

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vi
1. Introduction	1
2. Problématique	2
2.1 Les changements climatiques et leurs conséquences internationales	2
2.2 La transition écologique et les Objectifs de développement durable	6
2.2.1 Raréfaction des ressources	8
2.2.2 Les problèmes liés aux déchets.....	8
2.3 Les enjeux écologiques en Suisse	10
2.4 Les enjeux écologiques de la construction	12
2.4.1 Consommation de ressources	12
2.4.2 Transport de matériaux de construction et d'excavation.....	13
2.4.3 Production de déchets	14
2.5 Synthèse de la problématique	15
3. L'économie circulaire	16
3.1 L'économie circulaire « authentique »	16
3.1.1 Historique	16
3.1.2 Définitions	18
3.1.3 Différence avec l'économie verte	19
3.2 L'économie circulaire « concrètement »	21
3.2.1 Les 5 R.....	21
3.2.1.1 Refuser	21
3.2.1.2 Réduire	22
3.2.1.3 Réutiliser.....	22
3.2.1.4 Recycler.....	23
3.2.1.5 Rot (composter).....	23
3.2.2 Les circuits courts	24
3.2.3 Les symbioses industrielles	25
3.2.4 Bénéfices de l'économie circulaire.....	26
3.3 L'économie circulaire dans le secteur de la construction	28
3.3.1 L'éco-conception	28
3.3.2 Démolition vs déconstruction	29
3.3.3 Le recyclage de matériaux de construction.....	31
3.3.3.1 Le béton recyclé	32
3.3.4 L'utilisation de matériaux d'excavation.....	33

3.4 Conditions cadres de l'économie circulaire dans le domaine de la construction	34
3.4.1 Améliorer l'attrait financier.....	34
3.4.2 Des changements de politiques publiques.....	35
3.4.3 La taxe carbone et la prime par tonne de CO2 évitée	36
4. Question de recherche.....	38
4.1 Méthodologie du travail de recherche.....	38
4.2 Introduction au cas pratique : Construction de deux immeubles comprenant dix logements	40
4.2.1 Balmelli SA.....	40
4.2.2 Le chantier « Chantemerle ».....	40
4.2.3 La composition du béton	41
4.3 Analyse du cas pratique : Construction de deux immeubles comprenant dix logements.....	41
4.3.1 Inventaires des matériaux liés au béton.....	41
4.3.2 Inventaires des déchets liés au béton.....	44
4.3.3 Transports des matériaux liés au béton	44
4.3.4 Indicateurs des résultats actuels.....	45
4.3.4.1 Méthode d'analyse environnementale.....	45
4.3.4.2 Méthode d'analyse financière.....	45
4.3.4.3 La grave.....	45
4.3.4.4 Le ciment	46
4.3.4.5 L'acier d'armature.....	46
4.3.4.6 Le béton.....	47
4.3.4.7 Les briques en terre cuite	47
4.4 Les briques Terrabloc comme alternative au béton	48
5. Recommandations.....	49
6. Conclusion	50
7. Bibliographie.....	51
Annexe 1 : Synthèse des entretiens de Philippe Hug	60
Annexe 2 : Synthèse des entretiens de Rodrigo Fernandez	61
Annexe 3 : Courriel de Rodrigo Fernandez.....	62
Annexe 4 : Synthèse de l'entretien de Frédéric Flück	63
Annexe 5 : Plans des deux bâtiments	64
Annexe 6 : Plans des deux bâtiments avec tracés de Fernando Rodriguez	75
Annexe 7 : Brique Terrabloc.....	81
Annexe 8 : « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 »	82

Liste des tableaux

Tableau 1 - Risques globaux pour les dix prochaines années	5
Tableau 2 - Liste des prix du béton neuf de PQR Béton	34
Tableau 3 - Liste des prix du béton recyclé de PQR Béton	34
Tableau 4 - Inventaire de la grave et des gravillons du chantier "Chantemerle" basé sur les factures	42
Tableau 5 - Inventaire du ciment du chantier "Chantemerle" basé sur les factures	42
Tableau 6 - Inventaire du béton du chantier "Chantemerle" basé sur les factures.....	42
Tableau 7 - Inventaire de l'acier lié au béton du chantier "Chantemerle" basé sur les factures.....	42
Tableau 8 - Estimation des volumes de béton du chantier "Chantemerle" basée sur les plans de construction.....	43
Tableau 9 - Inventaire des briques en terre cuite du chantier "Chantemerle"	43
Tableau 10 - Registre des déchets liés au béton du chantier "Chantemerle"	44
Tableau 11 - Données environnementales de la grave	45
Tableau 12 - Données environnementales de l'acier d'armature	46
Tableau 13 - Données environnementales du béton de construction (sans armature) ..	47
Tableau 14 - Données environnementales des briques Terrabloc en terre crue.....	48

Liste des figures

Figure 1 - Circuit technique.....	16
Figure 2 - Circuit biologique.....	16
Figure 3 - Schéma de l'économie circulaire de la fondation Ellen MacArthur	17
Figure 4 - Schéma de l'économie circulaire de l'ADEME	18
Figure 5 - Evolution du système industriel par Braden Allenby, 1992	25
Figure 6 - Schéma de l'éco-conception selon l'ENEC	28
Figure 7 - Localisation du chantier Chantemerle	40
Figure 8 - Composition de 1 m3 de béton traditionnel.....	41

1. Introduction

La première conférence des Nations Unies sur l'environnement s'est tenue à Stockholm en 1972. Cette conférence est considérée comme étant la première conférence mondiale sur l'environnement¹. Les questions environnementales n'étaient pas une priorité à l'époque car ce n'est qu'en 1992, lors du « Sommet Planète Terre » de Rio, que les Nations Unies ont adopté la première convention internationale environnementale avec la signature de la « Convention-cadre sur les changements climatiques »². Depuis, les questions environnementales n'ont fait que prendre de l'importance mais trop peu d'actions ont été entreprises.

Aujourd'hui, les problèmes environnementaux s'accumulent et aucune réponse concrète n'a pu être apportée. Du fait que la population mondiale augmente constamment, l'humanité extrait toujours plus de ressources, produit toujours plus de déchets et rejette toujours plus de gaz à effet de serre, pour pouvoir continuer à vivre dans son mode de vie surconsommateur actuel. Certains secteurs d'activités tels que le secteur de la construction, sont responsables d'une grande partie de ces problèmes environnementaux car ceux-ci nécessitent d'extraire de grandes quantités de ressources naturelles. Ce secteur d'activité a un fort impact sur l'environnement car en plus d'extraire de grandes quantités de ressources naturelles, il exige de transporter ces ressources sur de longues distances et produit d'importantes quantités de déchets.

Pourtant, aujourd'hui, de nombreux concepts ont vu le jour dans le but d'apporter une réponse à ces problèmes. L'économie circulaire est de loin le concept le plus complet et répandu mais, pourtant, il peine toujours à trouver sa place au sein de certains secteurs d'activités. En effet, l'application d'un tel modèle à des secteurs d'activités comme le secteur de la construction demande un changement profond dans les manières de faire ainsi que dans les cadres institutionnels. Cependant, sans l'application de modèles tels que l'économie circulaire, l'humanité court à sa perte et c'est pourquoi, il est de notre responsabilité de guider notre mode de vie surproducteur et surconsommateur vers un mode de vie plus durable.

¹ NATIONS UNIES, 2020. Conférence des Nations Unies sur l'environnement, du 5 au 16 juin 1972.

² OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Convention-cadre sur les changements climatiques.

2. Problématique

2.1 Les changements climatiques et leurs conséquences internationales

« Les changements climatiques sont la question déterminante de notre époque et nous sommes à un moment décisif »³. (Les Nations Unies, 2019)

Les Nations Unies l'ont bien compris, si la société actuelle ne change pas de mode vie, il sera très compliqué de s'adapter aux changements futurs. Dans un article paru en 2019 sur leur site internet, les Nations Unies expliquent que l'évolution des conditions météorologiques ont des effets sur la production agricole et alimentaire, ainsi que sur l'élévation du niveau des mers qui augmente les risques d'inondations. Ils mettent aussi en avant que les conséquences des changements climatiques sont mondiales en termes d'effets et d'échelles et que sans action immédiate, il sera beaucoup plus difficile et coûteux de s'adapter aux conséquences futures de ces changements.

Pour comprendre les causes des changements climatiques, il faut savoir ce qu'est l'effet de serre. Météo France définit l'effet de serre comme étant *« un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète »*⁴ (Météo France, 2020). Météo France explique que ce phénomène est indispensable à la survie de l'humanité mais, qu'il est menacé par les activités humaines qui affectent la composition chimique de l'atmosphère (pollutions) entraînant l'apparition d'un effet de serre additionnel. Météo France ajoute que c'est cet effet de serre additionnel qui est responsable en grande partie du changement climatique actuel.

Les Nations Unies expliquent dans l'article mentionné précédemment que cet effet de serre additionnel est dû à plus d'un siècle et demi d'industrialisation et qu'en conséquence, les quantités de gaz à effet de serre présentes dans l'atmosphère sont parvenues à des niveaux jamais atteints en trois millions d'années. Les Nations Unies mettent ainsi en lumière le problème principal de la société actuelle en avançant que plus les populations augmentent et, plus les économies et les niveaux de vie s'améliorent, plus la quantité cumulée des émissions de gaz à effet de serre (GES) augmente⁵.

³ NATIONS UNIES, 2020. Les changements climatiques.

⁴ METEO FRANCE, 2020. L'effet de serre.

⁵ Réf. 3.

Il existe plusieurs gaz à effet de serre et comme l'indique le WWF sur son site internet, les accords internationaux relatifs au climat comme le Protocole de Kyoto ou l'Accord de Paris ont recensé les six gaz à effet de serre principaux :

- CO₂ (dioxyde de carbone)
- CH₄ (méthane)
- N₂O (protoxyde d'azote)
- SF₆ (hexafluorure de soufre)
- PFC (perfluorocarbures) et HFC (hydrofluorocarbures)

Bien qu'il ne soit pas le plus polluant pour l'atmosphère, le principal gaz à effet de serre responsable des changements climatiques est le CO₂. Ainsi, le WWF explique que depuis le début de l'ère industrielle et à cause des activités humaines, les quantités de CO₂ ont augmenté dans l'atmosphère de pratiquement 50%. D'après le WWF, le dioxyde de carbone est le principal facteur des changements climatiques et, est responsable pour deux tiers du réchauffement planétaire. En Suisse, 80% de l'impact climatique provient de la consommation de carburants et de combustibles fossiles. Le WWF explique que ce sont principalement les véhicules à moteur ainsi que les chaudières au mazout ou au gaz qui y sont liés⁶.

Les conséquences actuelles des changements climatiques sont nombreuses. Dans son rapport publié en 2018, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) estime que les activités humaines ont provoqué un réchauffement planétaire d'environ 1°C (avec une fourchette probable allant de 0.8°C à 1.2°C) au-dessus des niveaux préindustriels⁷. Le GIEC ajoute dans ce même rapport que si le réchauffement planétaire n'arrête pas d'augmenter au rythme actuel, il risque d'atteindre 1.5°C. De plus, le GIEC met l'accent sur la pérennité de ce réchauffement en expliquant que :

*« Le réchauffement dû aux émissions anthropiques⁸ mondiales qui ont eu lieu depuis l'époque préindustrielle jusqu'à présent persistera pendant des siècles à des millénaires et continuera de causer d'autres changements à long terme dans le système climatique tels que l'élévation du niveau de la mer, avec des impacts associés à ces modifications »⁹.
(GIEC, 2018)*

⁶ WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2020. Effet de serre.

⁷ GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, 2018. *Global Warming of 1.5°C*.

⁸ « *L'anthropocène est un terme proposé par Paul Crutzen, chimiste et météorologue nobélisé, qui signifie que l'espèce humaine est devenue la principale force de transformation géologique sur la Terre* ». FREMEAUX, Philippe, KALINOWSKI, Wojtek, LALUCQ, Aurore, 2014. *Transition écologique, mode d'emploi*.

⁹ Réf. 7.

En effet, dans son communiqué de presse du 25 septembre 2019 qui fait suite à la publication du rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique (SROCC), le GIEC explique que la hausse des températures fait fondre les glaciers ainsi que la calotte glaciaire ce qui entraîne une élévation du niveau des océans¹⁰. Dans ce même communiqué de presse, le GIEC ajoute que ce phénomène s'accélère en expliquant que :

« Selon le rapport, alors que le niveau de la mer a augmenté d'environ 15 cm à l'échelle mondiale au cours du XXe siècle, cette hausse est actuellement plus de deux fois plus rapide – 3,6 mm par an – et continue de s'accélérer »¹¹. (GIEC, 2019)

La fonte des glaciers n'a pas pour seule conséquence la hausse des océans. Selon les projections du GIEC, le recul des glaciers, la fonte de la neige et de la glace augmentent les risques de glissements de terrain, d'avalanches, de chutes de pierres et d'inondations.

Une autre conséquence des changements climatiques est la désertification des terres. Dans son communiqué de presse du 8 août 2019, qui fait suite au rapport spécial sur le changement climatique et les terres émergées, le GIEC explique que la désertification menace d'affecter environ 500 millions de personnes. Le GIEC met aussi l'accent sur un futur problème dont l'humanité risque de devoir faire face prochainement : la migration climatique. En effet, le GIEC explique que le phénomène de désertification entraîne d'autres conséquences.

« Les zones arides et celles touchées par la désertification sont également plus vulnérables au changement climatique et aux phénomènes extrêmes, tels que les sécheresses, les vagues de chaleur et les tempêtes de poussière »¹². (GIEC, 2020)

Le World Economic Forum a catalogué dans son rapport de 2020¹³ les risques futurs liés aux changements climatiques pour les dix prochaines années. Bien que ce catalogue classe les risques dans cinq dimensions (économique, environnementale, géopolitique, sociale et technique), seules les dimensions relatives au management durable à savoir les dimensions économiques, environnementales et sociales ainsi que leurs risques associés sont présentés à la page suivante (Tableau 1).

¹⁰ GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, 2019. *Communiqué de presse du GIEC*. Monaco, 25 septembre 2019.

¹¹ Réf. 10.

¹² GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, 2019. *Communiqué de presse*. Genève, 8 août 2019.

¹³ WORLD ECONOMIC FORUM, 2020. *The global risks report 2020*.

Les risques futurs prépondérants aux changements climatiques sont nombreux et liés entre eux. Ces futurs risques ne sont d'ailleurs pas si lointains. Par exemple, l'Australie a vécu en 2020 l'année la plus chaude et la plus sèche de son histoire¹⁴. Les météos extrêmes créant des désastres naturels majeurs ont ainsi créé des incendies dans tout le pays. Ces incendies ont eu de nombreuses conséquences telles que le rejet de CO2 dans l'atmosphère, la perte de biodiversité animale et végétale, la destruction de surfaces cultivables ou encore la fermeture temporaire d'entreprises¹⁵.

Tableau 1 - Risques globaux pour les dix prochaines années

Economique :
Bulles économiques Déflation Faillite des institutions financières Faillite des infrastructures critiques Chômage Echanges illicites Choc sévère des prix de l'énergie Inflation ingérable
Environnement :
Météo extrême Echec d'adaptation aux changements climatiques Perte de biodiversité Désastres naturels majeurs Catastrophes et dommages environnementaux d'origine humaine
Social :
Echec de l'urbanisme Crises alimentaires Migration involontaire à grande échelle Instabilité sociale Propagation rapide et massive de maladies infectieuses Crise de l'eau

(Source : WEF Global Impact Report 2020)

Un autre exemple récent démontrant que ces risques sont imminents et reliés entre eux est le Covid-19. En effet en 2020, la propagation rapide et massive d'une maladie infectieuse nommée Covid-19 a eu pour premier effet d'augmenter fortement le chômage. Cette crise n'étant actuellement pas résolue, d'autres conséquences risquent d'apparaître prochainement.

¹⁴ FORBES, 2020. Australie : Les conséquences des incendies sur l'océan.

¹⁵ ONU, 2020. Dix conséquences des feux de brousse australiens

2.2 La transition écologique et les Objectifs de développement durable

En 2019, l'humanité a épuisé le 29 juillet toutes les ressources naturelles que la Terre peut produire en une année¹⁶. Ce jour est nommé le Jour du Dépassement Mondial (Earth Overshoot Day) et n'est apparu qu'en 1970, année à partir de laquelle l'humanité a commencé à dépasser le budget planétaire annuel avant que celui-ci ne se régénère¹⁷. Alors que ce jour se situait au 1^{er} novembre en 2000, celui-ci a avancé de trois mois en l'espace de vingt ans. L'humanité consomme actuellement 1.75 planètes Terre en un an et comme l'explique Mathis Wackernagel, co-inventeur de la comptabilité de l'Empreinte Écologique et fondateur de Global Footprint Network, l'humanité ne dispose que d'une seule planète Terre et, il est impossible d'en consommer 1.75 sans avoir de conséquences destructrices. Mathis Wackernagel met ainsi en lumière l'urgence face à laquelle la société est confrontée : la nécessité d'une transition écologique.

L'Agence nationale de la cohésion des territoires française (ANCT) définit la transition écologique comme étant :

« Une transformation profonde, mais progressive de nos économies et de nos sociétés, conduite par différents acteurs (pouvoirs publics, citoyens, associations, entreprises) pour réduire l'empreinte des activités humaines sur l'environnement et parvenir à un développement durable. [...] La transition écologique se traduit par des actions dans différents domaines : lutte contre le changement climatique et adaptation, réduction des pollutions, préservation de la biodiversité, gestion durable des ressources, réduction de la production de déchets et des déplacements motorisés, mise en œuvre de modes de production et de consommation responsables »¹⁸.
(ANCT, 2020)

Afin de répondre à la transition écologique, la communauté internationale a mis en place des accords internationaux. Premièrement en 1992 lors du « Sommet Planète Terre » de Rio avec la « Convention-cadre sur les changements climatiques »¹⁹ puis en 1997 avec le « Protocole de Kyoto »²⁰ et enfin en 2015, à Paris, avec « L'accord de Paris sur le climat »²¹. En parallèle à ces accords, les Nations Unies ont défini les Objectifs de développement durable que les Etats membres de l'ONU doivent atteindre d'ici à 2030²².

¹⁶ EARTH OVERSHOOT DAY, 2019. Le jour du dépassement mondial 2019 sera le 29 juillet, la date la plus précoce jamais enregistrée.

¹⁷ ARNSPERGER, Christian, BOURG, Dominique, 2019. *Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire*.

¹⁸ AGENCE NATIONALE DE LA COHESION DES TERRITOIRES, 2020. La transition écologique, un enjeu de cohésion des territoires.

¹⁹ Réf. 2.

²⁰ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2016. Politique climatique internationale : Protocole de Kyoto.

²¹ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2018. L'accord de Paris sur le climat. I

²² CONFEDERATION SUISSE, 2020. 17 objectifs de développement durable.

Les Objectifs de développement durable (ODD) sont nés en 2012 lors de la Conférence de Rio sur le développement durable et sont articulés en dix-sept objectifs différents. Comme expliqué par le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), ces objectifs sont universels et ont pour but de relever les défis urgents auxquels la civilisation humaine est confrontée sur le plan écologique, politique et économique. Selon le PNUD :

*« Chacun des dix-sept Objectifs est interdépendant des autres, la réussite de l'un concourant à celle des autres. Lutter contre la menace du changement climatique influence notre façon de gérer nos ressources naturelles, parvenir à l'égalité des sexes ou à une meilleure santé contribue à éradiquer la pauvreté, et consolider la paix réduira les inégalités et contribuera à des économies florissantes. En bref, les ODD sont l'occasion ou jamais de rendre le monde meilleur pour les générations futures »²³.
(PNUD, 2020)*

Tous les Objectifs de développement durable ne traitent pas des problèmes environnementaux liés aux changements climatiques et de leur cause principale, à savoir, le mode de vie actuelle de l'humanité qui est surconsommateur de ressources et de déchets. Les Objectifs de développement durable, numéros 6 – Eau propre et assainissement, 7 – Energie propre et d'un coût abordable, 13 – Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques, 14 – Vie aquatique et 15 – Vie terrestre, abordent certes les changements climatiques mais, ne relèvent pas directement du mode de vie surconsommateur en ressources et en déchets. Les deux Objectifs de développement durable explicités ci-dessous, selon les propos de l'Agenda 2030 en France, mettent en lumière cet enjeu :

*« Le onzième objectif – Villes et communautés durables – vise à réhabiliter et à planifier les villes, ou tout autre établissement humain, de manière à ce qu'elles puissent offrir à tous des opportunités d'emploi, un accès aux services de base, à l'énergie, au logement, au transport, espaces publics verts et autres, tout en améliorant l'utilisation des ressources et réduisant leurs impacts environnementaux »²⁴.
(Agenda 2030, 2020)*

*« Le douzième objectif – Consommation et production responsables - est un appel pour les producteurs, les consommateurs, les communautés et les gouvernements à réfléchir sur leurs habitudes et usages en termes de consommation, de production de déchets, à l'impact environnemental et social de l'ensemble de la chaîne de valeur de nos produits »²⁵.
(Agenda 2030, 2020)*

²³ PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT, 2020. Historique.

²⁴ L'AGENDA 2030 EN FRANCE, 2020. ODD 11 – Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables.

²⁵ L'AGENDA 2030 EN FRANCE, 2020. ODD 12 – Etablir des modes de consommation et de production durables.

2.2.1 Raréfaction des ressources

*« Progressivement, les réserves de ressources naturelles diminuent et certaines d'entre elles s'épuisent. Les réserves d'eau, si rien n'est fait, ne couvriront que 70% de la demande en 2030. Les réserves disponibles en sol arable seraient seulement de 60 ans. Certains métaux, comme l'euporium qui est utilisé dans la fabrication de smartphones, présentent un risque élevé de pénurie. La raréfaction des ressources devient l'un des plus importants défis auquel l'humanité va devoir faire face »²⁶.
(Rémy Le Moigne, 2018, p.1)*

L'introduction de Rémy Le Moigne dans le livre « L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable » met ainsi en avant le même problème que les résultats du Jour du Dépassement Mondial, à savoir, le mode de vie actuel de l'humanité qui est surconsommateur de ressources naturelles. Philippe Frémeaux, Wojtek Kalinowski et Aurore Lalucq, pointent aussi ce problème dans le livre « Transition écologique, mode d'emploi » en reprenant les propos de l'économiste écologique Joshua Farley, membre du « Gund Institute for Ecological Economis » qui explique que l'extraction de ressources naturelles ne devrait pas dépasser la capacité de régénération des stocks²⁷.

Christian Arnsperger et Dominique Bourg expliquent dans le livre « Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire »²⁸ que l'humanité a déjà épuisé toutes les réserves minérales localisées à moins de 100 mètres de profondeur et qu'il faudra de plus en plus d'énergie pour pouvoir extraire ses mêmes ressources enfouies plus profondément. Un problème ne venant jamais seul, les deux auteurs expliquent que la production d'énergies propres est plus consommatrice de métaux que la production d'énergies fossiles. Les énergies fossiles étant à bannir puisqu'elles sont émettrices de gaz à effet de serre, un cercle vicieux apparaît car il faudra extraire de plus en plus de métaux à de plus grandes profondeurs, avec des taux de concentration plus faibles, pour pouvoir produire des énergies propres, celles-ci étant à leur tour en partie utilisées pour extraire des métaux.

2.2.2 Les problèmes liés aux déchets

*« Avant que le mot recyclage ne fût inventé, quasiment tout était recyclé. Le recyclage semble être une nouvelle idée, c'est pourtant l'idée du déchet qui l'est »²⁹.
(Vincent Aurez, Laurent Georgeault, 2016, p.39)*

²⁶ LE MOIGNE, Rémy, 2018. *L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable*.

²⁷ FREMEAUX, Philippe, KALINOWSKI, Wojtek, LALUCQ, Aurore, 2014. *Transition écologique, mode d'emploi*.

²⁸ Réf. 17.

²⁹ AUREZ, Vincent, GEORGEAULT, Laurent, 2016. *Economie circulaire – Système économique et finitude des ressources*.

Au travers de ces deux phrases, les auteurs Vincent Aurez et Laurent Georgeault expliquent que le déchet est une invention relativement récente, contrairement aux pratiques de recyclage qui sont anciennes. Ces deux auteurs s'appuient sur les travaux de Sabine Barles, professeure à l'Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne³⁰ qui explique que durant les deux premiers tiers du XIXème siècle :

« Scientifiques, industriels, agriculteurs – parfois confondus – regardèrent la ville comme une mine de matières premières et participèrent, aux côtés des administrations municipales, des services techniques et des chiffonniers, à la réalisation d'un projet urbain visant à ne rien laisser perdre, projet garant de la salubrité urbaine, du dynamisme économique et de la survie alimentaire »³¹. (Sabine Barles, 2016, p.40)

C'est en 1883 que la problématique des déchets apparaît avec la décision du préfet de la Seine, Eugène Poubelle, qui décide d'obliger les propriétaires d'immeubles à mettre en place des récipients communs pour collecter les ordures ménagères.

La Suisse est le troisième plus gros créateur de déchets municipaux en Europe selon Eurostat³² avec une moyenne de 706 kilos de déchets par habitant en un an³³. La Suisse suit ainsi le Danemark (781 kilos de déchets municipaux par habitant en un an) et la Norvège (748 kilos de déchets municipaux par habitant en un an). Cette statistique doit tout de même être prise avec des pincettes car même si les déchets ménagers sont les plus médiatisés, ce sont bien les déchets provenant d'activités économiques qui représentent les plus grandes quantités. Rémy Le Moigne illustre cela dans le livre « L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable »³⁴ en se basant sur les chiffres du Commissariat général au développement durable. Il explique que les déchets provenant d'activités économiques (industrie, distribution, artisanale ou hospitalière) représentent 92% du poids des déchets en France et que les déchets provenant du secteur de la construction représentant les trois quarts du poids total des déchets.

Le problème principal lié aux déchets est l'accumulation de ceux-ci. En effet, comme l'explique l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) dans le rapport « Rien ne se perd – L'économie circulaire au profit de l'environnement et des entreprises »³⁵, la société vit dans un modèle économique linéaire (modèle développé au sous-chapitre 3.1.2) qui se décline en quatre étapes : extraire, fabriquer, utiliser et jeter. Rémy Le Moigne explique

³⁰ UNIVERSITE PARIS PANTHEON SORBONNE, 2020. Sabine Barles.

³¹ Réf. 29.

³² EUROSTAT, 2020. *Municipal waste by waste management operations* [fichier Excel].

³³ MEYER-VACHERAND, Etienne, 2019. La Suisse sur le podium des producteurs de déchets européens.

³⁴ Réf. 26.

³⁵ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Rien ne se perd – L'économie circulaire au profit de l'environnement et des entreprises. *L'environnement – Les ressources naturelles en Suisse*.

dans le livre mentionné précédemment que ce modèle économique repose sur une utilisation sans limite des ressources, car il consomme de grandes quantités de matières premières et qu'il produit d'importantes quantités de déchets³⁶.

2.3 Les enjeux écologiques en Suisse

Dans un rapport publié en 2009 « Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity », l'écologue suédois Johan Rockström définit les neuf limites planétaires³⁷ comme étant :

- Les changements climatiques
- Les nouvelles substances et les organismes modifiés
- L'appauvrissement de la couche d'ozone
- La pollution atmosphérique par les aérosols
- L'acidification des océans
- Les cycles biochimiques
- L'utilisation d'eau douce
- Les changements dans l'utilisation des sols (déforestation)
- La perte de biodiversité

Dans son rapport « Environnement Suisse 2018 », le Conseil fédéral explique que ces limites sont des seuils critiques à ne pas dépasser pour que la Terre ne bascule pas dans un état qui menacerait le bien-être de l'humanité. Ce rapport reprend les propos de l'auteur mentionné ci-dessus en ajoutant qu'au niveau mondial, quatre de ces neuf limites sont déjà dépassées. Ainsi les quatre limites déjà franchies sont les changements climatiques, les cycles chimiques, les changements dans l'utilisation des sols et la perte de biodiversité.

Dans ce même rapport, le Conseil fédéral explique que :

« Les besoins en ressources naturelles de la Suisse dépassent la capacité de régénération de la planète en raison des modes de consommation et de production actuels »³⁸.
(Admin.ch, 2018)

³⁶ Réf. 26.

³⁷ ROCKSTROM, Johan, STEFFEN, Will, NOONE, Kevin, PERSSON, Asa, CHAPIN, F. Stuart, LAMBIN, Eric, LENTON, Timothy, SCHEFFER, Marten, FOLKE, Carl, SCHELLNHUBER, Hans Joachim, NYKVIST, Björn, DE WIT, Cynthia, HUGHES, Terry, VAN DER LEEUW, Sander, RODHE, Henning, SOLRIN, Sverker, SNYDER, Peter, COSTANZA, Robert, SVEDIN, Uno, FALKENMARK, Malin, KARLBERG, Louise, CORELL, Robert, FABRY, Victoria, HANSEN, James, WALKER, Brian, LIVERMAN, Diana, RICHARDSON, Katherine, CRUTZEN, Paul, FOLEY, Jonathan, 2009. Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*.

³⁸ CONFEDERATION SUISSE, 2018. *Environnement Suisse 2018*.

L'examen environnemental de la Suisse réalisé par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en 2017³⁹ relève qu'il existe un certain nombre de pressions environnementales en Suisse : la production de déchets municipaux est en hausse, l'utilisation d'intrants azotés dans l'agriculture est abusive, plus d'un tiers des espèces sont menacées d'extinction, la qualité de l'eau se dégrade, la biodiversité recule à cause de l'artificialisation des sols et les taux de concentrations atmosphériques de particules sont supérieurs aux limites légales dans les zones de circulations importantes.

La Suisse est de plus en plus impliquée dans des circuits économiques globaux car une part croissante des biens consommés viennent de l'étranger ou, sont produits grâce à des matières premières importées. En conséquence, une partie de l'impact environnemental de la Suisse est délocalisée à l'étranger. L'impact environnemental est calculé grâce à des indicateurs d'empreinte que l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie française (ADEME) définit comme étant :

« L'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa fin de vie »⁴⁰.
(ADEME, 2020)

Le Conseil fédéral illustre cela dans son rapport en expliquant que la quantité de gaz à effet de serre émise en Suisse a diminué entre 2000 et 2015 alors que celle émise par la population suisse à l'étranger a augmenté. Le rapport fournit des détails sur les quantités totales de CO₂ émises par la Suisse en précisant que l'empreinte gaz à effet de serre de la Suisse était d'environ 14 tonnes d'équivalents CO₂ par personne en 2015 alors que le seuil supportable pour la Terre est d'environ 0.6 tonne par personne.

Ce même rapport met aussi en avant les détails de l'empreinte biodiversité, de l'empreinte hydrique ainsi que de l'empreinte azote de la Suisse. L'analyse de ces données montre que la Suisse dépasse largement les limites planétaires et c'est pour cela que dans son rapport de 2018 intitulé « Empreintes environnementales de la Suisse »⁴¹, l'OFEV explique que la consommation par personne en Suisse produit un impact environnemental trois fois supérieur au niveau jugé supportable à long terme par les objectifs de la politique environnementale de la Suisse.

³⁹ OCDE, 2017. *Examens environnementaux de l'OCDE Suisse 2017*.

⁴⁰ AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2018. *Les impacts environnementaux*.

⁴¹ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2018. *Empreintes environnementales de la Suisse de 1996 à 2015*.

Enfin, le rapport détaille l'empreinte matérielle de la Suisse en expliquant que celle-ci a diminué d'environ 6% de 2000 à 2015 et qu'elle est descendu à environ 17 tonnes par personne. Le rapport précise tout de même que cette valeur est supérieure à la moyenne de l'Union Européenne qui se situe à 14 tonnes par personne ainsi qu'à la valeur seuil de la planète qui est de 5.2 tonnes de matières premières consommées par personne et par an. Le rapport souligne que ce sont le gravier, le sable ainsi que les autres minéraux non métalliques qui contribuent à plus de 40% de l'empreinte matérielle de la Suisse. À préciser tout de même que l'Agenda 2030 des Nations Unies pour le développement durable s'appuie sur l'empreinte matérielle pour l'Objectif de développement durable 8.4, à savoir, l'efficacité de l'utilisation des ressources dans les modes de consommation et de production.

2.4 Les enjeux écologiques de la construction

Les enjeux écologiques du secteur de la construction sont nombreux. Non seulement la construction est une très grande consommatrice de ressources mais elle est aussi une très grande émettrice de déchets. Les matériaux de construction sont très énergivores lors des phases d'extraction et de fabrication. Comme l'explique la KBOB (la conférence de coordination des services fédéraux de la construction et de l'immobilier) dans son rapport « 2001/1 Métaux pour toitures et façades », certains matériaux comme les métaux tels que le cuivre et le zinc, utilisés pour fabriquer les déversoirs d'orage, sont soumis à l'érosion et contribuent à polluer l'eau⁴². D'autres matériaux comme la peinture ou le crépis contiennent des produits chimiques qui doivent être traités lorsqu'ils arrivent en fin de vie.

2.4.1 Consommation de ressources

Selon l'étude du World Economic Forum « Shaping the Future of Construction – A Breakthrough in Mindset and Technology », le secteur de la construction est le plus gros consommateur de ressources et de matières premières. Le rapport explique que 50% de la production totale d'acier est consommée par le secteur de la construction et que 3 milliards de tonnes de matières premières sont utilisées chaque année pour la fabrication de produits de construction⁴³. Les études de l'ADEME « Perspectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique BBC »⁴⁴ ainsi que « Prospective de consommation de matériaux pour la construction des

⁴² KBOB, 2001. *Matériaux pour toitures et façades*

⁴³ WORLD ECONOMIC FORUM, 2016. *Shaping the future of construction – A breakthrough in mindset and technology 2020*

⁴⁴ AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2019. *Perspectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique BBC*.

bâtiments neufs aux horizons 2035 et 2050 »⁴⁵ expliquent qu'en 2015, 51 mégatonnes (millions de tonnes) de matières ont été consommées pour la construction neuve en France et que les granulats, le sable et le ciment représentaient respectivement 42%, 33% et 10% de cette consommation totale.

Au niveau Suisse, le rapport « Besoins matériels de la Suisse » de l'Office Fédéral de la Statistique (OFS) publié en 2008 explique que chaque année, la Suisse utilise environ 50 millions de tonnes de gravier et de sable⁴⁶. Selon ce rapport, les gravières suisses ont extrait 33.44 millions de tonnes de gravier et de sable en 2006 alors que la Suisse a importé 7.3 millions de tonnes de gravier et de sable la même année. Ces données mettent en lumière un autre problème lié aux ressources pour le secteur de la construction : le transport de matériaux.

2.4.2 Transport de matériaux de construction et d'excavation

Michel Savy, directeur de l'Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe⁴⁷, explique dans son livre « Le transport de marchandises – Economie du fret, management logistique, politique des transports »⁴⁸ que le transport de matériaux de construction en France était de 14.8 tonnes par habitants en 2000, ce qui représentait 44.2% du tonnage total transporté. L'auteur nuance tout de même l'importance des matériaux de construction dans le transport de marchandises en ajoutant que le transport de ces matériaux ne représentait que 17% de l'activité de transport en tonnes-kilomètres. En effet, l'auteur indique qu'en France, les matériaux de construction ne parcouraient que 39 kilomètres en moyenne.

Le secteur de la construction ne transporte pas que des matériaux de construction. Avant de pouvoir commencer des travaux, il faut évacuer les déblais de percement et les matériaux d'excavation. Ainsi, la Suisse produit entre 40 et 60 millions de tonnes de matériaux d'excavation chaque année et comme le relève la Confédération, ces volumes sont de loin les déchets les plus abondants sur sol suisse⁴⁹. Il faut tout de même nuancer le terme de déchet car ces matériaux peuvent être utilisés comme ressources pour d'autres projets de construction. Selon un article intitulé « ECOMATGE » parut en 2015

⁴⁵ AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2019. *Prospective de consommation de matériaux pour la construction des bâtiments neufs aux horizons 2035 et 2050*

⁴⁶ OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, 2008. *Besoins matériels de la Suisse. Statistique suisse de l'environnement.*

⁴⁷ INSTITUT DES HAUTES ETUDES D'AMENAGEMENT DES TERRITOIRES, 2020. Michel Savy

⁴⁸ SAVY, Michel, 2017. *Le transport de marchandises – Economie du fret, management logistique, politique des transports.*

⁴⁹ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. *Matériaux d'excavation et de percement.*

sur le site Genie.ch⁵⁰, Genève produit chaque année en moyenne 2 millions de tonnes de matériaux d'excavation et de déconstruction, ce qui correspond aux chargements d'environ 200'000 camions. Enfin, l'article ajoute que la distance totale parcourue par ces matériaux à Genève est de 6 millions de kilomètres par année.

2.4.3 Production de déchets

Comme avancé précédemment, la construction est le domaine d'activité qui produit le plus de déchets. De plus, les déchets de chantier sont nombreux : les matériaux d'excavation et les déblais, les matériaux de déconstruction ou encore les emballages des nouveaux matériaux de construction. En France, selon le Ministère de la transition écologique et solidaire, les entreprises du domaine de la construction ont généré 227.5 millions de tonnes de déchets et de déblais en 2014 et 31% de ces déchets n'ont pas été valorisés⁵¹. Dans l'article « Le béton ne meurt jamais » paru en 2019 dans le magazine « L'environnement », l'OFEV illustre cela en expliquant qu'en Suisse, « *la quantité des matériaux de déconstruction s'élève à 17 millions de tonnes par an* » (OFEV, 2019, p.31) et que « *un volume de 25'000 maisons individuelles s'avère toujours mis en décharge* »⁵² (OFEV, 2019, p.32). Dans cet article, David Hiltbrunner, membre de la division « Déchets et matières premières » à l'OFEV⁵³, ajoute que « *les surfaces de décharge sont très limitées* » (OFEV, 2019, p.32) et que « *les quelques 200 décharges du pays se remplissent bien trop vite et il devient très difficile d'en ouvrir de nouvelles* » (OFEV, 2019, p.32), laissant ainsi apparaître le principal problème lié aux déchets de ce secteur : la non-valorisation des déchets de chantier.

Afin d'apporter une réponse à ce problème, l'OFEV a établi la « Directive pour la valorisation des déchets de chantiers minéraux ». La directive explique que :

*« Avec près de dix millions de tonnes par an, les déchets de chantier minéraux représentent, et de loin, la plus grande masse de déchets en Suisse »*⁵⁴. (OFEV, 2006, p.5)

⁵⁰ GENIE.CH, 2015. ECOMATGE.

⁵¹ MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2018. Enquête sur les déchets et déblais produits par l'activité BTP en 2014.

⁵² Réf.35.

⁵³ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2020. Section Cycles matières premières.

⁵⁴ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2006. Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux – Matériaux bitumineux et non bitumineux de démolition des routes, béton de démolition, matériaux non triés 2^{ème} édition. *L'environnement pratique*.

Cette directive ne s'adresse qu'aux matériaux de déconstruction et plus précisément aux déchets de chantier minéraux. Ces déchets sont des matériaux bitumineux et non bitumineux, du béton de démolition ou encore des matériaux non triés, et sont des matériaux qui peuvent être valorisés, à savoir réutilisés ou recyclés.

2.5 Synthèse de la problématique

Tous les éléments mentionnés et explicités ci-dessus mènent à la même conclusion : l'humanité ne peut pas continuer à vivre indéfiniment sans changer sa manière de fonctionner. En effet, ce mode de vie est surconsommateur en ressources naturelles et crée trop de déchets qui sont simplement détruits alors qu'une grande partie d'entre eux pourraient être réutilisés ou recyclés. En conséquence, les ressources se raréfient ce qui amène à dépenser de plus en plus d'énergie pour pouvoir les extraire et donc, de rejeter une plus grande quantité de gaz à effet de serre. Ainsi, trop de gaz à effet de serre sont rejetés dans l'atmosphère et cela a pour effet d'augmenter la température sur Terre.

Certains secteurs d'activité, tels que la construction, sont responsables d'une grande partie de ces problèmes puisqu'ils nécessitent une forte consommation de ressources naturelles, produisent beaucoup de déchets et transportent de grande quantité de matériaux. Le concept exposé ci-dessous a pour but d'apporter une réponse à ces problèmes. Loin d'être la solution générique aux problèmes de l'humanité, ce concept a pour but de réduire la consommation de ressources nouvelles ainsi que l'impact environnemental de la surconsommation actuelle.

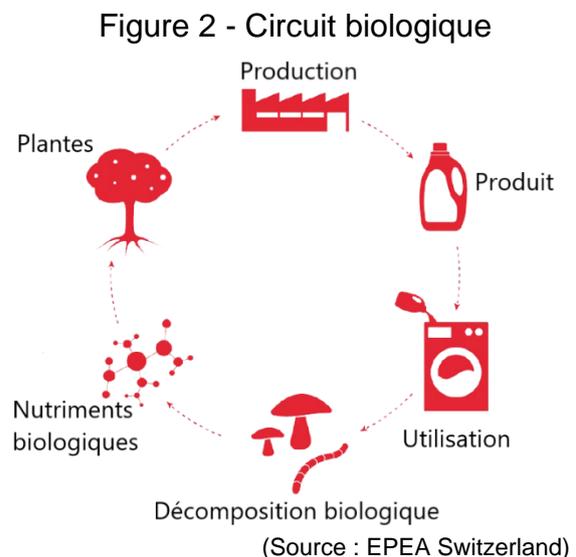
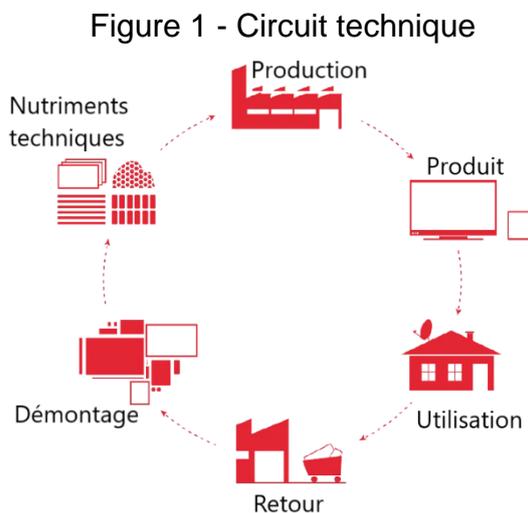
3. L'économie circulaire

3.1 L'économie circulaire « authentique »

3.1.1 Historique

Selon les dires de Vincent Auzé et Laurent Georgeault dans le livre « Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire », le concept d'économie circulaire est né en 1976 grâce à la publication du rapport « Jobs for Tomorrow » de Geneviève Reday et de Walter Stahel par la Commission européenne⁵⁵. Walter Stahel travaillait à l'époque au centre de recherches Battelle à Genève. Les deux auteurs ont, cette année-là, défini le concept d'économie en boucle et non pas le concept d'économie circulaire mais la définition de ces deux concepts est relativement identique. Walter Stahel a publié par la suite plusieurs ouvrages sur l'économie circulaire tels que « The Product-life Factor » en 1982 dans lequel il définit le concept d'économie de la fonctionnalité.

En 2002, Michael Braungart et William McDonough publie le livre « Cradle to Cradle ». Dans cet ouvrage, les deux auteurs définissent le concept de Cradle to Cradle (du berceau au berceau) qui considère les déchets comme des ressources. Selon le modèle, les produits doivent être conçus pour être désassemblés en fin de vie afin de pouvoir réutiliser leurs matériaux comme matières premières pour la fabrication de nouveaux produits. Le modèle sépare les matériaux de fabrication en deux catégories : les nutriments biologiques et les nutriments techniques⁵⁶.



⁵⁵ Réf. 29.

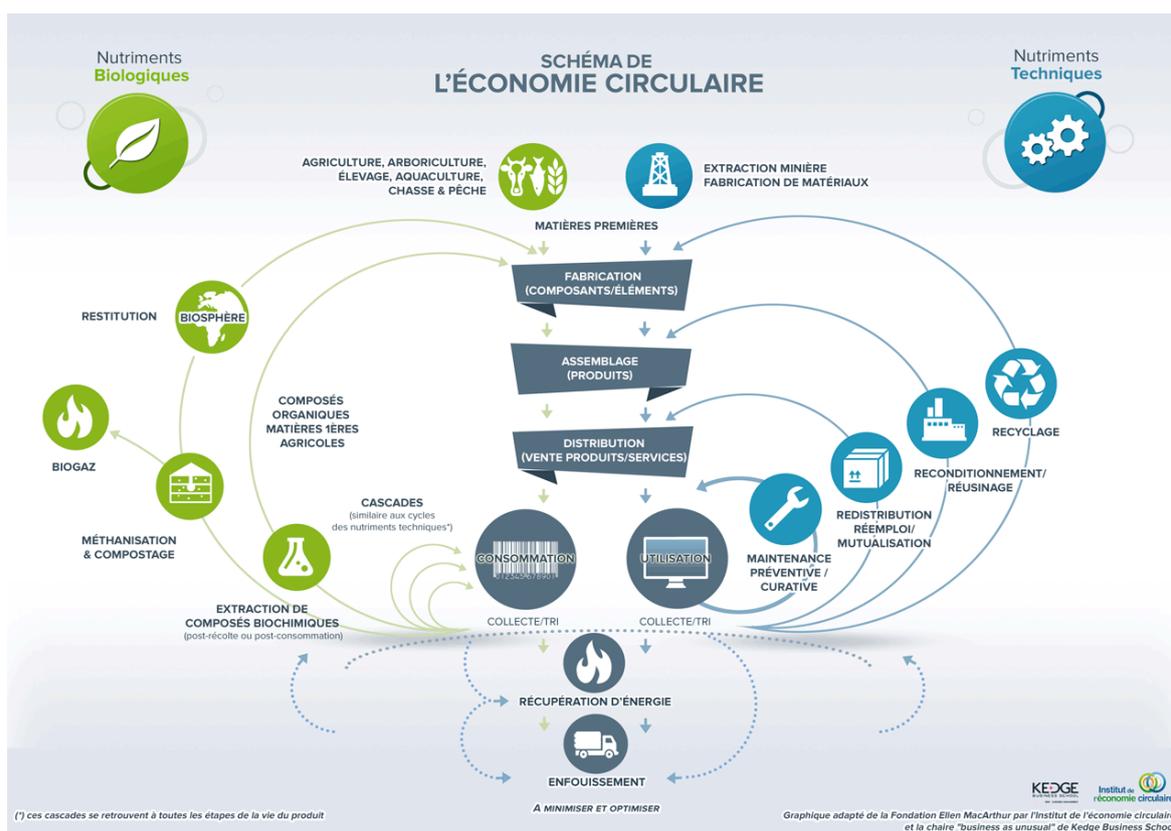
⁵⁶ EPEA SWITZERLAND, 2020. Pensez à de nouveaux procédés de production du Berceau au Berceau.

Plus récemment, l'ancienne navigatrice Ellen MacArthur a fondé en 2010 une fondation en son nom afin de promouvoir et de démocratiser l'économie circulaire. Elle définit le concept d'économie circulaire en expliquant que :

« Une économie circulaire est par nature restaurative et régénérative et tend à préserver la valeur et la qualité intrinsèque des produits, des composants et des matériaux à chaque étape de leur utilisation. Le concept distingue les cycles biologiques et techniques. Telle qu'envisagée à l'origine, l'économie circulaire est un cycle de développement positif continu qui préserve et développe le capital naturel, optimise le rendement des ressources et minimise les risques systémiques par la gestion des stocks et des flux de ressources. Un système qui demeure efficace quelle que soit l'échelle »⁵⁷. (Fondation Ellen MacArthur, 2020)

Les auteurs Vincent Aurez et Laurent Georgeault relèvent tout de même dans le livre « Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire » que cette définition fait abstraction du nécessaire découplage absolu entre activités économiques et ressources consommées, faisant ainsi apparaître que le R de réduction fait défaut à cette définition.

Figure 3 - Schéma de l'économie circulaire de la fondation Ellen MacArthur



(Source : Fondation Ellen MacArthur)

⁵⁷ FONDATION ELLEN MACARTHUR, 2017. Economie circulaire.

3.1.2 Définitions

L'économie circulaire fait opposition à l'économie linéaire. L'économie linéaire, qui peut être modélisée par « extraire, fabriquer, utiliser et jeter », est un modèle économique consommant des ressources naturelles et de l'énergie pour fabriquer des produits⁵⁸. Ces produits arrivés en fin de vie deviennent des déchets et sont donc jetés sans être réutilisés ou recyclés. Le problème principal de ce système économique est qu'il considère que les ressources sont illimitées, alors que la Terre dispose de ressources limitées.

Il existe un grand nombre de définitions de l'économie circulaire. Bien que les différents auteurs s'accordent sur les points principaux, toutes les définitions ne prennent pas en considération l'ensemble des dimensions qui y sont relatives. Une des définitions qui fait référence est la définition de l'ADEME datant de 2013. Pour l'ADEME, l'économie circulaire comporte trois domaines et sept piliers. Selon l'ADEME :

*« L'économie circulaire peut se définir comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien être des individus »⁵⁹.
(ADEME, 2013)*

Figure 4 - Schéma de l'économie circulaire de l'ADEME

L'économie circulaire 3 domaines, 7 piliers



(Source : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie française (ADEME))

⁵⁸ Réf. 26.

⁵⁹ AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2020. Economie circulaire.

Une autre définition de référence est celle de Rémy Le Moigne issue de son livre « L'économie circulaire - Comment la mettre en œuvre dans l'entreprise grâce à la reverse supply chain ». L'auteur y définit l'économie circulaire comme étant :

*« Un système de production et d'échanges prenant en compte, dès leur conception, la durabilité et le recyclage des produits ou de leurs composants de sorte qu'ils puissent redevenir soit des objets réutilisables soit des matières premières nouvelles, dans un objectif d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources »⁶⁰.
(Rémy Le Moigne, 2014, p.32)*

Les auteurs Vincent Aurez et Laurent Georgeault expliquent dans leur livre « Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire » que cette définition ne traite que des dimensions industrielles. Ces deux auteurs donnent une définition plus complète de l'économie circulaire dans ce même ouvrage en mettant en évidence le principal enjeu lié à l'économie circulaire à savoir réduire notre consommation de ressources. Pour ces deux auteurs, l'économie circulaire est définie comme étant :

*« Un principe d'organisation économique qui vise à réduire systématiquement la quantité de matières premières et d'énergie sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit ou d'un service, et à tous les niveaux d'organisation d'une société, en vue d'assurer la protection de la biodiversité et un développement propice au bien-être des individus »⁶¹.
(Vincent Aurez, Laurent Georgeault, 2016, p.115)*

3.1.3 Différence avec l'économie verte

*« L'économie circulaire n'est pas la croissance verte »⁶².
(Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.55)*

Pour l'OCDE, la croissance verte peut être définie comme étant :

*« Promouvoir la croissance économique et le développement tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les ressources et services environnementaux dont dépend notre bien-être »⁶³.
(OCDE, 2020)*

La croissance verte n'a donc pas les mêmes fondements que l'économie circulaire puisque contrairement à cette dernière, elle ne cherche pas à réduire l'intensité de la consommation de ressources naturelles. Christian Arnsperger et Dominique Bourg expliquent dans leur livre « Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire » que l'idée d'une poursuite de la croissance sans utiliser plus de ressources est illusoire et qu'un découplage entre activités économiques et ressources consommées est nécessaire.

⁶⁰ Réf. 26.

⁶¹ Réf. 29.

⁶² Réf. 17.

⁶³ OCDE, 2020. Qu'est-ce que la croissance verte et comment peut-elle aider à assurer un développement durable ?

Selon Anders Wijkman et Kristian Skänberg :

« Le découplage se réfère à la capacité d'une économie à croître sans augmentation correspondante de la consommation d'énergie et de ressources et de la pression sur l'environnement »⁶⁴. (Anders Wijkman et Kristian Skänberg, 2015, p.12)

En effet, Christian Arnsperger et Dominique Bourg émettent une critique envers la Fondation Ellen MacArthur dans ce même livre car selon eux, cette dernière confond croissance verte et économie circulaire en affirmant dans son rapport « Circularity Indicators : An Approach to Measuring Circularity » que :

« Un schéma de déploiement de ressources qui est circulaire dans sa conception rend possible une poursuite de la croissance sans avoir besoin de davantage de ressources. Il crée nettement plus de valeur par unité de ressource »⁶⁵. (Fondation Ellen MacArthur, 2015, p.3)

Ces deux auteurs expliquent que cette affirmation est basée sur une idée faussement répandue qui consiste à croire que :

« Grâce à des progrès technologiques constants, les flux nets d'énergie et de matières liés à nos productions et consommations finales croissantes seront en décroissance »⁶⁶. (Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.56)

De plus, Christian Arnsperger et Dominique Bourg expliquent que la croissance verte fait une fausse promesse en avançant qu'il est possible de prétendre consommer moins de ressources et de continuer à accroître le PIB par tête d'un nombre croissant d'habitants puisque le rapport de l'UNEP (Programme des Nations unies pour l'environnement) « Global Material Flows and Resource Productivity »⁶⁷ confirme que la croissance de consommation mondiale de ressources augmente même plus que la croissance du PIB. Les deux auteurs concluent en ajoutant que « l'objectif de l'économie circulaire est la réduction des flux d'énergies et de matières » (Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.58) alors que l'économie verte « ne fait que prolonger le rêve récent d'un accroissement indéfini de la consommation et du bien-être humain par ponction sur une nature rendue illimitée par le progrès technique » (Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.58).

⁶⁴ WIJKMAN, Anders, SKANBERG, Kristian, 2015. *L'économie circulaire et ses bénéfices sociétaux - Des avancées réelles pour l'emploi et le climat dans une économie basée sur les énergies renouvelables et l'efficacité des ressources.*

⁶⁵ FONDATION ELLEN MACARTHUR, 2015. *Circularity indicators – An approach to measuring circularity.*

⁶⁶ Réf. 17.

⁶⁷ PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, 2016. *Global material flows and resource productivity*

3.2 L'économie circulaire « concrètement »

3.2.1 Les 5 R

Les 5 R trouvent leur origine au Japon avec le concept des 3 R : réduction, réutilisation et recyclage. Comme l'explique le Gouvernement japonais, le premier Ministre M. Koizumi a proposé en juin 2004, lors du sommet du G8 à Sea Island en Géorgie aux Etats-Unis, « l'Initiative 3 R »⁶⁸ qui reçut l'approbation des membres du G8⁶⁹. Depuis, un grand nombre de scientifiques ont étayé et développé le sujet pour arriver au concept des 5 R.

Tous les scientifiques ne s'accordent pas sur les 5 R. En effet, pour Christian Arnsperger et Dominique Bourg, les 5 R sont : réduire, réutiliser, réemployer, refabriquer et recycler⁷⁰. Rémy Le Moigne ne mentionne pas le terme 5 R dans son livre « L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable » mais il détaille successivement dix concepts relatifs à l'économie circulaire. L'auteur met ainsi en avant cinq concepts relativement proches des 5 R qui sont : le recyclage, la remanufacturation, le reconditionnement, la réparation et le compostage (rot en anglais)⁷¹. Enfin, la blogueuse et fondatrice de l'association ZeroWaste Switzerland Bea Johnson décrit les 5 R comme étant : refuser, réduire, réutiliser, recycler et composter (ou rot)⁷². Contrairement aux auteurs mentionnés précédemment, Bea Johnson n'est pas une scientifique et donc, sa définition des 5 R n'est pas reconnue académiquement. C'est pourtant sa définition des 5 R qui est présentée ci-dessous car elle réunit tous les points abordés par les scientifiques et ajoute une dimension décisionnelle : la possibilité de refus.

3.2.1.1 Refuser

ZeroWaste Switzerland définit le R de refuser comme étant « *refuser ce dont on n'a pas besoin* »⁷³ (Bea Johnson, 2019). L'association invite les consommateurs à réfléchir à leur comportement et à réduire la demande des produits encombrants en refusant les objets superflus tels que les prospectus publicitaires qui ne sont pas lus, les sacs en plastique à usage unique ou encore les gobelets à usage unique. L'association précise que ce concept ne peut fonctionner que si l'effort est collectif.

⁶⁸ LE MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT – LE GOUVERNEMENT JAPONAIS, 2020. The 3R initiative.

⁶⁹ LE MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT – LE GOUVERNEMENT JAPONAIS, 2020. L'environnement global et la coopération internationale.

⁷⁰ Réf. 17.

⁷¹ Réf. 26.

⁷² JOHNSON, Bea, 2019. La démarche Zero Waste : le principe des 5 R.

⁷³ Réf. 72.

3.2.1.2 Réduire

« Le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas »⁷⁴.

(SIDECE Luxembourg, 2010)

Selon les propos du Syndicat intercommunal pour la gestion des déchets luxembourgeois (SIDECE), réduire les déchets est la solution la plus efficace pour diminuer leur quantité ainsi que pour économiser les matières premières disponibles. Cette définition du R de réduction ne considère que la réduction des déchets or les déchets ne sont pas les seuls flux qui doivent être réduits. Comme l'explique Dominique Bourg et Christian Arnsperger dans livre mentionné précédemment :

« La majeure partie des grandes perturbations environnementales actuelles ne procède pas de pollutions, mais de flux et des proportions ou quantités de ces flux. La source du problème est alors essentiellement quantitative »⁷⁵. (Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.50)

Les deux auteurs ajoutent que *« quand il s'agit de réduire les flux associés à nos activités, il n'est d'autre solution que de réduire nos activités, et donc de produire et de consommer moins » (Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.51)* et qu' *« en termes globaux, seule compte la réduction des flux et en conséquence celle des perturbations qu'ils induisent ».* (Christian Arnsperger et Dominique Bourg, 2019, p.51). Ainsi, pour Dominique Bourg et Christian Arnsperger, il est nécessaire de réduire la quantité de ressources ou de matières premières consommées car c'est bien cette surconsommation qui est à l'origine des problèmes environnementaux. Cette surconsommation génère trop de flux de matières et la société ne pourra réduire son empreinte écologique qu'en réduisant la quantité de ces flux.

3.2.1.3 Réutiliser

L'objectif de la réutilisation est le prolongement de la durée de vie d'un objet⁷⁶. Les procédés exposés par Rémy Le Moigne et mentionnés précédemment tels que la remanufacturation, le reconditionnement, la réparation ont pour but de prolonger la durée de vie d'un objet ou des composants de cet objet. L'auteur définit le réemploi ainsi que la réutilisation de la manière suivante :

« Le réemploi désigne toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus »⁷⁷. (Rémy Le Moigne, 2018, p.40)

⁷⁴ SYNDICAT INTERCOMMUNAL POUR LA GESTION DES DECHETS, 2010. Concept des 3R.

⁷⁵ Réf. 17.

⁷⁶ Réf. 72.

⁷⁷ Réf. 26.

« La réutilisation désigne toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau »⁷⁸. (Rémy Le Moigne, 2018, p.40)

Le réemploi ou la réutilisation d'un objet ou de ses composants permettent donc de diminuer l'impact écologique généré par ces derniers.

3.2.1.4 Recycler

Selon le Journal officiel de l'Union européenne (JOUE), le recyclage peut être défini comme étant « le retraitement de déchets, dans un processus de production, aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins mais à l'exclusion de la valorisation énergétique »⁷⁹ (JOUE, 2005). Comme l'explique Rémy Le Moigne dans le livre précédemment mentionné, « un produit arrivé en fin de vie a toujours une valeur résiduelle, celle des matériaux qui le composent »⁸⁰ (Rémy Le Moigne, 2018, p.29). L'auteur ajoute que grâce au recyclage, il est possible de récupérer ces matériaux et de les réutiliser pour fabriquer des nouveaux produits. Les déchets recyclés sont ainsi transformés en matières premières recyclées ou matières secondaires, par opposition aux matières premières vierges.

3.2.1.5 Rot (composter)

Le compostage, contrairement aux quatre précédents R, ne fait pas partie du circuit technique mais du circuit biologique. Selon Rémy Le Moigne, « le compostage est le processus de transformation, en présence d'oxygène, d'une matière organique en compost »⁸¹ (Rémy Le Moigne, 2018, p.43). L'auteur explique que le compost peut être utilisé comme engrais afin de rendre à la terre des nutriments et ainsi améliorer la qualité des sols.

⁷⁸ Réf. 26.

⁷⁹ JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPEENNE, 2005. *Directive 2005/32/CE du parlement européen et du conseil.*

⁸⁰ Réf. 26.

⁸¹ Réf. 26.

3.2.2 Les circuits courts

Selon la Confédération helvétique, les circuits courts sont des « *circuits de distribution cherchant à minimiser le nombre d'intermédiaires entre le producteur et le consommateur* »⁸² (Admin.ch, 2020). Dans le rapport de 2017 « Economie sociale et solidaire : les circuits courts alimentaires »⁸³ le ministère français de la transition écologique et solidaire et le ministère français de l'économie et des finances développent cette notion et ajoutent que les circuits courts reposent sur deux principes :

- Un intermédiaire maximum entre le producteur et le consommateur final
- Une proximité géographique entre le producteur et le consommateur final

Ces définitions font abstraction des forces des circuits courts et c'est pour cela que le laboratoire de l'Economie Sociale et Solidaire (ESS) a rédigé, dans son rapport « Les circuits courts économiques et solidaires », une autre définition des circuits courts. Ainsi, selon l'ESS :

*« Un circuit court économique et solidaire (CCES) est une forme d'échange économique, valorisant le lien social, la coopération, la transparence et l'équité entre les acteurs de l'échange »*⁸⁴.
(Le Labo, 2014, p.8)

L'ESS ajoute donc la notion de solidarité aux circuits courts dans le but de relever toutes les dimensions de l'échange. Les dimensions relevées sont les suivantes :

- Economique
- Sociale
- Environnementale
- Territoriale

L'ESS relève trois principaux effets positifs ou avantages pour chacune de ces dimensions. D'un point de vue économique, les circuits courts permettent la réduction ou la limitation des intermédiaires, la diminution des charges et des coûts ainsi que la formation d'organisations optimales. Les avantages des circuits courts d'un point de vue social sont : l'implication de toutes les parties dans l'échange, la prise en considération des ressources humaines et la création et/ou le maintien des emplois non délocalisables. Leurs effets positifs sur l'environnement sont la prise en compte des externalités des activités, la valorisation des ressources inutilisées et l'investissement au service de la transition écologique. Enfin, les effets positifs des circuits courts sur le territoire sont le

⁸² CONFEDERATION SUISSE, 2020. Circuit court

⁸³ MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2017. *Prospective – Economie sociale et solidaire : les circuits courts alimentaires.*

⁸⁴ LE LABO DE L'ECONOMIE SOCIALE ET SOLIDAIRE, 2015. Les circuits courts économiques et solidaires – Tome 2.

réemploi des ressources du territoire, la proximité des acteurs et le maillage des initiatives et des réseaux. Comme le relèvent Delphine Gallaud et Blandine Laperche, qui reprennent les informations de l'ESS mentionnées ci-dessus dans leur livre « Economie circulaire et développement durable – Ecologie industrielle et circuits courts », les trois premières dimensions sont relatives au management durable alors que la dernière dimension se concentre plus sur le développement endogène des territoires⁸⁵. Cette notion de développement endogène des territoires est en lien direct avec le prochain concept d'économie circulaire exposé dans ce rapport : les symbioses industrielles.

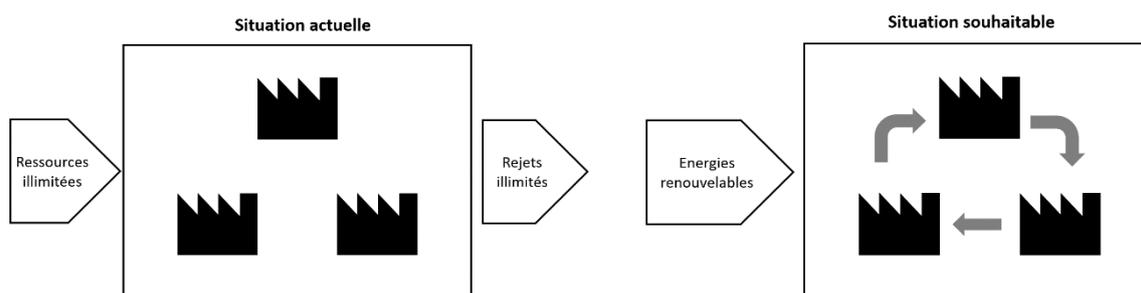
3.2.3 Les symbioses industrielles

La symbiose industrielle est, comme l'expliquent Vincent Aurez et Laurent Georgeault, une déclinaison opérationnelle de l'écologie industrielle⁸⁶. Selon Braden Allenby, un des pères fondateurs de l'écologie industrielle et auteur de l'ouvrage « White paper on sustainable development and industrial ecology »,

« L'écologie industrielle est l'étude objective et multidisciplinaire des systèmes industriels et économiques et de leurs relations avec les écosystèmes essentiels. Elle comprend, entre autres, la recherche sur l'approvisionnement et l'utilisation énergétiques, les matériaux nouveaux, les nouvelles technologies et les systèmes technologiques, les sciences fondamentales, l'économie, le droit, la gestion et les sciences sociales »⁸⁷.
(Braden Allenby, 1995)

Pour cet auteur, l'industrie doit prendre en considération la finitude des ressources ainsi que les capacités d'absorption de l'environnement afin de boucler les flux de matières et d'énergie.

Figure 5 - Evolution du système industriel par Braden Allenby, 1992



(Source : Vincent Aurez et Laurent Georgeault)

⁸⁵ GALLAUD, Delphine, LAPERCHE, Blandine, 2016. *Economie circulaire et développement durable – Ecologie industrielle et circuits courts, Volume 5*.

⁸⁶ Réf. 29.

⁸⁷ ALLENBY, Braden, 1995. *White paper on sustainable development and industrial ecology*.

Rémy Le Moigne explique, dans le livre « L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable »⁸⁸, qu'en général, les entreprises industrielles cherchent à se débarrasser de leurs déchets de production au coût le plus faible. Mais comme le relève cet auteur, ces déchets ont encore une valeur résiduelle qui pourrait profiter à d'autres entreprises. Une symbiose industrielle fonctionne comme un écosystème⁸⁹, et donc dans un tel système, les déchets de fabrication des uns sont utilisés comme matières premières par les autres. La quantité de déchets est ainsi réduite et la consommation d'énergie est optimisée.

Rémy Le Moigne relève tout de même que de tels systèmes ne sont applicables qu'entre entreprises géographiquement proches. En effet, les symbioses industrielles sont mises en place entre des acteurs du même territoire comme par exemple dans un parc industriel. Le premier parc industriel à avoir mis en place un tel système, qui est aussi le plus connu, est celui de Kalundborg au Danemark. Ce parc industriel est composé de neuf entreprises et de la commune de Kalundborg⁹⁰. Grâce aux échanges de flux de matières et d'énergies réalisés par les entreprises du parc industriel de Kalundborg, ces dernières ont pu réduire leurs émissions de CO₂ de 275'000 tonnes par an et leur consommation d'eau de 3 millions de mètres cubes par année⁹¹.

3.2.4 Bénéfices de l'économie circulaire

Les bénéfices de l'économie circulaire sont nombreux et se répartissent en trois catégories ou dimensions :

- Bénéfices économiques
- Bénéfices sociaux
- Bénéfices environnementaux

D'un point de vue économique, l'économie circulaire permet, selon les dires de Rémy Le Moigne, d'améliorer le chiffre d'affaires et le bénéfice grâce à une augmentation des ventes et à une diminution des coûts⁹². L'auteur explique qu'en théorie, il est possible d'améliorer les ventes du fait que l'économie circulaire encourage les entreprises à proposer des offres compétitives et innovantes. Il ajoute que l'économie permet de réduire les coûts de production en améliorant la productivité des ressources. Car, selon les estimations du Parlement européen, l'économie circulaire permettrait aux entreprises

⁸⁸ Réf. 26.

⁸⁹ « *Organisation structurée (d'un secteur d'activité par exemple) dans laquelle les différents acteurs (entreprises, fournisseurs, institutions, etc.) sont reliés par un maillage fort leur permettant d'interagir efficacement* ». Larousse, 2020.

⁹⁰ KALUNDBORG SYMBIOSIS, 2020. Explore the Kalundborg symbiosis.

⁹¹ Réf. 26.

⁹² Réf. 26.

d'économiser 600 milliards d'euros, ce qui correspond à 8% de leur chiffre d'affaire annuel⁹³.

Concernant les bénéfices sociaux, comme le relève l'auteur mentionné ci-dessus, l'économie circulaire est à la fois une créatrice d'emplois directs et une destructrice d'emplois indirects⁹⁴. Les emplois directs se créent dans des activités qui ont une forte intensité de main-d'œuvre tels que le recyclage, la réparation, le reconditionnement ou encore la remanufacturation. En conséquence, la production de matières premières recyclées augmente et donc, une partie des emplois nécessaires à l'extraction et la production de matières premières vierges (emplois indirects) sont supprimés. Bien qu'elle puisse détruire certains emplois, le Parlement européen estime que l'économie circulaire devrait finalement créer 580'000 emplois supplémentaires en Europe⁹⁵.

Enfin, d'un point de vue environnemental, l'économie circulaire permet de réduire la consommation de matières premières, la production de déchets, la consommation d'énergie ainsi que les émissions de gaz à effet de serre⁹⁶. Ainsi, selon les estimations de la Fondation Ellen MacArthur, l'économie circulaire devrait permettre de réduire de 48% les émissions de dioxyde de carbone d'ici 2030 et de 83% d'ici 2050 dans les secteurs de la mobilité, de l'alimentation et des bâtiments⁹⁷. La Fondation ajoute qu'elle estime qu'un tel système devrait permettre de réduire la consommation de ressources primaires de 32% d'ici 2030 et de 53% d'ici 2050 par rapport au niveau actuel.

⁹³ PARLEMENT EUROPEEN, 2015. Economie circulaire : définition, importance et bénéfices.

⁹⁴ Réf. 26.

⁹⁵ COMMISSION EUROPEENNE, 2019. Circular economy – Closing the loop – An ambitious EU circular economy package.

⁹⁶ Réf. 26.

⁹⁷ FONDATION ELLEN MACARTHUR, 2015. *L'économie circulaire, pour une Europe compétitive*.

3.3 L'économie circulaire dans le secteur de la construction

3.3.1 L'éco-conception

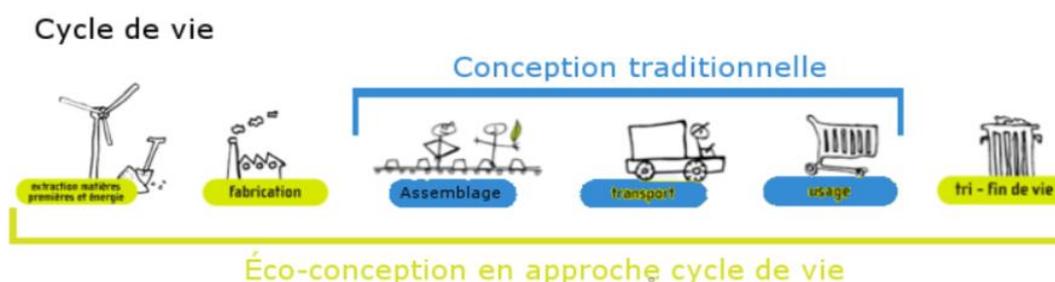
L'Organisation internationale de normalisation (ISO) définit l'éco-conception dans la norme ISO 14'006 « Systèmes de management environnemental – Lignes directrices pour intégrer l'éco-conception ». Pour cette organisation :

*« L'éco-conception est une approche méthodique, qui prend en considération les aspects environnementaux du processus de conception et développement dans le but de réduire les impacts environnementaux négatifs tout au long du cycle de vie d'un produit »⁹⁸.
(Norme ISO 14'006, 2020, p.6)*

Comme l'expliquent Vincent Aurez et Laurent Georgeault, l'éco-conception est une démarche normée qui permet de réduire la quantité de matière, d'allonger la durée de vie et de faciliter la réparation, le reconditionnement ainsi que le recyclage⁹⁹. Ces deux auteurs relèvent que l'éco-conception est un concept innovant qui renforce la compétitivité des entreprises, répond aux attentes du marché ou crée de nouveaux marchés. Ils soulignent aussi que grâce à une démarche d'éco-conception, il est possible d'économiser des ressources ou de minimiser les coûts liés à la gestion de fin de vie des produits¹⁰⁰.

D'après le Pôle de l'éco-conception et comme relevé dans la définition de la norme l'ISO 14'006, la notion de cycle de vie est indispensable à l'éco-conception¹⁰¹. En effet, cette association explique que le cycle de vie prend en considération l'ensemble de étapes de la fabrication d'un produit. Le cycle de vie intègre les étapes qui se situent en amont de la fabrication telles que la production de matières premières et la consommation d'énergie ainsi que les étapes qui se trouvent en aval telles que le transport, l'utilisation et la gestion du produit en fin de vie.

Figure 6 - Schéma de l'éco-conception selon l'ENEC



(Source : Rapport ENEC : Envisioning Ecodesign – Case Studies and Best Practices)

⁹⁸ ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, 2020. ISO 14006 :2020- Systèmes de management environnemental – Ligne directrices pour intégrer l'éco-conception.

⁹⁹ Réf. 29.

¹⁰⁰ Réf. 29.

¹⁰¹ POLE ECO-CONCEPTION, 2020. L'éco-conception, les concepts.

Jean-Luc Menet et Ion Cosmin Gruescu expliquent dans le rapport « L'éco-conception dans le bâtiment » que la durée de vie d'un bâtiment est d'environ un siècle et donc, qu'il est nécessaire de se concentrer sur ce secteur. Ainsi, comme avancé par ces auteurs, un mauvais choix environnemental dans le secteur de la construction est un choix pour au minimum cent ans¹⁰². De ce fait, ces deux auteurs relèvent qu'il convient d'appliquer l'éco-conception aux matériaux de constructions ou à l'ensemble d'un bâtiment.

En Suisse, le label Minergie, qui existe depuis 1998, s'intéresse à l'efficacité énergétique des bâtiments¹⁰³. Ce label s'adresse aux maîtres d'ouvrages qui cherchent à intégrer une démarche d'éco-conception lors de la planification de constructions ou de rénovations. Le label Minergie certifie les bâtiments qui répondent à des critères préétablis. Il propose trois certifications qui répondent à plusieurs standards de qualité pour la construction de bâtiments neufs : Minergie, Minergie-P et Minergie-A¹⁰⁴. Minergie a aussi développé en collaboration avec l'association Eco-Bau, le label Minergie-ECO. Celui-ci complète les trois autres labels Minergie en prenant en considération des aspects liés à la santé et à l'écologie dans la construction¹⁰⁵. Par exemple, le label Minergie-ECO exige que plus de la moitié des pièces en béton soient fabriquées à base de béton recyclé¹⁰⁶.

Le Réseau Construction Durable Suisse (NNBS) a développé, en se basant sur les concepts du label Minergie et de l'association Eco-Bau, le Standard Construction Durable Suisse (SNBS) en 2013¹⁰⁷. Contrairement au label Minergie qui se concentre principalement sur l'efficacité énergétique des bâtiments, le SNBS prend en considération l'ensemble des aspects sociaux, économiques et environnementaux des bâtiments. La version 2.0 du SNBS publiée en août 2016 permet de certifier la durabilité des bâtiments et divise les trois aspects mentionnés ci-dessus en quatre rubriques auxquelles sont rattachés quarante-cinq indicateurs¹⁰⁸.

3.3.2 Démolition vs déconstruction

Comme l'explique l'association asr Recyclage Matériaux Construction Suisse, les bâtiments arrivés en fin de vie sont de véritables stocks de matières brutes qui peuvent être recyclés¹⁰⁹. En effet, selon cette association, il est théoriquement possible de revaloriser jusqu'à 80% des composants d'un bâtiment grâce à la déconstruction. Cette association

¹⁰² MENET, Jean-Luc, GRUESCU, Ion Cosmin, 2014. *L'éco-conception dans le bâtiment*.

¹⁰³ MINERGIE, 2020. Accueil.

¹⁰⁴ MINERGIE, 2020. La certification Minergie.

¹⁰⁵ MINERGIE, 2020. Le complément ECO.

¹⁰⁶ MINERGIE, 2014. Justification concernant la disponibilité du béton recyclé.

¹⁰⁷ SNBS, 2020. Standards et labels de construction durable.

¹⁰⁸ SNBS, 2020. Standard construction durable suisse bâtiment.

¹⁰⁹ ASR RECYCLAGE MATERIAUX CONSTRUCTION SUISSE, 2020. Déconstruction.

explique que la déconstruction « *permet d'épargner les ressources précieuses en matières premières naturelles et d'économiser aussi les volumes de décharge* »¹¹⁰ (asr Recyclage Matériaux Construction Suisse, 2020). En Suisse, comme précédemment énoncé, l'OFEV a publié la « Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux » qui établit les exigences écologiques concernant la valorisation des déchets de chantier. Cette directive définit aussi la qualité que doivent avoir les matériaux minéraux de récupération ainsi que la manière dont ils doivent être utilisés pour obtenir une valorisation respectueuse de l'environnement¹¹¹. L'OFEV explique, dans cette directive, que l'objectif de la valorisation des déchets de chantier est de limiter leurs impacts sur l'air, l'eau et le sol¹¹².

Démolir un bâtiment n'a donc pas la même signification que déconstruire un bâtiment. Ces deux termes se différencient par le fait de valoriser ou non les déchets de chantier. Le dictionnaire Larousse illustre bien cette distinction en définissant la démolition comme étant « *l'action de démolir* »¹¹³ (Larousse, 2020), à savoir « *abattre une construction, la détruire* »¹¹⁴ (Larousse, 2020) et, en définissant la déconstruction comme étant un « *démontage sélectif d'installations techniques ou de certains éléments d'une construction, afin de valoriser les déchets et de réduire les mises à la décharge* »¹¹⁵ (Larousse, 2020). La déconstruction permet donc, contrairement à la démolition, de recycler une grande partie des matériaux afin de les réutiliser pour de nouvelles constructions.

Selon les explications de Laetitia Mongeard et Vincent Veschambre dans le rapport « *Eléments pour une histoire de la déconstruction : évolutions en matière de démolition de l'habitat social (agglomération lyonnaise : 1978-2013)* », la déconstruction se décline en trois étapes : la dépollution, le curage et l'abattage¹¹⁶. La dépollution correspond principalement au désamiantage et au déplombage¹¹⁷, le curage signifie un « *retrait des éléments pouvant être retirés afin d'être recyclés ou afin de ne pas nuire à la qualité des gravats d'après-démolition* »¹¹⁸ (Laetitia Mongeard, Vincent Veschambre, 2015, p.2) et enfin, l'abattage correspond à la démolition finale du bâtiment.

¹¹⁰ Réf. 109.

¹¹¹ Réf. 54.

¹¹² Réf. 54.

¹¹³ LAROUSSE, 2020. Démolition.

¹¹⁴ LAROUSSE, 2020. Démolir.

¹¹⁵ LAROUSSE, 2020. Déconstruction.

¹¹⁶ MONGEARD, Laetitia, VESCHAMBRE, Vincent, 2015. *Eléments pour une histoire de la déconstruction : évolutions en matière de démolition de l'habitat social (agglomération lyonnaise : 1978–2013)*

¹¹⁷ PREMY, 2020. Déconstruction.

¹¹⁸ Réf. 116.

3.3.3 Le recyclage de matériaux de construction

Rémy Le Moigne explique dans le livre « L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable » que « le secteur de la construction pourrait réduire sa consommation de ressources et sa production de déchets en recyclant mieux ses matériaux de construction »¹¹⁹ (Rémy Le Moigne, 2018, p.66). En effet, d'après cet auteur, de nombreux matériaux tels que le fer, le cuivre, le plâtre ou le béton peuvent être recyclés. Par exemple, le béton peut être concassé en granulats afin que ceux-ci soient réutilisés dans la fabrication de nouveau béton. Le plâtre, quant à lui, peut être collecté, trié puis transformé en poudre de gypse. Cette poudre est ensuite utilisée dans la fabrication de nouvelles plaques de plâtre. En revanche, comme l'explique Rémy Le Moigne, certains matériaux de construction ne peuvent pas être recyclés aussi facilement car ils contiennent des substances toxiques.

D'après le rapport « Eléments pour une histoire de la déconstruction : évolutions en matière de démolition de l'habitat social (agglomération lyonnaise : 1978-2013) » de Laetitia Mongeard et Vincent Veschambre, « la prise en considération de matériaux dangereux a mis l'accent sur l'étape préalable à la démolition »¹²⁰ (Laetitia Mongeard, Vincent Veschambre, 2015, p.2). En effet, d'après ces auteurs, il est impératif de réaliser une dépollution du bâtiment avant de le démolir.

En Suisse, le Conseil fédéral a établi « l'Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) » qui vise « à limiter préventivement la pollution de l'environnement par les déchets » ainsi qu' « à promouvoir une exploitation durable des matières premières naturelles par une valorisation des déchets respectueuse de l'environnement »¹²¹ (OLED, 2015). Cette dernière précise quels sont les matériaux qui peuvent être recyclés. Par exemple, concernant le recyclage du béton, l'ordonnance explique dans son article 20 « Déchets minéraux provenant de la démolition d'ouvrages construits » qu' « il est interdit de valoriser les matériaux bitumineux de démolition dont la teneur en HAP¹²² dépasse 250 mg par kg »¹²³ (OLED, 2015, art. 20 al. 2).

¹¹⁹ Réf. 26.

¹²⁰ Réf. 116.

¹²¹ ORDONNANCE SUR LA LIMITATION ET L'ELIMINATION DES DECHETS DU 4 DECEMBRE 2015 (Ordonnance sur les déchets, OLED).

¹²² « Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ». OFSP, 2018.

¹²³ Réf. 121.

Il existe aussi des directives cantonales, comme par exemple, la directive du canton de Zurich de 2017 pour le traitement des déchets de construction contaminés et des matériaux excavés. Le canton de Zurich fait office de pionnier dans le domaine car cette directive va plus loin que les autres directives suisses. En effet, cette dernière impose le traitement en vue d'une valorisation de :

- 100% des matériaux d'excavation et de percement pollués
- 50 % des matériaux d'excavation et de percement faiblement ou peu pollués non graveleux
- 100% des matériaux d'excavation et de percement faiblement ou peu pollués graveleux
- 100% des bétons de démolition et des matériaux de démolition non triés

3.3.3.1 Le béton recyclé

Jean-Luc Zanella a expliqué lors de son séminaire de novembre 2016 « Le béton recyclé du point de vue de l'ingénieur civil » pour l'association Eco-Bau, que « *la réalisation de béton recyclé consiste à remplacer une partie des granulats naturels par des éléments provenant du recyclage* »¹²⁴ (Jean-Luc Zanella, 2016, p.3). Cependant, Jean-Luc Zanella ajoute que le % de granulats provenant de recyclage (au minimum 25%) se détermine en fonction de l'utilisation ainsi que des propriétés mécaniques désirées du béton. L'ingénieur insiste sur ce dernier point en expliquant que « *plus le % de granulats recyclés ou non triés est élevé, moins bonnes seront les propriétés mécaniques du béton* »¹²⁵ (Jean-Luc Zanella, 2016, p.4).

D'après les informations recueillies auprès de Frédéric Flück (ingénieur civil pour FLK Ingénieurs Civils), il est possible de remplacer l'entier du béton par du béton recyclé dans la construction d'un bâtiment. En revanche, certaines parties d'un bâtiment telles que la dalle ou les piliers exigent d'avoir une plus grande résistance que celle proposée par le béton recyclé¹²⁶. Ainsi, un bâtiment ne pourra pas être construit intégralement en béton recyclé mais, en fonction de la structure d'un bâtiment, il est possible d'atteindre des pourcentages très élevés.

¹²⁴ ZANELLA, Jean-Luc, 2016. Séminaire eco-bau, construction durable. *Le béton recyclé du point de vue de l'ingénieur civil*, Vevey, 13 octobre 2016.

¹²⁵ Réf. 124.

¹²⁶ Voir synthèse des entretiens de Rodrigo Fernandez et synthèse de l'entretien de Frédéric Flück en annexe

3.3.4 L'utilisation de matériaux d'excavation

Dans le rapport « Valorisation et élimination des matériaux d'excavation et des matériaux terreux », le « Groupe de coordination pour la protection des sols de Fribourg » définit les matériaux d'excavation non pollués comme étant :

« Des matériaux propres excavés lors de travaux de génie civil ou de constructions tels que fouilles, tunnels, cavernes et galeries. Il s'agit par exemple de roches meubles telles que graviers, sables, limons, argiles et leurs mélanges ou de rochers concassés »¹²⁷. (Etat de Fribourg, 2010, p.1)

Ces matériaux sont généralement déplacés mais comme expliqué par le groupe mentionné ci-dessus, « les matériaux d'excavation et les matériaux terreux non pollués provenant de la réalisation d'une construction doivent en priorité être valorisés et réutilisés sur place »¹²⁸ (Etat de Fribourg, 2010, p.1). En effet, ce groupe d'experts explique que « les matériaux d'excavation et déblais non pollués (et pas mélangés à des déchets de chantier) peuvent être utilisés pour des aménagements extérieurs, buttes antibruit » (Etat de Fribourg, 2010, p.1).

En Suisse, il existe des sociétés telles que Terrabloc qui utilisent la terre excavée pour fabriquer des briques en terre crue. Cette entreprise fabrique ses produits en compactant la terre grâce à une presse hydraulique¹²⁹. Dans un article de la « Fédération des Entreprises Romande Genève », Rodrigo Fernandez, ingénieur et cofondateur de Terrabloc explique que

« La consistance ressemble à celle d'une farine qui est associée à de la chaux ou à du ciment – entre 3% et 5%, contre 15% de ciment dans le béton traditionnel – et de l'eau. Le mélange est ensuite pressé dans un moule, puis une trentaine de jours de séchage sont nécessaires pour sa maturation »¹³⁰. (Laurent Hostettler, 2020)

De plus, Laurent de Wurstemberger, architecte et cofondateur de l'entreprise, explique dans ce même article que ces briques utilisent peu d'énergie lors de leur fabrication :

« En termes d'énergie, l'avantage est que les briques agglomérées par compression ne sont pas cuites, ce qui réduit la consommation d'énergie pour chauffer les fours et diminue cette énergie grise »¹³¹. (Laurent Hostettler, 2020)

¹²⁷ ETAT DE FRIBOURG, 2010. Valorisation et élimination des matériaux d'excavation et des matériaux terreux.

¹²⁸Réf. 127.

¹²⁹ TERRABLOC, 2020. Histoire.

¹³⁰ HOSTETTLER, Laurent, 2020. Des briques qui revalorisent les déchets de chantier. *Fédération des entreprises romandes Genève*

¹³¹ Réf. 130.

3.4 Conditions cadres de l'économie circulaire dans le domaine de la construction

3.4.1 Améliorer l'attrait financier

David Hiltbrunner, membre de la division « Déchets et matières premières » à l'OFEV, explique dans l'article « Le béton ne meurt jamais », que :

« Comme les coûts de mise en décharge des déchets sont bas et que les matériaux recyclés coûtent aussi cher que les matériaux neufs, la valorisation n'offre aucun attrait du point de vue économique »¹³². (OFEV, 2019, p.34)

En effet, en Suisse, chez l'entreprise Ronchi SA à Eysins¹³³, les coûts de la mise en décharge d'une tonne et demie de déchets bitumineux contenant moins de 250 mg/kg de HAP ne sont que de CHF 38.50¹³⁴. De plus, la comparaison des prix du béton neuf avec ceux du béton recyclé chez l'entreprise PQR Béton confirme les propos avancés par David Hiltbrunner. Que ce soit pour le béton de sorte A ou pour le béton de sorte C, le prix est pratiquement identique :

Tableau 2 - Liste des prix du béton neuf de PQR Béton

Sorte	N° de recette	Résistance	Utilisation conseillée	Prix hors taxe CHF/m3
A - Pompable	P501	C25/30	Dalles	213.-
A - Pompable	P511	C25/30	Murs	216.-
C - Pompable	P601	C30/37	Dalles	229.-
C - Pompable	P552	C30/37	Murs	232.-

(Source : Catalogue des prix 2020 de PQR Béton)

Tableau 3 - Liste des prix du béton recyclé de PQR Béton

Sorte	N° de recette	Résistance	Utilisation conseillée	Prix hors taxe CHF/m3
A - Pompable	R141	C25/30	Dalles	213.-
A - Pompable	R144	C25/30	Murs	216.-
C - Pompable	R351	C30/37	Dalles	230.-
C - Pompable	R354	C30/37	Murs	233.-

(Source : Catalogue des prix 2020 de PQR Béton)

¹³² Réf. 53.

¹³³ ETAT DE VAUD, 2020. Décharges contrôlées.

¹³⁴ RONCHI, 2020. Liste de prix 2020.

Enfin, concernant les matériaux recyclés qui ont une faible empreinte écologique tels que les briques en terre crue de chez Terrabloc, leur prix est effectivement plus élevé que les matériaux standards. D'après les informations recueillies auprès de Rodrigo Fernandez¹³⁵, un mètre carré (m2) de brique Terrabloc de 14cm vaut CHF 100.-. Ainsi, un mètre cube (m3) de ces briques vaut environ CHF 1'100.- ce qui est environ cinq fois plus élevé que du béton neuf ou recyclé.

Toutes ces données confirment bien les propos précédemment mentionnés de David Hiltbrunner. Les matériaux recyclés ne bénéficient pas de meilleures conditions sur le plan financier et donc, il est nécessaire que des réglementations soient mises en place comme par exemple, une taxe sur les matériaux de construction neufs ou une subvention sur les matériaux de construction recyclés.

3.4.2 Des changements de politiques publiques

« Jusqu'à aujourd'hui, tous les pouvoirs politiques continuent à appeler la croissance, y compris la croissance matérielle, condition considérée comme indispensable pour améliorer la situation de l'emploi »¹³⁶. (Vincent Aurez, Laurent Geogault, 2016, p.306)

Selon les deux auteurs mentionnés ci-dessus, la loi devrait obliger à ce que les commandes publiques telles que les appels d'offres des travaux de construction prennent en considération les principes et objectifs de l'économie circulaire. Vincent Aurez et Laurent Geogault explique dans leur livre « Economie circulaire – Système économique et finitude des ressources » que la commande publique peut avoir des objectifs écologiques lorsque ceux-ci sont définis au préalable et inscrits dans la loi¹³⁷. Les auteurs Anders Wijkman et Kristian Skänberg vont dans le même sens en expliquant, dans leur rapport « L'économie circulaire et ses bénéfices sociaux », que des mesures politiques ainsi que des investissements ciblés sont nécessaires pour pouvoir réorienter l'économie actuelle vers une économie circulaire¹³⁸. Il existe un certain nombre de mesures politiques que ces deux auteurs recommandent telles que « *l'utilisation proactive de la commande publique* »¹³⁹ (Anders Wijkman, Kristian Skänberg, 2015, p.8), « *l'affectation des investissements en faveur de l'efficacité des ressources* »¹⁴⁰ (Anders Wijkman, Kristian Skänberg, 2015, p.8) ou encore « *l'adoption d'objectifs d'efficacité des ressources pour les matières dont la pénurie est imminente* » (Anders Wijkman, Kristian Skänberg, 2015, p.8).

¹³⁵ Voir synthèse des entretiens de Rodrigo Fernandez en annexe

¹³⁶ Réf. 29.

¹³⁷ Réf. 29.

¹³⁸ Réf. 64.

¹³⁹ Réf. 64.

¹⁴⁰ Réf. 64.

Ainsi, tant Anders Wiskman et Kristian Skänberg que Vincent Aurez et Laurent Geogault insistent sur la nécessité qu'ont les Etats de montrer l'exemple grâce à l'utilisation de la commande publique. Inscrire des objectifs de durabilité pour les commandes publiques dans le secteur de la construction pourrait influencer l'offre dans ce domaine. Vincent Aurez et Laurent Geogault détaillent les avantages de la commande publique dans le livre mentionné précédemment en expliquant que :

« La commande publique peut influencer l'offre des acteurs économiques, en incitant à valoriser les filières et les produits qui s'inscrivent dans les dynamiques de l'économie circulaire. La commande publique peut, par exemple, tenir compte de la performance environnementale des produits, et en particulier de leur caractère biosourcé, recyclé, recyclable ou renouvelable »¹⁴¹ (Vincent Aurez, Laurent Geogault, 2016, p.309)

3.4.3 La taxe carbone et la prime par tonne de CO2 évitée

« La modification des incitations par les prix permet de s'adapter aux situations économiques particulières, et parfois territorialisées. La réallocation des taxes de travail vers les ressources permettrait d'inciter fortement au changement des comportements, sans alourdissement fiscal »¹⁴². (Vincent Aurez, Laurent Geogault, 2016, p.318)

Pour ces deux auteurs, il faut taxer les ressources non-renouvelables et ne pas imposer les ressources renouvelables. Dans leur ouvrage « Economie circulaire – Système économique et finitude des ressources », ils proposent plusieurs pistes d'action dont les deux suivantes :

- Appliquer une taxe carbone sur les matériaux issus de ressources non-renouvelables.
- Créer une prime à la tonne de CO2 évitée sur les matériaux issus de ressources renouvelables (matières premières recyclées).

En Suisse, depuis le 1^{er} janvier 2008, une taxe est prélevée sur les combustibles fossiles tels que l'essence¹⁴³. L'application d'une telle taxe aux matériaux de construction issus de matières premières non-renouvelables aurait pour effet de renchérir le prix de ces matériaux. Cette taxe devrait avoir un effet dissuasif et cela permettrait de favoriser l'utilisation de matériaux de construction issus de matières premières recyclées. En effet, comme expliqué au sous-chapitre 3.4.1, le prix des matériaux de construction issus de matières premières recyclées est plus élevé.

¹⁴¹ Réf. 29.

¹⁴² Réf. 29.

¹⁴³ OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Taxe sur le CO2.

Enfin, la mise en place d'une prime ou subvention à la tonne de CO2 évitée sur les matériaux issus de matières premières recyclées aurait pour effet de favoriser l'utilisation de ces matériaux, puisque leur prix est plus élevé que celui des matériaux de construction issus de matières premières non-renouvelables. La mise en place d'une telle prime permettrait d'abaisser leur prix et donc, de rendre ces matériaux plus compétitifs sur le plan financier.

4. Question de recherche

Comment réduire l'impact environnemental du secteur de la construction grâce aux outils de l'économie circulaire ? Exemple avec l'entreprise Balmelli SA et la construction de deux petits immeubles à Borex.

4.1 Méthodologie du travail de recherche

Afin de pouvoir répondre à cette question, plusieurs étapes ont été réalisées. Premièrement, j'ai commencé par m'informer en effectuant des recherches de documents afin de comprendre pleinement ce qu'est l'économie circulaire. Je me suis alors concentré sur des ouvrages de référence dans ce domaine ainsi que sur des documents et autres rapports d'ONG. Par la suite, j'ai concentré mes recherches sur l'application de l'économie circulaire dans le domaine de la construction. Durant cette phase de recherche, j'ai cherché à identifier les diverses directives et normes nationales relatives à ce sujet afin d'en apprendre plus sur l'état actuel des choses en Suisse.

Deuxièmement, dans le but récolter des données afin d'analyser un chantier et de déterminer quels sont les matériaux qui peuvent être remplacés par des matériaux fabriqués selon les principes de l'économie circulaire, j'ai contacté des entreprises du domaine de la construction dans la région de La Côte. J'ai, tout d'abord, reçu un refus de la part de l'entreprise Perrin Frères SA et je me suis alors tourné vers l'entreprise Balmelli SA. Cette entreprise, qui est située à Bremblens, a accepté de me donner toutes les factures ainsi que les plans d'un chantier qu'ils ont déjà réalisé et deux des directeurs m'ont accordé plusieurs entretiens (voir la synthèse des entretiens de Philippe Hug en annexe).

Troisièmement, afin de pouvoir analyser ce chantier, j'ai contacté plusieurs spécialistes du secteur de la construction tels qu'un dessinateur en bâtiment, des architectes et des ingénieurs civils. En effet, n'étant absolument pas familiarisé avec les standards du métier, j'ai cherché à connaître l'avis d'experts au sujet de mon projet. Ces personnes m'ont ainsi accordé plusieurs entretiens et m'ont conseillé de me concentrer uniquement sur la partie des gros œuvres, à savoir sur la structure en béton. Ces personnes m'ont aussi expliqué comment lire les plans des bâtiments, comment calculer les volumes à partir de ces plans et, ce qui était réalisable en fonction des données récoltées.

Concernant l'analyse des données, j'ai commencé par trier toutes les factures de l'entreprise Balmelli SA du chantier « Chantemerle » en réalisant un inventaire des matériaux utilisés. J'ai ainsi pu quantifier toutes les entrées en identifiant l'ensemble des matériaux utilisés lors de la construction. Grâce à cela, j'ai identifié les fournisseurs, estimé les volumes de matériaux utilisés, le nombre de trajets effectués ainsi que le prix de l'ensemble ces matériaux. Par la suite, je me suis uniquement concentré sur les matériaux qui concernent le béton comme les gravillons, le ciment ou encore l'acier. En utilisant à la fois les plans de construction et les factures liées au béton, j'ai réalisé une estimation des volumes de mètre cube (m³) de béton utilisés pour la construction de ces deux immeubles.

En collaborant avec l'entreprise Terrabloc (voir résumé de l'entretien de Rodrigo Fernandez et le courriel de Rodrigo Fernandez en annexe), j'ai pu estimer quelle quantité de béton pourrait être remplacée par des matériaux plus écologiques. Dans le but de réaliser une analyse environnementale des matériaux utilisés pour le gros œuvre, j'ai suivi les conseils de spécialistes en utilisant les « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 » de la KBOB. Grâce à ces données, j'ai pu réaliser une analyse qualitative des matériaux liés au béton et des matériaux de l'entreprise Terrabloc. Certaines données n'ont malheureusement pas pu être analysées complètement à cause de leur complexité. Par exemple, certaines données se sont avérées impossibles à convertir ou impossibles à identifier. Cela concerne, notamment, les briques en terre cuite ainsi que le transport de matériaux. Etant dans une Haute école de gestion et en option « management durable », j'ai terminé par réaliser une analyse financière des matériaux liés au gros œuvre ainsi que déterminé les différents freins à la mise en place des alternatives proposées.

4.2 Introduction au cas pratique : Construction de deux immeubles comprenant dix logements

4.2.1 Balmelli SA

Balmelli SA est une entreprise de construction créée en 1982 basée à Bremblens. Depuis 2002, la société est dirigée par Eric Risse, maître maçon, ainsi que par Philippe Hug, entrepreneur. Cette société qui est composée d'une cinquantaine de personnes effectue principalement des ouvrages liés aux travaux de maçonnerie et de béton armé. Environ 70% de ses activités se font dans le bâtiment mais l'entreprise est aussi active dans les travaux de génie civil¹⁴⁴.

4.2.2 Le chantier « Chantemerle »

Le chantier de Chantemerle (voir plans des bâtiments en annexe) a été réalisé entre 2018 et 2020 à Borex dans le canton de Vaud et a eu pour but de construire deux petits immeubles d'habitation.

Ce chantier comprend la construction de deux immeubles de deux étages comprenant dix logements ainsi que la construction d'un garage sous-terrain et de deux sous-sols. Ces deux immeubles sont principalement composés de béton et c'est la raison pour laquelle l'analyse qui suit se concentre principalement sur ce matériau.

Figure 7 - Localisation du chantier Chantemerle



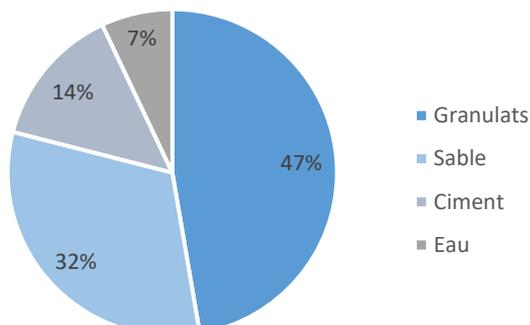
(Source : Google Map, 2020)

¹⁴⁴ BALMELLI SA, 2020. Historique de l'entreprise.

4.2.3 La composition du béton

Selon les informations disponibles sur la présentation de novembre 2016 de Jean-Luc Zanella lors du séminaire « Le béton recyclé du point de vue de l'ingénieur civil » pour l'association Eco-Bau, un mètre cube (m3) de béton traditionnel (équivalent de 2.4 tonnes de béton d'après Philippe Hug¹⁴⁵) est composé de la manière suivante¹⁴⁶ :

Figure 8 - Composition de 1 m3 de béton traditionnel



(Source : Jean-Luc Zanella – Le béton recyclé du point de l'ingénieur civil)

Concernant le chantier « Chantemerle », il faut préciser que c'est principalement de la grave qui a été utilisée et non du sable et des granulats. La grave est un matériau composé de gravillon (granulats) et de sable. Ceci explique pourquoi aucune information n'est répertoriée concernant le sable.

4.3 Analyse du cas pratique : Construction de deux immeubles comprenant dix logements

4.3.1 Inventaires des matériaux liés au béton

Les données présentées ci-dessous correspondent aux matériaux et aux volumes utilisés pour la fabrication de la structure en béton des deux bâtiments. Les structures de béton armé sont composées de béton et d'acier d'armature. Ainsi, les matériaux présentés ci-dessous sont : la grave et les gravillons, le ciment, le béton et l'acier.

Il faut tout de même préciser que les structures extérieures construites en béton telles que les murs extérieurs n'ont pas été pris en compte lors des estimations des volumes de béton faites à partir des plans. De plus, en se basant sur les factures, les fournitures en béton préconstruit se sont avérées être impossibles à quantifier par manque d'information. Ces deux biais expliquent la différence de volume de béton entre les estimations faites à partir des plans et les estimations réalisées à partir des factures. Enfin, toutes les quantités ont été arrondies à la tonne car il s'agit d'estimations et non d'informations précises.

¹⁴⁵ Voir synthèse des entretiens de Philippe Hug en annexe.

¹⁴⁶ Réf. 124.

Tableau 4 - Inventaire de la grave et des gravillons du chantier "Chantemerle" basé sur les factures

Grave et gravillons			
Libellé	Entreprise	Quantité (t)	Camions
Fourniture gravier 16/32 Rond	Sesini SA	6	2
Grave non traitée GNT 0/45 (résistance au gel)	Ronchi	17	1
Grave pour béton 0/32	Ronchi	1637	92
Gravillon 16/32 semi-roulé lavé	Ronchi	18	4
		1679	99

Tableau 5 - Inventaire du ciment du chantier "Chantemerle" basé sur les factures

Ciment			
Libellé	Entreprise	Quantité (t)	Camions
Ciment CEM II B-LL32.5 R en vrac par camion silo	Challande	263	10
Fixit 920 mortier à maçonner au ciment en vrac	Challande	10	2
		272	12

Tableau 6 - Inventaire du béton du chantier "Chantemerle" basé sur les factures

Béton			
Libellé	Entreprise	Quantité (t)	Camions
Sorte A - Pompable - C25/30 XC2(CH) Dmax32 CI0.10 F3	PQR BETON	67	6
Sorte C - Pompable - C30/37 XC4-XF1(CH) Dmax32 CI0.10 F4	PQR BETON	480	32
Béton non classé CEM 150kg/m3 - 0/16	PQR BETON	36	10
Autocompactant (SCC) C30/37 XC4-XF1(CH) Dmax16 CI0.10 SF1	PQR BETON	4	1
		587	49

Tableau 7 - Inventaire de l'acier lié au béton du chantier "Chantemerle" basé sur les factures

Acier			
Libellé	Entreprise	Quantité (t)	Camions
ancoPLUS arm. De poinçonnement B500B	Ancotech	0 ¹⁴⁷	5
Paniers de supports sans pieds	Veuthey	3	5
Paniers de supports avec pieds	Veuthey	3	1
Acier armature B500B	Veuthey	91	34
		97	45

¹⁴⁷ Résultat arrondi à la tonne (0.0196 tonnes).

En se basant sur les volumes de béton exposés ci-dessus, il apparaît que 2'635 tonnes de béton ont été utilisées pour la construction de deux petits immeubles. La majorité du béton a été fabriqué sur place et cela est visible du fait que 1'679 tonnes de graves et de gravillons ainsi que 272 tonnes de ciment ont été amenées sur le chantier. On peut voir que les proportions exposées précédemment sont respectées puisque la grave représente environ 86% des 1'951 tonnes de béton fabriqué sur place et le ciment environ 14%. À cela, il faut encore ajouter 97 tonnes d'acier d'armatures ainsi qu'une quantité non-identifiable d'eau. En effet, comme expliqué par Philippe Hug (voir la synthèse des entretiens de Philippe Hug en annexe), la commune de Borex a offert l'eau nécessaire à la construction de ces deux bâtiments et donc, aucune facture n'a pu être analysée.

Tableau 8 - Estimation des volumes de béton du chantier "Chantemerle" basée sur les plans de construction

Bâtiment A et B	Cm3	M3	Tonne
Sous-sol	508 318 380	508	1 271
Rez ¹⁴⁸	62 114 790	62	155
1er	128 813 138	129	322
2ème	132 210 894	132	331
Total	831 457 202	831	2079

En se basant cette fois-ci sur les plans de construction et en ne prenant en compte que la structure des deux bâtiments, il apparaît que 2'079 tonnes de béton ont été utilisées pour la construction de ces deux bâtiments. Comme expliqué précédemment, cette différence vient du fait que cette estimation a été faite sans prendre en compte les murs extérieurs et autres structures en béton situées à l'extérieures. Ainsi, c'est cette donnée qui a été utilisée comme base de calcul pour déterminer le volume de béton remplaçable.

Enfin, une partie du gros œuvre a été réalisé non pas en béton mais en brique en terre cuite (voir plans des deux premiers étages en annexe). Selon les informations recueillies en se basant sur les factures, 228 mètres carrés (m2) de brique ont été acheminés sur le chantier par camion depuis Nyon.

Tableau 9 - Inventaire des briques en terre cuite du chantier "Chantemerle"

Libellé	Entreprise	Quantité (M2)	Camions
Brique TC Bricarec MXE 10x40x24.9 cm MOR	Challande	4	1
Brique TC Bricarec MXE 17.5x40x24.9 cm MOR	Challande	50	0
Brique TC emboît. MXE 40/24/10 cm	Challande	32	1
Brique TC emboît. MXE 40/24/17.5 cm	Challande	98	0
Plot plein FR 50/20/10 cm	Challande	44	2
		228	4

¹⁴⁸ La dalle du rez-de-chaussée a été pris en compte dans le calcul du sous-sol.

4.3.2 Inventaires des déchets liés au béton

Tableau 10 - Registre des déchets liés au béton du chantier "Chantemerle"

Déchets				
Trajet	Trajets	Km	Matériaux	Quantité (t)
Borex à Aclens	1	37.4	Béton trié	9.6
Borex à Aclens	1	37.4	Béton trié	9.6
Borex à Crissier	1	38.8	Inerte	9.6
Borex à Gland	1	10.9	Béton trié	24
Borex à Gland	1	10.9	Béton trié	9.6
Borex à Gland	1	10.9	Béton trié	9.6
Borex à Bussigny-près-Lausanne	1	39.1	Béton trié trié	9.6
	7	185.4		81.6

Sur la base de ces informations, il apparaît que peu de déchets sont liés au béton puisque seules 81.6 tonnes de déchets de béton ont été évacués du chantier. Ces déchets sont des déchets triés ou inertes et ont nécessité l'utilisation de sept camions pour un transport total de 185.4 kilomètres (km) afin de les mettre en décharge. Malheureusement, aucune information n'est disponible concernant la potentielle revalorisation de ces déchets.

4.3.3 Transports des matériaux liés au béton

Sur la base des données exposées aux deux sous-chapitre précédents (4.3.1 Inventaires des matériaux liés au béton et 4.3.2 Inventaires des déchets liés au béton) et se basant sur la distance séparant les entreprises fournisseuses et le chantier, il a été estimé que le béton a nécessité 212 trajets de camion pour un total d'environ 2'470 kilomètres parcourus¹⁴⁹. De plus, l'utilisation d'une grue a nécessité environ quatorze trajets supplémentaires pour un total d'environ 262 kilomètres (sept trajets pour l'acheminer et la monter ainsi que sept trajets pour la démonter et la ramener). Ainsi, selon ces estimations et en ajoutant les trajets des déchets liés au béton, le béton aura nécessité l'utilisation d'au moins 226 camions pour un total d'environ 2'915 kilomètres. En ajoutant les trajets des briques en terre cuite afin de prendre en compte l'ensemble des trajets liés aux travaux de gros œuvres, il apparaît que 230 camions ont été utilisés pour un total de 2'935 kilomètres parcourus.

Concernant le matériel de coffrage ainsi que du silo à béton, l'acheminement de ces derniers n'a pas pu être quantifier car trop peu d'informations étaient disponibles. En effet, certains matériaux ont été loués alors que d'autres ont simplement été acheminés depuis le dépôt de Balmelli SA. De plus, il est impossible de quantifier le nombre de trajets effectués par les collaborateurs de Balmelli SA qui ont construit ces deux bâtiments car à

¹⁴⁹ GOOGLE MAP, 2020. *Google.ch*

nouveau, aucune information n'est disponible à ce sujet. Enfin, les trajets quantifiés sont principalement de trajets simples et non des trajets aller-retours et c'est pourquoi, le total de 2'935 kilomètres est un minimum et reste une approximation.

4.3.4 Indicateurs des résultats actuels

4.3.4.1 Méthode d'analyse environnementale

La méthode d'évaluation présentée ci-dessous est basée sur les « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 » de la KBOB (voir annexe 8). Ce fichier de données contient les données suivantes des matériaux de construction en Suisse :

- La consommation d'énergie renouvelable
- La consommation d'énergie non renouvelable
- Les émissions de gaz à effet de serre¹⁵⁰

Une grande partie du cycle de vie des matériaux est quantifiée car les données englobent la fabrication et l'élimination. Sur la base de ces informations, des Ecopoints (UBP) ont été calculés. Comme expliqué par la KBOB dans le fichier mentionné ci-dessus :

« Les Ecopoints (UBP) 2013 quantifient les charges environnementales résultant de l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques, de la terre et de l'eau douce, des émissions dans l'air, l'eau et le sol, du dépôt de résidus découlant du traitement des déchets ainsi que du bruit de la circulation »¹⁵¹. (KBOB, 2016, Explication)

4.3.4.2 Méthode d'analyse financière

L'analyse financière des matériaux de construction du chantier « Chantemerle » se base sur les factures de Balmelli SA. Les résultats ont été calculés en comptabilisant toutes les factures et en additionnant les prix totaux hors TVA, les coûts de transport, les rabais et finalement, en ajoutant la TVA.

4.3.4.3 La grave

Comme expliqué précédemment, la grave est composée de gravillons et de sable. Les données présentées ci-dessous correspondent 1'679 tonnes de grave :

Tableau 11 - Données environnementales de la grave

	Quantité (t)	UBP	Energie totale kWh oil-eq	Emission de GES Kg CO2-eq
Gravier concassé	1007	7451.80	24.17	3.02
Sable	672	3662.40	8.74	1.34

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

¹⁵⁰ « Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont quantifiées en se basant sur le potentiel réchauffement évoqué dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC de 2013 ». KBOB, 2016. Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016.

¹⁵¹ KBOB, 2016. Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016.

En se basant sur les « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 » de la KBOB (voir annexe 8), il apparaît que l'énergie totale utilisée pour ces matériaux est principalement de l'énergie non renouvelable et se situe durant la phase de fabrication. En comparaison des autres matériaux utilisés sur le chantier (voir annexe 4), ces deux matériaux semblent avoir une plus faible charge environnementale. Ce résultat est logique car ces matériaux sont des ressources naturelles brutes.

D'un point de vue financier, la grave a eu un coût total d'environ CHF 50'000.-. Bien que 99 camions aient été mobilisés pour transporter environ 1'679 tonnes de grave sur une distance totale d'environ 1140 kilomètres, le coût du transport ne s'est monté qu'à CHF 3'800.- (hors TVA).

4.3.4.4 Le ciment

Contrairement aux autres matériaux, le ciment utilisé dans la fabrication du béton n'a pas été référencé dans les « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 » de la KBOB. Cela s'explique par le fait qu'il est considéré comme étant une ressource primaire du béton. Ainsi le ciment est évalué directement dans les calculs de charge environnementale du béton. D'un point de vue financier, les 272 tonnes de ciment ont eu un coût total d'environ CHF 41'500.-.

4.3.4.5 L'acier d'armature

Tableau 12 - Données environnementales de l'acier d'armature

Quantité (t)	UBP	Energie totale kWh oil-eq	Emission de GES Kg CO2-eq
97	35340.13	46.46	8.43

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

D'après les données des écobilans de la KBOB (voir annexe 8), l'acier d'armature est le matériau qui a la plus grande charge environnementale. En effet, son total d'Ecopoints (UBP), sa consommation d'énergie totale ainsi que ses émissions de CO2 sont largement supérieures à ceux des autres matériaux alors que sa quantité est moindre. Il faut tout de même noter que l'acier d'armature obtient un score nul pour son élimination. D'après ces informations, cela signifie que la charge environnementale de l'acier d'armature est uniquement causée par sa fabrication.

D'un point de vue financier, l'acier d'armature a eu un coût d'environ CHF 83'100.-. En se basant sur les factures, 45 camions ont été mobilisés pour acheminer environ 97 tonnes d'acier d'armature sur une distance totale d'environ 730 kilomètres pour un coût estimé à

environ CHF 3'185.- (hors TVA). Cette distance totale s'explique du fait que l'entreprise Ancotech est située à Rossens dans le canton de Fribourg.

4.3.4.6 Le béton

Tableau 13 - Données environnementales du béton de construction (sans armature)

Quantité (t)	UBP	Energie totale kWh oil-eq	Emission de GES Kg CO2-eq
587	24067.00	54.87	252.67

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

D'après les données des écobilans de la KBOB (voir annexe 8), il apparaît que le béton de construction a une forte charge environnementale bien qu'inférieure à celle de l'acier. La phase de fabrication est la plus énergivore et l'énergie utilisée pour la fabrication est principalement composée d'énergie non renouvelable. Concernant la phase d'élimination du béton de construction, il apparaît que le béton est plus énergivore que les matériaux mentionnés précédemment (voir annexe 8).

D'un point de vue financier, l'acheminement de béton par camion silo de Gland à Borex a eu un coût de d'environ CHF 5'900.- (hors TVA). Le coût total du béton acheminé est estimé à environ CHF 52'000.-. Il faut aussi souligner que l'élimination du béton trié a eu un coût total d'environ CHF 2'650.- (comprenant les coûts de transports et les taxes de mise en décharge)

Enfin, il est important de rappeler que les pièces en béton préfabriquées n'ont pas été prises en considération dans cette analyse car elles n'étaient pas quantifiables. En revanche, selon le fichier mentionné ci-dessus (voir annexe 8), le béton préfabriqué a une consommation d'énergie ainsi que des émissions CO2 deux fois supérieures à celles du béton de construction sans armature, ce qui explique la différence d'Ecopoints (UBP) entre ces deux matériaux.

4.3.4.7 Les briques en terre cuite

Les données correspondant aux briques en terre cuite des « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 » ne permettent pas de tirer de résultats pour le chantier « Chantemerle ». En effet, dans ce fichier, l'unité de référence des briques en terre cuite est le kilogramme alors que les données recueillies auprès de Balmelli SA sont en mètre carré (m²). Le problème principal est que toutes les briques n'ont pas les mêmes caractéristiques du fait que certaines d'entre-elles sont creuses et d'autres pleines et c'est la raison pour laquelle il n'a pas été possible de convertir les mètres carrés en kilogrammes. À mentionner aussi que la consommation d'énergie ainsi que les émissions

de gaz à effet de serre sont largement supérieures à celles du béton bien que leurs masses volumiques de référence soient différentes. On peut donc affirmer que les briques en terre cuite sont des matériaux à très forte charge environnementale. Enfin, la charge financière des briques sur le chantier étudié a été d'environ CHF 5'380.-.

4.4 Les briques Terrabloc comme alternative au béton

Grâce à la collaboration de Rodrigo Fernandez de chez Terrabloc, il a été possible d'estimer, pour le chantier « Chantemerle », la part de béton qui est potentiellement remplaçable par des briques en terre crue de chez Terrabloc (voir annexes 6 et 7). Ainsi, en se basant sur les tracés réalisés par Rodrigo Fernandez, il aurait été possible, pour la construction de ces deux bâtiments, de remplacer environ 5.84% des 2'079 tonnes de béton. En effet, les briques de Terrabloc auraient pu remplacer environ 49 mètres cubes (m3) de béton, équivalent de 121 tonnes de béton. Ce faible volume s'explique par le fait que le chantier « Chantemerle » n'a pas été conçu selon une démarche d'éco-conception. Cependant, les briques de Terrabloc auraient aussi pu remplacer l'entier des briques en terre cuite selon les tracés réalisés par Rodrigo Fernandez.

Les briques Terrabloc (19 cm d'épaisseur) n'ont pas la même densité que le béton (14 cm d'épaisseur) et donc, il est estimé que seules 72 tonnes de ces briques auraient été nécessaires au remplacement de 121 tonnes de béton.

Tableau 14 – Données environnementales des briques Terrabloc en terre crue

Quantité (t)	UBP	Energie totale kWh oil-eq	Emission de GES Kg CO2-eq
72	2802.16	9.50	2.41

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016, mises à jour de 2020)

Selon les données des écobilans de la KBOB (voir annexe 8), il apparaît que les briques en terre crue ont une plus faible charge environnementale que le béton. En revanche, il est étonnant d'observer que les briques en terre crue utilisent plus d'énergie dans leur fabrication et leur élimination que le béton (voir annexe 8). Il est aussi étonnant de voir que ces briques utilisent une plus grande part d'énergie non renouvelable que d'énergie renouvelable dans leur fabrication.

Enfin, d'un point de vue financier, comme il a été expliqué précédemment (voir sous-chapitre 3.4.1 – Améliorer l'attrait financier) les briques de Terrabloc ont un prix cinq fois supérieur au béton. Ce résultat se base sur des prix hors taxe et sans compter les frais de main d'œuvre et de transport mais ce résultat est cohérent avec les informations recueillies auprès de Rodrigo Fernandez (voir courriel de Rodrigo Fernandez en annexe).

5. Recommandations

Le secteur de la construction est un des plus gros consommateurs de ressources et il est donc impératif de trouver des solutions afin de baisser cette consommation de matières premières. En effet, l'impact environnemental de ce domaine est très important puisqu'il produit également énormément de déchets et qu'il nécessite de nombreux transports de matériaux.

Premièrement, dans le but de réduire l'impact environnemental du secteur de la construction et de diminuer sa consommation de matières premières, je recommande d'utiliser des matériaux recyclés. L'utilisation de béton recyclé doit être favorisée car il est aujourd'hui possible de remplacer une grande partie du béton par du béton recyclé. D'autres matériaux tels que des briques en terre crue peuvent aussi contribuer à réduire l'impact environnemental dans ce domaine car leur charge environnementale est plus faible que celle du béton. En revanche, il existe un certain nombre de freins à l'utilisation de ce type de matériaux. D'après mon analyse, ce type de matériaux ne peut pas être utilisé dans des proportions élevées sans avoir préétabli une démarche d'éco-conception.

Ainsi, je recommande d'intégrer une démarche d'éco-conception dans la construction des bâtiments. Il sera toujours compliqué de remplacer du béton par d'autres matériaux si une telle démarche n'est pas adoptée dès le départ. Une démarche d'éco-conception permet de prendre en compte l'impact environnemental des matériaux pour trouver des alternatives à l'utilisation de ces matériaux. Par exemple, les structures conventionnelles de béton peuvent être remplacées par des structures en bois, ce qui favorise l'utilisation de matériaux recyclés tels que les briques en terre crue. On peut aussi réduire la quantité de béton en remplaçant les murs porteurs en béton par des piliers porteurs en béton afin de diminuer la quantité de béton utilisées. Cependant, l'utilisation de matériaux de construction recyclés à un coût supérieur et par conséquent, ces matériaux bénéficient d'un manque d'attrait financier.

Finalement, dans le but d'améliorer l'attrait financier des matériaux de construction recyclés et ainsi, d'en favoriser l'utilisation, je recommande la mise en place d'une taxe sur les matériaux de construction non-recyclés. Une telle taxe permettrait de renchérir le prix de ces matériaux et donc, de favoriser l'utilisation de matériaux recyclés. De plus l'argent récolté pourrait être reversé sous la forme d'une subvention au matériaux recyclés. La combinaison de ces deux instruments est, à mon avis, la clé pour pouvoir améliorer l'attrait financier des matériaux de construction recyclés afin d'en favoriser l'utilisation.

6. Conclusion

Les nombreux rapports sur le climat ont permis de mettre en lumière les problèmes environnementaux actuels et l'urgence de réduire notre impact environnemental. Notre mode de vie actuel est surconsommateur et donc, les réserves de ressources naturelles s'épuisent de plus en plus vite. Ce mode de vie est aussi surproducteur en déchets et ces derniers sont de plus en plus abondants. Le secteur de la construction, qui consomme énormément de ressources et qui produit de grandes quantités de déchets, doit impérativement se réinventer afin de réduire son impact environnemental.

L'économie circulaire apparaît comme étant la réponse adéquate à ces problèmes dans une optique de transition écologique. Il existe, aujourd'hui, beaucoup de littérature à ce sujet mais il ne faut pas la confondre avec l'économie verte. En effet, l'économie circulaire est basée sur le principe de réduction et, a pour but de boucler les flux. Cette dernière peut être simplifiée et résumée par la phrase suivante : les déchets des uns comme matières premières (recyclées) des autres.

L'objectif premier de ce travail était de répondre à la question suivante : Comment réduire l'impact environnemental du secteur de la construction grâce aux outils de l'économie circulaire ? L'analyse d'un chantier relatif à la construction de deux petits immeubles standards m'a permis de voir que l'application des principes de l'économie circulaire au domaine de la construction permettrait bien de réduire l'impact environnemental de ce secteur. En effet, l'économie circulaire permettrait de réduire les volumes de déchets de construction mis en décharge et de revaloriser une grande partie de ces déchets. Malheureusement, par manque de données et de connaissances, je n'ai pas pu analyser chaque matériau ni pu évaluer quelle proportion de l'impact environnemental pourrait être réduit. N'oublions pas, non plus, que si les problèmes environnementaux ne sont pas nouveaux, les solutions pour y remédier n'en sont qu'à leur début et, il faudra encore plusieurs années d'études pour trouver les bonnes solutions.

Finalement, comme énoncé précédemment, les matériaux recyclés ne bénéficient d'aucun attrait financier car aucune politique publique concrète n'a encore été mise en place à ce sujet. De plus, bien qu'il existe des labels de construction durable, ces derniers ne sont en aucun cas obligatoire. L'intégration de démarche d'éco-conception dans le domaine de la construction repose ainsi sur le volontariat des ingénieurs et architectes. L'établissement de politiques publiques en faveur des matériaux de construction recyclés est donc le principal défi de ces prochaines années. Sans de telles mesures, le secteur de la construction ne pourra pas adopter une démarche en faveur de la transition écologique.

7. Bibliographie

AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2020. Economie circulaire. *Ademe.fr* [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>

AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2018. Les impacts environnementaux. *Ademe.fr* [en ligne]. 5 décembre 2018. [Consulté le 12 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/elements-contexte/impacts-environnementaux>

AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2019. *Prospectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique BBC* [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/prospectives-2035-2050-consommation-materiaux-construction-neuve-renovation-energetique-bbc.pdf>

AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2019. *Prospective de consommation de matériaux pour la construction des bâtiments neufs aux horizons 2035 et 2050* [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport-consommation-materiaux-construction-neuve-2019.pdf>

AGENCE NATIONALE DE LA COHESION DES TERRITOIRES, 2020. La transition écologique, un enjeu de cohésion des territoires. *Cget.gouv.fr org* [en ligne]. [Consulté le 7 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cget.gouv.fr/thematiques/transition-ecologique>

ALLENBY, Braden, 1995. *White paper on sustainable development and industrial ecology*. Hoboken, New Jersey : L'institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE).

ARNSPERGER, Christian, BOURG, Dominique, 2019. *Ecologie intégrale – Pour une société permacirculaire*. 2^{ème} tirage. Paris : Presses Universitaires de France. L'écologie en questions. ISBN : 978-2-13-079246-8

ASR RECYCLAGE MATERIAUX CONSTRUCTION SUISSE, 2020. Déconstruction. *Arv.ch* [en ligne]. [Consulté le 7 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.arv.ch/fr/1027/D%C3%A9construction.htm>

AUREZ, Vincent, GEORGEAULT, Laurent, 2016. *Economie circulaire – Système économique et finitude des ressources*. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur. ISBN : 978-2-8073-0148-1

BALMELLI SA, 2020. Historique de l'entreprise. *Balmellisa.ch* [en ligne]. [Consulté le 28 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.balmellisa.ch/lentreprise/historique-de-lentreprise/>

CONFEDERATION SUISSE, 2020. Circuit court. *Kmu.admin.ch* [en ligne]. 30 mars 2020. [Consulté le 11 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.kmu.admin.ch/kmu/fr/home/glossar/kurze-lieferkette.html>

CONFEDERATION SUISSE, 2018. *Environnement Suisse 2018* [en ligne]. 3 décembre 2018. [Consulté le 4 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/documentation/rapports/rapport-environnement-2018.html>

CONFEDERATION SUISSE, 2020. 17 objectifs de développement durable. *Eda.admin.ch* [en ligne]. 23 avril 2020. [Consulté le 29 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.eda.admin.ch/agenda2030/fr/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html>

CONFERENCE DE COORDINATION DES SERVICES DE LA CONSTRUCTION ET DES IMMEUBLES DES MAITRES D'OUVRAGE PUBLICS KBOB, 2020. Addendum avec les données spécifiques des fabricants, juin 2020. *Eco-bau.ch* [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=17&ID=46>

CONFERENCE DE COORDINATION DES SERVICES DE LA CONSTRUCTION ET DES IMMEUBLES DES MAITRES D'OUVRAGE PUBLICS KBOB, 2016. Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016. *Kbob.admin.ch* [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html

CONFERENCE DE LA COORDINATION DES SERVICES FEDERAUX DE LA CONSTRUCTION ET DE L'IMMOBILIER, 2001. *Matériaux pour toitures et façades* [en ligne]. [Consulté le 2 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/publikationen/nachhaltiges-bauen.html>

COMMISSION EUROPEENNE, 2019. Circular economy – Closing the loop – An ambitious EU circular economy package. *Ec.europa.eu* [en ligne]. [Consulté le 9 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/circular-economy-factsheet-general_en.pdf

EARTH OVERSHOOT DAY, 2019. Le jour du dépassement mondial 2019 sera le 29 juillet, la date la plus précoce jamais enregistrée. *Overshootday.org* [en ligne]. 23 juillet 2019. [Consulté le 10 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.overshootday.org/newsroom/press-release-july-2019-french/>

EPEA SWITZERLAND, 2020. Pensez à de nouveaux procédés de production du Berceau au Berceau. *Epeaswitzerland.com* [en ligne]. [Consulté le 26 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://epeaswitzerland.com/fr/cradle-to-cradle/>

ETAT DE FRIBOURG, 2010. Valorisation et élimination des matériaux d'excavation et des matériaux terreux. *Fr.ch* [en ligne]. Décembre 2010. [Consulté le 27 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sen/www/files/pdf28/materiaux_excavation_terreux_fr.pdf

ETAT DE VAUD, 2020. Décharges contrôlées. *Vd.ch* [en ligne]. [Consulté le 27 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.vd.ch/themes/environnement/dechets/decharges-controlees/>

EUROSTAT, 2020. *Municipal waste by waste management operations* [fichier Excel]. Dernière mise à jour le 2 juillet 2020. [en ligne] [Consulté le 6 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://epeaswitzerland.com/fr/cradle-to-cradle/>

FONDATION ELLEN MACARTHUR, 2017. Economie circulaire. *Ellenmacarthurfoundation.org* [en ligne] [Consulté le 8 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/economie-circulaire/concept>

FONDATION ELLEN MACARTHUR, 2015. *Circularity indicators – An approach to measuring circularity* [en ligne]. Mai 2015. [Consulté le 1er mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf

FONDATION ELLEN MACARTHUR, 2015. *L'économie circulaire, pour une Europe compétitive* [en ligne]. [Consulté le 3 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Note-de-Synthese_FR_Growth-Within.pdf

FORBES, 2020. Australie : Les conséquences des incendies sur l'océan. *Forbes.com* [en ligne]. 13 janvier 2020. [Consulté le 10 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.forbes.fr/environnement/australie-les-consequences-des-incendies-sur-océan/?cn-reloaded=1&cn-reloaded=1>

FREMEAUX, Philippe, KALINOWSKI, Wojtek, LALUCQ, Aurore, 2014. *Transition écologique, mode d'emploi*. Paris : Les petits matins. Alternatives économiques. ISBN : 978-36383-125-5

GALLAUD, Delphine, LAPERCHE, Blandine, 2016. *Economie circulaire et développement durable – Ecologie industrielle et circuits courts, Volume 5*. Grande-Bretagne : ISTE Editions. ISBN : 978-1-78405-132-7

GENIE.CH, 2015. ECOMATGE. *Genie.ch* [en ligne]. 6 mai 2015. [Consulté le 10 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.genie.ch/project/h/ecomatge.html>

GOOGLE MAP, 2020. *Google.ch* [en ligne]. [Consulté le 7 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.google.ch/maps>

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, 2018. *Global Warming of 1.5°C* [en ligne]. [Consulté le 2 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipcc.ch/sr15/>

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, 2019. *Communiqué de presse du GIEC* [en ligne]. Monaco, 25 septembre 2019. [Consulté le 4 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/09/sroc-press-release-fr.pdf>

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, 2019. *Communiqué de presse* [en ligne]. Genève, 8 août 2019. [Consulté le 4 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2019-PRESS-IPCC-50th-IPCC-Session_fr.pdf

HOSTETTLER, Laurent, 2020. Des briques qui revalorisent les déchets de chantier. *Fédération des entreprises romandes Genève* [en ligne]. Janvier 2020. [Consulté le 24 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://static1.squarespace.com/static/56f11c090442628377d7f98e/t/5e8b2932193bd13cc7ee4c19/1586178363608/FER_DesBriquesQuiRevalorisentLesDechetsDechantier.pdf

INSTITUT DES HAUTES ETUDES D'AMENAGEMENT DES TERRITOIRES, 2020. Michel Savy. *Ihedeate.org* [en ligne]. [Consulté le 3 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ihedeate.org/savy-michel>

JOHNSON, Bea, 2019. La démarche Zero Waste : le principe des 5 R. *Zerowasteswitzerland.ch* [en ligne]. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://zerowasteswitzerland.ch/mission/lademarchezzerowaste/>

JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPEENNE, 2005. *Directive 2005/32/CE du parlement européen et du conseil* [en ligne]. [Consulté le 28 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0029:0058:FR:PDF>

KALUNBORG SYMBIOSIS, 2020. Explore the Kalundborg symbiosis. *Symbiosis.dk* [en ligne]. [Consulté le 2 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.symbiosis.dk/en/#partnere>

L'AGENDA 2030 EN FRANCE, 2020. ODD 11 – Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables. *Agenda-2030.fr* [en ligne]. [Consulté le 1er avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.agenda-2030.fr/odd/odd11-faire-en-sort-que-les-villes-et-les-etablissements-humains-soient-ouverts-tous-surs-50>

L'AGENDA 2030 EN FRANCE, 2020. ODD 12 – Etablir des modes de consommation et de production durables. *Agenda-2030.fr* [en ligne]. [Consulté le 1er avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.agenda-2030.fr/odd/odd12-etablir-des-modes-de-consommation-et-de-production-durables-51>

LAROUSSE, 2020. Déconstruction. *Larousse.fr* [en ligne]. [Consulté le 9 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9construction/22357>

LAROUSSE, 2020. Démolir. *Larousse.fr* [en ligne]. [Consulté le 9 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9molir/23446?q=d%C3%A9molir#23331>

LAROUSSE, 2020. Démolition. *Larousse.fr* [en ligne]. [Consulté le 9 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9molition/23449>

LAROUSSE, 2020. Ecosystème. *Larousse.fr* [en ligne]. [Consulté le 20 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9cosyst%C3%A8me/27682>

LE LABO DE L'ECONOMIE SOCIALE ET SOLIDAIRE, 2015. Les circuits courts économiques et solidaires – Tome 2. *LeLabo-ess.org* [en ligne]. [Consulté le 18 avril 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.lelabo-ess.org/IMG/pdf/cc_tome_2_vf_web.pdf

LE MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT – LE GOUVERNEMENT JAPONAIS, 2020. L'environnement global et la coopération internationale. *Env.go.jp* [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.env.go.jp/fr/recycle/index.html>

LE MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT – LE GOUVERNEMENT JAPONAIS, 2020. The 3R initiative. *Env.go.jp* [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.env.go.jp/recycle/3r/en/outline.html>

LE MOIGNE, Rémy, 2018. *L'économie circulaire – Stratégie pour un monde durable*. 2^{ème} édition. Malakoff : Dunod. ISBN : 978-2-10-077344-2

MENET, Jean-Luc, GRUESCU, Ion Cosmin, 2014. *L'éco-conception dans le bâtiment*. Paris : Dunod. ISBN : 978-2-10-070415-6

METEO FRANCE, 2020. L'effet de serre. *Meteofrance.fr* [en ligne]. [Consulté le 10 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/leffet-de-serre-et-autres-mecanismes>

MEYER-VACHERAND, Etienne, 2019. La Suisse sur le podium des producteurs de déchets européens. *Le Temps* [en ligne]. 5 juin 2019. [Consulté le 1er avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.letemps.ch/economie/suisse-podium-producteurs-dechets-europeens>

MINERGIE, 2020. Accueil. *Minergie.ch* [en ligne]. [Consulté le 2 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.minergie.ch/fr/>

MINERGIE, 2020. La certification Minergie. *Minergie.ch* [en ligne]. [Consulté le 2 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.minergie.ch/fr/certifier/minergie/>

MINERGIE, 2020. Le complément ECO. *Minergie.ch* [en ligne]. [Consulté le 2 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.minergie.ch/fr/certifier/eco/>

MINERGIE, 2014. Justification concernant la disponibilité du béton recyclé. *Minergie.ch* [en ligne]. [Consulté le 4 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.minergie.ch/media/1004-1_22_40227_nachweis_rc_beton_fr_2014.pdf

MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2018. Enquête sur les déchets et déblais produits par l'activité BTP en 2014. *Statistiques.developpement-durable.gouv.fr* [en ligne]. 23 novembre 2018. [Consulté le 3 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-sur-les-dechets-et-deblais-produits-par-lactivite-btp-en-2014-edd-2014>

MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2017. *Prospective – Economie sociale et solidaire : les circuits courts alimentaires*. ISBN : 978-2-11-151550-5

MONGEARD, Laetitia, VESCHAMBRE, Vincent, 2015. *Éléments pour une histoire de la déconstruction : évolutions en matière de démolition de l'habitat social (agglomération lyonnaise :1978–2013)* [en ligne]. Archive ouverte HAL. [Consulté le 26 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://core.ac.uk/reader/52640654>

NATIONS UNIES, 2020. Conférence des Nations Unies sur l'environnement, du 5 au 16 juin 1972, Stockholm. *Un.org* [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.un.org/fr/conferences/environment/stockholm1972/>

NATIONS UNIES, 2020. Les changements climatiques. *Un.org* [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.un.org/fr/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

OCDE, 2017. *Examens environnementaux de l'OCDE Suisse 2017* [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/50557.pdf>

OCDE, 2020. Qu'est-ce que la croissance verte et comment peut-elle aider à assurer un développement durable ? *Oecd.org* [en ligne]. [Consulté le 5 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.oecd.org/fr/croissanceverte/quest-cequelacroissanceverteetcommentpeut-elleaideraassurerundeveloppementdurable.htm>

OFFICE FEDERAL DE LA SANTE PUBLIQUE, 2018. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). *Bag.admin.ch* [en ligne]. Mis à jour le 8 août 2018. [Consulté le 5 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/chemikalien/chemikalien-a-z/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-pak.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Convention-cadre sur les changements climatiques. *Bafu.admin.ch* [en ligne]. Mis à jour le 16 décembre 2019. [Consulté le 16 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/convention-cadre-sur-les-changements-climatiques.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2006. Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux – Matériaux bitumineux et non bitumineux de démolition des routes, béton de démolition, matériaux non triés 2^{ème} édition. *L'environnement pratique* [en ligne]. [Consulté le 4 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/publications-etudes/publications/valorisation-dechets-chantier-mineraux.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2018. *Empreintes environnementales de la Suisse de 1996 à 2015* [en ligne]. Mis à jour le 6 septembre 2018. [Consulté le 2 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/economie-consommation/publications-etudes/publications/empreintes-environnementales-de-la-suisse.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2018. L'accord de Paris sur le climat. *Bafu.admin.ch* [en ligne]. Mis à jour le 21 août 2018. [Consulté le 16 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/l_accord-de-paris-sur-le-climat.html

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Matériaux d'excavation et de percement. *Bafu.admin.ch* [en ligne]. Mis à jour le 21 juin 2019. [Consulté le 18 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/guide-des-dechets-a-z/materiaux-d-excavation.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2016. Politique climatique internationale : Protocole de Kyoto. *Bafu.admin.ch* [en ligne]. Mis à jour le 21 avril 2016. [Consulté le 16 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/climat--affaires-internationales/politique-climatique-internationale--protocole-de-kyoto.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Rien ne se perd – L'économie circulaire au profit de l'environnement et des entreprises. *L'environnement – Les ressources naturelles en Suisse* [en ligne]. Décembre 2019. Numéro 4. [en ligne]. [Consulté le 2 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/economie-consommation/dossiers/magazin2019-4-dossier.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2020. Section Cycles matières premières. *Bafu.admin.ch* [en ligne]. [Consulté le 23 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/office/divisions-sections/division-dechets-et-matieres-premieres/section-cycles-matieres-premieres.html>

OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Taxe sur le CO2. *Bafu.admin.ch* [en ligne]. Mis à jour le 10 décembre 2019. [Consulté le 28 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/politique-climatique/taxe-sur-le-co2.html>

OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, 2008. Besoins matériels de la Suisse. *Statistique suisse de l'environnement*. Neuchâtel, 25 novembre 2008. Numéro 14.

ONU, 2020. Dix conséquences des feux de brousse australiens. *Unenvironment.org* [en ligne]. [Consulté le 10 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.unenvironment.org/fr/actualites-et-recits/recit/dix-consequences-des-feux-de-brousse-australiens>

ORDONNANCE SUR LA LIMITATION ET L'ELIMINATION DES DECHETS DU 4 DECEMBRE 2015 (Ordonnance sur les déchets, OLED). *Admin.ch* [en ligne]. 4 décembre 2015. Mise à jour le 1^{er} avril 2020. [Consulté le 20 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20141858/index.html>

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, 2020. *ISO 14006 :2020- Systèmes de management environnemental – Ligne directrices pour intégrer l'éco-conception* [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14006:ed-2:v1:fr>

PARLEMENT EUROPEEN, 2015. Economie circulaire : définition, importance et bénéfices. *Europarl.europa.eu* [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/economy/20151201STO05603/economie-circulaire-definition-importance-et-benefices>

POLE ECO-CONCEPTION, 2020. L'éco-conception, les concepts. *Eco-conception.fr* [en ligne]. [Consulté le 30 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.eco-conception.fr/static/leco-conception-les-concepts.html>

PREMY, 2020. Déconstruction. *Premys-deconstruction.fr* [en ligne]. [Consulté le 26 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.premys-deconstruction.fr/deconstruction.html>

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT, 2020. Historique. *Undp.org* [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.undp.org/content/undp/fr/home/sustainable-development-goals/background/>

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, 2016. *Global material flows and resource productivity*. ISBN : 978-92-807-3554-3

ROCKSTROM, Johan, STEFFEN, Will, NOONE, Kevin, PERSSON, Asa, CHAPIN, F. Stuart, LAMBIN, Eric, LENTON, Timothy, SCHEFFER, Marten, FOLKE, Carl, SCHELLNHUBER, Hans Joachim, NYKVIST, Björn, DE WIT, Cynthia, HUGHES, Terry, VAN DER LEEUW, Sander, RODHE, Henning, SOLRIN, Sverker, SNYDER, Peter, COSTANZA, Robert, SVEDIN, Uno, FALKENMARK, Malin, KARLBERG, Louise, CORELL, Robert, FABRY, Victoria, HANSEN, James, WALKER, Brian, LIVERMAN, Diana, RICHARDSON, Katherine, CRUTZEN, Paul, FOLEY, Jonathan, 2009. Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* [en ligne]. [Consulté le 13 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

RONCHI, 2020. Liste de prix 2020. *Ronchi-graviers.ch* [en ligne]. 1 janvier 2020. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://ronchi-graviers.ch/assets/Uploads/Liste-de-prix/Ronchi-SA-Gland-Liste-prix.pdf>

SAVY, Michel, 2017. *Le transport de marchandises – Economie du fret, management logistique, politique des transports*. Lausanne : PPUR Presses Polytechniques, Management de la Technologie. ISBN : 9782889151905

SNBS, 2020. Standard construction durable suisse bâtiment. *Nnbs.ch* [en ligne]. [Consulté le 5 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.nnbs.ch/fr/snbs-batiment>

SNBS, 2020. Standards et labels de construction durable. *Nnbs.ch* [en ligne]. [Consulté le 5 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.nnbs.ch/fr/standards-et-labels>

SYNDICAT INTERCOMMUNAL POUR LA GESTION DES DECHETS, 2010. Concept des 3R [en ligne]. [Consulté le 25 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.sidec.lu/fr/Conseils-pratiques/Concept-des-3R>

TERRABLOC, 2020. Histoire. *Terrabloc.ch* [en ligne]. [Consulté le 10 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.terrabloc.ch/#histoire>

UNIVERSITE PARIS PANTHEON SORBONNE, 2020. Sabine Barles. *Pantheonsorbonne.fr* [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2020]. Disponible à l'adresse : [https://www.pantheonsorbonne.fr/recherche/page_perso/page/?tx_oxcspagepersonnel_pi1\[uid\]=sbarles](https://www.pantheonsorbonne.fr/recherche/page_perso/page/?tx_oxcspagepersonnel_pi1[uid]=sbarles)

WIJKMAN, Anders, SKANBERG, Kristian, 2015. *L'économie circulaire et ses bénéfices sociétaux - Des avancées réelles pour l'emploi et le climat dans une économie basée sur les énergies renouvelables et l'efficacité des ressources* [en ligne]. Zurich : Club de Rome. [Consulté le 1er avril 2020]. Disponible à l'adresse : <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0083/Temis-0083666/22363.pdf>

WORLD ECONOMIC FORUM, 2020. *The global risks report 2020* [en ligne]. [Consulté le 4 avril 2020]. Disponible à l'adresse : http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf

WORLD ECONOMIC FORUM, 2016. *Shaping the future of construction – A breakthrough in mindset and technology2020* [en ligne]. [Consulté le 24 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report.pdf

WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2020. Effet de serre. *Wwf.ch* [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.wwf.ch/fr/nos-objectifs/effet-de-serre>

ZANELLA, Jean-Luc, 2016. Séminaire eco-bau, construction durable. *Le béton recyclé du point de vue de l'ingénieur civil, Vevey, 13 octobre 2016* [en ligne]. Lausanne : Ingeni SA. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Fachtagungen/S%C3%A9minaire2016/Seminaire-20161013_3_Ingeni-Zanella.pdf

Annexe 1 : Synthèse des entretiens de Philippe Hug

Lors de cet entretien, j'ai cherché à terminer comment classer les données du chantier à Borex Chantemerle. Il faut savoir qu'avant cet entretien effectué par vidéoconférence, nous nous étions déjà entretenus à 3 reprises. Le premier entretien eu lieu dans les locaux de Balmelli SA à Bremblens afin que je présente mon projet à Monsieur Hug ainsi qu'à Monsieur Risse. Le deuxième et troisième entretien ont eu lieu par vidéoconférence à cause de la crise du Covid-19. Durant ces deux entretiens, j'ai présenté mon plan à Monsieur Hug et discuter des informations dont j'aurais besoin pour réaliser mon analyse. Grâce à sa collaboration, j'ai reçu toutes les factures relatives au chantier de Borex Chantemerle de Balmelli SA.

Cet entretien a donc eu lieu après que j'ai reçu les données du chantier. En effet, j'avais déjà pu identifier et classer la majorité des factures mais il me restait quelques interrogations du fait que je ne suis en aucun cas un expert du domaine de la construction. Mes questions concernaient principalement le béton et Monsieur Hug a répondu à toutes mes interrogations. Il est ressorti que le béton utilisé pour ce chantier n'est pas du béton recyclé. Monsieur Hug m'a expliqué qu'environ $\frac{1}{4}$ du béton a été transporté de Gland à Borex par camions et que les $\frac{3}{4}$ restant ont été fabriqués sur place. Il m'a aussi expliqué que les pièces en béton déjà construites provenaient de chez PQR Béton et que ces dernières n'étaient pas faites à base de béton recyclé. Afin que je puisse estimer la quantité de béton totale utilisée, Monsieur Hug m'a aussi expliqué que 1 m³ de béton correspond à environ 2'400 kilogrammes de béton. Par la suite, j'ai présenté à Monsieur Hug les données des écobilans de Eco-Bau afin qu'il puisse m'aider à identifier à quelles catégories de matériaux appartiennent les matériaux utilisés sur le chantier. Monsieur Hug a aussi confirmé mon analyse du nombre de transports en affirmant que chaque commande de matériaux a engendré un transport de ces matériaux par camion jusqu'au chantier. Concernant les métaux, Monsieur Hug m'a expliqué que les factures de MBV Ferailage correspondent à de la main d'œuvre qui est facturée en heure pour les travaux divers et au kilogramme pour la pose d'armature. Enfin, Monsieur Hug m'a expliqué que lors de chantier comme celui-ci, les communes offrent un forfait pour l'eau et donc, cela explique pourquoi il n'y a aucune facture d'eau.

Dans le but d'estimer la part de matériaux qui pourrait être remplacée par des matériaux écologiques, Monsieur Hug m'a autorisé à contacter un ou des experts du domaine et de leur montrer les données qu'il m'avait transmises. Monsieur Hug m'a expliqué que ce sont les ingénieurs qui décident quels types de matériaux sont utilisés et donc, qu'il n'était pas en mesure de répondre pleinement à mes interrogations à ce sujet.

Annexe 2 : Synthèse des entretiens de Rodrigo Fernandez

Monsieur Fernandez a accepté de réaliser des estimations du nombre de matériaux (et quelle quantité de ces matériaux) pourraient être remplacés par des briques de chez TerraBloc. Mon travail se concentrant uniquement sur les gros œuvres, Monsieur Fernandez m'a expliqué qu'il aurait été plus intéressant de prendre aussi en considération le second œuvre. D'après les dires de Monsieur Fernandez, l'utilisation de brique en terre cuite n'est pas des meilleures dans la partie des gros œuvres et celles-ci sont mieux adaptées aux travaux de second œuvre.

Monsieur Fernandez m'a aussi expliqué la signification des « 50% de béton recyclé pour le label Minergie Eco ». En effet, les 50% de béton recyclé ne sont exigés que si cela est possible de remplacer le béton standard par du béton recyclé. Par exemple, cela n'est pas possible pour une dalle en béton et finalement, Monsieur Fernandez estime que ces bâtiments ne sont composés que de 10% à 20% de béton recyclé.

Annexe 3 : Courriel de Rodrigo Fernandez

Bonjour Vincent,

Ton bâtiment est difficile à changer car il y a beaucoup de béton.

Je propose une structure en béton ponctuelle (poteaux) remplie de murs de remplissage en Terrabloc (brique de 29.5x14x9cm d'une densité de 2000kg/m³), à la place de murs en béton (voiles) complets.

La cage d'escalier, pour des questions de voie de fuite et de contreventement du bâtiment, doit rester en béton, ainsi que quelques murs en béton pour les aspects structurels.

Je t'ai mis en jaune sur les 2 PDF des bâtiments une idée de ce que pourrait être la structure en béton, le reste des murs en béton pouvant être remplacés.

Pour les murs intérieurs, on pourrait remplacer toutes les cloisons fines (type placoplâtre) par des cloisons en terre type TERRAPLAC. C'est un nouveau produit que nous allons bientôt sortir, qui permet de faire des cloisons fines et plus légères en 8cm d'épaisseur. Pour la finition il faut envisager un enduit au plâtre ou à l'argile si tu veux rester naturel. Les TERRAPLACS feront 40x25x8cm et auront une densité de 1600 kg/m³ (plus léger que le Terrabloc). Attention toutefois avec les matériaux à base de terre proche des salles d'eau, là il est préférable de garder des placoplâtre ignifugés.

Voilà j'espère que j'ai pu t'aider. À toi, maintenant que tu comprends le concept de la variante, de compter le nombre de m² de béton que tu arrives à remplacer.

Je te rends attentif à l'aspect coût : la solution que je te propose coûtera plus cher que la solution actuelle, car c'est beaucoup plus simple de couler les murs en 1x en béton plutôt que de couler des poteaux et devoir ensuite avoir une équipe de maçons qui montent les murs de remplissage. Il faut le mentionner, mais au moins on montre ce qu'on pourrait faire pour réduire la quantité de béton dans ces 2 bâtiments.

Prix estimatifs de fourniture et pose :

Fourniture Terrabloc 14cm : CHF 100.- / m² sur chantier, pose par le maçon : CHF 100.- /m², mortier et accessoires : CHF 20.-/m²

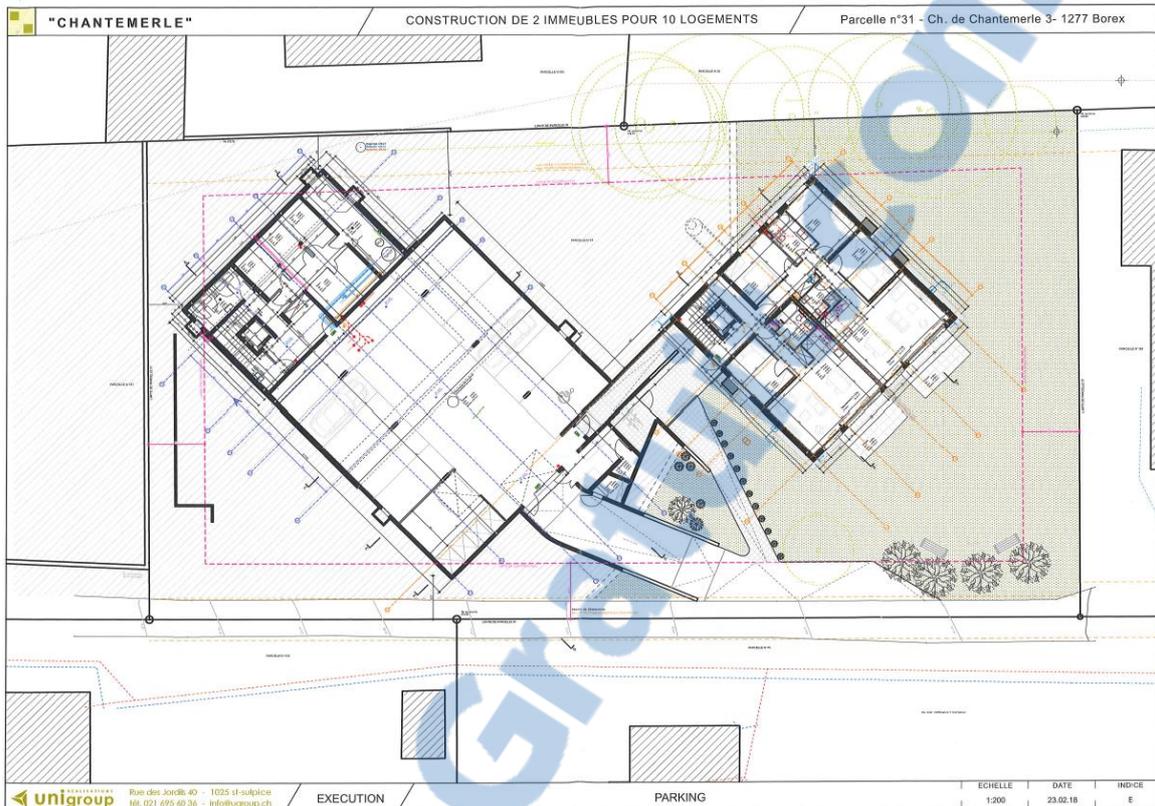
Fourniture Terraplac 8cm : CHF 55.-/m², pose par plâtrier : CHF 55.-/m², masse de collage et de finition CHF 30.-/m²

Cordialement,
Rodrigo Fernandez
Dr ingénieur EPFL SIA

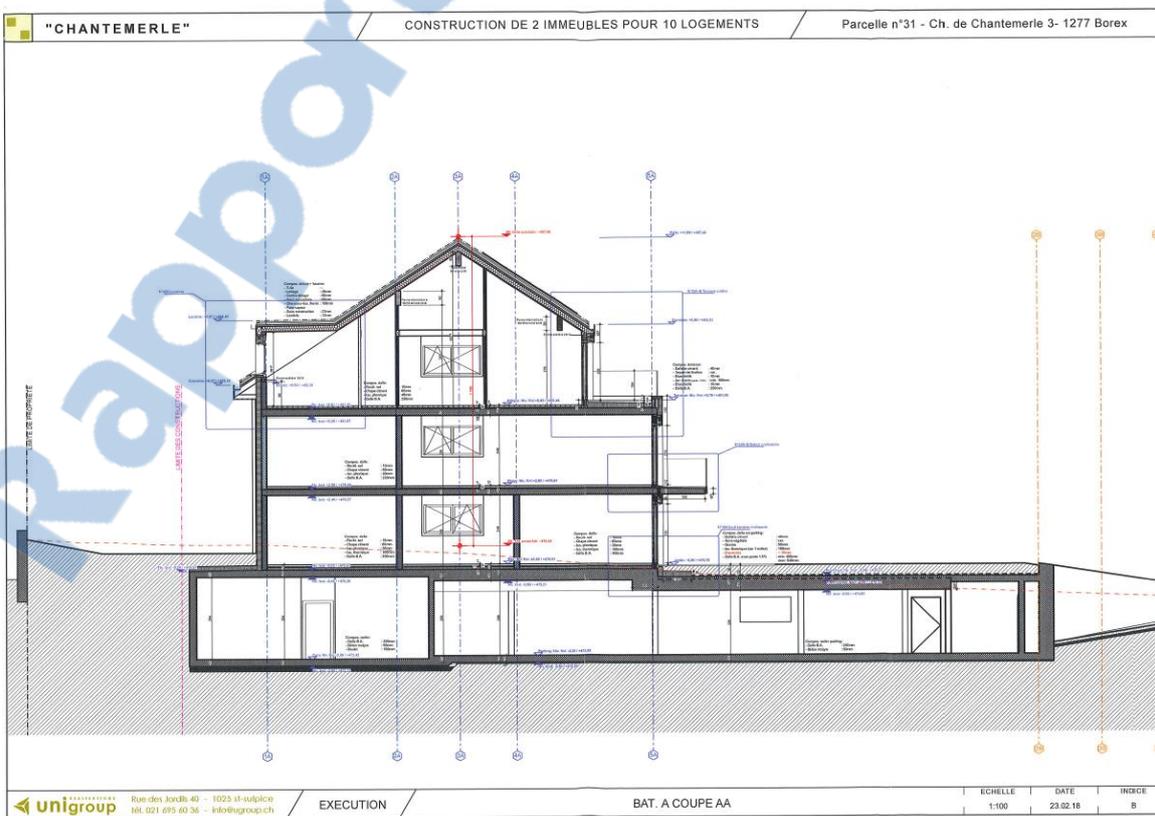
Annexe 4 : Synthèse de l'entretien de Frédéric Flück

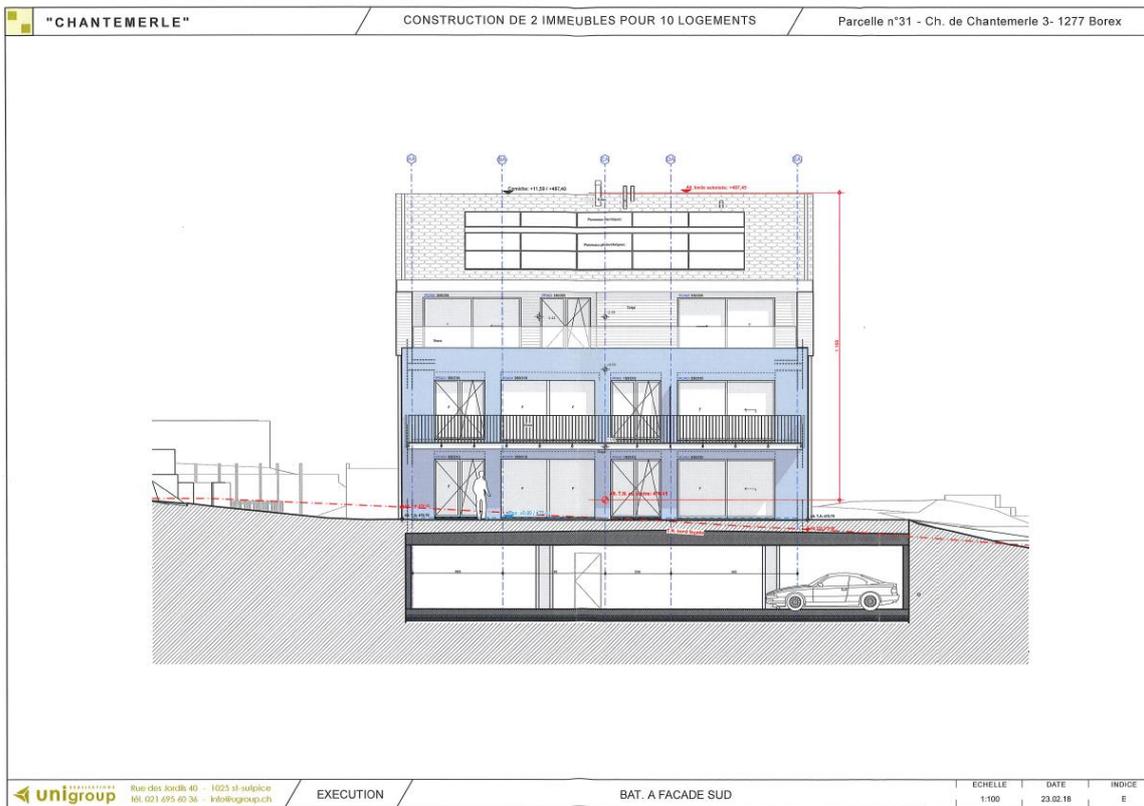
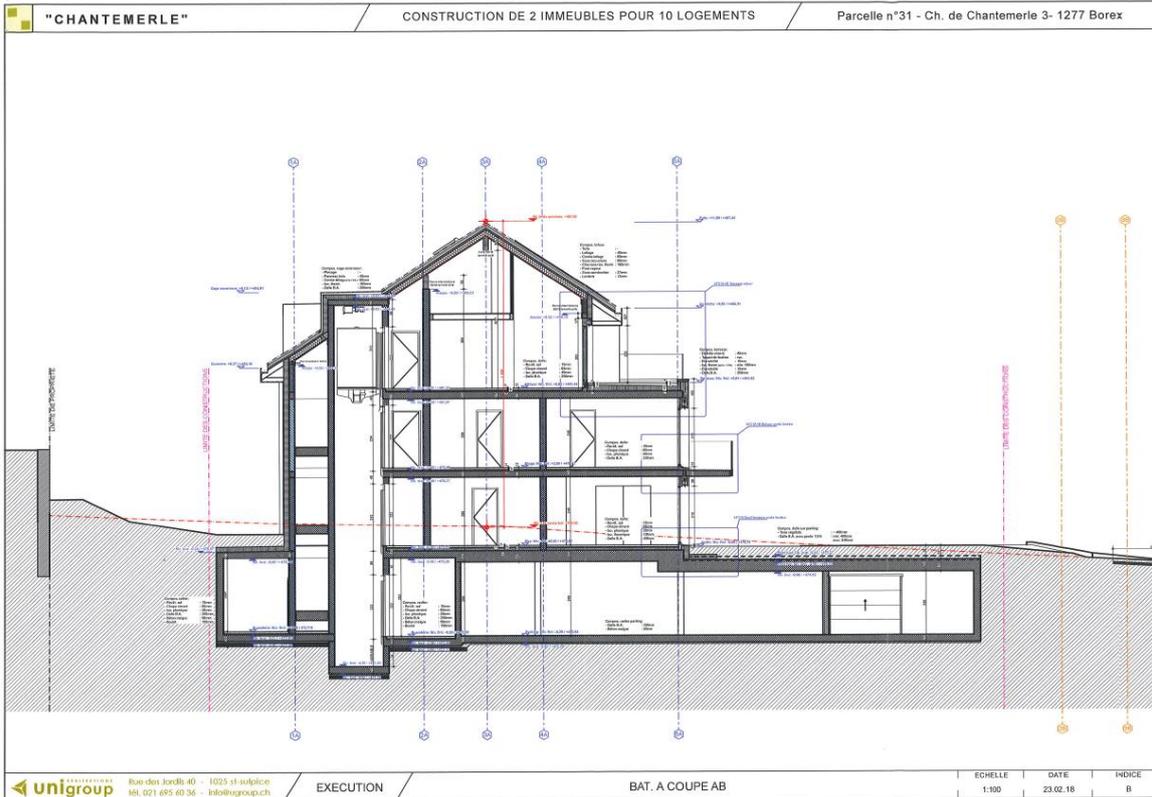
J'ai contacté Monsieur Flück par suite d'un autre téléphone avec l'architecte Lionel Christen. En effet, Lionel Christen est un architecte basé à Gland et il m'a conseillé de contacter un ingénieur civil en la personne de Frédéric Flück. L'objectif de ce téléphone était de savoir quelle est la proportion maximale de béton recyclé qui peut être utilisé dans une construction. Monsieur Flück m'a expliqué qu'il n'y a aucune autre contrainte que les exigences en matière de résistance concernant le béton recyclé. Les seules parties d'un bâtiment qui pourraient donc ne pas être remplacées sont la dalle et les piliers. Ainsi, selon lui, un bâtiment pourrait être entièrement construit avec du béton recyclé. Monsieur Flück a attiré mon attention sur le fait que le béton recyclé est tout de même fabriqué avec une certaine quantité de béton neuf.

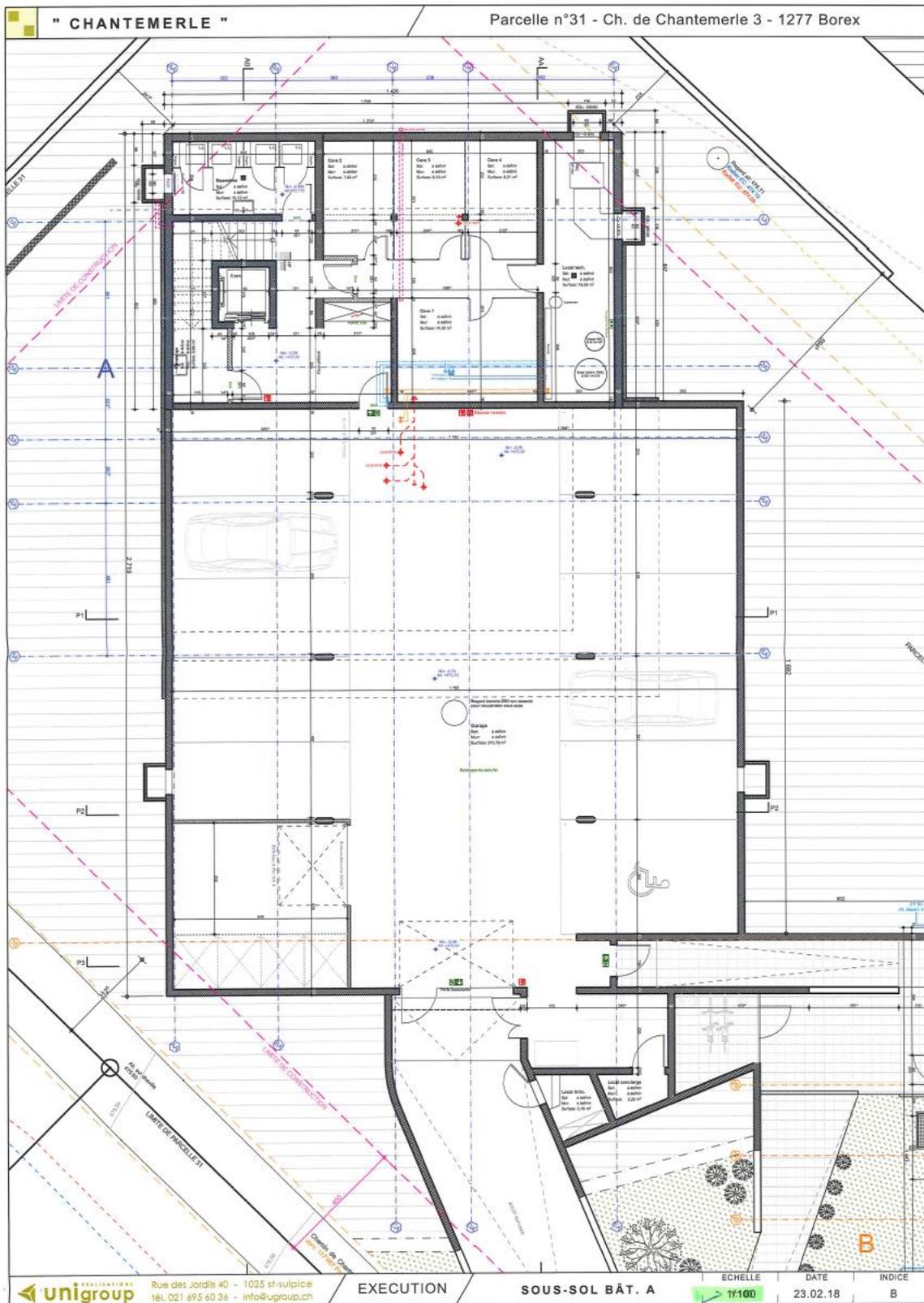
Annexe 5 : Plans des deux bâtiments



Bâtiment A

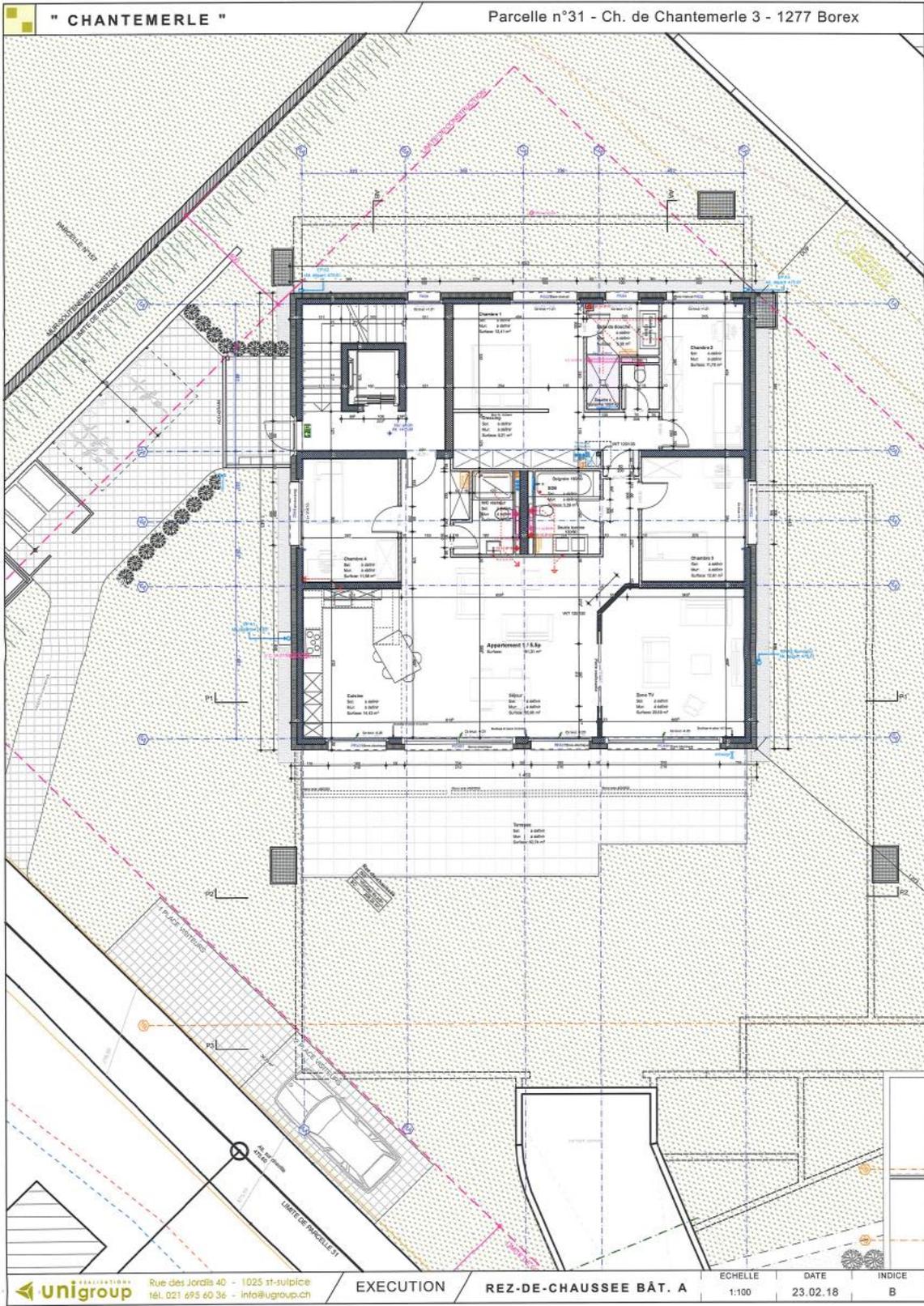


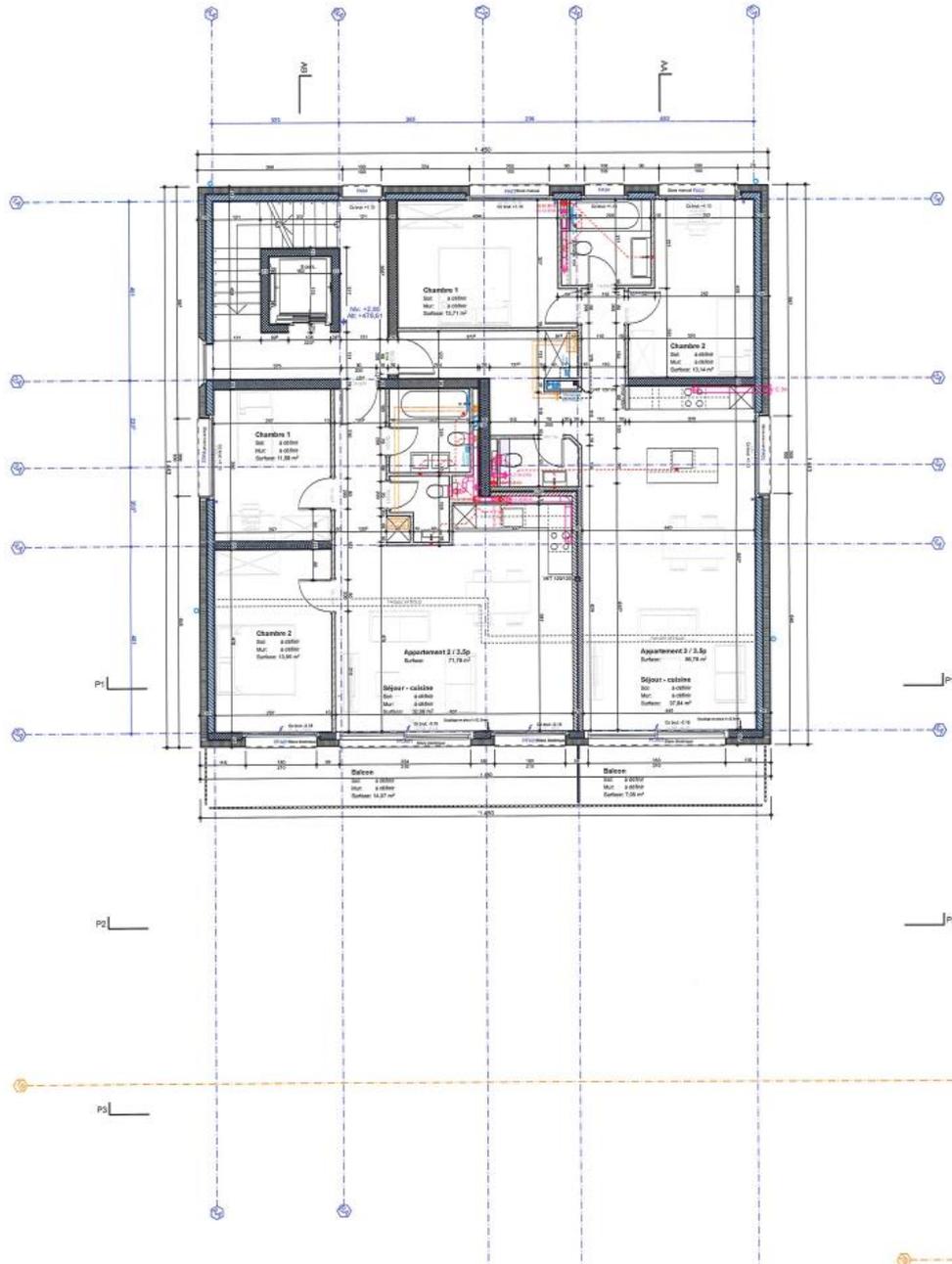


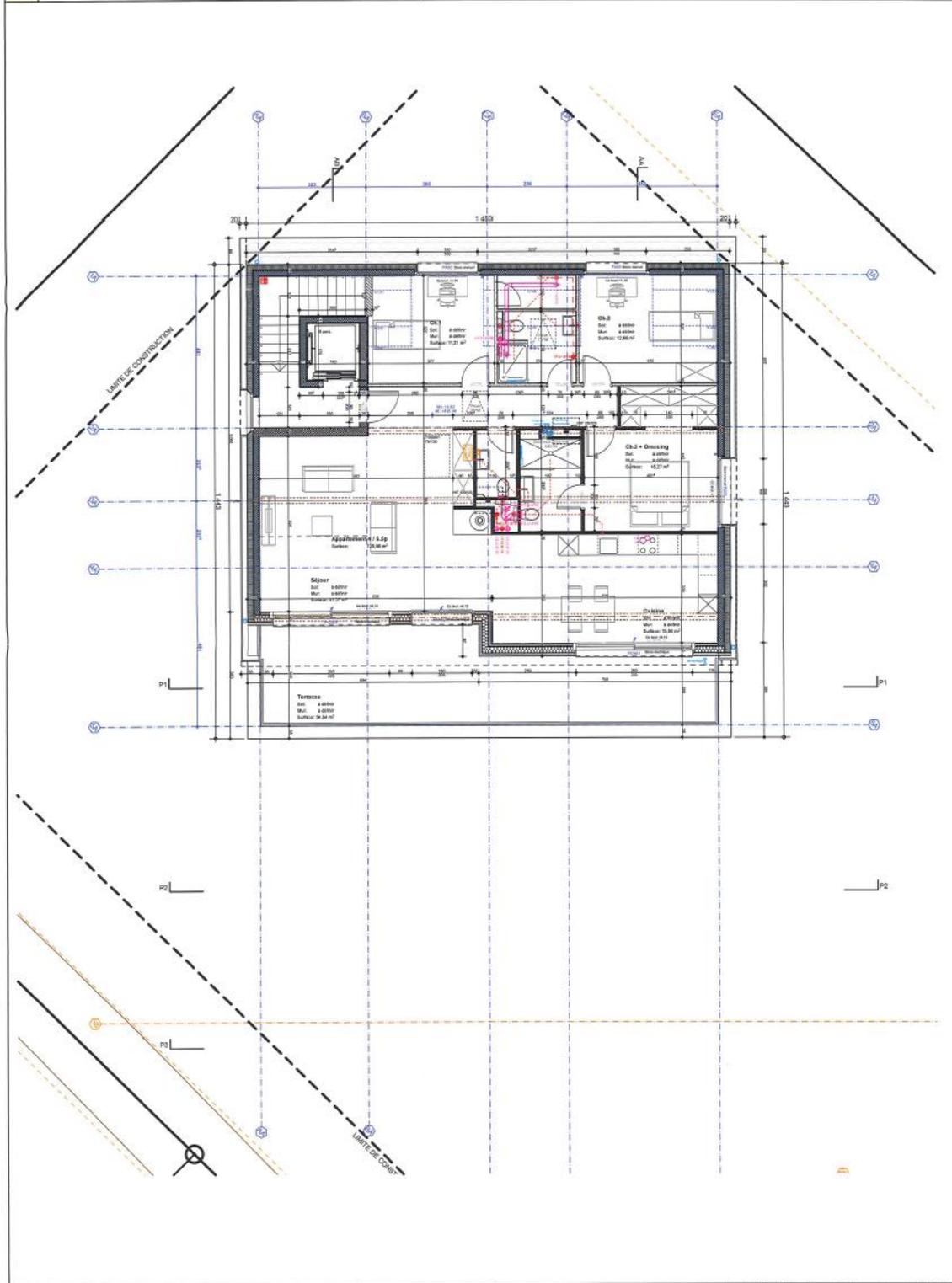


Rapport-gratuit.com

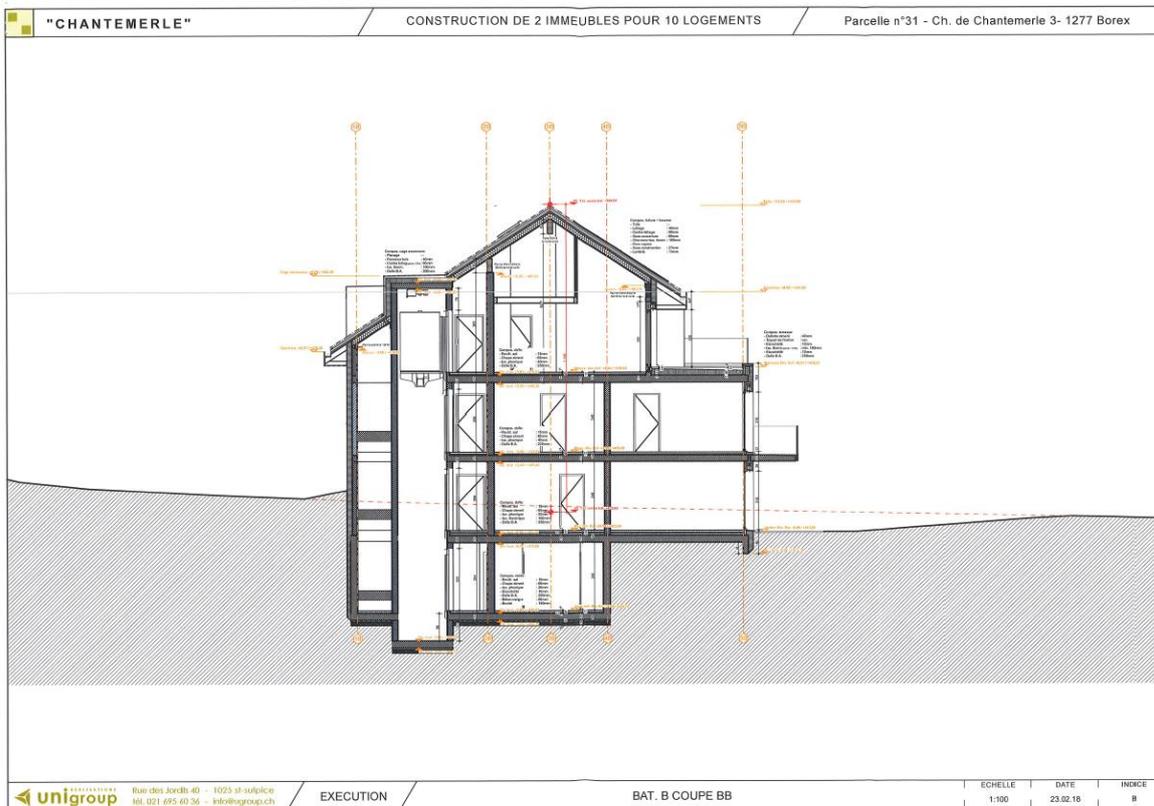
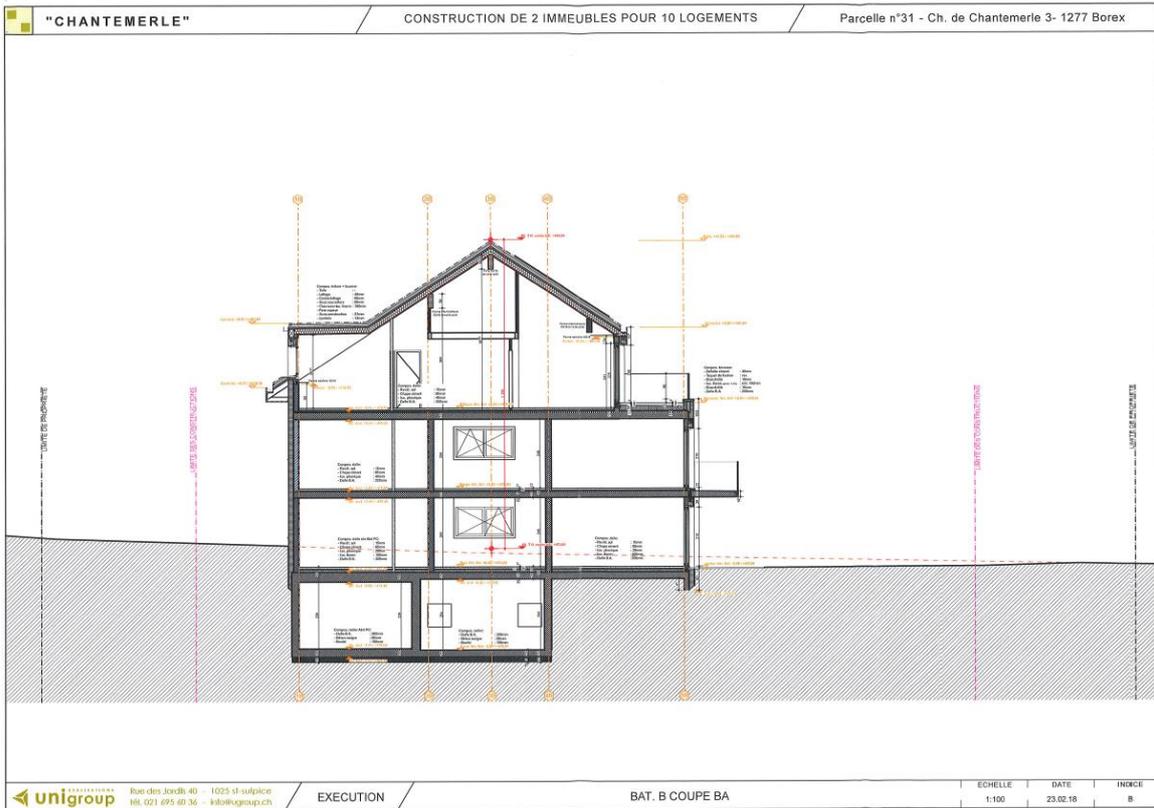
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

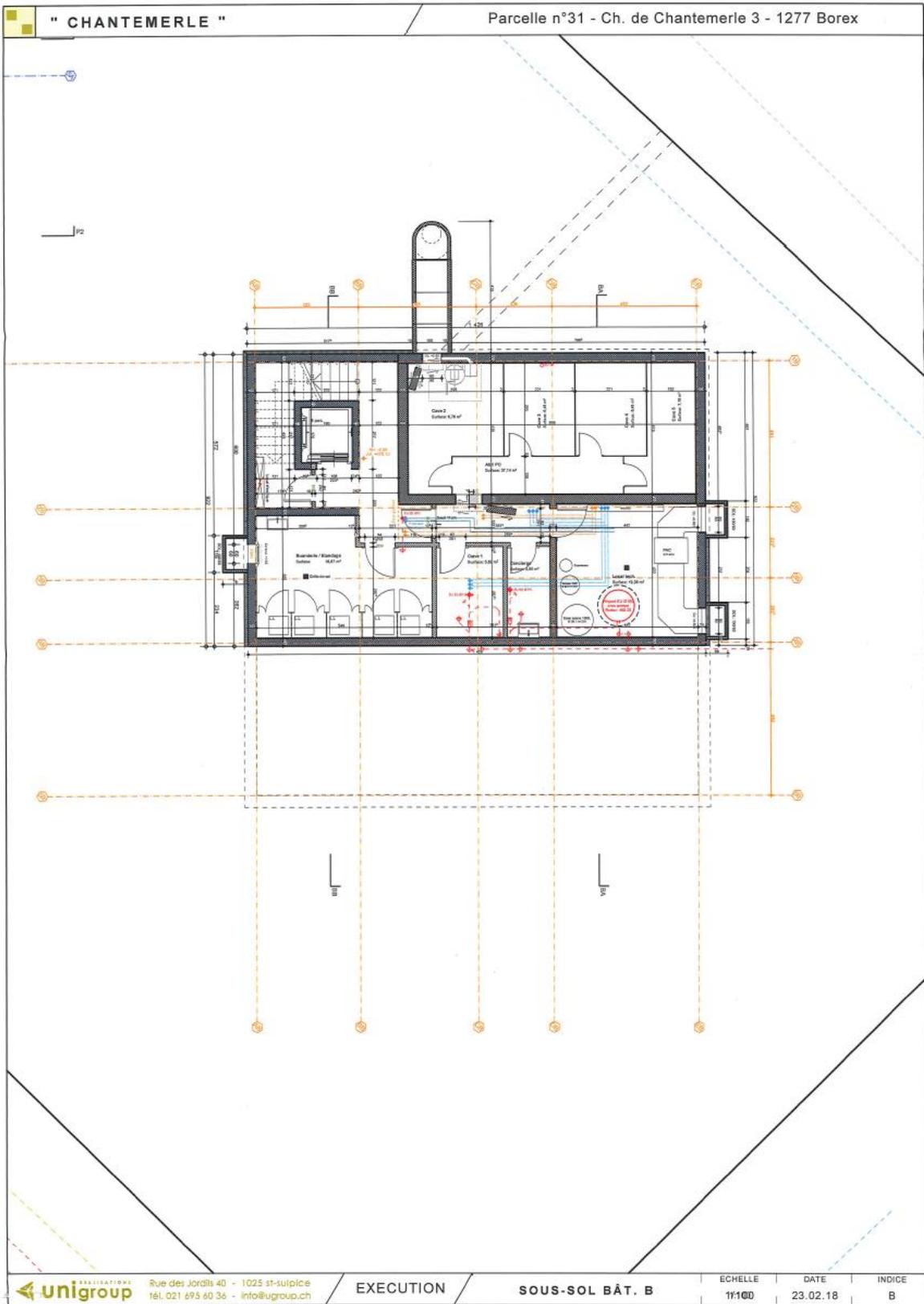


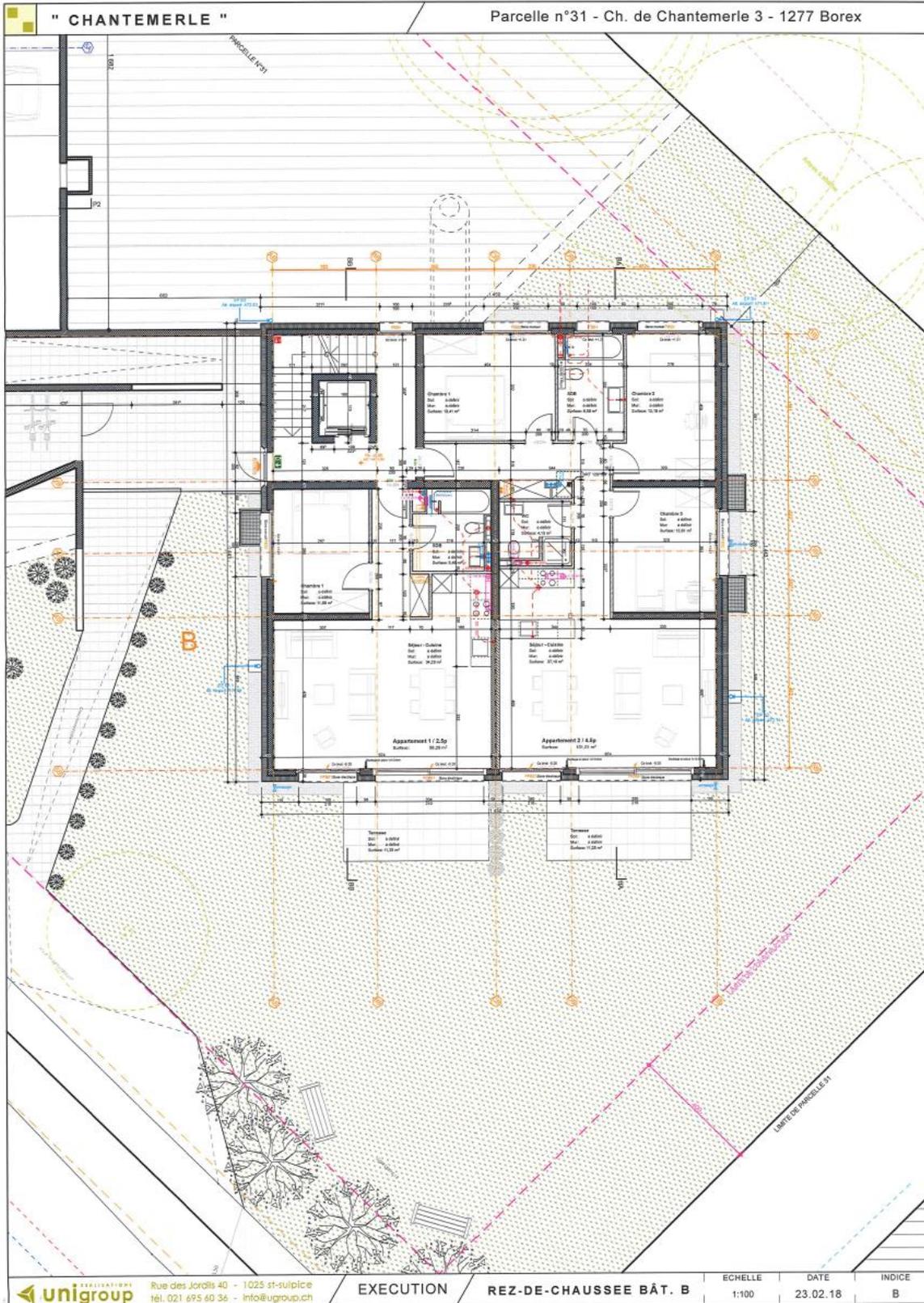


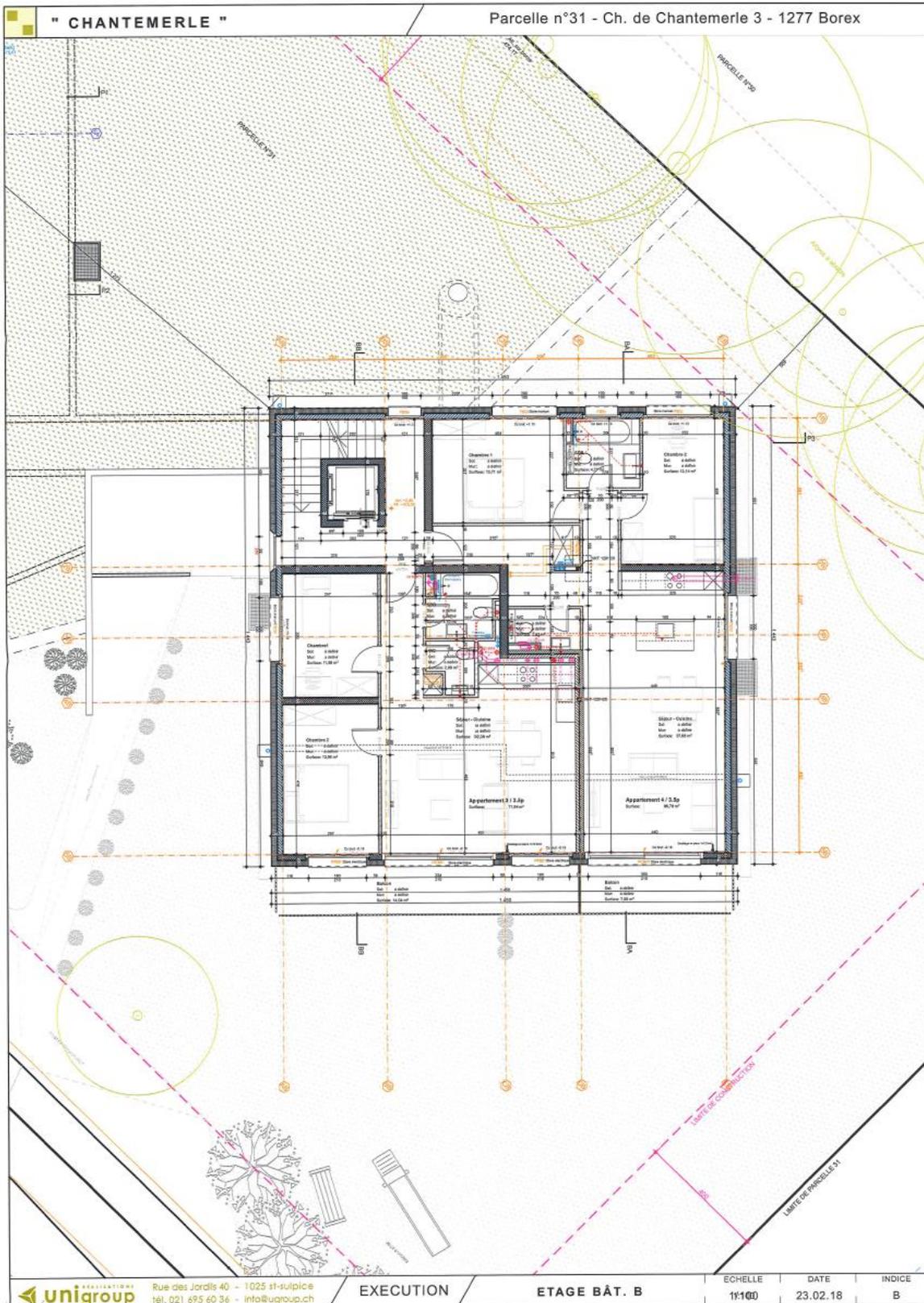


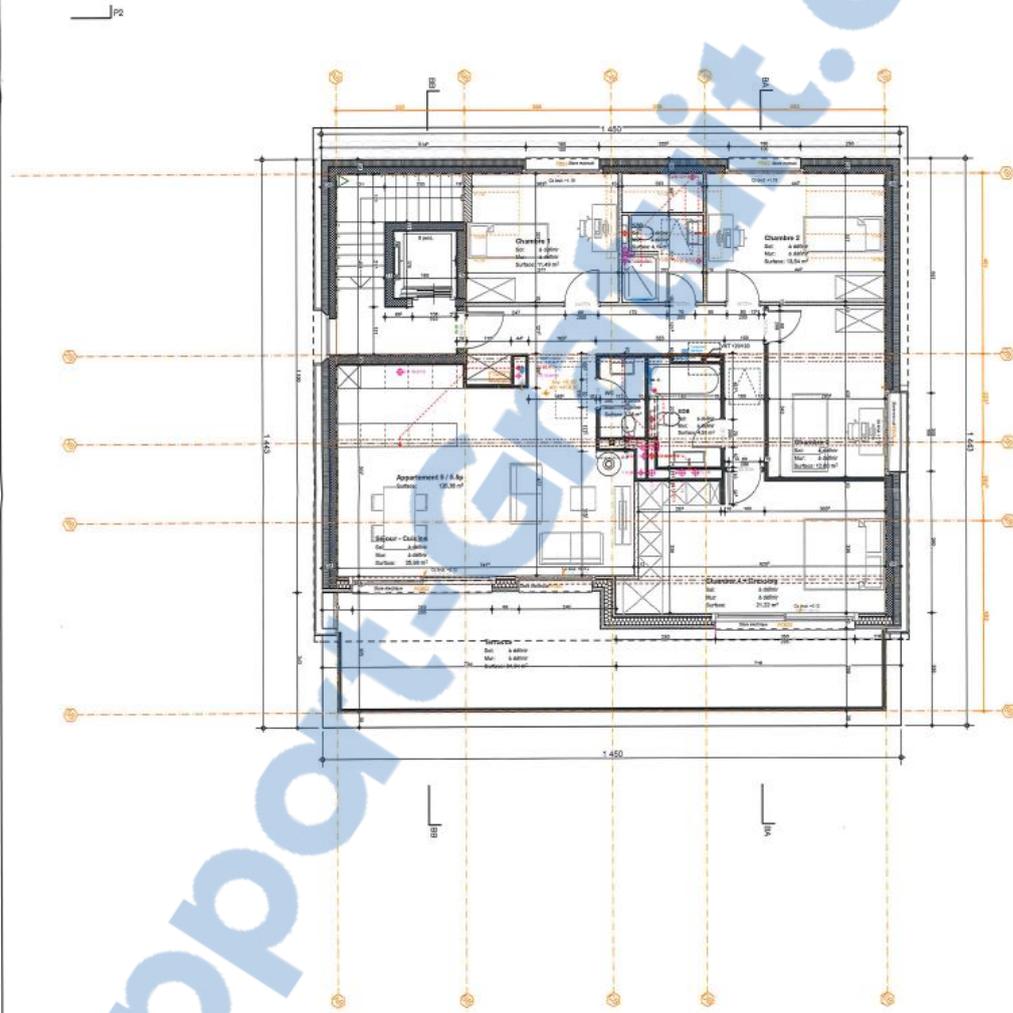
Bâtiment B







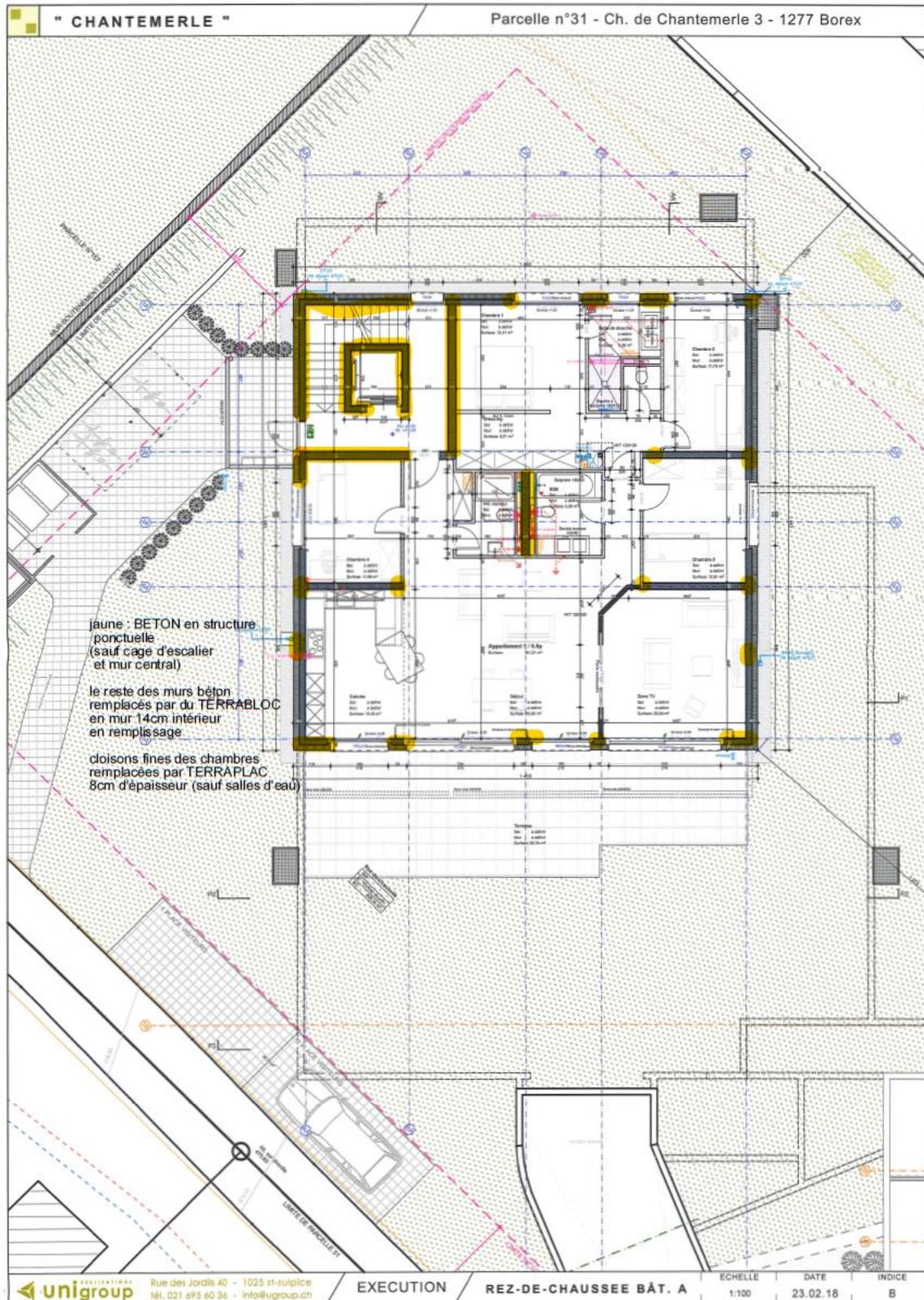


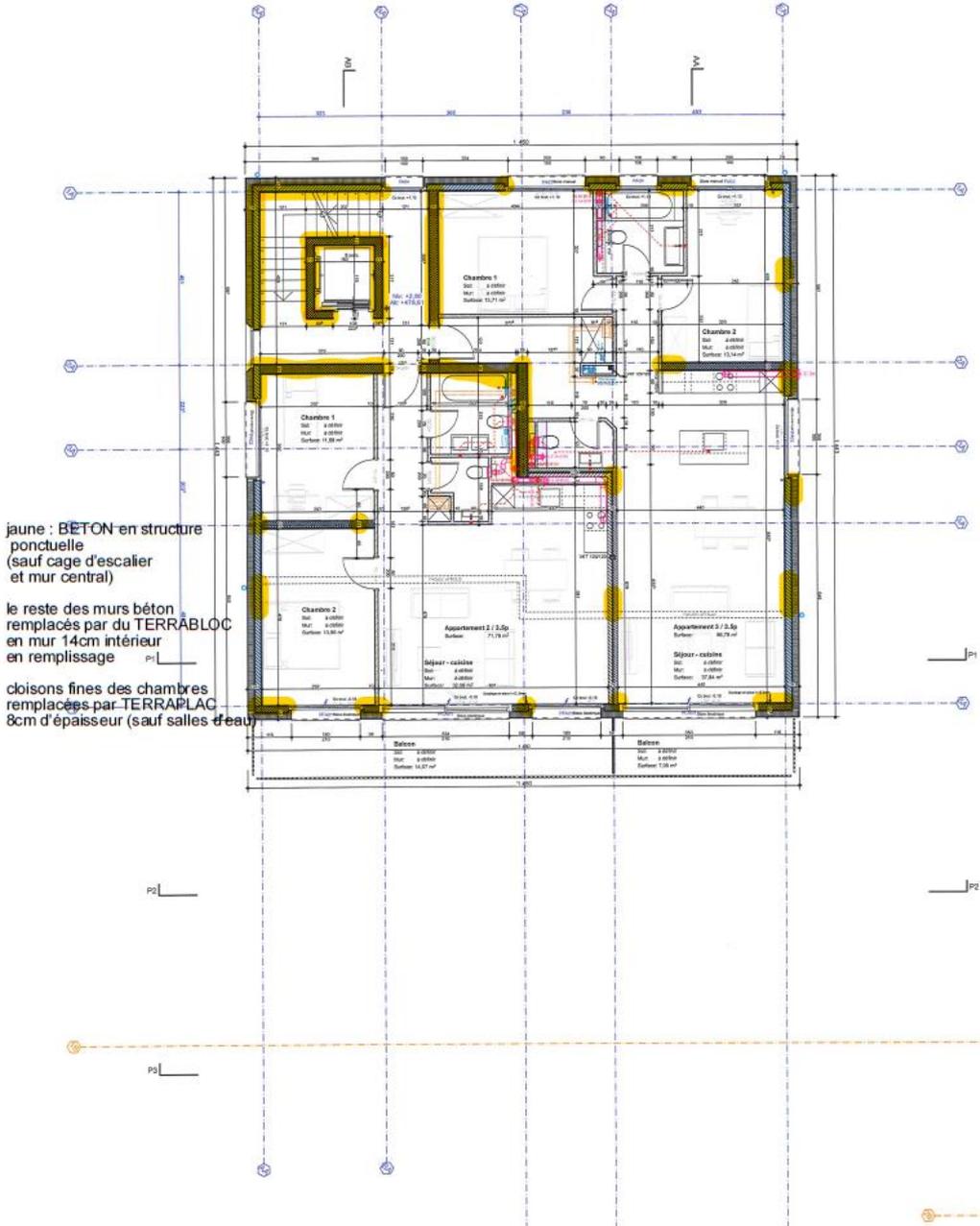


unigroup REALISATION Rue des Jordils 40 - 1025 St-tulpice tél. 021 695 60 36 - info@ugroup.ch	EXECUTION	ATTIQUE BÂT. B	ECHELLE	DATE	INDICE
			1/100	23.02.18	B

Annexe 6 : Plans des deux bâtiments avec tracés de Fernando Rodriguez

Bâtiment A



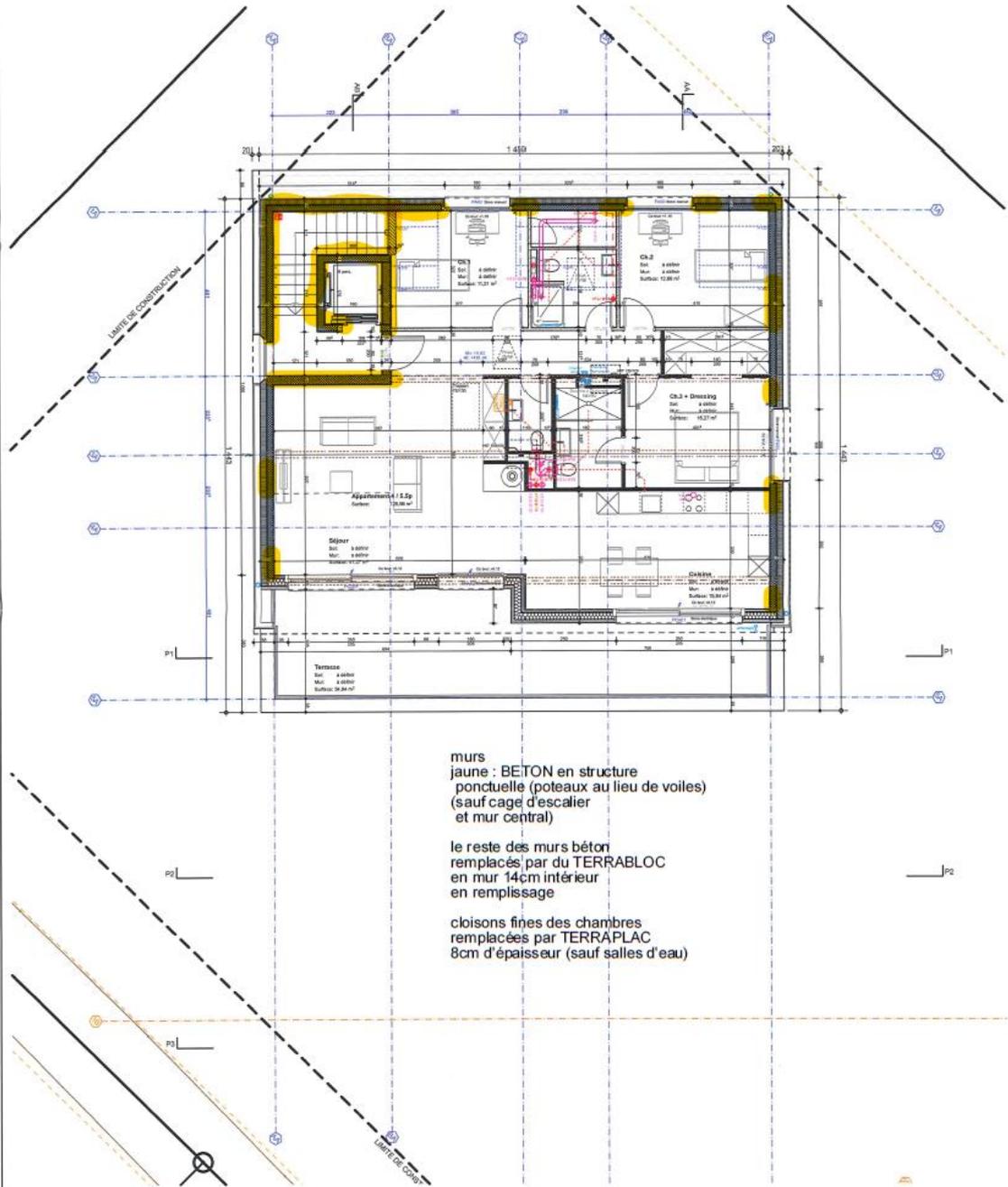


jaune : BÉTON en structure ponctuelle (sauf cage d'escalier et mur central)

le reste des murs béton remplacés par du TERRABLOC en mur 14cm intérieur en remplissage

cloisons fines des chambres remplacées par TERRAPLAST 8cm d'épaisseur (sauf salles de bain)



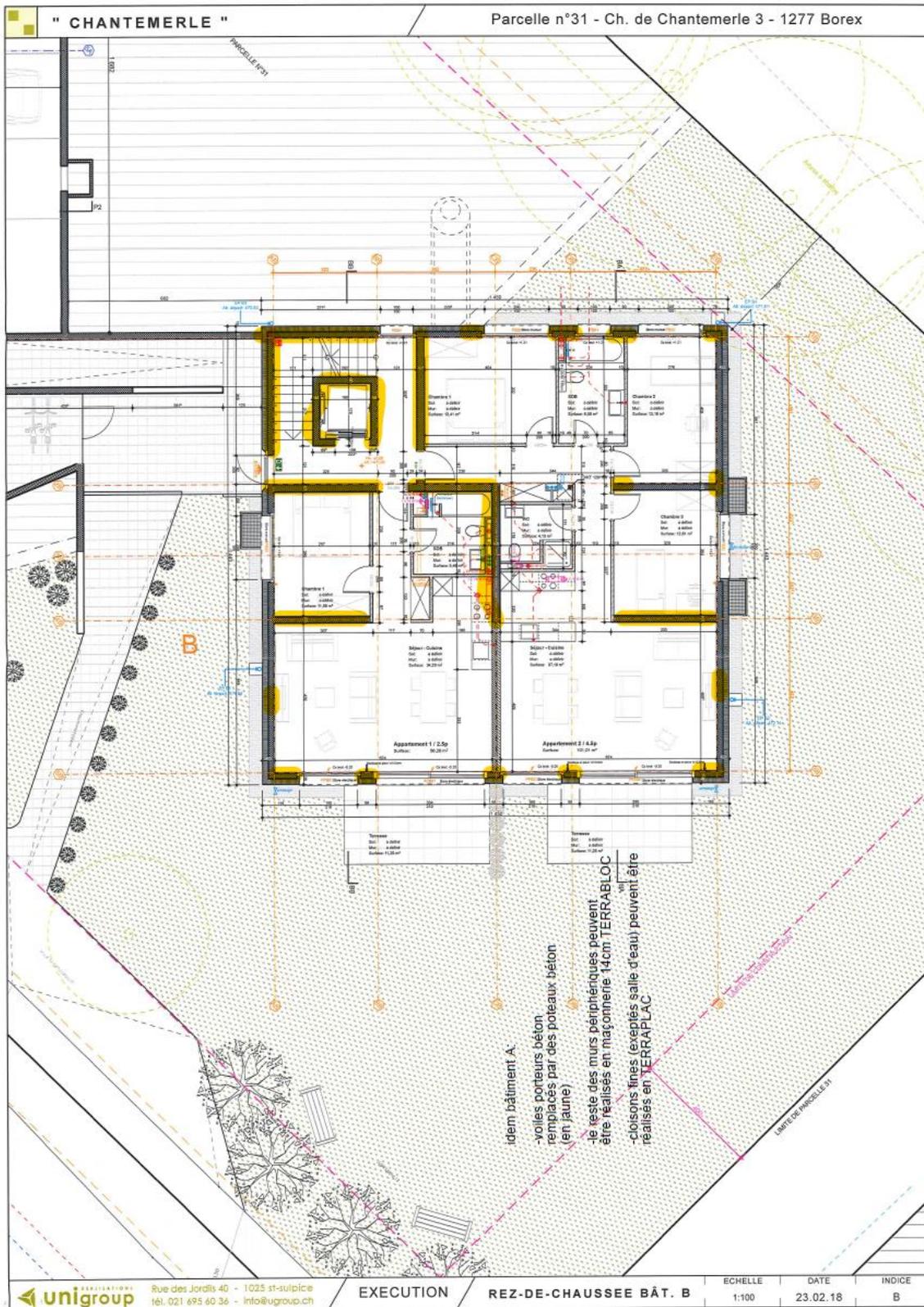


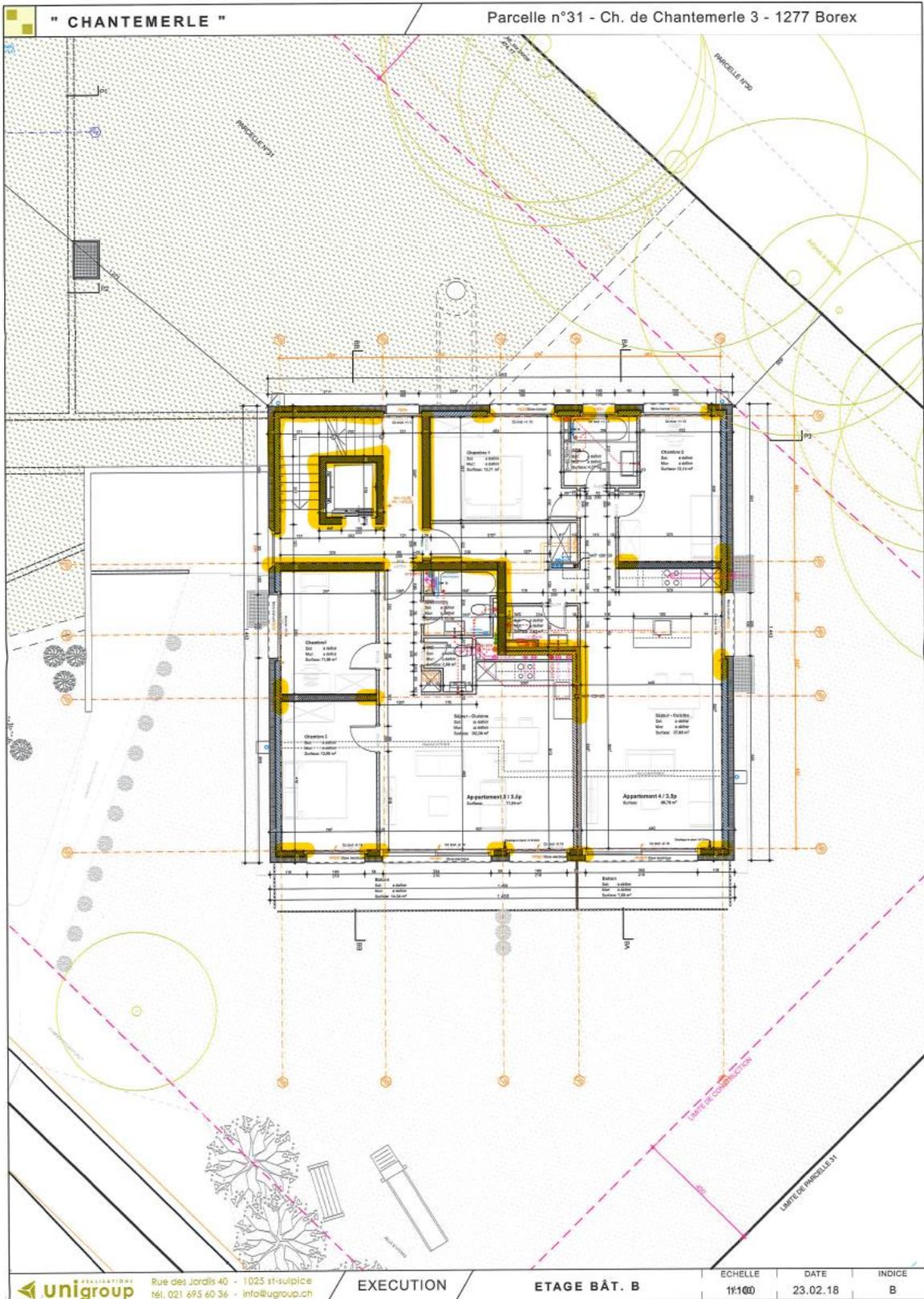
murs
jaune : BETON en structure
ponctuelle (poteaux au lieu de voiles)
(sauf cage d'escalier
et mur central)

le reste des murs béton
remplacés par du TERRABLOC
en mur 14cm intérieur
en remplissage

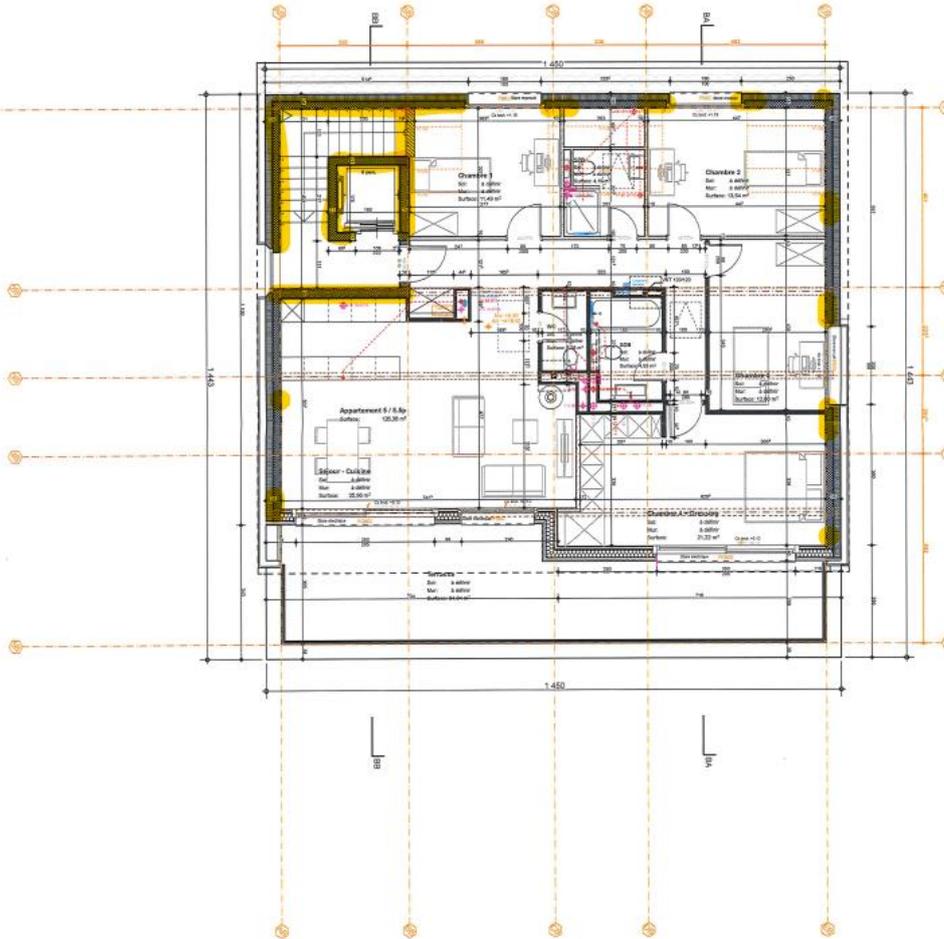
cloisons fines des chambres
remplacées par TERRAPLAC
8cm d'épaisseur (sauf salles d'eau)

Bâtiment B

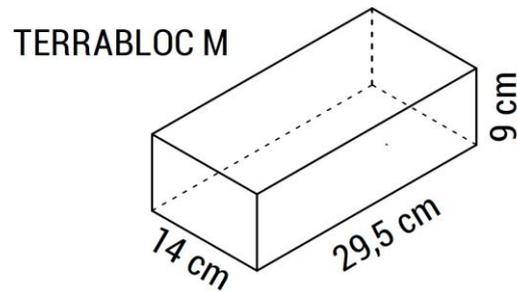




P2



Annexe 7 : Brique Terrabloc



(Source : Terrabloc, 2020)

TERRABLOC PRODUCTION INDUSTRIELLE



DESCRIPTION GÉNÉRALE

type de produit

Bloc de Terre Compressée stabilisée (BTC)

mise en oeuvre

maçonnerie traditionnelle (apparente ou enduite)

hourdage à mortier bâtards (agrémentés de terre fine de 1 à 1,5 cm)

fabricant

Terrabloc, en partenariat avec Cornaz à Allaman (VD)

conditionnement

stockage sur palette, au sec

applications

murs porteurs, murs de parement intérieur ou extérieur, cloisons intérieures, doublages

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

dimensions (longueur x largeur x épaisseur mm)

FORMAT M bloc1/1 : 29,5 x 14 x 9 [cm]

FORMAT S bloc1/1 : 25 x 12 x 6 [cm]

norme SIA EN 772 - 16 : 2000

désignation normative

valeurs déclarées

références normatives

masse volumique apparente sèche

1950 - 2000 [kg / m³]

norme SIA EN 772 - 13 : 2000

résistance en compression du bloc (après 40 jours)

> 9 [N / mm²]

norme SIA EN 772 - 1 : 2000

conductivité thermique ($\lambda_{10,27}$)

0.79 [W / mK]

norme SIA EN 1745 : 2002

réaction au feu ww

RF1 (pas de combustion au feu)
A1 (incombustible)

directives AEA1 : 2015
norme SN EN 13501-1 : 2007

isolation acoustique du mur (Rw)

(basé sur loi de masse + calcul Insul 7.0.4)

largeur du mur 29,5 cm

60 [dB] (C=-1, Ctr=-6)

largeur du mur 25 cm

55 [dB] (C=-1, Ctr=-5)

largeur du mur 14 cm

50 [dB] (C=-1, Ctr=-4)

largeur du mur 9-12 cm

45 [dB] (C=-1, Ctr=-3)

norme SIA 181 : 2006

autres références

norme Afnor XP 13 - 901, octobre 2011 (essais divers sur bloc de terre compressée)

norme SIA 266 : 2003 (constructions en Maçonnerie)

(Source : Terrabloc, 2020)

Annexe 8 : « Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016 »

MATÉRIAUX [Bibliographie treeze, version 2.2:2016]	Masse volumique / surface	Référence	UBP		
			Total	Fabrication	Elimination
			UBP	UBP	UBP
	kg/m³				
Gravier concassé	2000	kg	14.8	12.8	1.95
Sable	2000	kg	10.9	8.93	1.95
Acier d'armature	7 850	kg	2 860	2 860	0
Béton pour bâtiment (sans armature)	2 300	kg	94.3	67.3	27
Élément préfabriqué en béton, béton normal, sortie d'usine	2 500	kg	245	218	26.1
Brique en terre cuite	900	kg	217	191	25.8
Bloc de terre compressé, terrabloc	1850	kg	72	55	17

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

MATÉRIAUX [Bibliographie treeze, version 2.2:2016]	Masse volumique / surface	Référence	Emissions de gaz à effet de serre		
			Total	Fabrication	Elimination
			kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
	kg/m³				
Gravier concassé	2000	kg	0.006	0.005	0.001
Sable	2000	kg	0.004	0.003	0.001
Acier d'armature	7 850	kg	0.682	0.682	0
Béton pour bâtiment (sans armature)	2 300	kg	0.099	0.089	0.01
Élément préfabriqué en béton, béton normal, sortie d'usine	2 500	kg	0.172	0.162	0.01
Brique en terre cuite	900	kg	0.258	0.249	0.009
Bloc de terre compressé, terrabloc	1850	kg	0.062	0.053	0.009

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

MATÉRIAUX <i>[Bibliographie treeze, version 2.2:2016]</i>	Masse volumique / surface	Référence	Energie primaire		
			Globale		
			Total	Fabrication	Elimination
			kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq
	kg/m³				
Gravier concassé	2000	kg	0.048	0.041	0.007
Sable	2000	kg	0.026	0.018	0.007
Acier d'armature	7 850	kg	3.76	3.76	0
Béton pour bâtiment (sans armature)	2 300	kg	0.215	0.159	0.055
Élément préfabriqué en béton, béton normal, sortie d'usine	2 500	kg	0.58	0.526	0.054
Brique en terre cuite	900	kg	0.868	0.816	0.052
Bloc de terre compressé, terrabloc	1850	kg	0.244	0.18	0.064

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

MATÉRIAUX <i>[Bibliographie treeze, version 2.2:2016]</i>	Masse volumique / surface	Référence	Energie primaire		
			Renouvelable		
			Total	Fabrication	Elimination
			kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq
	kg/m³				
Gravier concassé	2000	kg	0.005	0.005	0
Sable	2000	kg	0.002	0.001	0
Acier d'armature	7 850	kg	0.211	0.211	0
Béton pour bâtiment (sans armature)	2 300	kg	0.013	0.012	0.002
Élément préfabriqué en béton, béton normal, sortie d'usine	2 500	kg	0.096	0.094	0.002
Brique en terre cuite	900	kg	0.078	0.076	0.002
Bloc de terre compressé, terrabloc	1850	kg	0.033	0.033	0.001

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)

MATÉRIAUX [Bibliographie treeze, version 2.2:2016]	Masse volumique / surface	Référence	Energie primaire		
			Non renouvelable (énergie grise)		
			Total	Fabrication	Elimination
			kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq
	kg/m³				
Gravier concassé	2000	kg	0.044	0.036	0.007
Sable	2000	kg	0.024	0.017	0.007
Acier d'armature	7 850	kg	3.55	3.55	0
Béton pour bâtiment (sans armature)	2 300	kg	0.201	0.148	0.054
Élément préfabriqué en béton, béton normal, sortie d'usine	2 500	kg	0.484	0.432	0.052
Brique en terre cuite	900	kg	0.791	0.74	0.051
Bloc de terre compressé, terrabloc	1850	kg	0.211	0.147	0.063

(Source : Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016)