

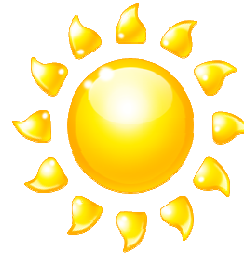
ÉVALUATION DE L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DURÉE DE SERVICE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Denys Breysse, Myriam Chaplain, Antoine Marache

I2M/GCE, Université de Bordeaux 1 - CNRS, France

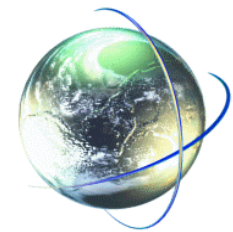
OBJECTIF - APPROCHE

2



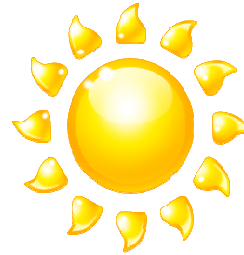
Matériaux et ouvrages sensibles à l'environnement climatique:

- ✓ Identification des paramètres du climat influant sur le comportement des matériaux
- ✓ Quantification de l'influence de ces paramètres sur les propriétés mécaniques
- ✓ Choix de scénarios plausibles de modifications climatiques et évaluation des conséquences



OBJECTIF - APPROCHE

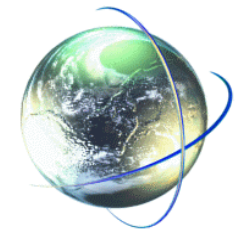
3



Matériaux et ouvrages sensibles à l'environnement climatique:

➡ Simulation de différents scénarios réalistes du climat actuel et futur (réchauffement climatique): **T, HR**

➡ Développement d'outils (modèles) lié aux conditions climatiques pour prédire le vieillissement des matériaux : **corrosion des aciers**



- ➡ simulation du climat
- ➡ modèle de corrosion (HR, T)
- ➡ Conclusion

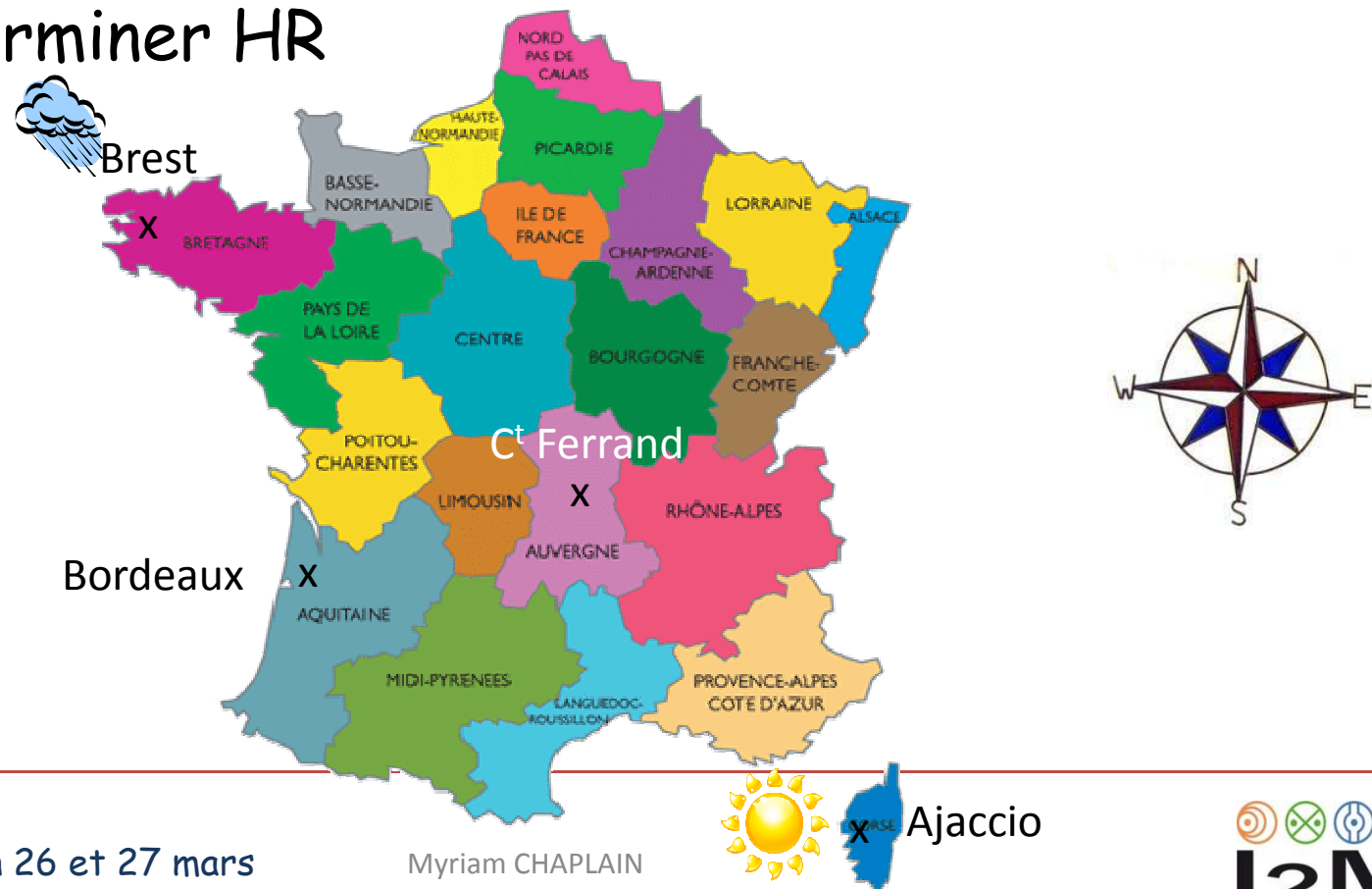
Modélisation du climat

Modélisation : 4 climats français

6

Méthode :

- 1) Simulation de la température (T)
- 2) Lier la température et l'humidité (physiquement)
- 3) Déterminer HR



Modélisation de la température

7

$$T(t) = T_D(m, j, h) + T_A(a, m, j, h)$$

avec $T_D(t) = T_{D1}(m, j, h) + T_{D2}(m, j, h)$

- T_{D1} et T_{D2} : composantes déterministes liées respectivement aux variations saisonnières et quotidiennes (dépendant des conditions astronomique)
- T_A : signal stochastique

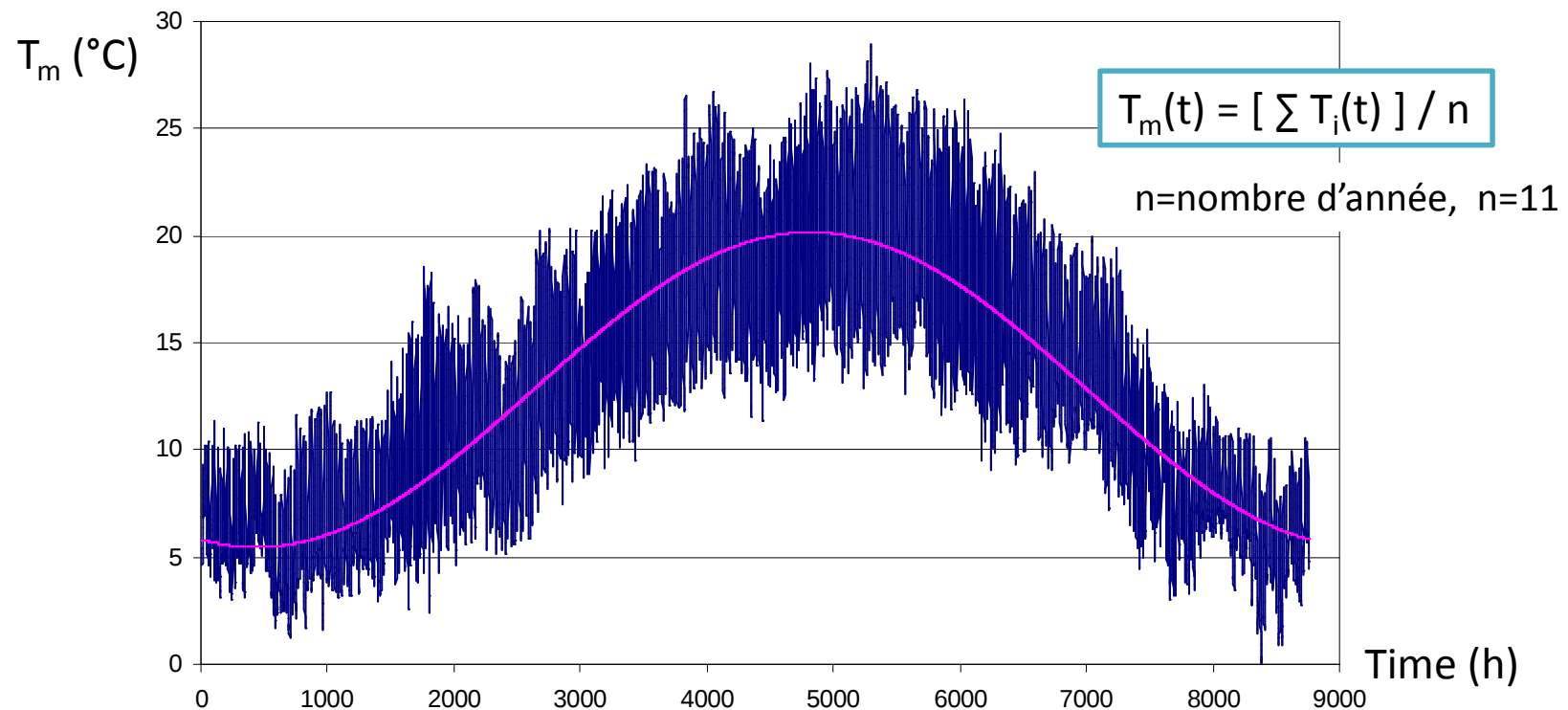
T_{D1} : Température "saisonnière"

8

À partir de l'identification de la température annuelle moyenne T_m

$$T_{D1}(t) = T_{ref} + AmpT \cdot \sin [2 \pi (t - t_0) / (365 \times 24)]$$

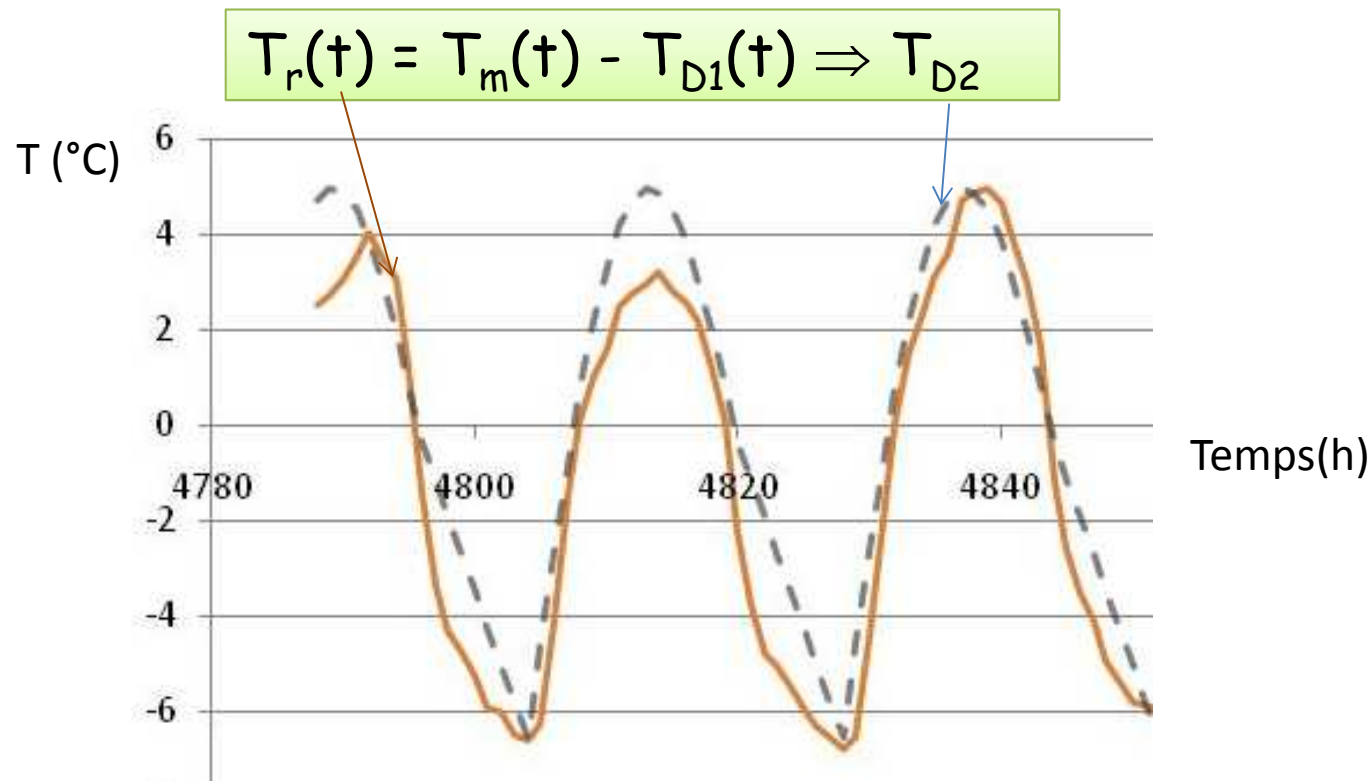
→ Aquitaine : $T_{ref} = 12.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $AmpT = 6.5^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 2600\text{h}$ (18 janv.)



T_{D2} : Température "journalière"

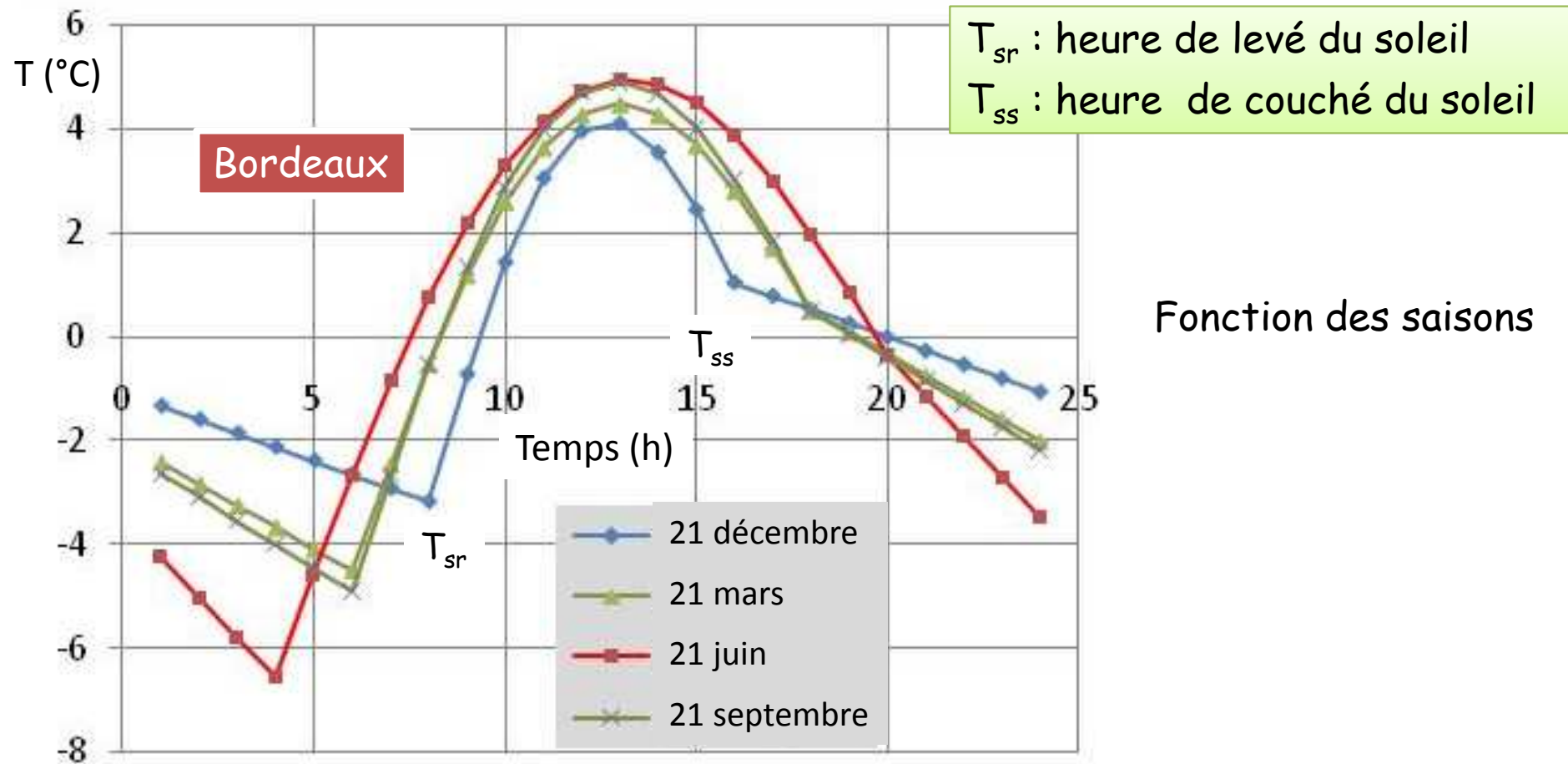
9

T_{D2} est un signal, de valeur moyenne nulle, qui décrit les variations jour / nuit. Elle est régie par l'intensité du rayonnement solaire, le refroidissement de l'air la nuit et par les saisons



T_{D2} : Température "journalière"

10

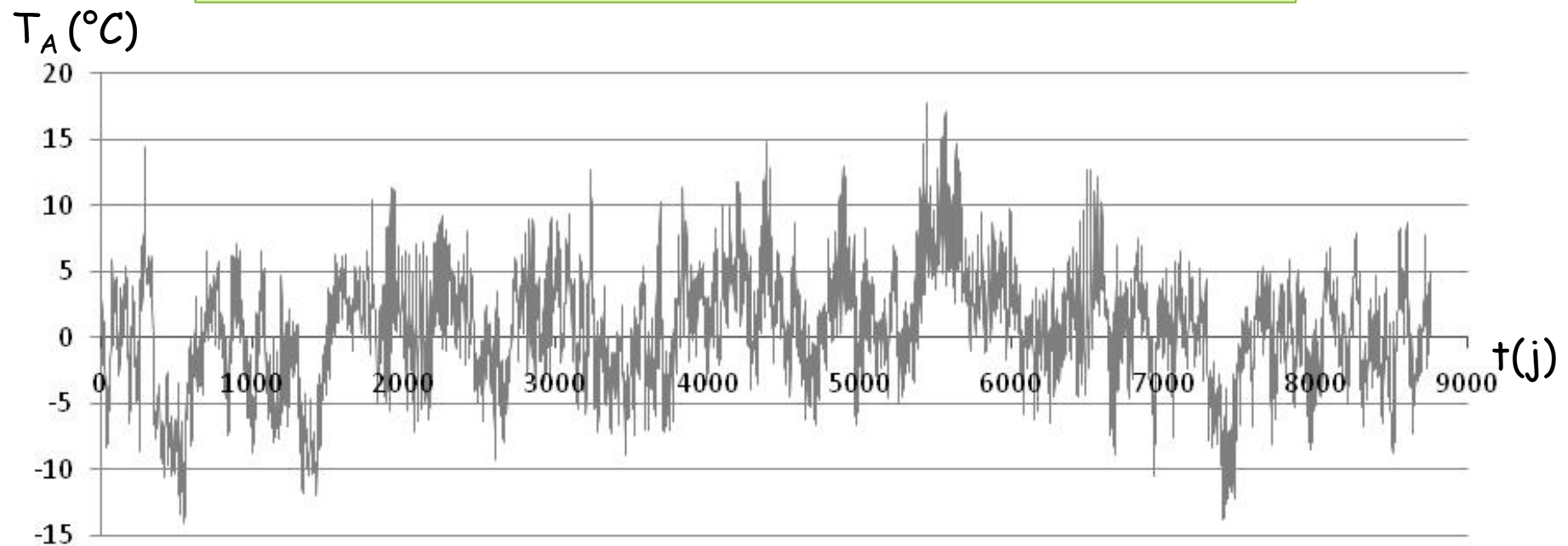


journée : fonction sinuloidale - Nuit: fonction linéaire

T_A : Température Aléatoire

11

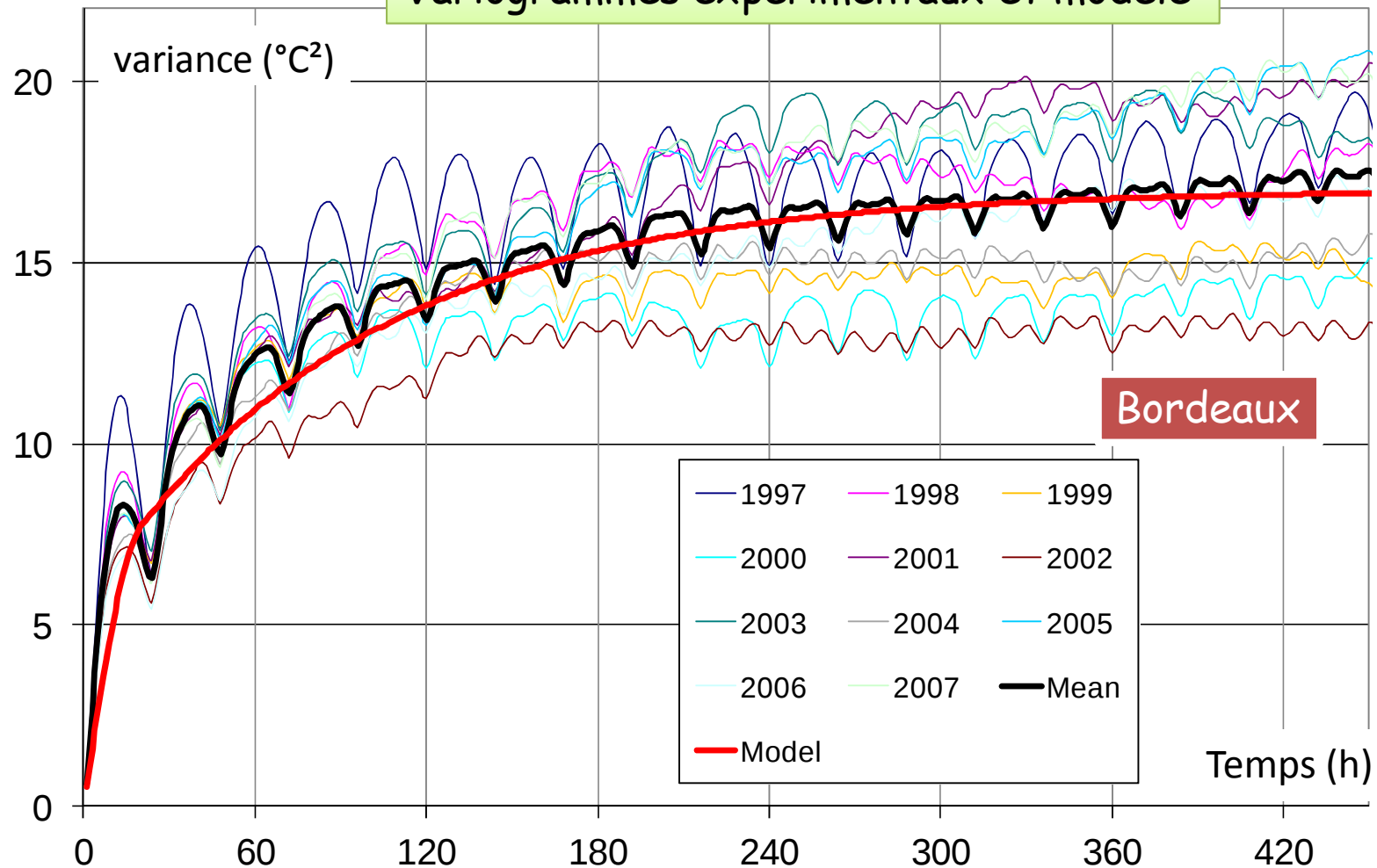
Partie aléatoire du signal, année 2003 - Bordeaux



T_A : Température Aléatoire

12

Variogrammes expérimentaux et modèle



Humidité Relative (HR)

13

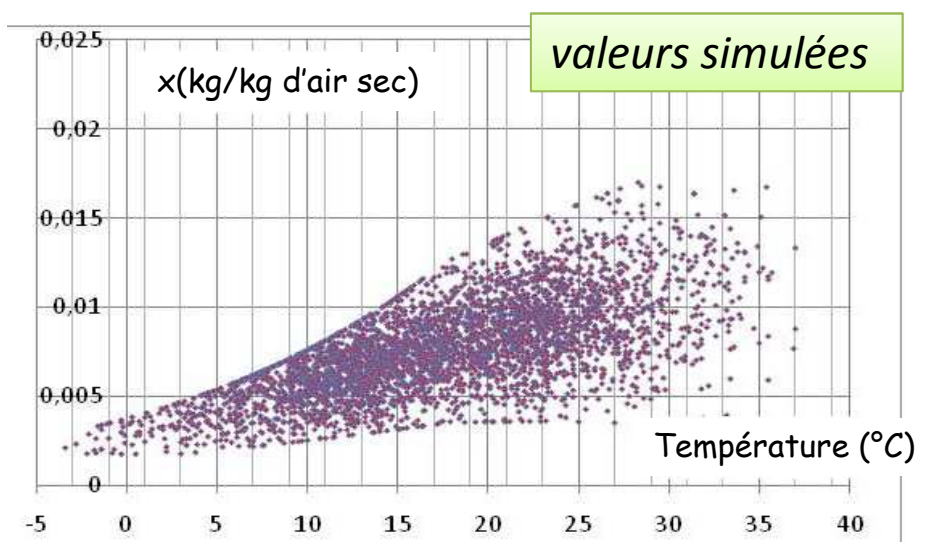
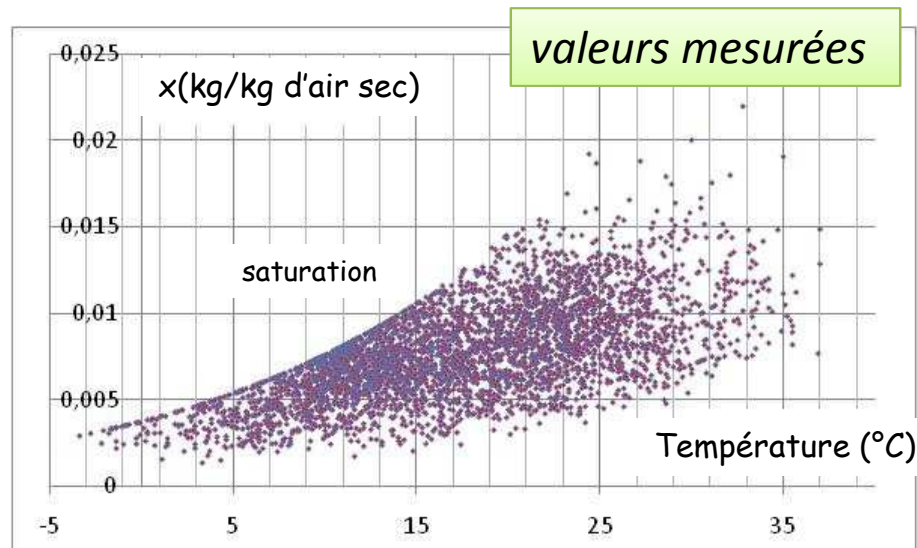
Les variations dans le temps de l'humidité absolue sont régis par des procédés physiques :

- ✓ la condensation, la pluie,
- ✓ le mouvement de l'air du au vent

Reproduire cette influence nécessite un modèle physique à une autre échelle

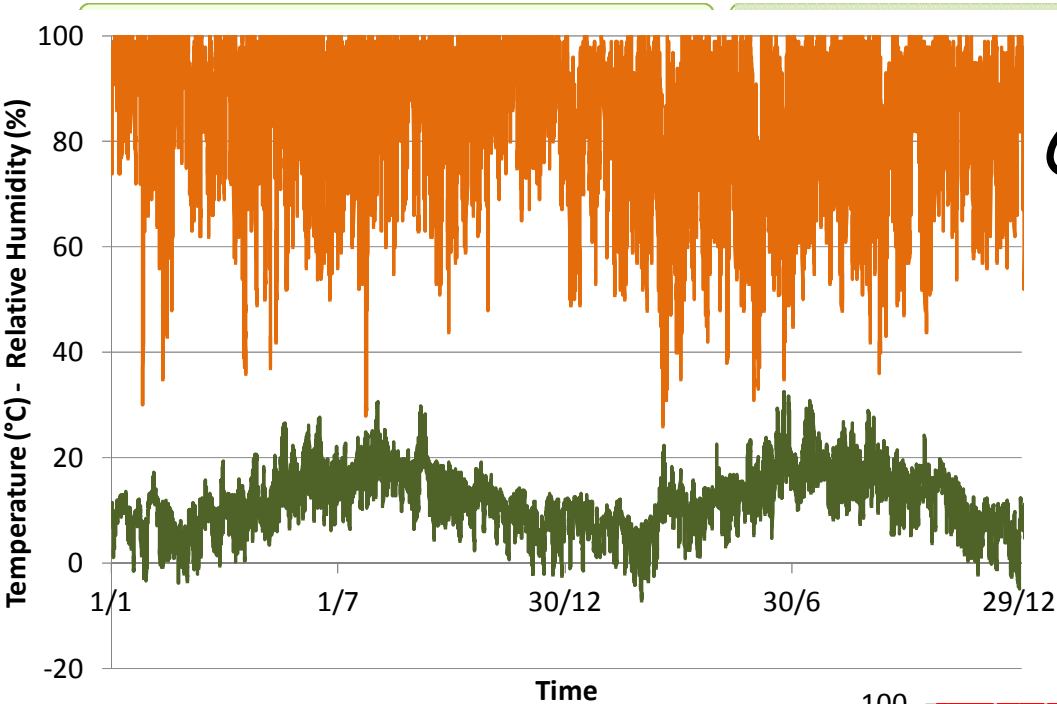
➡ **Simplification : calcul de x (humidité absolue)**

➡ distribution $p(x_{ref}|T_{ref}) \rightarrow HR$

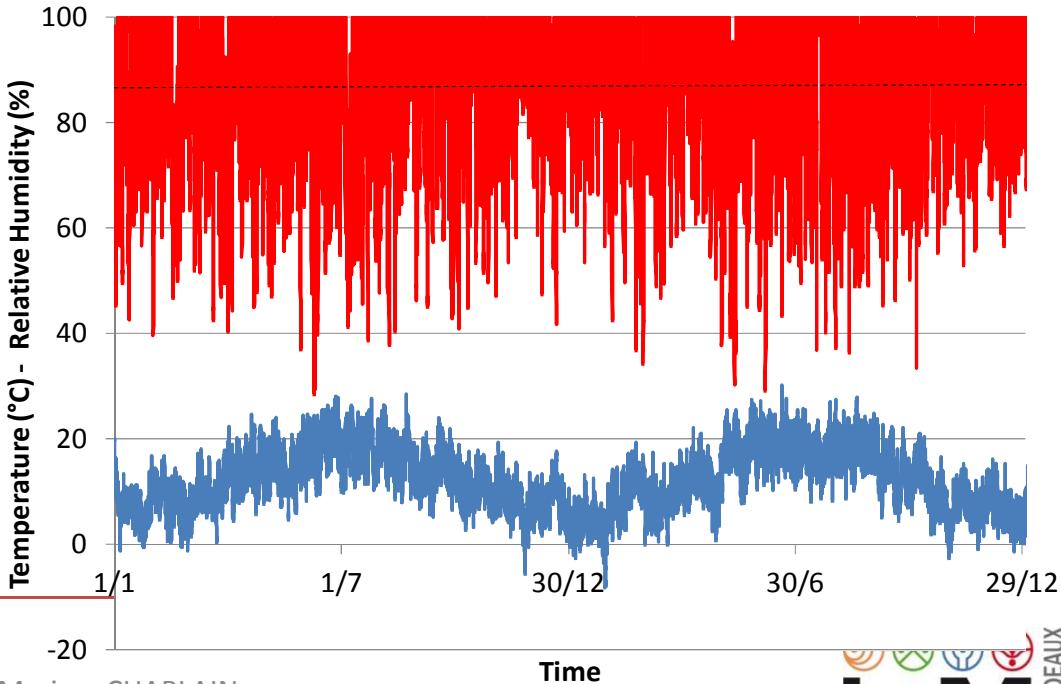


Climat Breton

Réel



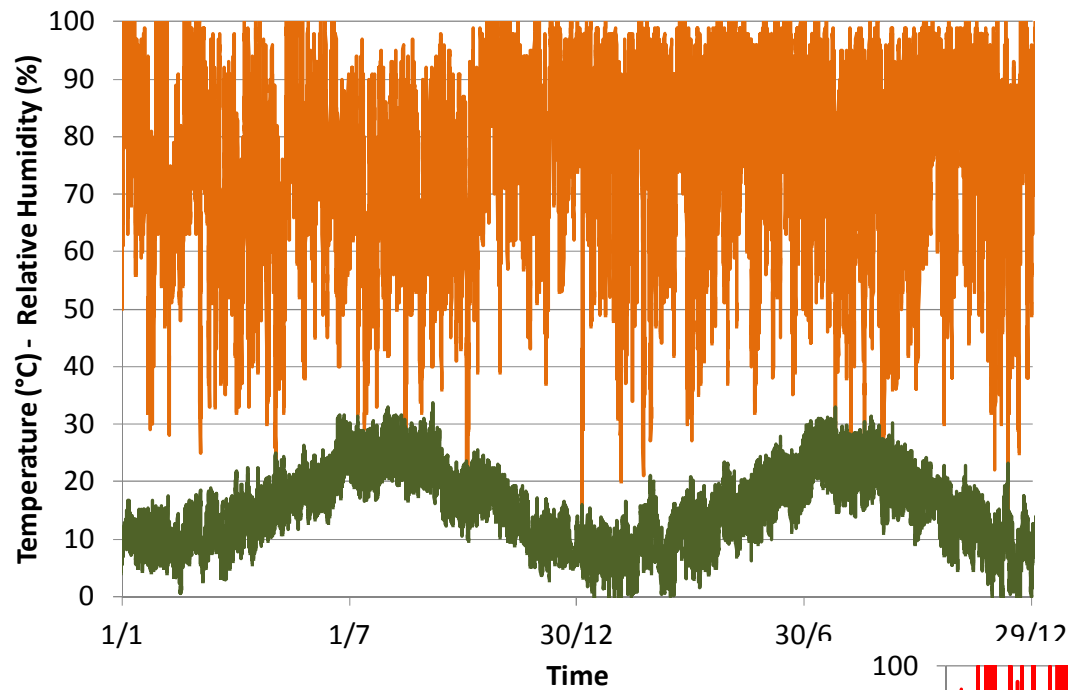
Simulé



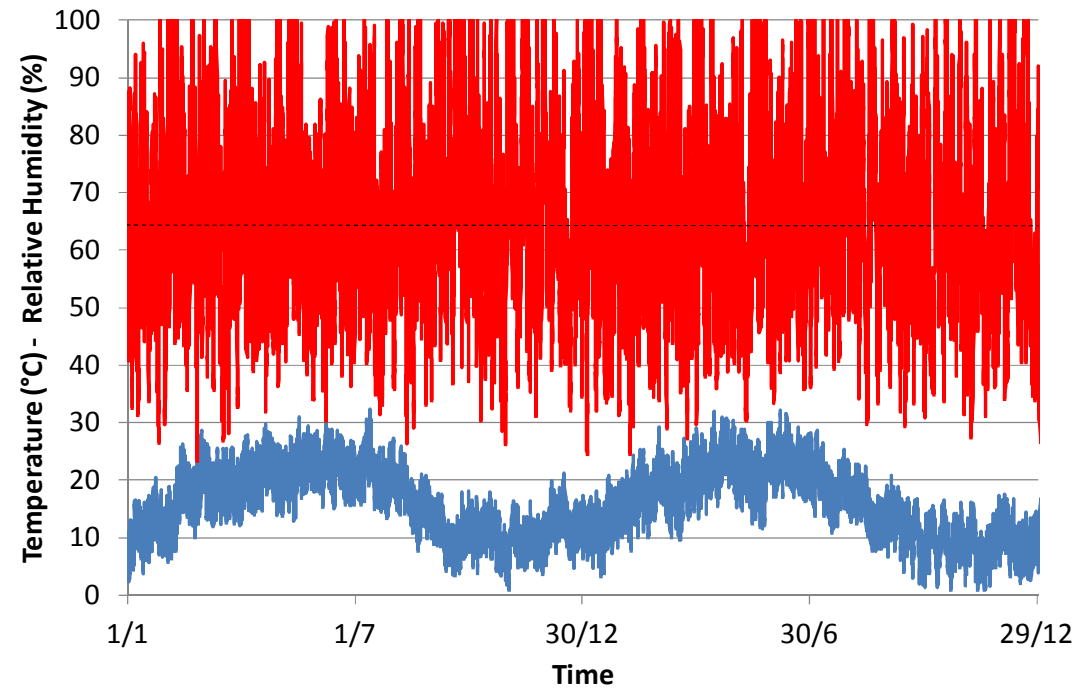
Climat corse

15

Réel



Simulé



Modèle de Corrosion fonction de HR et T

Modèle de corrosion : i_{corr}

17

i_{corr} courant de corrosion

$$i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = A \cdot e^{0,0312 \cdot \text{HR}} \cdot e^{-4736/T}$$

Avec A constante en mA/cm^2 , HR en %, T en $^{\circ}\text{K}$

Modèle de corrosion : i_{corr}

18

i_{corr} courant de corrosion

$$i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = A \cdot e^{0,0312 \cdot \text{HR}} \cdot e^{-4736/T}$$

Avec A constante en mA/cm^2 , HR en %, T en $^{\circ}\text{K}$

Pour une température et une humidité de références
(T_{ref} en $293,15^{\circ}\text{K}$ soit 20°C ; $\text{HR}_{\text{ref}}=80\%$)

$$i_{\text{corr_ref}} = i_{\text{corr}}(\text{HR}_{\text{ref}}, T_{\text{ref}}) = A \cdot e^{0,0312 \cdot \text{HR}_{\text{ref}}} \cdot e^{-4736/T_{\text{ref}}}$$

Modèle de corrosion : i_{corr}

19

i_{corr} courant de corrosion

$$i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = A \cdot e^{0,0312 \cdot \text{HR}} \cdot e^{-4736/T}$$

Avec A constante en mA/cm^2 , HR en %, T en $^{\circ}\text{K}$

$$T_{\text{ref}} 20^{\circ}\text{C}; \text{HR}_{\text{ref}}=80\% \rightarrow i_{\text{corr_ref}}$$

$$i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = e^{0,0312(\text{HR}-\text{HR}_{\text{ref}})} \cdot e^{-4736(1/T-1/T_{\text{ref}})} \cdot i_{\text{corr_ref}}$$

posons $k_{\text{act}}(\text{HR}, T) = e^{0,0312(\text{HR}-\text{HR}_{\text{ref}})} \cdot e^{-4736(1/T-1/T_{\text{ref}})}$

Modèle de corrosion : i_{corr}

20

i_{corr} courant de corrosion

$$i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = A \cdot e^{0,0312 \cdot \text{HR}} \cdot e^{-4736/T}$$

$$T_{\text{ref}} 20^{\circ}\text{C}; \text{HR}_{\text{ref}}=80\% \rightarrow i_{\text{corr_ref}}$$

posons $k_{\text{act}}(\text{HR}, T) = e^{0,0312(\text{HR} - \text{HR}_{\text{ref}})} \cdot e^{-4736(1/T - 1/T_{\text{ref}})}$

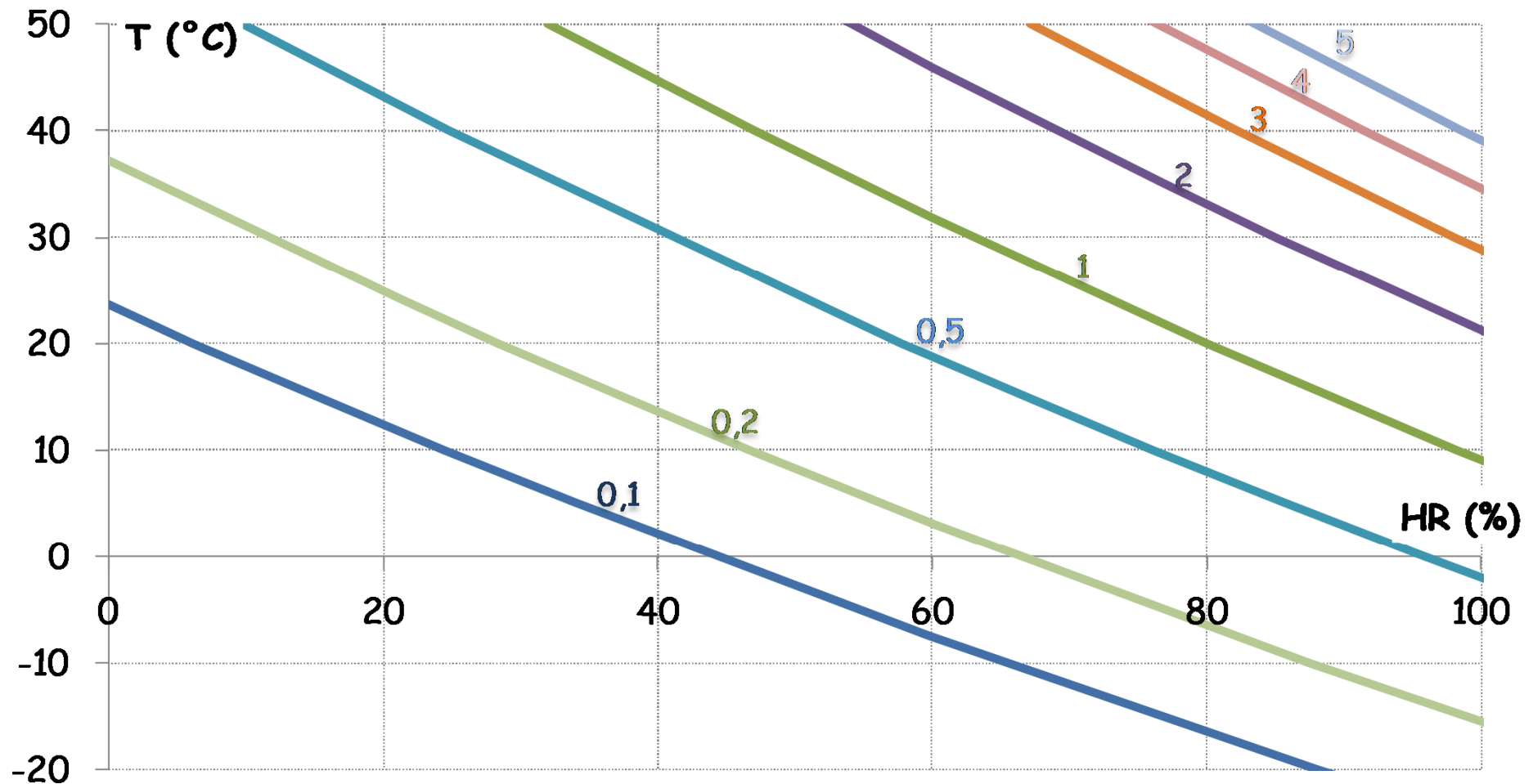


$$i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = k_{\text{act}}(\text{HR}, T) \cdot i_{\text{corr_ref}}$$

K_{act} : effet du climat

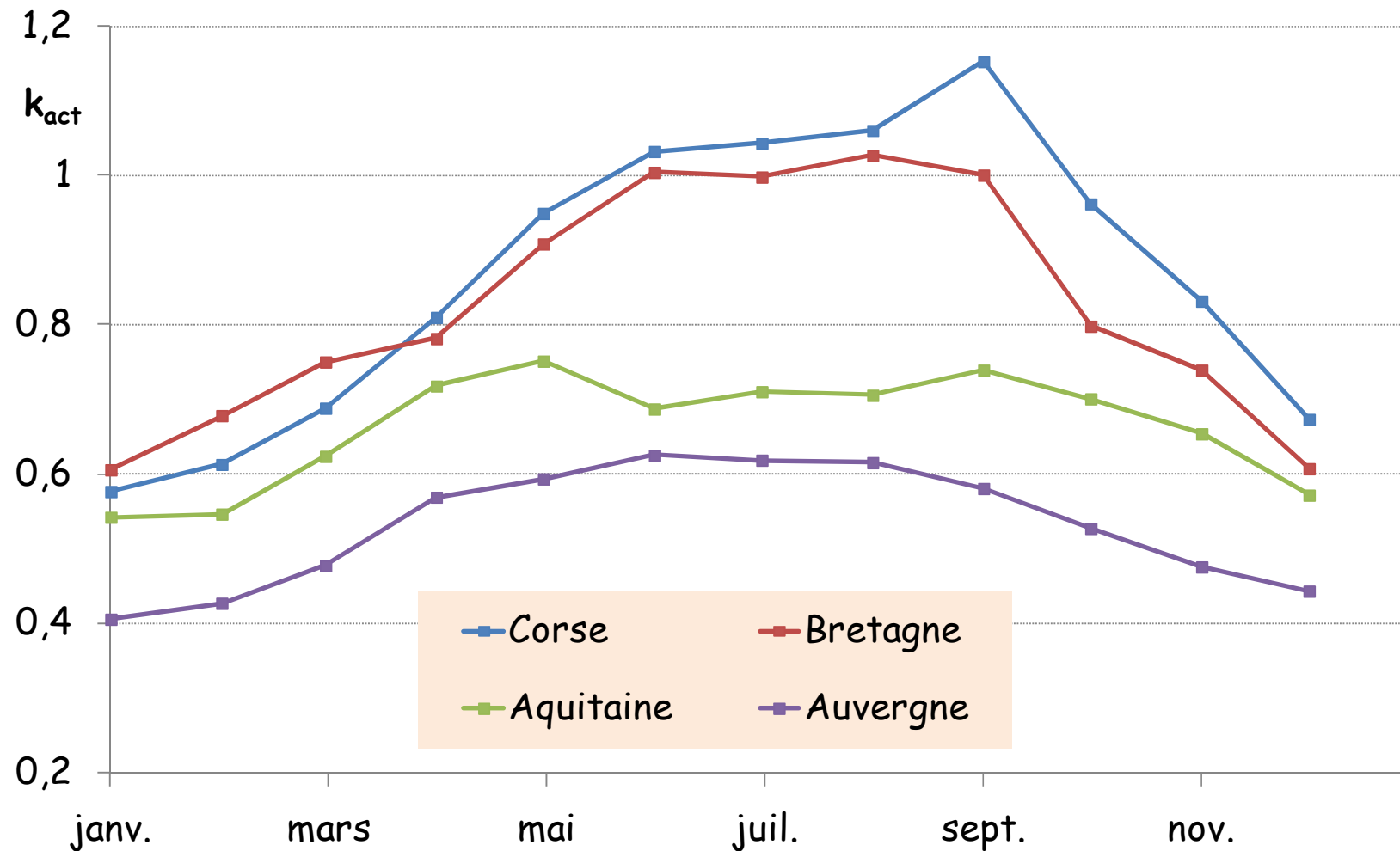
Iso- k_{act}

21



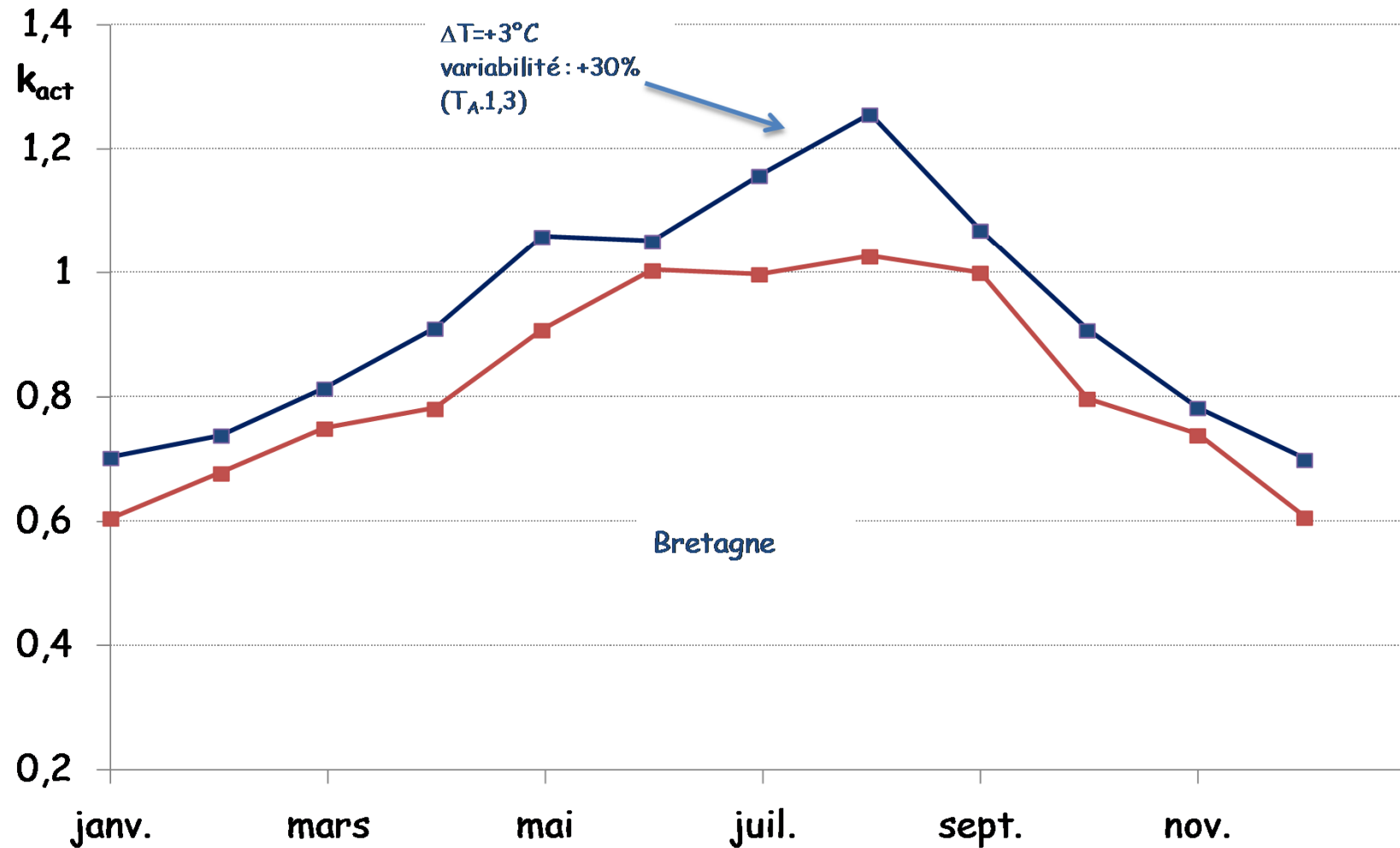
K_{act} : effet du climat

22



K_{act} : effet du climat

23



Conclusion

Conclusion

25

Modélisation HR, T
(diverses régions)

Modèle empirique de corrosion
 $\rightarrow i_{\text{corr}}(\text{HR}, T) = k_{\text{act}} \cdot i_{\text{corr_ref}}$



Simulation de l'activité dynamique
temporelle de la corrosion dans son
environnement

+

simuler l'effet du changement climatique

Perspectives

26

Modèle de climat employé pour estimer d'autres types d'impacts :

➡ durée de vie des composants structuraux en bois

➡ l'orniérage des chaussées

➡ ...

Merci de votre attention

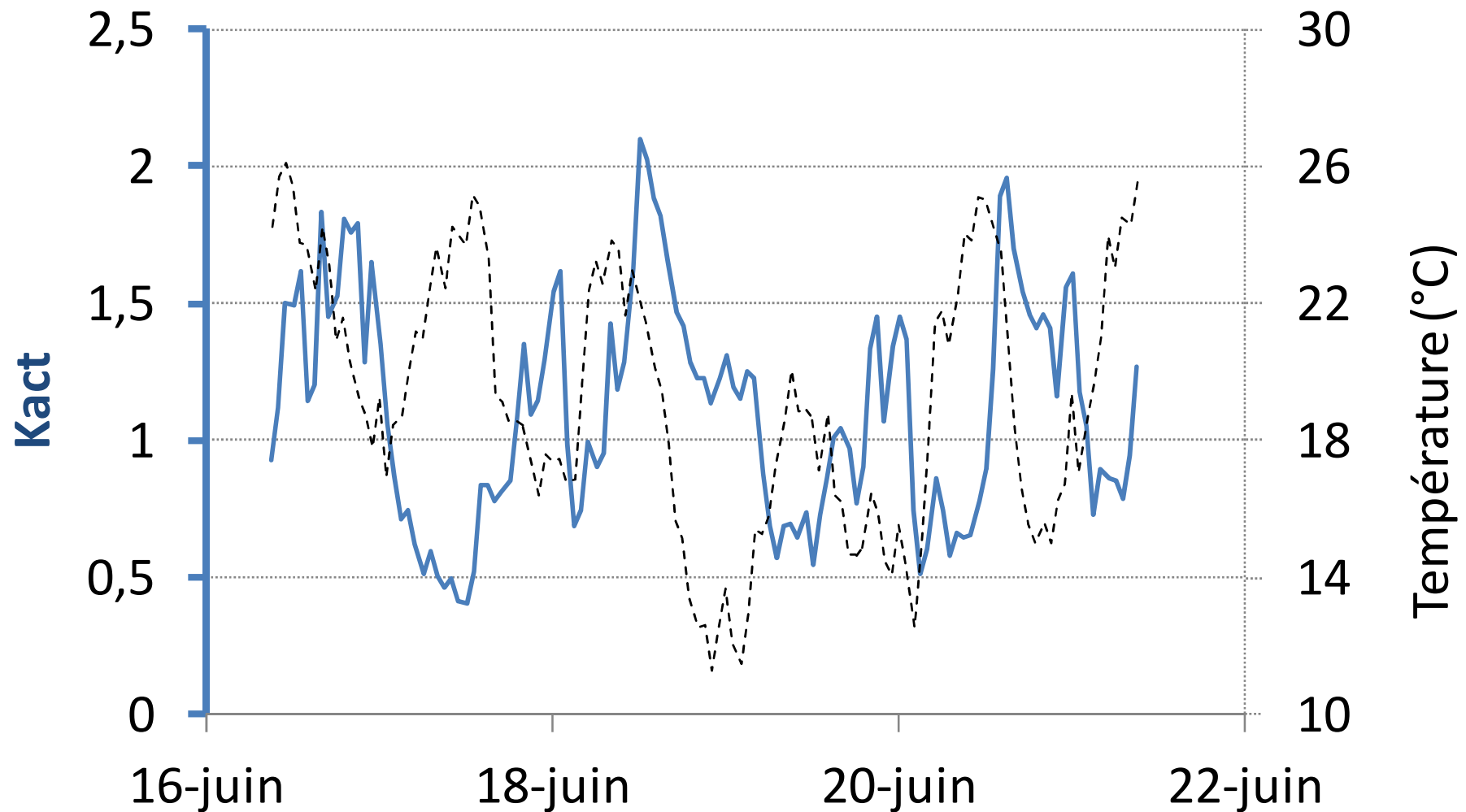
ÉVALUATION DE L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DURÉE DE SERVICE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Denys Breysse, Myriam Chaplain, Antoine Marache

I2M/GCE, Université de Bordeaux 1 - CNRS, France

K_{act} : effet du climat

29

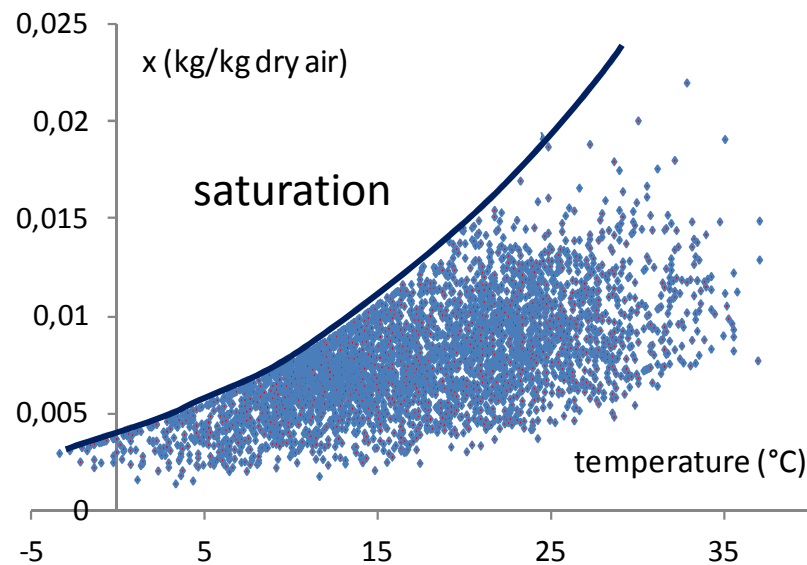


Absolute Humidity

30

Simulation :

- ✓ d day, at 1 p.m. : $T_{\text{ref}}(d) \rightarrow x_{\text{ref}}(d)$ (using conditional distribution $p(x_{\text{ref}}|T_{\text{ref}})$)
- ✓ d+1 day at 1 p.m. : $T_{\text{ref}}(d+1) \rightarrow x_{\text{ref}}(d+1)$
- ✓ Between d and d+1 (at 1 p.m.) : x_{ref} linear interpolated + saturation



Humidity

31

$$RH = p_{\text{vap}} / p_{\text{sat}}(T)$$

p_{vap} water vapour pressure (depending on x)

P_{sat} water vapour pressure at saturation (depending on T)

✓ P_{sat} Empirical relationship (Dupré formula) :

$$p_{\text{sat}} = \exp [46.784 - 6435/T_{\text{abs}} - 3.868 \ln(T_{\text{abs}})]$$

T_{abs} : absolute temperature in Kelvin ($T_{\text{abs}} = T^{\circ}\text{C} + 273,15$)

✓ P_{vap} $p_{\text{vap}} = 1000x/(x+0.622)$