



Pizza Funghi

13.05.2020

— **Une sacrée cuisine, venez en goûter la raison.**

Sofia, Bryan, Flavio, Florian, Kenzo, Pietro, Rémi, Vincent

ENAC - SKIL Project

Semestre 6

EPFL Lausanne

Vue d'ensemble

Partis d'une volonté de construire avec des matériaux durables, renouvelables et sans aucune empreinte carbone, la terre crue et plus tard le mycélium sont apparus comme de parfaits candidats. Afin de démontrer les potentiels d'association de ces deux matériaux, le travail se déroule autour du prétexte du four à pizza. Ce projet a pour but de tester, au fur et à mesure, la mise en oeuvre ainsi que les performances de ces composants, tout en gardant un esprit ludique et la promesse d'une savoureuse récompense.

Objectifs

1. Travailler la terre crue comme le matériau local et durable ultime.
2. Travailler le mycélium tel un atout offrant de propriétés incroyables.
3. Tester par l'expérimentation de processus ainsi que par le projet final, de nouvelles méthodes et applications concernant ces matériaux de demain.
4. Démontrer qu'il est possible de réduire l'énergie grise ainsi que l'énergie d'exploitation dans la construction par l'intégration de ces méthodes.
5. Développer un projet sympathique tout en priorisant l'esprit technique et novateur.
6. Déguster le résultat de notre cuisine lors de la soirée de clôture du cours ENAC-SKIL et célébration de fin d'année. (et bachelor)
7. S'adapter et reconduire le projet selon les conditions de travail à domicile.

Caractéristiques

Collaboration entre deux groupes sur deux aspects tant distincts que complémentaires pour un projet unique.

Grandes étapes

- I. Définir le but
Valeurs, particularités, cohérence/pertinence SKIL
- II. Définir les moyens
méthodes, organisation, tenue des données , financement , lieux , connaissances,...
- III. Définir les caractères spéciaux du projet, défis.
éviter les dérives, rester fidèle aux principes
- IV. Définir la forme, les dimensions, la composition selon les espérances
selon plusieurs conditions, données, paramètres, méthodes, traditions, géométries, fonctions, performances souhaitées
- V. Définir les points critique en réalisant des calculs et expériences
production DIY, moules, assemblage, connexions, étanchéité, résistance thm, durabilité, empreinte carbone, comparaison ACV avec prod four traditionnel
- VI. Adapter et optimiser selon les résultats des expériences.
ventilation, régularisation, contrôle
- VII. Définir un version finale et un plan d'action, manuel de montage
étapes d'assemblage, fixations, réalisation, fournisseurs
- VIII. Bilan de l'expérience générale

I - But, valeurs et cohérence SKIL:

Dans le cadre de ce projet au sein de l'atelier SKIL nous nous sommes demandé comment intégrer plusieurs notions:

- Premièrement, la liberté qu'offre le cadre de travail. sans pour autant quitter le cadre académique c'est une notion à prendre comme un atout.
- Deuxièmement, le côté interdisciplinaire. En effet, C'est une chance de pouvoir travailler en coopérations avec des étudiants d'une discipline parallèle mais complémentaire dans la faculté ENAC (Environnement Naturel, Architectural et Construit).
- Troisièmement, la recherche vers un développement scientifique, social, technique et créatif. Car le nom l'indique, nous somme au SKIL (Laboratoire de créations innovantes d'étudiants.)

Bien entendu nous pourrions autant faire un château de carte comme une rampe de lancement pour une fusée mais nous devons garder en tête temps à disposition et les attentes du cours pour adapter la nature du projet au cadre offert. Par ici, nous comprenons le lieu, l'équipement et l'encadrement proposés et avec lesquels interagir. Par la suite ces valeurs ont été bousculées par un gros rhume...



SKIL
Student Creativity and Innovation Laboratory



III - Définir les caractères spéciaux et défi du projet :

“éviter les dérives, rester fidèle aux principes”

En effet nous travaillons sur la réalisation d'un four à pizza, mais il ne faut pas voir cela comme une finalité en soi ou comme la vraie nature du projet.

Bien entendu, nous sommes tous impatient de savoir si le four sera opérationnel, si nous allons pouvoir sortir la rondelle pour partager cette bonne pâte croustillante sur laquelle bouillonnent tomate et mozzarella, le tout recouvert de succulents champignons. Pourtant, il est crucial de comprendre que cela n'est qu'un prétexte pour la mise en oeuvre de notre vraie pensée projectuelle qui demande d'être suffisamment comprise.

Comme exprimé lors de la “vue d'ensemble” au début de cette présentation, l'aspect environnemental, architectural et construit sont au centre de notre préoccupation. Naturellement, nous aimons le bricolage et les soirées bière-pizza mais nous sommes avant tout ici pour développer notre créativité de manière innovante et une innovation de manière créative.

Le fondement de notre démarche est de faire de la recherche sur deux matériaux bio-sourcés, et, si possible, d'améliorer leurs interactions afin de proposer de nouvelles applications dans l'environnement naturel et construit.

La part environnementale du domaine du construit est affligeante, en voici l'explication:

Selon la partie environnementale du cours architectural de technologie du bâtiment reçu le semestre précédent, le domaine de la construction (secteur du bâtiment) consomme jusqu'à 40% de toute l'énergie mondiale et produit jusqu'à 30% des émissions annuelles mondiales de gaz à effet de serre.

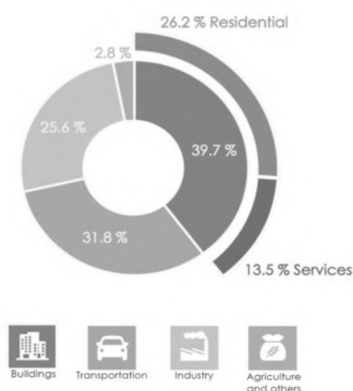
Le problème est au niveau de la gestion de l'énergie liée au type de matériaux et leur application. Il y a principalement deux types d'énergie en cause.

- L'énergie grise : nécessaire pour l'exécution de la construction.
- L'énergie opérationnelle: nécessaire pour exploiter les bâtiments (chauffage, refroidissement, ventilation, éclairage, appareils)

Voyons alors ensemble en quoi le projet commence à devenir intéressant face à cela !

L'environnement, un défi crucial pour la construction au 21ème.s

Pourquoi construisons nous aujourd'hui principalement en Béton ? - Depuis combien de temps? - Pourquoi ? - Est-ce bien ? - Y'a t-il des alternatives ? - Et le pisé dans tout ca ?



Oui, vous avez bien vu, et non, vous ne rêvez pas.

- 40% de consommation mondiale d'énergie
- 30% des émissions annuelles de CO2

Il va de soi que ces chiffres sont choquants.

Voyons ensemble comment nous en sommes arrivé là et ce que nous pouvons faire pour remédier à ce désastre dans le domaine de la construction.

Pendant des siècles, l'être humain a construit en utilisant les ressources locales. La construction suivait une culture vernaculaire du lieu et restait parfaitement évidente et logique. Toute l'histoire de l'architecture ancienne repose sur cette réalité et nous avons à faire à une architecture qui ne nécessitait pas d'architectes. N'étant que peu transformées, ces ressources peuvent ensuite retourner au sol sans le polluer.



Effectivement, il n'y a pas partout les mêmes ressources. Mais nous remarquons la cohérence au lieu, l'aspect culturel, voir traditionnel du vernaculaire.

Aujourd'hui, le béton est omniprésent dans l'infrastructure et l'architecture. Ce n'est un secret pour personne, il est le symbole de l'urbanité, de la modernité, de la civilisation, de la culture et de la fierté humaine à l'égard de la technologie, aux côtés de l'efficacité, de l'industrie et du progrès. En effet, il présente plusieurs avantages indéniables.

Le Béton serait dans les grandes lignes :

- "Solide"
- "Abondant"
- "Fiable"
- Extrêmement polyvalent
- Financièrement économique
- Facile à mettre en oeuvre

Par contre le Béton est aussi :

- Polluant à la mise en oeuvre
- Pas si abondant que prétendu
- Vieilli mal
- Souvent mal estimé > gaspillage
- Possède de gros problèmes de recyclage
- Succès purement marketing



Cela à l'air tout bête quand on voit sa composition. Effectivement, pour atteindre ce mélange, il faut mélanger quatre ingrédients : du gravier, du sable, du ciment et de l'eau.

Nous avons alors de la peine à imaginer comment cela pourrait être si néfaste.

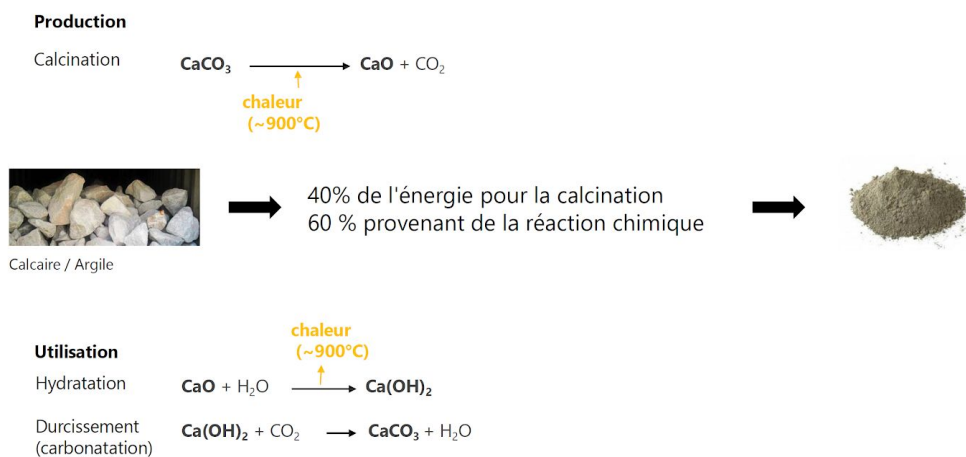
Pour le gravier, jusque là, tout vas bien, mais il faut garder en tête que cette roche doit être extraite d'une carrière, brisée en granulats, tamisée pour une certaine régularité, puis transporté. Ensuite venons en au sable, là ça se complique déjà... :



Les principaux désavantages du sable:

- Le sable du désert n'est pas utilisable car il est érodé par le frottement du vent
- Il y a une pénurie du sable utilisé dans la construction et cela provoque des conflits
- Actuellement le sable est collecté en abimant des cours d'eau (barre des rivières) ou des fonds marins (coraux)

Le ciment, une affaire pas si blanche que ça !



Ce que nous remarquons, c'est que pour produire du ciment nous devons effectuer une réaction chimique. Cette réaction a le défaut de se produire uniquement à haute température. Mais en plus d'en demander, elle produit une forte chaleur pendant la phase de durcissement ce qui requiert un certain refroidissement effectué avec de l'eau. Cela constitue une grande perte d'énergie non récupérée en plus du gaspillage d'eau qui est souvent potable (en Suisse).

Certains diront, en observant la formule, que la réaction est nette en CO₂. En effet, on remarque que le CO₂ libéré lors de la calcination en phase de production est à nouveau absorbé lors de la carbonatation en phase d'utilisation. Mais ce raisonnement est totalement aveugle envers le CO₂ libéré lors de la combustion d'énergie pour atteindre les 900° afin que la réaction s'opère. Le bilan n'est alors PAS DU TOUT net en CO₂ comme certains le prétendent.



Cement production in Eclepens

On estime que la production de béton contribue jusqu'à 8% des émissions mondiales de CO₂.

Ce succès a certainement été favorisé par les qualités incontestables du matériau, en particulier sa plasticité et sa résistance. Ce fait physique s'est immédiatement traduit par une image littéraire, l'idée de la "pierre artificielle".



Omniprésence et omnipotence:

Les données numériques sont si claires qu'il est difficile de les remettre en question, et elles sonnent comme une sorte de légitimation implicite des qualités du matériau :




- Le Béton est plus utilisé que tout autre matériau artificiel au monde; de plus, le béton est la deuxième substance la plus consommée dans le monde, derrière l'eau (entre 1,5 et 2,5 milliards de tonnes de ciment fabriquées chaque année) .
- La fabrication du béton représente jusqu'à 10% de toutes les émissions mondiales de CO2.
- La demande de ciment devrait presque doubler d'ici 2040.

Pourtant, la production de bâtiments produit des déchets. On a, en règle générale, plutôt tendance à éviter le sujet ou à lui donner fin de manière abrupte et incomplète.

Il s'agirait d'un phénomène nouveau en soi: les Bâtiments contemporains, lorsqu'ils sont démolis, intentionnellement ou non, produisent des déchets difficiles à éliminer.

Traditionnellement, les matériaux de construction n'ont jamais posé de problèmes d'élimination.



- 
- °La démolition des Bâtiments, routes et ponts produisent une grande quantités de gravats.
 - °Avec les matériaux d'excavation, les gravat représentent de loin la plus grande source de déchets en Suisse : plus de 15 millions de tonnes par année.
 - °Au Royaume-Uni, un quart des déchets proviennent de la construction (109 mio de tonnes).
 - °Chaque année aux Etats-Unis, 270'000 maisons et 44'000 bâtiments sont démolis ; moins de 30% des débris sont recyclés. La démolition représente 90% des déchets de construction et démolition C&D aux Etats-Unis. (534 millions de tonnes en 2014).
 - °Jusqu'à 15% des matériaux livrés sur un chantier ne sont pas utilisés.
 - °L'agence de l'environnement du Royaume-Uni intervient chaque année à la suite d'environ 350 incidents de pollution graves causés par la construction.
 - °Les bâtiments sont responsables de 39% des émissions de CO2 aux Etats-Unis.

Nous l'aurons compris, il y a quelque chose à faire, et vite !

Nous pouvons sans hésiter se poser les questions suivantes :

- Quels sont les défis de la conception du béton aujourd'hui ?
- Quel est le rôle de l'architecte par rapport à ce matériau ?
- Que faisons-nous lorsque nous utilisons du béton ?

Selon le laboratoire de matériaux de l'EPFL il n'y aurait pas d'alternative performante au béton.

"Il n'y en a pas qui offre les mêmes possibilités. Le béton est le plus efficace et c'est devenu un matériau de base incontournable. Avec des institutions telles que l'EMPA, l'EPFZ et l'EPFL, la Suisse figure parmi les leaders de la recherche sur ce matériau, et elle peut jouer un rôle international.

Au sein du Laboratoire des matériaux de construction, nous collaborons avec des partenaires en Asie et en Amérique latine, là où la demande explose. Il reste encore beaucoup de recherches à mener pour faire du béton un matériau encore plus écologique, et encore plus performant qu'il ne l'est déjà."

Pourtant, une multitude d'opportunités se présentent :

granulats légers



matériaux cimentaires supplémentaires

déchet industriel valorisé ou de matériaux naturels alternatifs



cendres volantes de combustion du charbon

métakaolin (argile calcinée)

micro-silice (fumée de silice)

Défis techniques

Durabilité : consommation de ressources, émissions, déchets, recyclage
 Longévité : corrosion, attaques chimiques, abrasion, etc.
 Réparation : plus de durée de vie pour le béton existant dans notre environnement bâti
 Performance : procédés thermiques, structurels, de construction

C'est là que le pisé revient en force !

En effet, il permettrait de :

remplacer tout cela en minimisant le transport en utilisant des ressources gratuites sous nos pieds, recyclage du verre pilé pour sa silice et l'argile comme liant, la terre arable (le humus) peut être gardée pour un usage alimentaire.

Le "Pisé, la terre comprimée "BTC"

Il s'agit d'une technique ancestrale permettant de se loger.

- il est extrêmement performant selon le soin apporté lors de la mise en oeuvre
- il a permis de construire sur plusieurs étages lors notamment la cité d'atlantis et des constructions plus récentes, en tant que porteur principale ou en complément pour le remplissage.
- il permet d'éviter un double transport, évacuation de l'excavation et acheminement d'une autre ressource. (maybe vers la fin)
- il est un matériau respirant, évite la rétention d'eau et de ce fait les moisissures.
- il est antibactérien
- il demande peu de connaissances pour être mis en oeuvre
- il se trouve presque dans toutes les régions du monde
- il possède une excellente inertie thermique, permet des gains de chauffage et de ventilation.
- il est parfaitement biosourcé, ne nécessite pas de co2 additionnel, ni pour son extraction, ni pour sa mise en oeuvre.
- sa composition peut être adaptée en fonction des besoins de la variation des ressources locales ainsi que les performances attendues.
- il peut être recyclé à 100% pour un nouvel usage, sans causer, ni de pollution de sols, ni entreposage compliqué ruinant des surfaces, et évite du transport a nouveau

Mycélium: un terme souvent entendu mais rarement expliqué.

COMMENT LE MYCÉLIUM MARCHE ?



Un mystère entoure le champignon, en raison de la capacité des champignons à simplement améliorer une salade, à provoquer un trip psychédélique, ou même à causer la mort des imprudents.

Mais il n'y a aucune raison d'être perturbé par la nature complexe de cet organisme. Comprendre l'anatomie du champignon et la façon dont les champignons fonctionnent dans la nature permet de lever le mystère et d'en faire un émerveillement.

Eh bien, le mycélium est la partie végétative du champignon, la partie de son anatomie qui réalise la reproduction asexuée du champignon. Il a aussi une action de microfiltration, qui absorbe les nutriments en servant de filtre organique pour la terre et l'eau dans l'environnement.

La manière la plus basique de comprendre son anatomie est d'identifier le mycélium comme les racines de la plante et le champignon proprement dit comme les fleurs et les fruits.

La façon dont le mycélium absorbe les nutriments de son environnement est un processus en deux étapes. Il sécrète d'abord une enzyme dans sa source alimentaire. Alors que les aliments sont décomposés en parties plus petites, plus simples, ils sont alors absorbés par le mycélium.

À travers ce processus, le champignon joue un rôle vital de régénération du sol grâce à la décomposition des matières organiques.

Le pouvoir du système de filtration du mycélium est suffisamment fort pour éliminer les polluants du sol. Voilà pourquoi les champignons sont utilisés pour des projets environnementaux d'éco-réparation et de bioremédiation. Ils sont aussi bénéfiques pour la terre en décomposant la biomasse comme le bois pourrissant en compost, ce qui apporte des nutriments pouvant être utilisés par les plantes.

Parmi les applications environnementales à grande échelle du mycélium, on peut citer :

- Nettoyage des marées noires et absorption des radiations
- Filtrage des contaminants dans les sources d'eau
- Source d'antibiotiques
- Aide à la reforestation
- Amélioration du rendement des cultures
- Potentielle source de carburant
- Substitut d'objet oléo-sourcés (Péto-plastique et granulats expansés)
- Isolant dans le domaine de la construction, plus particulièrement le bâtiment.

Vernalisation et *stratification* sont deux notions différentes, bien que souvent confondues, la vernalisation est le phénomène biologique qui permet l'induction florale, alors que la stratification est un procédé technique permettant de lever la *dormance*, elle permet d'imiter artificiellement les conditions hivernales pour démarrer la *germination*.

Et l'écologie dans tout ça ? A quoi devons nous faire attention pour repenser le bâtiment.

Si nous nous basons sur les deux précédents chapitres, nous pouvons dire qu'il y a beaucoup de problèmes provoqués par les modes de construction actuels et aussi beaucoup de solutions potentielles avec des matériaux plus renouvelables.



Le prix le plus bas

Le prix plus bas (*best price*) reste donc la forme la plus répandue d'achat de matériaux et de composants de construction.

L'application du principe de la meilleure valeur (*value for money*), qui prend en compte d'autres facteurs que le seul prix, est complexe : c'est acceptable lorsqu'il s'agit d'économies développées, où ils existent des mécanismes consolidés de vérification des normes qualitatives, plus problématique en autres contextes.

(Le coût est le montant d'argent dépensé dans la production d'un produit ; le prix est le montant payé par l'acheteur au vendeur en échange de tout produit ou service. La valeur est l'utilité de tout produit pour un client.)

IV - Définir la composition, la forme, les dimensions selon les espérances:

Entrons dans le vif du projet !

Étant parti d'une volonté de créer des briques en terre crue afin d'apporter un remède à l'usage compulsif et inconscient du béton. Par là, nous entendons l'usage excessif du sable étant la composante principale de cette pierre synthétique et le ciment étant un composé trop nuisible pour être utilisé de la sorte. Le bilan en eau grise est lui aussi loin d'être optimal.


En passant par l'usage de ce procédé ancestral mais parfois oublié (BTC), nous avons compris que ce mode de construction présentait des défauts. Principalement le temps de mise en oeuvre mais aussi l'érosion par l'eau. Les recettes sont plutôt variées et trop peu de recherches ont été faites de ce côté pour affirmer aujourd'hui qu'on connaisse suffisamment cette matière pour l'utiliser de manière optimale.

Les briques de BTC peuvent à la fois servir comme composantes porteurs, mais aussi comme isolation ou encore comme tuiles. Le soucis est à nouveau l'eau qui devient une faiblesse majeure à moins de cuire la brique pour la transformer en céramique. Ce sont alors des milliers de joules qui s'échappent dans la nature alors qu'une nouvelle perspective de vision pourrait se trouver à l'aide d'autres matériaux. C'est à ce moment que le mycélium entre en action.

Il prend place dans ce projet avec une volonté de l'incorporer d'une manière ou d'une autre avec le pisé. Nous nous sommes rapidement rendu compte du potentiel complémentaire de ces deux composantes. L'une plus rigide mais fragile, l'autre légère robuste et surtout hydrophobe.

La recherche de collaboration ayant commencé, la question de l'application formelle dans la construction était encore à définir. De surcroît, nous ne possédons aujourd'hui que de peu d'informations scientifiques sur le sujet. C'est comme ça que nous avons réalisé qu'il nous était nécessaire de tester nos hypothèses. Y-a-t'il une réelle synergie possible entre ces deux matériaux ? et si oui, comment ?

L'idée de faire des pavés bi-fonctions aurait causé des soucis de ponts froids mais la question était surtout comment tester et avant tout par quelle construction. C'est à ce



moment qu'est venue, comme une clé pour sa voûte, l'idée du four à bois, alliant pisé et mycélium, qui sera très vite intitulé "Pizza Funghi".

Une première épaisseur en pisé assurant la statique principale, la fonction d'accumulation des efforts et de la température. Et de manière complémentaire, une seconde épaisseur en mycélium qui est isolante thermiquement et hydrophobe en mycélium pour garantir une longévité, une protection et une amélioration de la fonction principale.

Plus concrètement, un four à bois se fabrique généralement avec des briques parallélépipédiques. Malheureusement, l'emploi de cette géométrie nécessite un travail individuel sur chaque pièce de la construction et de manière croissante plus nous nous rapprochons du centre. De plus, une quantité de mortier considérable est nécessaire. En bref, ce type de géométrie ne correspondait pas à l'équipe et au projet que nous menons. Par la suite, nous est venu l'alternative du four eau russe, qui lui se présente comme un demi cylindre, comparable à une voûte particulièrement profonde. Celui-ci permet d'utiliser la même pièce sans avoir à réduire sa taille et ses angles. Seul le mortier permet d'adapter l'assise à la courbe géométrique en question. Ainsi, ce modèle ne nous est pas apparu comme approprié pour les flux d'air correspondant à l'usage souhaité. Finalement, nous nous sommes demandés s'il y avait une géométrie qui savait répondre à nos besoins.

- Pièces idéalement identiques ou faible catalogue
- Géométrie hémisphérique ou s'en rapprochant
- Indépendant d'un quelconque mortier pour combler les vides entre brique

Après quelques recherches, nous sommes tombés sur la forme géodésique. En la revisitant un peu, nous avons trouvé notre alliée qui répondait à nos besoins.

En partant sur des bases plutôt optimistes et, un peu, naïves, nous sommes alors passés par une phase de remise en question. Est-ce que cela va vraiment fonctionner ? Quels sont les points les plus fiables ? Lesquels le sont moins ? Où se trouvent les doutes ? Comment vérifier cela ? et surtout, comment anticiper les problèmes en donnant une dimension crédible à notre projet ?

V - Définir les points critique en réalisant des calculs et expérience:

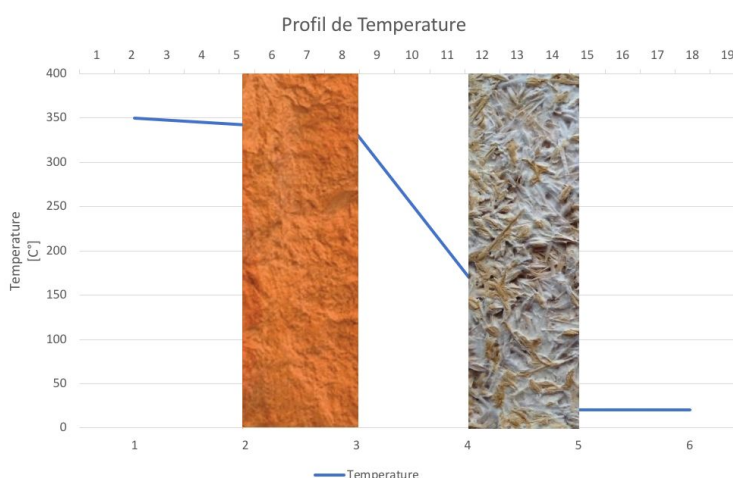
Calculs de chaleur

Afin d'être certains d'atteindre l'objectif de cuisson et de mieux adresser les expériences sur le mycélium ainsi que de comprendre les limites de notre système, nous nous sommes imposé de tracer analytiquement le profil de température le long d'une section horizontale.

Ceci s'est réalisé sur le logiciel Microsoft Excel qui a permis de paramétrer les calculs. Le fichier est disponible en annexe.

En fixant la température intérieure, extérieure et en prenant les différents coefficients de conductivité thermique des matériaux, nous avons pu calculer les flux de chaleur qui se produisent entre les deux couches et au delà. Grâce à cela nous avons trouvé les températures maximales auxquelles le mycélium sera exposé, confirmer les propriétés isolantes de ce matériau, et dimensionner un espace d'air approprié entre pisé et mycélium afin d'obtenir une température extérieure qui n'est pas dangereuse au contact.

Le tableau Excel permet de changer ces paramètres et de confirmer les actuels coefficients des matériaux par ceux qui peuvent nous être éventuellement transmis par les fournisseurs des différents matériaux ou que les expériences permettent de définir. Ci-dessous le profil:



Différentes conclusions ont pu être tirées de cette étude.

Premièrement, avec une température minimale de cuisson pour pizza (350°C°) et avec une lame d'air de 5 mm entre les deux couches, la température extérieure du mycélium est 20°C. Le simple fait de savoir que la température extérieure du four est "safe", nous a apaisé.

Par la suite, l'épaisseur de 5mm à été adoptée pour le dimensionnement du four, duquel ont découlé:

- le dessin final
- les calculs de prix des matériaux
- les différentes maquettes que nous avons effectuée.

De plus, nous avons trouvé que la température intérieure du mycélium est de 170°C avec les mêmes paramètres que précédemment. Ceci a été à la base des expériences de résistance à haute température.

Un autre élément qui a pu être constaté avec cette étude est la nécessité d'aérer cet espace entre la brique réfractaire et le mycélium afin de le maintenir à une température constante et d'atteindre des températures plus basses sur la couche interne du dôme en mycélium. La solution qui a été retenue est celle de produire un courant d'air par le biais de prises d'air et d'une cheminée.

Finalement cette approche numérique s'est avérée utile car elle a permis d'axer plus précisément les autres étapes du projet, est c'est pour cela qu'elle a été effectuée très rapidement après le commencement du projet.

Rapport d'expériences basiques réalisées sur le mycélium

Introduction

Le but de ces expériences est de tester quelques propriétés du mycélium - qui nous intéressent dans le cadre de la conception du four à pizza - avec les moyens à notre disposition en période de confinement

Matériel

- Mycélium avec copeaux de bois
- carton blanc 2mm
- colle
- éthanol
- 700ml d'eau
- 3 cuillères à soupe de farine
- 2 récipients demi-sphériques de taille différente
- cellophane
- four (montant jusqu'à 250°C)
- copeaux de bois
- cutter
- tube (rouleau de papier ménager si il n'y a pas de tube d'un matériau non inflammable à disposition)

Méthode

Préparation

1. Préparation de moules en carton pour les briques de mycélium
2. Stériliser les outils, les moules et le plan de travail à l'aide de l'éthanol pour éviter toute contamination du mycélium
3. Stériliser le paquet de mycélium avant de l'ouvrir, et le refermer directement après avoir extrait la quantité nécessaire aux expériences
4. Mélanger le mycélium avec les 700ml d'eau et la farine (selon les instructions du fournisseur)
5. Etaler et compresser le mélange dans les moules (Annexe 1)
6. Une fois remplis, emballer les moules dans du cellophane et perforer de quelques trous
7. Laisser proliférer pendant 6 jours
8. Démouler et nettoyer le carton si il reste collé
9. Expérience 1: jointure (voir sous-chapitre suivant)
10. Laisser sécher 2 jours dans un endroit au frais et suffisamment ventilé (dans le balcon)
11. Cuisson du mycélium à 97°C pendant 30 minutes pour arrêter la prolifération

Tests

1. Jointure
 - a. Après la 8ème étape de préparation (le démoulage) mettre deux briques de mycélium côte à côte pour tester l'effet de la deuxième phase de prolifération sur la jointure entre les deux briques
 - b. Si les briques se sont soudées ensemble tester la résistance de la jointure
2. Résistance à la chaleur
 - a. Après la première demi-heure de cuisson, augmenter la température du four de 50°C toutes les 10 minutes jusqu'à atteindre 250°C si possible
 - b. Si tout se passe bien, laisser refroidir 1 jour
 - c. Tester une nouvelle fois la résistance à 250°C
3. Résistance à l'eau
 - a. Après la cuisson, une fois que le mycélium est sec, tester l'imperméabilité en versant de l'eau sur une pièce
4. Coupe et ponçage
 - a. Essayer de couper le mycélium avec un cutter et de le poncer
 - b. Si c'est possible, faire un trou dans la coupole pour qu'il qui représente la porte du four

5. Fumée

- a. Allumer un petit feu dans la coupole pour examiner le comportement de la fumée, puis éteindre le feu
- b. Faire un trou au sommet de la coupole pour y introduire le tube qui fait office de cheminée
- c. Relancer un feu pour vérifier que la fumée passe bien par la cheminée et non par la porte

Hypothèse

1. On suppose que lors de la deuxième phase de prolifération, deux briques peuvent se "coller", ce qui permettrait d'avoir un dôme unifié et par conséquent stable même si il est composé de plusieurs briques
2. En ce qui concerne la résistance à la chaleur, nous supposons que le mycélium peut résister à une température relativement élevée mais qu'il risque de s'enflammer à partir d'une certaine température. Un noircissement du matériau serait donc une indication d'un risque de combustion si celle-ci n'a pas lieu dans les conditions établies pour ces expériences
3. En faisant quelques recherches nous avons pu comprendre que le mycélium était partiellement étanche et qu'on pouvait l'utiliser comme protection contre la pluie puisque les briques de pisé doivent en être protégées.
4. En raison de la présence de bois dans le mélange de mycélium nous supposons qu'il est possible de le couper et poncer, ce qui nous permettrait de faire les ouvertures de la coupole à la fin, ce qui éviterait la production de pièces - et par conséquent de moules - spéciaux pour le pourtour des ouvertures.
5. Nous supposons qu'il faut faire une ouverture pour y mettre une cheminée parce que la façon dont la fumée sortirait par l'ouverture si il n'y avait pas de cheminée pourrait être très inconfortable pour les personnes devant et autour du four

Résultats

1. Le carton des moules s'est collé aux briques de mycélium sans pour autant et les briques ne se sont pas collées entre elles. (Annexe 2)
2. Le mycélium a bien résisté à la chaleur qui augmente progressivement par tranches de 50°C toutes les 10 minutes et n'a noirci que très légèrement. (Annexe 3)
3. Le mycélium a plutôt bien résisté à l'eau renversée dessus, il est partiellement étanche.
4. Il y est possible de couper le mycélium sans qu'il ne se casse et également de le poncer sans l'abimer (Annexe 4)
5. La fumée est étouffante lorsqu'il n'y a pas de cheminée mais lorsqu'il y en a une, la fumée s'échappe bien par celle-ci.

Le feu qui était allumé dans la coupole a noirci celle-ci au niveau de la cheminée (Annexe 5)

Conclusion

En dehors de la première expérience sur la jointure entre deux briques, le mycélium a bien répondu à nos attentes et la plupart de nos hypothèses sont corroborées.

Même si la résistance à la chaleur n'est pas testée dans des conditions optimales, ces premières expériences sont encourageantes.

Discussion

Comme le carton des moules s'est collé au mycélium il y a certainement eu une répercussion sur la deuxième phase de prolifération, ce qui a empêché le bon déroulement de la première expérience. Pour résoudre ce problème il faudrait que le moule soit plastifié.

L'expérience sur la résistance à la chaleur a été un succès mais étant donné les moyens restreints que nous avons en période de confinement nous n'avons pas pu faire des tests dans des conditions optimales, cependant il faut faire davantage de tests pour voir si le mycélium résiste à une exposition prolongée à des températures élevées.

Annexes

1. Préparation de la coupole monolithique



2. Démoulage des pièces



3. Test de résistance à la chaleur



4. Découpe et ponçage



5. Cheminée



Rapport d'expériences complémentaires réalisées sur le mycélium

Introduction

Le but de ces expériences est d'approfondir des expériences déjà réalisées en modifiant certains paramètres afin de connaître plus en détail les propriétés du mycélium.

Matériel

- boîtes en carton
- cellophane
- mycélium
- eau
- farine
- café moulu (déjà utilisé)
- ethanol
- four (montant jusqu'à 270°C)
- couteau

Méthode

Préparation

1. Préparation des moules (boîtes en carton recouvertes de cellophane)
2. Stérilisation de tout ce qui doit entrer en contact avec le mycélium (pour éviter toute contamination du mycélium)
3. Mélanger le mycélium avec la bonne quantité d'eau et de farine (selon les instructions du fournisseur)
4. Expérience 1: Ajout du café moulu dans une partie du mélange séparée au préalable
5. Remplissage des moules et emballage dans du cellophane (perforé de quelques trous)
6. Laisser reposer 5 jours et voir si le mycélium est prêt en démoulant une brique, si ce n'est pas le cas laisser reposer quelques jours de plus
7. Démoulage du mycélium

Tests

1. Ajout de café moulu à la préparation
2. Jointure
 - a. Superposition de deux briques (directement après le démoulage) pour tester leur capacité de liaison
 - b. Laisser sécher 3 jours
3. Résistance à la chaleur
 - a. Cuisson des briques 1 heure à 90°C (pour arrêter la croissance du mycélium)
 - b. Laisser une brique dans le four et augmenter la température à 270°C
4. Résistance à l'eau
 - a. Mettre une brique 10x10x10 (avec le café) sous l'eau et laisser 12h pour tester la pénétration d'eau dans la brique
5. Test supplémentaire sur la résistance à la chaleur en cas d'échec de l'expérience 3
 - a. Mettre le mycélium 1h à 170°C
 - b. Augmenter la température de 10°C toutes les heures jusqu'à 270°C si possible

Hypothèse

1. Le café moulu peut, à notre avis, servir de nourriture au mycélium, le risque est que l'aspect de celui-ci soit altéré et peut-être même ses propriétés physiques. Il se peut que l'ajout de café augmente le risque de contamination mais ces risques sont, selon nous, assez faibles.
2. Suite à l'échec de la première expérience réalisée sur la jointure nous avons décidé de réessayer mais cette fois-ci en utilisant du cellophane sur l'emballage pour empêcher le carton d'adhérer au mycélium puisqu'il s'agit probablement de la raison de l'échec. Nous pensons que dans ces conditions deux briques de mycélium peuvent se coller entre elles.
3. En considérant la réussite des précédents tests de résistance à la chaleur, nous voulons tester cette résistance dans des circonstances plus critiques. Il y a des chances que le mycélium ne supporte les grandes chaleurs que pendant une courte durée et qu'en restant longtemps à haute température il brûle ou du moins qu'il se détériore.
4. Etant donné le rôle de protection contre la pluie qu'on veut accorder à la coupole en mycélium on se pose la question sur son étanchéité. Il peut résister à de l'eau qui tombe dessus - ce qui est le plus important en cas de pluie - mais il y a de grandes chances que l'expérience d'immersion dans l'eau ne se déroule pas aussi bien et que la brique de mycélium soit complètement mouillée, voire qu'elle ramolisse.

5. Dans le cas où l'expérience 3 est un échec, cette expérience nous permet de voir plus clairement à quelle température et au bout de combien de temps le mycélium brûle.

Résultats

1. La brique avec le café moulu s'est aussi bien formée comme les briques normales, sans contamination ou autre défaut. (Annexe 1)
2. Les 2 briques superposées ont formé une liaison et ensemble elles sont aussi fortes qu'une seule brique. Les deux briques ont fusionné en une brique monolithique. (Annexe 2)
3. Après 1h au four à 270°C la brique de mycélium a brûlé et s'est consumée comme une cigarette en ne laissant que des cendres. (Annexe 3)
4. La brique était totalement mouillée, jusqu'au centre, mais elle était toujours solide.
5. Le mycélium a brûlé à 190°C au bout de 20 minutes.

Conclusion

Dans l'ensemble, les expériences étaient plus poussées - notamment concernant la chaleur et l'étanchéité - et le mycélium a eu plus de mal dans de telles conditions. C'est un matériau très intéressant qui est très utile dans des conditions normales mais lorsqu'il s'agit de conditions extrêmes des complications surviennent et il faut y faire attention.

Discussion

La deuxième expérience (jointure) a été un succès, on peut donc conclure que dans l'essai précédent c'était bien en raison du contact direct entre le carton du moule et le mycélium que l'expérience avait échoué

Puisque le mycélium avait bien résisté aux premiers tests concernant la résistance à la chaleur nous supposons que les complications surviennent quand il reste trop longtemps à une température élevée, ainsi, la ventilation prévue dans la lame d'air entre les deux coupes est un bon moyen de réguler la température afin d'éviter l'incinération du mycélium.

Annexes

1. Briques de mycélium jointes après la deuxième phase de prolifération:



2. Réussite du test de jointure:



3. Echec du test de résistance à la chaleur 1 heure à 270°



Expériences à réaliser

Introduction

Le but de ce rapport est de documenter les expériences que nous n'avons pas pu réaliser dans les conditions actuelles mais dont la réalisation pourrait être utile avant de construire le four à pizza que nous proposons pour vérifier certaines propriétés du pisé et du mycélium et ainsi corriger de potentiels défauts de conception du four. Ainsi, on maximise les chances de réussite de l'expérience finale qu'est le four.

Méthode

Dôme en pisé:

- Préparation du pisé:
 - Compacter de la terre à briques (de préférence de la terre rouge) en faisant très attention à ne pas laisser de bulles d'air.
 - Test 1: démoulage
 - Séchage au soleil jusqu'à ce que les briques soient complètement sèches
- Tests
 1. Démoulage des briques
 - a. Vérifier si il est possible d'obtenir les briques triangulaires sans casser les angles.
 - b. Vérifier que lors du compactage et du démoulage le moule ne s'abîme pas et peut être réutilisé.
 - c. Comparer la taille des briques avant et après séchage.

2. Stabilité du dôme avec des briques pentagonales et triangulaires
 - a. En maquette, tester la stabilité du dôme avec de la terre crue compactée de la même façon que pour l'expérience avec la pâte à sel (Annexe 2)
3. Conductivité thermique et retrait du pisé
 - a. En utilisant une plaque chauffante pour chauffer une brique, mesurer la conductivité thermique de celle-ci et adapter au besoin l'épaisseur des briques selon les calculs thermiques.
 - b. Comparer la taille de la brique avant et après l'exposition à une source de chaleur
4. Résistance au feu pisé
 - a. Avec la maquette utilisée pour vérifier la stabilité, si l'expérience est un succès, vérifier que le dôme reste stable une fois qu'un feu est allumé et que les briques réagissent bien à cette chaleur
 - b. En cas d'échec, il faut adapter les pièces afin que le dôme reste stable même après le retrait dû à la chaleur.

Mycélium:

- Préparation du mycélium (voir *Rapport d'expériences basiques réalisées sur le mycélium*)
- Tests
 1. Résistance à la chaleur unidirectionnelle et conductivité thermique
 - a. En utilisant une source de chaleur telle qu'une plaque chauffante, qui ne chauffe donc qu'un côté de la brique de mycélium, vérifier que celui-ci résiste aussi bien, voir mieux que dans un four. Pour simuler la lame d'air du four il faut surélever la brique de mycélium pour qu'elle ne soit pas en contact direct avec la source de chaleur mais seulement avec son rayonnement.

- b. Lors de cette expérience, mesurer la conductivité thermique du mycélium pour vérifier l'acuité de la valeur utilisée dans les calculs thermiques.
2. Etanchéité face à une exposition prolongée aux intempéries
- a. Laisser une maquette de coupole exposée à une forte pluie pendant plusieurs jours pour voir si le mycélium est assez étanche pour protéger le pisé dans de telles conditions ou si l'eau a traversé la coupole
 - b. En cas de réussite de l'expérience 3.a. observer l'évolution de la coupole pour vérifier que le mycélium sèche bien et ne se détériore pas.

Global (performances du four une fois entier) :

1. Température atteinte à l'intérieur du four
 - a. En allumant le feu dans le four, mesurer la température et voir si:
 - i. le premier allumage permet de cuire, du moins en partie, les briques de pisé.
 - ii. le premier allumage permet d'arrêter la prolifération du mycélium sans qu'il ne brûle.
 - iii. la température de cuisson d'une pizza peut être atteinte.
 - b. Vérifier, grâce aux calculs confirmés ou modifiés suit aux expériences citées précédemment, quelle température ne doit pas être dépassée pour que les matériaux utilisés ne se détériorent pas.
2. Régulation de la température du four
 - a. Vérifier qu'il est possible de réguler la température à l'aide du flux d'air passant entre les deux coupoles à l'aide des ouvertures d'aération de la lame d'air.
 - b. Voir si le système d'ouverture et fermeture de la cheminée permet de réguler la température à l'intérieur du four
3. Cuisson d'une pizza
 - a. Si tout se passe bien et que le four résiste à toutes les expériences, la dernière étape est la cuisson d'une pizza (ou d'un pain ou autre si la température n'est pas assez élevée).

Hypothèse

Pisé:

Suite aux tests en maquette réalisés (Annexes 1 et 2) nous pensons que la forme donnée au dôme est stable puisqu'il s'agit d'un dôme autoportant dont le propre poids permet la stabilité. Il faut évidemment tester cela avec le bon matériau pour confirmer cette hypothèse. La forme des pièces peut être compliquée à mouler correctement et le démoulage peut être une étape particulièrement critique étant donné que les angles des pièces peuvent se casser. Pour réduire au maximum ce risque nous avons choisi d'utiliser autant de pièces pentagonales que possible puisque les angles les plus fragiles sont ceux des pièces triangulaires. Néanmoins nous pensons que ces pièces sont faisables.

En ce qui concerne le retrait des pièces lors du séchage et de la cuisson, il est peu probable que ce retrait soit important au point de menacer la stabilité et le bon fonctionnement de la coupole. En effet, le retrait lors de la cuisson est en plus faible que celui lors du séchage, ce dernier étant potentiellement négligeable. Les tests peuvent nous permettre de définir si il y a besoin de modifier la taille des moules ou si la différence est trop infime pour qu'il y ait besoin de le faire.

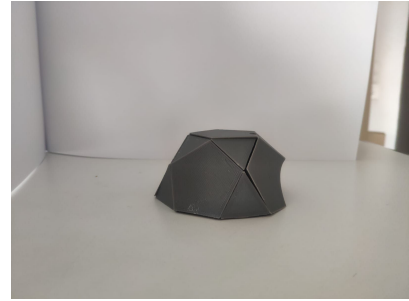
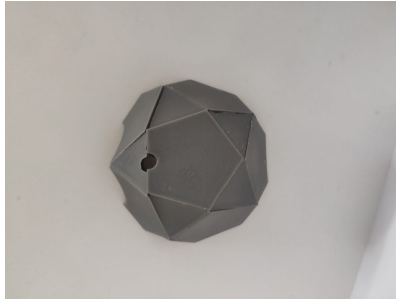
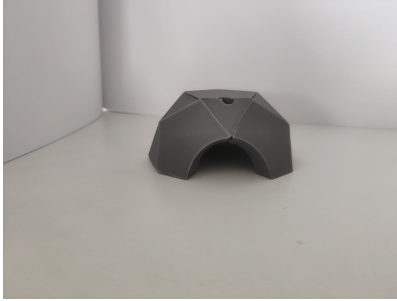
La mesure de la conductivité thermique des briques de pisé est importante parce qu'elle peut nous permettre de vérifier que les calculs thermiques sont corrects et ainsi éviter au maximum les risques de combustion du mycélium.

Mycélium:

Selon les expériences et les calculs thermiques réalisés, nous pensons que le mycélium devrait pouvoir répondre aux exigences qui lui sont imposées par le four à pizza (stabilité, isolation thermique et étanchéité) pour autant que le four n'atteigne pas des températures trop élevées et que les expériences supplémentaires décrites dans ce document corroborent nos hypothèses.

Annexes:

1. Maquette imprimée en 3D



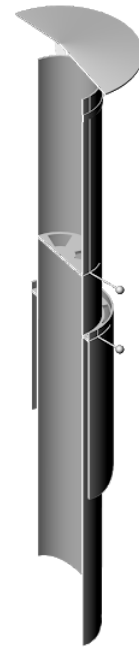
2. Maquette en pâte à sel



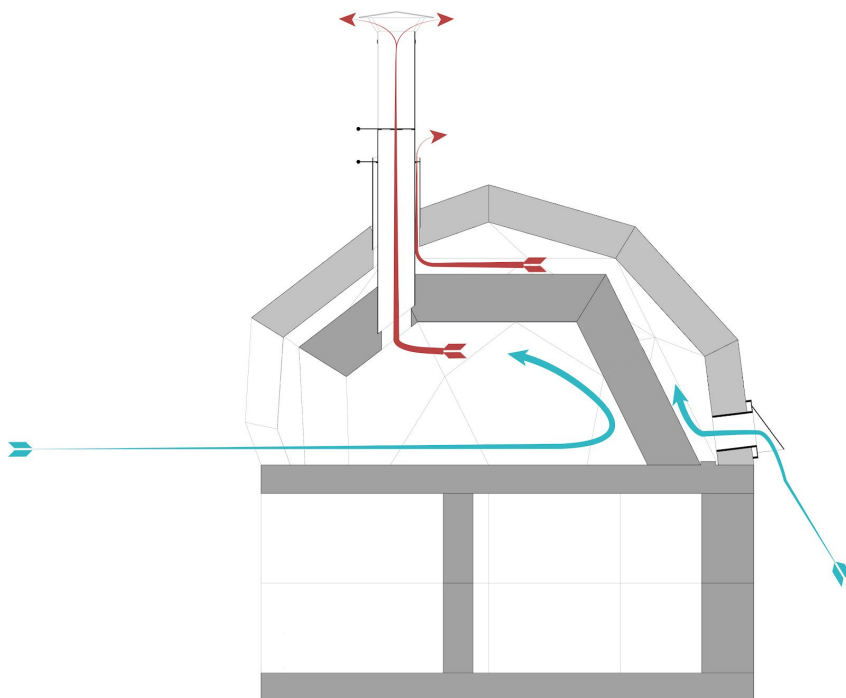
VI - Adapter et optimiser selon les résultats des expériences.

Flux d'air entre briques et mycélium

Suite à l'analyse analytique sur les flux de chaleurs, nous nous sommes rendus compte qu'il était primordial de garder la température de la lame d'air autour des 20°C. La solution qui a été retenue est celle de aérer cette partie intermédiaire. Ce détail peut avoir comme conséquence la combustion du mycélium qui se passe autour de 190/200°C. Refroidir la lame d'air entre mycélium et briques signifie être certains de ne pas dépasser cette limite. En plaçant des entrées d'air sur le bord nous introduisons de l'air frais dans cette lame d'air. Comme on disposait déjà d'une cheminée pour sortir les fumés, nous avons pensé à un système de cheminée dans laquelle nous évacuons aussi l'air de refroidissement. Il a été très intéressant de le dessiner et de voir qu'avec cette pièce unique nous résolvons ces quelques problèmes.



Régulation de la température des milieux



A ce stade, nous avons une température entre briques et mycélium qui dépend de la température environnante. Mais qu'en est t'il si le four n'est pas assez chaud et que les pertes de chaleurs empêcheraient les pizzas de cuire ? Qu'en est t'il si le mycélium est trop chaud à l'intérieur ? Nous avons donc pensé qu'il aurait été plus sage d'avoir davantage de contrôle sur ces flux d'air intermédiaires et c'est ainsi qu'on a décidé de rendre l'ouverture de la cheminée réglable.

VII - Définir un version finale, manuel de montage, plan d'action, matériaux

Version finale

La version finale de ce four est très concrète et simple: apparaissent librement toutes les superficies qui, on le rappelle, sont assez froides (au sens de température, voir chapitre flux de chaleur) pour pouvoir se passer d'une ultérieure couche de isolation.

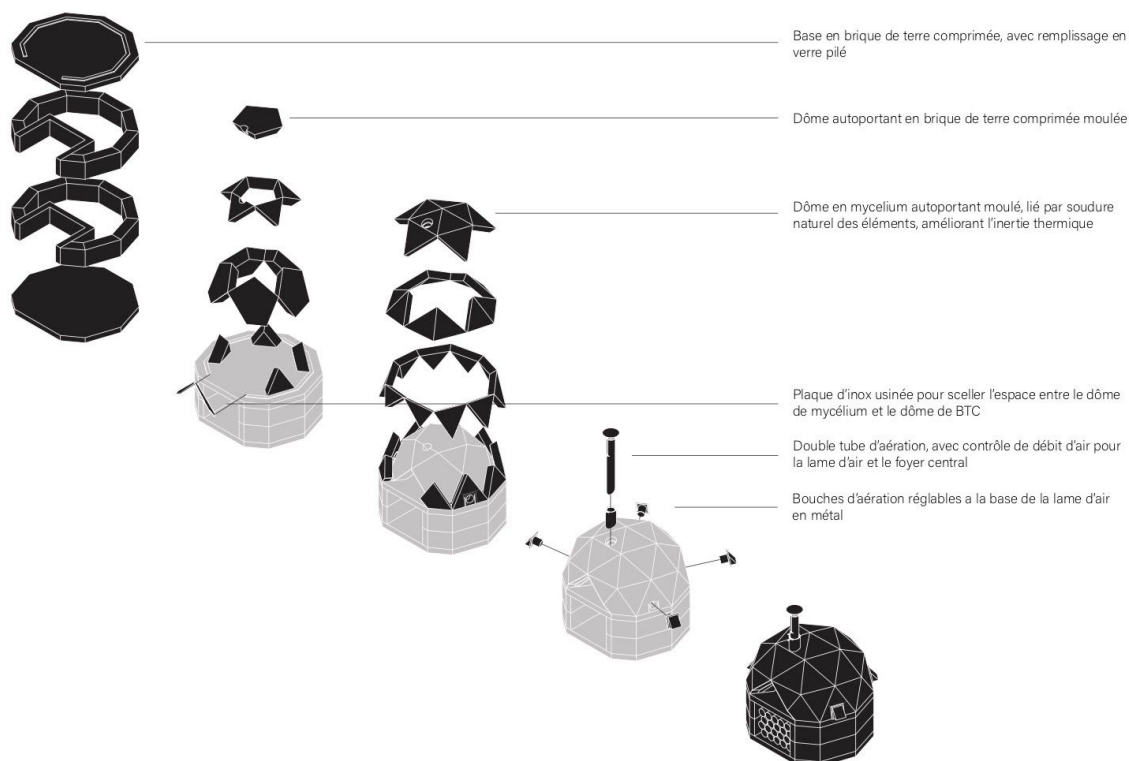
Afin de alléger la quantité de matériel avec lequel remplir la base du four et d'éviter un effet d'entassement central qui pourrait impliquer l'effondrement du four, il a été pensé de créer un espace pour le bois à l'intérieur de la base même. Cette structure participe donc à la stabilité du four.

Quand aux cheminées et ouvertures d'aération, l'acier inoxydable permet d'éviter la rouille et, par sa faible conduction thermique, garder ces pièces à des températures raisonnables.



Manuel de montage

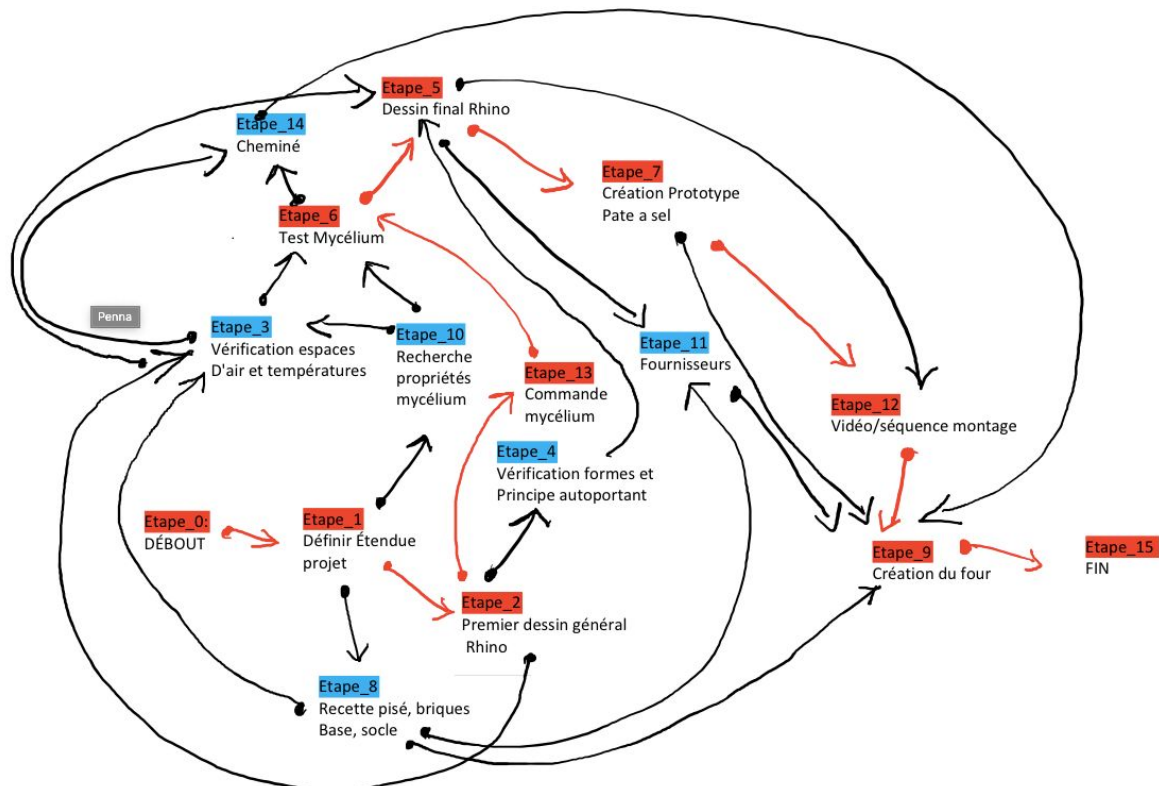
Afin de produire un rendu chronologique clair nous voulions créer une vidéo de l'assemblage du four. Finalement, limités par le temps, nous avons produit une axonométrie éclatée qui affiche les différentes étapes de construction. Ceci nous a permis en premier lieu de distinguer la construction du socle, de la voûte en brique, celle en mycélium et enfin les parties de ventilation. Tous les éléments de justification étant déjà été abordés plus tôt dans ce document, ce fichier peut diriger l'éventuelle construction finale du four, en distinguant les différentes pièces à produire et leur assemblage.



Organisation, optimisation et fournisseurs

Le projet est défini par une multitude d'étapes. Celles-ci étant interconnectés et avec des contraintes temporelles différentes, nous avons effectué un diagramme heuristiques et répertorié toutes les étapes du projet avec leur durée en jours, leur prédécesseur et successeurs. Ceci nous a permis de mieux gérer notre temps et pourra être utilisée comme base pour la reprise du projet dans le futur. Dans le cadre de la situation de confinement dans laquelle nous nous sommes trouvés lors de ce projet, il nous a semblé pertinent de planifier au mieux une future réalisation du four.

Ci dessous le "network", avec en rouges les étapes critiques, une étape critique étant définie comme une étape susceptible de retarder les autres si elle-même est retardée.



Ceci a permis de calculer, par l'algorithme d'optimisation "longest path", la durée minimale de notre projet et les étapes critiques. Pour les étapes non critiques, nous donnons un intervalle de temps dans lequel elles peuvent être effectuées afin d'optimiser au mieux tout le déroulement du projet.

Il en a découlé que la durée totale du projet est de 49 jours. Le tableau ci-dessous résume les étapes critiques qui définissent la durée du projet.

Ordre des tâches critiques	Nom des tâches critiques
1	Définir etendue du projet, définition des objectifs, tâches, recette préliminaire
2	Dessin de la forme générale sur Rhino pour rendu intermédiaires
3	Commande de mycélium
4	Test Mycélium
5	Dessin final Rhino
6	Création prototype "pâte à sel"
7	Vidéo montage
8	Création du four

Le tableau ci dessus affiche les étapes critiques de ce projet. Celles-ci figurent aussi dans le tableau plus général à la page suivante, dans lequel toutes les étapes apparaissent avec leur durée respective. Pour les étapes critiques (couleur rouge), la date de début au plus tôt correspond à la date de début au plus tard dans les sens où ce sont des étapes qui doivent être enchaînées et que leur retard affecterait la date de rendu final. Si, au sein du groupe il fallait donner des checkpoints et des deadlines, ce sont bien ces étapes.

Au contraire, pour les autres étapes non critiques (couleur bleu), il peut y avoir une certaine marge avant de les commencer: celles ci peuvent donc être débutés au plus tôt (earliest start) ou au plus tard (latest start) sans que ce choix affecte la durée totale du projet.

DESCRIPTION	DURATION [jours]	Earliest Start [jours]	Latest Start [jours]
Définir etendue du projet, définition des objectifs, tâches, recette préliminaire	1	0	0
Dessin de la forme sur rhino pour rendu intermédiaires	3	1	1
Vérification des espaces d'air et températures	2	5	9
Vérification formés par assemblage maquette	1	4	24
Dessin final rhino	3	25	25
Test Mycélium	14	11	11
Création prototype pate a sel	4	28	28
Recette pisé, briques réfractaire, base de cuisson	4	1	1
Cratation du four	14	49	49
Recherche propriétés skil-1	1	1	9
Trouver fournisseur, prix	3	28	46
Vidéo montage	3	32	32
Commande de mycélium	7	4	4
Cheminés et aération	3	25	32
Fin du projet		FIN	FIN

DÔME PISE										
	Variable	Volume [m ³]	Masse volumique [kg/m ³]	Poids [kg]	Achat	Prix unité Euro	Prix en CHF	Poids [kg]	Nbr	Total en CHF
Verre pilé	5.00%	0.014	2500	35.73	-	-	-	-	-	-
Sable	40.00%	0.114	1600	182.96	ici	-	3.5	25	8	28
Limon	20.00%	0.057	1.71	0.10	-	-	-	-	-	-
Argile	15.00%	0.043	1700	72.90	ici	7.45	9	10	8	72
Gravier	20.00%	0.057	1700	97.20	ici	-	4.5	25	4	18
Eau	2.00%	0.006	1000	5.72	-	-	-	-	-	-
										118

DÔME MYCÉLIUM										
	Variable	Volume [m ³]	Masse volumique [kg/m ³]	Poids [kg]	Achat	Prix unité Euro	Prix en CHF	Poids [kg]	Nbr	Total en CHF
Support organique	80.00%	0.308	40	12.30	ici	-	12	20	1	12
Farine	19.00%	0.073	550	40.17	ici	-	0.9	1	41	36.9
Enzyme	1.00%	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-
										48.9

VENTILATION ACIER INOX									
	Ø ext [mm]	ép. [mm]	Ø [mm]	Longueur [m]	Achat	Prix en CHF	Nbr	Total en CHF	
Cheminée int.	101.6	2	-	0.8	ici	30.1	1	30.1	
Cheminée lame d'air	129	2	-	0.25	ici	41.8	1	41.8	
Clapet	-	-	-	-	ici	25.9	4	103.6	
Chapeau	-	-	200	-	ici	50	1	50	
								225.5	

VIII - Bilan de l'expérience générale

Premièrement, ce projet a réellement été interdisciplinaire. Tous les étudiants ont participé à la mise en place des différents secteurs d'étude. La situation de pandémie dans laquelle nous nous sommes trouvés nous a permis d'éclaircir des points sur la réalisation du four qui nous auraient probablement échappé avec l'enthousiasme de construire réellement ce four, même si nous regrettons ne pas avoir pu goûter les pizzas.

Nous avons appris à gérer une multitude d'étapes interconnectées et de travailler ensemble. D'un point de vue ingénieristique nous avons apprécié l'importance de la partie calculatoire préliminaire qui nous a permis de nous focaliser sur certaines expériences en particulier et qui a fait ressortir des points intéressants. D'un point de vue de construction, nous avons pu faire des recherches sur des matériaux que nous ne connaissons pas avant. L'utilisation du mycélium nous a permis de nous familiariser avec ce matériel de plus en plus utilisé. Nous pouvons certainement le confirmer comme très bon isolant. De plus nous avons confirmé notre hypothèse de son inter-connection possible lors de la deuxième phase de croissance, ce qui peut s'avérer extrêmement utile dans le milieu de la construction.

Cette situation de pandémie a donné à ce projet un caractère plus exploratoire et nous avons regroupé une grande quantité de support. Depuis nos chambres et nos cousines nous avons essayé d'avancer le plus possible sur tous les fronts de ce projet, en laissant assez de pistes aux futurs repreneurs pour pouvoir reprendre exactement où nous le laissons. En effet tous les éléments sont présents pour la réalisation du four échelle 1:1.