

# Journée Technique Club CREA

**Le commissionnement des projets  
bâtiments**

**David CORGIER**

**Vendredi 30 novembre 2018**

# Constat sur l'impact de la non qualité dans le secteur du bâtiment

« En **2016** les non-qualités représentaient encore un coût annuel de l'ordre de **10 % du chiffre d'affaires du secteur** de la construction, qu'elles soient ou non prises en charge par l'assurance construction, et ce, sans compter les nuisances de tous ordres qu'elles occasionnent »

(Source : Agence Qualité Construction AQC)

# Question : comment garantir le résultat?

Constat général du séminaire R&D ADEME 2018 :

Les retours d'expérience montrent des écarts significatifs et récurrents entre performance énergétique prévue en conception et performance énergétique réelle constatée en exploitation

# Constat sur la performance énergétique des bâtiments

**Zoom opération 2 : B4-4500m<sup>2</sup>-BEPOS-69**

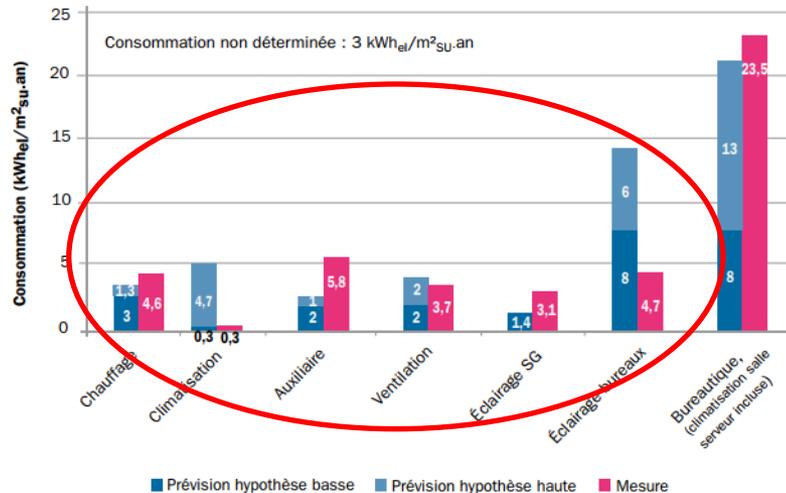


Figure 11 : COMPARAISON ENTRE LES CONSOMMATIONS MESURÉES ET PRÉVISIONNELLES (HYPOTHÈSES HAUTE ET BASSE) pour chaque usage (l'hypothèse basse considère un comportement sobre des usagers) – source ADEME / ENERTECH

**Zoom opération 1 : B3-8900m<sup>2</sup>-BEPOS-69**

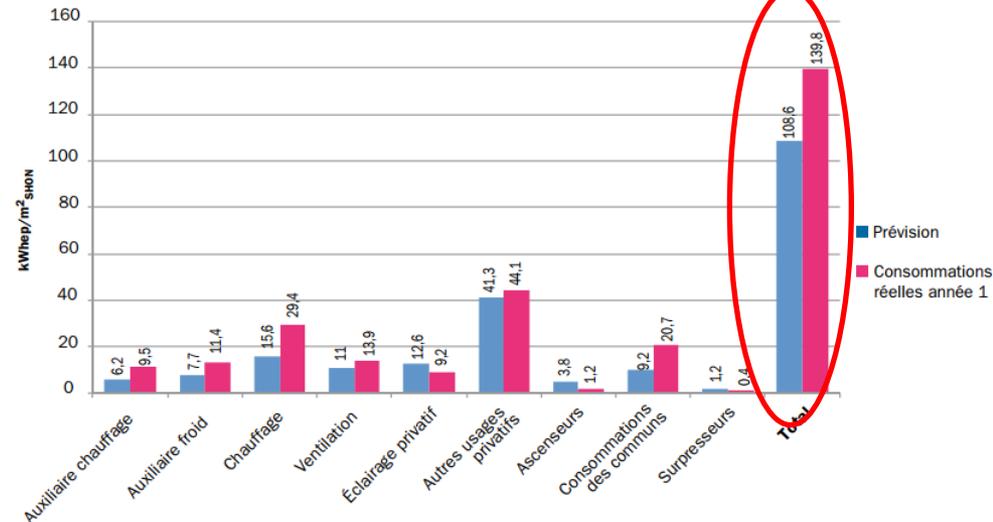
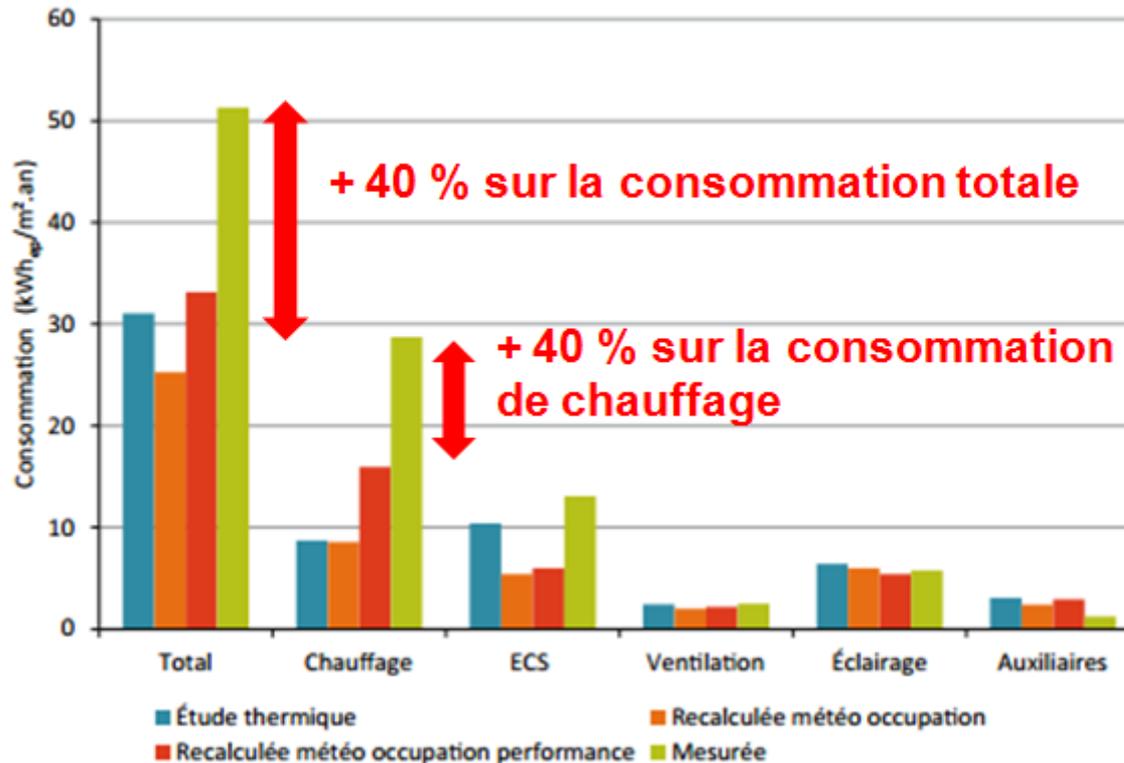


Figure 10 : COMPARAISON ENTRE LES CONSOMMATIONS MESURÉES ET PRÉVISIONNELLES totales et pour chaque usage (graphique réalisé à partir des données d'Etamine)

COMPARAISON DES CONSOMMATIONS MESURÉES TOTALES ET PRÉVISIONNELLES  
 (Enseignements des campagnes de suivi et d'évaluation de 14 opérations instrumentées par l'ADEME en Rhône-Alpes – Janvier 2016)

# Constat sur la performance énergétique des bâtiments

Illustration 8 - Exemple de comparaison des Cep calculées, recalculées et mesurées



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

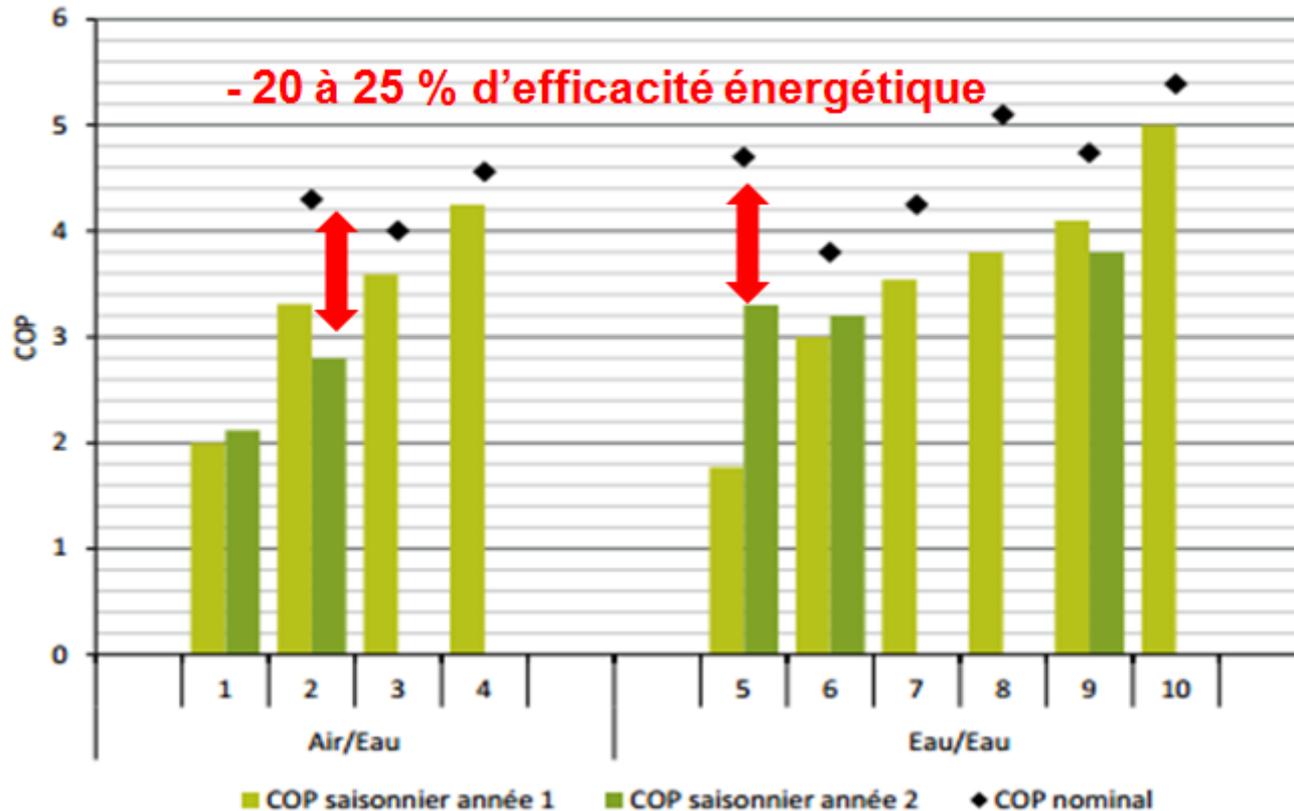
Source :

Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie

Enseignements opérationnels tirés de 60 constructions et rénovations du programme PREBAT

# Constat sur la performance énergétique des bâtiments

Illustration 43 - COP saisonnier évalué à partir des mesures et COP nominal



Cerema



Source :

Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie

Enseignements opérationnels tirés de 60 constructions et rénovations du programme PREBAT

# Question : comment expliquer cet écart?

- Les solutions technologiques et logicielles sont généralisées :
  - Usage de la Simulation Thermique Dynamique en conception,
  - Intégration de systèmes GTB, avec supervision
  - Mesures des consommations et traitement de la donnée automatisée,
  - Introduction de solutions du type « Smart » (smart building, smart grid, IA, etc..)

## Principales causes d'écarts entre consommations prévisionnelles et réelles :



- La qualité de la modélisation en phase de conception:

- Choix des composants
- Mise en œuvre

- Les conditions climatiques, l'environnement du bâtiment
- Les conditions d'utilisation réelles du bâtiment
- Le comportement des occupants
- La qualité de la gestion et de maintenance des équipements techniques

**=> Des raisons d'ordre économiques, techniques et humaines**

Séminaire R&D ADEME : La recherche au service de la transition énergétique  
4/5 juin 2018 - Palais des Congrès d'Issy les Moulineaux

# Question : comment garantir le résultat?

Proposer un ensemble d'outils méthodologiques permettant de contribuer à accompagner les étapes amont et aval du processus de garantie de la performance énergétique.



## Définition de l'engagement

Une **aide à la définition de l'engagement** par l'évaluation sur la base d'un modèle de simulation thermique dynamique de l'incertitude sur les consommations futures,

Une **aide à la définition du Plan de Mesure et de Vérification**

## Suivi et maintien de l'engagement

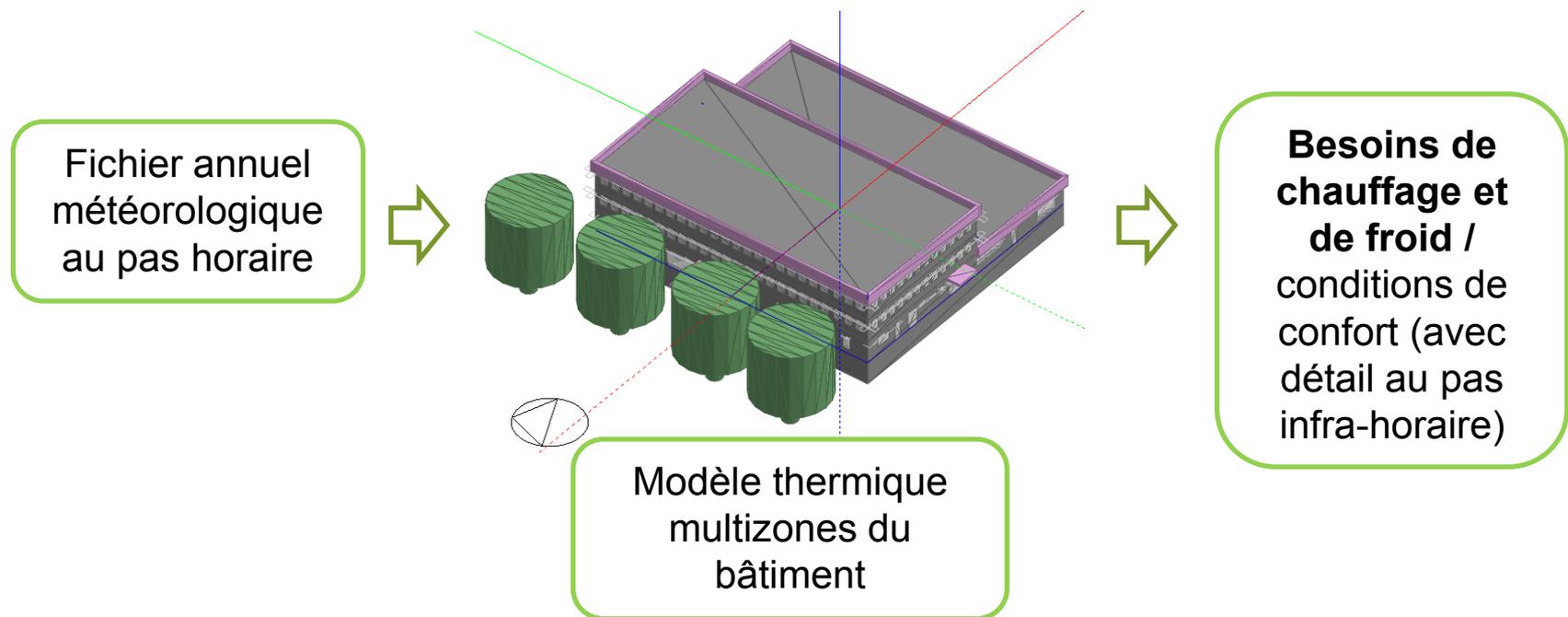
Une **aide au suivi de l'engagement** par l'enrichissement de la STD en phase de mise au point pour la détection d'aberrations,

Une **aide au maintien de l'engagement** par le développement de méthodes de détection de défauts et de dérives avancées.

Projet OMEGA - Outils METHodologiques pour la GARantie de performance énergétique) Budget 2 500 k€ sur 4 ans financé par l'ADEME

# Projet OMEGA - Outils METHodologiques pour la GARantie de performance énergétique

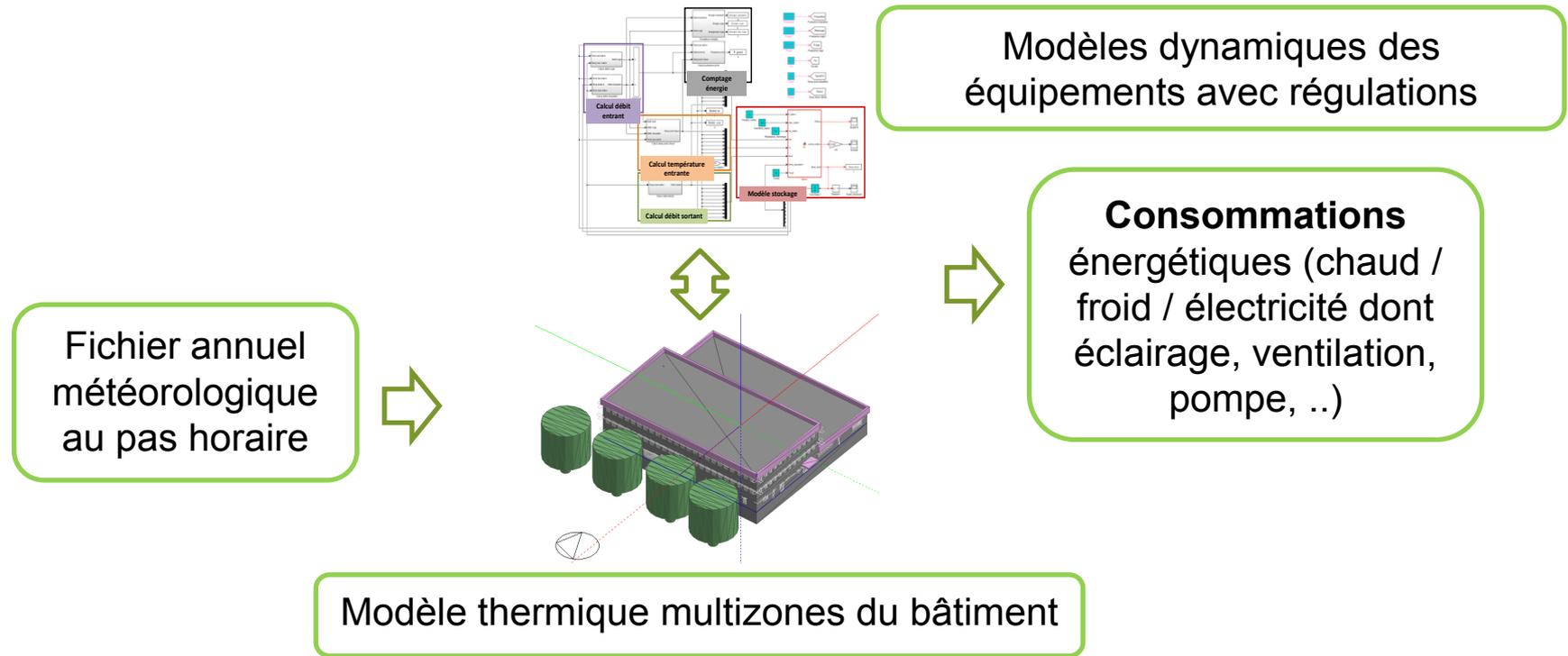
Exploitation de la Simulation Energétique Dynamique comme outil d'évaluation de la performance



Principe de la Simulation Thermique Dynamique (STD)

# Projet OMEGA - Outils METHodologiques pour la GARantie de performance énergétique

Exploitation de la Simulation Energétique Dynamique comme outil d'évaluation de la performance

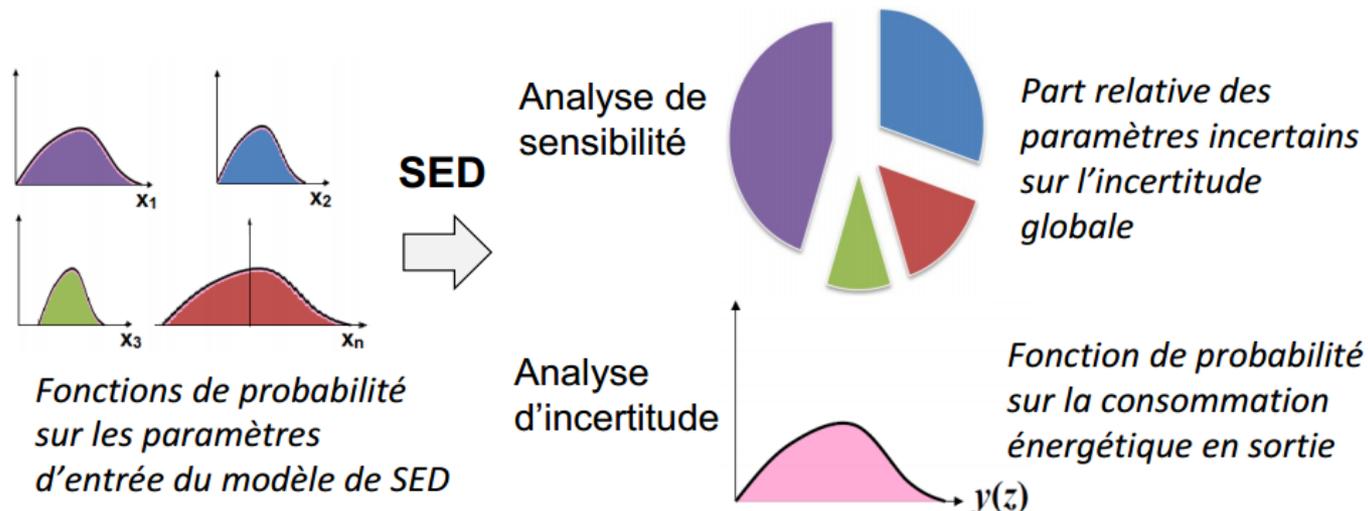


Principe de la Simulation Energétique Dynamique (SED)

# Projet OMEGA - Outils METHodologiques pour la GARantie de performance énergétique

## L'analyse de sensibilité et la propagation d'incertitude au service de la performance énergétique des bâtiments

Principe



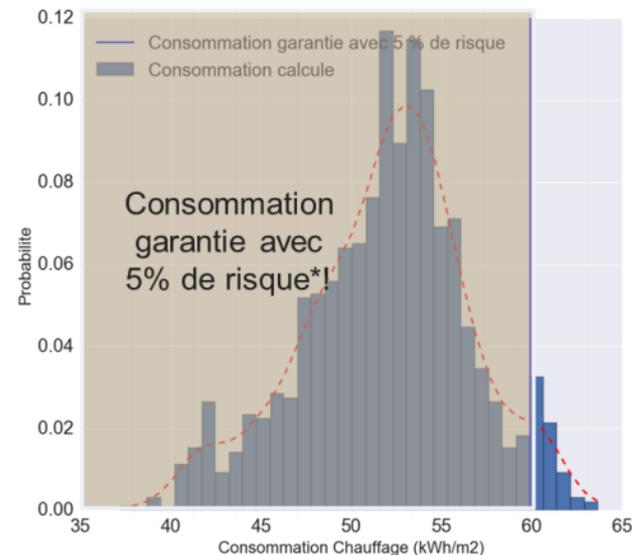
# Projet OMEGA - Outils METHodologiques pour la GARantie de performance énergétique

## L'analyse de sensibilité et la propagation d'incertitude au service de la performance énergétique des bâtiments

La propagation d'incertitude permet d'évaluer l'impact de la variabilité des paramètres influents sur les consommations en donnant une distribution des consommations probables.

### Utilisation de l'étude de l'incertitude

- Déterminer l'incertitude du calcul
- Evaluer le risque d'engagement (CPE/GPE)



Plage d'incertitude sur la performance  
**Valeur du simple au double!!**

# Projet OMEGA - Outils METHodologiques pour la GARantie de performance énergétique

- Conclusion du projet

## Les sujets de R&D toujours d'actualité

- **Exploitation du potentiel de la Simulation Energétique dynamique (SED)**

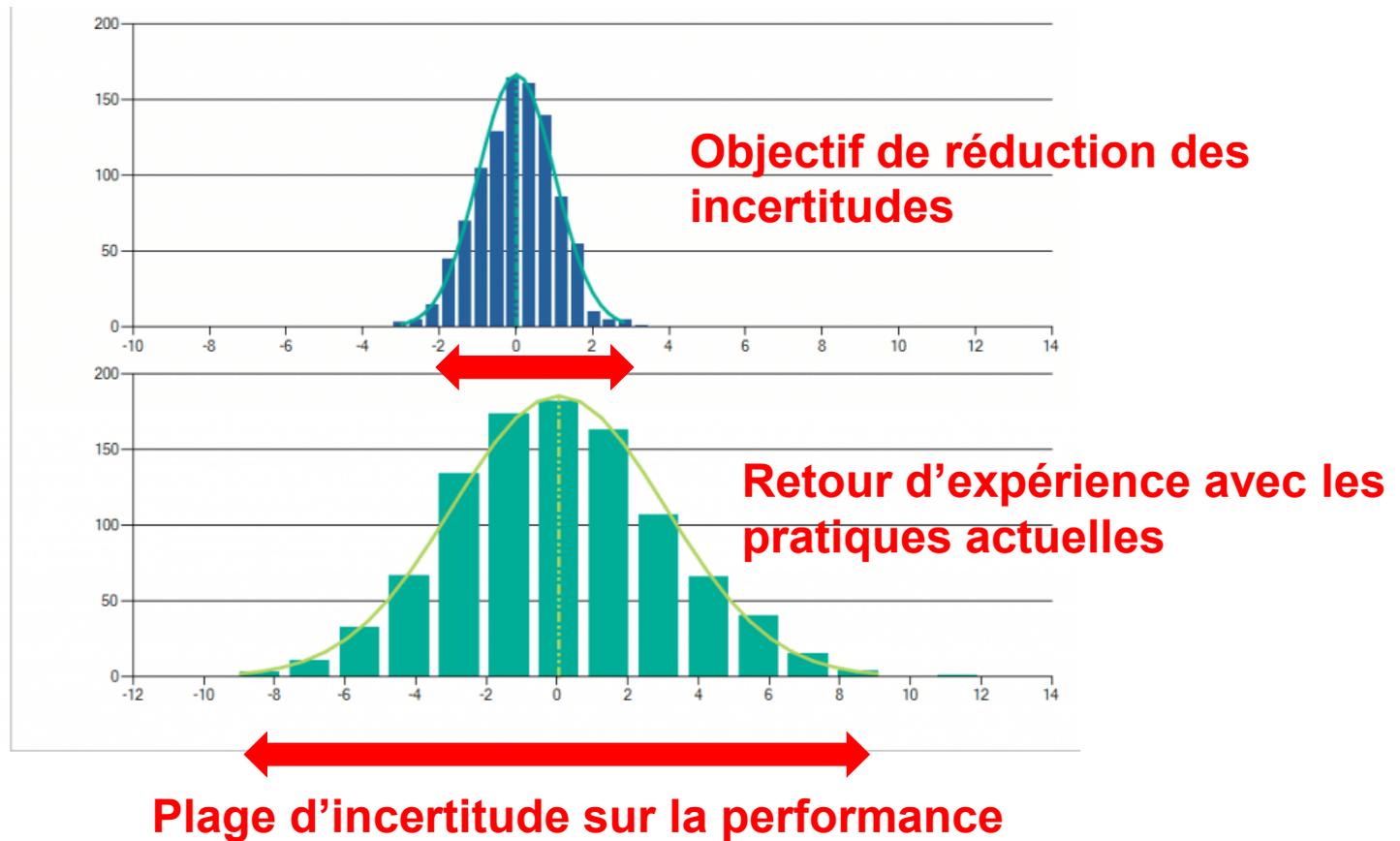
=> Un élément clé pour faire le lien entre performance énergétique du bâtiment et bon fonctionnement des équipements techniques

- **Exploitation du potentiel de la mesure en exploitation**

=> utile de disposer ou de construire des jeux de données partagés permettant à la fois d'entraîner puis d'évaluer selon différentes métriques les performances d'algorithmes innovants

**Quelle solution alternative robuste pour réduire les incertitudes dans la réalité ??**

# Réduire les incertitudes (écart type) pour garantir la performance



Réduire les incertitudes (écart type) pour garantir la performance

## COMMENT?

Utiliser une solution adoptée par l'industrie

Mise en œuvre d'un processus de pilotage par la **qualité totale**

## Le commissionnement

# Le commissionnement : définition

- Doit être interprété suivant dans un contexte Anglo-Saxon, de COMMISSIONNING :

## What is Building Commissioning?

- ASHRAE Guideline 0-2005
- **Building Commissioning** is a **quality-oriented**, systematic **process** for achieving **verifying** and **documenting** that the performance of facility systems and assemblies meets Owner-defined objectives and criteria.
- This process begins at project inception during the pre-design phase and continues for the life of the facility through the Occupancy and Operations Phases.

BC A. Building Commissioning Association

NEP construction engineering

# Le commissionnement : définition

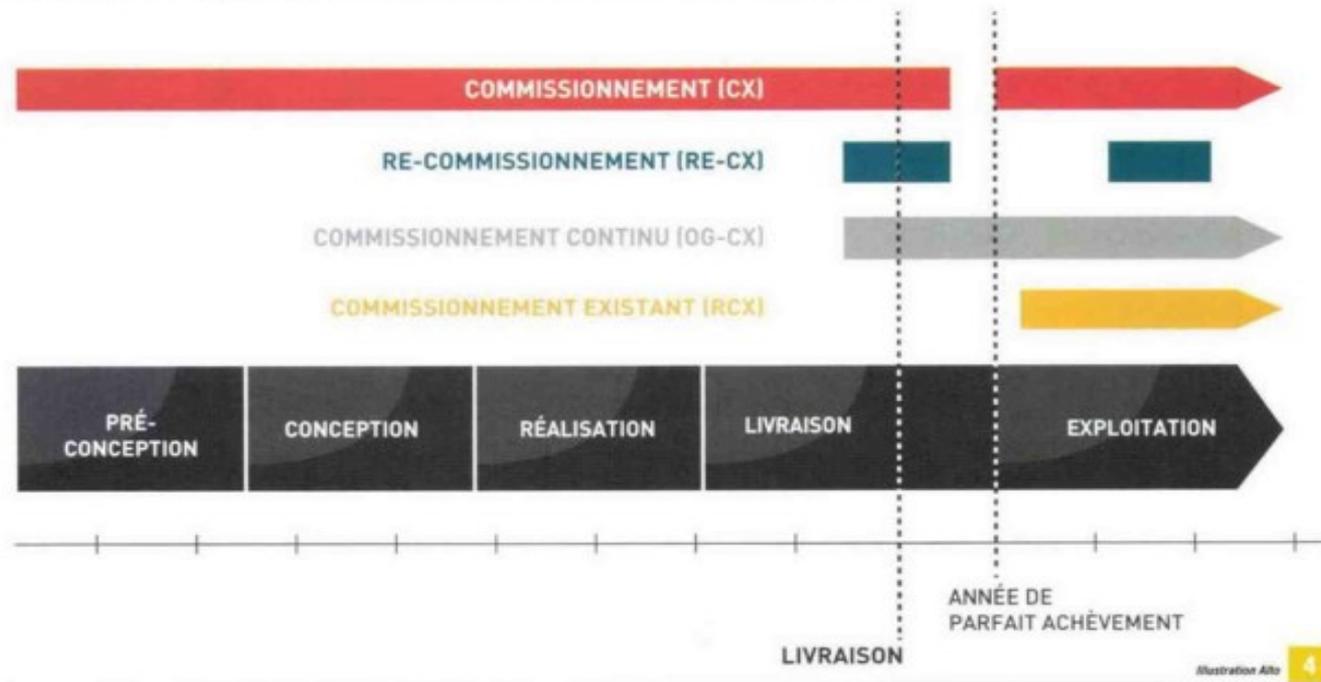
- C'est un **processus de qualité totale sur le cycle de vie du produit** de bâtiment qui se décline sur toute la durée du projet de bâtiment en intégrant la phase d'exploitation sur les premières années (réduction de l'incertitude).
- **Les attendus du commissionnement sont la délivrance d'une validation du produit**, avec des tâches d'évaluation de la performance et de la conformité :
  - Donner de la valeur ou être capable de mesurer par le test le produit bâtiment (enveloppe comme équipements),
  - Disposer d'un état des lieux exhaustif à la livraison, preuve de conformité,

# Le commissionnement : les limites

- Le commissionnement **n'est pas assimilé à la « mise en service » des installations**(suivi des autocontrôles de l'entreprise, et suivi documentaire de ce processus / Mémento du commissionnement pour des équipements techniques aux qualités durables – Costic, 2008 - Parrainage ADEME et FFB ),
- Le commissionnement **n'est pas une mission de suivi d'exploitation sur 12 ou 24 mois** : suivi de la réception des travaux et monitoring énergétique et confort (cahier des charges ADEME Région RA avec financements à la clé)
- Le commissionnement **n'est pas une mission de suivi environnemental étendue** du type AMO Développement Durable / Certification Environnementale / QEB .

# Le commissionnement : les différents types

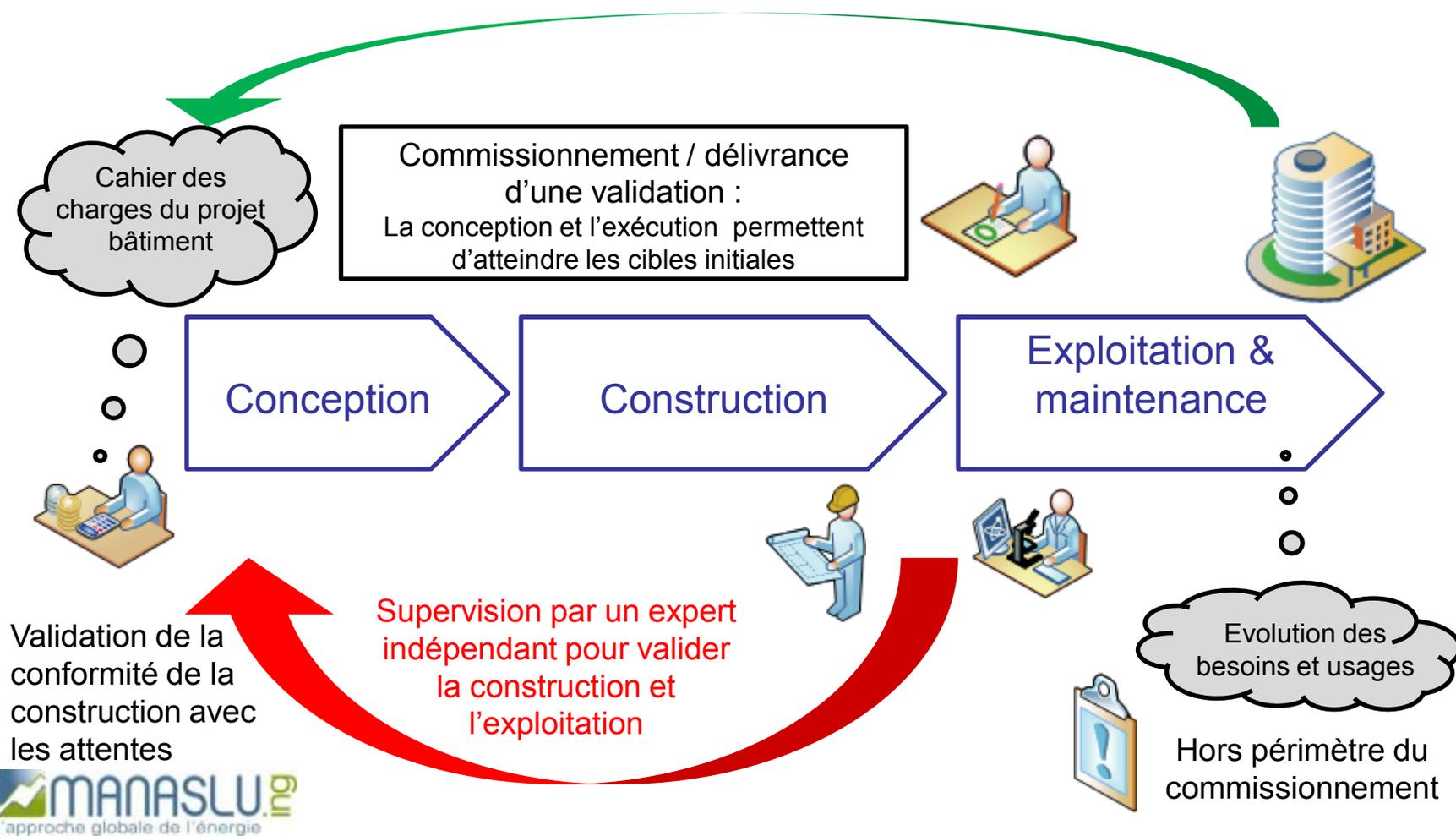
## LES DIFFÉRENTS TYPES DE COMMISSIONNEMENT



Les différents types de commissionnement. Source : Illustration du bureau d'études Alto, Revue de l'Agence Qualité Construction, n°169, juillet/août 2018

# Le commissionnement : le processus et les limites

## Commissionnement Cx



# Le commissionnement : les moyens

Existence d'outils par l'ADEME et autres acteurs du domaine pour définir les responsabilités et limites (matrice RACI).

Définition de guides (ICEB, ALEC, etc..) avec description des tâches et missions phase par phase.

Description de la documentation à charge de l'agent de commissionnement et des entreprises.

	MÂTRE D'OUVRAGE	COMMIS-SIONNEUR	MÂTRE D'ŒUVRE	ENTREPRISE	EXPLOITANT
Programme	Énoncer les exigences de commissionnement et de performance	Responsable	C		
	Sélectionner l'agent de commissionnement	Responsable	C		
	Définir le périmètre du commissionnement et traduire les besoins du MO	A	Responsable		
	Préparer le plan de commissionnement	A	Responsable		
	Relire le programme	A	Responsable		
Conception APS/APD/DCE	Préparer les outils du projet	A	Responsable	C	
	Effectuer une relecture ciblée des pièces APS/APD/DCE	A	Responsable		
	Organiser des réunions de commissionnement		Responsable		
	Mettre à jour le plan de commissionnement	A	Responsable	I	
	Préparer le rapport de commissionnement	I	Responsable	I	
Réalisation	Préparer le plan de comptage de suivi en pré-exploitation	A	C	Responsable	I
	Organiser une réunion de démarrage de chantier	C	C	Responsable	C
	Préparer les fiches d'auto-contrôle et de mise au point	A	C	I	Responsable
	Effectuer l'auto-contrôle et la mise au point	A	C	C	Responsable
	Effectuer des vérifications par échantillonnage		Responsable		
	Renseigner le tableau des vérifications	A	Responsable	C	
	Organiser des réunions de commissionnement	C	Responsable	C	C
	Mettre à jour le plan de commissionnement	A	Responsable	I	I
	Préparer le rapport de commissionnement	I	Responsable	I	I
	Préparer le contrat d'exploitation	A	Responsable	C	C
S'assurer que l'exploitant est retenu		Responsable			

# Le commissionnement : les moyens

Dans ces guides très techniques, il est précisé que le commissionnement est intégré à l'équipe de MOA (ou à la MOE), et a en charge :

- Le plan de commissionnement, et l'analyse de risques,
- Les réunions d'information et de suivi,
- La documentation relative à sa mission (plans d'essais, échantillonnage, ..)
- Rapports d'analyse des performances et de définition des mesures correctives,

En revanche, ces guides ne précisent pas les devoirs de la MOA :

- La cohérence des stratégies d'achat de la MOA,
- Le contenu des contrats de MOE, et marchés de travaux (les tests liés au Cx doivent figurer dans le bordereau de prix des entreprises!!)

# Le commissionnement : les moyens

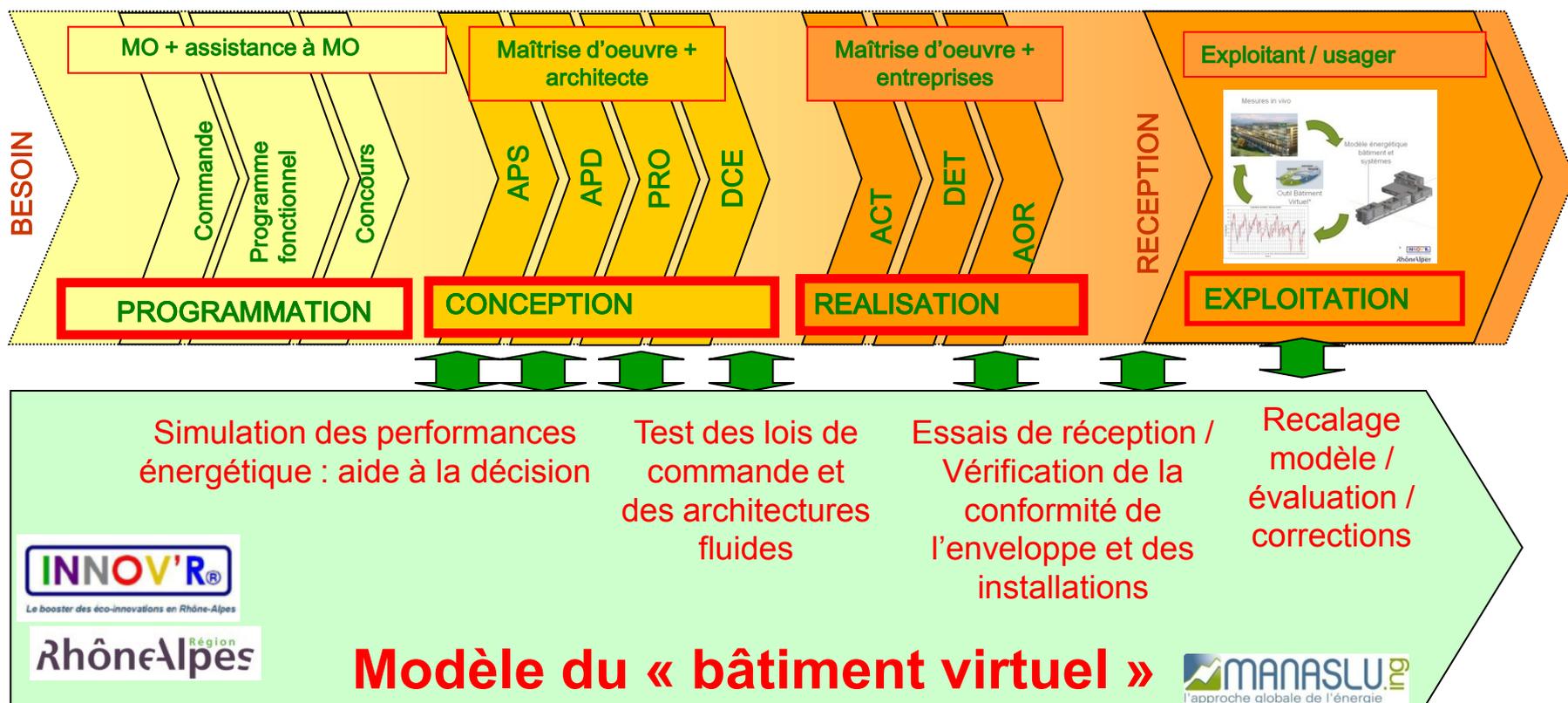
Disposer d'un profil atypique pour être en mesure d'évaluer le niveau de performance réel des solutions en exploitation :

- Expérience terrain de l'ingénieur (ce n'est pas un certificateur QEB ou HQE),
- Accès à des données issues du monitoring de bâtiments similaires (bâtiment dit à basse consommation),
- Recul sur les pratiques pour identifier les risques, et leur criticité,
- Connaissance des procédés de mesure physique, et de leurs limites

Être en mesure de d'évaluer les solutions en amont si il n'y a pas de REX disponible (qualificatif et/ ou quantitatif) : Maitrise des outils de simulation énergétique dynamiques (SED) et connaissance de leurs limites,

# Le commissionnement : les définitions

Une méthodologie dédiée avec un outil performant : la SED



COMMISSIONNEMENT ENERGETIQUE DYNAMIQUE EMBARQUE

# Le commissionnement : les résultats

Exploitation du REX HIKARI : BEPOS tout poste livré en juillet 2015 et support d'expérimentation par monitoring



# Le projet HIKARI



# Parois opaques du bâtiment

## OBJECTIFS :

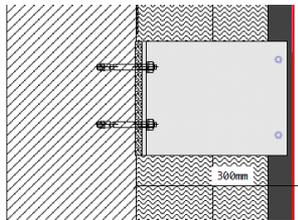
- Garantir la conformité de la performance thermique des parois opaques avec les cibles théoriques ( $U_{\text{parois}}$ )

## DEMARCHE :

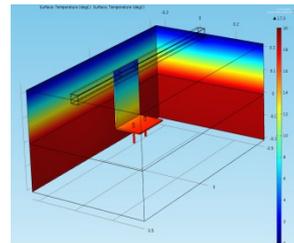
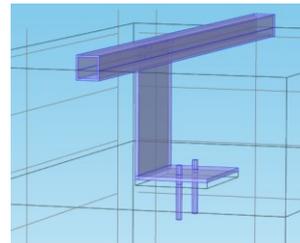
- Conformité des isolants (type, épaisseur ..),
- Calculs détaillés des ponts thermiques ponctuels et linéiques,
- Choix des solutions de fixation les plus performantes pour se rapprocher des valeurs initiales,
- Calcul des  $U_p$  pour chaque paroi une fois les ponts thermiques pris en considération
- Validation des performances lumineuses des aménagements intérieurs (facteur de réflexion et couleur des murs, sols, cloisons, ..)
- Suivi de chantier rigoureux pour s'assurer la conformité de la mise en œuvre,

# Parois opaques du bâtiment

DEMARCHE PROPOSEE :



Identification de chaque cas singulier (exemple d'une fixation d'élément de vêture)



Modélisation et calcul de chaque cas singulier (2D ou 3D suivant les particularités du cas traité)



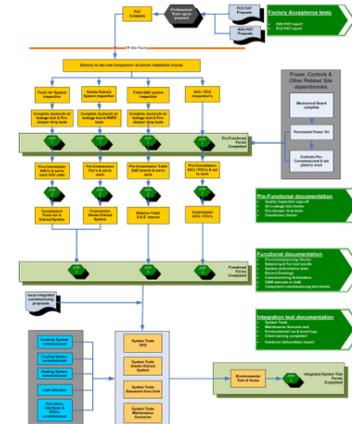
## Résultats

	Flux surfacique (W/m²)	Pont thermique (W/K fixation)	U <sub>théorique</sub> (W/m².K)	Dégradation du U
Sans Fixation (théorique)	2.80	0	0.140	
Fixation 1	4.76	0.0587	0.238	170% (x 1.7)
Fixation 2	6.99	0.1257	0.350	249% (x 2.5)
Fixation 3	6.89	0.1225	0.344	246% (x 2.5)

## Variante 1 : Contreplaqué

	Flux surfacique (W/m²)	Pont thermique (W/K fixation)	U <sub>théorique</sub> (W/m².K)	Dégradation du U
Sans Fixation (théorique)	2.80	0	0.140	
Fixation 1 base	4.76	0.0587	0.238	170%
Fixation 1 + contreplaqué	4.52	0.0516	0.228	161% (gain de 8.2% par rapport à la solution sans planche)
Fixation 2 base	6.99	0.1257	0.350	249%
Fixation 2 + contreplaqué	6.27	0.1040	0.314	224% (gain de 10% par rapport à la solution sans planche)
Fixation 3 base	6.89	0.1225	0.344	246%
Fixation 3 + contreplaqué	6.01	0.0963	0.301	214% (gain de 12% par rapport à la solution sans planche)

Calcul des caractéristiques thermiques des parois avec les ponts thermiques calculés et optimisés (variantes)

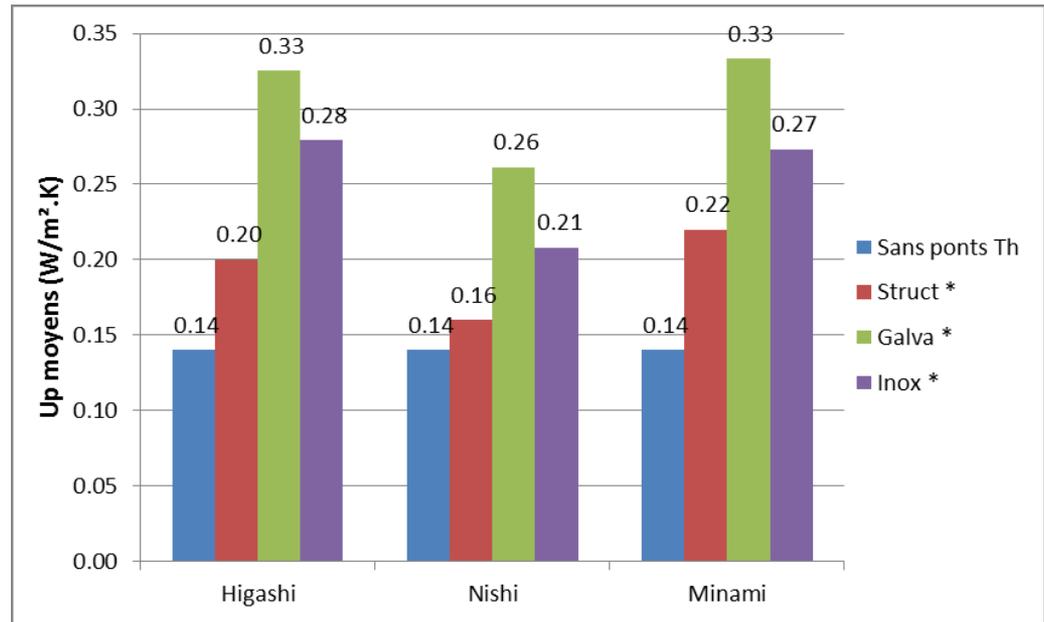
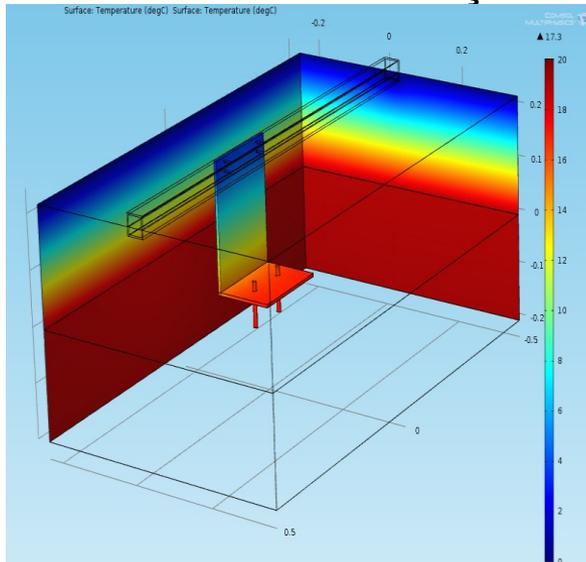


Intégration du suivi dans le plan de commissioning pour suivi de réalisation

# Parois opaques du bâtiment

DEMARCHE : Evaluation de l'impact des ponts thermiques sur le Up

## Accroches de façades



\* Struct : Prise en compte des ponts thermiques structurels (Balcon avec rupteur, angles, interface murs/menuiseries...)

\* Galva : Prise en compte des ponts thermiques structurels et des ponts thermiques des pattes de fixation du parement : option acier galvanisé

\* Inox : Prise en compte des ponts thermiques structurels et des ponts thermiques des pattes de fixation du parement : option acier inox

# Parois opaques du bâtiment

DEMARCHE PROPOSEE : Suivi de chantier rigoureux / plan de commissioning :



Contrôles visuels de la mise en œuvre des éléments de fixation



Vérification de la conformité du calepinage des éléments de fixation



Vérification de la conformité du type d'isolants et de son épaisseur ainsi que de leur mise en œuvre

# Étanchéité à l'air du bâti

## OBJECTIFS :

- Garantir le niveau d'étanchéité à l'air de l'enveloppe

## DEMARCHE :

- Mise en place d'un processus dédié qualité sur le plan étanchéité à l'air en suivi d'études de conception et de chantier :
- Introduction d'un lot 0 dédié aux marchés des entreprises,
- Sessions de formation aux entreprises et aux compagnons,
- Revue régulière des plans de détail par expert reconnu,
- Test sur zones témoin pour chaque typologie de façade,
- Tests intermédiaires aléatoires sur zones / étages,
- Tests finaux sur des volumes complets du bâtiments suivant divisibilité

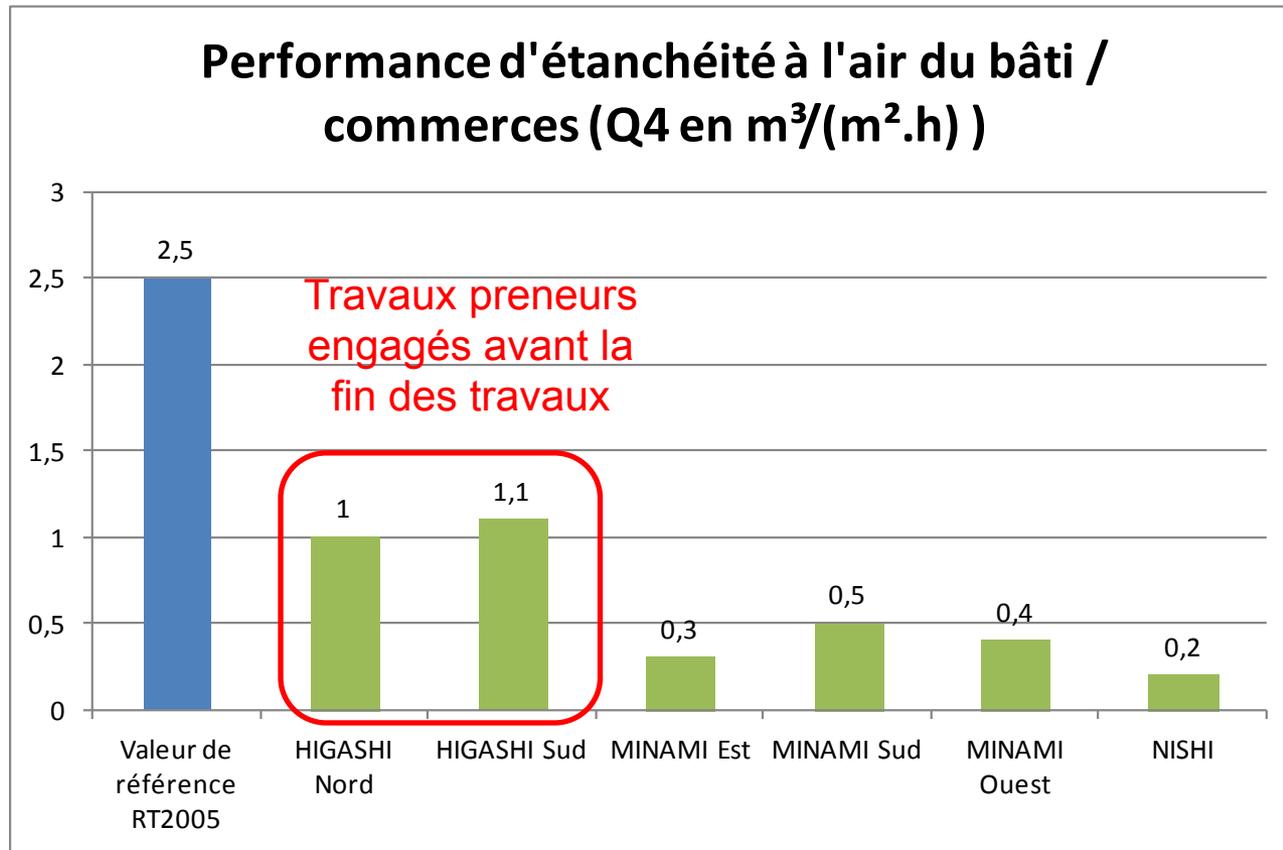
# Étanchéité à l'air du bâti

Tests d'étanchéité à l'air sur les bâtiments complets en tertiaire de bureau et sur les logements en global et en unitaire

Nom	Bureaux	Logements	Commerces
<b>HIGASHI</b>	N50 = 0.595 Vol/h Q4 = 0.4 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)	-	Nord : N50 = 0.88 Vol/h Q4 = 1 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h) Sud : N50 = 1.1 Vol/h Q4 = 1.1 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)
<b>MINAMI</b>	-	N50 = 0.96 Vol/h Q4 = 0.64 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)	Est: N50 = 0.38 Vol/h Q4 = 0.3 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h) Sud : N50 = 0.57 Vol/h Q4 = 0.5 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h) Ouest : N50 = 0.60 Vol/h Q4 = 0.4 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)
<b>NISHI</b>	N50 = 0.54 Vol/h Q4 = 0.37 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)	N50 = 0.58 à 0.976 Vol/h Q4 = 0.17 à 0.34 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)	N50 = 0.4 Vol/h Q4 = 0.2 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)



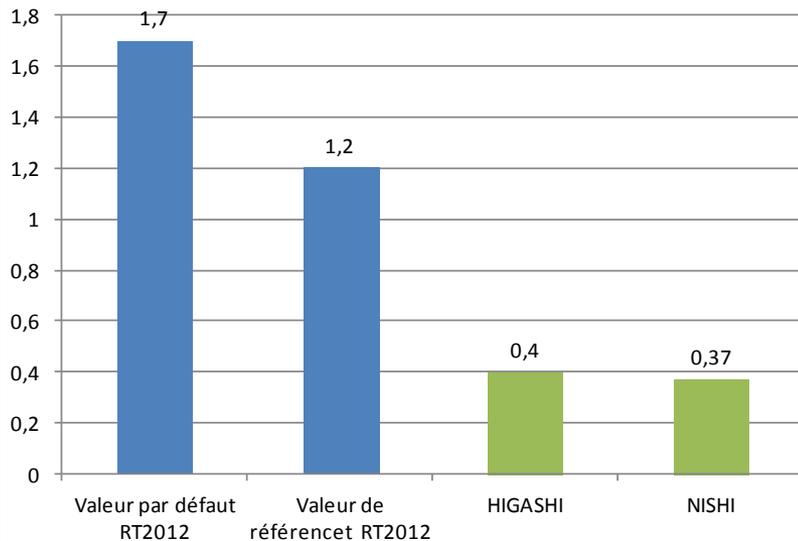
# Étanchéité à l'air du bâti



Tests réalisés de manière unitaire

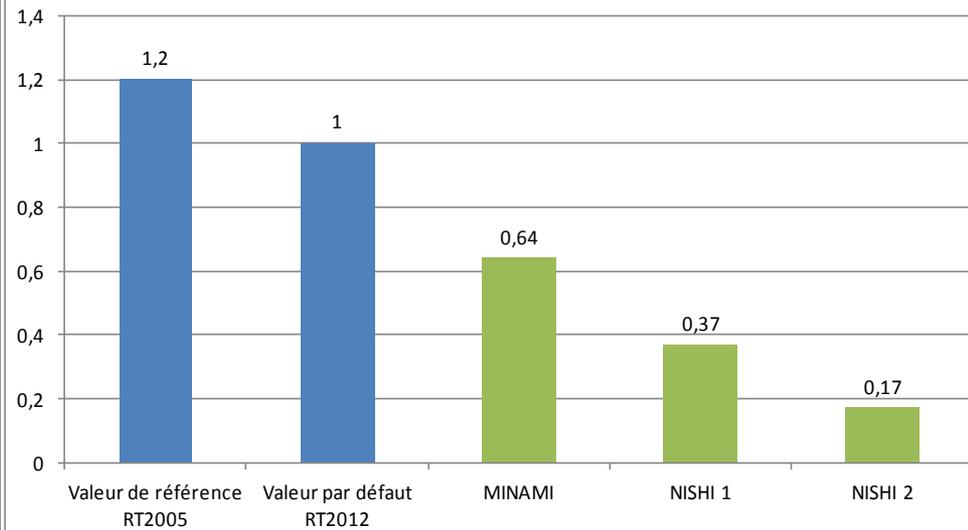
# Etanchéité à l'air du bâti

Performance d'étanchéité à l'air du bâti / tertiaire de bureau (Q4 en  $m^3/(m^2.h)$  )



Tests réalisés sur volume complet du bâtiment avec les communs

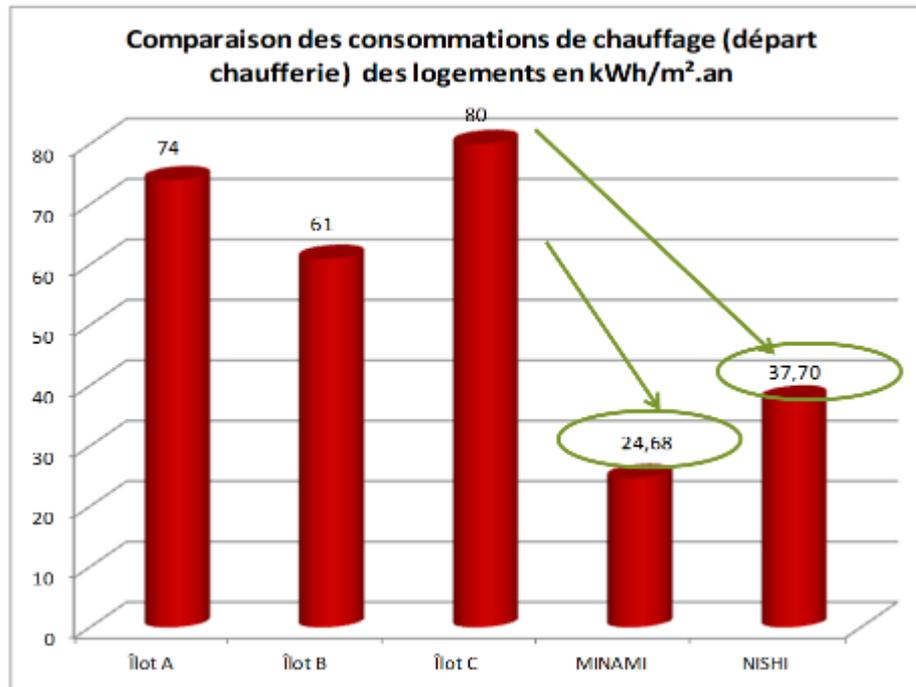
Performance d'étanchéité à l'air du bâti / logements (Q4 en  $m^3/(m^2.h)$  )



Tests réalisés de manière unitaire

# Les résultats en exploitation

## Consommations de chauffage - Logements



Objectif d'amélioration des performances de -20 % dépassé par les logements de HIKARI

MINAMI (logements compacts) : 34 % des consommations de la moyenne des îlots A, B et C

NISHI (logements peu compacts) : 53 % des consommations de la moyenne des îlots A, B et C

Source - Monitoring HIKARI 206 / 2017-  
Manaslu

# Equipements techniques

## OBJECTIFS :

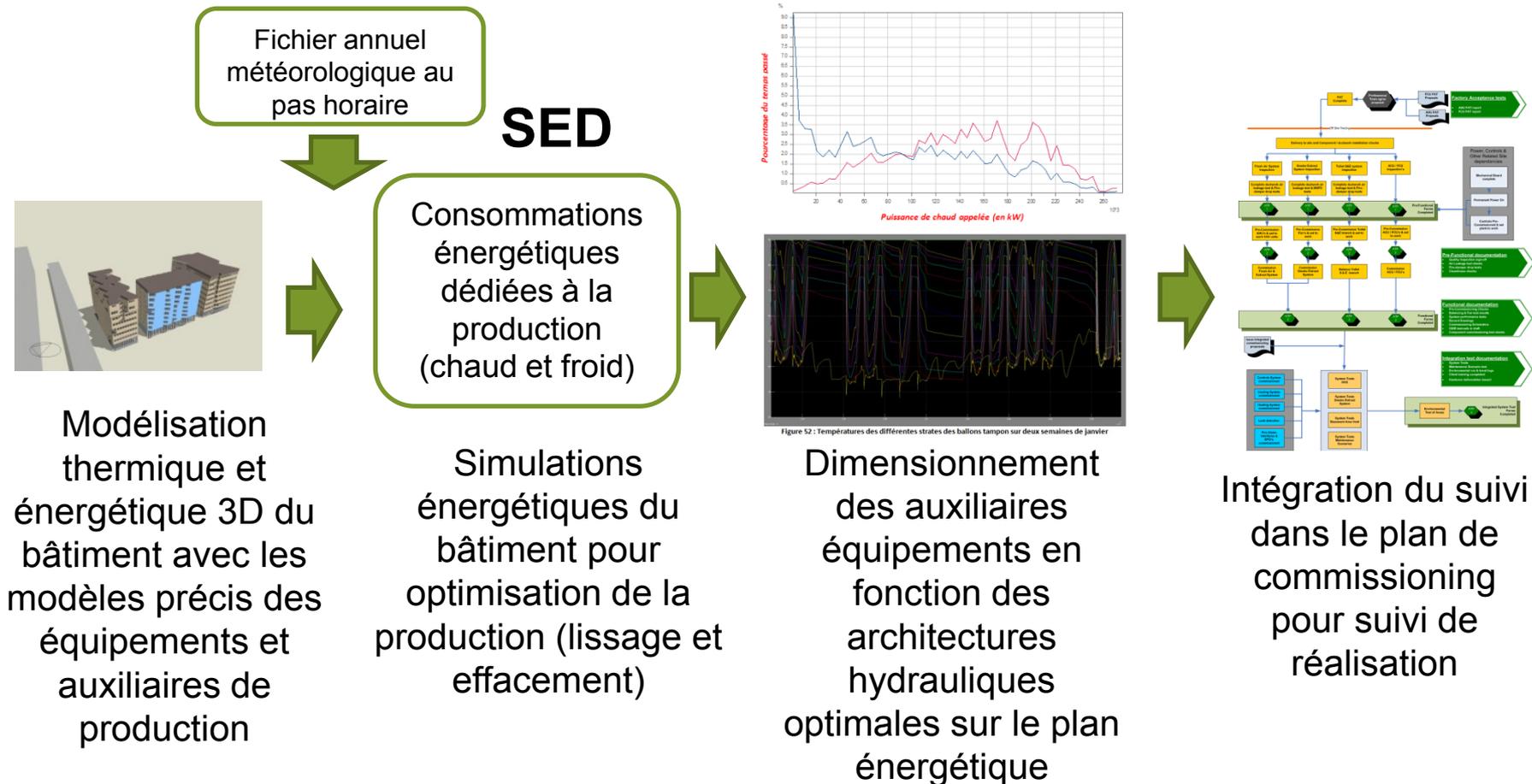
- Garantir l'atteinte des cibles performanciennes en exploitation sur les consommations énergétiques des systèmes de production et les auxiliaires

## DEMARCHE :

- Modélisation thermique et énergétique 3D du bâtiment (SED),
- Simulations énergétiques dynamiques pour définir :
  - Les puissances optimales des équipements et optimiser les architectures hydrauliques et aérauliques (cascades, stockages, etc..) associées
  - Principes des lois de contrôle / commande induites,
- Validation des bilans énergétiques en intégrant les auxiliaires et les pertes en dynamiques
- Suivi d'études EXE et de chantier rigoureux pour s'assurer de la conformité de la mise en œuvre
  - Mises en services
  - Mise au point (OPR dynamiques)

# Equipements techniques

## DEMARCHE PROPOSEE :



# Equipements techniques

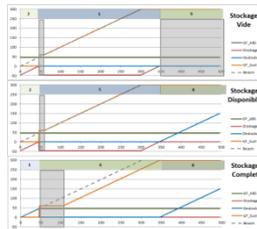
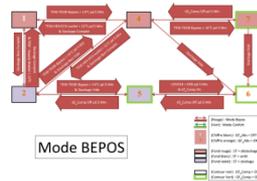
Suivi / plan de commissioning :

Validation avec l'exploitant des puissances disponibles sur le réseau existant

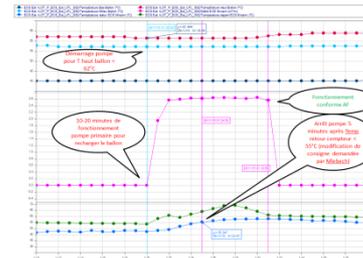
Rédaction des analyses fonctionnelles de pilotage de la sous-station

Contrôles des fiches techniques des équipements et des Analyses Fonctionnelles

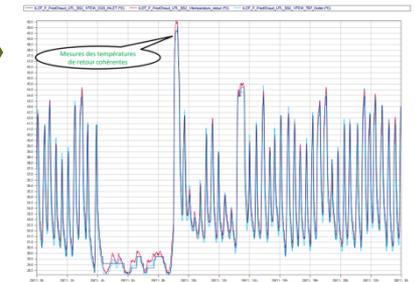
## SED



Vérification de la conformité des analyses fonctionnelles par émulation avec outils SED



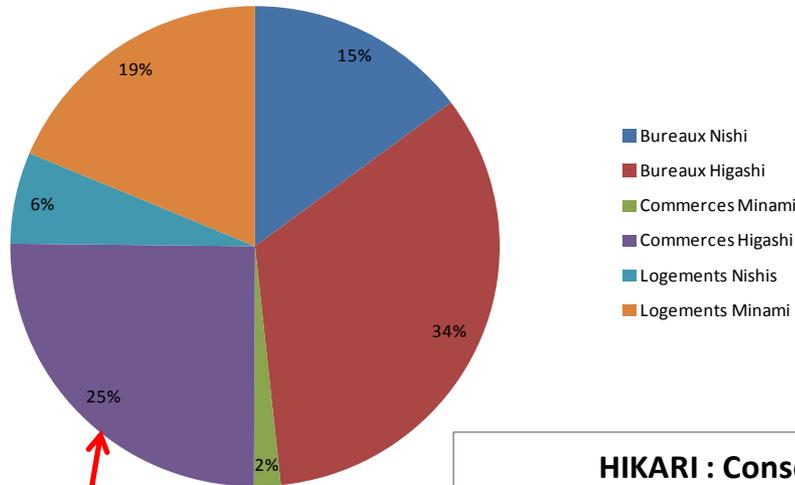
Contrôle de conformité des installations et des fonctionnalités vis-à-vis de l'Analyse Fonctionnalité (OPR dynamiques)



Contrôle de conformité en continu via la supervision et le FM ou « Energy Manager »

# Résultats : Les besoins de chauffage à l'échelle de l'îlot

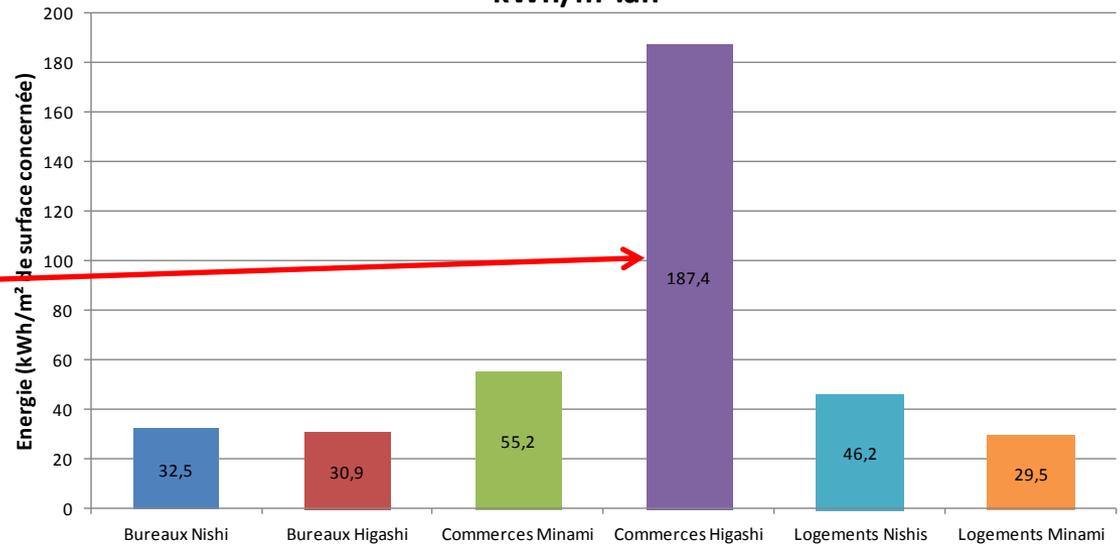
HIKARI : Répartition des besoins de chaud par usages et bâtiments



Besoin de chauffage de l'ordre de 30 kWh/m<sup>2</sup>.an pour les surfaces de logement et de bureau (surfaces de plancher nettes, hors communs et paliers)

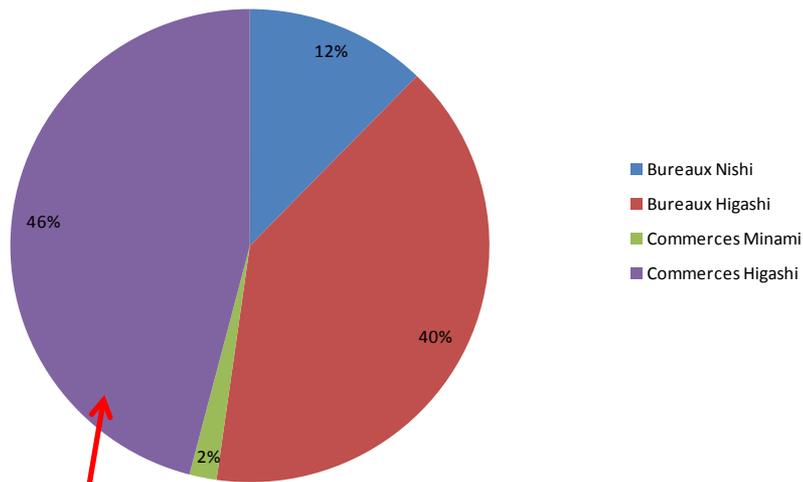
Part importante du besoin de chauffage pour les commerces de HIGASHI par rapport à la surface de cette zone (anomalie de régulation des installations preneurs)

HIKARI : Consommations de chauffage par zone et par usage en kWh/m<sup>2</sup>.an



# Résultats : Les besoins de froid à l'échelle de l'îlot

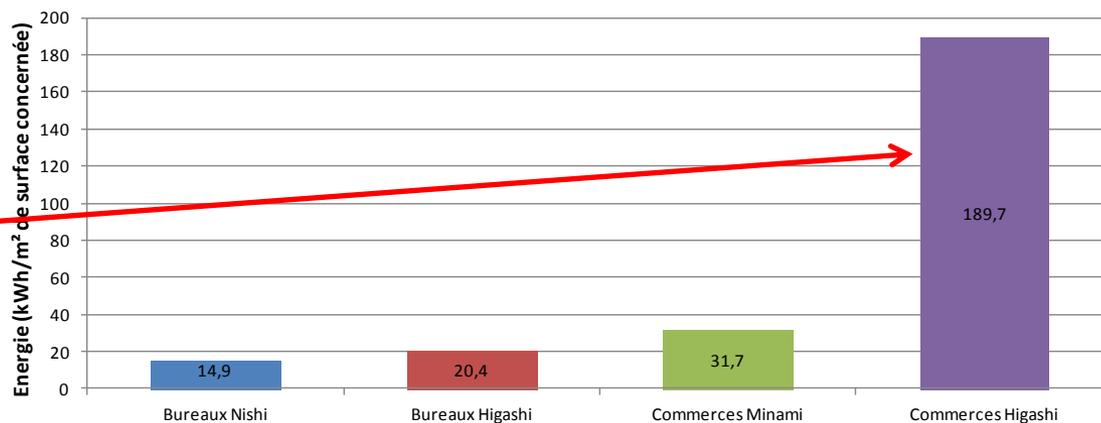
HIKARI : Répartition des besoins de froid par usages par bâtiments



Besoin de froid de l'ordre de 15 à kWh/m<sup>2</sup>.an pour les surfaces de bureau

Part importante du besoin de froid pour les commerces de HIGASHI par rapport à la surface de cette zone (anomalie de régulation des installations preneurs)

HIKARI : Répartition des besoins de froid par zone



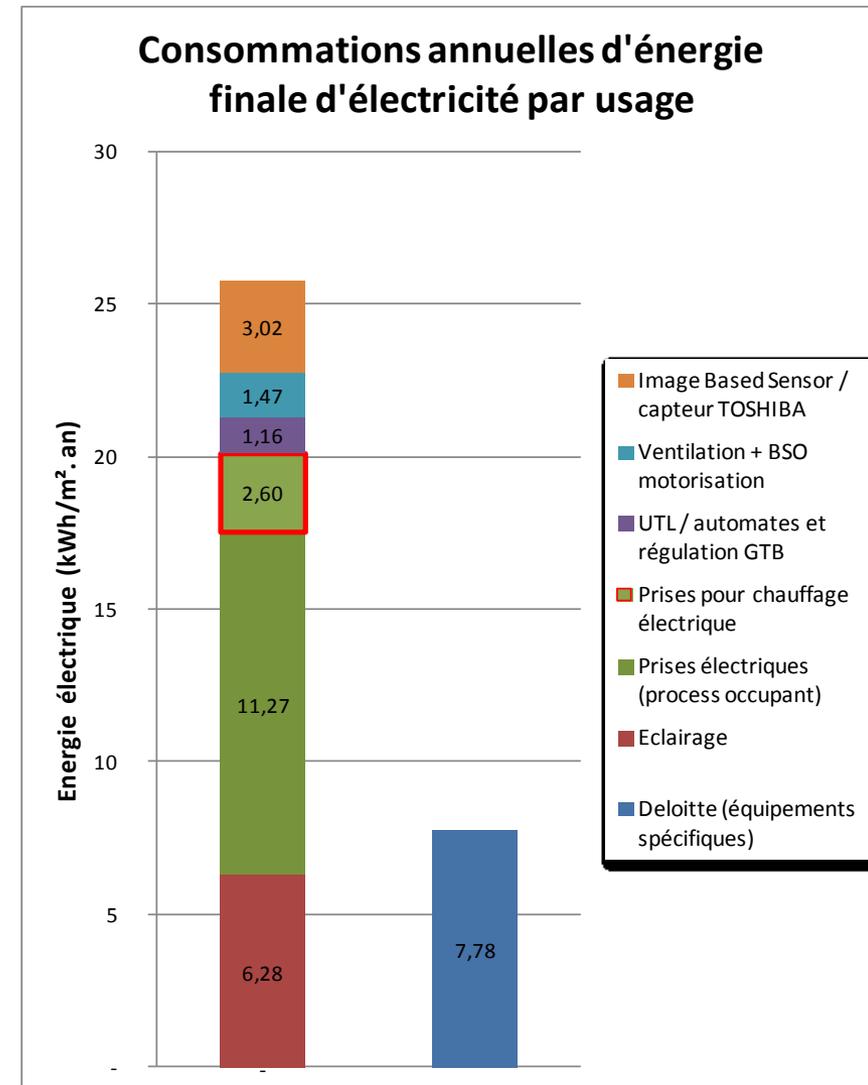
# Résultats : Les consommations des surfaces de bureau HIGASHI

Consommation totale:

- 34 kWhEf/m<sup>2</sup>.an
- 87 kWhEp/m<sup>2</sup>.an (coef. RT)

Faits marquants :

- Des radiateurs en appoint!
- Des aménagements preneurs gourmands (DELOITTE),
- Un capteur IBS imposé par TOSHIBA handicapant,
- Un éclairage efficace,
- Une consommation de ventilation très basse (ventilation SF par insufflation)



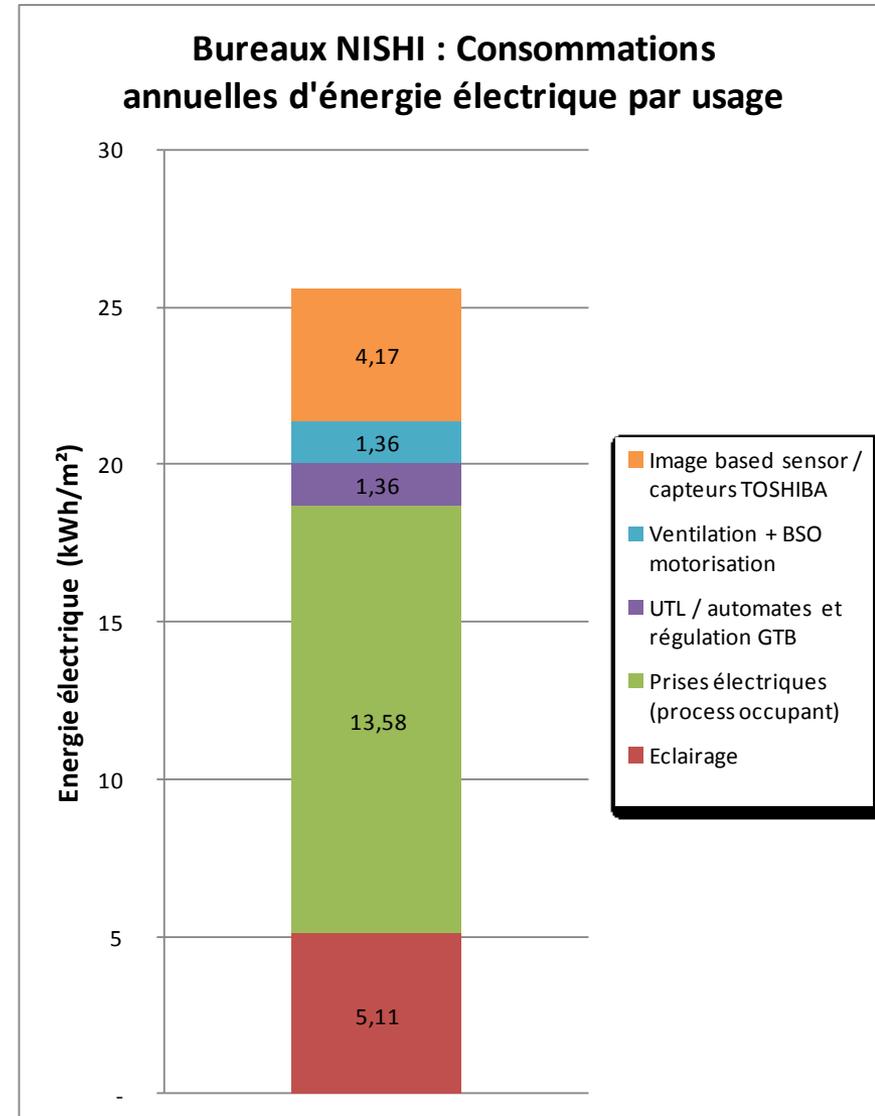
# Résultats : Les consommations des surfaces de bureau NISHI

Consommation totale:

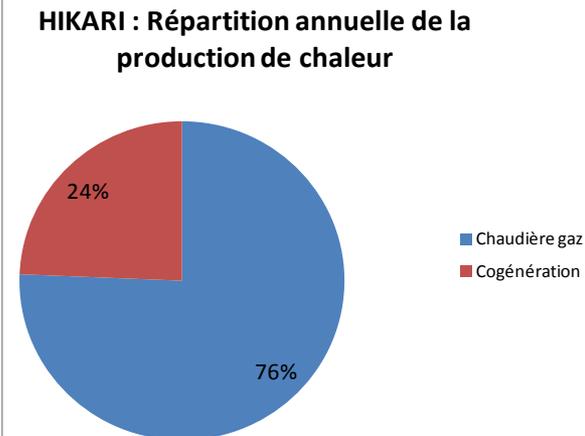
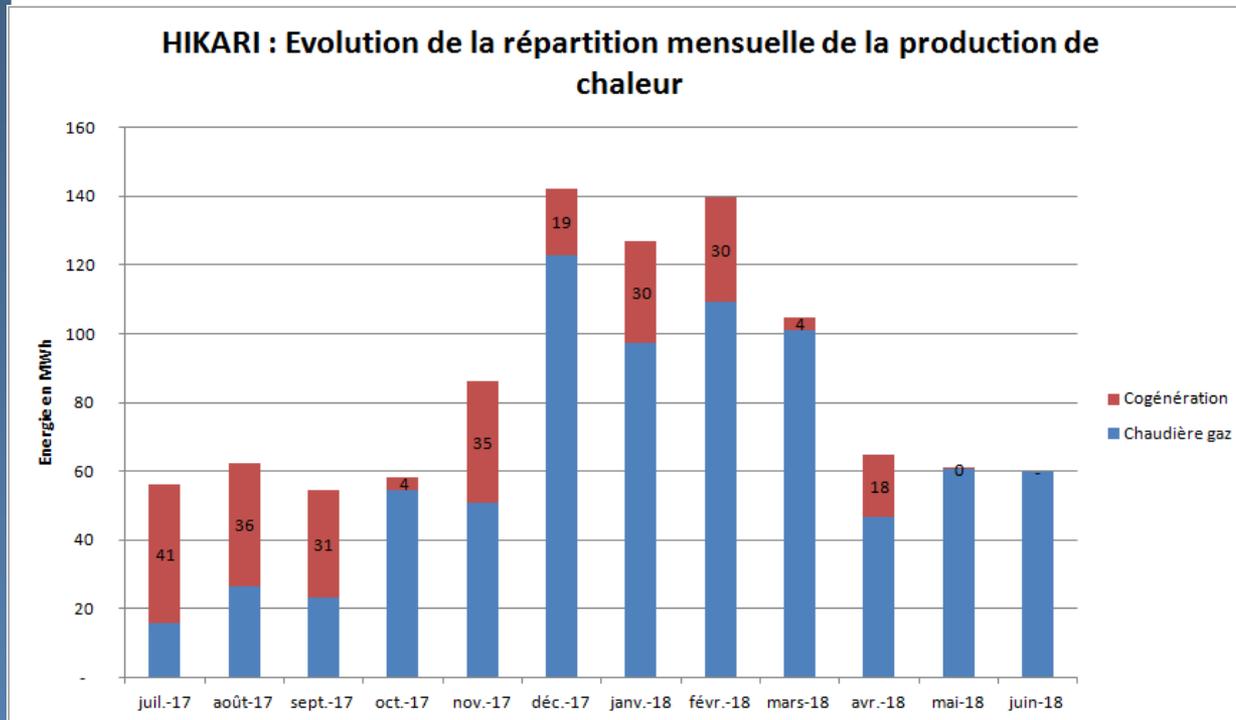
- 26 kWhEf/m<sup>2</sup>.an
- 37 kWhEp/m<sup>2</sup>.an (coef RT)

Faits marquants :

- Pas de radiateur en appoint **identifié!**
- Un capteur IBS imposé par TOSHIBA très handicapant (calepinage dense),
- Un éclairage efficace avec une géométrie favorable,
- Une consommation de ventilation très basse (ventilation SF par insufflation)



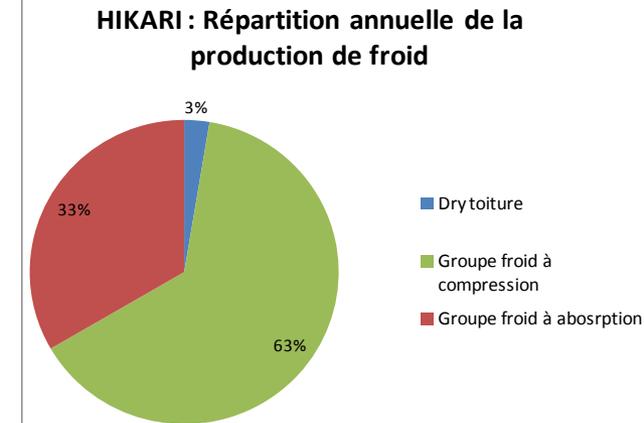
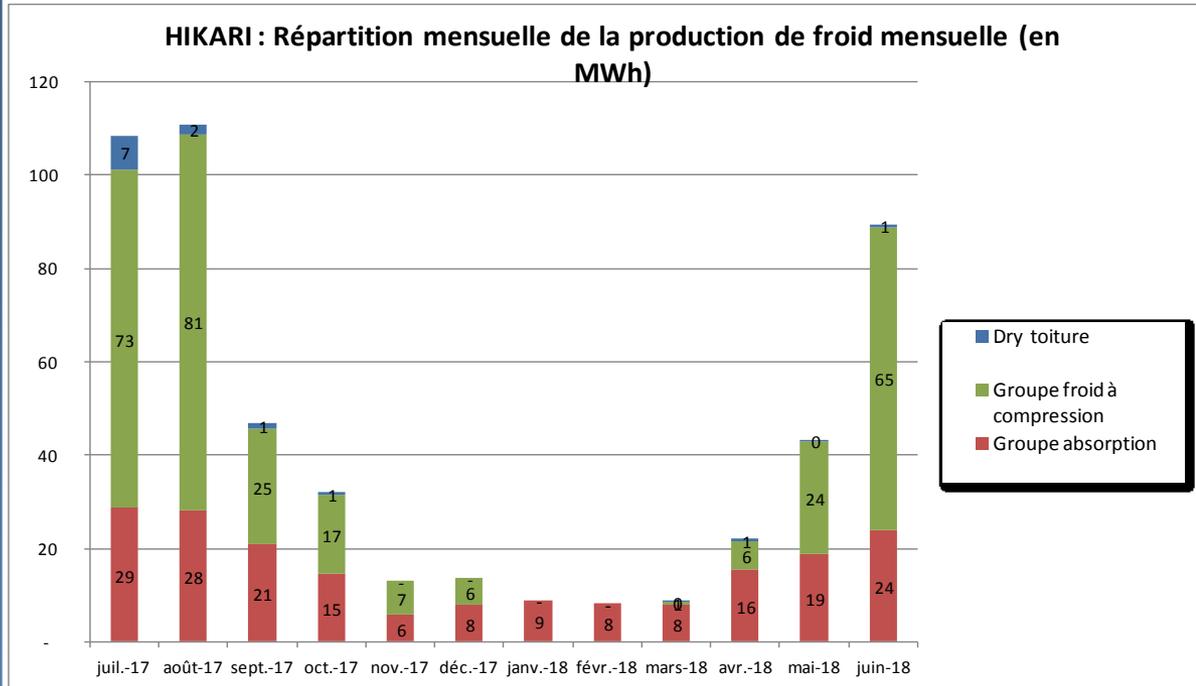
# Analyse des équipements : production de chaleur



Faible disponibilité de la cogénération à partir d'octobre 2017,

Arrêt de la cogénération à partir de mai 2018 en raisons de difficultés d'exploitation :  
76 % de la chaleur est produite par la chaudière gaz pour 10 % prévu en conception

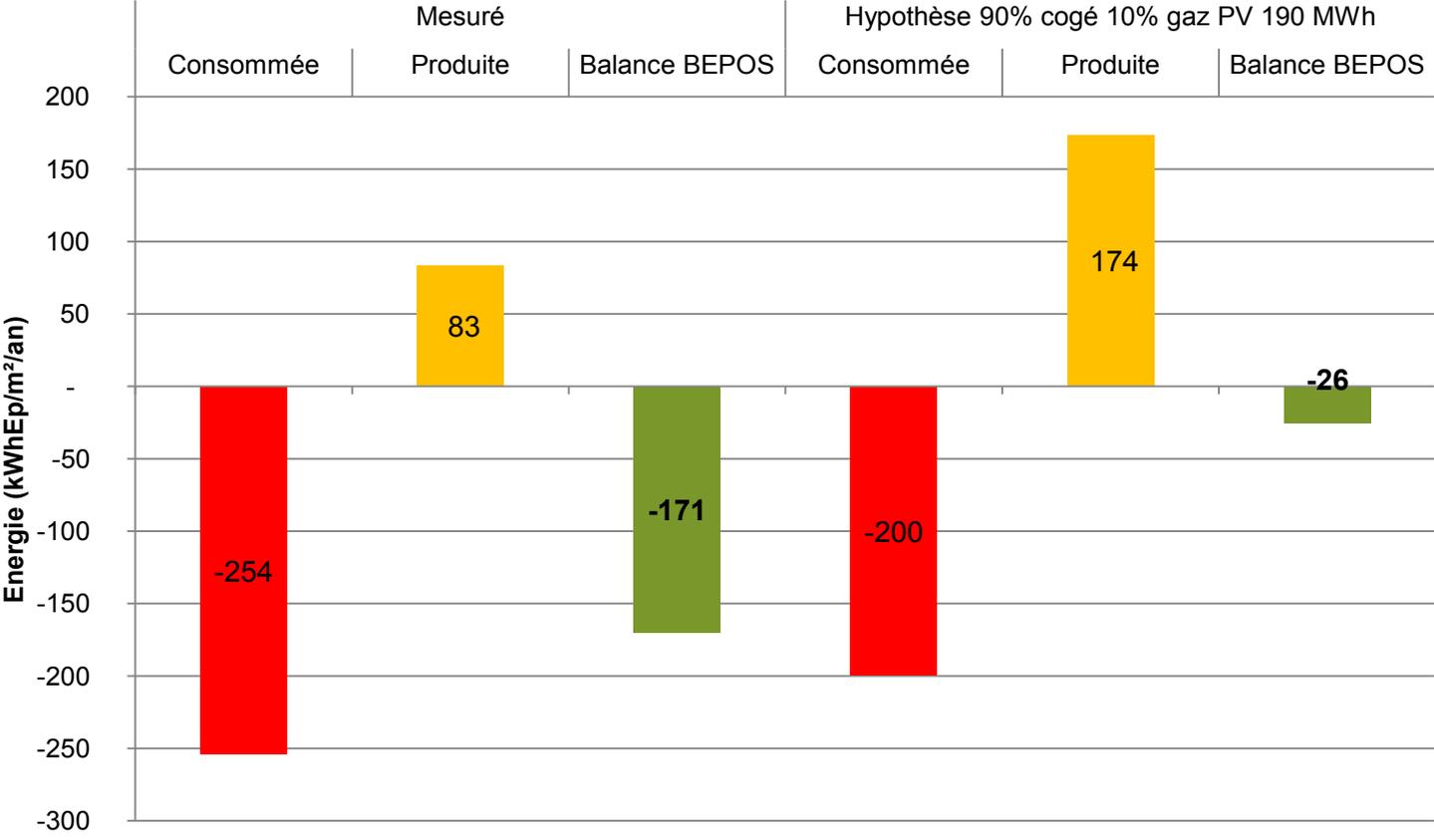
# Analyse des équipements : production de froid



Cohérence du fonctionnement des équipements en fonction des saisons et de la conception toutefois :

**Le pilotage des installations n'est pas adapté à l'indisponibilité de la cogénération : le groupe à absorption est exploité sans production locale d'électricité, avec un coût du kWh froid élevé pour un bilan énergétique peu favorable**

# Evaluation de l'atteinte de la cible BEPOS



# Bilan sur les résultats

- Le commissionnement a permis de maintenir un cap qualitatif sur les performances des bâtiments de HIKARI :
  - Conformité des performances sur les zones maîtrisées (bureaux, logements),
  - Dérive sur les commerces non adressés,
- En exploitation, le commissionnement permet d'identifier les évolutions des usages et la qualité d'exploitation :
  - Faible disponibilité de la cogénération,
  - Pilotage des installations non adapté suivant la disponibilité de la cogénération

# Bilan sur les résultats

Dans le cadre des opérations, le commissionnement permet de :

- Réduire le risque de non-conformité,
- Limiter les plaintes des occupants,
- Objectiver les résultats avec des analyses par monitoring générant des indicateurs fiables sur les usages et l'exploitation,
- Progresser dans les pratiques en :
  - Evitant de répéter les erreurs et
  - Disposant de REX pour valider les modèles SED et
  - Améliorant la méthodologie de contrôle (criticité, échantillonnage, etc..)

**Merci de votre attention.....  
..... des questions?**