

---

# Chaire éco-conception



Matinée « **OUT OF THE BOX !** »

## **GARANTIR LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS : POURQUOI ET COMMENT ?**

---

Le 6 mars de 8h30 à 11h  
À Paris, à l'incubateur Construction & Énergies  
130 Rue de Lourmel, 75015

# Neuf ou rénové : Garantir l'atteinte des objectifs

6 mars 2015

*VINCI Construction France  
Philippe ROBART*

*VINCI Facilities  
David ERNEST*



- Avec votre véhicule, consommez-vous :
  - Moins de 4 l / 100 km ?
  - Plus de 6 l / 100 km ?



## ■ Avec votre véhicule, consommez-vous :

- Moins de 4 l / 100 km ?
- Plus de 6 l / 100 km ?

## QU'EST LA PERFORMANCE INTRINSEQUE ?

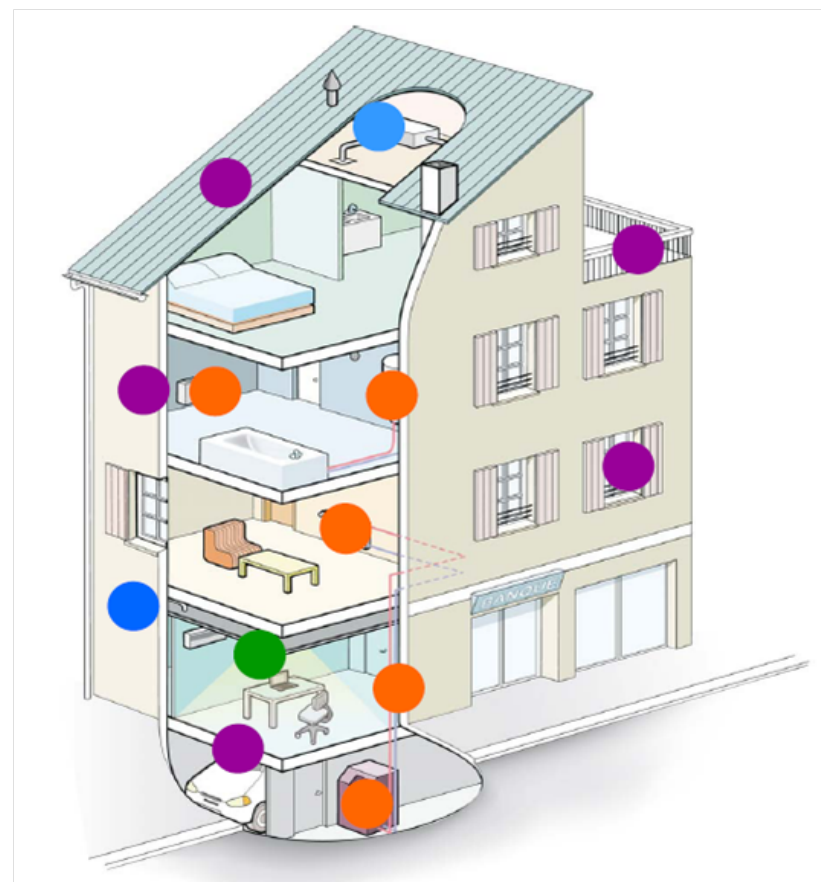
elles est communiquée par le Constructeur du véhicule, mesurée sur circuit dans des conditions types (urbaine, mixte, extra-urbaine)

## ET LA PERFORMANCE REELLE ?

elle dépend de la performance intrinsèque du véhicule, du relief et de l'état de la route, de la météo (vent), de l'entretien du véhicule (pneus, révisions,..) et surtout du **COMPORTEMENT DU CONDUCTEUR**

**C'EST LA FACTURE A LA STATION SERVICE : nb de litres x p.u. du litre**

- Isolation parois opaques
- Isolation parois vitrées
- Chauffage
- Eau chaude sanitaire
- Refroidissement
- Ventilation mécanique
- Éclairage
- Énergies renouvelables



- Que veulent l'investisseur et le locataire ?
  - la garantie de charges, dont les consommations ***lors de la de commercialisation...***
- Quand on parle de performance énergétique, on risque fort de ne pas parler de la même chose :
  - Le résultat du calcul RT ? (exemple bâtiment RT 2012 – 20%)
  - La performance intrinsèque (en kWh/m<sup>2</sup>/an, avec scénario conventionnel)
  - **La performance en usage (selon un scénario d'usage) [<> charges]**
- La garantie n'est pas valeur « absolue » car elle varie avec :
  - La météo
  - Les usages (niveau de confort, densité, plages horaires, process)






## Consommation réglementaire théorique



## Consommation mesurable



→ Performance Énergétique

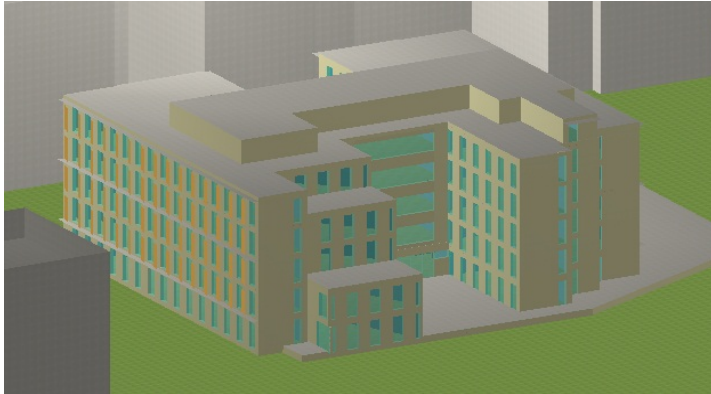
<p><b>GPEI : Garantie de Performance Energétique Intrinsèque</b></p> <p>✓ Investisseur</p>	<p>Engagement sur études et travaux s'arrêtant à la livraison Ce n'est que du calcul, sans mesure</p>	<p><b>Remise d'un livret d'évaluation Eco-Production</b></p> 	<p>Qui consigne la valeur en kWhep/m<sup>2</sup>.an correspondant à la garantie de performance énergétique pour le scénario conventionnel</p>
<p><b>GRE-Constructeur avec mesures réelles</b></p> <p>✓ Investisseur</p>	<p>Performance intrinsèque vérifiée en usage avec mise au point. Processus sur 2 ans (en phase avec la garantie biennale)</p>	<p>Remise du certificat OXYGEN</p> 	<p>Service sur 2 ans. Accompagnement et preuve par la mesure.</p> <p>Constructeur libéré de toute pénalité ou réfection potentielle à l'issue des 2 ans</p>
<p><b>GRE-VINCI Facilities : Garantie de Résultats Energétiques</b></p> <p>✓ Locataire</p>	<p>Performance réelle et liée à l'usage pendant toute la durée du contrat de maintenance</p>	<p>Engagement de VINCI Facilities après mise au point sur les 2 premières années d'exploitation</p> 	
<p><b>GRE-VINCI (VCF+VF) : Offre Globale avec Garantie de Résultats Energétiques</b></p> <p>✓ Investisseur &amp; locataire</p>	<p>Performance réelle et liée à l'usage pendant toute la durée du contrat de la conception, des travaux, de l'exploitation et la maintenance.</p>	<p>Remise du certificat OXYGEN</p> 	<p>GRE portée par VINCI Facilities</p> 



- *Lorsqu'un bien ou un service livré n'est pas conforme ou qu'il tombe en panne, l'acquéreur peut alors, pendant une période maximale (la durée de couverture) faire jouer la procédure de garantie auprès du fournisseur qui procédera, soit :*
  - *à la **réparation** du produit ou du service défectueux*
  - *au remplacement total ou partiel du produit*
  - *au **remboursement [ou indemnisation à définir]***
- *Les conditions de garantie d'un fournisseur sont la plupart du temps définies formellement dans un document distribué avec le produit (manuel utilisateur) ou bien directement dans les conditions générales de vente, document qui devient alors les conditions générales de vente et de garantie.*
  - *Une garantie légale minimale est imposée pour certains services fournis ou certains biens vendus dans de nombreux pays. En France, est par exemple couvert par la garantie légale tout vice caché suivant les conditions définies par le du code de la consommation.*

- Si la **réparation** n'est pas réalisable, quelle doit être l'indemnisation ?
  - Les surconsommations payées par le locataire ?
  - Pendant combien de temps ?
  - Risque sur la hausse du prix de l'énergie
  - Indemnisation vis-à-vis de la valeur marchande du bien
  
- *Exemple :*
  - *un bâtiment de bureaux de 10 000 m<sup>2</sup> (prix travaux 18 M€ HT)*
  - *supposé, dans la garantie, consommer 50 kWh élec / m<sup>2</sup> / an*
  - *500 000 x 0,12 € HT/kWh = 60 000 € HT/an*
  - *Dérive : il consomme 30% de plus tous les ans, prix électricité stable*
  - *20 ans x 18 000 € HT = 360 000 € HT (2% du prix travaux)*
  
  - *S'il faut indemniser à hauteur de 2% du CA travaux de l'entreprise générale, c'est une prise de risque conséquente*

## Caractéristiques du bâtiment



Isolant, vitrage, ventilo-convecteur...



## Météo et utilisation :

- Météo
- Consignes de température
- Consignes de ventilation
- Utilisation de l'éclairage
- Occupation des locaux
- Equipements électriques



Simulation

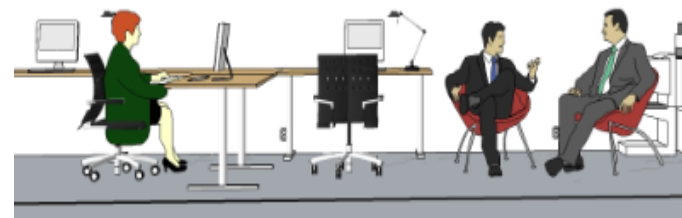


**Consommation calculée avec hypothèses prévisionnelles**

## Bâtiment réel



## Utilisation réelle du bâtiment



Mesure

**Consommation mesurée**

## ECO-PROJET : Simulation Thermique Dynamique

Caractéristiques  
du bâtiment

X

Utilisation **supposée**  
+  
Météo **standard**

=

Résultat **indicatif** :  
consommation  
théorique

## GARANTIE DE PERFORMANCES : Campagne de mesures et Vérification

Mesure des  
consommations réelles

Comparaison

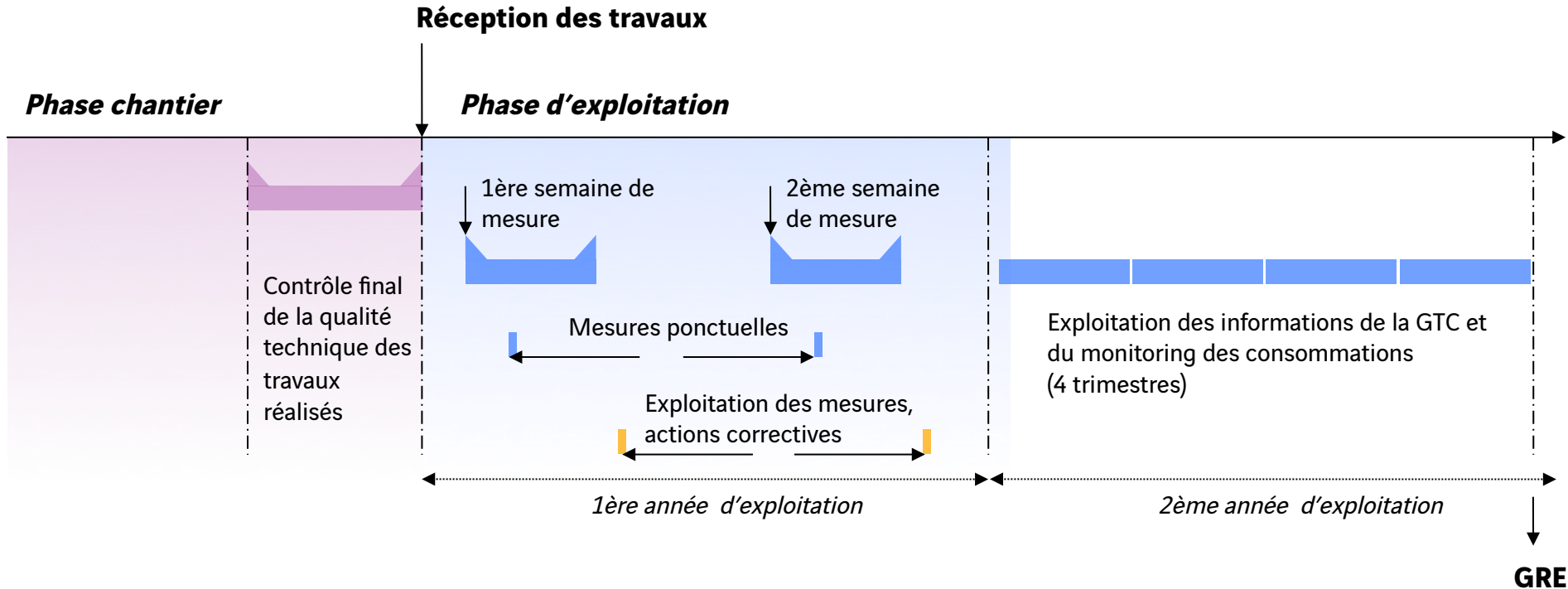
Caractéristiques  
du bâtiment

X

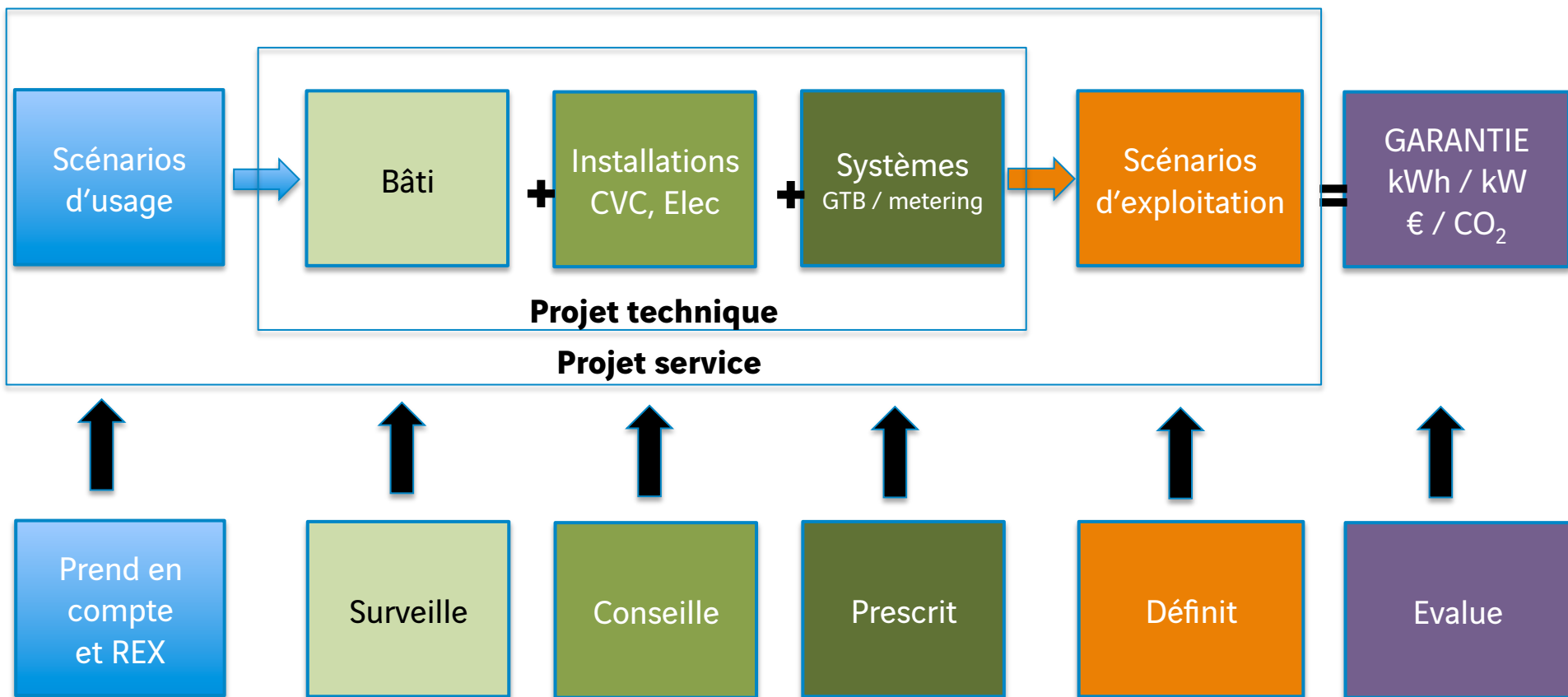
Utilisation **mesurée**  
+  
Météo **mesurée**

=

Consommations calculées  
**ajustées avec les  
conditions réelles**



# Comment VINCI Facilities accompagne le projet ?

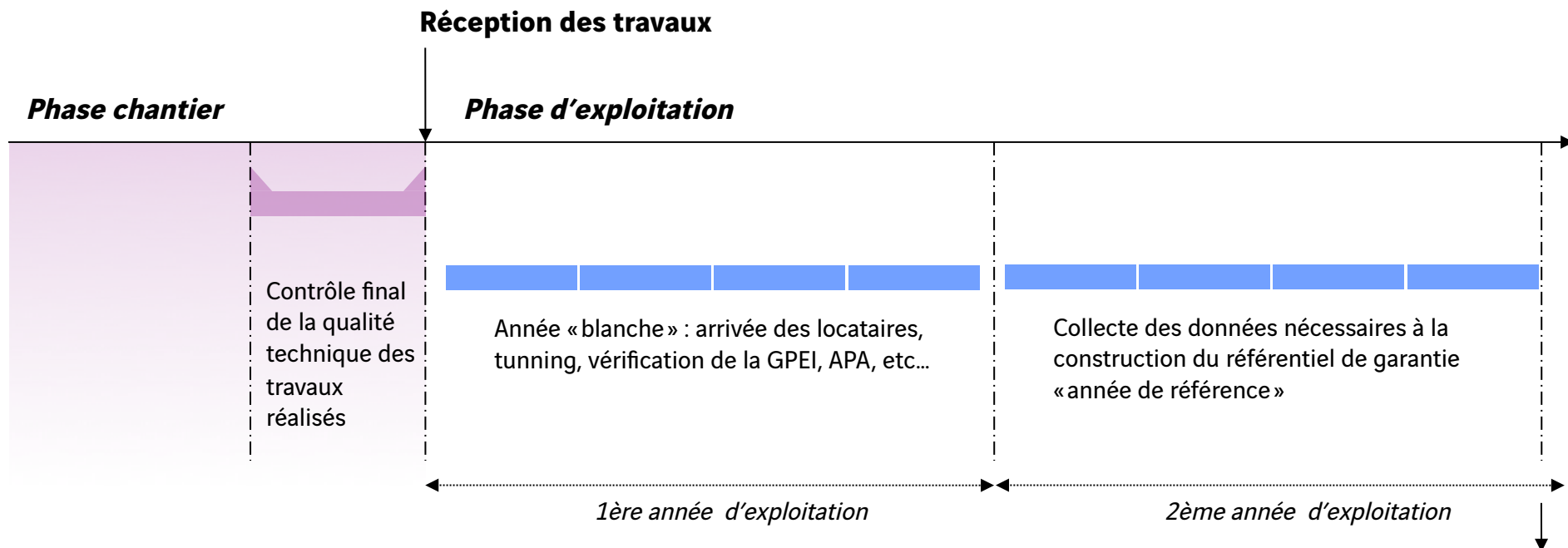


- En fonction du phasage, VINCI Facilities accompagne le projet et évalue l'impact sur la performance garantie.

## ■ Quelles actions ?

- Prend en compte des scénarios d'usage imaginés (et évaluation de leur pertinence par retour d'expérience...)
- Elabore des spécifications / recommandations générales par exemple sur la GTB et le système d'information énergie et les capteurs
- Rédige des avis aux différentes phases du projet
- Spécifie les fonctionnalités requises pour les systèmes de pilotage
- Définit les scénarios d'exploitation réalistes qui seront mis en œuvre
- Intègre dans son contrat d'exploitation les gammes et procédures de conduite adaptées
- Conseille ou accompagne la mise en place des contrats de fourniture d'énergie
- Evalue les conséquences des différentes évolutions sur le niveau d'engagement (approche « white box » = SED)
- Etc.



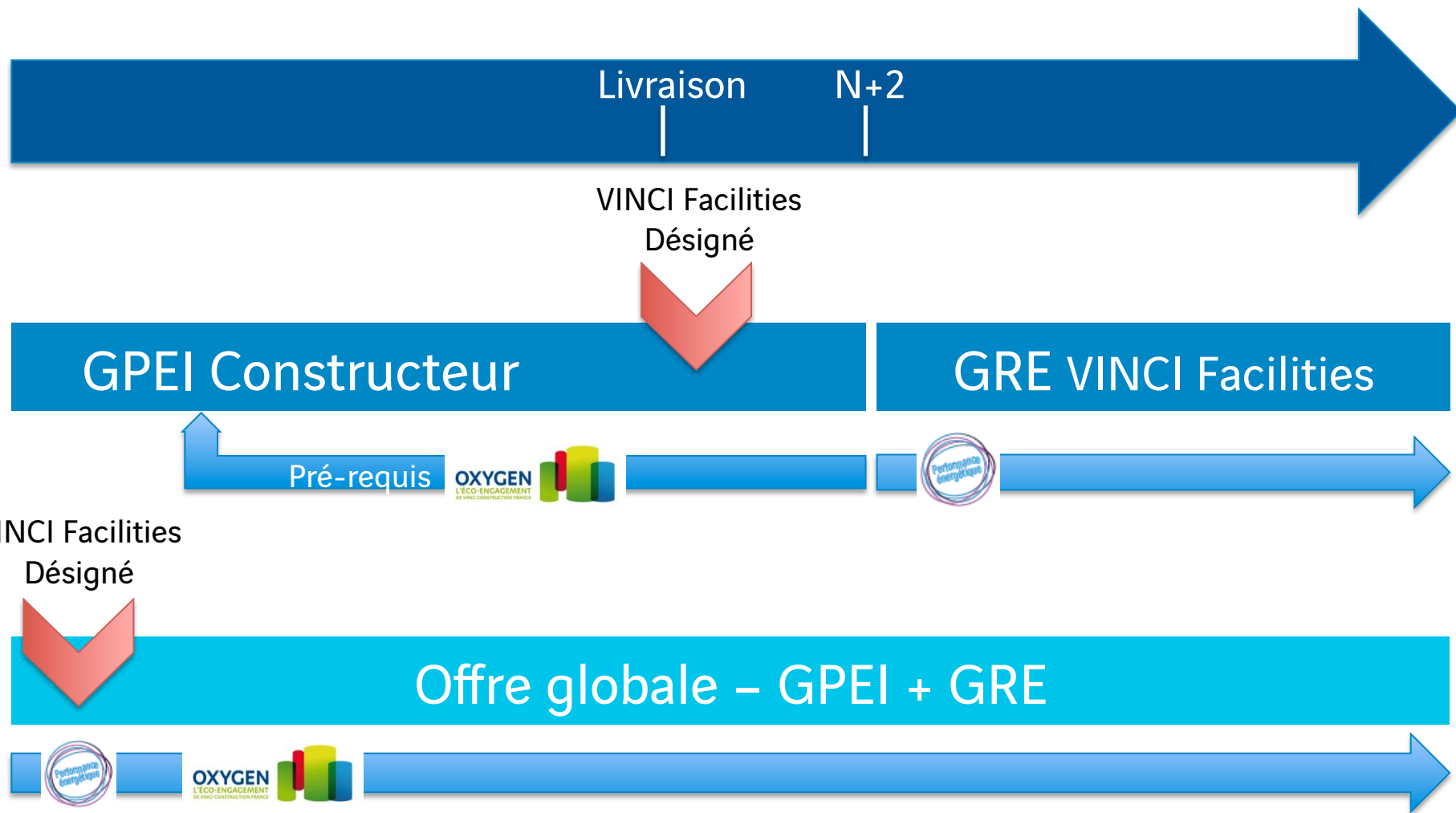


## ■ Quelles actions de pilotage de l'engagement ?

- Pendant les deux premières années, l'engagement est couvert par la SED ajustée des conditions d'usage et de météo réelles
- Pendant la deuxième année, les données sont collectées pour construire « l'année de référence » qui servira à construire le modèle de garantie pour les années suivantes (approche type « black box » - IPMVP)

## ■ Quelles actions terrain ?

- Mise en place des gammes de maintenance intégrant la préoccupation « énergie » (vérification périodique de l'encrassement des échangeurs, rééquilibrage des réseaux, etc.)
- Conduite énergétique (contrôle des températures de retour, des débits, des rendements et des COP, etc.)
- Respect du scénario d'exploitation retenu
- Détection dynamique des dérives / alertes
- Gestion de l'inoccupation (réduire ou couper quand il n'y a personne)
- Vérification du respect des consignes de température
- Sensibilisation des occupants aux gestes responsables
- Décalage du démarrage de certaines installations
- Management et optimisation des contrats de fourniture d'énergie
- Etc...



---

# Chaire éco-conception



Matinée « **OUT OF THE BOX !** »

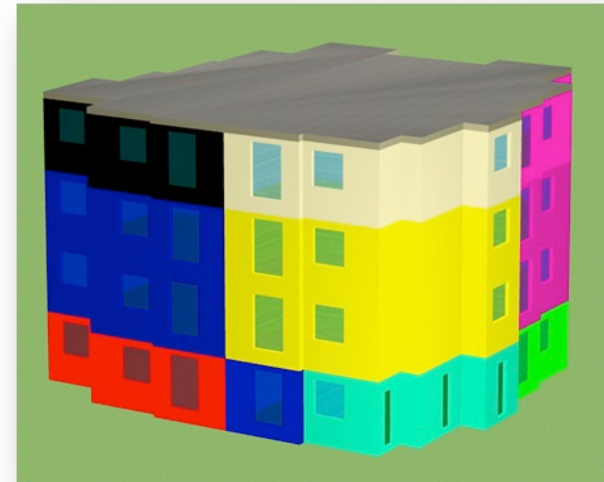
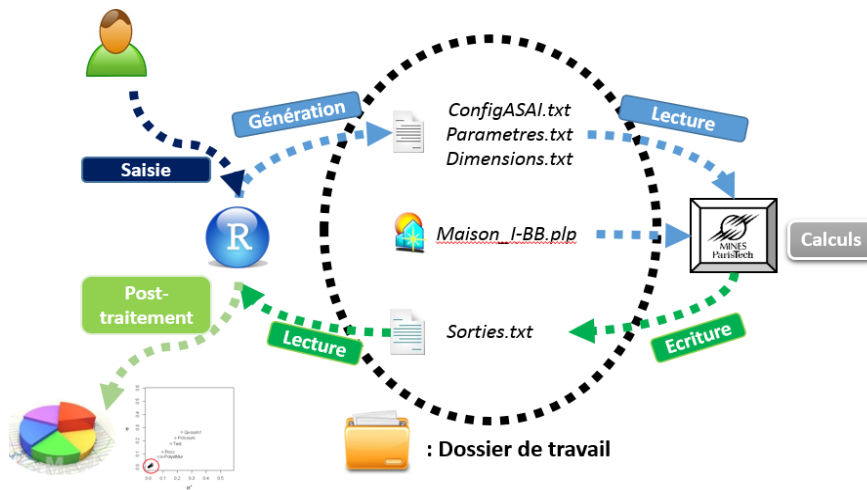
## **GARANTIR LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS : POURQUOI ET COMMENT ?**

---

Le 6 mars de 8h30 à 11h  
À Paris, à l'incubateur Construction & Énergies  
130 Rue de Lourmel, 75015

Garantir la performance énergétique des bâtiments : pourquoi et comment ?

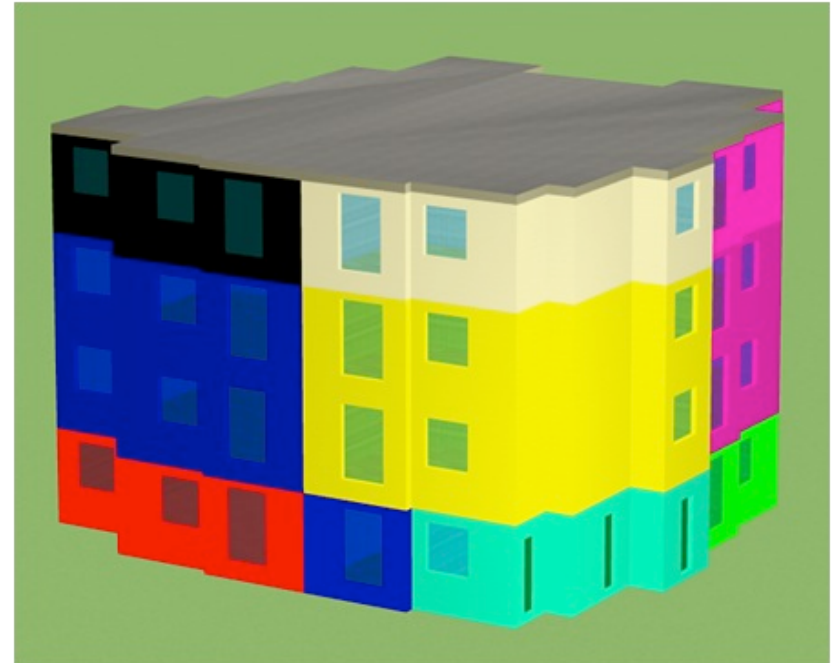
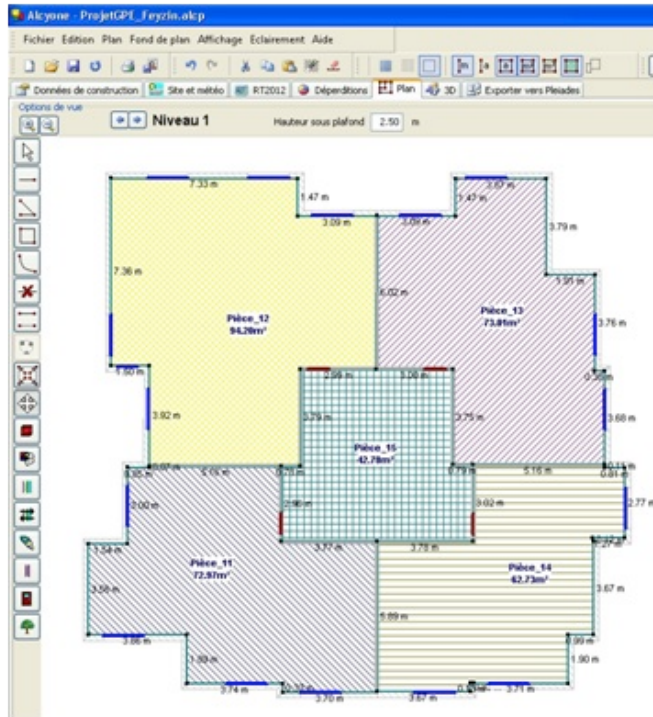
# Les avancées de la recherche



- Pratique antérieure : évaluer avant les travaux le niveau de performance atteignable
- Nouvelle pratique : définir l'objectif de performance en intégrant des sources d'incertitude : climat, comportements...
  - > meilleure maîtrise des risques
- Protocole de mesure et de vérification de la performance

- Evaluation par simulation numérique des performances avant et après travaux
- Liste des paramètres incertains
- Identification des paramètres les plus influents
- Propagation d'incertitudes
- Expression de la performance garantie : niveau et ajustement

## Modélisation du bâtiment, Pleiades+Comfie



Immeuble de 16 logements à Feyzin (69)  
Zones thermiques (RdC, étages courants, dernier niveau / orientations)  
Géométrie, caractéristiques techniques





Climat : données zone H1c de la RT, Mâcon

Masques peu importants pour le bâtiment étudié (celui au sud de la parcelle)

- 43 occupants
- 25% des habitants présents en semaine de 7h à 18h (50% entre 12h et 14h), 100% la nuit et le weekend, apports de la sociologie
- Température de chauffage : moyenne 20.2°C
- Consommations annuelles d'électricité hors chauffage : 2337 à 3698 kWh par logement, moyenne 3050 kWh (3/4 apports de chaleur) -> 3.55W/m<sup>2</sup>
- Ventilation 0,67 vol/h, infiltrations 0,55 vol/h (durée débit max, fenêtres)

- Consommation du bâtiment : 112 kWh/m<sup>2</sup> pour le chauffage (mesurée : 107 kWh/m<sup>2</sup>)
- Incertitudes : isolation sous le plancher bas, ponts thermiques, débit de renouvellement d'air et infiltrations, consigne de chauffage
- Intérêt d'un calibrage avant travaux si la réhabilitation induit une modification importante de l'enveloppe ?

- isolation des façades par l'extérieur, 10 cm laine de verre semi-rigide,  $R = 2.85 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- épaisseur de polyuréthane en toiture : 5 -> 10 cm
- remplacement de l'isolant sous le plancher bas  $R=2.28 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , épaisseur 8 cm
- réduction des ponts thermiques
- remplacement du chauffage électrique par 2 chaudières gaz condensation à brûleur modulant, 80 kW (bâtiments C-D-E), rendement nominal 96.8% sur PCI, Taux de charge (alimente 3 bâtiments supposés à consommation identique)
- VMC hygro B, nouveau débit 0,28 vol/h au lieu de 0,67
- réduction des infiltrations : entre 0,1 et 0,3 vol/h < 0,55

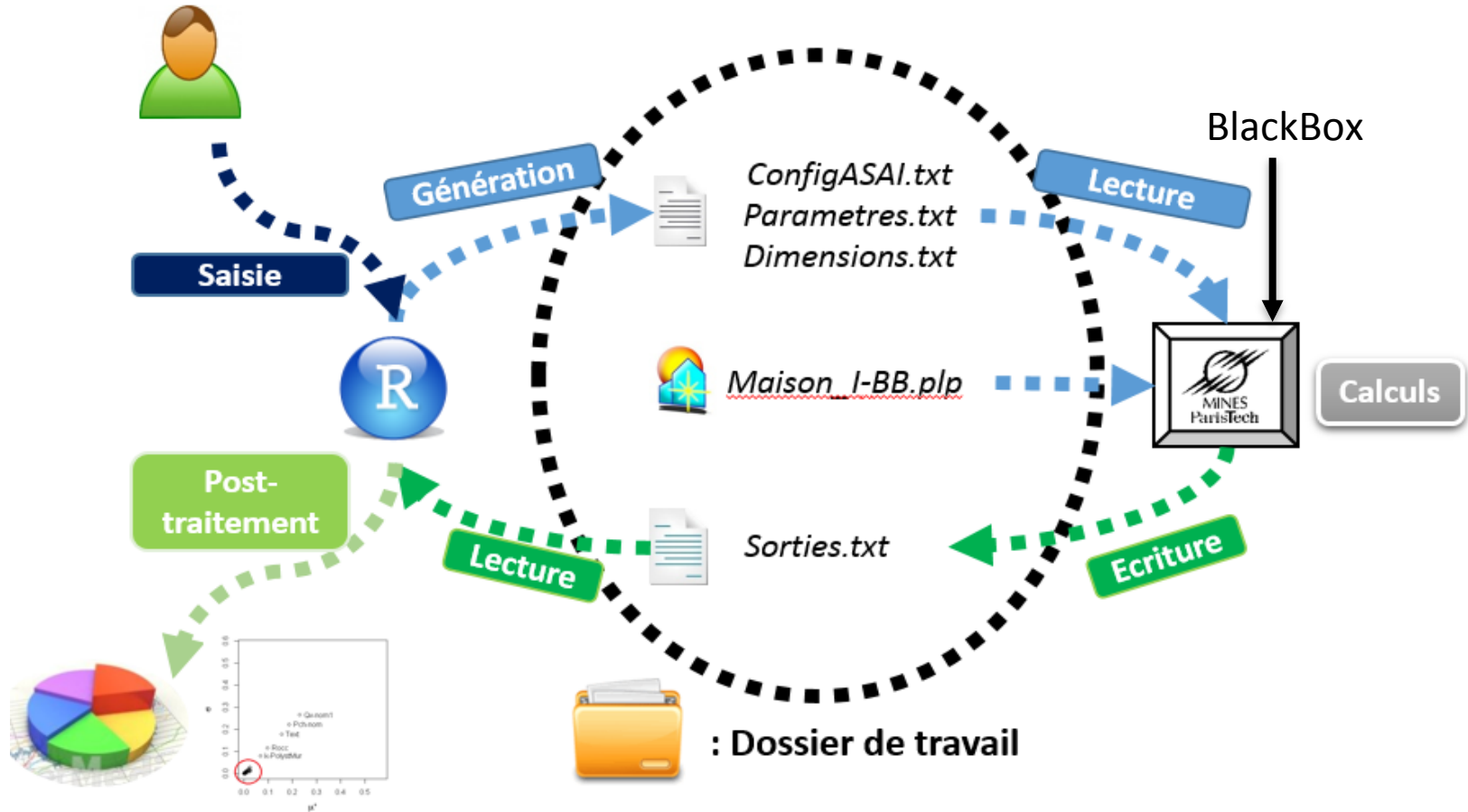
- Données sur le site et le climat : température, rayonnement solaire, albédo, température eau froide
- Géométrie (dimensions)
- Matériaux de construction (conductivité et épaisseur des isolants, inertie, propriétés optiques), Ponts thermiques
- Menuiseries (U, facteurs solaires, occultations)
- Débits de ventilation et infiltrations
- Rendement de la chaudière, régulation, distribution
- Occupation (nb personnes, consommation électricité et ECS)
- Modélisation (zones, échanges convectifs, pas de temps)

- Besoins minimaux : température extérieure, albédo et rayonnement solaire maxi, température eau froide maximaux
- Géométrie (dimensions minimales)
- Conductivité mini et épaisseur maxi des isolants, inertie maxi, Ponts thermiques minimaux
- Menuiseries (U min, facteurs solaires max, occultations min)
- Débits de ventilation et infiltrations minimaux
- Rendement de la chaudière, régulation, distribution maxi
- Occupation (nb personnes, consommation ECS minimaux)
- Modélisation (zones, échanges convectifs, pas de temps)

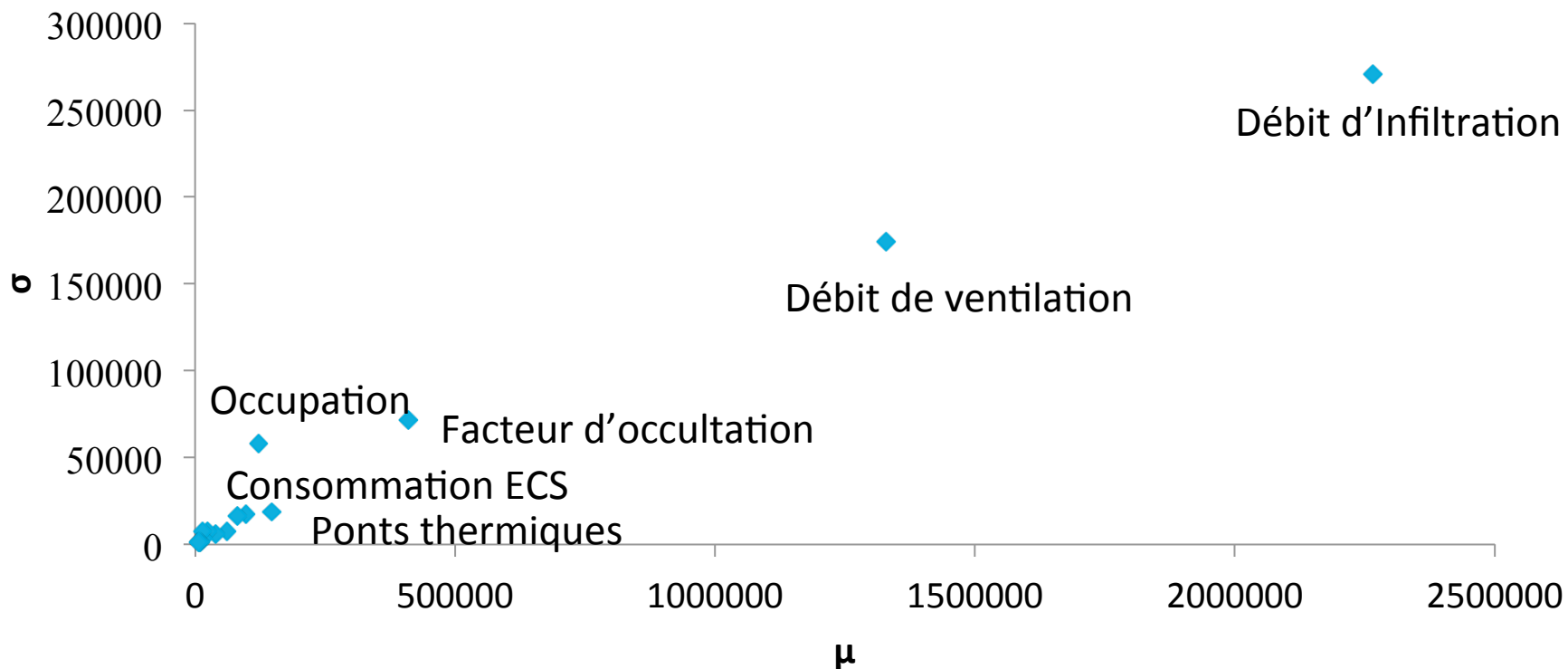
- Distribution de probabilité sur chaque paramètre
- Propagation d'incertitudes, ex. méthode de Monte Carlo, mais pb de temps de calcul
- Paramètres incertains trop nombreux
- Identifier les paramètres les plus influents
- Méthode de plans d'expérience ou criblage de Morris
- Propagation d'incertitudes sur un nb réduit de paramètres -> intervalle de performance

- Variation de chaque paramètre autour de jeux de paramètres  $i$  tirés au sort -> effet élémentaire de chaque paramètre  $j$   $E_j^i$
- Moyenne et écart type pour chaque paramètre  $j$  :  $\mu_j$  et  $\sigma_j$
- $\mu_j$  : degré d'influence du paramètre  $j$ ,  $\sigma_j$  : interactions avec les autres paramètres
- Permet de sélectionner un nombre réduit de paramètres influents ( $\mu_j$  et  $\sigma_j$  les plus élevés)



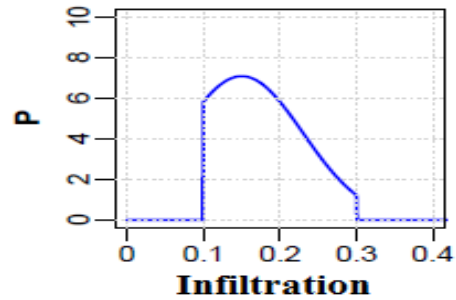


## Ecart type et moyenne des valeurs absolues des écarts

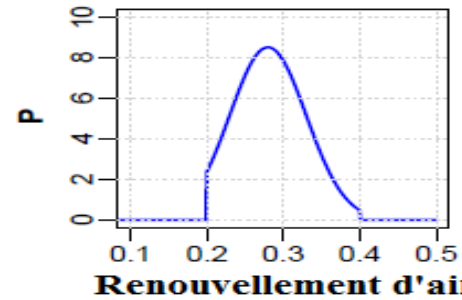


- Distribution de probabilité de chacun des paramètres pour propagation d'incertitudes
- Fonction de la connaissance de chacun des paramètres et de la fiabilité des mesures

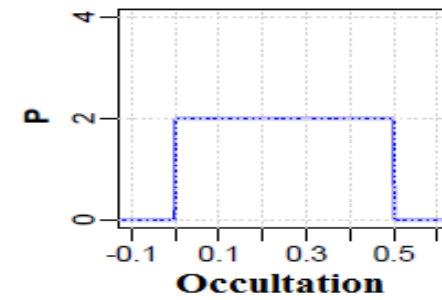
Taux d'infiltration	Renouvellement d'air	Facteur d'occultation
Ponts Thermiques	Occupation	Consommation ECS
Température eau chaude	Masse volumique béton	Température extérieure



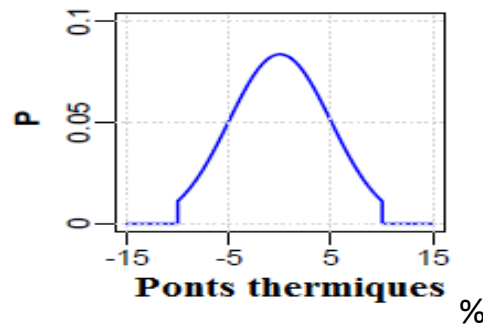
**Infiltration**



**Renouvellement d'air**

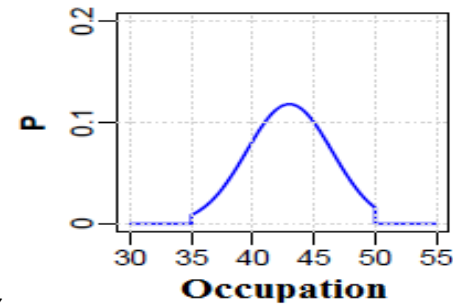


**Occultation**

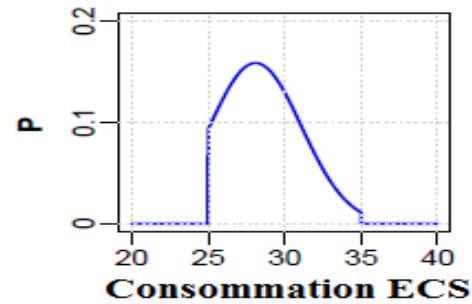


**Ponts thermiques**

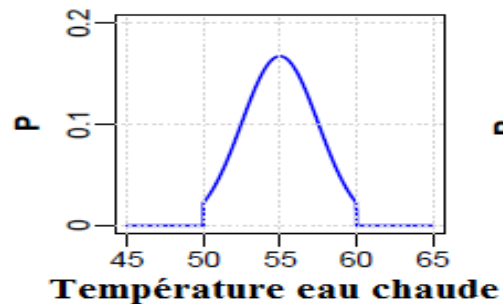
%



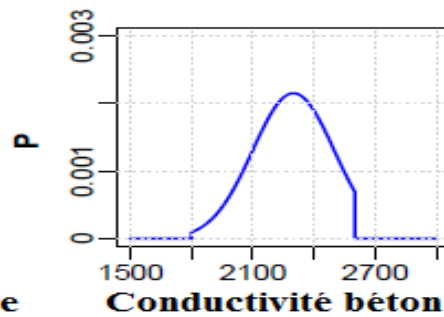
**Occupation**



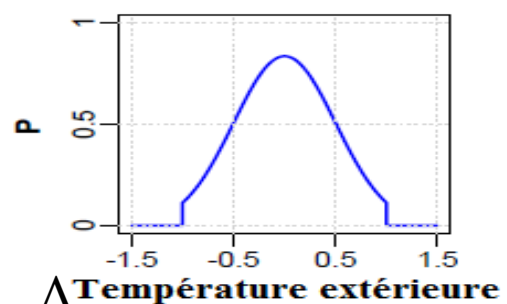
**Consommation ECS**



**Température eau chaude**

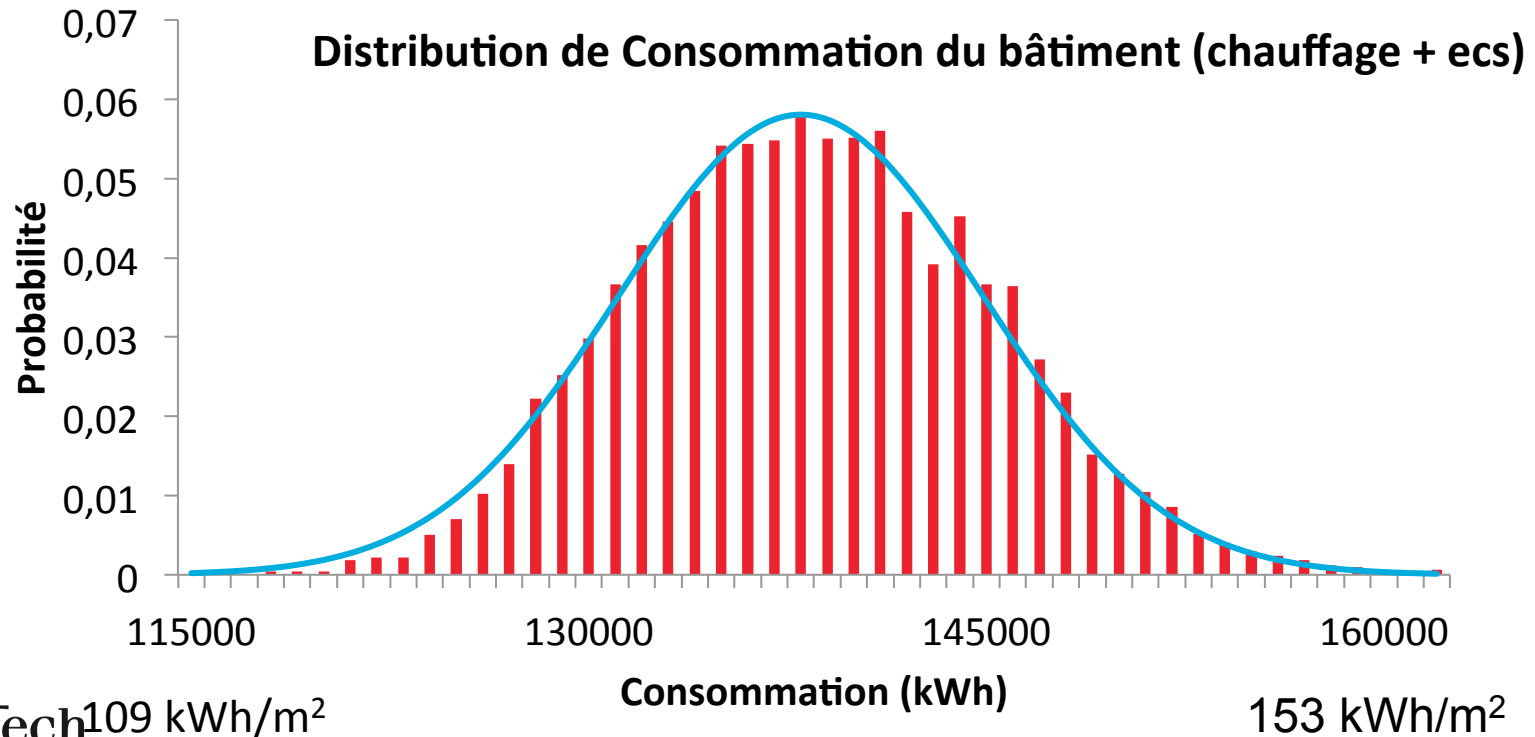


**Conductivité béton**



**Δ Température extérieure**

- Approche par une loi normale
  - Moyenne 132 kWh/m<sup>2</sup>
  - Ecart Type 7 kWh/m<sup>2</sup>



- Encadrement consommation par Mini-Maxi:
  - Entre 64 kWh/m<sup>2</sup> et 202 kWh/m<sup>2</sup>
  - Consommation réelle : 111 kWh/m<sup>2</sup> (ecs solaire)
- Encadrement Consommation (sans solaire) avec Propagation d'incertitudes
  - Entre 109 kWh/m<sup>2</sup> et 153 kWh/m<sup>2</sup>
- 5% de risque -> 95 % de consommations inférieures
  - Soit  $\mu + 1.645\sigma$  -> 142,5 kWh/m<sup>2</sup>

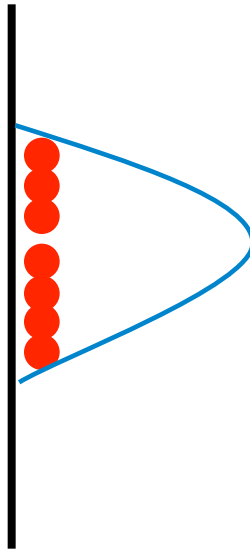
- Affiner les distributions de probabilité
- Réduire les incertitudes : séparer les paramètres concernant le climat (à corriger) et les comportements (par exemple correction sur la température des locaux), utiliser des mesures (infiltrométrie...)
- Réduire le temps de calcul

- Principe général (*Pritchard et al., 1999*)

- Simuler avec des entrées  $\theta$  selon une distribution a priori  $\pi(\theta)$
- Comparer le résultat  $D'$  à l'observation  $D$
- Si  $\text{dist}(D', D) \leq \epsilon$ , accepter  $\theta$ , sinon le rejeter
- Répéter jusqu'à ce qu'un échantillon de la taille désirée soit obtenu

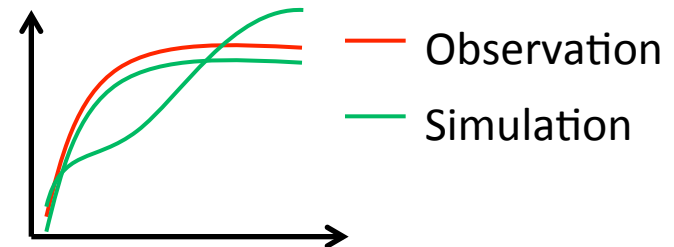


Distribution a priori



Distribution a posteriori

$$p(\theta | \text{dist}(D', D) \leq \epsilon)$$



Adapté de *Lenormand (2012)*



- Maison « Béton banché » de la plateforme INCAS (INES)
  - Températures intérieures mesurées par sonde platine:  $\pm 1^\circ\text{C}$   
(thèse de Clara Spitz, 2012)
  - Inhabitée et soumise à un protocole expérimental



Scénario	1	2	3	4	5	6
Consigne	20°C	Off	Off	24°C	Off	Off
Débit VMC	110 m <sup>3</sup> /h	0	0	110 m <sup>3</sup> /h	110 m <sup>3</sup> /h	160 m <sup>3</sup> /h
Volets	Fermés	Fermés	Fermés	Fermés	Ouverts	Ouverts
Séparation RDC/R+1	Avec	Avec	Sans	Avec	Sans	Sans

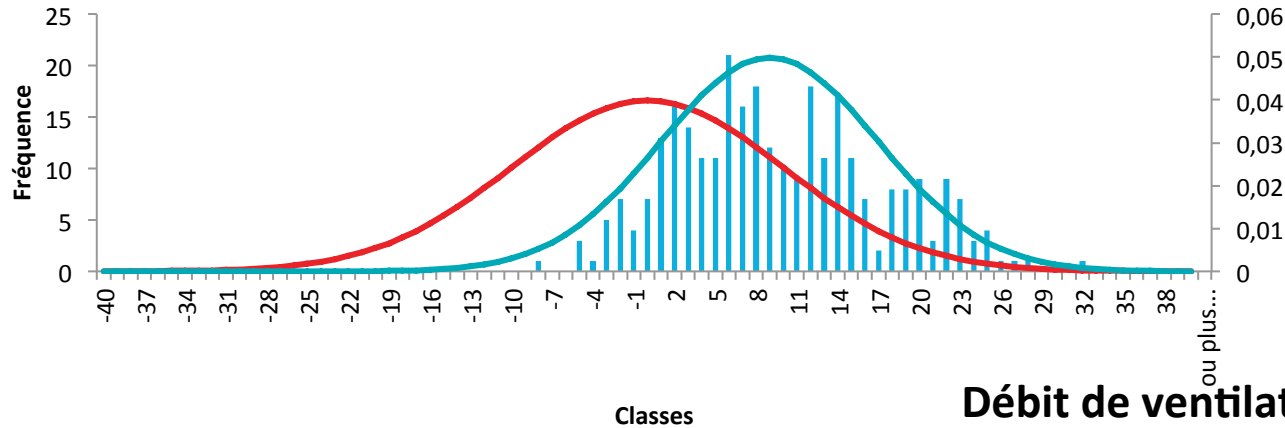
Timeline: 01/01, 16/01, 09/02, 20/02, 15/03, 31/03, 22/04

## • Modélisation

- Données météorologiques : aéroport du Bourget-du-Lac ( $\approx 200\text{m}$ )
- Modélisation monozone, initialisation en régime permanent

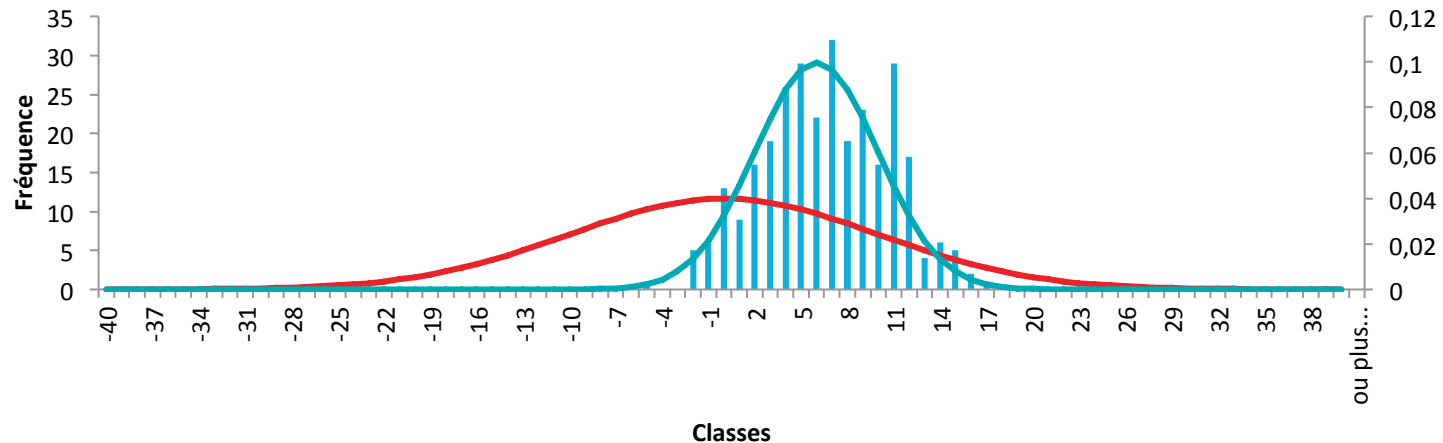
## Apports internes

Fréquence    Loi a priori    Loi a posteriori

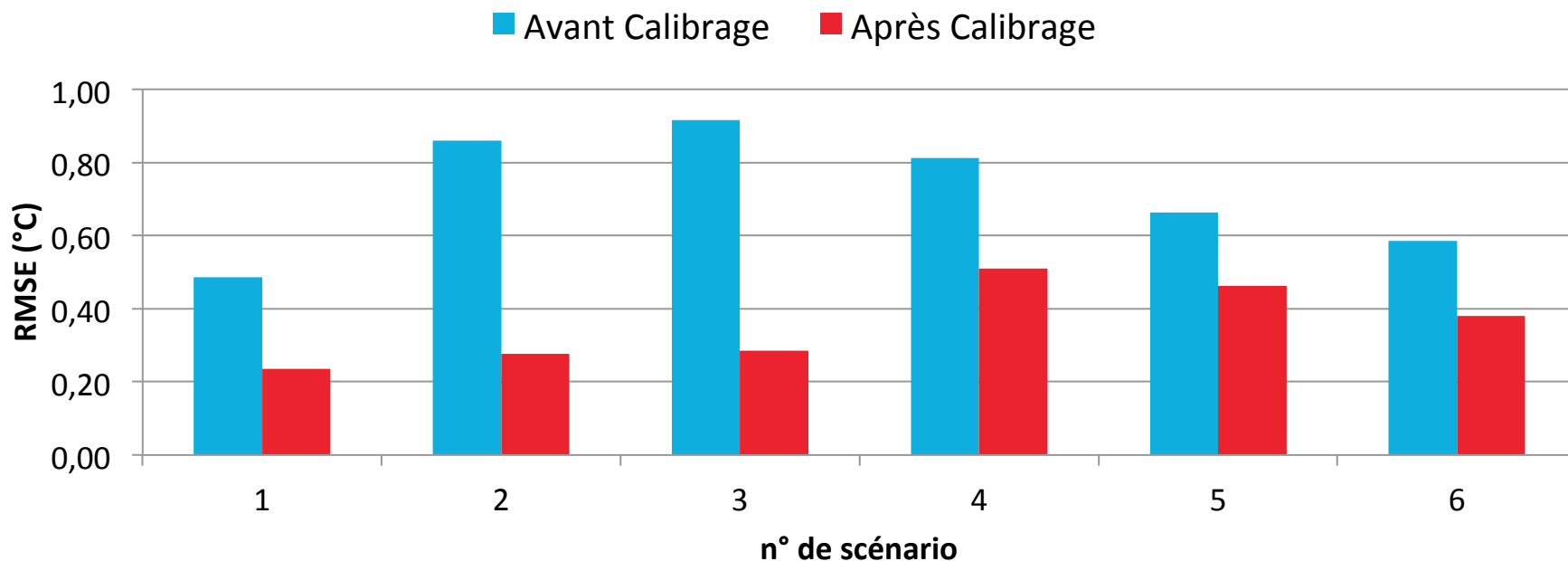


## Débit de ventilation

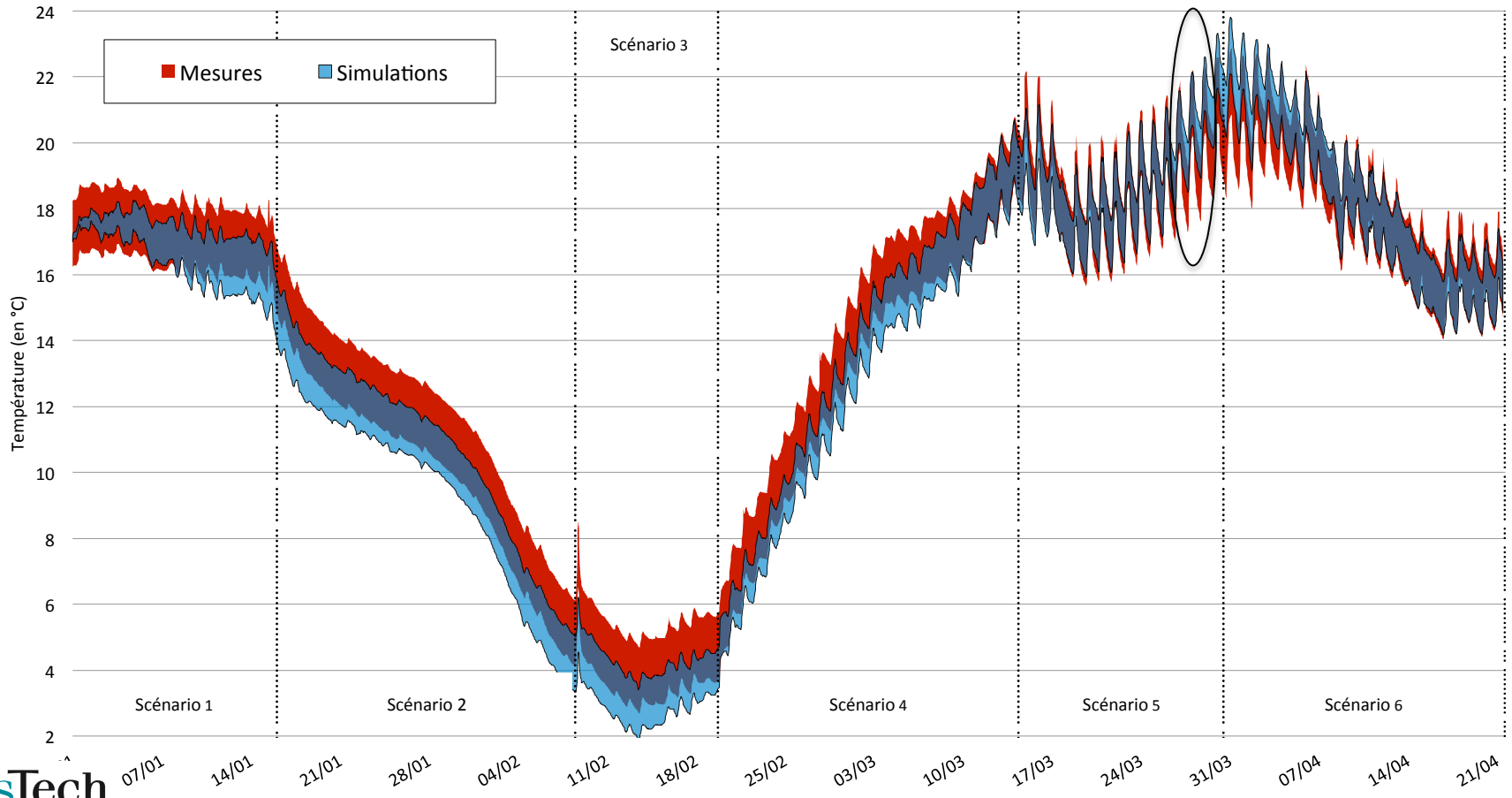
Fréquence    Loi a priori    Loi a posteriori



- RMSE entre la série moyenne des simulations et la série des mesures

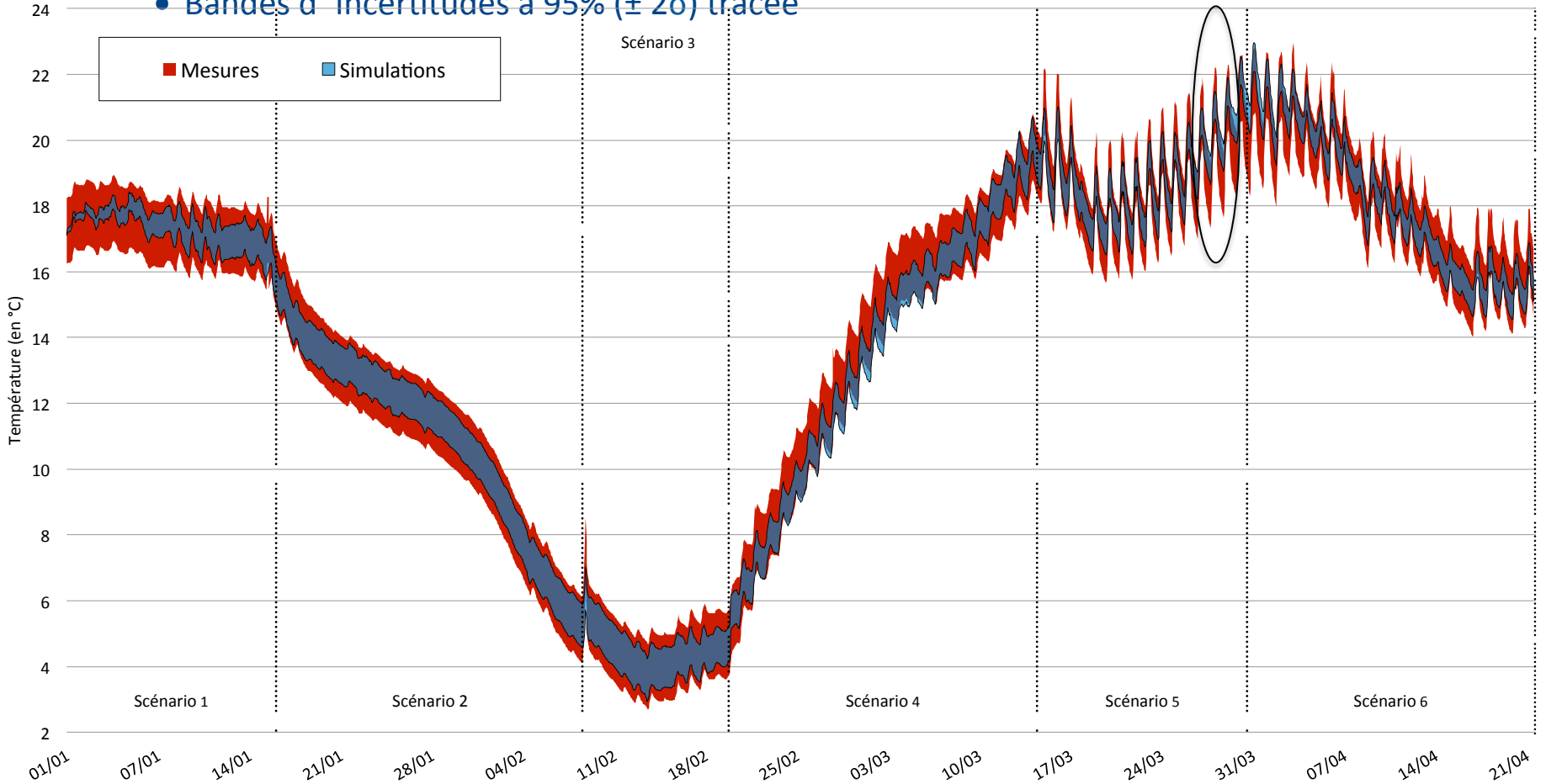


- Distribution des températures simulées AVANT calibrage
  - Bandes d'incertitudes à 95% ( $\pm 2\sigma$ ) tracée



- Distribution des températures simulées APRES calibrage

- Bandes d'incertitudes à 95% ( $\pm 2\sigma$ ) tracée



## Procédure d'ajustement

- Paramètres concernant le climat
- Comportements (par exemple correction sur la température des locaux)

## Réduction des temps de calcul

- Taille des échantillons
- Surfaces de réponse

# Merci de votre attention

---

# Chaire éco-conception



Matinée « **OUT OF THE BOX !** »

## **GARANTIR LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS : POURQUOI ET COMMENT ?**

---

Le 6 mars de 8h30 à 11h  
À Paris, à l'incubateur Construction & Énergies  
130 Rue de Lourmel, 75015