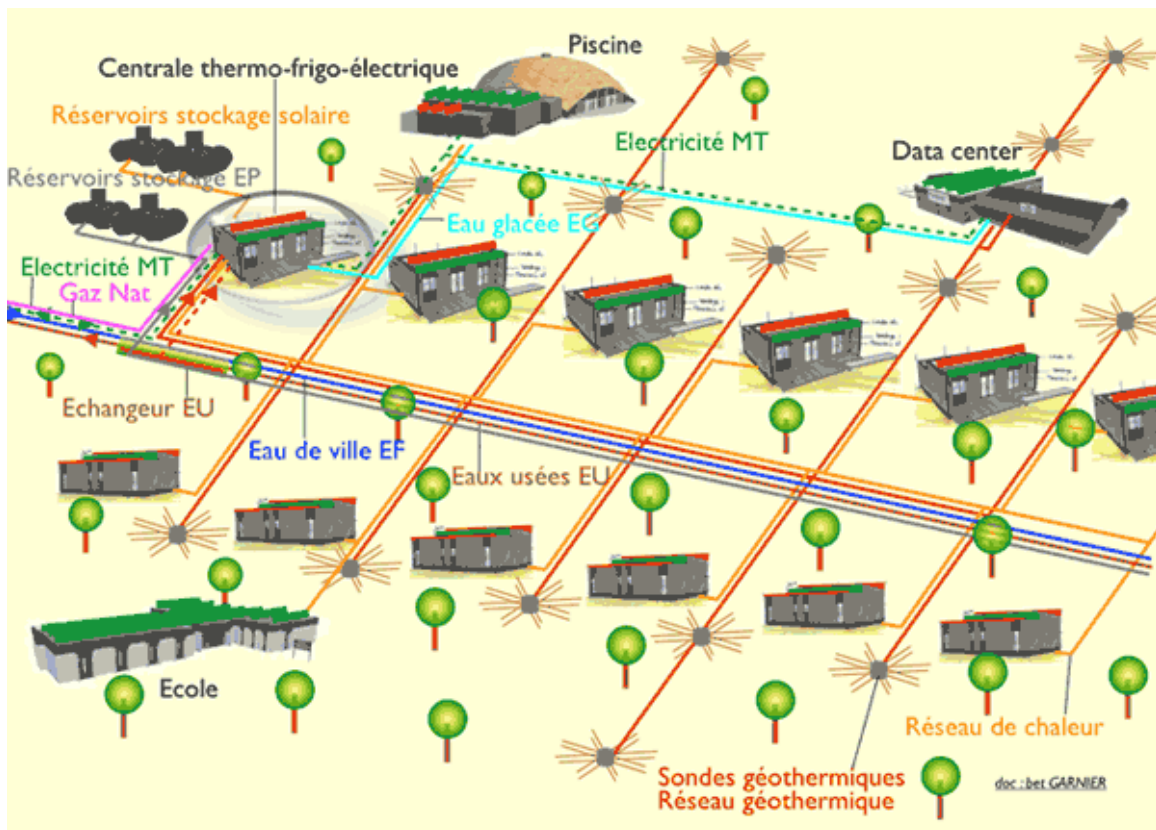


| TECHNOLOGIE UTILISEE OU GENERIQUE | SYSTEME DE CASCADE ET D'OPTIMISATION ENERGETIQUE |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type d'usage Collectif Individuel | La cascade d'énergie (ou optimisation énergétique) passe par la mutualisation des équipements thermiques et les synergies entre les habitants au niveau de l'usage collectif. L'implantation des équipements des systèmes de production, à l'échelle de l'îlot ou/et du quartier doit permettre des économies du fait du foisonnement des besoins et doit permettre d'augmenter l'efficacité énergétique des systèmes (cf. partie « Description synthétique » pour la définition de l'efficacité). Les systèmes de cascade au niveau individuel consistent à développer l'usage de cycles en cascade, ou combinés, comme pour des chaufferies ou centrales électriques à cycles combinés, permettant des gains de rendement de production. |

Schéma de principe : Figure 1. Schéma de principe de l'écoquartier utilisant les **synergies** (Source BET GARNIER à REIMS)



Explications sur les synergies dans le cadre de systèmes de production d'énergie en cascade (vision d'un écoquartier qui serait exemplaire) :

- Capteurs solaires photovoltaïques (en vert) installés sur l'ensemble des maisons et bâtiments.
- Capteurs solaires thermiques basse température (en rouge) installés sur les maisons et les bâtiments ayant des besoins continus.
- Chaleur perdue provenant des bâtiments tertiaires (groupes froid) récupérée et dirigée sur une centrale thermo-frigo-électrique : principe de trigénération (production combinée de chaud, de froid et d'électricité). Cette centrale pourra comporter un système thermodynamique pour dynamiser la chaleur basse température récupérée des eaux usées. La production de froid de cette centrale sera utilisée dans les bâtiments collectifs tels que bureaux, hôpitaux, data center, piscine (déshumidification avec gain possible de 40%).
- Eaux pluviales stockées à la centrale, pouvant servir au nettoyage de la voirie et à l'arrosage des espaces verts. Elles pourront aussi servir de tampon thermique pour la chaleur perdue avec l'aide d'échangeurs.
- La chaleur de réjection provenant des condenseurs des groupes de froid ou des machines à absorption sera utilisée pour la production de l'eau chaude sanitaire et le réchauffage des bassins de la piscine en été. En

hiver, elle permettra également le préchauffage ou le chauffage des bâtiments si ceux-ci comportent des émetteurs à basse température.

- La centrale pourra être équipée de capteurs solaires thermiques haute température (sous vide ou à concentrateur) de façon à pouvoir produire le froid et le chaud en été, le froid étant réalisé au moyen de machines à absorption. Si c'est nécessaire, l'appoint peut être réalisé à partir d'une chaufferie biomasse.

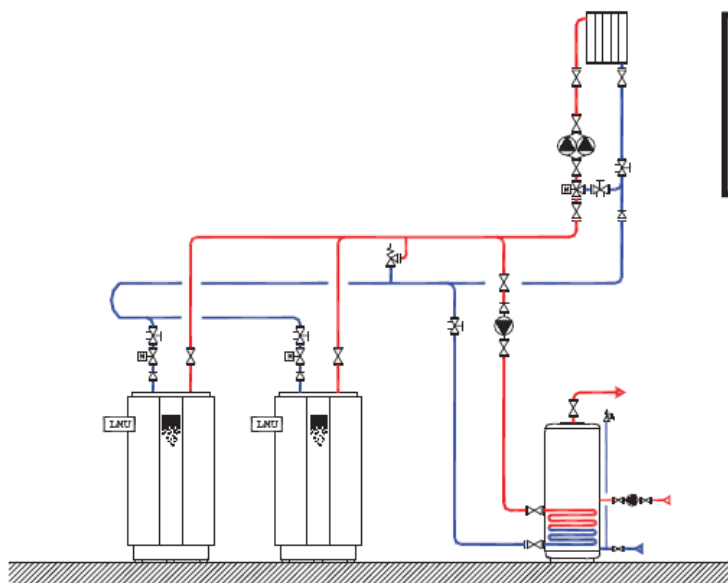
Description synthétique (Source BET GARNIER à REIMS) :

La cascade d'énergie (ou optimisation énergétique) utilise tour à tour et intelligemment les EnR ou énergies perdues et en fin de cycle les énergies fossiles en vue de tirer un maximum d'efficacité énergétique. Cette efficacité maximale est obtenue par la dégradation séquentielle ou l'appauvrissement de la quantité et qualité de l'énergie au cours de chaque besoin thermique. Les systèmes en cascade, coté des besoins, ont recours à des montages en dérivation ou en injection de façon à consommer un maximum des EnR, à revenir à basse température et offrir la possibilité d'un débit variable ce qui diminue les pertes de distribution et favorise la condensation et donc l'efficacité énergétique.

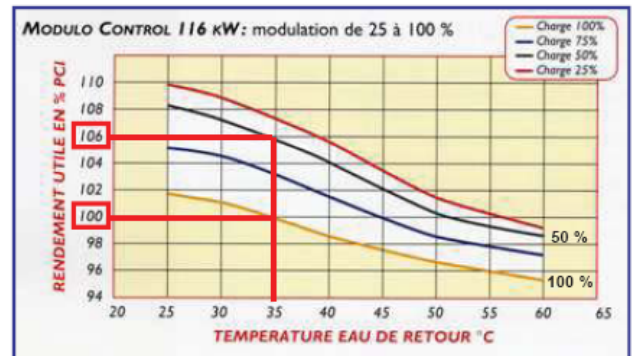
Définition de l'efficacité (Source Wikipédia Fr) : L'efficacité est la qualité d'un rendement permettant de réaliser un objectif avec le minimum de moyens engagés. Il ne doit pas se confondre avec l'efficacité, qui ne mesure que l'atteinte d'un objectif sans précision des moyens utilisés.

Exemple d'intégration : Comment par exemple gagner des points de rendement avec des chaudières à plus faible taux de charge (Source Association ICO) :

Privilégier une régulation des chaudières en cascade parallèle



Hypothèses :
 50 % de besoins en puissance
 T°retour = 35°C



Soit 50% sur chaque chaudière = cascade parallèle ? ➔ 2 chaudières à 50% = 106% PCI

Soit 1 chaudière à 100% = cascade hiérarchique ? ➔ 1 chaudière à 100% = 100% PCI

Figure 2. Schéma de principe d'une chaufferie alimentant un réseau de chauffage et une distribution d'eau chaude sanitaire (Source Association ICO avec la participation d'Atlantic-Guillot)

L'exemple ci-dessus montre que la gestion intelligente d'une production de chaleur à l'aide de 2 chaudières à la place d'une seule, aura un meilleur rendement.

Remarque (Source Wikipédia) : **Le pouvoir calorifique inférieur** (PCI, en anglais, lower heating value : LHV) est une propriété des combustibles. Il s'agit de la « quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée et la chaleur non récupérée ». Par hypothèse, l'énergie de vaporisation de l'eau dans le combustible et les produits de réaction ne sont pas récupérés.

Cette mesure est pratique lorsqu'il s'agit de comparer des combustibles où la condensation des produits de combustion est difficile ou qu'une température plus basse que 150 °C ne peut servir.

Le PCI est surtout utilisé en Europe. Aux États-Unis, c'est le **pouvoir calorifique supérieur** qui est surtout utilisé (PCS, en anglais ; higher heating value : HHV). Il s'agit de la « quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée ».

Ainsi, le rapport PCS/PCI de chaque combustible est recherché de façon optimale, avec pour chacun une température de rosée spécifique. L'objectif est d'utiliser la condensation pour exploiter complètement la chaleur sensible et la chaleur latente : cf. Figure 3. ci-après.

| Nom | PCS (MJ/kg) | PCI (MJ/kg) | PCS/PCI | PCI/PCS |
|--------------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| Charbon ¹ | 34,1 | 33,3 | 1,024 | 0,977 |
| CO | 10,9 | 10,9 | 1,000 | 1,000 |
| Méthane | 55,5 | 50,1 | 1,108 | 0,903 |
| Gaz naturel ² | 42,5 | 38,1 | 1,115 | 0,896 |
| Propane | 48,9 | 45,8 | 1,068 | 0,937 |
| Essence ³ | 46,7 | 42,5 | 1,099 | 0,910 |
| Diesel ³ | 45,9 | 43,0 | 1,067 | 0,937 |
| Hydrogène | 141,9 | 120,1 | 1,182 | 0,846 |

1. Anthracite, moyenne
 2. En provenance de Groningen, Pays-Bas
 3. Une moyenne des produits vendus au grand public

Tableau 1. Pouvoir calorifique de quelques combustibles

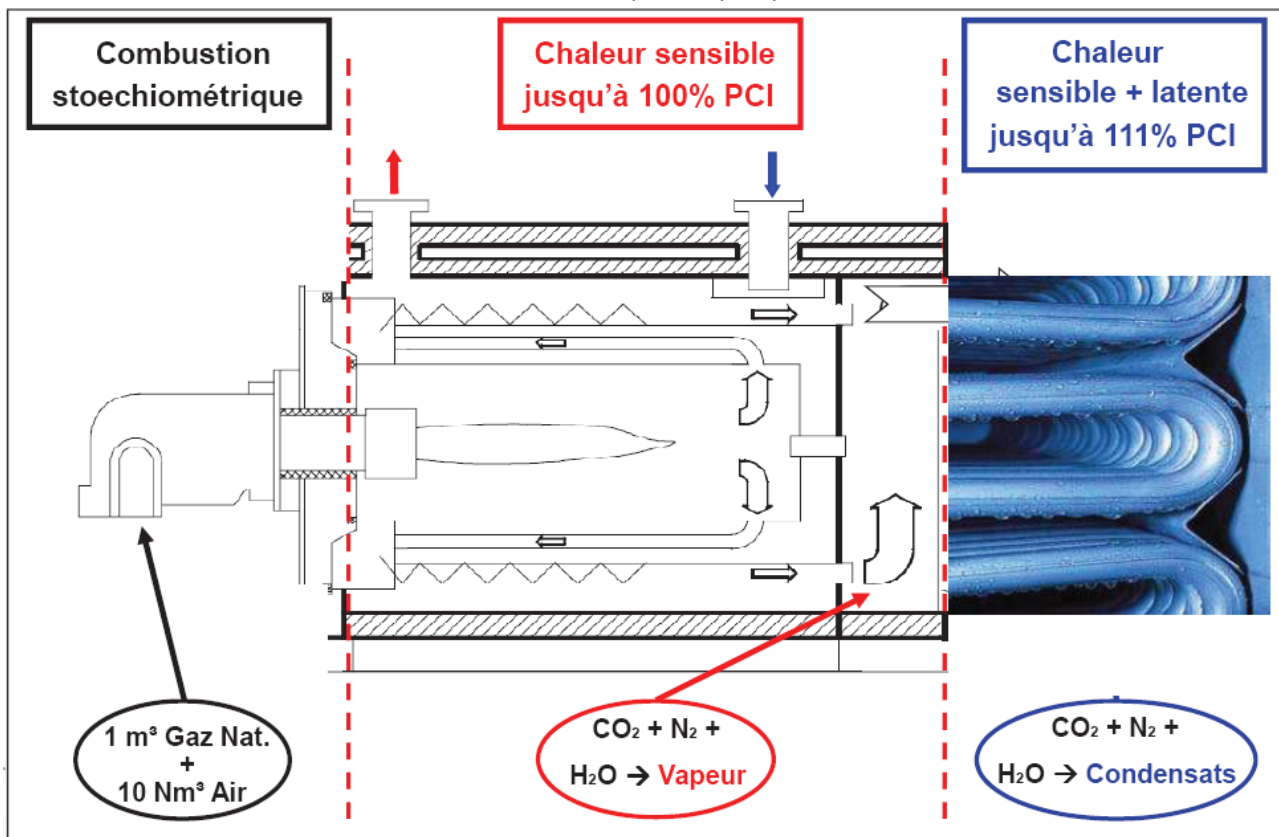


Figure 3. Principe de la condensation (Source Association ICO avec la participation d'Atlantic-Guillot)

Liste des EQs utilisant cette technologie :

Pour l'Europe :

- Poblenou, BARCELONE
- Vauban, FRIBOURG
- Hammarby, Stockholm

Pour la France :

A priori pas de système de cascade et d'optimisation énergétique identifié

Opérateurs (nom et nature)

Conception A remplir par le groupe qui focalise sur le jeu des acteurs

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Réalisation | |
| Exploitation | |
| <p>Variantes des solutions retenues dans les EQs :</p> <p>Pour l'Europe :</p> <p>Poblenou, BARCELONE : Chaleur produite à partir de la vapeur de l'usine de traitement des déchets.</p> <p>Vauban, FRIBOURG : Projet pilote de système de bio-épuration : les eaux noires sont aspirées par un système sous vide vers un puits de biogaz où les matières solides fermentent en milieu anaérobie avec les déchets organiques ménagers, générant du biogaz qui est utilisé pour les cuisinières. Les eaux grises restantes sont nettoyées par des plantes filtrantes et réinjectées dans le cycle de l'eau.</p> <p>Hammarby, Stockholm : Deux chaufferies de quartier centralisées : énergie récupérée de l'incinération des déchets et énergie récupérée de l'épuration des eaux.</p> <p>Pour la France :</p> <p>A priori pas de système de cascade et d'optimisation énergétique identifié</p> | |
| Domaines pertinents | L'utilisation de systèmes intelligents de cascade et d'optimisation énergétique s'apparente beaucoup au Smart Grid ou/et Smart Building, permettant de gérer les sources et besoins en termes d'électricité et de chaleur. A ce titre, la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid » est à consulter. |
| Limites d'utilisation | Les systèmes intelligents existants ou en cours de développement doivent permettre d'augmenter la durée de vie des matériels, et d'effectuer un état permanent de la maintenance préventive. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |
| Contribution à la mutualisation des besoins | La cascade d'énergie (ou optimisation énergétique) est par essence même la mise en commun de chaleur ou de froid perdu, et de la production d'une partie d'électricité (revente ou secours) par la récupération d'énergie thermique. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |
| Stockage d'énergie | De par la mutualisation de divers systèmes techniques, le stockage thermique ou électrique est essentiel surtout pour utiliser au bon moment la part d'énergie renouvelable. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |
| Coût d'investissement (€/kW) | Voir la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |
| Charges de fonctionnement (€/kWh) | Voir la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |
| Niveau de maturité | Les systèmes de cascade et d'optimisation énergétique en cours de développement, utilise forcément la gestion dynamique du bâtiment (GDB), qui doit être capable de préparer et de protéger les bâtiments des conditions atmosphériques nuisibles au confort, de réaliser le bilan thermique des besoins et des stockages et de les gérer, d'être informé en permanence de la prévision météorologique sur plusieurs jours et de réaliser la cascade énergétique (optimisation énergétique). Dans un futur proche, ces systèmes de cascade et d'optimisation énergétique devront permettre la réalisation d'un DPE (Diagnostic de Performance Energétique) permanent et bien sûr annuel. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |
| Détails qualitatifs | Les systèmes de cascade et d'optimisation énergétique étant mutualisés sont mieux suivis et sont donc plus pérennes. Voir également la fiche détaillée « Gestion des réseaux électriques et/ou de chaleur ou Smart Grid ». |