



LE RECYCLAGE DES PALES D'ÉOLIENNE

TRACY HAMZO ET GHOFRANE SAIDI

DESIGN & TERRITOIRES / LOCAL & GLOBAL
BC 1.1 - 2021 - 2022

E
NS /
AG

MASTER
DESIGN
RÉSILIENCE
HABITER

LE RECYCLAGE DES PALES D'ÉOLIENNE

TRACY HAMZO ET GHOFRANE SAIDI

SOMMAIRE

- | | |
|---|--|
| 1. INTRODUCTION
PAGE 02 | 9. LE POINT DE BASCULE
PAGE 21 |
| 2. CYCLE DE VIE D'UNE ÉOLIENNE
PAGE 04 | 10. LES ATELIERS DE CONCEPTION
PAGE 22 |
| 3. LES DÉCHETS ISSUS DU DÉMONTAGE
PAGE 06 | 11. L'EXPRESSION LIBRE
PAGE 23 |
| 4. VERS UNE APPROCHE ÉCOLOGIQUE
PAGE 07 | 12. UNIE
PAGE 24 |
| 5. MATÉRIAUX COMPOSITE
PAGE 08 | 13. LES ESPACES VERTS
PAGE 27 |
| 6. LA FORME D'UNE PALE ÉOLIENNE
PAGE 10 | 14. URBAN JUNGLE
PAGE 28 |
| 7. DÉVELOPPEMENT DURABLE
PAGE 12 | 15. RESSOURCES BIBLIOGRAPHIE |
| 8. ACCEPTABILITÉ ET SOUTENABILITÉ
PAGE 14 | |
| 5. ENQUÊTE
PAGE 15 | |
| 6. OBSERVATIONS
PAGE 16 | |
| 7. URBANISME TRANSITOIRE
PAGE 17 | |
| 8. CONCLUSION
PAGE 20 | |

INTRODUCTION

Définition

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, dite énergie éolienne, laquelle est ensuite le plus souvent transformée en énergie électrique.

Étymologie

En 1885, Ernest-Sylvain Bollée, inventeur de l'éolienne Bollée, utilise le mot « éolienne » pour la première fois comme nom commun à partir de l'adjectif substantivé (énergie éolienne). Le mot trouve sa place dans le Larousse en 19071.

Historique

L'ancêtre de l'éolienne est le moulin à vent, apparu en Perse dès l'an 620 et suivi de la pompe à vent, apparue au IX^{ème} siècle dans l'actuel Afghanistan. Ils sont encore utilisés actuellement, couplés à une pompe à eau, généralement pour drainer et assécher des zones humides ou au contraire irriguer des zones sèches ou permettre l'abreuvement du bétail.

En 1888, Charles Francis Brush construit une grande éolienne pour alimenter sa maison en électricité, avec stockage par batterie d'accumulateurs.

La première éolienne « industrielle » génératrice d'électricité est mise au point par le Danois Poul La Cour en 1890, pour fabriquer de l'hydrogène par électrolyse. Dans les années suivantes, il crée l'éolienne « Lykkegard », dont il vend soixante-douze exemplaires en 1908.

Une éolienne expérimentale de 800 kVA fonctionna de 1955 à 1963 en France, à Nogent-le-Roi dans la Beauce. Elle avait été conçue par le Bureau d'études scientifiques et techniques de Lucien Romani et exploitée pour le compte d'EDF. Simultanément, deux éoliennes Neyrpic de 130 et 1 000 kW furent testées par EDF à Saint-Rémy-des-Landes (Manche)⁴. Il y eut également une éolienne raccordée au secteur sur les hauteurs d'Alger (Dély-Ibrahim) en 1957.

Cette technologie ayant été plus ou moins délaissée par la suite, c'est jusqu'à les années 1970 et le premier choc pétrolier que le Danemark reprenne les installations d'éoliennes.



Éolienne BEST-Romani à Nogent-le-Roi (Eure-et-Loir) 1955-1966.

Les éoliennes en France

Les éoliennes ont généré 6.3% de la production totale d'électricité en France en 2019.

Le facteur de charge moyen du parc éolien français a augmenté, grâce notamment à l'installation d'unités de production plus performantes, atteignant 24,7% en 2019 (contre 22,8% en 2018).

Près de la moitié de l'électricité produite par le parc éolien provient des régions Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine et Nord-Pas-de-Calais-Picardie.

Le développement de parcs éoliens est lié aux tarifs d'achat de l'électricité produite et aux démarches plus ou moins lourdes du processus d'implantation.

Au niveau européen, la France possède le deuxième potentiel éolien derrière le Royaume-Uni et le quatrième parc éolien en matière de puissance installée.



*Schéma représentant la quantité d'électricité générée par région
- Beilin Education/ Humensis, 2020 Enseignement scientifique*

Les entreprises du secteur éolien

Selon BloombergNEF, les 5 principaux fabricants d'éoliennes en 2019 étaient :

- Vestas (Danemark) avec 16,2% de parts de marché mondial
- Siemens Gamesa (Espagne) avec 14,5% ;
- Goldwind (Chine) avec 13,6% ;
- GE Energy (États-Unis) avec 12,1% ;
- Envision (Chine) avec 9,5%.

CYCLE DE VIE D'UNE ÉOLIENNE

Matières premières

Les pales des éoliennes de grande taille sont fabriquées à partir de matériaux composites qui allient ces qualités de résistance et de légèreté. Les matériaux composites utilisés pour la fabrication des pales sont des mélanges de fibre de verre, de fibre de carbone, de résines polyester ou de résines d'époxy.

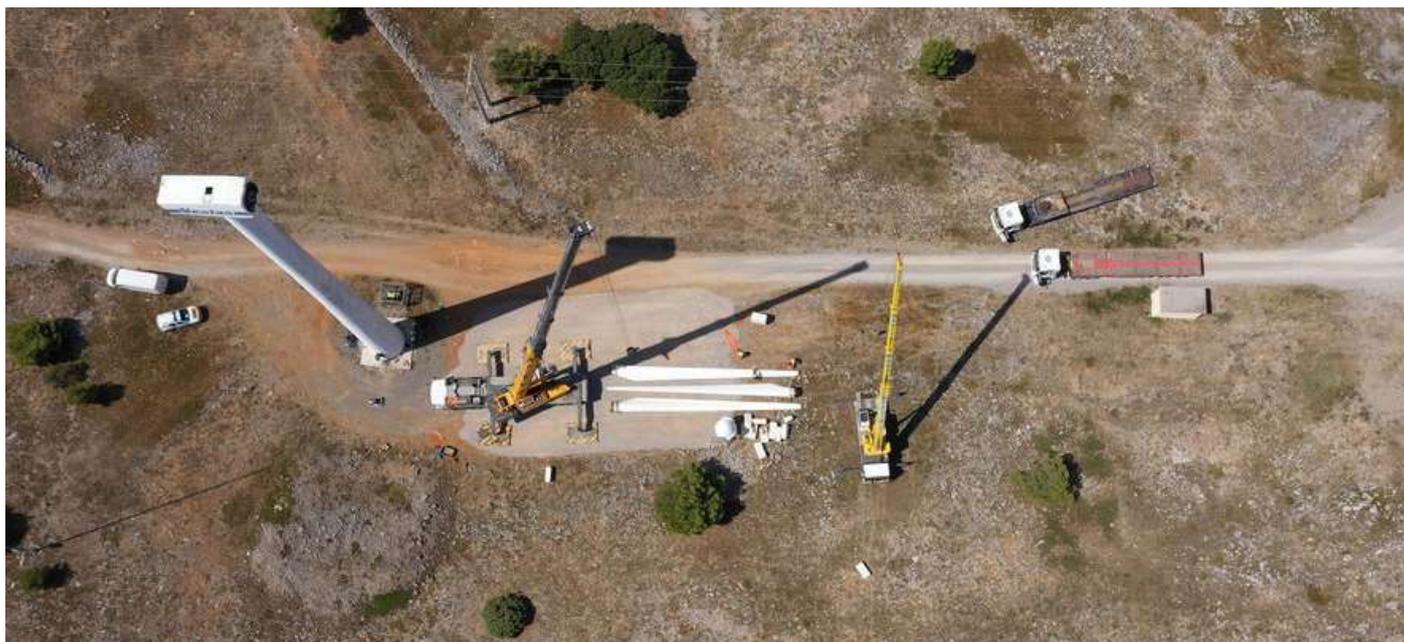


Photo d'un chantier de démontage d'une éolienne

Fabrication

Pour décrire une éolienne, on retient principalement quatre sous-ensembles :

- **la rotor**, partie rotative de l'éolienne placée en hauteur afin de capter des vents forts et réguliers. Il est composé de pales (en général 3) en matériau composite qui sont mises en mouvement par l'énergie cinétique du vent. Reliées par un moyeu, ces dernières peuvent en moyenne mesurer chacune 25 à 60 m de long et tourner à une vitesse de 5 à 25 tours par minute .

- **la nacelle**, structure soutenue par le mât abritant les différents éléments mécaniques.

- **la tour**, composée du mât, du système de commande électrique et du transformateur. Généralement de forme conique, le mât supporte la nacelle. Il mesure entre 50 et 130 m de haut et a un diamètre à son pied compris entre 4 et 7 m. Une ouverture en bas du mât permet d'accéder aux différents équipements de l'éolienne parmi lesquels le transformateur qui permet d'augmenter la tension de l'électricité produite afin de l'injecter sur le réseau .

- **la base**, souvent circulaire et en béton armé dans le cas des éoliennes terrestres, qui permet de maintenir la structure globale.

Distribution et Construction

En amont de la construction, le futur exploitant du parc éolien doit lancer une série d'appels d'offres auprès d'entreprises, souvent locales, pour intervenir pour la réalisation du génie civil, de la pose des câbles de raccordement, pour le transport des éoliennes jusqu'au lieu d'installation, etc.

Le déroulement d'un chantier est le suivant :

- travaux de terrassement ;
- fondation en béton des éoliennes ;
- tranchée pour le raccordement électrique ;
- montage des éoliennes ;
- essais de mise en service ;

Les travaux de construction du parc durent entre 6 et 9 mois.

Utilisation

L'énergie éolienne consiste à exploiter l'énergie cinétique du vent. Les éoliennes produisant de l'électricité peuvent être installées à terre ou « offshore ».

L'énergie électrique ou mécanique produite par une éolienne dépend de 3 paramètres : la forme et la longueur des pales, la vitesse du vent et la température qui influe sur la densité de l'air. Le parc éolien mondial a une puissance installée de près de 651 GW à fin 2019. Il a compté pour environ 5,3% de la production mondiale d'électricité en 2019.

Fin de vie

La durée d'exploitation d'une éolienne est en moyenne de 20 ans et peut aller jusqu'à 25 ans pour les modèles récents. A l'issue de son exploitation, un parc éolien est démonté et le site est remis en état.

Démontage des éoliennes:

Peu de parcs éoliens français sont arrivés au bout de leur cycle d'exploitation mais la question de leur démantèlement est totalement anticipée, et ce, dès la conception de chaque site.

La loi impose à l'exploitant le démontage des éoliennes et la remise en état du terrain sur lequel elles ont été implantées, à la fin de leur exploitation.

Le démantèlement d'un parc comprend :

- le démontage des éoliennes et du poste électrique ;
- l'excavation des fondations ;
- le retrait d'une partie des câbles, la partie qui demeure enterrée sur le site restera inerte ;
- la remise en état des terrains, sauf si leur propriétaire ne le souhaite pas ;
- la valorisation ou l'élimination des déchets issus du démantèlement.

À la fin de la vie du parc, l'exploitant peut choisir de remplacer tout ou partie des éoliennes de son parc. Dans ce cas, on parle de revamping ou de repowering.

LES DÉCHETS ISSUS DU DÉMONTAGE



*Une cimétière de pales d'éoliennes enterrés après la fin de leur cycle de vie
- Lake Mills, Iowa
Sioux Falls, Dakota du Sud
Casper, Wyoming aux États Unis (2020)*

Valorisation ou élimination des déchets issus du démantèlement

Le secteur de l'éolien, comme toute industrie, est confronté à l'usure de ses équipements et aux problématiques de la fin de vie d'exploitation des sites.

Bien que le bilan du recyclage hors pale soit très bon (98 % de la masse total), les pales qui sont faites en matériaux composites, n'ont pas encore de filière de recyclage mature. L'ensemble des éléments qui composent une éolienne sont désormais conçus et produits selon une démarche d'éco-conception qui inclut une réflexion sur la façon dont on peut **revaloriser les pales afin de réduire l'impact environnemental**.

Par exemple, en France d'ici 2025, l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) s'attend à un volume de démantèlement. Cela représente entre 3 000 et 15 000 tonnes de matériaux composites qu'il va falloir traiter. Noyés dans la résine, les matériaux composites (essentiellement des fibres de verre ou de carbone) doivent pouvoir être récupérés sans être endommagés. Cette opération est très complexe mais il existe actuellement différents moyens possibles :

- La réutilisation directe, donc sans transformation chimique
- Le broyage puis la valorisation dans les cimenteries comme combustible puis cendres
- Le broyage pour la fabrication d'autres matériaux composites recomposés, à la résistance comparable aux composites de bois.

VERS UNE APPROCHE ÉCOLOGIQUE

Poussée par le besoin de réduire son impact environnemental pour répondre à ses détracteurs, la filière éolienne vise des pâles recyclées à 100 %. De nombreux fabricants expérimentent aujourd'hui de nouveaux matériaux afin à la fois de remplacer les anciennes pâles, d'améliorer la durée de vie des machines, de les rendre réutilisables et de faciliter leur recyclabilité. Deux projets sont en cours sur le sujet : ZEBRA et CETEC.

ZEBRA (Zero waste blade Research)

Ce consortium d'industriels vise à développer des pâles en matériaux 100 % recyclables. Le projet a débuté en 2020 et il est prévu pour une durée de 42 mois. Il est piloté par l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Jules Verne, et bénéficie d'un budget de 18,5 millions. Les recherches se basent sur un composant développé par la société française Arkema : la résine thermoplastique Elium, connue pour ses propriétés de recyclage par dépolymérisation (processus de conversion d'un polymère en monomères) ou de dissolution. De nombreux autres acteurs importants composent ce consortium à l'image de l'énergéticien Engie, du producteur de pâles LM Wind Power, du fabricant de composite Owens Corning ainsi que de Suez.

CETEC (Circular Economy for Thermosets Epoxy Composite)

Ce projet, lancé par le géant de l'éolien Vestas, vise à mettre au point une technique pour séparer les matériaux composites des pâles. Supposé être prêt en 2024, ce procédé devra parvenir à fracturer chimiquement les molécules d'époxy en résines vierges pour être réutilisées pour la production de pâles neuves. Les fibres de verre et de carbone, quant à elles, pourront être intégrées à des cycles de revalorisation existants. Cette initiative menée par Vestas est également soutenue par le producteur d'époxy Olin, l'Institut technologique danois (DTI), l'Université d'Aarhus, et financée par le fonds danois pour l'innovation.



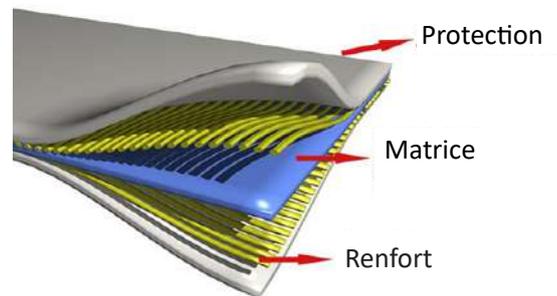
Une cimétière de pâles d'éoliennes enterrés après la fin de leur cycle de vie

MATÉRIAUX COMPOSITE

Définition

Les matériaux composites sont apparus dans le but de développer de nouveaux produits toujours plus performants, plus résistants, plus légers, plus fiables, afin de satisfaire les attentes des clients et résister au poids de la concurrence.

C'est un **assemblage** d'au moins **deux matériaux** non miscibles qui possède **des propriétés que les éléments constitutifs seuls n'ont pas**.



Multicouche: Schéma de Matériau composite

Composition

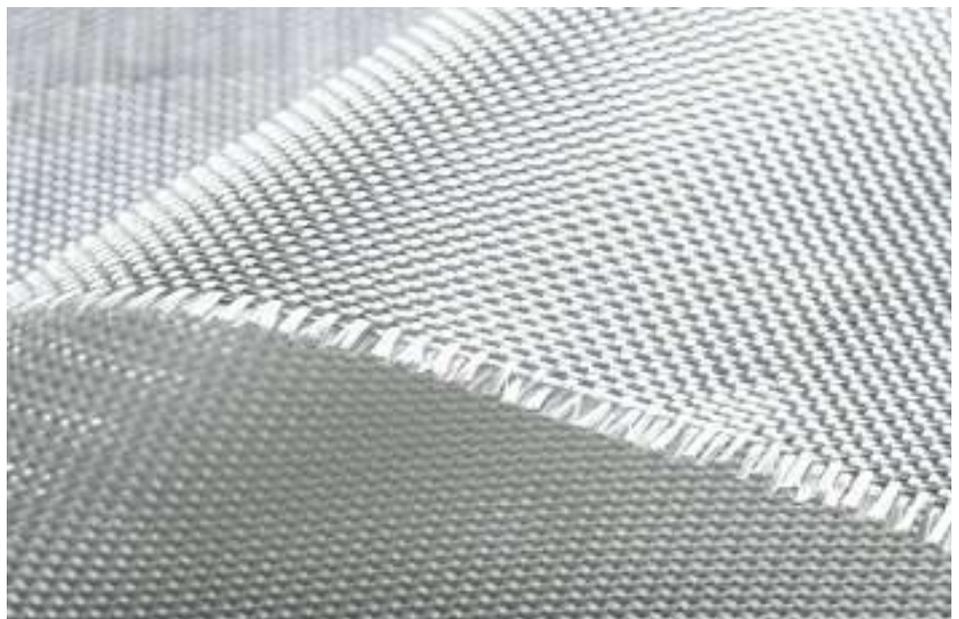
Un matériau composite est constitué :

- **d'une ossature** appelée **renfort** qui **assure la tenue mécanique** du matériau composite et qui se présentera généralement **sous forme de billes ou de fibres**.

C'est lui qui donnera principalement **la résistance à la structure**, et sera donc choisi parmi les matériaux à hautes résistances mécaniques. Dans des applications plus spécifiques, le renfort donnera au matériau ses **propriétés thermiques, ou encore électriques**.

- **d'une matrice** permet la transmission des efforts entre les différentes parties du renfort et répartit la charge dans la pièce.

Ses propriétés sont souvent inférieures à celles du renfort et nous privilégierons **sa facilité de mise en forme et sa compatibilité avec le renfort**. C'est elle qui donnera à la pièce **sa forme et son aspect**. Elle pourra également avoir un rôle de **protection du renfort vis-à-vis des agressions** telles que les attaques chimiques, ou encore un rôle d'**étanchéité**.



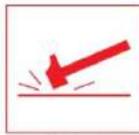
Texture du Fibre de carbone et fibre de verre

Caractéristiques

Le propre des matériaux composites, c'est qu'ils présentent des caractéristiques dont les différents composants qui les constituent, à eux seuls, ne peuvent pas se prévaloir. Un atout majeur dans un environnement industriel en quête permanente de performances.



PERFORMANCE
MÉCANIQUE



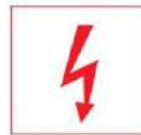
RÉSISTANCE AUX
CHOC



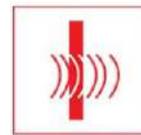
RÉSISTANCE
EN TRACTION



FACILITÉ
D'USINAGE



ISOLATION
ÉLECTRIQUE



TRANSPARENCE
AUX ONDES



LÉGÈRETÉ



RÉSISTANCE
AU FEU



ISOLATION
THERMIQUE



ANTI-
CORROSION



RÉSISTANCE
CHIMIQUE



RESPECTUEUX À
L'ENVIRONNEMENT



DURABILITÉ



ABSENCE
D'ENTRETIEN

Marché des matériaux composites

Le marché des matériaux composites est **en pleine expansion** aussi bien en Europe, qu'aux États-Unis ou en Asie comme en atteste différents rapports. Aujourd'hui, les fibres de verre restent le renfort le plus utilisé dans les matériaux composites puisqu'il représente près de 95% du volume des composites produits.

Ses bonnes propriétés mécaniques, son prix abordable et la maîtrise des procédés de fabrication associés en font le candidat idéal dans de nombreux secteurs comme **le transport, l'aéronautique, ou la construction**. Les **résines thermodurcissables** comme le polyester, le vinylester ou l'époxy, restent les plus utilisées en association avec les fibres de verre.

La difficile équation de recyclage

A mesure que se multiplient les déclarations pour faire entrer la filière des composites dans le cycle de l'économie circulaire, se dessinent les obstacles techniques et économiques à leur recyclage.

La Fédération de la plasturgie et des composites l'a reconnu : « Les acteurs de la filière **ne pourront pas atteindre** seuls l'objectif de **100 % de recyclabilité attendu en 2025**. Nous pourrions nous engager **au mieux sur un volume de 40 %** »

Un matériau composite est formé d'une résine et d'un renfort (fibre de verre, de carbone, ou naturelle). Aucune solution économiquement acceptable n'a été trouvée **pour réemployer les résines thermodurcissables** (comme l'époxy) dont la transformation est **irréversible**. Or leur usage représente en gros les deux tiers du marché.

Le reste se compose de thermoplastiques. Ils sont plus faciles à refondre mais, dans le meilleur des cas, l'opération permet de récupérer des **fibres sectionnées** et en vrac **difficiles à remettre dans l'ordre solide d'une membrane**. « Difficile de réaligner ce produit sur une matrice, et l'opération s'est avérée peu compétitive : **le matériau recyclé vaut** un peu moins de 10 euros le kilo, soit **à peine quelques euros de moins que la fibre native**, mais ses **performances** sont **inférieures de 25 %** ».

La production de fibre de carbone pèse aujourd'hui près de 8,6 millions de tonnes par an sur la planète et la demande augmente de 5 % chaque année.

L'autre option étant **l'incinération** avec production d'énergie, thermique notamment, et qui reste aujourd'hui la seule solution économiquement viable et encore plus dans le cas de renforts en fibres de verre.

LA FORME D'UNE PALE ÉOLIENNE

Chiffres

Données pour une éolienne de 2 MW :

Longueur d'une pale: 45 m

Largeur hors tout: 90 m

Hauteur hors tout avec un mât de 100 m: 145 m

Poids d'un pale: 7 tonnes

Vitesse de rotation: 9 à 19 tours/min pour un vent de 3 à 25 m/s

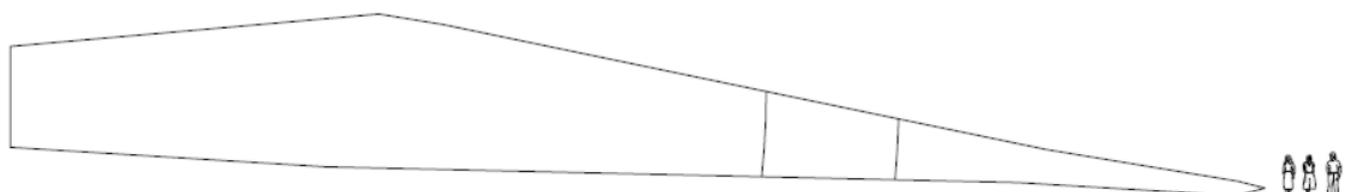
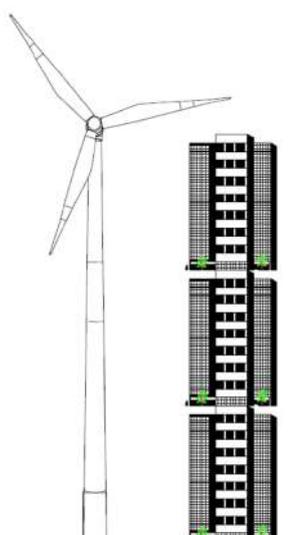
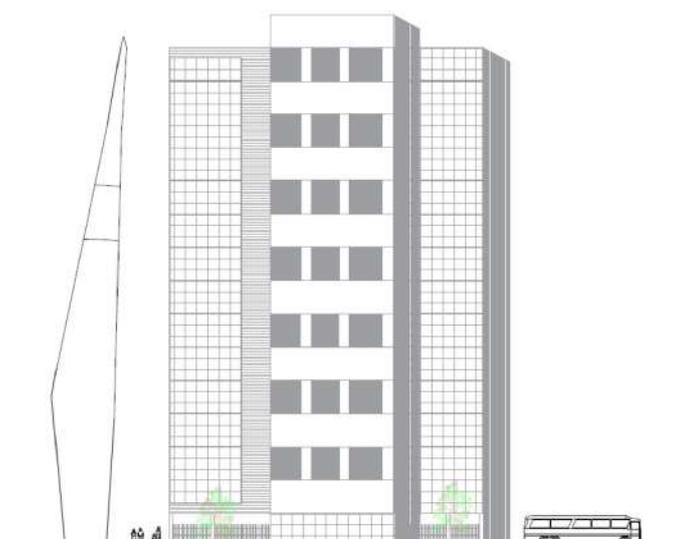
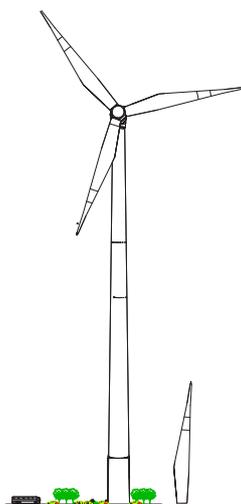
Diamètre de base de la tour: 4.2 m

Coût d'une tour: 140 000 à 300 000 Euros TTC

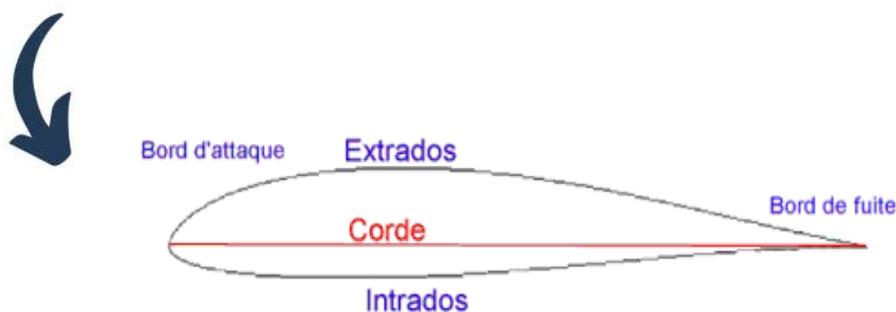
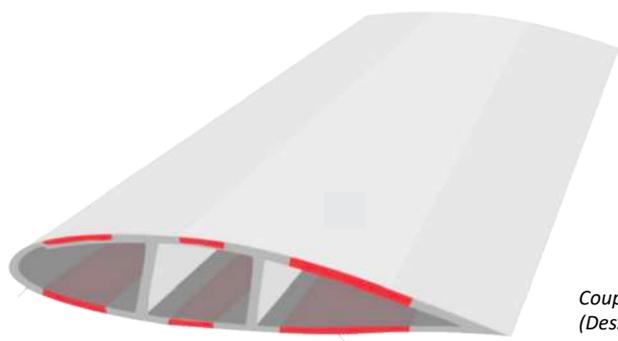
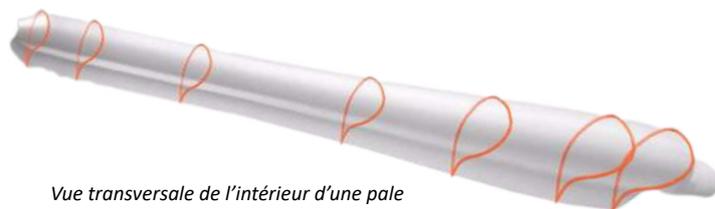
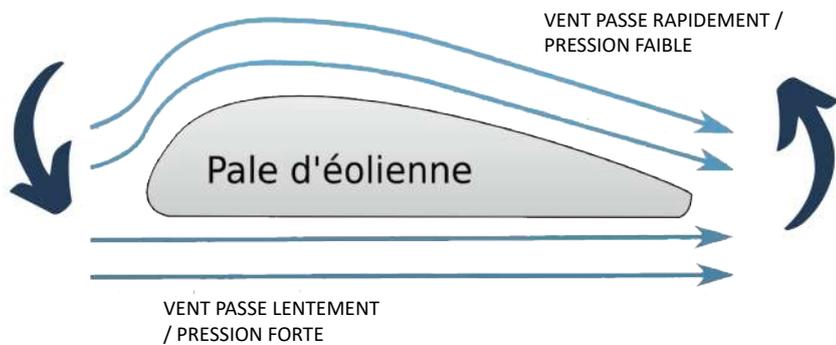
Durée de vie: 20 à 30 ans

Poids de la nacelle: 90 tonnes

Poids du moyeu: 20 tonnes



Comparasion de l'échelle humain à une éolienne de 2MW



Forme et Fonctionnement

La lame dispose d'un grand profil aérodynamique formé de plusieurs tailles et formes de la base à la pointe. Les profils sont répartis le long de la pale d'éolienne de manière à réaliser le meilleur compromis entre résistance et production de portance. Lorsque l'air arrive, il passe plus rapidement du côté bombé que du côté plat. Alors la pression du côté plat est plus forte poussant les trois pales de l'éolienne à tourner.

Les pales, de par leur rotation perpendiculaire au vent, créent des turbulences dans le flux d'air ainsi qu'une diminution de la vitesse du vent en aval du rotor.

C'est ce qu'on appelle l'effet de sillage.

Le sillage créé par les premières rangées d'éoliennes réduit la production des rangées en aval du vent. Plus la distance entre les éoliennes est importante, plus l'effet de sillage sera faible.

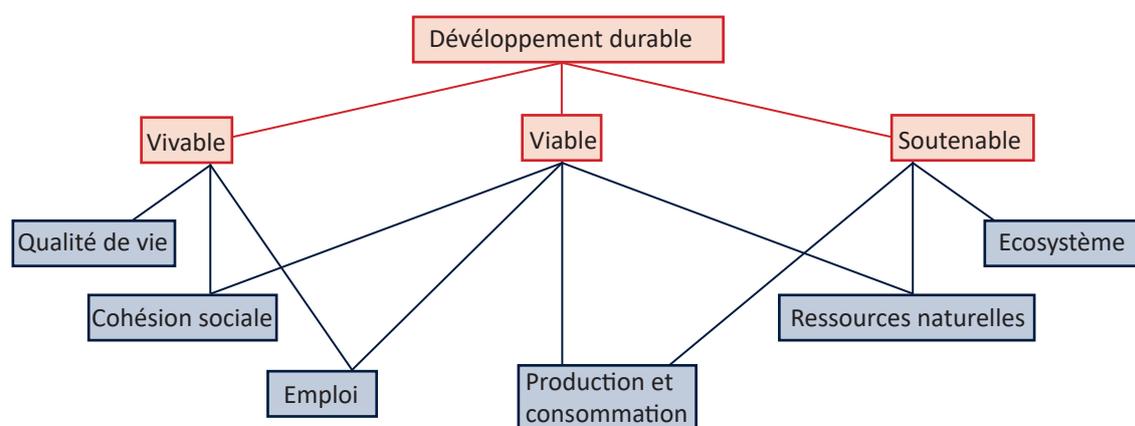
Pour réduire l'impact de l'effet de sillage et optimiser la production électrique, il est recommandé d'espacer les éoliennes d'une distance minimale d'environ 900 mètres entre deux éoliennes. Pour réduire l'impact de l'effet de sillage et optimiser la production électrique, il est recommandé d'espacer les éoliennes d'une distance minimale d'environ 900 mètres entre deux éoliennes.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Définition

Le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs », citation de Mme Gro Harlem Brundtland, Premier Ministre norvégien (1987).

En 1992, le Sommet de la Terre à Rio, tenu sous l'égide des Nations unies, officialise la notion de développement durable et celle des trois piliers (économie/écologie/social) : un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable.



Les trois piliers

Le développement durable suppose un mode d'organisation basé sur 3 piliers essentiels :

- La qualité environnementale des activités humaines pour limiter les impacts environnementaux, préserver les écosystèmes et les ressources naturelles à long terme.
- L'équité sociale pour garantir à tous les membres de la société un accès aux ressources et services de base (éducation, santé, alimentation, logement...) pour satisfaire les besoins de l'humanité, réduire les inégalités et maintenir la cohésion sociale.
- L'efficacité économique en diminuant l'extrême pauvreté et en garantissant l'emploi du plus grand nombre dans une activité économique dignement rémunérée. L'économie durable est une gestion saine des activités humaines sans préjudices pour l'Homme ou pour l'environnement.

Ces 3 piliers composent les enjeux du développement durable. Pour instaurer une société plus durable, ces piliers sont accompagnés de principes fondamentaux.

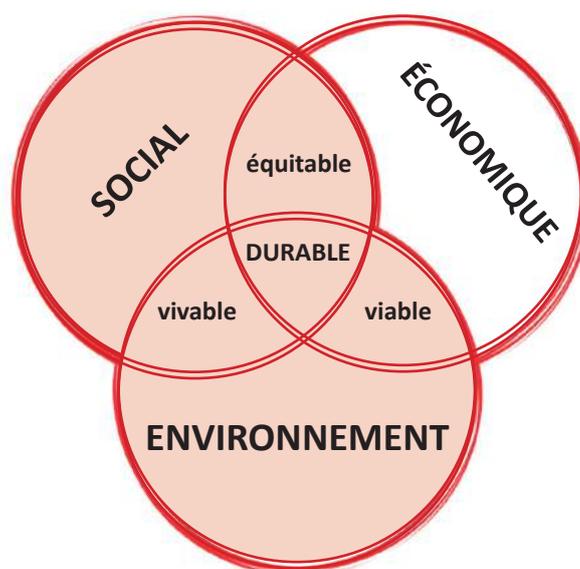


Schéma du développement durable



Nous avons remarqué que la plupart des définitions de développement durable parlent de besoin humain, c'est ce qui nous a poussé à mettre l'accent sur le volet social et de pousser notre projet à créer un impact social afin de pouvoir faire un projet qui s'appuie sur l'expérience de l'utilisateur.

Comme l'a si bien dit Findelli « La fin ou le but du design est d'améliorer ou au moins de maintenir l'habitabilité du monde dans toutes ses dimensions. »

Partant du principe que cette habitabilité ne pourra être acquise qu'en respectant les besoins humains tout en restant à la limite écologique. Nous avons essayé de définir ces besoins humains et essayé de savoir comment pouvons-nous en répondre.

En 1991, Manfred Max Neef a publié un livre intitulé 'human scales development' où il a démontré que les besoins humains sont finis et classables, qui sont 9 besoins fondamentaux communs à toutes les cultures et à tous les périodes historiques, ce qui change c'est la façon dont nous y satisfaisons.

Ces besoins sont : La subsistance, la protection, la participation, l'oisiveté, affection, la compréhension, la création, l'identité et la liberté. Max Neef a aussi proposé 4 catégories pour organiser les façons dont nous satisfaisons nos besoins : être, avoir, faire et interagir.

Alors la question qui se pose comment notre projet pourrait-il répondre à ces besoins tout en respectant les contraintes environnementales et être acceptable et soutenable par la société.

ACCEPTABILITÉ ET SOUTENABILITÉ

Acceptabilité

Définie comme étant le caractère de quelque chose qui est plus ou moins tolérable. (Larousse Français)

Étymologie: Dérivé de l'adjectif acceptable avec le suffixe -ité.

L'acceptance est, en d'autres termes, une forme d'acceptation sociale réussie, c'est-à-dire dans laquelle l'innovation a su s'intégrer aux normes et valeurs du groupe social étudié, donc à ses critères d'acceptabilité.

Soutenabilité

Définie comme étant le caractère de ce qui est soutenable, qui peut être supporté, enduré pour les bonnes raisons ; Qu'on peut défendre au moyen de raisons recevables.

Étymologie: Dérivé de l'anglais sustainability, issu du latin sustinere, soutenir, empêcher de tomber, porter, supporter

Recevabilité d'un projet

L'acceptabilité sociale est la capacité qu'a une innovation de s'intégrer fonctionnellement dans une structure sociale existante (changement évolutif) ou de modifier suffisamment cette structure sociale pour s'y adapter (changement révolutionnaire). La différence fondamentale, d'un point de vue méthodologique, réside dans une approche subjective pour ce qui est de l'acceptabilité et d'une approche objective pour ce qui concerne la soutenabilité.

On évalue le degré de recevabilité d'un projet par la population souvent à l'aide de sondages portant par exemple sur ces paramètres.

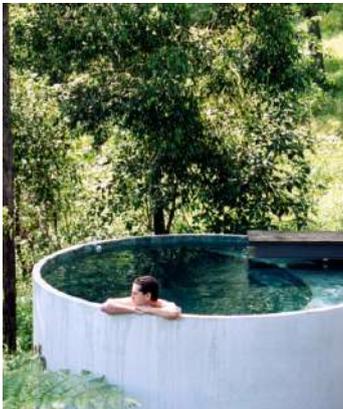
Le pair soutenabilité/acceptabilité sociale peut dès lors acquérir une certaine force conceptuelle. Il s'affirme comme un objet transversal, qui convoque dans l'analyse territoriale les apports de la sociologie, de la psychologie sociale, de la science politique et du droit. En effet, on interroge les dimensions subjectives (représentations, affects, comportements) qui réinterprètent les déterminants individuels des antagonismes et permettent, ou non, la bonne réception du projet. On parle donc de représentations sociales, d'émotions et de logiques de pouvoir spatialisées.

Ces deux éléments étant indispensables au processus de conception, nous avons décidé d'aller sur terrain pour faire une enquête qui nous aidera à définir la vocation de notre projet.



Manifestation contre l'emplacement des éoliennes

ENQUÊTE



Photos utilisés pour l'enquête

Pour savoir comment réfléchir et la direction idéale à prendre lors de la conception du projet, on a décidé de faire une enquête qui nous aidera à mieux connaître les critères nécessaires à la recevabilité sociale d'un design construit avec des pales d'éoliennes réemployées.

Ainsi, il s'agit de développer des outils d'analyse pour mesurer les valeurs associées à la visibilité. La « visibilité » étant un élément important de la perception, qui fonde l'appréciation esthétique et émotionnelle des individus vis-à-vis de l'objet d'étude, cet objet étant les pales des éoliennes dans ce cas.

Pour recueillir l'expérience sensible du regard, nous avons choisi plusieurs projets de réemploi de matériaux industriels après la fin de leur premier cycle de vie, pour les montrer aux gens et avoir leur avis et préférences. L'objectif étant l'analyse de l'effet de la forme, des matériaux et de leur historique sur l'acceptabilité sociale du design.

Parmi plusieurs photos et exemples de projets, c'était aux gens de choisir deux images qui leur plaisaient plus que les autres. Une fois qu'ils les ont choisi, on leur demandait les questions suivantes:

- Qu'est ce qui vous plaît dans ces design?
- Est-ce que vous saviez les matériaux utilisés pour les réaliser?
- Est-ce que votre avis envers ce design a-t-il changé? Pourquoi?
(Après leur avoir clarifié la nature des matériaux utilisés)

OBSERVATIONS

Nous avons remarqué qu'il y'a une très grande ouverture d'esprit dans les rues grenobloises envers le sujet de réutilisation des matériaux industriels après la fin de leur cycle de vie initiale. Pour certains le design semblait plus acceptable en ayant une fonction qui répond à un besoin de bien commun.

Quelques avis qu'on a reçu pendant ces entretiens qui nous a bien marqué:

"Puisqu'on on va arriver à utiliser des choses plutôt que les détruire et essayer de reconstruire de nouvelles, ressusciter c'est une très bonne façon de voir les choses."

- Un homme au centre ville de Grenoble

"Je trouve que réutiliser des objets qui vont être jeter ou détruit c'est bien, comme ça on évite de re-fabriquer et re-polluer."

- Un homme au centre ville de Grenoble

"Moi j'aime bien la forme, parce que ça se voit que c'est du récup et c'est en accord avec mes valeurs."

- Une femme au centre ville de Grenoble

"Si le matériau existe, pourquoi pas l'utiliser."

- Un étudiant sur le campus de l'UGA



Des affichages des vidéos des enquêtes

URBANISME TRANSITOIRE

Inventer de nouveaux lieux, expérimenter des projets urbains – culturels, sociaux, économiques –, valoriser l'espace en attendant une future utilisation, éviter la vacance immobilière, créer une dynamique collective impliquant les habitants, catalyser l'implication citoyenne, contribuer à construire l'identité d'un lieu
Le terme « transitoire » sera préféré pour souligner la notion de transition.

Les aménagements et projets réalisés se font sur une période de transition d'un site et en vue d'un projet urbain futur. Nous pouvons ainsi parler du caractère de préfiguration porté par les projets d'urbanisme transitoire.

Les éléments clés d'un projet d'urbanisme transitoire

Un projet d'urbanisme transitoire doit révéler des besoins locaux des différents habitants, tout en permettant de préfigurer des usages et identifier les attentes de la collectivité.

S'intégrer dans une stratégie permettant des actions coordonnées entre acteurs et l'un des éléments clés de l'urbanisme transitoire. C'est un type de projets qui n'est ni figé, ni prédéfini donnant chance à des nouvelles pratiques diversifiées selon le choix des acteurs et leurs propres méthodes.

L'objectif de l'urbanisme transitoire, c'est de prendre parti des brèches qui existent dans les projets urbains et immobiliers et de transformer des lieux dans la durée. Bien que l'usage d'un site soit provisoire, ses effets doivent s'inscrire sur le long terme.

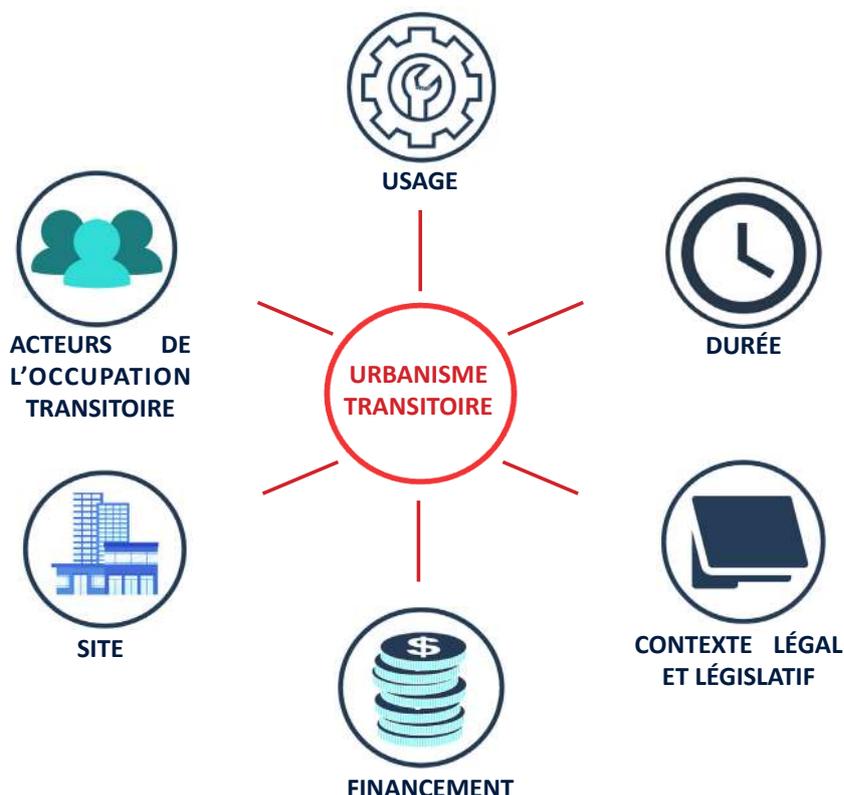


Schéma des éléments clés de l'urbanisme transitoire



Friche de la Belle de Mai, à Marseille, une ancienne usine de la Seita fermée en 1992 et voulue comme « un espace culturel »

Les acteurs de l'urbanisme transitoire

L'urbanisme transitoire tourne autour trois acteurs principaux afin de créer un échange équilibré. Ces acteurs sont ; la collectivité locale, propriétaire et occupants, souvent accompagnés par un facilitateur favorisant le dialogue entre les participants.

Chacun des acteurs a ses propres intérêts vis-à-vis d'un projet. La collectivité locale, anime un territoire et donne des champs de dialogue, de partage et de communication. Les partenaires, quant à eux ça leurs limite l'entretien du site et le valorise et l'occupant, c'est l'acteur que le projet sera réalisé pour et avec lui afin d'agir sur son cadre de vie, échanger avec des manières horizontaux et transversaux et accéder à un espace pour réaliser ses projets.

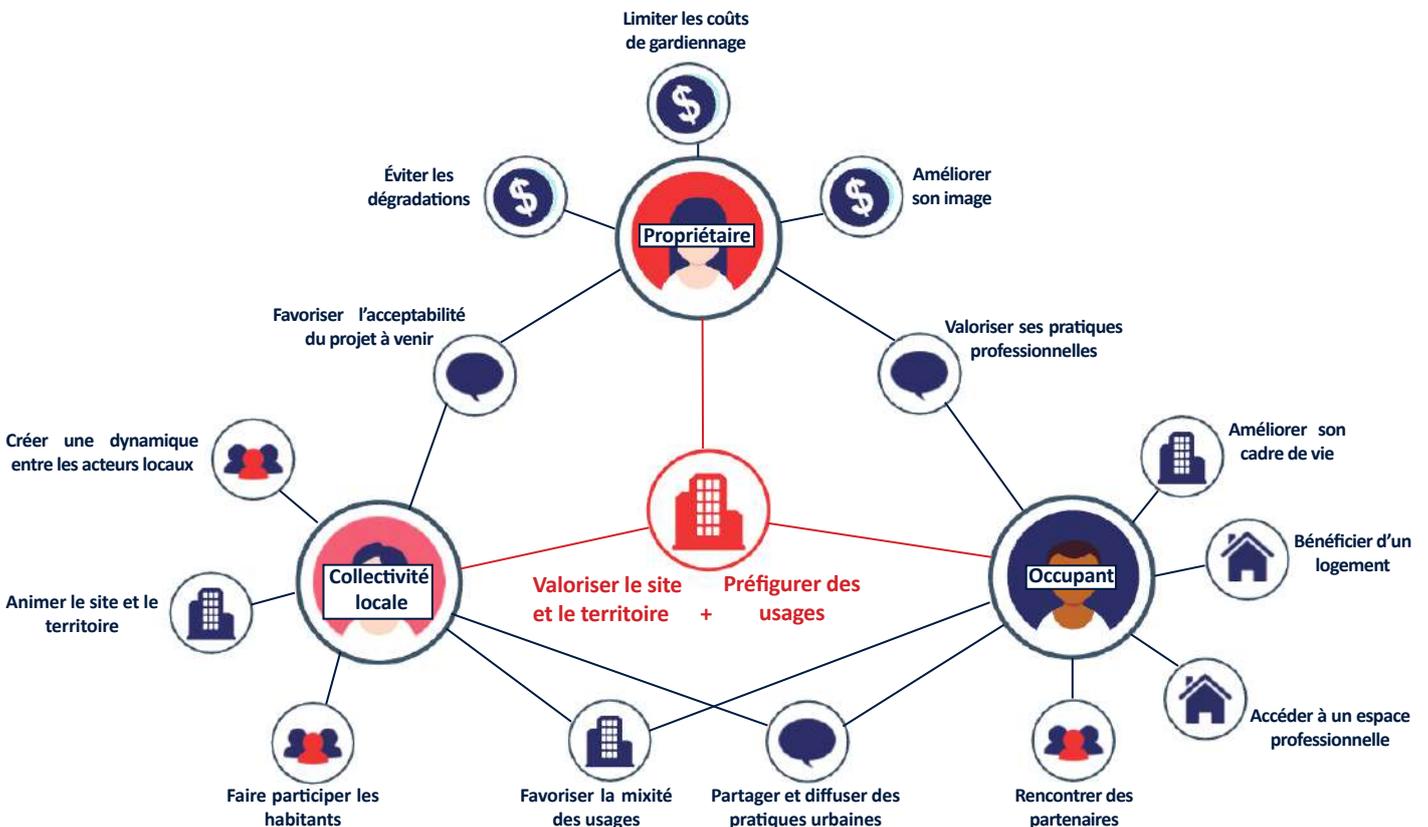


Schéma des intérêts des acteurs

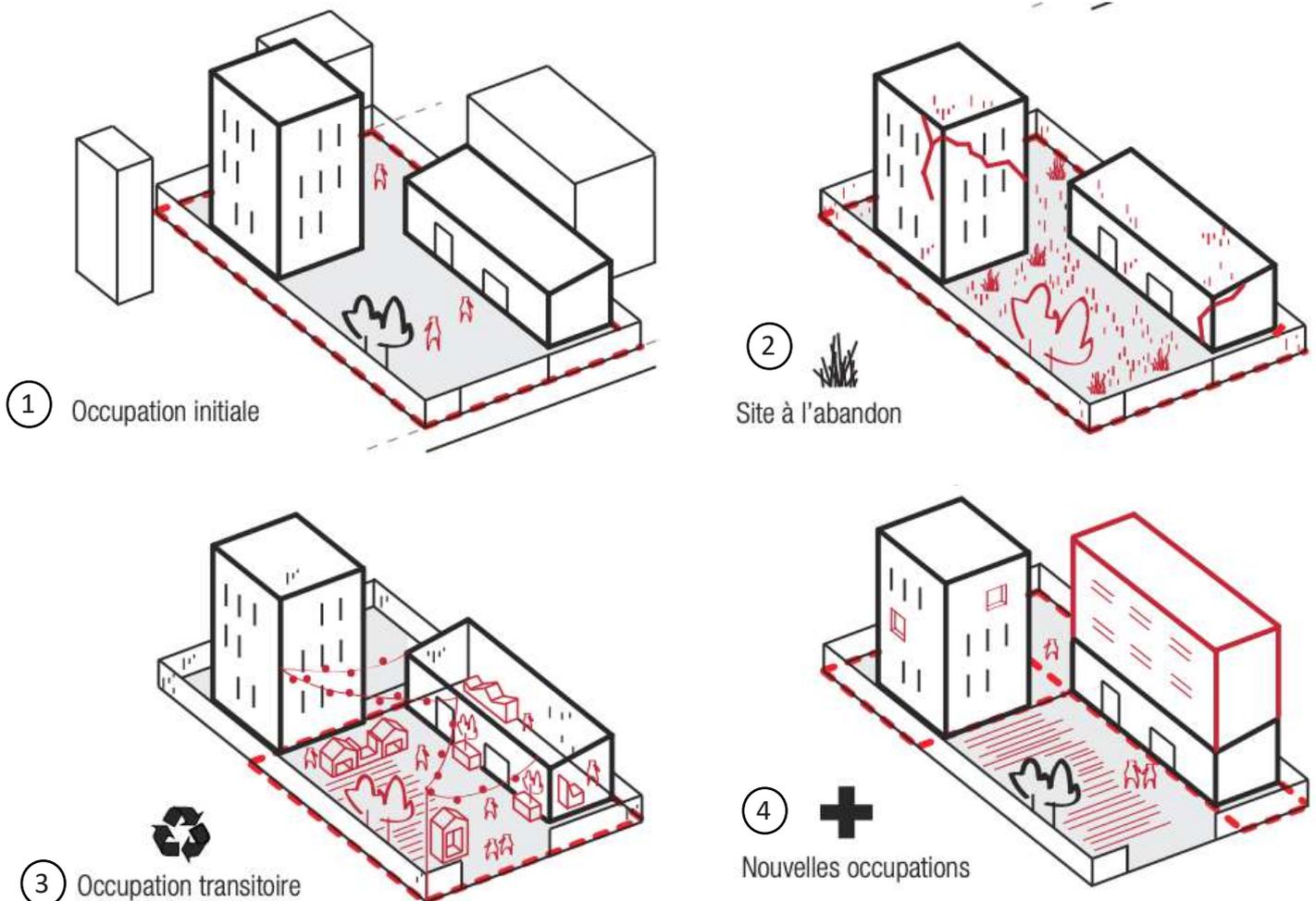
Les contextes de l'urbanisme transitoire

Pour effectuer un projet d'urbanisme transitoire, Il est important de connaître avec précision dès le début de l'occupation les composantes qui préexistent au projet transitoire.

L'identification de ce contexte permettra de préciser les modalités d'occupation (temps, usages, redevances éventuelles, charges, etc.).

Ces composantes sont les suivants :

- le contexte urbain ;
- le type d'espaces : Bâti, non-bâti, mixte ;
- la typologie du bâtiment ou du site ;
- l'état du site.



Naissance et Disparition d'une friche

Pour les occupants et usagers, il s'agit d'accéder à des sites, bâtis ou non, pour développer leurs activités, qu'elles soient économiques, artistiques, associatives, culturelles ; ou leurs projets, qu'ils soient collectifs ou l'addition d'envies individuelles.

Ces espaces temporaires offrent des avantages : loyer réduit voire gratuit, surface disponible souvent importante et flexible, souplesse et liberté d'usage. Le foisonnement des activités présentes peut faire émerger un environnement créatif, qui favorise parfois la mutualisation d'équipements, de matériel de production, de moyens humains.

La mixité des fonctions et des usagers de ces lieux peut ainsi être vecteur d'inclusion et de solidarité.

CONCLUSION

Dans le cadre de notre recherche, nous avons trouvé que les principes fondamentaux de l'urbanisme transitoire vont avec nos objectifs de projets, nous avons donc décidé de créer des ateliers de co-conception (design participatif) avec des habitants de Grenoble, dans le but de donner aux participants le sentiment d'appartenance au projet et permettre à la dimension sociale de s'inscrire dans la dynamique du développement d'un projet durable et soutenable.

"S'affranchissant le plus possible des situations discursives, ces ateliers mettent en œuvre une panoplie d'outils permettant à tous les acteurs de contribuer, selon leur regard et leurs compétences propres, à la réalisation du projet."

- Alain Findeli, Le Design Social.

Après nos recherches nous nous intéressons à répondre à la problématique suivante à travers notre projet:

Comment réutiliser un élément qui fabriquait de l'énergie électrique pendant sa première vie, pour produire de l'énergie sociale pendant sa deuxième vie.



LE POINT DE BASCULE

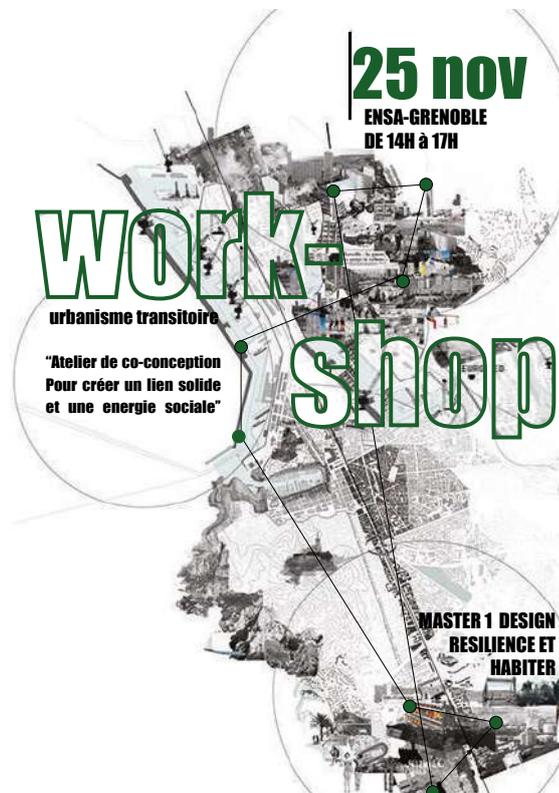
Après avoir testé l'acceptabilité d'un design construit avec des matériaux réemployés, on est passé à l'étape prochaine de notre conception.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons passé d'un point de vue conceptuel à la réalité, et nous avons décidé d'adopter la méthode de travail de l'urbanisme transitoire dans le processus. Ce qui nous a incité à commencer par enquêter sur les besoins concrets de la ville de Grenoble afin de créer notre design. Nous avons contacté des associations communautaires dans toute la ville afin d'organiser des ateliers avec les habitants.

Nous avons réussi à organiser deux ateliers distincts :

- la première avec les bénévoles de l'association AFEV, dont le but est d'inciter les jeunes à transformer des quartiers juxtaposés en quartiers connectés et favoriser la mobilité sociale.

- la seconde avec les étudiants de l'ENSAG dont les parcours architecturaux pourraient les inciter à voir les besoins de la ville sous un autre angle.



Urbanisme Transitoire :
 Un projet d'urbanisme transitoire doit révéler des besoins locaux des différents habitants, tout en permettant de préfigurer des usages et identifier les attermes de la collectivité.
 Inventer de nouveaux lieux, expérimenter des projets urbains - culturels, sociaux, économiques - valoriser l'espace en attendant une future utilisation, éviter la vacance immobilière, créer une dynamique collective impliquant les habitants, catalyser l'implication citoyenne, contribuer à construire l'identité d'un lieu.
 Le terme « transitoire » sera préféré pour souligner la notion de transition.

Dans ce workshop :
 Créer des ateliers de co-conception (design participatif) avec des habitants de Grenoble, dans le but de donner aux participants la notion d'appartenance au projet et permettre à la dimension sociale de s'inscrire dans la dynamique de développement d'un projet durable et soutenable.
 - L'affaiblissement le plus possible des situations existantes, ces ateliers mettent en œuvre une palette d'outils permettant à tous les acteurs de contribuer, selon leur regard et leurs compétences propres, à la réalisation du projet.
 Alain Foudri, Le Design Social.



Posters d'invitations aux ateliers de conception

LES ATELIERS DE CONCEPTION

Pendant les ateliers, nous avons commencé par le même exercice. Nous avons demandé aux participants de marquer leur lieu de résidence sur la carte de Grenoble, puis ils ont discuté en groupe des problématiques qu'ils constatent autour de leur propre quartier. Après avoir discuté des différentes problématiques, chaque groupe a essayé de trouver celle qui leur était la plus commune et de réfléchir à des moyens de la traiter.

Nous avons reçu beaucoup de suggestions concernant divers sujets dans l'espace urbain : problèmes d'accessibilité, de sécurité mais les plus courantes étaient deux problématiques particulières :

- Le manque de plateformes culturelles d'expression libre
- Le manque d'espaces verts



Photos des ateliers de conception et des suggestions des participants

L'EXPRESSION LIBRE

Même si Grenoble dispose de plusieurs espaces de développement culturel, les bénévoles ont pensé que ce n'était pas suffisant.

Aujourd'hui, Grenoble est une ville dont on peut dire qu'elle accueille toutes les familles de l'expression graphique :

des dessins dits "vandales", qui défigurent souvent les lieux et égratignent les yeux... jusqu'au Festival de Street -Art autorisé et reconnu.

Nous en sommes inspirés pour utiliser ce qui était autrefois les pales des éoliennes pour permettre aux habitants de s'exprimer à travers l'art et la culture, et ce que nous aimerions appeler la nouvelle forme de street art. Le street art peut se définir par la création d'œuvres d'art visuelles dans des espaces publics accessibles à tous. Ce design serait un outil, accessible à chacun pour exprimer ses émotions : colère, bonheur, stress, espoir... ainsi que pour défendre des causes et exprimer leurs opinions.

À travers ce design nous avons une préoccupation à porter en commun : celle d'une vie culturelle diverse et reliée, pour permettre à chacun-e de se vivre comme personne de culture, quelles que soient ses affinités, ses appartenances, ses contraintes.



Les formes d'expression libre dans l'aire urbain grenoblois

Créer des relations sociales étant notre objectif principal, un tel plateforme d'expression libre permettrait aux grenoblois de se lier à travers leurs émotions et les choses qu'ils ont envie de dire, ce qui peut montrer combien ils ont en commun malgré leur diversité.

UNIE

Ce projet s'appelle « Unie », son objectif initial étant de créer des liens sociaux par l'expression culturelle, et établir une communauté unie.

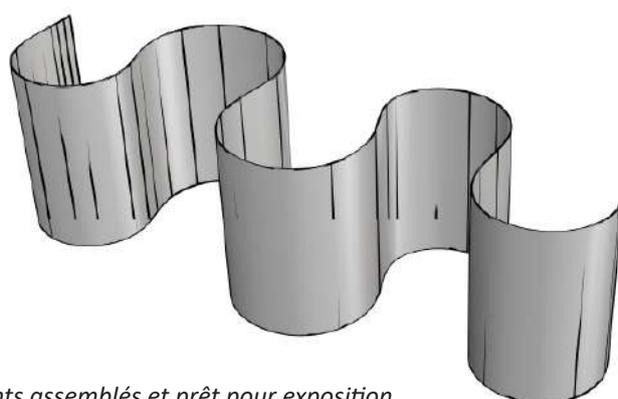
Le Design qui a été fait à partir des pales est démontable, nous avons la possibilité de désassembler plusieurs panneaux d'expression et les répartir sur les quartiers grenoblois pour permettre aux habitants de s'exprimer librement en faisant des dessin ou écrivant là dessus. Cette répartition des pales par quartier durera 1 mois, à la fin de lequel les panneaux vont se rassembler pour créer un espace d'exposition des dessin unis ensemble, afin de voir l'énergie commune que les habitants de chaque quartier ont pu créer. Il y'aura aussi des stand pour encourager les jeunes créateurs et à travers l'action...



Parties utilisées de la pale



Éléments désassemblés et leur répartition dans les quartiers



Éléments assemblés et prêt pour exposition



Vue 3D

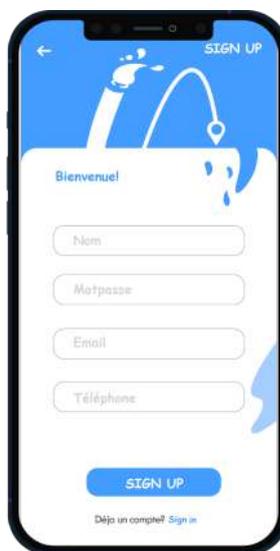
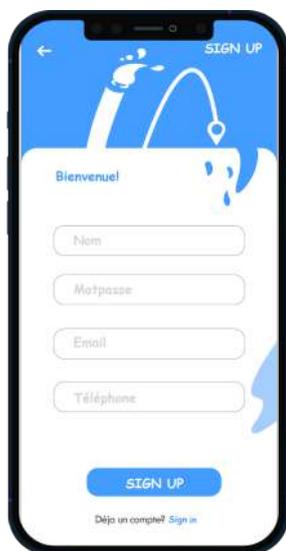
À travers l'action de la vente des multiples et divers produits exposés dans les stands nous attirons l'attention du territoire vers les sujets multiples des habitants; leurs ambitions, leurs sentiments, leurs colères exprimés spontanément dans des conditions libres .

L'objectif c'est de stimuler l'échange des croyances et créer un lien entre les différentes classes sociales afin de diminuer l'écart et mettre fin à la rupture.



Vue 3D de l'exposition

Il y aura une application mobile pour faciliter l'utilisation de ces panneaux d'expression, sur l'application on pourra trouver la position exacte des différents panneaux pour pouvoir y aller et on peut même prendre en photo ce que nous avons dessiné et le mettre sur l'application.



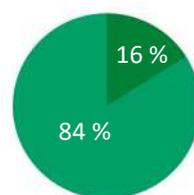
Explication du fonctionnement de l'application Unie

LES ESPACES VERTS

Le deuxième besoin discuté en majorité dans les workshops c'était le manque d'espace verts. Les espaces verts sont au cœur des relations sociales : c'est autour d'eux que la vie de quartier s'organise. Les bénéfices d'ordre esthétique, psychologique et social arrivent en tête, avant les usages sportifs ou familiaux. Les parcs et jardins ouvrent une fenêtre sur la nature au milieu de la ville permettant de profiter d'un « cadre agréable » pour créer des liens avec les autres. Les espaces verts semblent donc répondre à un besoin de respiration et d'évasion, plus qu'à une exigence fonctionnelle. Les participants des ateliers conceptuels souhaitaient améliorer leur bien-être et leur cadre de vie avec les espaces verts, et tout en ne les réduisant pas à des infrastructures monofonctionnelles.



 Espaces Grises
 Espaces Verts



Ses 1 000 hectares de parcs et jardins couvrent **16 %** de la surface de la ville



14,6 m² d'espaces verts/habitant à Grenoble contre **31 m²** pour la moyenne des

Les Français sont 8 sur 10 (78 %) à déclarer qu'accorder plus d'importance aux espaces verts en ville doit être une priorité. (étude Ville en vert, ville en vie - IFOP pour l'Unep, 2016).

Comparaison entre espaces grises et espaces verts à Grenoble



Parcs et jardins à Grenoble



URBAN JUNGLE

Pour répondre à ce besoin on a décidé d'utiliser les pales pour créer notre propre version de jardins partagés. Ces jardins ont non seulement pour objectif de produire des fruits et légumes, embellir la ville, mais sont surtout des lieux de rencontres pour les habitants des quartiers parfois défavorisés. Les jardins partagés s'associent de plus en plus à la création de poulaillers urbains, de ruchers ou encore de plateforme collective de compostage.

Ils mettent à disposition une parcelle en attendant un lancement d'un autre projet, immobilier par exemple. Une fois que le temps s'est écoulé, le jardin peut disparaître au profit d'une autre construction. Cela peut paraître frustrant, mais c'est un bon moyen pour ne pas laisser des parcelles en friche se dégrader ou se faire occuper de manière anarchique.

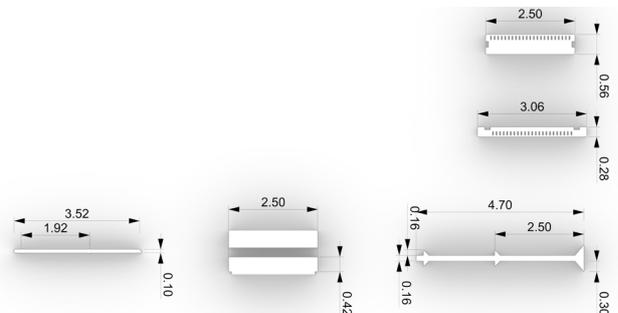
Pour représenter le projet, on a choisi comme emplacement le terrain vide derrière la Premalliance à Échirolles. Ce quartier est l'exemple parfait pour présenter un tel projet, vu que cet emplacement se trouve à proximité des écoles, un centre commercial, des entreprises et des bureaux, des résidences d'étudiants, l'école d'architecture, l'école d'urbanisme ainsi que les bâtiments résidentiels.



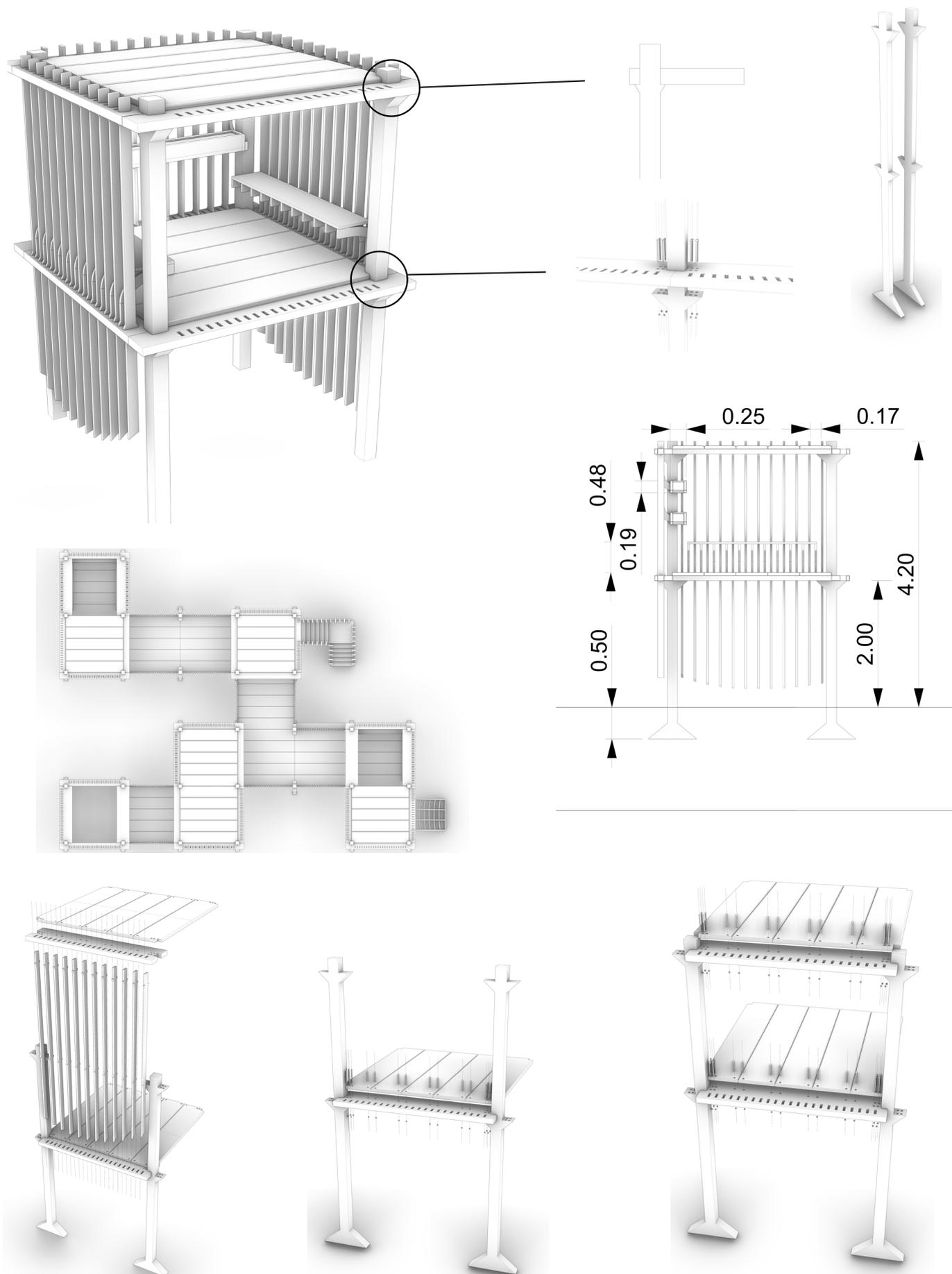
Plan du Terrain

Pour construire la forme à partir de la pale, on a divisé la pale en trois tiers: celui du bas d'une épaisseur de 8 cm utilisé pour les pilotis et les poutres, le moyen d'une épaisseur de 5 cm utilisé pour couper les planches de sols et de plafonds et celui du haut d'une épaisseur de 3 cm utilisé pour les garde corps.

Le schéma montre la division des pièces à partir de la forme initiale de la pale.

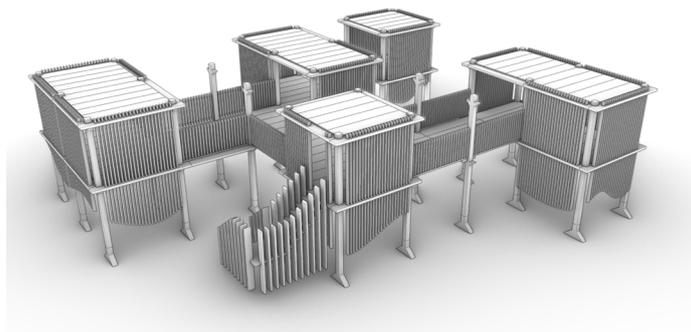
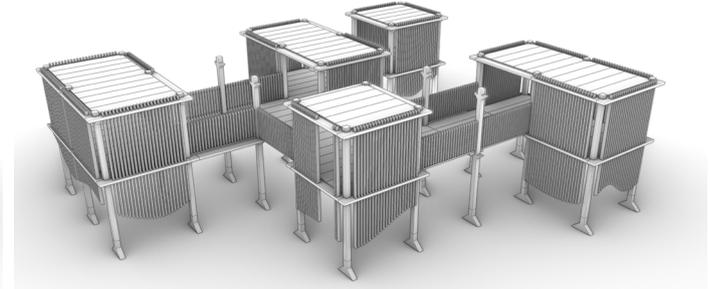
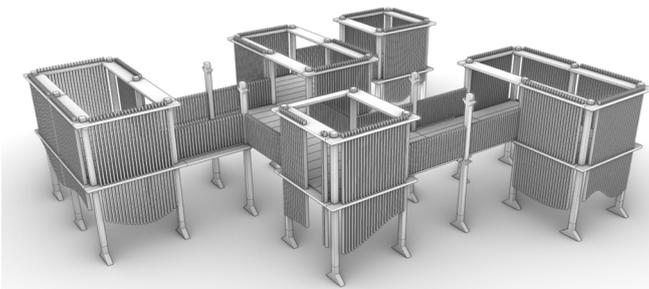
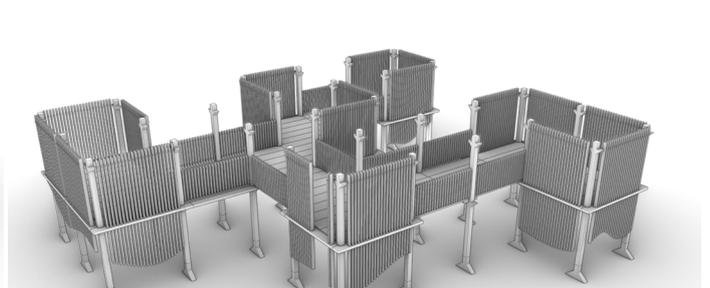
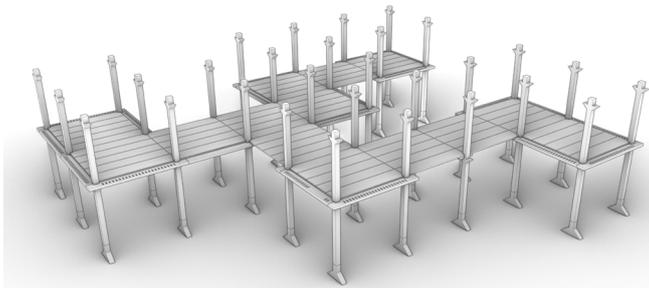
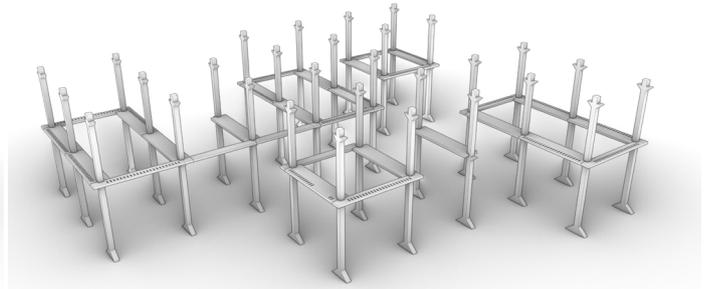


La forme se consitue d'un module principale en forme cartésienne qui se répète pour créer la structure totale. L'avantage d'un tel forme c'est que le projet est facile à monter, à démonter et à déplacer. Le deuxième avantage étant son adaptabilité à tout terrain et toute surface.

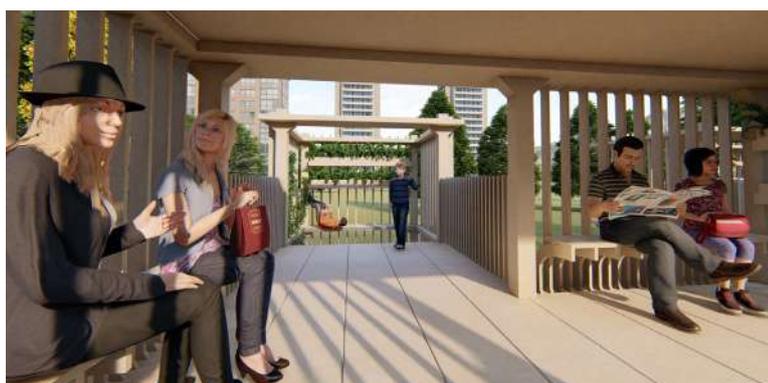


Détails techniques

Le schéma dessous explique les étapes de montage de la volumetrie en tout.



Le niveau 0 sera l'espace dédié aux activités de jardinage et de compost, Alors que le niveau 1 servira comme espace sociale de rencontre et d'échanges. Un tel projet créera un esprit dynamique au sein du quartier tout en ajoutant aussi l'esprit écologique.



Vues 3D

Cet version de plateforme écologique d'échange ajoute l'élément vert à un espace gris, et l'avantage du matériel utilisé c'est que la pale ne demande pas de maintenance, et elle est aussi légère que résistante.

On incitera le renouvellement de la biodiversité induit par un écosystème accueillant et naturel.

Cet espace est accessible à tous, c'est un besoin transgénérationnelle, et la diversité des fonctions ainsi que la forme attirera les gens de différents intérêts. Ça sera possible aux habitants d'organiser des ateliers de jardinage, des événements autour des sujets écologiques comme le Festival de film Nature et Environnement ...

RESSOURCES

BIBLIOGRAPHIE

SITOGRAPHIE

<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne>

<http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/analyse-de-cycle-de-vie-de-leolien/>

https://www.youtube.com/watch?v=5Cs_U8DncMU

<https://www.youtube.com/watch?v=Vf9EbpzDvoY>

<https://www.euronews.com/2021/06/25/recycling-turbine-blades-the-achilles-heel-of-wind-power-and-the-controversy-engulfing-ren>

http://www.cndp.fr/crdp-reims/fileadmin/documents/crdp/catalogue/energie_eolienne.pdf

<http://www.frederic-fredout-design.com/design-et-territoire.html?fbclid=IwAR0SjWw2m4xCDF-XUu9AkH8cwJ9vB-jQRqsmreV62mruqSH6BgGAMX9EF-XY>

<https://www.bbc.com/news/business-51325101>

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-07-20/wind-turbine-blades-get-re-spun-as-auto-parts-sports-gear-bnef>

<https://www.youtube.com/watch?v=KyRp6aOQ1fg>

<https://www.upcylea.com/cradle-to-cradle/>

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-eolienne>

https://manuelnumeriquemax.belin.education/enseignement_scientifique-terminale/topics/es-tle-c08-174-a_l-energie-eolienne-questions-enjeux-debats

<https://fne.asso.fr/dossiers/l%C3%A9olien-terrestre-enjeux-et-impacts>

<https://www.ecologie.gouv.fr/accelerer-developpement-leolien-en-france-enjeu-cle-du-plan-climat>

<https://www.iberdrola.com/sustainability/wind-turbines-blades>

<https://www.melchior.fr/synthese/les-problemes-sociaux-de-l-ur->

[banisation-l-urbanisation-un-processus-createur-d-inegalites](#)

https://www.eure-et-loir.gouv.fr/content/download/29912/191566/file/1_pdfsam_Partie1-1.pdf

<https://blocnotes.iergo.fr/breve/motsetphrases/acceptabilite/>

<https://books.openedition.org/enseditions/5649?lang=en>

<http://www.espace-ressources.org/wp-content/uploads/2015/07/Batellier-2015-Acceptabilite-sociale.pdf>

https://www.ifdd.francophonie.org/wp-content/uploads/2019/12/725_MOOC_DD_2018.pdf

http://www.educapoles.org/assets/uploads/teaching_dossiers_files/dp_cze_05_fr.pdf

http://www.eduki.ch/fr/doc/dossier_2_dd

<https://www.bouygues-construction.com/blog/fr/aventures-humaines/urbanisme-transitoire-transforme-ville/>

https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1601/cp9_web.pdf

https://www.anru.fr/sites/default/files/media/downloads/carnet-innovation_urbanisme-transitoire_juin2021_0.pdf

LE RECYCLAGE DES PALES D'ÉOLIENNE

Projet en partenariat avec GEG

DESIGN & TERRITOIRES / LOCAL & GLOBAL
BC 1.1 - 2021 - 2022



LA CASEMATE

