

International Conference on Bioclimatic Materials and Buildings (ICBMB)
Ifrane 3-5 May 2023

Building / Biomaterials Challenges
Mechanical and transfer heterogeneous properties

Prof. Rachid BENNACER

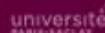
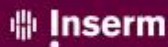
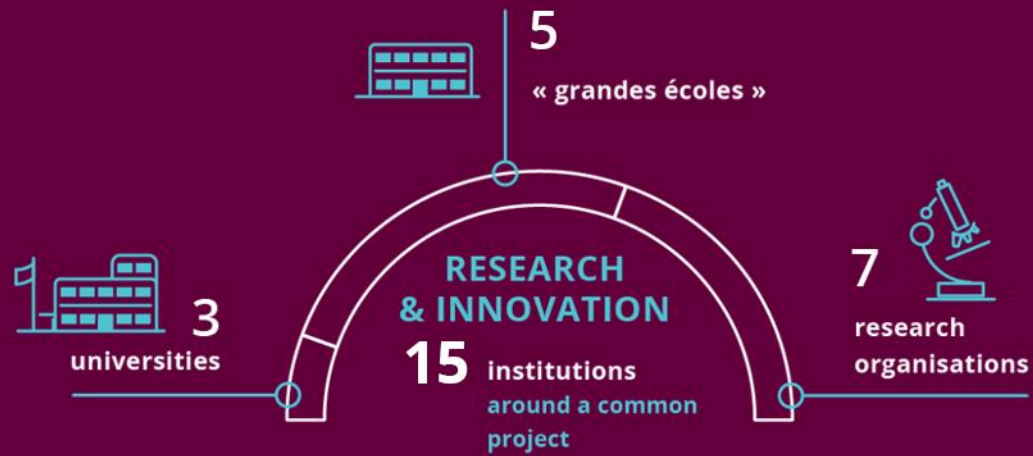
ENS Paris-Saclay / Université Paris-Saclay

université
PARIS-SACLAY

école ———
normale ———
supérieure —
paris — saclay



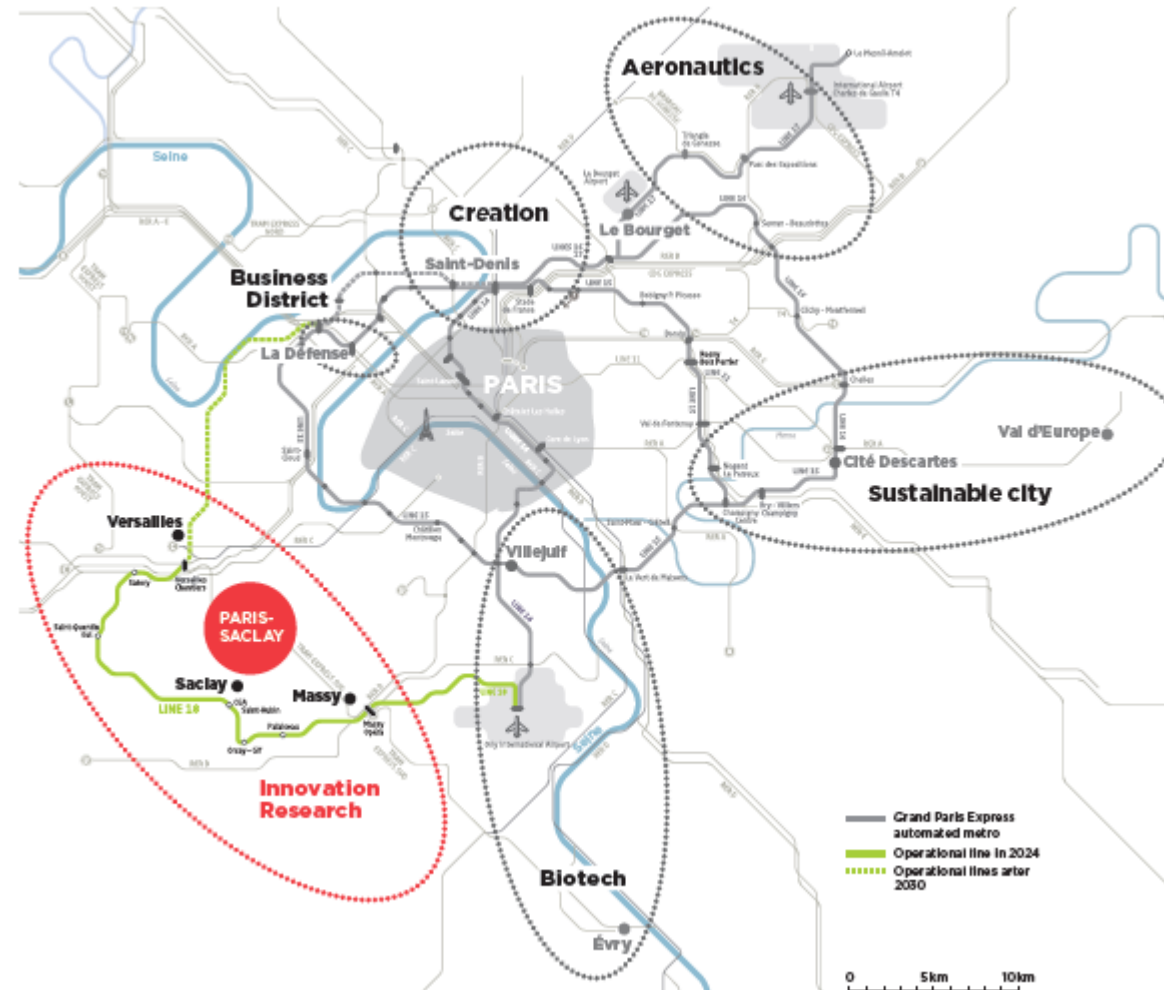
Thx to Dr. K. Abahri; Dr. A. Bourdot, Dr. E. Chady, C. Martin—Cavaillé, Pan Ye



Prof. Rachid BENNACER
 ENS Paris-Saclay
 Université Paris-Saclay

15 founding members
 building
 1 research university

The Paris-Saclay Cluster



- Technological??



- Regulation??

Skeleton



Double skin



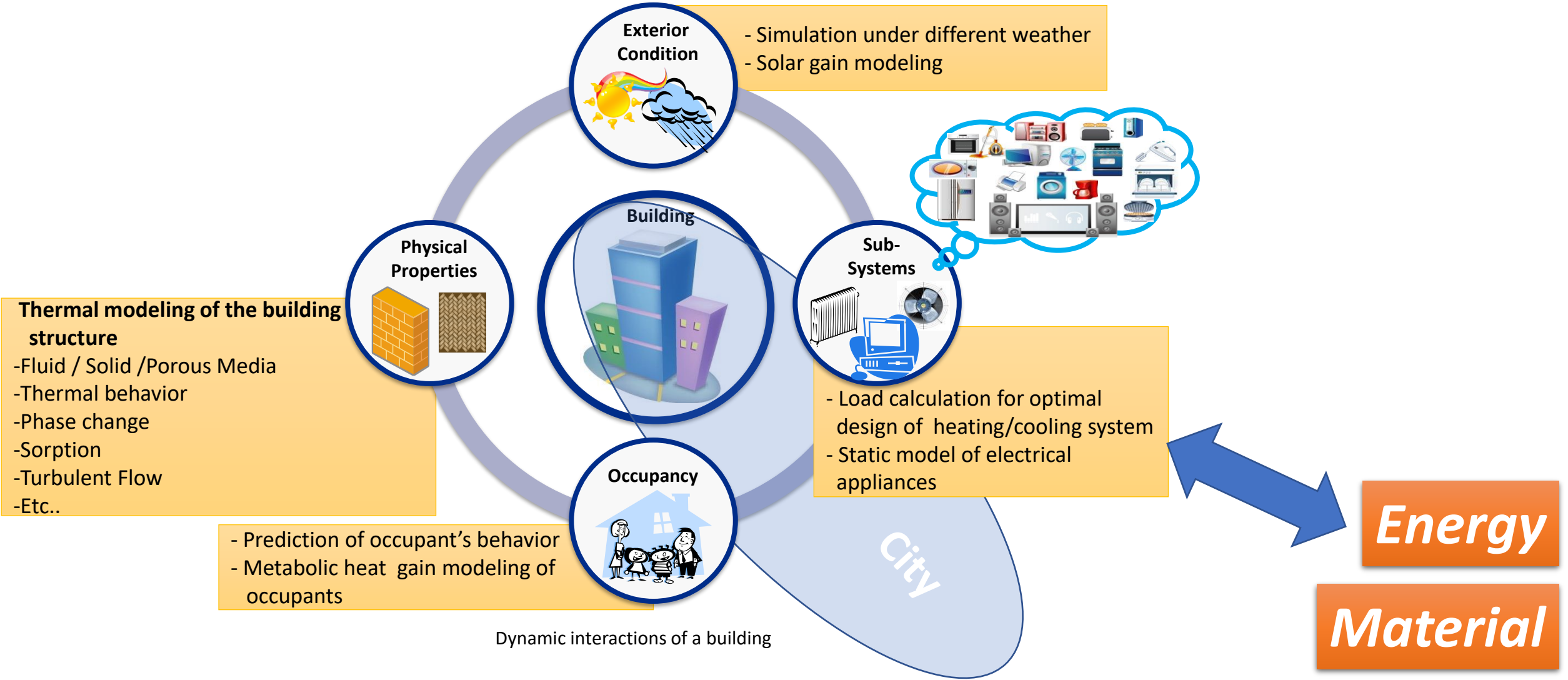
- Sociological??

-



■ Problematic Issues:

• **Dynamic Interactions of a Building with & Sustainable Resources**



Définitions de « bioclimatique »

Wiktionnaire

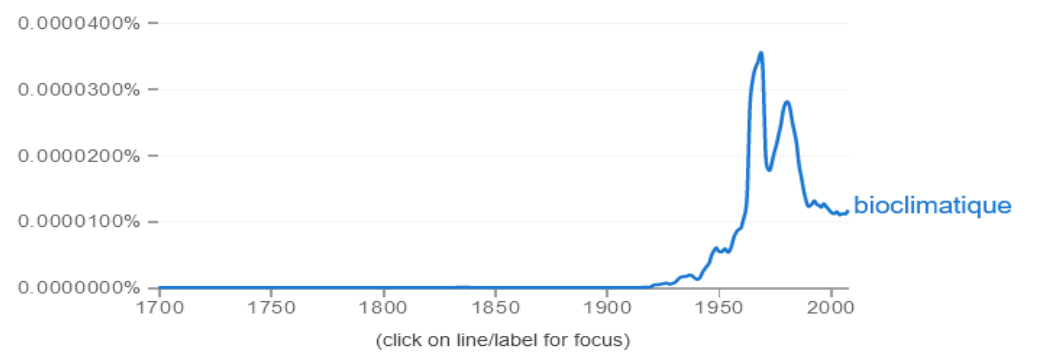
Adjectif - français

bioclimatique \bjɔ.kli.ma.tik\ masculin et féminin identiques

1. En parlant de la construction ou de l'architecture d'un bâtiment, adapté à l'environnement.

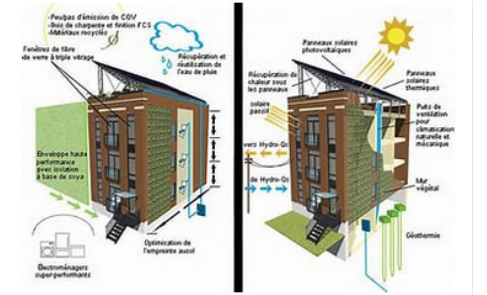
“ Par une conception **bioclimatique**, on peut réduire les besoins en énergie ; il faut travailler sur l'orientation, l'isolation, les surfaces vitrées qui permettent de maximiser l'éclairage naturel et les apports solaires, la ventilation naturelle sans moteur, etc.

Évolution historique de l'usage du mot « bioclimatique »



Source : Google Books Ngram Viewer, application linguistique permettant d'observer l'évolution au fil du temps du nombre d'occurrences d'un ou de plusieurs mots dans les textes publiés.

Le terme "bioclimatique" peut avoir plusieurs significations. Il peut être utilisé pour décrire **quelque chose qui concerne l'influence du climat sur les organismes vivants**¹. Dans le domaine de l'écologie, il peut être utilisé pour décrire une habitation conçue pour consommer les énergies renouvelables à sa disposition, comme l'énergie solaire². Un habitat



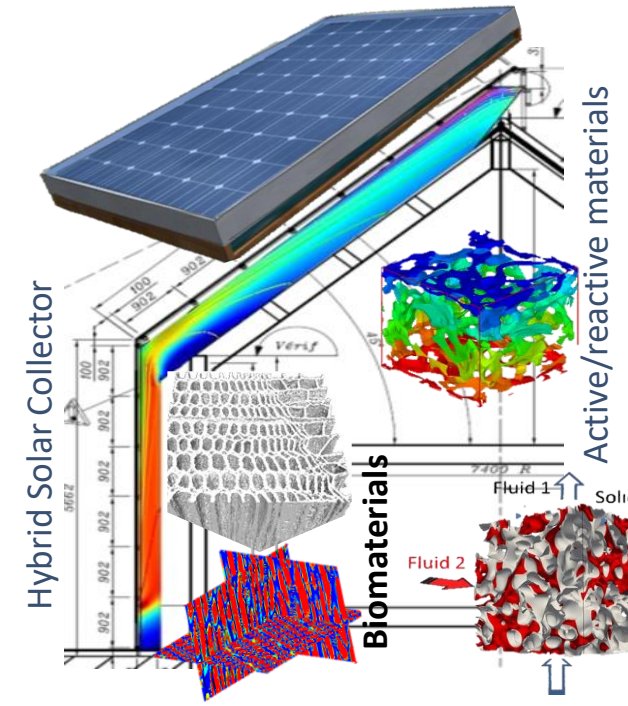
bioclimatique est un bâtiment dans lequel le chauffage et la climatisation sont réalisés en tirant le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air³. La conception bioclimatique peut également être considérée comme une stratégie architecturale qui utilise judicieusement les ressources de l'environnement proche pour assurer un meilleur confort et réduire la consommation énergétique^{4 5}.

🔊 **bioclimatique**
adjectif

1. Relatif à la [bioclimatologie](#).

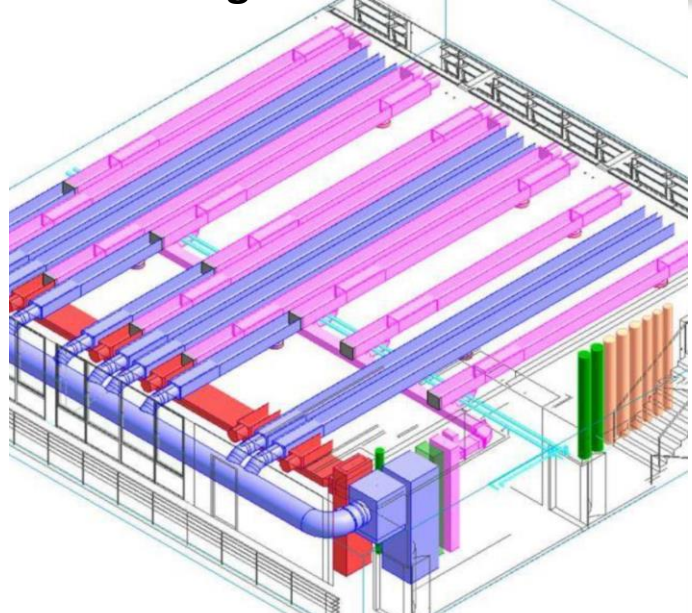
2. Se dit d'un habitat dans lequel la climatisation est réalisée en tirant le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air afin de réduire la consommation d'énergie.

→ Introduction (ENS Building)

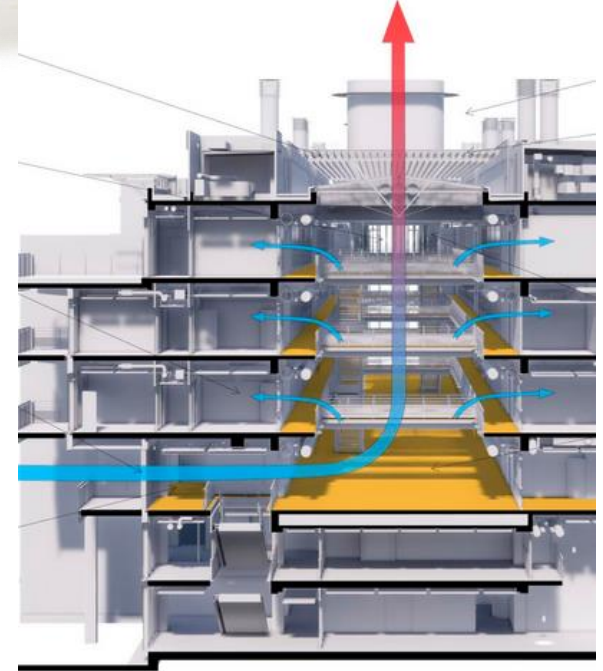


Reduction of Energy needs (Building sector)

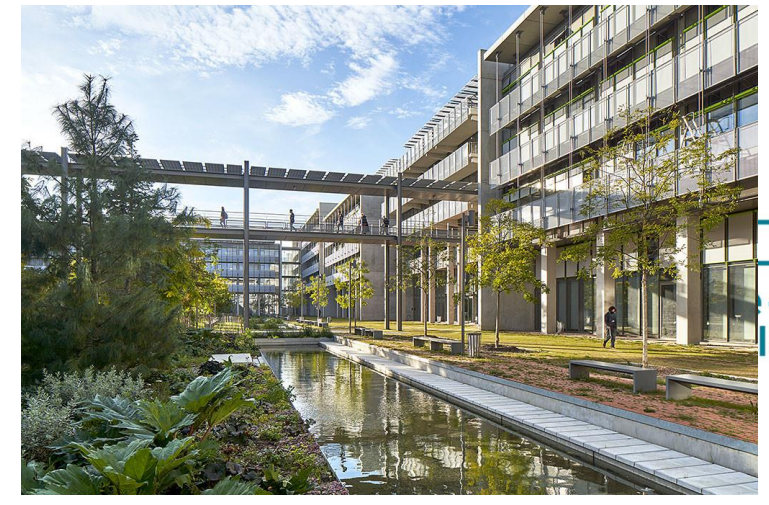
Free cooling floor slab



Free ventilation (solar chimney)



Pond refreshment



lay

→ RE2020 : Grands principes

La RE2020 a 3 objectifs principaux :

Encourager la sobriété énergétique et l'efficacité énergétique

La réduction des consommations d'énergie a toujours été le pilier des réglementations thermiques et elle le restera avec la RE2020. Ainsi, les seuils de consommations d'énergie primaire seront abaissés d'environ 15% à 20% par rapport à la RT 2012.

Des exigences plus ambitieuses seront également fixées sur le besoin bioclimatique des constructions (Bbio) afin de réduire encore un peu plus les besoins de chauffage, de froid et d'éclairage par rapport à la RT2012 (de l'ordre de -30% v. RT2012).

Energy Saving
Energy Efficiency

Diminuer l'impact carbone sur le cycle de vie des bâtiments neufs en incitant à recourir plus fortement aux énergies renouvelables et aux matériaux biosourcés

C'est une des nouveautés de la RE2020 : les nouvelles constructions devront désormais respecter des exigences minimales en matière d'émissions de gaz à effet de serre, et ce, sur l'ensemble de leur cycle de vie

Plus précisément, deux types d'exigences seront fixées :

- Des exigences portant sur les émissions de GES liées à la consommation d'énergie. Les solutions énergétiques plus performantes et moins émissives.

Garantir la fraîcheur des bâtiments en cas de forte chaleur

Dans un contexte de réchauffement climatique, les bâtiments devront faire face à des températures de plus en plus élevées et des épisodes caniculaires plus fréquents. Le confort d'été sera mieux pris en compte dans la RE 2020 à travers un nouvel indicateur, le nombre de Degrés-Heures (DH) d'inconfort estival, avec pour objectif de limiter l'inconfort en période de forte chaleur (à travers un plafond) et d'éviter le recours systématique à la climatisation.

Life cycle
Carbon impact

Coolness of buildings
Heatwave or T evolution

Exigences sur les indicateurs énergétiques en résidentiel

Bbio : LE BESOIN BIOCLIMATIQUE

Bioclimatic needs

Le coefficient Bbio, **exprimé en points**, traduit le **besoin en chauffage, refroidissement et éclairage d'un bâtiment** pour rester à une température confortable indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre. Il dépend de la conception architecturale de son bâti (compacité, orientation des baies, accès à l'éclairage naturel, logements traversants ou non...) et de la qualité de son enveloppe en termes d'isolation, d'étanchéité à l'air ou d'inertie. Il est calculé de la manière suivante :

$$\text{Bbio} = 2 \times \text{Besoin en Chauffage} + 2 \times \text{Besoin en Refroidissement} + 5 \times \text{Besoin en éclairage}$$

Cep : LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE

Primary energy consumption

Dans la RE2020
Le Bbio

- Le Cep correspond aux **consommations conventionnelles d'énergie primaire du bâtiment**. Dans la RE2020, il sera calculé sur :

- les **5 usages de la RT2012** (chauffage, refroidissement, ECS, éclairage et auxiliaires de ventilation et de distribution),
- les **consommations d'énergie pour la ventilation**

Cep,nr : La part non renouvelable

Cep non renewable

A partir d'un certain seuil, les besoins de climatisation s'ajoutent au Cep.
Le Cep peut être diminué par la part exportée ni de la part importée.

Ce nouvel indicateur, exprimé en kWh_{ep}/m²/an, représente la **consommation conventionnelle du bâtiment pour les mêmes usages que le Cep, en ne conservant que la part non renouvelable**. C'est l'indicateur principal et le plus contraignant pour les consommations d'énergie. Il est calculé comme le Cep, à partir des consommations en énergie finale, mais avec des coefficients de transformation de l'énergie différents.

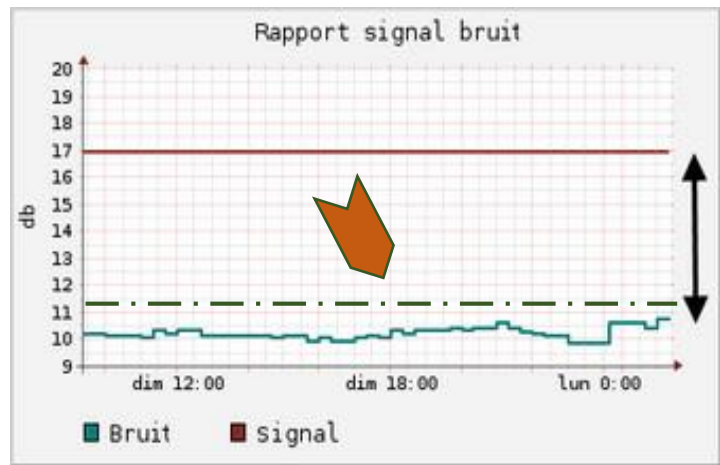
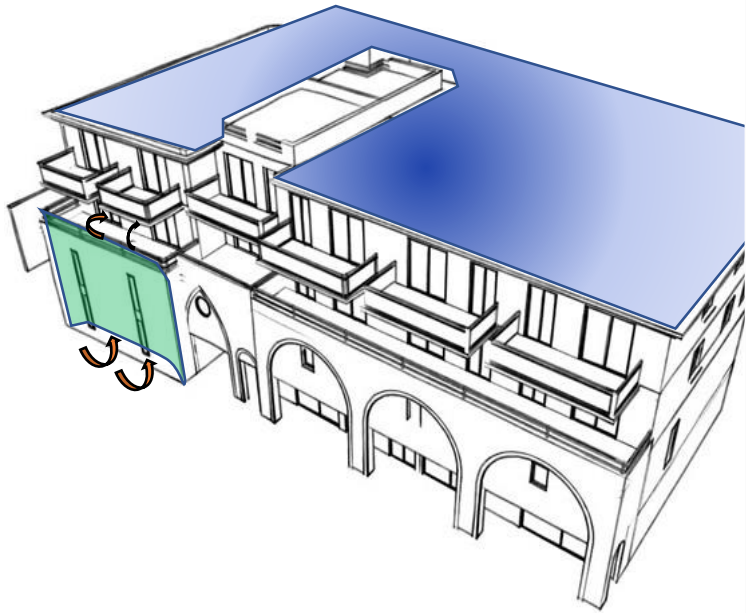
Cet indicateur est exprimé en kWh_{ep}/m²/an

- 75 kWh_{ep}/m²/an

Type d'énergie	Coefficients de transformation de	Coefficients de transformation de l'énergie entrant dans le
----------------	-----------------------------------	---

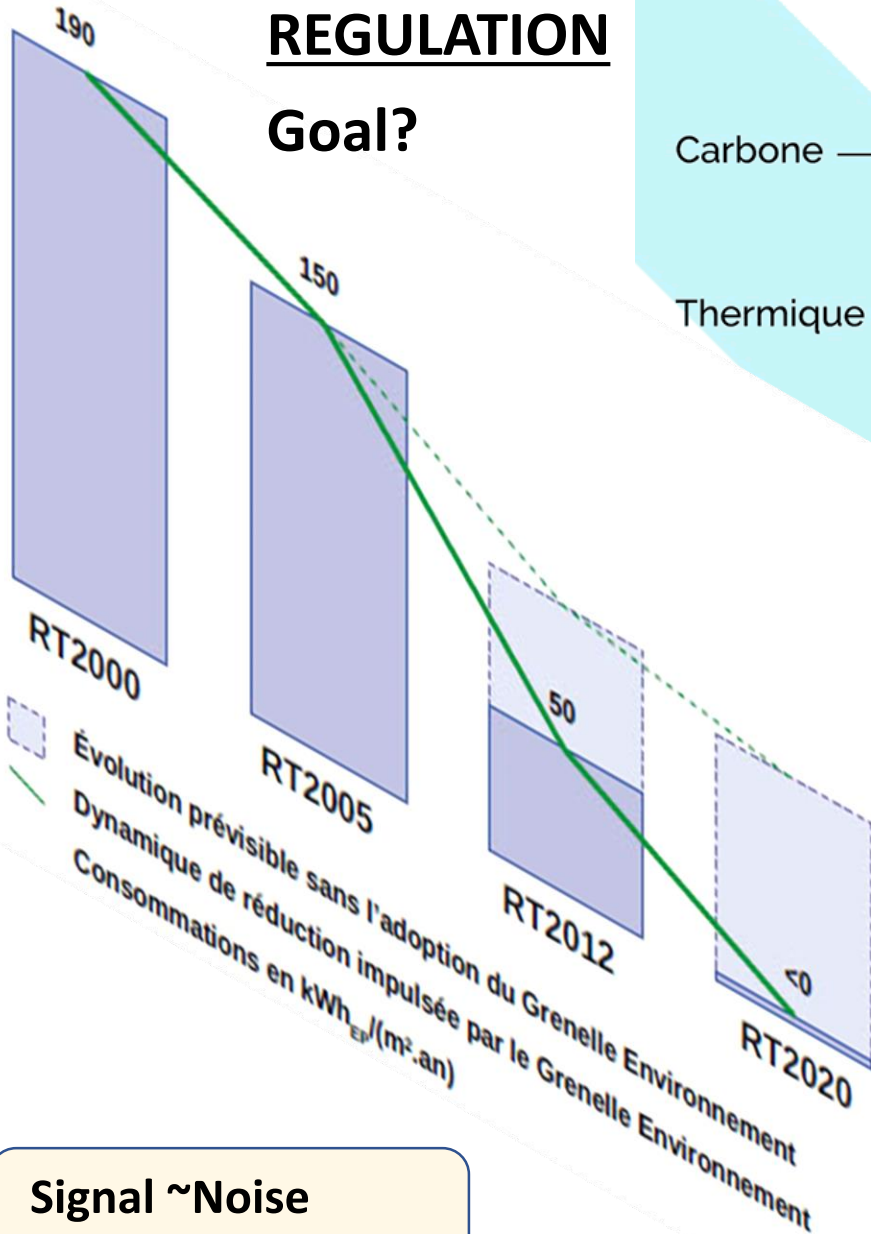
→ RE2020 : Questions

Real Building



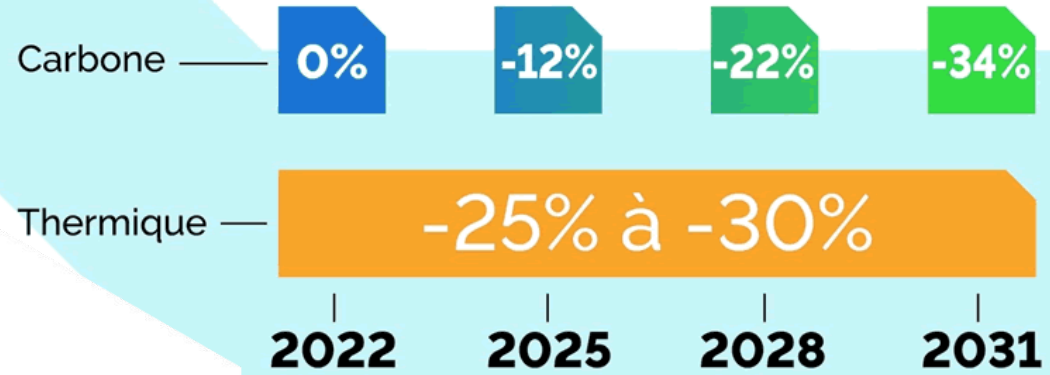
REGULATION

Goal?

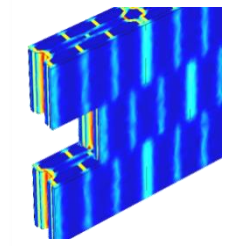


RE 2020

REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE



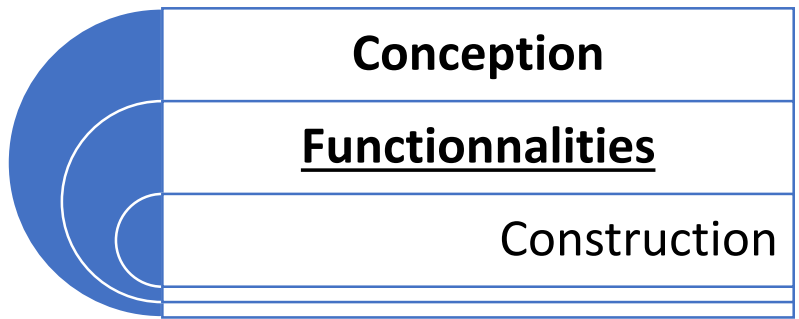
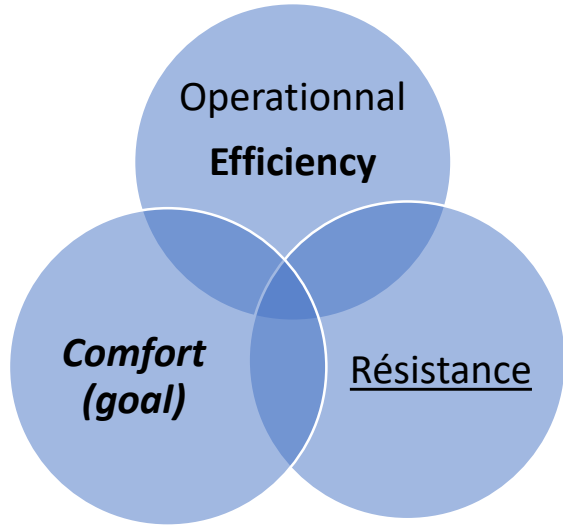
Adaptations to temperature changes-crisis



Signal ~ Noise
1- Model Approach?

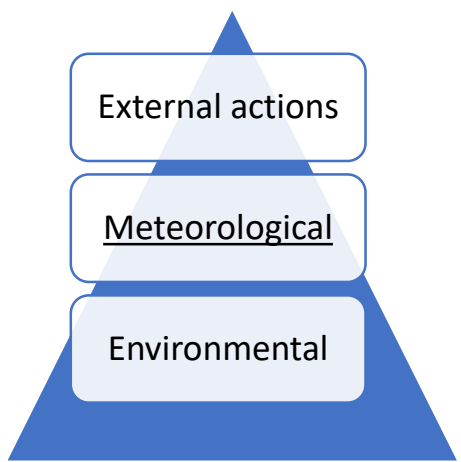
2- Performances & Reliability?

→ Building



Objectifs?

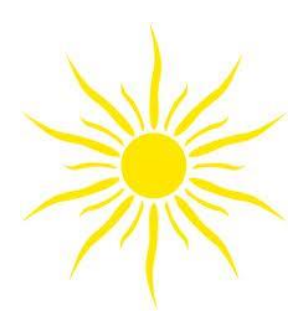
- Knowledge output
Particular case → **weak conclusion**
- **Social and/or economic impact**



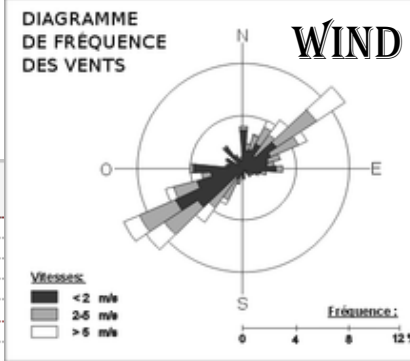
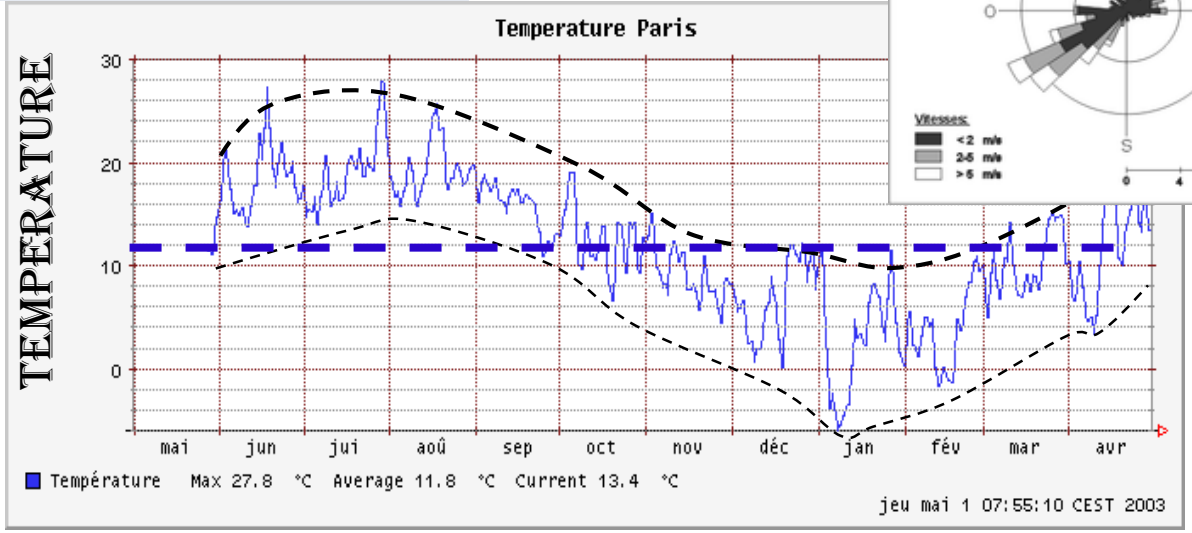
Catégories

- R
- R&D
- **R&D**
- **R&D**

Durability?
Sustainability?



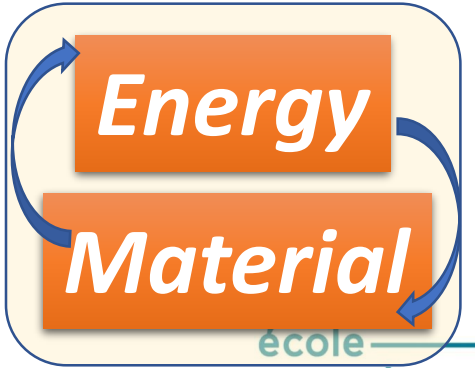
External (transient)



Build for what?

What are the available resources?

Etc...



école normale supérieure paris-saclay

Sustainability / Durability

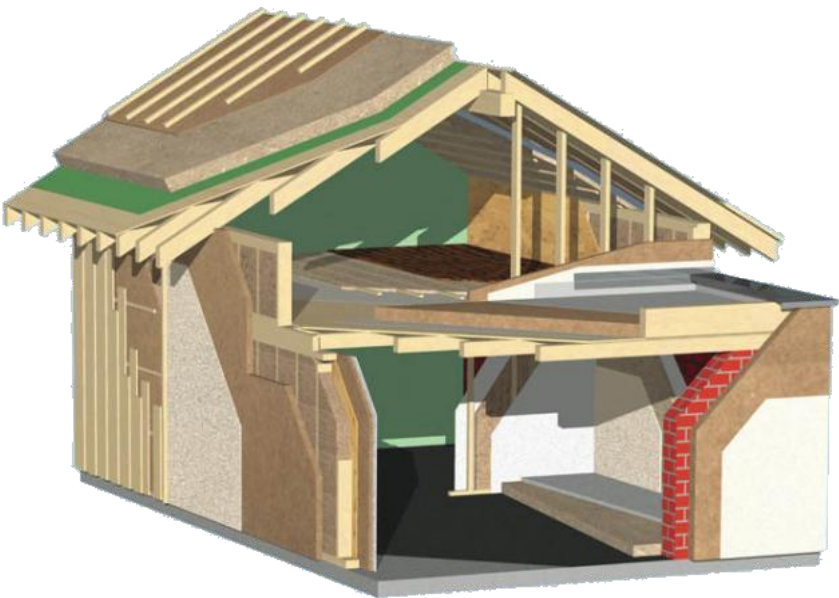
Matériaux et Eco- matériaux

Bio-Materials

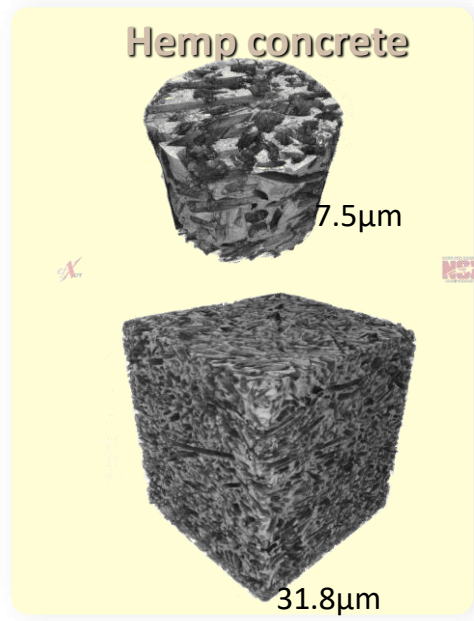
Interesting physical properties of Wood and derivatives as a building material

Material (300°K, 25°C)	Thermal Conductivity (λ : W/m.K)	Specific Heat (J/K·kg)	Density (kg/m ³)
Adobe	0,2 – 0,4	900	1300
Raw earth	0,06 – 0,12	700 - 1000	~1400
Brick	0.7	840	600
Concrete – cast dense	1.4	840	2100
Concrete – cast light	0.4	1000	2600
Glass (window)	0.8	880	2700
Hardwoods (oak)	0.16	1250	720
Softwoods (pine)	0.12	1350	510
Paper	0.04	1300	930
Particle board (low density)	0.08	1300	590
Particle board (high density)	0.17	1300	1000
MDF (low density)	0.05	1400	250
MDF (high density)	0.14	1400	800
Fiber board	0.11	2100	270
Fiberglass	0.04	700	150
Expanded polystyrene	0.03	1200	50

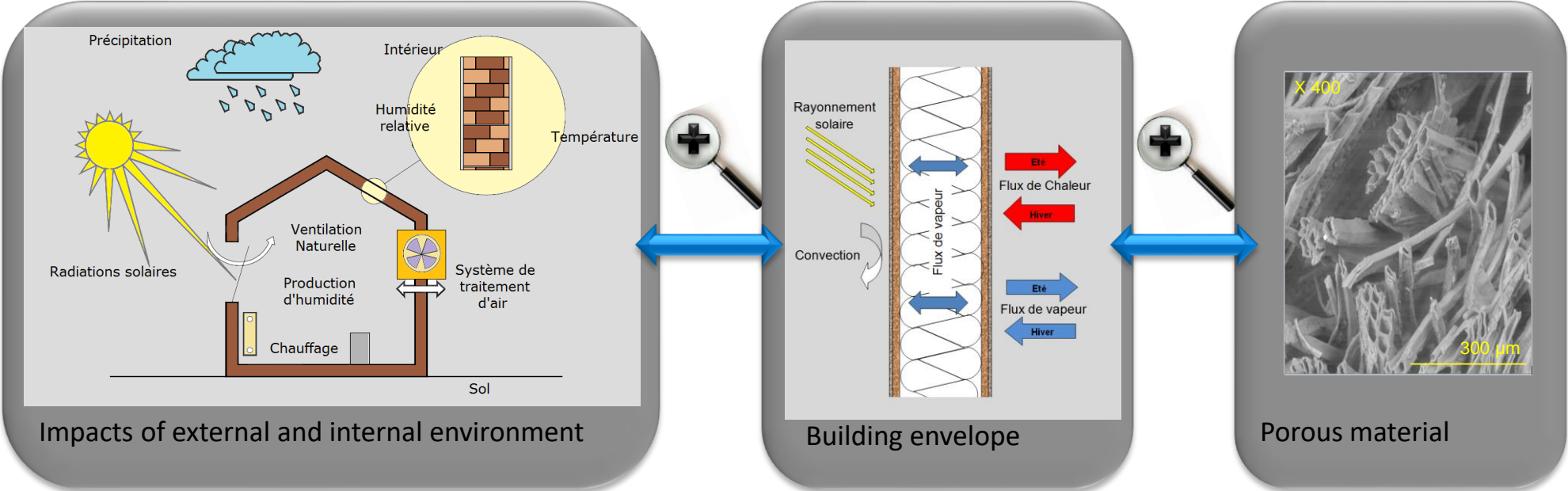
As material



- Solid solid spruce wood
BM: utilisé en structure, murs, ...
- Wood fibre insulation,
IFB : utilisé en isolation intérieure, extérieure, toiture, ...
- Oriented Strand Board,
OSB : utilisé en murs en ossature bois, Planchers, contreventement...



Multi-scales approach

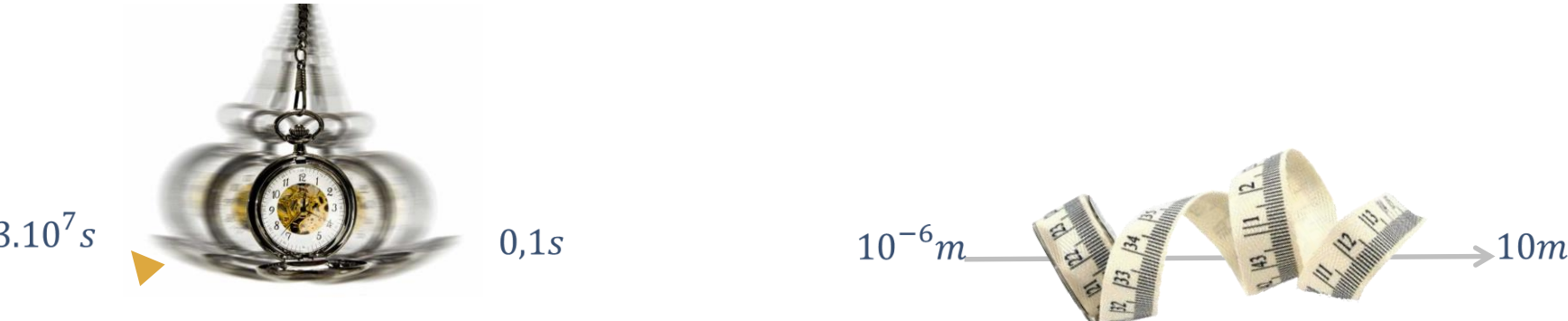


Building : **43.6 %** of final energy consumption and **23 %** of CO2 production

Complex interactions of different heat and moisture transport mechanisms

Evaluation of the material's behavior at the microscopic scale

↓
Understand the macroscopic phenomena



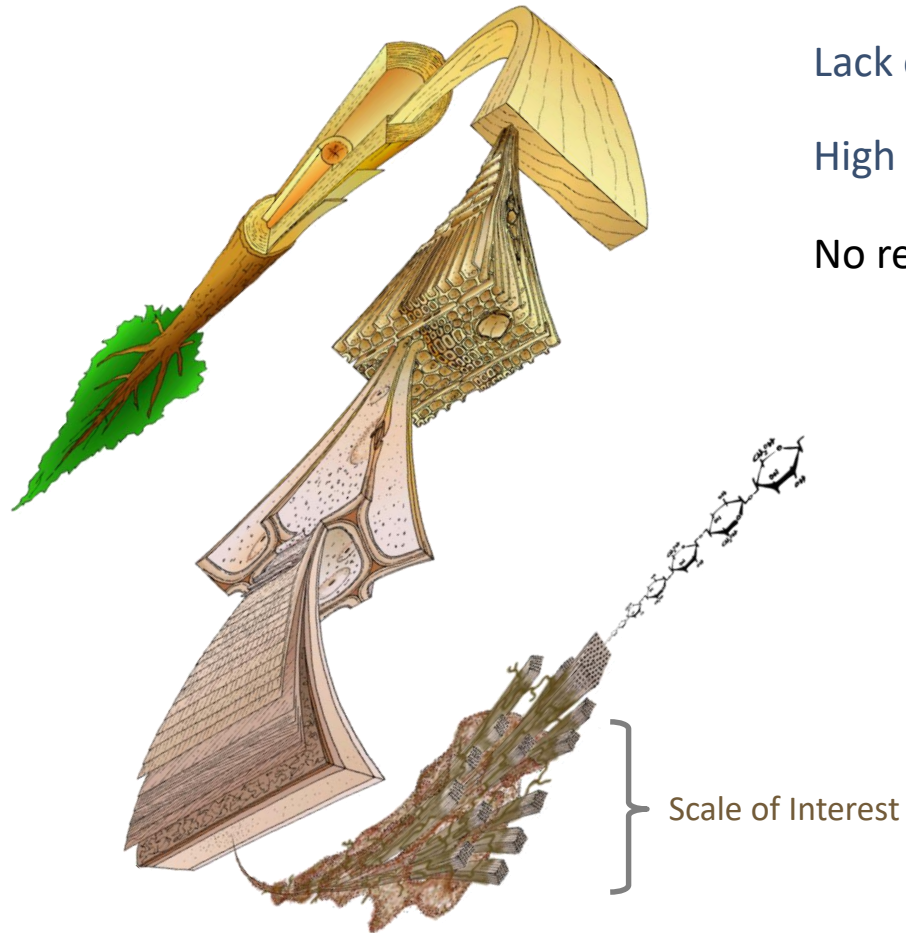
Motivation

Hygroscopic materials (high sensitivity to moisture)

Lack of knowledge of **microscopic behavior**

High **heterogeneity and anisotropy**

No representative model of microscopic behavior exists



Durability



Swelling or shrinkage below the fibre saturation point

High water content increases condensation in the building envelope

High probability of structural degradation

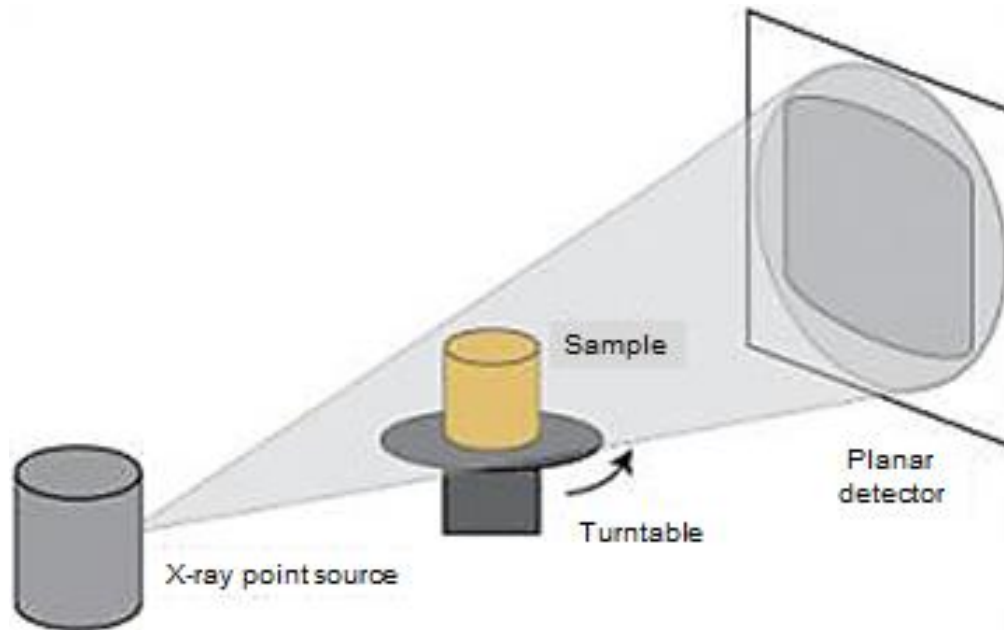
Procedure

X-ray tomography



Non-destructive method

- Uses X-ray to create cross sections of a physical object (resolution <math><1\mu\text{m}</math>)
- 3D reconstruction can be performed using specific softwares (efX)

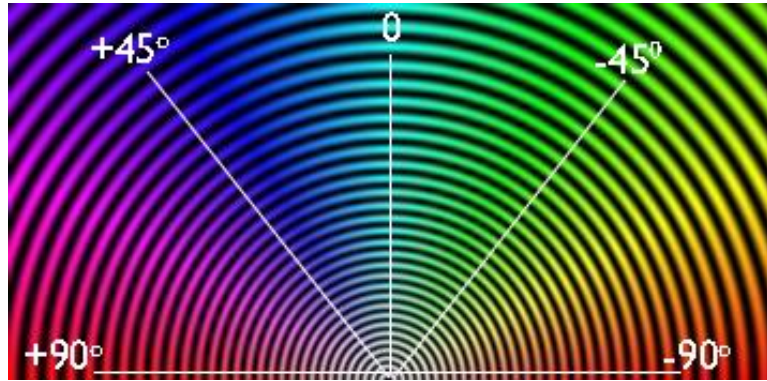


$$I_x = I_0 * \exp(-\mu * x)$$

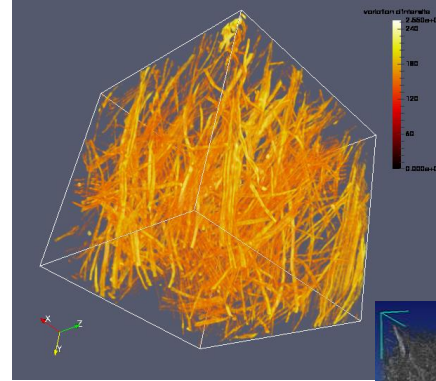


NSI-X50 Tomograph

Fibers



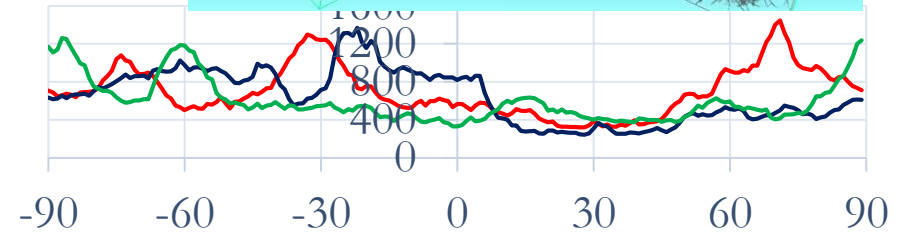
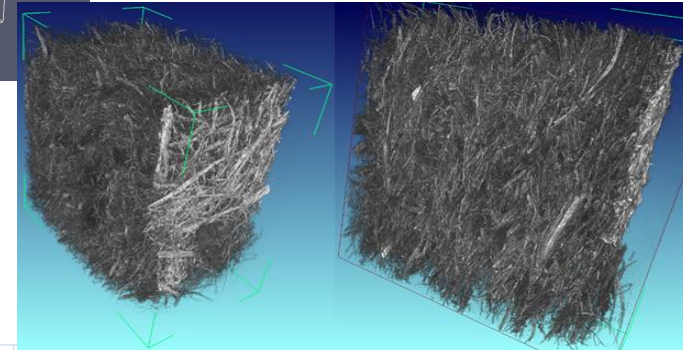
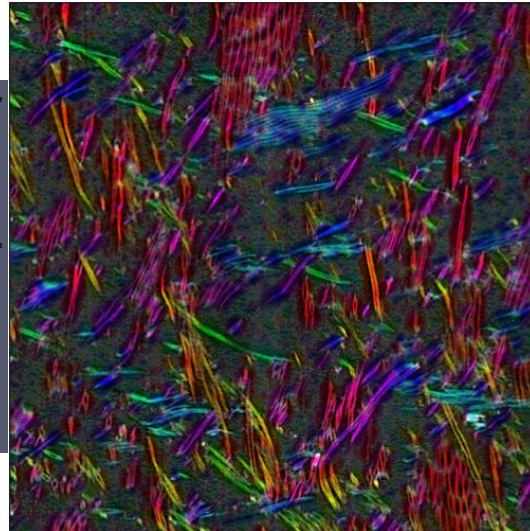
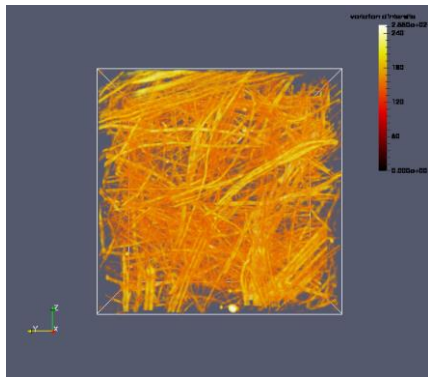
Determination of VOI



VOI of dimensions (85 = 4.4x4.4x4.4)

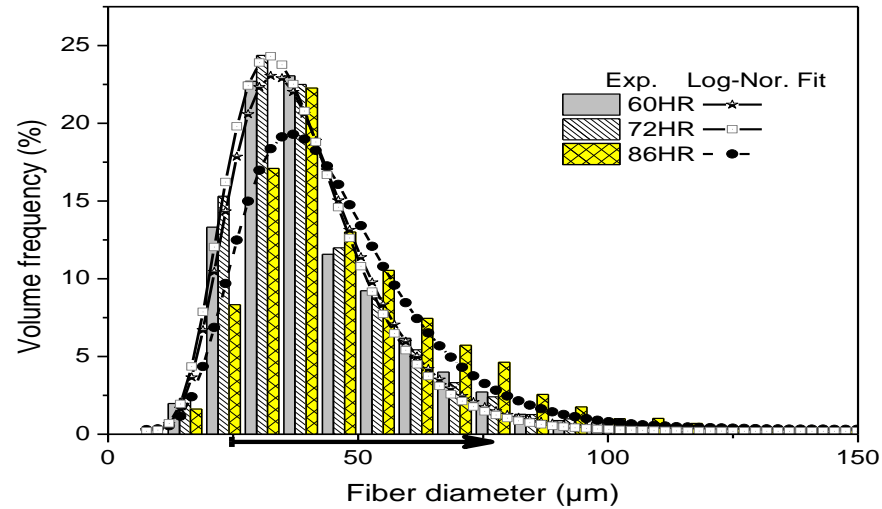
Analyse d'orientation des fibres

Direction 1

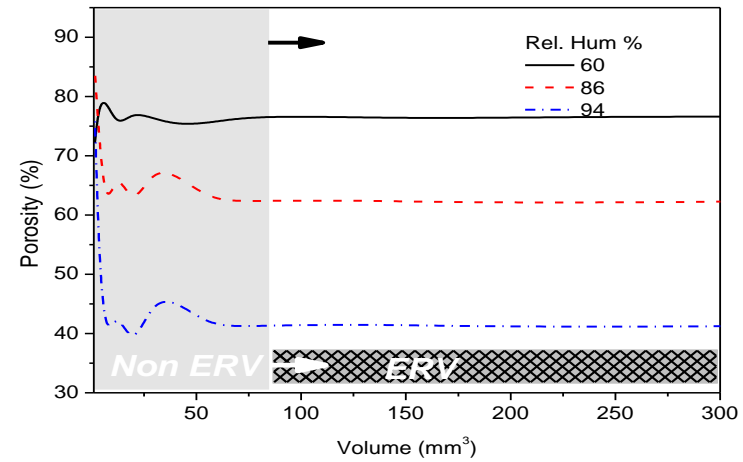


— 100 — 200 — 300

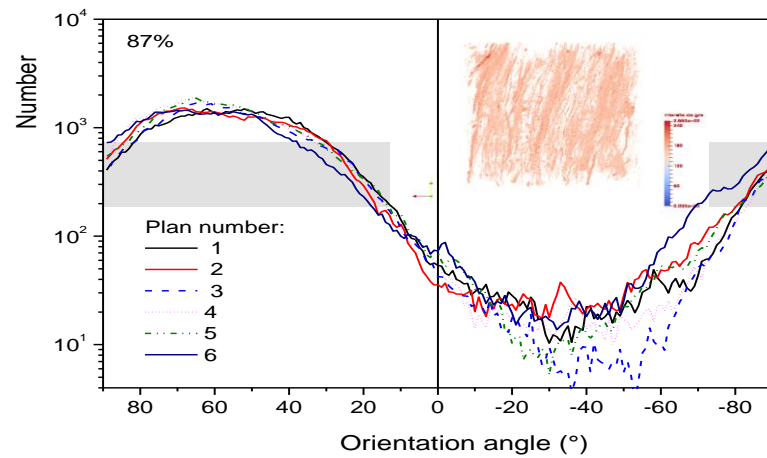
Geometrical analysis



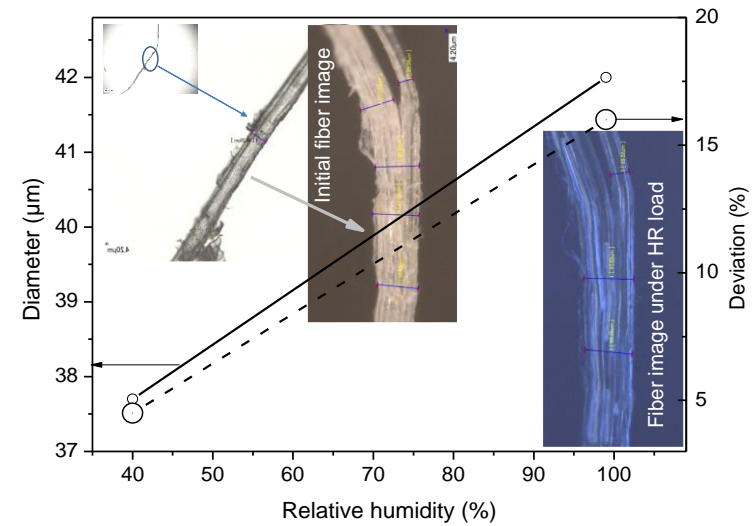
Fibers' diameters' distribution for different humidity conservation conditions



Porosity calculation for many size volumes at three different relative humidity

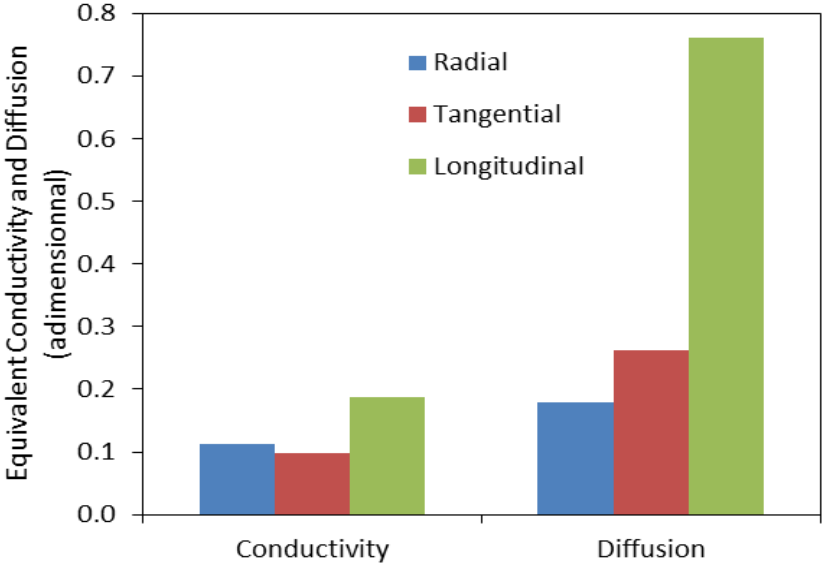


Fibers' orientation on the second longitudinal plans a) and transverse plans b)

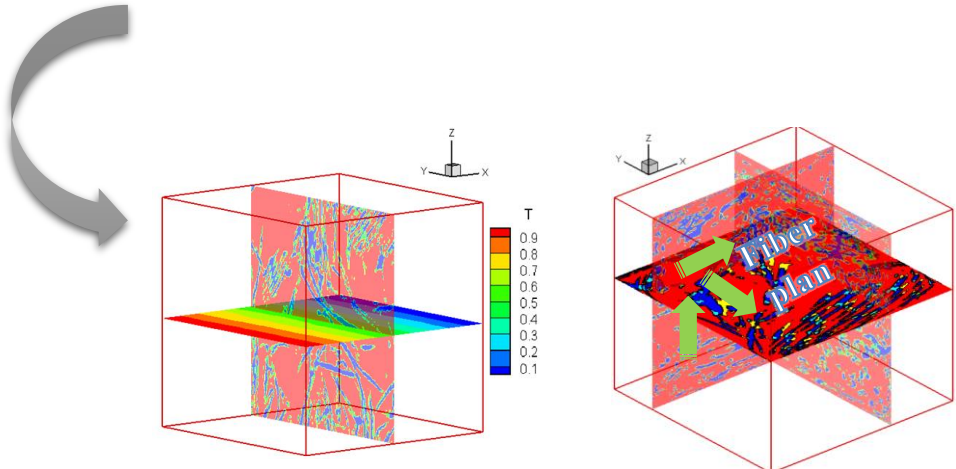
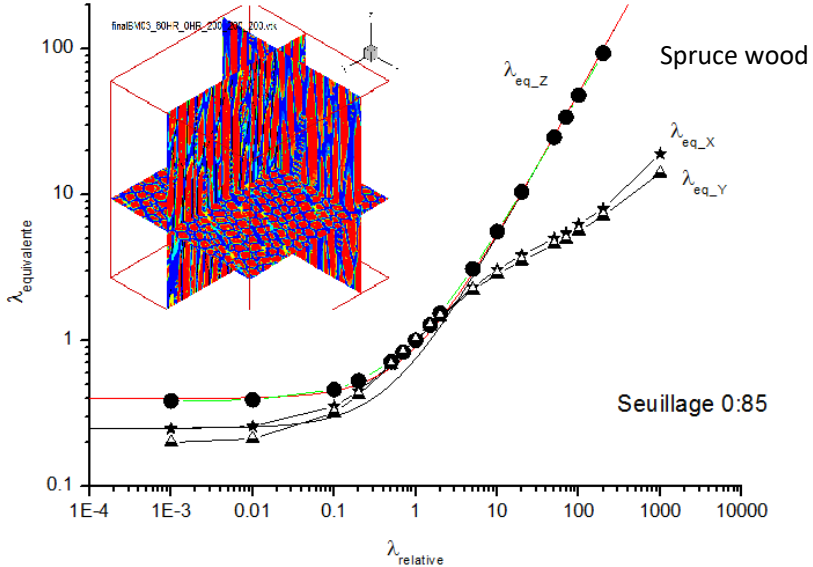


Isolated fiber evolution under controlled ambient conditions (40 to 99 % relative humidity)

Transfert properties - Homogenization



Equivalent conductivity and diffusion coefficients in the 3 principal wood directions

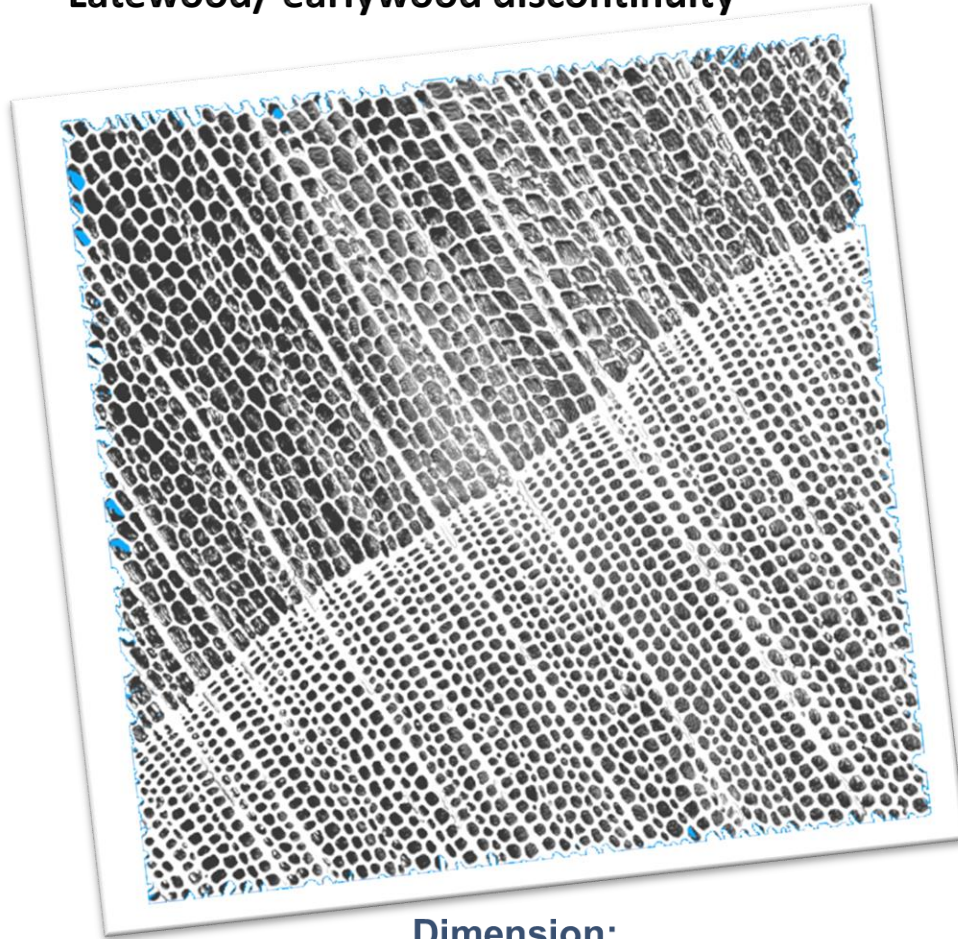


Slices of temperature distribution and wood fiber insulation morphology

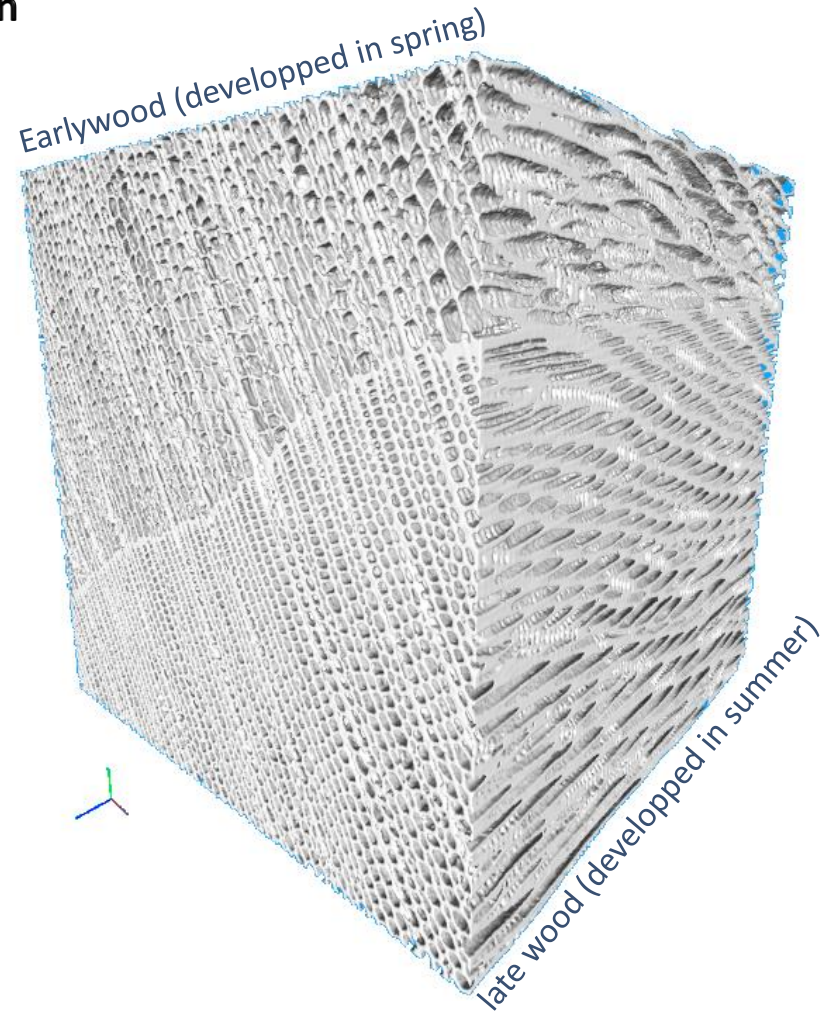
Wood

3 D Reconstruction

Latewood/ earlywood discontinuity



Dimension:
500x500x500 Voxel³
Resolution:
3.3 μm

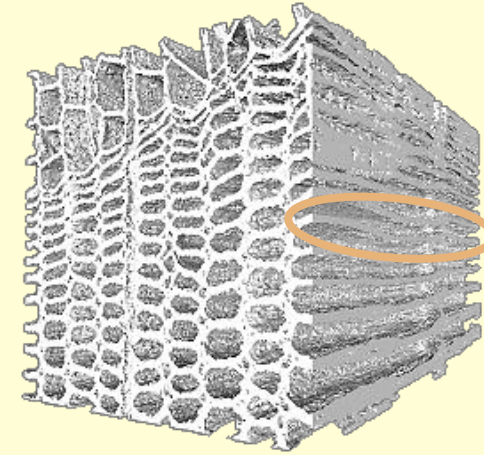


*A 3D view on ImageJ of the ROI of dimensions 1.6x1.6x1.6 mm³ of a dried specimen with the latewood/early wood transition
RH= 60%*

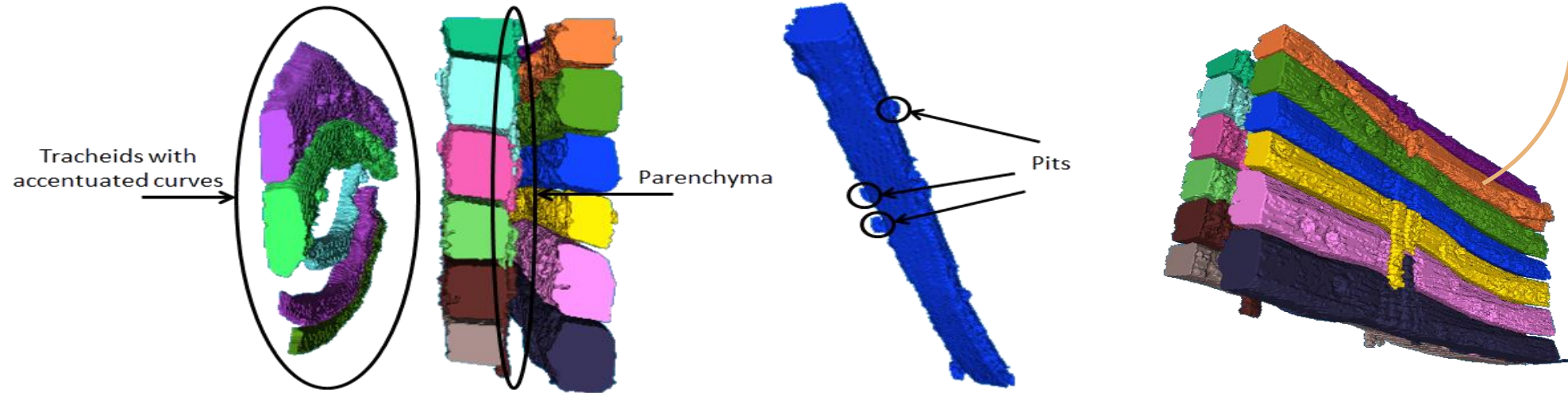
iMorph

- Pores/Solid
- Average porosity evaluation
- Fibers individualization
- Specific surface , crookedness....

ROI 0,3 x 0,3 x 0,5 mm³
Résolution: 0,5 µm/pix

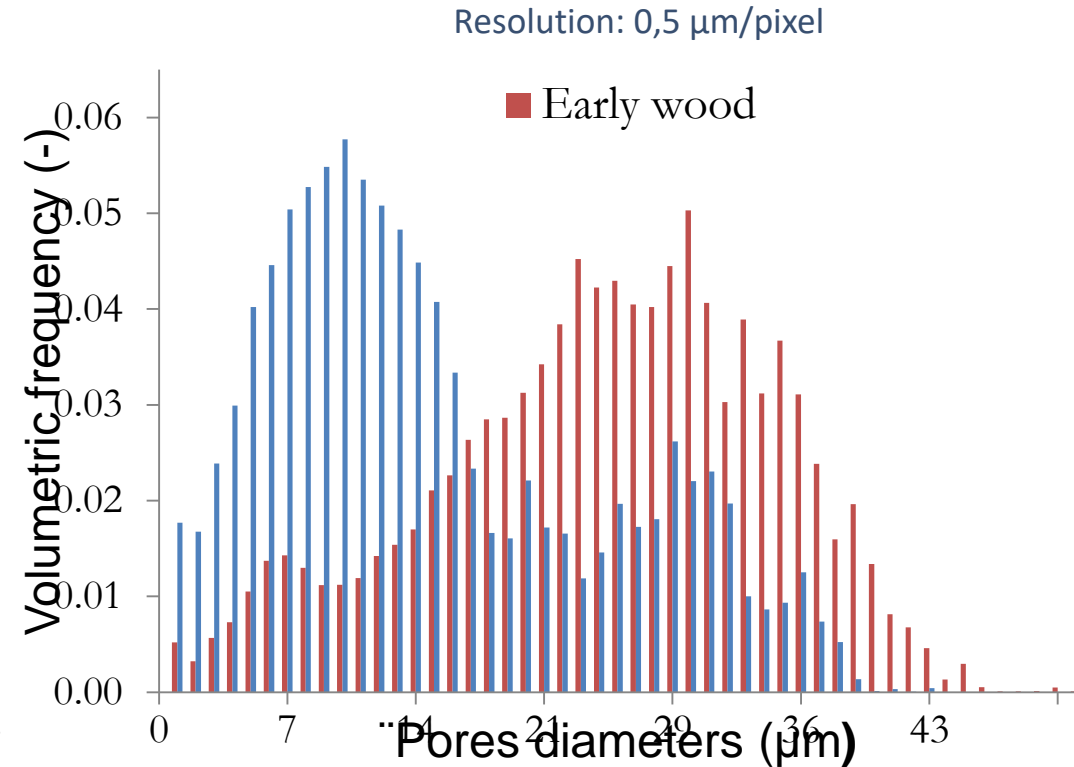
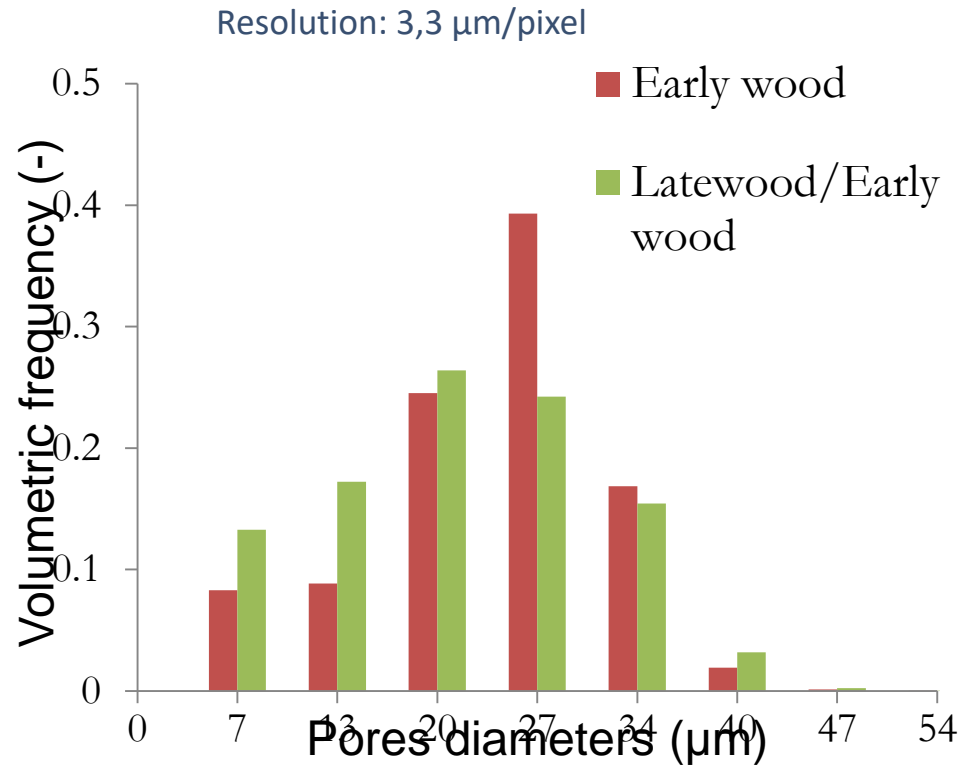


MicroXCT-400 (CEREGE)



=>Clearer identification of wood roughness, parenchyma, and connections between the fibers...

Pores diameters



Similar distribution for the two resolutions

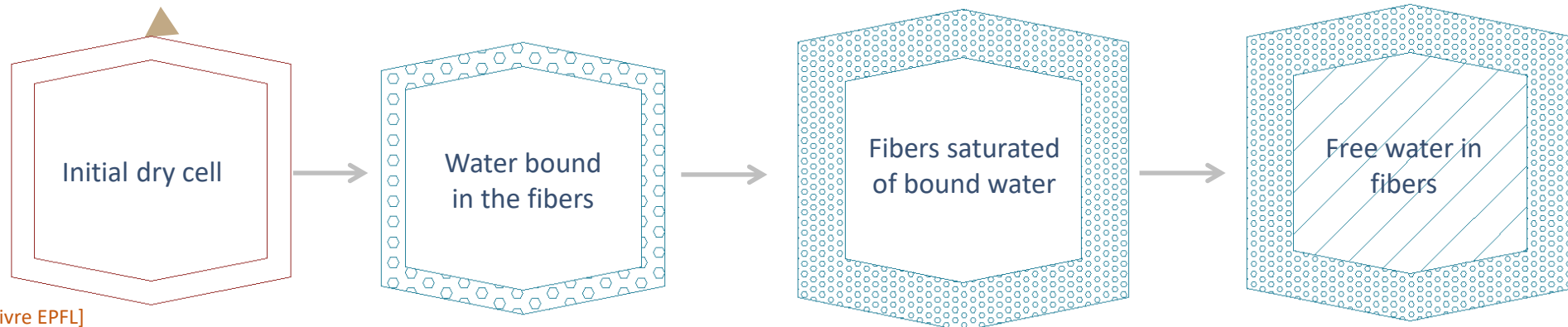
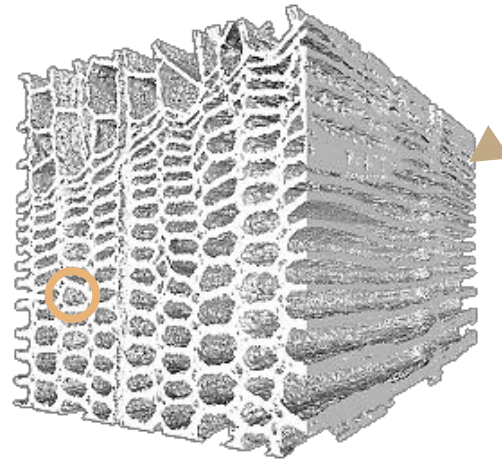
0.5 microns / pixel resolution allows identifying a large deviation between the values

Early wood fiber thicknesses : 5 μm

Latewood fiber thicknesses : 6 μm

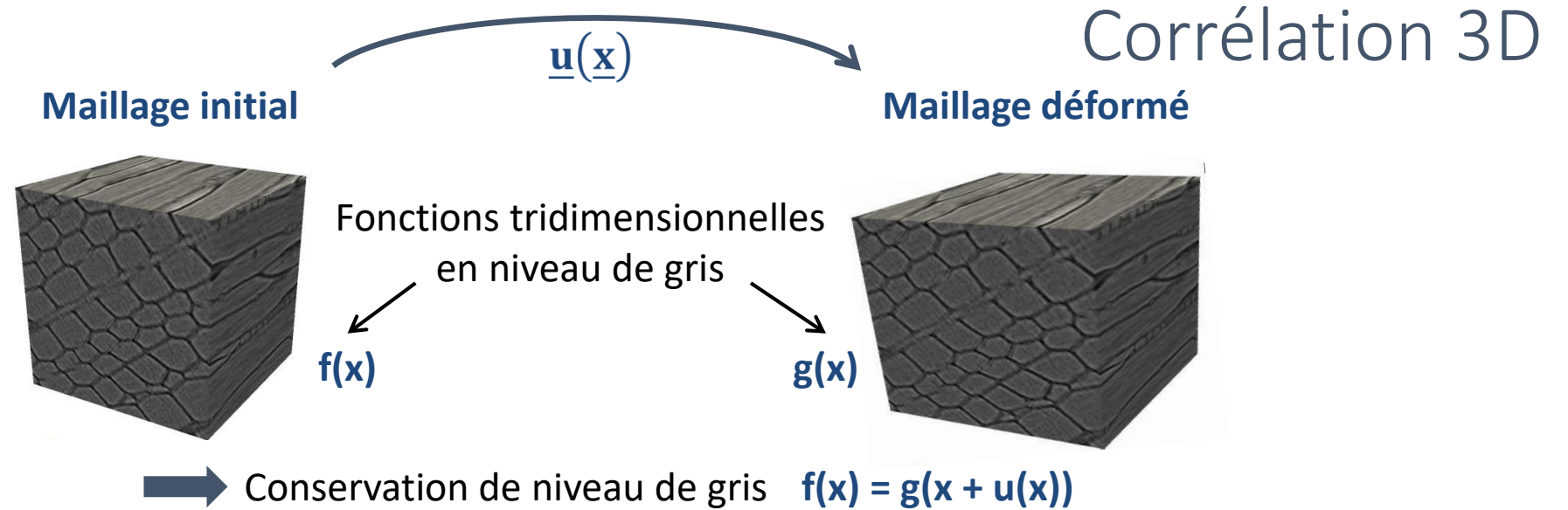
Fibre saturation point is the water content at which the fibres are completely saturated with bound water

The swelling of the wood is caused by the bound water absorbed by the fibres. Above the fibre saturation point there is little or no swelling.



[Livre EPFL]

Modelling of the hygro-mechanical behaviour



Corrélation 3D

Minimisation du Résidu de corrélation

$$\Phi_c^2 = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \left(g(\underline{x} + \underline{u}(\underline{x})) - f(\underline{x}) \right)^2 d\underline{x}$$

Discrétisation éléments finis (**Corréli C8R**)

$$\underline{u}(\underline{x}) = \sum_i u_n \underline{\Psi}_n(\underline{x})$$

- Éléments finis cubiques à huit nœuds
- $\underline{\Psi}_n(\underline{x})$ fonctions trilinéaires pour interpolation des déplacements

(Roux *et al.*, 2008)

Réponse mécanique

Volume référent :

0%HR

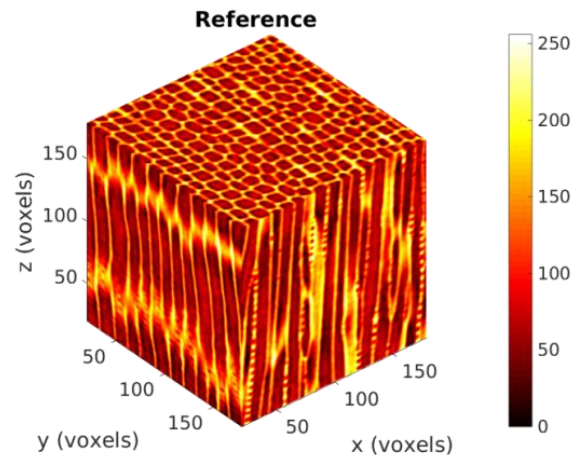
Volume déformé :

72%HR

Taille du volume :

200x200x200 voxels

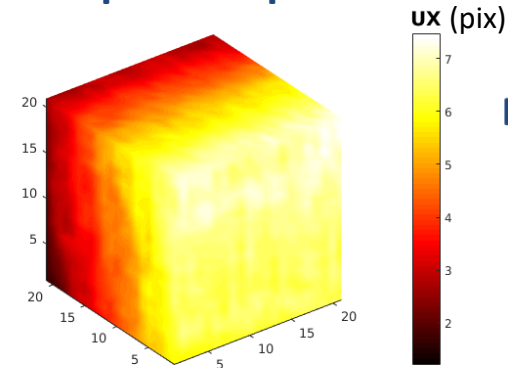
Taille d'éléments
8x8x8 voxels



Gonflement
anisotrope

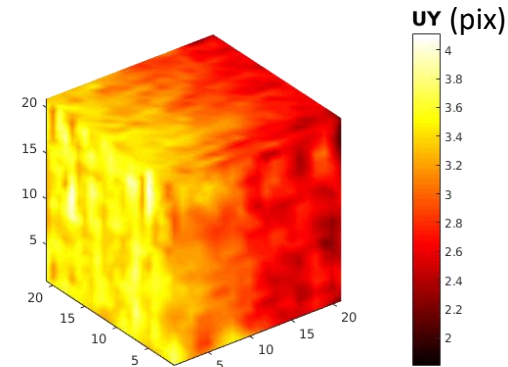


Champs de déplacement



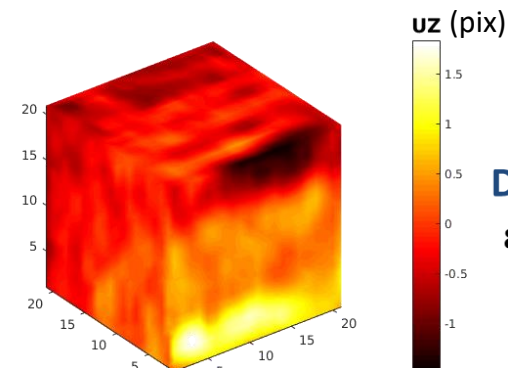
Direction tangentielle

$$\epsilon_{tangentielle} = 3,75\%$$



Direction radiale

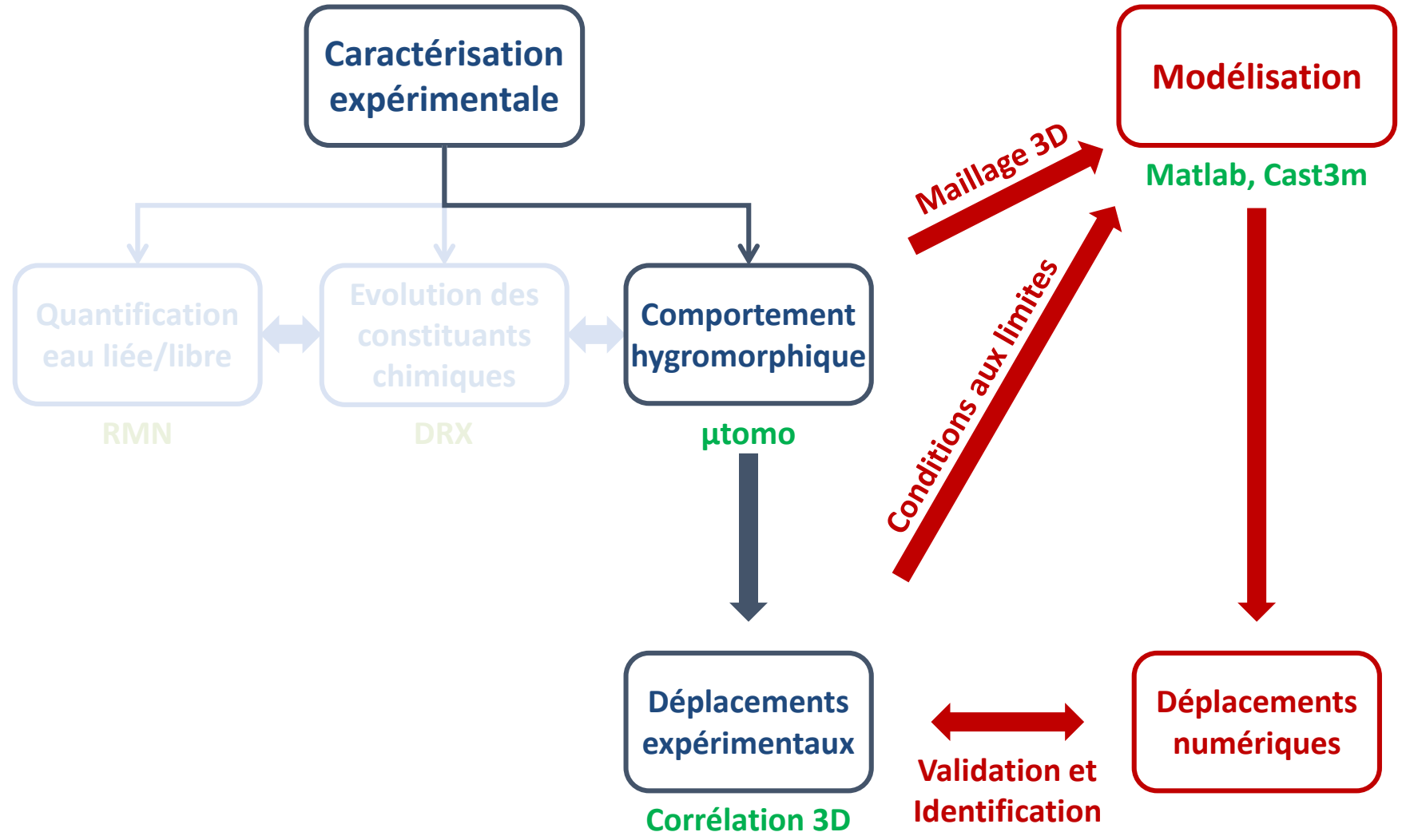
$$\epsilon_{radiale} = 1,60\%$$



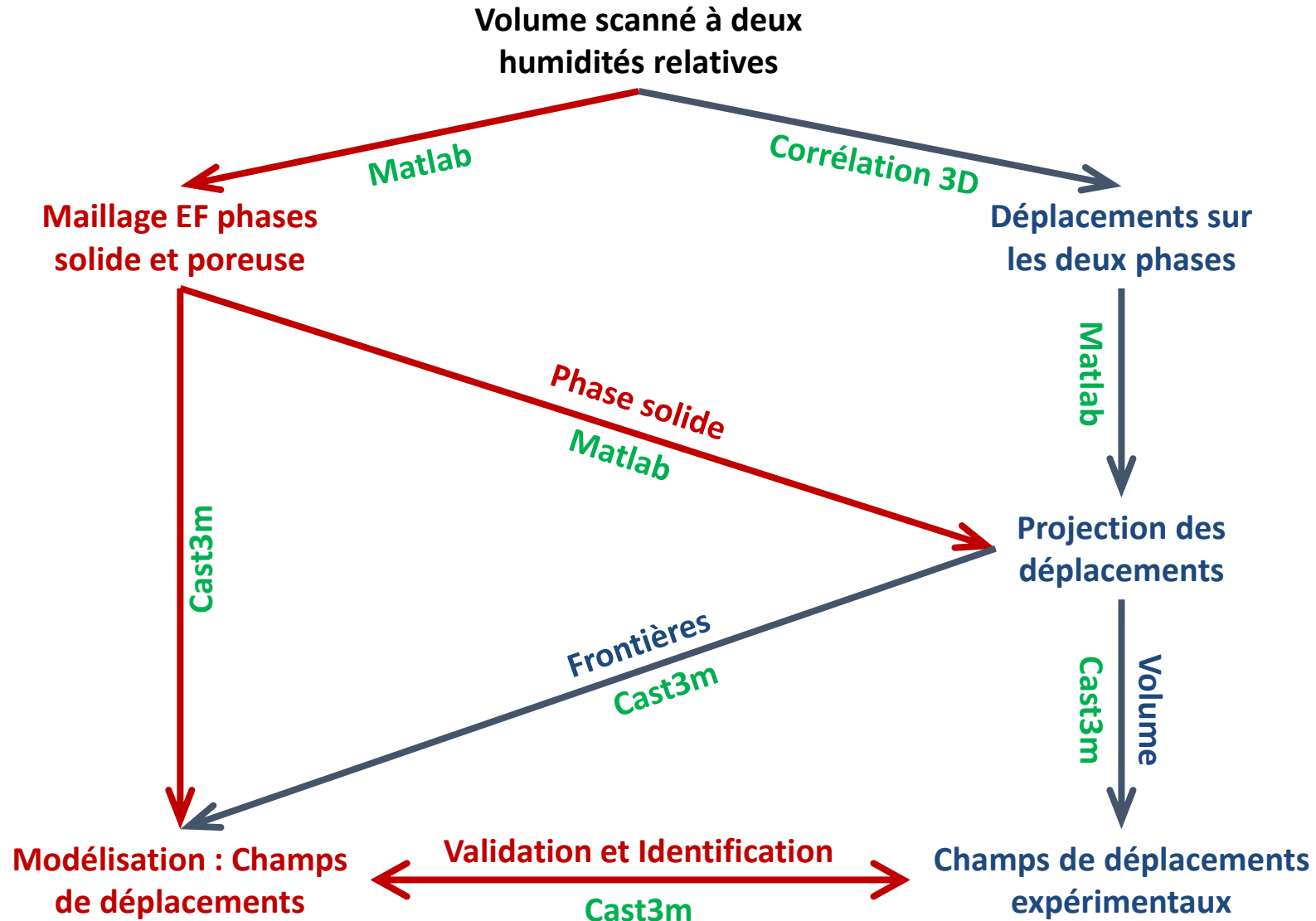
Direction longitudinale

$$\epsilon_{longitudinale} = 0,90\%$$

Strategy



Démarche numérique



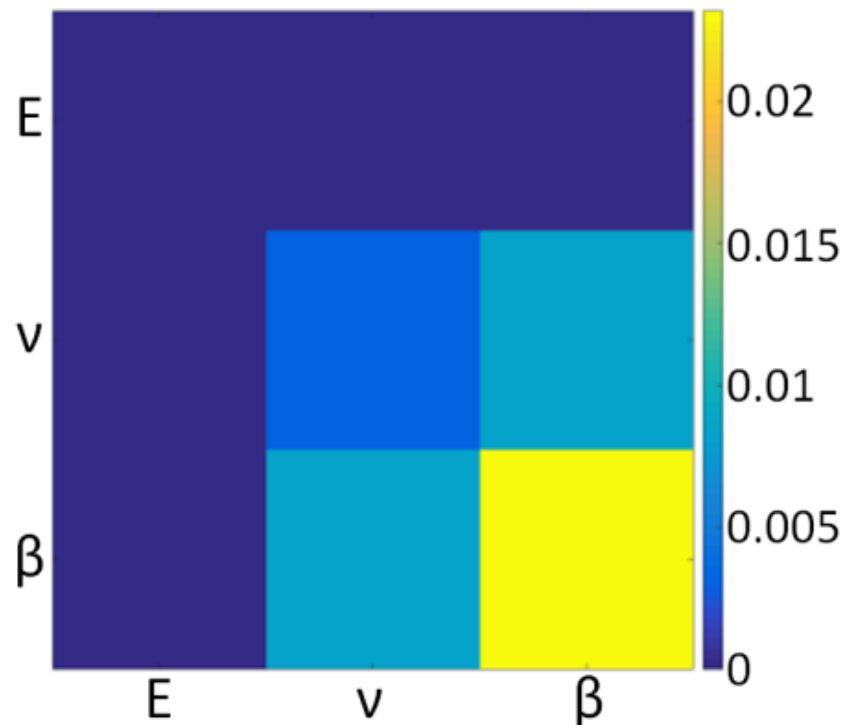
Sensibilité des paramètres

Volumes étudiés en **corrélation** : Etat **initial** et état **final**

- **Pas d'information** sur la **cinétique** de transfert
- **Critère de comparaison** entre expérimental et numérique : **champs de déplacement**
- **Paramètres** du modèle **ne varient pas** en fonction de l'HR

➡ On peut donc négliger l'influence des coefficients de diffusion sur les résultats

➡ **Sensibilité des paramètres mécaniques: E, ν et β**



Impact sur la réponse
25% de variations pour chaque paramètre

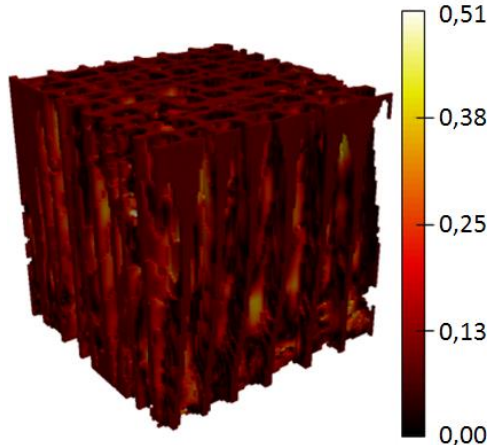


Paramètres à identifier:

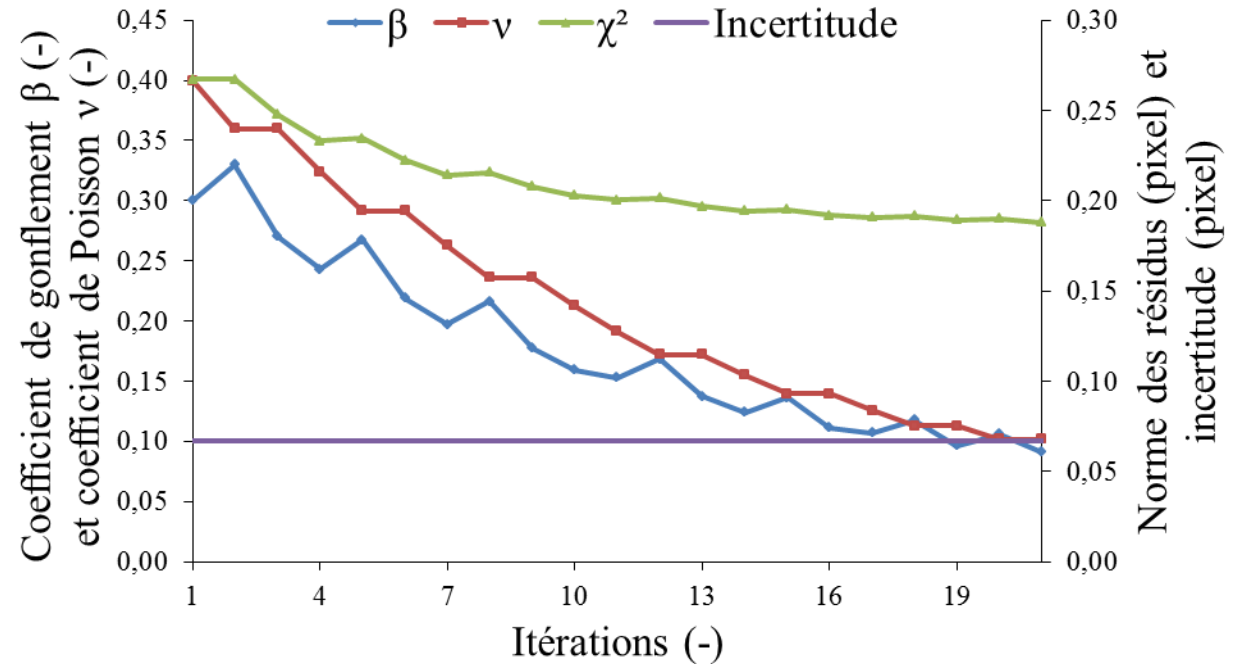
- Coefficient de Poisson ν
- Coefficient de gonflement β

Identification des paramètres

Champs de résidus



Identification des paramètres



Paramètres identifiés

- Coefficient de Poisson ν : 0,1
- Coefficient de gonflement β : 0,09



La norme des résidus a diminué de 0,27 à 0,19 voxels

Conclusion

- Exemple of an original numerical approach
- **Validation of a locally isotropic hygro-mechanical model**

Identified parameters:

- Poisson's ratio ν : 0.1
- Swelling coefficient β : 0.09

- Technological??



- Regulation??

Skeleton



Double skin



- Sociological??

-

