

FICHES D'ÉTUDES TECHNIQUES

PFE - LA MAGGI
CLAIRE GOUJON

STRUCTURE EN HÊTRE - SURFACES EXTÉRIEURES BRÛLÉES

- Fondations et systèmes d'accroche
- Disponibilités du bois
- Capacités techniques du bois brut
- Les atouts de la technique du bois brûlé

CAISSONS PAILLE

- Technique ossature bois
- Caractéristiques de la paille
- Détails de mise en œuvre

MENUISERIES

- Menuiseries en bois fixées contre la charpente en bois
- Système d'attache intégré pour la claire-voile en bois extérieure

COMPOSITION DU MUR EN MAÇONNERIE DU SYSTÈME TROMBE

- Fonctionnement du mur
- Matériau du mur
- Mise en œuvre du mur

LA VENTILATION DE LA SERRE

- Système de ventilation naturelle
- Calibrage des ouvertures pour le renouvellement de l'air

FONCTIONNEMENT DE LA CHAUFFERIE ET DES PLANCHERS CHAUFFANTS

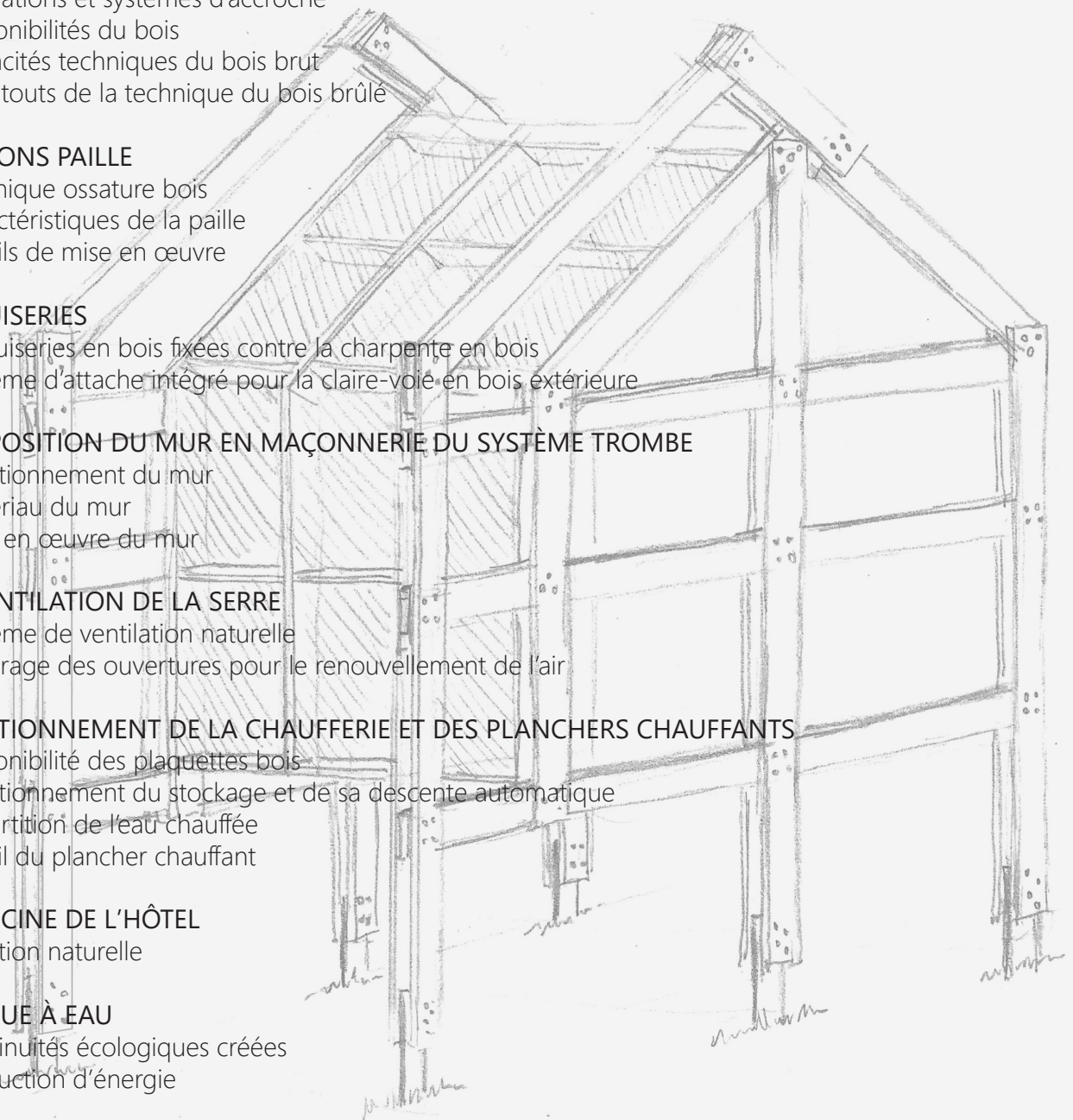
- Disponibilité des plaquettes bois
- Fonctionnement du stockage et de sa descente automatique
- Répartition de l'eau chauffée
- Détail du plancher chauffant

LA PISCINE DE L'HÔTEL

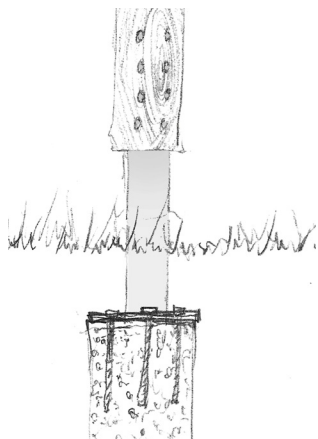
- Filtration naturelle

LA ROUE À EAU

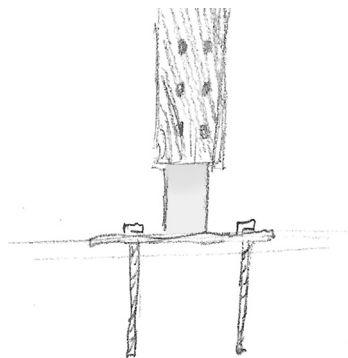
- Continuités écologiques créées
- Production d'énergie



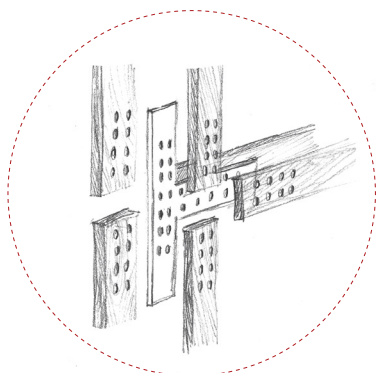
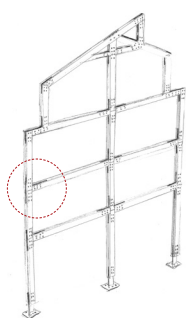
EXTENSION
Pieds de poteaux sur
pieux en béton



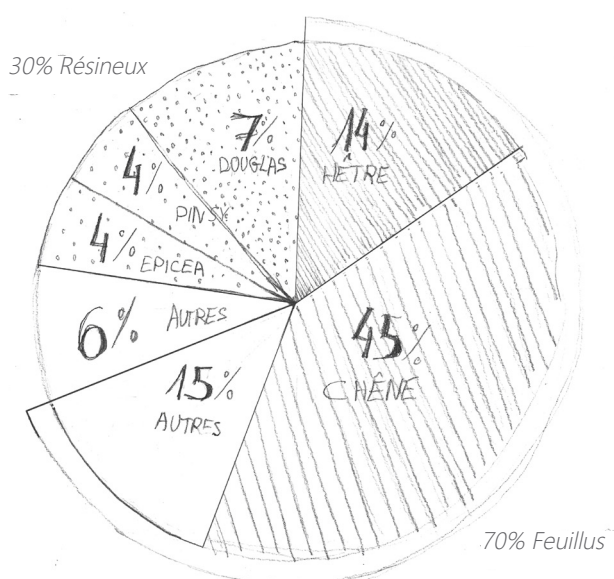
EXISTANT
Pieds de poteaux sur
fondations existantes



SYSTÈMES D'ACCROCHES : PLATINES



DISPONIBILITÉS IMPORTANTES EN NORMANDIE :
Chêne, Hêtre, Douglas, Pin sylvestre, Épicéa



STRUCTURE EN HÊTRE

Fondations

Avantage du système de pilotis :
Implantation sur le sol marécageux, sécurisation des crues du fleuve, libération de l'espace pour le stationnement, accessibilité pour les réseaux.

Les pilotis en bois sont reliés aux pieux en béton par des pieds de poteaux en métal : des ancrs de poteaux en U.

Systèmes d'accroches

Des platines multi-trous en T viennent faire la jonction entre les différents éléments en bois. La structure est doublée par moisement, ainsi les sections sont petites : 40 par 20. La longueur maximale des éléments en bois est de 6 mètres.

Disponibilités et capacités techniques du bois

Le hêtre est choisi pour plusieurs raisons. C'est un bois local, en grande disponibilité, peu exploité pour la construction alors qu'il a une bonne résistance en compression, flexion, traction et cisaillement. Un processus de qualification du hêtre comme bois de structure est en cours.

C'est un bois environ trois fois moins cher que le chêne, et son prix est similaire à celui du pin sylvestre aux capacités techniques moindres. C'est le manque de débouché économique qui a baissé son prix, une occasion de faire des économies dans le projet tout en développant une filière qui en a besoin.

SURFACES EXTÉRIEURES BRÛLÉES

Les atouts de la technique du bois brûlé

Brut, le hêtre est de classe deux, cependant, une fois sa surface brûlée, il devient résistant à l'eau, au feu et aux insectes. Le bois brûlé consiste à désoxyder la surface du bois en la brûlant.

Le bois sera brûlé sur le chantier, de cette manière nous maîtrisons l'essence du bois et sa provenance locale. Les entreprises qui vendent le bois brûlé ne pratiquent pas de procédé industriel, brûlant les planches une par une au chalumeau ou dans un four, le procédé industriel n'existe pas encore.

MENUISERIES

Menuiseries en bois fixées contre la charpente

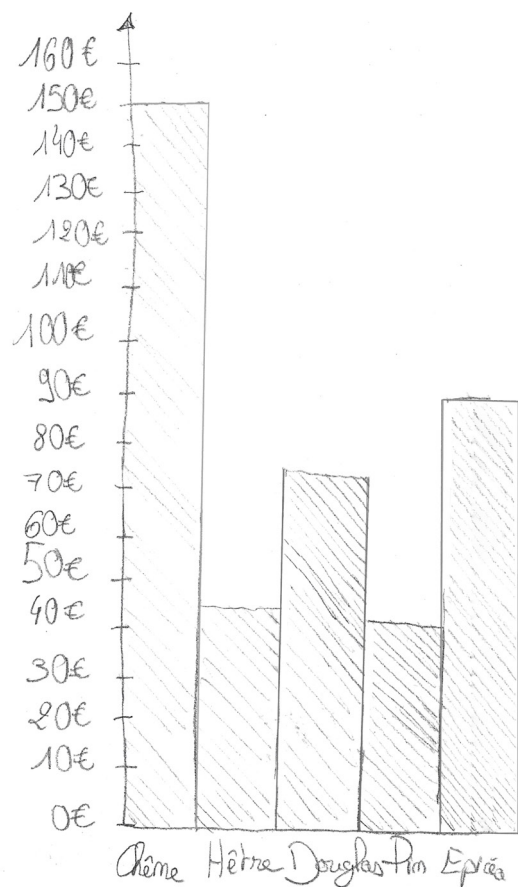
Le verre de la serre est fixé par des menuiseries indirectement tenues par la charpente. Des cadres en bois contreventent les portiques entre eux deviennent le support des menuiseries, également en bois.

Système d'attache intégré pour la claire-voie

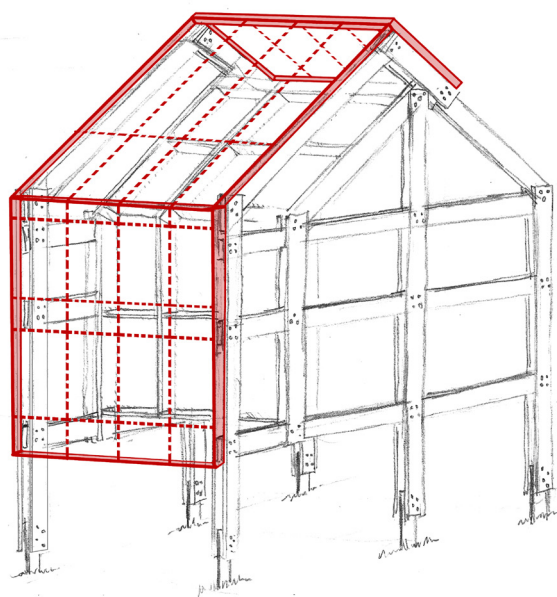
Les menuiseries en bois sont faites sur-mesure, de manière à les associer à la structure de la claire-voie de la façade.

PRIX POUR 1,7m³ en 2016

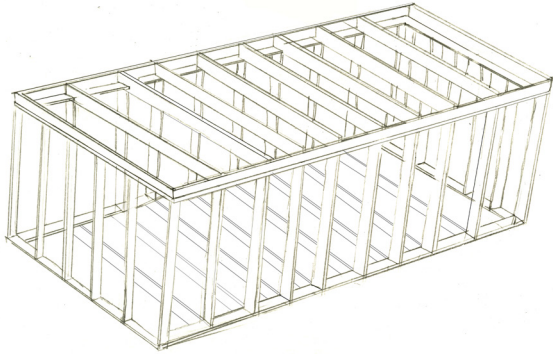
Source : Société Forestière de la CDC



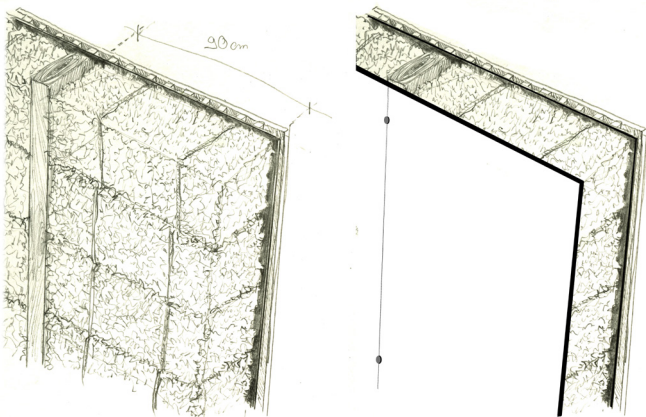
PRÉ-CADRES ET MENUISERIES



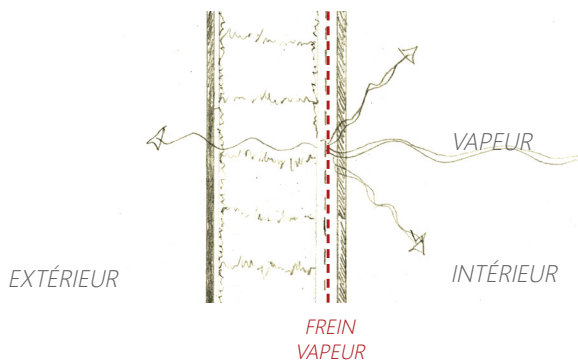
LES CHAMBRES SONT ISOLÉES PAR DE LA PAILLE,
TENUE PAR UNE STRUCTURE EN BOIS



LES BOTTES DE PAILLE SONT EMPILÉES, COMPRESSÉES
ENTRE DEUX TASSEaux ET ENFERMÉES PAR DES
Panneaux de bois perspirants.



LES BOTTES DE PAILLE SONT EMPILÉES, COMPRESSÉES
ENTRE DEUX TASSEaux ET ENFERMÉES PAR DES
Panneaux de bois perspirants.



CAISSON PAILLE

Technique ossature bois

Proche de la technique Nebraska, sinon que la paille n'est pas porteuse, les bottes de paille sont superposées, serrées entre les poteaux en bois.

Caractéristiques de la paille

La paille est disponible auprès des agriculteurs, les bottes sont peu onéreuses et toujours disponibles localement. C'est un matériau biodégradable ou recyclable. Sa résistance thermique est de $6.92\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Ainsi 36 cm de paille équivaut à 27 cm de ouate de cellulose.

Sa mise en œuvre est faite de manière à limiter les risques d'incendie et à le rendre résistant aux insectes, aux rongeurs et à l'humidité.

Détails de mis en œuvre

Afin de préserver la paille de l'humidité évacuée par l'usage des habitations, derrière l'OSB, un frein vapeur évite qu'elle se transforme en eau à cause des différences de chaleur entre intérieur et extérieur. Afin de protéger ce frein vapeur, des linteaux créent une lame d'air. Du côté extérieur le panneau de bois doit être perspirant : ainsi l'humidité peut s'en échapper et s'évaporer à l'extérieur.

UN MUR EN MAÇONNERIE

Fonctionnement du mur

Le mur se situe derrière la serre qui piège l'air chaud. Il constitue un capteur-accumulateur et transfère la chaleur par rayonnement à l'intérieur des logements. Il ne peut pas comporter d'isolation car elle interdirait la migration des calories. Le mur est composé d'un matériau sombre, sinon recouvert d'un enduit noir, pour augmenter le coefficient d'absorption du mur.

Matériau choisi pour le mur

J'ai choisi l'argile. J'ai vérifié ses capacités d'inertie thermique par rapport au béton. L'inertie dépend de :

effusivité = capacité d'un matériau à échanger la chaleur avec son environnement. Pour une meilleure inertie, elle doit être petite, c'est le cas de l'argile par rapport au béton.

Béton = $1,94 \text{ j/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ Argile $1,3 \text{ j/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$.

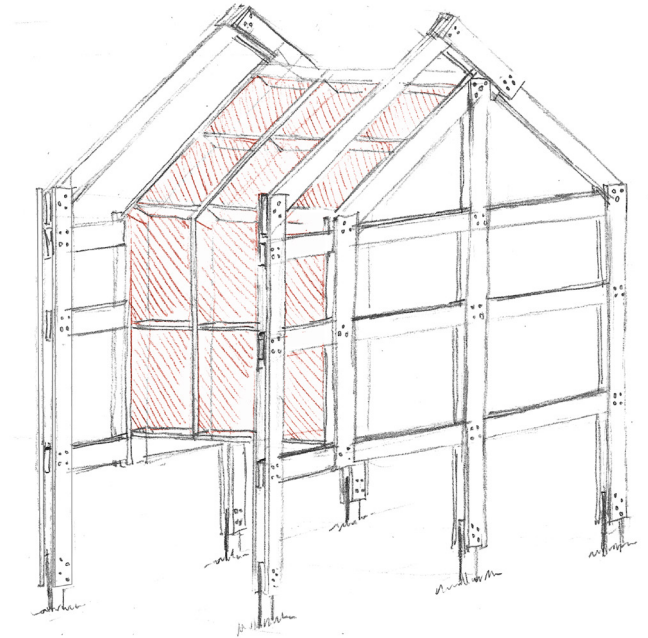
diffusivité = capacité d'un matériau à répondre à un changement de température. Elle doit être grande. Pour une meilleure inertie, elle doit être grande, c'est le cas de l'argile par rapport au béton.

Béton $= 0,54 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Argile $= 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Mise en œuvre du mur

Les caissons sont fermés au moment de tasser l'argile à l'intérieur, puis une fois l'argile séchée, les planches de bois sont remplacées par une claire-voie en bois à l'intérieur de manière à ce que l'argile reste en place.

LES CAISSONS EN BOIS REMPLIS D'ARGILE POUR UN MUR-ACCUMULATEUR

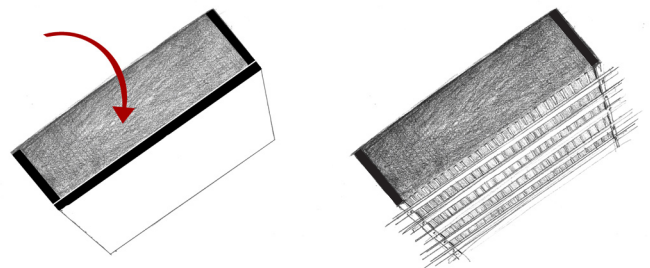


FORMULES UTILISÉES POUR CALCULER L'EFFUSIVITÉ ET LA DIFFUSIVITÉ DE L'ARGILE PAR RAPPORT AU BÉTON

$$E = \sqrt{\lambda \rho c}$$

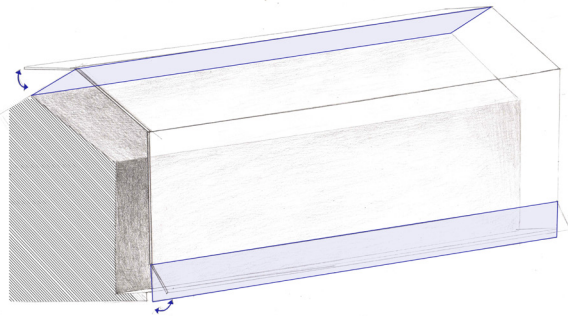
$$D = \frac{\lambda}{\rho c} \text{ (en } \text{m}^2/\text{s})$$

LES CAISSONS EN BOIS REMPLIS D'ARGILE POUR UN MUR-ACCUMULATEUR

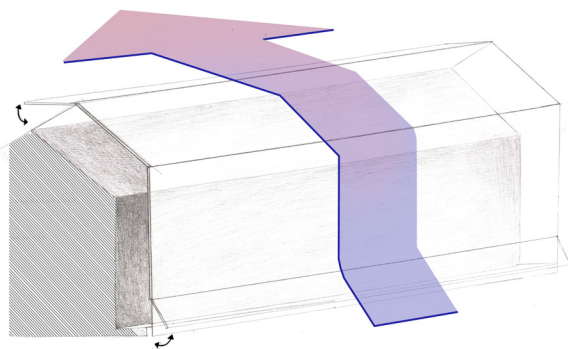


SURFACES OUVERTURES HAUTES ET BASSES

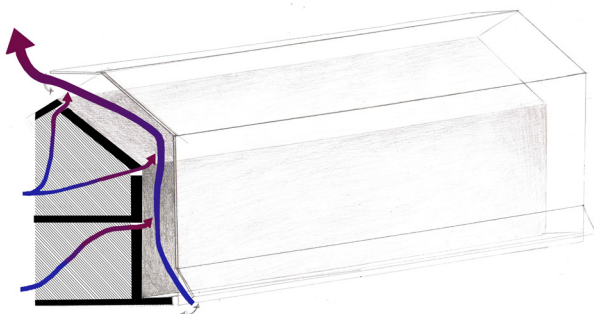
135.2m² x2



EFFET DE CONVECTION



VENTILATION TRAVERSANTE DES CHAMBRES SORTIE AU NIVEAU DE LA SERRE



LA VENTILATION DE LA SERRE

Système de ventilation naturelle

Le renouvellement d'air est provoqué par deux forces naturelles : la convection et le vent. La première est utilisée en ouvrant la serre en partie haute et basse. La seconde force naturelle utilisée est le vent, plus précisément le vent dominant, qui s'engouffrera dans la serre par une ouverture au sud/ouest et sortira par une ouverture au nord/est. Il s'agit en fait de ventilations traversantes, les ouvertures étant disposées sur deux côtés opposés, dans le sens du vent dominant.

Calibrage des ouvertures pour le renouvellement de l'air

L'objectif est de vérifier que la verrière puisse conserver sa température intérieure le mois le plus chaud de l'année grâce à la ventilation. Les valeurs correspondent à une différence de température de 5°C entre intérieur et extérieur en 24h en juillet.

Calcul de la puissance lumineuse

VITRAGE INCLINÉ

L'inclinaison du plan : 35deg. par rapport à l'horizontale.

Orientation du plan : Nord/Est (-120deg. par rapport au sud)

surface inclinée : 235m²

puissance lumineuse calculé par le logiciel calsol :

4,61 kWh/m² par jour

VITRAGE VERTICAL

puissance lumineuse calculé par le logiciel calsol :

2,48 kWh/m² par jour

surface verticale de 265m²

Aldébo (énergie reflété par le sol) de 0.2.

Calcul de l'énergie solaire reçue en 24h :

4.61 x 365 + 2.48 x 465 = 2687kWh par jour

Donc une puissance moyenne de 112kW

Calcul de l'énergie solaire à évacuer

Facteur solaire, $g = 63\%$ pour un vitrage double 4/16/4 basse émissivité, argon.

$U_g = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ pour un vitrage vertical

$U_g = 1.90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ pour un vitrage dont la pente est inférieure à 60°

Q = énergie perdue par convection

$Q = S \times U \times \text{variation de température, par seconde}$

Puissance à évacuer = puissance entrante - Q (puissance perdue par conduction)

$$= 112\,000 \times 0.63 - (1.1 \times 465 \times 5 + 1.90 \times 335 \times 5)$$

$$= 70\,560 - 5\,740$$

$$= 64\,820 \text{ W (J/s)}$$

Calcul du volume d'air correspondant (débit)

La masse volumique de l'air $\rho = 1.117 \text{ kg}/\text{m}^3$

La capacité calorifique de l'air $c = 1006 \text{ J}/\text{kg}$

$Q = \rho \times V \times c \times \text{variation de température}$

$V = Q / (\rho \times c \times \text{variation de température})$

$$V = 64\,820 / (1.117 \times 1006 \times 5)$$

$$V = 11.53 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calcul du renouvellement d'air possible

Q_v = ventilation à travers les ouvertures

$$Q_v = C_d \times S \times \sqrt{(2 \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \times g \times H) / T}$$

$$Q_v = 0.65 \times 135.2 \times \sqrt{(2 \times (25 - 20) \times 9.81 \times 8.8) / (273 + (20 + 25)/2)}$$

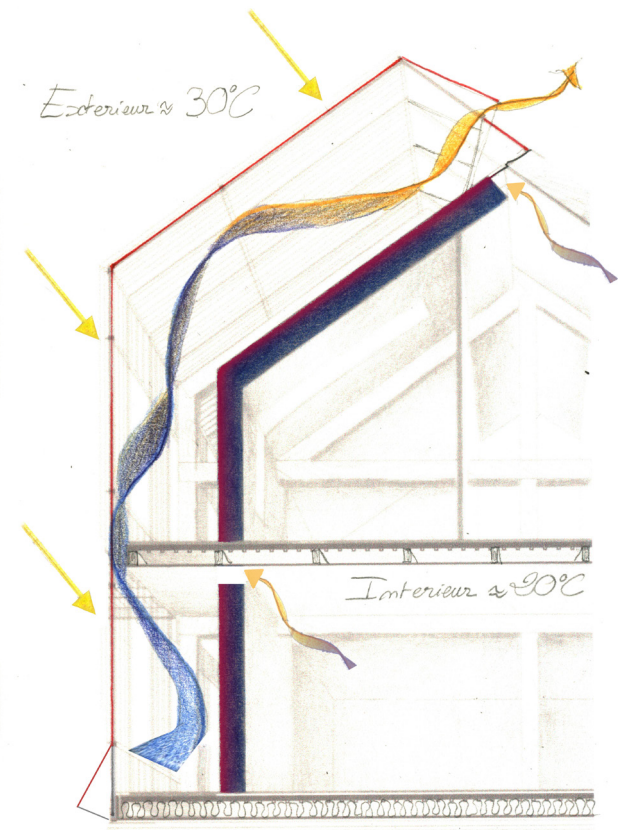
$$Q_v = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$

Conclusion

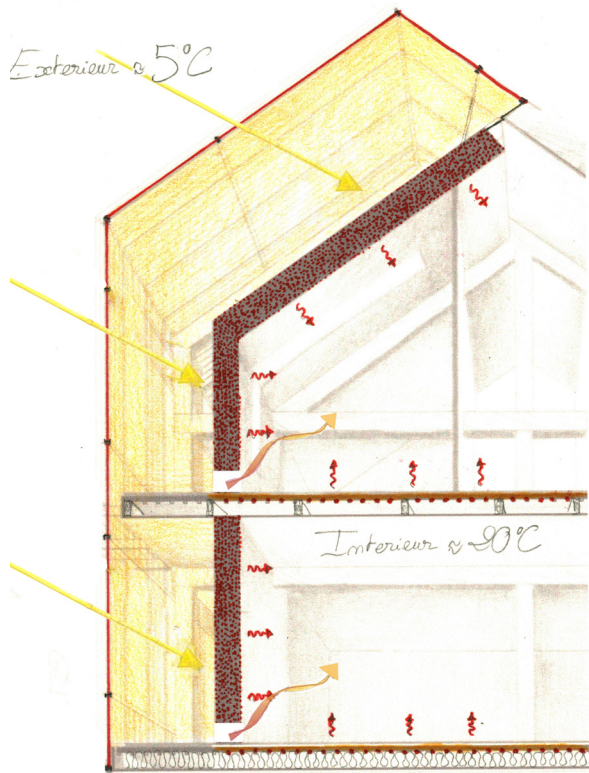
Ainsi la capacité d'aération est 10 fois supérieure à celle nécessaire pour conserver la température de la serre en cas d'une différence de 5°C par rapport à l'extérieur un jour d'été. Cette capacité est suffisante pour répondre à des besoins supérieurs les journées de canicule.

Pour éviter la surchauffe des appartements, ils sont eux aussi naturellement ventilés, l'air sortant se trouvant au niveau de la serre, aspiré par la convection et la ventilation.

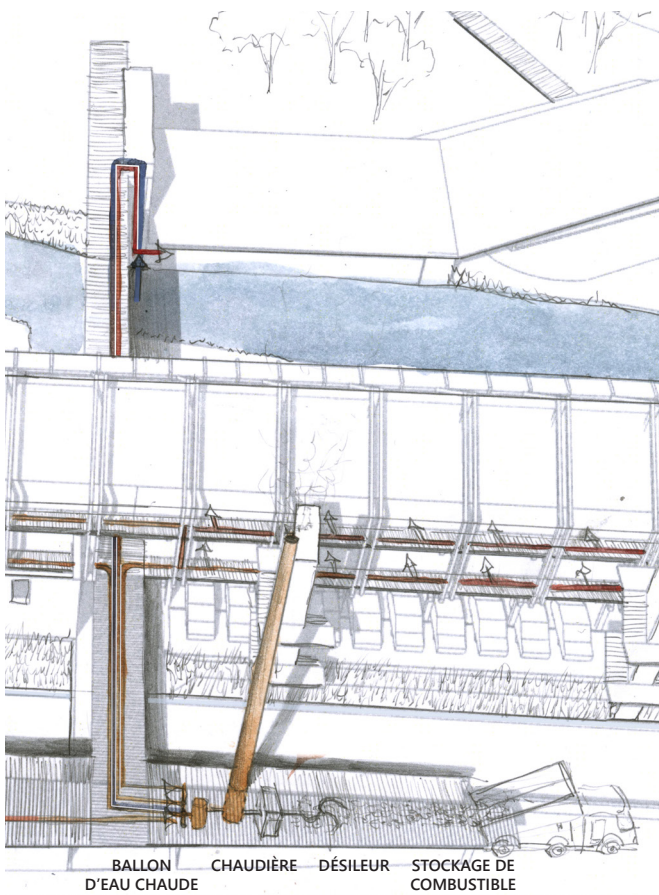
STRATÉGIE DES JOURS CHAUDS



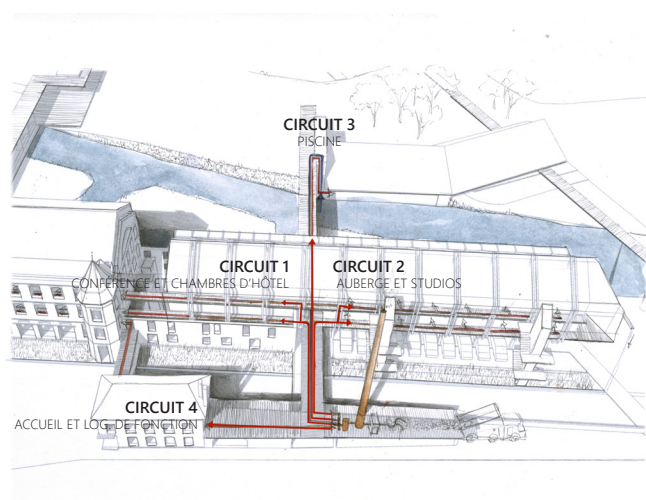
STRATÉGIE DES JOURS FROIDS



LES MACHINES DE LA CHAUFFERIE ET LE STOCKAGE



QUATRE CIRCUITS D'EAU CHAUDE



LA CHAUFFERIE

Disponibilité des plaquettes forestières

Les plaquettes sont issues du broyage des dosses, délignures et chutes de tronçonnage dans les scieries. La scierie la plus proche qui propose les plaquettes et le bois de structure en hêtre se situe à 50km du projet.

Fonctionnement du stockage et de sa descente automatique

Le champ génie-civil a été pris en compte pour l'implantation du bâtiment de stockage, avec une réflexion sur les aires de roulement minimum et de manœuvre simple pour la livraison du combustible, ainsi que sa situation centrale par rapport au réseau de distribution de chaleur et des sous-stations.

Le stockage de combustible est directement lié à la chaufferie par un désileur à pales automatique. Le volume utile de combustible qui doit être stocké sur le site de la chaufferie est déterminé sur la base de l'autonomie souhaitée pour l'installation. J'ai prévu 100m³ pour 3 semaines d'autonomie.

(cf. revue n°56 *Le cahier du bois-energie*, juin 2012)

Répartition de l'eau chauffée

Un premier ballon d'eau chaude, situé dans la chaufferie, alimente directement l'eau qui chauffe les chambres et la salle de conférence. Cette eau est divisée par deux départs, le premier circuit traverse la conférence pour rejoindre les chambres d'hôtel, le second circuit traverse les auberges et les studios. Un troisième circuit rejoint une sous-station avec un second ballon d'eau chaude dans la piscine et un troisième circuit rejoint la maison de l'accueil et du logement de fonction.

LES PLANCHERS CHAUFFANTS

Détail du plancher chauffant

L'eau chaude circule donc dans les planchers des chambres sur une structure bois, au dessus des caissons de paille. Afin de consolider le plancher en une surface rigide et plane, du béton est coulé sur les tubes. À la différence d'un plancher chauffant standard, le béton n'est pas porteur. L'objectif est donc d'ajuster l'épaisseur de platelage structurel (OSB en dessous) à la raideur du polystyrène utilisé ainsi que de rapprocher les solives de manière à obtenir une rigidité suffisante. De plus un treillis dans la chape sera lié à la structure en bois par des connecteurs (produits tecnaria).

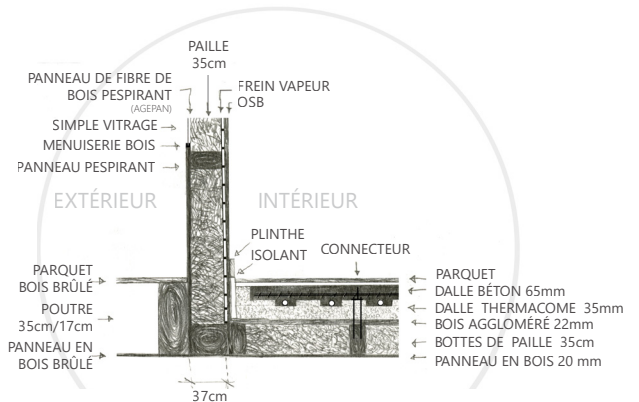
LA PISCINE DE L'HÔTEL

La piscine de l'hôtel se situe le long de la Durdent, l'objectif est de donner l'impression de nager dans le fleuve, sa végétation s'infiltrer le long de la piscine. Cette végétation a pour rôle de filtrer l'eau.

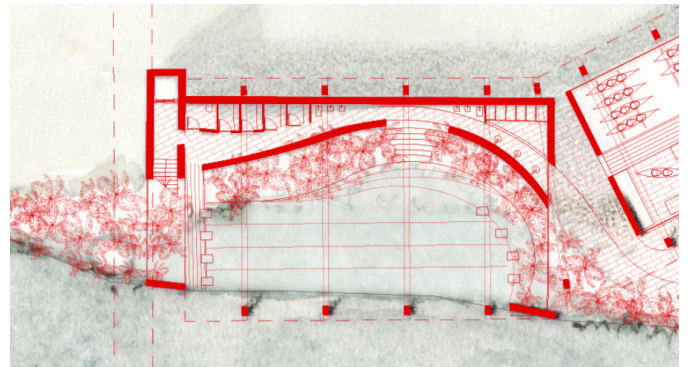
Filtration naturelle

Afin que les plantes épuratives et oxygénantes soient les mêmes que celles qui longent la Durdent au niveau du projet, elles seront plantées à l'intérieur et à l'extérieur des locaux, elles sont donc adaptées au climat de la région. Les plantes épuratives se situent dans la zone d'épuration pour éliminer les substances toxiques. Pour cela je choisis la jacinthe d'eau, l'Alisma et le Caltha palustris. Les plantes oxygénantes se situent dans la zone de régénération pour assurer la vie. Pour cela je choisis l'Hippuris, l'Elodée et le Renoncule aquatique.

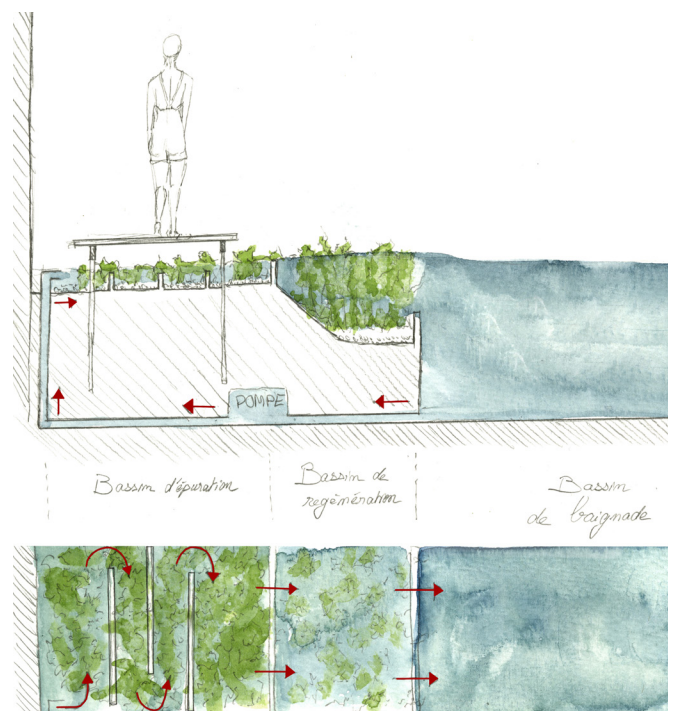
DÉTAIL DU PLANCHER



PLAN DE LA PISCINE

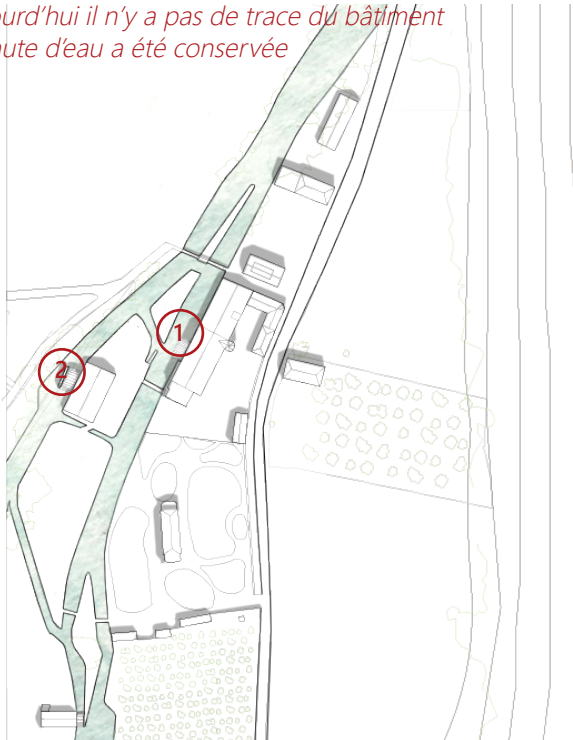


FONCTIONNEMENT DU BASSIN



1842 : CONSTRUCTION DE LA SECONDE FILATURE,
SITUÉE SUR L'ÎLE, EN FACE DE LA PREMIÈRE

Aujourd'hui il n'y a pas de trace du bâtiment
la chute d'eau a été conservée



2018 : ETAT ACTUELLE

Pour le projet la chute d'eau de la
seconde filature est détruite pour
créer une continuité écologique.



LA ROUE À EAU

Continuités écologiques créées

Le projet est en rupture avec la politique actuelle de renaturation du cours d'eau. La renaturation consiste à déplacer le lit de la rivière sur le lit fossile. L'objectif est de recréer des zones humides. La Durdent est un fleuve côtier artificiel, à l'état naturel il inonderait jardins et terres agricoles. Nous choisissons d'accompagner l'évolution des savoir-faire hydrauliques, tout en assurant les continuités écologiques.

Cette continuité écologique est actuellement compromise par les chutes d'eau, l'objectif est de rendre accessible le cours d'eau à la migration des poissons. Le site du projet présente sur deux bras plusieurs chutes, détruire certaines chutes permettent de conserver celle de la Maggi de manière à créer une continuité écologique. Cela est rendu possible par la division du cours d'eau en deux, sinon des passes à poissons auraient été nécessaires, un dispositif coûteux.

(Entretien avec une conseillère agricole au Syndicat mixte des bassins versants du Dun et de la Veules.)

Production d'énergie

Les fondations de l'ancienne roue à aubes de la Maggi deviennent le support d'un nouveau système de roue à aubes pour autonomiser la production d'énergie électrique des bâtiments.

L : largeur de la Roue

R : rayon de la Roue

d : profondeur de la pâle

D : débit

g : pesanteur

H : hauteur de chute

N : nombre de tours par minute

P : puissance

e : masse volumique

La puissance d'une roue est obtenue par sa capacité de remplissage et de vidange. La roue ne travaille que sur un quart de tour et ne dépend que de la hauteur de chute.

Par rapport au débit de la Durdent de 3,75 m³/s, il serait possible de récupérer au maximum une puissance de : $P = e \times D \times g \times H = 1000 \times 3,75 \times 9,81 \times 2 = 74556 \text{ W}$.

Mais tout le débit n'est pas exploité car la hauteur de chute est inférieure au rayon de la roue, la séparation en deux bras de la Durdent et la capacité du déversoir. Il faut trouver le réel débit dans la roue. Pour cela :

$$V_{\text{utile}} = L \times d \times (\pi/2) \times R$$

On reprend la taille de la roue qui était supportée par les fondations actuelles. On minimise ($\pi/2$) à 1,2 car la hauteur de chute est inférieure au rayon de la roue, l'axe central n'est pas dans l'eau.

$$\text{Soit } V_{\text{utile}} = 5,15 \times 0,8 \times 1,2 \times 5,6 = 27,7 \text{ m}^3$$

On peut en déduire le débit :

$$D = V_{\text{utile}} \times (N/60)$$

sachant que N d'une roue à aubes est compris entre 2 et 5 tours par minute.

$$D_{\text{min}} = 27,7 \times (2/60) = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{\text{max}} = 27,7 \times (5/60) = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donc la puissance réellement récupérée avec un rendement de 80% pour le type de roue à aubes Poncelet est de :

$$P = e \times D \times g \times H \times 0,8$$

$$P_{\text{min}} = 1000 \times 0,9 \times 9,81 \times 2 \times 0,8 = 7 \text{ kW}$$

$$P_{\text{max}} = 1000 \times 2,3 \times 0,9 \times 9,81 \times 2 \times 0,8 = 36 \text{ kW}$$

Nous connaissons la puissance des roues chez certains habitants de la Durdent, jusque 30 kW. Nous pouvons espérer atteindre les 36 kW. Cette puissance est comparable à celle d'une éolienne de particulier ainsi qu'à la pose de 360m² de panneaux solaires idéalement orientés. Estimant la consommation électrique du projet en multipliant la consommation par m² d'un bâtiment similaire par la surface du projet, nous pouvons en conclure que la roue produit suffisamment d'électricité pour autonomiser le site. Le site sera tout de même relié au réseau de la ville, assurant la consommation aléatoire.

