

# *Les enjeux du patrimoine culturel dans la transition écologique : implication de la recherche pour l'innovation en conservation*

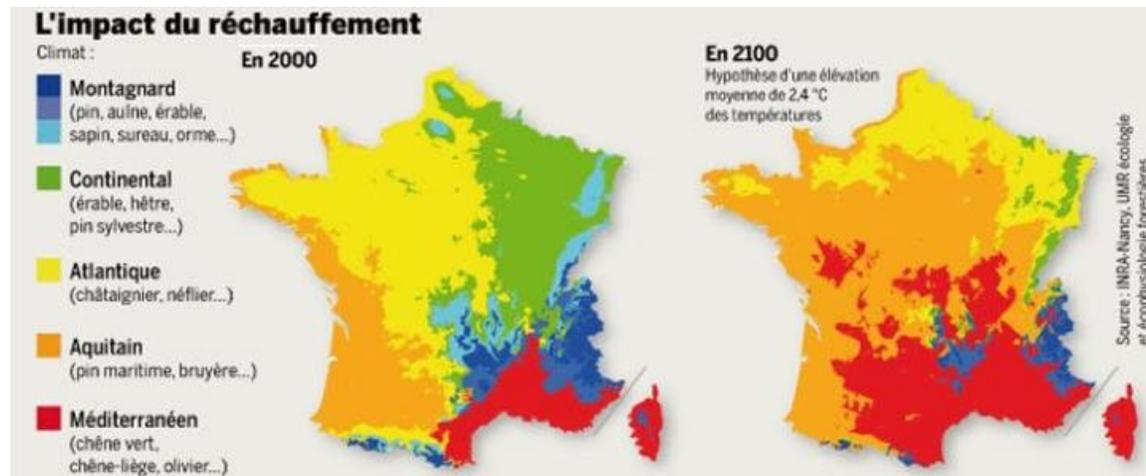
---

Ann Bourgès

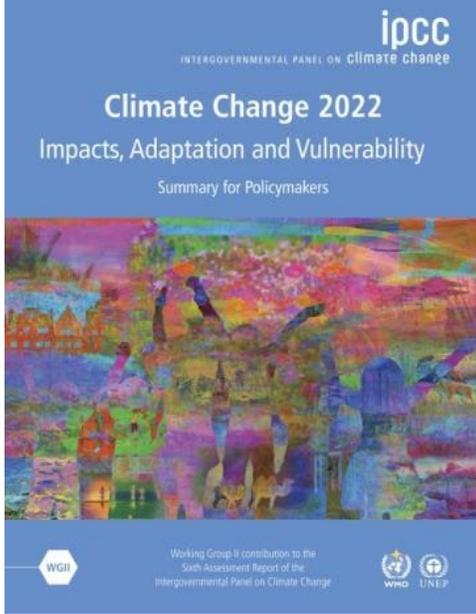
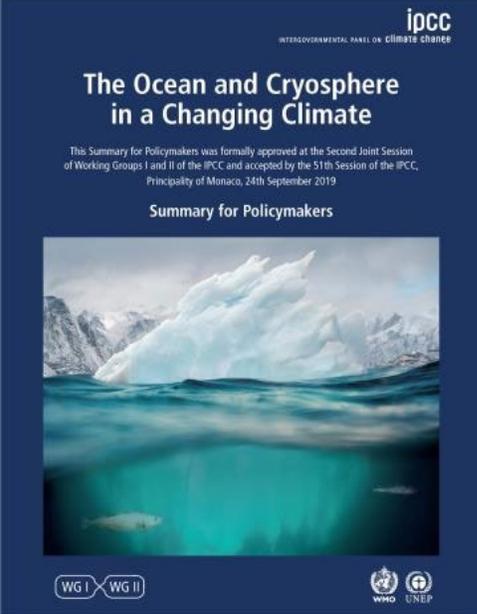
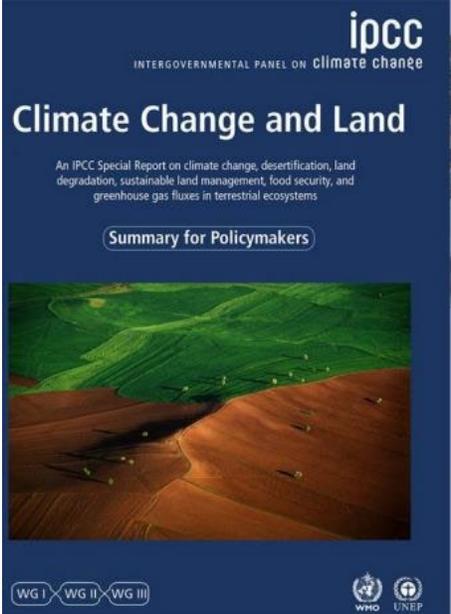
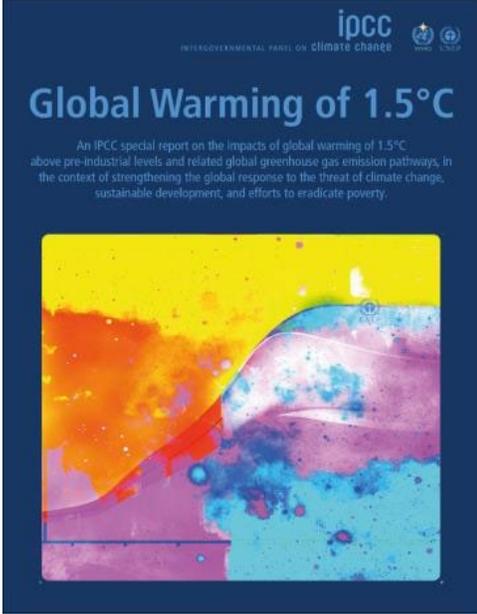
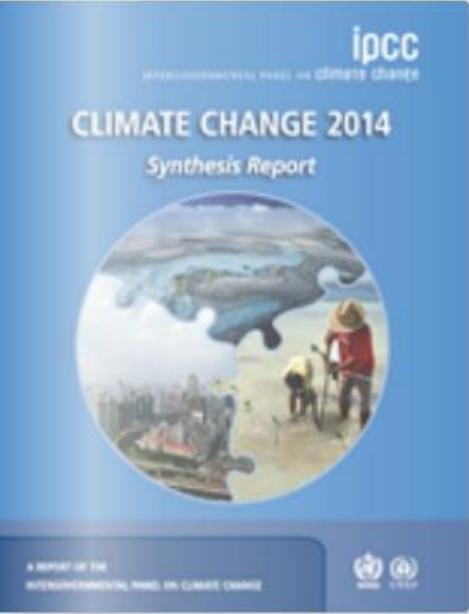
# LE CHANGEMENT CLIMATIQUE IMPLIQUE DES MODIFICATIONS DES TERRITOIRES ET UNE MOBILISATION URGENTE POUR ATTEINDRE L'OBJECTIF ZERO CARBONE

## Changements d'ici à 2100 (AR6 GIEC)\*

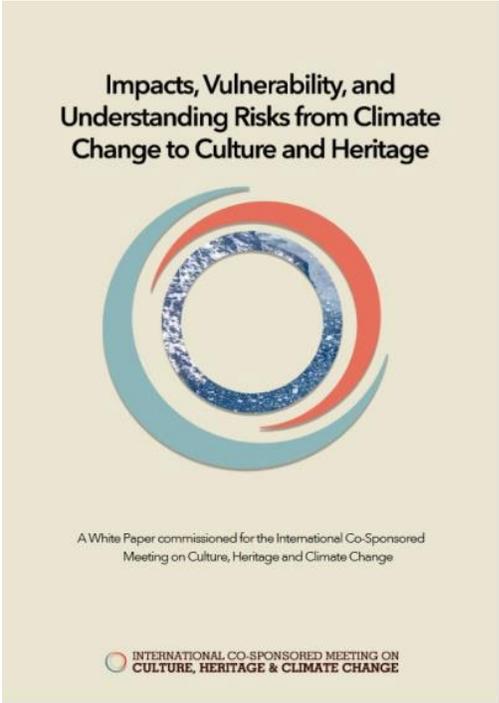
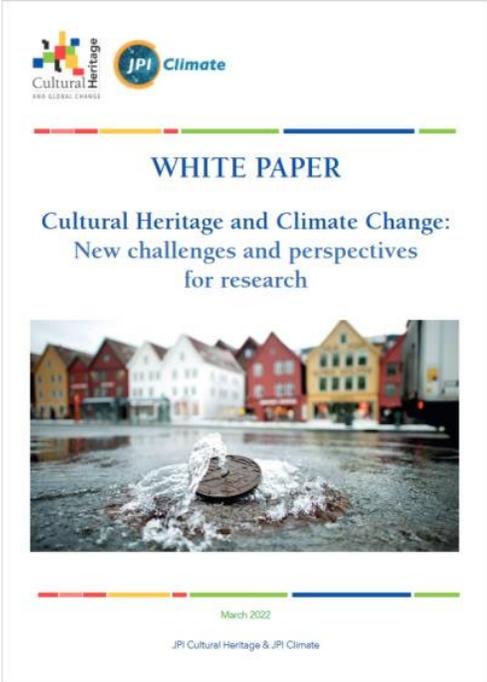
- Augmentation 1,4 à 5,8°C températures moyennes
- Augmentation des évènements extrêmes (pluies, températures et période de sécheresse)
- Changement de biodiversité
- Augmentation du niveau de la mer (0,09 à 0,88 m)



# LES RAPPORTS DU GIEC NE PRENAIENT PAS EN COMPTE LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUES SUR LE PATRIMOINE



# DES GROUPES AD-HOC SE SONT DONC FORMÉS POUR TRAITER SPÉCIFIQUEMENT CETTE QUESTION



# INCLUANT LES QUESTIONS RELATIVES AUX MUSÉES POUR REVOIR ET RENOUVELER LES NORMES ET LES PRATIQUES, ICOM-CC

ICOM FRANCE  
COMITÉ NATIONAL FRANÇAIS DE L'ICOM

Cycle soirée-débat déontologie  
**Les musées,  
acteurs crédibles  
du développement  
durable ?**

SUR PLATEFORME NUMÉRIQUE, 17 FÉVRIER 2022

Network of European Museum Organisations  
**European Museum Survey**



**Museums in  
the climate  
crisis**

Survey results and recommendations  
for the sustainable transition of Europe

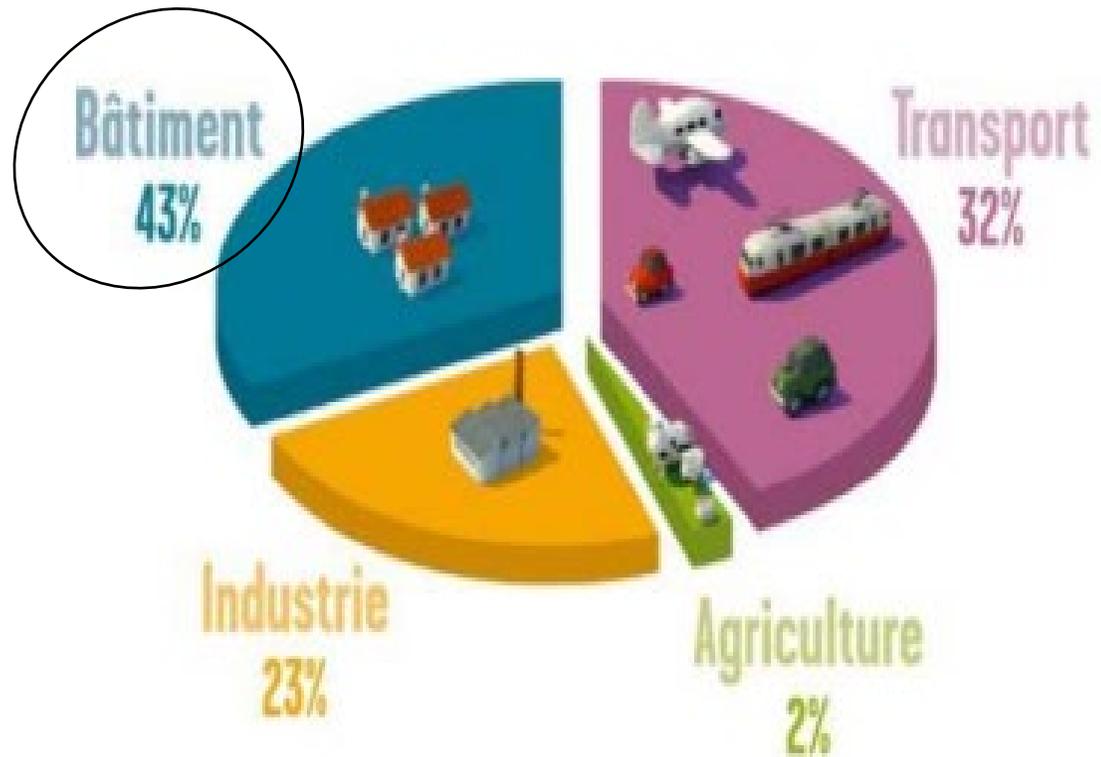
 Network of European  
Museum Organisations

ICOM FRANCE  
COMITÉ NATIONAL FRANÇAIS DE L'ICOM

Cycle soirée-débat déontologie  
**Vers de nouvelles normes  
de conservation ?**  
Réévaluer face à la crise  
énergétique et climatique

SUR PLATEFORME NUMÉRIQUE - 13 DÉCEMBRE 2022

# LE SECTEUR DU BÂTIMENT EST LE PLUS IMPORTANT CONSOMMATEUR D'ÉNERGIE



Consommation énergétique finale par secteur en France en 2014



## Projet de Stratégie nationale bas-carbone

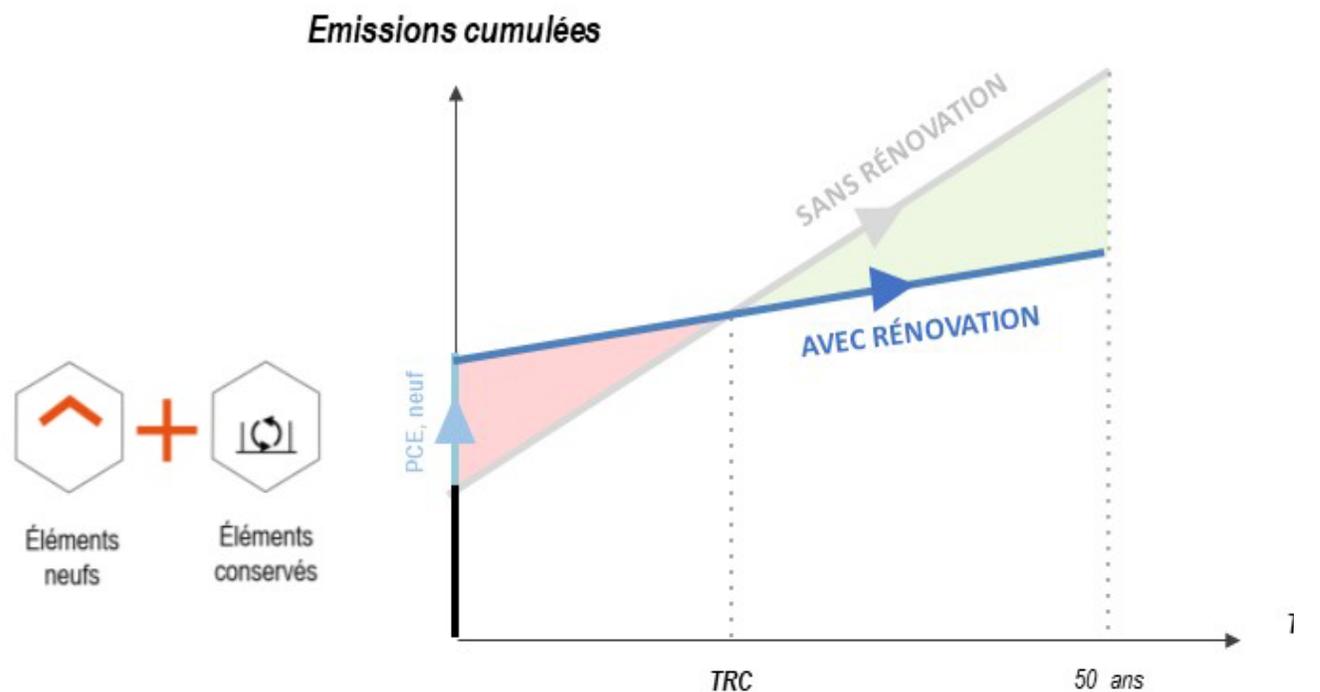


RE2020 Règlementation environnementale :  
Applicable au 1er Janvier 2022  
Pour les **constructions neuves** au moment du  
permis de construire

# LE CARBONE OPÉRATIONNEL, UN POSTE CLÉ DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE POUR LA RÉNOVATION DU BÂTI



# RÉNOVER LE BÂTIMENT AMÉLIORE SON BILAN ÉNERGÉTIQUE, MAIS CONSERVER EST DÉJÀ UN ACTE VERT



Source : NZC Renovation, 2021. Alliance HQE-GBC, AIA Environnement

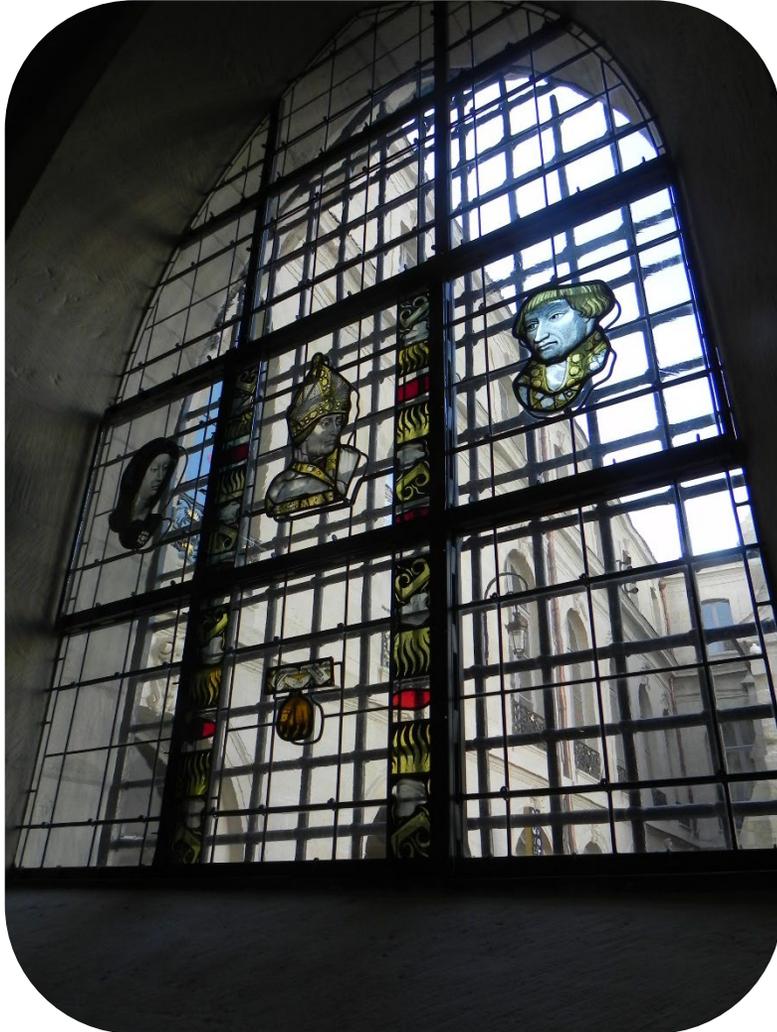
# L'EXEMPLE DE RESTAURATION DU MUSÉE DE DIJON – UN TANDEM ENTRE les ateliers Yves Lion et Eric Pallot, architecte en chef des monuments historiques.



1. Identification des espaces selon l'intérêt architecturale (authenticité, décors)
2. Programme en fonction des caractéristiques des salles

# UN DIAGNOSTIC POUR COMPRENDRE L'ENSEMBLE DU BÂTI

## Cibler les interventions pour plus d'efficacité



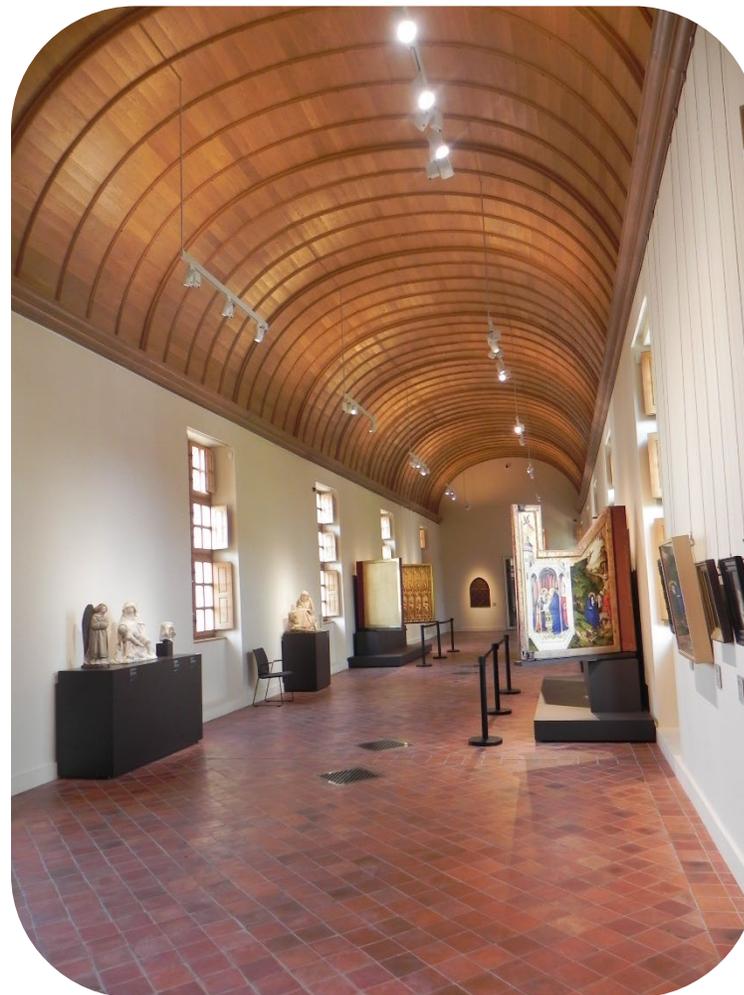
3. Conservation maximale des fenêtres anciennes, mise en place de double vitrages minces, amélioration des étanchéités, mise en place double fenêtres pour certaines baies possédant des vitraux (salle des tombeaux), double verrière pour vitraux sans menuiseries (chapelle)...

# RÉUTILISATION DES TECHNIQUES PASSIVES ET NATURELLES — RÉOUVERTURE DES FENÊTRES, VOILETS MODULABLES, ISOLATION DES PLAFONDS



©. Eric Pallot

Galerie de Bellegarde



©. Eric Pallot

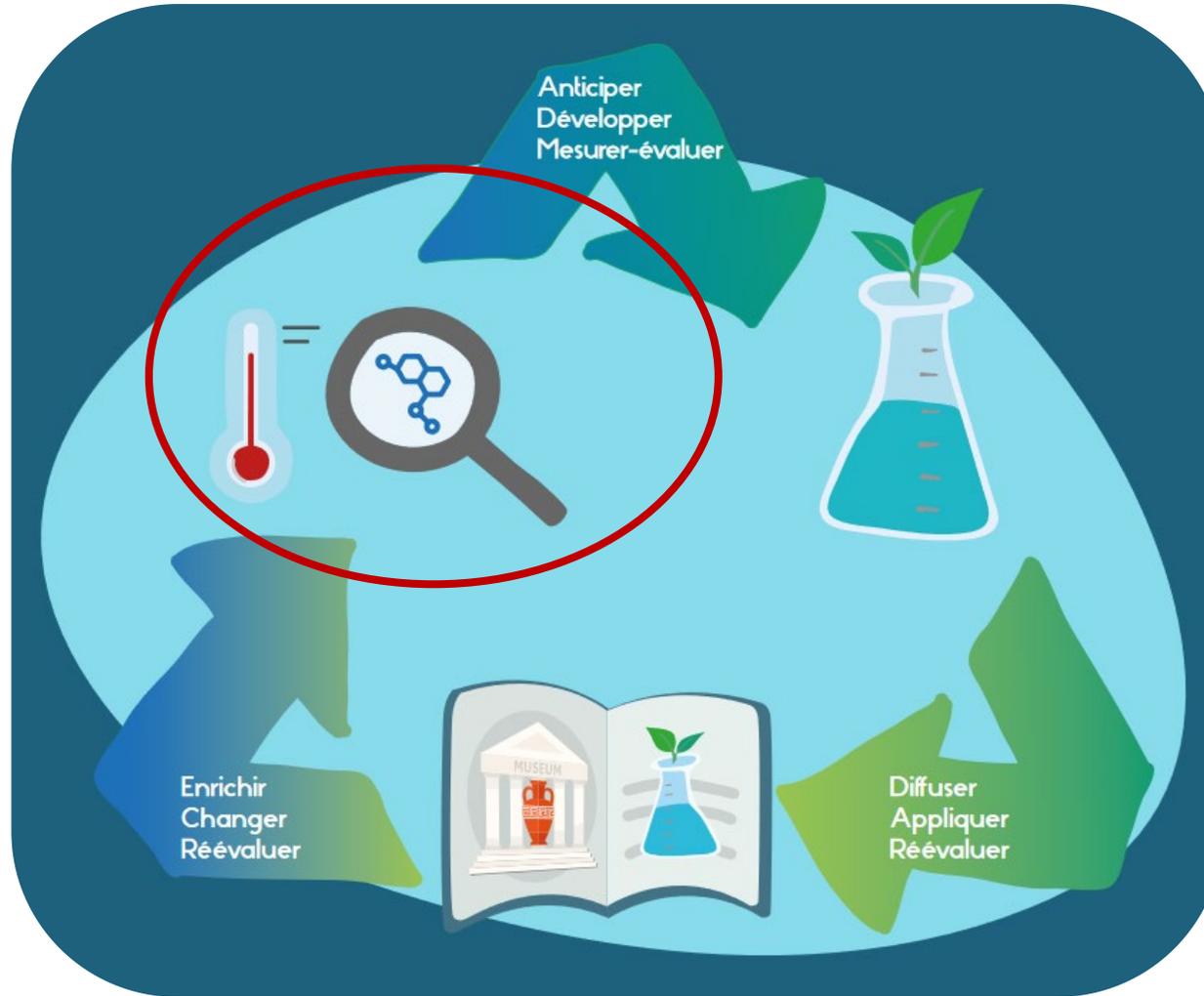
# DOIT-ON CONTRAINDRE LE MILIEU OU SE SERVIR DU POTENTIEL EXISTANT DU BÂTIMENT POUR L'AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR?



4. Parcours muséographique : aucune régulation de climat dans les salles à trop grands volume – déplacement des œuvres les plus fragiles (Galerie de Bellegarde, salle des tombeaux).

# CONSIDÉRER LE PATRIMOINE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES NE SE LIMITE PAS À DES OBJECTIFS BAS CARBONE, MAIS S'INTÈGRE DANS UNE VISION PANOPTIQUE

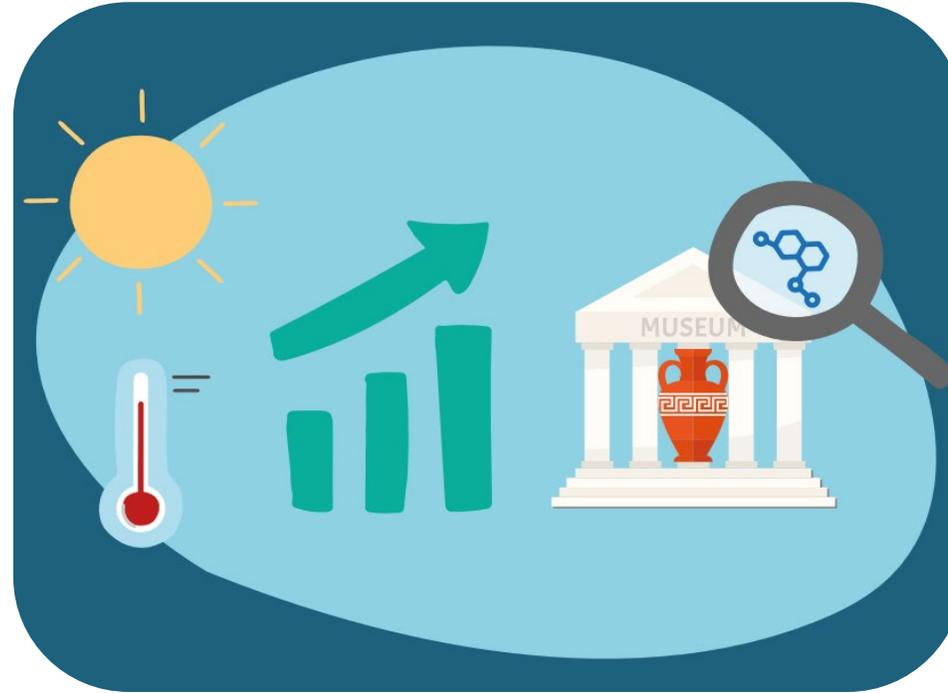
MESURER POUR  
ÉVALUER LES  
CHANGEMENTS ET  
LES PREDIR



DEVELOPPER DE  
NOUVEAUX  
PRODUITS/PROCEDES  
ET METHODES

DIFFUSER ET FORMER  
LES PROFESSIONNELS

# L'OBJET PATRIMONIAL PRÉSENTE TOUJOURS UNE INTERFACE AVEC SON ENVIRONNEMENT



- Une approche multi-dimensionnelle en replaçant l'objet patrimoniale dans un environnement climatique variable.
- Un outil de prédiction des comportements pour en assurer la pérennité de l'objet patrimonial.



# CORRÉLER LES DONNÉES CLIMATIQUES AVEC L'ÉTAT DE CONSERVATION IN SITU SUR 3 SITES ET 3 CLIMATS (THÈSE CIFRE)

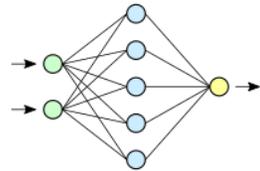
## 1) Suivi climatique des différents sites d'étude

- Flèche de la cathédrale de Strasbourg (67)
- Site archéologique celte de Bibracte (58)
- Chapelle Cocteau – Ville Franche sur mer



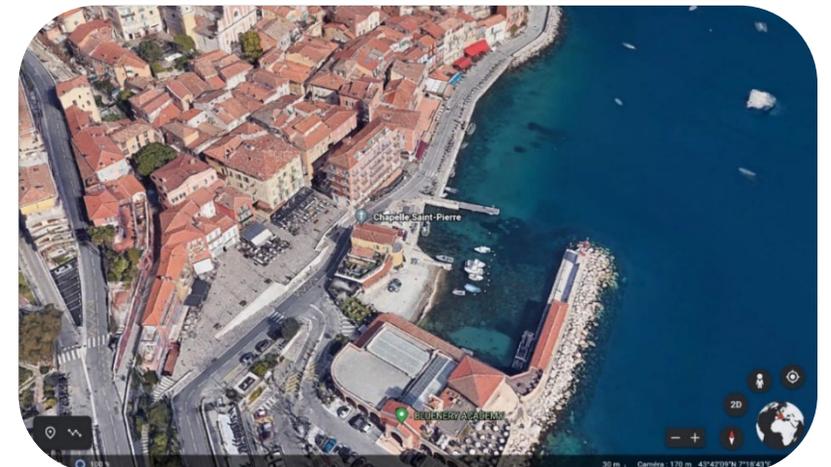
## 2) Modèle de dégradation selon conditions climatiques

- Indice d'altération<sup>8</sup>
- Algorithme par apprentissage artificiel



## 3) Détermination d'un modèle futur

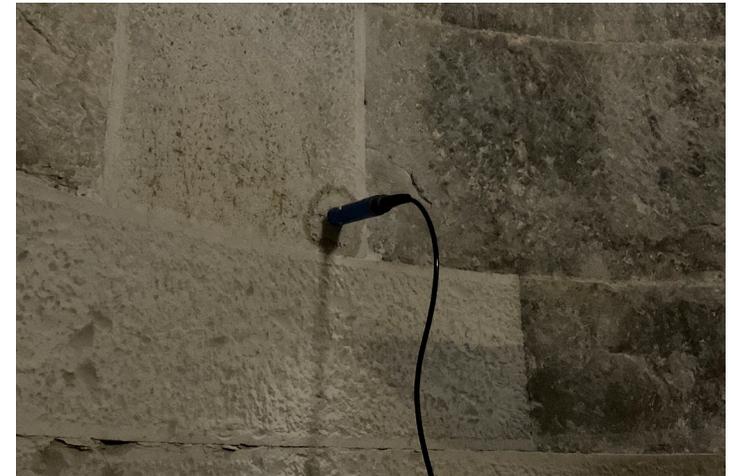
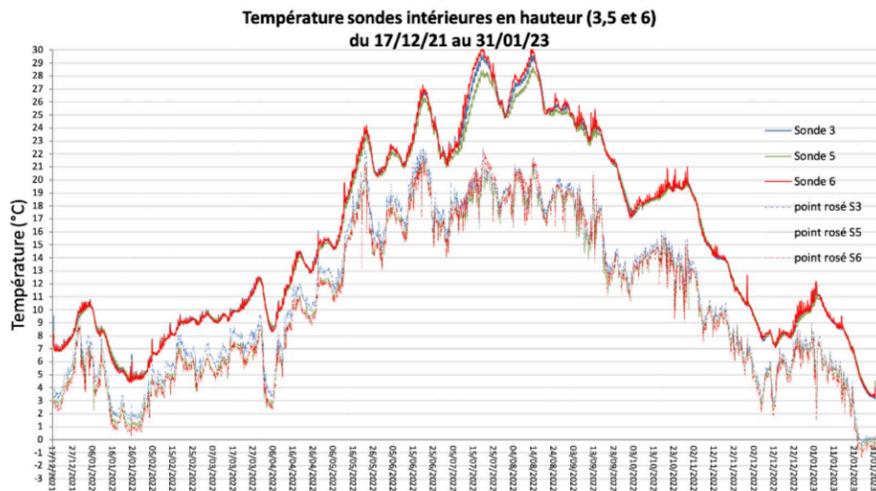
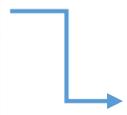
- Modèles climatiques prospectifs : scénarios du GIEC



## 4) Prévention et adaptations aux risques

- Analyses de risque
- Mesures préventives
- Etablissement d'un plan de prévention

# UNE PREMIÈRE ÉTAPE EST D'ACQUÉRIR LES DONNÉES CLIMATIQUES (T°C, HR%, TENEUR EN EAU, CO2)



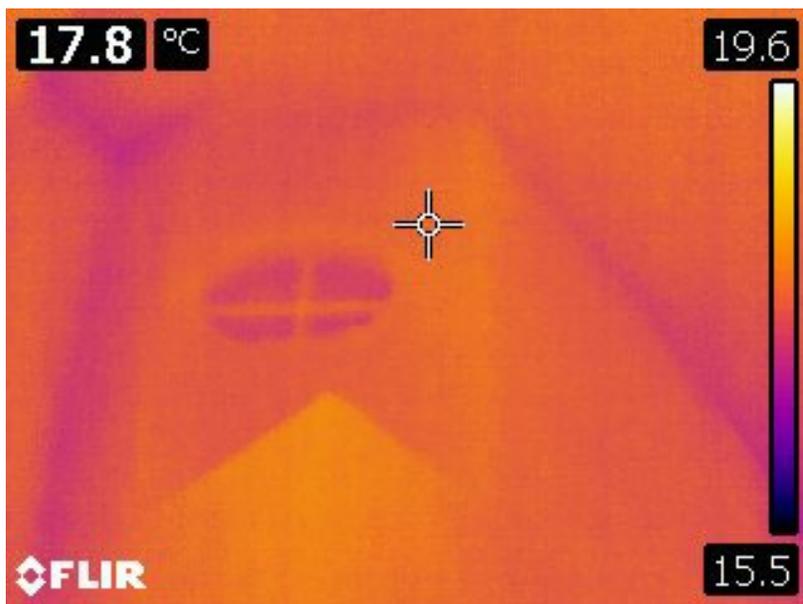
*Hygrothermic sensors*

*Hygrothermic sensors*



# ... ET DE LES CORRÉLER AVEC LE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX

Caméra Thermique

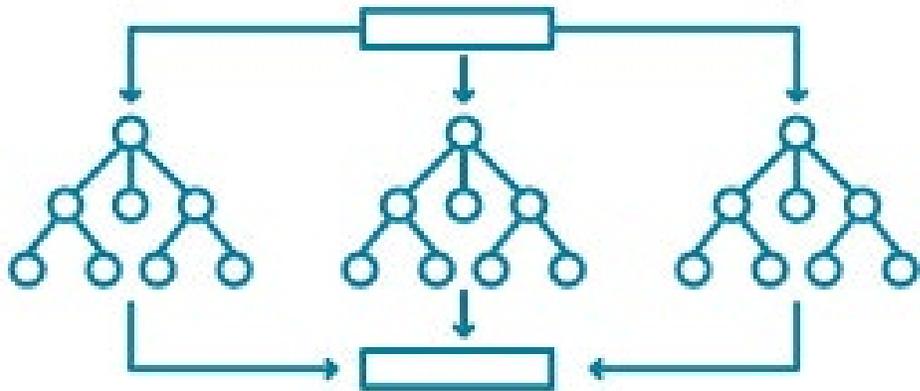


↔  
Correlation

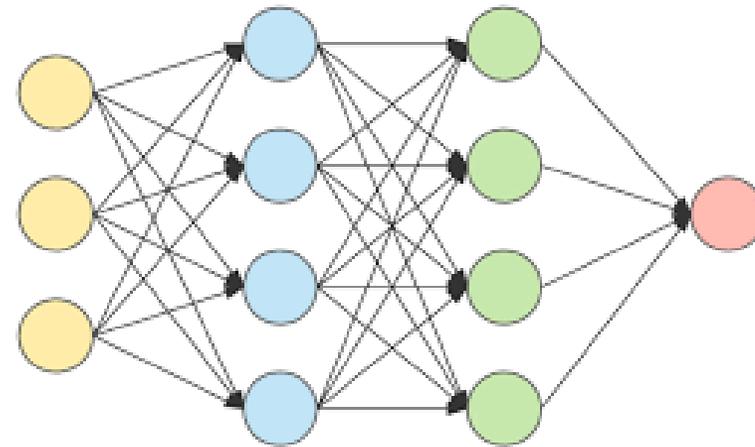
Mesures d'humidité en surface



# ... PUIS D'INTÉGRER SES DONNÉES DANS DES MODÈLES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR ANTICIPER LES COMPORTEMENTS À VENIR AU REGARD DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

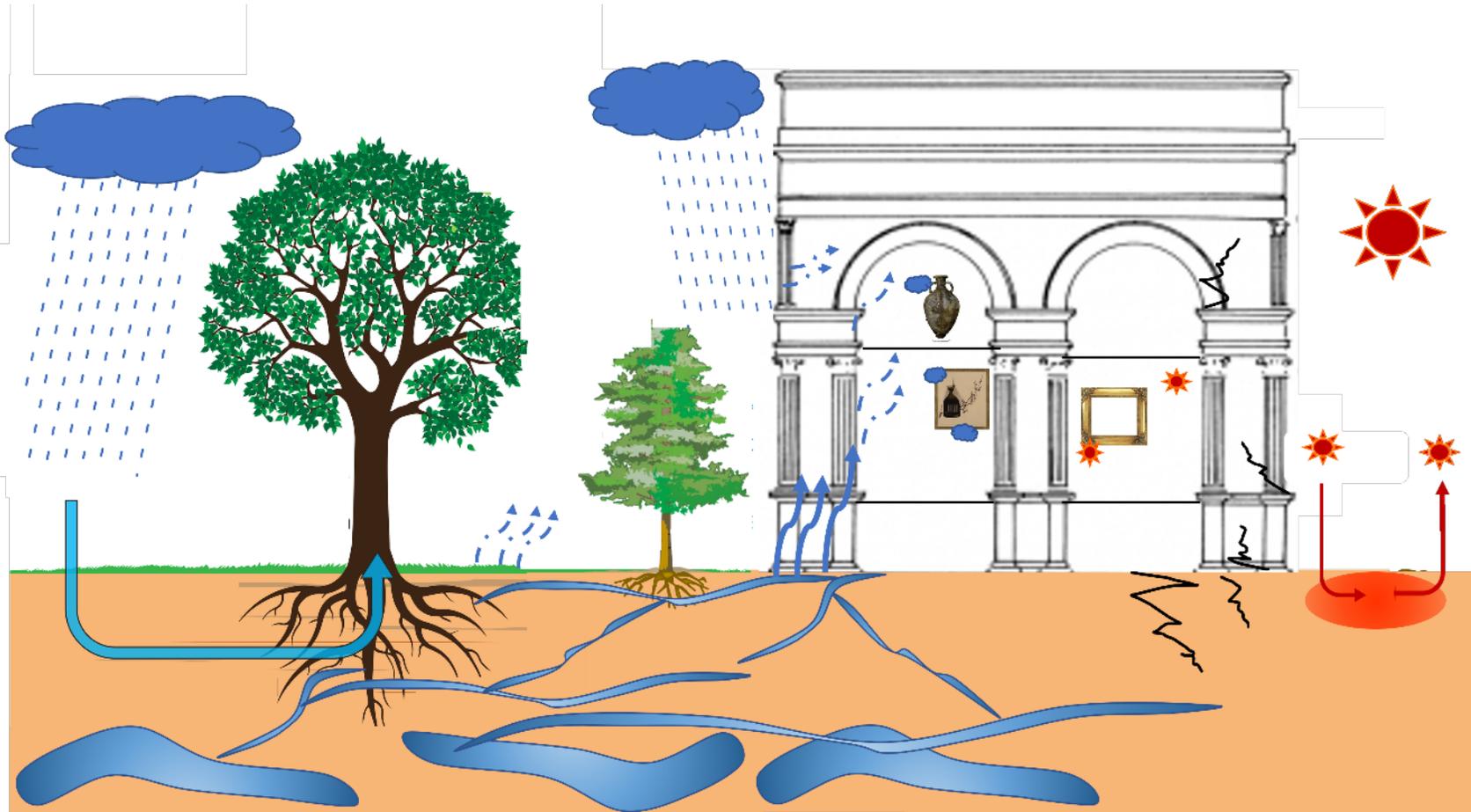


*Algorithm three*



*Artificial neurones networks*

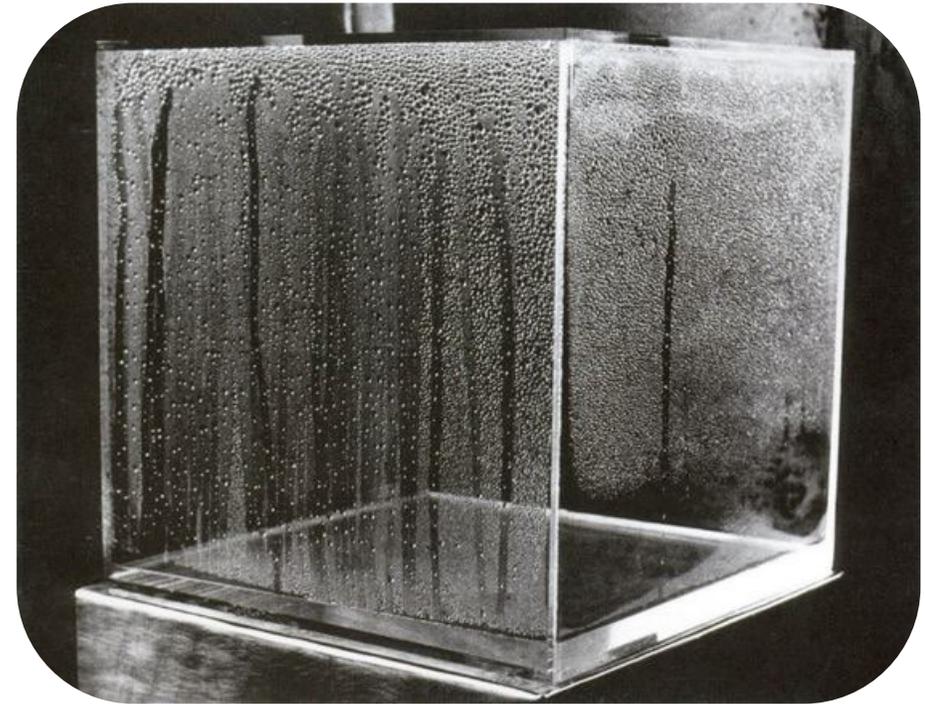
UNE APPROCHE MULTIÉCHELLE QUI S'APPLIQUE AUX MUSÉES POUR COMPRENDRE LES CLIMATS INTÉRIEURS ET LEURS VARIATIONS  
...AVEC UN FOCUS SUR LE CYCLE DE L'EAU (JPI REFRESH water cycle For RESilient Heritage)



# ... PARCE QUE LE PHÉNOMÈNE DE CONDENSATION EST UN RISQUE MAJEUR POUR LA DÉGRADATION DES COLLECTIONS

Le film d'eau va favoriser:

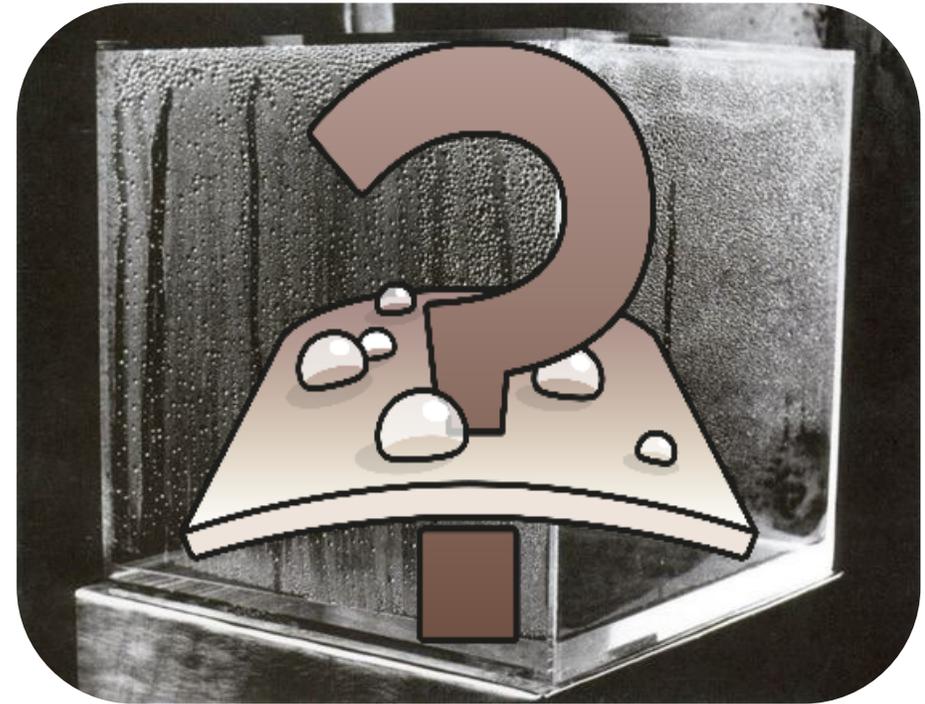
- Dissolutions de surface, modification chimique
- Corrosions, cycle dissolution/cristallisation de sels
- Dilatation de matériaux, contrainte aux interfaces matériaux
- Prolifération biologique



# ... PARCE QUE LE PHÉNOMÈNE DE CONDENSATION EST UN RISQUE MAJEUR POUR LA DÉGRADATION DES COLLECTIONS

Le film d'eau va favoriser:

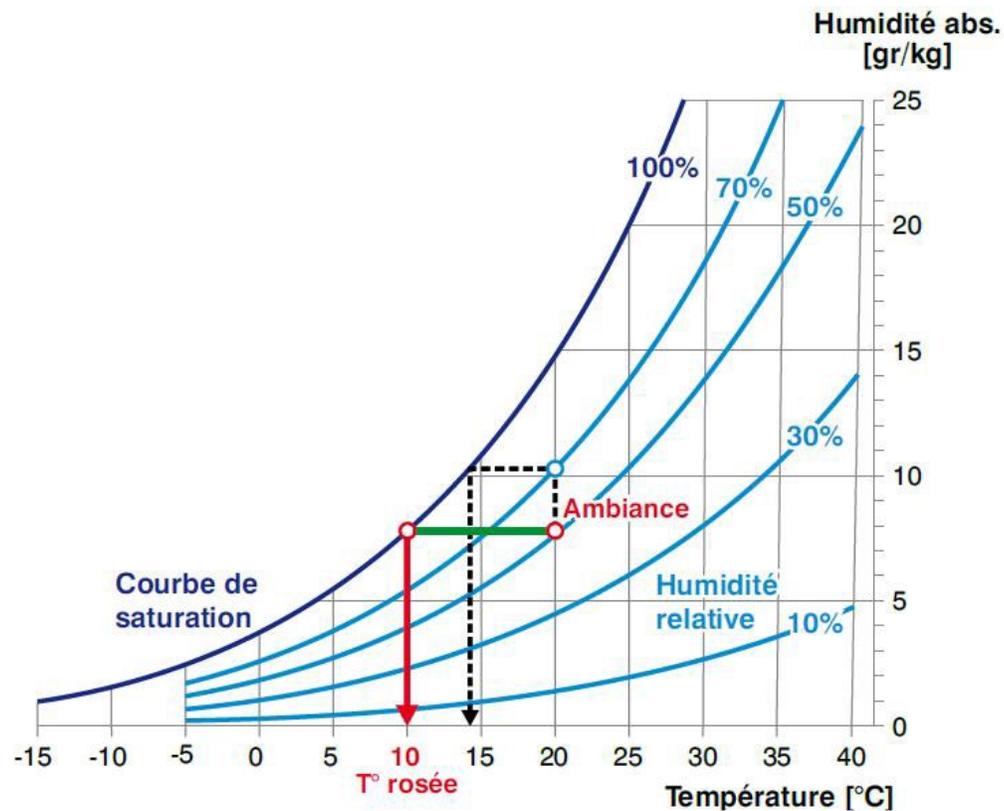
- Dissolutions de surface, modification chimique
- Corrosions, cycle dissolution/cristallisation de sels
- Dilatation de matériaux, contrainte aux interfaces matériaux
- Prolifération biologique



LE POINT DE ROSÉE EST LA TEMPÉRATURE À LAQUELLE IL Y A SATURATION DE L'AIR EN EAU, ELLE PASSE DE L'ÉTAT GAZEUX À L'ÉTAT LIQUIDE

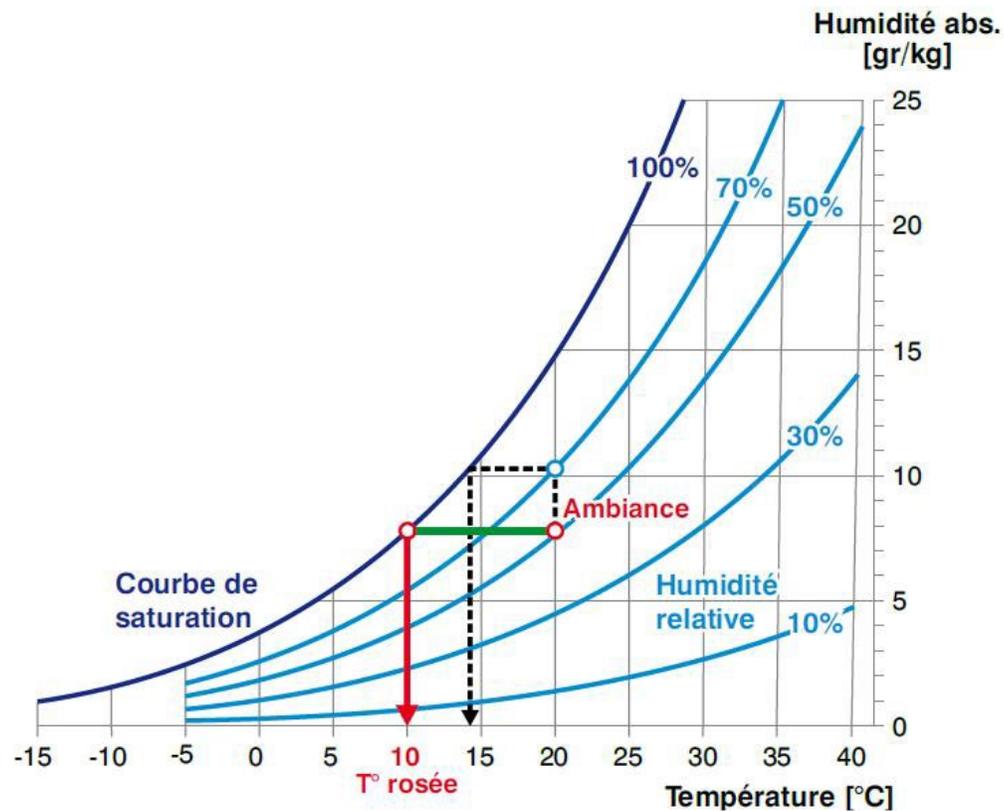
La T°C de rosée dépend de:

- température ambiante
- taux d'humidité relatif de l'air
- température de surface du mur qui dépend de l'émissivité  $\epsilon$  des matériaux. Capacité à transmettre la chaleur



Mollier diagramm

LE POINT DE ROSÉE EST LA TEMPÉRATURE À LAQUELLE IL Y A SATURATION DE L'AIR EN EAU, ELLE PASSE DE L'ÉTAT GAZEUX À L'ÉTAT LIQUIDE



Mollier diagramm

La T°C de rosée dépend de:

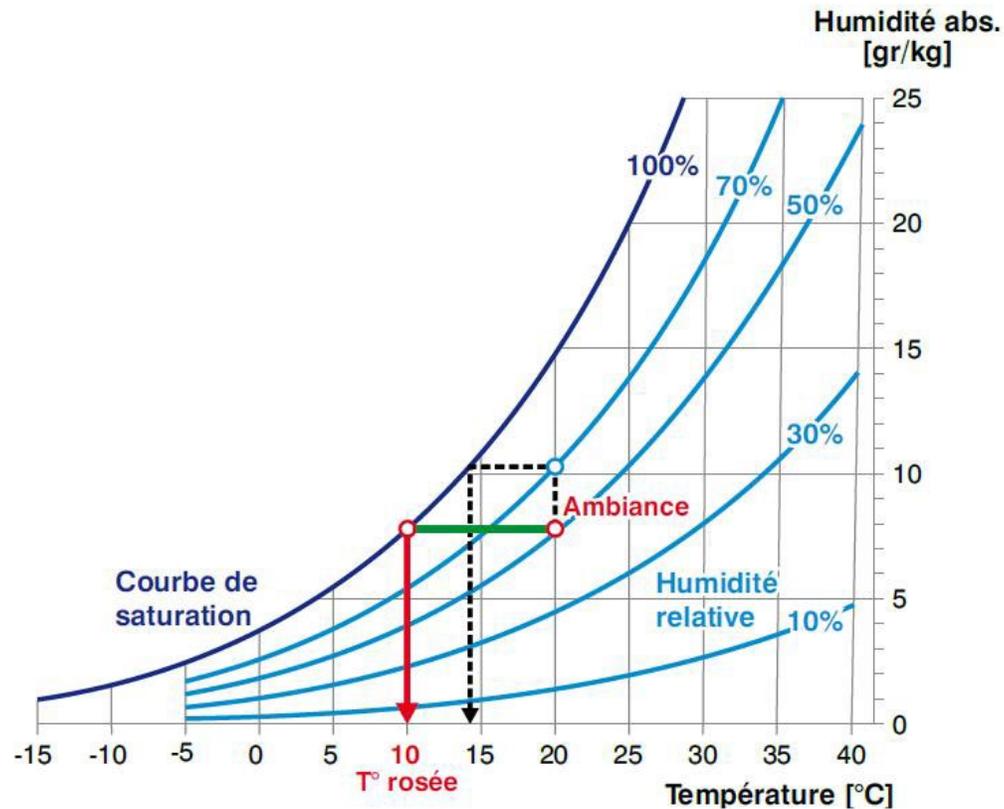
- température ambiante
- taux d'humidité relatif de l'air
- température de surface du mur qui dépend de l'émissivité  $\epsilon$  des matériaux. Capacité à transmettre la chaleur

- verre (0.92)

# LE POINT DE ROSÉE EST LA TEMPÉRATURE À LAQUELLE IL Y A SATURATION DE L'AIR EN EAU, ELLE PASSE DE L'ÉTAT GAZEUX À L'ÉTAT LIQUIDE

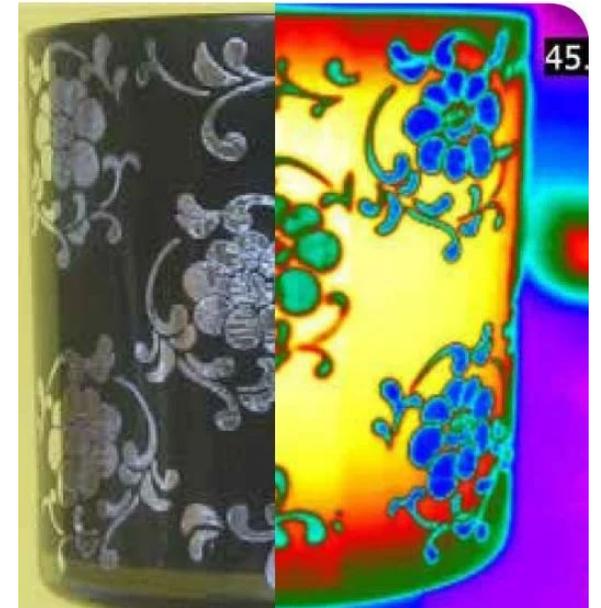
La T°C de rosée dépend de:

- température ambiante
- taux d'humidité relatif de l'air
- température de surface du mur qui dépend de l'émissivité  $\epsilon$  des matériaux. Capacité à transmettre la chaleur



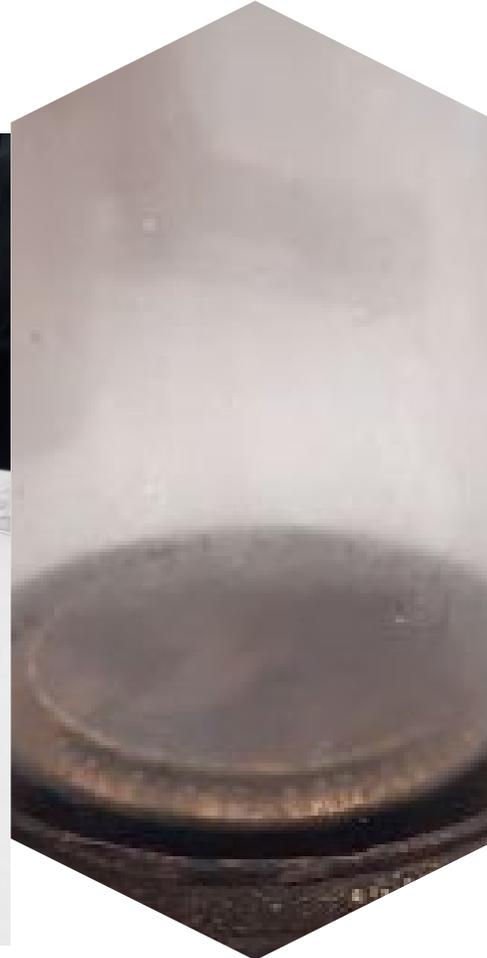
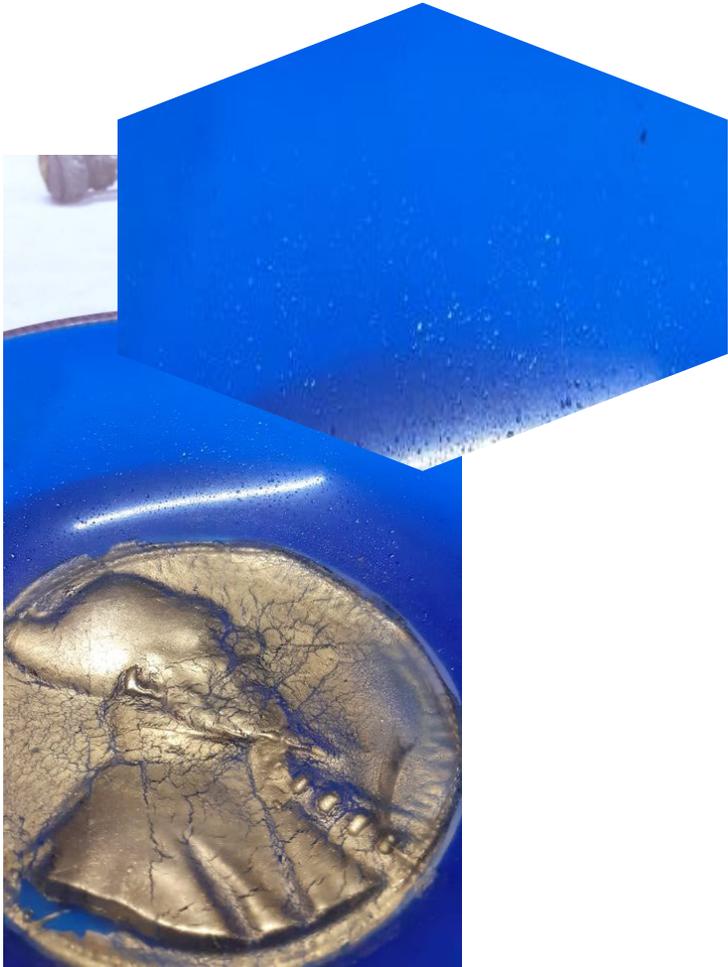
Mollier diagramm

- verre (0.92), granite, marbre: 0.95).
- plâtre (0.86), bois (0.82), tissu (0.77), papier (0.68);
- cuivre (0.006), argent (0.03), (0.018), bronze (0.1).



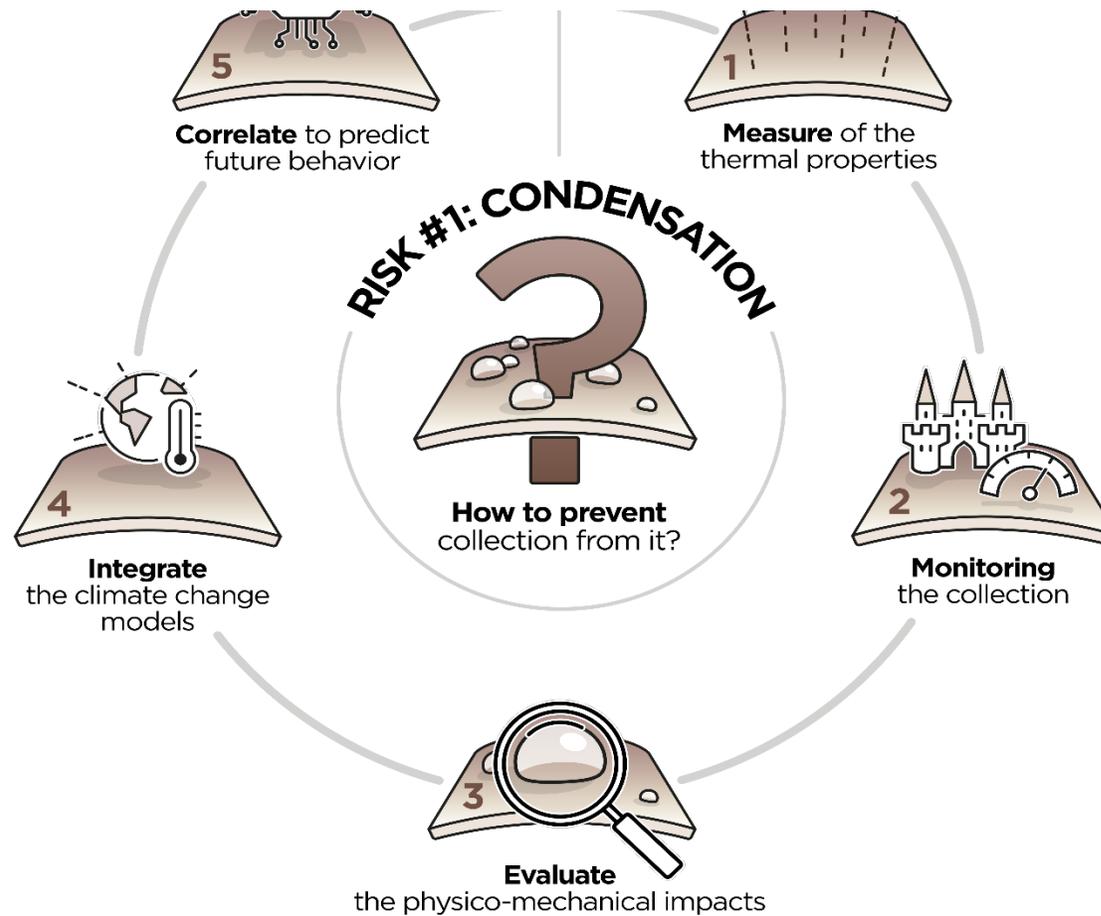
AUJOURD'HUI LE POINT DE ROSÉE EST GÉNÉRALISÉ À L'ENSEMBLE DES SURFACES

# ÉT DES PHÉNOMÈNES DE CONDENSATION APPARAISSENT DANS DES CONDITIONS RÉGULÉES ET VITRINES



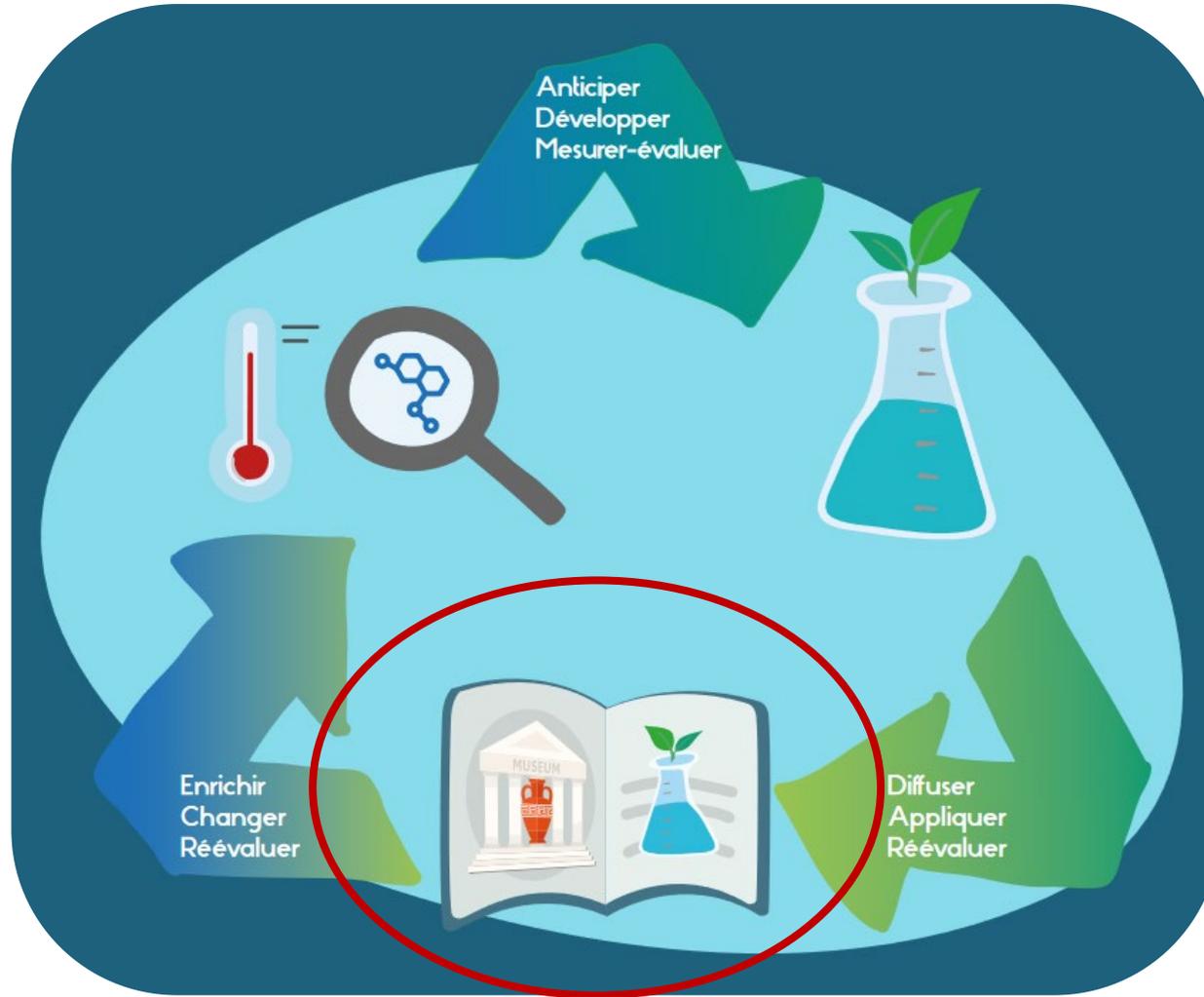
Gouttelettes sur des verres au musée des Arts Décoratifs @Thalie Law

# L'APPROCHE MULTI-ÉCHELLE APPLIQUÉE À LA COMPRÉHENSION ET LA PRÉDICTION D'UN COMPORTEMENT



# CONSIDÉRER LE PATRIMOINE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES NE SE LIMITE PAS À DES OBJECTIFS BAS CARBONE, MAIS S'INTÈGRE DANS UNE VISION PANOPTIQUE

MESURER POUR  
ÉVALUER LES  
CHANGEMENTS ET  
LES PREDIR

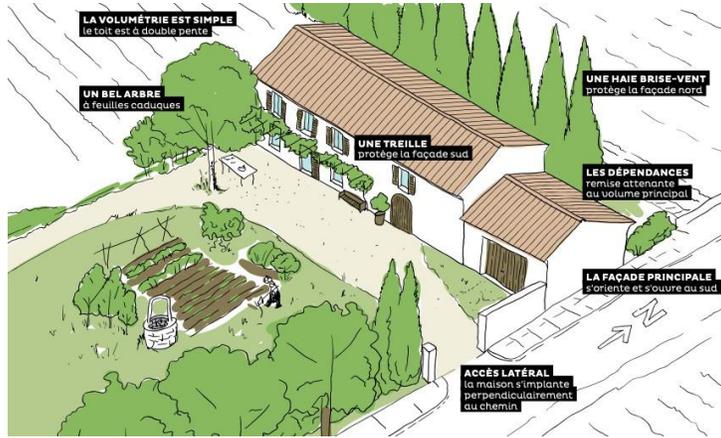


DEVELOPPER DE  
NOUVEAUX  
PRODUITS/PROCEDES  
ET METHODES

DIFFUSER ET FORMER  
LES PROFESSIONNELS

# ...UN GLOSSAIRE ICOMOS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE, UN MANUEL POUR CONSERVER MAIS AUSSI CONSTRUIRE UNE ARCHITECTURE INNOVANTE POUR LE FUTUR

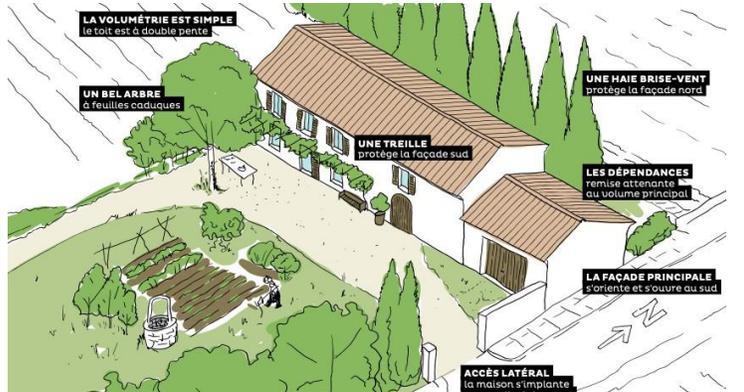
... L'architecte crée des climats; il doit dessiner des climats plutôt que des formes géométriques  
(Philippe Rahm, Histoire de l'architecture naturelle)



Architecture  
vernaculaire

# ...UN GLOSSAIRE ICOMOS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE, UN MANUEL POUR CONSERVER MAIS AUSSI CONSTRUIRE UNE ARCHITECTURE INNOVANTE POUR LE FUTUR

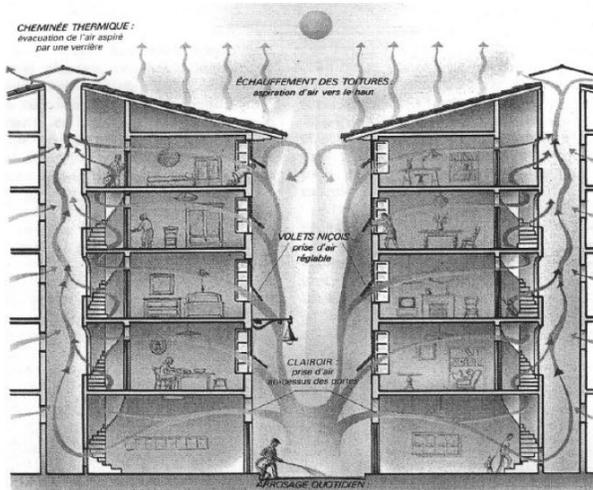
... L'architecte crée des climats; il doit dessiner des climats plutôt que des formes géométriques (Philippe Rahm, Histoire de l'architecture naturelle)



Architecture vernaculaire

ANNEXE 33 : La ventilation naturelle de la ville de Nice

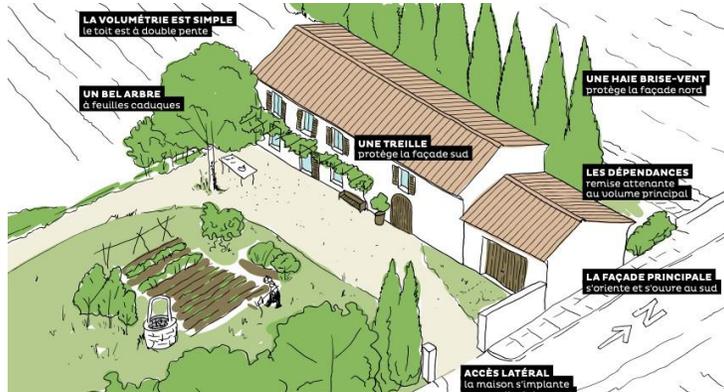
Figure 1 : Schéma présentant les principaux dispositifs de ventilation des habitations niçoises



Système de ventilation naturel

# ...UN GLOSSAIRE ICOMOS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE, UN MANUEL POUR CONSERVER MAIS AUSSI CONSTRUIRE UNE ARCHITECTURE INNOVANTE POUR LE FUTUR

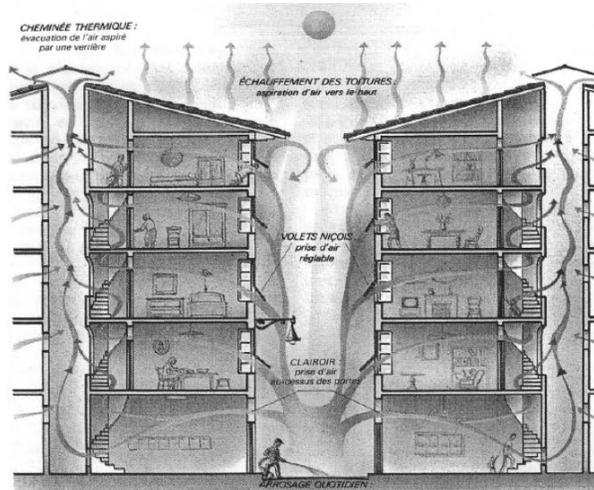
... L'architecte crée des climats; il doit dessiner des climats plutôt que des formes géométriques (Philippe Rahm, Histoire de l'architecture naturelle)



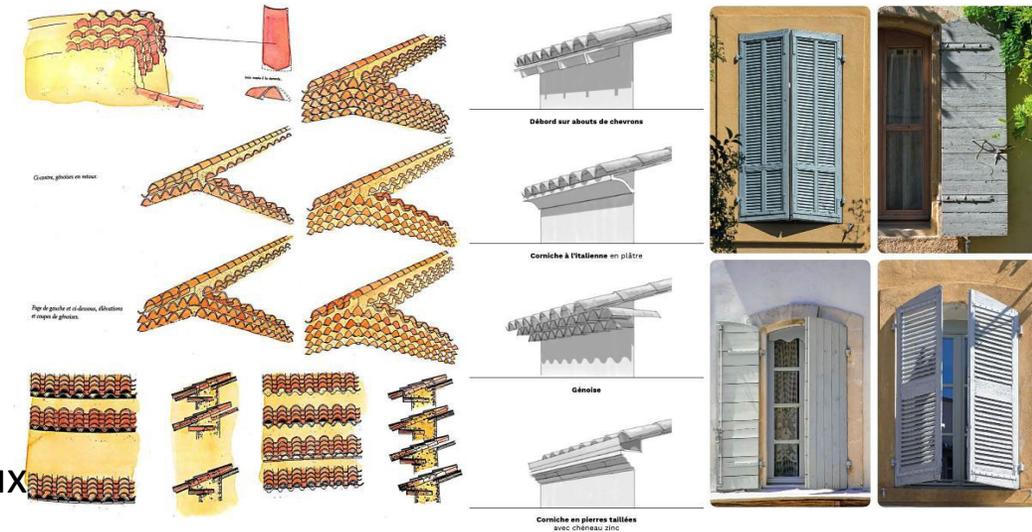
Architecture vernaculaire

ANNEXE 33 : La ventilation naturelle de la ville de Nice

Figure 1 : Schéma présentant les principaux dispositifs de ventilation des habitations niçoises



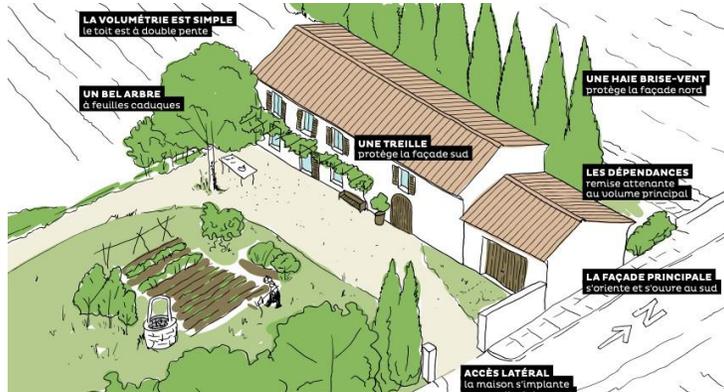
Système de ventilation naturel



Eléments architecturaux

# ...UN GLOSSAIRE ICOMOS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE, UN MANUEL POUR CONSERVER MAIS AUSSI CONSTRUIRE UNE ARCHITECTURE INNOVANTE POUR LE FUTUR

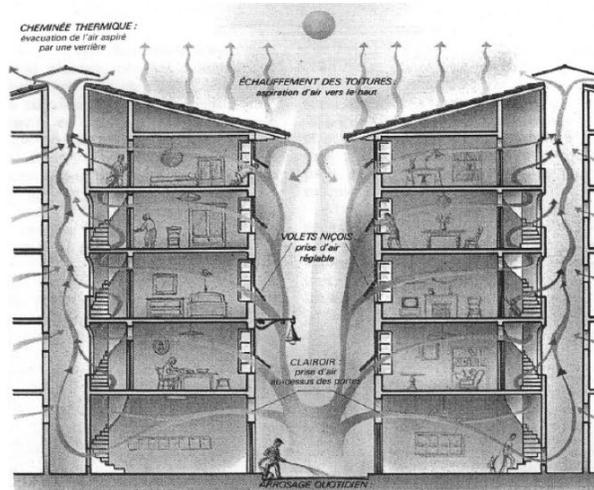
... L'architecte crée des climats; il doit dessiner des climats plutôt que des formes géométriques (Philippe Rahm, Histoire de l'architecture naturelle)



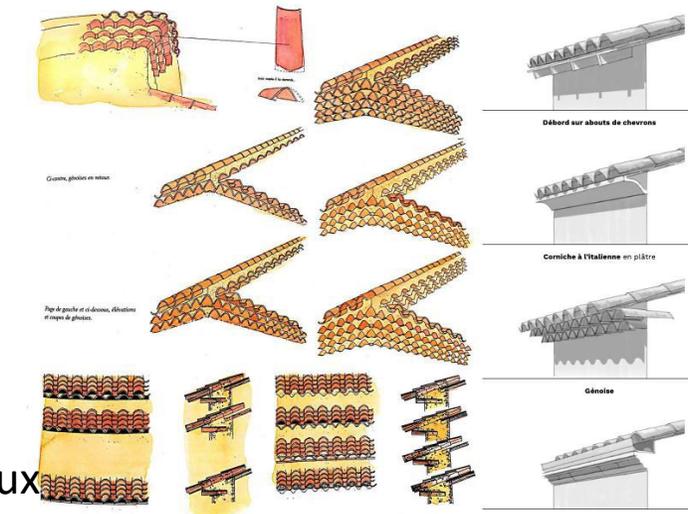
Architecture vernaculaire

ANNEXE 33 : La ventilation naturelle de la ville de Nice

Figure 1 : Schéma présentant les principaux dispositifs de ventilation des habitations niçoises

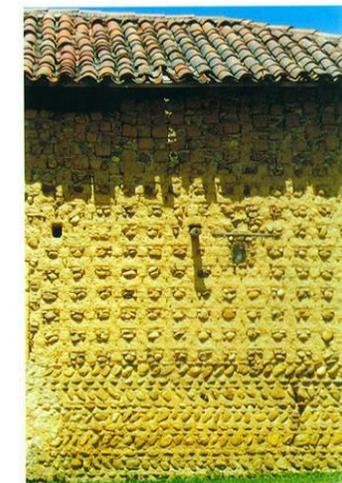
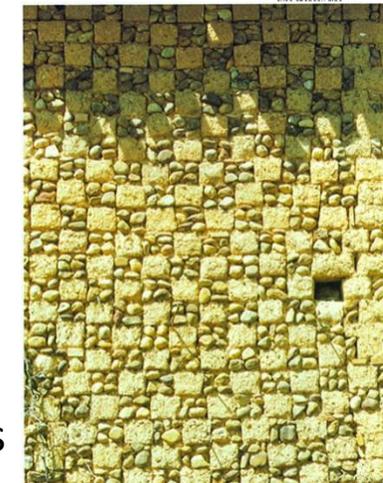


Système de ventilation naturel



Eléments architecturaux

Matériaux biosourcés



# INCLURE LE PATRIMOINE DANS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EST UNE RECHERCHE MULTI-ECHELLE ET PLURIDISCIPLINAIRE ...

