/m²

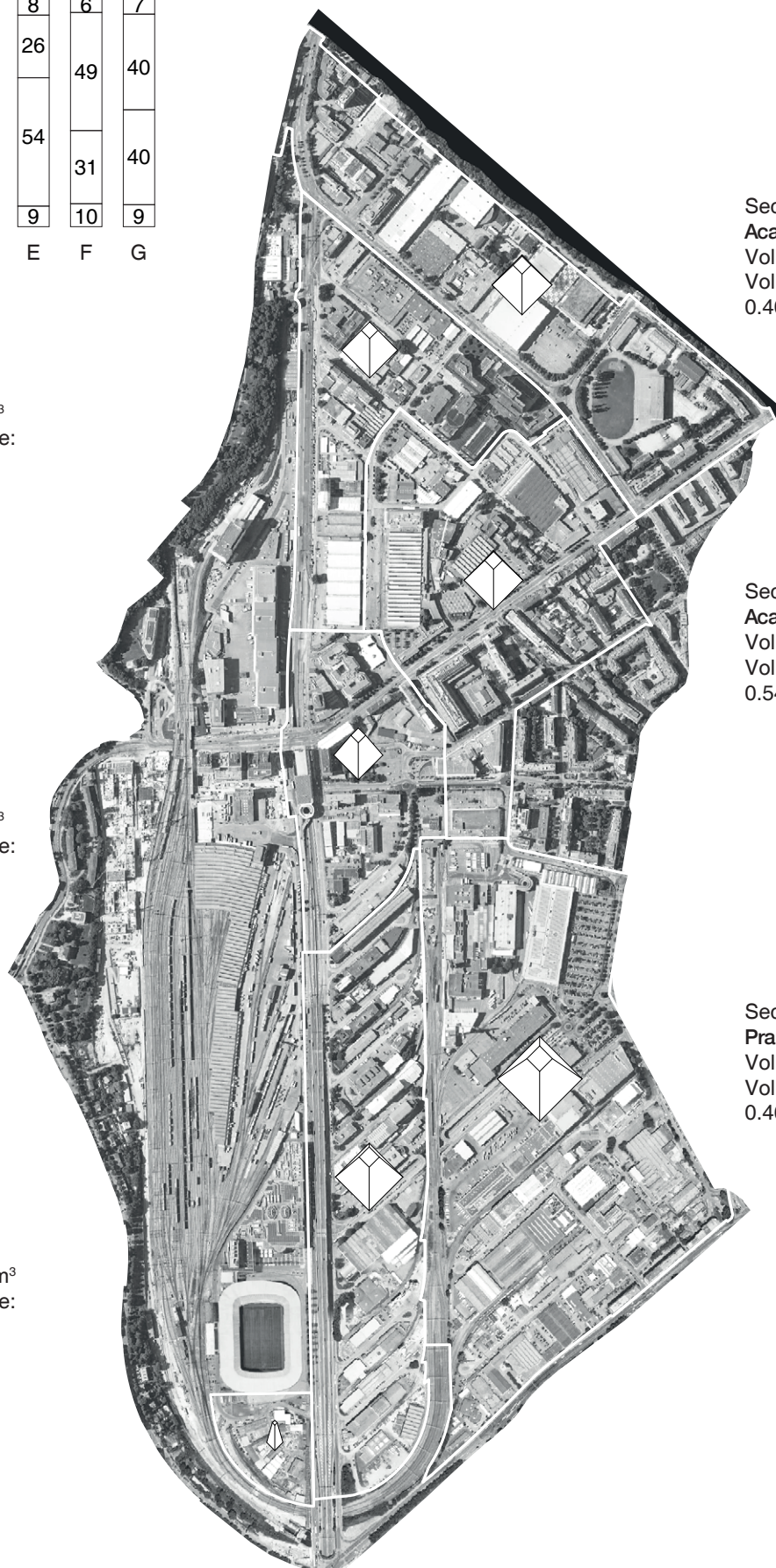
Secteur A
Etoile
Volume estimé: 62'785 m³
Volume démolé par surface:
0.48 m³/m²

Secteur C
Praille Ouest
Volume estimé: 116'959 m³
Volume démolé par surface:
0.53 m³/m²

Secteur G
Acacias - Bord de l'Arve
Volume estimé: 93'905 m³
Volume démolé par surface:
0.40 m³/m²

Secteur F
Acacias Est
Volume estimé: 124'530 m³
Volume démolé par surface:
0.54 m³/m²

Secteur D
Praille Est - Grosselin
Volume estimé: 180'886 m³
Volume démolé par surface:
0.46 m³/m²



Maintenance et circulation de la matière

Face aux besoins d'extension et de mutations des zones urbaines, il est nécessaire de fournir la croissance et les transformations dont les villes ont besoin. La considération des énergies embarquées met en lumière la nécessité de minimiser l'impact des constructions et déconstructions au cours de ce processus. Ce défi requiert des progrès techniques, mais il amène également à repenser notre rapport aux matériaux, à la manière dont nous les exploitons et pour quelles fins.

Le réemploi des éléments se distingue du recyclage puisqu'il conserve le travail et l'état de la matière. Dans ce travail, le réemploi est considéré comme la pratique de récupérer un objet, un matériau afin de lui trouver un nouvel usage (Ghyoot et al., 2018, p.8). A l'inverse, le recyclage ramène les matériaux à l'état de matière première, après des opérations de broyage pour être à nouveau employé sous d'autres formes. Le réemploi des matériaux garde la matière intact, et émet de l'énergie au moment du transport et de la déconstruction du matériau, mais il permet de garder l'énergie investie dans sa construction.

En Suisse, le postulat déposé par Kathrin Bertschy au Conseil Fédéral en 2017 pour favoriser le développement du réemploi en Suisse, visait à réduire la forte différence d'encadrement légal du réemploi des matériaux face au recyclage. La réponse négative du Conseil Fédéral et leur remarque sur la facilité de mise en œuvre du recyclage, les garanties qu'il offre dans le système actuel montre la difficulté de sortir d'un système de consommation intégré à la construction. D'un point de vue quantitatif, il est vrai que les 75'000 tonnes estimées de matériaux propres au réemploi, sont incomparables à l'échelle des 9 millions de tonnes de déchets issus des chantiers de démolition en 2018 dont les $\frac{2}{3}$ ont été recyclés (Salza et Matériuum, 2020, p.17). En revanche, la décision de laisser «[...] au marché de décider quels éléments de construction se prêtent judicieusement à une réutilisation [...]» (Bertschy, 2016), peut également être vu comme une opportunité manquée d'encadrer le secteur de la construction dans la transition vers une économie circulaire.

Le succès du recyclage par rapport au réemploi traduit avant tout la persistance d'un modèle économique basé sur la production d'éléments nouveaux. Les normes et les labels écologiques visent à réduire l'impact environnemental durant la phase opérationnelle de ces éléments nouveaux. Ils participent néanmoins également à rendre obsolètes les anciens éléments pourtant fonctionnels. Ce constat peut utiliser les notions d'énergies opérationnelles et d'énergies embarquées, pour souligner qu'à un certain point, la préservation et la réparation de ces éléments prévaut sur le plan environnemental et justifie un changement de paradigme profond sur notre économie. Dans ce sens, l'économie circulaire vise à faciliter l'établissement d'un

marché d'éléments usagers, qui mettent en avant l'opportunité de créer plus de travail en consommant moins de ressources.

Les premières réactions face à ce modèle économique productiviste interviennent lors de la publication en 1972 du rapport *The Limits to Growth*. Commandité par le Club de Rome, le rapport met en cause l'impossibilité de continuer une telle croissance économique en tenant compte des ressources naturelles limitées et une forte croissance démographique (Meadows et al., 1972). En 1993, Orio Giarini et Walter Stahel publient *The Limits to Certainty. Facing Risks in the New Service Economy*, et fournissent des pistes pour concilier croissance économique et urgence environnementale.

l'économie de fonctionnalité [...] vise à optimiser l'utilisation - ou la fonction - des biens et services, se concentre sur la gestion des richesses existantes, sous la forme de produits, de connaissances ou encore de capital naturel. L'objectif économique en est de créer une valeur d'usage la plus élevée possible pendant le plus longtemps possible, tout en consommant le moins de ressources matérielles et d'énergie possible. (Walter et Giarini, 1989, p.3)

L'économie de fonctionnalité est un outil pour accompagner l'économie circulaire dans la transition économique et écologique. Son but est de favoriser les activités économiques qui ne nécessitent pas la consommation de matière mais qui travaillent plutôt à sa maintenance. L'exemple utilisé dans le livre publié par le collectif belge Rotor est celui de l'entreprise de pneus Michelin, qui propose aux entreprises de transport routier un service qui inclut la fourniture et l'entretien des pneus (Ghyoot et al., 2018, p.169). Dans l'intérêt du client, cette démarche lui permet de payer pour ses pneus en fonction des kilomètres parcourus, sans se soucier de leur entretien, puisqu'ils restent la propriété du producteur. En contrepartie, Michelin s'assure d'être l'entreprise mandatée pour l'entretien des pneus et diversifie ses activités, de la production de pneus à leur entretien. D'un point de vue environnemental, un tel système abolit la notion d'obsolescence programmée, puisque la responsabilité du producteur sur son produit est étendue.

L'introduction progressive de tels modèles économiques basés sur l'usage d'un produit plus que sur sa possession serait encouragée si les producteurs sont davantage contraints de répondre aux conséquences environnementales de la fin de vie de leur produit. Le cas de l'industrie du bâtiment, pourtant la plus grande génératrice de déchets, est plus complexe à mettre en œuvre tant la durée de vie des bâtiments est plus longue que les exemples actuels sur le marché. Le grand nombre d'intermédiaires impliqués dans la construction d'un bâtiment complique

également le suivi d'un bâtiment sur une durée de vie étendue.

Dans l'état actuel des grands projets genevois, aucune initiative à l'échelle urbaine n'est mise en oeuvre pour le réemploi des matériaux issus des renouvellements. Un projet analysé en cas d'étude dans le chapitre 3.2 a fait l'objet d'une revente de certains éléments de construction et marque une première initiative d'économie circulaire dans un projet public à Genève. La suite du travail étudié identifie, au sens plus large, la considération du bâti dans le cadre du projet de Praille-Acacias-Vernets. Puisque le réemploi des matériaux implique la déconstruction d'un bâtiment, l'objectif est d'identifier les causes du renouvellement, avant même de savoir comment l'on traite la matière qui constitue ce territoire.

fig. 13 (page suivante)
Démolition de la cité de Pesay,
novembre 2020.

Le secteur de la construction est impliqué dans les émissions de gaz à effet de serre de deux manières. Les énergies opérationnelles représentent 70% de ses émissions quand les énergies embarquées représentent 30%. Les énergies embarquées appellent à regarder le stock urbain existant comme un réservoir d'énergie qu'il est possible de maintenir selon certains degrés, ou dans le cas inverse d'investir une nouvelle quantité d'énergie embarquée dans un bâtiment neuf. Le cas du projet-Praille-Acacias-Vernets, comme renouvellement urbain d'un site industriel amène le projet contemporain à renouveler la majorité des bâtiments en place puisque la zone change d'affectation. La matière de ce territoire est donc considéré comme déchet et est au mieux valorisée par le recyclage pour contribuer à construire les bâtiments de demain. Après étude des estimations des déchets générés par le renouvellement, selon les principes de l'économie circulaire, nous voulons comprendre dans quelle mesure la matière qui compose ce territoire peut devenir un point focal du projet contemporain.



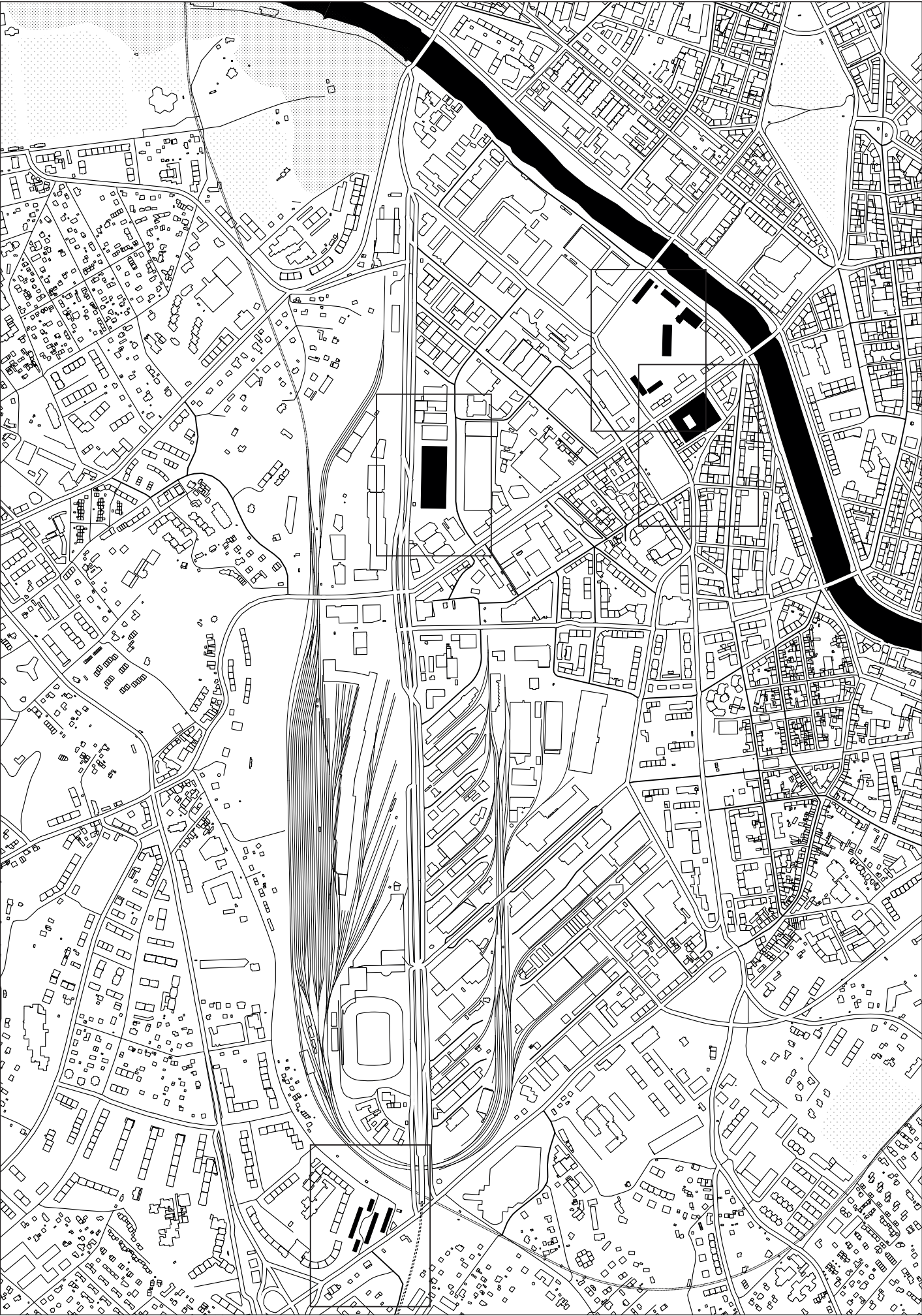
Evolution ou révolution

En réponse au besoin de loger la population dans ses frontières, le canton de Genève enregistre en 2019, et pour la cinquième année consécutive une construction de logements neufs supérieure à 2000 unités par an. Il est prévu que le taux augmente, puisque 7'000 logements étaient encore en cours de construction à la fin de l'année 2019 (OCSTAT, 2020). Les chiffres n'atteignent pas encore la construction supérieure à 3'000 logements neufs annuels pendant quinze ans entre 1960 et 1975 (OCSTAT, 2013). En revanche, la planification des Grands Projets genevois prévoit près de 25'000 logements d'ici à 2030 et annonce donc des taux semblables dans les années à venir. Le secteur Praille-Acacias-Vernets prévoit d'augmenter 6'000 logements, le quart de l'augmentation totale, et 12'400 logements à terme (Office de l'urbanisme et Département du territoire, 2019).

Le secteur choisi dans le cadre de cette étude possède donc le potentiel de construction de logement le plus élevé du canton. Il présente également la particularité de se situer au centre-ville, dans un environnement déjà bâti et avec différentes affectations, dont certaines déjà en logements. Il est intéressant de revenir aux principes de

base du projet, à savoir la production de logement sur un territoire peu dense, en maintenant une part d'industrie légère afin de favoriser la mixité d'utilisation du secteur.

L'approche aujourd'hui linéaire de la matière urbaine amène le territoire à une succession de révolutions du bâti, avec les pertes d'énergies qu'elles impliquent. Les principes de l'économie circulaire, qui ménage la matière existante, considère plutôt le territoire en constante évolution, réutilise ses artefacts fonctionnels pour guider son développement. Les degrés de transformation varient, de la maintenance, à la transformation ou au réemploi des parties du bâtiment, dans le but de prolonger la durée de vie de la matière urbaine. Cette ligne directrice rejoint celle évoquée en 1983 par André Corboz dans son livre *Le territoire comme palimpseste*, qui souligne la dimension temporelle du territoire, l'histoire et les traces que ses multiples évolutions laissent (Corboz, 1983). Ces différentes traces peuvent aujourd'hui être complètement effacées par les méthodes de traitement de déchets vues précédemment. Le chapitre qui suit identifie les facteurs qui mènent au renouvellement complet de différentes structures urbaines. Ces facteurs sont confrontés avec l'idée directrice du projet urbain, afin de pouvoir distinguer l'acte de faire évoluer un territoire et celui de révolutionner entièrement le bâti qui le constitue.



Cas d'études

Les idées de projet pour le développement de la zone industrielle ont été lancées avec un concours organisé par la Fédération Suisse des Architectes en 2005. Quatre ans plus tard, la résolution 566 est adoptée par le Grand Conseil en faveur d'un plan d'aménagement urbain pour cette zone, qui sera validé en avril 2015 (Département du territoire, 2020). Si le développement de ce projet est envisagé dans la totalité du secteur, grâce à un fort taux de foncier en propriété publique, les premiers projets développés ne se déroulent pas nécessairement sur ces terrains spécifiquement. Comme le précise le rapport pour la mise en oeuvre du projet urbain, pour tout développement il faut que *le foncier soit disponible physiquement, juridiquement, et il doit être sur le marché* (Direction PAV et Département du territoire, 2015, p.135). Dans le cas de cette zone industrielle, si la majorité des parcelles sont en mains publiques, elles sont également mises à disposition des entreprises sous forme de *droit de superficie* dont l'échéance moyenne se situe autour de 2056. L'enjeu identifié par la ville est d'assurer une *veille foncière* afin de saisir chaque opportunité de projet sur une parcelle soumise à ce droit de superficie. Le plan directeur est fixé sur des points fixes, tels que des parcs, voies de circulation, éléments paysagers et infrastructures publiques, autour desquels viennent se développer les projets individuellement selon les affectations et les densités projetées.

Pendant la durée de l'étude, six bâtiments étaient en instance de démolition. Parmi ces bâtiments, quatre cas d'études sont identifiés pour illustrer le phénomène du renouvellement urbain dans la zone industrielle et sa périphérie directe. Les projets décrits ont été choisis sur la base des demandes d'autorisation de construire de type *M*, qui répertorient les demandes de démolition dans le canton de Genève. Le stade d'avancement des différents cas d'études varie. Le premier est en phase de recours pour sa démolition, le deuxième a déjà été démoli, le troisième est en attente du début de chantier, et le dernier a débuté en septembre 2020. Les affectations des bâtiments existants varient du bâtiment d'utilité publique, aux logements ou encore un bâtiment industriel. Deux projets, de propriété publique sont typiquement inscrit dans le projet urbain, quand les deux autres en propriété privé nous informe sur les pressions exercées sur le bâti suite aux mutations du territoire.

Les informations obtenues sont issues des demandes d'autorisation de démolition, obtenues auprès du service des archives du Département du Territoire. Les dossiers analysés comportent les pièces de *correspondance*, de *documents joints*, de *photos* et de *plans*, d'un dossier *préavis* et d'un dossier *requête* et permettent de retracer le processus du permis de construire. Il est important de noter que les dossiers ne disposent pas tous de la même quantité d'information sur le bâtiment préexistant - des études

structurelles ou études énergétiques - sur le projet futur, et sur la gestion du chantier de démolition.

Face à la variété d'informations disponible selon les différents cas d'études, les analyses ne sont pas systématiques. En revanche, chaque cas d'étude traite différents sujets relatifs aux renouvellements urbains et permet de fournir des outils de compréhension des difficultés, des paradoxes et des opportunités que rencontre chaque bâtiment en fin de vie.

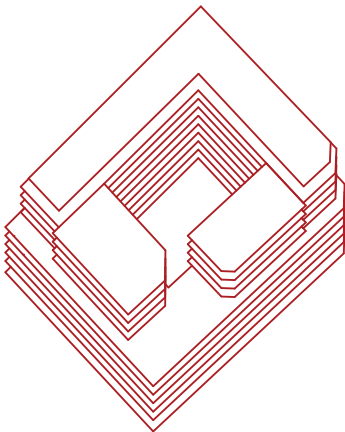
fig. 14

Plan de localisation des quatre cas d'études développés dans le travail. S'ils ne se situent pas tous dans le périmètre défini par le projet PAV, leur renouvellement est motivé par la mutation annoncé du territoire.



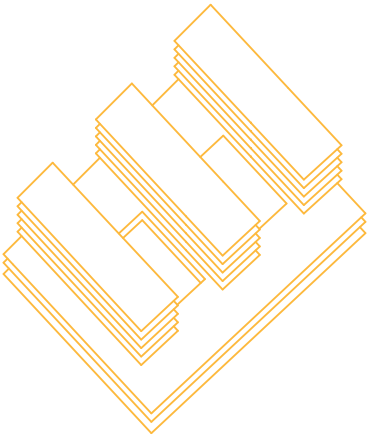
fig. 15

M-8020
Démolition de trois bâtiments de logements,
bureaux et commerces, Genève.



Route des Acacias, Genève.

Propriétaire	Privé	
Durée de vie	56 ans	
Affectation	Logements, bureaux, comm.	Logements, commerces.
Surface plancher [m²]	38'914	40'000 + sous-sol.
Sous-sol	Existant, reconstruit.	
Densification	234 logements	350 (+50%)



Les trois barres entre le numéro 8 et 18 de la route des Acacias sont posées sur un socle commun comportant des commerces au rez-de-chaussée et des bureaux au premier étage. Deux barres accueillent 234 logements, quand la troisième comporte 4'700 m² de surface de bureaux.

L'ensemble a été construit entre 1964 et 1966 par les frères Honegger, deux architectes genevois très influents dans la période de construction d'après-guerre (Graf et al., 2010). A l'époque de sa construction, l'ensemble s'inscrit dans le plan urbain de l'extension des Acacias et de la nouvelle zone industrielle. Ce plan tire profit du prolongement de la ligne de tramway jusqu'à la commune de Lancy, qui rend le quartier favorable à la planification de logements et d'activités tertiaires.

Les frères Honegger sont connus pour leur pragmatisme et leur rationalité qui leur ont permis de construire près de 9'000 logements sur le territoire genevois durant leur carrière (Association 60x60, s.d.). Le projet de la route des Acacias montre ce point au niveau urbanistique et constructif, avec leur approche rationnelle des coûts de construction et de l'utilisation de la parcelle à disposition des frères Honegger au moment du mandat. La structure verticale du bâtiment est en béton armé et les dalles sont composées de caissons préfabriqués selon le système Honegger-Afrique, conçu sur mesure par les architectes. Les façades sont réalisées avec des panneaux de verre émaillé de couleur verte sur la totalité du bâtiment, à l'exception de la façade sud du socle, dont les panneaux sont en tôle ondulée.

L'ensemble est inclus dans un rapport de l'Office du patrimoine et des sites en 2006 dans le cadre d'un recensement des constructions des frères Honegger. L'état des bâtiments est qualifié d'assez bon, la rénovation du hall de la barre affectée au bureau est soulignée, ainsi que la préservation des menuiseries (IAUG, 2015). N'étant pas une réalisation majeure de ces architectes, le bâtiment est classé d'intérêt secondaire, au sens de la préservation du patrimoine.

Aujourd'hui, le bâtiment est détenu par un fond immobilier d'une banque suisse, et fait l'objet d'une demande de démolition depuis 2017, acceptée en 2019 par les autorités cantonales. Conformément à la procédure, le dossier de dépose d'autorisation comporte des éléments d'analyse structurelle, énergétique, d'un diagnostic d'amiante et d'un plan pour le phasage de la démolition. Le rapport compare les efforts à mettre en oeuvre en cas de rénovation du bâtiment existant, et dans le cas d'une construction neuve. En défendant le projet de démolition-reconstruction, le rapport décrit les travaux de réfection sur la structure si elle devait être maintenue. Des renforts devraient être ajoutés afin d'augmenter sa stabilité dans l'hypothèse d'une surélévation et afin de garantir sa mise aux normes incendies et sismiques. Dans un deuxième temps, le rap-

port souligne la pauvre efficacité énergétique de l'enveloppe actuelle et du bâtiment, classé "G" selon le certificat énergétique cantonal (échelle de A à G, G étant le moins bon). Les installations sanitaires, de ventilation, et de production de chaleur sont déclarées vétustes ou obsolètes au regard des exigences énergétiques contemporaines et nécessitent d'être changées.

Architecturalement, des questions typologiques sont également mises en cause, telles que la répartition et la mixité des logements dans l'ensemble. Sur les 234 logements, le rapport relève la forte proportion de studios et de 2,5 pièces, qui mettent en crise la mixité sociale de l'îlot.

En somme, le rapport décrit un bâtiment dont l'état général nécessite une rénovation conséquente, dont le coût s'apprêterait à celui d'une construction neuve. A coûts égaux, le maître d'ouvrage saisit l'opportunité d'organiser un concours d'architecture en vue d'une construction neuve et contemporaine. Le projet de démolition-reconstruction s'appuie sur l'article 10, al 1 de la loi L5 20 (LDTR) qui prévoit des dérogations à la démolition d'immeubles de logements lorsqu'un projet neuf peut augmenter de 50% le nombre de logements. Ce critère est particulièrement sensible dans le contexte urbain du projet Praille-Acacias-Vernets qui prévoit une augmentation des logements dans son périmètre.

Les propriétaires du bâtiment organisent un concours d'architecture en accord avec la ville de Genève pour proposer un nouveau projet sur cette parcelle à l'entrée des Acacias, en venant depuis le centre-ville. Le programme propose de maintenir des commerces au rez-de-chaussée, et de supprimer les surfaces de bureaux comptant pour un ¼ de la surface totale existante. Les résultats du concours désignent comme lauréats deux bureaux Lausannois qui proposent un large bâtiment à cour qui comporte 335 logements et des surfaces commerciales au rez-de-chaussée. La forme urbaine du bâtiment change de trois barres parallèles à un bâtiment à cour, contenant approximativement la même surface de plancher que le bâtiment existant.

Le projet neuf donne l'opportunité de changer la morphologie du bâtiment, avec une cour en pleine terre, et d'augmenter le nombre et la qualité des logements. Nous considérons aujourd'hui le deuxième cycle de vie de cette parcelle de terrain qui, dès les années 1960 était considérée en relation directe avec le centre-ville de Genève.

fig. 16 (page de droite)
Superposition des plans d'étages types, bâtiment existant et bâtiment projeté.

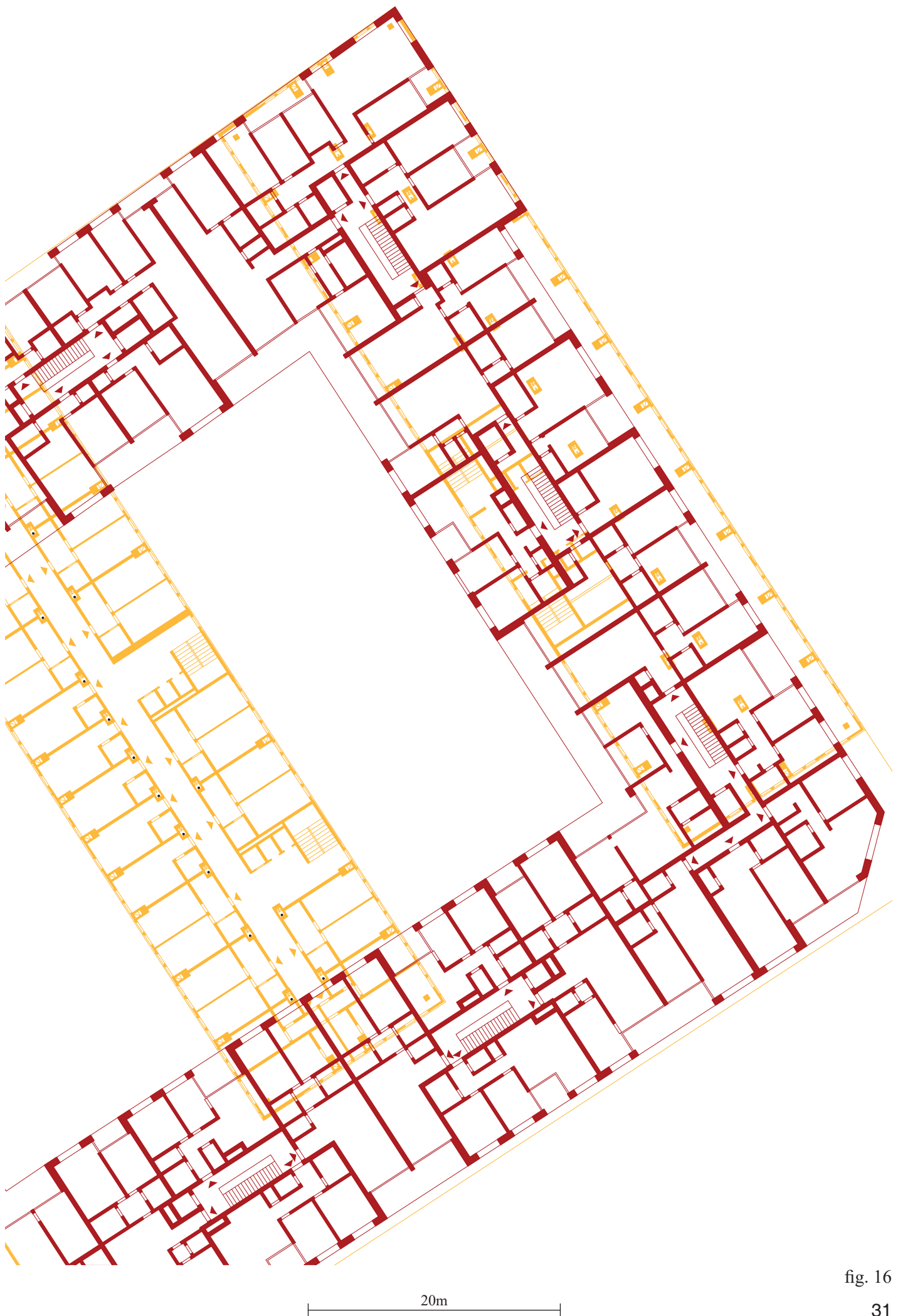


fig. 16



fig. 17

fig. 17 (page de gauche)
Le bâtiment des frères Honegger,
vu depuis la route des Acacias.

fig. 18
Vue de la façade. Le plan type est
régi par une trame de 60cm x 60cm
très stricte, et permet sur le même
étage type de projeter des bureaux
ou des logements. Cette rigueur se
lit dans la trame de la façade, qui ne
laisse pas transparaître la mixité des
espaces intérieurs.



fig. 18

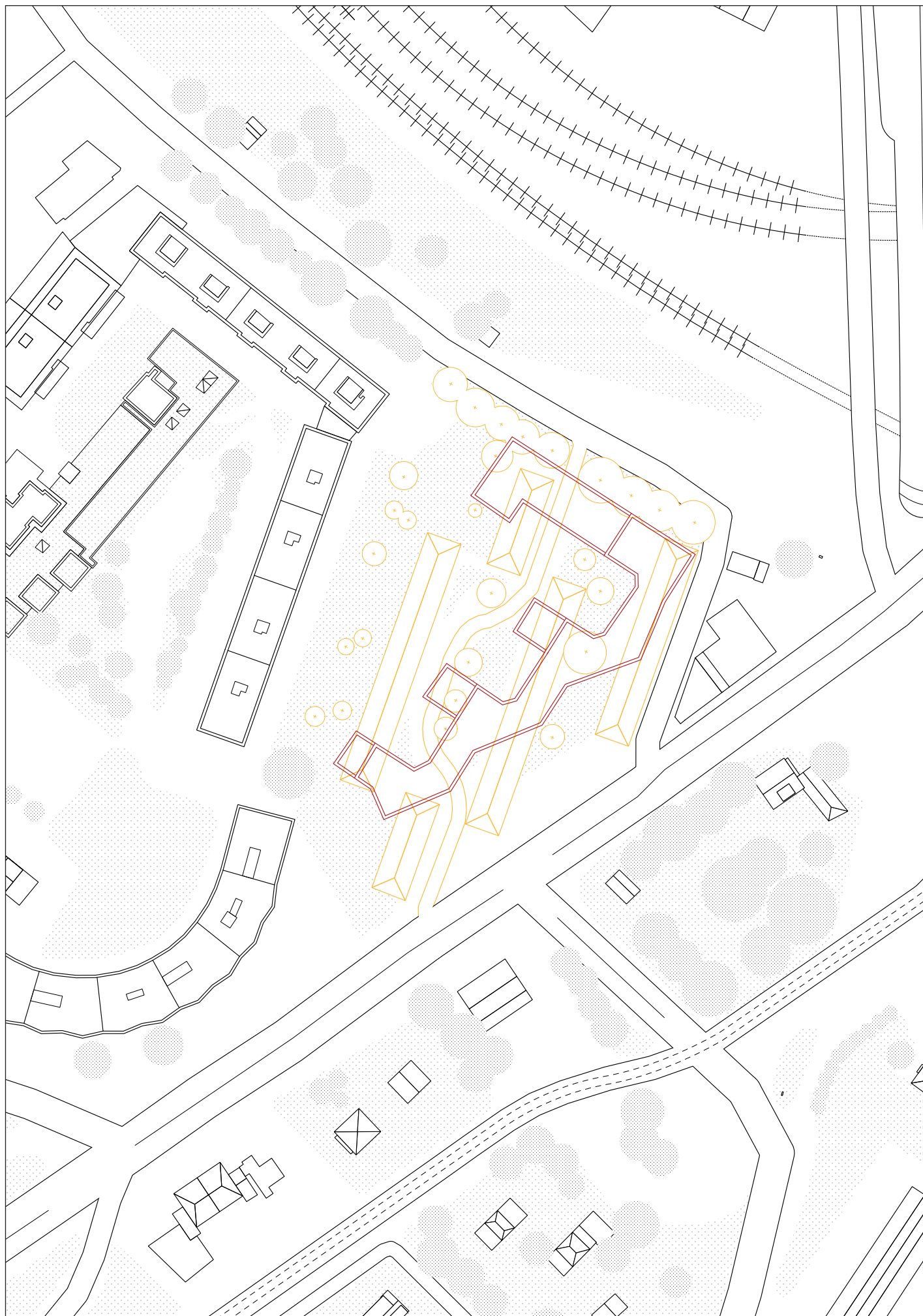
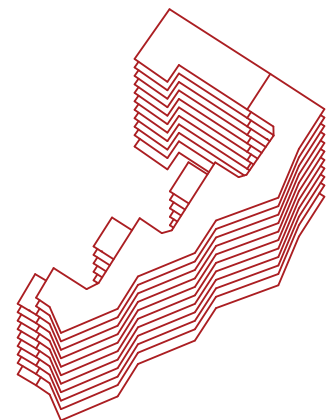


fig. 19

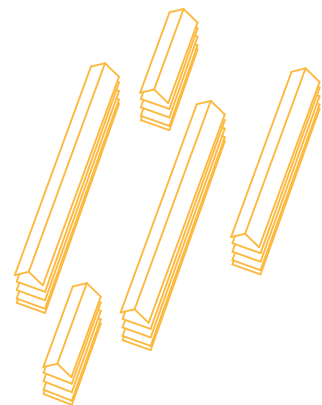
M-8374

Démolition de 18 immeubles de logements



Chemin de Pesay, Lancy

Propriétaire	Privé	
Durée de vie	90 ans	
Affectation	Logement	Logements, commerces.
Surface plancher [m²]	8'358	32'335
Sous-sol	Inexistant, construit à neuf	
Densification	108 logements	243 (+125%)



Cinq barres parallèles situées à proximité directe de la nouvelle gare du CEVA Carouge-Bachet accueillent aujourd'hui 108 logements. Les bâtiments construits au début des années 1930 distribuent deux logements par palier et comportent des appartements allant de 3,5 à 5 pièces. La structure de ces immeubles de trois étages est en béton armé et en maçonnerie et a fait l'objet d'une rénovation complète en 2000. Lors de cette rénovation, les salles de bains et les cuisines ont été changées, et les aménagements extérieurs retravaillés.

Le bâtiment apparaît dans un rapport recensant les logements économiques construits entre les années 1920 et 1960. Il possède la particularité d'être l'une des rares constructions recensées datant d'avant la période de construction d'après-guerre (Département des constructions et des technologies de l'information, 2007, p.5).

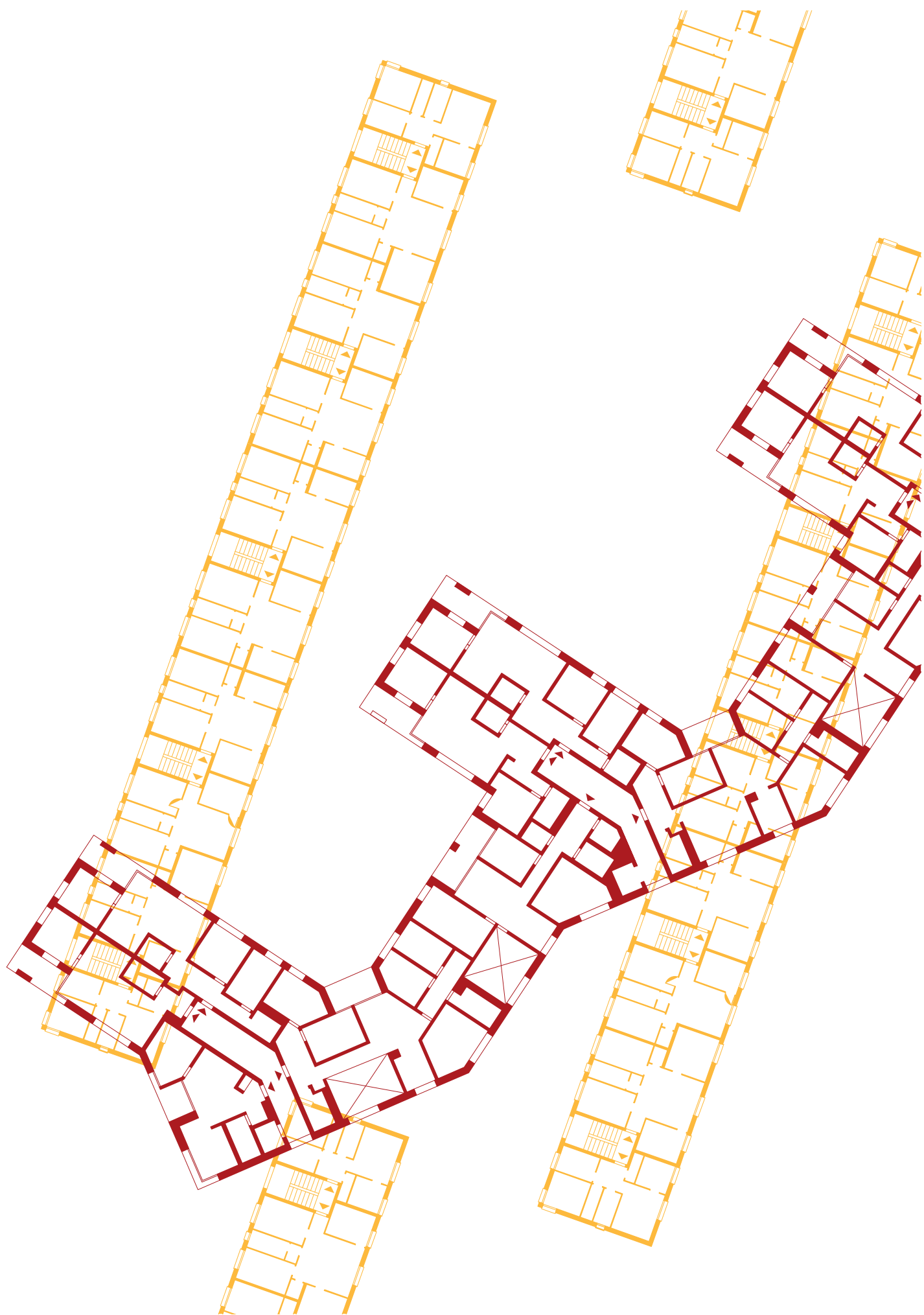
Le rapport est établi en 2007 et a pour but de fournir des outils d'évaluation systématique de ces ensembles au regard de leur valeur patrimoniale, d'usage et d'aménagement. La *valeur patrimoniale* est établie par la direction du patrimoine et des sites, elle détaille une analyse historique du bâtiment et de l'état de préservation de son architecture. La *valeur d'usage* est définie par la Direction de la police des constructions, et par la direction du logement, pour définir l'état de vétusté du logement et son habitabilité au regard des standards contemporains. Finalement, la *valeur d'aménagement* est définie par la direction de l'aménagement du territoire et étudie le potentiel de développement des parcelles, en calculant notamment le gain que procurerait une démolition - reconstruction. Dans le cadre de cette étude, les deux rapports concernant la valeur d'usage et la valeur patrimoniale attribuent la note maximale. Ils soulignent la rénovation récente de l'ensemble et l'actualité des typologies très avant-gardistes pour l'époque. Sa valeur d'aménagement est jugée élevée, avec une note de c (notes de a à d, d étant la note maximale). Celle-ci relève d'un potentiel faible de densification par une construction neuve, en prenant en compte les indices d'utilisation du sol usuels. Le rapport souligne le gain qu'apporterait une surélévation de l'ensemble si elle était possible.

Les parcelles sur lesquelles sont bâties les immeubles appartiennent à une fondation de placement immobilier et les aménagements extérieurs à la Ville de Lancy. Suite aux récentes évolutions de son contexte proche, notamment la construction de la gare du CEVA Carouge-Bachet, le bâti sur cette parcelle a été réévalué au regard de ses futures sollicitations. Dans ce sens, la forme urbaine actuelle des cinq barres parallèles, orientées de manière à garantir les accès extérieurs communs aux appartements devient obsolète. La forte fréquentation de la route de Saint-Julien, principal axe en venant depuis la France, à laquelle vient s'ajouter la construction d'une nouvelle gare a transformé les conditions environnantes de ces logements.

Un concours d'architecture est organisé en 2016 afin de proposer une nouvelle construction sur cette parcelle, qui devrait fortement augmenter son utilisation du sol, et projeter en fonction des nouvelles conditions urbaines. L'objet du concours établit rapidement le bâti existant comme vétuste et dont l'implantation n'est pas en accord avec les futures utilisations du site. Leur démolition est le point de départ du projet pour le secteur Bachet-de-Pesay.

Le bâtiment projeté propose un front bâti sur les bords de la parcelle donnant sur la route de Saint-Julien et sur l'entrée de la gare, afin d'enclore une cour intérieure unique pour les nouveaux logements. Le projet inclut 243 logements répartis en logements étudiants, logements d'utilité publique ainsi que des logements à loyer contrôlé (Van der Poel, 2017). De l'autre côté de la route de Saint-Julien, un bâtiment neuf comportant des logements et des surfaces de bureaux est également construit à la place de deux maisons d'habitation individuelles.

fig. 20 (page de droite)
Superposition des plans d'étages types, bâtiment existant et bâtiment projeté.



20m

fig. 20



fig. 21

fig. 21 (série de 3 photos)
La croqueuse démolit le gros-oeuvre
des bâtiments lorsque les menui-
series intérieures et extérieures ont
été retirées. Le jet d'eau est utilisé
pour faire redescendre la poussière
générée par la démolition.

fig. 22
Novembre 2020, deux barres sont
déjà démolies.



fig. 22

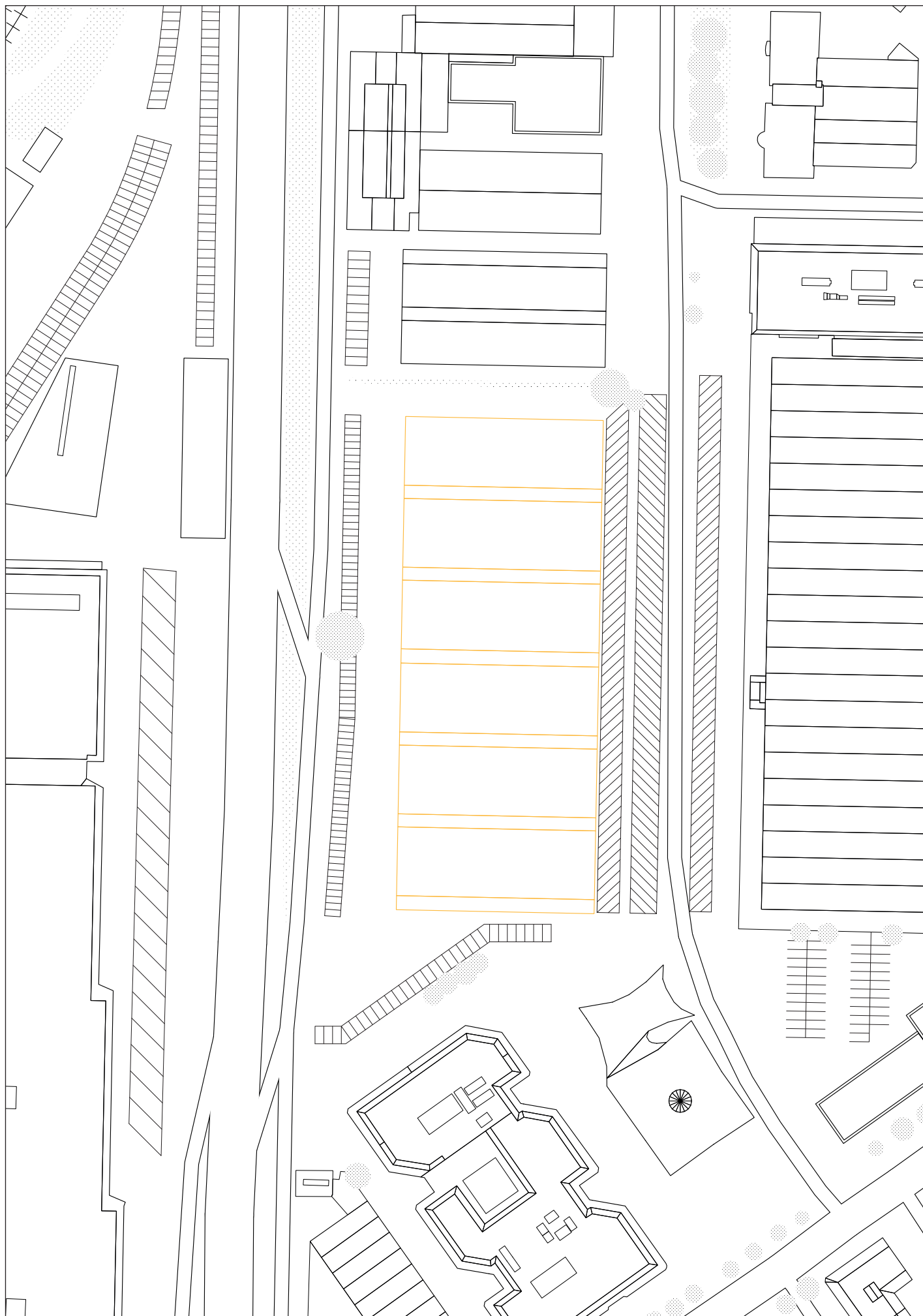


fig. 23

M-8479

Démolition d'une halle de dépôt

Rue Boissonannas, Genève.

Propriétaire	Public	
Durée de vie	58 ans	
Affectation	Dépôt	Inconnu
Surface plancher [m²]	9'080	Inconnu
Sous-sol	Inexistant	
Densification		Inconnu

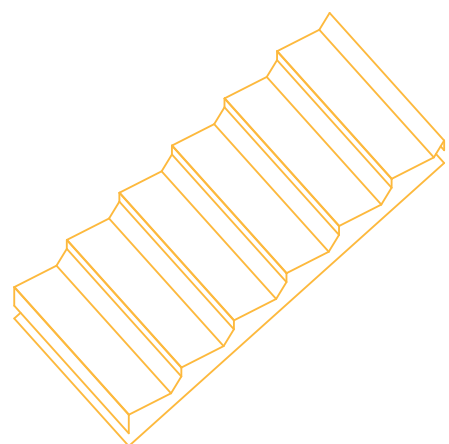




fig. 24



fig. 25

La halle de dépôt située le long de la route des Jeunes est de propriété publique et gérée par la société des Ports Francs et Entrepôts de Genève. La gérance de la halle sous-loue les locaux à différentes entreprises, sur une surface de plus de 9'000 m².

Construite en 1961, la couverture de la halle est soutenue par une charpente qui repose sur une série de poutres en bois lamellé-collé. Cette technique de bois lamellé-collé en était alors à ses débuts, et des premiers désordres dans la structure apparaissent trente ans après sa construction. Les colles de l'époque n'étant pas aussi performantes que les colles actuelles, nécessitant des renforts dès la constatation des premiers désordres.

Les renforts appliqués tiennent dans un premier temps, puis un bureau d'ingénieur est mandaté afin de suivre la structure régulièrement dans le début des années 2000, car les fissures se sont étendues au-delà des premiers renforts effectués. Dès lors, en l'espace de douze ans, les ingénieurs ont effectué des contrôles sur la structure à six reprises, en appliquant des renforcements lorsque cela était nécessaire.

Puis entre 2013 et 2019, trois contrôles approfondis sont effectués afin de suivre l'évolution statique de la structure. Il s'avère que les fissures apparaissent à nouveau, même aux endroits où les renforts ont été appliqués. En 2019 le bureau d'ingénieur décrète que les réparations successives ces trente dernières années ne sont plus sûres, et que la structure - la presque totalité du bâtiment dans le cas d'une halle de dépôt - est déclarée vétuste.

La halle est inoccupée depuis la fin de l'année 2019 par mesure de précaution pour ses occupants, et fait donc l'objet d'une demande de démolition. Le projet de remplacement est pour le moment inconnu, mais la parcelle est centrale dans le projet urbain du PAV, à l'intersection entre le futur quartier de l'Etoile et le quartier Acacias Ouest.

fig. 24 & fig. 25

Photos intérieures de la halle de dépôt. (Office des Autorisations de Construire, dossier M_8479)

fig. 26

Plan de la structure de la halle.

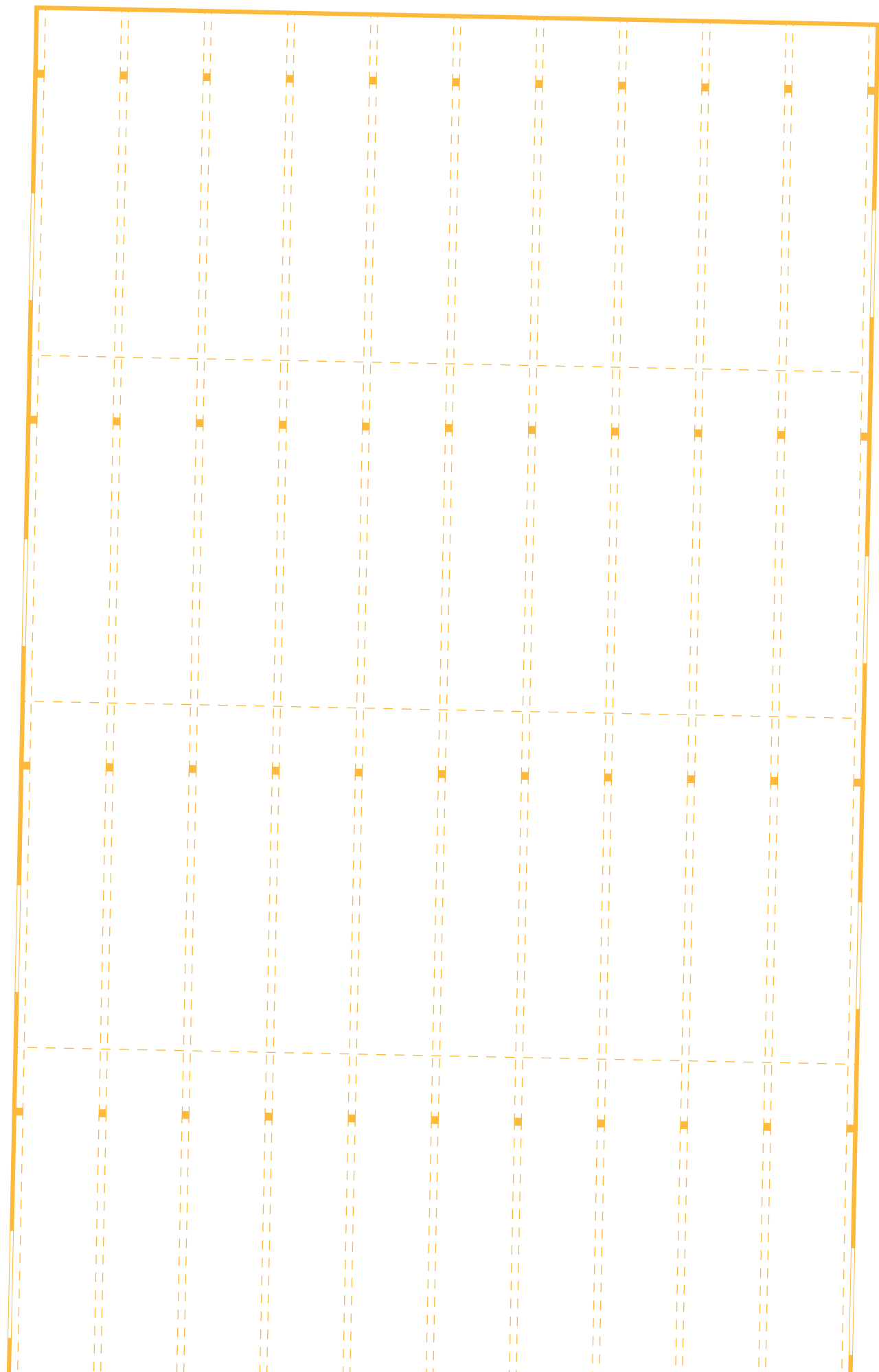


fig. 26



fig. 27

fig. 27 (page de gauche)
Vue de la halle depuis la rue
Boissonnas.

fig. 28
Façade de la halle. La construction
de celle-ci semble très anodine, elle
n'a pour fonction que de couvrir les
espaces intérieurs.



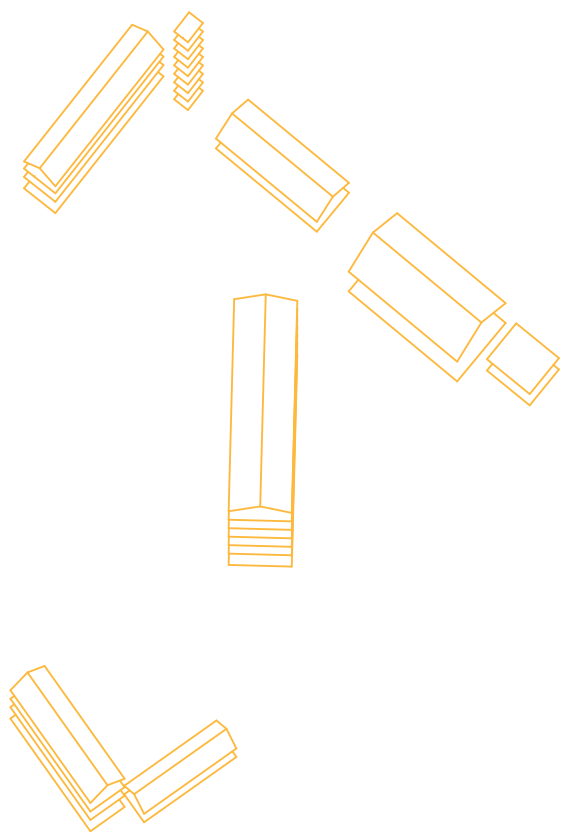
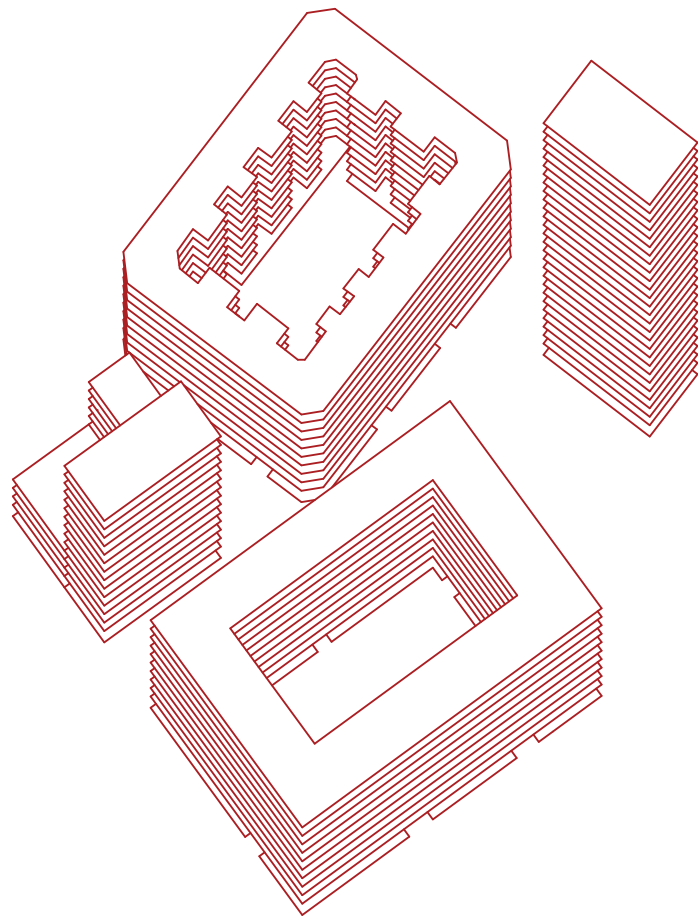
fig. 28



fig. 29

M-8089

Démolition d'une caserne



Rue Hans Wilsdorf, Genève.

Propriétaire	Public	
Durée de vie	62 ans	
Affectation	Caserne	Bureaux, Logements, Act.
Surface plancher [m²]	13'713	163'000
Sous-sol	Existant, reconstruit.	
Densification		1'500 log.

La caserne des Vernets a été construite en 1958 pour remplacer l'ancienne caserne de Genève-Plainpalais, elle-même construite en 1877 (Moeri, 2009, p.34). Le projet pour la nouvelle caserne s'installe à l'époque dans la zone destinée aux équipements publics, sur les rives de l'Arve. Le complexe est composé d'un bâtiment pour loger les officiers, d'un bâtiment administratif, et d'un bâtiment principal pour loger les recrues et pour le réfectoire. Ces trois bâtiments sont construits en béton armé et encercle la place de rassemblement de la caserne, sous laquelle se trouve un vaste abri souterrain. Sur les côtés, un atelier technique, une halle de sport, une tour de guet et un bâtiment de stockage sont répartis sur la parcelle.

La caserne est donc située dans une zone de la ville qui est historiquement de propriété publique, avec la patinoire des Vernets et le centre sportif. Suite au développement du projet Praille-Acacias-Vernets au début des années 2010 et en tant que propriété de l'État de Genève, le parlement a voté en avril 2015 trois crédits permettant de délocaliser l'armée du site des Vernets dès 2020 afin d'y reconstruire des logements. Un an plus tard, cette loi est votée aux élections cantonales par une large majorité de la population et amorce le début du plus grand projet de construction de logements dans le PAV. Les logements ne sont pas en propriété publique, puisque les parcelles ont été directement vendues à des investisseurs qui effectuent ce nouveau développement immobilier, avec un droit de regard de la ville de Genève sur le futur projet.

L'État de Genève organise en 2013 un concours pour le masterplan de 1500 logements, une école et un bâtiment d'activité sur la parcelle de 60'900 m². Le lauréat propose de remplacer les installations militaires par deux îlots et une tour pour les logements, puis un bâtiment d'activités et l'école dans des bâtiments séparés. Si la planification du projet fait l'objet d'un débat public, questionnant notamment la densité du futur quartier, le projet de déconstruction de la caserne existante a commencé depuis août 2018. Les enjeux de ce projet sont symboliques des tensions générées par le PAV, tant les autorités désirent «construire un centre-ville» sur la parcelle, en augmentant considérablement la densité du bâti. L'indice d'utilisation du sol du projet envisagé s'élève à 2,9 (surface habitable / surface de la parcelle), quand des ensembles de logements périurbains possèdent des indices des 1,4, tels que les tours de Carouge. Du point de vue des contestataires du projet, sa forme actuelle témoigne avant tout d'une construction effectuée dans l'urgence de la crise du logement à Genève, sans considération pour la qualité de vie que le futur quartier fournit à ses habitants (Secrétariat du Grand Conseil, 2020, p.46).

fig.30
Superposition des plans d'étages types, bâtiment existant et bâtiment projeté. L'îlot projeté à l'emplacement du bâtiment principal de la caserne sera construit par les bureaux bunq et GD architectes.



20m

fig. 30



fig. 31

fig. 31 (page de gauche)
Vue du bâtiment principal de la caserne des Vernets, depuis la route des Acacias. Les travaux de démolition ont débuté en décembre 2020 pour les bâtiments annexes.

fig. 32
Vue de l'ancien réfectoire, dans bâtiment principal de la caserne.



fig. 32

La première phase du chantier, en même temps que le désamiantage des bâtiments annexes, est le réemploi de certains éléments de construction des bâtiments principaux. En effet, ces bâtiments ont été rénovés dans les années 2000 et 2010, laissant des menuiseries intérieures, extérieures, des appareils sanitaires, et divers mobiliers en parfait état malgré la démolition du bâtiment. Les éléments de construction facilement démontables sont démontés puis vendus via une plateforme de mise en relation accessible par internet. La démarche a pour but de valoriser ces objets, quand ils seraient normalement démolis, puis évacués en décharge ou recyclés.

L'opération de réemploi a débuté en octobre 2020 par un inventaire des éléments à récupérer, puis par la publication de cette liste en vue de la vente. Les éléments achetés sur internet ont ensuite été démontés sur place puis stockés dans une halle de la caserne en attendant que les acheteurs viennent les récupérer. Dans l'opération, les éléments non achetés sont restés en place, hormis certains éléments de construction à forte valeur économique, tels que les fenêtres qui ont été récupérées par l'entreprise en charge du démontage. Si la revente des matériaux permet de financer la main d'œuvre qui les démonte et les stock, lorsque la demande n'est pas suffisante, l'entreprise ne peut pas se permettre de payer la main d'œuvre pour démonter la totalité des éléments et les stocker en vue d'un achat ultérieur.

Cette situation soulève deux facteurs clés à la réussite d'un système de circulations des éléments de réemploi : la stabilité de la demande, et la surface foncière pour stocker et traiter les éléments. En termes d'économie circulaire, cette opération soulève un certain enthousiasme dans la mesure où une partie des éléments de construction ont prouvé qu'ils possédaient encore une valeur sur le marché. Sur l'ensemble de l'opération, 3'611 objets avaient été recensés pour être réinsérés sur le marché. Près de la moitié d'entre eux ont été vendus à des acheteurs privés, récupérés par l'armée ou par l'entreprise de démontage. 900 objets sont restés sur site pour être utilisés au cours du chantier, et 1'000 objets sont restés en place pour être démolis avec le bâtiment (Matériuum, 2020, p.3). Il est intéressant de souligner également que leur traitement, de l'inventaire à la vente, a eu lieu au cours des phases du chantier ordinaire. Le fait d'utiliser un marché public pour tester et promouvoir cette démarche permet de donner une visibilité à la démarche et favorise son fonctionnement économique (Ghyoot et al., 2018, p.200).

Toutefois, afin de soutenir le modèle du réemploi des matériaux, et le rendre bénéfique d'un point de vue environnemental, il est important de développer un réseau d'offre et de demande stable, de relations entre les chantiers de démolition, et ceux de rénovation ou de construction (Ghyoot et al., 2018, p.204). Une fois ce réseau mis en place, la thématique du réemploi ne fonctionne plus au

cas par cas, en misant sur la revente aux particuliers et/ou associations dans le besoin, mais nous pouvons réellement parler de flux d'éléments de constructions, issus du réemploi et accessibles à des prix concurrentiels.

A l'échelle urbaine, la démarche s'implante de manière efficace lorsqu'un plan directeur des futurs chantiers est déjà établi. En région parisienne, l'établissement public territorial Plaine Commune a pu appliquer des mesures afin d'insérer les pratiques de l'économie circulaire au secteur de la construction. L'organisation a établi une Charte Partenariale avec les différents acteurs du projet urbain afin de promouvoir l'économie circulaire, dans lequel il est demandé que 1% du montant total des constructions/rénovations soit dédié à l'achat de produits issus du réemploi ou de la réutilisation. Suite à cette charte, l'organisation de Plaine Commune accompagne et met en relation les différents acteurs afin de faciliter la mise en œuvre. La première étape a été l'établissement d'un diagnostic ressources du territoire, détaillé par programme, par catégorie (émetteur, récepteur, stockage de matériaux), situé dans le temps et dans l'espace afin de mettre en lumière les possibles synergies entre les différents chantiers (Bellastock, 2019).

Dans le cas du projet Praille-Acacias-Vernets, un tel diagnostic ressources aurait catégorisé la caserne comme site émetteur, récepteur et stockeur d'éléments de construction en fonction du phasage du chantier. Nous pouvons relever ici le potentiel du réemploi des éléments de construction sur le site, lorsque celui-ci comporte des affectations similaires à l'ancienne. Dans le cas du réemploi des installations sanitaires, nous atteignons les limites du réemploi lorsqu'il n'est pas encadré légalement. Le projet Quai Vernets, qui remplace l'actuelle caserne, veut obtenir des labels écologiques afin de témoigner et communiquer sur l'approche environnementale du projet. Ces labels exigent un certain type d'appareils sanitaires, plus écologiques au moment de leur exploitation, et empêchent le réemploi des appareils existants (Minergie Suisse, 2017, p.16). Cet état de la pratique traduit une vision majoritairement binaire de la construction, qui ne dispose pas aujourd'hui d'un cadre légal et d'habitudes favorables à la maintenance et la circulation des éléments de construction.

Le bilan de la démarche est globalement positif étant donné l'écoulement des trois quarts des éléments recensés. Ce chantier test permet également de mesurer l'importance de la mise en place de démarches spécifiques au réemploi afin de l'intégrer au secteur de la construction de manière systématique. En effet, le caractère exceptionnel de cette opération dans le territoire genevois constituait sa seule limite, tant la demande sur le marché n'était pas assurée.



fig. 33



fig. 34



fig. 35



fig. 36

fig. 33 & 34

L'ancien atelier de la caserne est utilisé le temps de l'opération de réemploi pour stocker et vendre les matériaux déposés.

fig. 35 & 36

Les appareils sanitaires achetés sur la plateforme mise en place sur internet sont démontés. Les appareils restants restent à poste et seront démolis, puis recyclés ou mis en décharge selon les procédés habituels.

Les exigences fonctionnelles du bâtiment

Les projets étudiés, situés dans la zone du PAV ou dans sa périphérie directe, prévoient tous une augmentation du nombre de logements, conformément au plan directeur du quartier, et à la demande du marché. La variété de propriétaire et d'affectation des anciens bâtiments nous informe sur la diversité des cas auxquels est confronté le projet urbain. La mutation projetée du quartier et de ses bâtiments va au-delà du changement d'affectation d'une zone industrielle et soulève l'attention particulière qu'il faut avoir sur certains types de bâtiments. Le chapitre qui suit liste les raisons invoquées dans les demandes de permis de démolition afin de mieux comprendre pour quelles fins le recours à la démolition complète d'un bâtiment est utilisé.

Morphologie et espaces

La première catégorie de justifications pour la démolition d'un bâtiment que nous identifions concerne le potentiel d'évolution du bâtiment dans un site donné. Dans le cas d'une mutation profonde du territoire, tel que dans le projet Praille-Acacias-Vernets, le bâtiment existant, les espaces qu'il contient et la relation à son environnement nécessitent ont besoin de pouvoir s'adapter à leur contexte social et bâti.

En partant de l'intérieur du bâtiment et pour les bâtiments de logement, des problèmes typologiques sont invoqués. L'architecture d'un logement détermine un cadre de vie précis sur lequel un locataire ne pourra pas ou peu intervenir. Ces choix typologiques sont effectués dans un contexte donné, par un architecte dont les principes ne sont pas éternels et un maître d'ouvrage dont les besoins et les motivations ne sont pas nécessairement basés sur le long terme. La manière d'habiter en ville, qu'elle soit centrée autour de la famille, en habitat communautaire, ou en petits logements individuels, est sujette à évolution. En cas d'obsolescence de l'ensemble des logements qui composent un bâtiment, la valeur locative et l'environnement social de celui-ci sont fortement dégradés, incitant le propriétaire à opérer de profonds changements.

Concernant l'implantation du bâtiment, le propriétaire a intérêt à atteindre une densité d'habitation et d'utilisation maximale de sa parcelle. Au moment de la construction du bâtiment, celle-ci est réglée en surface et en hauteur par des gabarits urbains, et étudiée par le maître d'ouvrage pour évaluer la demande potentielle de locataires. A mesure que les villes s'étendent et s'enrichissent, les potentiels de densité d'une même parcelle évoluent. Si celle-ci était autrefois impropre à une construction dense, l'expansion de la ville rend attractive une augmentation des surfaces habitables sur les mêmes parcelles.

Les choix de l'architecte au moment de la conception du projet sont inscrits dans une réflexion urbaine qui est

également sujette à évolution. Si chaque projet prend en compte son contexte au moment de sa construction, l'accumulation d'infrastructures, et de mutations sur les parcelles environnantes peut amener une forme urbaine à devenir obsolète.

Concernant la marge de manoeuvre des propriétaires pour opérer des changements, les projets de construction, rénovation et démolition de bâtiments sont soumis à autorisation (Canton de Genève, 2020). Les demandes d'autorisations pour les bâtiments hors logements ont pour but d'identifier des potentiels substances dangereuses présentes dans le bâtiment démoli, et de contrôler les changements d'affectation suite à la nouvelle construction.

Dans le cadre des bâtiments d'habitation, la Loi sur les Démolitions, Transformations et Rénovations de maisons d'habitation (LDTR), permet de préserver l'habitat et les conditions de vie des habitants. Ainsi, toute démolition doit être justifiée par un état d'insalubrité, pour des besoins d'intérêts publics, ou/et pour l'intérêt général. Dans un contexte de pénurie de logements et d'autant plus dans des zones en développement comme Praille-Acacias-Vernets, une augmentation de 50% des logements en place est considérée comme un acte d'intérêt général (LDTR, 1996, art. 5 al.1). Suite au renouvellement, la loi prévoit de contrôler les loyers des bâtiments de logements neufs pour une durée de cinq à dix ans afin de lutter contre les démolitions reconstructions de logements uniquement pour des raisons financières. La présence de cette loi témoigne de la nécessité d'encadrer la pratique des propriétaires immobiliers, qui considèrent le renouvellement de leur patrimoine plus avantageux d'un point de vue économique.

Ce niveau d'exigence pour la rentabilité du bâtiment se traduit dans des typologies et des implantations très spécialisées, qui génèrent des formes urbaines spécifiques à leur usage contemporain. D'un point de vue quantitatif et si l'on excepte les coûts de construction, la décision de renouvellement du bâti existant, se base sur trois valeurs. Premièrement la surface de plancher existante, puis la surface de plancher après extension ou surélévation si elle est possible, puis finalement la surface de plancher que permet le projet neuf. Dans ce sens, le taux de 50% fixé par la LDTR est suffisamment élevé pour empêcher de démolir puis reconstruire un bâtiment dans le cas d'une parcelle déjà affectée en logement et qui utilise de manière efficace la surface à disposition. La loi est fixée pour protéger les locataires et non le bâti. Comme le montre le cas du projet de la route des Acacias, les surfaces de plancher auparavant affectées en bureaux ne sont pas comptabilisées dans la loi. Cette dimension légale du projet de renouvellement fixe les limites des potentiels d'adaptabilité des bâtiments, puisque leurs espaces sont finalement catégorisés en fonction de leur affectation.

Logements selon l'époque de construction, en 2019

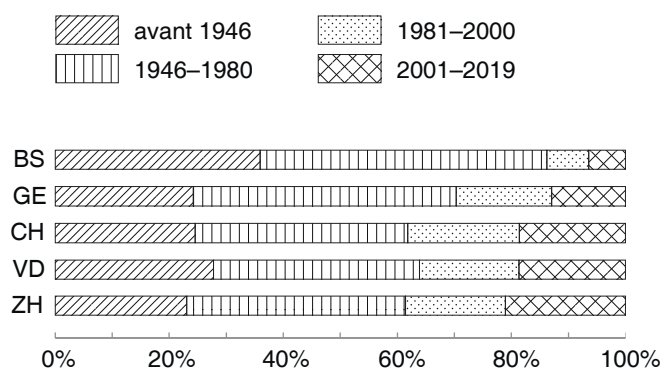


fig. 37

Assainissement énergétique

Un motif courant pour justifier la démolition reconstruction est celui de la mise aux normes des consommations énergétiques du bâtiment. En effet, les énergies opérationnelles émises par les bâtiments de logements demeurent aujourd'hui la première cause de dépense énergétique du secteur de la construction (International Energy Agency, 2018, p.11). En considérant la proportion de bâtiments construits avant les années 2000, et l'évolution des consommations énergétiques en fonction de l'époque de construction, deux stratégies sont envisagées aujourd'hui pour assainir le parc immobilier. La première est la mise à disposition de subvention pour les propriétaires désireux d'améliorer l'efficacité énergétique de leur bâtiment, qui permet des actions directes par les plus petits propriétaires (Canton de Genève, 2020). Dans le cadre des rénovations énergétiques, la LDTR citée précédemment cadre également la mise à disposition de subventions pour les propriétaires d'immeubles qui doivent procéder à un assainissement énergétique. La deuxième approche est celle de la modernisation du parc immobilier, par la construction neuve ou la transformation de logements collectifs. Dans le cas de la construction neuve, elle permet de construire un bâtiment au standard énergétique contemporain et d'adapter au besoin les autres facteurs cités précédemment, tels que les typologies d'habitation, la forme urbaine ou la densité du bâti. L'autre approche est celle de la rénovation énergétique et éventuellement de la transformation du bâtiment existant. Dans un système où le coût de la matière première et le coût de démolition d'un bâtiment sont faibles, la rénovation totale d'un bâtiment ancien est généralement du même coût ou supérieure à celle d'une construction neuve. Si la pratique de la transformation de l'existant doit être mise en avant, elle nécessite un cadre légal avantageux afin de la rendre plus avantageuse économiquement.

Un des leviers économiques utilisés afin de promouvoir une opération de rénovation plutôt que celle de la construction neuve est la taxation de la matière première, ou la subvention du travail de maintenance et de transfor-

[MJ/m².an]

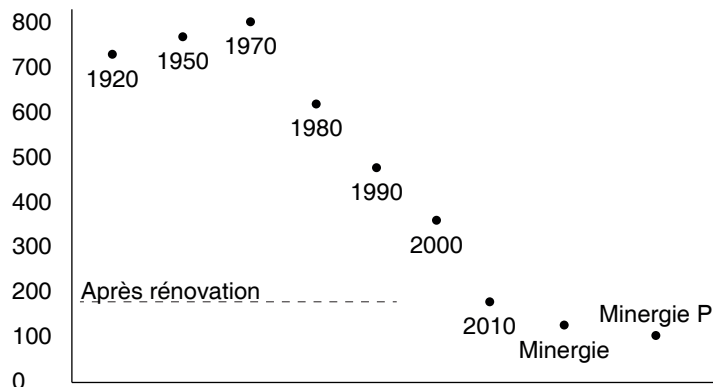


fig. 38

mation. Dans le cas de la Suisse, les taux de TVA s'appliquent dans tous les cas à hauteur de 7,7% (Confédération suisse, s.d.). Les travaux d'entretiens, y compris les améliorations énergétiques d'un bâtiment et les frais de démolition en vue d'une construction neuve, sont déductibles des impôts sur le revenu. L'intention que traduisent ces aides fédérales pour l'entretien du parc immobilier est la volonté d'assainir énergétiquement les bâtiments, par tous les moyens, démolitions-reconstructions incluses (LIFD, 1990, art. 32 al. 2).

En comparaison, les leviers économiques en France pour l'assainissement du parc immobilier comprennent trois taux de TVA différents pour l'assainissement énergétique, la rénovation et la construction neuve. L'assainissement énergétique est taxé à 5,5% afin d'encourager les initiatives privées et l'entretien de l'existant, les travaux de rénovation sont taxés à 10%, et les constructions neuves sont taxées à hauteur de 20% (Direction de l'information légale et administrative, 2020), comme une manière de taxer le fort taux de matière première utilisée.

La nécessité de réduire la consommation énergétique du parc immobilier ne doit pas confondre les objectifs énergétiques et la volonté de bâtir à neuf. Le faible écart de performance énergétique entre un bâtiment rénové et un bâtiment neuf nous permet d'intégrer la question des énergies embarquées qui sont émises lors de la reconstruction du bâtiment.

fig. 37

Proportion de logements par époque en fonction du canton de Bâle, Genève, Vaud, Zurich . (données: OFS - Statistique des bâtiments et des logement. 2020)

fig. 38

Consommation énergétique des bâtiment selon leur époque de construction. (Energie-environnement.ch)

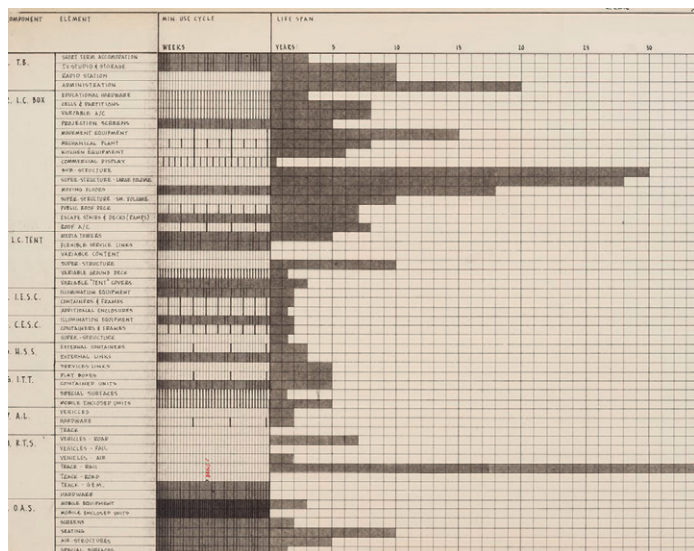


fig. 39

Obsolescence

Ces raisons témoignent de l'obsolescence du bâti et de ces espaces de vie, non pas de la vétusté des matériaux qui le compose. Nous relevons en premier lieu l'obsolescence de l'architecture du bâtiment: lorsque la forme urbaine, ou la typologie d'habitation n'est plus aussi efficace que ne le serait une construction neuve. Puis l'obsolescence technique du bâtiment, dans le cas où les composants d'origine ne sont pas aussi performant que les nouveaux matériaux disponibles sur les constructions neuves.

Suite à l'étude des facteurs menant à la démolition, nous pouvons questionner la maintenance dans le temps des bâtiments: Comment les bâtiments plus que centenaires dans nos centre ville sont moins rapidement démolis que nos nouvelles constructions ? La préservation de ces anciens bâtiments ne résulte pas entièrement d'un statut de protection patrimoniale. Elle provient également de la haute qualité des constructions anciennes, et de l'inertie de l'environnement bâti du centre-ville, moins sujet à changement que les zones péri-urbaines (Hassler, 2009, p.554).

Ces phénomènes d'obsolescence accélérée du bâti en milieu urbain sont apparus au début du XXe siècle. Il s'agit des débuts d'une société extrêmement dynamique avec un afflux de ressources et de nouvelles techniques de construction et de démolition. Si l'épicentre de ce phénomène se situe incontestablement aux Etats-Unis, il touche tous les pays développés dont les valeurs sociétales ne se reflètent plus dans l'ancien bâti de leur ville (Abramson, 2016, p.5). En réaction à ce besoin d'évolution rapide de la ville, l'architecte suisse Hans Bernoulli théorise en 1946 une ville en constante régénération. Il imagine des durées de vie affectées selon le type de bâtiment, programmes temporaires, bureaux et logements qui dureraient respectivement 30, 60 et 80 ans avant d'être reconstruits (Abramson, 2016, p.58).



fig. 40

Face à la nécessité d'adapter la pratique architecturale à cette société en changement permanent, d'autres mouvements architecturaux préfèrent réformer la construction architecturale et son statut de produit fini. A travers son projet pour le concours d'une université, l'architecte Cedric Price inclut une dimension temporelle profonde dans son projet *Potteries Thinkbelt* en 1965 en fournissant un tableau pour l'espérance de vie de chaque élément qui compose le projet. Cette démarche établit donc un cycle de renouvellement à toutes les parties du bâtiment afin de mieux contrôler leur dépréciation dans le temps (Jacobs et Cairns, 2014, p.117).

Aujourd'hui, le cadre légal pour accompagner la durée de vie du bâtiment n'est ni allé dans le sens du renouvellement par partie des éléments du bâtiment, ni dans une approche plus autoritaire d'un renouvellement urbain périodique. Les décisions d'entretien et de renouvellement des parties du bâtiment sont effectuées par le propriétaire au cours de la durée de vie du bâtiment, qui est avant tout guidé par des motivations économiques. Ainsi, des bâtiments conçus comme adaptable, modulables ou démontables sont démolis en suivant le phasage standardisé des chantiers de démolition, le plus économique. Le cas du home pour personnes âgées construit en 1974 selon des principes de modularités en réponse aux besoins d'évolution du programme est édifiant. Bien que les schémas de conception et de construction du bâtiment explicitent la construction hiérarchique du bâtiment et son potentiel de démontabilité, le bâtiment est démolé en 2015 selon les processus standards (Ghyoot et al., 2018, p.123).

La vétusté d'un bâtiment, à l'inverse de l'obsolescence, décrit l'état de la matière. Il dépend des propriétés des différents matériaux, de leurs sollicitations et de leur maintenance. Cette analyse soulève la question de l'entretien du bâtiment par son propriétaire, notamment de son intérêt financier à investir dans la réparation de son bien.

Afin de répondre à cette question, la comparaison de maintenance au cours de leur vie des cas d'études 1 et 2 permet de confronter la responsabilité du propriétaire dans l'entretien du bâtiment, et l'impact que cela peut avoir sur sa durée de vie. Comment se fait-il qu'une halle de dépôt construite avec une structure en bois lamellé-collé, soit démolie après une durée d'exploitation égale à celle d'un bâtiment de logement et de bureaux avec une structure en béton armé ?

Dans le cas de la halle de dépôt, le devoir de fonctionnement de la halle vis à vis du locataire pendant la durée de leur contrat a poussé le propriétaire à investir dans un suivi régulier accompagné de renforcements de la structure au cours des 60 ans de sa durée de vie. En parallèle, la construction par les frères Honegger du *vaisseau des acacias* (Tribune de Genève, 2020), s'est suivi d'une absence presque totale d'entretien ou de rénovation. Les défauts de construction qui ont entraîné la dégradation rapide de la structure n'ont été relevés qu'au moment d'établir le rapport d'ingénieur pour établir la nécessité de démolir ou d'entreprendre des travaux lourds.

Dans le cadre légal actuel de propriété privé du terrain et des bâtiments, la gestion sur la longue durée du stock urbain se heurte souvent à des calculs de rentabilité financière à moyen terme. Si le bâti possède des propriétés qui peuvent l'amener à survivre sur plusieurs générations, les régulations sur les bâtiments construits ne leur permettent pas de s'adapter et d'évoluer en étant économiquement compétitifs avec une construction nouvelle. Ainsi, le propriétaire qui n'entretient pas son bâtiment régulièrement et qui doit procéder au paiement de la rénovation de la structure, de la rénovation énergétique, sanitaire et éventuellement de l'organisation spatiale intérieure est dans une situation que le marché de la construction résout pas la construction neuve. Le cas d'étude montre que sans législation favorable à l'entretien de l'existant, les coûts de la rénovation se rapportent au moins à ceux d'une construction neuve.

fig. 39

Graphe des cycles d'utilisation et d'espérance de vie des différents éléments du projet, par Cedric Price, 1965.
(Canadian Centre for Architecture)

fig. 40

Photo de la démolition du bâtiment Drie Hoven. La structure mise à nue laisse entrevoir le potentiel de démontabilité.
(photo: Erwin van Amstel, 2014-2015)

L'étude de cas des projets contemporains du travail nous informent des répercussions du projet urbain sur son territoire à un instant précis. Nous décrivons le moment du projet étudié, comme celui où le foncier inclus dans le projet urbain n'est pas entièrement disponible, malgré une demande en logement toujours plus forte. Cette pression du marché sur le bâti se traduit dans des projets de démolition reconstruction, à la forme et aux espaces optimisés, et qui mettent de côté la possibilité d'expérimenter la réutilisation et la transformation de l'existant. En matière de protection du bâti, le cadre légal existant vise surtout à protéger les habitants, et les sites patrimoniaux. Afin d'encourager les projets de transformation de l'existant, nous identifions ce cadre légal comme levier majeur pour réguler des pratiques de la construction économiquement favorables à la construction neuve.



Les différentes couches du bâtiment

Le travail relève que les bâtiments nouvellement construits, s'ils sont plus performants durant leur phase d'exploitation, ne sont pas mieux conçus ou encadrés légalement pour posséder un bilan carbone moindre au moment d'analyser leur cycle de vie. Les bâtiments en tant que réservoirs d'émissions de gaz à effet de serre nous poussent à porter un nouveau regard sur le bâti, face nos objectifs à plus long terme de neutralité carbone (Gugerli et Pfäffli, 2020, p.30).

La critique émise sur les démolitions qui ont lieu au cours des renouvellements urbains actuels, est le faible degré d'apprentissage effectué sur le bâtiment préexistant, notamment sur sa fin de vie. Les nouvelles constructions sont en majorité non-adaptables, grandes consommatrices de matériaux neufs et non démontables, donc fortement propices à une démolition précoce et coûteuse en énergie à l'avenir. Afin de comprendre les potentiels de réduction de notre consommation d'énergie embarquée, ce chapitre décompose le bâtiment en la somme des éléments qui le constitue, afin d'identifier les caractéristiques de ces éléments. En termes d'efficacité énergétique et de gestion de notre consommation des ressources, nous voulons aligner les cycles de renouvellement et les cycles de vie des matériaux qui le composent.

fig. 41 (page de gauche)
Transformation d'un bâtiment industriel sur le site de l'entreprise Rolex aux Acacias, Genève.
Novembre 2020.

fig. 42
Schéma des différentes couches qui constituent un bâtiment.
Steward Brand, 1994.

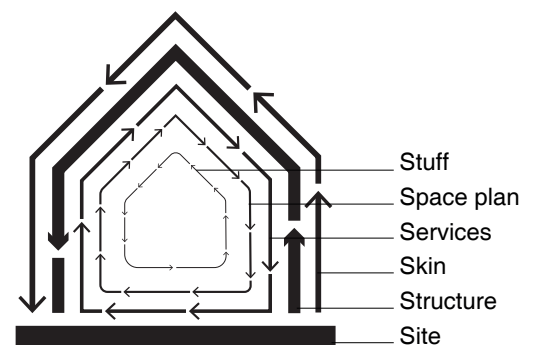


fig. 42

En dehors de l'architecture, cette vision du bâtiment se nourrit de la discipline de la Théorie des Systèmes et de l'ouvrage de Stanley Salthe publié en 1985, *Evolving hierarchical Systems*. Le livre énonce que dans un système donné, les éléments évoluent dans le temps de manière différente (Salthe, 1985). Dans un tel système, les éléments s'organisent de façon hiérarchique afin de ne pas entraver au fonctionnement global. En 1994, Stewart Brand dans son livre *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*, applique cette notion à l'architecture et décompose le bâtiment en différentes couches qui évoluent dans le temps de manière indépendante. Il décrit la règle des six "S", Site, Structure, Skin, Services, Space plan and Stuff, et déconstruit l'image unitaire du bâtiment pour donner la vision d'un site ou d'une parcelle de terrain, comme d'un système dont les éléments évoluent selon des logiques différentes. Le concept qui émerge de ceci en architecture est le *pace layering*, comme principe de projet qui arrange les différents éléments constructifs de manière à ce que leur renouvellement ne nuise pas au fonctionnement du système plus général (Brand, 1994, p.38).

Our basic argument is that there isn't such a thing as a building [...] A building properly conceived is several layers of longevity of built components.
(Brand, 1994, p.35)

Brand détaille ainsi la règle des six "S": Tout bâtiment est inclus dans un site, qui est éternel. La Structure représente à proprement parler le bâtiment, puisqu'elle est trop chère et difficile à simplement changer. Sa durée de vie peut s'étendre de 30 à 300 ans. *The Skin*, l'enveloppe du bâtiment est sujet à changement pour s'adapter aux nouvelles tendances ou technologies, notamment pour leur optimisation thermique. *The Services* sont les éléments techniques facilitant le fonctionnement du bâtiment, tels que la tuyauterie, les câblages électriques, les systèmes de sprinkler, de ventilation. *The Space Plan* sont les cloisonnements intérieurs, qui arrangent les différents espaces du bâtiment et sont susceptibles de changer tous les 3 ans. La dernière couche, *The Stuff*, est le mobilier qui sont des éléments plus fluides et sont susceptibles de changer de manière mensuelle voire quotidienne.

L'interprétation de ce modèle ne doit pas s'arrêter à la durée de vie que Brand attribue à chaque couche du bâtiment. Ces années indicatives soulignent le degré d'obsolescence auquel sont soumis les différentes couches d'un bâtiment, et donc leur taux de renouvellement. En réalité, les principes de l'économie circulaire nous apprennent que le taux de renouvellement et la durée de vie d'un élément sont deux choses différentes. L'enjeu est d'utiliser ce schéma pour identifier la propension au réemploi des différents éléments du bâtiment, et de la maximiser afin de prolonger la durée de vie de chaque élément

même s'ils sont amenés à changer de système.

L'exemple du mobilier, pourtant sujet à des renouvellements fréquents, mais dont la durée de vie est susceptible d'être plus longue que celle d'une porte, simplement car sa valeur sur le marché en rapport à sa facilité de revente est plus forte. Dans l'état actuel de l'économie et de la construction des bâtiments, la matière et le travail contenus dans la chaise sont donc susceptibles de durer plus longtemps que des fondations en béton armé par exemple. Ce schéma montre un type d'organisation rationnel des bâtiments en vue du renouvellement de ses parties. Cette méthode guide certains architectes dans leur pratique. Elle peut également servir comme outil théorique pour appréhender le contexte existant, et informer sur la composition d'un site d'une manière plus complexe que le cadre légal existant.

Maintenance des structures

Les propriétés statiques de la structure en font un des éléments avec la plus longue espérance de vie, pour autant qu'elle soit régulièrement vérifiée et entretenue (Brand, 1994, p.38). Parmi les différents éléments du bâtiment, la structure compte pour la majeure partie de la masse, du volume et de l'énergie embarquée de celui-ci (Kaethener et Burrige, 2012, p.39). Ces deux paramètres nous amènent à considérer la structure comme une couche à part, qu'il est stratégique de maintenir en vue de réduire l'impact environnemental de la fin de vie des bâtiments.

Energétiquement et fonctionnellement, nous pouvons défendre l'effort de maintenance des structures existantes et construites dans le futur. Cette approche considère la proposition de l'architecte John Habraken qui propose en 1972 de séparer les bâtiments en deux parties autonomes, leur squelette et leur remplissage (Habraken, 1972). Sa proposition s'inscrit dans une démarche sociale afin d'augmenter le potentiel d'appropriation des usagers, mais est reprise pour des fins environnementales en 1999 par l'architecte Stephen Kendall. Le fait de distinguer la structure du bâtiment des fonctions qu'il comporte permet d'allier la maintenance des éléments pérennes dans le temps, avec un potentiel d'évolution dans le cadre que fixe la structure existante (Kendall, 1999). Considéré comme les os du bâtiment, le renouvellement de la structure équivaut généralement à la démolition complète du bâtiment. En tant que dernière couche de celui-ci, elle possède donc le potentiel d'être maintenue et de servir de support pour d'autres usages.

Dans ce sens, l'œuvre de l'architecte allemand Mies Van Der Rohe se voulait explicitement adaptable, dans le but de prolonger sa durée de vie.

Mies cautioned, "The purposes for which a building is used are constantly changing and we cannot afford to tear down the building each time [...] the building lasts much longer than its function."

(Abramson, 2016, p.85)

Augmenter l'adaptabilité des structures pour plusieurs usages revient donc à dissocier la structure, générique, des espaces du bâtiment, adaptés à son usage. Dans le cas des constructions neuves, ce principe est intégré dès la conception du bâtiment afin de servir au mieux les différentes fonctions que la même structure est appelée à exercer. La forte proportion de bâtiments en apparence impropres à une réadaptation nous pousse à découvrir le degré de généricité que propose l'existant.

Légalement, la pratique du projet architectural est déjà accoutumée à ce type de contrainte. Nous pouvons prendre l'exemple des arbres remarquables et protégés, qui consti-



fig. 43



fig. 44

fig. 43

L'architecte Otto Frei réalise la Ökohaus, à Berlin entre 1989 et 1991. Il dessine la structure en béton armé comme support pour des projets d'habitations individuels pour chaque habitants.

©engelhardt-kueenzlen

fig. 44

Les bureaux d'architectes Bruther et Baukunst réalisent conjointement des logements étudiants sur le campus de l'université Paris-Saclay, livré en 2020. Le programme est composé de 185 logements et un parking réversible en logements à terme.

©Bruther, ©Maxime Delvaux

tuent pour des raisons environnementales et paysagères un paramètre acquis dans le projet futur.

Le présent règlement a pour but d'assurer la conservation, à savoir la protection, le maintien et le renouvellement de la végétation formant les éléments majeurs du paysage.
(RCVA, 1999, art. 1)

Si le cadre légal distingue la structure du bâtiment, et rend sa démolition plus coûteuse que sa transformation, le dilemme entre projet neuf et une approche sur l'existant est bouleversé. Pour reprendre les termes de l'économie de fonctionnalité, la structure profondément incluse au site est un élément dont la fonction est de supporter les espaces qui composent le bâtiment. Le rôle du propriétaire est d'en assurer au mieux et le plus longtemps possible sa fonctionnalité afin de garantir une valeur d'usage élevée de sa parcelle.

Seen this way, a building is flow, not form; it is creative, not merely a creation.
(Jacobs et Cairns, 2014, p.66)

L'approche n'est pas à percevoir comme un coup d'arrêt à la pratique architecturale, elle permet de changer notre vision sur les bâtiments et le territoire sur lequel nous construisons. Elle concilie les exigences d'évolution du bâtiment avec une valorisation de la matière qui le compose. La rétrogradation qu'implique cette vision du bâti est celle des moyens mis en œuvre pour la démolition des bâtiments. L'augmentation des fortes pressions économiques sur les chantiers de démolition dès les années 1920 puis le développement des engins de chantier, notamment durant la seconde guerre mondiale, ont mené à considérer la démolition du bâtiment comme un seul élément (Ghyoot et al., 2018, p.33). Dès lors que la structure est maintenue en place, la déconstruction du bâtiment est plus minutieuse, ne prend pas en compte toutes les parties et rend la pratique du réemploi plus avantageuse que lors de la démolition totale d'un bâtiment.



fig. 45



fig. 46

fig. 45

Dans le quartier de la Jonction, à Genève. 83 logements sont répartis dans trois plots construits en 1955. Les logements sont démolis en 2020, à l'inverse des arbres, plantés lors de la construction des logements.

©Google earth

fig. 46

Le projet lauréat - et tous les autres concurrents - ont dû adapter la forme urbaine de leur proposition en fonction des arbres existants sur le site.

©dl-c, design lab construction.

fig. 47

Réinterprétation du schéma de Steward Brand. Les éléments naturels en ville sont protégés et conditionnent le projet architectural. La protection de la matière urbaine peut passer par une législation distincte de la structure, en tant qu'éléments pérennes et consommateurs d'énergie dans le bâtiment.

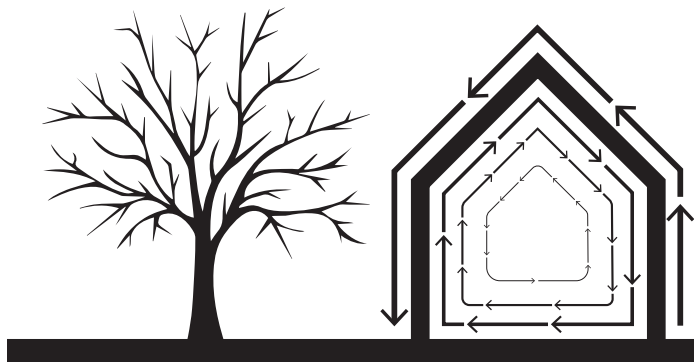


fig. 47



fig. 48

Limites et applications

La conservation des structures en vue d'une utilisation évolutive d'un bâtiment dans le temps nécessite une approche particulière sur l'existant dès aujourd'hui. Si l'approche est cohérente environnementalement, elle ne peut pas se résoudre à attendre que des bâtiments contemporains conçus adaptables deviennent éventuellement obsolètes pour bénéficier de leur potentiel de transformation. Chaque structure dans la ville possède un certain degré de genericité qui lui permet de changer d'affectation.

La question de la conservation et de l'évolution des bâtiments est déjà présente dans notre culture architecturale, pour le moment majoritairement pour des raisons patrimoniales. Les architectes sensibles aux questions sociales des renouvellements urbains ne manquent pas de souligner les effets néfastes qu'ont les démolitions reconstructions sur ses habitants lorsque l'immeuble est démoli. Dispersion d'une collectivité, relocalisations, hausses de loyers: derrière l'intérêt économique d'un propriétaire, et au-delà de la préservation de la matière, les conséquences peuvent être sociales (Publica et Stanhope, 2017). Le cas des grands ensemble de logements construits durant le XXe siècle et aujourd'hui inadaptés ou simplement mal-aimés, est un exemple édifiant des difficultés économiques rencontrées au moment de défendre leur transformation face à un projet neuf. Les possibilités de modernisation, de réadaptation et d'expression architecturale nouvelle sont pourtant vastes, comme le témoignent les deux derniers lauréats du prix européen Mies Van Der Rohe Award décerné en 2017 à la transformation d'un ensemble de 500 logements à Amsterdam, et en 2019 pour la transformation de 530 logements à Bordeaux (Mandrup, 2019).

Les trois références qui suivent sont des exemples de transformation de bâtiment en Suisse. Ces projets ont fait évoluer un bâtiment existant en fonction des nouvelles

fig. 48
Dans son livre *L'architecture de la Ville*, Aldo Rossi prend l'exemple du Palazzo della Ragione construit à Padoue à l'époque médiévale, qui s'est adapté à de multiples usages à travers les époques. Au delà d'un monument historique, le bâtiment est capable de supporter plusieurs fonctions et de garder une fonction contemporaine.
©Didier Descouens, 2017.

contraintes que le site, les normes ou les styles de vie demandaient au moment de leur transformation. Les trois projets, ainsi que les deux grands ensembles rénovés puis primés aux Mies Van Der Rohe Awards, doivent leur réalisation à la curiosité d'un maître d'ouvrage, ou à une situation légale ou économique favorable. Dans ce sens, ils font figure de cas exceptionnels d'une pratique de la transformation et de l'évolution du bâti qui présente des bénéfices environnementaux non négligeables s'ils sont appliqués systématiquement.

Rénovation des grands ensembles

Le complexe de Tscharnergut à Berne, construit en 1966 qui comporte 1200 logements répartis dans huit barres et cinq tours. La population initiale s'élevait à 5000 habitants et a aujourd'hui diminué de moitié, témoignant des changements de mode d'habitations depuis la construction initiale des bâtiments. Les trois coopératives qui gèrent le complexe désirent donner une chance aux bâtiments et engagent la rénovation d'une barre en 2015, puis d'une deuxième en 2016 par les bureaux locaux Rolf Mühlethaler et Matti Ragaz Hitz architekten.

Le projet initial considérait un changement des typologies existantes, puis s'est finalement contenté d'épaissir le bâtiment, reconstruire les voies de circulations verticales et rénover les logements existants, pour abaisser les coûts de la rénovation. Les logements existants ont donc été agrandis par l'épaississement de la façade, mais gardent sensiblement la même répartition de pièces (Herzog, 2016, p.13).

Une fois les travaux réalisés, les avis sont mitigés. Les architectes sont satisfaits d'avoir pu préserver et donner une seconde vie aux bâtiments, malgré la moindre radicalité de la rénovation. De l'autre côté, le directeur général de la coopérative soutient que le prix de la rénovation a été le même que celui d'une construction neuve, sans l'avantage de pouvoir fournir des typologies d'habitations, des standards sismiques et incendie contemporains. Les autres bâtiments qui constituent le complexe de Tscharnergut risquent donc d'être démolis afin de faire place à de nouveaux bâtiments (Herzog, 2016, p.16).

Assainissement énergétique

En 2017, le bureau zurichois Kämpfen Zinke + Partner est chargé de la rénovation et surélévation d'un petit immeuble de 48 logements construit en 1970. Le projet est un exemple de bâtiment énergétiquement autonome dont la structure originale a été maintenue. Les architectes ont combiné l'ajout de panneaux solaires en toiture et en façade, avec le remplacement du conduit d'évacuation d'air par une cuve de stockage d'eau sur toute la hauteur du bâtiment, puis l'ajout de deux sondes géothermiques. Ce concept énergétique confère le label Minergie-A au

bâtiment, qui garantit son indépendance énergétique (Minegie, s.d.). Le bâti existant datant de la pire période de construction en termes d'énergie d'exploitation, le bilan total de la rénovation est très encourageant puisqu'il a également permis de ne consommer qu'un tiers de l'énergie grise et de coûter les deux tiers des coûts d'un bâtiment neuf selon les estimations du bureau (Kaempfen, s.d.).

Cette opération énergétiquement très convaincante a pu être réalisée, comme souvent, dans une conjoncture économique favorable à la conservation du bâtiment. Le quartier dans lequel a été construit le bâtiment dans les années 1970 a depuis lors changé de plan directeur et n'aurait donc pas accepté une construction neuve aussi dense que celle de l'existant. Le fait de conserver le bâtiment existant n'est ainsi pas une motivation écologique mais bien une motivation économique pour maintenir la rentabilité actuelle de l'immeuble (Fritzenwallner, 2018, p. 120).

Changement d'affectation

La question de la mutation de zones industrielles à laquelle est confrontée la ville de Genève et le besoin de densifier les logements sont des contraintes communes aux grandes villes européennes. La ville de Zürich a également procédé à la transformation d'une zone industrielle entre 2004 et 2016, avec deux bâtiments existants sur le site de Freilager (Meili Peter Partner, s.d.). A l'origine du masterplan, le bureau zurichois Meili Peter Partner a imaginé le nouveau quartier autour des bâtiments existants.

Les deux bâtiments en brique de plus de cent mètres de long construits au début du XXe siècle semblent pourtant impropre à leur transformation en logements, avec 24 mètres de profondeur d'étage. Au cours de sa transformation, les architectes arrivent à inclure dans leur projet des logements allant de 2,5 à 5,5 pièces dans l'ancienne usine. Ils surélèvent ensuite celle-ci de trois étages en profitant de sa puissante structure. Le bâtiment existant définit donc le point de départ du futur quartier, qui se développe orthogonalement à celui-ci pour créer un quartier de plus de huit-cents logements sur approximativement 53 hectares. La conservation de l'existant dans le cadre de ce projet ne résulte pas de facteurs économiques mais permet surtout d'ancrer culturellement, et urbanistiquement, le futur quartier qui s'installe dans une zone autrefois très peu dense.

fig 49
Vue extérieure de l'ensemble de
Tscharnergut, Berne.

fig. 50
La cuve d'eau chaude a été conçue
sur mesure pour remplacer un
ancien conduit de ventilation. Elle
permet de stocker suffisamment
d'eau chaude pour les 48 studios de
l'immeuble.
©René Röthel

fig. 51
Vue extérieure de l'immeuble réno-
vé et surélevé d'un étage.
©Kaempfen

fig. 52 & 53
Vue extérieure et intérieur du projet
des architectes zurichois Meili
Peter Partner.
©Meili Peter Partner



fig. 49



fig. 50



fig. 51



fig. 52



fig. 53

L'énergie du territoire

Si la conception du bâtiment, le choix des matériaux et leur durée de vie définissent la quantité d'énergie embarquée dans un bâtiment, il est également intéressant de regarder cette question à l'échelle urbaine. Cette représentation d'une émission de gaz à effet de serre est répartie dans le temps d'une manière plus complexe que les énergies opérationnelles, que l'on peut calculer sur la base d'une année type. Dans le cas des énergies embarquées, le terme d'investissement énergétique est approprié puisqu'il fait prendre conscience de la dette environnementale que l'on contracte à chaque construction. L'amortissement de cette dette s'effectue à mesure que le bâtiment évolue dans le temps et s'adapte à son contexte. La pratique du réemploi des matériaux vise à diminuer l'énergie embarquée émise dans les nouvelles constructions, en y incluant des éléments d'une autre construction. Dans un même registre d'économie de l'énergie embarquée, le travail de maintenance dans le temps des éléments de constructions sur un même site vise à prolonger la durée de vie, donc l'amortissement énergétique des constructions. Le travail publié en 2020 par le Structural Xploration Lab, de l'EPFL cartographie les énergies embarquées dans le bâti genevois et permet cette visualisation (Fivet et al., 2020). Ces cartographies questionnent de plusieurs manières les différents quartiers de l'agglomération et les morphologies de leurs bâtiments.

La lecture de ces cartes nous informe sur la haute efficacité en énergies embarquées des centres historiques, dont les bâtiments s'adaptent à de multiples usages et sont maintenus sur plusieurs générations. A l'inverse, les quartiers péri-urbains construits plus récemment et déjà obsolètes pour certains présenteront des valeurs d'énergie embarquée très hautes rapportées à leur durée de vie (fig.56). Dans la recherche citée, le bilan d'énergie embarquée du stock urbain genevois est rapporté à trois durées d'amortissement hypothétiques de 50, 100 ou 200 ans. La courbe informe donc sur l'efficacité énergétique du territoire, qui dans le cas de Genève connaît un pic en 1919, descend jusqu'en 1945 pour remonter jusqu'en 1970. Les périodes ascendantes de ce graphique traduisent les périodes de grandes constructions, et nous informe par exemple sur l'investissement énergétique effectué lors de la construction massive de logements collectifs entre 1960 et 1975 à Genève.

Si la ville évolue en permanence, le renouvellement des quartiers non-adaptables ne permet pas la réduction de notre consommation d'énergie embarquée dans un territoire donné. A l'échelle de la ville, nous portons un regard critique sur les quartiers qui n'arrivent pas à s'adapter à l'évolution de la ville, au travers de plusieurs cycles de vie. Certes, cette matière se dégrade avec le temps et nécessite d'être maintenue, mais la lecture de ces cartes soulève la question de notre gestion de ces énergies em-

barquées en vue des futurs développements. Si le principe du bâtiment zéro carbone est appliqué à la ville et sa construction, cette dépense d'énergie doit être soigneusement contrôlée et permettre son amortissement progressif dans le temps.

Dans son développement, le projet urbain doit s'adapter au degré de certitude que nous avons des usages futurs du territoire. Dans le projet, cette notion de certitude est traduite dans la généricité des espaces projetés, dans la construction neuves et dans l'approche du contexte existant. La certitude du projet urbain effectué, si elle n'est que rarement traduite dans son architecture, peut être historiquement étudiée dans son aspect légal. Dans le cas du projet de la zone industrielle Praille Acacias entre 1960 et 1970, les parcelles de terrains étaient en propriété publique mais des entreprises locataires ont acheté un droit de superficie pour une durée de 90 ans. Nous voyons aujourd'hui que cette période que l'état a fixé pour tirer un maximum de bénéfices tout en reprenant possession de ses terrains au moment défini, était nettement sur-estimée. Ainsi, la réserve foncière que l'Etat possède dans cette zone n'est légalement disponible qu'en 2056 pour la majorité des parcelles, et l'oblige aujourd'hui à baser le développement contemporain de la zone sur des opportunités de libération de ce foncier.

Face à l'urgence de la crise du logement, et les attentes du territoire sur la zone Praille-Acacias-Vernets, les chantiers débutent sur des parcelles qui ne représentent pas forcément le caractère industriel qui caractérise le lieu. Le travail soulève l'incohérence énergétique d'une telle démarche, puisqu'elle met sous pression des structures capables de supporter un certain degré d'adaptabilité, qui n'est pas pris en compte aujourd'hui, pour optimiser le rendement spatial des opérations.

La préservation et donc la haute efficacité énergétique du centre ville de Genève n'est pas uniquement due à la haute qualité des constructions et à leurs multiples adaptations à travers les époques. Cette préservation est également rendue possible grâce à ces territoires environnants qui adaptent leur bâti aux évolutions successives du territoire et permettent de faire fonctionner la plus grande échelle de la ville. En revanche, cette représentation graphique d'un territoire énergétiquement efficace, nous démontre la pertinence d'une méthode de projet qui fonctionne par additions et adaptations successives du bâti.

fig. 54, 55 et 56

Graphiques issus de l'étude *Multiscale Spatiotemporal Characterization of Environmental Efficiency of Building Structures in Geneva from 1850 to 2018*. SXL, EPFL, 2020.



fig. 54
Intensité de réchauffement climatique :
Energie embarquée par surface brute de plancher

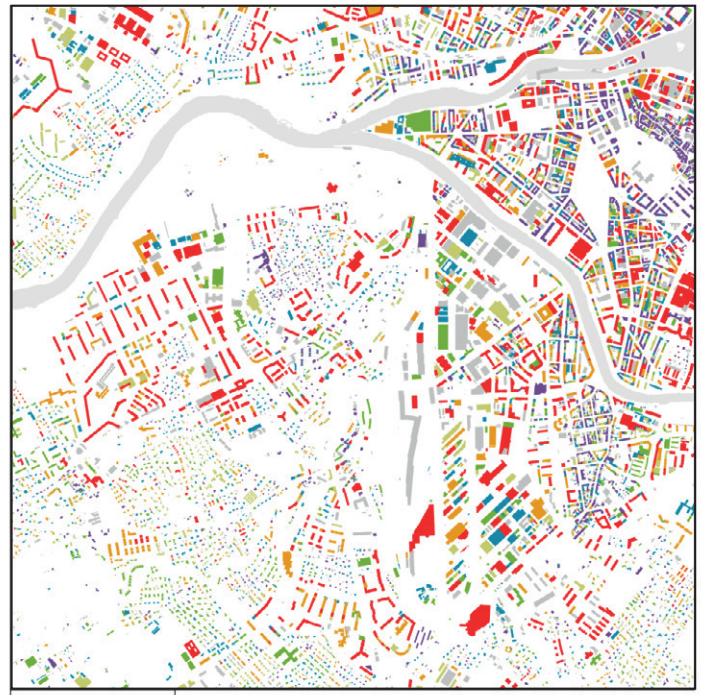
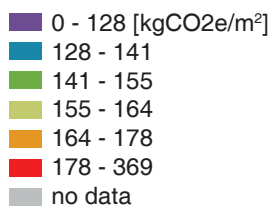


fig. 55
Empreinte au sol et impact environnemental :
Energie embarquée amortie, par surface au sol.
Donnée : 2019; Période d'amortissement : 100 ans

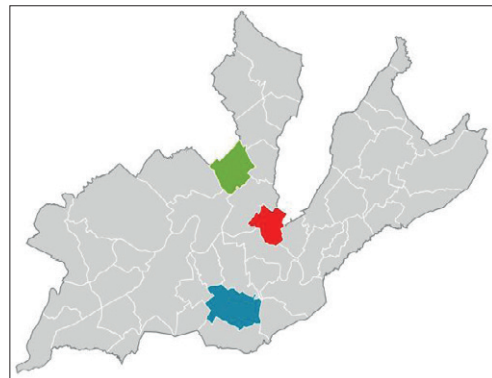
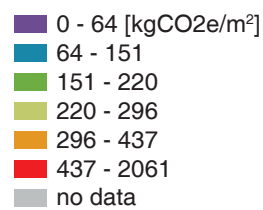
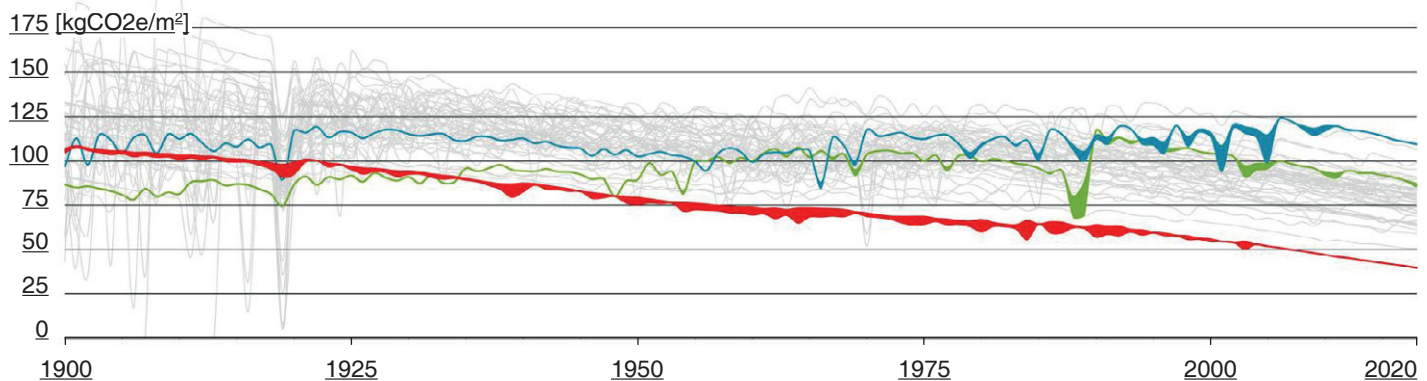


fig. 56
Efficacité environnementale spatio-temporelle des quartiers de la région genevoise
Energie embarquée cumulée des surfaces de plancher par quartier. Période d'amortissement : 100 ans
L'épaisseur de la ligne correspond à la construction annuel de surface de plancher.



Parmi les cas étudiés précédemment, nous pouvons illustrer cette différence d'énergie embarquée dans le territoire au sein des différentes morphologies urbaines qui le constitue. Les bâtiments sont redessinés sur la base des plans fournis par l'Office des Autorisations de Construire, et les calculs effectués avec les mêmes données que l'étude citée. La comparaison entre les valeurs est délicate, dans la mesure où les bâtiments ne sont pas soumis aux mêmes usages, n'ont pas les mêmes potentiels spatiaux (ouvertures, nombre d'étages, système porteur) et ne sont pas constitués des mêmes matériaux.

En revanche, cette analyse matérielle et ses implications énergétiques au moment où les deux bâtiments sont considérés comme déchets souligne la responsabilité qu'engage des décisions architecturales sur un projet neuf, lorsque l'on envisage sa phase de vie. Entre la caserne des Vernets, équipement militaire et publique, aujourd'hui en parfait état, et la halle de dépôt qui n'a qu'une utilité fon-

ctionnelle pour tirer profit d'un droit de superficie d'une parcelle, les deux bâtiments auront eu la même durée d'exploitation.

Ce constat souligne que la considération des énergies embarquées est à prendre en compte au moment de la construction des bâtiments. Il informe également sur le type de structure qui, indépendamment de leur degré d'obsolescence, présente une forte quantité d'énergie embarquée. La maintenance d'un bâtiment ne doit pas être décidée au regard de son énergie embarquée mais bien de son potentiel d'adaptation. En revanche, cette analyse rétrospective des énergies embarquées dans le territoire nous permet avant tout de tirer des enseignements sur la manière de construire les bâtiments et donc le territoire en fonction de l'usage qui est prévu. Il s'agit de définir quels bâtiments nous sommes prêts à imaginer comme futurs déchets, ou dans le cas inverse, quels bâtiments justifient un effort de maintenance.

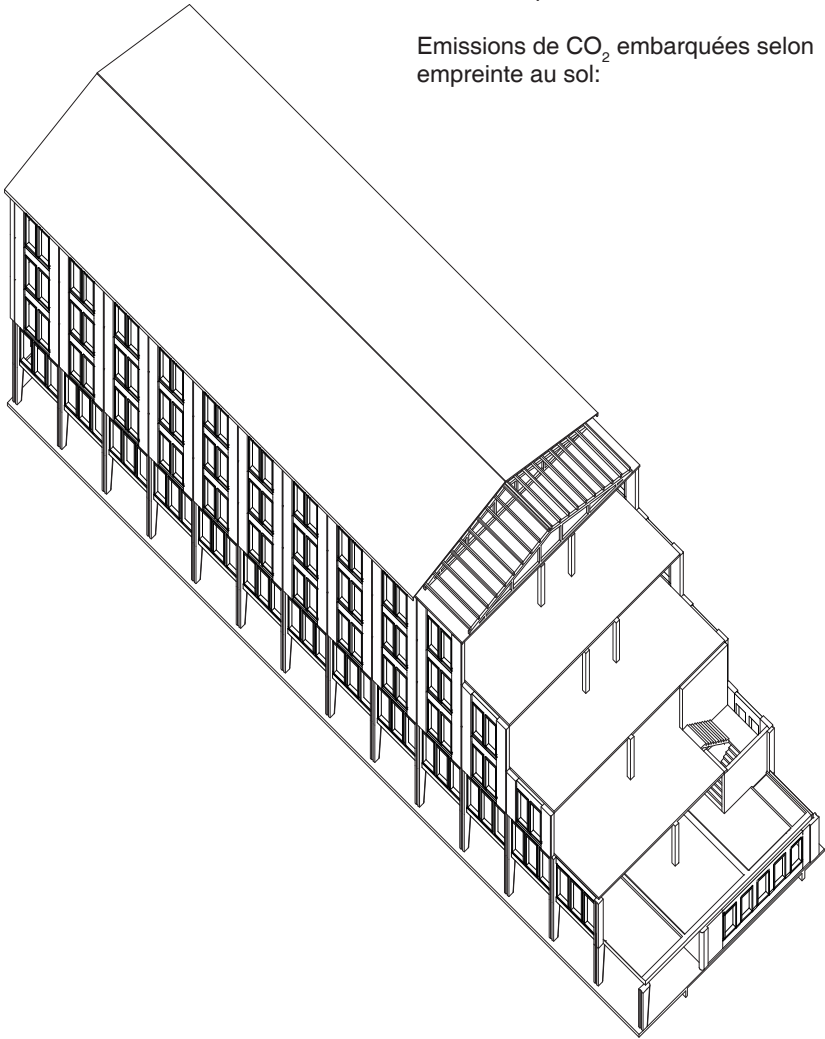
Caserne des Vernets, bâtiment 1000
Rue Hans Wilsdorf, Genève

Surface brute de plancher: 7'910 [m²]
Empreinte au sol: 1'582 [m²]
Nombre d'étage: 5

Emissions de CO₂ embarquées dans le bâtiment: 688'277 [kg.CO₂.e]

Emissions de CO₂ embarquées par surface de plancher: 87.00 [kg.CO₂.e/m²]

Emissions de CO₂ embarquées selon empreinte au sol: 435.02 [kg.CO₂.e/m²]



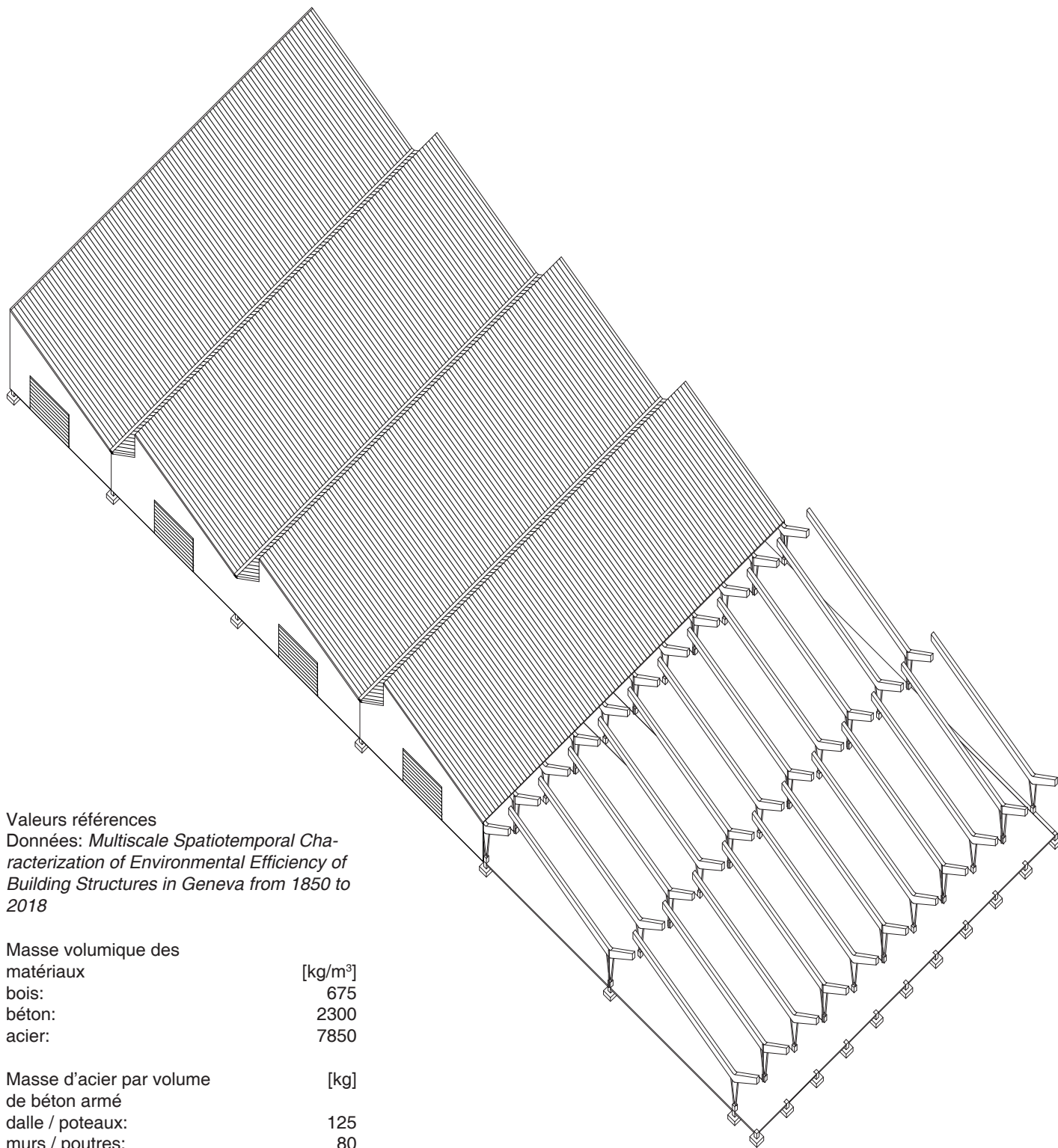
Halle de dépôt - Rue Boissonnas, Genève

Surface brute de plancher: 9'080 [m²]
 Empreinte au sol: 9'080 [m²]
 Nombre d'étage: 1

Emissions de CO₂ embarquées
 dans le bâtiment: 450'903 [kg.CO₂.e]

Emissions de CO₂ embarquées
 par surface de plancher: 49.65 [kg.CO₂.e/m²]

Emissions de CO₂ embarquées
 selon empreinte au sol: 49.65 [kg.CO₂.e/m²]



Valeurs références
 Données: *Multiscale Spatiotemporal Characterization of Environmental Efficiency of Building Structures in Geneva from 1850 to 2018*

Masse volumique des matériaux [kg/m³]
 bois: 675
 béton: 2300
 acier: 7850

Masse d'acier par volume de béton armé [kg]
 dalle / poteaux: 125
 murs / poutres: 80

Coefficients d'énergies embarquées [kg.CO₂/kg]
 bois: 0.126
 béton: 0.099
 acier: 0.682





fig. 57 & fig. 58
Vues de la zone industrielle Praille Acacias (Secteur Acacias Ouest). Le bâti de ce territoire ne peut pas se résumer à un contexte industrielle qui sera renouvelé pour *construire la ville en ville*. Le plan directeur du projet Praille-Acacias-Vernets doit pouvoir prendre en compte les structures capables de s'adapter aux nouvelles affectations du territoire.

Architecturalement, nous décrivons la bâtiment comme constitué de différents éléments qui peuvent fonctionner indépendamment. D'un point de vue énergétique, cette hiérarchisation nous amène à vouloir aligner les cycles de vie des matériaux avec leur considération comme déchets.

Cette approche vise à optimiser la quantité d'énergie investie dans les éléments pour l'usage que nous en faisons. Ainsi, la structure du bâtiment est identifiée comme l'élément qui permet une adaptabilité des usages du bâtiment, et capable de durer dans le temps. La mise en oeuvre architecturale de ce principe démontre le potentiel d'adaptabilité mais également les limites auxquelles ces interventions sont exposées dans le système contemporain. En revanche, la dernière étude sur l'efficacité énergétique du canton de Genève montre également la pertinence d'un projet urbain qui se base sur la stabilité et l'adaptabilité des bâtiments dans la ville.



How many of these buildings deserve eternal life ?

(Koolhaas, 1995, p.1097)

La question est posée en 1991 par l'équipe d'architectes du bureau hollandais OMA, au moment de proposer un dessin d'extension du quartier de La Défense à Paris. Leur analyse du site pour l'extension du quartier de La Défense prévoit la rapide obsolescence et vétusté d'une architecture moderne qui n'était issue que d'un besoin financier momentané au moment de la construction, mais aucunement projeter pour durer dans le temps. Le projet prévoit donc une durée de vie maximale de 25 ans aux bâtiments préexistants sur le site, leur démolition au terme de cette période et l'application d'une trame référencée sur le Grand Axe reliant le quartier de la Défense au centre-ville de Paris. La trame s'adapte aux infrastructures dont la persistance dans le temps est incontestée, tels que les voies routières principales, les grands parcs et les bâtiments élevés au rang de monuments. Concernant le traitement de l'architecture banale sur le site préexistants, les architectes concluent :

underneath the thinning crust of our civilization
a hidden tabula rasa lies in waiting.

(Koolhaas, 1995, p.1097)

Le choix de la zone industrielle Praille-Acacias pour densifier le centre-ville de Genève tient de sa proximité à la ville existante et de la faible densité de son bâti. En

revanche, nous voyons que les débuts du renouvellement urbain ne se déroulent pas uniquement sur ces parcelles faiblement bâties, et mettent en crise l'efficacité énergétique du territoire existant. Le projet actuel du PAV se développe autour de structures urbaines telles que les routes majeures, l'autoroute, les voies ferrées, des zones de parc définies et l'Arve. Pour reprendre la notion d'une nouvelle trame directrice pour le projet contemporain, la maintenance de l'énergie embarquée appelle à identifier ces bâtiments capables de supporter un deuxième cycle de vie en accord avec les besoins contemporains.

Les bâtiments utilisés en références montrent la faisabilité architecturale d'une opération spontanée de réutilisation de structures. A l'échelle urbaine, la maintenance des structures nécessite une analyse en différents points afin de concilier cohérence environnementale et potentiel de développement. Bien que nous puissions établir la quantité d'énergie embarquée des différents bâtiments, cette connaissance ne doit pas nous amener à préserver les bâtiments les plus coûteux en énergie, nous devons surtout évaluer le potentiel d'évolution de chaque parcelle.

fig. 59 (page de gauche)

L'autoroute est une infrastructure majeure dans le plan directeur. Sur la gauche, le bâtiment des entrepôts des Ports Francs de Genève possède plus 60'000 m² de surface de plancher.

Quelle valeur d'aménagement ?

Dans un territoire en expansion, nous identifions la valeur d'aménagement d'une parcelle de terrain comme outil de projet. Cette valeur confronte l'indice d'utilisation du sol existant (IUS) avec l'indice d'utilisation du sol qu'un projet neuf peut procurer, selon les standards contemporains. Plus une parcelle peut atteindre les standards d'utilisation du sol contemporains avec le bâti existant, plus sa valeur d'aménagement est élevée.

La prise en compte de cette valeur dans la prise de décision écarte les démolitions reconstruction pour des projets neufs à surface égales. Elle valorise les constructions compactes qui laissent des espaces libres pour l'extension et les morphologies de bâtiments propices aux surélévations. Dans le spectre des quatre cas d'études effectués, nous identifions des cas de figures différents en fonction de l'implantation et de la morphologie des bâtiments.

La halle de dépôt (fig. 60) s'installe sur une grande partie de la parcelle, sur un étage et possède une structure impropre à la surélévation. Son IUS est donc faible, et impossible à augmenter.

A l'inverse, les trois barres de logements et de bureaux sur la route des Acacias possèdent un IUS élevé avec un potentiel de surélévation (fig. 61). Le projet neuf qui remplace l'existant donne raison à la haute valeur d'aménagement du site, puisqu'il occupe la parcelle avec la même surface habitable, simplement dans une morphologie différente.

Du fait de son programme nécessitant des espaces extérieurs larges, la caserne des Vernets (fig. 62) montre un cas d'occupation du sol faible, dans laquelle l'implantation des bâtiments permet une forte densification. Un projet de maintenance de l'existant devrait inclure une hybridation entre des constructions neuves et éventuellement un surélévation de l'existant.

Le cas des dix-huit immeubles de logements situés à Lancy (fig. 63) démontre la sensibilité de cette valeur d'aménagement à la planification plus générale du territoire. Au cours de l'inventaire historique effectué sur ce bâtiment, le département du territoire relevait la valeur d'aménagement élevée de la parcelle de terrain. En effet, si l'IUS existant n'atteignait pas les standards contemporains, leur surélévation le permettrait. Le recensement du bâtiment a été effectué entre 2006 et 2007, lorsque les projets d'aménagements de la zone Praille-Acacias-Vernets n'étaient pas encore aussi développés. Face à l'évolution du contexte et la nouvelle densité appliquée à cette zone, l'IUS considéré comme usuel sur cette parcelle en 2007 a été significativement augmenté, rendant le projet neuf plus avantageux.

Cet exemple nous renseigne sur le danger que représente une forte augmentation de la densité d'un site sur le bâti existant. Dans un contexte extrême de préservation de l'existant, les valeurs d'utilisation des parcelles ne sont pas augmentées plus que ne peut le contenir la morphologie existante. En revanche, dans un scénario de densification du territoire et de préservation de la matière, le calcul de la valeur d'aménagement est un outil pour réguler les renouvellements urbains et guider les plans directeurs en fonction des infrastructures existantes. Le bâti de la zone industrielle ne peut pas se résumer à des constructions éphémères, le projet doit donc intégrer des outils afin de préserver les bâtiments qui concentrent le plus de matière et d'énergie sur leur parcelle.

Sur le site, nous sommes amenés à considérer trois types de situation selon les potentiels d'aménagement: les zones à renouveler, les zones à augmenter et les zones à préserver. Les halles industrielles, dont l'indice d'utilisation du sol est faible, présentent un fort potentiel de développement. Les zones à augmenter sont celles où les bâtiments, de logements, de bureaux ou d'activités, ont été construits autour de ce projet initial de zone industrielle, et sont aujourd'hui obsolètes au regard de la nouvelle densité demandée par le site. Le projet urbain fonctionne par addition: surélévation, extension, densification de la parcelle afin de moderniser le site existant. Les zones à conserver sont celles dont le bâti s'inscrivait déjà à sa construction dans un rapport direct à la ville, et dont la densité actuelle ne permet pas une augmentation conséquente de la surface. La mutation annoncée du territoire ne doit pas précipiter leur renouvellement, mais au contraire valoriser l'acte de la transformation de l'existant dans le projet du XXI^e siècle.

Les débuts du projet Praille-Acacias-Vernets ont montré les limites des opérations de maintenance de la structure au cours des développements urbains. Le périmètre défini n'en reste pas moins la meilleure opportunité de développement pour le canton de Genève, mais il doit encore trouver les outils pour incorporer la matière existante dans le projet futur. La courte durée, relativement à l'espérance de vie des bâtiments, des deux projets urbains nous informe sur le besoin de savoir lire le territoire dans une continuité. Les structures et les matériaux présents sur le site peuvent déjà informer et nourrir le projet futur, qui regarde avec humilité le bâti existant.



fig. 60



fig. 61



fig. 62



fig. 63

Conclusion

Ce travail a permis d'approfondir les impacts environnementaux qu'impliquent les renouvellements urbains et du traitement de la matière au cours de ceux-ci. En 2014, les théoriciens d'architecture Jane Jacobs et Stephen Cairns exposent le conflit qui oppose la matière de la ville, et la société dans laquelle elle s'inscrit.

Capital demands liquidity of an architecture that is solid matter.

(Jacobs et Cairns, 2014, p.113)

Ce caractère *liquide* des bâtiments dans leur milieu urbain est aujourd'hui concrétisé par le renouvellement de leur matière, qui devient déchet et est au mieux valorisée en étant incluse dans les matériaux neufs. Les dépenses énergétiques liées à ces renouvellements, et les déchets causés par ceux-ci complexifient la considération écologique des bâtiments contemporains et de la construction de la ville. Nous considérons que la planification des villes passe par la gestion de bâtiments, dont l'espérance de vie surpasse les évolutions successives des usages pour lesquelles ils ont été bâtis.

Afin de pouvoir appliquer cette liquidité aux milieux urbains, la proposition est de dissocier autant que possible la structure et le bâtiment qui l'occupe afin de concilier l'efficacité énergétique des milieux urbains et leur be-

soin d'adaptabilité. Cette approche vise à déconstruire la lecture de la ville comme composée d'une agglomération de parcelles bâties, plus ou moins obsolètes. Au-delà de proposer une solution dogmatique, le travail provoque la pratique actuelle. Le projet architectural dans le bâti semble atteindre une maturité qui le rend énergétiquement, socialement et culturellement attractif. En revanche, les expériences passées de transformation et d'adaptation des bâtiments nous montrent les limites économiques d'un projet contraint par le bâti. L'environnement urbain est régi et bâti selon ces considérations économiques, c'est pourquoi la proposition est une contrainte légale, qui cadre le futur projet.

L'étude menée sur la transformation du site industriel Praille-Acacias-Vernets, nous amène à développer un contre-projet de la densification et transformation de ce territoire. La valeur d'aménagement, définie selon plusieurs scénarios de préservation de la matière envisage le renouvellement, l'augmentation ou la conservation du bâti sur une parcelle. Le cadre défini par la valeur d'aménagement permet d'appréhender la volatilité demandée à l'architecture sous d'autres formes. Elle intègre le côté profondément bâti de l'environnement à la pratique de la construction de la ville au XXI^e siècle, qui doit envisager une approche résolument moderne face à ce nouvel environnement.

Bibliographie

Livres & Chapitres de livres

Abramson, Daniel M. *Obsolescence: An architectural history*. The University of Chicago Press. Chicago, 2016.

Angelil, Marc, et Cary Siress. « Going around in circles ». In *Re-Inventing Construction*, Ruby Press. Berlin, 2010.

Baker-Brown, Duncan. *The Re-Use Atlas: A Designer's Guide Towards a Circular Economy*. Newcastle: RIBA Publishing, 2017.

Brand, Stewart. *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin Books. New York, 1994.

Braungart, Michael, et William McDonough. *Cradle to Cradle, Remaking the Way We Make Things*. New York: NY: North Point Press, 2002.

Cavalieri, Chiara, et Paola Vigano. *HM the Horizontal Metropolis a Radical Project*. Zurich: Park Books, 2019.

Druot, Frédéric, Anne Lacaton, et Jean-Philippe Vassal. *Plus, Les grand ensembles de logements, territoire d'exception*. Editions Gustavo Gili. Barcelone, 2007.

Fabian, Lorenzo, Emanuel Giannotti, et Paola Vigano. *Recycling city*. Pordenone: Giavedoni Editore, 2012.

Frey, Pierre, Encore Heureux architectes, Julien Chopin, et Nicolas Delon. « La bataille des chiffonniers ». In *Matière grise. Matériaux, Réemploi, Architecture*, 87-94. Paris: Ed. Pavillon de l'Arsenal, 2014.

Ghyoot, Michaël, Lionel Devlieger, Lionel Billiet, et André Warnier. *Déconstruction et réemploi. Comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne: PPUR, 2018.

Graf, Franz, Yvan Delemontey, Philippe Grandvoinnet, et Claudio Merlini. *Honegger frères, de la production au patrimoine. Architectes et constructeurs 1930-1969*. Gollion: Infolio, 2010.

Habraken, John. *Supports: An alternative to mass housing*. London: Architectural press, 1972.

Jacobs, Jane, et Stephen Cairns. *Buildings Must Die: A Perverse View of Architecture*. Cambridge: MIT, 2014.

Koolhaas, Rem, Bruce Mau, Jennifer Sigler, et Hans Werlemann. *S, M, L, XL : Small, Medium, Large, Extra-Large*. New York: Monacelli Press, 1995.

Meadows, Dennis, Donella Meadows, Jorgen Randers, et William Behrens. *The limits to growth*. New York: Universe Books, 1972.

Petzet, Muck, et Florian Heilmeyer. « Surplus : Anne Lacaton and Jean-Philippe Vassal in conversation with Mathieu Wellner ». In *Reduce Reuse Recycle - Architecture as Resource*, 13th International Architecture Exhibition, La Biennale di Venezia, 13-26. Hatje Cantz Verlag, 2012.

Publica, et Stanhope. *Vital neighborhoods. Lessons from international housing renewals*. London: Publica, 2017.

Salthe, Stanley N. *Evolving hierarchical systems: their structure and representation*. New York: Columbia University Press, 1985.

Walter Stahel, et Orio Giarini. *The limits to certainty. Facing risks in the new service economy*. New York: Springer, 1989.

Whiddon, William. « The Concept of Embodied Energy ». In *New Energy from Old Buildings*. Washington, D.C.: Preservation Press, 1987.

Antoine, Ludovic, Frédéric Bessat, Bruno Beurret, Ingrid Carini, Nathalie Communal, et Marion Charpié-Pruvost. « Projet de territoire grand Genève 2016-2030 ». Genève: Grand Genève, Agglomération Franco-Valdo-Genevoise, 2016.

« Charte partenariale entre plaine commune habitat et plaine commune ». Saint-Denis: Plaine commune habitat, 2019.

Corboz, Andre. « Le territoire comme palimpseste ». *Dio-gène*, n°121 (1983): 14-35.

Cramer, Robert, Pierre-François Unger, Mark Muller, Luc Malnati, et Philippe Moeschinger. « Stratégie d'aménagement du secteur Praille-Acacias-Vernets ». Genève: République et Canton de Genève, 2007.

Département des constructions et des technologies de l'information, et Département du territoire. « Logements économiques à Genève. 1920-1960 ». Genève: République et canton de Genève, 2007.

DETA, DGE, et GESDEC. « Guide, déchets de chantier ». Genève: République et Canton de Genève, 2018.

Ecoservices SA, et Office de l'urbanisme, Projet Praille Acacias Vernets. « Potentiel de valorisation des déchets minéraux ». Carouge, 2013.

European commission. « A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 », 2011.

Fivet, Corentin. « Corentin Fivet: "Sortir de l'esthétique du bricolage" ». *Tracés* 14-15 (2019): 16-20.

Fivet, Corentin, Catherine De Wolf, Thibaut Menny, Serena Vanbutsele, et Andre Stephan. « Multiscale Spatio-temporal Characterization of Environmental Efficiency of Building Structures in Geneva from 1850 to 2018 », 2020.

Fritzenwallner, Christine. « Vom Vielfrass zum Energieproduzenten ». *Deutsche Bauzeitung*, n° 03 (2019): 118-21.

Frommel, Benedict, et Enis Arikok. « Secteur Praille-Acacias-Vernets: Etude historique et patrimoniale ». Genève: DCTI - DPS - Service des monuments et sites, 2006.

Gugerli, Heinrich, et Katrin Pfäffli. « Vers le "zéro émissions nette" avec la voie SIA vers l'efficacité énergétique ». *Tracés*, décembre 2020, 30-31.

Hassler, Uta. « Long-term building stock survival and intergenerational management: the role of institutional re-

gimes ». *Building Research & Information* 37:5-6 (2009): 552-68. <https://doi.org/10.1080/09613210903189533>.

Herzog, Andres. « Im Denkmaldilemma ». *Hochparterre* 11 (2016): 12-16.

International Energy Agency and the United Nations Environment Programme. « 2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector », 2018.

International Energy Agency. « Material efficiency in clean energy transitions ». Paris, 2019.

Kaethner, S.C., et J.A. Burrige. « Embodied CO2 of structural frames ». *The Structural Engineer* 5 (2012): 33-40.

Kendall, Stephen. « Open Building: An Approach to Sustainable Architecture ». *Journal of urban technology* 6, n° 3 (1999): 1-16.

Materium. « Rapport déconstruction Vernets ». Genève, 2020.

Minergie Suisse. « Règlement des labels. Minergie, minergie-P, Minergie-A ». Yverdon-les-bains, 2017.

Moeri, Siegfried, et armasuisse. « Documentation sur l'inventaire des constructions militaires en Suisse ». Berne: Confédération Suisse, 2009.

OCSTAT. « La construction dans le canton de Genève ». Genève: Office cantonale de la statistique, 2013.

OCSTAT. « Mouvement de la construction en 2019 ». Genève: Office cantonale de la statistique, 2020.

Orr, John, Alex Copping, Michal Drewniok, Stephen Emmitt, et Tim Ibell. « MEICON: Minimising Energy in Construction Survey of Structural Engineering Practice Report », 2018.

Pfäffli, Katrin, et Matthias Klingler. « L'énergie grise – Établissement du bilan écologique pour la construction de bâtiments ». Zurich: Société suisse des ingénieurs et des architectes, 2020.

Salza, et Matérium. « Construire le réemploi ». Zurich - Genève: Office fédéral de l'environnement, 2020.

Secrétariat du Grand Conseil. « Rapport de la commission des pétitions chargées d'étudier la pétition: Caserne des Vernets : pour un projet à taille humaine ». Genève, 2020.

SOFIES, DPAV, et Etat de Genève - Département de l'Urbanisme. « Etude d'opportunité du maintien et/ou

regroupement des entreprises du secteur de la gestion des déchets présentes sur le périmètre du PAV », 2013.

Pages Web

Association 60x60. «Les frères Honegger architectes à Genève». Consulté le 08 janvier 2021. http://www.60x60.org/les-fr%C3%A8res-honegger-architectes-%C3%A0-gen%C3%A8ve_32

Bellastock. «Metabolisme Urbain de Plaine Commune». 2019, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.bellastock.com/projets/metabolisme-urbain-de-plaine-commune/>.

Bertschy, Kathrin. «Réutiliser les matériaux de construction au lieu de les recycler». *Parlement Suisse*. Juin 2016, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20163583>.

Canton de Genève. «Aides financières pour l'amélioration énergétique et les énergies renouvelables». Juin 2020, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.ge.ch/aides-financieres-amelioration-energetique-energies-renouvelables-subsidations>

Canton de Genève. «Demander une autorisation de construire». Novembre 2020, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.ge.ch/demander-autorisation-construire-ordinaire>

Cherpillod, Vincent. «Genève détient nettement le record suisse des plus hauts loyers». *RTS*. 09 mai 2019, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.rts.ch/info/suisse/10420866-geneve-detient-nettement-le-record-suisse-des-plus-hauts-loyers.html>

Confédération Suisse. «Les taux de TVA en Suisse». Consulté le 08 janvier 2021. <https://www.ch.ch/fr/taux-tva-suisse/#:~:text=Le%20taux%20de%20la%20TVA,les%20revues%20et%20les%20m%C3%A9dicaments>

Département du territoire. «Une opportunité de développement unique». Septembre 2020, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.ge.ch/document/opportunit%C3%A9-de-d%C3%A9veloppement-unique>

Direction de l'information légale et administrative. «Taux de TVA pour les travaux de rénovation d'un logement». *République Française*. Novembre 2020, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23568#:~:text=La%20TVA%20au%20taux%20r%C3%A9duit,depuis%20plus%20de%202%20ans>

Direction Praille Acacias Vernets, et Département du

territoire. « Plan directeur de quartier Praille Acacias Vernets ». Genève, 2015. <https://www.ge.ch/document/plan-directeur-quartier-praille-acacias-vernets-carouge-geneve-lancy>.

Institut d'Architecture de l'Université de Genève (IAUG). «Honegger Frères (1930-1969) - Inventaire, évaluation qualitative, recommandations. fiche RHONE_54». Juillet 2015, consulté le 08 janvier 2021. http://ge.ch/geodata/SIPATRIMOINE/SI-EVI-OPS/EVI/edition/fiches/RHone/RHone_2010-23685_17810.htm

Kämpfen Zinke + Partner. «Apartmenthaus 1970 Zürich-Schwamendingen». Consulté le 08 janvier 2021. <https://www.kaempfen.com/projekte/umbauten/apartmenthaus-zuerich-schwamendingen-2017#anker>

Loi cantonale du 25 janvier 1996 sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation (LDTR). Récupéré de https://www.ge.ch/legislation/rs-g/f/s/rsg_15_20.html le 08 janvier 2021.

Loi cantonale du 27 janvier 1999 sur la conservation de la végétation arborée (RCVA). Récupéré de https://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_L4_05P04.html le 08 janvier 2021.

Loi fédérale du 14 décembre 1990 sur l'impôt fédéral direct (LIFD). Récupéré de <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19900329/index.html> le 08 janvier 2021.

Mandrup, Dorte. «Jury Proceedings: European Union Prize for Contemporary Architecture - Mies van der Rohe Award 2019». Juin 2019, consulté le 08 janvier 2021. <https://eumiesaward.com/edition/2019>

Meili Peter Partner. «Freilager Complex Zurich». Consulté le 08 janvier 2021. <https://www.meilipeterpartner.ch/portfolio/freilager-albisrieden-zurich/>

Minergie. «Minergie A, les principales exigences». Consulté le 08 janvier 2021. <https://www.minergie.ch/fr/certifier/minergie-a/>

Office de l'urbanisme, et Département du territoire. « Mini-plan des grands projets urbains », 2019. <https://www.ge.ch/document/mini-plan-grands-projets-urbains>.

Office Fédéral de la statistique. « Nouvelle hausse du taux de logements vacants ». Neuchâtel, 2020. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/construction-logement/logements.assetdetail.9366172.html>.

Tribune de Genève. «Des Vaudois vont rebâtir le vaisseau des Acacias». Octobre 2020, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.tdg.ch/des-vaudois-vont-rebater-le-vaisseau->

Van der Poel, Cedric. «Densification Lancy». *Espazium*. Juillet 2017, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/densification-lancy>.

Iconographie

Figure 2: Frommel, Benedict, et Enis Arikok. « Secteur Praille-Acacias-Vernets: Etude historique et patrimoniale ». Genève: DCTI - DPS - Service des monuments et sites, 2006. p.55.

Figure 4: Nicolas Rychner, 2019.

Figure 8: Salza, et Matériuum. « Construire le réemploi ». Zurich - Genève: Office fédéral de l'environnement, 2020. p.15.

Figure 9: Baker-Brown, Dunkan. *The Re-Use Atlas: A Designer's Guide Towards a Circular Economy*. Newcastle: RIBA Publishing, 2017. p.18.

Figure 10, 11, 12: Données issues de: Ecoservices SA, et Office de l'urbanisme, Projet Praille Acacias Vernets. « Potentiel de valorisation des déchets minéraux ». Carrouge, 2013.

Figure 37: Données issues de: Office fédérale de la statistique. «Logements selon l'époque de construction et le canton». Octobre 2020, consulté le 08 janvier 2021. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/construction-logement/logements.assetdetail.14407684.html>

Figure 38: Données issues de: Service cantonaux de l'énergie et de l'environnement. «Les besoins de chaleur et le CECB». Consulté le 3 novembre 2020. <https://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/conception-du-batiment/besoins-de-chaleur-et-cecb>

Figure 39: Canadian Centre for Architecture. «Atom: Graph of use cycle and lifespan». Consulté le 7 octobre 2020. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/310204>

Figure 40: Boer, René et Michiel van Lersel. «Orphan City». 2016, consulté le 12 décembre 2020. <https://faile-darchitecture.com/orphan-city/>

Figure 42: Brand, Stewart. *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin Books. New York, 1994. p.38.

Figure 43: Engelhardt, Kueenzlen. «Corneliusstraße, 10787 Berlin-Tiergarten» Août 1987, consulté le 5 dé-

cembre 2020. <https://www.engelhardt-kueenzlen.de/Corneliusstrasse>

Figure 44: Divisare. «Bruther, Baukunst. Student residence and reversible car park». Décembre 2020, consulté le 15 décembre 2020. <https://divisare.com/projects/434105-bruther-baukunst-filip-dujardin-maxime-del-vaux-student-residence-and-reversible-car-park>

Figure 46: DL-C, design Lab Construction. «3 immeubles d'habitation au secteur Gourgass-Maraichers / MEP, lauréat – 1er rang». Consulté le 25 octobre 2020. https://www.dl-c.ch/proj_detail.php?projId=90294

Figure 48: Wikipedia. «Palazzo della Ragione de Padoue». Octobre 2019, consulté le 26 novembre 2020. https://fr.wikipedia.org/wiki/Palazzo_della_Ragione_de_Padoue

Figure 49: Mühlethaler, Rolf. «Tscharnergut Bern Pilotprojekt Waldmannstrasse 25». Consulté le 9 novembre 2020. <https://www.nnbs.ch/documents/864304/897328/presentation-rolf-muehlethaler.pdf>

Figure 50: Fritzenwallner, Christine. « Vom Vielfrass zum Energieproduzenten ». *Deutsche Bauzeitung*, n° 03 (2019): 118-21.

figure 51: Kämpfen Zinke + Partner AG. «Apartmenthaus 1970. Zürich-Schwamendingen». consulté le 10 décembre 2020. <https://www.kaempfen.com/projekte/umbauten/apartmenthaus-zuerich-schwamendingen-2017>

Figure 52, 53: Meili Peter Partner. «Freilager Complex Zurich». Consulté le 08 janvier 2021. <https://www.meili-peterpartner.ch/portfolio/freilager-albisrieden-zurich/>

Figure 54, 55, 56: Fivet, Corentin, Catherine De Wolf, Thibaut Menny, Serena Vanbutsele, et Andre Stephan. « Multiscale Spatiotemporal Characterization of Environmental Efficiency of Building Structures in Geneva from 1850 to 2018 », 2020.

