Séminaire Bâtiment Durable

Impact de la construction durable sur la stabilité

19 novembre 2021

Structures et techniques, une co-évolution ?

Adapter les études des structures aux évolutions techniques HVAC du bâtiment

bruxelles environnement leefmilieu brussel .brussels

greisch

Mathieu Leroy
Greisch

PRÉSENTATION DE L'ORATEUR

Structures et techniques, une co-évolution ?

Adapter les études des structures aux évolutions techniques HVAC du bâtiment

Mathieu Leroy (Greisch)

Mathieu LEROY est ingénieur civil physicien de formation. Il travaille depuis 2014 pour le bureau d'étude et de conseil Greisch dans l'équipe énergie et durabilité. Greisch est un bureau pluridisciplinaire belge dont le pôle bâtiment apporte du conseil et son expertise dans la plupart des métiers liés à la construction. L'évolution des ambitions environnementales et énergétiques replace le métier d'énergéticien au centre de dialogues transversaux portant sur les critères qui définissent la durabilité des ouvrages. L'un de ces dialogues est celui qui a lieu entre techniques et structures.

L'exposé a pour but de montrer à travers une présentation illustrée comment les ingénieurs collaborent pour trouver des solutions qui répondent aux attentes énergétiques. Des solutions passives (ventilation naturelle), combinées (dalles actives), coordonnées (géothermie), préfabriquées ou encore des solutions innovantes qui dépassent même le cadre de la solution technique et énergétique.

Une chose est sûre, les exigences de durabilité évoluent fortement et l'avenir nous dira si la co-évolution structures / techniques est en marche comme le BIM le suggère.

OBJECTIFS DE LA PRÉSENTATION

- Expliquer le lien entre inertie, confort et consommations d’énergie
- Explorer les solutions intégrées, leurs atouts et leur limites
- Aborder différentes solutions géothermiques d’un point de vue structurel
- Montrer comment structures et techniques doivent collaborer en amont pour trouver des stratégies qui s’adaptent à l’évolution des normes et délivrent des bâtiment flexibles.

PLAN DE L'EXPOSÉ

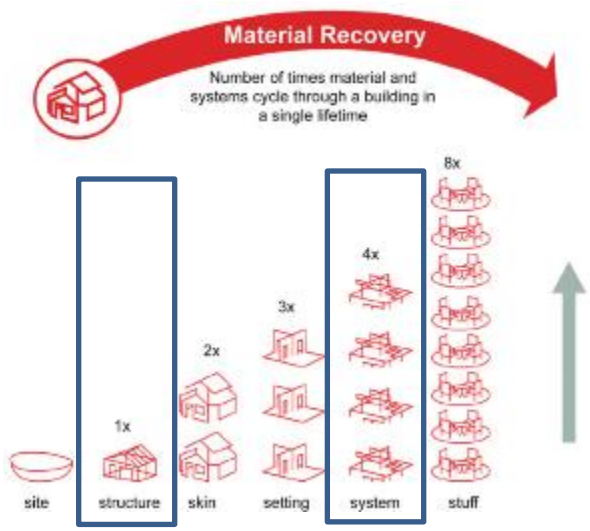
I. Introduction
II. Inertie : confort et énergie
III. Solliciter l'inertie
IV. Equiper les structures
V. Géothermie et structures
VI. Interactions STAB / TS
VII. BIM
VIII. Structures techniques
IX. Conclusion

I. INTRODUCTION

- **Enjeux multiples : Structure et durabilité**

  - La structure est l'élément fondateur d'un bâtiment et est symbole de sa pérennité / durabilité, il est également le premier élément qui peut déterminer une ambiance (thermique, visuelle, biophilique, etc).
  - Structure et techniques diffèrent sur le plan des analyses LCA et de leur cycle de vie.
  - La structure doit être mise à profit pour œuvrer pour un bâtiment « réparateur » au sens large et en outre vers le confort et le bien être dans un bâtiment, et cela de manière passive ou active.

« Tent'abane »
Valentin Moulins, Ludgi Dracon, Mathilde Raymond
Frugalité par Bellastock



Stweard brand—how buildings learn (1994)

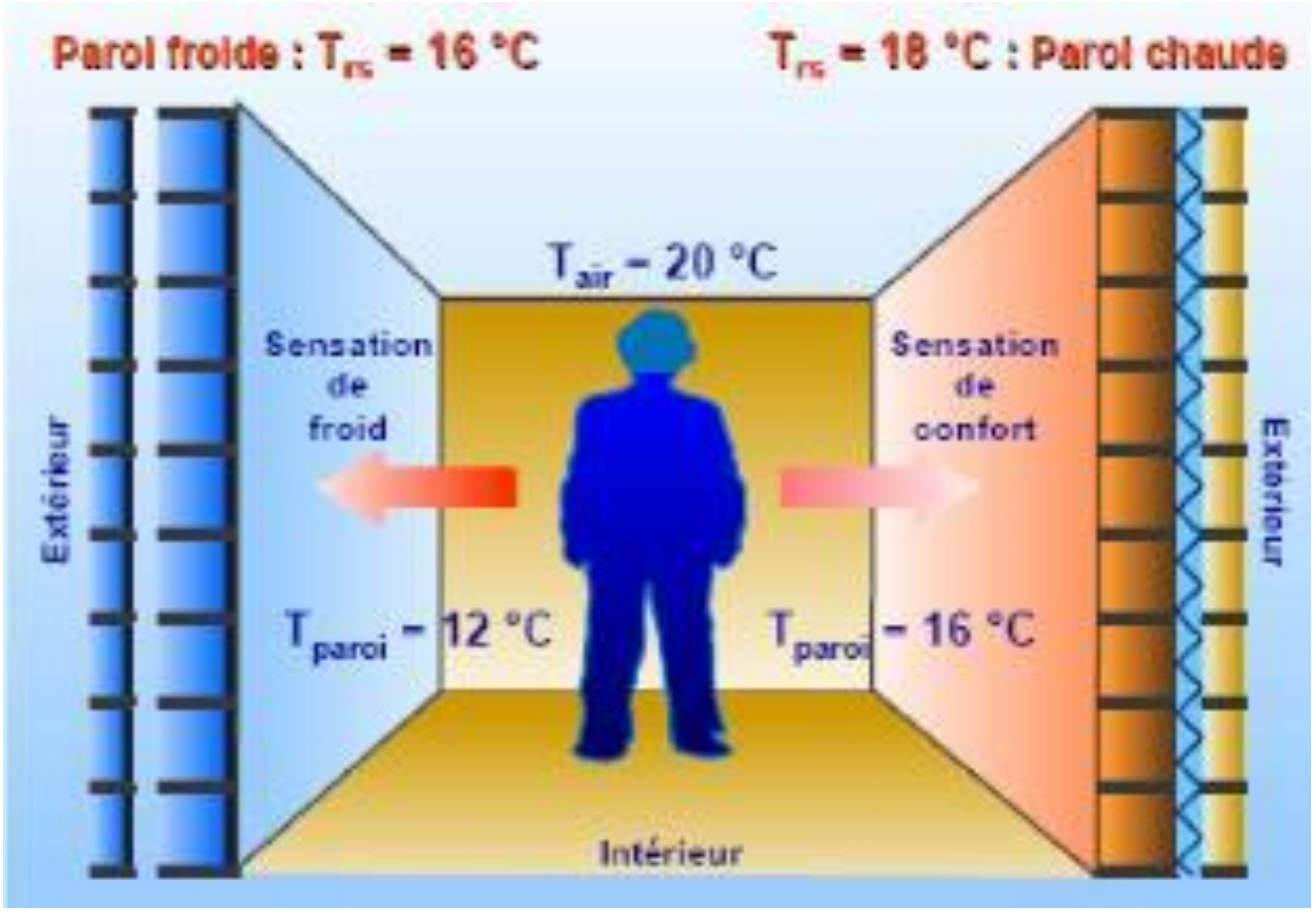
REthinking Sustainability TOwards a Regenerative Economy

Les bâtiments et les installations durables sont essentiels à un avenir socialement juste, écologiquement réparateur, culturellement riche et économiquement viable dans le contexte du changement climatique. Malgré plus d'une décennie de stratégies et de programmes, les progrès en matière de durabilité de l'environnement bâti ne parviennent pas à résoudre ces problèmes clés. Par conséquent, le secteur de l'environnement bâti n'a plus le luxe d'être progressivement moins mauvais, mais, de toute urgence, doit adopter une pensée de durabilité réparatrice et positive pour faire progressivement « plus de bien ».

II. INERTIE : CONFORT ET ÉNERGIE

- **Structure passivement au service du …**

  - Confort thermique (critères PMV/PPD) :
    - La température opérative ou ressentie est la moyenne entre la température des parois et celle de l'air.
    - Le "rayonnement doux" (c'est-à-dire à basse température) est le mode d'émission le plus confortable



Température opérative – Batitherm.ch

II. INERTIE : CONFORT ET ÉNERGIE

- **Structure passivement au service du …**
  - Confort thermique (critères PMV/PPD) :
  - Stockage d'énergie : L'inertie thermique et le stock énergétique d'un matériau sont évalués à l'aide des paramètres suivants :
    - Stock : $E = \Delta T \times$ Capacité thermique effective ($\rho * c * A * d$)
    - La diffusivité : $\alpha = \lambda / (\rho * c)$ [m²/s] ➔ La plus petite possible <<<<<<
    - L'effusivité : Diff = $\sqrt{(\lambda * \rho * c)}$ [$J.K^{-1}.m^{-2}.s^{-1/2}$] ➔ La plus grande possible >>>>>

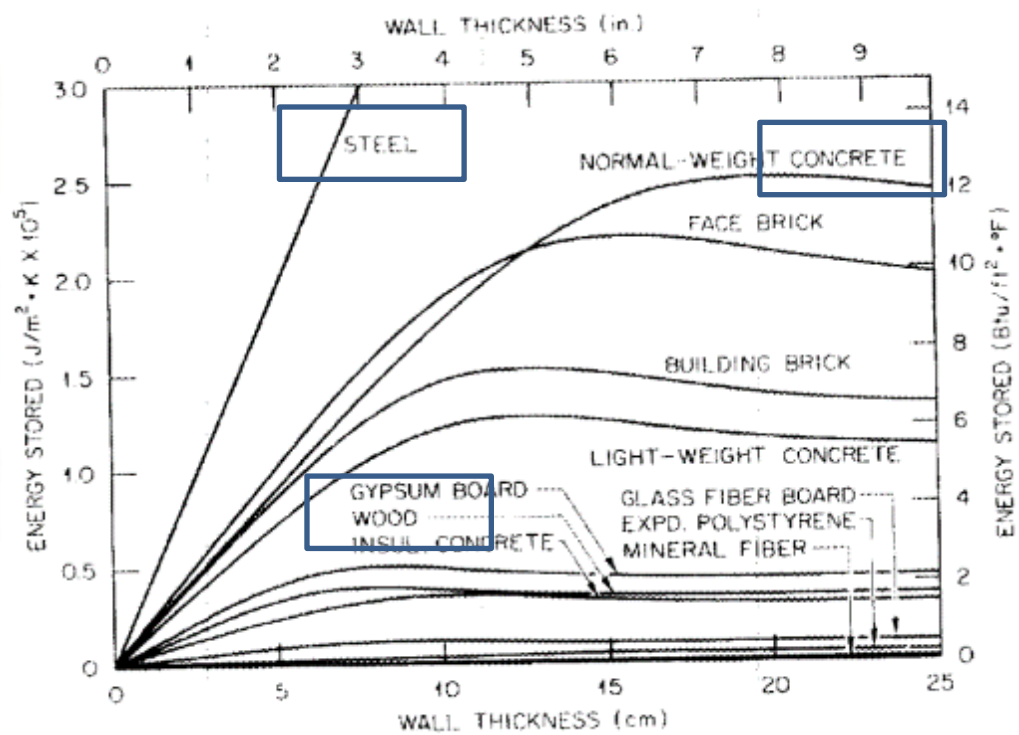
Materiaal *Matériau*	(°C) Smelt-temperatuur *Température de fusion*	α (10-6/°C)	ρ (kg/m³)	λ (W/m °C)	c (kJ/kg °C)	Eff (J/m² s0,5 °C)	a (m²/s 10-6)
Beton *Béton*	1200 - 1400	12 - 18	2400	0,6 – 1,24	1	1200 - 2200	0,25 – 0,8
Gebakken klei *Argile cuite*	-	5 - 7	1500	0,4 – 0,5	0,84	710 - 800	0,3
Staal *Acier*	> 1500	12 - 17	7850	50 - 60	0,45	13300 - 14600	15
Massief hout *Bois massif*	300 (*)	3 - 5	400 - 1000	0,12 – 0,16	1,88	80 - 160	0,1

(*) ontvlammingstemperatuur ("vlampunt")
(*) température d'inflammation ("point de flamme")

Fig. 1 - Thermische eigenschappen van constructieve bouwmaterialen

Fig. 1 - Les propriétés thermiques des matériaux de construction.

Beton.febe.be



Thermal mass assessment – Ornl
Energie stockée – Sollicitation : ΔT=1 – Sinusoïde T=24h

II. INERTIE : CONFORT ET ENERGIE

- **Structure passivement au service des réductions de consommations énergétiques : exemple chiffré**

  - Consommations : Analyse d'une salle de classe type
    - *SRE = 70m²*
    - *H = 3,4m*
    - *Volume = 238m³*
  - Bilan approximatif des charges internes
    - Occupation : 25 pers. - 70W/pers. (sensible) → 25*70 = 1.750W
    - Eclairage : 1W/m².100lux - Base = 300lux → 3*1*70 = 210W
    - Petite force motrice : 3 W/m² → 3*70 = 210W
    - Gains solaires : très variables…

	Radiatif	Convectif
	700W (40%)	1.050W (60%)
	50W (20..25%)	160W (75..80%)
	50W (20..25%)	160W (75..80%)
	?W (≈100%)	0W (≈ 0%)
	> 800W (37%)	**1.370W (63%)**

TOTAL **> 2.170W**

II. INERTIE : CONFORT ET ENERGIE

- **Structure passivement au service des réductions de consommations énergétiques : exemple chiffré**

  - Consommations : Analyse d'une salle de classe type
    - *SRE = 70m²*
    - *H = 3,4m*
    - *Volume = 238m³*
  - Bilan approximatif des charges internes
    - Occupation : 25 pers. - 70W/pers. (sensible) → 25*70 = 1.750W
    - Eclairage : 1W/m².100lux - Base = 300lux → 3*1*70 = 210W
    - Petite force motrice : 3 W/m² → 3*70 = 210W
    - Gains solaires : très variables…

TOTAL **> 2.170W**

Stocké dans la masse, restitué avec déphasage

Radiatif

700W (40%)

50W (20..25%)

50W (20..25%)

?W (≈100%)

> 800W (37%)

A traiter par la ventilation hygiénique

Convectif

1.050W (60%)

160W (75..80%)

160W (75..80%)

0W (≈ 0%)

1.370W (63%)

II. INERTIE : CONFORT ET ENERGIE

- **Structure passivement au service des réductions de consommations énergétiques : exemple chiffré**

  - Consommations : Analyse d'une salle de classe type
    - *SRE = 70m²*
    - *H = 3,4m*
    - *Volume = 238m³*
  - Bilan approximatif des charges internes
    - Occupation : 25 pers. - 70W/pers. (sensible) → 25*70 = 1.750W
    - Eclairage : 1W/m².100lux - Base = 300lux → 3*1*70 = 210W
    - Petite force motrice : 3 W/m² → 3*70 = 210W
    - Gains solaires : très variables…

Stocké dans la masse, restitué avec déphasage

Radiatif

700W (40%)

50W (20..25%)

50W (20..25%)

?W (≈100%)

> 800W (37%)

A traiter par la ventilation hygiénique

Convectif

1.050W (60%)

160W (75..80%)

160W (75..80%)

0W (≈ 0%)

1.370W (63%)

TOTAL **> 2.170W**

Apports max par convection = 1.370W

Occupation salle de classe type :

180jours/an, 8h/jour, 1440h/an

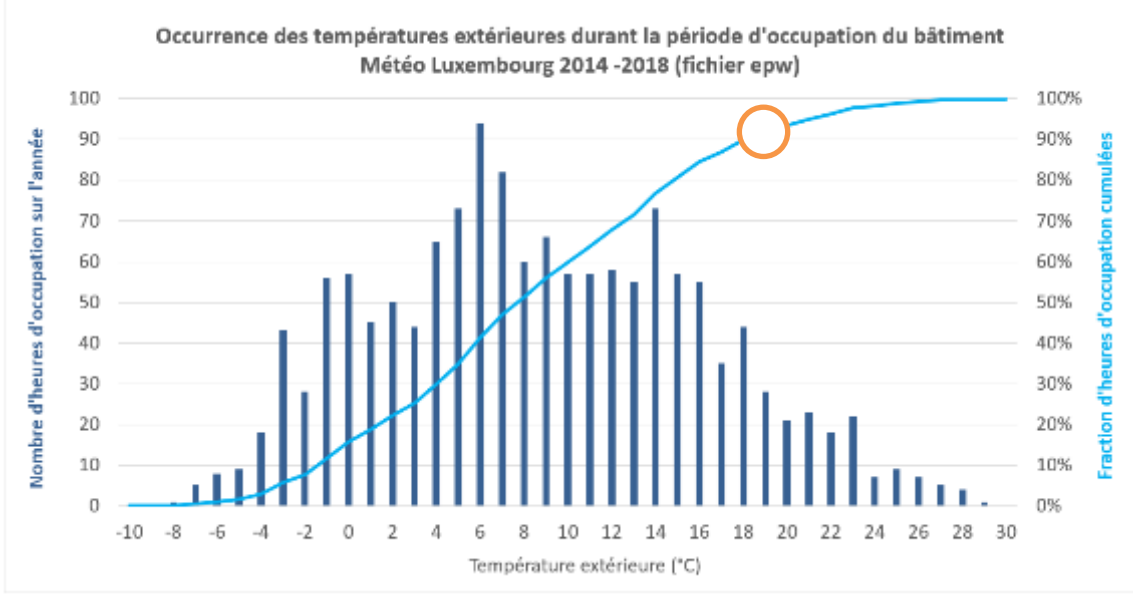
Pour T_int_max = 25°C

q_vent = 24m³/h.pers

Soit 600m³/h ou **2,5 vol/h**

→ **T_pulsion_max ≈ 18,5°C**

>90…95% temps d'occupation



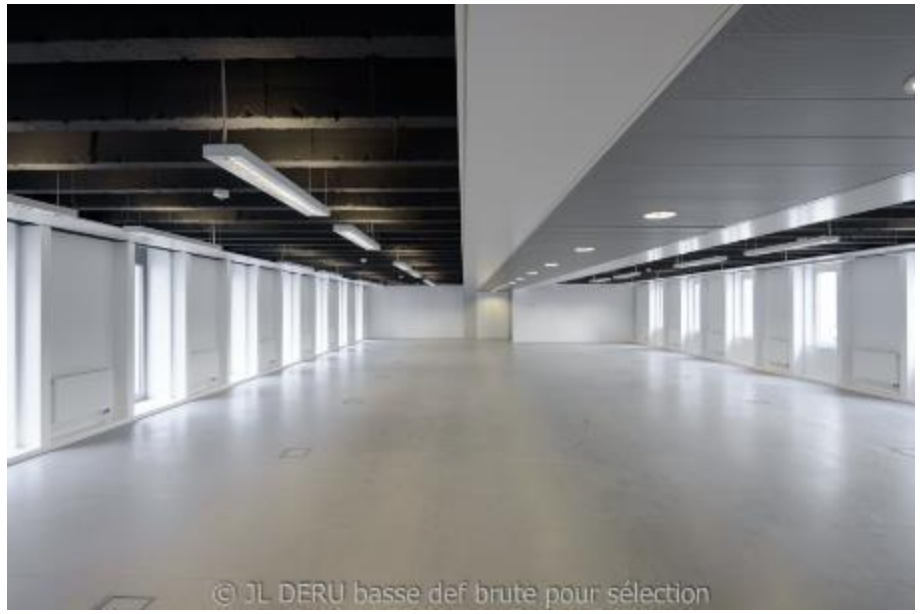
III. SOLLICITER L'INERTIE

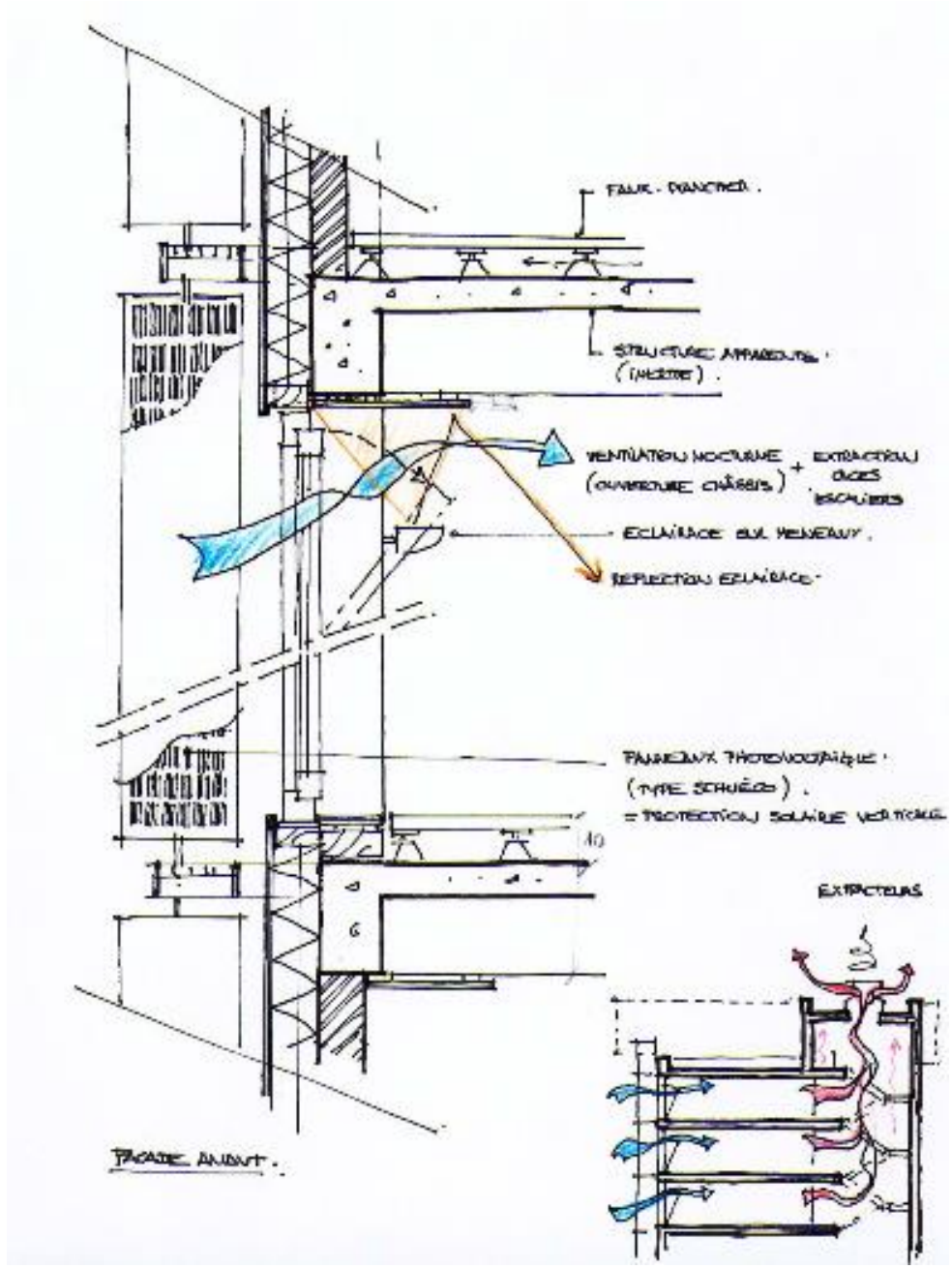
Gratuite

- **Ventilation (naturelle) (intensive) (de nuit)** → Confort et efficacité énergétique

  Hygiènique?

  - Maximiser l'accès à l'inertie
  - Dimensionner et calculer les flux d'air.
  - Fonctionnement manuel ou automatisé.





III. SOLLICITER L'INERTIE

Gratuite

- **Ventilation (naturelle) (intensive) (de nuit)** → Confort et efficacité énergétique

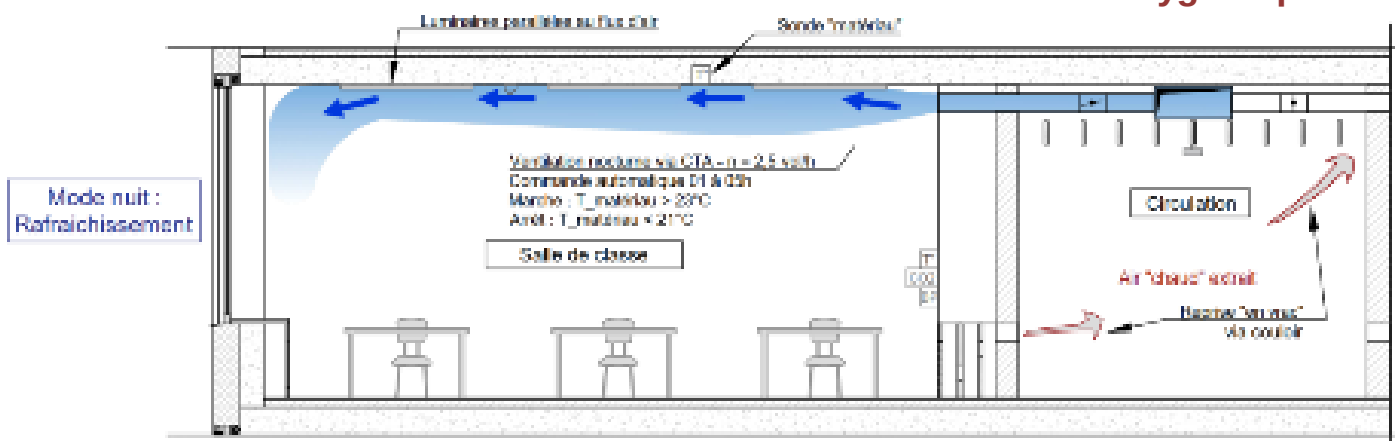
Hygiènique?

III. SOLLICITER L'INERTIE

Gratuite

- **Ventilation (naturelle) (intensive) (de nuit)** → Confort et efficacité énergétique

Hygiènique?



BE Greisch – Lycée Bonnevoie Luxembourg – Coupe type
Illustration de l'effet coanda – Ventilation de nuit (free chiling)

Maison Low-Tech à Forest - Jupiter - Batex – V+ Architectes

IV. EQUIPER LES STRUCTURES

- **Exemple 1 : Bâtiment AGORIA – Liège**

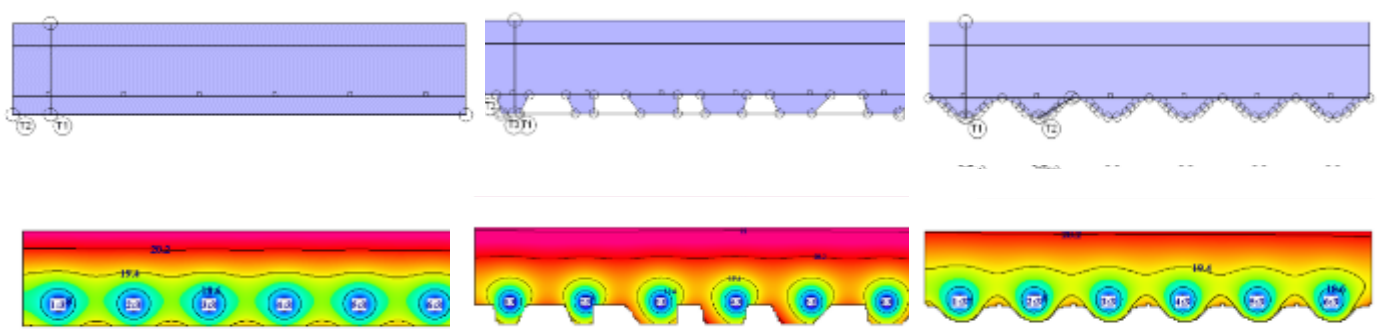
  - **Dalle active** : on entend un élément constructif qui, en plus de ses fonctions structurelles, sert **d'émetteur** pour le système de contrôle de l'ambiance. La charge de froid est amenée par un réseau d'eau noyé dans la dalle. Le principe est le même que celui d'un chauffage par le sol, mais sa mise en œuvre en est différente. La production d'eau fraîche peut se faire naturellement: au contact de l'ambiance extérieure, du sol, etc. (free chilling) ou mécaniquement, avec une machine de froid.
  - Contrainte forte : Dalle à dalle 3.15m / 8 niveaux / 25.6m / Hauteur libre 2.90m
  - Réponse collégiale & intégrée : Architecture, technique et stabilité
  - Dalle préfabriquée

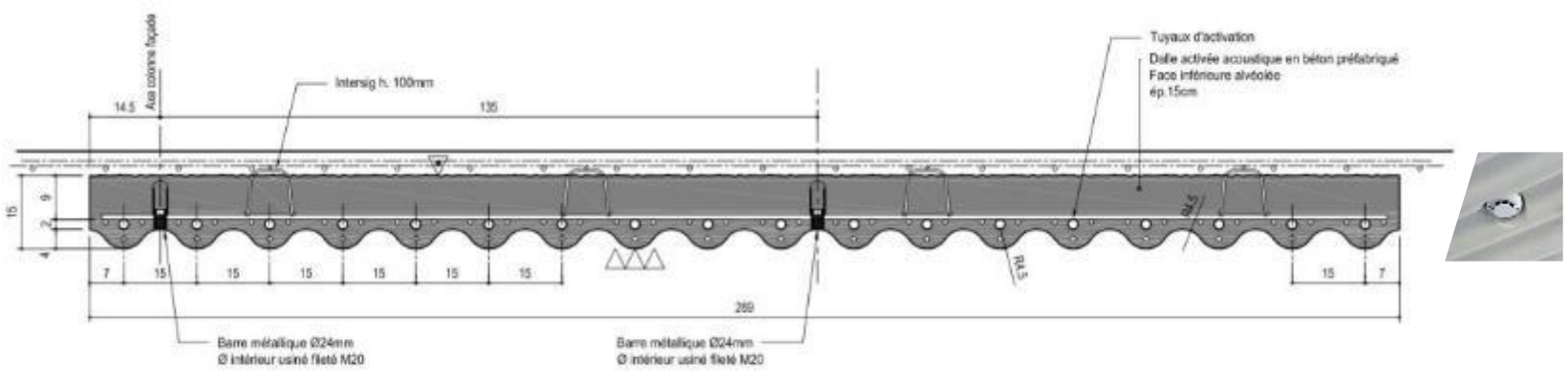
Bureaux Agoria Liège – Bureau d'étude Greisch

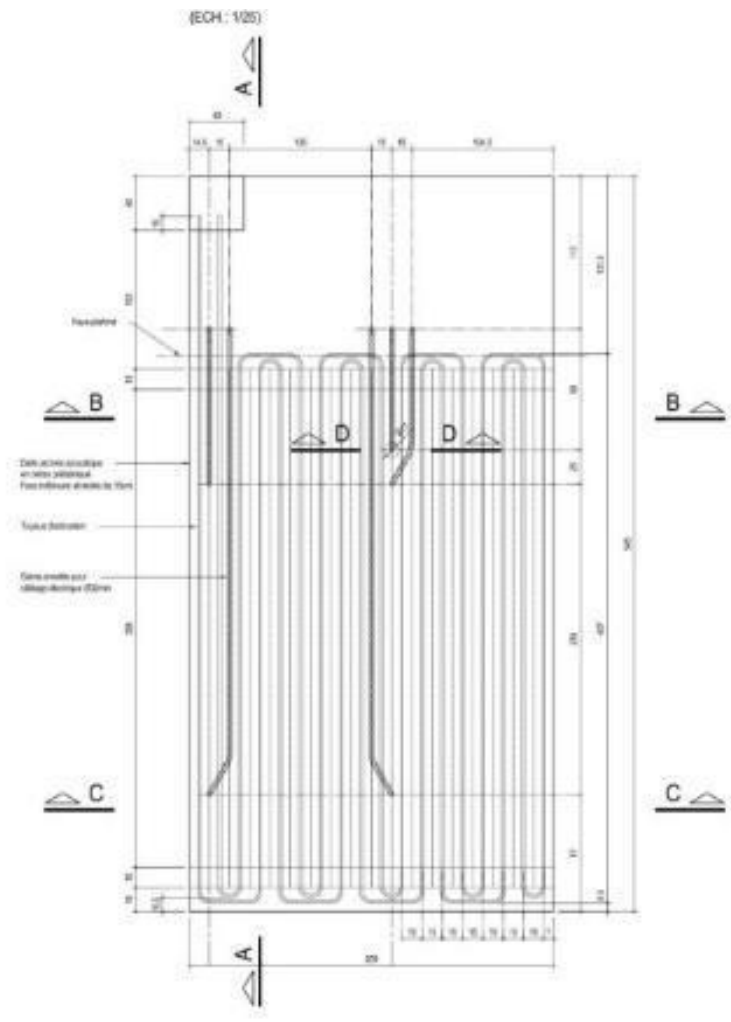
IV. EQUIPER LES STRUCTURES

- **Exemple 1 : Bâtiment AGORIA – Liège**

  - Position des tuyaux d'activation détermine le temps de charge et de décharge (réactivité)
  - Optimisation de la forme de la dalle (Puissance max : 48+21W/m² ➔ ≈+15%)
  - Gestion thermique : vanne de zone / thermostat
  - Intégration des techniques : Eclairage / refroidissement / détecteurs incendie
  - Anticiper les beoins, le cloisonnement et garantir une flexibilité



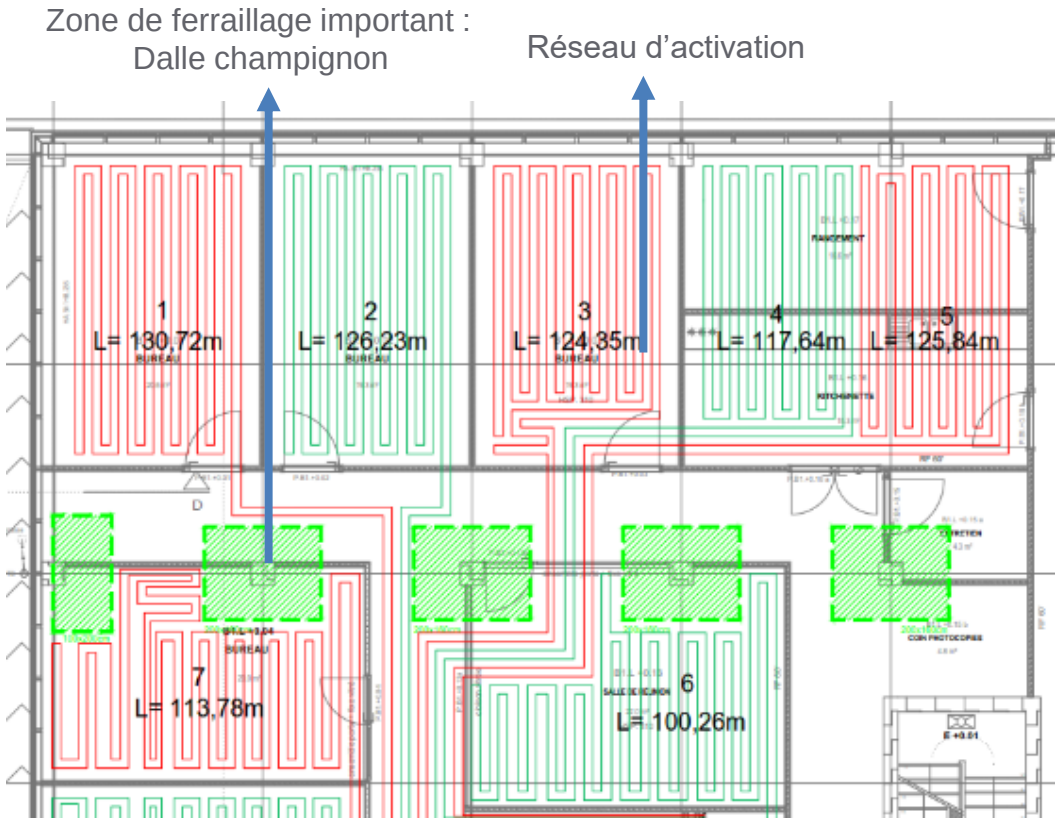




IV. EQUIPER LES STRUCTURES

- **Exemple 2 : Bâtiment Perex – Daussoulx**

  - Dalles coulée sur site (pré-dalle)
  - Interactions structure-techniques avec la dalle champignon : éviter les zones de contraintes importante.

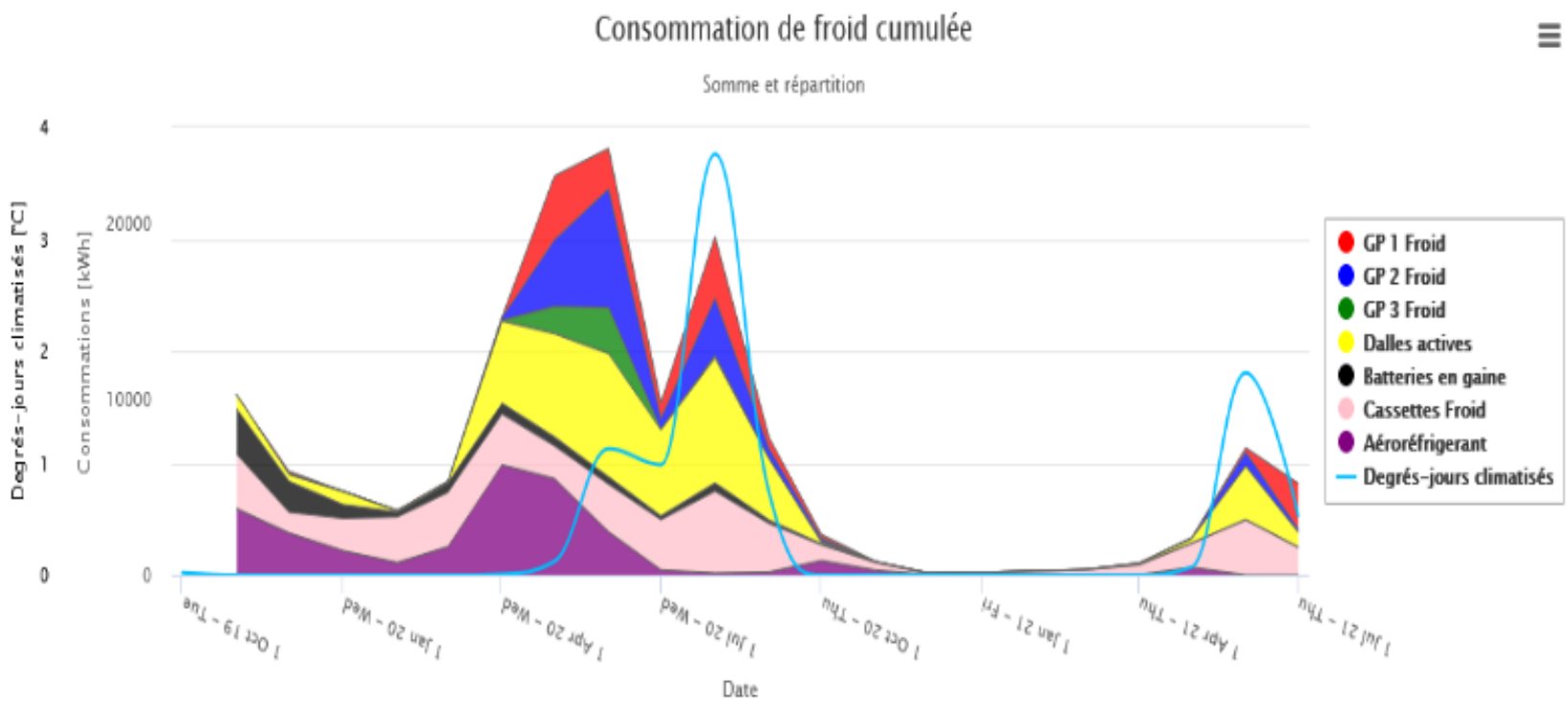


Commissioning – Projet Perex – Bureau d'étude Greisch

IV. EQUIPER LES STRUCTURES

- **Exemple 2 : Bâtiment Perex – Daussoulx**

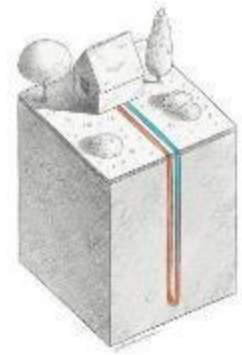
  - Intégrer les techniques et gérer l'acoustique
  - Phase de commissioning essentielle :
    - Détection des problèmes de régulation (destruction d'énergie, point de rosée, free chiling,...)
    - Enquètes de satisfaction (interprétation et boucle de feedback)
    - ...



Commissioning – Projet Perex – Bureau d'étude Greisch

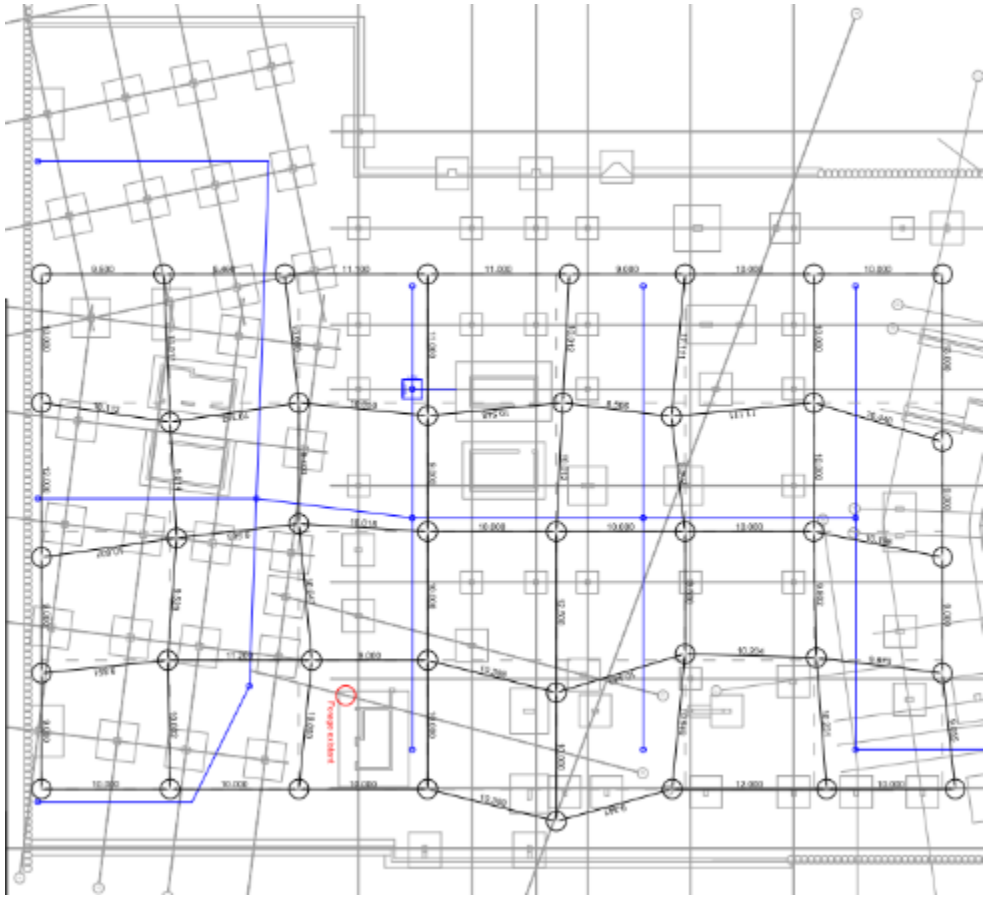
V. GÉOTHERMIE ET STRUCTURES

- **Géothermie système fermés**

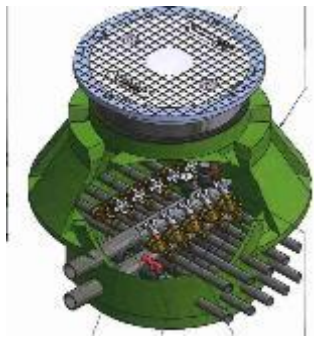


  - Boucles géothermiques verticales : échangeur de chaleur
  - Réseau situé sous les semelles et le radier
  - Pas d'interaction hormis des distances de sécurité vis-à-vis des parois
  - Chambres de visite pour collecteurs

Cité administrative d'Etterbeek – Bureau d'étude Greisch



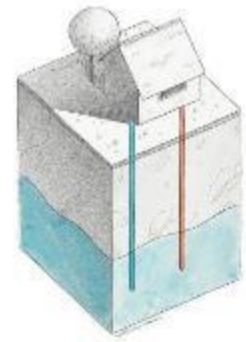
Implantation des forages géothermiques sous les parkings



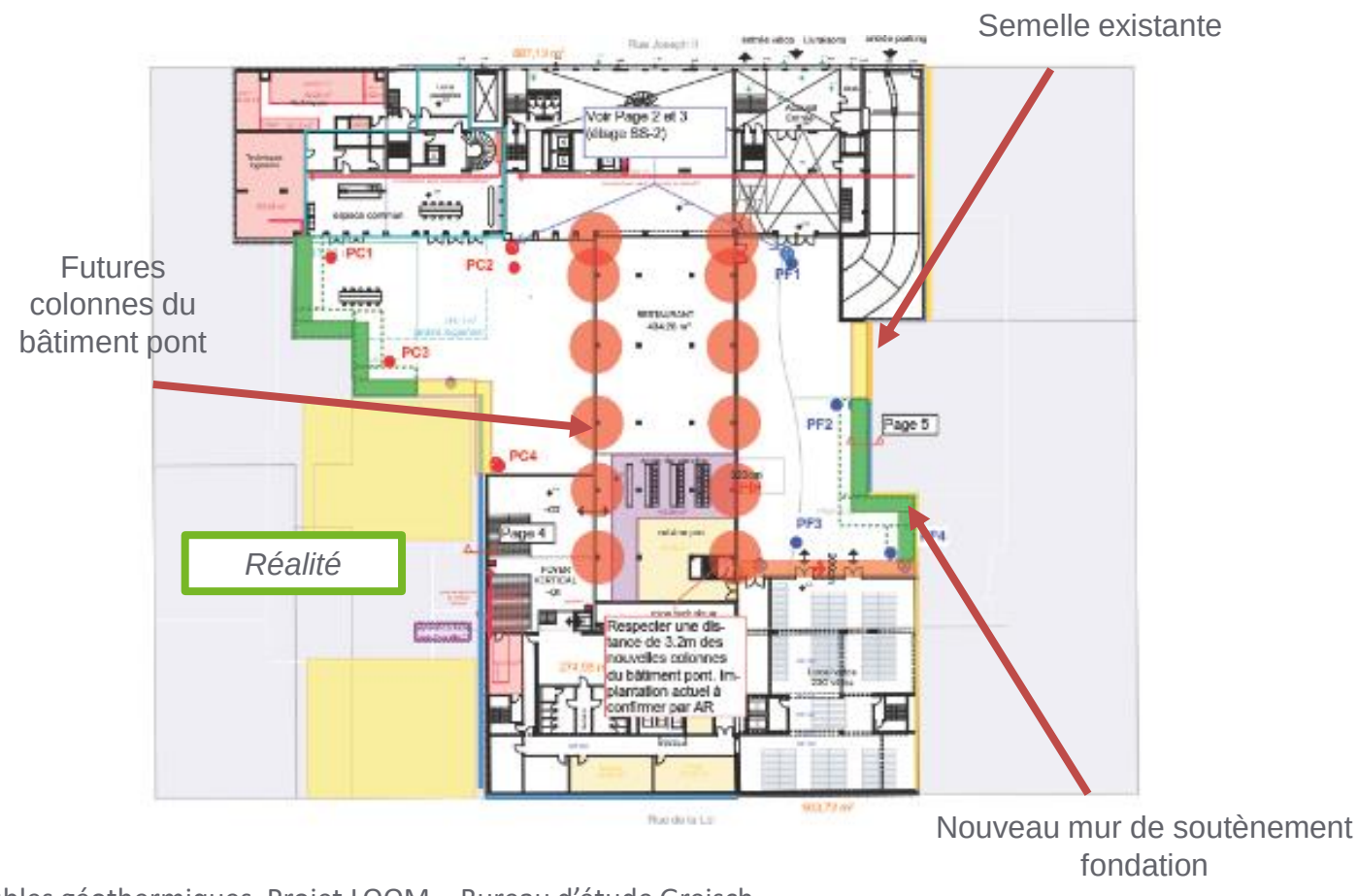
Chambre de visite préfabriquée

V. GÉOTHERMIE ET STRUCTURES

- **Géothermie en système ouvert**



  - Doublets géothermiques : puisage direct
  - Préserver les structure d'une perte de capacité portante : Règles de bonnes pratiques (diamètres – distance, semelles de fondations, armatures,…)
  - Forage exploratoire : étude structurelle complexe

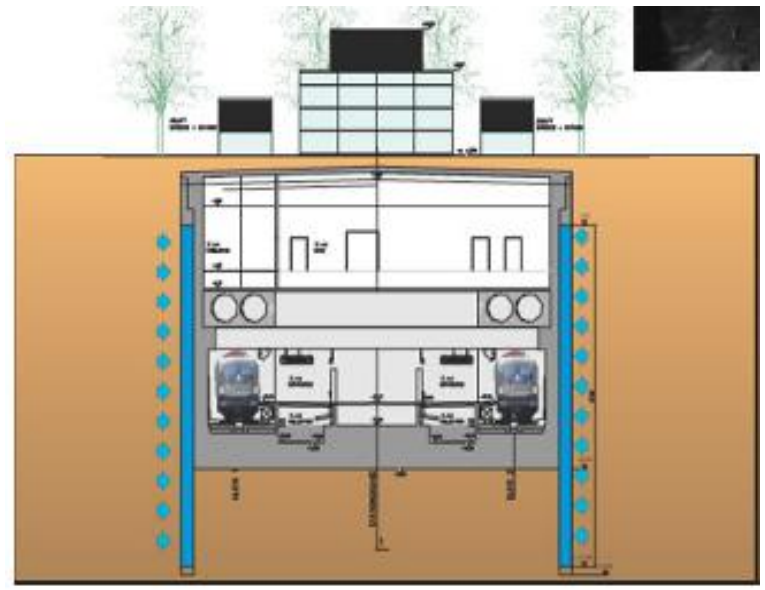


Implantation des doubles géothermiques. Projet LOOM – Bureau d'étude Greisch

V. GÉOTHERMIE ET STRUCTURES

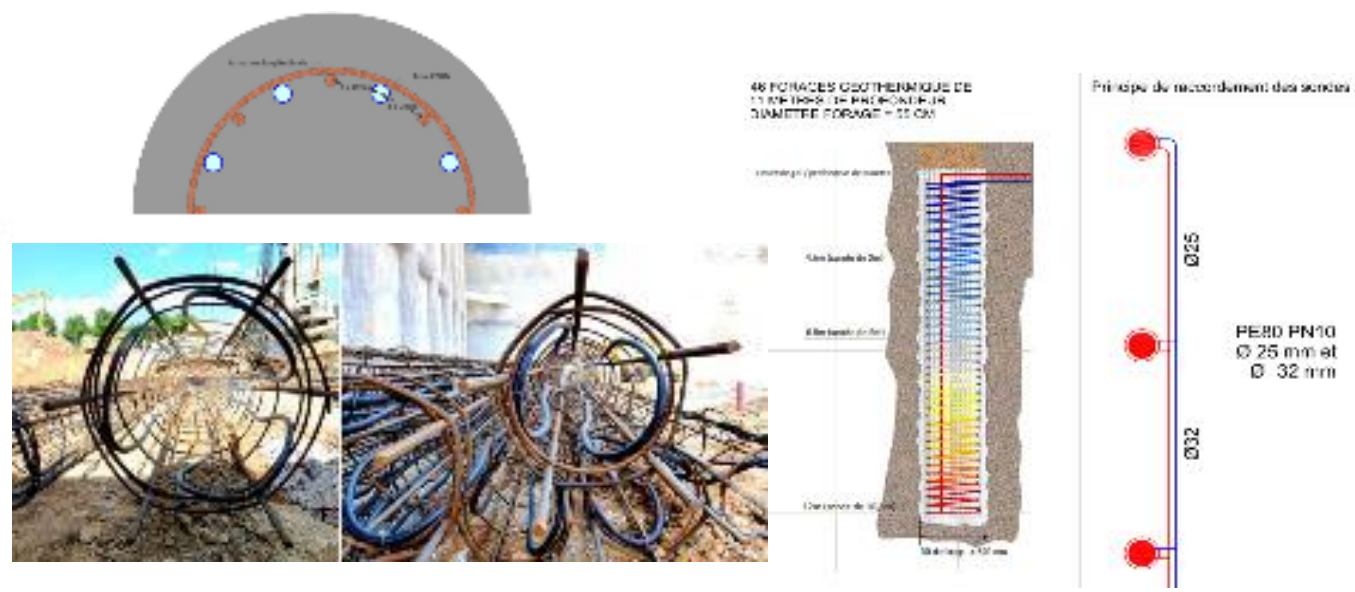
- **Géothermie intégrée aux structures**

  - Frein : Planning des études / Redondance nécessaire / modification impossible / soution combinée TS-STAB / Entrepreneur et mise en oeuvre
  - Retour d'expérience disponible sur le comportement mécanique et thermique des géo structures thermiques en phase exploitation est quasi-inexistant => Non normé!
  - Possibilité nombreuses : Pieux, parois moulées, pieux sécants, …



Parois moulées : Station de métro / bureau Ecome

Projet Bonnevoie – Potentiel géothermique équipant les pieux de fondation – Bureau d'étude Greisch

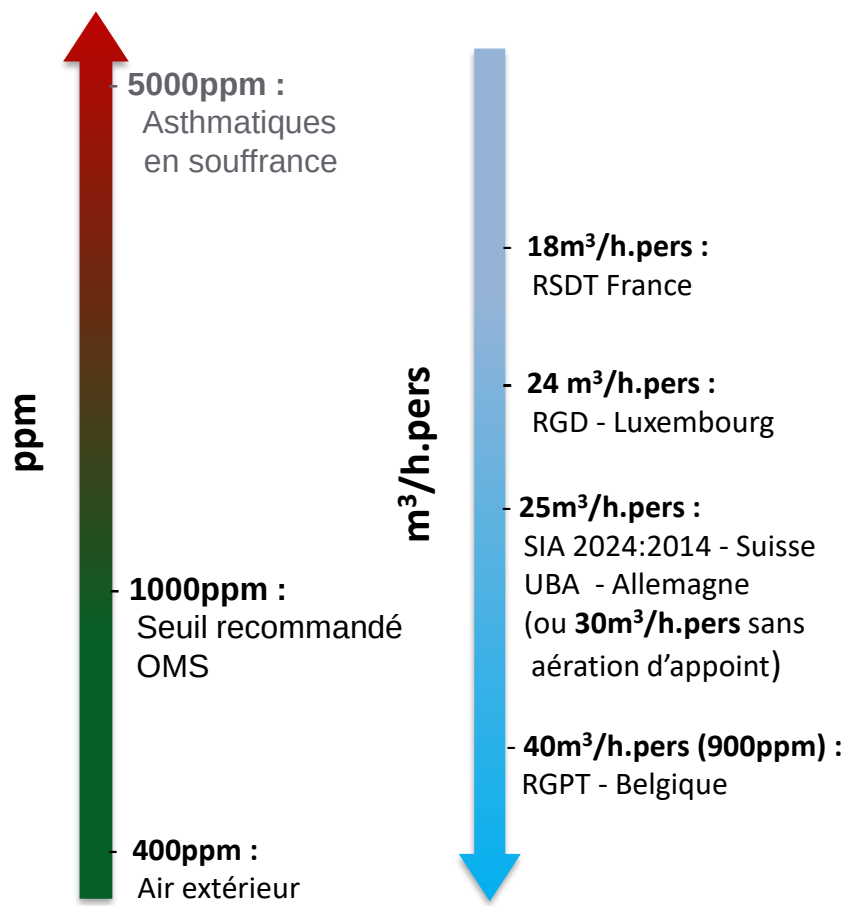


Recommandations pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des géo structures thermiques CFMS/SYNTEC INGENIERIE

VI. INTERACTIONS STAB / TS

- **Evolution des normes de ventilation**

  - Norme ventilation non résidentiel / Arrêté royal 40m³/hp / 900ppm ➔ Exigence forte

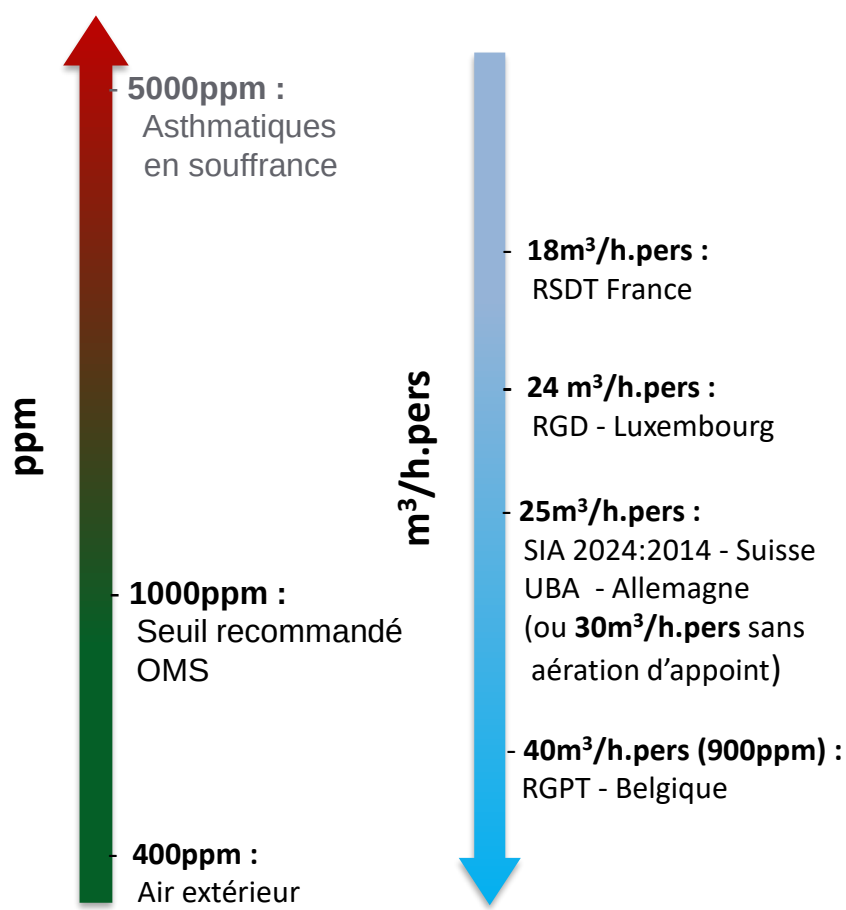


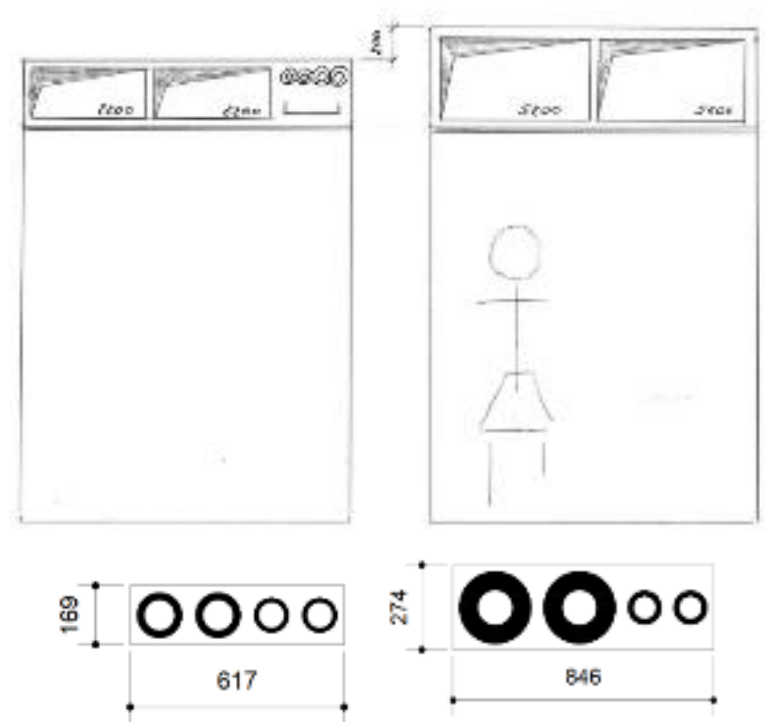
+ Isolation des conduites

VI. INTERACTIONS STAB / TS

- **Evolution des normes de ventilation**

  - Norme ventilation non résidentiel / Arrêté royal 40m³/hp / 900ppm ➔ Exigence forte
  - Même vitesse d'air PEB vs Arrête Royal 02//05/2019 : +20cm de gaines! (22m³/h => 40m³/h). Encombrement (**Structure**)



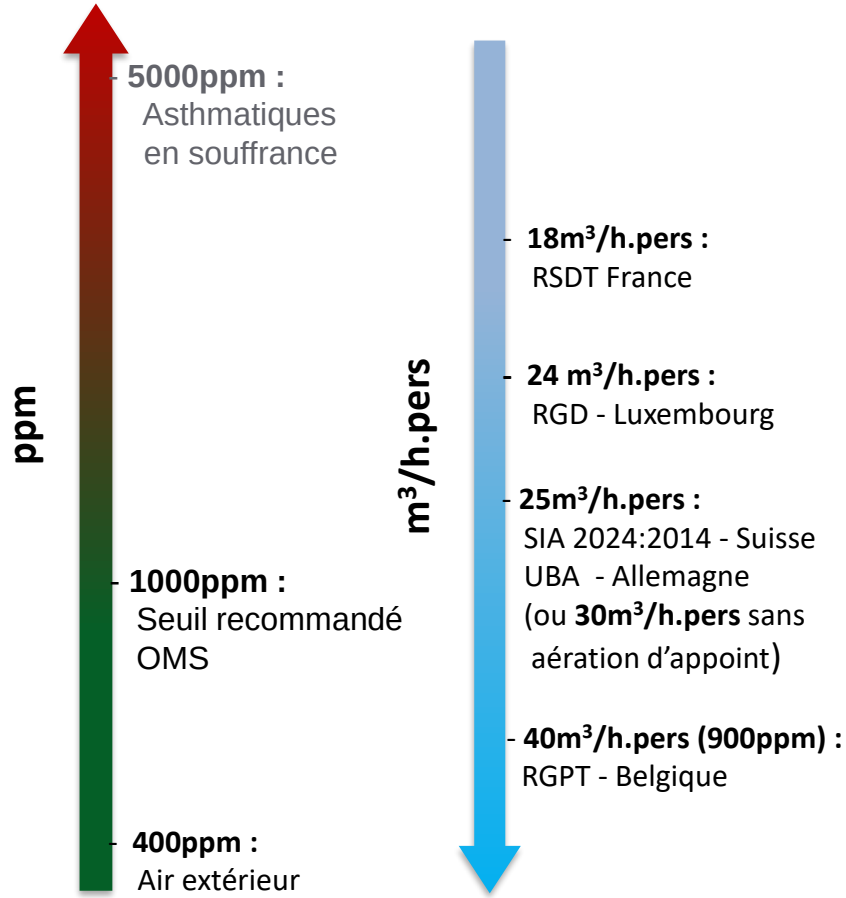


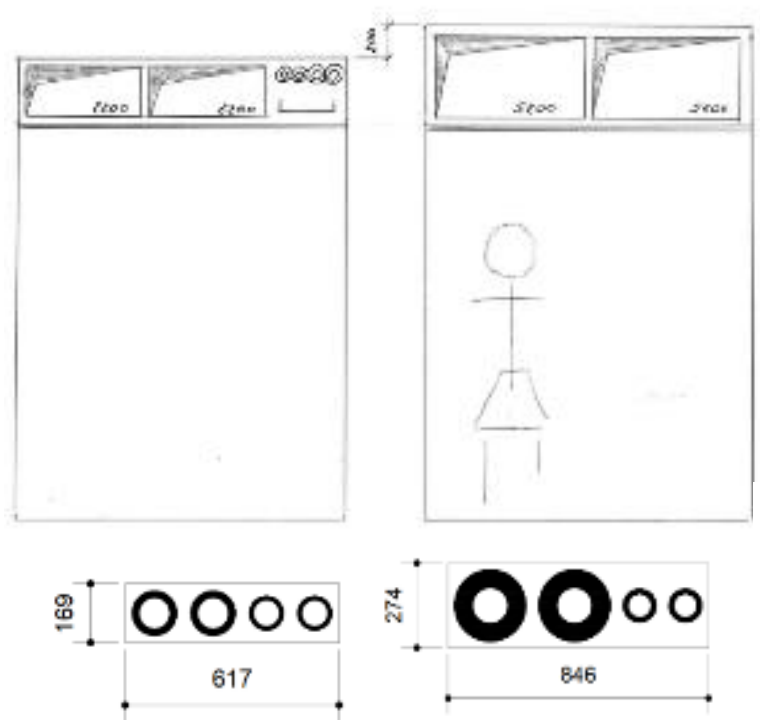
+ Isolation des conduites

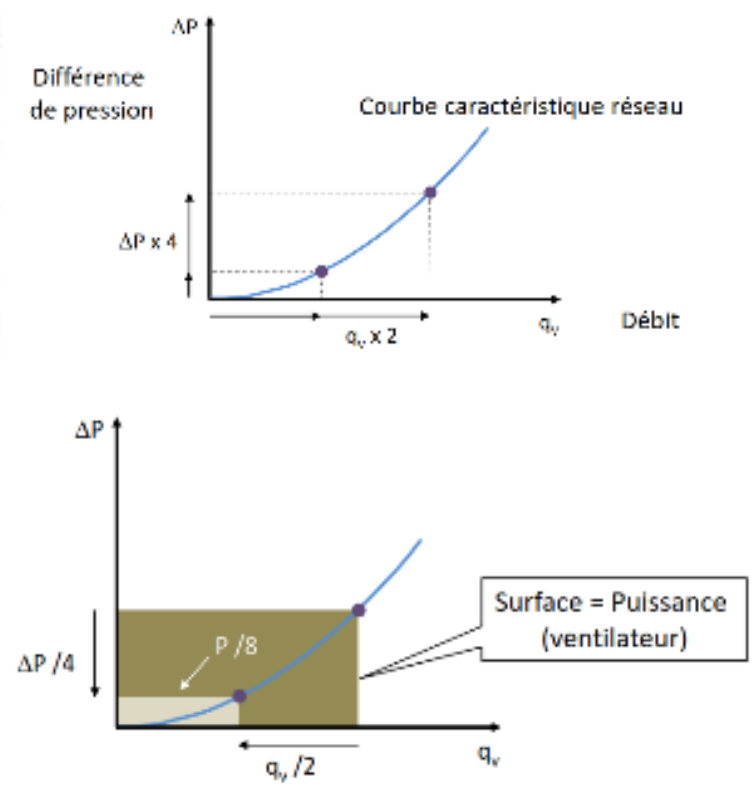
VI. INTERACTIONS STAB / TS

- **Evolution des normes de ventilation**

  - Norme ventilation non résidentiel / Arrêté royal 40m³/hp / 900ppm ➔ Exigence forte
  - Même vitesse d'air PEB vs Arrête Royal 02//05/2019 : +20cm de gaines! (22m³/h => 40m³/h). Encombrement (**Structure**)
  - Section vs surpuissance des ventilateurs (**HVAC**) et consommations (**Energie**)







+ Isolation des conduites

VI. INTERACTIONS STAB / TS

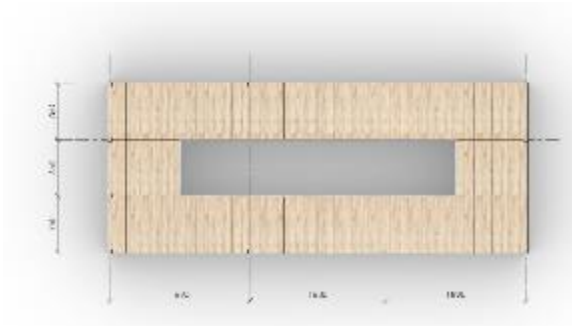
- **Être inventif / Think out of the box**

  - Faire rivaliser les solutions très en amont du projet.
  - Solution bois : étudier/éviter les percements / intégrer la contrainte feux / optimiser les épaisseur de plancher

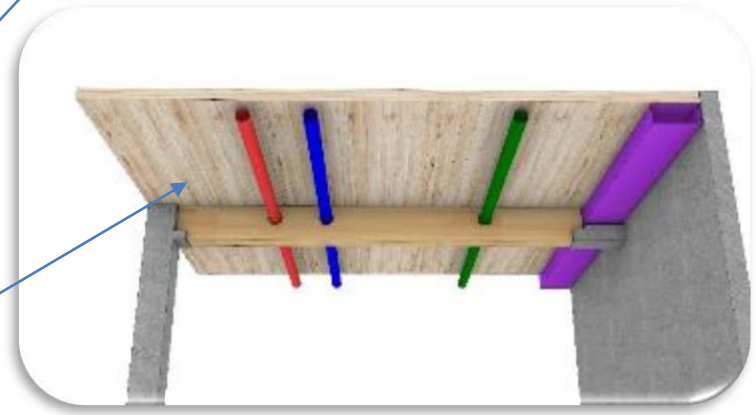
  - Contrainte structurelle contraignante Type ‘H/3‘ sur les percements autorisés.

  - Respect REI60/120 avec structure apparente. Les percements peuvent provoquer des augmentations de section.

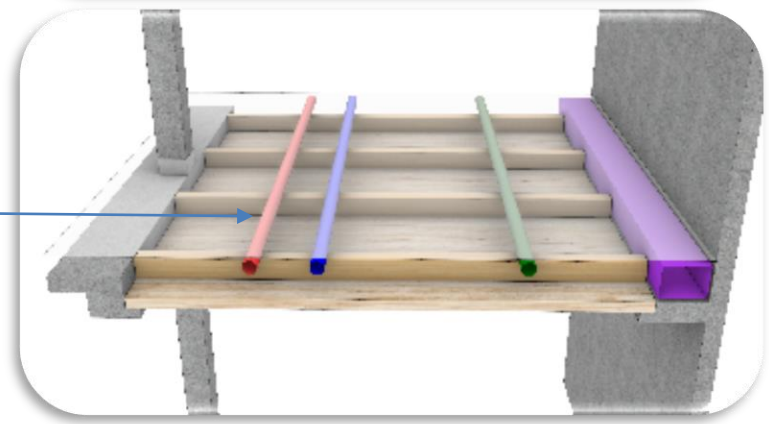
  - Vers des solutions mixtes bois/béton acier/béton qui allient efficacité techniques et gestion des surcoûts.



Plancher CLT
+ Feux + Acoustique + Liberté des techniques/ - Economique

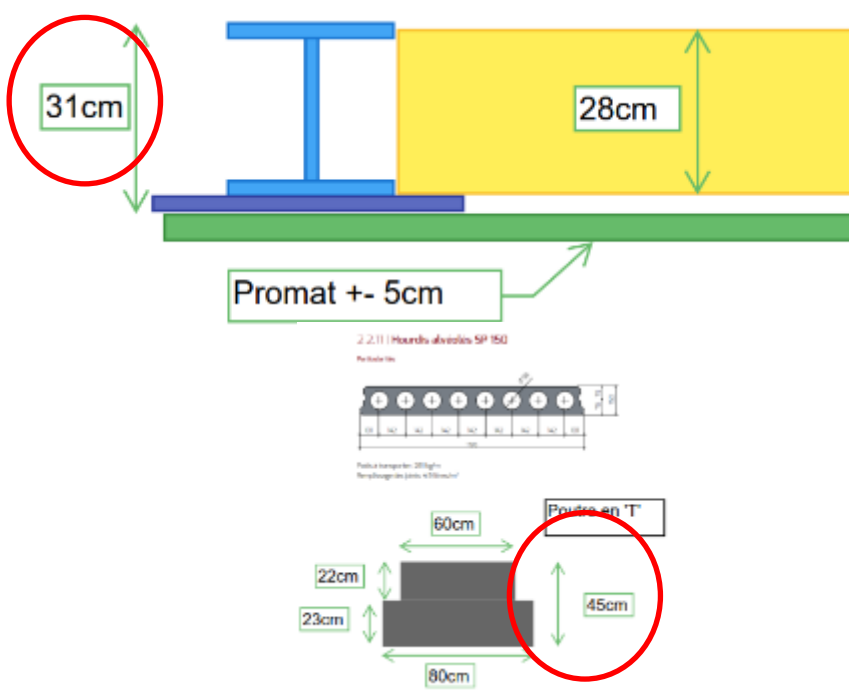


Plancher CLT poutre LC
+ Economie de matière / - Contrainte technique importante
- Retombée



Plancher nervuré « inversé »
Liberté technique / Economie de matière grâce à la gestion de la contrainte feux

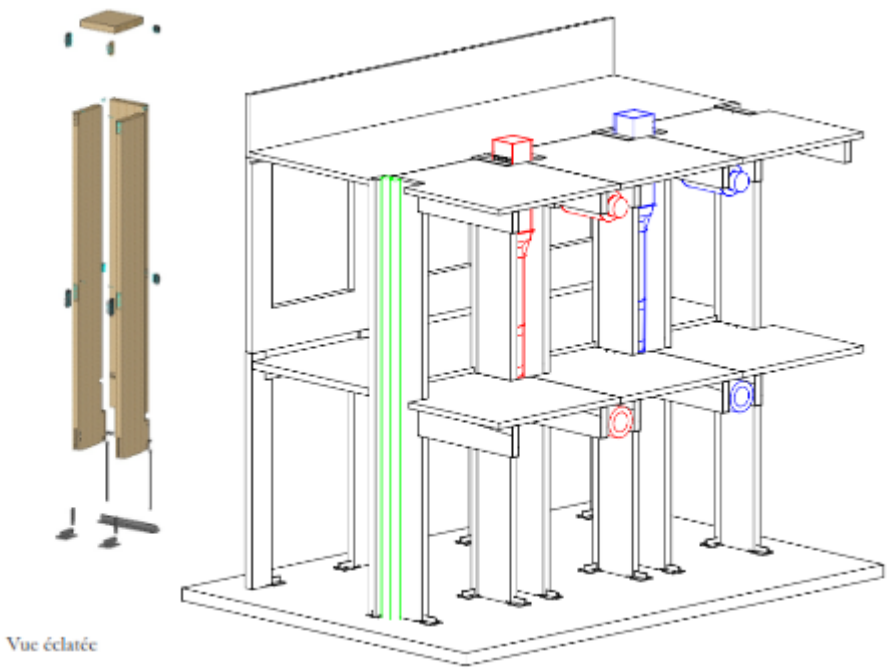
Structure mixte - CCN - REI 120



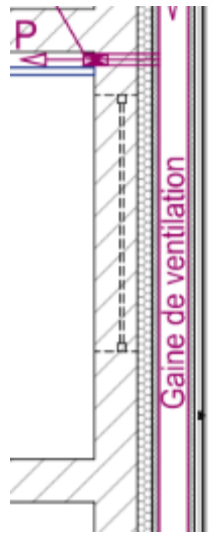
Approche comparative des épaisseurs de planchers de solution mixte acier/bois et béton

VI. INTERACTIONS STAB / TS

- **Être inventif / Think out of the box**
  - Intégration et préfabrication
  - Décentralisation : Module Plug-In
  - Externaliser les réseaux
  - …



Projet Modul'R



Externalisation des gaines de ventilation

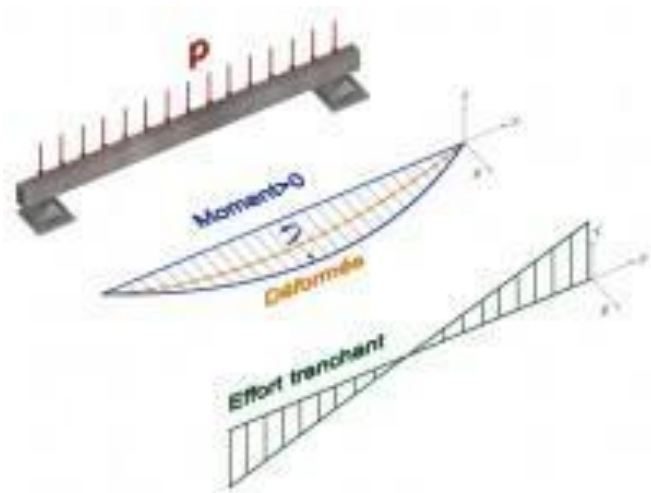
Module décentraisé : Trox - TeCHniK

VI. INTERACTIONS STAB / TS

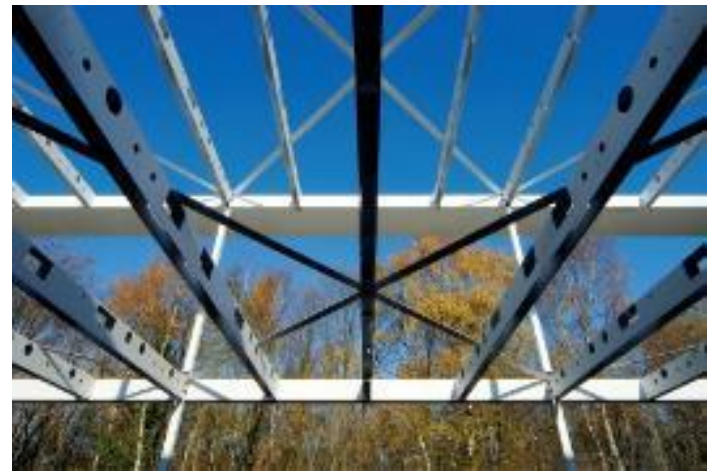
- **Être collaboratif**

  - Pro-activité et coordination (solution intégrée)
  - Dimensionnement à réaliser plus en amont des études
  - Localisation des réservations avec une attention particulière aux zones ou l'effort tranchant est important
  - La facilité de cheminer sous les structures (Equipements des techniques spéciales) : PRS

Chantier du CHC – Bureau d'étude Greisch



https://www.infociments.fr

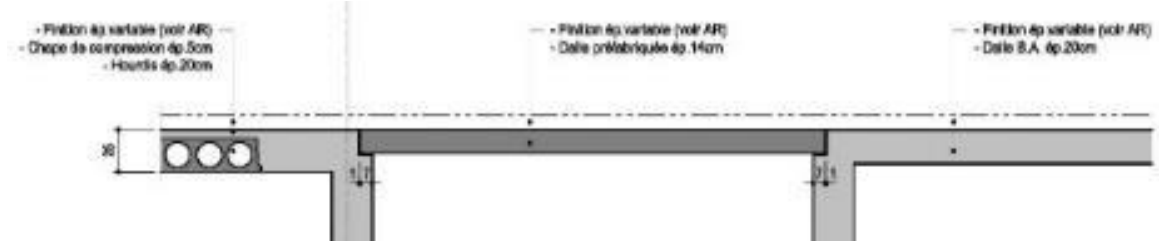


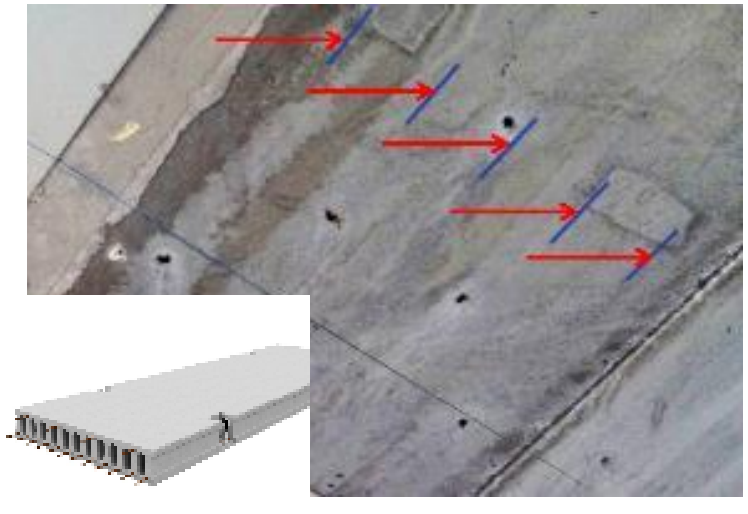
Extension du bureau d'étude Greisch

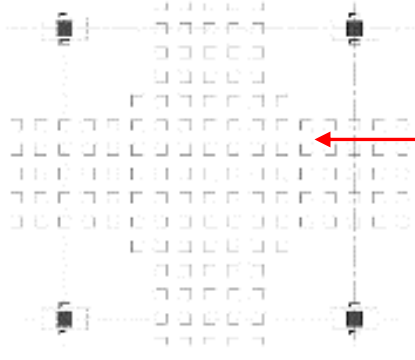
VI. INTERACTIONS STAB / TS

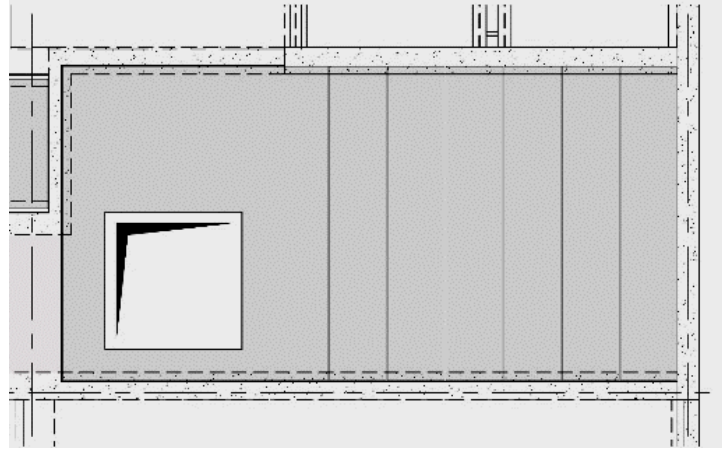
- **Être anticipatif**

  - Réservations sur-numéraires de zone
  - Marquage des alvéoles des hourdis en faces inférieures et torons supplémentaires
  - Perçabilité des dalles champignons – Pastilles
  - Anticiper l'exploitation du bâtiment par des réservation surnuméraires.
  - Trumeaux de façades en béton armé « démontables »
  - Extension du bâtiment : Allèges amovibles pour les exhaussements futurs, Fermetures de trémies d'escaliers et d'ascenseurs, Capacité des fondations prévues pour R+xX
  - …





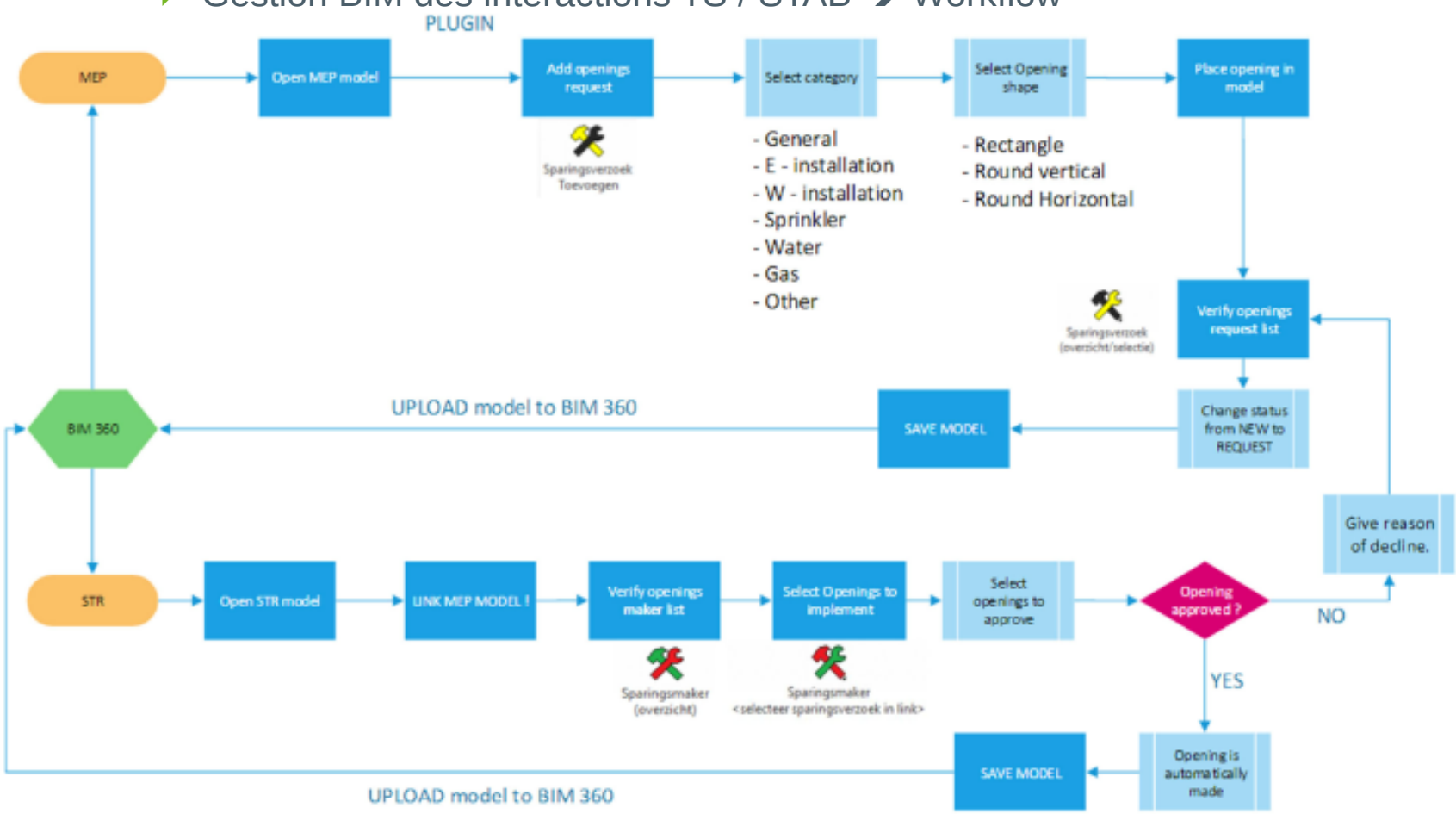




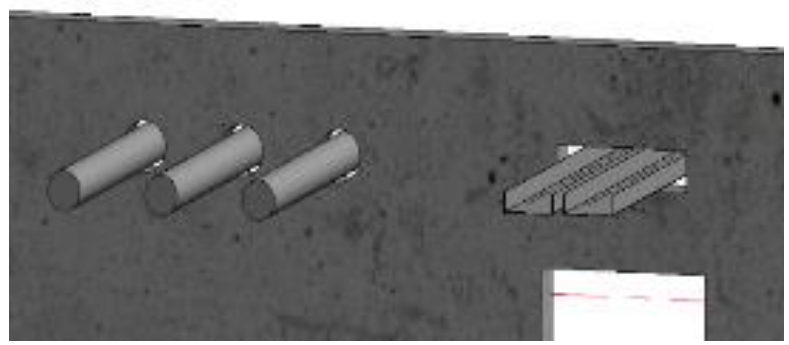
VII. BIM

- **Systématiser les aller-retour techniques structures**

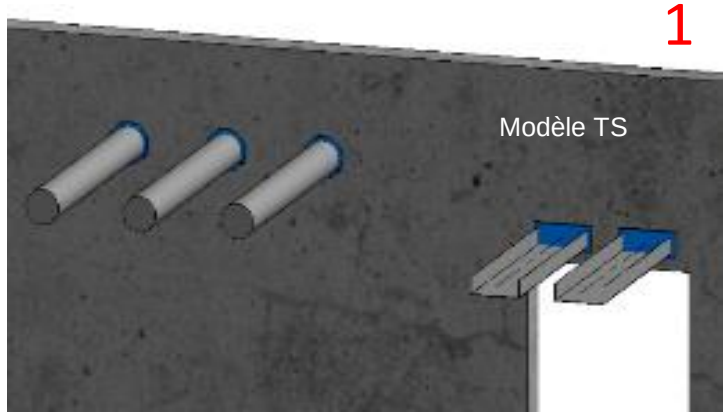
  - Gestion BIM des interactions TS / STAB ➔ Workflow



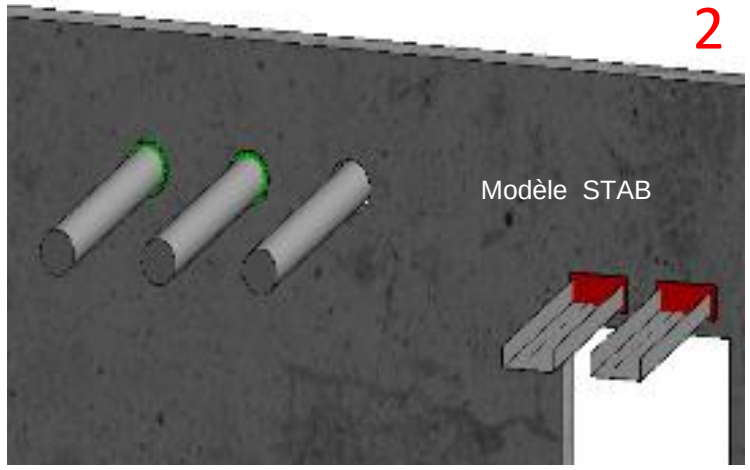
Clash Free model ✓



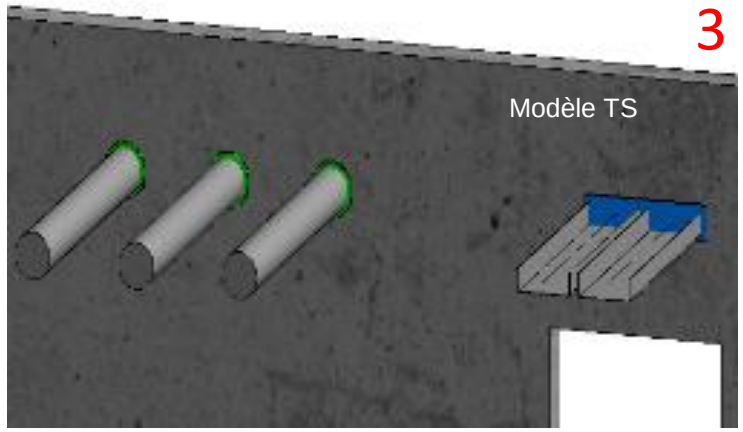
1



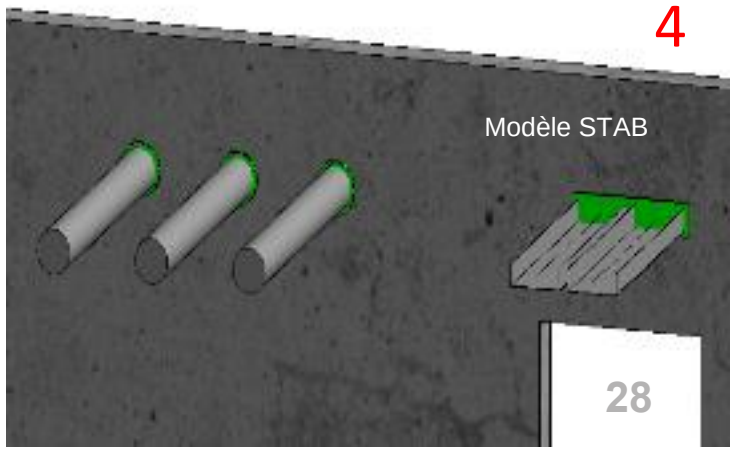
2



3

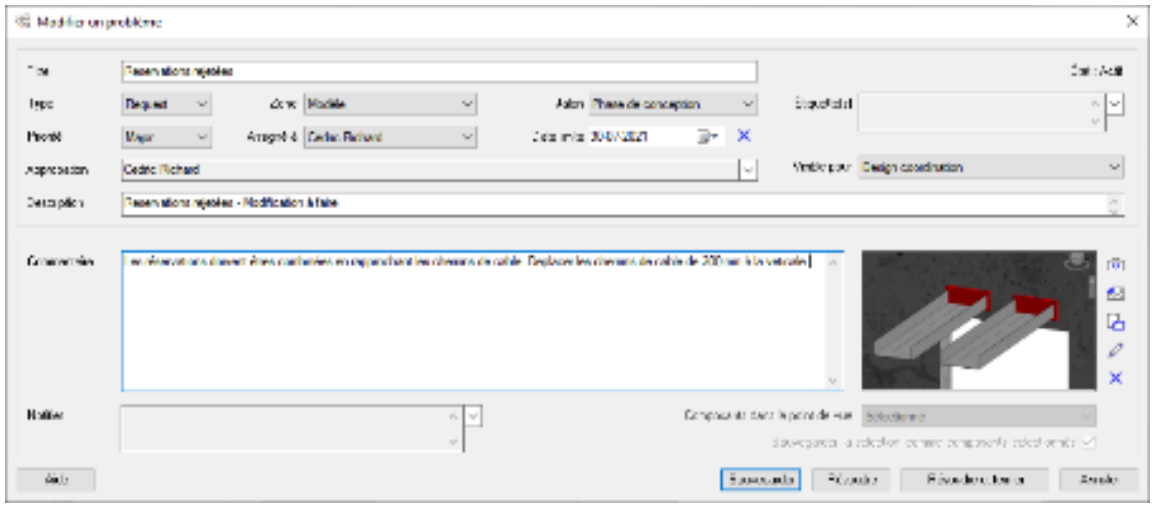


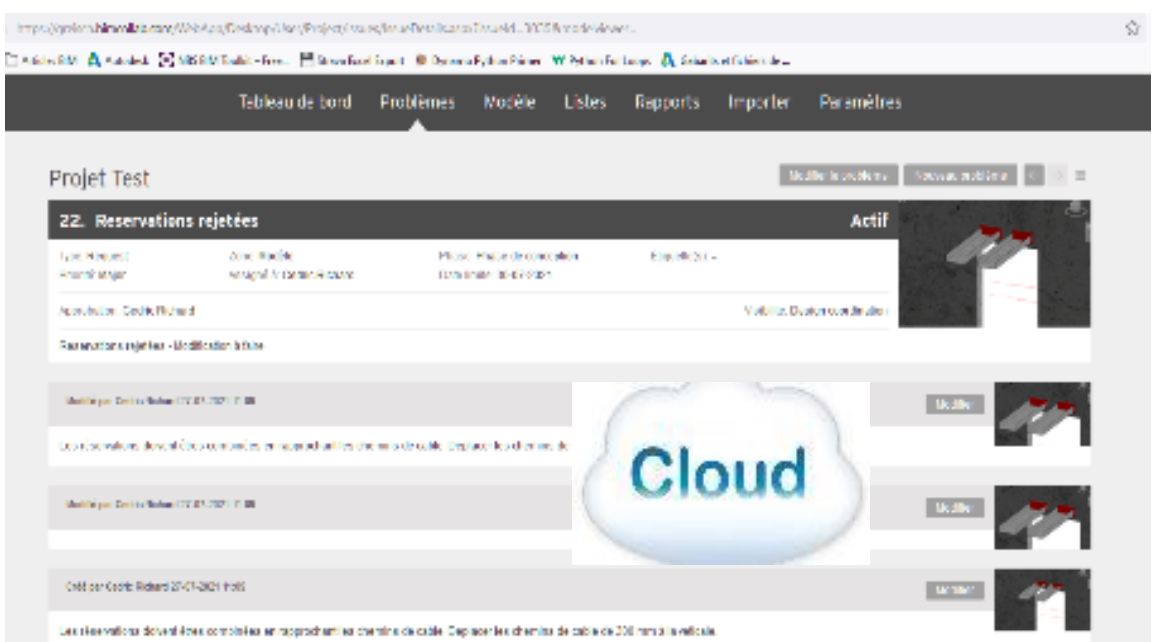
4

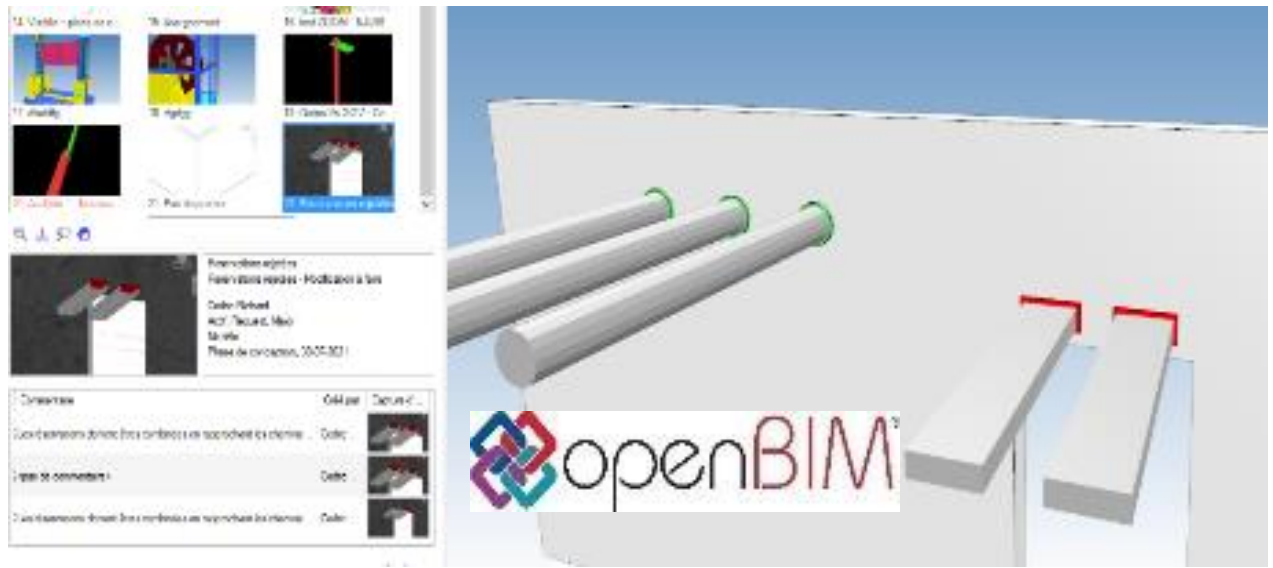


VII. BIM

- **Systématiser les aller-retour techniques structures**
  - Traçabilité des problèmes et de leurs solutions
  - Accessible pour commentaires aux intervenants hors des logiciels de modélisation (Ingénieurs, clients, Organisme de contrôle,…)



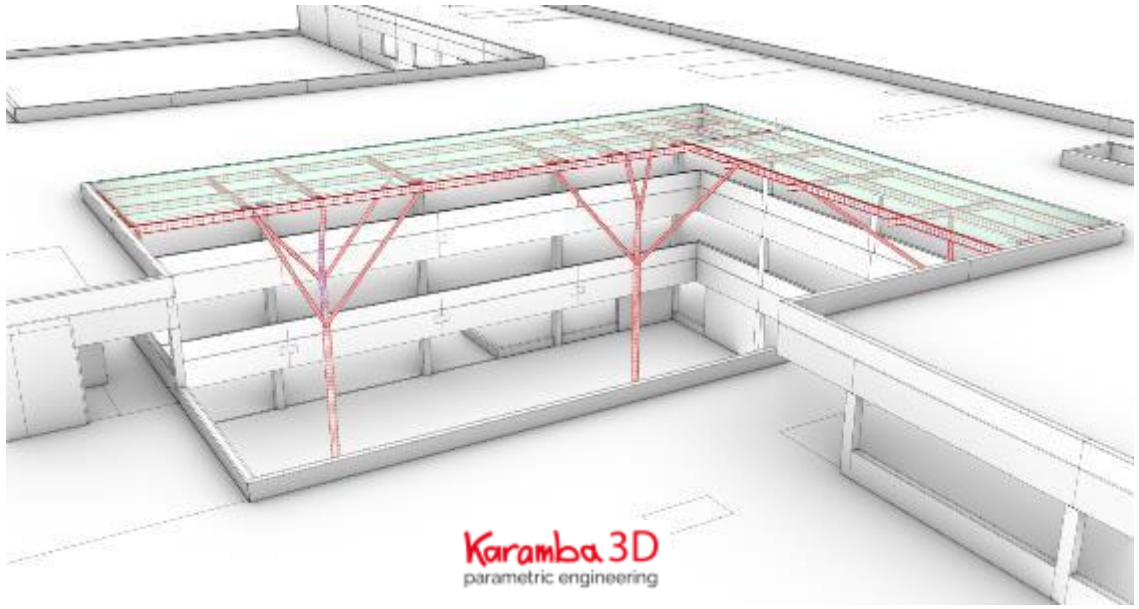


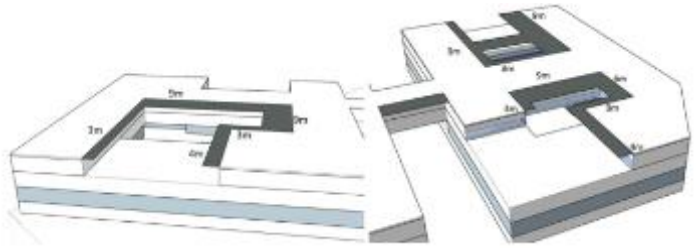


VIII. STRUCTURE TECHNIQUE

- **Apporter une solution énergétique et environnementale**

  - Certification environnementales : occupation des toitures
  - Solution combinée : Charge solaires / Production d'énergie renouvelable
  - Optimisation structurelle : Grasshopper / Rhino / Karamba
  - Life cycle cost = couts versus gains. Evaluer un temps de retour financier et environnemental?





Légiapark – Bureau d'étude Greisch

IX. CONCLUSION

- **Grilles multi critères**

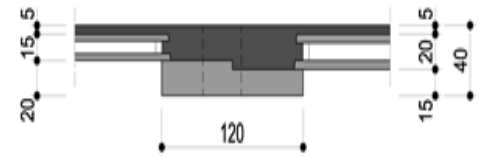
  - La facilité de prévoir des réservations à la construction
  - La facilité de réaliser des percements lors de transformations
  - L'épaisseur de la structure
  - L'incidence du poids des structures sur les fondations
  - Les possibilités de fixations sous les structures des équipements techniques parfois lourds (scialytique, gaines techniques, plafonds froids, etc.)
  - La facilité de cheminer sous les structures (Equipements des techniques spéciales)
  - Le coût / Le délai de construction
  - Environnement (LCA, démontabilité, recyclabilité, …)

Critères	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5
Réservations à la construction (poutre)	+	+	+ +	+ +	+ +
Réservations à la construction (plancher)	+ -	+	+ +	+ +	+ +
Percements lors de transformations	-	+	+ +	+ +	+ +
Coût	+	+ -	-	-	+ -
Rapidité de construction	+	+	+ -	+ -	+
Epaisseur structures	+ -	+ -	+	+	+ -
Incidence descente de charge	+	+	+ -	+ -	+ -
Fixation sous les structures (scialytique, gaines techniques, plafonds froids, etc.)	-	+ -	+	+	+
Facilité de tracé des réseaux	+ -	-	+	+	+ -
Réalisation des barrières acoustiques	+ -	-	+	+	+ -

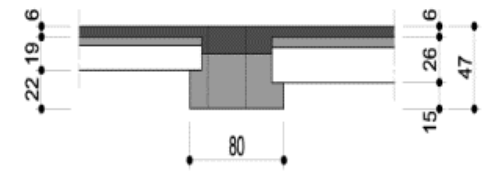
Exemple :

- *Sol1 : Poutres plates + hourdis*
- *Sol2 : Poutre plate + plancher TT*
- *Sol3 : Dalle champignon allégée*
- *Sol 4 : Dalle champignon pleine*
- *Sol5 : Poutre haute + plancher prédalle*

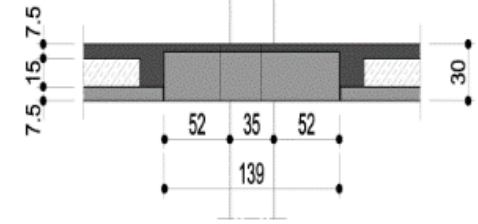
Sol 1



Sol 2

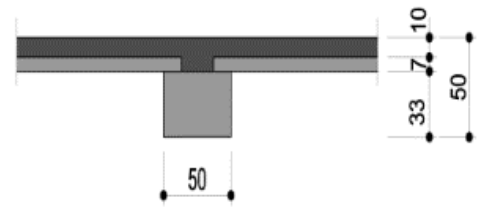


Sol 3



Sol 4

Sol 5



CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'EXPOSÉ

- Les attentes de solutions durables sont croissantes, y compris sur les structures
- Des solutions intégrées techniques / structures existent et peuvent être proposées à bon escient
- Le dialogue entre ingénieurs structures et techniques est essentiel et se renforce
- Il y a une place importante à l'innovation coordonnée de ces deux métiers vers …une co-évolution?

OUTILS, SITES INTERNET, SOURCES

- Guide bâtiment durable

> 9 thèmes > Energie > Dossier / Dispositifs

Dispositif | Activation du noyau de béton

Dispositif | Conduits de ventilation

Dispositif | BIM

Dossier | Assurer le confort respiratoire

Dossier | Choisir les meilleurs modes de production de refroidissement renouvelable

- Energie plus Le site

Maîtrise de la surchauffe grâce au Night Cooling

- Recommandations pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des géostructures thermiques

CFMS/SYNTEC INGENIERIE

- Bruxelles environnement

Thématiques Géologie et hydrogéologie

CONTACT

Mathieu Leroy

Ingénieur en durabilité

Coordonnées

☎ : +32 479 49 34 70

E-mail : maleroy@greisch.com