

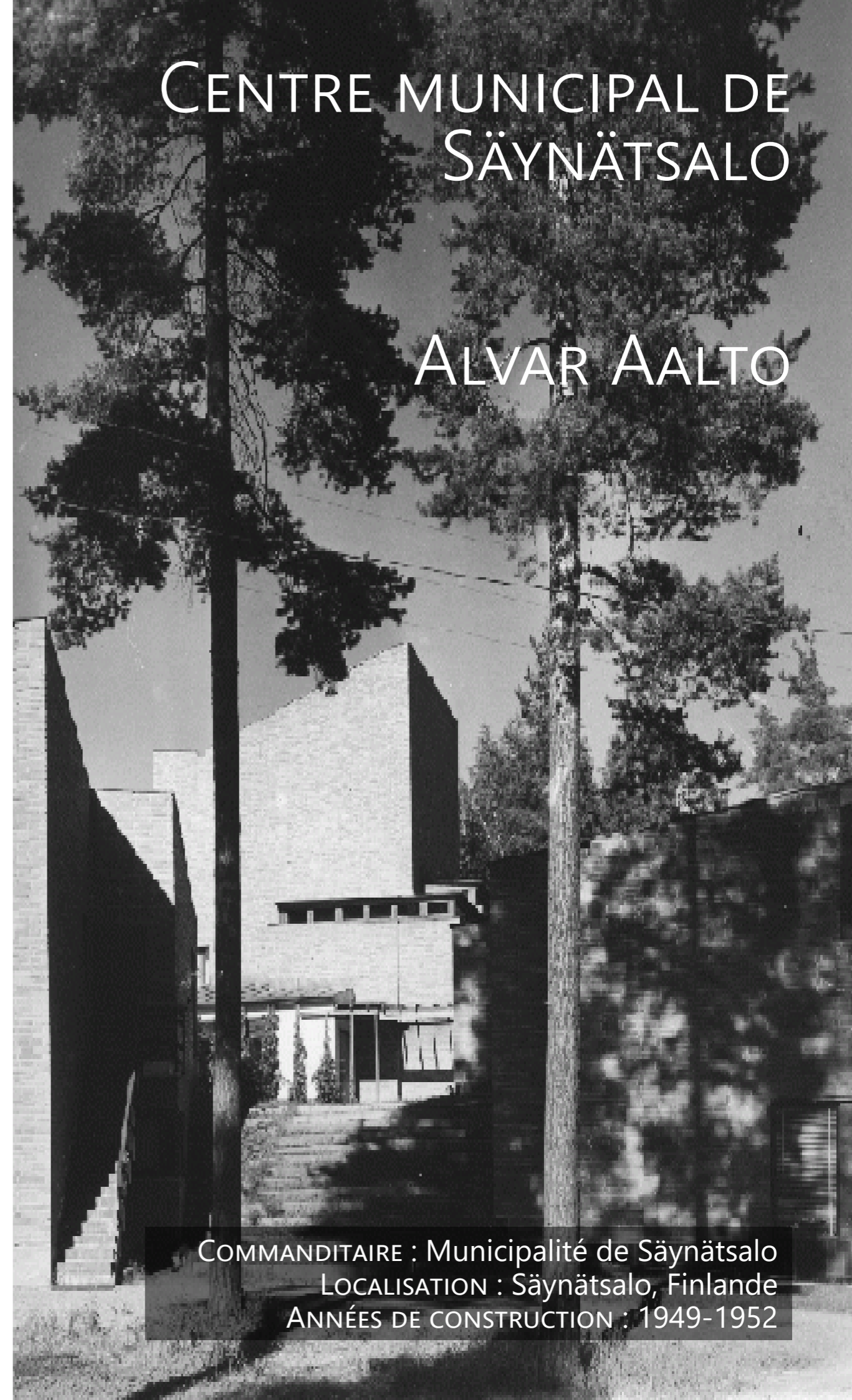
PROJET D'INTRODUCTION AUX PRINCIPES CONSTRUCTIFS DU BÂTIMENT

JAUSSAUD Juliette
QUITTANÇON Joey
SIREN Wahid
2016-2017

CENTRE MUNICIPAL DE SÄYNÄTSALO

ALVAR AALTO

COMMANDITAIRE : Municipalité de Säynätsalo
LOCALISATION : Säynätsalo, Finlande
ANNÉES DE CONSTRUCTION : 1949-1952



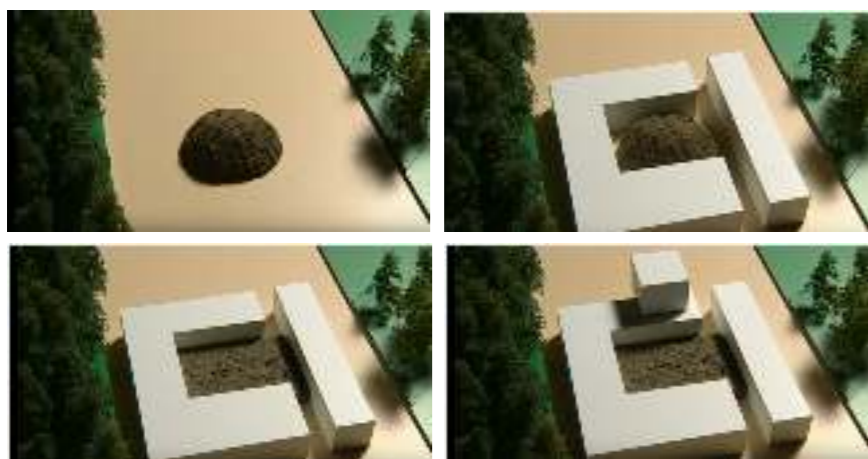
PROGRAMME

A sa conception, ce bâtiment était destiné à être un hôtel de ville pour la petite commune de Säynätsalo, qui comptait environ 2000 habitants. Depuis que Säynätsalo a été rattachée à Jyväskylä en 1993, c'est aujourd'hui un centre municipal. Le programme prévoyait une salle d'accueil pour le conseil municipal, une bibliothèque, 5 locaux pour des commerces, 5 bureaux et 2 salles de réunions pour l'hôtel de ville, et des logements de fonction.

INFLUENCES - VILLE IDÉALE ET RENAISSANCE

Aalto a beaucoup été influencé par l'architecture italienne, et tout particulièrement les constructions toscanes de la renaissance. L'idée de la «ville sur la coline», ainsi que celle de la «cité idéale» de l'Italie de la renaissance l'obsèdent. Les peintures de Mantegna reflètent ces idéaux.

On retrouvera ces références dans l'architecture du bâtiment : Aalto a dessiné une coline artificielle, entourée de quatre bâtiments, et surplombée par une tour carrée. Cette coline aplanie deviendra un patio autour duquel le centre communal s'articule, comme dans l'architecture antique, et en conditionne l'organisation.

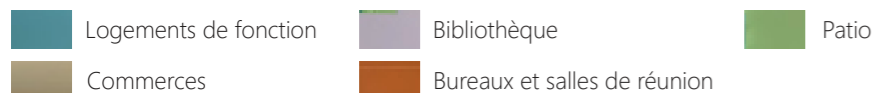


Implantation du bâtiment autour du patio*

LA MISE EN SCÈNE DE L'ESPACE URBAIN

Aalto offre un traitement particuliers aux volumes de son édifice. Les quatre corps de bâtiment qui entourent le patio développent une complexité singulière : porte-à-faux, murs obliques, décrochés... Pour l'architecte, c'est un moyen d'évoquer la complexité de l'espace public.

Deux escaliers donnent accès au patio : l'un en granit, très majestueux, et l'autre planté d'herbe. Le patio permet de transformer le bâtiment en nouvel espace urbain.



Complexité des volumes de l'édifice, et répartitions des différentes fonctions dans le bâtiment*

ORGANISATION - FONCTIONS ET ESPACES

Chaque fonction occupe un côté du quadrilatère entourant le patio. Tous les bâtiments ne font qu'un seul étage à l'exception de la tour abritant la salle de réunion du conseil municipal. Cette dernière mesure 17 m de hauteur. Quand on demanda à Aalto pourquoi elle mesurait précisément cette hauteur, il rétorqua qu'à Sienne, la tour de l'Hôtel de ville faisait 16 m, et que celle de Säynätsalo pouvait bien faire un mètre de plus.

Moins anecdotiquement, cela rappelle qu'Aalto veut assurer la supériorité des bâtiments civiques sur les bâtiments commerciaux, ce qui permet également de comprendre l'organisation du centre communal. Les commerces se situent au rez-de-chaussée, alors que les bureaux, les logements de fonction et la bibliothèque occupent chacun une aile du bâtiment et encadrent le patio. La tour abritant la mairie surplombe largement l'ensemble, et atteint une hauteur de 10 m sous plafond.

DES ESPACES PARTICULIERS

LA SALLE DU CONSEIL

Solennelle, la salle du conseil atteint une hauteur de 10 m, et rappelle presque une Eglise. On ressent la sacralisation qu'Alvar Aalto a attribué à cette pièce en observant ses croquis : Les rayons qui récupèrent les efforts dans les poutres papillon qu'il a dessiné se reflètent avec les rayons de la lumière, créant un sablier. Le message sous-jacent semble être que les forces réunies éclairent les décisions du conseil.

LA BIBLIOTHÈQUE

La bibliothèque est le seul lieu du centre communal où Alvar Aalto applique réellement les préceptes du mouvement moderne. Plan libre soutenu par des poutres en béton, sans aucune paroi intérieure, c'est la seule pièce traversante du bâtiment. Orientée vers le sud, elle possède une façade entièrement vitrée.



Croquis d'Alvar Aalto montrant la salle du conseil et façade de la bibliothèque*

UNE GRADATION DE LA NATURE

Alvar Aalto n'a pas modifié la forêt qui entoure l'édifice. Il a pris le soin de mettre en place des escaliers qui se végétalisent naturellement, puis un patio entretenu, possédant deux pavages en briques, et un bassin qui rappelle le lac de Säynätsalo. Le bâtiment impose sa présence graduellement dans le paysage.

LUMIÈRE ET MATÉRIAUX

S'affranchissant du matériau de prédilection du mouvement moderne - le béton - Alvar Aalto met à l'honneur la brique, matériau traditionnel dans les pays nordiques. Aalto privilégie ce matériau car chaque brique est unique, et que chaque mur est une composition qui montre le talent des artisans qui le réalise. Il varie les formes et les couleurs des briques, et conserve même 5% de briques brûlées ou abimées sur ses murs. L'alternance des briques et les joints - en retrait de 15 mm sur les murs - permettent de faire jouer la lumière. A la brique, Aalto associera le bois et le verre dans le reste du bâtiment.

Dans la salle d'un conseil municipal, Aalto propose un autre traitement de la lumière : diffuse, elle provient d'un grande fenêtre carrée obstruée par des volets intérieurs, qui fonctionne comme un vitrail. Dans les coursives qui entourent le patio, Aalto veille aux détails et orientent les lampes vers l'extérieur afin de ne pas éblouir ceux qui les empruntent.

Alvar Aalto a également dessiné le mobilier du complexe, en créant des pièces parfois assez austères privilégiant le cuir noir et le bois.



Effets du soleil sur le mur en briques extérieurs*



Coursive menant à la salle du conseil



Bibliothèque*

MATÉRIAUX UTILISÉS ET CARACTÉRISTIQUES

BRIQUE

La brique, est le matériau principalement utilisé pour presque tous les éléments structuraux du bâtiment.

La brique est un élément de construction constitué de terre argileuse crue, séchée au soleil ou cuite au four, employée principalement dans la construction de murs.

La résistance moyenne de brique sur la **compression** peut atteindre **30 N/mm²**. Cependant, la brique ne résiste pas bien aux forces de traction. Pour cette raison, elle a été utilisée particulièrement dans les murs et les dalles.

BOIS

Le bois est une matière homogène qui est utilisé depuis longtemps dans les différents types des constructions, et particulièrement remarquable par sa capacité de résistance sous les forces de **traction** ou de **compression**.

Aujourd'hui, une grande variété de bois est utilisée sur les chantiers, qui varie soit au niveau des dimensions, soit au niveau de leur résistance. Par exemple, un bois de type C24 peut supporter **14N/mm²** en traction et **21 N/mm²** en compression. Dans ce projet, Alto a utilisé le bois au travers de poutres afin de transmettre les charges du plafond sur les murs.

BÉTON

Le béton armé est un des matériaux les plus utilisés dans le domaine de la constructions, étant donné qu'il peut résister à une force de compression qui peut atteindre **50KN/m²**.

Alto a essayé de limiter l'utilisation du béton dans ce projet - vu ici comme une matière industrielle difficile à harmoniser avec la nature. La présence de béton est donc limitée aux poteaux et aux poutres de la bibliothèque.

ELEMENTS STRUCTURAUX REMARQUABLES

LES POUTRES DE LA SALLE DU CONSEIL MUNICIPAL

Dans la salle de conseil municipal, l'architecte a profité de la facilité de modélisation du bois pour concevoir et faire construire deux poutres sous la forme d'un papillon. Alors que la salle a des dimensions importantes, seules ces deux poutres supportent la charpente.

Pour leur principe de fonctionnement, une poutre principale combine les efforts de 16 poutres secondaires.

LES MURS ET LE PATIO

En observant le plan, on peut constater facilement qu'Alto s'est servi des murs en briques comme éléments structuraux afin de transférer les charges au sol.

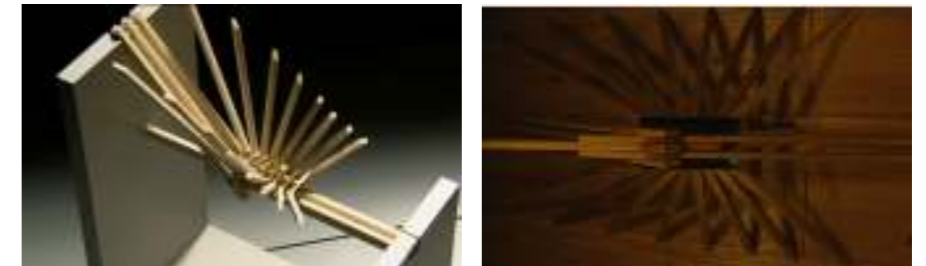
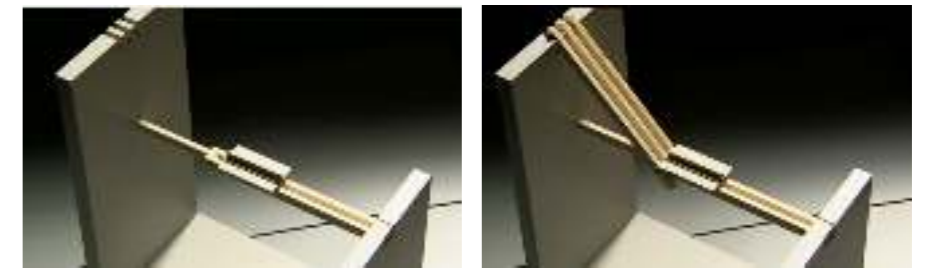
D'autre part, Alto a utilisé des poutres rectangulaires en bois pour les couloirs qui entourent le patio. Ces poutres reposent directement sur les murs en briques. En ce qui concerne les autres salles, les dalles se reposent directement sur les murs.

UN SYSTÈME POTEAUX-POUTRES POUR LA FACADE DE LA BIBLIOTHÈQUE

Afin de créer une espace bien éclairé dans la bibliothèque, Alvar Aalto a mis en place une facade vitrée. Pour ce faire, il a remplacé le mur de briques par une succession de poteaux en béton qui supportent les efforts.

PLAN STRUCTUREL DE SYNTHÈSE

Le plan structurel suivant reprend nos principales hypothèses en terme de structure, et identifie les trois points qui seront abordés plus en profondeur dans la suite du document.



Principe de fonctionnement d'une poutre papillon, et photographie du plafond de la salle du conseil
source : documentaire Architecture (ARTE)



MATÉRIAUX ET INERTIE THERMIQUE

LA BRIQUE

La brique offre une isolation assez correcte et permet un bon confort d'été. Le choix d'Aalto d'utiliser ce matériau reste assez controversé pour le climat froid prédominant en Finlande. Le confort thermique apporté par la brique dépend surtout de la qualité de la pose et la technique des joints.

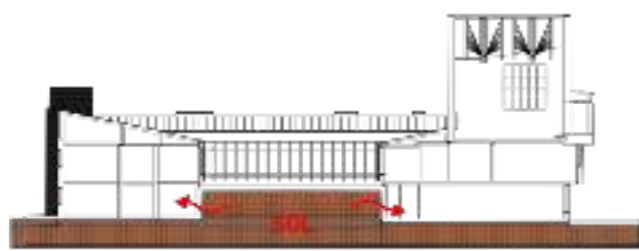
La cuisson de la brique nécessite beaucoup d'énergie, son énergie grise est donc assez importante, de l'ordre de 700 Kwh/m³. De plus, la brique n'est pas un matériau isolant. En revanche, elle possède une excellente inertie thermique. Ceci se traduit par une régulation des différences de températures intérieures. En été, il fait plus frais le jour car le mur se rafraîchit la nuit, rendant cette fraîcheur au cours de la journée.

LE PATIO

Le Patio surélevé apporte un atout majeur à la régulation de la température de l'hôtel de ville. Une partie des murs étant directement en contact avec le sol, la température est régulée automatiquement.

En effet, la température de la terre ne varie pas beaucoup et de ce fait, la fraîcheur est conservée les journées d'été et la chaleur est conservée pendant l'hiver.

Le Patio surélevé permet donc de profiter de l'isolation de la terre du côté intérieur du bâtiment, mais l'éclairage et l'humidité sont régulées par les façades extérieures qui ne sont pas enterrées.



Distribution de chaleur emmagasinée au niveau du patio dans le bâtiment
source coupe : wikiarchitecture, colorisation réalisation personnelle

SYSTÈME DE CHAUFFAGE

Au niveau des couloirs longeant le patio, l'architecte a été très attentif au confort thermique et visuel des usagers : des radiateurs sont placés sous des banquettes au-dessous des grandes baies vitrées. Cela permet aux utilisateurs de s'asseoir confortablement mais surtout de ne pas avoir froid, la chaleur émanant des radiateurs créant un rideau thermique le long des baies vitrées.

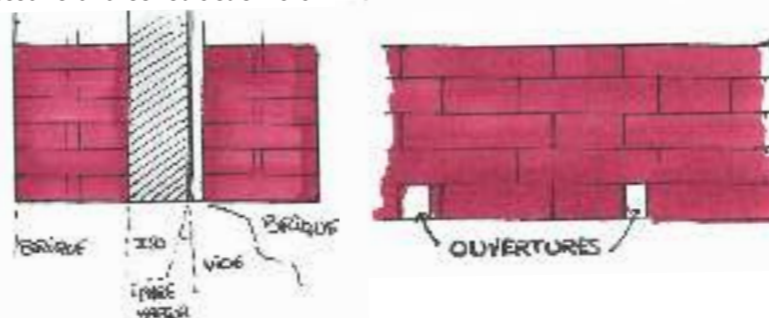
De plus, Aalto a pris soin de créer une bande d'air entre les briques reliées à la vitre et celles formant la banquette. L'air étant un excellent isolant thermique, il crée ainsi une barrière contre le froid, et évite un pont thermique au niveau de la banquette.



Banquette dans une des coursives entourant le patio. Un radiateur se situe en dessous, et l'espace entre les briques reliées aux vitres et celle de la banquette empêche un pont thermique

L'ÉTUDE THERMIQUE DES MURS

Pour viser la construction d'un bâtiment répondant aux exigences de la réglementation thermique RT2012, un mur doit avoir une résistance thermique $\geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. On cherche à déterminer la quantité d'isolant nécessaire à la construction d'un mur.



Composition d'un mur et détail des ouvertures en bas de façade

En partant de briques rouges en terre cuites vendues sur le marché actuel, on fait l'hypothèse que les briques utilisées pour l'hôtel de ville de Säynätsalo sont des briques de dimensions 220*110*60 mm.

La documentation donne pour cette masse volumique une conductivité thermique $\lambda_{\text{intérieur}} = 0.81 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ et $\lambda_{\text{extérieur}} = 1.61 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$

La résistance thermique de la couche extérieure vaut $R_{\text{th}} = \Sigma(e/\lambda) = 0.22/0.81 = 0.272 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

La résistance thermique de l'ensemble de la couche vaut : $R_{\text{th}} = \Sigma(e/\lambda) = 0.22/1.61 + X/0.032 = 0.137 + X/0.032 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Les ouvertures dans la première partie du mur permettent de laisser passer l'air entre l'isolant et la brique afin d'éviter tout risque de condensation. Cela n'influe pas la résistance thermique du mur, mais la lame d'air présente ne vient pas consolider l'isolation globale.

Le mur possède donc une résistance thermique de $R_{\text{thGlobale}} = 0.309 + X/0.032 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Pour parvenir à une résistance thermique suffisante, il faut donc une épaisseur d'isolant de $X = 11,8 \text{ mm}$ d'épaisseur.

Le mur aurait donc une épaisseur globale de **57,8 cm**

Pour conserver la valeur architecturale des murs, on préconise donc d'épaissir les murs pour qu'ils atteignent une largeur totale de 57,8 cm

LES PAROIS VITRÉES

LE CHOIX DES VITRAGES

Faire les bons choix des menuiseries et des vitres est efficace pour réduire les pertes énergétiques et par conséquent, réduire les dépenses liées au chauffage.

Dans le cas de notre projet et pour des raisons architecturales, Alvar Alto a essayé d'assurer un maximum de luminosité à l'intérieur du bâtiment mais en utilisant le moins possible les espaces vitrés dans les coursives, les vitrages sont donc visibles surtout sur la façade de la bibliothèque et au niveau du patio.

La conductivité thermique classique pour les vitres est calculée comme toutes les conductivités en utilisant la formule $U_p = \frac{1}{r_{\text{ext}} + r_{\text{se}} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i}}$ en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

En ce qui concerne notre étude on a choisi des vitres type double vitrage ITR (isolation thermique renforcée). Pour ce modèle, l'isolation se fait par l'une des deux vitres qui est traitée spécialement pour diminuer sa conductivité grâce à une mince couche transparente d'atomes d'origine métallique (l'argent dans notre cas) et aussi par l'utilisation de l'argon, un gaz qui améliore un peu la performance d'isolation thermique.

Avec l'utilisation de cette technologie, la conductivité diminue jusqu'à 0,5 voire 0,7 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$, sachant que l'isolation d'un double-vitrage classique est autour de 1.1 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

TAUX DE VITRAGE DES FACADES

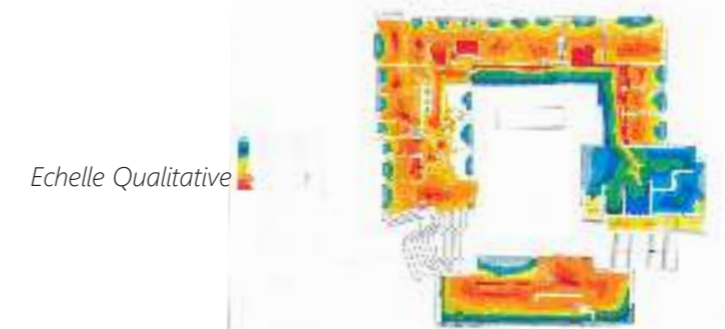
L'hôtel de ville de Säynätsalo est entouré d'arbres, la quantité de vitrage sur chacune des façades dépend donc de ceux-ci, ainsi que de leur exposition au soleil. Toutes les façades donnant sur le patio ont une grande dominance de vitrage, particulièrement celles orientées vers le Sud et l'Est. Cette tendance se retrouve avec les façades extérieures. Les façades Nord et Ouest possèdent une quantité de vitrage d'environ 11.5% et 10% respectivement, alors que les façades Sud et Ouest sont composées de 27% et 23.6% de vitrage.

L'architecture du bâtiment est donc pensée pour profiter de l'éclairage et de la chaleur du soleil. 5Cf. Illustrations en page 3/7)

CONSIDÉRATIONS THERMIQUES GLOBALES

En représentant les zones plus froides de l'hôtel de ville de Säynätsalo, on remarque que la salle du conseil a une température plus faible que dans le reste du bâti. Cela est dû à sa hauteur, puisque la pièce possède un très grand volume, haut de 10m, et au peu de lumière qu'elle reçoit.

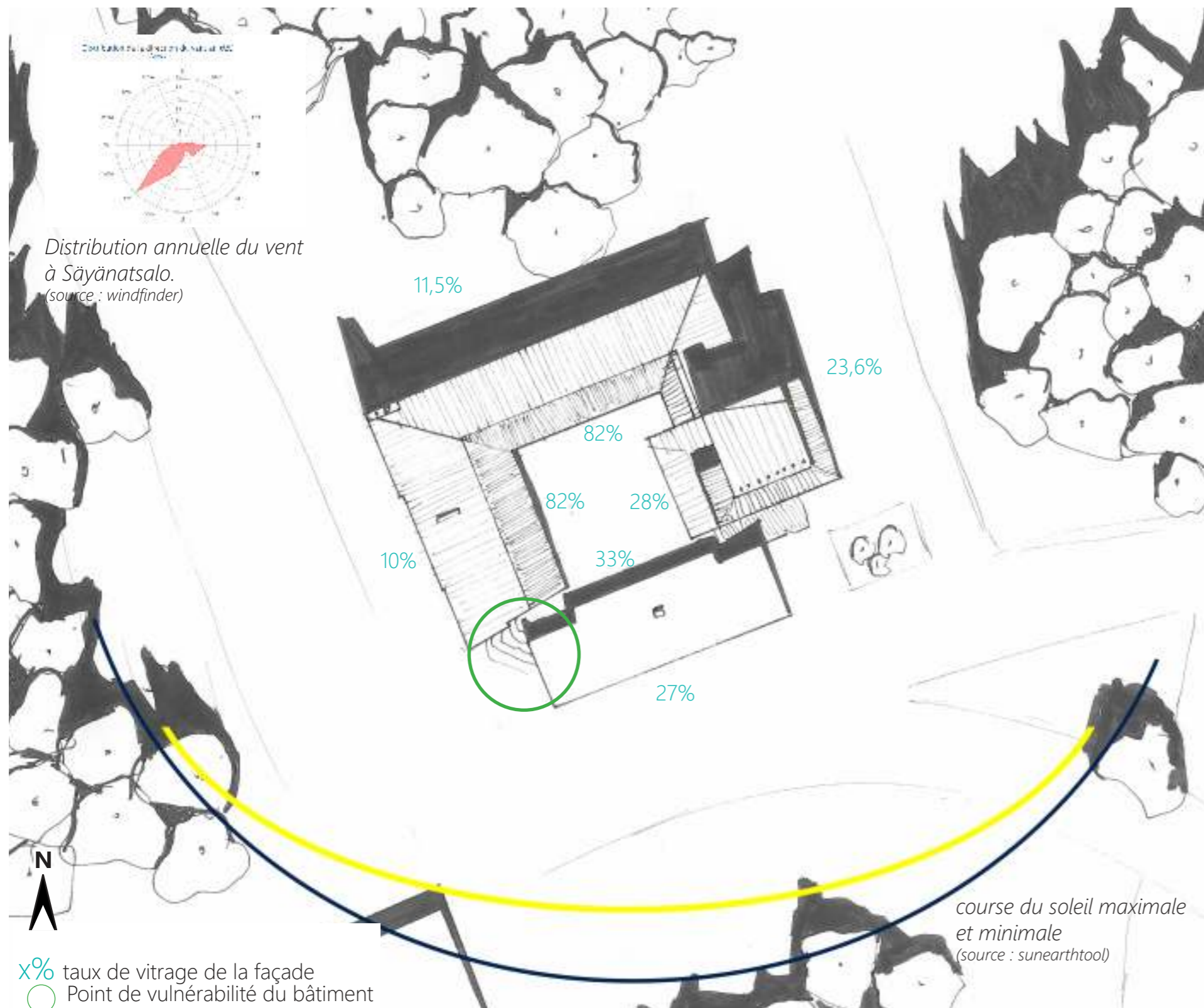
Il faut donc songer à isoler davantage sur cette partie du bâti, notamment le plafond, pour atteindre une résistance thermique de 4,5 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ comme le demande la RT2012



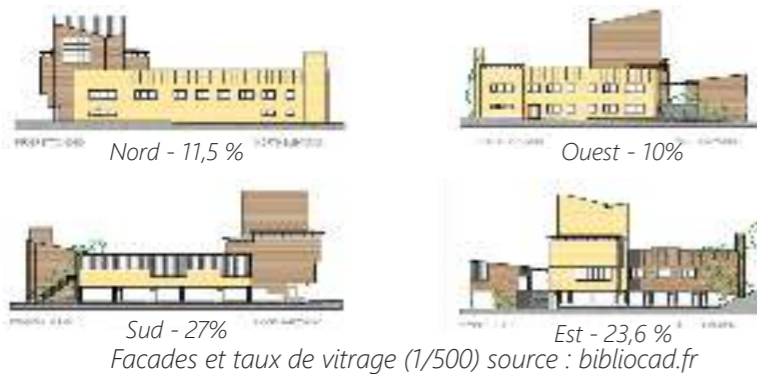
Estimation des variations de température. Réalisation personnelle.

La bibliothèque est aussi une zone plus froide de l'ouvrage, une isolation par un double mur béton-isolant-béton peut venir pallier ce problème en offrant une bonne isolation à cette partie du bâtiment.

Nous prenons du béton armé, soit $\lambda_{\text{intérieur}} = 1.7 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ et $\lambda_{\text{extérieur}} = 2.2 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$, et on obtient une résistance thermique de 5,1 $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$



Plan masse bioclimatique ombré présentant la course du soleil, la rose des vents et le taux de vitrage des façades. Réalisation personnelle.



Vitesse du vent	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Direction du vent	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖
Probabilité de vent > 4 (km/h) (%)	1	3	4	4	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Moyenne mensuelle (km/h)	1	1	2	3	3	2	2	1	2	1	2	1	1
Temp. moyenne mensuelle (°C)	-3	-2	-1	1	5	12	16	18	17	12	6	2	-1

Distribution mensuelle et vitesse du vent, et températures moyennes à Sälänatsalo. Source : windfinder

CONDITIONS BIOCLIMATIQUES

VENT ET TEMPÉRATURES MOYENNES

L'étude des tendances annuelles du vent nous a permis d'obtenir qu'il est majoritairement orienté vers le Sud-Ouest, mais qu'un vent d'Est est également présent de façon significative, et ce avec une vitesse moyenne de 1,8kts.

Les températures moyennes mensuelles varient quant à elles de -9°C - en février - à 20°C - en juin, ce qui rappelle que Sälänatsalo se trouve dans l'archipel finlandais et possède un climat relativement rude.

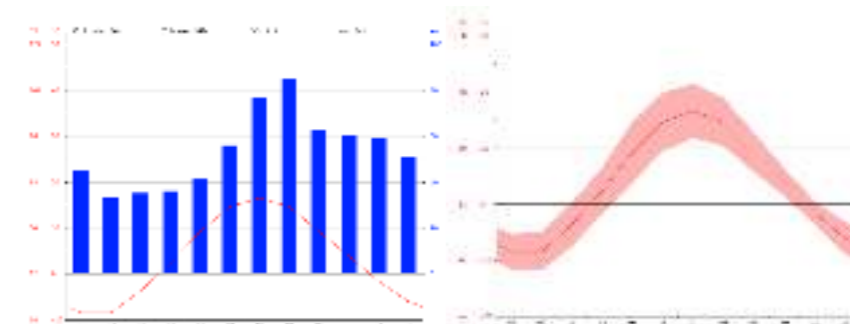


Diagramme climatique et courbe des températures source : climate-data.org

EXPLOITATION DES DONNÉES BIOCLIMATIQUES

UN VENT VULNÉRABILISANT LE BÂTIMENT

Un accès au patio se situe à l'angle Sud-Ouest du bâtiment, alors que c'est dans cette direction que le vent est le plus fréquent et le plus violent.

Il faudrait envisager de protéger d'avantage cet accès, peut être par la plantation d'arbres plus proche de l'escalier, qui contribuerait à protéger le patio.

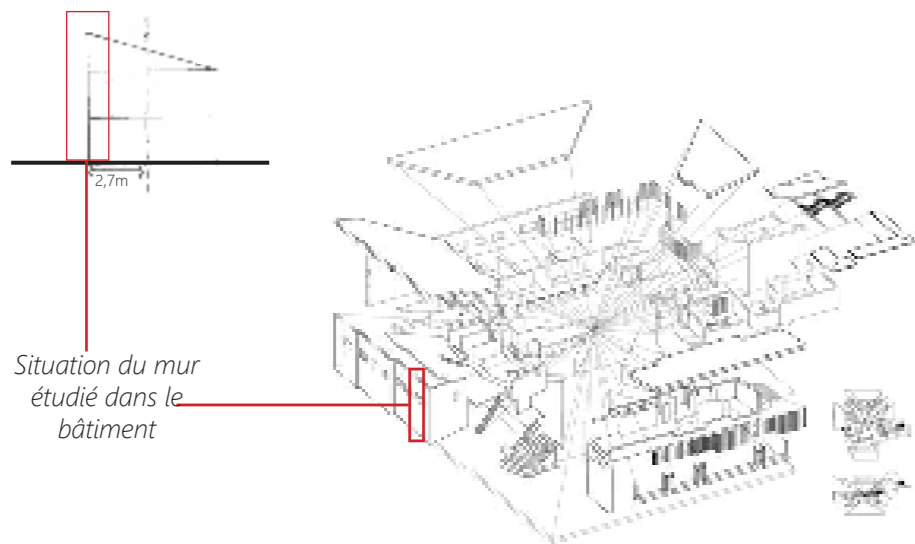
UNE VOLONTÉ DE PROFITER DES APPORTS SOLAIRES

Les taux de vitrages importants sur les façades exposées au soleil - et notamment celles du patio, orientées au Sud et à l'Est et offrant des apports solaires non négligeables à deux corps du bâtiment supplémentaires - sont cohérents avec l'orientation du bâtiment. Ils offrent l'opportunité au bâtiment de tirer profit de l'exposition pour compenser les températures particulièrement basses de l'archipel finlandais.

UN ENVIRONNEMENT PROTÉCTEUR

Bien que situé dans un milieu urbain, le tissu du bâti aux abords de l'Hôtel de ville est peu dense et celui-ci est entouré de végétation, principalement de hauts pins.

Cependant, l'espace au Sud est plus dégagé pour profiter de l'exposition solaire, et la protection contre le froid ou le vent - notamment contre le léger vent d'Est auquel est soumis le bâtiment - a plutôt lieu à l'Est et surtout au Nord.

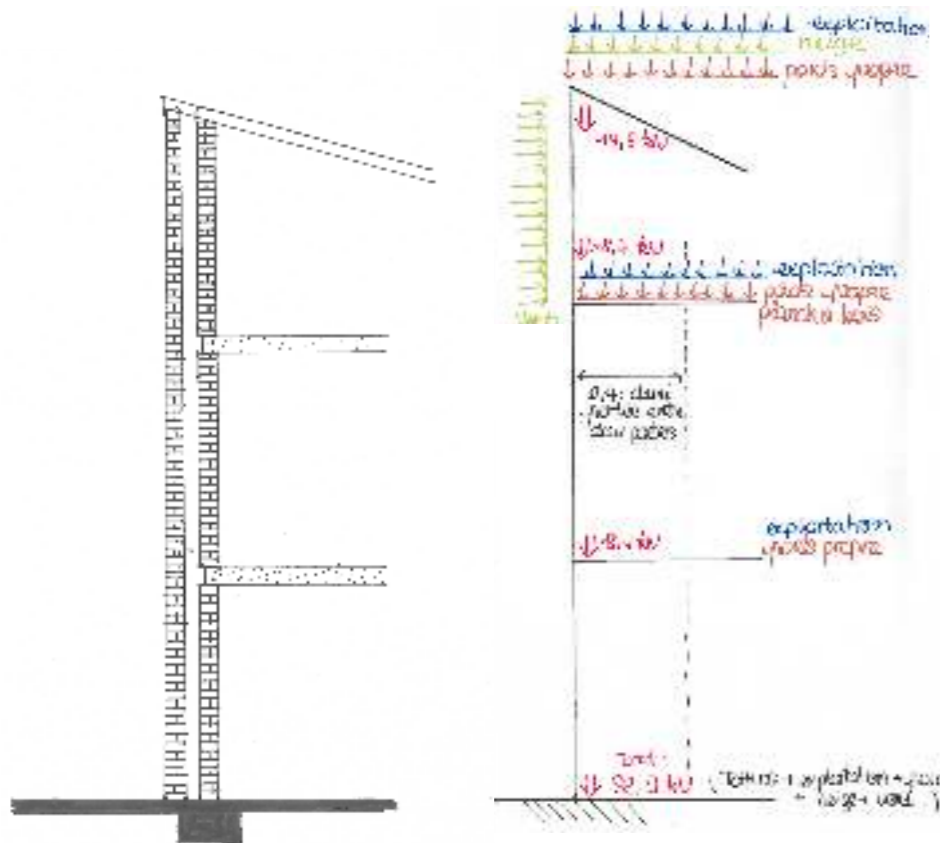


Situation du mur étudié dans le bâtiment

Coupe. de principe. Réalisation personnelle Axonométrie. Source : pinterest

HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION

- Seul la couche intérieure du mur double en brique est considérée comme porteuse. Tous les calculs se concentreront sur elle.
- Le vent est négligé dans les calculs car le mur considéré est relativement protégé de cette force.
- Les charges de neiges sont importantes (Finlande) $Q_{neige} = 2,5 \cdot 0,7$



Mur étudié, et schématisation

CALCUL DES EFFORTS

Dans un premier temps, on calcule les efforts dans le mur, sans tenir compte des modalités de liaison au niveau des planchers. Cette première vérification permet de s'assurer qu'en première approche, le mur résiste à la compression due aux charges courantes.

On effectue un calcul à l'ELU :
 $1,35G + 1,5Q + 1,5\Phi_i Q = 5,37$

On a une portée de 5,2m entre deux murs porteurs, donc le mur travaille sur 2,7m
 $5,37 \cdot 2,7 = 14,5 \text{ kN}$

On raisonne de même pour tous les murs.

Puis, pour avoir les contraintes : $\sigma = \frac{14,5}{0,22}$

CALCUL DE LA RÉSISTANCE DU MUR À LA COMPRESSION AU NIVEAU DES PLANCHERS

HYPOTHÈSES

On considère que les plancher en béton viennent s'encaster dans les murs en brique.

Mur en briques

- Poids propre : $g_b = 2 \text{ kN/m}^2$
- Résistance caractéristique : $f_k = 2,6 \text{ MPa}$
- Résistance de calcul : $f_d = 1,2 \text{ MPa}$

Plancher en béton :

- Poids propre : $g_c = 1,8 \text{ kN/m}^2$
- Charges d'exploitation : $q_c = 1,5 \text{ kN/m}^2$

On raisonne pour un mur d'un mètre de largeur et on va effectuer une vérification à l'ELU. La sollicitation doit rester inférieure à la résistance de calcul. La méthode utilisée s'appuie sur l'Eurocode 9.



Schéma de l'encastrement

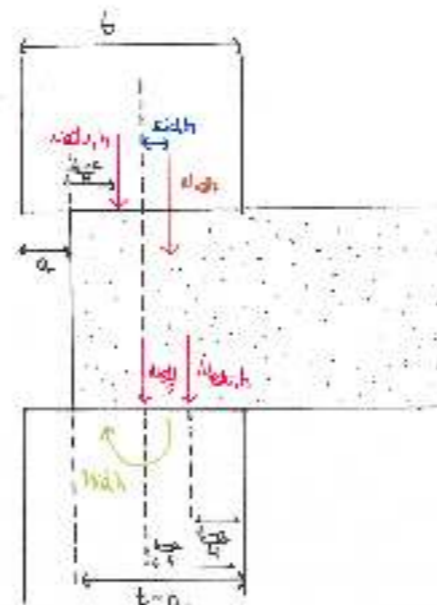


Schéma expliquant la situation dans le cadre du calcul des charges en tête de mur

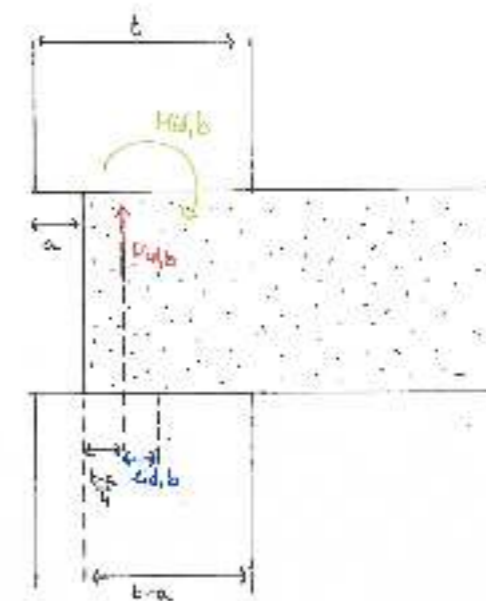


Schéma expliquant la situation dans le cadre du calcul des charges en pied de mur

CHARGES EN TÊTE DE MUR :

Charges en tête de mur :

- Résultante des charges : $N_{tot,h} = N_{mur,h} + N_{planch,h}$
- Charge due au mur supérieur : $N_{mur,h} =$
- Charge due au plancher : $N_{planch,h} = 1,35g_c \cdot \text{demi-portée} + 1,5q_c \cdot \text{demi-portée}$

Excentricité en tête de mur :

- $e_{gr} = \text{Max} \left(\frac{M_{tot,h}}{N_{tot,h}} + e_{max} \text{ ou } 0,05t \right)$
- Le rapport $\left(\frac{M_{tot,h}}{N_{tot,h}} \right)$ représente la valeur de l'excentricité de la charge résultante $N_{tot,h}$ des murs et du plancher
- Calcul du moment fléchissant en tête de mur : $M_{tot,h} = N_{planch,h} \cdot \frac{a}{2} = N_{planch,h} \cdot (t + a) / 4$
- On considère que le mur a une hauteur effective de 1,9m et par hypothèse $N_{mur,h} = \frac{1,9 \cdot g_b}{2}$

Coefficient de réduction en tête de mur vaut : $\phi_{gr} = 1 - \frac{e_{gr}}{t}$
 Résistance de la maçonnerie en partie supérieure : $N_{red,h} = \phi_{gr} f_d$
 Vérification de la résistance : il faut avoir $N_{tot,h} \leq N_{red,h}$

CHARGES EN PIED DE MUR :

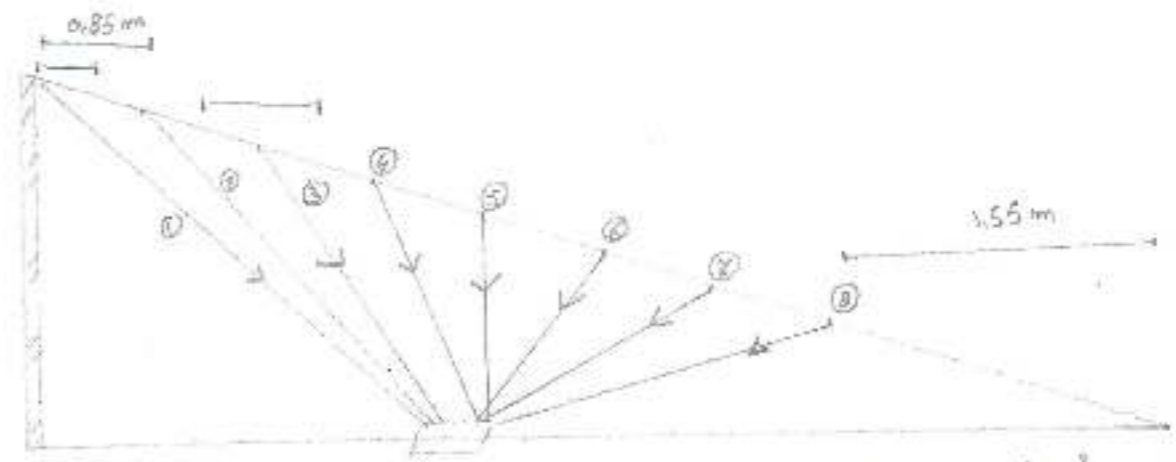
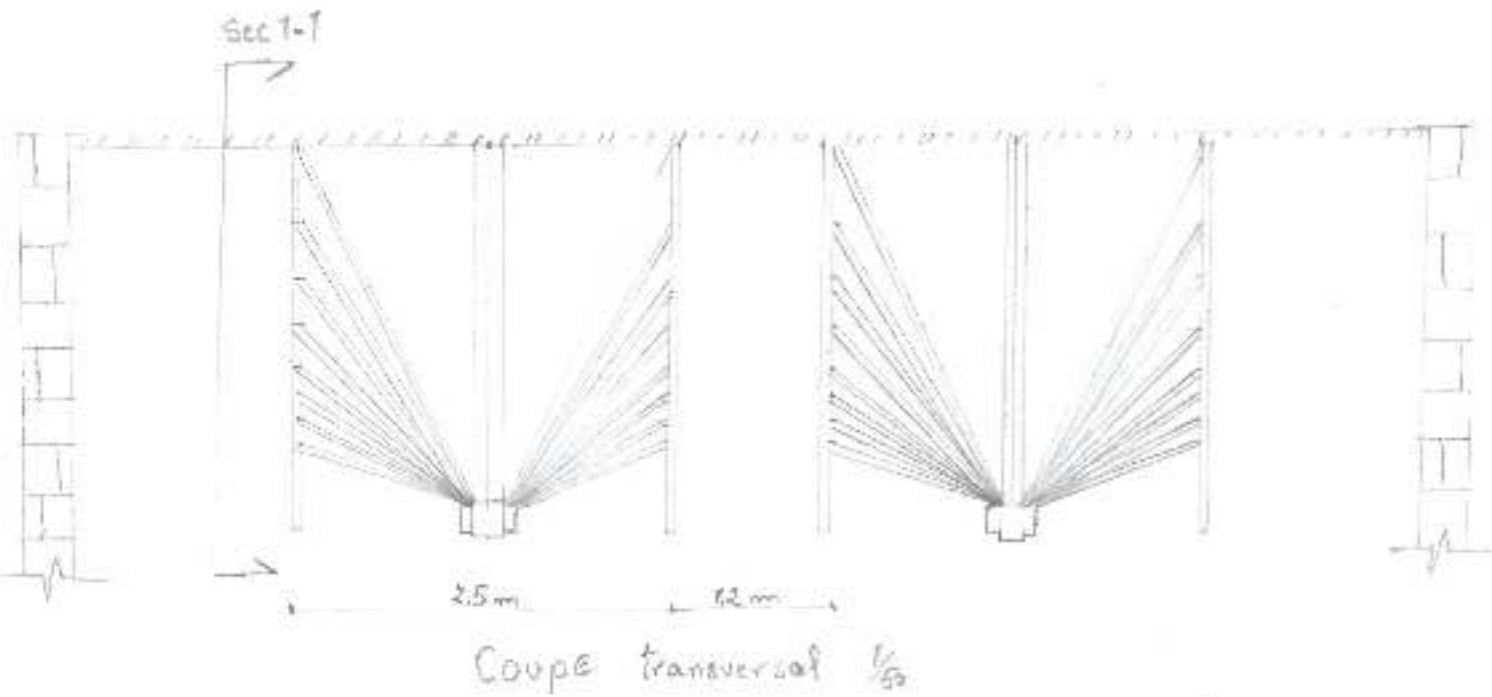
Le raisonnement est similaire à celui exposé précédemment

VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE :

A l'aide d'un tableur, on systématise les calculs - ce qui permettrait de faire bouger les paramètres comme a, ou t si les valeurs obtenues n'étaient pas correctes - et on vérifie la résistance :

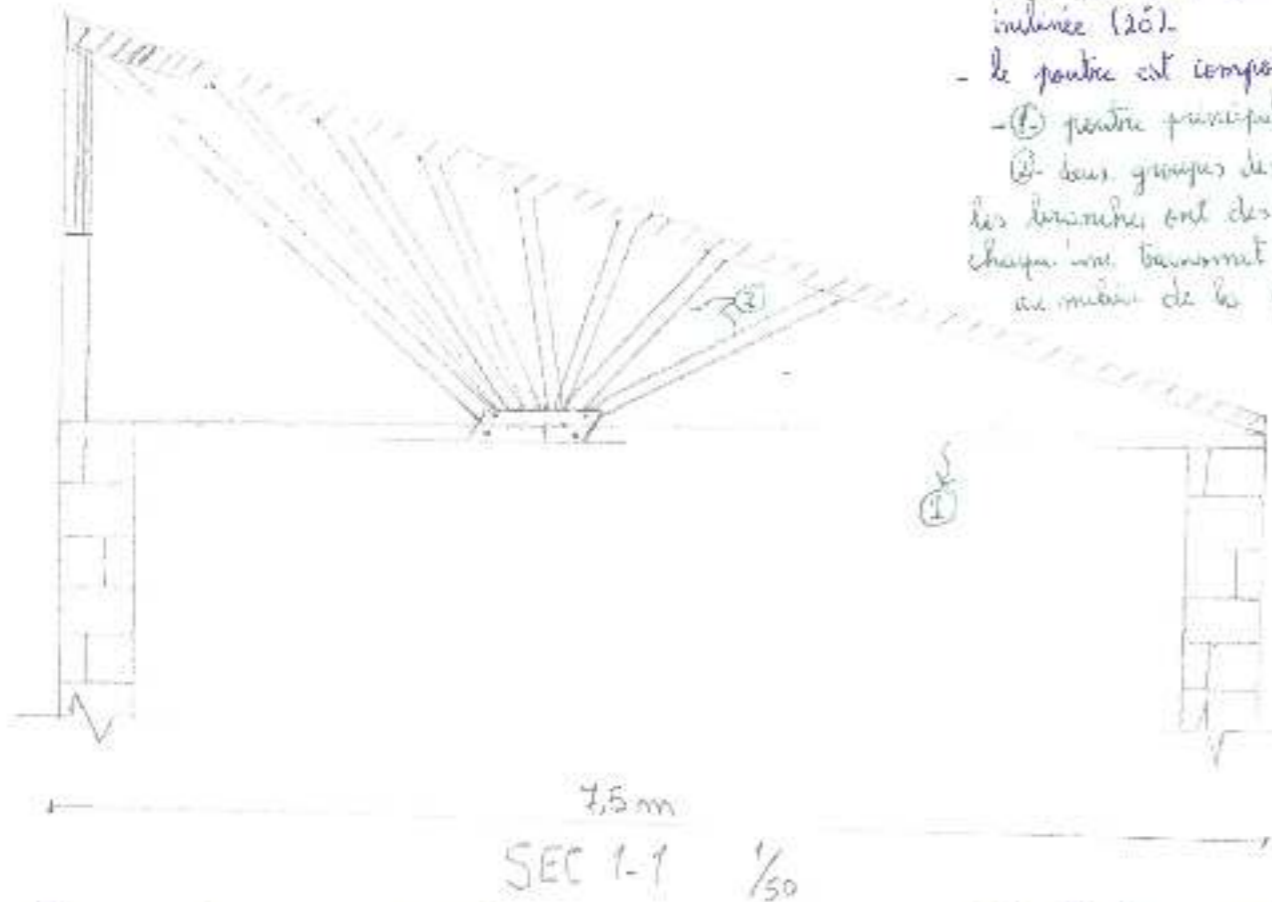
	tête de mur 2	tête de mur 1	Pied de mur 2	Pied de mur 1
N_{tot,h}	26,2	27,2	26,2	27,2
N_{red,h}	19,42	12,32	19,42	25,66
	OUI N_{tot,h} < N_{red,h}	OUI N_{tot,h} < N_{red,h}	OUI N_{tot,h} < N_{red,h}	OUI N_{tot,h} < N_{red,h}

Les calculs au niveau des deux planchers confirme que le mur est soumis à une compression en deça de sa résistance limite à la compression ; le mur en l'état est donc bien dimensionné.



Description:

- Dans la salle de réunion (8,5 x 4)m, deux poutres papillon supportent la toiture inclinée (20°).
- la poutre est composée de deux parties:
 - (1) poutre principale de 6,5m
 - (2) deux groupes des branches symétriques
- les branches ont des longueurs différentes chaque une transmet une partie des charges au milieu de la poutre principale



chaque branche va prendre les charges de la moitié d'un triangle de chaque côté:
 - 1- l'angle d'inclinaison $\alpha = 65^\circ$
 - 2- l'angle $\alpha = 70^\circ$

la force transmise au poutre:
 $N_1 = \frac{1}{2} \frac{2,6}{\sin 65} = 4,7 \text{ kN}$

$10,035(0,85) = 8,5 \text{ kN}$
 $N_2 = \frac{8,5}{\sin 70} = 9,04 \text{ kN}$

en utilisant la même méthode on trouve:
 $N_3 = 8,8 \text{ kN}$ $N_4 = 8,1 \text{ kN}$ $N_5 = 8,53 \text{ kN}$ $N_6 = 8,3 \text{ kN}$ $N_7 = 9,3 \text{ kN}$
 $N_8 = 26,3 \text{ kN}$

la force finale appliquée sur la poutre est égale à la somme de $N_1 \dots N_8$ projeté sur l'axe vertical:
 $P = 75,26 \times 2 = 150,5 \text{ kN}$
 deux côtés

$M = \frac{P \cdot l}{4} = 281 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$

en supposant que les dimensions de la poutre (60x40)cm
 $\sigma = 26,34 \text{ kN/cm}^2$

- pour simplifier l'étude on va étudier juste la moitié et après on multiplie les forces par 2.



pour un bois C17: $\sigma = 27 \text{ N/mm}^2$
 et la poutre acceptée.

- Les charges appliquées sur la toiture:
- le poids propre de la toiture en bois (3,5 kN/m²)
 - le vent: 0,6 kN/m²
 - la neige: 2,5 kN/m²
 - charge d'exploitation: 0,75 kN/m²

on va calculer les forces sur la toiture selon l'ELU:

- l'épaisseur de la toiture 15 cm \rightarrow
 $0,15(3,5) = 0,525 \text{ kN/m}^2$
 - le vent:
 $\sin 20 = \frac{x}{0,6} \Rightarrow x = 0,205 \text{ kN/m}^2$

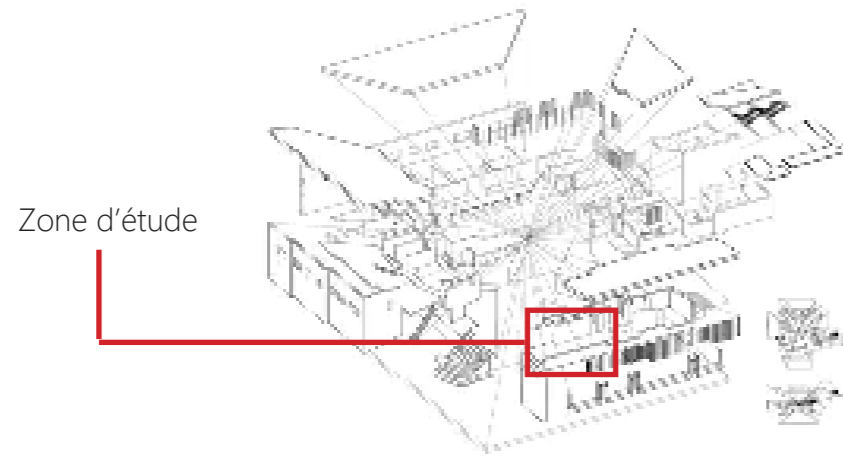
ELU (neige) = $1,35(0,525) + 1,3(0,75) + 0,7(2,5)$
 $= 4,46 \text{ kN/m}^2$

ELU (vent) = $1,35(0,525) + 1,5(0,75) + 0,8(2,05)(1,5)$
 $= 2,07 \text{ kN/m}^2$

le cas avec la neige est plus critique.

chaque poutre prendra: $4,8(4,46) = 20,07 \text{ kN/m}^2$
 chaque groupe des branches $\frac{20,07}{2} = 10,035 \text{ kN/m}^2$

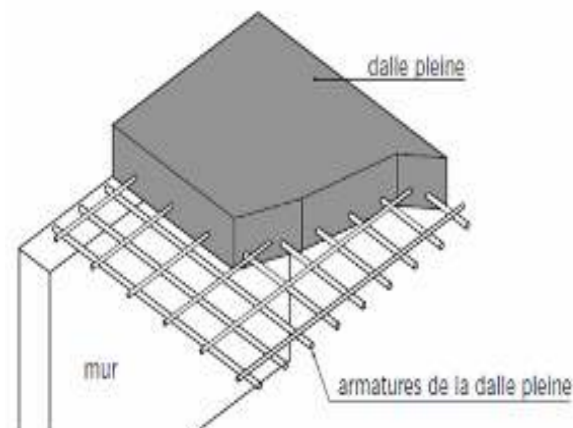
ETUDE DE LA DALLE DANS LA BIBLIOTHÈQUE SUR L'AXE DE PLUS GRANDE PORTÉE.



On considère une dalle de 12 cm d'épaisseur.
 Les poutres de la bibliothèque ont une portée de 7m.
 G= charge permanente = 60 N
 S = charge de neige = 50kN
 Béton utilisé tel que $f_{\text{béton}}=25\text{MPa}$
 Acier haute adhérence $f_e=500\text{MPa}$
 Poutre de section : 40*40cm

A) MODÉLISATION

On étudie la flexion d'une "bande" courante de 1,00 m de largeur et de 7,00 m de portée et reposant simplement sur deux appuis.
 On considère que chaque poutre est indépendante de la travée suivante et qu'elle repose simplement sur ces appuis.



B) BILAN DES CHARGES

Calculs des aciers

$B=0.5\text{m}$, $h=0.5\text{m}$, hauteur utile= $0.9*h=0.45\text{m}$,

Moment ultime

$M_u=0.597\text{ m.kN}$

Contrainte de calcul du béton

$F_{bu}=(0.5 * f_{\text{béton}})/1.5=8.3\text{ MPa}$

Moment réduit

$\beta = M_u / b d^2 * f = 0.597 / (0.5 * 0.45^2 * 8.3) = 0.710$

Position extrême neutre

$\alpha = 1.25 * [1 - (1 - \beta)^{1/2}] = 0.577$

Bras de levier

$Z = [1 - 0.4 * \alpha] * h = [1 - 0.4 * 0.577] * 0.45 = 0.35$

Section Armature

$A = (M_u * \gamma_s) / (z * f_e) = 3.9\text{cm}^2$

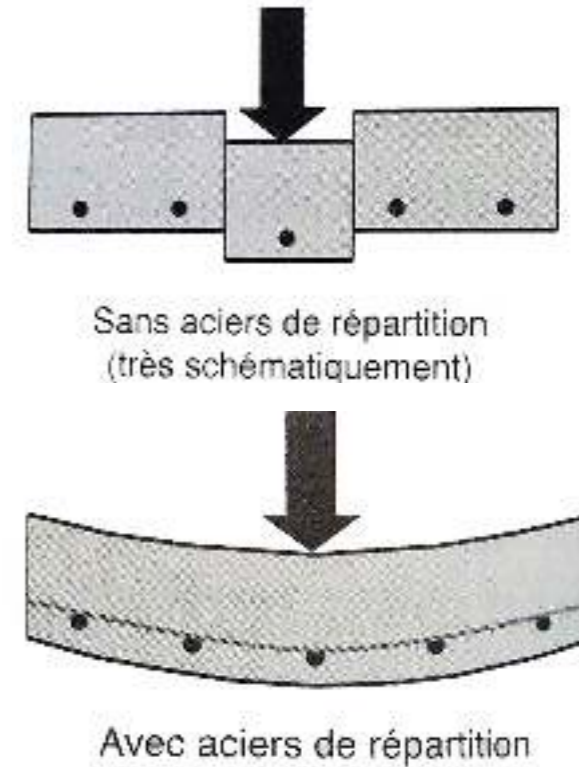
Prenons des fers à béton rond torsadé de diamètre 10mm, soit 1cm.

La section d'un fer fait donc 0.79cm^2 . Il faut donc 5 fers dans une bande de 1m de dalle, soit un fer tous les 20cm.



RÉPARTITION TRANSVERSALE

Pour assurer une répartition transversale des efforts, il faut aussi ajouter des aciers de répartition. Les efforts sont alors mieux répartis :



SOURCES :

- « Béton Armé », Théorie et applications selon l'Eurocode 2, par Jeann Louis Granu
- « Applications de l'Eurocode 2 » par Jean Arnaud Calgaro et Jacques Cortade
- « Etude des structures en béton » par Jean Marie Husson

Photo : http://coursexosup.blogspot.fr/2015/04/les-planchers-et-lesterrasses-les_13.html