

Identification des propriétés hygrothermiques des matériaux par stratégie d'évolution CMA

Simon Rouchier
LOCIE
Université de Savoie



Contexte et objectifs

Diagnostic de l'existant pour la réhabilitation

pour les économies d'énergie, le confort, la durabilité des constructions...

Identification in-situ de l'enveloppe

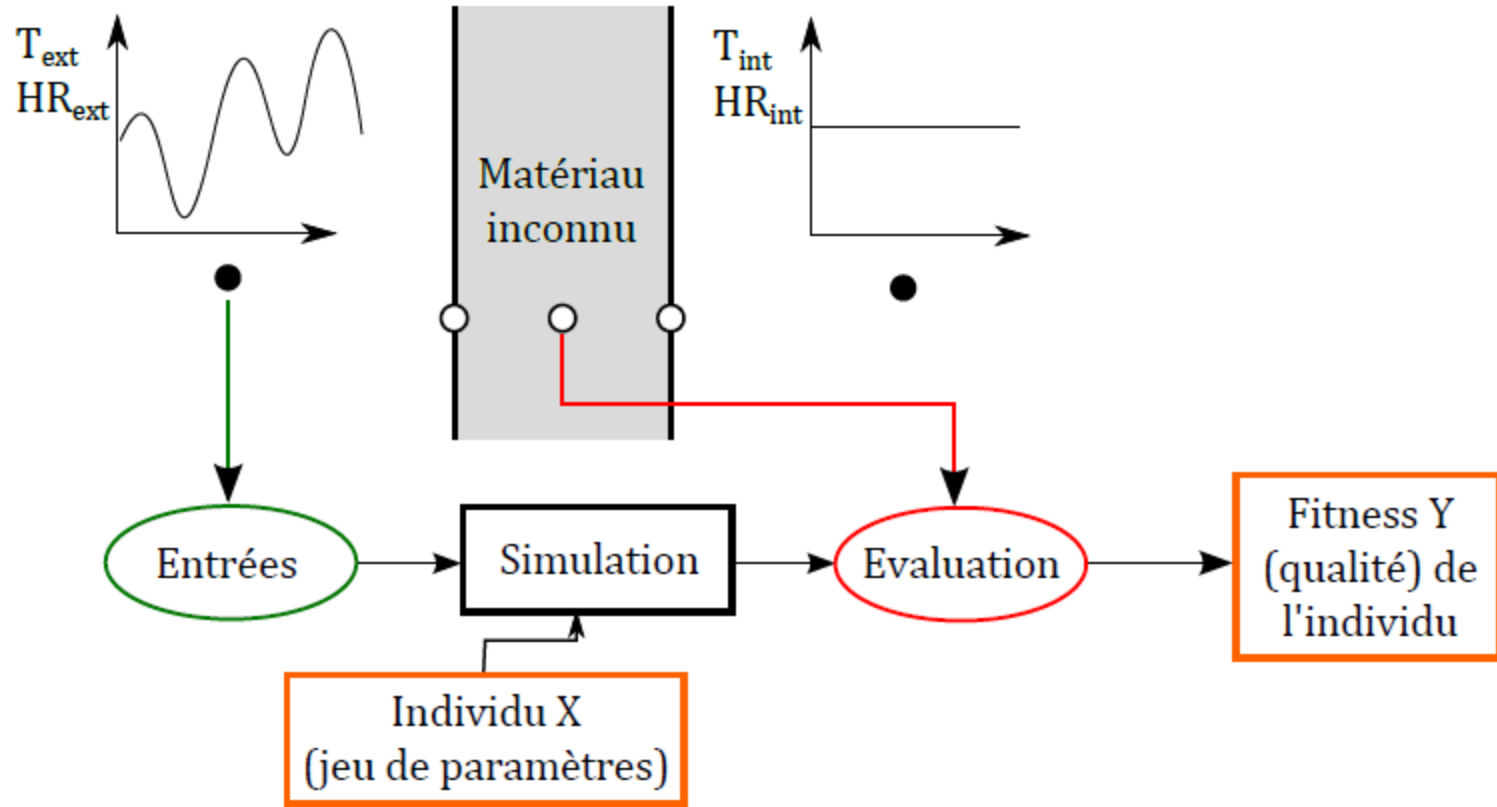
pour proposer des solutions adaptées de réhabilitation

Application aux propriétés hygrothermiques à l'échelle de la paroi

algorithmes d'évolution, éventuellement associés à des méta-modèles



Formulation du problème



Déroulement du projet



Développement de l'outil

benchmark numérique
illustration du potentiel de la démarche

Application expérimentale

identification de matériaux installés en cellules expérimentales
comparaison avec la caractérisation traditionnelle

Application in situ

contraintes réelles d'instrumentation

Objectif : avancer vers les conditions réelles d'instrumentation sans perdre la précision de l'identification

Formulation du problème

Variable	Formulation	Inconnues
$c_p \rho$	Constante	1
λ	$\lambda = \lambda_0 + \lambda_m w + \lambda_t T$	3
δ_p	Interpolation entre $[\delta_{p,25\%}; \delta_{p,75\%}]$	2
w	Interpolation polynômiale de degré 3 $[w_{25}; w_{50}; w_{75}]$	3

- 1 individu = 1 variable à 9 dimensions

$$X = \{\lambda_0; \lambda_m; \lambda_t; c_p; \delta_{p,25\%}; \delta_{p,75\%}; w_{25}; w_{50}; w_{75}\}$$

- Calcul HAM : évolution de T et HR

$$T_{calcul}; HR_{calcul}$$

- Qualité de l'individu : somme des moindres carrés de la différence calcul/mesures

$$Y = w_T R_T + w_{HR} R_{HR} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} R_T = \sum (T_{calcul} - T_{mesure})^2 \\ R_{HR} = \sum (HR_{calcul} - HR_{mesure})^2 \end{cases}$$

ou

$$Y = (R_T, R_{HR})$$

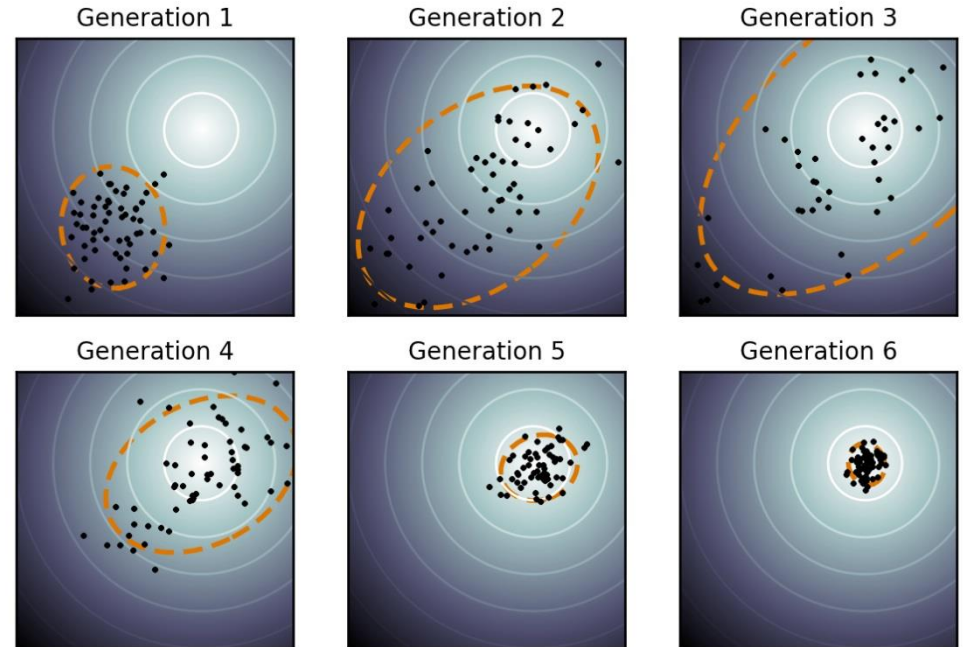
Optimisation mono ou multi-objectif de la fonction $Y = f(X)$

$$f: \mathbb{R}^9 \mapsto \mathbb{R}^2$$

Stratégie d'évolution

CMA-ES : *Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy*

Adaptation, au cours des itérations, de la matrice de variance-covariance de la distribution multi-normale utilisée pour la mutation



Environnement numérique open-source en langage python

- code HAM éléments finis : code.google.com/p/hamopy/
- algorithmes génétiques : code.google.com/p/deap/
- distribution des calculs : code.google.com/p/scoop/

Structure du benchmark numérique

Capteurs idéaux

recherche mono-critère (somme pondérée de R_T et R_{HR})
étude des limites théoriques et de la reproductibilité des essais

Capteurs réels

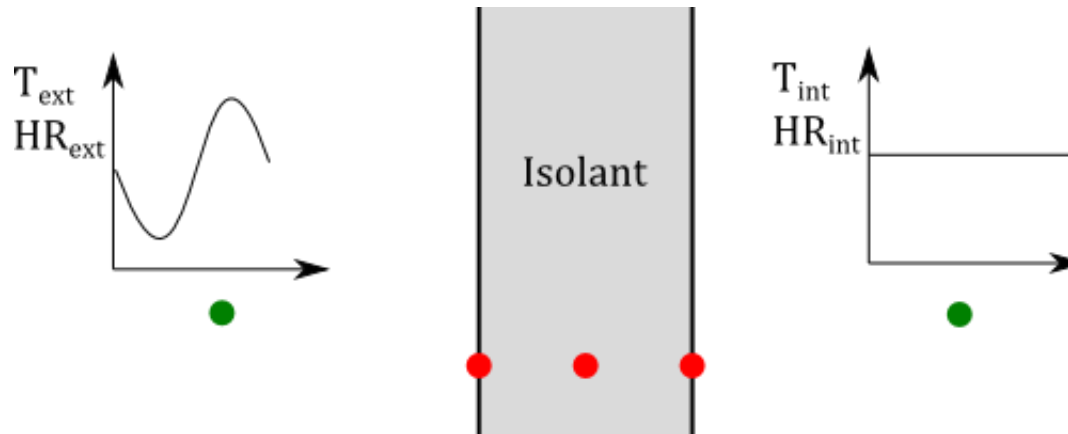
influence de la quantité d'information (temps de mesure)
mono ou multi-objectif



Capteurs idéaux

T et HR sont mesurés sans erreur avec une précision de $0,01^{\circ}\text{C}$ et $0,01\%$

Objectifs : - tester les limites théoriques de la méthode
- vérifier la reproductibilité



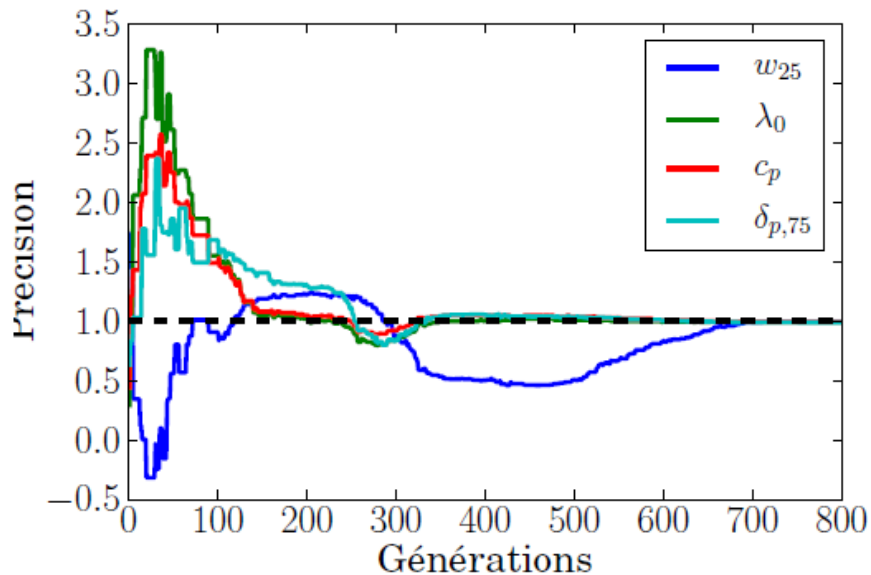
Météo : profil sinusoïdal de T et HR sur 24h

Mesures : - 5 essais avec 1 capteur au milieu

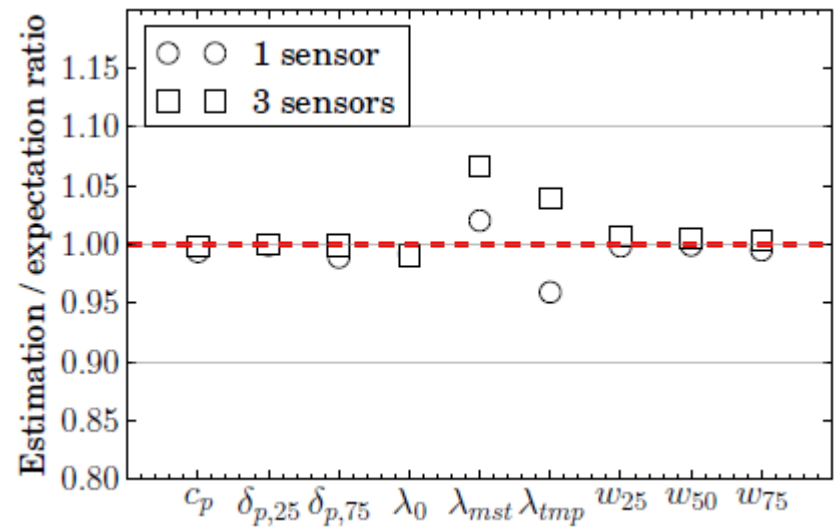
- 5 essais avec 3 capteurs (milieu + bords)

Capteurs idéaux

Evolution du meilleur individu au cours d'un essai

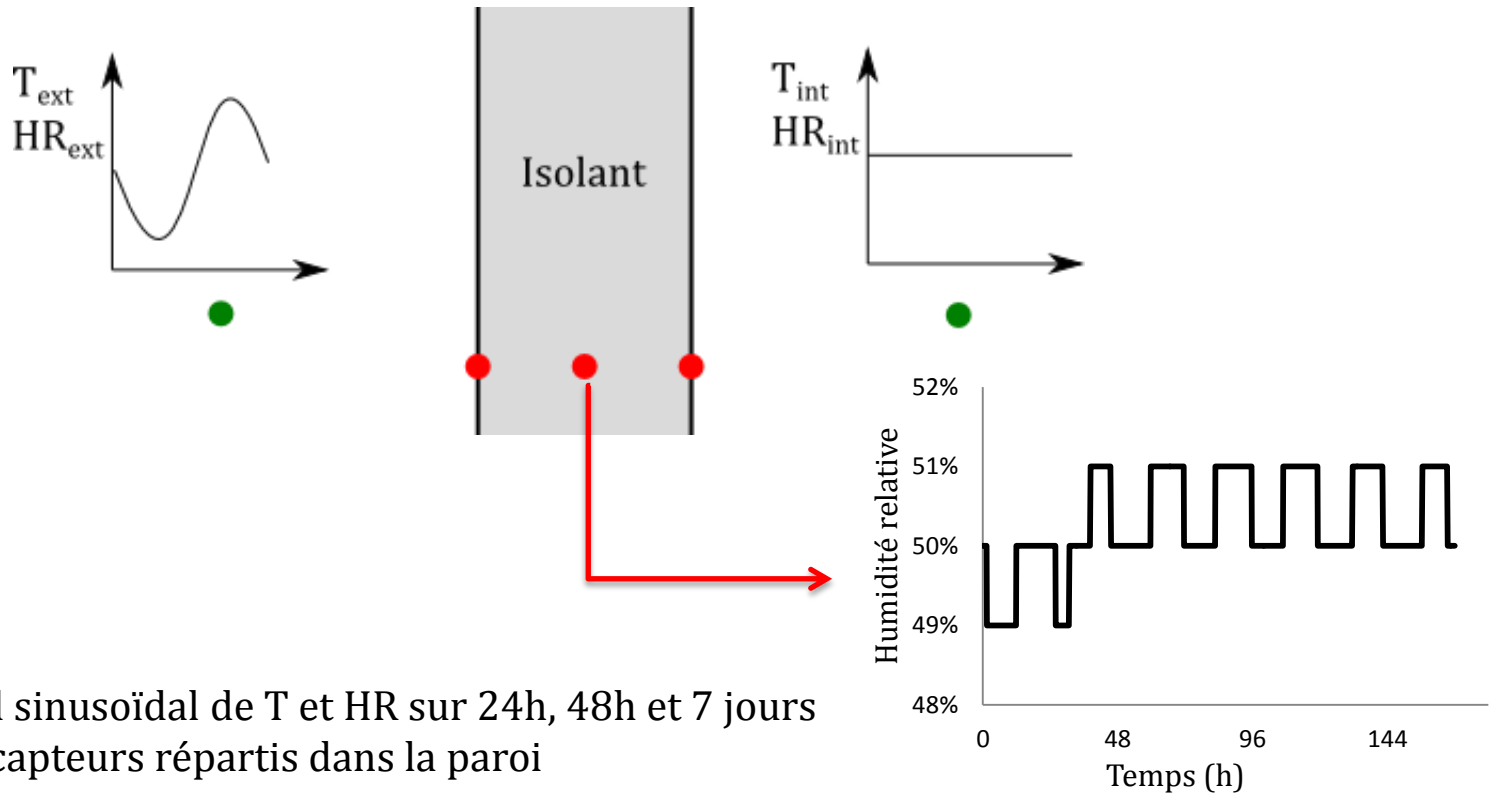


Résultat de l'identification
Valeur de chaque propriété par rapport à l'objectif



Capteurs « réels »

Les capteurs sont supposés bien étalonnés (pas d'erreur systématique) mais ont une résolution de $0,1^{\circ}\text{C}$ et 1% HR.



Météo : profil sinusoïdal de T et HR sur 24h, 48h et 7 jours

Mesures : 5 capteurs répartis dans la paroi

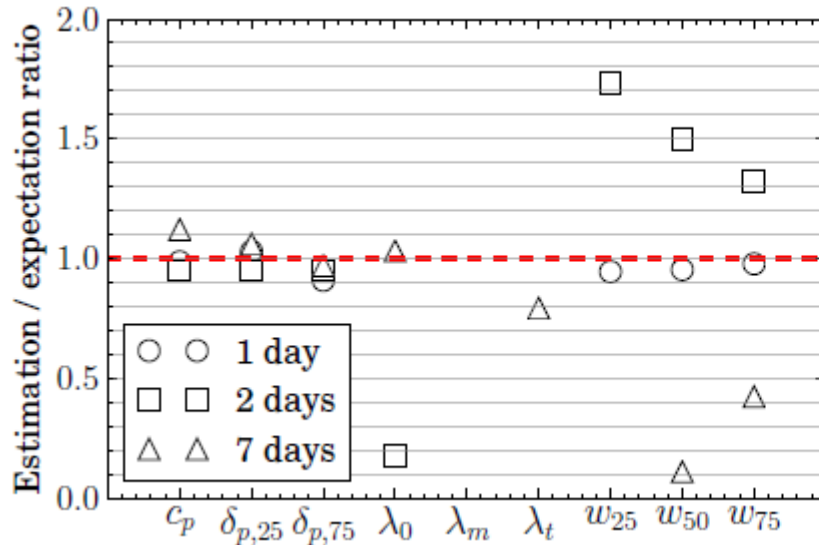
Capteurs « réels »

Recherche mono-objectif : $Y = R_T + R_{HR}$

Somme pondérée par la valeur moyenne des mesures de chaque capteur

$$R_T = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} \left[\frac{1}{T_m^i} \cdot \frac{1}{N_m} \sum_{k=1}^{N_m} (T_c^{i,k} - T_m^{i,k})^2 \right]$$

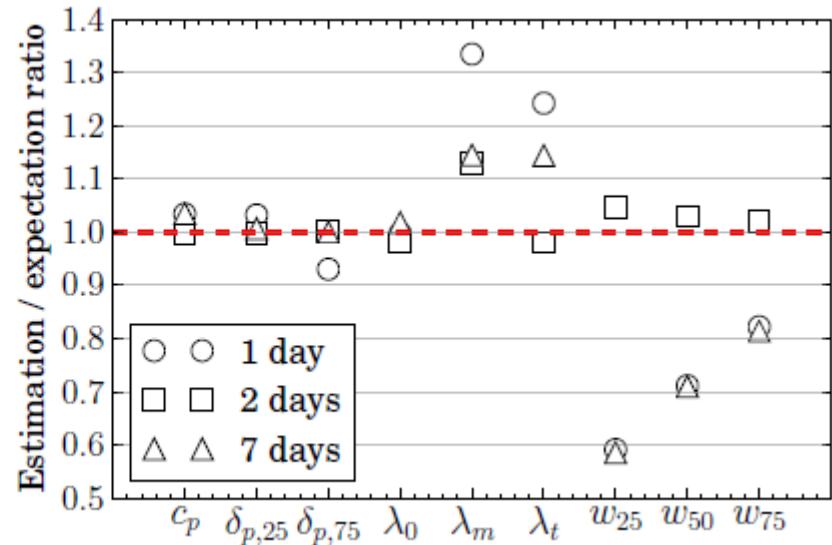
3 ordres de grandeur entre R_T et R_{HR}



Somme pondérée par la résolution de chaque capteur

$$R_T = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} \left[\frac{1}{\text{resol}(T_m^i)} \cdot \frac{1}{N_m} \sum_{k=1}^{N_m} (T_c^{i,k} - T_m^{i,k})^2 \right]$$

R_T et R_{HR} ont le même ordre de grandeur



N_c : nombre de capteurs

N_m : nombre de mesures fournies par chaque capteur

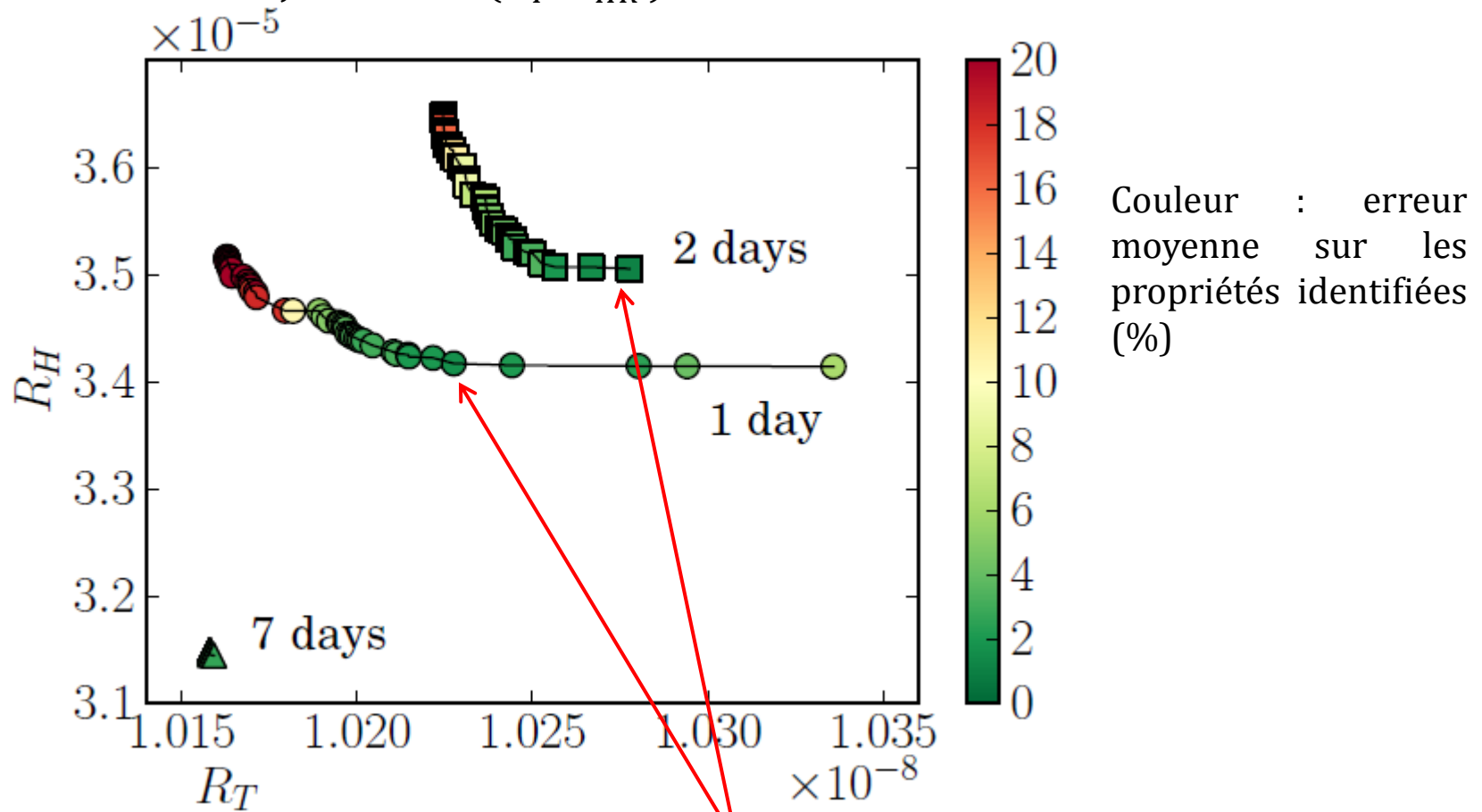
T_c : température calculée

T_m : température mesurée



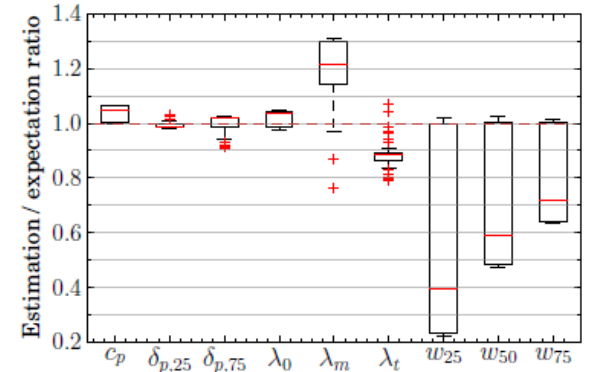
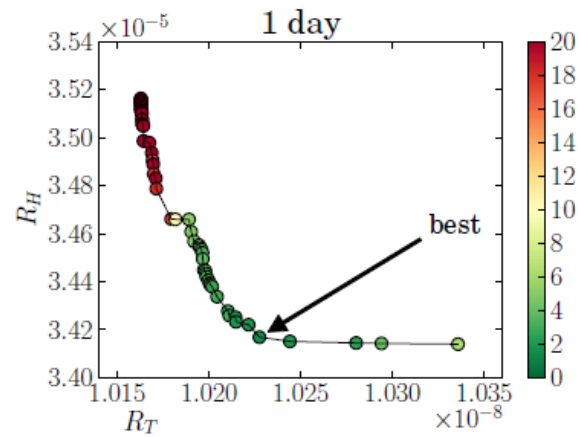
Capteurs « réels »

Recherche multi-objectif : $Y = (R_T, R_{HR})$

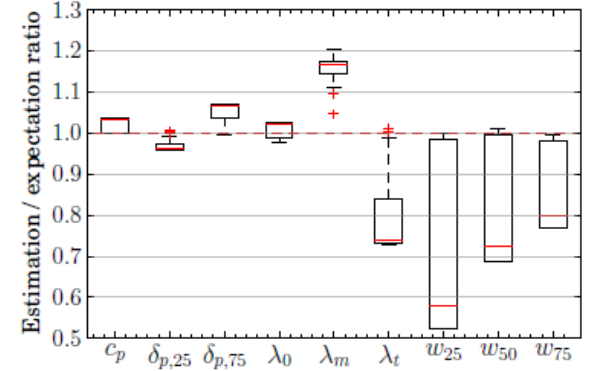
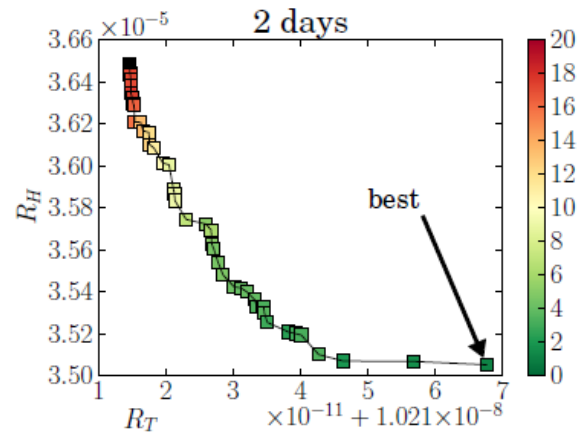


Meilleur individu

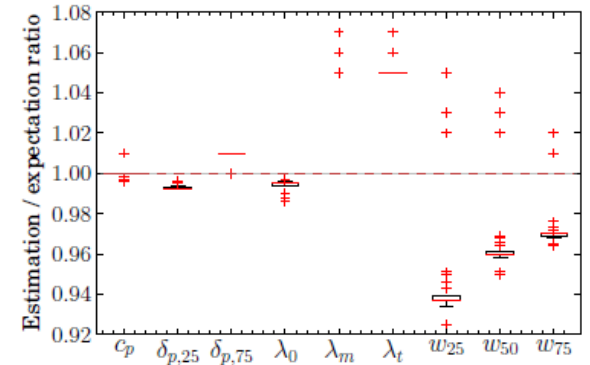
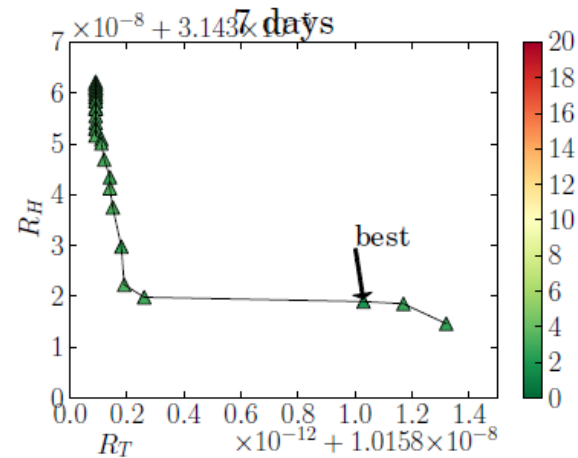
1 jour de simulation
66 individus sur le front de Pareto
(1 individu = 1 jeu de paramètres)



2 jours
70 individus



7 jours
35 individus



Récapitulatif

Erreur d'identification moyenne de chaque propriété

Nombre d'évaluations de la fonction objectif avant convergence

	24h	48h	7 jours
Capteurs « idéaux »			
Somme pondérée 1	1,48 % ≈ 5000 à 8000 (x10)		
Multi-objectif	1,13 à 2,22 % 5184	0,75 à 2,59 % 5076	
Capteurs « réalistes »			
Somme pondérée 1	198 % 8556	98 % 5760	96 % 6924
Somme pondérée 2	17,7 % 5652	3,0 % 2964	13,8 % * 5352
Multi-objectif	1,69 à 24,7 % 5700	1,10 à 18,2 % 5532	1,97 à 3,25 % 5052

* l'erreur porte principalement sur les coefficients de l'isotherme



Conclusion

Effets des incertitudes de mesure sur le résultat de l'identification par CMA-ES		
Source d'erreur	Abordée par le benchmark ?	Quelles difficultés ?
Résolution	oui	Erreur d'identification surmontable par un choix approprié de la fonction objectif
Erreur aléatoire	non	Pas d'effet escompté sur l'identification si la quantité de données est suffisante (à prouver)
Erreur systématique	non	Effet probablement important sur les résultats : un calibrage précis est nécessaire avant les mesures

Etape suivante du projet : caractérisation de matériaux installés en cellules expérimentales



Merci de votre attention

Simon Rouchier
LOCIE
Université de Savoie

