



MEXICO Rencontres 2015, Clermont-Ferrand

06 octobre 2015 ■ ■

■ Eco-conception de maisons à énergie positive

Mots-clés : *Optimisation multicritère, algorithme génétique, fronts de Pareto*

Thomas RECHT : thomas.recht@mines-paristech.fr

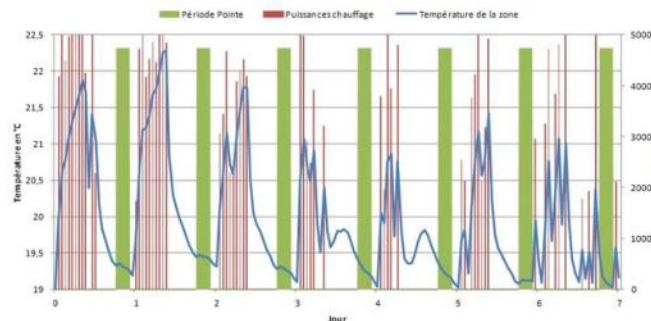
- Introduction
- 1/ Contexte et objectifs scientifiques
- 2/ Méthodologie
- 3/ Cas d'étude – Premiers résultats
- Ouverture à la discussion

○ La recherche à MINES ParisTech : 18 centres en 5 départements

- *Sciences de la Terre et de l'environnement*
- *Mécanique et matériaux*
- *Mathématiques et systèmes*
- *Economie, management et société*
- **Energétique et génie des procédés**

○ Le Centre Efficacité énergétique des Systèmes : 4 groupes

- *Thermodynamique Des Systèmes (TDS)*
- *Systèmes thermiques (Systherm)*
- *Maîtrise de la Demande d'Energie (MDE)*
- **Eco-conception et thermique des bâtiments (ETB)**



○ Une plateforme de modélisation Bâtiments - Quartiers



COMFIE : simulation thermique dynamique des bâtiments

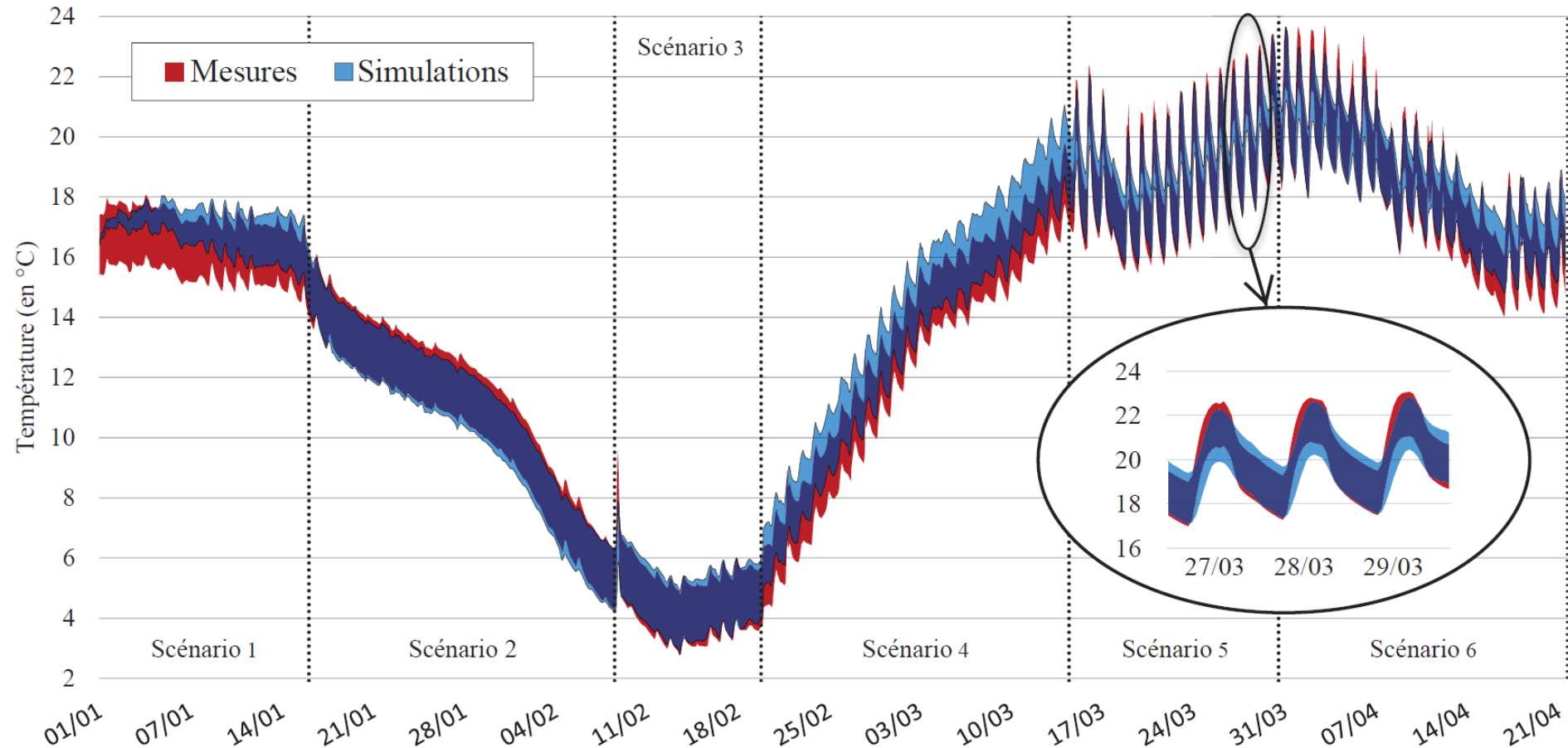


novaEQUER : analyse de cycle de vie des bâtiments et des quartiers

○ Les thématiques MEXICO dans nos travaux : quelques exemples

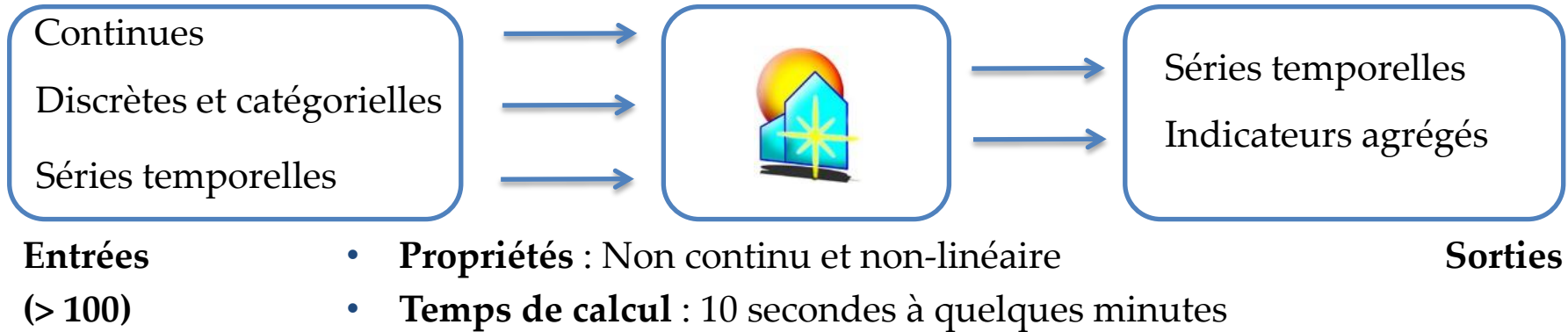
- Fiabilité des modèles
 - *Analyses de sensibilité (AS) et d'incertitude (AI) **
- Garantie de performance énergétique
 - *AS, calibrage, et AI*
- **Aide à la éco-conception de bâtiments à énergie positive**
 - *AS, optimisation multicritère, AI + métamodèle ?*

○ Résultats comparables à des outils internationaux



* *Recht et al.*

○ COMFIE

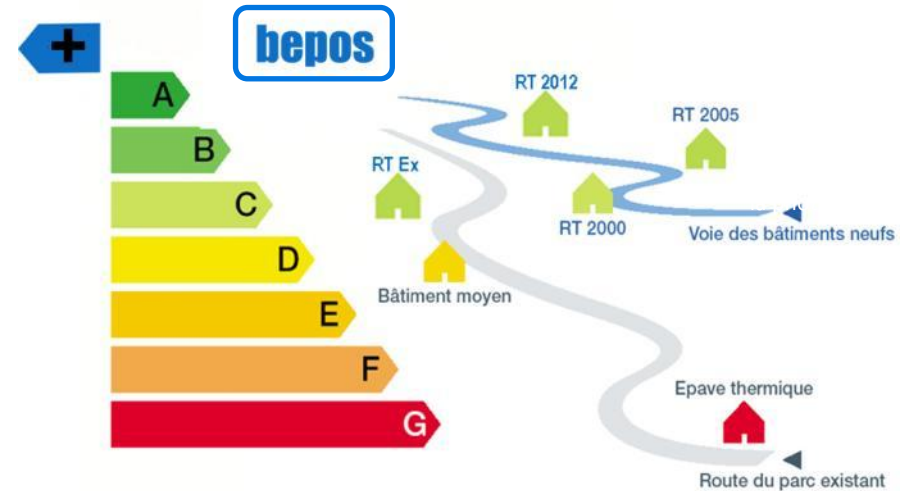


○ novaEQUER



○ Contexte

- Vers le **bâtiment à énergie positive**



- Une **mutation considérable** pour la filière, notamment en **conception**
- **Contribution de l'ingénierie** dans un processus multi-acteurs
MEPOS = Maisons à Energie POSitive

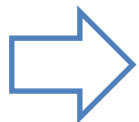


○ Processus de conception actuel

- **Empirique** et **itératif**, basé sur des **variations paramétriques** simples

○ Nouveaux enjeux en conception

- Nécessité de la pratique d'une **éco-conception**
- Généraliser le concept à des **coûts maîtrisés**
- Evaluer et optimiser une **performance** résolument **multicritère**
- Considérer plusieurs **échelles temporelles** et les **interactions** entre le bâtiment, son environnement et ses occupants
- Evaluer la **robustesse des solutions** au regard d'incertitudes
- Progresser vers la **garantie de performance énergétique**



Vers une aide à la décision assistée par optimisation

○ Etudier une démarche permettant de fournir une aide à la décision pour l'éco-conception de MEPOS

1. Evaluer et optimiser une **performance multicritère** :
 - ❑ Calculer des indicateurs énergétiques, environnementaux, et économiques pertinents
 - ❑ Enrichir les modèles en intégrant des systèmes technologiques innovants
2. Permettre l'optimisation en un **temps de calcul raisonnable** :
 - ❑ Réduire la combinatoire des variantes de conception explorées
 - ❑ Réduire les modèles ou développer des surfaces de réponse
3. Evaluer la **robustesse** des résultats :
 - ❑ S'assurer de la fiabilité des modèles
 - ❑ Analyser les incertitudes, notamment sur le comportement des occupants

○ Démarche globale

- S'appuyer sur l'expérience d'un **processus de conception intégré**
- Expérimenter un processus en deux étapes :
 - Phase de conception **amont**
 - Phase de conception **détaillée**

○ Méthodes retenues

1. **Analyse de sensibilité** sur les paramètres de conception *Morris (1991)*
2. **Optimisation multicritère** par algorithme génétique *Deb et al. (2002)*
3. **Etude de la robustesse** des solutions *Vorger (2014)*

○ Aide à la décision assistée par optimisation

- **Optimisation dans le domaine du bâtiment :**

- Réel essor milieu des années 2000 avec des résultats probants
- Les méthodes stochastiques sont les plus adaptées
- Interprétation multicritère des résultats : deux visions

Références : *Rivallain 2013, Attia et al. 2013, Evins 2013; Machairas, Tsangrassoulis, et Axarli 2014*

- **Algorithme génétique NSGA-II**

- Basé sur la théorie de l'évolution de Darwin
- Approche multicritère par fronts de Pareto (puis par distance de Crowding)



Épaisseur d'isolation sur façade

...

Menuiserie sur façade

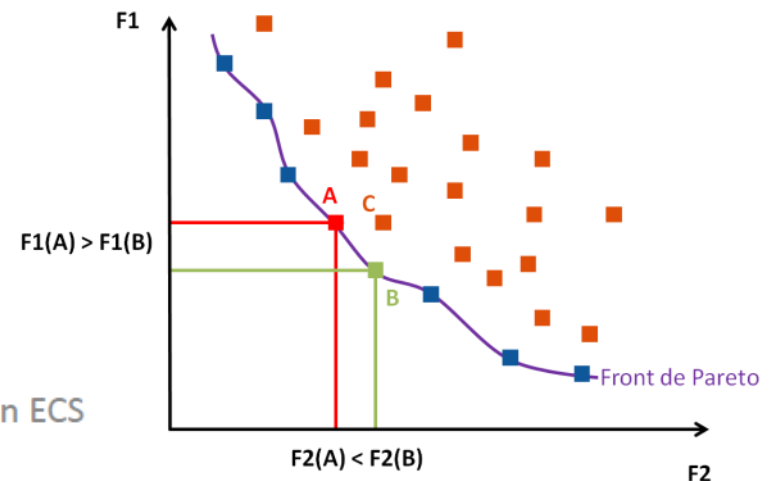
Dimension ouvertures

...

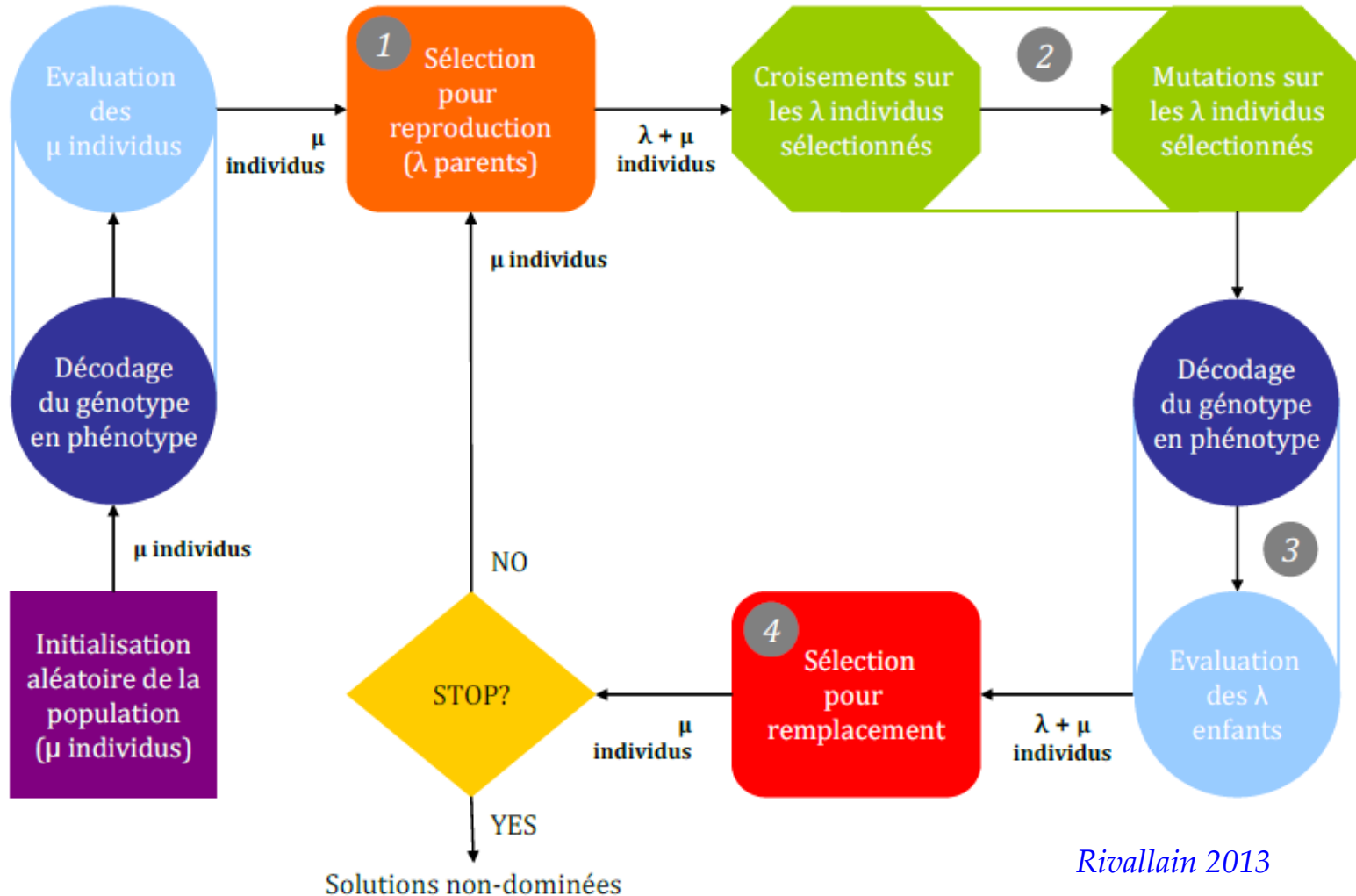
Équipement de ventilation

Équipement de chauffage

Couverture solaire de la production ECS

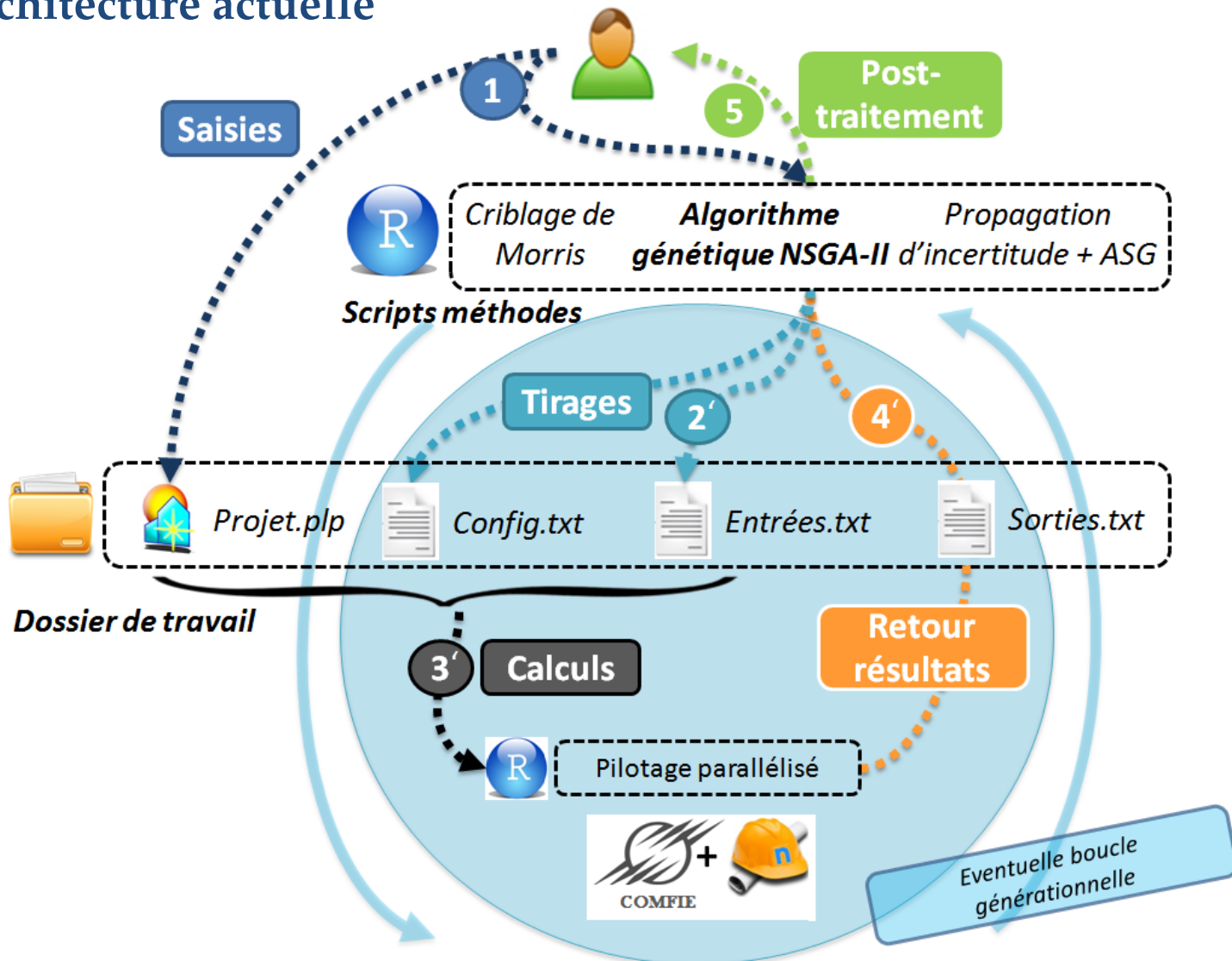


○ Principe du processus génétique



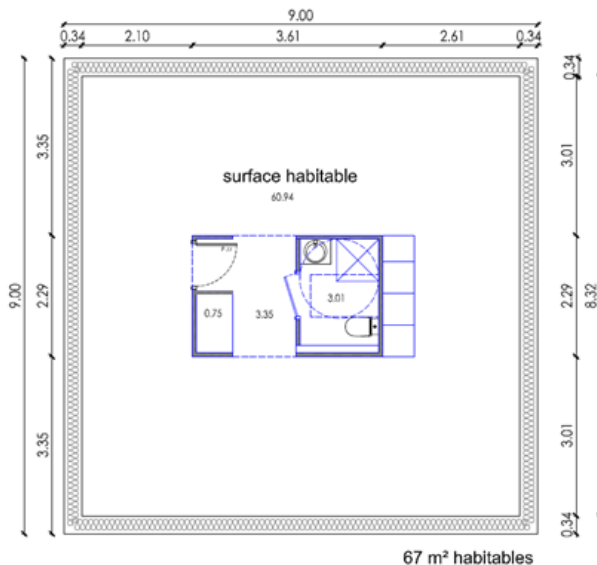
Rivallain 2013

○ Architecture actuelle



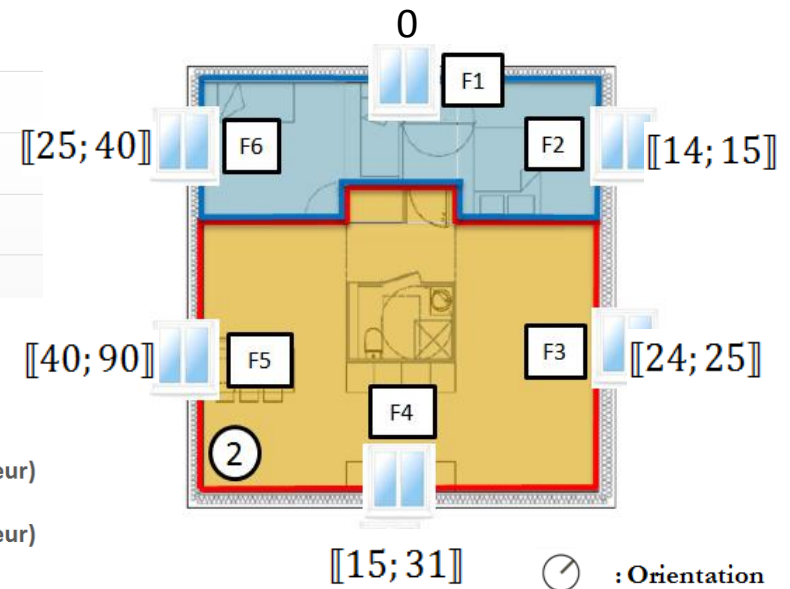
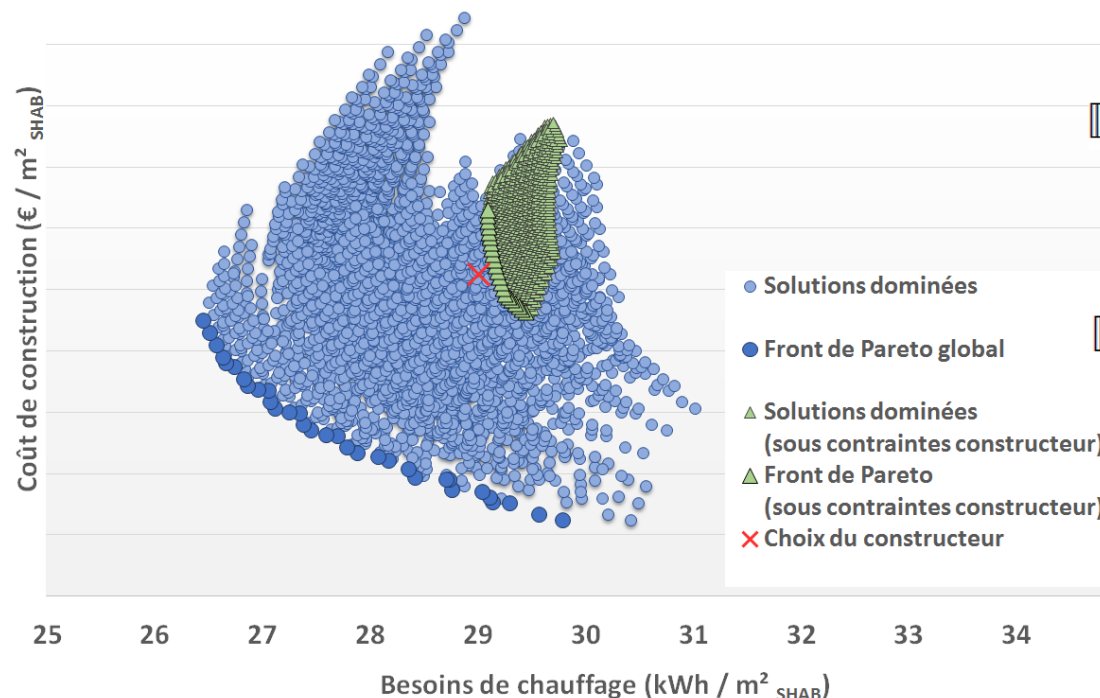
○ Prototype de MEPOS du constructeur Fousse Constructions

- Doit être adapté aux **parcelles de surface réduite**
- Type de clients privilégié : **primo-accédants**
- Doit présenter un **bilan énergétique positif**
- Carré de 9*9 m **modulable** avec un noyau d'installations central



○ Intégration des contraintes et des degrés de liberté de l'architecte

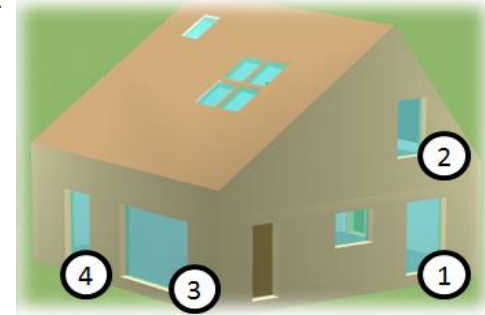
- Forme géométrique : carrée
- Orientation des pièces (chambres au nord, et séjour-cuisine au sud)
- Façade nord-ouest aveugle
- Pourcentages de surface vitrée par paroi : fixées selon plusieurs contraintes



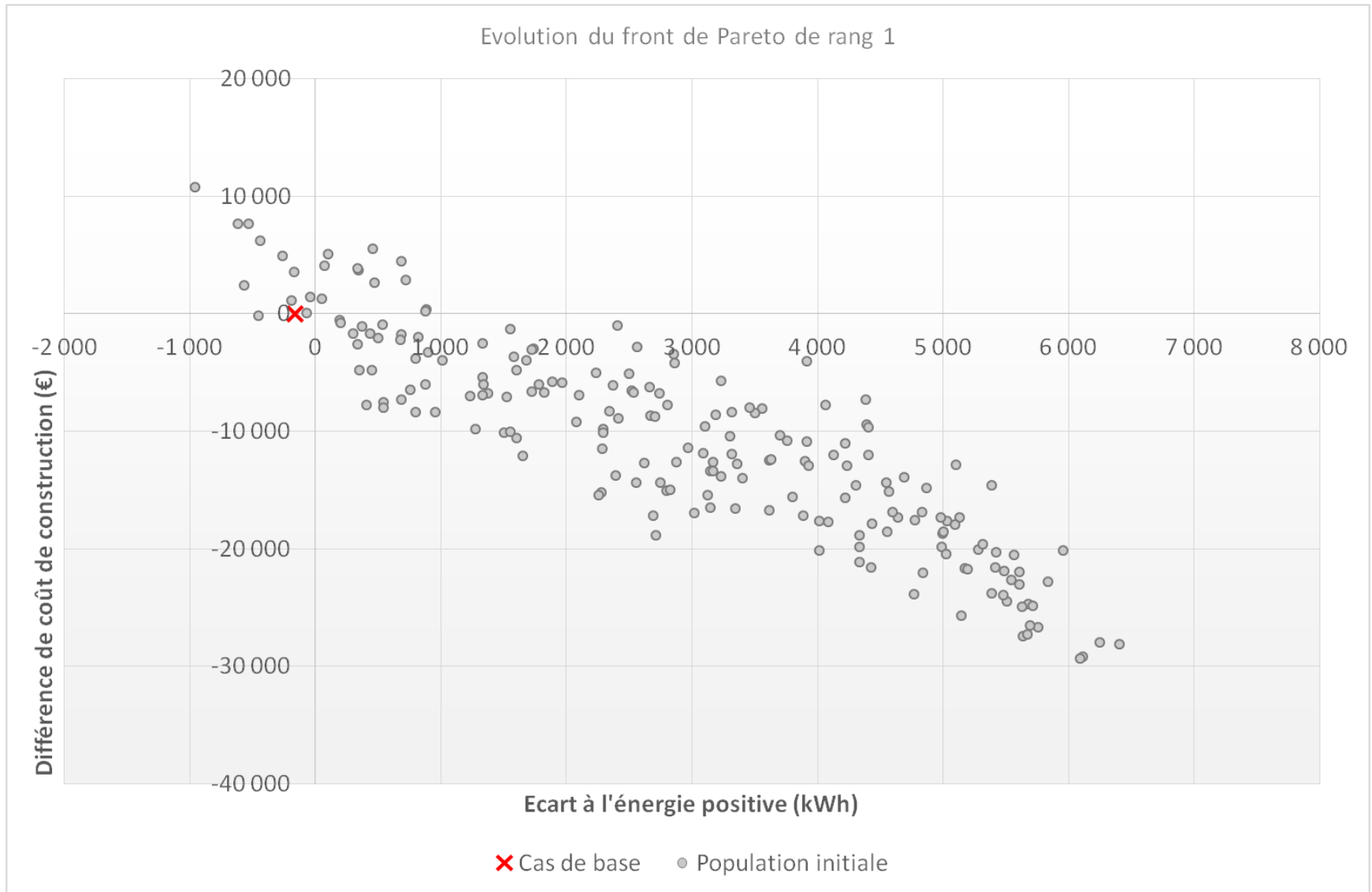
○ Optimisation par algorithme génétique NSGA-II

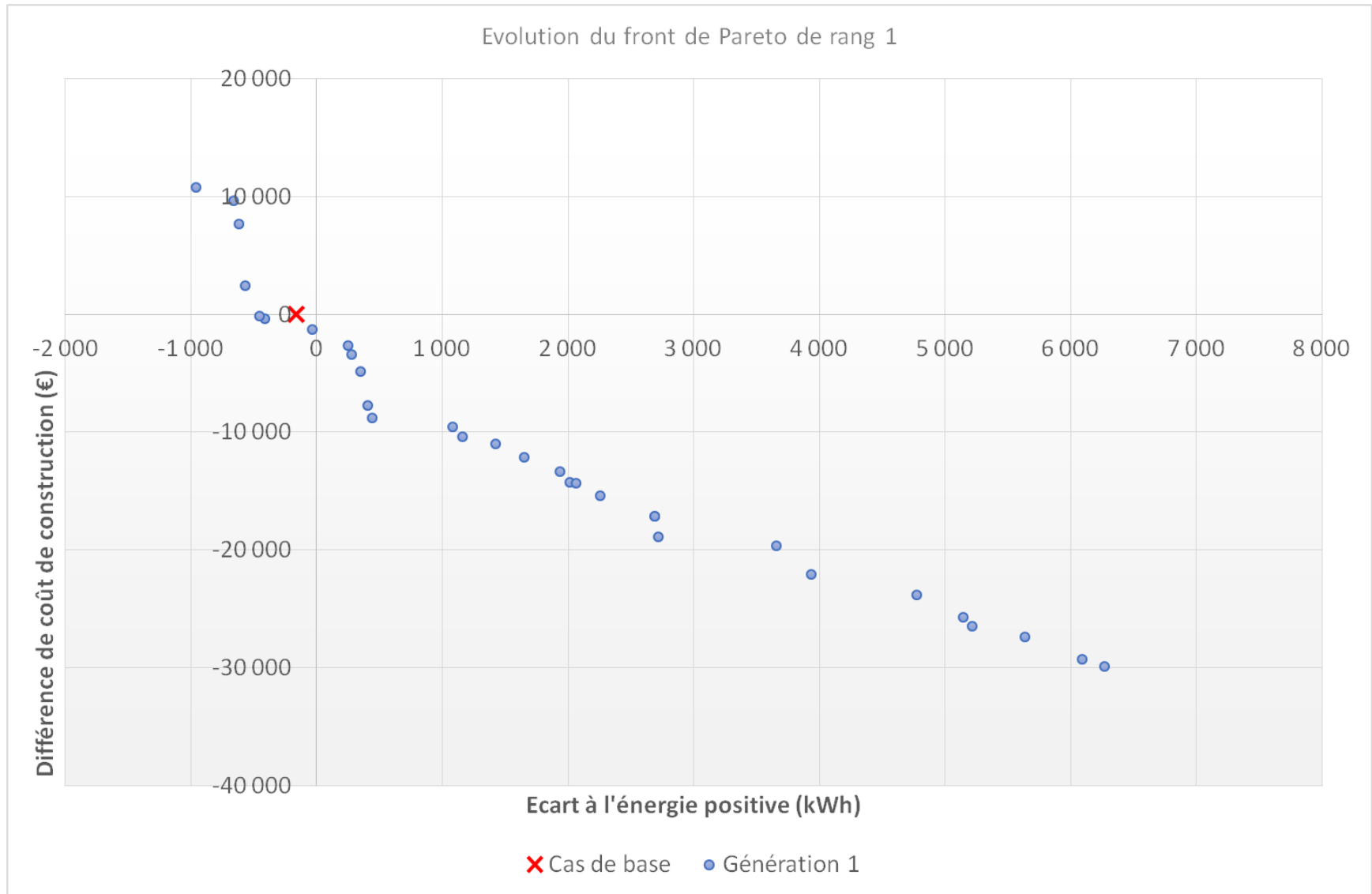
- Variables de conception

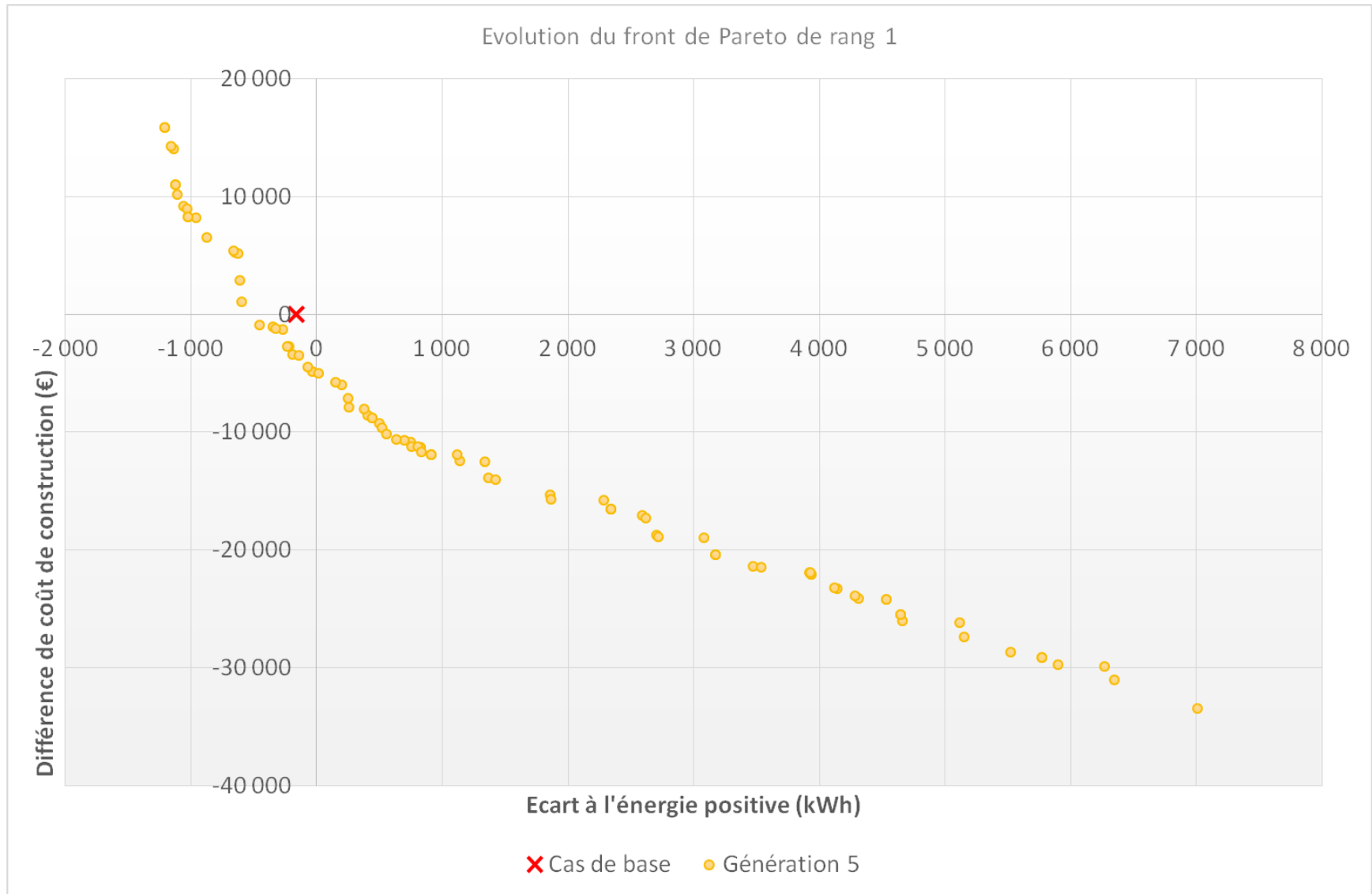
1. Isolation (murs, toiture et plancher bas)
2. Surfaces vitrées et type de menuiseries
3. Systèmes (ventilation, récupérateur de chaleur, PV)

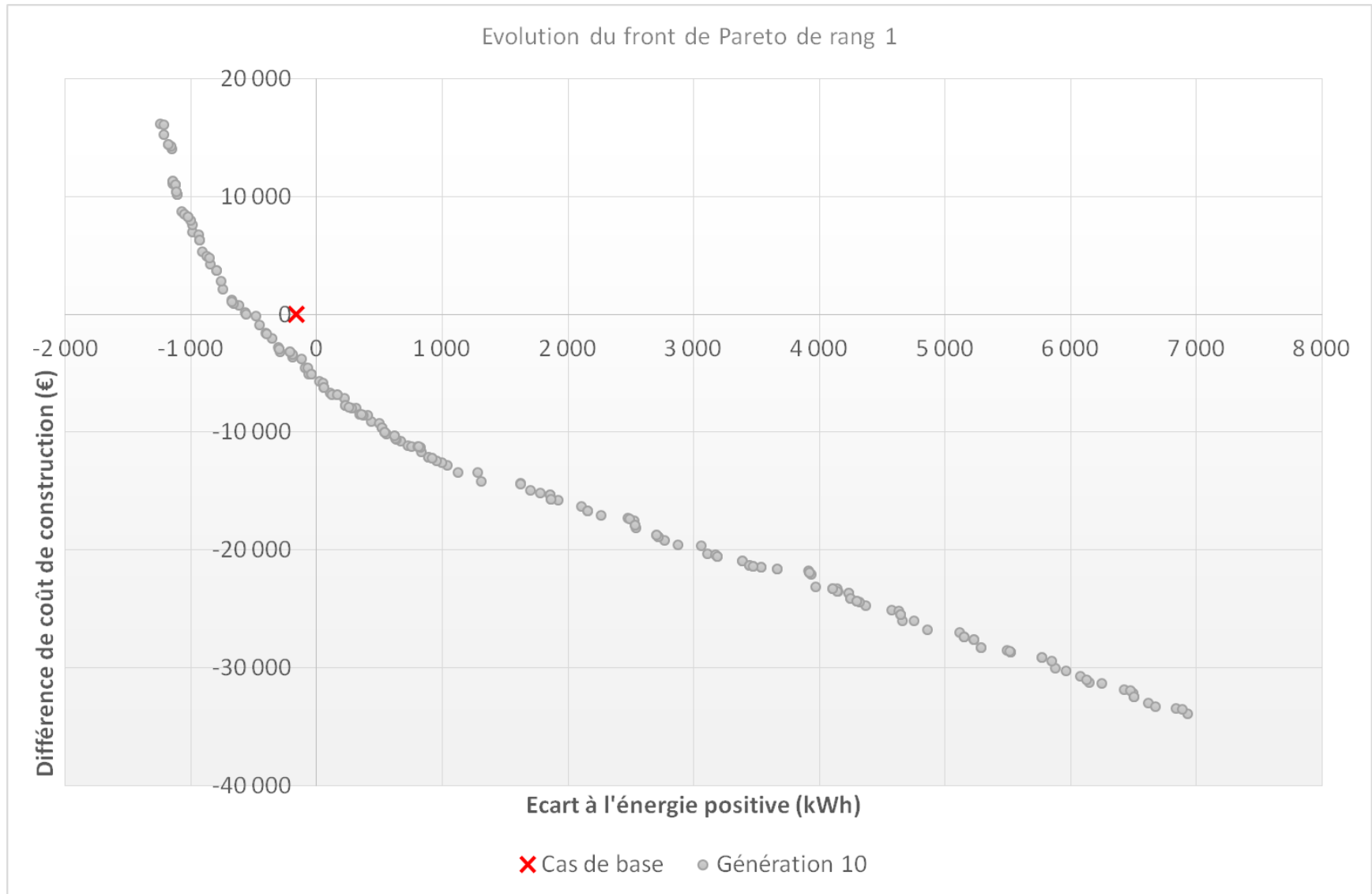


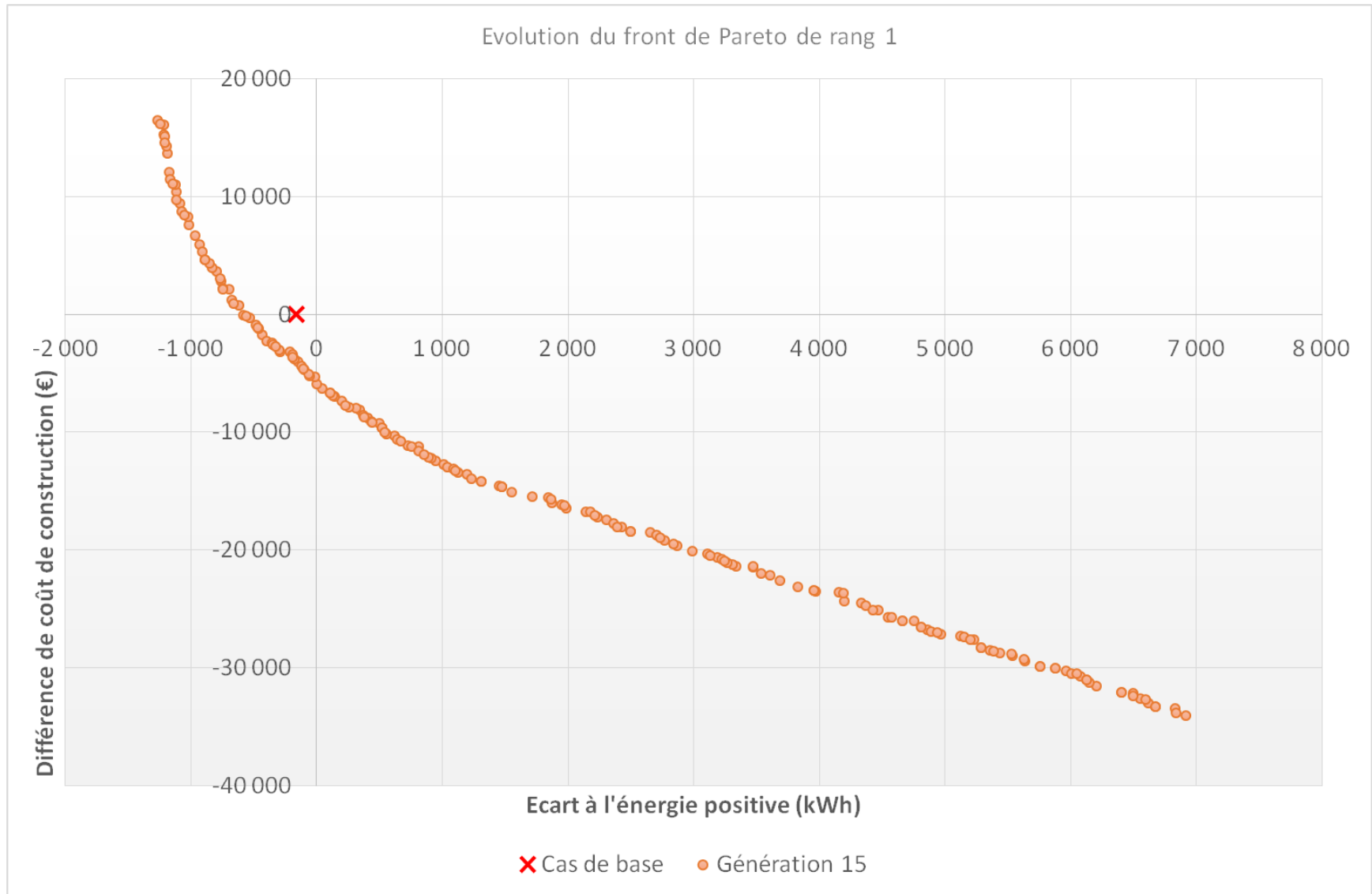
	Paramètre variable	Unité	Valeur de référence	Borne inférieure	Borne supérieure	Nombre de niveaux
1	Epaisseur laine de verre des murs *	cm	22	6 + 8	34 + 8	8
	Epaisseur laine de verre en toiture *	cm	22	6 + 8	34 + 8	8
	Epaisseur polystyrène du plancher bas	cm	26	10	38	8
	Surface de la fenêtre 1	m ²	3	2	5	4
	Surface de la fenêtre 2	m ²	1,46	1,46	2,92	2
2	Surface de la fenêtre 3	m ²	6,88	0	10,5	4
	Surface de la fenêtre 4	m ²	2,71	2,71	5,42	2
	Type de vitrage des fenêtres de la façade nord-est **	-	Double-vitrage	Double-vitrage	Triple-vitrage	2
	Système de ventilation ***	-	Simple-flux	Simple-flux	Double-flux	2
3	Installation d'un récupérateur de chaleur sur eaux grises ****	-	Non	Non	Oui	2
	Nombre de modules photovoltaïques	-	28	1	28	16

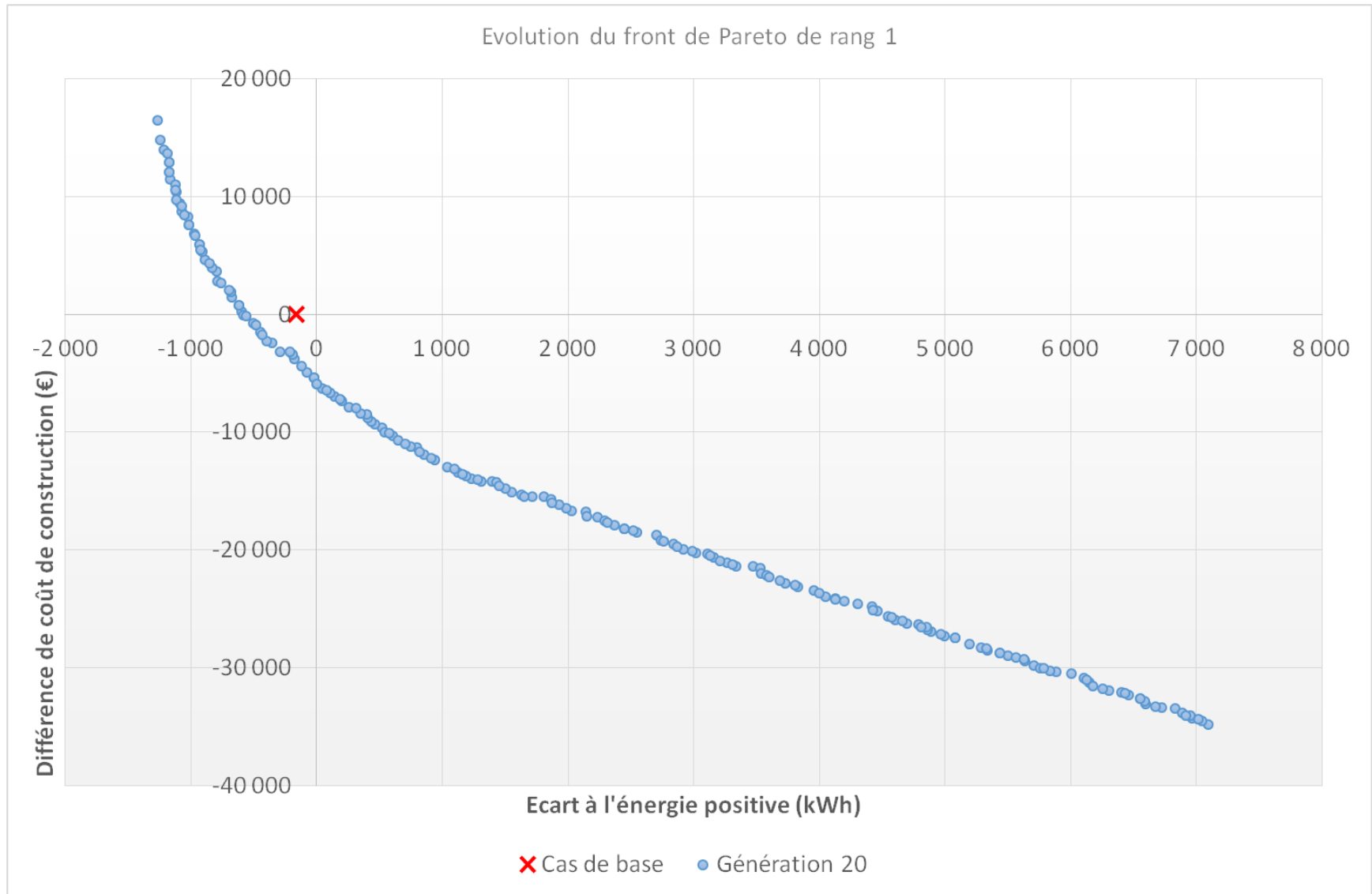


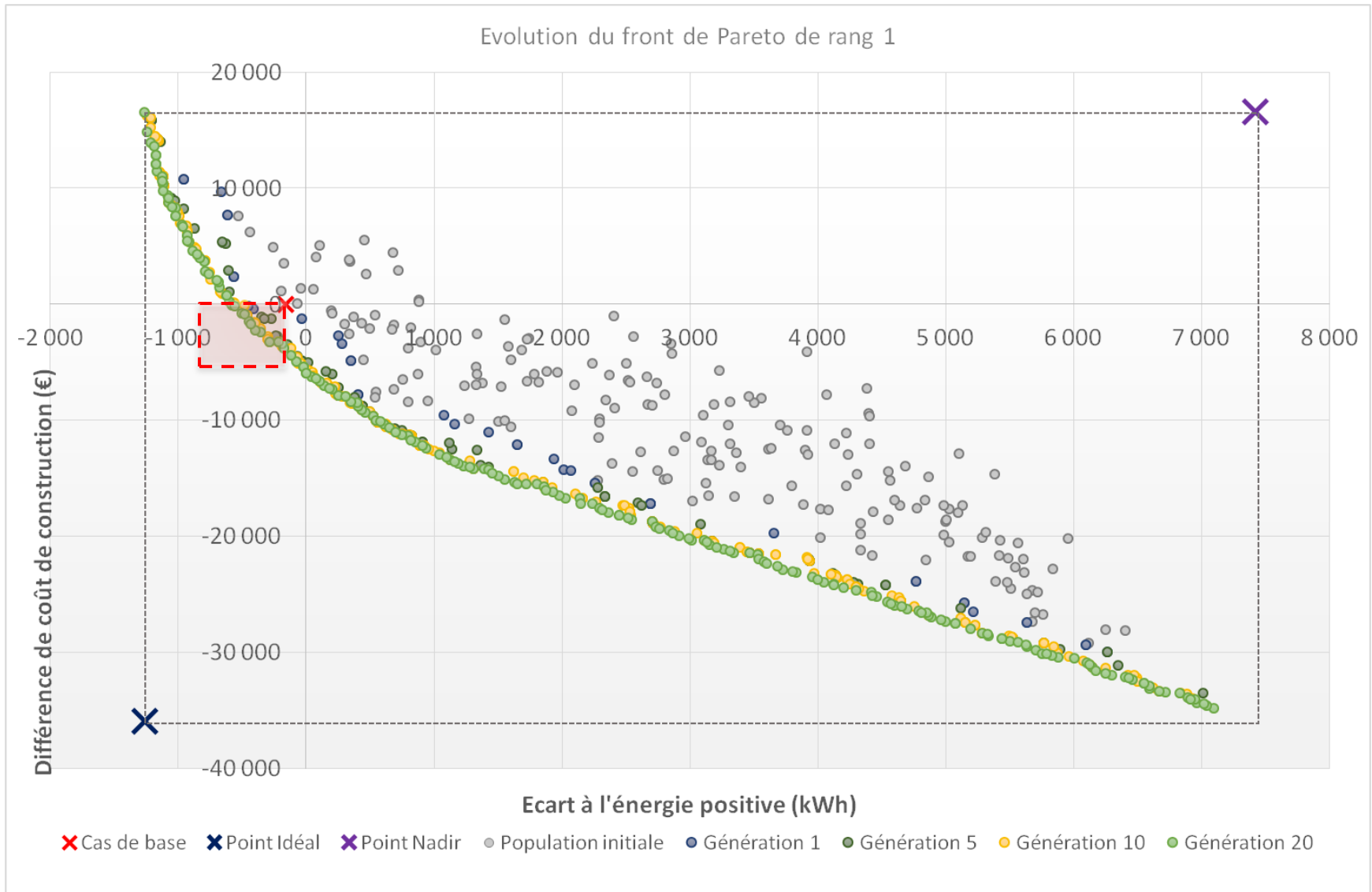


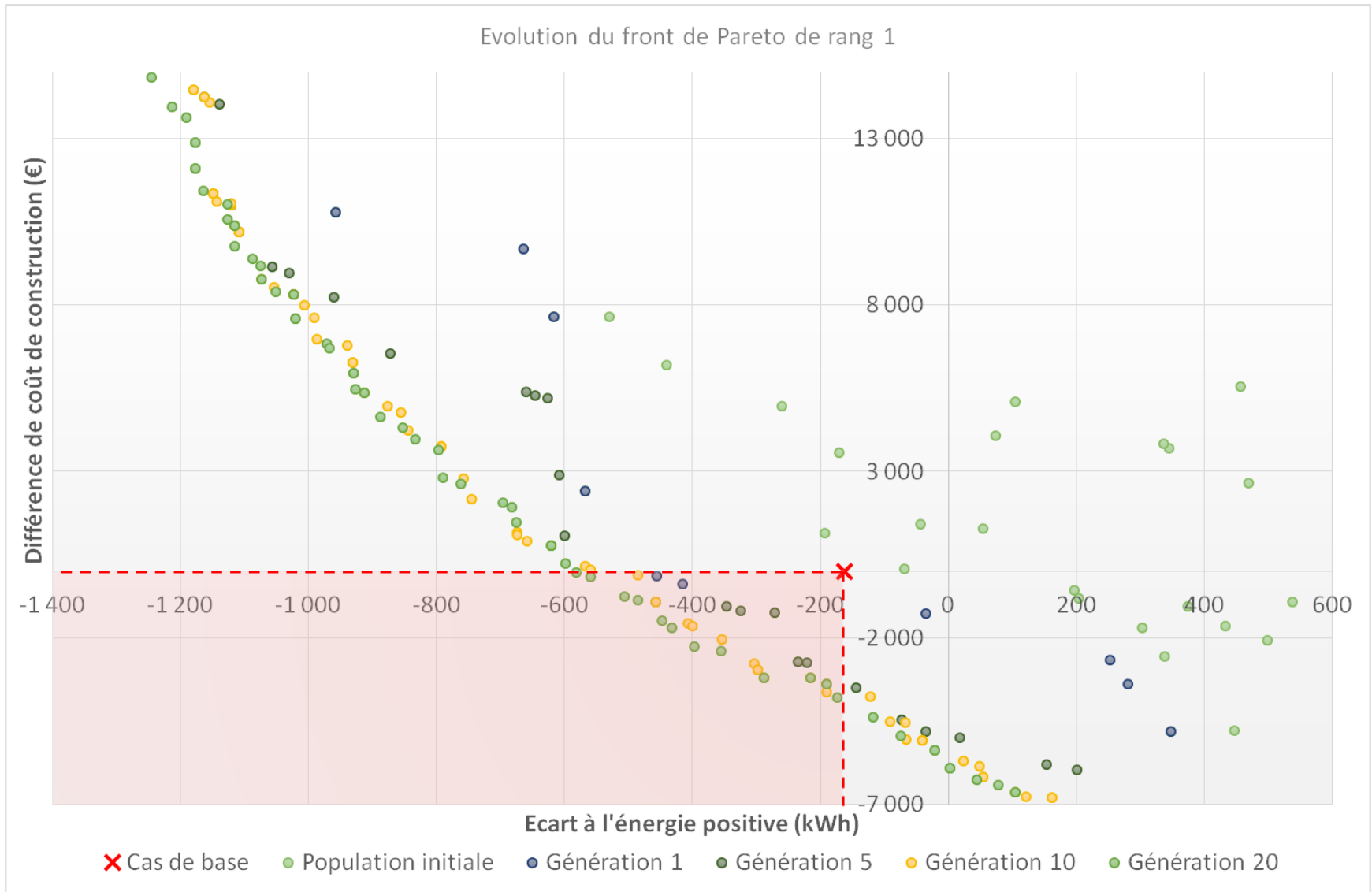




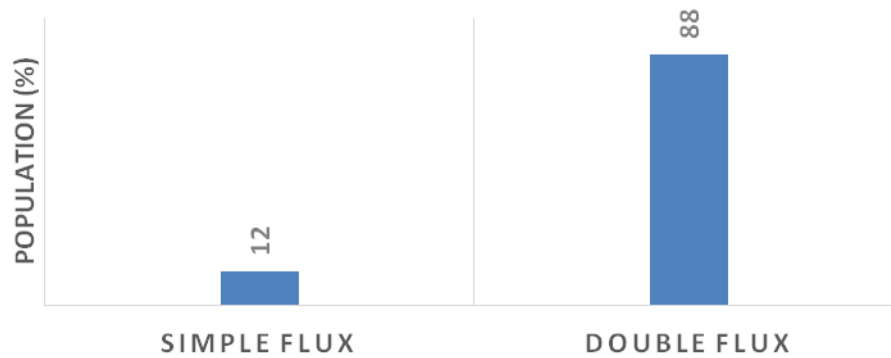








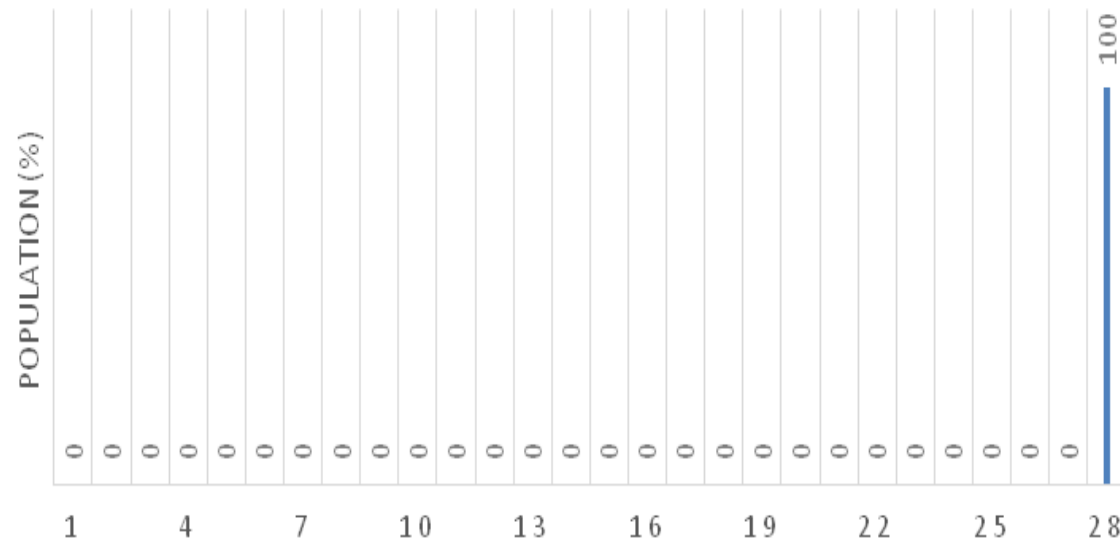
Conception en phase détaillée



Système de ventilation

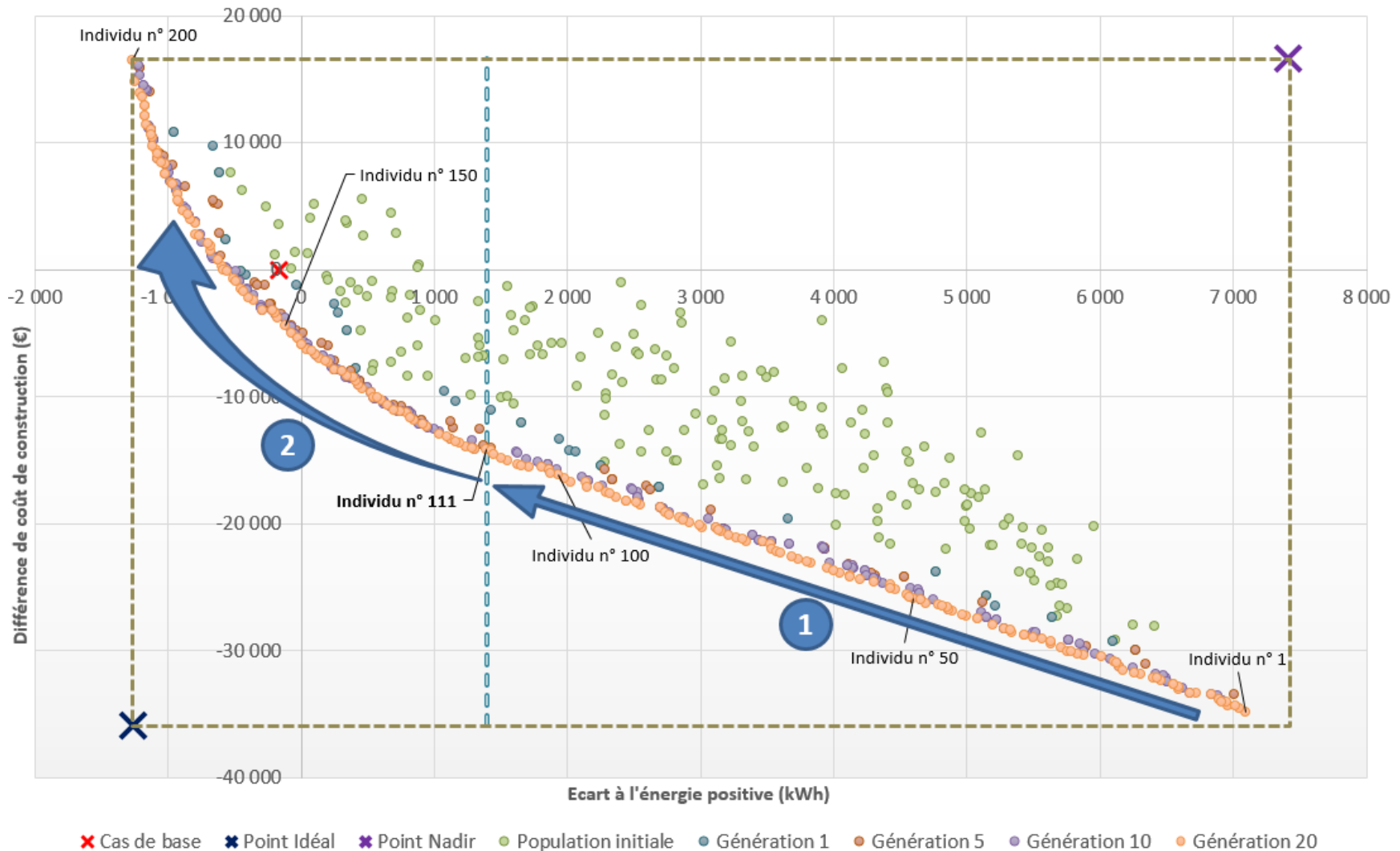


Récupérateur de chaleur sur eaux grises

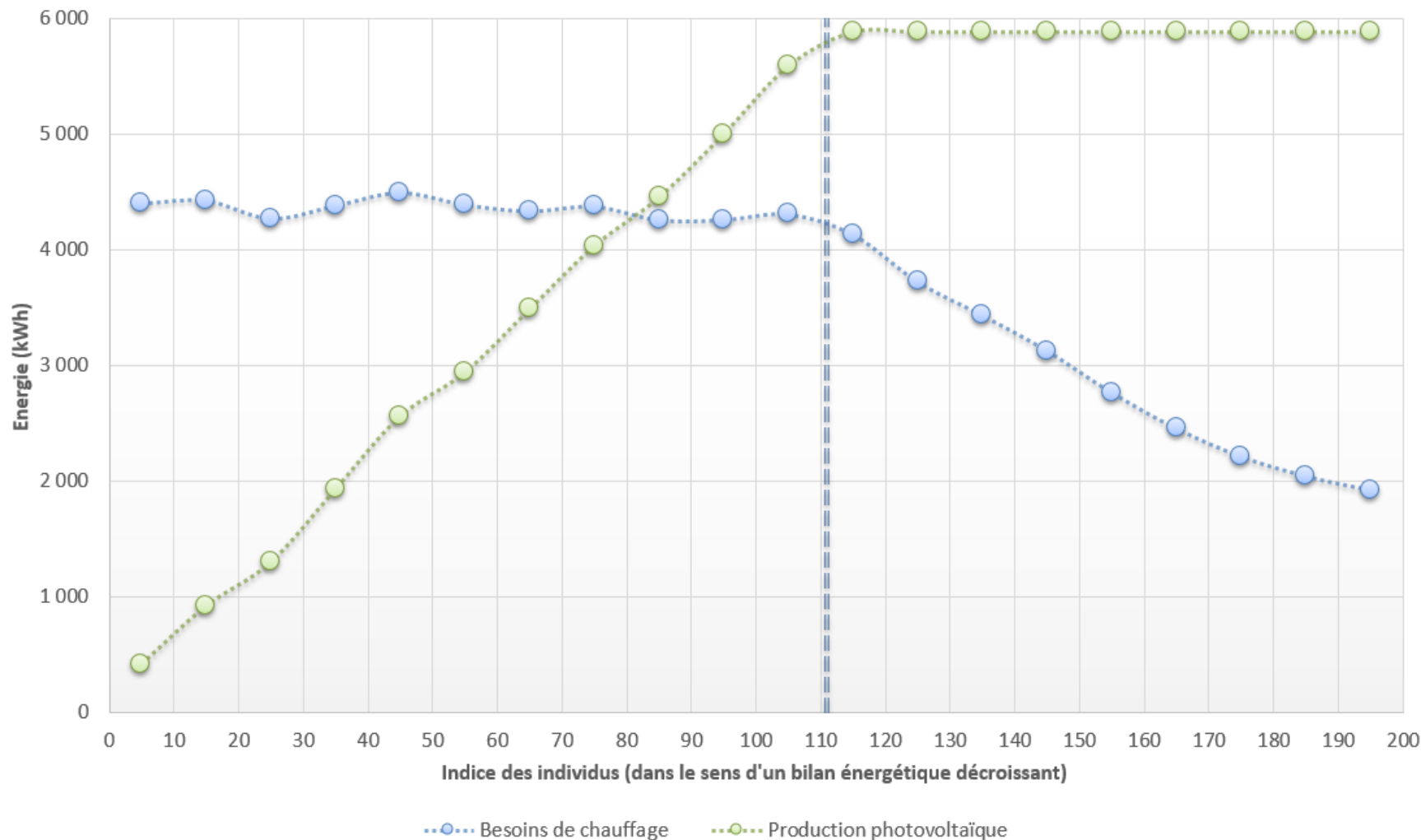


Nombre de modules photovoltaïques

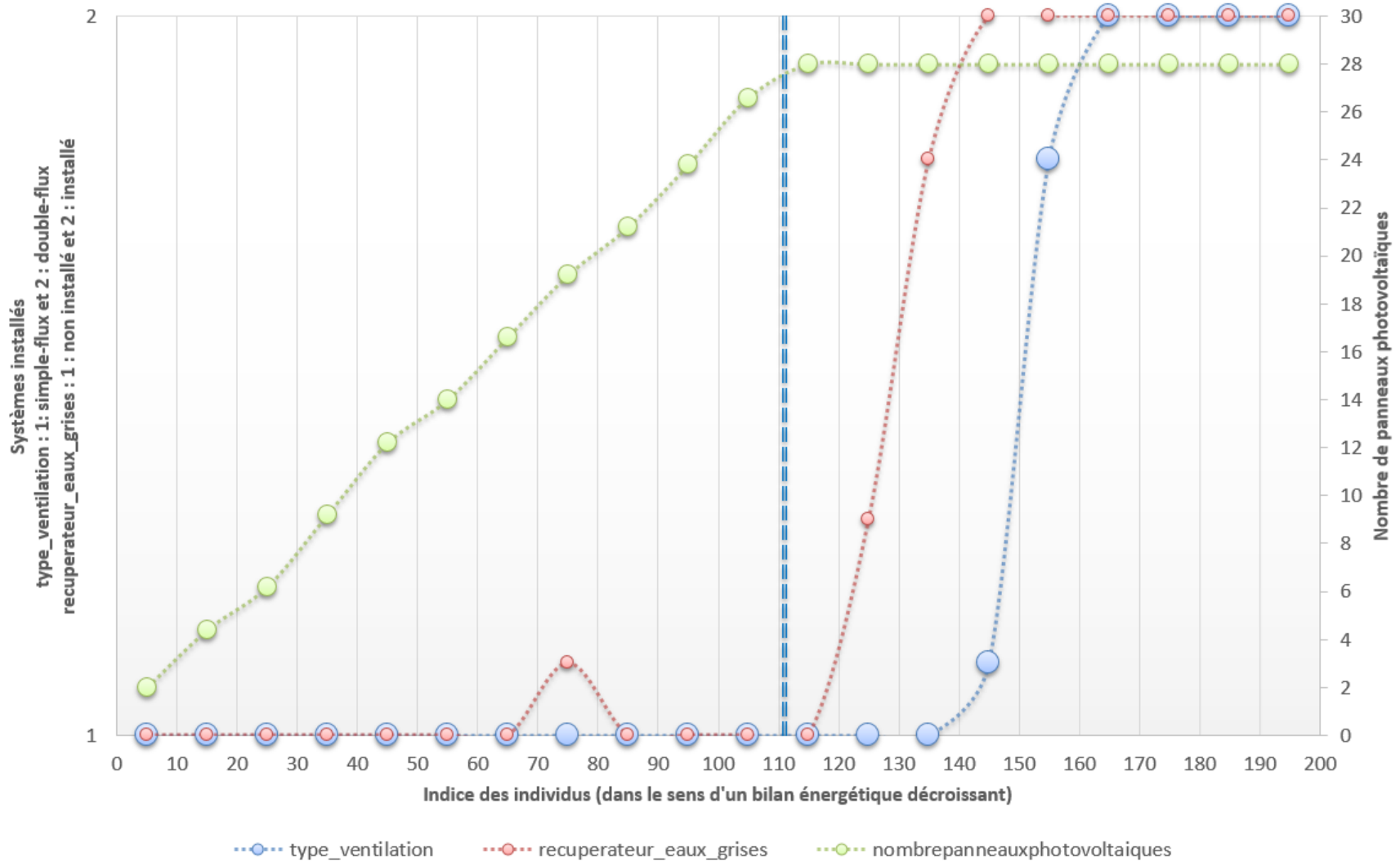
Evolution du front de Pareto de rang 1



Besoin de chauffage et production photovoltaïque
selon individus avec un bilan énergétique décroissant (courbes lissées)



Systèmes installés selon individus avec un bilan énergétique décroissant (courbes lissées)



○ Pertinence de la démarche et choix des méthodes

- **Démarche globale** (pertinence ? autre façon de prendre le problème ?)
- **Criblage de Morris** (pertinence ? critère d'arrêt ? variables catégorielles ?)
- **Algorithme génétique** (pertinence ? critère d'arrêt ? variables mixtes ?)

○ Extraction d'informations à partir des fronts de Pareto

- **Analyses des solutions** (quelles méthodes existantes et adaptées ?)
- **Choix d'une solution** (quelles méthodes existantes et adaptées ?)

○ Etude de la robustesse des solutions

- Prise en compte des **incertitudes en optimisation** :
 - Pour des **données climatiques** ?
 - Pour des **scénarios d'occupation** ?
 - **Intérêt et applicabilité d'un métamodèle** (multicritère ? entrées fonctionnelles/ stochastiques ? entrées discrètes/catégorielles ?)

Merci de votre attention.

○ Pertinence de la démarche et choix des méthodes

- **Démarche globale** (pertinence ? autre façon de prendre le problème ?)
- **Criblage de Morris** (pertinence ? critère d'arrêt ? variables catégorielles ?)
- **Algorithme génétique** (pertinence ? critère d'arrêt ? variables mixtes ?)

○ Extraction d'informations à partir des fronts de Pareto

- **Analyses des solutions** (quelles méthodes existantes et adaptées ?)
- **Choix d'une solution** (quelles méthodes existantes et adaptées ?)

○ Etude de la robustesse des solutions

- Prise en compte des **incertitudes en optimisation** :
 - Pour des **données climatiques** ?
 - Pour des **scénarios d'occupation** ?
 - **Intérêt et applicabilité d'un métamodèle** (multicritère ? entrées fonctionnelles/ stochastiques ? entrées discrètes/catégorielles ?)