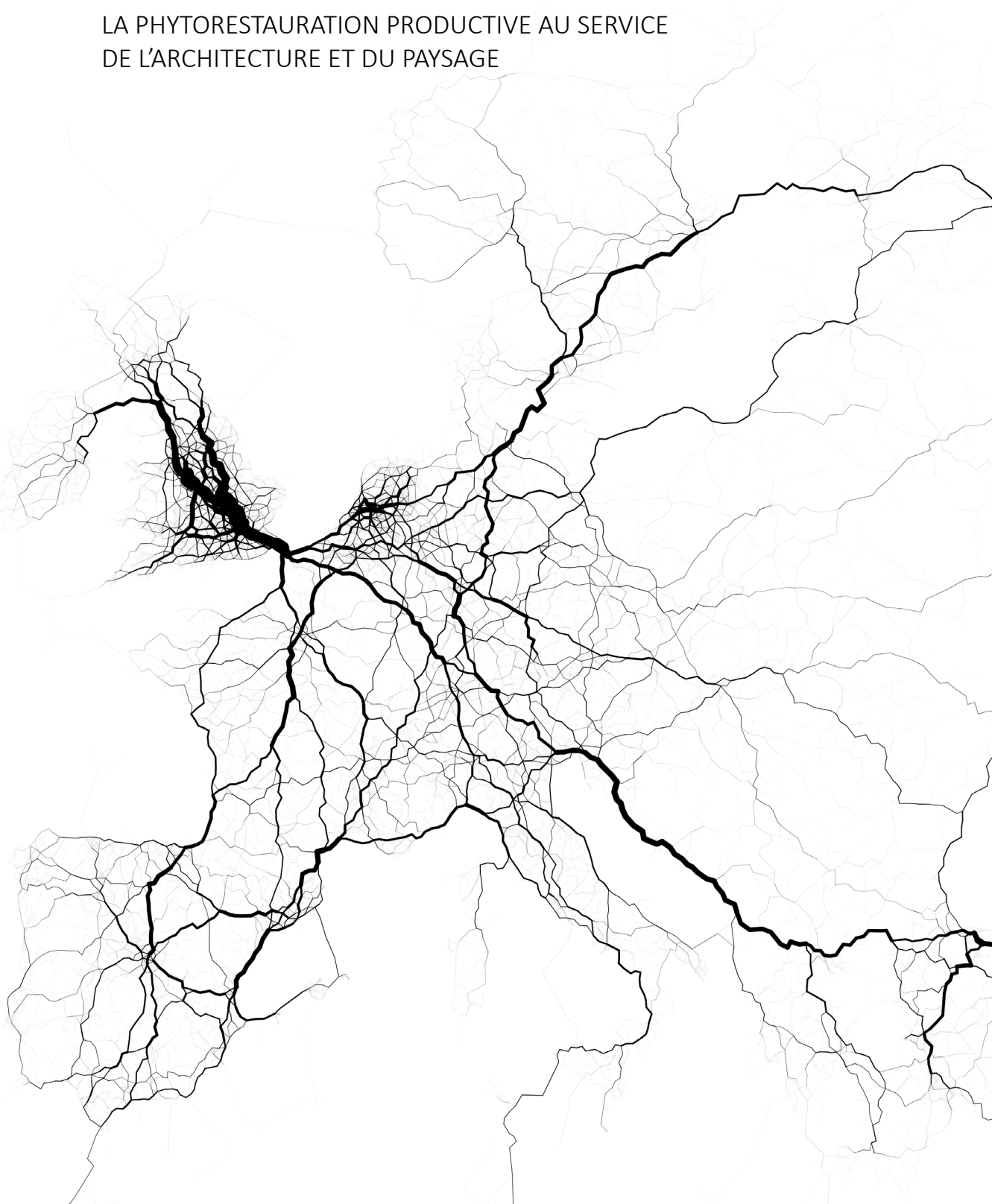
LA PHYTORESTAURATION PRODUCTIVE AU SERVICE DE L'ARCHITECTURE ET DU PAYSAGE



LA PHYTORESTAURATION PRODUCTIVE AU SERVICE DE L'ARCHITECTURE ET DU PAYSAGE

Travail de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme d'architecte

Arthur Gielczynski

Référent interne :
Monsieur Pauporté Elie

Expert Externe :
Monsieur Hénocq Adrien

Professeurs datelier :
O.Camus, D.Fache, A.Hautecoeur, C.Salembier, Q.Wilbaux

Université Catholique de Louvain-la-Neuve, Faculté d'architecture,
d'ingénierie architecturale et d'urbanisme, UCL LOCI Tournai.
Année Académique 2020 - 2021

Couverture : Le système racinaire Européen
(illustration : European travel patterns, par Eric Fischer, 2011*)*

Avant de débuter, je souhaiterais remercier particulièrement :

Elie Pauporté, mon promoteur, pour son suivi et son engagement depuis les prémices de ce travail, ainsi que pour ses conseils qui m'ont permis de mener à bien cet écrit.

Les professeurs d'atelier, Olivier Camus, Dimitri Fache, Chloé Salembier, Quentin Wilbaux et Augustin Hautcoeur pour les conseils qu'ils m'ont donnés et les nombreux échanges que nous avons eu stout le long de cette année, qui ont amené ce projet à ce qu'il est.

L'ensemble des professeurs de l'école d'architecture LOCI, qui m'ont donné les outils et la maturité nécessaire pour arriver où j'en suis aujourd'hui.

Mon expert externe, Adrien Henocq, pour les discussions que nous avons pu avoir et qui m'ont aidé à prendre des décisions et à ancrer ce projet dans le réel.

Je voudrais aussi saluer Clara, Kevin et Oscar, ainsi que mes parents pour leur soutien et leur bonne humeur.

Et à vous, lecteurs, qui donnez sens à ce travail qui, je l'espère, vous inspirera.

Bonne lecture !

L’architecture évolue au cours des siècles, s’adaptant aux enjeux de chaque ère. Il semble qu’aujourd’hui l’architecture soit marquée par une nouvelle ambition, celle de répondre à la crise climatique.

Mon mémoire tend à engager ce futur pour aller vers un urbanisme et une architecture écologique et durable.

Mes études m’ont permis d’acquérir un regard esthétique et critique sur la ville qui nous entoure. Etant originaire de Lille, c’est une ville que j’ai souvent questionnée. Aujourd’hui, ce mémoire s’interroge sur les opportunités que nous offrent les friches industrielles pour repenser le paysage urbain notamment pour la métropole lilloise

A Lille ou aux alentours, j’ai pu explorer certaines friches, que ce soit à l’occasion d’expositions ou d’évènements dans des lieux réaffectés, ou simplement de balades, leur potentiel paysager et architectural me fascine. Ces lieux créent des espaces atypiques et poétiques en cœur de villes, connectés à l’urbain et à son histoire.

Depuis la fin de l’ère industrielle, de nouveaux espaces en mutation ont vu le jour. Souvent délaissés et pollués, certains sont encore en attente de reconversion. Ces friches laissent place à des lieux de « respirations » dans nos villes denses et perméables. Elles sont une réelle opportunité de repenser le paysage mais aussi pour lutter contre le dérèglement climatique et produire de nouvelles ressources en ville suivant le modèle de l’économie circulaire, peut-être pour ainsi produire la ville de demain.

Mais la pollution des sols est une menace pour notre santé et celle de la biodiversité. Il faut donc dépolluer ces sites avant leur reconversion. La méthode la plus utilisée est l’excavation, qui est une technique à l’image de notre société : l’Homme pollue et dégrade la terre puis il la dépollue en créant de nouvelles pollutions. Nous ne sommes plus prêts à attendre pour permettre à la terre de se régénérer en utilisant des méthodes naturelles et non polluantes, nous voulons consommer et construire vite pour répondre à la demande toujours croissante.

Ce mémoire a pour but d’ouvrir les portes vers une autre méthode plus en lien avec le vivant : la phytorestauration. Cette méthode permet au sol de se régénérer naturellement grâce à des plantes vivantes. Elle consiste en une reconstitution, une régénération progressive, et s’intègre dans le paysage urbain en limitant le phénomène « d’ilot de chaleur ». Ainsi, elle suit les nouveaux mouvements symbiotiques qui s’inspirent des écosystèmes naturels.

Cette méthode permet la dépollution des sols et l’intégration paysagère mais aussi la production de nouvelles ressources en ville : Ces plantes produisent de la biomasse qui peut être traitée et recyclée, par exemple en éco-matériaux (matériaux biosourcés), ou en énergie (chaudière à biomasse ou méthanisation).

La terre et les plantes épuratrices sont alors considérées comme des ressources et non comme des déchets.

«La ville du XIXe siècle a été bouleversée par la révolution industrielle, celle du XXe siècle a été marquée par de grandes interrogations sociales. La ville contemporaine, tout en étant confrontée à la permanence des questions économiques et sociales, est désormais marquée par une ambition nouvelle de respect et d'intégration dans l'espace naturel.»[1]

Françoise de Mazière, 2009

1 Françoise de Mazière, *Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable,* Actes Sud/Cité de l'architecture & du patrimoine, 2009

AVANT PROPOS 7

INTRODUCTION 13

PARTIE 1. LA METROPOLE LILLOISE, UN HERITAGE INDUSTRIEL EN FRICHE 19

Chapitre 1. La métropole lilloise au temps de l'industrialisation 21
1. La ville industrielle
2. Les axes de la métropole Lilloise : La Deûle et les voies ferrées
3. Saint-André-lez-Lille et l'industrie Kuhlmann
4. Le début du problème de pollution

Chapitre 2. Un paysage en friche 39
1. Le déclin suivi du démantèlement
2. Des sols pollués
3. Les friches industrielles, des espaces inexploités en villes
4. Les traces du passé

Chapitre 3. Une opportunité pour repenser le paysage urbain et sa mixité 51
1. Une ville en pleine reconversion, politique de la métropole Lilloise
2. Reconquête des bords de Deûle
3. Composer avec l'existant
4. Un obstacle à la reconquête

PARTIE 2. LA PHYTORESTAURATION PRODUCTIVE ET LE PAYSAGE URBAIN 63

Chapitre 1. La phytorestauration et le paysage 65
1. Les types et des risques de pollution des sols
2. La phytorestauration, la dépollution du sol par les plantes
Etude de cas 1. Tchernobyl (Ukraine)
3. Un paysage dépolluant
Etude de cas 2. Parc phyto-épuratif du chemin de l'ile de Nanterre (France)
4. La phytorestauration productive

Chapitre 2. Valorisation des plantes phytorestauratrices 95
1. Traitements des plantes phytorestauratrices
2. Valorisation des plantes phytorestauratrices

Chapitre 3. L'architecture biosourcée 107
1. Une démarche holistique
2. Atmosphère et matière
Etude de cas 3. Chapelle funéraire, Aalen (Allemagne)
3. Entre low-tech et high-tech
Etude de cas 4. Bureaux de Loire-Atlantique Développement, Nantes (France)
Etude de cas5. Salle polyvalente Grémaux, Baillet Laurent, Lezennes (France)
Etude de cas 6. Médiathèques, Studio A&P – Elsa Liverani, Givenchy-en Gohelle (France)

PARTIE 3. SAINT-ANDRE-LEZ-LILLE, ENTRE PAYSAGE ET PRODUCTION 127

Chapitre 1. Le canal de la Deûle et de la Marque au cœur des stratégies territoriales. 129
1. Une stratégie de dépollution et de production pour la métropole
2. Une stratégie paysagère pour la métropole
3. La phytorestauration comme vecteur temporel et spatial

Chapitre 2. Echelle du parc et de la commune 139
1. Composer avec l'existant
2. Le phasage du projet

Chapitre 3. Architecture, production et paysage 165

CONCLUSION 175

SOURCES 181

* Sauf indication contraire, tous les plans présentés sont orientés nord.

L'urgence climatique remet en question notre manière de penser la construction depuis maintenant plus d'un siècle. Le respect de l'environnement devient une donnée essentielle et incontournable de l'architecture. Elle nous fait nous poser la question de la durabilité, que ce soit dans notre façon de produire, d'utiliser ou de transformer la matière en matériaux de construction. Mais aussi pour concevoir un bâtiment le moins polluant possible lors de son usage et que, une fois sa vie terminée, il soit possible de le recycler.

Le bâtiment ne se traite plus comme un élément indépendant de son environnement, mais comme son prolongement. Penser le bâtiment avec le lieu et la culture locale amène à travailler de manière soutenable et apporte un grand nombre de réponses économiques et sociales. C'est pour cela que dans le cadre de l'écoconstruction, l'approche holistique, semble être la plus appropriée pour répondre aux enjeux climatiques.

Les matériaux biosourcés incarnent de nos jours un engouement renaissant. Autrefois, ils étaient utilisés de manière presque systématique, en raison de leur disponibilité locale et pour leur facilité de mise en œuvre. Ils présentent aussi de très bonnes caractéristiques structurelles et thermiques souvent oubliées. Ces matériaux ont été un moment délaissés avec l'arrivée de l'ère industrielle. L'acier, le verre et le béton sont devenus les nouveaux matériaux de prédilection, symboles d'une économie à la croissance effrénée et à l'impact environnemental très lourd. Additionnée à cela, la démographie mondiale augmentant inexorablement, la construction de logements et d'équipements devra elle aussi augmenter. Cela nous pousse à trouver des solutions pour répondre à cette crise environnementale, comme par exemple, l'utilisation de matériaux biosourcés.

L'ère industrielle ne nous a pas seulement laissé une manière de construire, mais aussi de nombreuses traces physiques au niveau des villes, que ce soit sur ou dans le sol.

La pollution des sols touche principalement les anciennes villes fortement industrialisées comme celle de la métropole Lilloise. En effet, la métropole Lilloise a longtemps été un haut lieu de l'industrie en France et en Europe, leader dans de nombreux secteurs comme le textile ou la chimie. Mais depuis plusieurs décennies, elle connaît l'arrêt progressif de ses activités, laissant place à de vastes friches au cœur des villes, aux sols fortement pollués. Le traitement et la reconversion de ces grands espaces sont un véritable enjeu environnemental pour la métropole.

La dépollution de ces friches est complexe, coûteuse et demande beaucoup d'énergie. Surtout quand elle consiste à excaver les sols pollués et les exporter, parfois jusqu'à des pays étrangers pour son traitement. Une solution se développe depuis plusieurs années, celle de dépolluer les sols par la phytorestauration, c'est-à-dire, de dépolluer les sols à l'aide de plantes. Cette technique permet de dépolluer à moindre coût tant économique qu'énergétique. Certes, ce traitement est beaucoup plus long, mais il offre de nombreuses opportunités lors de son processus, comme créer de nouveaux paysages urbains, évolutifs, pouvant se qualifier d'écologiques et de productifs.

Dans ce TFE, nous allons essayer d'aller plus loin, en trouvant encore d'autres utilités à la dépollution des sols par la phytorestauration. Nous allons voir qu'au-delà de la dépollution, il est possible de valoriser ces plantes, post-dépollution. Car il se trouve que certaines de ces plantes dépolluantes sont aussi d'excellents matériaux de construction. Alors pourquoi ne pas construire à l'aide de matériaux biosourcés ayant servis à dépolluer le sol sur lequel ils ont poussé.

Il faut bien saisir que l'utilisation de matériaux biosourcés n'est pas apparue avec les enjeux environnementaux contemporains mais relève du vernaculaire. Si nous pouvions revenir sur des anciennes techniques de construction, celles-ci additionnées aux connaissances et à la technologie de notre époque, cela nous offrirait une alternative concrète aux techniques actuelles de construction très polluantes. Refuser l'utilisation de matériaux polluants dans la limite du possible, et favoriser l'utilisation de matériaux locaux et issus de la biomasse, sont autant d'intentions porteuses de projets d'architecture. En plus de cela, il est possible de les produire ces matériaux et de les distribuer sur un principe de circuit court, tout en les mettant en œuvre par des techniques locales et/ou issues de la préfabrication, rendant leur production et leur utilisation créatrice de dynamique sociale et économique, cela en cohérence avec un engagement écologique.

A l'échelle du territoire, ce TFE tente de répondre à la question suivante : **«Comment les friches polluées de la métropole lilloise peuvent-elles être une opportunité pour repenser le paysage urbain ?»**

La métropole Lilloise et plus précisément Saint-André-Lez-Lille est le terrain d'étude et de mise en situation pour ce travail. En effet, fort par sa situation géographique en bord de Deûle, Saint-André-Lez-Lille était un haut lieu de l'industrie chimique. Cette ville présente aujourd'hui de vastes friches de plusieurs hectares, créant de véritables dents creuses, polluées, au cœur d'une ville en pleine reconversion.

Dans un premier temps, par une lecture historique, nous étudierons l'évolution de la métropole lilloise depuis le début de l'ère industrielle, jusqu'à aujourd'hui. Cela en nous intéressant à des échelles assez larges, comme celle de l'Europe et de la région, en zoomant sur le site étudié, qui est l'ancien site industriel Kuhlmann à Saint-André-lez-Lille. Nous nous intéresserons aussi aux éléments qui ont permis et généré ce développement, comme les canaux et voies ferrées. Cette étude a aussi pour but de mieux comprendre les enjeux et problèmes qui sont apparus avec la disparition de ces grandes industries mais aussi lors de leur fonctionnement. Nous verrons aussi les différentes opportunités que nous offrent ces espaces gorgés d'histoire et l'importance même des plus petites traces du passé pour la création d'un projet d'architecture à l'image industrielle du lieu. Nous verrons la politique mise en place par la métropole lilloise (MEL) pour reconquérir ces zones délaissées et polluées, ainsi que ses limites, tout en essayant d'apporter des solutions possibles.

Dans une seconde partie, nous étudierons la phytorestauration pour son efficacité comme technique de dépollution écologique, mais aussi pour sa capacité à créer de véritables paysages en cœur de ville.

Nous explorerons les valorisations possibles de ces plantes dépolluantes, en matériaux de construction, dit "biosourcés". Ces dernières peuvent être utilisées pour construire sur ces mêmes lieux, une fois dépollués, poussant ainsi le principe de circuit court à son paroxysme. Puis, à travers différents cas d'études, nous découvrirons l'immense richesse que peuvent apporter ces matériaux en architecture, tant sur des questions structurelles, que sur des questions de qualité d'espace et d'atmosphère, grâce à la matière.

Enfin, dans une troisième et dernière partie, nous tenterons d'élaborer une stratégie paysagère et de production pour la métropole lilloise ayant pour articulation l'ancien site industriel Kuhlmann à Saint-André-Lez-Lille. Nous nous intéresserons aux friches situées au bord de la Deûle et de la Marque pour développer cette double stratégie. Nous essaierons d'établir un phasage pour que ce projet s'encre au mieux dans la réalité qu'est la dépollution par les plantes et la production de matériaux. Puis, nous y implanterons plusieurs bâtiments, aux fonctions différentes en essayant d'émettre des hypothèses d'organisation spatiale répondant au mieux à tous les enjeux engagés. Ce projet aura aussi pour but de questionner la place des zones de production en ville et la mixité des fonctions : Cela dans le but de répondre à des problématiques tel que l'emploi ou celle de la résilience en cas de crise par exemple, comme celle que nous pouvons connaître aujourd'hui. C'est aussi l'ambition de ce travail, que de proposer de nouvelles dynamiques sociales, à travers un projet mixte, alliant écologie, production, formation, le tout articulé par le paysage.

PARTIE 1. LA METROPOLE LILLOISE, UN HERITAGE INDUSTRIEL EN FRICHE

Chapitre 1. La métropole lilloise au temps de l'industrialisation

Chapitre 2. Un paysage en friche

Chapitre 3. Une opportunité pour repenser le paysage urbain et sa mixité

Pour mieux comprendre la localisation de ces friches industrielles et l'impact qu'elles ont sur l'urbanisme de la ville, j'ai cherché à retracer l'histoire de l'industrialisation de la métropole lilloise, en identifiant les moments clé de son développement mais aussi les éléments qui l'ont permis. Les choix de ces implantations ont été basés sur des stratégies purement économiques et ont modelé des quartiers voire des communes toutes entières. Les axes de transport de marchandises, tels que les canaux, sont des témoins de la transformation du territoire et de son passé. Ils sont de nos jours sujet à de nouveaux enjeux et de nouvelles stratégies s'éloignant des intérêts purement économiques. Cette analyse permettra de mieux saisir les enjeux que ces friches représentent, maintenant que ces industries ont été démantelées et que les villes se sont développées autour. Ces espaces au fort potentiel sont un sujet important pour la métropole qui se lance dans une reconquête du bord des canaux et une reconversion de ces sites laissés à l'abandon. Mais un problème récurrent revient sans cesse sur la table, celui de la pollution des sols et de leur gestion.

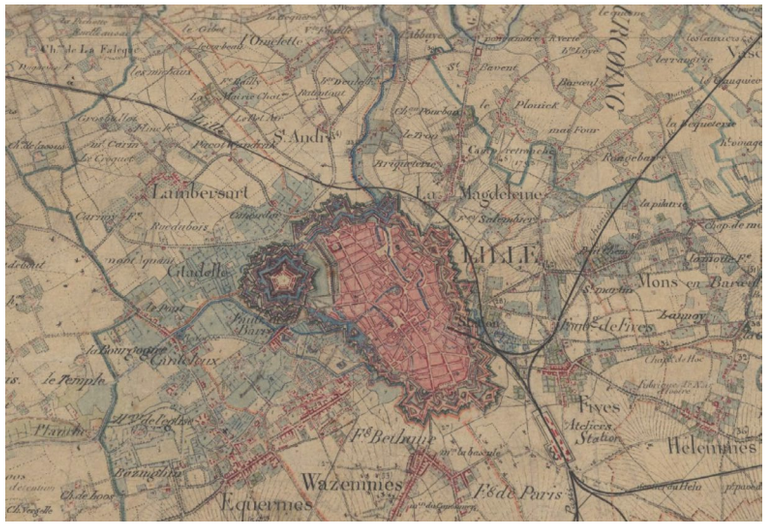
Chapitre 1. La métropole lilloise au temps de l'industrialisation

1. La ville industrielle

2. Les axes de la métropole Lilloise : La Deûle et chemins de fer

3. Saint-André-lez-Lille et l'industrie Kuhlmann

4. Le début du problème de pollution



Lille et ses fortifications autour de 1850, carte d'état-major

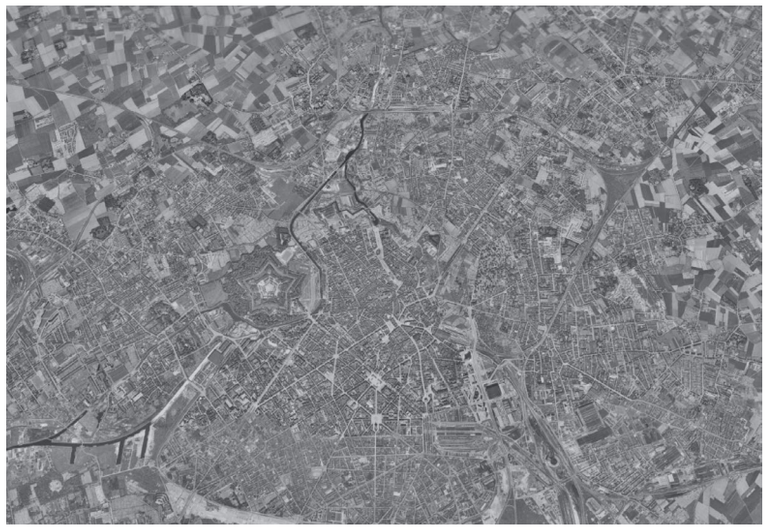
Marquette-lez-Lille et Saint-André-lez-Lille sont deux communes possédant un passé industriel très important. Nous pouvons même dire qu'elles sont nées de l'industrialisation. En effet, l'implantation généralisé des industries en bord de Deûle ou à proximité a fortement impacté la répartition démogrphique de la région, qui se concentre sur les 63 km qu'elle parcourt. Ce développement a crée un paysage industriel propre à cette région, mais cache une réalité qui apparait au cours des années.

« Liévin, Lens, Lille et indirectement Douai, Béthune, Seclin ou encore Roubaix sont des filles de la Deûle ou ont un lien de parenté avec elle. Rivière canalisée, reliant les collines de l'Artois à la Lys, via l'ex-bassin minier et la métropole lilloise, elle permet la navigation fluviale entre la Scarpe et la Lys, et s'inscrit comme débouché naturel du prochain canal Seine-Nord Europe » [1]

1. La ville industrielle

C'est au XIXe siècle que la révolution industrielle a lieu en Europe. Elle débutera en Angleterre, puis s'étendra rapidement à l'ensemble du continent, ainsi que dans le Nord-est des Etats-Unis. Elle marque le basculement de la société, passant d'un monde dominé par l'agraire et l'artisanat, à une société commerciale et industrielle. Elle se traduit par la modernisation liée à l'apparition de nouvelles énergies, ce qui a permis l'expansion des transports ferroviaires et fluviaux. Cette révolution touche l'ensemble des secteurs et vient même réformer la politique. Les grandes villes viennent accueillir de nouvelles manufactures et usines, toujours plus grandes les unes que les autres, ainsi qu'une population en pleine expansion en grande partie venant de la campagne. Cela se traduit par une transition démographique et par un exode rural, venant fortement impacter la morphologie des villes. Les usines installées à cette époque en périphérie, provoquent une augmentation de la concentration de la population dans les faubourgs des villes, ainsi que la création de nouvelles agglomérations. Car à cette époque, certaines villes comme Lille possèdent encore leurs tracés presque moyenâgeux, souvent encore encerclées de leurs fortifications et enceintes héritées de l'époque de Vauban ou encore plus anciennes. Elles étouffent et vont connaître pendant cette période des modifications majeures dans leur tracé, leur surface, leur occupation et organisation, mais aussi par rapport à leur ouverture au monde extérieur. La destruction des fortifications traduit la pensée de cette nouvelle société tournée vers l'état nation, se dirigeant peu à peu vers les débuts de la mondialisation. Le développement des moyens de communication et des transports privés sont aussi des facteurs importants dans l'ouverture des villes et dans l'évolution des tracés.

1 Francis Dudzinski, *La Deûle, Renaissance d'une rivière*, La Voix Du Nord – Les Patrimoines, Lille, 1 janvier 2011.



Photographie aérienne de Lille en 1950

Le nord de la France, par le fait de sa position géographique particulière, est au centre de cette révolution industrielle Européenne. La métropole fait le lien entre L'Angleterre, la Belgique, L'Allemagne et se développe parallèlement à ces derniers. La proximité avec le bassin minier joue aussi un rôle important dans le développement de l'industrialisation de ce secteur. Le réseau fluvial et ferroviaire replace la métropole lilloise au cœur de l'Europe et devient ainsi un véritable carrefour économique.

D'ailleurs, durant ces nombreuses années d'industrialisation, Lille et ses communes se trouvent Leader dans plusieurs secteurs, comme la chimie ou le textile.

«Entre 1850 et 1914, le fait le plus important de l'histoire de Lille est la montée irrésistible de la puissance industrielle. L'activité textile continue sur sa lancée et s'épanouit.» La mécanisation et automatisation joue un rôle important. «*La filature de coton s'impose au cœur même de Lille et dans ses nouveaux quartiers. Vers 1850, la ville compte 34 filatures utilisant près de 400 000 broches à filer et à retordre ; dès 1854 ces chiffres montent à 43 et plus de 600 000».*
"L'industrie métallique, métallurgique de transformation et mécanique devient rapidement le second fleuron de l'économie lilloise.» [2]

L'usine principale des établissements Kuhlmann se développe à la madeleine, pour très vite s'étendre aux communes de Saint-André-Lez-Lille et Marquette-lez-Lille. Elle s'étend en suivant les bords de la Deûle sur près d'un kilomètre : preuves de l'importance de ces canaux dans le développement de la région.

2 Pierrard Pierre, *La vie ouvrière à Lille sous le Second Empire*, Condé-sur-Noireau, C. Corlet, 1991, 532 p. Martine Aubry



Photographie d'époque du chargement d'une péniche à la Madeleine-lez-Lille, 1825-1847



Photographie d'époque du chargement d'un train à Saint-André-lez-Lille, 1825-1847

2. Les axes de la métropole Lilloise : La Deûle et chemins de fer

Comme vu précédemment, les grands axes de communication tels que les voies ferrées et les canaux, ont un rôle déterminant pour l'ouverture et le développement des villes. La plupart des grandes industries s'implantent à proximité de ces axes de communication afin de favoriser le transport des ressources et des produits, mais aussi pour leur approvisionnement. Ce maillage de transports redessine la région et l'organisation des villes. Parmi elle, on retrouve le canal de la Deûle, à la renommée internationale en partie pour ses problèmes de pollution, mais aussi pour avoir permis le développement de la métropole lilloise. On retrouve aussi une des plus anciennes lignes de chemin de fer de France, celle qui relie Dunkerque à Lille.

La Deûle est le berceau de l'industrie chimique. Elle est la plus grande rivière du Nord-Pas-de-Calais. On y retrouve la plus forte densité urbaine de la Région en ses bords, suivant son parcours sur sa longueur de 63 km. Elle traverse du nord au sud, Wambrechies, Marquette, Saint-André, La Madeleine, Lille et Loos. Et a ainsi permis aux différentes industries de s'y implanter en marquant de nos jours l'image de la ville. Ce canal est un affluent de la Lys et un sous-affluent de l'Escaut. En quelque sorte, il permet la connexion entre le Canal du Nord (vers Paris) au delta de l'Aa (Calais, Dunkerque qui donne vers l'Angleterre et les pays du nord) ainsi que vers la Belgique (vers Courtrai et Tournai) et les Pays-Bas.



évolution du canal de la Deûle, 1847-1970

Mais tous ces aménagements ne se sont pas faits du jour au lendemain, de nombreuses étapes ont été nécessaires pour arriver à la Deûle que nous connaissons aujourd'hui. La canalisation de la rivière est initiée au XIIIe siècle. Des chemins de halage en ses bords, ont été prévus pour tirer les péniches avant l'arrivée des moteurs thermiques. Plusieurs grandes étapes ont marqué l'évolution de cette rivière : au XVe siècle, elle retrouve sa profondeur d'origine suite à de lourds travaux. Au XVIIe siècle, la Deûle est reliée à la Scarpe grâce à Vauban, mais elle reste difficilement navigable malgré de nombreux travaux effectués au cours du XVIIIe siècle. Ce n'est qu'au milieu du XIXe siècle que la situation s'améliore, par le développement industriel et commercial de la région qui augmente fortement la navigation sur la Deûle. Il devient alors nécessaire de l'élargir et gommer certains méandres difficilement négociables. Les besoins en charbon importé depuis le bassin minier, pour le fonctionnement des industries chimiques et de textiles de la métropole lilloise, forcent à une meilleure utilisation de la rivière. Frédéric Kuhlmann est l'un des principaux importateurs de produits miniers. Il aura un rôle important dans la conception des tracés des canaux et des lignes de chemin de fer de la région.

« L'amélioration des canaux, leur approfondissement, la réalisation des ouvrages d'art, l'empierrement des chemins de halage, la traction à vapeur, la tarification des transports fluviaux : tout fut l'objet de sa part d'interventions actives à tous niveaux »[1].

Jean-Etienne Léger, 1988

À cette époque, le canal a clairement un rôle uniquement économique : autoroute fluviale, réserve d'eau pour les usines, même ses rives bâties sont pratiquement entièrement utilisées pour l'installation d'usines et de quais de chargement. Même si on le voulait, à cette époque, il semble inconcevable d'utiliser ce cours d'eau pour une autre fonction que l'industrie. Étant donné la pollution et l'affectation des berges, l'utilisation pour un rôle de loisir ou vivrier semble exclue. Mais à l'ère de l'industrialisation, les soucis environnementaux sont encore loin des esprits.[2]

1 Jean-Etienne Léger, *Une grande entreprise dans la chimie française : Kuhlmann 1825-1982*, 1988
2 https://www.marquettelezlille.fr/ Kulhmann, un épisode sur la Deûle.

Vers Bruges / Ostende

La Deûle

Le Canal de Roubaix

Vers Bruxelles / Anvers

Marquette-lez-Lille

La Marque

Site industriel
Kuhlmann

Saint-André-lez-Lille

Vers Calais / Dunkerque

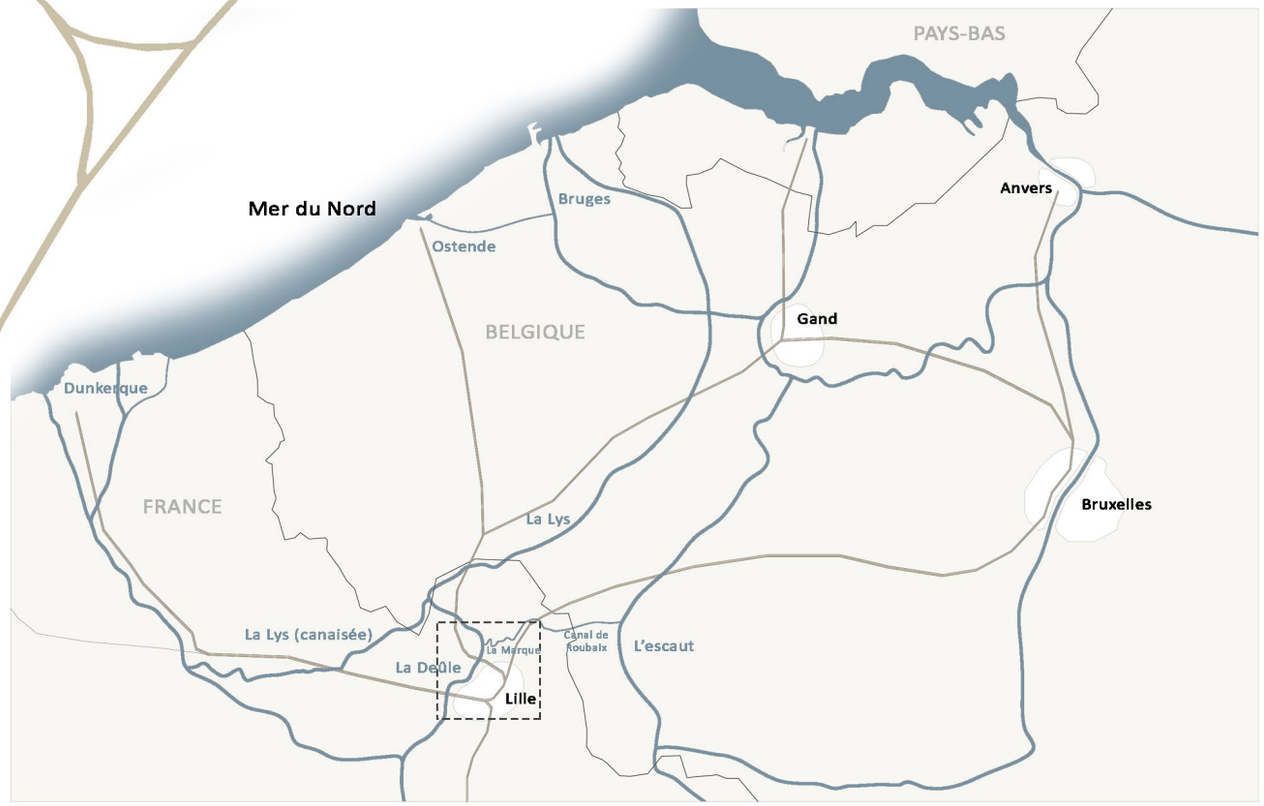
La Madeleine

Lille

Vers Paris

Canaux et voies ferrées de la métropole lilloise
(source : Géoportail)

Canaux et voies ferrées du nord de la France, de la Belgique et des Pays-Bas





L'usine Kuhlmann en 1852, Jonekhèere-Tonnelier



Situation de l'usine Kuhlmann en 1847

3. Saint-André-lez-Lille et l'industrie Kuhlmann

« Né avec le siècle, à une époque où, dans la première industrialisation, l'industrie chimique n'était qu'une activité annexe et marginale, Kuhlmann vécut assez longtemps pour la voir devenue une industrie lourde, élément fondamental de la seconde industrialisation. Entre le petit atelier de Loos de 1825 et les puissantes installations couvrant des dizaines d'hectares d'une des plus puissantes sociétés chimiques françaises, le chemin parcouru avait été considérable »[1]

Thépot André, Avril-juin 1985.

En 1847, une petite usine de production d'acide sulfurique, de sulfate de soude, d'alumine et de chlorure de chaux est construite à La Madeleine-lez-Lille par Frédéric Kuhlmann. Dès 1852, l'usine se développe énormément en investissant l'autre rive de la Deûle sur le territoire de Saint-André-lez-Lille pour produire de l'acide nitrique et de la soude. Très vite, cette industrie s'agrandit encore en atteignant 7 hectares et élargie sa production au silicate, au sel de Glauber et au sulfate de potasse. La Deûle qui était une contrainte, car elle divisait l'usine en deux, devient un élément fort par la construction de quais de chargement et la construction d'un pont reliant les deux sites. En 1914, cette industrie grandit encore, alors qu'elle représente déjà 27 hectares en bord de Deûle, sur près d'un kilomètre.

En 1937, sur les 485 hectares que compte la commune, il ne restait que 50 % de labours et de pâturages contre 95 % en 1830. La ville a explosé, poussée par l'industrie.
Via le canal de la Deûle, le site à Saint-André-lez-Lille communique avec ses filiales et autres usines de la société, mais aussi avec la Belgique et la région parisienne. La majeure partie de ses importations et exportations peut être ainsi transportée par la voie fluviale. Ce site est également relié à la gare de La Madeleine et dispose d'une dizaine de km de voie ferrée.

1 Thépot André, Frédéric Kuhlmann : *industriel et notable du Nord, 1803-1881*, Revue du Nord, tome 67, n°265, Avril-juin 1985.



L'usine Kuhlmann en 1956



Situation de l'usine Kuhlmann en 1956

C'est aussi en 1937 que l'architecture industrielle commence à être marquante, des ateliers spectaculaires sont construits par l'architecte Charles Vollery. Ils seront l'image de l'usine pendant presque 50 ans. Ils furent remarqués par Richard Klein (historien de l'architecture) en affirmant le changement esthétique de l'architecture industrielle à cette époque.

« Le grand bâtiment central, haut d'une cinquantaine de mètres, est constitué de deux travées couvertes de voûtes surbaissées et d'un bloc tourné vers le canal dont une des sections verticales désigne l'entrée en formant une façade principale. Si l'aspect des volumes est en grande partie dicté par les contraintes de la production, la platitude volontaire des façades accentue l'effet de transparence d'une construction pourtant relativement fermée. Les découpages des vitrages sont liés aux perceptions tant lointaines que proches de l'édifice, les sections verticales sont divisées horizontalement, formant ainsi un socle, alors que l'ordre « industriel » du corps principal est souligné par une division qui renforce sa verticalité »[2]

Richard Klein, 1937

Le préfet, en date du 4 septembre 1970, autorise la Société Dekachimie à procéder à l'extension de son usine de La Madeleine sur le territoire de la commune de Saint-André, considérant que les Ets Dekachimie par lettre du 20 juillet 1970 ont pris l'engagement de ne plus procéder à d'autres extensions de leurs activités à l'emplacement actuel de l'usine.

L'implantation de cette usine change considérablement l'économie de Saint-André, c'est une véritable ville usine. De nombreuses habitations sont construites autour du site, afin de loger les ouvriers. À son apogée, l'usine emploie plus de 1 000 personnes : ce qui est énorme pour cette commune qui compte au début du XXe siècle environ 3 500 habitants. On peut dire que l'industrialisation est à l'origine du développement de Saint-André-lez-Lille et Marquette-lez-Lille avec l'usine comme cœur.

2 Richard Klein, revue Faces, mars 1937



Industrie Kuhlmann, côté Saint-André-lez-Lille, 1961

4. Le début du problème de pollution

« On ne peut songer à fermer ces usines indispensables à la défense Nationale et qui occupent un très grand nombre d'ouvriers, mais on devrait au moins obtenir de la Direction qu'elle réserve les fabrications pouvant donner lieu à des émanations de gaz nocifs, délétères ou nauséabonds, à des usines situées loin de toute agglomération, et qu'elle les évite dans ses usines édifiées au milieu des populations laborieuses et denses de Marquette, la Madeleine, Saint-André et Marcq »[1]

« Ces industries de par la nature de leurs fabrications, causent des plus graves dommages, en portant atteinte à la santé des habitants du populeux quartier de l'Abbaye, et en causant à leur récoltes jardinières un préjudice considérable qui lèse fortement leurs intérêts »[2]

« En 1970, un livre de géographie japonais évoque même la situation de la Deûle pour illustrer la pollution des rivières en France »[3]

« Lille, tu pues de la Deûle ! »[3]

« La dépollution de la Deûle est accélérée par un élément inattendu du fait de son ampleur : la désindustrialisation »[3]

Dans la première partie de la révolution industrielle, les problèmes de pollution et de nocivité pour la santé étaient encore méconnus ou en tout cas rarement pris en compte dans l'aménagement des industries. Les installations ayant pour but de réduire les émissions de pollution étaient encore peu développées et peu utilisées, les effets néfastes liés à une forte exposition à des polluants, et cela, pendant une longue durée, étaient encore peu observables. Ce n'est que dans la première partie du XXe siècle que l'on commence à soulever ces problèmes de pollution et de nocivité, car les usines sont pratiquement à leur apogée. Mais ce qui déclenche cette prise de conscience est la proximité des usines et des habitations, qui se sont fortement densifiées à proximité de l'usine. Et que ces industries se mêlent à l'agriculture de par leur proximité. On commence alors à observer les premiers préjudices sur l'environnement et sur la santé, en faisant rapidement le lien de cause à effet. Mais maintenant que tout est construit, comment réagir ? Pour l'industrie Kuhlmann, la première solution a été d'ériger deux cheminées de 80 m de hauteur, dans le but de moins impacter les alentours avec les rejets. À cette époque, on commence aussi à développer les premiers filtres à fumées, pour essayer de diminuer les rejets dans l'atmosphère, mais les rejets dans la rivière de la Deûle et les contaminations du sol restent considérables.

La directive européenne Seveso apparaît en 1982, suite à la catastrophe qui a eu lieu en Italie en 1976. Cette directive impose l'identification des sites industriels présentant des risques, afin de prévenir tout accident. Le quartier de l'abbaye est particulièrement impacté par cette directive qui impose une zone de protection de 500 m autour de l'usine. De 1986 à 1995 l'usine continue à se développer par l'installation de nouveaux équipements. Ces directives, ont été mises en place dans le but de protéger les habitants des alentours en cas de catastrophe, mais les protègent aussi des pollutions émises par les usines.

1 Becquart, Député du Nord, le 17 août 1939.
2 Conseil municipal de Marquette, le 20 juin 1930.

3 Kuhlmann, épisode sur la Deûle - Expo JEP 2020 #18

« Au stade avancé de la production de masse, une société produit sa propre destruction »[1]

Ivan Illich, 1973

1 Ivan Illich, *La Convivialité*, éditions deu seuil, Paris, 1973.

Chapitre 2. Un paysage en friche

1. Le déclin suivi du démentèlement

2. Des sols pollués

3. Les friches industrielles, des espaces inexploités en ville

4. Les traces du passé



Site industriel Kuhlmann à son apogée en 1970

1. Le déclin suivi du démantèlement

Dans la deuxième moitié du XXe siècle, l'ère industrielle commence à toucher à sa fin en Europe et aux États-Unis. Les pays développés commencent à s'orienter vers une économie de service avec l'arrivée de l'informatique. On peut qualifier cette nouvelle orientation de troisième révolution industrielle. Les usines et manufactures sont délocalisées hors des villes, voire même vers d'autres pays, pour la plupart émergents.

Pour la métropole lilloise, le déclin débute dans les années 50. En 20 ans, 11 % de l'emploi salarié industriel régional est détruit. Les grandes industries se restructurent et le patronat délocalise les activités avant, souvent, de décider la fermeture des sites de production. Face à ce problème qui semble inévitable, les luttes ouvrières apparaissent bien impuissantes pour endiguer la crise. En parallèle, le tertiaire apparaît et tout particulièrement dans la métropole : en 1961, l'une des premières grandes surfaces de France est ouverte à Roubaix, sonnant le début de la grande distribution. Les grandes familles du textile et d'autres, commencent à tourner leurs activités vers le commerce de détail. Entre 1975 et 2012 dans l'agglomération lilloise, l'emploi industriel passe de 39.6 % à 9 % et l'emploi tertiaire passe de 52.2 % à 87 %, provoqué par l'apparition des nouvelles technologies. Les chocs pétroliers de 1973 et 1979, scellent pour de bon l'avenir des industries qui sont fortement impactées par l'augmentation du coût de l'énergie.[1]

La quasi-totalité des sites industriels situés en ville ferme leurs portes à la fin du XXe siècle, laissant place à de grands espaces vides, souvent au milieu de zones très urbanisées. Ils offrent une véritable opportunité pour repenser la ville, son urbanisme, ses activités ou ses logements. Mais la reconversion de ces friches industrielles soulève une problématique environnementale récurrente, pouvant être qualifiée de mondiale, celle de la pollution des sols, du fait des décennies de production.

1 Fabien Eloire - Antonio Delfini, *La trajectoire économique de l'agglomération lilloise*, 13 juin 2016



Site industriel Kuhlmann en 2007

L'industrie Kuhlmann est l'exemple parfait pour illustrer l'ère industrielle et son déclin, ainsi que les problèmes et opportunités qui en découlent. C'était une des plus grandes et des plus anciennes usines de la métropole, et elle était un site de production utilisant des produits à risque pour l'homme et l'environnement. Ce site est maintenant positionné dans une zone urbanisée et en plein développement. Sa position fait que de nos jours, ce site est au cœur de la politique de reconversion initié par Lille Métropole.

En 1971, l'industrie Ugine Kuhlmann fusionne avec la compagnie Pechiney donnant naissance à Pechiney-Ugine-Kuhlmann (PUK). Au début des années 70, deux éléments marquent le début du déclin pour cette ville usine. Premièrement, les ateliers de production d'engrais deviennent la propriété de la Générale des Engrais, suivi par le premier choc pétrolier. La situation financière de l'usine se dégrade et son chiffre d'affaires s'effondre. S'en suit le début du démantèlement, par la destruction du bâtiment repaire de l'usine, haut de plus de 50 mètres. Fin 1979, l'usine emploie encore plus de 1000 personnes. Mais le groupe PUK éclate au début des années 80. La nationalisation de la chimie française sonne la fin de l'industrie Kuhlmann. L'usine est cédée à Rhône-Poulenc.

De 1980 à 1995 l'usine continue à se développer par l'installation de nouveaux équipements, s'adaptant au marché et aux nouvelles normes en vigueur. Mais en parallèle, d'autres activités s'arrêtent au fur et à mesure des années. En 2001, l'usine n'emploie plus que 100 personnes et annonce la fermeture du site pour décembre 2005.

L'année 2007 marque la fin définitive de Kuhlmann avec la destruction des 2 cheminées de 80 m de haut, considérées comme le symbole de cette usine, tout en jouant le rôle de Landmark.

La fin de cette ère laisse place à une grande friche, vide, réouvrant le paysage, changeant l'environnement du lieu, où l'échelle du site redevient perceptible. L'idée de nouveaux projets commence à apparaitre, mais toujours en étant très attachée à cette industrie qui fait maintenant partie du passé, de l'histoire. La reconquête des bords de Deûle redevient possible.



Taux et répartition de la pollution sur la friche industrielle Kuhlmann

2. Des sols pollués

Ces industries ont laissé derrière elles des traces invisibles mais pourtant bien présentes et pour le moins assez dangereuses pour l'Homme et la nature. En effet, ces usines ayant fonctionné pendant plus d'un siècle, elles ont libéré une quantité énorme de polluants de toutes sortes et sous différentes formes. Le fait est, qu'une grande partie de ces polluants se retrouve piégée dans le sol, parfois très profondément et cela avec les conséquences qui en découlent, telle que la contamination des nappes phréatiques ou des rivières.

Cette pollution est peu dérangeante tant que ces zones restent à l'état de friches abandonnées et interdites au public. Mais quand il s'agit de les réhabiliter, ces sols deviennent un véritable problème à résoudre, représentant parfois des milliers de m3 de terre polluée par des dizaines d'agents chimiques très nocifs pour la santé.

Pour ce qui est de l'ancien site industriel Kuhlmann, plusieurs examens des sols ont été effectués sur cette friche depuis sa fermeture et ont révélé des taux de pollution nettement supérieurs à la normale et potentiellement dangereux. Les prélèvements effectués en 2016 ont révélé la présence d'un grand nombre de métaux lourds et d'hydrocarbures, situés plus ou moins profondément dans le sol.

Ce site est en cours de reconversion, une partie du site a été excavée afin d'en extraire la terre polluée pour venir accueillir un nouveau projet nommé "Quai 22". Ce projet sera un quartier mixte, mêlant logements, commerces et bureaux. La majeure partie du site n'a toujours subi aucun traitement de dépollution. Elle représente environ une surface de 24 hectares, mais la pollution y est moins présente, car il s'agissait en grande partie de stockage avant l'exportation ou après l'importation. On y trouvait les quais de chargement pour les péniches mais aussi pour les trains. Quelques zones de production y étaient présentes, elles étaient concentrées dans la partie sud-ouest du site et au bord de la Deûle. Un équipement sportif était aussi présent sur le site, le stade Donat Agache, construit en 1939, en faveur des salariés de la société, mais à disposition de l'ensemble de la commune. Malgré cette plus faible concentration de l'usine, le sol reste considérablement pollué, du fait du transport des produits sur cette zone mais aussi à cause des retombées liées aux fumées mais aussi aux particules soulevées par le vent.

L'implantation de ce stade à cet endroit montre bien que la prise de conscience de la dangerosité de la pollution pour l'Homme et la nature n'avait pas encore eu lieu. Quel meilleur endroit pour faire du sport, qu'au milieu des usines ?



Photographie de la friche industrielle Kuhlmann, novemebre 2020



Photographie de la friche industrielle Kuhlmann, zone non dépollué, novembre 2020

3. Les friches industrielles, des espaces inexploités en villes

La métropole lilloise est l'un des territoires qui compte le plus de friches industrielles de France. Plus de 200 friches y sont répertoriées pour environ 400 hectares d'espaces à réinvestir.[1] Pratiquement tous ces sites ont des sols pollués, ce qui est une des problématiques majeures dans la stratégie de reconquête des friches initiées par la métropole, désirant marquer la fin des ravages industriels. Pour les villes telles que Lille et ses communes, la reconversion de ces espaces délaissés est un véritable enjeu du développement de la ville durable. C'est une occasion de repenser l'urbanisme, d'y créer de nouvelles fonctions, de nouvelles mixités et des quartiers plus en adéquation avec l'environnement. Cette prise de conscience du potentiel de ces friches est toute récente, mais est au cœur du développement urbanistique de la région. Des projets de réhabilitation de friches industrielles à grande échelle, comme la zone de L'Union, ou les "Rives de la Hautes Deûle" en témoignent.[2]

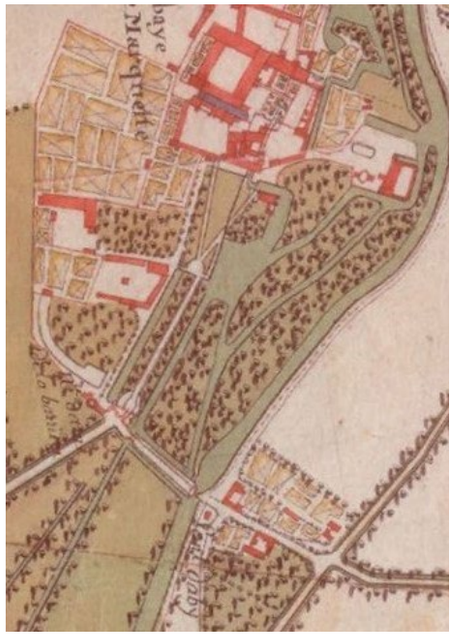
Ces friches ont la particularité d'être placées à des endroits stratégiques, souvent à proximité des centres-villes. Au moment de leur construction, elles se situaient à la lisière des villes, qui se sont développées autour durant des décennies de fonctionnement. Elles se sont développées autour sous la forme de quartiers ouvriers. Ces usines étaient le cœur battant de ces quartiers et des lieux d'activité humaine intense. Maintenant démantelées et désœuvrées, ces zones sont dans l'attente d'un nouvel élan pour vivre à nouveau.

Pour revenir à l'ancien site Kuhlmann, cette friche représente un enjeu immense pour Saint-André-lez-Lille. Située au bord de la Deûle, elle en bloque l'accès sur presque 1 km. D'autant plus, comme énoncé précédemment, la commune de Saint-André s'est lancée dans de nombreux projets de reconversion et de réhabilitation, comme par exemple le projet "Quai 22" ou encore la réhabilitation des grands Moulins de Paris. Ils s'installent tous deux en bordure de ce site. L'ancienne friche Kuhlmann représente environ 24 hectares encore laissés à l'abandon. Cette friche est l'une des plus vastes de la métropole. Cet espace vient créer une rupture en plein cœur de Saint-André-lez-Lille, il est entouré de barrières, et tous les chemins de promenade viennent s'y heurter et s'interrompre. Les plusieurs centaines de logements en cours de construction aux alentours semblent isolés, et distants les uns des autres, séparés par un site tellement grand que l'on a du mal à en saisir les limites et où le temps semble s'être arrêté

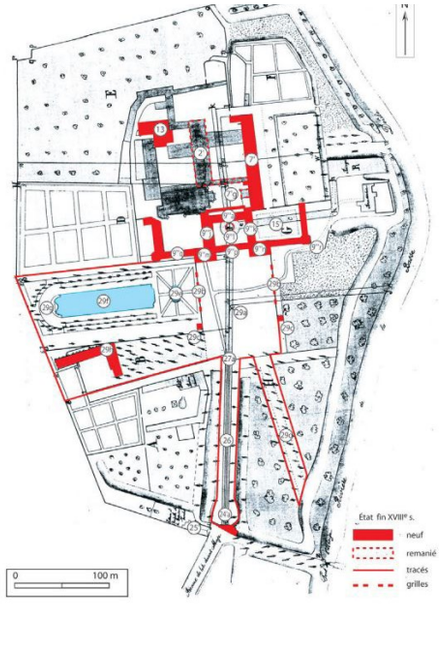
1 L*es friches urbaines polluées, enjeu d'un développement durable*, Patrick Cros/Naja, 27 février 2014
2 Métropole lilloise : La pollution de sols, une problématique récurrente, Patrick Cros/Naja, 27 février 2014



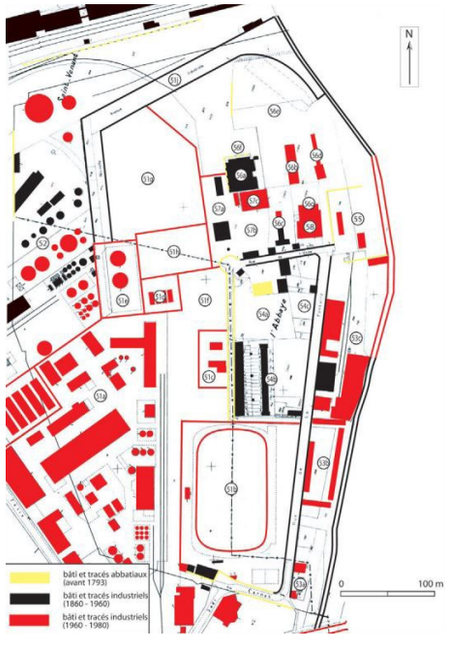
Monastére cistercien Jeanne de Flandre en 1689



Monastére cistercien Jeanne de Flandre en 1741



Monastére cistercien Jeanne de Flandre fin du XVIIIe siècle



Bâtis et tracés de 1793 à 1980

Tracé historique du site industriel Kuhlmann à Saint-André-lez-Lille

4. Les traces du passé

Un des principaux atouts que présente la réhabilitation d'anciens sites industriels est qu'ils ont une valeur historique. C'est une succession de strates plus ou moins nombreuses qui laisse des traces. Elles sont les témoins d'une culture industrielle fleurissante passée. Ces traces de différentes formes, comme des anciens tracés de rues, des quais, des hangars, des cheminées, des voies ferrées… sont tant d'éléments pouvant être réintégrés, réutilisés dans des projets d'architecture et d'urbanisme.

Le site de Saint-André-lez-Lille en comporte de nombreuses. Elle représente autant de richesses que d'opportunités pour requalifier ce site et le rendre à la ville et à ses habitants, attachés à ce passé, qui fait partie de son identité.

L'un des plus anciens vestiges présents sur ce site est l'Abbaye de Marquette, qui fut fondée au XIIIe siècle par Jeanne de Flandre. Cette industrialisation massive avait fait oublier cette abbaye de l'ordre cistercien. Elle a été l'abbaye la plus peuplée de France avec plus de 100 personnes y résidant dont 40 moniales. En 1792, après près de 5 siècles, les religieuses sont expulsées, 3 ans plus tard, presque toute l'Abbaye est détruite, laissant place à un nouveau chapitre, industriel. Les plus nombreuses traces résultent justement de cette époque industrielle, entre 1850 et 2004. Même si pratiquement la totalité des bâtiments a été rasée, nous pouvons encore distinguer leurs tracés, car les fondations sont souvent encore présentes. Les rues traversant le site sont encore visibles, parfois même en très bon état, comme la rue du clos de l'abbaye ou la rue de l'usine. La voie ferrée est encore présente, mais n'est plus utilisée. C'est le vestige de la première jonction ferroviaire entre Dunkerque et Lille. Une partie des quais de chargement est encore présente sur le bord de la Deûle. Il faut aussi noter que depuis la fermeture de l'usine, la nature a repris ses droits, de manière assez importante par endroit. Nous trouvons des zones ou la végétation s'est développée, de manière très dense, au point qu'il est difficile d'y pénétrer. Ces zones végétales sont aussi des éléments à prendre en compte dans de futurs projets, car un écosystème s'y est probablement développé. Tous ces éléments sont autant d'opportunités à saisir dans des projets futurs.

« L'écologie a une approche qui tient compte du passé, de l'avenir et de la solidarité dans le temps et l'espace »[1]

Pierre Rabhi, 2005

1 Pierre Rabhi, *Graines de possible*, éditions Calmann-Lévy, 2005

Chapitre 3. Une opportunité pour repenser le paysage urbain et sa mixité

1. Une ville en pleine reconversion, politique de la métropole Lilloise

2. Reconquête des bords de Deûle

3. Composer avec l'existant

4. Un obstacle à la reconquête



Vue aerienne du projet Eurallile 3000

Tous les éléments vus précédemment sont une véritable opportunité pour l'avenir des villes. Souvent situés en leur cœur, ils permettent de repenser la structure d'une rue, d'un quartier ou encore d'une commune, cela en retravaillant et en repensant son paysage et sa mixité. Comme nous l'avons vu, un grand nombre de sites urbains ayant accueilli des industries dans le passé se retrouve à l'état de friches, parfois très polluées. La reconquête de ce foncier contraint est un enjeu majeur de la recomposition des fonctionnalités et des paysages urbains. Elle permet de traiter une situation dégradée d'îlots délaissés qui destructurent l'espace urbain et de regagner ces lieux qui bénéficient souvent d'une situation géographique propice aux opérations d'aménagement maîtrisées. Les projets d'aménagement représentent environ 70 % du marché de la dépollution (études et travaux) et concernent principalement des sites en zone urbaine.

1. Une ville en pleine reconversion : la politique de la métropole Lilloise

Comme vu précédemment, la communauté urbaine de Lille se lance dans une nouvelle politique de développement urbain. Cela fait aussi plusieurs années que la métropole veut s'ouvrir à l'Europe. La construction de Lille Europe a initié cette démarche, en inscrivant Lille dans le réseau TGV Européen et en redéfinissant la place qu'elle occupe à l'international. Elle est ainsi devenue "L'Eurométropole". Cette dynamique continue avec les différents projets appartenant à Euralille 3000, proposant des réhabilitations de friches industrielles à grande échelle, comme la zone de "L'Union" ou encore les "Rives de la Haute Deûle". Depuis 2019, elle a intégré un nouveau projet européen nommé "MOLOC" (Low carbon urban morphology), qui est porté principalement par la ville de Lille, en collaboration avec les villes de Turin, Suceava, Hambourg et le centre Minier de Recherche de Katowice (Pologne), ainsi que le réseau européen Energy Cities.[1]

1 https://www.lille.fr/Votre-Mairie/Lille-en-bref/Une-ville-durable/Le-projet-europeen-MOLOC



Les rives de la Hautes Deûle, EuraTechnologies, Lille



Fives-Cail, Lille

Le projet "MOLOC" a pour objectif de développer pour Lille et ses partenaires, un modèle de ville bas-carbone, qui vise à améliorer la qualité de vie et le bien-être de leurs habitants. Ce projet a pour vocation d'améliorer les nouveaux grands projets de la ville de Lille, et aussi d'accompagner le développement des projets plus larges, impactant l'ensemble de la métropole et plus encore. Parmi les principaux projets que le MOLOC[2] assiste, on retrouve:

_"Les rives de la Hautes Deûle" et la gestion des eaux pluviales, pour éviter le ruissellement et limiter la diffusion de la pollution présente dans le sol.

_ Le réaménagement de la Deûle et ses bords. La ville de Lille veut intégrer l'eau au centre des projets d'urbanisme. Elle a pour ambition de se réapproprier la gare d'eau, le futur port de plaisance et l'aménagement des quais, ponts et berges pour offrir des lieux de rencontre et des promenades apaisées. Et ainsi contribuer à la création d'un paysage végétal en écho au patrimoine architectural industriel local.

_ Le projet Fives-Cail

_ Le projet Concorde

Ces différents projets s'accordent sur différents points, qui sont les nouvelles lignes directrices du développement urbanistique de la ville de Lille : valoriser la présence de l'eau et du patrimoine industriel des lieux, favoriser les modes de déplacements doux, accorder une attention particulière aux énergies renouvelables et favoriser la mixité des usages.

2 https://www.lille.fr/Votre-Mairie/Lille-en-bref/Une-ville-durable/Le-projet-europeen-MOLOC



Tramway touristique de la vallée de la Deûle, 1995


Les Grands Moulins de Paris, fin 2021


Quai 22, fin 2022


Quartier Sainte-Hélène, 2009


Le Colysée, 2004



Pôle des sports de raquettes et centre technique municipal de La Madeleine, 2018

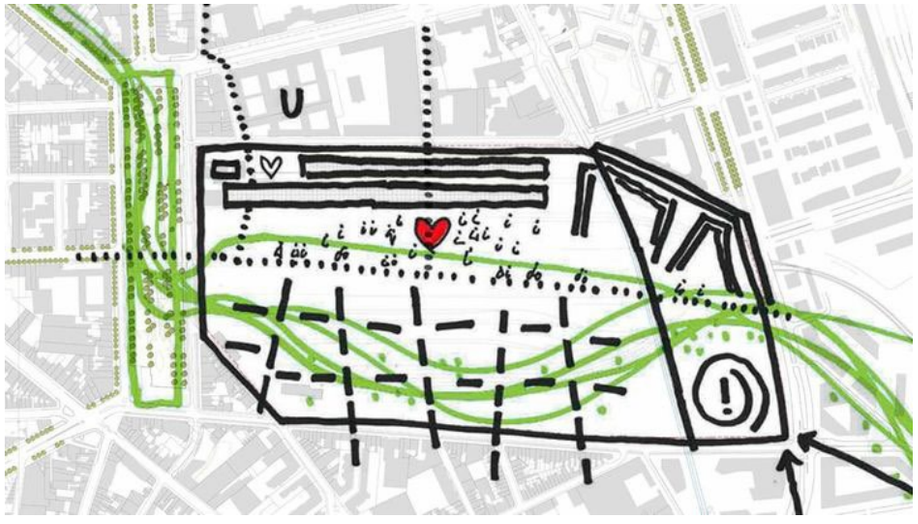

L'Esplanade de Lille et «Le Quartier Libre», 2019


Les Rives de la Haute Deûle, 2009

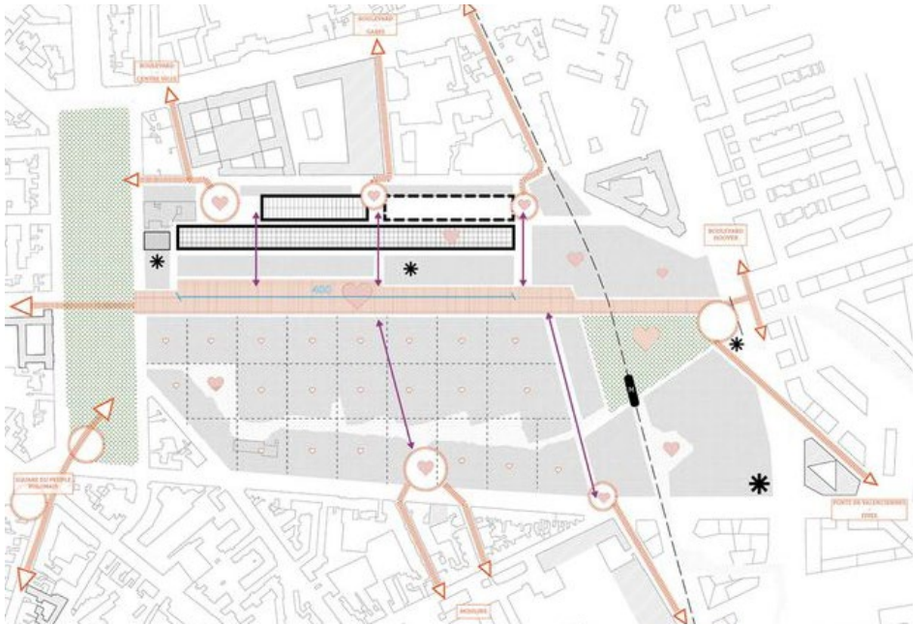
Reconquête des bords de Deûle

2. Reconquête des bords de Deûle

La reconversion de ces friches est aussi un moyen pour la métropole de renouer avec ses canaux, éléments forts et déterminants dans cette ère industrielle. En effet, comme vu précédemment, le canal de la Deûle et ses bords étaient des zones fortement industrialisées et avaient un rôle presque entièrement économique. Avec le démantèlement de ces industries, l'aménagement de ces canaux s'ouvre à de nouvelles perspectives tel que le loisir. Les chemins de halage se transforment en balades, les friches se transforment en parc, les vieilles usines encore debout se réinventent en centres culturels, les anciens quais deviennent des places minérales. Tout du long de son parcours dans la métropole, la Deûle change de visage et voit apparaître de nouveaux projets créant une véritable balade paysagère. Ses bords sont en partie réaménagés et ponctués d'éléments remarquables déjà présents et d'autres en devenir, tel que le projet «Quai 22». Mais une dent creuse segmente encore cette «balade», la partie de la friche industrielle Kuhlmann qui n'est pas encore sujette à la réhabilitation. De plus, cette friche est située au niveau où la Marque se jette dans la Deûle. Sa réhabilitation pourrait donc être l'occasion de créer une rotule, un élément fort venant marquer ce point et reconnecter ces deux canaux au niveau du paysage. Elle viendrait aussi reconnecter la partie nord du canal, au centre de Lille et affirmer cette intention de reconquête des bords de Deûle.



Croquis du “plan-guide” du projet Saint-Sauveur, Lille, support du dialogue entre acteurs

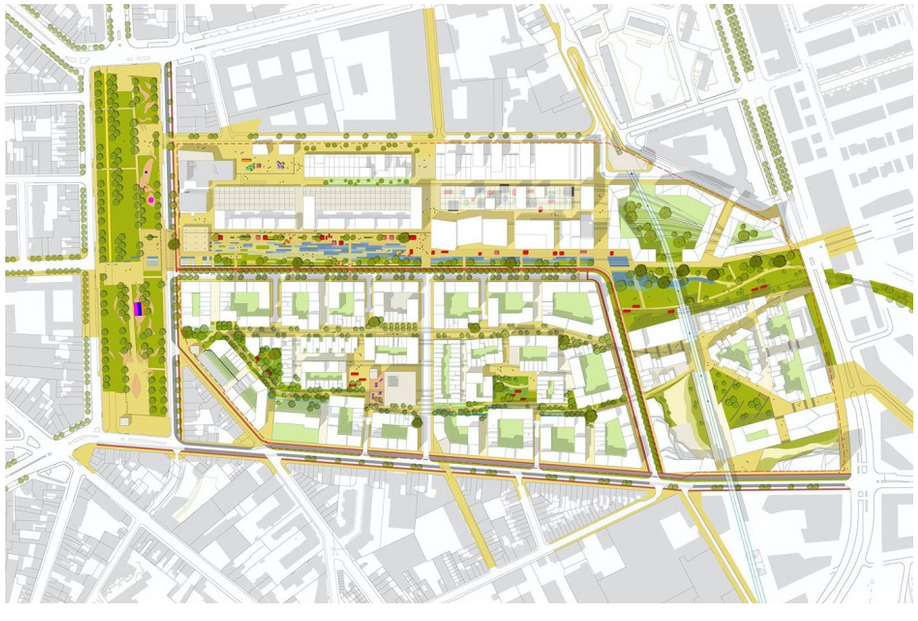


Esquisse du “plan-guide” du projet Saint-Sauveur, Lille 2014

3. Composer avec l’existant

La réhabilitation de ces friches permet de faire des projets novateurs tout en redonnant vie au patrimoine industriel et à son histoire. Cela permet d’utiliser l’échelle souvent immense de ces sites et les caractéristiques de leur passé industriel pour créer une atmosphère singulière accueillant de nouveaux usages : comme l’art, la culture, les lieux sociaux, les bistrots, les lieux d’expositions, les résidences d’artistes, “chez Rita” à Roubaix ou encore “La Condition Publique”. Souvent attachées à leur histoire, les villes telles que Lille redonnent vie à ce patrimoine et au lieu, comme “la Gare Saint-Sauveur".

Dans un même temps, la réhabilitation et reconversion des friches industrielles, en évitant la destruction et en composant avec l’ancien, s’inscrit dans un concept de renouvellement de la ville sur elle-même. Ce concept correspond parfaitement au principe du développement durable, en remettant en état au lieu de démolir, en réinvestissant des lieux délaissés et en évitant l’étalement urbain en périphérie. Toutes ces actions améliorent aussi la vie d’un quartier et renforce la cohésion sociale, tout cela en affirmant l’appartenance à une histoire, à une culture.
Mais pour que ces reconversions de friches fonctionnent, dans le cas par exemple d’un projet d’écoquartier, il faut composer avec le contexte et l’urbanisme qui s’y sont développés autour. Ces anciennes industries étaient souvent conçues comme des éléments indépendants du contexte, en sachant que dans un grand nombre de cas, au moment de leur construction, il n’y avait rien autour. D’où la nécessité de les réintégrer au maillage de la ville de façon à ce que ces nouveaux quartiers s’intègrent dans la continuité des tracés existants et en deviennent les prolongements.



Plan d'aménagement de la friche Saint-Sauveur

Métropole lilloise : La pollution de sols, une problématique récurrente | Servir le Public

L'actualité
des **Entreprises publiques locales**

AMÉNAGEMENT HAUTS-DE-FRANCE NORD

Métropole lilloise : La pollution de sols, une problématique récurrente

Un article du dossier **Les friches urbaines polluées, enjeu d'un développement durable**

Publié le 27 février 2014, par Patrick Cros/Naja

Dans un territoire qui compte plus de 200 friches industrielles, soit 400 hectares de foncier à reconquérir, la Sem Ville Renouvelée a intégré dès sa création la problématique de pollution des sols. Son expertise et son réseau la placent aujourd'hui en première ligne dans la stratégie de reconquêtes des terres polluées de la métropole.



Avec l'opération des « Portes de l'Abbaye », propriété de la SAS du même nom, la Sem Ville Renouvelée prépare la création d'un quartier mixte le long du canal de la Deûle © Sem Ville Renouvelée

Article expliquant le probléme de pollution des sols qui touche la métropole

4. Un obstacle à la reconquête

Malgré cet engouement pour la reconquête de ces espaces industriels en friche, leur reconversion est confrontée à différents problèmes qui freinent cette dynamique, le principal étant la pollution des sols. En effet, comme vu précédemment, la pollution est un problème récurrent quand il s'agit de friches industrielles, étant fortement nocives pour la santé et pour l'environnement, il est inconcevable de réinvestir une friche sans la dépolluer. Le problème avec les techniques de dépollution standards, c'est qu'elles sont très coûteuses, mais permettent de réinvestir des lieux rapidement et donc vite amortir les dépenses liées à la dépollution, malgré le fait qu'elles soient très discutables sur l'aspect écologique. Ce qui est l'inverse pour la phytorestauration, qui nécessite un faible investissement, mais les durées avant de pouvoir réinvestir le lieu peuvent atteindre plusieurs décennies, ce qui peut être problématique.

L'idée de lier plusieurs méthodes serait une solution, surtout pour des friches de grande taille. D'autant plus que la phytorestauration a ses limites, comme nous allons le voir dans la partie suivante. On pourrait imaginer excaver le sol pour les zones polluées trop profondément ou que l'on voudrait réinvestir rapidement pour implanter un bâtiment par exemple. Mais au lieu de déplacer la terre hors du site, elle serait disposée sous forme de terrils sur le site même et qui serait dépolluée à l'aide de plantes. Cela permettrait d'économiser les coûts de transport et de traitement, tout en participant aux aménagements paysagers par la création d'une topographie. Les zones qui ne nécessitent pas de traitement rapide seraient dépolluées par phytorestauration. Il faudrait établir une parcellisation en fonction des degrés, des types et de la profondeur de la pollution mais aussi en fonction d'un plan de réaffectation.

Comme nous allons le voir dans la partie suivante, la dépollution, si elle est exécutée d'une certaine manière, permettrait de lier les travaux de dépollution à la vie d'un quartier, et d'ainsi créer une plus-value autant sur le point de la santé des riverains que sur l'économie.

L’ambition de ce mémoire ainsi que l’intention du projet est de requestionner la reconversion de ces friches, mais aussi des procédés qui permettent cette reconversion. Le but étant d’optimiser toutes les étapes de la réhabilitation dans l’intérêt de l’environnement, de la communauté et de l’économie, à travers différentes temporalités.

PARTIE 2. LA PHYTORESTAURATION PRODUCTIVE ET LE PAYSAGE URBAIN

Chapitre 1. La phytorestauration et le paysage

Chapitre 2. Valorisation des plantes phytorestauratrices

Chapitre 3. L'architecture biosourcée

La technique de dépollution principalement utilisée consiste à excaver la terre pour ensuite la traiter hors du site. Cette technique pose beaucoup de problèmes. Elle est coûteuse (de 10 à 40e/m3 source : selecDEPOL) et demande beaucoup d'énergie pour déplacer autant de terre. Dans l'impact environnemental, il faut prendre en compte tous les déplacements en camion pour le transport, mais aussi le fonctionnement des machines pour le déblai. En plus de cela, cette technique présente des risques d'accidents pendant le transport. Si ces sols pollués ne sont pas traités et juste stockés, il y a là aussi des risques de pollutions d'autres lieux. Cela ne fait que déplacer le problème, hors des villes certes, mais cette pollution pourra avoir des répercutions indirectes sur l'Homme ou son environnement dans le futur.
Mais d'autres techniques de dépollution sont possibles, comme la phytorestauration. Cette méthode est encore méconnue et fortement sous-estimée, tant dans sa capacité de dépollution, qu'au niveau de toutes les opportunités que nous offre cette technique. Qu'elle soit paysagère, environnementale, économique ou sociale ou encore architecturale, la phytorestauration semble très prometteuse pour l'avenir. Ces deux dernières décennies, un engouement pour les matériaux biosourcés réapparaît. Et il se trouve que parmi ces biosources, se trouvent des plantes phytorestauratrices très efficaces.

Nous allons voir dans cette partie comment il est possible de dépolluer une friche à l'aide de plantes, puis de valoriser ces plantes en matériaux biosourcés, destinés aux constructions locales, voire pour construire sur ces mêmes lieux de dépollution.

Chapitre 1. La phytorestauration et le paysage

1. Les types et les risques de pollution des sols

2. La phytorestauration, la dépollution des sols par les plantes
   - *a. Les méthodes de dépollution*
   - *b. La phytorestauration comme alternative*
   - *c. Les plantes utilisées*
   - *d. Etude de cas 1. Tchernobyl (Ukraine)*

3. Un paysage dépolluant
   - *a. Etude de cas 2. Parc phyto-épuratif du chemin de l'île de Nanterre (France)*

4. La phytorestauration productive

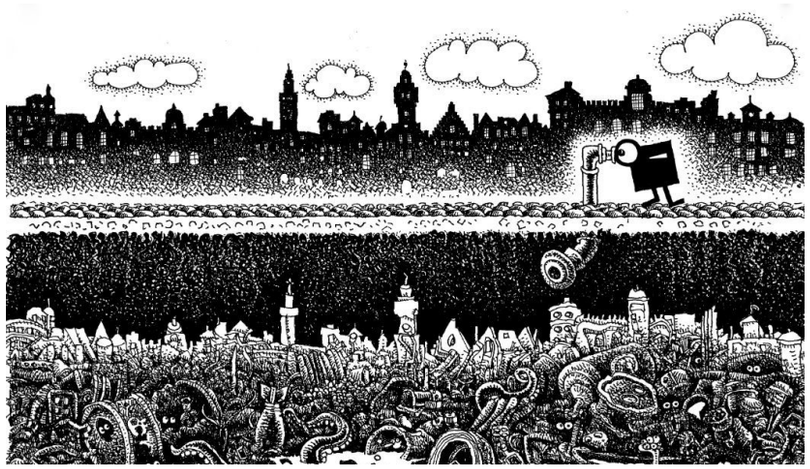


Illustration de Jean-Paul Van der Elst

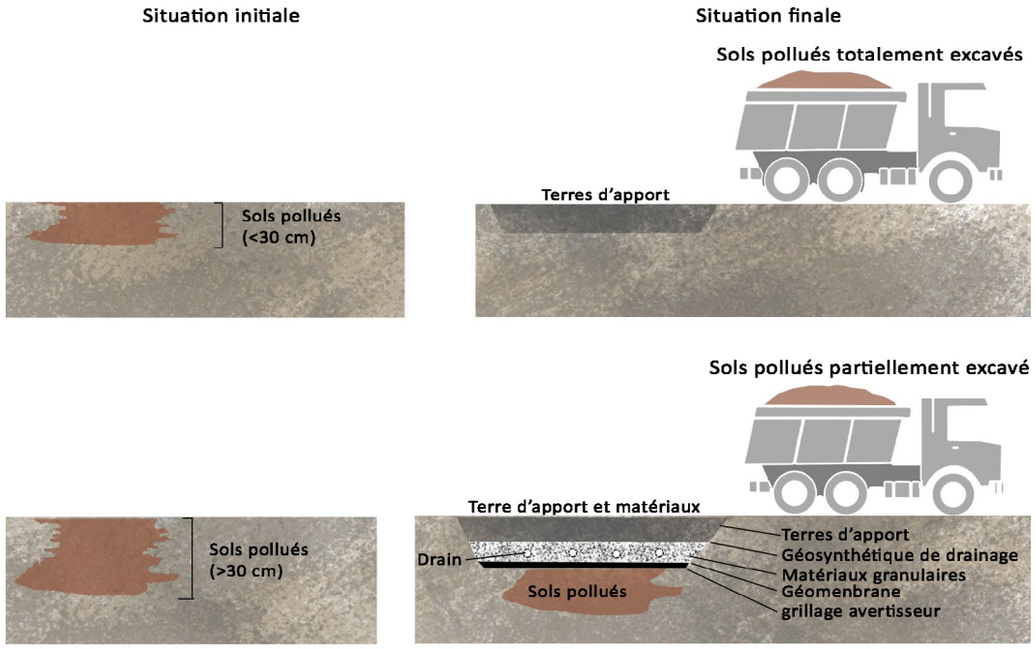
Dans le principe de “dépollution, valorisation, construction”, la première partie consiste à l’implantation de plantes phytorestauratrices pour ainsi débuter la dépollution. L’analyse préalable du type de sol et des polluants présents et de leur position est très importante afin d’utiliser des plantes adaptées à ces variables. Car chaque plante est plus ou moins efficace en fonction du composé, mais aussi en fonction de sa profondeur.

1. Les types et risques de pollution des sols

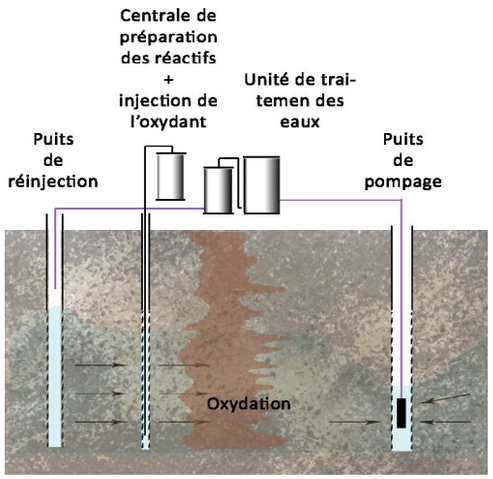
Les polluants des sols les plus courants dans le nord de la France sont principalement les métaux lourds et les hydrocarbures liés aux industries textiles, chimiques, minières et métallurgiques. Les sols, une fois pollués, deviennent à leur tour des sources de pollution potentielles qui peuvent se diffuser dans l’environnement par l’écoulement des eaux, la poussière soulevée par le vent ou encore sous forme d’émanations. Ils sont aussi très souvent néfastes pour la biodiversité et son développement. Ces éléments, sans traitement, peuvent rester dans le sol pendant des centaines d’années. Ces polluants sont plus ou moins dangereux pour l’Homme et l’environnement et sont classés par degré de dangerosité. Ce classement est relatif à la nature du polluant pour les espèces, à sa capacité éventuelle à changer ou perturber le fonctionnement d’un écosystème ou de la biosphère, à la nature du sol, ainsi que par rapport à leur concentration.
Les principales entrées dans le corps de ces éléments, sont principalement liées à alimentation, par le contact cutané ou par inhalation de poussières chargées en polluants. Le système biologique peut être très impacté par une contamination aux métaux lourds, aux hydrocarbures et autres. Ils agissent sur les cellules, les tissus et leurs développements, en créant des interférences et des dégâts pouvant être graves, voire irréverssibles, provoquant diverses maladies neurologiques, immunologiques et hématologiques potentiellement mortelles.

En ce qui concerne la friche industrielle Kuhlmann à Saint-André-Lez-Lille, plusieurs études du sol ont été réalisées par zone. Les analyses ont révélé la présente de divers polluants, avec des concentrations non négligeables, comme du toluène et du xylène qui peuvent provoquer une dépression du Système nerveux central (SNC), de l’arsenic et du chlorure de vinyle qui sont des cancérogènes de groupe 1 avéré par le CIRC. On y trouve aussi du dichloroéthylène, très dangereux pour l’environnement, ainsi que du trichloroéthylène, très toxique pour le SNC et les reins et pouvant provoquer des irritations des voies respiratoires et des yeux, des vertiges, des nausées, des maux de tête et pertes de mémoire, des somnolences et pouvant aller jusqu'à provoquer des pertes de connaissance et la mort. Du dichlorométhane y a aussi été trouvé, qui est lui aussi un dépresseurs du SNC et l’un des plus irritants solvants utilisés dans l’industrie. On y retrouve un grand nombre d’autres polluants.[1]

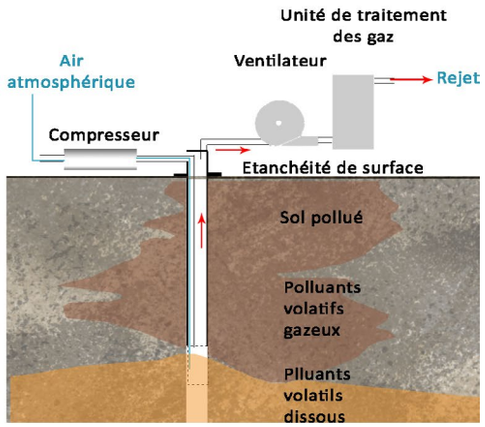
1 Géorisques / Fiche détaillée : SSP00033960101 – 30/09/2020 / SSP00033670101 – 11/01/2019



Méthode de dépollution par remplacement



Méthode de dépollution physico-chimique



Méthode par aspiration

2. La phytorestauration : la dépollution du sol par les plantes

Il existe différentes méthodes de dépollution, qui peuvent être classées en trois catégories : hors-site et sur-site et in-situ. Les méthodes hors-site nécessitent dans la plupart des cas une excavation préalable. Les méthodes sur-site nécessitent l'installation sur site de procédé de dépollution et une excavation. Les méthodes in-situ ne nécessitent pas de déplacement de terre. Il existe aussi la méthode dite de confinement, mais il ne s'agit pas vraiment d'une méthode de dépollution, elle consiste à empêcher la migration de la pollution.

a. Les méthodes de dépollution conventionnelle[1]

Dépollution par remplacement (hors-site).

Dans l'histoire, cette méthode a été l'une des premières utilisée. Elle consiste à décaper le sol sur toute l'épaisseur polluée, puis à la remplacer par de la terre propre venant d'un autre endroit. Cela induit des coûts de transport, ainsi que des coûts liés au traitement ou au stockage de la terre polluée. Les coûts sont proportionnels au volume de terre déplacée.

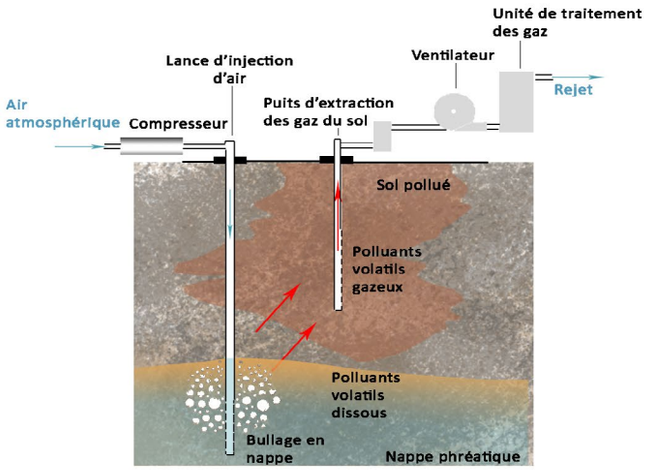
Dépollution physico-chimique (sur-site ou in-situ).

Cette méthode consiste à injecter un liquide ou un gaz sous pression dans le terrain. Ils sont susceptibles de dissoudre les polluants, mais cette technique nécessite de connaitre les polluants pour qu'elle soit efficace. On peut ensuite retraiter la terre sur place et de manière progressive. Cette méthode est assez coûteuse car une installation industrielle temporaire de traitement est nécessaire. Cette installation servira à la percolation ou à l'injection de gaz, à la récupération des lixiviats et leur retraitement et à la remise en place de la terre traitée si elle a été excavée en premier lieu.

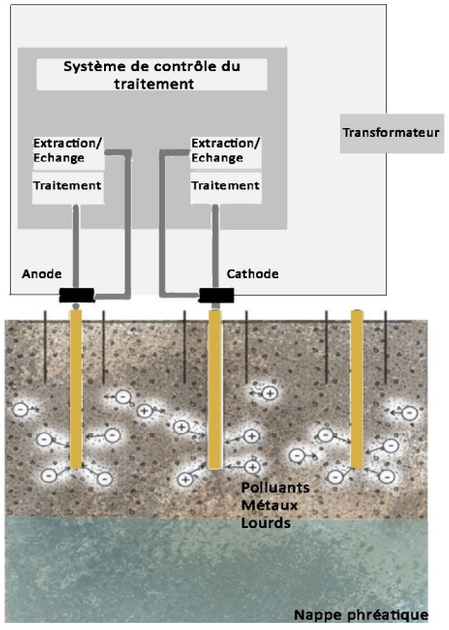
Extraction par aspiration (in-situ).

Cette méthode est adaptée aux terrains sableux pour les polluants semi-volatils et volatils tels que les hydrocarbures. Elle consiste à mettre en dépression le terrain grâce à une pompe à vide. Les vapeurs sont aspirées et traitées par oxydation catalytique, condensation par réfrigération ou par absorption par du charbon actif. Le problème de cette méthode est qu'elle est spécifique à un type de sol et à un certain type de polluant, donc utilisable dans des cas bien précis.

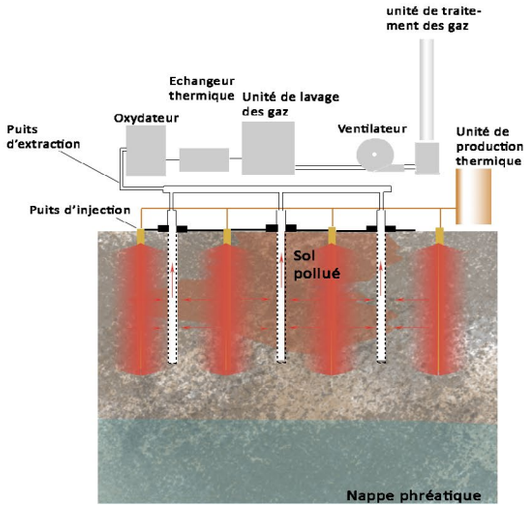
1 http://www.groupe-iram.com/pages/depollution-des-sols/



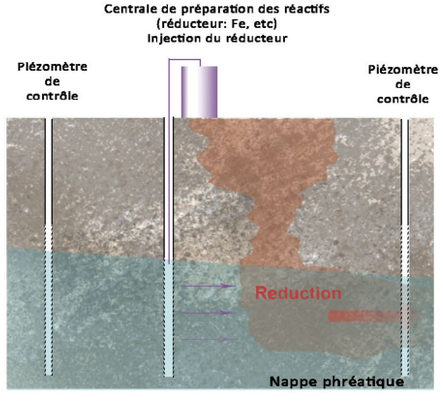
Méthode de dépollution par injection



Méthode de dépollution par extraction électrique



Méthode de dépollution par chauffage



Méthode de dépollution par lavage du sol

Extraction par injection (in-situ).

Cette méthode consiste à injecter dans le sol de l'air, de l'azote ou de la vapeur sous pression. Elle est adaptée aux terrains perméables à l'air, pour traiter des solvants volatils. Des puits permettent l'injection et la récupération des vapeurs, qui seront traitées lors de l'aspiration. L'utilisation de micro-ondes pour chauffer le sol améliore l'efficacité de la technique.

Traitement par flottation (hors-site ou sur-site).

Cette méthode consiste au lavage du sol par une technique physico-chimique. Suite à l'extraction de la terre, elle est tamisée et on y ajoute de l'eau et des agents tensioactifs. Les bulles d'air injectées dans le mélange transportent les polluants par affinité hydrophobe. Cette méthode est applicable à un grand nombre de polluants.

Extraction électrique (in situ).

Cette méthode est principalement adaptée aux métaux lourds. Le type de sol importe peu, tant que sa conductivité est bonne, par exemple grâce à la présence d'eau. Des électrodes poreuses sont installées dans le sol pour créer un courant électrique, ce qui fait migrer les ions vers les électrodes de charge opposée. Puis on peut récupérer les polluants par pompage.

Extraction par chauffage (hors-site ou in-situ)

Cette méthode est adaptée au traitement d'hydrocarbures car ils sont convertibles en dioxyde de carbone. La terre est excavée, broyée et chauffée entre 600 et 800°C. Les vapeurs générées doivent être traitées car elles peuvent contenir des composés soufrés ou nitreux toxiques. La terre peut ensuite être replacée. (Hors-site)
Une variante consiste à injecter dans le sol de l'oxygène chauffé à près de 1000°C, cela revient moins cher car il n'y a pas d'excavation ni de transport mais le coût énergétique est beaucoup plus important. (In-situ)

Lavage du sol (hors-site ou in-situ)

Différentes variantes existent : le lavage peut être fait à haute pression, à pression normale, sur site ou hors site. L'objectif est de séparer les particules les plus fines dans lesquelles sont principalement concentrés les polluants (lavage haute pression à l'eau), ou de capturer ces polluants dans une solution liquide (eau, acide). Dans le premier cas, la terre doit être excavée, les déchets récupérés seront stockés sous forme de galettes ; dans le deuxième cas, le traitement peut s'effectuer sans extraction si le terrain est perméable. Par exemple, la plupart des métaux lourds (cuivre, zinc, arsenic, cadmium, plomb) peuvent être extraits en utilisant une solution d'acide qu'il faut ensuite neutraliser (pour précipiter une partie des composés) puis décanter, filtrer et centrifuger, afin de séparer les éléments restants.

Le lavage in-situ à haute pression reste cependant limité dans son application à des zones de faible taille, la pression de l'eau diminuant rapidement avec la distance par rapport à la buse d'injection.



Réhabilitation environnementale des sols par excavation d'un site industriel à Sainte-Marie



site de traitement thermique des sols pollués impactés par des métaux lourds, hydrocarbures lourds *(GMEP)*

L'inconvénient des méthodes standards, c'est qu'elles sont soit couteuses, soit très énergivores, voire les deux. Elles représentent parfois des risques de contamination d'autres lieux ou encore d'accidents lors du transport ou du traitement. Elles exposent aussi régulièrement les ouvriers aux polluants mettant en danger leur santé. En plus de cela, elles ne présentent que rarement des possibilités plus larges que de simplement dépolluer. Et pour couronner le tout, ces méthodes génèrent d'autres types de pollutions liées à leur consommation énergétique. Elles peuvent aussi être trés destructrices pour les micro-faunes et flores qui se sont dévellopées dans le sol. En effet des techniques telles que le chauffage ou chimique, ne détruisent pas seulement les polluants, mais ont tendances à tout éliminer. En revanche elles sont souvent assez efficaces, chaque méthode s'adaptant à des polluants et des sols en particulier. Un des seuls avantages que l'on a à utiliser ces techniques est la rapidité d'exécution qui permet de vite réinvestir des zones fortement polluées. Mais ce besoin de rapidité n'a plus lieu d'être si un usage est trouvé à cette dépollution.

Pour ce qui est de la friche industrielle Kuhlmann, sa dépollution a débuté en 2009. Aujourd'hui, seulement un tiers du site a été traité, mais cela a déjà coûté des millions d'euros.
La stratégie utilisée pour la réhabilitation de ce site a été l'excavation. Comme vu ci-dessus, c'est l'une des techniques les plus efficaces temporellement et elle ne nécessite pas une indentification de tous les polluants, mais elle est coûteuse et très énergivore. Comme vu ci-dessus, elle consiste à excaver le sol pollué, ici sur presque 2 mètres de profondeur pour être traité hors du site. C'est la stratégie adoptée par la métropole lilloise, celle d'excaver cette terre polluée, pour la transporter jusqu'au Pays-Bas où elles seront traitées puis serviront aux polders et autres remblais pour lutter contre l'érosion du littoral et l'avancée de la mer. Cette stratégie pose question, car la quantité d'énergie déployée pour dépolluer est elle aussi fortement polluante et cela semble assez ironique quand il s'agit de dépollution.[2]

2 *Plaine Commune Développement optimise la dépollution des terres,* 27 février 2014, Patrick Cros/Naja

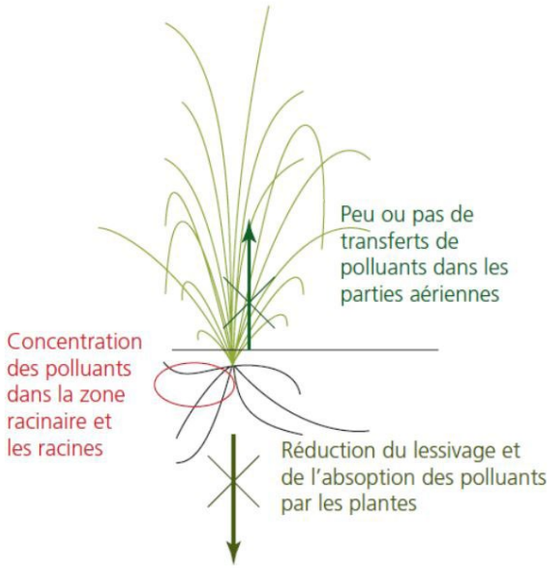


Schéma de fonctionnement de la phytostabilisation

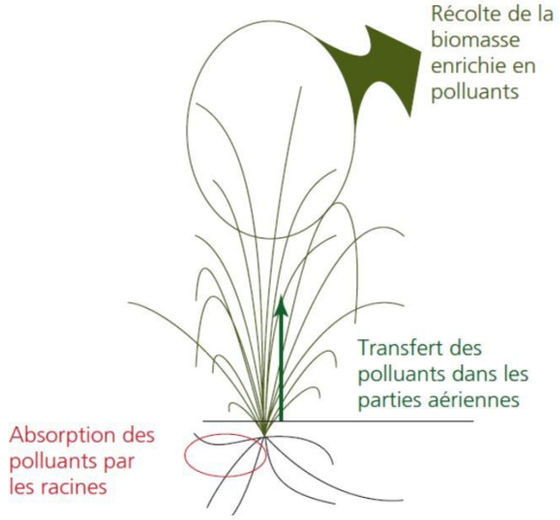


Schéma de fonctionnement de la phytoextraction

b. La phytorestauration comme alternative

La phytorestauration (ou phytoremédiation) est l'ensemble des technologies qui utilisent les plantes comme principal agent de traitement des pollutions. La phytoremédiation sert notamment dans la dépollution des sols, l'épuration des eaux usées ou l'assainissement de l'air intérieur.[3]

La phytorestauration est la technologie utilisant le métabolisme des plantes pour accumuler, transformer, dégrader, concentrer, stabiliser ou volatiliser des polluants (molécules organiques et inorganiques, métaux et radioéléments) contenus dans des sols ou des eaux contaminées.[4]

Il existe différents types de phytorestauration, chaque plante utilise un type de phytorestauration différente et agit aussi sur des polluants en particulier. Chacun de ces modes est bien spécifique et permet ainsi de traiter différents types de polluants sur des sols avec des compositions et des structures variables. On distingue 5 types de phytorestauration[5] :

La phytostabilisation

Elle consiste en l'absorption et séquestration des polluants au niveau des racines par exsudation de composés chimiques. Cela a pour effet de réduire leur dispersion par le vent ou leur lessivage par la pluie par exemple. Cela limite ainsi la migration des polluants dans les nappes phréatiques par exemple et répond à l'objectif principal de gestion du risque.

La phytoextraction

Elle consiste en l'extraction, le transport et l'accumulation des polluants dans les tiges et les feuilles. Les plantes sont dites accumulatrices. Les feuilles, ou la plante entière, sont alors récoltées par des techniques agricoles, puis brûlées dans des usines. Les polluants sont concentrés dans les cendres et les filtres qui sont ensuite traités, comme des déchets de haute activité dans le cas d'une pollution nucléaire par exemple. Il est toutefois possible de valoriser certaines parties de la plante dans le cas de pollution autre que par des radioéléments.

3 https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/phytorestauration
4 *Principes et définitions, Phytoremediation des sols*, T.Sterckeman, S.Ouvrard, P.Leglize, 10 novembre 2011
5 Etude de l'impact paysager des projets de phytoremédiation concernant les friches industrielles, Valentin Touvron, 2018

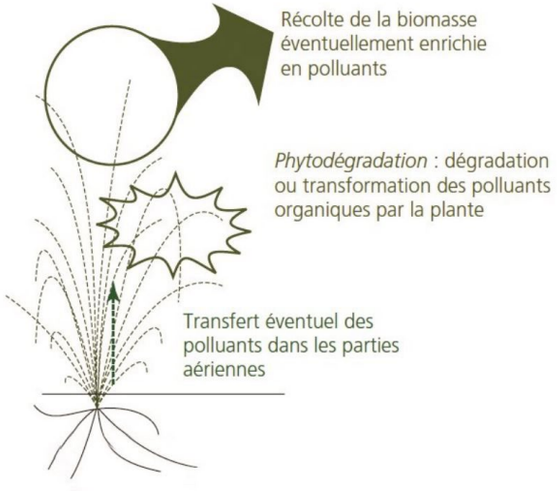


Schéma de fonctionnement de la phytodégradation

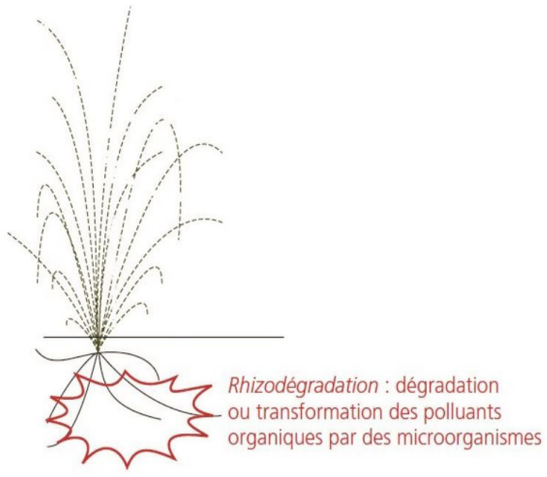


Schéma de fonctionnement de la rhizodégradation

La phytovolatilisation

Elle reprend les mêmes principes que la phytoextraction, mais consiste en une transformation et une dégradation de certains polluants en éléments volatiles moins toxiques libérés dans l'atmosphère par évapotranspiration. (Composé organiques et métaux, exemple : sélénium, mercure). Elle doit préalablement extraire les polluants présents dans le sol.
Mais l'utilisation de cette méthode est discutable, en partant de l'idée de gérer le risque sanitaire. En effet, le risque d'inhalation d'éléments pour les personnes vivant autour est à prendre en considération. Il est donc préférable de veiller à ce qu'il n'y ait pas d'habitation autour à cause du manque de traçabilité des éléments phytovolatilisés.

La phytodégradation

Elle consiste en l'absorption et la décomposition des polluants par la libération d'enzymes et par des processus d'oxydation et de réduction. Les polluants dégradés sont donc moins toxiques et sont ensuite incorporés dans la plante ou libérés de nouveau dans le sol. Elle est exclusive aux pollutions organiques tels que les hydrocarbures, les pesticides, ...

La rhizodégradation

Elle désigne la dégradation des contaminants, pour la plupart organiques, sous l'action des racines et des micro-organismes associés. Elle se déroule dans le volume de sol sous l'influence des racines, appelé « rhizosphère ». Elle ressemble beaucoup à phytodégradation mais les plantes n'ont pas la capacité d'assimiler les polluants, le but étant de dégrader les polluant en substances moins toxiques.

L'addition de différents types de plantes phytorestauratrices peut parfois être nécessaire. Dans le cas par exemple où le temps de dépollution serait important, on pourrait coupler des plantes phytostabilisatrices, pour interrompre le lessivage, associées à des plantes phytoextractrices pour ainsi extraire les polluants du sol.

Mais ce n'est pas la seule raison à l'addition de ces plantes. Chaque espèce est plus ou moins efficace avec tel ou tel polluant, il est donc nécessaire d'utiliser diverses plantes en fonction du besoin de traiter des métaux ou des hydrocarbures par exemple. Le système racinaire joue lui aussi un rôle important en fonction de la profondeur de la zone à traiter et encore une fois, chaque espèce a elle aussi ses particularités.



Cannabis Sativa, chanvre industriel



Miscanthus Giganteus

Un dernier point est lui aussi très important. Dans le cadre de projet écologique et durable, le traitement de grandes surfaces avec le plus grand nombre d'espèces de plantes différentes permet de favoriser le développement de la biodiversité et des écosystèmes et évitant la monoculture.

Voici la liste de quelques plantes phytorestauratrices que nous utiliserons dans le projet développé en dernière partie :

c. Les plantes utilisées

Cannabis Sativa (phytoextractrice) :

Plusieurs recherches récentes sur l'utilisation du chanvre comme plante phytorestauratrice ont été menées ces dernières années. Ces recherches ont été principalement faites sur son efficacité à dépolluer des sols contaminés aux métaux lourds ou encore par des éléments radioactifs. Cela fait maintenant plus de 30 ans que le cannabis sativa est utilisé à Tchernobyl pour dépolluer le sol. Ces recherches ont montré que la plante du chanvre est extrêmement résistante, pouvant pousser à des endroits très inhospitaliers, là ou presque toute forme de vie a disparu. Elle demande très peu d'eau, ni aucun herbicide, fongicide ou engrais.

Le chanvre a été classé comme une plante dite hyper-accumulatrice, c'est-à-dire qu'elle a la capacité d'absorber des particules de métaux que le sol contient et de les accumuler (principalement dans ses feuilles). C'est donc un procédé de phytoextraction. Elle est capable de stocker jusqu'à 3% de son poids sec en polluant.
En plus de cela, le chanvre possède beaucoup d'autres qualités, comme celle d'améliorer la structure du sol grâce à son système racinaire puissant ou encore d'augmenter la capacité en eau du sol si le but est, par exemple, de réutiliser le sol à des fins d'agriculture.[6]

Miscanthus Giganteus (phytosabilisatrice et phytoextractrice) :

Le Miscanthus Giganteus est l'une des meilleures plantes pour la phytorestauration. Après de nombreuses phases de test, il a été prouvé qu'elle était très efficace pour stabiliser le sol pour les composés organiques et les métaux lourds. Elle a aussi été utilisée pour dépolluer des sols contaminés sur des chantiers de construction navale et s'est montrée très efficace. Cette plante a même été utilisée pour dépolluer des zones à Tchernobyl et a montré un fort potentiel.

Miscanthus Giganteus tolère très bien les sols contaminés. Il ne présente pas de stress pouvant être lié aux fortes concentrations de métaux lourds. Le Miscanthus Giganteus peut être utilisé efficacement pour la dépollution du plomb, de l'arsenic et de l'antimoine. Le faible transfert de polluants vers ses parties aériennes le rend particulièrement adapté à la phytoremédiation. La plupart des polluants absorbés restent dans le rhizome et le système racinaire. Le matériel végétal peut donc être récolté pour produire de la biomasse valorisable, car il n'a pas de niveaux élevés de contamination. Aucune biomasse n'est généralement récoltée la première année, des tests ont montré que les concentrations de métaux dans les tissus végétaux commencent à diminuer à partir de la troisième année, de même que pour le chanvre.[7]

6 https://www.alchimiaweb.com/blogfr/phytoremediation-cannabis-nettoyer-sols-contamines/
7 Miscanthus Giganteus convient à la phytoremédiation des terres contaminées, Vijayalaxmi Kinhal, agrikinetics.com



Salix viminalis

Salix viminalis (phytoextractrice) :

Le salix viminalis ou saule vannier est une plante hyper-accumulatrice. Elle agit par phytoextraction. Le saule est particulièrement efficace pour traiter les zones polluées aux métaux lourds, hydrocarbures, solvants organiques et ses sous-produits. Il s'est aussi montré efficace sur des zones contaminées à l'uranium. L'avantage de cette plante est que son système racinaire est plus profond que des plantes annuelles, ce qui permet de dépolluer les sols plus en profondeur qu'on ne pourrait le faire avec le chanvre par exemple. Un autre avantage est que le saule produit beaucoup de biomasse, ce qui est un avantage quand l'objectif est de la valoriser.



Helianthus annuus

Helianthus annuus (phytoextractrice) :

Helianthus annuus ou tournesol est une plante accumulatrice, elle agit par phytoextraction. Elle est efficace sur les sols contaminés aux métaux lourds.



Brassica juncea

Brassica juncea (phytoextractrice) :

Le Brassica juncea est une plante accumulatrice, elle agit par phytoextraction. Elle est efficace sur les sols contaminés aux métaux lourds.



Populus alba

Le Populus alba (phytoextractrice) :

Le Populus alba ou peuplier blanc est une plante hyper-accumulatrice. Elle agit par phytoextraction. Le peuplier est particulièrement efficace pour traiter les zones polluées aux métaux lourds et hydrocarbures. L'avantage de cette plante, comme pour le saule, est que son système racinaire est plus profond que des plantes annuelles, ce qui permet de dépolluer les sols plus en profondeur qu'on ne pourrait le faire avec le chanvre par exemple. Un autre avantage est que le peuplier produit un bois assez résistant, ce qui est un avantage quand l'objectif est de le valoriser à des fins constructives.



hlaspi caerulescens

Thlaspi caerulescens (phytostabilisatrice) :

Le caerulescens est une plante phytosabilisatrice, elle peut s'installer sur des sols très différents comme une terre agricole, une boue ou des terres industrielles. Elle est assez efficace pour stabiliser le Plomb et Cadmium au niveau de ses racines.



Arabidopsis halleri

Arabidopsis halleri (phytostabilisatrice) :

L'Arabidopsis halleri est une plante phytosabilisatrice. Elle est assez efficace pour stabiliser le Cadmium et autres métaux lourds au niveau de ses racines.



Liriodendron tulipifera

Liriodendron tulipifera (phytovolatilisation) :

Le Liriodendron tulipifera ou tulipier de Virginie aussi connu sous le nom d'arbre aux lis est un arbre feuillu de la famille des Magnoliacées originaire du sud et de l'est des États-Unis. Il utilise un procédé de phytovolatilisation et est particulièrement efficace avec les composés organiques et les métaux lourds.



Chrysogon zizanioides

Chrysogon zizanioides (phytodégradation) :

C'est une plante qui utilise la phytodégradation. Elle est particulièrement efficace pour les pollutions organiques et hydrocarbures.

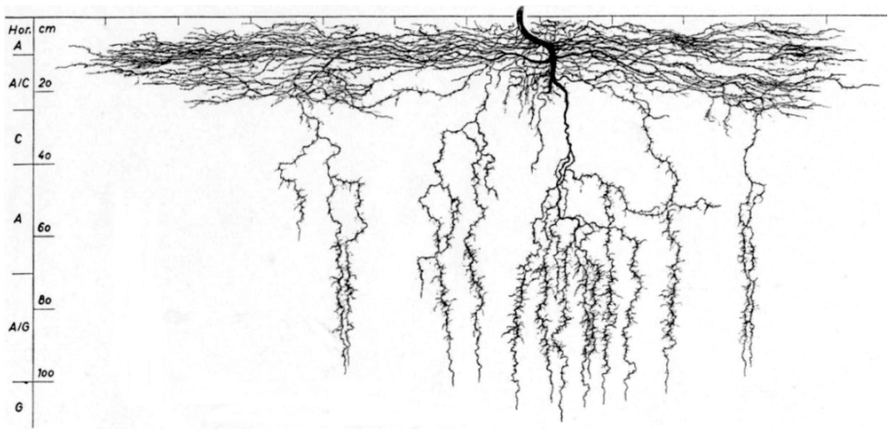


Trifolium repens

Trifolium repens (rhizodégradation) :

Aussi connue sous le nom de Trefle à 3 feuilles, c'est une plante qui utilise la rhizodégradation. Elle est particulièrement efficace pour les pollutions organiques et hydrocarbures.

La méthode de dépollution par phytorestauration présente un grand nombre d'avantages. Parmi ces avantages, il y a le faible coût de traitement bien inférieur aux technologies classiques. En effet, selon une étude de 1996 (Cunningham & Ow, 1996), le coût de la phytorestauration serait jusqu'à 100 fois inférieur. Pour exemple, la commission de l'énergie atomique a estimé le coût de la phytorestauration. Sur un hectare contaminé au plomb sur une profondeur de 50 cm, cela coûterait entre 86 000 et 172 000 euros, alors qu'avec une méthode d'excavation, cela couterait entre 800 000 et 1 700 000 euros. Un autre avantage est qu'elle s'adapte aux grandes superficies contaminées, jusqu'à plusieurs Km², ce qui la rend propice au traitement des friches industrielles qui sont souvent très vastes et très nombreuses. Il est possible de récupérer les polluants suite aux traitements des plantes post-dépollution. De plus, les plantes sont convertibles en biomasse et potentiellement valorisables. C'est une technologie visuellement attractive, surtout quand celle-ci est aménagée sous forme de parc dépolluant et en mixant les espèces. Le fait d'éviter la monoculture favorise aussi la biodiversité. Elle perturbe faiblement le milieu contaminé et a souvent de grands avantages suite à la dépollution si par exemple le lieu est destiné à devenir un parc ou à recevoir de la végétation. Car cette technique améliore la qualité du sol, que ce soit au niveau de sa structure ou de sa capacité en eau et autre. D'autant plus que ces méthodes de dépollution utilisant des biotechnologies ont une très bonne image auprès du public.



Graphique de la structure racinaire d'une plante de *canabis sativa*

Malgré tous ces avantages, cette technique présente plusieurs limites. Une des principales limites à cette méthode est que le temps de traitements est très long, allant de 3 ans jusqu'à 50 ans pour les zones très polluées (mais nous allons voir que ce “problème” peut être un avantage). Elle est limitée aux surfaces colonisables par les racines. Elle sera donc adaptée aux zones polluées relativement peu profondes, de 50 cm à 1 mètre pour les herbacées, de 2 à 4 mètres pour les arbres et arbustes. Cela dépend du système racinaire de la plante utilisée. Mais il faudra aussi que la nature du sol soit propice à la pousse de la plante ainsi que le climat. Elle dépendra aussi de sa résistance aux attaques des insectes et des micro-organismes. D’où le fait de favoriser l’utilisation de plantes naturellement résistantes, ne demandant que peu ou pas d’entretien ni irrigation, tel que le chanvre. À noter que les plantes phytorestauratrices ont déjà la particularité de pouvoir pousser dans des milieux assez hostiles, là où d’autres plantes n’en seraient pas capables. Mais la contamination doit être modérée pour que la plante survive.[8]

L’évaluation de ces limites est toujours en cours d’études, car plus la question est creusée, plus nous nous rendons compte de l’extrême résilience de la nature. Une des zones de recherche les plus anciennes se trouve dans la zone d’exclusion de Tchernobyl. Chaque année, les chercheurs sont surpris de l’incroyable capacité des plantes à traiter les polluants les plus dangereux pour l’Homme, comme les éléments radioactifs, mais aussi leur capacité à survivre dans ces milieux. Cela fait maintenant plus de 30 ans que des plantes telles que le chanvre, le miscanthus ou encore le tournesol y sont testées et offrent des résultats très prometteurs.

8 Sébastien Illovic, Vincent Bonnarme : *Ces plantes qui guérissent l’habitat, phytoépuration et génie végétal*, Edition Eyrolles, 2011



De Tchernobyl en passant par les Pouilles :
l'action du chanvre dans la régénération des sols

01/06/2017 Culture organique de cannabis Actualité 1 commentaire

Face à certains désastres tels que les fuites nucléaires ou la pollution industrielle, toutes les solutions envisageables sont bonnes à prendre mais lorsqu'il s'agit de régénérer l'environnement elles restent peu nombreuses. Cependant, diverses études et événements ont démontré lors des dernières années que le « cannabis Sativa » renfermait un potentiel presque unique qu'il ne partageait qu'avec un nombre très réduit d'autres espèces comme le maïs ou encore le tournesol : il est capable de nettoyer et de purger les sols, l'eau et l'air de la pollution en décomposant les éléments chimiques pouvant être toxiques pour l'être humain.

Article de journal parlant de l'efficacité du chanvre pour le procédé de phytorestauration



Pripyat et Tchernobyl aujourd'hui.

d. Etude de cas 1. Tchernobyl (Ukraine)

Tchernobyl est dans notre cas un très bon exemple de l'application de la phytorestauration, étant un milieu où la vie est devenue impossible pour l'Homme à cause de la contamination par des éléments radioactifs. La zone d'exclusion représente un no man's land de 2600 km².

La catastrophe nucléaire de Tchernobyl est la plus importante qu'ait connue le XXe siècle dans le domaine civil. Elle a eu lieu à Pripiat, en Ukraine le 26 avril 1986 et a impacté le monde entier. Un des réacteurs a explosé suite à la fusion d'un des cœurs. Cette explosion a libéré une très grande quantité d'éléments radioactifs, provoquant une contamination importante des alentours. Il y eut de nombreux décès liés aux irradiations dans les jours et les années qui suivirent.

De très grandes concentrations d'éléments radioactifs et toxiques ont été propagées autour de la centrale, venant contaminer les sols. Suite à de nombreux relevés, une zone d'exclusion de 30 km de rayon a été dessinée autour de la centrale nucléaire.

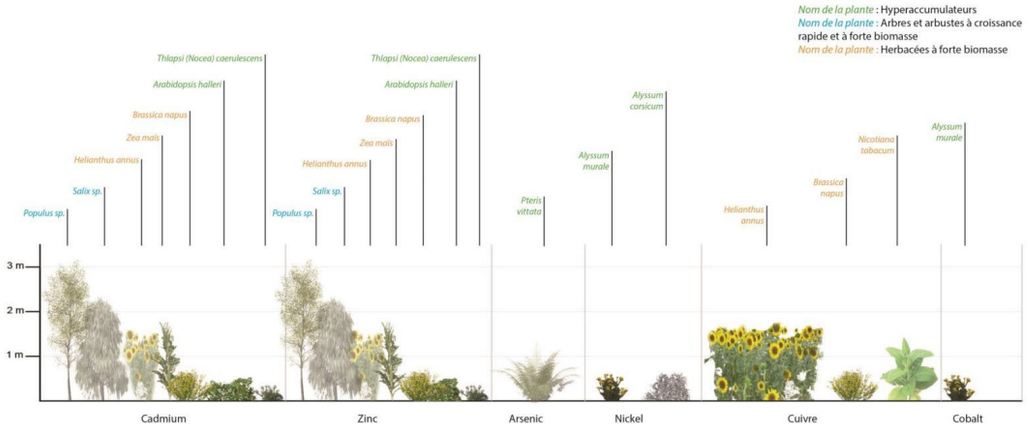
L'un des premiers spécialiste de la phytoremédiation par le chanvre est Slavik Dushenov. C'est un expert en biologie végétale et écologie des sols. Il avait participé à des travaux pour décontaminer les sols de Tchernobyl.

Plusieurs plantes candidates avaient été mises en évidence comme étant capables d'extraire du sol le Césium 137, le Strontium 90 ainsi que l'Uranium 235, qui sont parmi les principaux polluants radioactifs présents à Tchernobyl. Parmi ces plantes, le tournesol ainsi que le chanvre présentaient les meilleurs taux de capacité de bioaccumulation des polluants radioactifs, permettant ainsi de nettoyer les terres contaminées à proximité de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Des études ont été aussi menées sur le Miscanthus, qui elle aussi a montré d'assez bons résultats.[9]

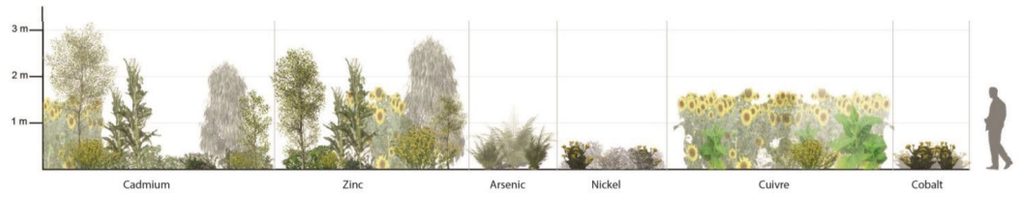
Philippe Giasson, professeur associé en sciences de la Terre et de l'atmosphère à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) précisait : « Certaines espèces de chanvre ont la capacité d'absorber jusqu'à 3 % de leur poids sec. »

Ce cas d'étude ne permet pas vraiment d'appuyer l'aspect paysager, si l'objectif est de développer des parcs dépolluants. Mais il permet de montrer que cette méthode est applicable à des surfaces immenses, mais aussi sur des zones très hostiles sans la nécessité de développer de grands moyens.

9 https://www.alchimiaweb.com/blogfr/phytoremediation-cannabis-nettoyer-sols-contamines/
9 De Tchernobyl en passant par les Pouilles : l'action du chanvre dans la régénération des sols, Humboldt Seed Organization, mai 2017



Représentations en coupe des détails d'une liste de plantes utilisées en phytoextraction en fonction des éléments polluants constatés dans un sol.



Représentations en coupe d'ambiance d'une liste de plantes utilisées en phytoextraction en fonction des éléments polluants constatés dans un sol.

3. Un paysage dépolluant

La dépollution à l'aide de plantes possède un grand nombre d'avantages évidents, que ce soit au niveau écologique ou économique. Mais d'un point de vue plus urbanistique et architectural, ce procédé de phytorestauration présente là aussi des avantages majeurs, tant sur le fait de valoriser un environnement durable, permettant un développement harmonieux de l'être humain.

En effet, ces dernières années, l'approche systémique de la réhabilitation de l'environnement par la phytorestauration, mêlée à des processus de planification (temporelle et spatiale) et de conception urbaine se développent. L'enjeu temporel est toujours la grande problématique, car ce procédé peut prendre plusieurs dizaines d'années. Mais quand il est perçu comme un avantage, permettant de créer de nouveaux contextes urbains écologiques et sociaux, cette approche semble être la plus adaptée à la réhabilitation de site en cœur de ville. L'intégration du processus de dépollution à la conception urbanistique est un bon moyen de maintenir et de développer les communautés, la santé humaine et la biodiversité au cœur de la ville. C'est surtout l'opportunité de créer de nouveaux paysages urbains, écologiques, opérationnels, actifs et évolutifs. En sachant qu'un grand nombre de friches se trouvent au bord des canaux, et que la politique de la métropole Lilloise est de reconquérir et de créer de nouvelles promenades apaisées en leurs bord, il semble logique d'adopter des techniques de dépollution qui pourront participer à la création de ce paysage, en faisant écho au patrimoine architectural industriel. Une grande balade végétalisée pourrait reconnecter les différentes communes de la métropole, en suivant ses grands canaux (Deûle, Marque, Canal de
Roubaix, …). Elle serait ponctuée de grands parcs dépolluants, qui évolueraient au cours des années de manière maîtrisée et concertée. Créant ainsi une véritable stratégie paysagère dépolluante à l'échelle de la métropole, qui dans un même temps, produirait une partie des matériaux nécessaires à la construction de la ville de demain.
Sur la base du constat que la présence du végétal impacte positivement le cadre de vie des individus, la dépollution par la phytorestauration semble être une bonne alternative. Il faut rappeler que cette nature doit être gérée pour éviter que ces zones aient une image peu rassurante. Les végétaux implantés sur des friches industrielles, dans le cadre de la phytorestauration, doivent être choisis au préalable et plantés de manière organisée et entretenue. Elles doivent suivre un plan de gestion pour ainsi éviter de donner une image délaissée pour les visiteurs et habitants du quartier.

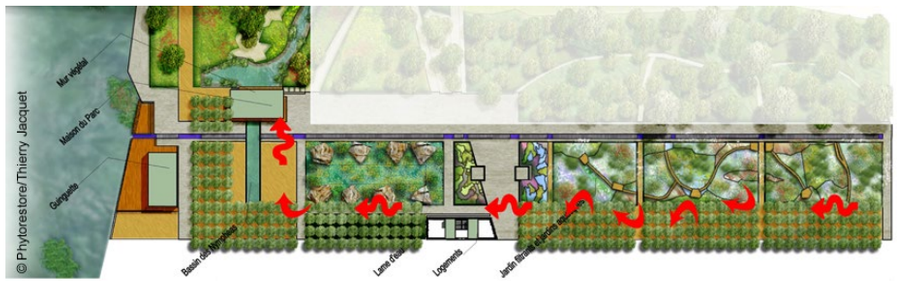
Comme vu ci-dessus, les espèces de plantes seront préconisées en fonction des polluants présents. On peut donc vite imaginer que le paysage dépendra de la pollution. Sur un site comme la friche Kuhlmann, où l'on retrouve une grande mixité de polluants, nous pourrons implanter une grande variété d'espèces générant différentes strates végétales d'une grande diversité et donc un paysage très riche.



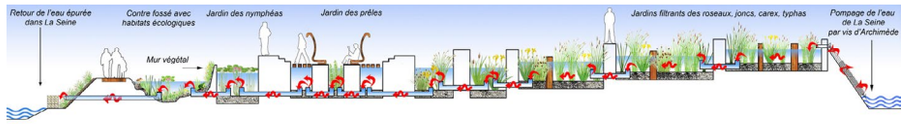
Les jardin filtrants du parc phyto-épuratif du chemin de l'ile de Nanterre, France.



Plan de la zone de reconstitution d'espaces naturelles pour restaurer la biodiversité et l'eau de la Seine



Plan des jardins filtrants pour le traitement de l'eau de la Seine



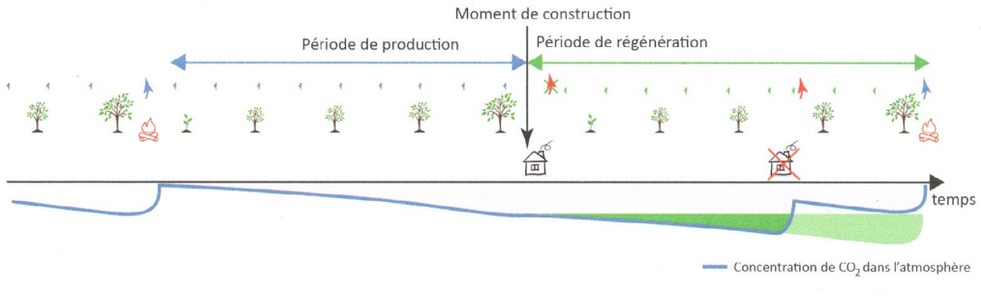
Coupe principe des jardins filtrants pour le traitement de l'eau de la Seine

a. Etude de cas 2. Parc phyto-épuratif du chemin de l'ile de Nanterre, France, 2005

À l'issue d'un concours, un projet de parc public en bord de seine au bout de l'axe historique de La Défense à Nanterre, a été confié au groupe Phytorestore et des partenaires pour proposer un parc public suivant un nouveau concept basé sur la notion de développement durable. Il a été aménagé le long des anciens chemins de halage.
Le projet a pour but de reconstituer des zones naturelles qui restaurent l'eau et la biodiversité de la Seine sur un principe de phytoépuration.
Cette démarche a été décisive pour le choix des plantes et matériaux de construction, ainsi que pour la conception des aménagements paysagers. Ces éléments qui constituent les bassins destinés à la phytoépuration s'installent sur une première partie qui fait 14.5 hectares sur les 56. C'est une zone humide artificielle basée sur le concept de Jardins Filtrants. Ces aménagements paysagers épurateurs sont rustiques et rappellent des marais naturels qui seraient canalisés dans des bassins en béton.
Des matériaux trouvés sur place ont été recyclés (bétons concassés, verre, plaques d'acier, anciennes poutrelles de voies ferrées) pour créer un paysage particulier, dit "d'espace naturel public". Mais il est, à la fois, très urbain du fait des déchets locaux réutilisés.
Les bords de la Seine ont été "renaturalisés" en remplaçant les palplanches métalliques et le béton, par des aménagements écologiques. Cela a permis de créer un nouvel habitat pour les poissons et les grenouilles de la Seine. Dans la deuxième partie du parc, l'eau rejoint l'ancienne rivière du site. Elle a été réaménagée en divers habitats écologiques.
Malgré le passage des péniches, les berges sont protégées par un enrochement naturel et par des plantes aquatiques, aussi dans le but de reconstituer différents écosystèmes. Une promenade continue a aussi été réalisée pour les pêcheurs et les riverains.
"Les Jardins Filtrants pour le traitement de l'Eau de la Seine sont conçus pour organiser l'installation de plantes aquatiques en fonction également de leur efficacité pour le traitement des polluants et au final, selon de leur sensibilité à la qualité de l'eau.
Ainsi les premiers étages sont essentiellement composés de typhas, de phragmites et de joncs, espèces réputées pour leur capacité de phytoépuration.
Puis dans les derniers bassins, des plantes sentinelles pour la qualité de l'eau ont été installées : il s'agit notamment des nymphéas, des lotus ornementaux, des plantes locales aquatiques en voie de disparition, comme la linaigrette."[10]
Ce parc est bien sûr ouvert au public pouvant profiter d'un parc dépolluant. Et pour faciliter l'accueil, diverses installations annexes ont été installées, comme une guinguette, des jardins familiaux ou encore des aires de jeux. Tous les bâtiments ont été construits en appliquant les préconisations du label HQE.[11]

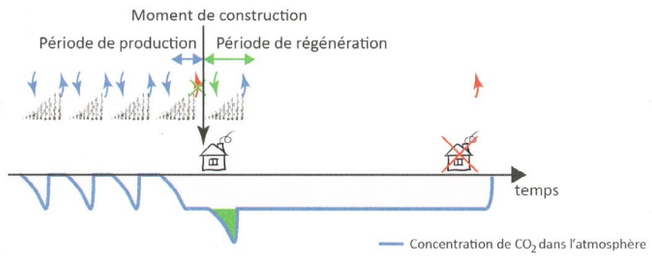
10 https://www.phytorestore.com/fr/parcs-naturels-urbains/item/61-nanterre.html
11 https://www.actu-environnement.com/ae/news/1768.php4

Forêts européennes
(Période de rotation de 30-50 ans)



Plantes à croissance rapide
(Période de rotation de 1-5 ans)

Avec des plantes à croissance rapide, la période de production est beaucoup plus courte que le temps pendant lequel elles sont utilisées dans le bâtiment, ce qui permet de bénéficier pleinement du potentiel de stockage de carbone



les plantes phytorestauratrices comme puits à carbone

4. La phytorestauration productive

La phytorestauration est un procédé de dépollution écologique, du fait qu'il ne demande que très peu d'énergie pour être mis en place. La récolte des plantes peut aussi se faire à la main. En plus de cela, les plantes ont la particularité de piéger du carbone lors de la pousse, c'est ce que l'on appelle "un puits à carbone". Dans le cas de l'utilisation normale de la phytorestauration, la plante serait détruite par combustion, ce qui libérerait le carbone emprisonné dans la plante. Ce traitement serait ainsi un procédé à énergie neutre ou très légèrement polluant. Mais dans le cas où la majeure partie des plantes (biomasse) est valorisée et non détruite, le carbone est alors fixé dans les matières produites avec les végétaux, rendant ce procédé encore plus écologique ainsi que productif.

Ce procédé est aussi économique, dans le sens où il est peu coûteux, mais aussi, car il a la capacité de générer plus d'emplois qu'un procédé de dépollution classique. Si la biomasse est à terme valorisée en biomatériaux destinés à la construction ou à la vente, elle permet soit de faire une économie sur le coût de construction future, soit de faire un bénéfice sur la dépollution, d'où le nom, là encore, de "productive".

« C'est dans une culture de valorisation des ressources du milieu par ses habitants que réside la clef stratégique d'un développement soutenable, non dans quelques prothèses techniques supplémentaires. »[1]

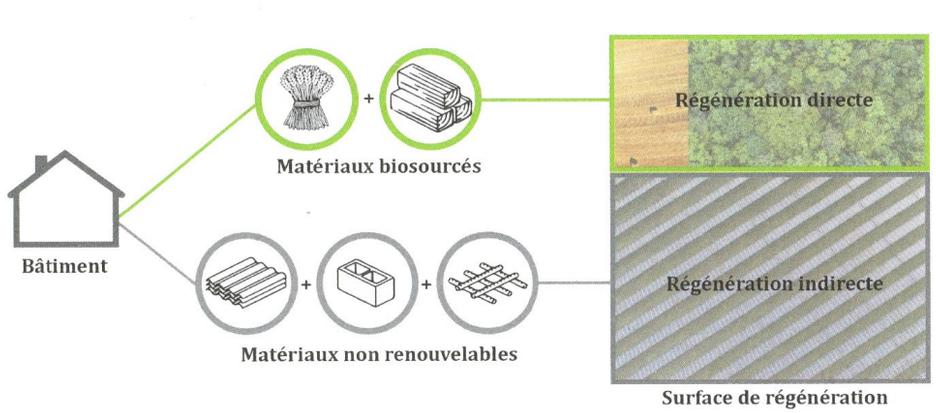
Alberto Magnaghi, 2003

1 Alberto Magnaghi, *Le Projet local*, éditions Mardaga, 2003

Chapitre 2. Valorisation des plantes phytorestauratrices

1. Traitements des plantes phytorestauratrices

2. Valorisation des plantes phytorestauratrices



Les matériaux bisourcés face à la raréfaction des ressources : Les surfaces de régénération

Les matériaux biosourcés semblent réémerger depuis les années 2000, en réponse aux problèmes environnementaux. Maintenant que nos connaissances s'affinent sur ces matériaux, nous commençons à trouver diverses applications et cela dans différents domaines. Les matériaux biosourcés réapparaissent dans le monde du bâtiment. Longtemps oubliés au profit du béton et de l'acier, ils font l'objet d'un engouement renaissant face à la raréfaction des ressources, mais peine encore à se faire une place dans ce monde.

Un des principaux problèmes dans leur développement, est que les filières sont pour l'instant peu développées, voire inexistantes et la demande reste faible. De plus, leurs coûts sont souvent plus élevés que des matériaux standards. La solution de planter uniquement pour la production de matériaux de construction ne semble pas forcément être la bonne, mais il se trouve que la plupart de ces plantes utilisables en tant que matériaux ont des particularités qui peuvent apporter bien plus. Par exemple, si l'on introduit la production de ces plantes à un système de rotation des cultures ou encore à la phytorestauration, alors leur culture devient d'autant plus utile, et leur valorisation est un plus, une opportunité. Nous allons donc voir pourquoi.



Fibre de chanvre tressée sur du béton de chanvre

1. Traitements des plantes phytorestauratrices.

Il se trouve que la plupart des plantes phyorestauratrices ont un grand nombre de valorisations possibles. L'un des principaux questionnements par rapport à la valorisation de plantes servant à dépolluer des sols est lié aux polluants qu'elles ont stockés dans leurs différentes parties valorisables. En effet, si l'on prend l'exemple de la fibre de chanvre qui servirait à la confection d'isolant, si la concentration en polluant est trop élevée, il pourrait y avoir des échanges avec l'atmosphère intérieure d'un espace, ce qui pourrait poser des problèmes de santé aux occupants. Mais comme l'ont montré plusieurs études, les plantes phytoextractrices stockent principalement les polluants dans leurs feuilles. Dans le cas du chanvre, les feuilles ne sont pas valorisables et sont destinées à l'incinération. De plus, nous avons découvert qu'au bout de la troisième année de dépollution, les taux de concentration de polluants dans la plante chutent énormément. Les parties valorisables comme la tige ne présente pratiquement plus de polluant. La contre-indication principale pour la valorisation et l'utilisation de plantes servant à la dépollution est qu'elles ne peuvent en aucun cas être destinées à des fins alimentaires.

Les procédés actuels de phytorestauration consistent simplement à incinérer les plantes servant à dépolluer à une température de 500 °C, pour que la majorité des polluants reste sous forme solide. Les fumées sont filtrées pour éviter que les polluants ne se retrouvent dans l'atmosphère, et pour le reste, l'ensemble se retrouve sous forme de cendres qui seront traitées comme des déchets, par enfouissement principalement.[1] C'est encore au stade expérimental, mais des études sont en cours pour essayer de récupérer les polluants, comme les métaux lourds par exemple, afin de pouvoir les recycler et les réutiliser. C'est aussi une des raisons pour laquelle la phytorestauration est peu utilisée, c'est un procédé assez long, qui n'apporte que peu, voire pas de bénéfice aux investisseurs, car ces plantes sont détruites. C'est pourquoi le fait de valoriser la biomasse afin de la revendre à terme, semble être intéressant, pour avoir un retour sur investissement. La valeur foncière est telle, en contexte urbain, que la valorisation des plantes ne rentabilisera probablement pas le manque à gagner par rapport à un traitement beaucoup plus rapide, mais pourra l'atténuer. Les parties qui ne peuvent pas être valorisées, ou les plantes de premier cycle (car trop polluées), leur incinération devrait elle aussi avoir un intérêt, comme le chauffage par exemple. La plupart des polluants sont concentrés dans la cendre volatile qui peut être récupéré au niveau de l'extraction par des filtres industriels standards.[2]

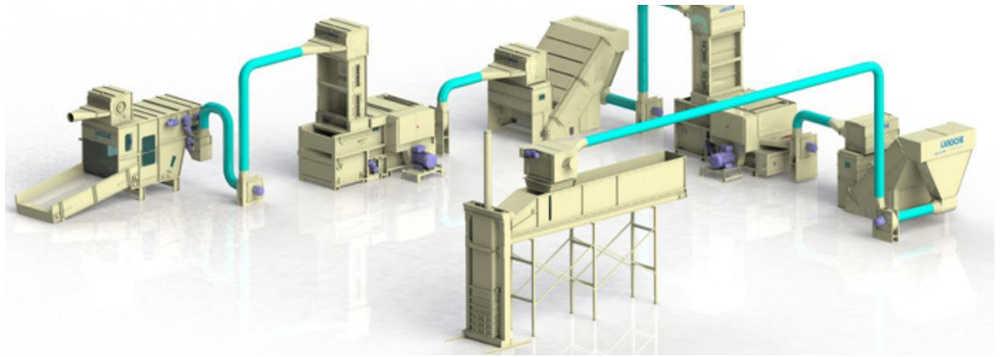
1 Dépolluer les sols avec des plantes - FUTURE - ARTE
2 institut national de l'environnement industriel et des risques, ineris.fr



Récolte à la main du chanvre



Récolte mécanisée du chanvre



Lignes complètes de nettoyage et de défibrage de plantes libériennes (chanvre, miscanthus, lin, kenaf, jute...)



Béton de chanvre en brique préfabriqué



Mur en béton de chanvre par un système de cauffrage



Isolant de chanvre



Enduit chaux/chanvre

2. Valorisation des plantes phytorestauratrices.

La plupart des plantes phytorestauratrices sont des espèces annuelles. Chaque année, après être arrivées à maturité et avoir emmagasiné les polluants, un travail de récolte est nécessaire. Comme vu ci-dessus, dans la plupart des cas, ces plantes sont incinérées. Mais dans cet écrit, l'objectif est de valoriser le plus de biomasse possible, et cela, à des fins de construction. Les parties telles que les feuilles seront détruites, mais le reste de la plante sera utilisé. Chacune de ces plantes a des valorisations différentes possibles et chaque plante nécessite des techniques variées pour les transformer en matériaux.

Le chanvre (*Cannabis Sativa*) refait son apparition ces dernières années en tant que matériau de construction, car nous nous rendons compte qu'il a de multiples usages et d'autant plus de qualités : que ce soit au niveau thermique, acoustique, pour la gestion de l'humidité intérieure, mais aussi au niveau de sa mise en œuvre, il devient un matériau au multiple avantage. La France est le premier cultivateur mondial avec 52% de la part de marché mondial, ce qui représente 84000 tonnes par an en 2017,[1] mais le pourcentage destiné au secteur de la construction reste faible. L'équivalent d'un hectare de culture nous donne suffisamment de matière pour construire une maison de 100 m² (hors éléments structurels). Son conditionnement est assez simple et entièrement automatisé (peut-être fait à la main) et consiste à séparer la fibre et le bois de la tige. Ces deux sous-produits permettent de produire des matériaux principaux : la fibre, destinée à la production d'isolants et la chènevotte, destinée à la production de béton de chanvre (non-structurel). L'isolant seul ou mélangé à d'autres éléments peut être acoustique et/ou thermique. Il a tendance à améliorer la qualité de l'air intérieur, régule l'hygrométrie et sa mise en œuvre ne produit aucune poussière. Le béton de chanvre est donc un mélange de chènevotte, de chaux et d'eau, il peut être utilisé pour les murs et dalles de sol, mais nécessite une structure porteuse en bois ou en acier.

1 hectare de chanvre (en culture industrielle : 300 000 pieds/ha) donne environ:
_ 4.4 tonnes de chenevotte.
_ 2.4 tonnes de fibre.
_ 0.8 tonne de fines.
_ 0.4 tonne de «déchets».

Une maison de 100 m² en béton de chanvre, c'est environ:

5 tonnes de chènevotte

3000 euros

7 tonnes de CO2 stockées

la production annuelle 1.5ha de culture de chanvre

Les filières franciliennes des matériaux et produits bio-sourcés pour la construction, ARENE

1 https://fr.wikipedia.org/wiki/Chanvre



bloc porteur en béton de miscanthus



Panneau alvéolé en bioplastique de fibres végétales



Saule des vanniers pendant la récolte



Osier en bac de trempage



Panneau bois contreplaqué en peuplier



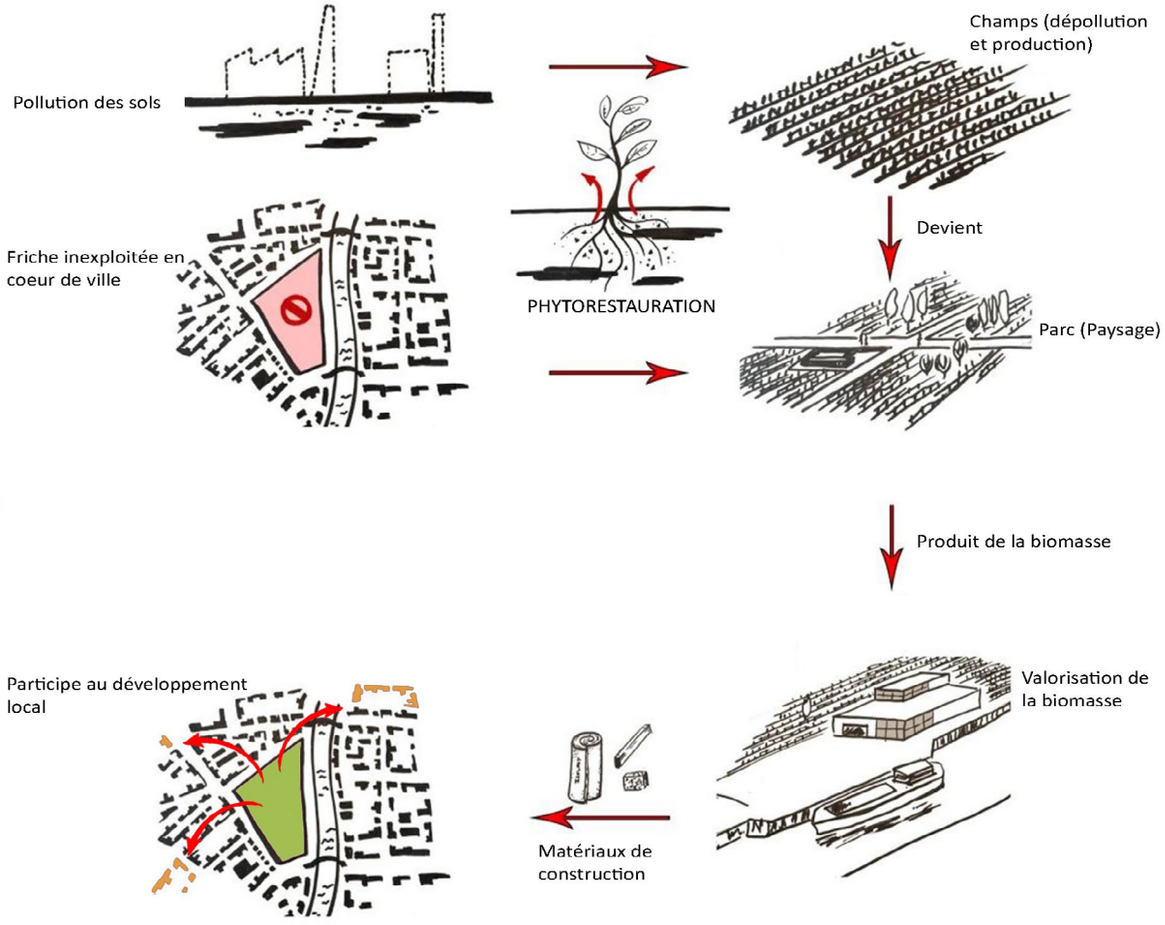
Charpente en bois de peuplier

Le miscanthus (*Miscanthus Sinensis Gracillimus* “herbe à éléphant”) est très prometteur en termes de bioplastique, qui en incarne la troisième génération. La France est encore une fois pionnière dans ce domaine en possédant le premier brevet et des centaines d’hectares destinés à la recherche. Avec la poudre de cette plante (polymère), il est possible de produire du plastique. La polymérisation est un mélange de poudre de la plante et d’eau et est provoquée par des chocs thermiques. La matière est ensuite thermoformable et moulable.[2] Ce bioplastique pourrait être utilisé pour la confection de châssis de fenêtres par exemple, ou tout autre élément en plastique nécessaire dans le bâtiment. Le miscanthus peut aussi être utilisé pour la confection d’isolants ou de “bio-béton” (60% d’un béton standard / tiges remplacent les granulats / composition : sable, eau, ciment, miscanthus). Le terme “bio-béton” n’est pas le plus approprié, car il nécessite l’utilisation de ciment qui est très polluant, et de sable qui nous le savons est de plus en plus rare, et sa récupération de plus en plus complexe et très destructeur des écosystèmes.[3]

Le saule vannier ou osier jaune (*salix viminalis*) est un arbre possédant de très longs rameaux. Il fait partie de la même famille que le peuplier. Son bois peut être utilisé pour la confection d’osier, idéal pour des finitions intérieures ou la confection de garde-corps par exemple, étant un bois très robuste. Il peut aussi être utilisé pour la fabrication de panneaux de bois destinés à la construction. Il suit un cycle assez court, il est considéré comme un arbre à croissance rapide (40 à 50 cm par an). Pour qu’il atteigne la maturité et qu’il ait effectué son travail de dépollution, il faut attendre entre 5 à 6 ans.

Le peuplier argenté (*populus alba “Nivea”*) est une essence tendre et se façonne facilement. Il produit un bois peu marqué, d’une teinte mate ou satinée appréciée pour les usages intérieurs. C’est un bois très absorbant, qui se colle bien sous réserve d’un soin rigoureux apporté aux états de surface et de la bonne gestion du séchage. Cette qualité lui permet d’être très utilisé en panneaux de contreplaqué. Le bois de peuplier est perçu comme très tendre et léger. Il possède néanmoins d’excellentes qualités de résistance mécanique. Certains cultivars peuvent fournir du bois ayant des qualités mécaniques supérieures, lui conférant une utilisation optimale en usage structurel. Brut il est considéré comme un bois court mais on peut aisément faire des poutres en lamellé collé de grande dimension. Il peut aussi être utilisé en bardage et en vêture. Et en raison de ses caractéristiques, il peut être utilisé en tant que panneaux acoustiques. Comme le saule, il a lui aussi une croissance rapide (1 à 1m50 par an, les 5 premières années).

2 Avec l'herbe miscanthus, le plastique c'est fantastique ! Paris Match, sixtine Dubly, 02/03/2020
3 Combustible, isolant, bio-béton... Connaissez-vous le miscanthus ? We Demain, Pauline Vallée, 17/10/2019



Schèma explicatif de la «phytorestauration productive»

La compatibilité et la complémentarité des espèces sont des enjeux importants de la phytorestauration et du projet proposé en partie 3 de cet écrit. En effet sur le point de la dépollution, comme vue précédemment, utiliser différentes espèces permet d'agir sur différents polluants présents dans le sol, mais aussi de traiter différentes profondeurs de pollution. Cela permet aussi de favoriser la biodiversité et les écosystèmes, ainsi que de créer des paysages riches et agréables pour les visiteurs et habitants des alentours. Permettant de qualifier cette méthode de "paysage phytorestaurateur". La partie développée ici nous montre les valorisations possibles et nous fait nous rendre compte que cette variété permet aussi de produire une panoplie de matériaux de construction permettant d'intervenir dans de nombreuses parties d'un bâtiment. Que ce soit le peuplier pour la structure des murs, des planchers ou de la toiture ; le chanvre pour l'isolation, le remplissage, les dalles de sol et enduits ; le miscanthus pour les châssis de fenêtres et le saule pour des finitions. Il devient presque possible de construire une habitation uniquement avec ces plantes phytorestauratrices valorisées, d'où le nom de "phytorestauration productive"

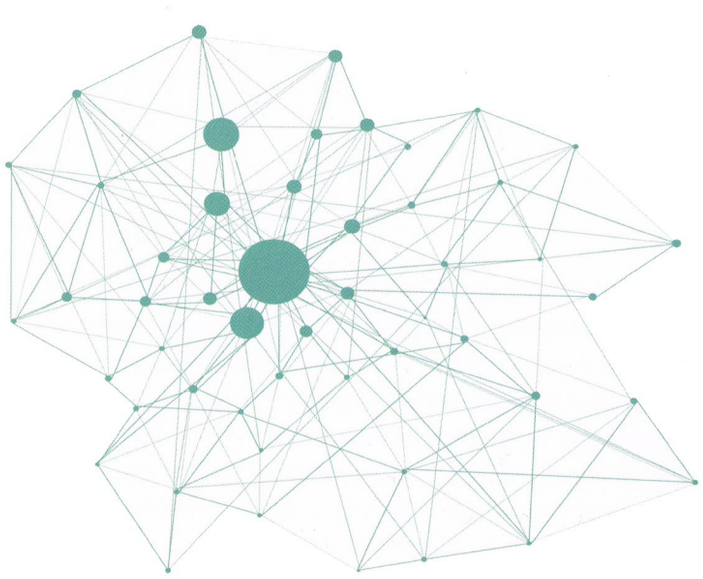
Bien sûr il y a encore du chemin à parcourir pour optimiser ces utilisations et nos méthodes de traitements pour sortir de l'expérimentation et standardiser ces procédés. Cela permettrait de traiter de plus grands ensembles que juste une poignée de bâtiments. Mais cela nous ouvre de belles perspectives pour l'avenir de l'architecture, de l'urbanisme et du paysage urbain.

« Penser globalement, agir localement »[1]

René Dubois, 1972.

1 René Dubois, rapport des Nations unies, *Nous n'avons qu'une Terre*, 1972.

1. Une démarche holistique
2. Atmosphère et matière
    a. Etude de cas 3. Chapelle funéraire, kaestle&ocker Architekten BDA, Aalen (Allemange)
3. Entre low-tech et high-tech
    a. Etude de cas 4. Bureaux de Loire-Atlantique Développement, Forma6, Nantes (France)
    b. Etude de cas 5. Salle polyvalente Grémaux, Baillet Laurent, Lezennes (France)
    c. Etude de cas 6. Médiathèques, Studio A&P – Elsa Liverani, Givenchy-en Gohelle (France)



Visualisation de l'approche holistique et des corrections multidimensionnelles qu'elle demande

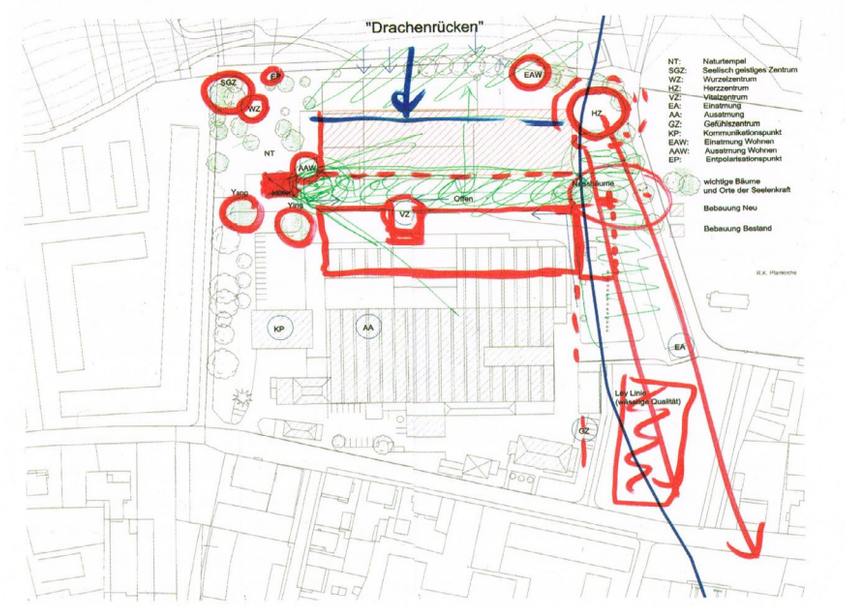
L’utilisation de matériaux biosourcés pour construire est une chose qui existe depuis des millénaires. Ce type de construction dit vernaculaire, n’est pas né avec l’apparition des enjeux environnementaux. À une époque, il n’était clairement pas possible de construire avec d’autres matériaux que ceux présents à proximité du lieu de construction, faute de moyen de transport par exemple. Il était donc nécessaire de faire avec les matériaux locaux. Pour ce faire, il fallait connaître toutes les transformations et applications possibles d’un matériau. Le “vernaculaire” n’est-il pas tant le fait de faire d’un bâtiment le reflet de son territoire et ses traditions, que celui d’acquérir une intelligence sur ces matières locales pour en exploiter toutes les particularités afin de rendre une habitation viable ? C’est par les techniques et matériaux utilisés qu’un mode de bâtir acquiert une identité propre à une culture et un lieu, tout en s’adaptant à son environnement. Dès lors, nous pouvons parler de vernaculaire. De nos jours la réémergence de l’utilisation des matériaux biosourcés n’est pas liée à une faute de moyens, mais à la nécessité de répondre à une crise environnementale globale. Malgré cela, nous pouvons aussi y retrouver une manière de renouer avec nos cultures, parfois oubliées et de retrouver une diversité d’identités aussi nombreuses qu’il existe de paysages dans le monde. C’est en quelque sorte aussi une façon de faire face à la conformité de l’architecture à une idéologie de mondialisation et d’uniformisation.

1. Une démarche holistique

L’expression “holistique” vient de la médecine et est dérivée du grec “holos” qui signifie “tout” et “entier”. Une thérapie holistique consiste à s’occuper du patient “dans sa globalité” en prenant en compte plus de facteurs que dans la médecine dite “allopathique”. Cela consiste à prendre en considération le physique, l’émotionnel, le mental, le socioculturel, l’environnemental et le spirituel du patient. En d’autres termes, la thérapie holistique est l’art de prendre soin de l’être humain dans sa globalité.[1]

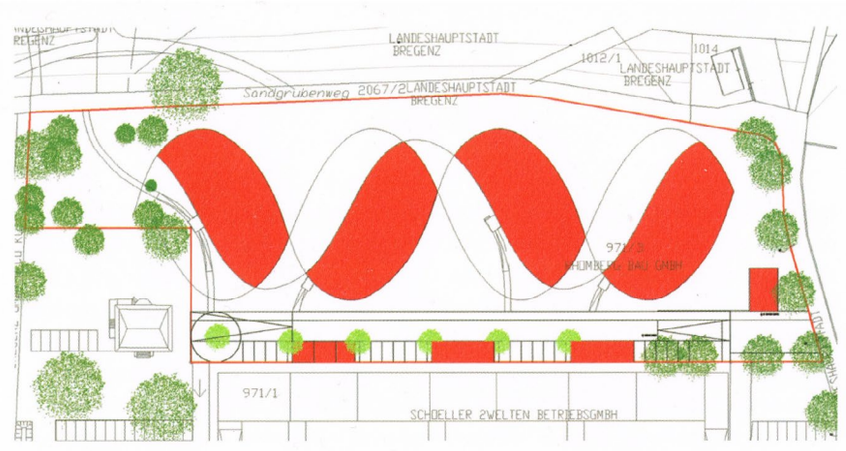
1 Daniel Kieffer, créateur du Collège Européen Naturopathie Traditionnelle Holistique (CENATHO)

Le processus holistique
Acte 1: Anticiper l'avenir



Parc résidentiel Sandgrubenweg, croquis de l'étude géomantique du professeur Erwin Frohman

Acte 2: Etudier les potentiels du site



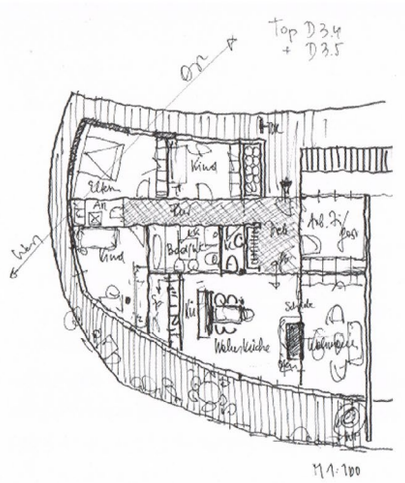
Parc résidentiel Sandgrubenweg, dessin de la forme des bâtiments issue de l'étude géomantique

Appliqué à l'architecture, l'holistique peut offrir une réponse intégrant des connaissances et questionnements qui viennent compléter les compétences strictement liées au domaine qu'est l'architecture. Cette démarche n'est pas forcément faite systématiquement, alors qu'elle pourrait amener à des projets s'intégrant beaucoup mieux à la réalité d'un terrain et à ses enjeux. Nous pouvons qualifier cette approche de «globale» ou «holistique». Cette approche pluridimensionnelle se fonde sur plusieurs critères, venant former des liens entre l'écologie, l'économie, le social et le culturel. Dès le début d'un projet, le travail d'une équipe touchant à plusieurs domaines permet d'optimiser les propositions afin de trouver les solutions les plus adaptées. Incluant des échelles dépassant celle du bâtiment pour ainsi trouver une entente entre des contraintes parfois contradictoires, l'approche holistique appliquée à l'architecture pousse le domaine scientifique encore plus loin, par exemple en intégrant les biosources à un système de phytorestauration. Elle prend en compte l'étude du contexte, des organisations socioculturelles, économiques et écologiques existantes, tout cela dans une vision d'interdépendance entre ces éléments et en examinant les éventuelles conséquences de la modification de leurs états. Pour Dominique Gauzin-Müller,«le processus holistique» suit trois actes, «anticiper l'avenir», «étudier les potentiels du site» et «la conception consciente»[2]. Ces actes doivent répondre à des critères écoresponsables permettant de rendre plus facile le déchiffrage des performances écologiques d'un bâtiment. Ces critères sont énoncés comme tels : «Démarche et influences», «site et territoire», «matériaux et techniques», «énergie et ambiances», «humain et usages»[3]. L'objectif est de rendre plus compréhensible l'aspect holistique d'une démarche architecturale, l'écoresponsabilité de cette architecture et les différentes interactions entre les critères.

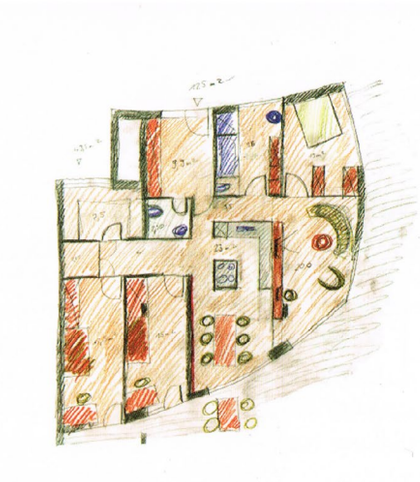
«Holistique, pour Smuts, indiquait une tendance vers la Totalité. Smuts a assumé des charges et un rôle politique important, mais c'est sa pensée philosophique qui a été reconnue surtout au cours de ces dernières années. Smuts critiquait le réductionnisme d'origine cartésienne et avançait l'hypothèse que les relations entre les parties ne sont pas linéaires et que tout est supérieur à la somme des parties qui le composent. Il s'agit d'une totalité non statique, en mutation et en changement perpétuel, en rapport avec l'évolutionnisme darwinien. La plus importante contribution culturelle que nous puissions trouver dans le concept d'holistique réside dans la référence au rapport mutuel entre l'un et le tout (holôs) et à la pensée de la relation.»[4]

2 *D.Gauzin-Müller, Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable ?,Actes sud/Cité de l'architecture et du patrimoine*
3 *D.Gauzin-Müller, M.H. Contal, Habiter écologique, quelle architectures pour une ville durable ? , Actes sud/Cité de l'architecture et du patrimoine*
4 *Holistique, durabilité et architecture, Benno Albrecht. Dans Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable, cité de l'architecture et du Patrimoine, 2009.*

Acte 3: La conception consciente



Logement de 153 m² pour une famille de deux enfants, architecte Helmut Kuess



Logement de 125 m² pour une femme et deux enfants, architecte Stephan Rist

Aujourd'hui, le secteur du bâtiment est au centre du débat lié au développement durable, car il représente une très grande part des émissions de gaz à effet de serre. En effet, ce secteur représente à lui seul 38 % des émissions de CO2 et 35% de la consommation d'énergie finale mondiale en 2018[5], l'énergie finale étant l'ensemble des énergies délivrées prêtes à l'emploi, à l'utilisateur. La prise de conscience de cette réalité sera déterminante pour faire un aménagement plus durable et responsable de notre territoire. Nous commençons déjà à voir naître de nouveaux choix architecturaux, induisant de nouvelles formes, tout cela pour atteindre des modes d'habiter plus respectueux de l'environnement. Mais il reste encore plusieurs barrières à franchir, comme celles tenues par les lobbies ou encore celles qui résident dans chacun de nous. De nos jours, on observe une généralisation du questionnement, touchant l'ensemble du globe, préoccupant autant le domaine privé que public. Tout en constatant une multiplicité de démarches directement liées aux spécificités locales. Afin de répondre aux enjeux du développement durable, ces constructions doivent être économiquement viables, socialement équitables et écologiquement soutenables. Elles doivent être fondées sur l'équilibre entre l'homme et son environnement, entre modernité et tradition, entre high-tech et low-tech. Ne prenons pas cette démarche comme une nouvelle contrainte, mais plutôt comme une façon de renouer avec la nature. Une manière d'apporter des réponses concrètes aux enjeux environnementaux actuels, tout en offrant une plus-value culturelle, économique et sociale. S'inscrivant non pas comme une nouvelle doctrine, mais comme un état d'esprit, venant ouvrir le champ des possibles, dans un souci de sobriété.

Nous pouvons vite nous rendre compte que cette démarche holistique est la base dans la notion d'une architecture soutenable, car elle permet de prendre un bâtiment dans son ensemble, dans son territoire et dans son environnement. Et cela, non plus comme un point ponctuel dans le temps, mais comme un cycle. Cela est d'autant plus vrai quand nous parlons de biosource. Car ces filières biosourcées sont la synthèse de cette pensée, en partant de la graine, base du matériau, jusqu'à la fin de la vie du bâtiment, et à son recyclage. La qualité de ce cycle peut être évaluée, cela s'appelle «l'analyse du cycle de vie»(ACV), c'est une méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère et par phase d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie.

5 ONU, *programme pour l'environnement*,2018



Différents matériaux biosourcés

2. Atmosphère et matière

L’architecture biosourcée, ici à base de plantes phytorestauratrices peut aussi être appelée architecture en fibres végétales. De nombreux stéréotypes nous font nous imaginer la petite hutte aux formes très simples, quand on parle de chanvre, de bois, de paille ou de roseaux. Mais il est possible d’atteindre un très haut niveau de précision et de détail avec ces matériaux. Ainsi que des formes très variées et modernes, et cela, autant qu’avec du béton et de l’acier. Mais il y a une chose qui est propre à ces matériaux contrairement au béton, c’est qu’ils possèdent une infinie richesse au niveau des atmosphères pouvant être crées. Par-dessus toutes pensées culturelles, sociales, économiques ou écologiques, les matériaux biosourcés peu transformés ou bruts, possèdent un potentiel émotionnel très fort. Cette dimension de la matière dans l’espace offre une certaine sensibilité, une chaleur apparaissant dans l’architecture vernaculaire.
Cette idée de “dépollution, valorisation construction” aboutirait donc à un processus de construction, dans l’idéal sur ces mêmes lieux de dépollution ou dans les environs. Les acteurs seraient des gens vivant à proximité, agissant donc sur leur quartier, cela en échangeant leur savoir en apprenant les uns des autres, accompagnés par la ville.

“Le développement est un processus global, économique, social, culturel et politique, qui vise à améliorer sans cesse le bien-être de l’ensemble de la population et de tous les individus, sur la base de leur participation active, libre et significative au développement et au partage équitable des bienfaits qui en découlent.”[1]

L’architecture qui découlerait de ce principe de phytorestauration serait donc composée des éléments vus dans le chapitre précédent. C’est-à-dire à base de chanvre, de saule, de peuplier et de miscanthus. Pour illustrer l’aspect sensible que l’on peut avoir avec ce type de matériaux, j’ai décidé d’appuyer mon propos à l’aide d’une étude de cas. Celle d’une chapelle funéraire à Aalen, en Allemagne, et qui utilise comme matériau de finition l’osier.

1 Extrait de la Déclaration des Nations unies sur le droit au développement, 1986.



Salle principale de la chapelle funéraire d'Aalen

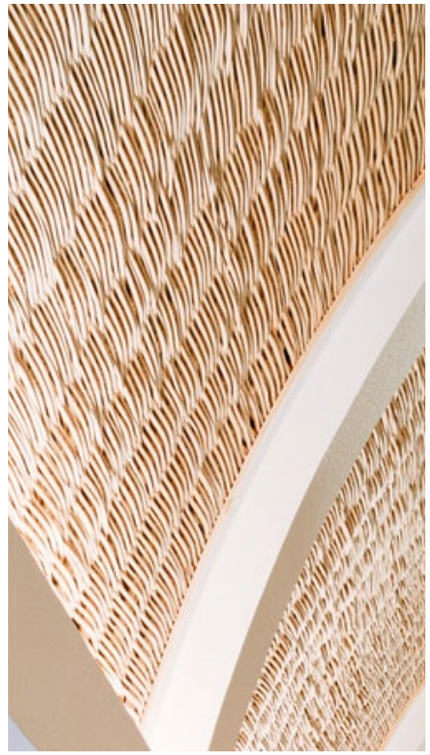
a. Etude de cas 3. Chapelle funéraire, Aalen, Allemagne, Kaestle&ocker Architekten BDA, 2009

En Allemagne, les cimetières forestiers ont une longue tradition. Lors de sa rénovation par l'agence kaestle&ocker, le funérarium de celui d'Aalen a été en grande partie conservé dans son état original de 1954. Depuis l'extérieur, les murs blancs du long bâtiment couvert d'un toit à forte pente, en tuiles, se détachent entre les troncs d'arbres. L'entrée dans la chapelle surprend par la haute baie vitrée découpée au fond du chœur et la fine croix qui se détache sur les frondaisons. La voûte en berceau, rythmée par quatre arcs en béton armé, est désormais recouverte d'un habillage en vannerie, qui apporte la chaleur symbolique d'une matrice protectrice. L'osier avec lequel il est tressé est utilisé depuis l'aube des temps, du berceau aux objets du quotidien, dans la plupart des régions du monde. Pour les architectes, « sa sensualité et son archaïsme font référence au cycle de la vie, à l'émergence et à la disparition»[2].

Ce bâtiment a été primé au Fibra Award, parmi les 50 finalistes. Pour moi, il représente très bien l'extrême sensibilité que l'on peut trouver en utilisant des fibres végétales brutes, ici juste avec un travail de tissage. L'osier est issu de la famille des saules. Il est récolté en hiver (pour favoriser la repousse au printemps) et ses brins peuvent dépasser les 4 m de longueur. Il est mis à sécher en bottes, puis sera écorcé au printemps pour obtenir l'osier blanc que l'on retrouve dans cette chapelle. Avant sa mise en œuvre, l'osier est mis à tremper dans un bain d'eau froide afin de l'assouplir, puis il est tissé.

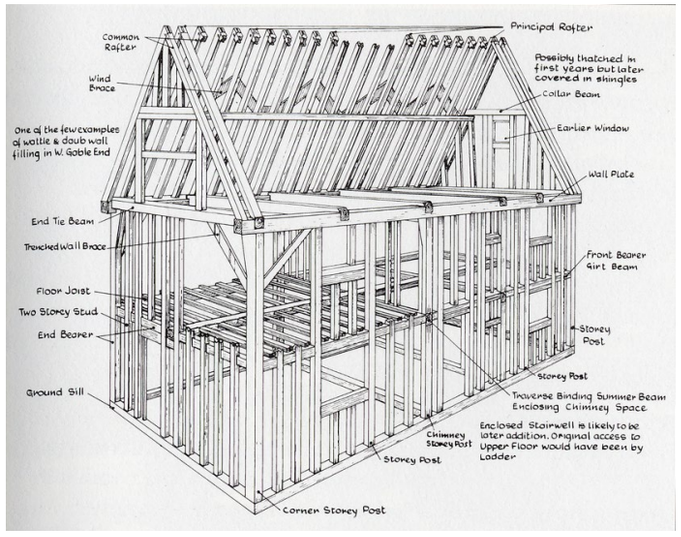


Salle principale de la chapelle funéraire d'Aalen



Eclairage rasant soulignant la texture en osier tissé

2 Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Dominique Gauzin-Müller, Museo éditions, octobre 2019.



croquis d'une habitation en structure bois « balloon frame »



Tour du lac Mjosa à Brumunddal en Norvège, Voll Arkitekter

3. Entre low-tech et high-tech

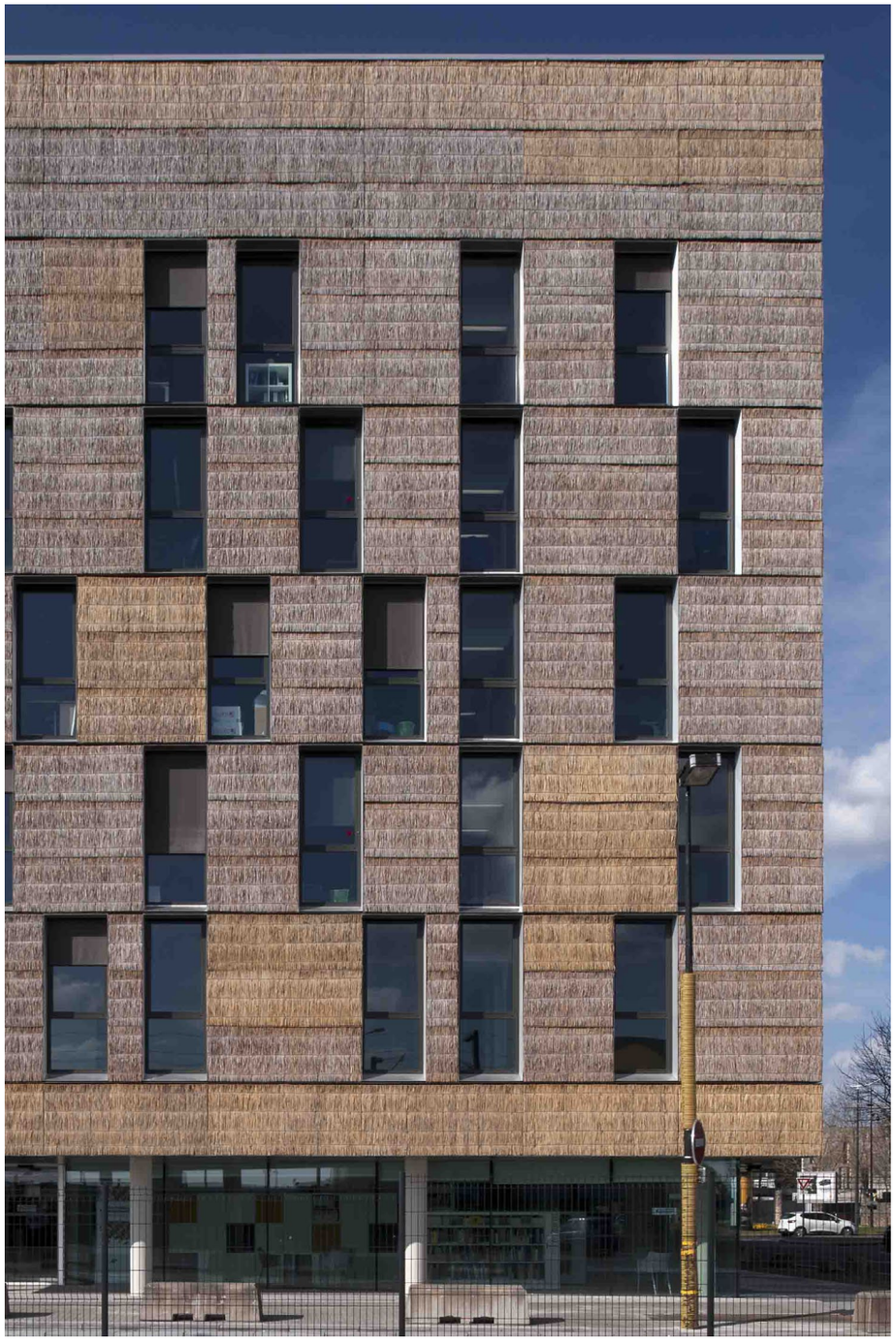
Comme dit précédemment, l'image qu'on peut avoir du biosourcé est souvent archaïque mais il est tout à fait possible de créer des bâtiments aux formes modernes. L'avancée technologique et l'augmentation de nos connaissances, nous permettent aujourd'hui de mêler nos savoir-faire. Nos connaissances en matière de structure nous permettent aujourd'hui de repousser sans cesse les limites des matériaux que nous connaissons, par exemple avec le bois. Le bâtiment le plus haut atteint les 85.4 m à Brumunddal en Norvège, alors que le Japon rêve déjà de construire une tour de 350 m à Tokyo, alors qu'il y a quelques décennies, cela aurait été inimaginable. En effet, la construction contemporaine en matériaux biosourcés mélange régulièrement des techniques low-tech et high-tech, ce qui permet de créer des bâtiments ayant de très bonnes performances, avec des matériaux assez rudimentaires.

Si l'on prend l'exemple du peuplier, son utilisation en matériau brut oblige à utiliser de petites sections ("bois court"). Mais grâce aux outils de calcul structurel moderne, il devient très facile de l'organiser structurellement afin de traverser des portées importantes. D'un point de vue architectural, ces structures complexes sont très qualitatives au niveau des espaces et de leurs ressenties. Elles offrent une atmosphère agréable et une certaine composition dans les espaces. La structure devient l'architecture.

Low-tech : La ou le low-tech ou basse technologie est un ensemble de techniques simples, pratiques, économiques et populaires. Le concept s'oppose au high-tech. Elles peuvent faire appel à des solutions techniques tombées en désuétude. https://fr.wikipedia.org/wiki/Low-tech

High-tech : Les techniques de pointe ou, abusivement, hautes technologies ou technologies de pointe, aussi connues sous l'anglicisme high-tech, sont des techniques considérées comme les plus avancées à une époque donnée. https://fr.wikipedia.org/wiki/Techniques_de_pointe

Développer les avantages acoustiques, thermiques des biosources, leurs limites aussi. Parler du confort intérieur, du confort de la mise en œuvre pour les ouvriers.

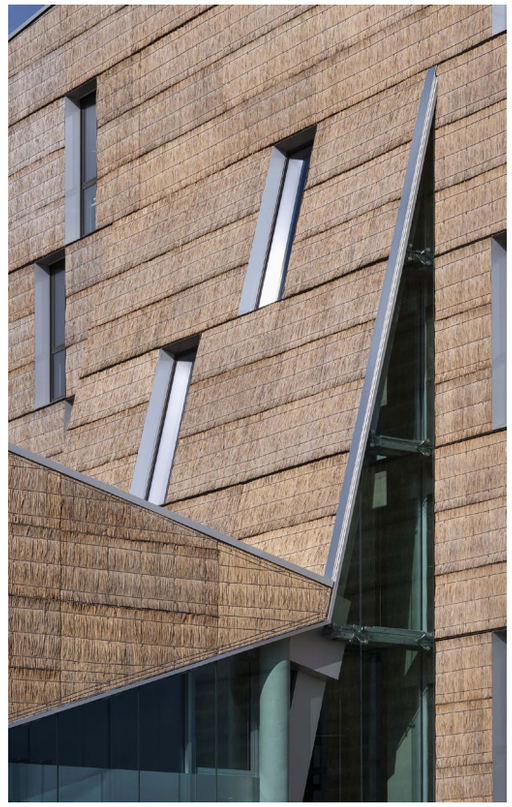


Bureaux de Loire-Atlantique Développement, Nantes

a. Etude de cas 4. Bureaux de Loire-Atlantique Développement, Nantes (France) Forma6, 2017.

L'immeuble de bureau de six niveaux, développé par l'agence d'architecture Forma6, est implanté sur l'île de Nantes. Il fait la liaison entre neuf et ancien, car il est positionné à la limite entre le quartier industriel et la partie plus urbanisée. Il joue le rôle de signal à l'angle de deux rues, et ses différentes hauteurs s'adaptent aux constructions mitoyennes. L'ambition de Forma6 dans cette intervention est de valoriser le territoire. Le matériau de façade le célèbre : "le chaume est une allégorie de la Loire, mais c'est aussi le reflet d'un savoir-faire local". Les panneaux en roseaux ont été préfabriqués spécialement pour ce bâtiment et ils ont été classés M3 lors des essais de résistance au feu effectué au CSTB. Cette technique est donc reproductible.[1]

Ce bâtiment est une belle représentation de l'alliance du low-tech et du high-tech, par l'addition de béton et d'une isolation par l'extérieur avec un bardage en roseau. Les panneaux de chaume ont été accrochés et vissés sur une ossature en chevrons douglas, fixés sur les façades en béton. Sa forme et ses ouvertures contemporaines donnent une autre dimension à son matériau de façade, en l'intégrant ainsi à la typomorphologie du lieu.

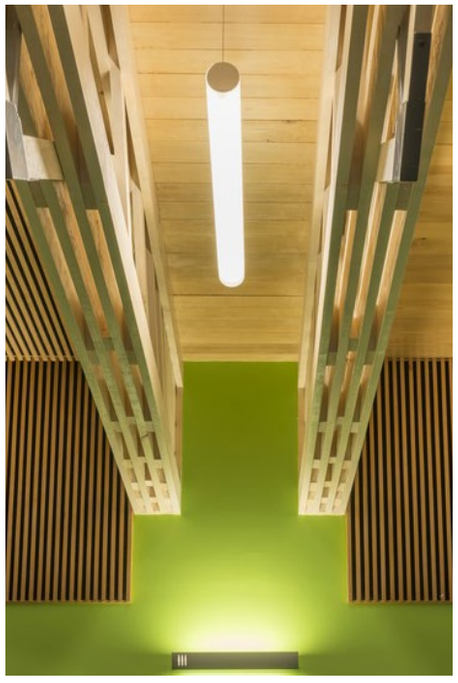


Bureaux de Loire-Atlantique Développement, Nantes

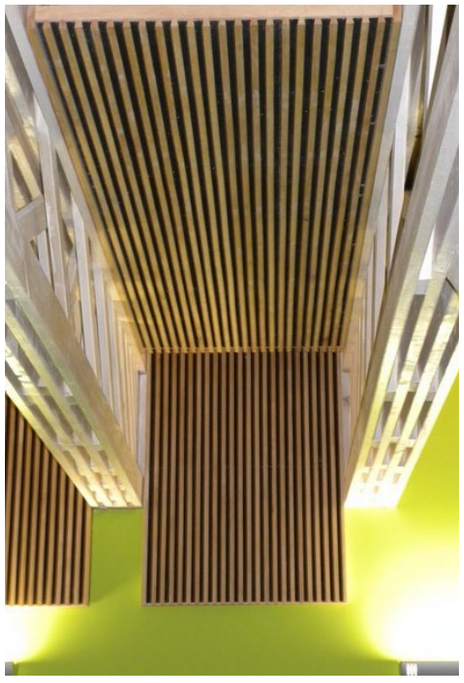


Revétement de façade en chaume

1 Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Dominique Gauzin-Müller, Museo éditions, octobre 2019.



Eclairages artificiels de la salle



Panneaux acoustiques en peuplier



Structure poutre treillis en peuplier

b. Etude de cas 5. Salle polyvalente Grémaux, Baillet Laurent, Lezennes (France)

Le réaménagement de cette salle en halte-garderie vient clôturer la réhabilitation de l'ancienne école du village. La cour de récréation autour de laquelle s'organise les bâtiments est devenue un square. Cette salle polyvalente construite au début des années 70 ne possédait aucune isolation phonique ou thermique. Ce lieu est destiné aux rassemblements des associations ou pour les fêtes familiales, elle recevra une nouvelle fonction de salle de psychomotricité en journée, et nécessité donc une réhabilitation.
Une démarche très haute qualité environnementale était souhaitée par la commune de Lezennes, cela accompagné par le conseil Général du nord. L'intervention en bois sains et non traités est prise très tôt, car le projet est contraint par des accès très exiguës. "Il s'agissait, en produisant le minimum de déchets de chantier, de réaliser une boîte isolante dans la boîte existante tout en "glissant" dans le plénum un dispositif de ventilation très performant pour éviter toute aération incontrôlée détériorant les isolations phoniques." (Baillet Laurent,2010). Une couverture végétalisée a été ajoutée sur la couverture existante, améliorant les performances acoustiques.[2]

Principe constructif :

_Couverture et structure existantes conservées et renforcées pour reprendre une végétalisation améliorant par l'effet de masse l'isolement acoustique du local.

_Parois périphériques existantes réhabilitées et bardées en partie en peuplier thermo traité.

_Création d'une enveloppe bois intérieure fortement isolée. Parois ossature bois réalisées en peuplier et isolées par fibre de bois. Poutres treillis densifiées en toiture reprenant un platelage bois support d'une isolation en une fibre de bois.

_Poutres treillis conçues à partir des sections et longueurs propres aux débits régionaux de peuplier. Juxtaposition de plusieurs sections permettant de reconstituer les inerties nécessaires structurellement.

_Conception adaptée à un chantier réalisé avec des conditions d'accès très exiguës et en produisant le minimum de déchets sur chantier.[3]

La nouvelle structure de bois court fait en peuplier offre une nouvelle identité à la salle et une atmosphère beaucoup plus chaleureuse. Ces poutres treillis donnent un rythme, qui est accentué par les panneaux acoustiques disposés dans leur intervalle. Les ouvertures zénithales couplées à l'éclairage artificiel créent une lumière qui vient jouer avec cette structure, renforçant cette composition et la sensation de profondeur.



Eclairages naturelles de la salle

2 L'Observatoire, CAUE, Salle polyvalente Grémaux, Lezennes / Laurent Baillet
3 Ingé bois structure, Salle polyvalente Emile Grémaux, Lezennes.



Vue de la médiathèque depuis l'extérieur



Vue de la médiathèque depuis l'extérieur

c. Etude de cas 6. Médiathèques, Studio A&P – Elsa Liverani, Givenchy-en Gohelle (France)

Cette médiathèque est construite en cœur de commune et réinterprète les corps de bâtiments présents autour, de manière contemporaine. Elle offre une grande porosité en façade, grâce à l'ossature porteuse fait en bois de peuplier, lui permettant d'être largement vitrée. Cette structure permet de créer une forme simple et une organisation spacieuse et très lisible. L'utilisation du bois en structure et en revêtement intérieur crée un espace lumineux et agréable propice à la lecture. Des pannes de lamellé-collé d'une portée de 7,40 m relient les différents portiques courbes de la charpente qui sont développés spécifiquement pour ce projet.

«Toute l'ossature et les pannes sont en peuplier, les vêtures et les menuiseries extérieures en chêne, et les éléments d'aménagement intérieur (plafond acoustique et mobilier) en hêtre. Outre les bois de différentes essences, l'utilisation massive de matériaux biosourcés (fibre de bois, plaques de gypse de cellulose, terre crue, enduit terre paille...) fait de cette médiathèque un modèle d'éco-construction. Le projet a obtenu le Label Euralens pour ses choix environnementaux et son engagement pour le développement et la valorisation de la filière bois régionale»[4].



Espace principal de la médiathèque

4 https://docplayer.fr/74599884-Palmares-de-realisations-en-bois-local.html https://www.architectes-pour-tous.fr/sites/default/files/agence/portfolio/portfolio_oct_17_0.pdf

PARTIE 3. SAINT-ANDRE-LEZ-LILLE, ENTRE PAYSAGE ET PRODUCTION

Chapitre 1. Le canal de la Deûle et de la Marque au cœur des stratégies territoriales

Chapitre 2. Echelle du parc et de la commune

Chapitre 3. Architecture, production et paysage

Dans cette partie nous allons développer une hypothèse de projet venant reprendre les différents éléments abordés précédemment tout en s'appuyant sur les analyses effectuées. Nous nous intéresserons donc à la métropole Lilloise, car autrefois elle était un haut lieu de l'industrie. De nos jours, c'est l'un des territoires qui compte le plus de friches industrielles de France. Le traitement et la reconversion de ces grands espaces en cœur de ville sont maintenant un véritable enjeu environnemental pour la métropole. Mais la stratégie de reconversion mise en place soulève encore un grand nombre de questionnements par rapport à la gestion des friches et de leurs sols pollués.

Nous allons nous intéresser à l'ancien site industriel Kuhlmann, à Saint-André-lez-Lille, et y développer dans le détail une intervention paysagère et architecturale, dans le but d'appliquer les différents systèmes de dépollution et de valorisation abordés dans les parties précédentes de cet écrit.

Le programme mis en place traversera plusieurs dimensions. La première est temporelle, c'est-à-dire que le projet évoluera au cours des années, en fonction de la dépollution, mais aussi en fonction des saisons, rythmant la morphologie du parc et de ses activités. La seconde est spatiale, car le projet traverse plusieurs échelles. Premièrement, celle de la métropole, par la création d'une stratégie de dépollution liée au paysage et une stratégie productive. Deuxièmement, celle du parc et de son intégration au sein de la commune, à travers la phytorestauration et les enjeux urbanistiques et paysagers de Saint-André. Et dans un troisième et dernier temps, celle de l'architecture, par l'implantation de différents bâtiments aux diverses fonctions venant répondre aux besoins que nécessite un tel projet, mais aussi aux besoins de la commune et de ses habitants. Les bâtiments implantés, étant construits à partir de matériaux issus de la valorisation de plantes phytorestauratrices.

Chapitre 1. Le canal de la Deûle et de la Marque au cœur des stratégies territoriales

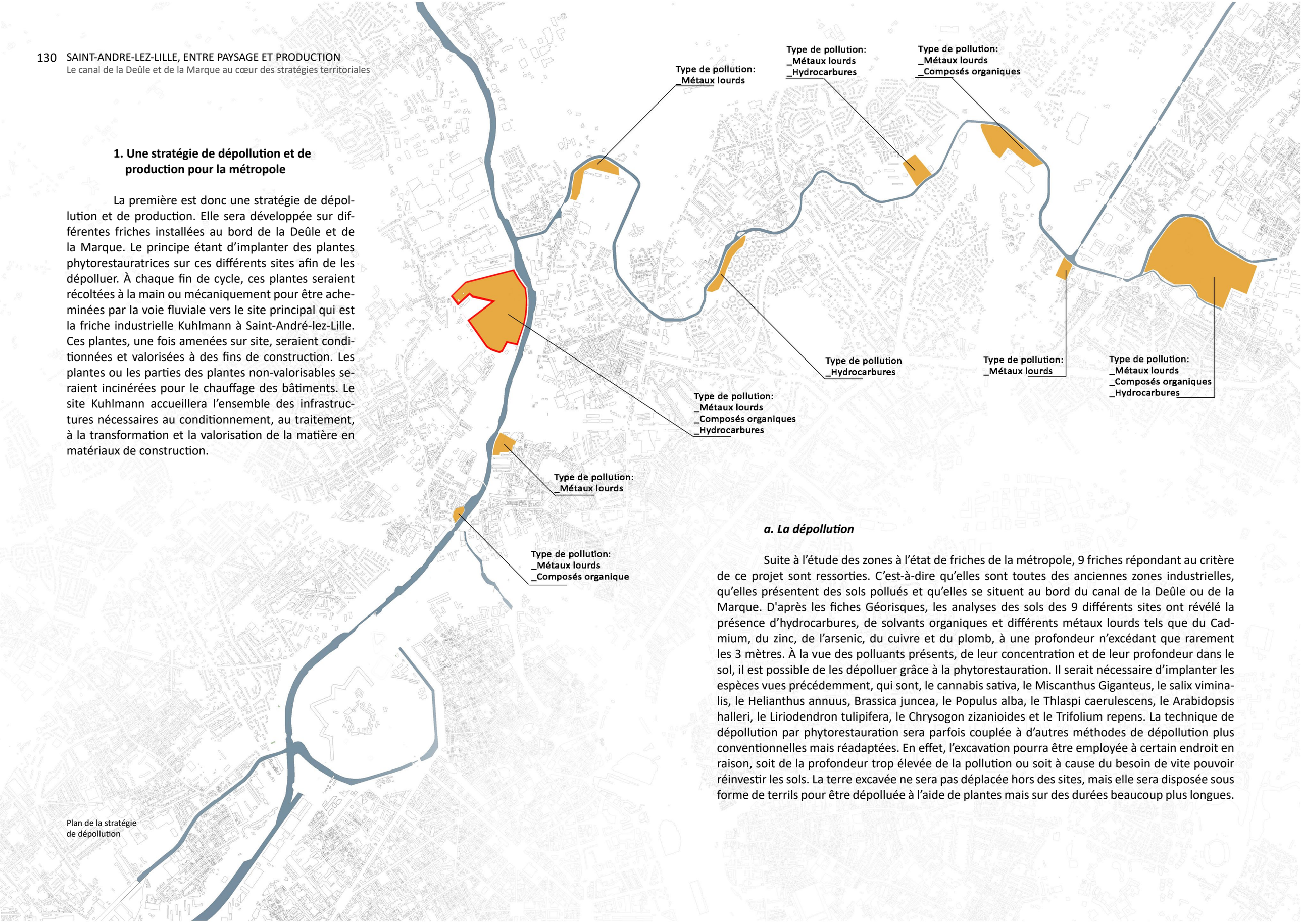
1. Une stratégie de dépollution et de production pour la métropole
a. La dépollution
b. La production

2. Une stratégie paysagère pour la métropole

3. La phytorestauration comme vecteur temporel et spatial

1. Une stratégie de dépollution et de production pour la métropole

La première est donc une stratégie de dépollution et de production. Elle sera développée sur différentes friches installées au bord de la Deûle et de la Marque. Le principe étant d'implanter des plantes phytorestauratrices sur ces différents sites afin de les dépolluer. À chaque fin de cycle, ces plantes seraient récoltées à la main ou mécaniquement pour être acheminées par la voie fluviale vers le site principal qui est la friche industrielle Kuhlmann à Saint-André-lez-Lille. Ces plantes, une fois amenées sur site, seraient conditionnées et valorisées à des fins de construction. Les plantes ou les parties des plantes non-valorisables seraient incinérées pour le chauffage des bâtiments. Le site Kuhlmann accueillera l'ensemble des infrastructures nécessaires au conditionnement, au traitement, à la transformation et la valorisation de la matière en matériaux de construction.



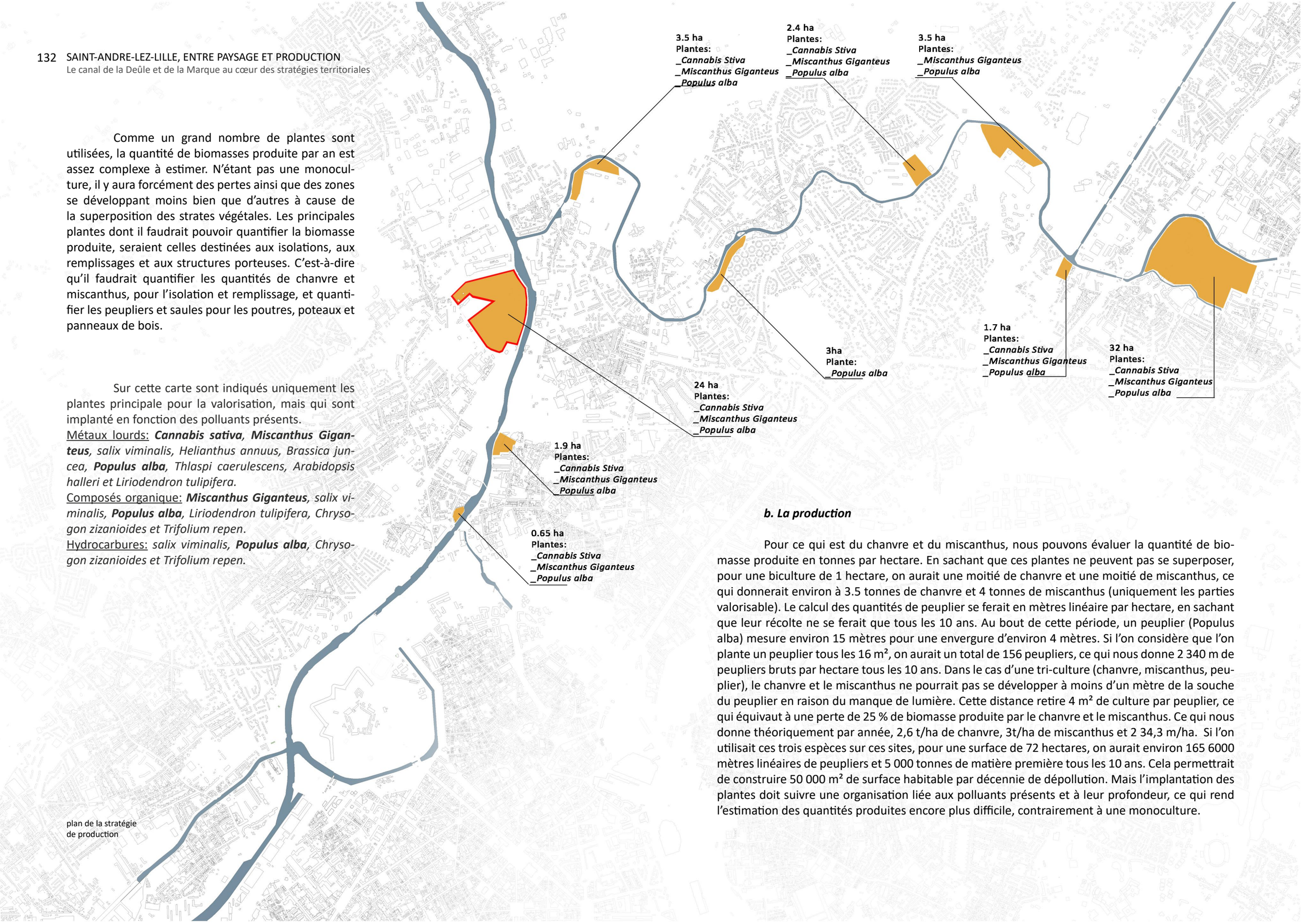
Plan de la stratégie de dépollution

a. La dépollution

Suite à l'étude des zones à l'état de friches de la métropole, 9 friches répondant au critère de ce projet sont ressorties. C'est-à-dire qu'elles sont toutes des anciennes zones industrielles, qu'elles présentent des sols pollués et qu'elles se situent au bord du canal de la Deûle ou de la Marque. D'après les fiches Géorisques, les analyses des sols des 9 différents sites ont révélé la présence d'hydrocarbures, de solvants organiques et différents métaux lourds tels que du Cadmium, du zinc, de l'arsenic, du cuivre et du plomb, à une profondeur n'excédant que rarement les 3 mètres. À la vue des polluants présents, de leur concentration et de leur profondeur dans le sol, il est possible de les dépolluer grâce à la phytorestauration. Il serait nécessaire d'implanter les espèces vues précédemment, qui sont, le cannabis sativa, le Miscanthus Giganteus, le salix viminalis, le Helianthus annuus, Brassica juncea, le Populus alba, le Thlaspi caerulescens, le Arabidopsis halleri, le Liriodendron tulipifera, le Chrysogon zizanioides et le Trifolium repens. La technique de dépollution par phytorestauration sera parfois couplée à d'autres méthodes de dépollution plus conventionnelles mais réadaptées. En effet, l'excavation pourra être employée à certain endroit en raison, soit de la profondeur trop élevée de la pollution ou soit à cause du besoin de vite pouvoir réinvestir les sols. La terre excavée ne sera pas déplacée hors des sites, mais elle sera disposée sous forme de terrils pour être dépolluée à l'aide de plantes mais sur des durées beaucoup plus longues.

Comme un grand nombre de plantes sont utilisées, la quantité de biomasses produite par an est assez complexe à estimer. N'étant pas une monoculture, il y aura forcément des pertes ainsi que des zones se développant moins bien que d'autres à cause de la superposition des strates végétales. Les principales plantes dont il faudrait pouvoir quantifier la biomasse produite, seraient celles destinées aux isolations, aux remplissages et aux structures porteuses. C'est-à-dire qu'il faudrait quantifier les quantités de chanvre et miscanthus, pour l'isolation et remplissage, et quantifier les peupliers et saules pour les poutres, poteaux et panneaux de bois.

Sur cette carte sont indiqués uniquement les plantes principale pour la valorisation, mais qui sont implanté en fonction des polluants présents.
Métaux lourds: ***Cannabis sativa***, ***Miscanthus Giganteus***, *salix viminalis, Helianthus annuus, Brassica juncea,* ***Populus alba***, *Thlaspi caerulescens, Arabidopsis halleri et Liriodendron tulipifera.*
Composés organique: ***Miscanthus Giganteus***, *salix viminalis,* ***Populus alba***, *Liriodendron tulipifera, Chrysogon zizanioides et Trifolium repen.*
Hydrocarbures: *salix viminalis,* ***Populus alba***, *Chrysogon zizanioides et Trifolium repen.*



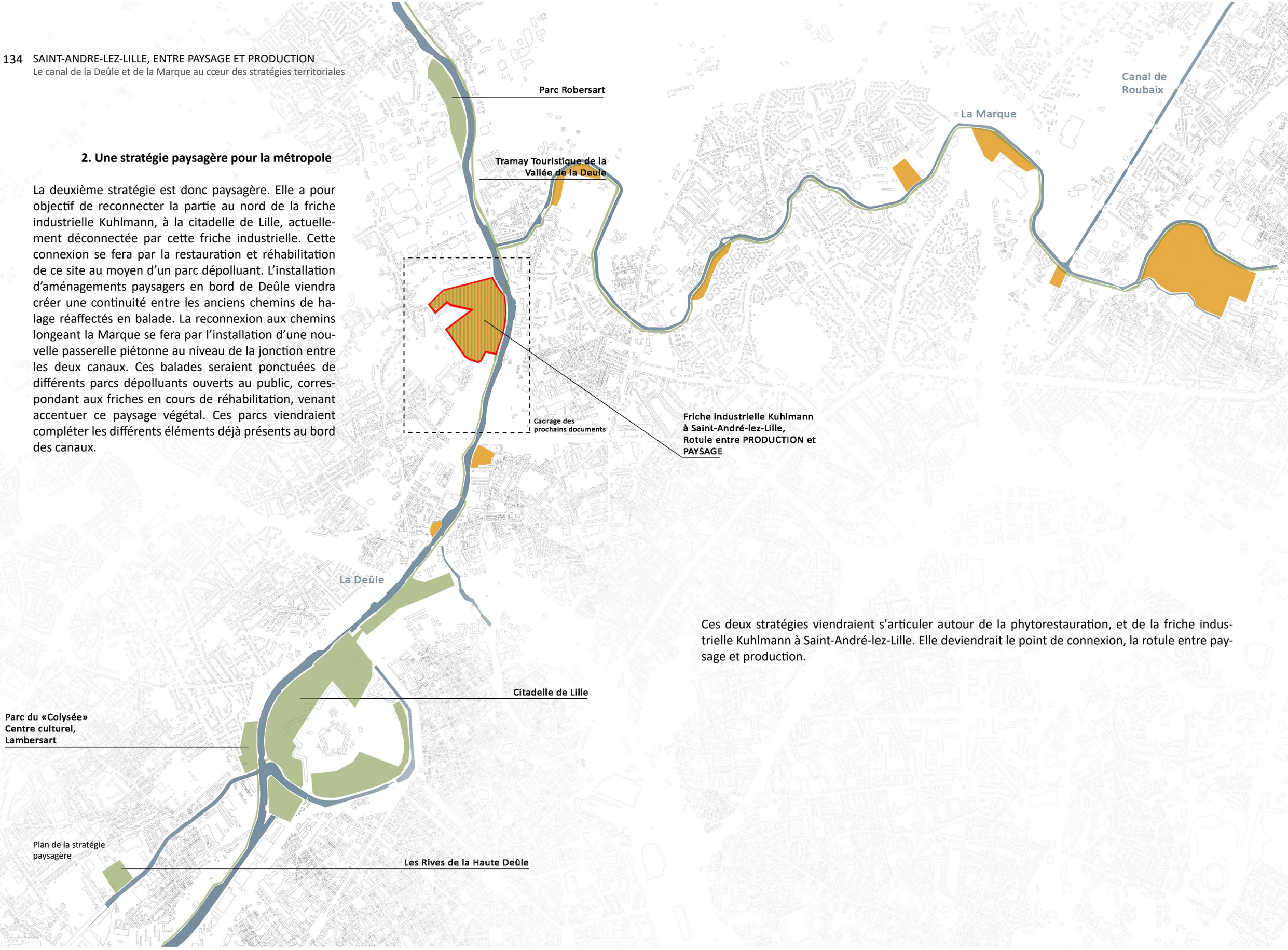
plan de la stratégie
de production

b. La production

Pour ce qui est du chanvre et du miscanthus, nous pouvons évaluer la quantité de biomasse produite en tonnes par hectare. En sachant que ces plantes ne peuvent pas se superposer, pour une biculture de 1 hectare, on aurait une moitié de chanvre et une moitié de miscanthus, ce qui donnerait environ à 3.5 tonnes de chanvre et 4 tonnes de miscanthus (uniquement les parties valorisable). Le calcul des quantités de peuplier se ferait en mètres linéaire par hectare, en sachant que leur récolte ne se ferait que tous les 10 ans. Au bout de cette période, un peuplier (Populus alba) mesure environ 15 mètres pour une envergure d'environ 4 mètres. Si l'on considère que l'on plante un peuplier tous les 16 m², on aurait un total de 156 peupliers, ce qui nous donne 2 340 m de peupliers bruts par hectare tous les 10 ans. Dans le cas d'une tri-culture (chanvre, miscanthus, peuplier), le chanvre et le miscanthus ne pourrait pas se développer à moins d'un mètre de la souche du peuplier en raison du manque de lumière. Cette distance retire 4 m² de culture par peuplier, ce qui équivaut à une perte de 25 % de biomasse produite par le chanvre et le miscanthus. Ce qui nous donne théoriquement par année, 2,6 t/ha de chanvre, 3t/ha de miscanthus et 2 34,3 m/ha. Si l'on utilisait ces trois espèces sur ces sites, pour une surface de 72 hectares, on aurait environ 165 6000 mètres linéaires de peupliers et 5 000 tonnes de matière première tous les 10 ans. Cela permettrait de construire 50 000 m² de surface habitable par décennie de dépollution. Mais l'implantation des plantes doit suivre une organisation liée aux polluants présents et à leur profondeur, ce qui rend l'estimation des quantités produites encore plus difficile, contrairement à une monoculture.

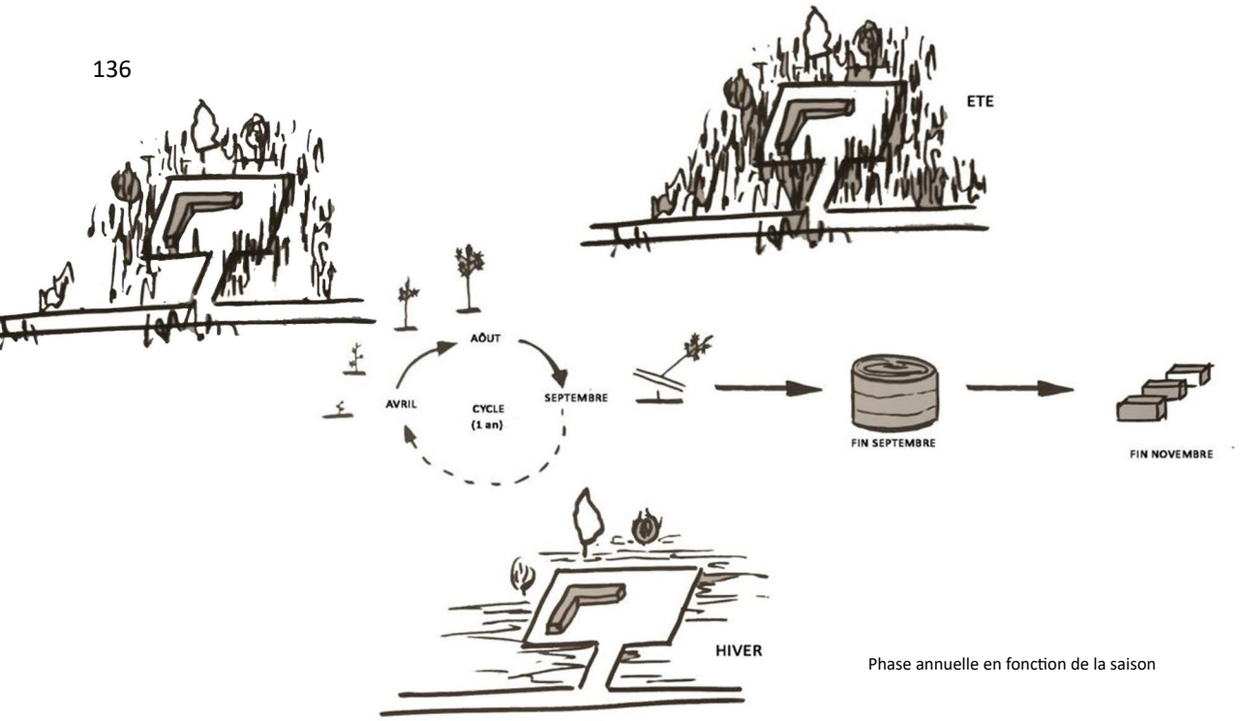
2. Une stratégie paysagère pour la métropole

La deuxième stratégie est donc paysagère. Elle a pour objectif de reconnecter la partie au nord de la friche industrielle Kuhlmann, à la citadelle de Lille, actuellement déconnectée par cette friche industrielle. Cette connexion se fera par la restauration et réhabilitation de ce site au moyen d'un parc dépolluant. L'installation d'aménagements paysagers en bord de Deûle viendra créer une continuité entre les anciens chemins de halage réaffectés en balade. La reconnexion aux chemins longeant la Marque se fera par l'installation d'une nouvelle passerelle piétonne au niveau de la jonction entre les deux canaux. Ces balades seraient ponctuées de différents parcs dépolluants ouverts au public, correspondant aux friches en cours de réhabilitation, venant accentuer ce paysage végétal. Ces parcs viendraient compléter les différents éléments déjà présents au bord des canaux.

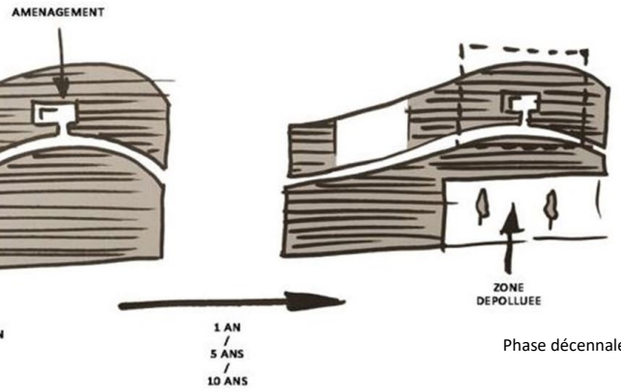


Plan de la stratégie paysagère

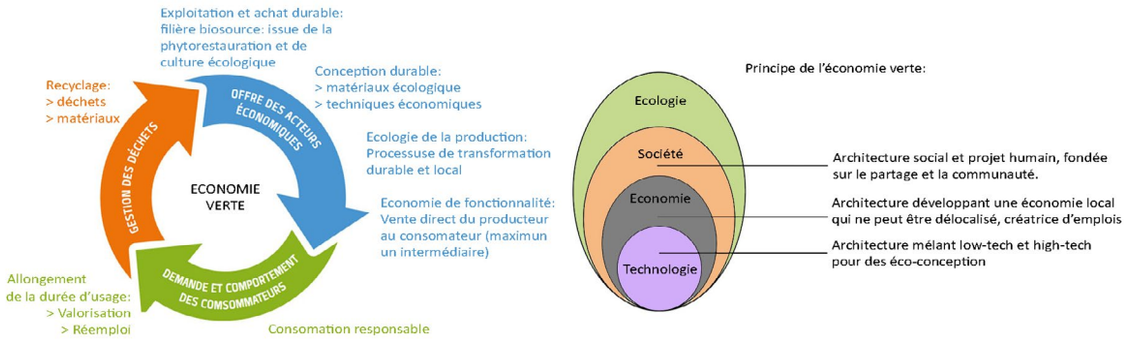
Ces deux stratégies viendraient s'articuler autour de la phytorestauration, et de la friche industrielle Kuhlmann à Saint-André-lez-Lille. Elle deviendrait le point de connexion, la rotule entre paysage et production.



Phase annuelle en fonction de la saison



Phase décennale, évolution du zonage



Principe de l'économie circulaire et économie verte,
appliquées au projet

3. La phytorestauration comme vecteur temporel et spatial

La phytorestauration serait le cœur de la temporalité du projet, tout s'articulerait autour. Le cycle naturel des plantes installées au sein du parc rythmerait son évolution qui changerait de visage en fonction du moment de l'année. Ce projet se met en place par phases et par zones, car la dépollution par phytorestauration est un long processus.

Le premier phasage est annuel. Sur une période d'un an, les différentes espèces grandiraient, puis en hiver disparaîtraient, créant des espaces différents en fonction de la saison. A terme, récoltées, elles permettraient la production de matériaux. Ces cycles rythmeraient aussi l'activité du parc divisé en différentes périodes, telles que le semage, la pousse, la récolte et le repos. Et parallélement la vie du parc suivrait son cours, d'où le zonage et la parcellisation à effectuer au préalable, afin que les différents usages ne se nuisent pas entre eux.

Le deuxième phasage se déroule sur plusieurs décennies. Les zones dépolluées au cours des années laisseraient place à des espaces pouvant être réaffectés, soit destinés à être construits ou alors aménagés en espaces verts. Un suivi régulier des taux de pollution permettrait de déterminer à quel moment une parcelle serait de nouveau viable à des usages publics ou privés. Le but étant qu'à la fin de ces différentes phases, l'ensemble du site soit réinvesti en fonction des besoins de la commune et de ses habitants.

Pour rester dans cette démarche écologique de production de matériaux biosourcés, il est nécessaire d'attendre plusieurs années afin d'accumuler suffisamment de matières pour construire les premiers bâtiments sur le site. Même s'il est fort probable que les éléments structurels viendront de cultures locales, car les délais risquent d'être trop courts pour faire pousser le bois nécessaire à ces constructions. Pour ce qui est des autres plantes annuelles telles que le chanvre ou le miscanthus, un délai de 3 années est préconisé avant de pouvoir les valoriser en matériaux. Après ce délai, les taux de polluants présents dans les parties valorisables sont beaucoup plus faibles.

Ce projet veut s'inscrire dans un principe d'économie circulaire et verte à travers cette stratégie de dépollution et de valorisation, en produisant cette biomasse et matériaux pour les constructions de la région. Le but étant aussi de redynamiser les activités économiques locales, car cette stratégie va créer de l'emploi. Le bien-être humain sera mis en avant à travers ces parcs dépolluants, tout en réduisant les risques environnementaux et la pénurie des ressources qui touche le monde du bâtiment.

1. Composer avec différents temps
a. Le passé et le présent
b. Le futur

2. Le phasage du projet
a. Temps 0: parcellisation et affectation
1. Parcellisation
2. Affectaion
b. Temps 1: début de la dépollution (T0 + 1an)
1. Excavation
2. Phytorestauration
3. Aménagements paysagers et temporalité
4. Le parc et ses bienfaits
c. Temps 2: conditionnement, transformation, valorisation et traitement (T0 + 2ans)
d. Temps 3: préfabrication et formation (T0 + 3ans)
e. Temps 4: développement des fonctions et la fin de la dépollution (T0 + 10 à 20ans)
f. Temps5: Une nouvelle mixité (T5 + 1ans)



Plan T0, le passé et le présent



(1) Abbaye Jeanne des flandres



(2) EQIOM Béton



(3) Anciennes voies ferrées



(4) zones végétales



(5) Anciennes routes



(6) Ancien quai de chargement

1. Composer avec différents temps

a. Le passé et le présent

Cette friche comporte de nombreuses traces de son passé industriel qui pourront être utilisées pour les aménagements paysagers, comme les voies ferrées, les routes, l'ancienne Abbaye ou encore la végétation qui s'y est développée. Elle comporte aussi des bâtiments encore en activité pour l'usine à béton d'EQIOM et d'autres inutilisés. Celle-ci est une opportunité à saisir afin de joindre le nouveau programme à l'existant et d'y créer une complémentarité. Composer avec ces éléments permettra de rappeler l'histoire du site et de la métropole, tout en préparant le futur.



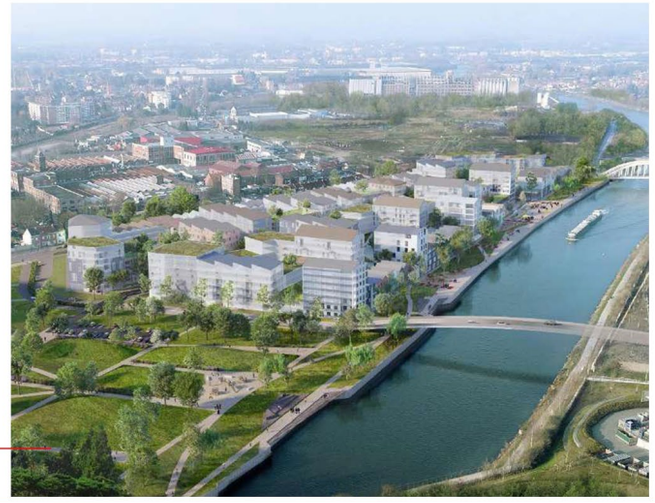
Plan T0, le futur



Le Jardin Pourpre
- 120 logements



Projet «Les Grands Moulins de Paris»
-245 logements



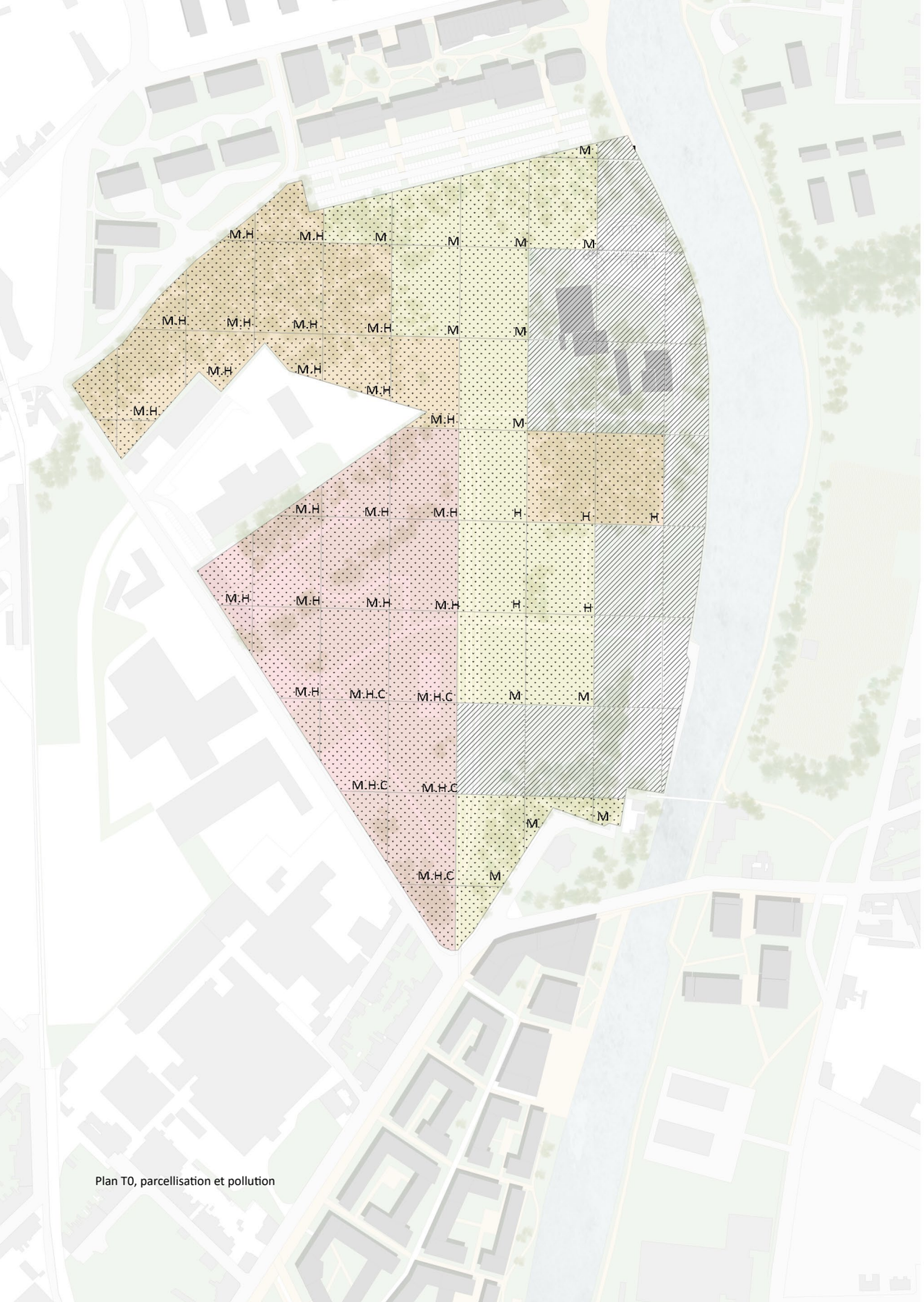
Projet «Quai 22»
-700 logements
-10 000 m² de bureaux
-4 500 m² de commerces



Projet «Reflets»
-80 logements

b. Le futur

L'un des enjeux principal du projet est le développement du parc et des équipements sur la friche Kuhlmann. En effet, c'est une zone en pleine reconversion, de nombreux projets sont en cours de construction autour de ce site qui viendra accueillir des milliers de nouveaux habitants. De ce fait, cette friche devient un enjeu fort du développement du quartier, étant pour l'instant une dent creuse, créant une rupture entre tous ces nouveaux projets et entre les balades de la métropole. Il sera important de composer avec ces projets futurs afin que la friche industrielle Kuhlmann, une fois réhabilitée, s'intègre au mieux dans la commune et réponde aux enjeux énoncés précédemment.



Plan T0, parcellisation et pollution

2. Le phasage du projet

Ce projet serait organisé en 5 phases principales, en lien avec les durées de dépollution, l'accumulation de la matière première et la stratégie de réaffectation.

a. Temps 0 : Parcellisation et affectation

1. Parcellisation

La dépollution et la réhabilitation suivra donc un zonage préalablement défini en fonction des taux de pollution et des types de polluants présent dans le sol, afin de délimiter l'usage des différents plantes. Il est aussi défini par zones de réaffectation "prioritaire" ou non, pour assurer le bon développement du projet dans le temps. Le procédé de dépollution principal sera la phytorestauration, mais l'excavation sera nécessaire par endroit, en raison de la nécessité de vite s'installer ou parce que l'usage de la phytorestauration ne sera pas suffisante pour dépolluer le sol. Mais le traitement des terres excavées se fera sur place, là aussi par phytorestauration. La terre sera disposée sous forme de "terrils" pour être dépolluée et stabilisée par l'utilisation de plantes.

Le plan guide proposé ci-contre reprend donc un zonage déssiné sur la base des taux de pollution inititaux (voir p.44). La définition de ces dimensions(50m x 60m) est aussi liée à la réaffectation futur, chaque parcelle correspondant à un lot. Les aménagements paysagers tels que les chemins principaux pouront se désolidariser de la trame des parcelles.
Les zones prioritaires pour la dépollution et la réaffectation sont celles qui acceuilleront les futurs batiments de conditionnement et de valorisation, ainsi que les parcelles entourant l'usine d'EQIOM Béton. Celle-ci est destinée à fusionner avec le bâtiment de formation, de recherche et de préfabrication.

Taux de pollution:

Faible (5 à 10 ans de dépollution)

Moyen (10 à 15 ans de dépollution)

Elevé (15 à 20 ans de dépollution)

Type de contamination :

M. Métaux lourds

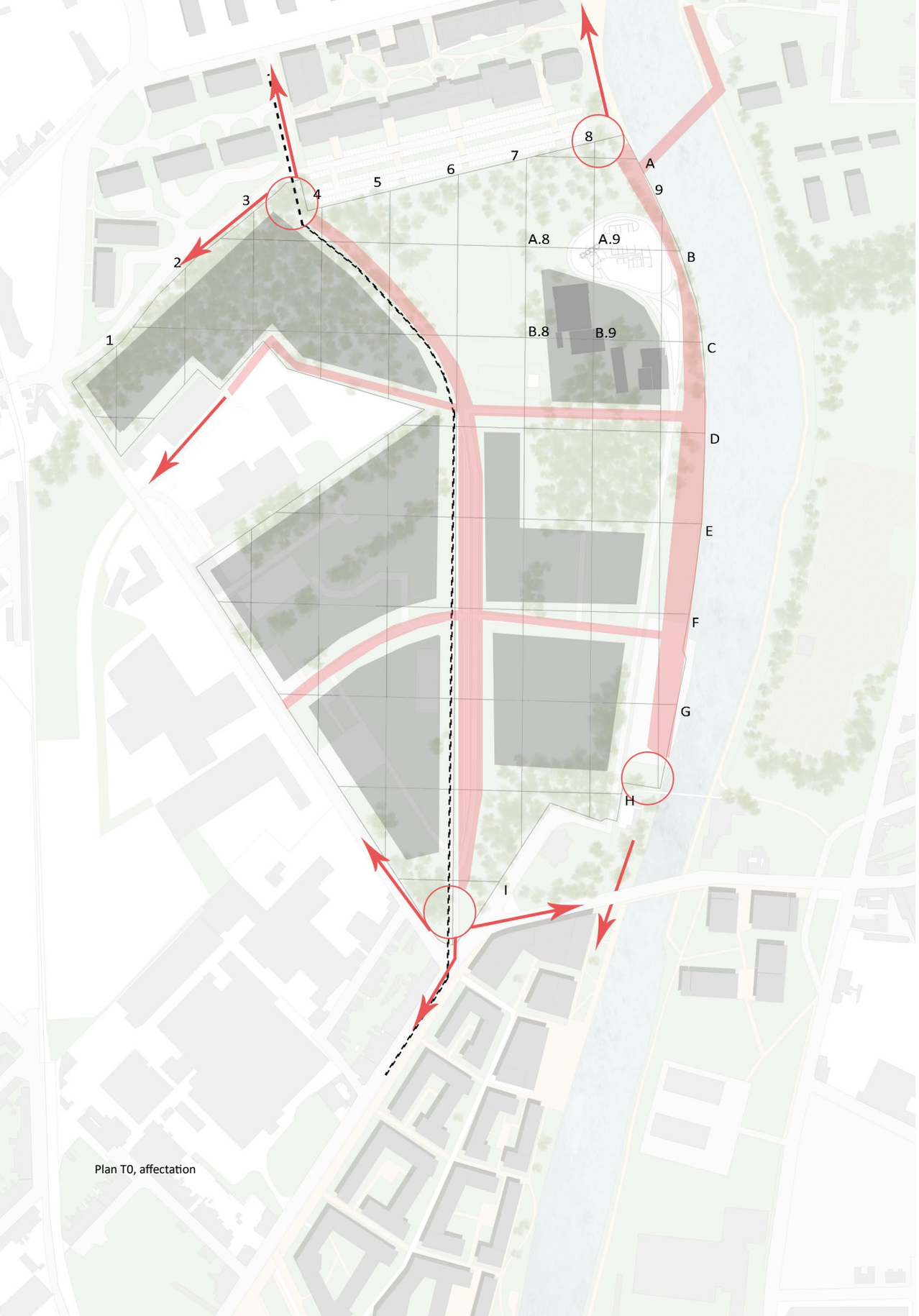
H. Hydrocarbures

C. Composés organiques

Méthode de dépollution

Excavation (zone prioritaire)

Phytorestauration



Plan T0, affectation

2. Affectation

Le plan guide prend aussi en compte les éléments entourant la friche afin que les aménagements et batiments futurs s'intégrent au mieux à la commune de Saint-André-lez-Lille. Les points de liaison avec l'extérieur du site doivent se connecter entre eux afin qu'il y ait une continuité dans le maillage de la ville. Les servitudes seront aussi un point important à la vue de la dimension de la friche. C'est pourquoi une ligne de bus passera au coeur du projet pour desservir les futurs équipements et habitations.
Certaines zones sont destinées à la construction, une fois que les taux de pollution le permettront. Chaque parcelle doit respecter une emprise au sol représentée par les surfaces grisées.

Affectations:

Acces et voies principales

Zones destinées à la construction

Points d'entrés

Ligne de bus

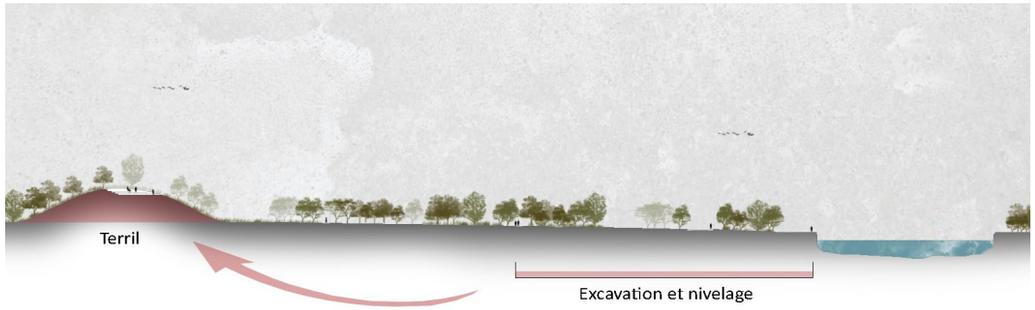
A.9 N° de parcelle

b. Temps 1 : début de la dépollution (T0 + 1 ans)

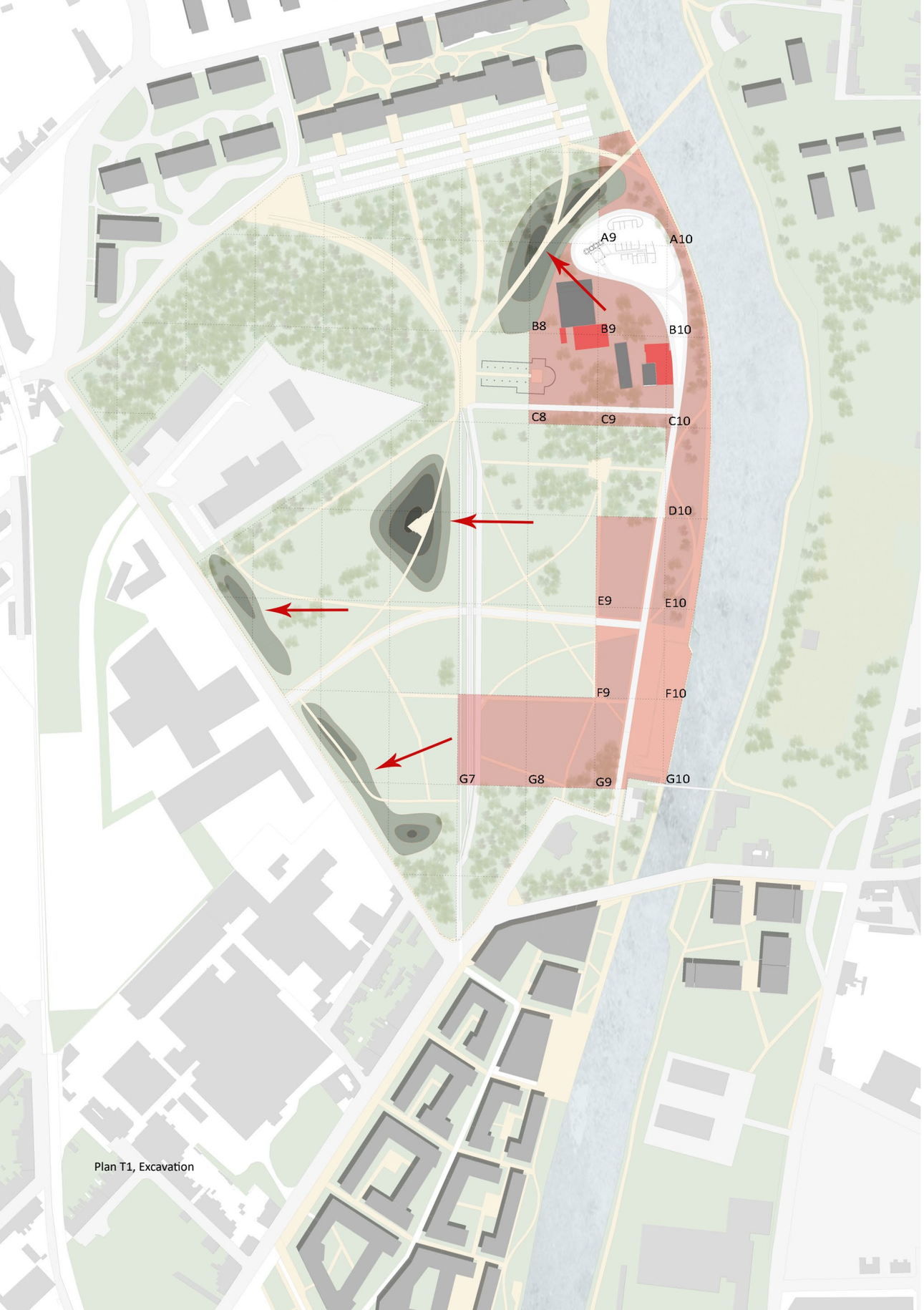
1. Excavation

Il est necessaire d'utiliser l'excavation sur certaine zones* car elles seront les première à acceuillir des bâtiments. Ces bâtiments sont ceux qui permettront le traitement et la valorisation des plantes phytorestauratrices et donc la mise en place de la stratégie de dépollution et de production métropolitaine. Mais comme dit précédemment, le traitements du sol excavé se fera par un autre moyen .
Les terres polluées excavées seront disposées sous forme de “terrils” pour être dépolluées et stabilisées par l’utilisation de plantes. Cette méthode a pour but de limiter les coûts et les besoins en énergie du traitement standard des terres excavées. De plus, cette topographie permettra de mieux définir les limites du parc, et participera aux aménagements en accentuant le paysage végétal par des vues et perspectives. Ces “terrils” seront accessibles et pourront servir de point de vue afin de reconnecter les visiteurs aux grands paysages. Leur dépollution sera un plus long travail, ils seront donc recouverts de végétation pendant une durée bien plus importante.

*L'ecavation sera effectué sur une profondeur de 50 cm à 1 m sur les zones suivantes: A10,9/ B10,9,8/ C10,9,8/ D10/ E10,9/ F10,9/ G10,9



Coupe paysagère du principe de l'excavation pour créer le paysage sur la friche Kuhlman



Plan T1, Excavation

Plan T1, Phytorestauration

2. Phytorestauration

Suite à l'excavation de certaines zones, les plantes phytorestauratrices sont implantées dans le parc dépolluant. Leur implantation se fait donc par parcelle en suivant les polluants relevés (voir p.144).
Les plantes installées afin de procéder à la dépollution seront donc le cannabis sativa, le Miscanthus Giganteus, le salix viminalis, le Helianthus annuus, Brassica juncea, le Populus alba, le Thlaspi caerulescens, le Arabidopsis halleri, le Liriodendron tulipifera, le Chrysogon zizanioides et le Trifolium repens. Ces différentes espèces utilisées sont principalement des plantes phytoextractrices, et phytostabilisatrices, afin d'extraire les polluants du sol et éviter leur propagation pendant la durée de dépollution. Ces plantes sont très efficaces pour traiter les métaux lourds, les hydrocarbures et les composés organiques en suivant ce classement :
Métaux lourds: ***Cannabis sativa, Miscanthus Giganteus,*** *salix viminalis, Helianthus annuus, Brassica juncea,* ***Populus alba****, Thlaspi caerulescens, Arabidopsis halleri et Liriodendron tulipifera.*
Composés organique: ***Miscanthus Giganteus****, salix viminalis,* ***Populus alba****, Liriodendron tulipifera, Chrysogon zizanioides et Trifolium repen*.
Hydrocarbures: *salix viminalis,* ***Populus alba****, Chrysogon zizanioides et Trifolium repen.*

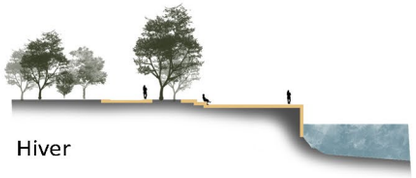


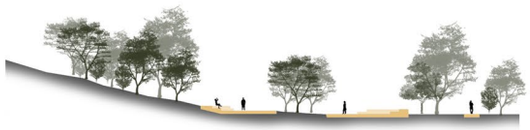
Vue 3D du paysage phytorestaurateur (SketchUp; Enscape)

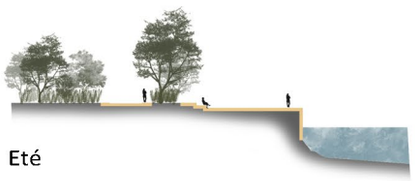
Plan T1, Aménagements

3. Aménagements paysagers et temporalité

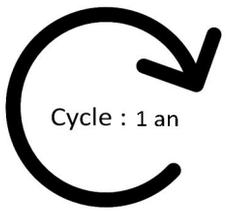
Dans ce premier temps, les premiers aménagements pour les visiteurs sont aussi mis en place dans le parc, ce qui permet de s'y balader. L'aménagement des quais en est l'élément principal, car ils permettent de rejoindre les différents projets enfin réalisés en longeant le bord de la Deûle. La passerelle piétonne sera construite et activera la stratégie paysagère en reliant la Marque.
Pour les aménagements au sein du parc, ils proposeront un parcours venant traverser les différentes parcelles. Chaqu'une d'entre elle accueillera des espèces différentes de plantes générant des évolutions décalées au cours des saisons en fonction de leurs cycles naturels mais aussi par leur morphologie. Le visiteur passera d'une ambiance à une autre et découvrira différents paysages rythmés par les parcelles et le jeu de topographie.



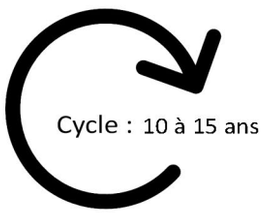








Miscanthus
Chanvre
Tournesol
Brasica



Saule de vannier
Peuplier

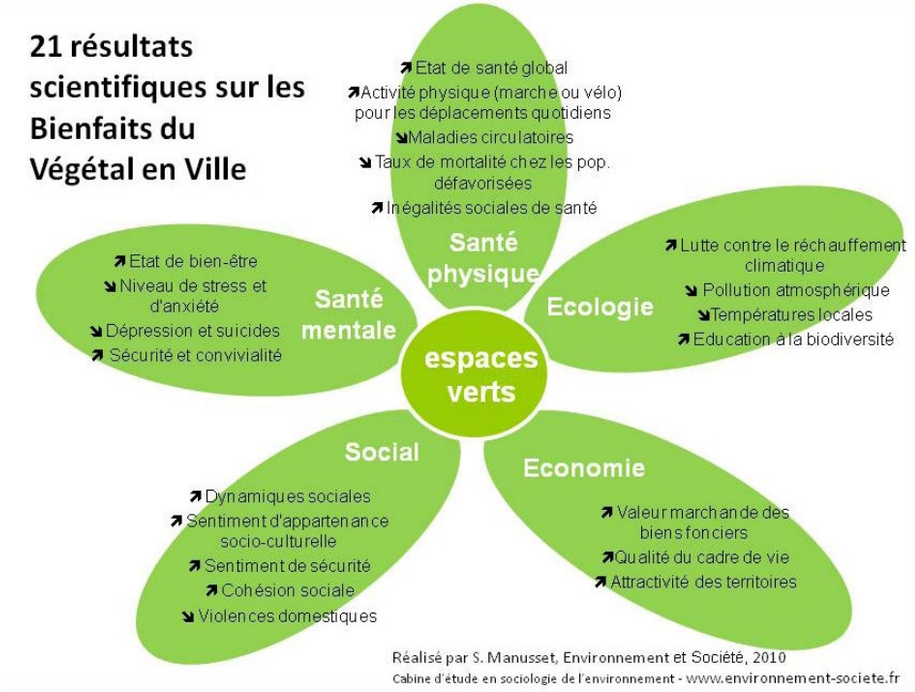
Coupes de l'évolution du paysage en fonction du temps

Plan T1, général

4. Le parc et ses bienfaits

Ce nouveau parc offrira de nombreux bienfaits pour les habitants des alentours. De nombreuse études ont démontré l'impact positif des espaces verts sur la santé, qu'elle soit mentale ou physique. Mais aussi sur le développement social et économique.

Cette méthode de dépollution amène donc des espaces verts en ville, et ces espaces verts ont de nombreux bienfaits sur les habitants d'un quartier. Cet espace vert influera sur la santé mentale des habitants grace à un meilleur état de bien-être, une baisse du stress et de l'anxiété car la zone sera plus calme et aérée. Il influera sur la santé physique en permettant de pratiquer plus d'activités, améliorant l'état de santé global. Ces aménagements joueront sur le social en créant de nouvelles dynamiques sociales, un meilleur sentiment d'appartenance et de sécurité ainsi que plus de cohésion sociale. Tout cela renforcé par les différents équipements qui seront installés dans les temps suivants. Ce parc agira aussi sur l'économie en augmentant la valeur marchande des biens fonciers, liée à une meilleure qualité du cadre de vie et plus d'activités dans le territoire. Les futures activités du parc impacteront elles aussi positivement sur l'économie locale. Cette reconversion jouera sur l'écologie en luttant contre le dérèglement climatique, en abaissant la pollution atmosphérique et les températures locales, tout en donnant une meilleure éducation à la biodiversité.[1]



1 S.Manusset, Environnement et Société, 2010. Cabine d'étude en sociologie de l'environnement. - www.environnement-societe.fr

c. Temps 2 : conditionnement, transformation, valorisation et traitement (T0 + 2 ans)

Ce temps consiste à l'installation des bâtiments qui serviront à valoriser et traiter la biomasse des plantes phytorestauratrices. Ils se diviseront en 2 pôles principaux : le premier destiné au stockage, au conditionnement, transformation et au traitement de la biomasse, et le second servira à la valorisation en matériaux de construction. Le premier pôle sera directement en lien avec le quai de chargements pour pouvoir traiter de manière efficace la biomasse venant des autres sites de dépollution. Le deuxième et un peu plus loin le long de la rue de l'usine, à mi distance entre le batiment de conditionnement et le futur bâtiment de formation et de préfabrication. Le but est qu'à terme, une ligne de production logique soit mise en place en 3 pôles principaux. Ces séparations entre ces pôles permettront aussi d'insérer diverses fonctions pour créer une zone d'autant plus dynamique.

Pendant ce temps 2, les opérations d'aménagement continuent, La rue du clos de l'abbaye est remplacée par le chemin du Clos de l'abbaye, qui sera un chemin piéton jouant avec l'ancienne voie ferrée. La rue de l'usine est prolongée pour créer un nouvel accès direct au coeur du site pour desservir les bâtiments de tranformation et l'usine à béton EQIOM. Cette rue prépare aussi l'arrivée des futurs nouveaux bâtiments. L'ancienne abbaye est elle aussi réaménagée pour créer un nouvel événement dans ce paysage.

Plan T2, conditionnement, transformation, valorisation et traitement



Vue 3D du chemin du clos de l'Abbaye retravaillé avec les voies ferrées (SketchUp; Enscape)

d. Temps 3 : Préfabrication et formation (T0 + 3 ans)

L'étape suivante consiste à implanter le bâtiment principal du projet. Ce bâtiment vient s'implanter au niveau de l'usine à béton encore en fonctionnement EQIOM. Mais il se trouve que cette usine n'utilise pas l'ensemble des bâtiments, car certains sont en trop mauvais état. Le but serait de réhabiliter ces bâtiments tout en créant une extension qui viendrait les lier entre eux. Ce bâtiment servirait à la fabrication d'éléments préfabriqués, tels que des prémurs en matériaux biosourcés. Il jouerait aussi le rôle de centre de formation et de recherche sur la phytorestauration, la valorisation des plantes et les techniques de construction associée. La "fusion" avec l'usine à béton permettrait de partager les savoir-faire, les techniques et pourquoi pas les matériaux. Cela à la façon par exemple à la manière de "hybridal" développée par l'entreprise Cruard, spécialisé dans la construction bois.Toute cette filière de production et ce paysage influeront localement sur l'économie de manière positive en favorisant le développement économique du territoire. Créant ainsi de nouveaux emplois qui ne peuvent être délocalisés. L'objectif étant d'offrir une meilleure qualité de vie aux acteurs et usagers du projet. La résilience est un des enjeux majeurs.
Ce bâtiment disposera d'une toiture végétalisée où seront testées des plantes phytorestoratrices, avec différents types de polluants, sans risque de contaminer d'autres milieux. Cette toiture sera accessible au public et participera aux aménagements paysagers du parc.
A cette étape, les opérations d'aménagement continuent. Le chemin du Clos de l'abbaye voit accueillir en son long une nouvelle route réservée aux véhicules autorisés, aux bus et aux cyclistes. L'ancienne abbaye devient le point central de cette rotule entre paysage et production tout en formant le parvis du nouveau bâtiment. Cette zone est assez mal desservie au niveau des transports en commun pour le moment. Mais avec l'arrivée des nouveaux projets comme Quai 22 et les Grands moulin de Paris (GMDP), la MEL a décidé de créer une nouvelle ligne de tram, reliant Wambrechies à Lille en passant pas Saint-André. Le but serait de faire passer une ligne de bus à l'intérieur du site Kuhlmann, venant relier Les GMDP à Lille en passant par Quai 22. Cette ligne desservirait les bâtiments du projet ainsi que les futurs.



Vue 3D du bâtiments de préfabrication et de formation (SketchUp; Enscape)

Plan T3, préfabrication et formation

e. Temps 4 : développement des fonctions et fin de la dépollution (T0 + 10 à 20 ans)

Au bout d'une dizaine d'années, certaines zones, qui étaient les moins polluées, pourront être réinvesties car elles ne présentent plus de pollution suite à la phytorestauration. C'est l'occasion d'implanter un nouvel équipement public, tel qu'une médiathèque pour rendre cette zone d'autant plus attractive. Elle sera implanteré au niveau de l'ancienne abbaye, faisant presque face au bâtiment de formation. Se trouvant au bout du chemin pieton, ce bâtiment fait appel tout en renforcant cette rotule située au coeur du parc.
Maintenant que la chaîne de production est bien installée et que certains arbres arrivent à maturité, il est possible de construire ce bâtiment avec les matériaux produits sur site. Il sera donc construit entièrement à l'aide de biosources en adoptant une forme moderne, afin de représenter le possibilité que nous offre la contruction avec des biosources issues de la phytorestauration.
Cette médiathéque sera destinée aux usagers du parc et du projet, ainsi qu'aux futurs habitants du quartier et ceux de la commune.

La dépollution est pratiquement achevée au bout de 20 années, sauf pour les terrils qui nécessitent un temps de dépollution plus long. L'ensemble du parc est rendu au public qui pourra ainsi profiter de grands espaces verts. Des zones pourront toujours servir de culture afin de continuer l'aspect pédagogique. Les différents bâtiments de production pourront continuer leur fonctionnement par la dépollution d'autres sites, mais aussi par l'apport de matières venant d'autres lieux comme de la rotation des cultures d'agriculteurs locaux par exemple, si nous imaginons, à terme le développement d'une nouvelle stratégie afin de pérenniser cette filière dans le temps.



Vue 3D de la médiathèque et le bâtiment de formation autour de l'ancienne Abbaye (SketchUp; Enscape)

Plan T4, développement des fonctions et fin de la dépollution

Plan T5, une nouvelle mixité

f. Temps 5 : Une nouvelle mixité (T4 +1ans)

Le 5éme temps est une vision de ce pourrait devenir cette friche suite à la dépollution. L'implantation de logements pourrait être une solution maintenant que la zone est entièrement dépolluée. Cela participerait à la continuité du bâti tout en rendant de l'espace à la ville en évitant l'étalement urbain et la densification, et rendrait le parc encore plus dynamique et attractif en accueillant de nouveaux habitants.

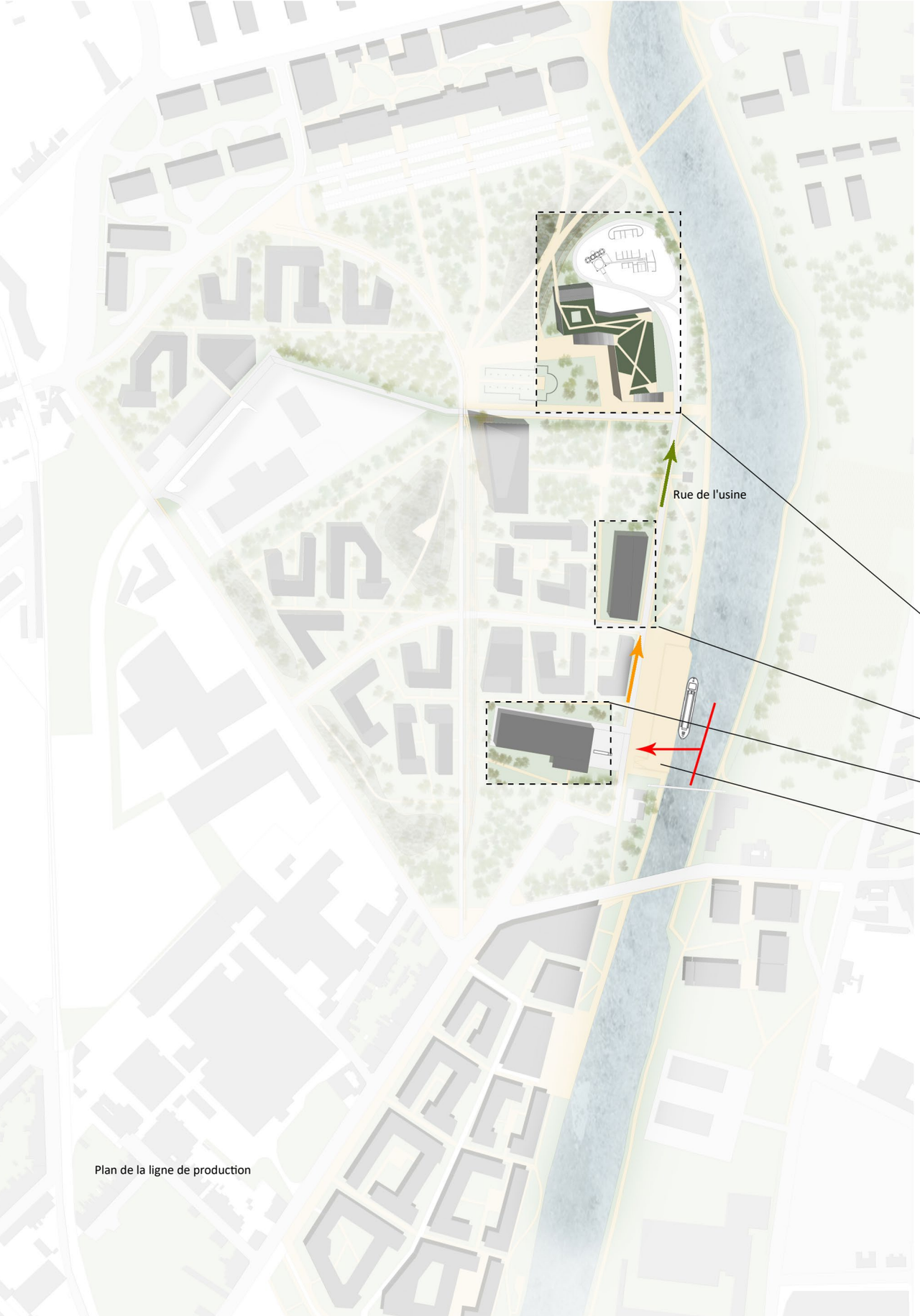
Ces différents aménagements en un même lieu amènent des questions sur la place des zones de production en ville et sur la mixité des fonctions. Pouvant répondre à des problématiques telles que l'emploi ou celle de la résilience en cas de crise par exemple, comme celle que nous pouvons connaître aujourd'hui. Peut-être faut-il dépasser ce zonage fonctionnaliste moderne ? En tout cas, c'est aussi l'ambition de ce projet, celle de créer de nouvelles dynamiques sociales, à travers un projet mixte, alliant écologie, production, formation, le tout articulé par le paysage.



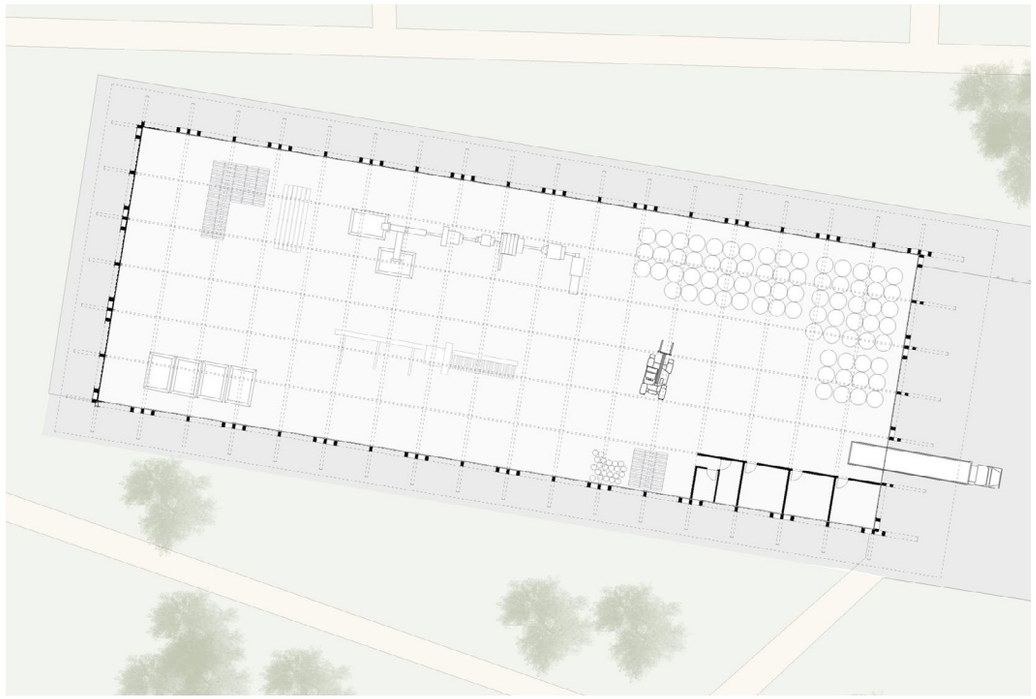
Vue 3D de l'ensemble de la friche Kuhlmann réhaffectée (SketchUp; Enscape)

Les bâtiments essentiels et fondateurs de ce projet sont donc ceux liés à la phytorestauration, à la production, à la formation et à la recherche. Ils s'installent en trois points, chacun correspondant à une étape de la valorisation des plantes phytorestauratrices. Cette ligne de production part du quai et suit la rue de l'usine. Elle débute avec le bâtiment de conditionnement et de traitement, où la biomasse est divisée et triée entre les parties valorisables en matériaux ou les parties valorisables pour la production d'énergie (combustion). Ici, sont aussi effectuées les étapes de défibrage par exemple, afin de transformer cette biomasse en matière première. Le deuxième point de cette ligne est le bâtiment de transformation où l'on transforme la matière première en matériaux de construction finis, tels que des isolants. Et le troisième pôle est celui de la préfabrication, de formation et de recherche, où les matériaux seront transformés en éléments préfabriqués, mais celui-ci sera aussi destiné à développer de nouvelles techniques constructives tout en formant de nouvelles personnes à ces techniques écologiques.

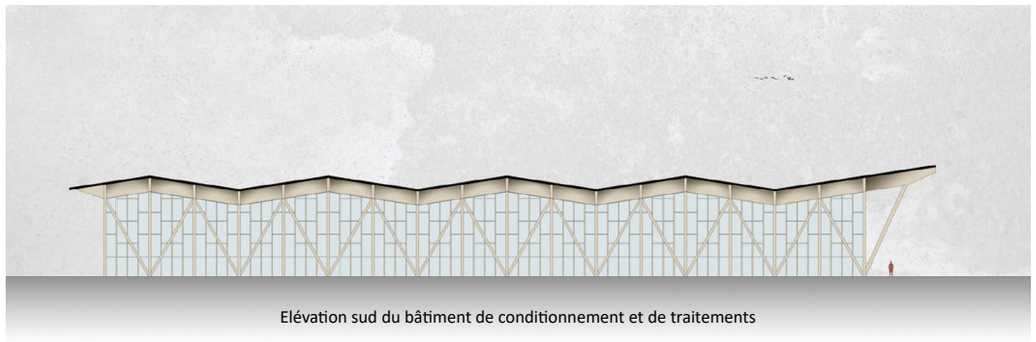
Chacun de ces bâtiments utilise des modes constructifs sensiblement différents, mais chaque mode constructif est lié aux techniques de construction en matériaux biosourcés issus de la phytorestauration. Ces bâtiments sont le visage du projet et de ce qu'il est possible de faire avec ces biosources. La distinction principale dans leur mode constructif est que le bâtiment de conditionnement est neuf, alors que le bâtiment de préfabrication est en partie une réhabilitation de bâtiments délabrés. Ce qui, nous allons le voir, est une véritable opportunité.



Plan de la ligne de production



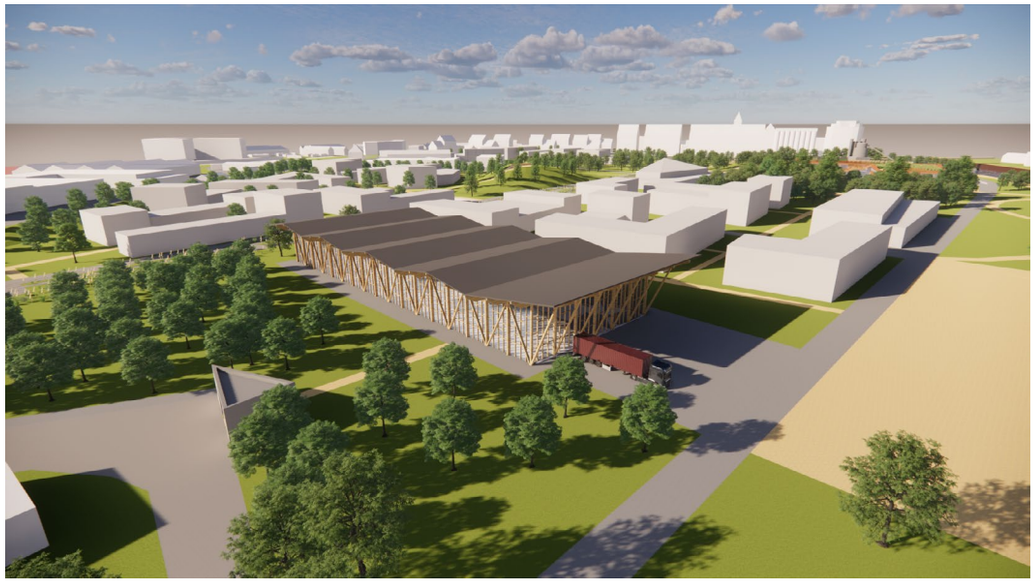
Plan du bâtiment de conditionnement et de traitements



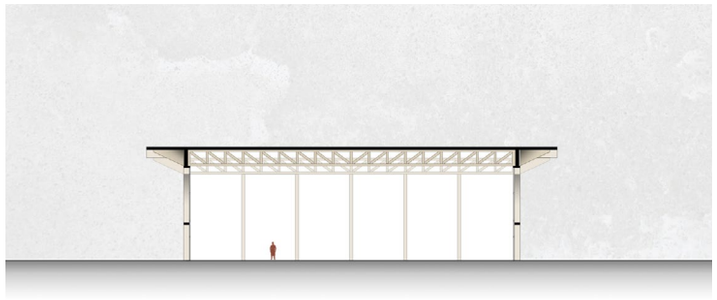
Elévation sud du bâtiment de conditionnement et de traitements

Le bâtiment de conditionnement et de traitements se présente comme un grand plan libre de 85m par 30m. Cela permettrait l'installation de diverses machines, mais aussi de pouvoir manœuvrer aisément de grands éléments à l'aide d'engins au milieu de cette structure sans risquer de l'endommager.

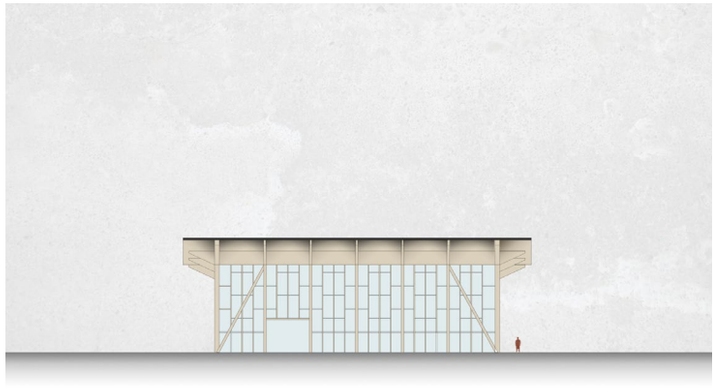
Ce bâtiment est composé d'une structure faite de poteaux et de poutres en lamellé collé de bois de peuplier. Les façades allant jusqu'à 9m50 sont entièrement vitrées afin d'optimiser les conditions de travail. Un débord de toiture de 4m vient limiter le niveau d'ensoleillement et empêcher la surchauffe, tout en venant couvrir les contours du bâtiment en cas d'intempéries. Les châssis de fenêtres sont eux aussi fait en peuplier et créent un rythme en façade jouant avec les éléments de contreventement. La toiture présente de légères inclinaisons alternées afin de revisiter les sheds des bâtiments industriels et ainsi rappeler l'histoire de ce site.



Vue 3D du bâtiment de conditionnement et de traitements (SketchUp; Enscape)



Coupe transversale du bâtiment de conditionnement et de traitements



Elévation Est du bâtiment de conditionnement et de traitements

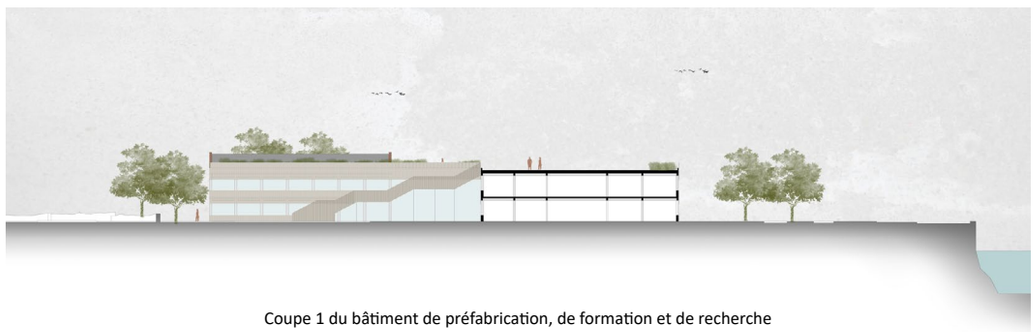
La structure est composée de 16 poutres treillis de 1.5m de hauteur afin de traverser les 30m qui séparent les deux côtés du bâtiment. Cette structure est laissée apparente pour appuyer le côté industriel du lieu.
Une isolation complémentaire est nécessaire en toiture, entre les éléments structurels qui dans un même temps empêchent les ponts thermiques par leur matière qu'est le bois.
Le sol est fait de béton de haute résistance. Un sol composé en béton de chanvre ou de miscanthus aurait été l'intention, mais il ne serait pas en mesure de reprendre les charges des machines de production et des engins, sans risquer d'être endommagé et de menacer l'intégrité du bâtiment.



Vue 3D de l'intérieur du bâtiment de conditionnement et de traitements (SkechUp; Enscape)



Plan RDC du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche



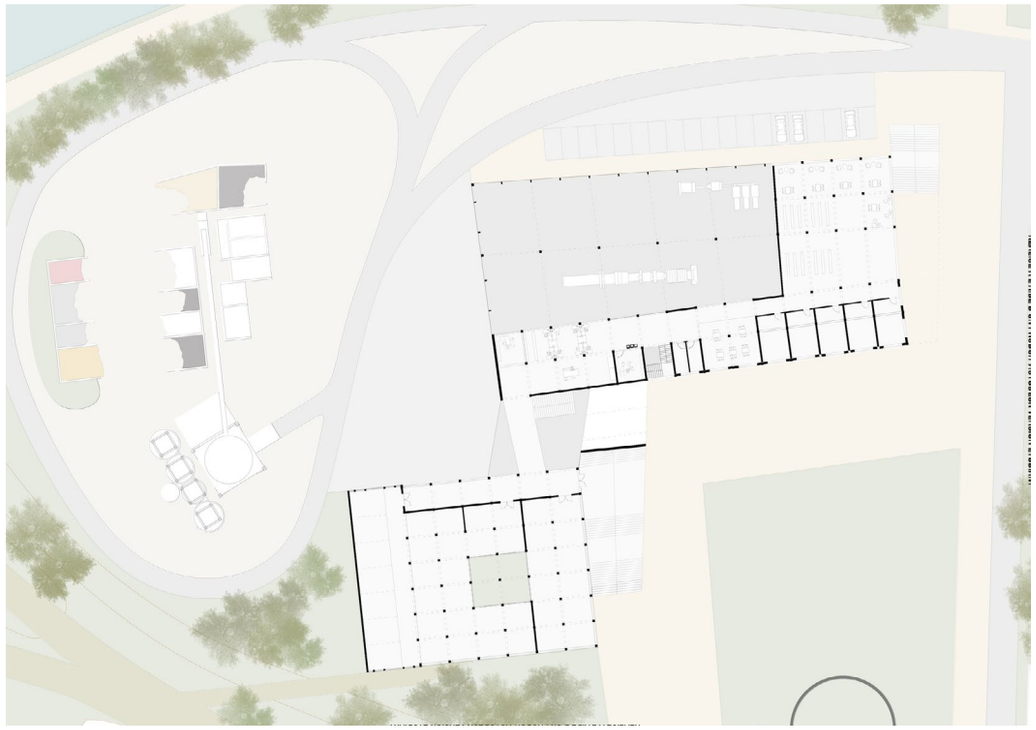
Coupe 1 du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche

Le bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche est donc en partie une réhabilitation. Il reprend la structure en béton de 3 des bâtiments délabrés de l'usine EQIOM. Une grande extension viendra connecter ces trois blocs, pour l'instant indépendants et aussi ajouter la surface nécessaire à la confection d'éléments préfabriqués.
Ce bâtiment étant installé au bout de la troisième année de dépollution, il n'y aura donc pas la possibilité d'obtenir des éléments structurels issus de la phytorestauration, contrairement aux éléments d'isolation ou de remplissage. C'est pourquoi le fait de réinvestir cette structure est une opportunité permettant de limiter l'utilisation d'éléments extérieurs à cette chaîne de production.
Le RDC vient accueillir différents ateliers de formation, les espaces destinés au secrétariat et à la logistique, des espaces de stockage et la zone de préfabrication. Cette zone est en lien direct avec la partie d'EQIOM afin d'optimiser les échanges. Les ateliers s'organisent autour d'un patio afin d'augmenter l'apport de lumière naturelle.

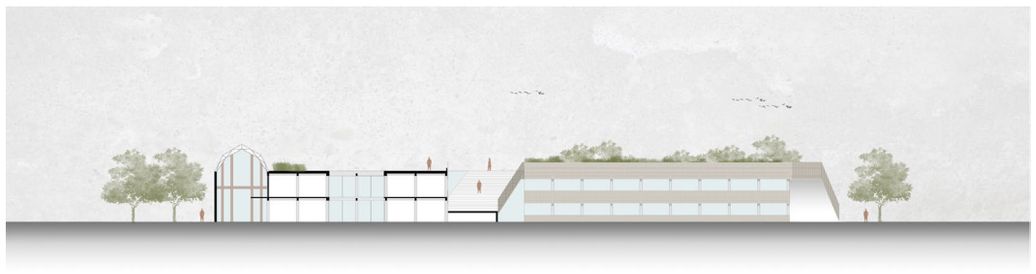
Ce bâtiment veut devenir une prolongation du paysage, c'est aussi pourquoi la toiture sera végétalisée. L'installation de deux escaliers de grande taille ainsi qu'un accès à la toiture depuis la nouvelle passerelle assurera cette continuité. Cela permettra aussi d'avoir une vue différente sur l'ancienne Abbaye et le site.



Vue 3D de la toiture du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche (SketchUp; Enscape)



Plan R+1 du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche



Coupe 2 du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche

Ce bâtiment sera donc constitué d'une structure en béton, avec une isolation faite de fibres de chanvre enveloppée de panneaux OSB de peuplier. L'isolation se fera dans l'intervalle de la structure existante afin que les châssis soient au nu extérieur du mur, mais l'isolant sera doublé par l'intérieur pour éviter les ponts thermiques générés par la structure en béton. Les finitions intérieures seront soit en enduit chaux chanvre, soit en osier.

Le R+1 accueillera d'autres ateliers de formation, un bureau d'étude et de recherche, des espaces de travail et une petite bibliothèque. L'ancien hangar permettra de faire la liaison entre les ateliers de RDC et du R+1 avec l'usine EQIOM tout en proposant un espace de travail en double hauteur. Le bureau d'étude à une vue directe sur la zone de préfabrication pour ainsi créer un espace dynamique. La bibliothèque sera orientée vers la Deûle pour profiter d'une vue agréable et calme pour la lecture, le travail ou la détente.



Vue 3D du hangar réhabilité du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche (SketchUp; Enscape)

CONCLUSION

La sauvegarde des écosystèmes et de la biodiversité est fortement impactée par les activités humaines et notre manière de penser et de produire la ville. Des solutions apparaissent et génèrent de nouvelles prises de position plus proches de la nature. Plus nous avançons dans ce sens et plus nous prenons conscience de l'incroyable résilience que la nature possède, mais aussi de sa fragilité et de la nécessité de vite réagir face à une crise environnementale et climatique, maintenant bien présente.

L'idée de penser la ville comme partie intégrante et indissociable de la nature, soulève un grand nombre de questionnements, sur nos manières de faire l'architecture.

Grace à ce Travail de Fin d'Etude, nous avons pu mettre en exergue différentes techniques de dépollution des sols pour le moins assez paradoxales, mais à l'image de la pensée de notre société. En effet, la majeure partie des solutions standards, consiste soit à déplacer la pollution, soit à dépolluer en polluant, l'argument principal étant le temps. Mais au rythme effréné de l'effondrement en cours, cette notion temporelle n'aura bientôt plus de sens.

Pour ce Travail de Fin d'Etude, j'avais pour ambition de traiter de la reconquête des friches polluées de la métropole lilloise dans le but de repenser le paysage urbain, car cette reconquête est au cœur de la politique de la ville de Lille et de ses communes. Le problème récurrent qui en est ressorti, est celui de la pollution des sols. Face à cet obstacle, la réponse de la métropole est souvent la même : excavation, traitement thermique, traitement chimique et même parfois l'exportation des sols à l'étranger. Et aveuglément, nous continuons à creuser sans se soucier des effets néfastes de cette reconquête, sous couvert de la construction d'écoquartiers, dits « vert » mais au couleur du béton et de l'acier.

Comme nous l'avons vu dans cet écrit, la phytorestauration peut être une solution à ce problème de pollution des sols et présente un grand nombre d'avantages : peu couteuse, ne demandant que peu ou pas d'énergie, sauvegardant et développant les écosystèmes, améliorant la structure du sol et la liste est longue. Il semble que le seul inconvénient de la phytorestauration soit sa durée de traitement.

Mais face à cette durée, se cachent de nouvelles opportunités. Les bords de canaux sont ponctués de ces friches délaissées et polluées. Ces espaces nous offrent la possibilité de créer de nouveaux paysages au moyen de la phytorestauration, tout en offrant de nombreux bienfaits pour l'Homme et la Nature. Cette méthode de dépollution douce, permet aux habitants d'assister à cette transformation sans en être impactés, ou en tout cas, pas négativement. Ces réhabilitations permettront aussi de développer les futurs projets de façon plus réfléchie, en les adaptant au cours des années. Comme nous l'avons vu, un des autres avantages majeurs du procédé de phytorestauration est que la biomasse produite est valorisable en matériaux de construction. Cela nous offre, encore une fois, une opportunité; celle de construire la ville de demain grâce à ces biosources, ce qui est à elle seule, une réponse concrète à la crise climatique. Ces biosources sont d'autant plus d'occasions de créer des architectures et des villes plus durables, tout en générant des atmosphères singulières au potentiel émotionnel fort.

Suite à ces constats et à l'étude historique de la métropole, le projet tente de répondre aux différents enjeux identifiés au moyen des opportunités soulevées. C'est ainsi que j'ai développé ce projet à trois échelles autour de la phytorestauration dite « productive ». La première étant une double stratégie pour la métropole lilloise, afin de dépolluer ces friches, tout en produisant les matériaux nécessaires au développement de la ville de demain. La deuxième étant à l'échelle de la commune de Saint-André-lez-Lille, par la création d'un quartier mixte sur la friche industrielle Kuhlmann, symbole de l'ère industrielle de la métropole, requestionnant le zonage fonctionnaliste moderne. Et la troisième à travers l'échelle du bâtiment en développant une architecture biosourcée meilleure pour l'environnement et ses usagers.

Ce projet m'a permis de me rendre compte des limites que présentent la phytorestauration et la valorisation de la biomasse en matériaux. Celui-ci m'a aussi aidé à faire ressortir un constat important, tant pour ce projet, que pour le métier qu'est l'architecture. Ce constat est qu'il faut toujours prendre en compte l'ensemble des éléments, tels que développés dans la démarche holistique, afin de répondre au mieux aux enjeux d'un lieu. Mais la réponse se trouve souvent dans un juste milieu, atteindre un équilibre entre les différentes méthodes répondant aux contraintes techniques imposées par un projet, et la crise environnementale qui questionne nos pratiques architecturales.

Maintenant que nous avons vu comment la phytorestauration pouvait participer au développement de la ville et de son paysage. il serait peut-être intéressant d'essayer d'intégrer ces systémes à la ville en fonctionnement.
Comment les principes de la phytorestauration pourraient-ils participer au système de traitement des eaux usées de la ville de demain et à son urbanisme ?

SOURCES

Première de couverture : **European travel patterns**, Eric Fischer, 2011

PARTIE 1 :

p.22 : **Lille et ses fortifications autour de 1850**, carte d'état-major, Géoportail. URL : https://www.geoportail.gouv.fr/carte (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.24 : **Photographie aérienne de Lille en 1950**, Géoportail. URL : https://www.geoportail.gouv.fr/carte (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.26 : **Etablissement Kuhlmann – Usine de la Madeleine-lez-Lille**, Vve Solon, 1825 – 1847. URL : https://www.marquettelezlille.fr/wp-content/uploads/2020/09/CP-Usine-de-La-Madeleine-scaled.jpg (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.26 : **Etablissement Kuhlmann – Chargement de wagons de superphosphate**, Vve Solon, 1825–1847. URL : https://www.marquettelezlille.fr/wp-content/uploads/2020/09/Ets-Kuhlmann-Depart-dun-train-de-superphosphate-scaled.jpg (Consulté en avrilr 2021, en ligne)

p.28-29 : **Evolution du canal de la Deûle, 1847 – 1970**, Illustration de l'auteur.

p.30-31 : **Canaux et voies ferrées de la métropole lilloise**, illustration de l'auteur.

p.31 : **Canaux et voies ferrées du nord de la France, de la Belgique et des Pays-Bas**, illustration de l'auteur.

p.32 : **Marquette – Porte et Pont de l'Abbaye**, Jonekhèere-Tonnelier, 1852. URL : https://www.marquette-lezlille.fr/wp-content/uploads/2020/09/Marquette-Porte-et-Pont-Abbaye.jpg (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.32 : **Situation de l'usine Kuhlmann en 1847**, illustration de l'auteur.

p.34 : **L'usine Kuhlmann en 1956**, Kuhlmann, un épisode sur la Deûle. URL : https://www.marquettelezlille.fr/wp-content/uploads/2020/09/1956-juillet-vue-engrais-Marquette.jpg (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.34 : **Situation de l'usine Kuhlmann en 1956**, illustration de l'auteur.

p.36 : **Industrie Kuhlmann, côté Saint-André-lez-Lille, 1961**. URL : https://www.marquettelezlille.fr/wp-content/uploads/2020/09/1961-15-decembre-Chantier-secteur-Ammoniac-St-Andre.jpg (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.40 : **Site industriel Kuhlmann à son apogée en 1970**, Brochure PCUK La Madeleine. URL : https://www.marquettelezlille.fr/wp-content/uploads/2020/09/Brochure-PCUK-La-Madeleine-1.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.42 : **Site industriel Kuhlmann en 2007**, Remi Jouan, 28 mars 2007. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Friche_industrielle#/media/Fichier:Canal_de_Deule_Friches_Kuhlmann_St_andre.jpg (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.44 : **Taux et répartition de la pollution sur la friche industrielle Kuhlmann**, illustration de l'auteur.

p.46 : **Photographie de la friche industrielle Kuhlmann,** Novembre 2020, illustration de l'auteur.

p.46 : **Photographie de la friche industrielle Kuhlmann, zone non dépollué**, Novembre 2020, photographie de l'auteur.

p.48 : **A la redécouverte du monastère de Marquette : une méthode originale**, Benoît CHAUVIN, UMR 5594 – ARTeHIS, Université de Bourgogne – Dijon

p.52 : **Euralille, la ville continue**, 2012-2013, P. Balfroid, C. Blanchard, P. Dethier, P. Fontaine, F. Zeboudj. URL : https://jacquesteller.files.wordpress.com/2017/10/rapport_et_euralille.pdf (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.54 : **Les rives de la Hautes Deûle**, EuraTechnologies, Lille, CAUE, Brossy & Associés, Circuit AMO 2014. URL : https://www.caue-nord.com/nl/portail/41/observatoire/1680/euratechnologies-lille.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.54 : **Fives-Cail**, Lille, MEL, Métropole Européenne de Lille. URL : https://www.lillemetropole.fr/votre-metropole/grands-projets/grands-projets-urbains/fives-cail (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.56 : **Reconquête des bords de Deûle**, illustration de l'auteur

_ **tramway touristique du val de deûle**, URL : https://www.cirkwi.com/fr/point-interet/1188385-tramway-touristique-du-val-de-deule (Consulté en mai 2021, en ligne)

_ L**es Grands Moulin de Paris**, URL : https://www.wikiwand.com/en/Grands_Moulins_de_Paris_(Marquette-lez-Lille) (Consulté en mai 2021, en ligne)

_ **Quai 22**, URL : https://www.novacity.immo/quai-22-un-nouveau-quartier-en-bord-de-deule-a-saint-andre-lez-lille/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

_ **Quartier Sainte-Hélène**, URL : https://www.lavoixdunord.fr/268284/article/2017-11-23/nous-sommes-en-bord-de-deule-et-la-ville-gache-une-partie-de-ce-tresor (Consulté en mai 202, en ligne 1)

_ **Le colysée**, URL : https://www.jardinez.com/Parcs-Les-Jardins-du-Colysee_fr_15581 (Consulté en mai 2021, en ligne)

_ **L'esplanade de Lille**, URL : https://www.lavoixdunord.fr/765015/article/2020-06-15/lille-le-parking-de-l-esplanade-bientot-gratuit-le-samedi (Consulté en mai 2021, en ligne)

_ **Les Rives de la Haute Deûle** : https://www.caue-nord.com/nl/portail/41/observatoire/1680/euratechnologies-lille.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.58 : **Croquis du "plan-guide" du projet Saint-Sauveur, Lille, support du dialogue entre acteurs**, Gehl Architects. URL : https://www.amc-archi.com/photos/exposition-co-urbanisme-7-9-saint-sauveur-a-lille,2835/croquis-du-plan-guide-d.2 (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.58 : **Esquisse du "plan-guide" du projet Saint-Sauveur**, Lille 2014, Gehl Architects. URL : https://www.amc-archi.com/photos/exposition-co-urbanisme-7-9-saint-sauveur-a-lille,2835/esquisse-du-plan-guide-d.3 (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.59 : P**lan d'aménagement de la friche Saint-Sauveur**, Béal & Blanckaert architectes. URL : https://beal-blanckaert.com/projets/848-saint_sauveur/# (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.60 : **Article expliquant le problème de pollution des sols qui touche la métropole**, 27 février 2014, Patrick Cros/Naja. URL : https://www.servirlepublic.fr/2014/02/metropole-lilloise-la-pollution-de-sols-une-problematique-recurrente/ (Consulté en décembre 2020, en ligne)

PARTIE 2 :

p.66 : **Illustration de Jean-Paul Van der Elst**, mediacités Lille, Audrey Freynet, 11 janvier 2019. URL : https://www.mediacites.fr/enquete/lille/2019/01/11/exclusif-la-carte-des-sols-pollues-de-la-metropole-de-lille/ (Consulté en novembre 2020, en ligne)

p.68 : **Méthode de dépollution par remplacement**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.68 : **Méthode de dépollution physico-chimique**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.68 : **Méthode par aspiration**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.70 : **Méthode de dépollution par injection**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.70 : **Méthode de dépollution par extraction électrique**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.70 : **Méthode de dépollution par chauffage**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.70 : **Méthode de dépollution par lavage du sol**, illustration de l'auteur, source : SelecDEPOL,brgm, ADEME. URL : https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.72 : **Réhabilitation environnementale des sols par excavation d'un site industriel à Sainte-Marie**. URL : https://akifer.ca/rehabilitation-environnementale (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.72 : **site de traitement thermique des sols pollués impactés par des métaux lourds, hydrocarbures lourds**, GMEP. URL : https://www.hellopro.fr/desorption-thermique-1001667-1980446-produit.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.74 : **Schéma de fonctionnement de la phytostabilisation**, Bert, et al. 2013. URL : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/phytotechnologies-ademe-2013-1463054029.pdf (Consulté en janvier 2021, en ligne)

p. 74 : **Schéma de fonctionnement de la phytoextraction**, Bert, et al. 2013. URL : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/phytotechnologies-ademe-2013-1463054029.pdf (Consulté en janvier 2021, en ligne)

p.76 : **Schéma de fonctionnement de la phytodégradation**, Bert, et al. 2013. URL : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/phytotechnologies-ademe-2013-1463054029.pdf (Consulté en janvier 2021, en ligne)

p.76 : **Schéma de fonctionnement de la rhizodégradation**, Bert, et al. 2013. URL : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/phytotechnologies-ademe-2013-1463054029.pdf (Consulté en janvier 2021, en ligne)

p.78 : **Cannabis Sativa, chanvre industriel, jardin de france, Le Cannabis : fibres, huile et psychotrope** Hanh Dufat , Sylvie Michel. URL : https://www.jardinsdefrance.org/le-cannabis-fibres-huile-et-psychotrope/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.78 : **Miscanthus Giganteus**, Plant & Flower Photographie de stock : GardenPhotos. URL : https://garden-photos-com.photoshelter.com/image/I0000SBvSCtV7yys (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.80 : **Salix viminalis**, Van den berk, pépinières. URL : https://www.promessedefleurs.com/arbustes/arbustes-par-variete/salix/salix-viminalis-saule-des-vanniers.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.80 : **Helianthus annuus**, Bruce Fritz, février 2013. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Sunflowers_helianthus_annuus.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.80 : **Brassica juncea**, Forest and Kim Starr / flickr.com. URL : https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/moutarde-brune-de-chine,2452.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p. 81 : **Populus alba**, la la means i love you, août 2010. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Populus_alba#/media/Fichier:Populus_alba_01.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.81 : **hlaspi caerulescens**, Konrad Lackerbeck, mars 2007. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Noccaea_caerulescens#/media/Fichier:Gebirgs-Hellerkraut.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.81 : **Arabidopsis halleri**, Üleslaadija oma töö, octobre 2010. URL : https://et.wikipedia.org/wiki/Taani_merisalat#/media/Fail:Cochlearia-danica-7443.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.82 : **Liriodendron tulipifera**, Jean-Pol GRANDMONT, novembre 2007. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liriodendron_tulipifera#/media/Fichier:Liriodendron_tulipifera_JPG5a.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.82 : **Chrysogon zizanioides**, Forest et Kim Starr. URL : https://www.extrasynthese.com/692-chrysopogonzizanioides (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.82 : **Trifolium repens**, Ruizo, juin 2006. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A8fle_blanc#/media/Fichier:Champs_de_trefle.jpg (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.84 : **Graphique de la structure racinaire d'une plante de canabis sativa**, Wikimedia. URL : https://www.alchimiaweb.com/blogfr/racines-cannabis/ (Consulté en janvier 2021, en ligne)

p.86 : **Article de journal parlant de l'efficacité du chanvre pour le procédé de phytorestauration**, De Tchernobyl en passant par les Pouilles : l'action du chanvre dans la régénération des sols, mai 2017. URL : https://www.humboldtseeds.net/fr/blog/cannabis-pour-regenerer-sols/ (Consulté en février 2021, en ligne)

p.86 : **Pripyat et Tchernobyl aujourd'hui**, Ondrej Bucek, avril 2021. URL : https://www.ensi.ch/fr/2021/04/22/laccident-de-tchernobyl-provoquait-des-rejets-environ-huit-fois-plus-eleves-que-ceux-de-fukushima-daiichi/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.88 : **Représentations en coupe des détails d'une liste de plantes utilisées en phytoextraction en fonction des éléments polluants constatés dans un sol**, Bert, et al., 2009 (Réalisation : Touvron V.)

p.88 : **Représentations en coupe d'ambiance d'une liste de plantes utilisées en phytoextraction en fonction des éléments polluants constatés dans un sol**, Bert, et al., 2009 (Réalisation : Touvron V.)

p.90 : **Les jardin filtrants du parc phyto-épuratif du chemin de l'île de Nanterre**, France, Aujardin.info / ADN CREATION. URL : https://www.aujardin.info/fiches/phytorestauration.php (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.90 : **Plan de la zone de reconstitution d'espaces naturelles pour restaurer la biodiversité et l'eau de la Seine**, Phytorestore / Thierry Jacquet. URL : https://www.phytorestore.com/fr/references/item/61-nanterre.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.90 : **Plan des jardins filtrants pour le traitement de l'eau de la Seine**, Phytorestore / Thierry Jacquet. URL : https://www.phytorestore.com/fr/references/item/61-nanterre.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.90 : **Coupe principe des jardins filtrants pour le traitement de l'eau de la Seine**, Phytorestore / Thierry Jacquet. URL : https://www.phytorestore.com/fr/references/item/61-nanterre.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.92 : **les plantes phytorestauratrices comme puits à carbone**, Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich, septembre 2019.

p.96 : **Les matériaux bisourcés face à la raréfaction des ressources : Les surfaces de régénération**, Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich, Septembre 2019.

p.98 : **Fibre de chanvre tressée sur du béton de chanvre**. URL : https://cf2b.org/les-materiaux-biosources/le-chanvre/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.100 : **Récolte à la main du chanvre**, Récolte, transformation et utilisation du chanvre. M.Mosiniak, 2005/ Futura-sciences.com. URL : https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/technologie-vegetal-textiles-585/page/7/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.100 : **Récolte mécanisée du chanvre**, Le fauchage du chanvre en mode battu, L-M.Allard, 2019/Terresinovia.fr. URL : https://www.terresinovia.fr/-/le-fauchage-du-chanvre-en-mode-battu (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.100 : L**ignes complètes de nettoyage et de défibrage de plantes libériennes (chanvre, miscanthus, lin, kenaf, jute...)**, OZ-média, laroche.fr. URL : https://www.laroche.fr/fr/domaines-dactivites/fibres-naturelles.html (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.100 : **Béton de chanvre en brique préfabriqué**. URL : https://www.alsabrico.fr/construire/gros-oeuvre/briques-ecologiques/beton-de-chanvre-en-brique-multichanvre-de-vieille-materiaux.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.100 : **Mur en béton de chanvre par un système de cauffrage**, batimat.com/R.Hasina, déc. 2020. URL : https://blog.batimat.com/beton-chanvre/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.100 : **Isolant de chanvre**. URL : https://www.biofib.com/biofib-chanvre/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.100 : **Enduit chaux/chanvre**, fr.twiza.org, C.Cyril. URL : https://fr.twiza.org/reference/343/enduit-chaux/chanvre (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.102 : **bloc porteur en béton de miscanthus**, S.C Batiactu, mai 2017. URL : https://www.batiactu.com/edito/materiaux-biosources-miscanthus-au-chevet-bloc-porteur-49361.php (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.102 : **Panneau alvéolé en bioplastique de fibres végétales**. URL : http://blog.europeanflax.com/flax-hemp-composite-innovation-sustainibility-2/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.102 : **Saule des vanniers pendant la récolte.** URL : https://www.plantonsledecor.fr/produits/arbres-arbustes/saule-osier-saule-vanniers (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.102 : **Osier en bac de trempage**, Touraine terre d'histoire, Entre traditions et innovations, l'Osier du Gué Droit, mars 2018 / Emilie Boillot. URL : https://www.touraineterredhistoire.fr/2018/03/18/entre-traditions-et-innovations-l-osier-du-gu%C3%A9-droit/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.102 : **Panneau bois contreplaqué en peuplier**, Drouin. URL : https://www.l-atelier-bois.com/revaloriser-le-peuplier/3193 (Consulté en avril 2021, en ligne)

p.102 : **Charpente en bois de peuplier**. URL : https://carpentier.be/fr/smart-solutions/voliges-en-bois/peuplier (Consulté en avril 2021, en ligne)
p.104 : **Schèma explicatif de la «phytorestauration productive»**, illustration de l'auteur.

p.108 : **Visualisation de l'approche holistique et des corrections multidimensionnelles qu'elle demande**, Jose Dias, revue Ecologik n°8

p.110 : **Parc résidentiel Sandgrubenweg, croquis de l'étude géomantique du professeur Erwin Frohman** , E. Frohman. Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich, Septembre 2019.

p.110 : **Parc résidentiel Sandgrubenweg, dessin de la forme des bâtiments issue de l'étude géomantique**, atelier für baukunst di wolfgang ritsch. Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich, Septembre 2019.

p.112 : **Logement de 153 m² pour une famille de deux enfants, architecte Helmut Kuess**, di Helmut Kuess. Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich, Septembre 2019.

p.112 : **Logement de 125 m² pour une femme et deux enfants, architecte Stephan Rist**, atelier für baukunst di wolfgang ritsch. Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich, Septembre 2019.

p.114 : **Différents matériaux biosourcés**, Illustration de l'auteur.

p.116 : **Salle principale de la chapelle funéraire d'Aalen**, Journal-du-design.fr, Brigida Gonzalez. URL : http://www.journal-du-design.fr/architecture/chapelle-funeraire-par-larchitecte-kaestle-ocker-roeder-128001/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.117 : **Salle principale de la chapelle funéraire d'Aalen**, Architonic.com, Brigida Gonzalez. https://www.pinterest.com/karolinatittel/architecture-acoustics/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.117 : **Eclairage rasant soulignant la texture en osier tissé**, stylepark.com, Brigida Gonzalez. URL : https://www.kaestleocker.de/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.118 : **croquis d'une habitation en structure bois « balloon frame »**. URL : https://www.pinterest.com/pin/537758011734559246/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.118 : **Tour du lac Mjosa à Brumunddal en Norvège**, Voll Arkitekter, ar-mag.fr, Voll Arkitekter As + Ricardo Photo. URL : https://ar-mag.fr/mjosta%CC%8Arnet-norvege-archi-12648/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.120 : **Bureaux de Loire-Atlantique Développement**, Nantes, fibre-award.org/ Patrick Miara. URL : https://www.fibra-award.org/portfolio/immeuble-de-bureaux-nantes/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.121 : **Bureaux de Loire-Atlantique Développement**, Nantes. URL : http://www.forma6.net/projet/architecture/immeuble-de-bureaux-3/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.121 : **Revétement de façade en chaume**, lemoniteur.fr/ Patrick Miara. URL : https://www.lemoniteur.fr/article/panneaux-de-chaume-pour-immeuble-tertiaire.2079203 (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.122 : **Eclairages artificiels de la salle**, L.Baillet. URL : http://baillet-archi.fr/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.122 : **Panneaux acoustiques en peuplier**, L.Baillet. URL : http://baillet-archi.fr/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.122 : **Structure poutre treillis en peuplier**, L.Baillet. URL : http://baillet-archi.fr/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.123 : **Eclairages naturelles de la salle**, L.Baillet. URL : http://baillet-archi.fr/ (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.124 : **Vue de la médiathèque depuis l'extérieur**. URL : https://www.bois-et-vous.fr/bois-contruction/diaporama-realisations-bois/portfolio/13-me-diathe-que-givenchy-en-gohelle?lang=fr (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.124 : **Vue de la médiathèque depuis l'extérieur**. URL : https://www.euralens.org/projets/developpement-de-la-filiere-bois-regionale-la-mediatheque-de-givenchy.html (Consulté en mai 2021, en ligne)

p.125 : **Espace principal de la médiathèque**. URL : https://www.bois-et-vous.fr/reseau-acteurs/contrat-filiere-foret-bois (Consulté en mai 2021, en ligne)

PARTIE 3 :

p.130-131 : **Plan de la stratégie de dépollution**, illustration de l'auteur.

p.132-133 : **plan de la stratégie de production**, illustration de l'auteur.

p.134-135 : **Plan de la stratégie paysagère**, illustration de l'auteur.

p.136 : **Phase annuelle en fonction de la saison**, illustration de l'auteur.

p.136 : **Phase décennale, évolution du zonage**, illustration de l'auteur

p.136 : **Principe de l'économie circulaire et économie verte, appliquées au projet**, illustration de l'auteur.

p.140 : **Plan T0, le passé et le présent**, illustration de l'auteur.

p.141 : **Vue google maps**

p.142 : **Plan T0, le futur**, illustration de l'auteur

p.143 : l**es jardin pourpre**, ICADE. URL : https://www.icade-immobilier.com/programmes-immobiliers-neufs-marquette-lez-lille/le-jardin-pourpre,p74231 (Consulté en février 2021, en ligne)

p.143 : **Les Grands Moulin de Paris**. URL : https://www.lemoniteur.fr/article/les-grands-moulins-de-paris.2025070 (Consulté en février 2021, en ligne)

p.143 : **Quai 22**, NMA, Agence Nicolas Michelin et Associés. URL : https://actu.fr/hauts-de-france/saint-andre-lez-lille_59527/decouvrez-futur-quartier-saint-andre-lez-lille-bord-deule_24063948.html (Consulté en février 2021, en ligne)

p.143 : **Projet "reflet"**. URL : https://www.reflets-riveo.com/ (Consulté en février 2021, en ligne)

p.144 : **Plan T0, parcellisation et pollution**, illustration de l'auteur.

p.146 : **Plan T0, affectation**, illustration de l'auteur.

p.148 : **Plan T1, Excavation**, illustration de l'auteur.

p.149 : **Coupe paysagère du principe de l'excavation pour créer le paysage sur la friche Kuhlmann**, illustration de l'auteur.

p.150 : **Plan T1, Phytorestauration**, illustration de l'auteur.

p.151 : **Vue 3D du paysage phytorestaurateur** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

p.152 : **Plan T1, Aménagements**, illustration de l'auteur.

p.153 : **Coupes de l'évolution du paysage en fonction du temps**, illustration de l'auteur.

p.154 : **Plan T1, général**, illustration de l'auteur.

p.155 : **21 résultats scientifiques sur les bienfaits du végétal en Ville**, S.Manusset, Environnement et Société, 2010. URL : www.environnement-societe.fr (Consulté en mars 2021, en ligne)

p.156 : **Plan T2, conditionnement, transformation, valorisation et traitement**, illustration de l'auteur.

p.157 : **Vue 3D du chemin du clos de l'Abbaye retravaillé avec les voies ferrées** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

p.158 : **Plan T3, préfabrication et formation**, illustration de l'auteur.

p.159 : **Vue 3D du bâtiments de préfabrication et de formation** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

p.160 : **Plan T4, développement des fonctions et fin de la dépollution**, illustration de l'auteur.

p.161 : **Vue 3D de la médiathèque et le bâtiment de formation autour de l'ancienne Abbaye** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

p.162 : **Plan T5, une nouvelle mixité**, illustration de l'auteur.

p.163 : **Vue 3D de l'ensemble de la friche Kuhlmann réhaffectée** (SketchUp; Enscape), illsutation de l'auteur.

p.166 : **Plan de la ligne de production**, illustration de l'auteur.

p.168 : **Plan du bâtiment conditionnement et de traitements**, illustration de l'auteur.

p.168 : **Elévation sud du bâtiment de conditionnement et de traitements**, illustration de l'auteur.

p.169 : **Vue 3D du bâtiment de conditionnement et de traitements** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

p.170 : **Coupe transversale du bâtiment de conditionnement et de traitements**, illustration de l'auteur.

p.170 : **Elévation Est du bâtiment de conditionnement et de traitements**, illustration de l'auteur.

p.171 : **Vue 3D de l'intérieur du bâtiment de conditionnement et de traitements** (SkechUp; Enscape), illustration de l'auteur

p.172 : **Plan RDC du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche**, illustration de l'auteur.

p.172 : **Coupe 1 du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche**, illustration de l'auteur

p.173 : **Vue 3D de la toiture du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

p.174 : **Plan R+1 du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche**, illustration de l'auteur.

p.174 : **Coupe 2 du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche**, illustration de l'auteur.

p.175 : **Vue 3D du hangar réhabilité du bâtiment de préfabrication, de formation et de recherche** (SketchUp; Enscape), illustration de l'auteur.

Articles :

Les friches urbaines polluées, enjeu d'un développement durable, Patrick Cros/Naja, 27 février 2014. URL : https://www.servirlepublic.fr/dossier/les-friches-urbaines-polluees-enjeu-dun-developpement-durable/ (Consulté en décembre 2020, en ligne)

Métropole lilloise : La pollution de sols, une problématique récurrente, Patrick Cros/Naja, 27 février 2014. URL : https://www.servirlepublic.fr/2014/02/metropole-lilloise-la-pollution-de-sols-une-problematique-recurrente/ (Consulté en décembre 2020, en ligne)

Plaine Commune Développement optimise la dépollution des terres, 27 février 2014, Patrick Cros/Naja. URL : https://www.servirlepublic.fr/2014/02/plaine-commune-developpement-optimise-la-depollution-des-terres/ (Consulté en décembre 2020, en ligne)

Avec l'herbe miscanthus, le plastique c'est fantastique ! Paris Match, sixtine Dubly, 02/03/2020 URL : https://www.parismatch.com/Vivre/Art-de-vivre/Avec-l-herbe-miscanthus-le-plastique-c-est-fantastique-1676044 (mai 2020, en ligne)

Combustible, isolant, bio-béton... Connaissez-vous le miscanthus ? We Demain, Pauline Vallée, 17/10/2019 URL : https://www.wedemain.fr/decouvrir/combustible-isolant-bio-beton-connaissez-vous-le-miscanthus_a4343-html/ (mai 2020, en ligne)

Site internet :

https://www.marquettelezlille.fr/

https://www.lille.fr/Votre-Mairie/Lille-en-bref/Une-ville-durable/Le-projet-europeen-MOLOC

https://www.selecdepol.fr/techniques-de-depollution

http://www.groupe-iram.com/pages/depollution-des-sols/

https://fr.wikipedia.org/wiki/Chanvre

Nanterre
https://www.phytorestore.com/fr/references/item/61-nanterre.html

Miscanthus Giganteus convient à la phytoremédiation des terres contaminées
https://www.agrikinetics.com/miscanthus-giganteus/miscanthus-giganteus-natures-clean-up-agent/

La phytoremédiation : du Cannabis pour nettoyer les sols
https://www.alchimiaweb.com/blogfr/phytoremediation-cannabis-nettoyer-sols-contamines/

institut national de l'environnement industriel et des risques
https://www.ineris.fr/fr

L'observatoire, CAUE.
https://www.caue-observatoire.fr/ouvrage/salle-polyvalente-gremaux-lezennes-59/

Ingé bois structure.
https://ingebois.com/projets/equipements-divers/salle-polyvalente-gremeaux-lezennes-59

https://fresques.ina.fr/mel/fiche-media/Lillem00034/lille-et-la-revolution-industrielle.html#:~:text=L'%C3%A9volution%20de%20Lille%20au,l'usine%20en%20pleine%20expansion

http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/D%C3%A9pollution%20des%20sols/fr-fr/

https://www.marquettelezlille.fr/qr-codes/kuhlmann-un-episode-sur-la-deule-expo-jep-2020-18/

https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9pollution_des_sols

Livre, étude, thèses et mémoires :

Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués, Etat de l'art et guide de mise en œuvre, Coordonné par Valérie Bert (2012). URL : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/phytotechnologies-ademe-2013-1463054029.pdf

Etude de l'impact paysager des projets de phytoremediation concernant les friches industrielles, Valentin Touvron (2017-2018). URL : https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/5116/4/s156431Touvron2018.pdf

Ces plantes qui guérissent l'habitat, Phytoépuration et génie végétal, Sébastien Illovic, Vincent Bonnarme, Edition Eyrolles (2011)

Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui, Museo Editions, D.Gauzin-Müller, D.Kostezer, G.Habert, ETH Zürich (2019)

Les filières franciliennes des matériaux et produits bio-sourcés pour la construction, ARENE. URL : https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/les_filieres_franciliennes_des_materiaux_et_produits_bio_sources_pour_la_construction.pdf

Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable ? Actes sud/cité de l'architecture et du patrimoine (2009)

Reportages :

Dépolluer les sols avec des plantes - FUTURE - ARTE

Travail de Fin d'Etude
Arthur Gielczynski
juin 2021