



Club de la Performance Énergétique Micro et minicogénération à moteur à combustion interne gaz naturel



- 1 - Connaître les bases de la micro et minicogénération
- 2 - Préparer une étude : les éléments de faisabilité à considérer
- 3 - Mener un projet : de la conception à la maintenance

1 - Connaître les bases de la micro et minicogénération



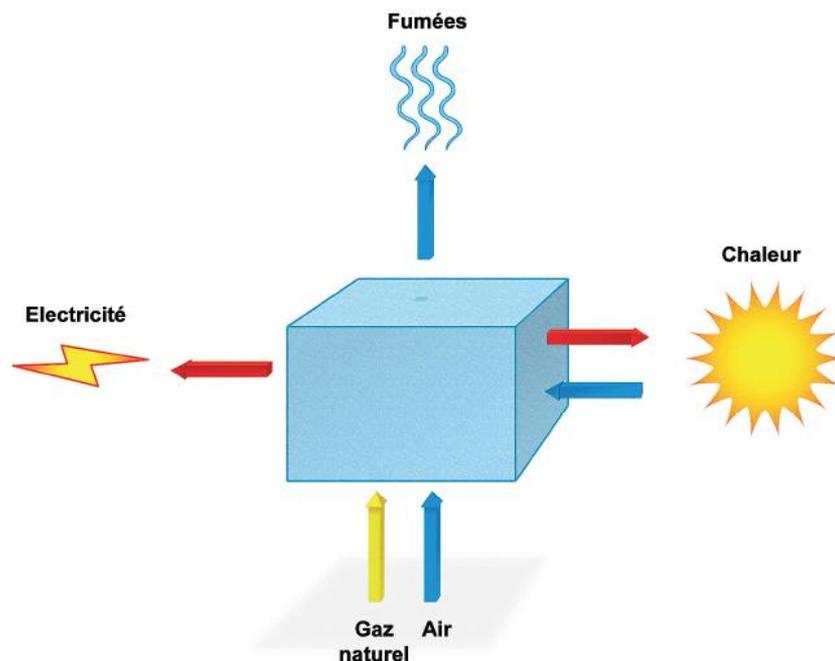
La cogénération est la production simultanée d'une énergie thermique et une énergie mécanique à partir d'une même énergie primaire

Dans notre cas :

L'énergie thermique est utilisée pour produire de la chaleur

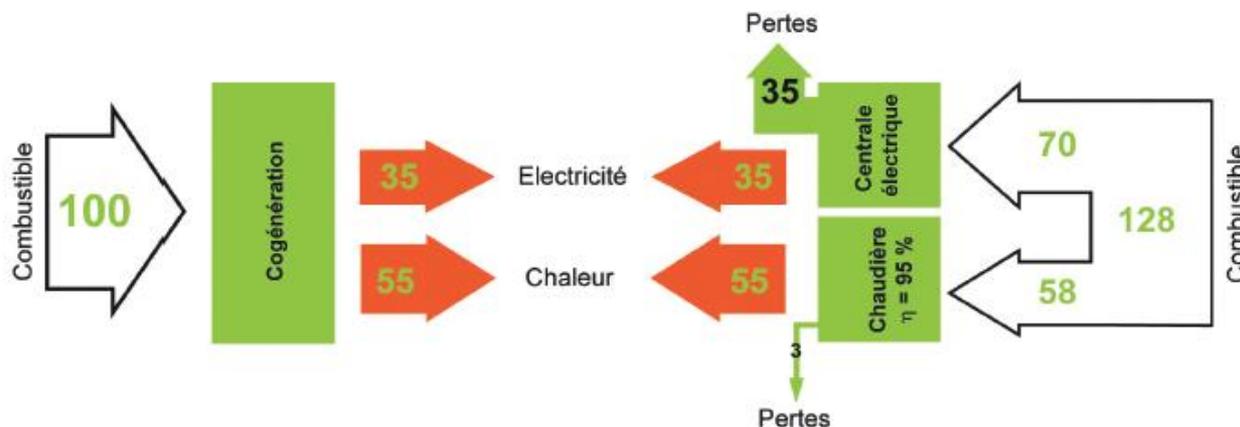
L'énergie mécanique est utilisée pour produire de l'électricité au travers d'un alternateur

L'énergie primaire est le gaz naturel



Le principal intérêt de la cogénération est sa haute efficacité énergétique

Entre 20% et 30% plus efficace que des productions séparées



Une production locale, au plus proche du lieu de consommation, qui réduit les pertes en ligne

Une production *complémentaire* aux productions d'électricité EnR pour réduire la pointe saisonnière et gérer les intermittences de disponibilité

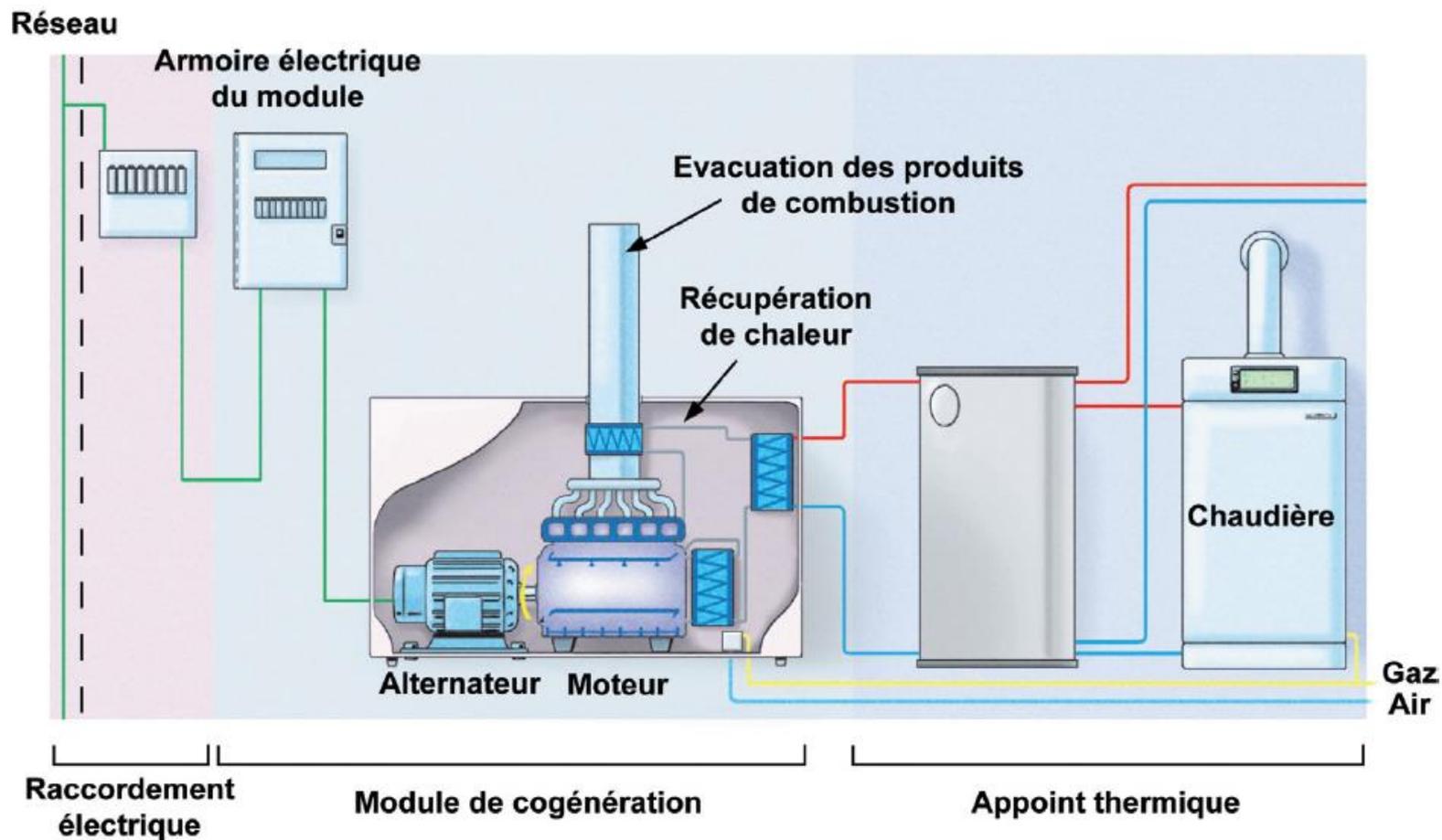
Les cogénérations en France sont classées en catégories selon leurs puissances

La microcogénération est définie pour une puissance inférieure à 36 kVA

La minicogénération est définie pour une puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA

Catégorie de cogénération	Gamme de puissance
Grosse	> 12 MW
Moyenne	1 à 12 MW
Petite	250 kVA à 1 MW
Mini	36 à 250 kVA
Micro	< 36 kVA

Le module de cogénération est l'élément central d'une installation de cogénération



La cogénération peut répondre à plusieurs besoins sur différents types de bâtiments

La production thermique (90°C max) est utilisée pour le chauffage et/ou l'ECS

La production électrique (BT) est autoconsommée et/ou revendue sur le réseau

La cogénération concerne la construction neuve ou les projets de rénovation sur les secteurs d'activité suivants (les plus favorables) :

Habitat collectif

Piscines

Bureaux

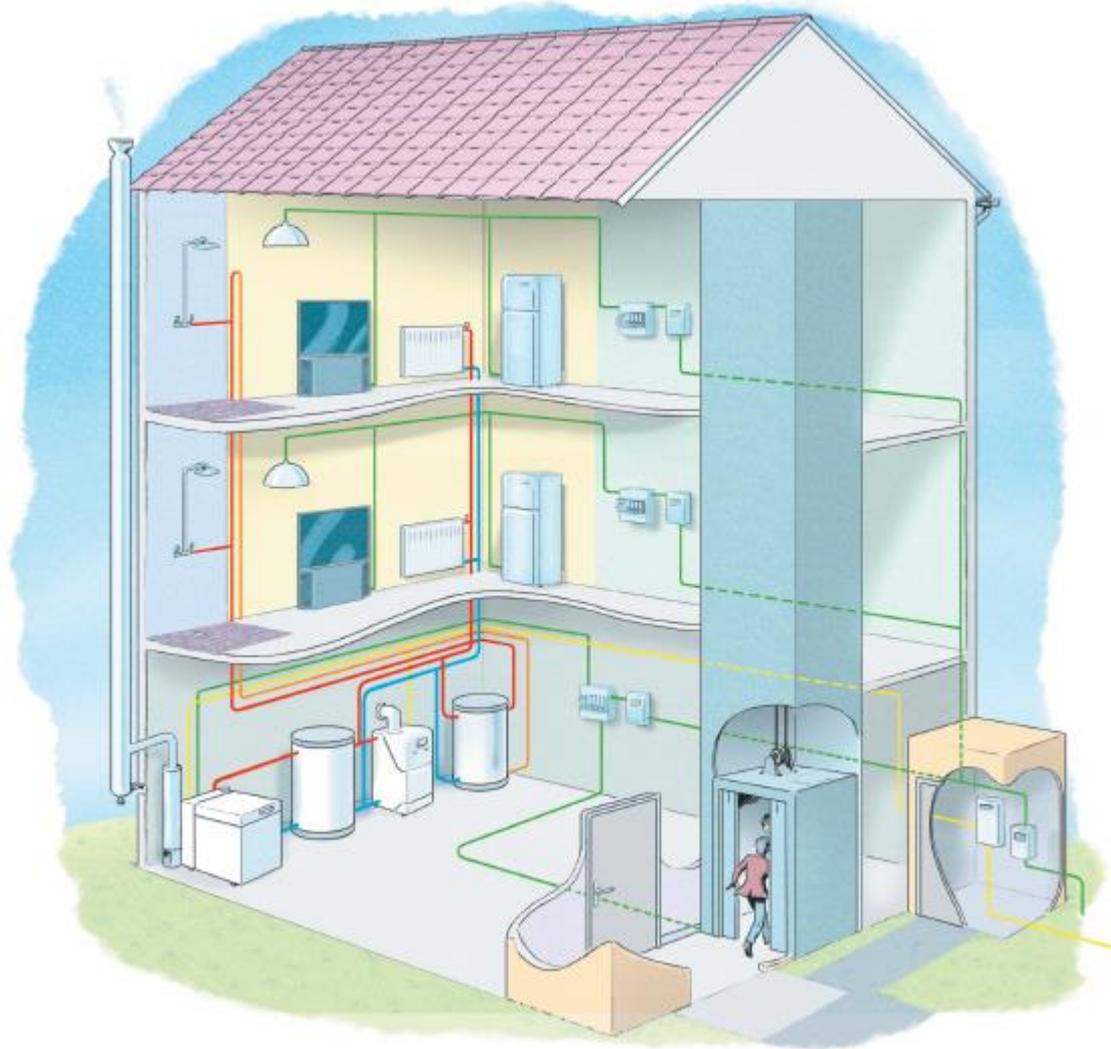
Hôtels

Etablissements d'enseignement

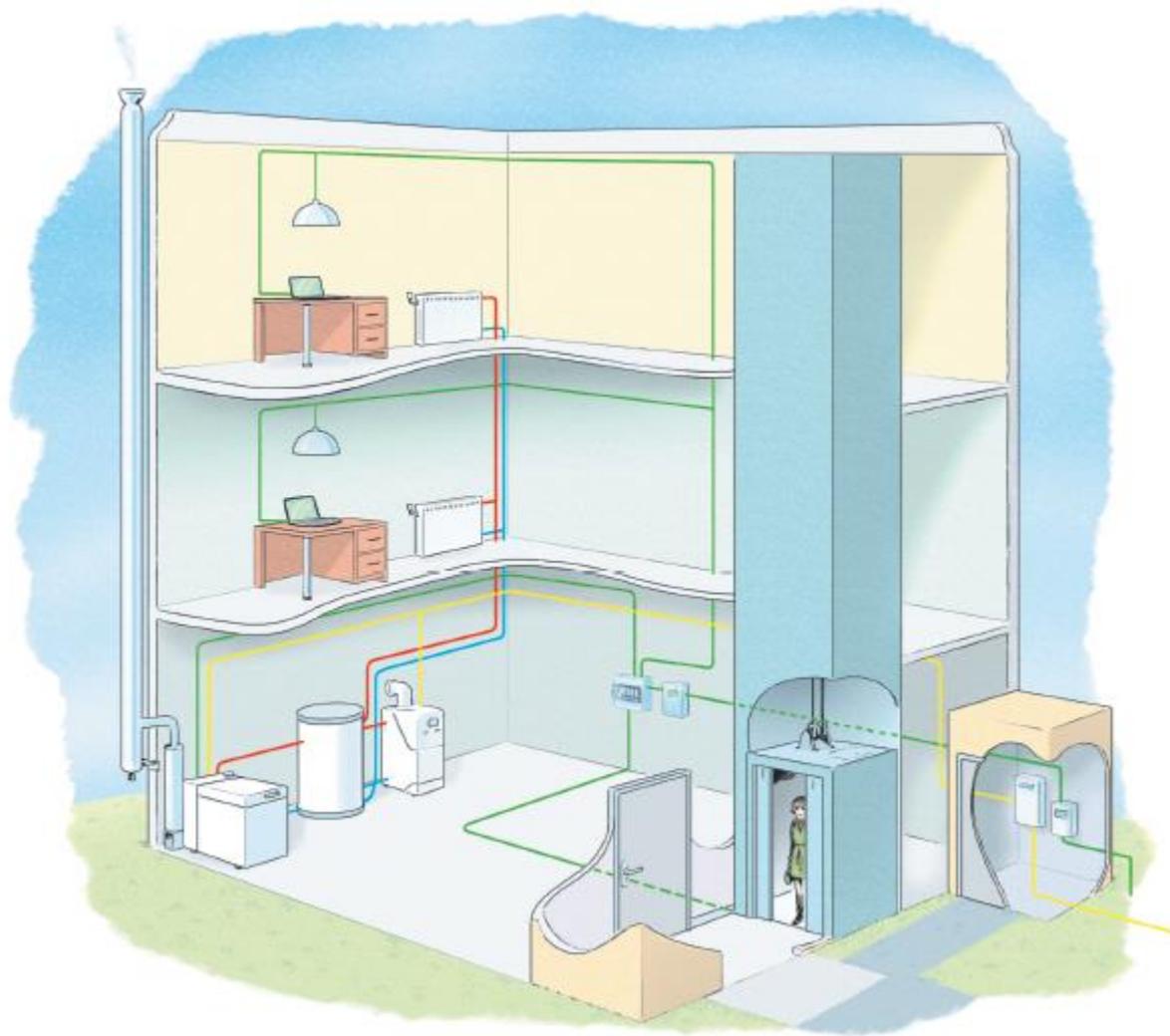
Etablissements de santé



Exemple dans un immeuble d'habitation



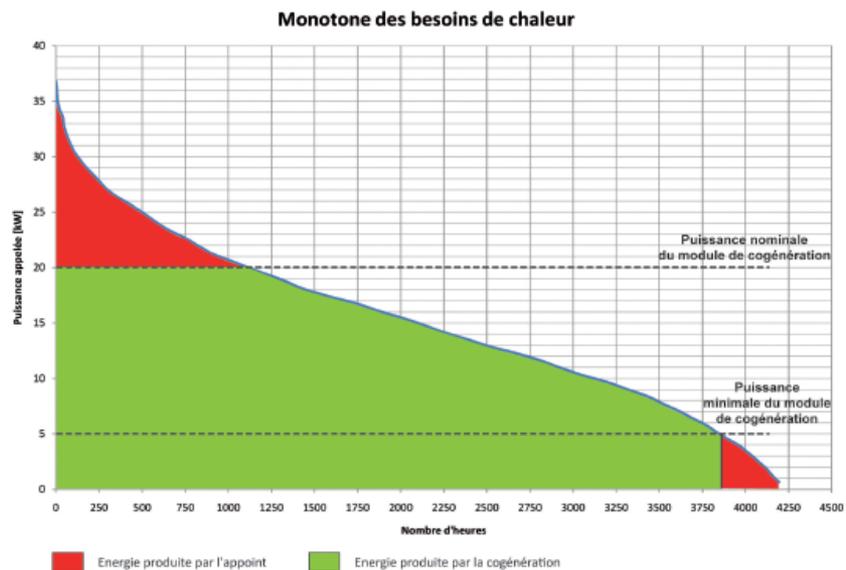
Exemple dans des bureaux



Chaleur : nécessité d'un appoint thermique

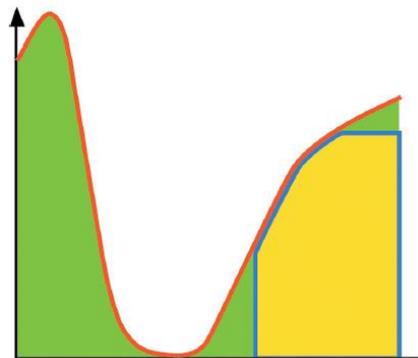
Pour obtenir les meilleures performances possibles, la cogénération joue le rôle de base thermique

Un appoint thermique (1 ou 2 chaudières) couvre les pointes

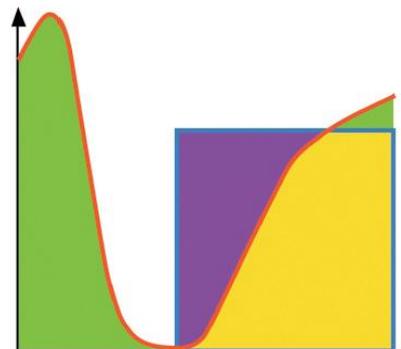


L'appoint thermique permet également de disposer d'une production lors des phases de maintenance de la cogénération

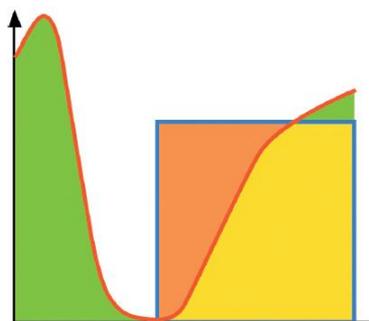
Electricité : 4 possibilités pour la valoriser



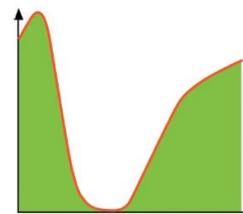
Autoconsommation totale
(sans réinjection sur le réseau)



Autoconsommation avec réinjection
Avec revente sur le réseau du surplus de production



Autoconsommation avec réinjection sans revente
sur le réseau du surplus de production



Revente de la totalité
de l'électricité produite

- Production électrique
- Profil des besoins électriques
- Électricité achetée au réseau
- Électricité réinjectée sur le réseau sans revente
- Électricité autoconsommée
- Électricité revendue

Electricité: le choix de la valorisation dépend principalement du seuil de 36 kVA

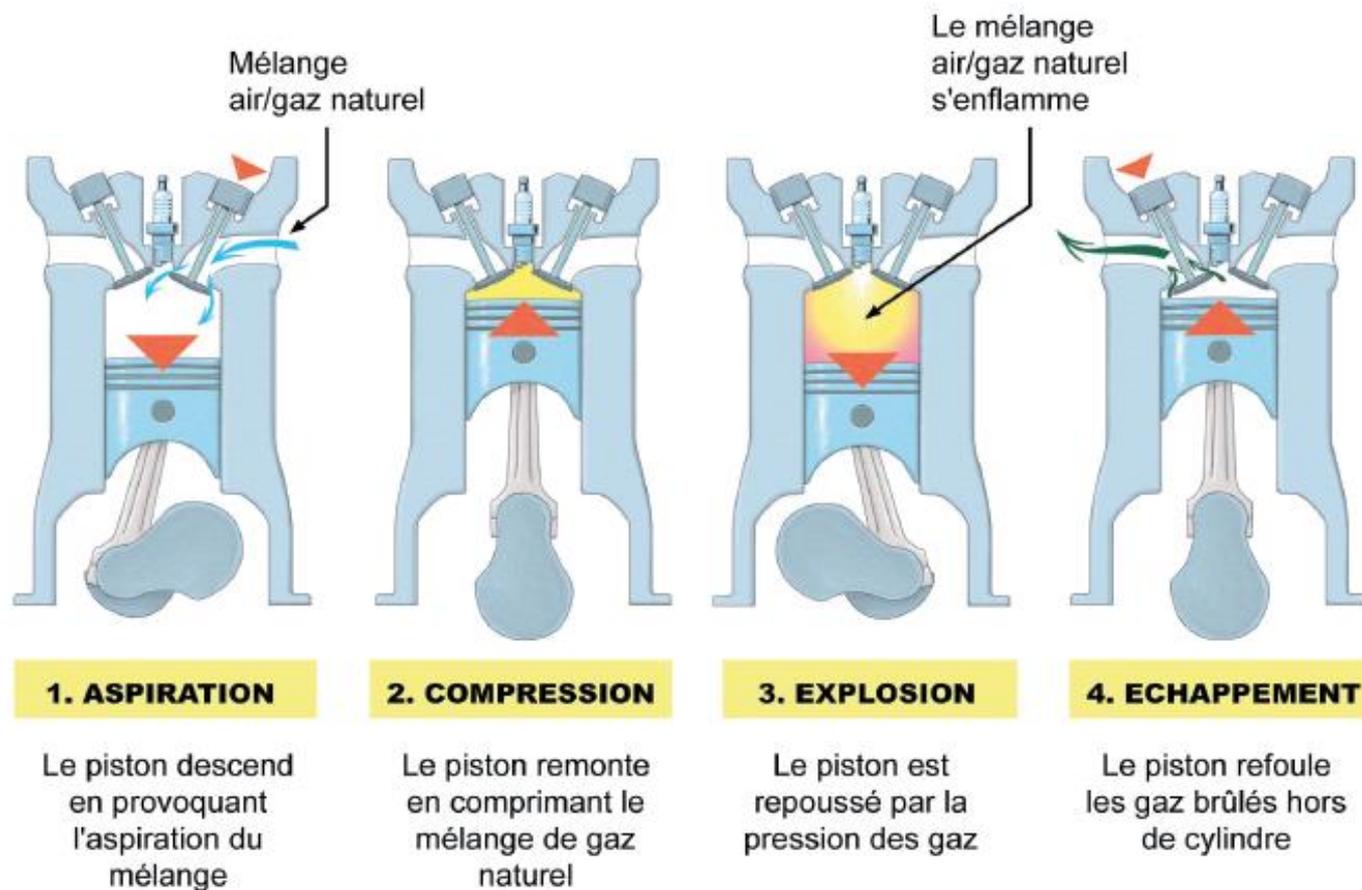
Pélec < 36 kVA				
Valorisation de l'électricité	Auto-consommation totale	Auto-consommation sans revente	Auto-consommation avec revente	Revente de la totalité
Contrat de revente	-	-	Contrat PI01	Contrat C13
Régulation	Électrique	Thermique	Thermique	Constant

Pélec > 36 kVA				
Valorisation de l'électricité	Auto-consommation totale	Auto-consommation sans revente	Auto-consommation avec revente	Revente de la totalité
Contrat de revente	-	-	-	Contrat C13
Régulation	Électrique	Thermique	-	Constant

*Contrats C13 et PI01 sont expliqués plus loin

- Solution à privilégier
- Solution éventuelle
- Solution interdite

Le moteur à combustion interne (MCI) gaz naturel est l'élément principal du module



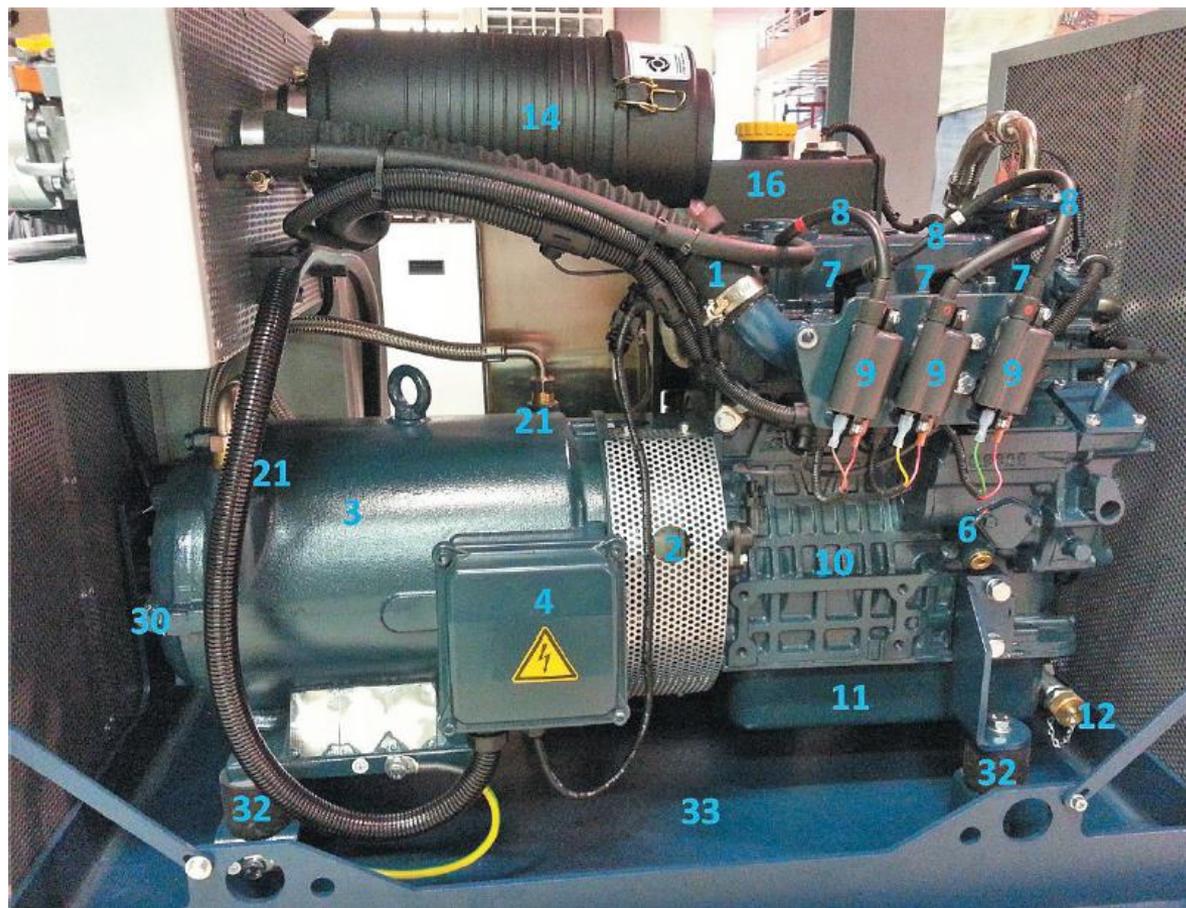
A l'extérieur d'un module de cogénération



Source : Viessmann

A l'intérieur d'un module de cogénération : côté culasse et alternateur

- | | |
|----|--|
| 1 | Mélange Air-Gaz |
| 3 | Alternateur |
| 4 | Boîtier de connexion électrique de l'alternateur |
| 7 | Bougies |
| 9 | Bobines d'allumage |
| 11 | Carter (réserve huile moteur) |
| 21 | Échangeur eau de chauffage / alternateur |
| 10 | Moteur |
| 14 | Filtre à Air |



Source : Cogengreen

A l'intérieur d'un module de cogénération : côté échange thermique, refroidissement et échappement

16 Réservoir eau de
refroidissement

20 Echangeur
produits de
combustion

22 Filtre à huile

25 Compensateur
de dilatation
échappement



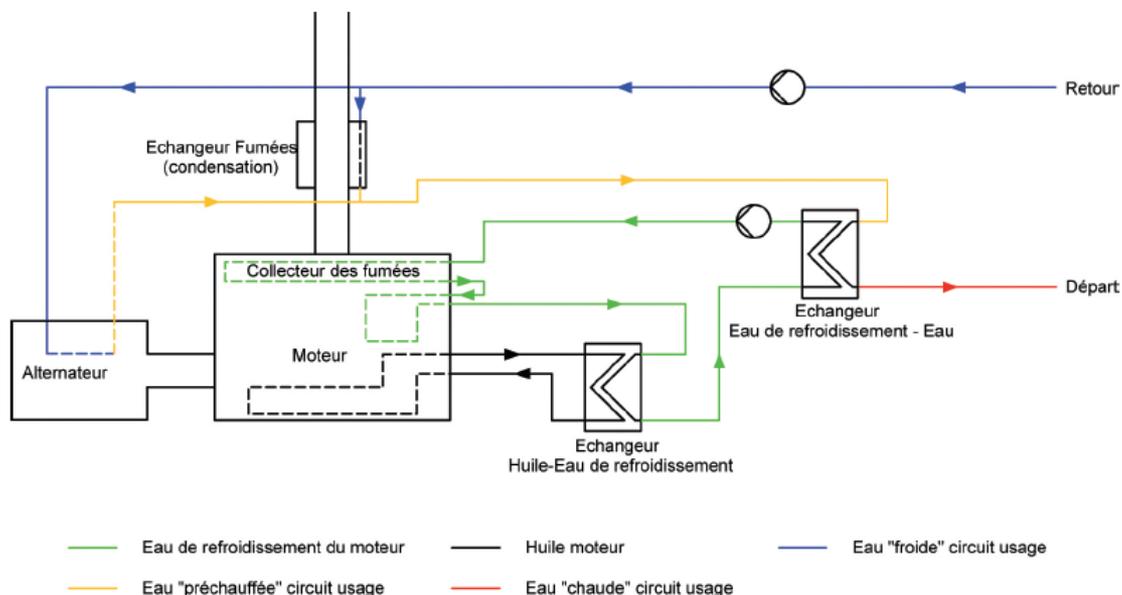
Source : Cogengreen

La récupération de chaleur s'effectue sur plusieurs postes

Sur les produits de combustion

Sur le circuit de refroidissement du moteur (après récupération optionnelle sur l'huile)

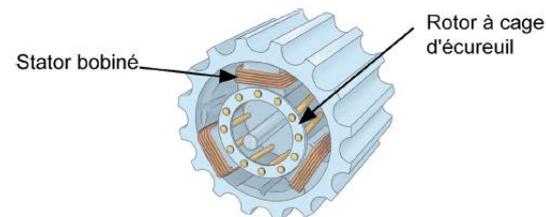
Sur l'alternateur (suivant modèles)



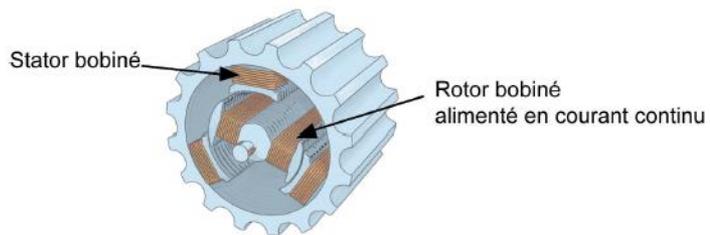
Il existe 2 types d'alternateurs : synchrone et asynchrone

Alternateur asynchrone

Avantages	Inconvénients
Simple d'utilisation et de fabrication	Forces d'inerties importantes au démarrage
Économiquement plus intéressant	Ne peut pas être utilisé en site isolé (nécessite une alimentation pour la fourniture d'énergie réactive)
Découplé du réseau électrique si aucune batterie de condensateurs n'est utilisée	Vitesse de fonctionnement élevée



Alternateur synchrone

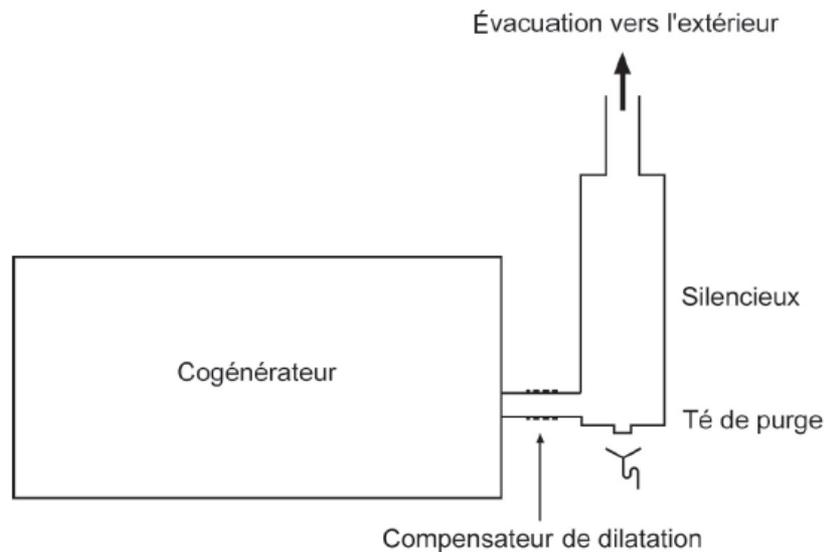


Avantages	Inconvénients
Peut fonctionner en autonomie (sans alimentation électrique) dans le cas de rotor à aimants	Fréquence du courant électrique produit dépendante de la vitesse de rotation du rotor
Plus léger que l'alternateur asynchrone	Peut nécessiter un traitement du courant produit pour pouvoir être en phase avec le réseau
Bon rendement	
Peut servir de secours (non reconnu en tant que tel par la réglementation)	

L'évacuation des produits de combustion de la cogénération est différente de celle de l'appoint thermique

L'évacuation des produits de combustion nécessite la pose de certains équipements (silencieux, pot catalytique...)

Ces dispositifs doivent être présents afin de respecter les valeurs limites imposées par la réglementation en termes de bruit et de rejets de gaz polluants.

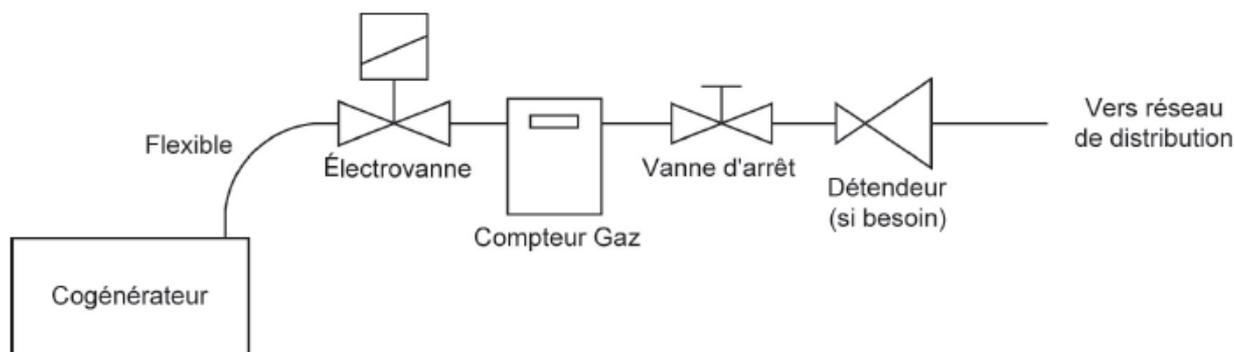


L'alimentation gaz naturel doit respecter la réglementation en vigueur et les préconisations du fabricant

Pression d'alimentation acceptée par la cogénération (entre 20 et 50 mbar)

Organe de coupure doit être installé sur l'arrivée de gaz de la cogénération

Electrovannes complémentaires possibles afin de couper l'alimentation en gaz naturel de l'unité à distance ou de manière automatique lorsque la cogénération est arrêtée



Un module de cogénération respecte la réglementation en vigueur sur les niveaux sonores

Réglementations en vigueur

Arrêté du 30 juin 1999 (impose les valeurs max de pressions acoustiques par pièce pour les appareils de chauffage et climatisation)

Décret du 31 août 2006 (code de la santé - bruits de voisinage)

Arrêté du 23 juin 1978 (relatif aux installations fixes destinées au chauffage/ECS en logement collectif et ERP)

Présence d'un capot insonorisé

48 dB/A à 1 mètre (pour une 7,5 kWe)

57 dB/A à 1 mètre (pour une cogénération de 33 kWe)

70 dB/A à 1 mètre (pour une cogénération de 237 kWe)



- 1 - Connaître les bases de la micro et minicogénération
- 2 - Préparer une étude : les éléments de faisabilité à considérer
- 3 - Mener un projet : de la conception à la maintenance

2 – Préparer une étude : les éléments de faisabilité à considérer



L'offre disponible en France repose sur 6 principaux fabricants/distributeurs et va évoluer



Marque	Viessmann	De Dietrich	CogenGreen	Cogenco	2G	EC Power
Référence	Vitobloc	DX Power	ecoGEN	CGC	G-BOX	XRGI
Nombre de produit dans la gamme	7	1	10	10	5	8
Puissance Thermique (kW)	13,5 à 363	15,5	20,5 à 372	65 à 359	43 à 100	13,5 à 160
Puissance électrique (kW)	5,5 à 240	5,5	7,5 à 240	30 à 240	20 à 50	6 à 80
Rendement Thermique (% PCI)	66,8 à 54,4	72	81,8 à 55,5	58 à 53,8	73 à 68,5	63,5 à 64
Rendement Electrique (% PCI)	27,2 à 35,7	27	26,8 à 37,4	26,8 à 35,7	32 à 34,5	29,5 à 32

La micro et minicogénération (MCI) sont intégrées dans la RT 2012

Sont traitées dans le RT2012 :

Type de cogénération	Seuils de puissance
Mini	De 36 kWe à 215 kWe
Micro	< 36 kWe

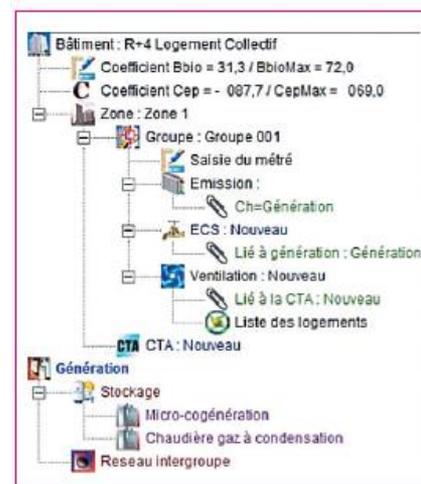
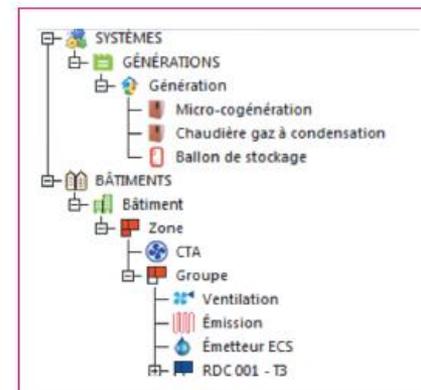
La production d'électricité est prise en compte dans le calcul du Cep en déduction des postes consommateurs (chauffage, refroidissement, ECS, auxiliaires, éclairage) => Rendement équivalent sur Ep \approx 150%

En résidentiel : l'article 30 de l'arrêté du 26 octobre 2010 mentionne que le Cep hors déduction de la production d'électricité ne doit pas dépasser le seuil « Cepmax + 12 kWh/(m².an) »

La micro et minicogénération favorise l'obtention de labels de performance énergétique (Effinergie+ ou Bepos-Effinergie)

RT 2012 : liste des principaux paramètres requis

Paramètre	Valeur à renseigner
Type de générateur	Cogénération
Énergie principale du générateur	Gaz naturel
Indicateur d'appoint intégré	Appoint séparé
Utilisation de la chaleur produite	Chauffage et/ou ECS
Puissance (thermique) utile nominale du module de cogénération (en kW)	Voir données fabricant
Rendement (thermique) sur PCI à la puissance nominale	Voir données fabricant
Puissance (thermique) utile intermédiaire (ou à charge partielle) du module de cogénération (en kW)	Voir données fabricant
Rendement (thermique) sur PCI à la puissance intermédiaire	Voir données fabricant
Taux de charge limite d'activation du cogénérateur avec appoint séparé	Valeur conventionnelle : 0,5 en appoint séparé
Puissance électrique nominale du module (en kW)	Voir données fabricant
Rendement (électrique) de la production électrique pour un cycle de 30 minutes départ arrêté	Voir données fabricant
Temps nécessaire pour atteindre le régime stationnaire de production électrique comprenant notamment le temps de démarrage (en fraction d'heure)	Entre 0 et 1 (voir données fabricant) Cette durée est généralement inférieure à 3 minutes, soit 0,05 h
Consommation électrique du module à charge nulle (en Wh)	Voir données fabricant
Consommation électrique du module à la puissance nominale (en Wh)	Voir données fabricant
Pertes à l'arrêt mesurées ou par défaut	Voir données fabricant ou valeur par défaut (selon NF EN 15316)
Nombre de module(s) identique(s) (-)	-
Type de raccordement des générateurs entre eux, pour un mode de gestion avec priorité	Permanent ou avec isolement
Position du module	En volume chauffé ou hors volume chauffé

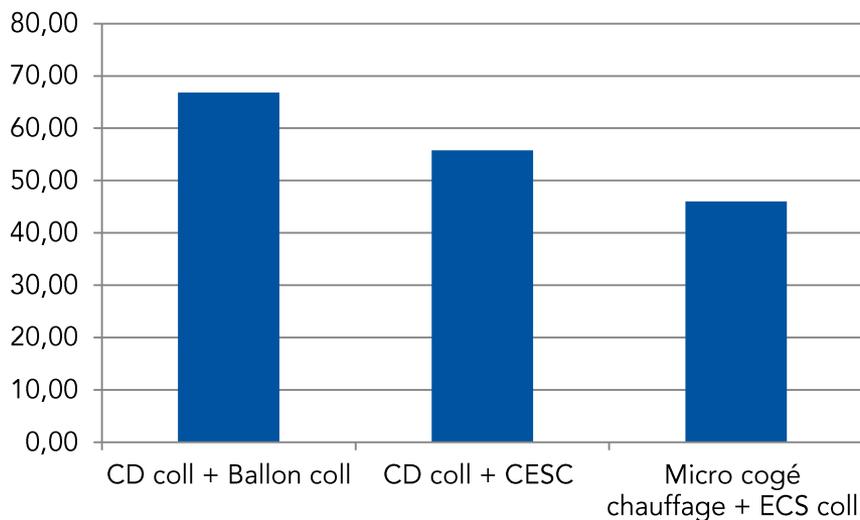


Immeuble R+2, toujours pris à $B_{bio} = B_{bio_{max}} - 20\%$

18 logements / 1063 SHONrt

Bbio chaud	Bbio froid	Bbio éclair	Bbio	Bbio_max
25,1	0	1,43	57,37	72

	Cch	Cecs	Cecl	Cventil	Caux_distri b	Ecogé	Cep	Cepmax
CD coll + Ballon coll	25,81	29,64	3,70	4,08	3,59	0,00	66,81	76,22
CD coll + CESC	25,47	18,94	3,70	4,08	3,59	0,00	55,78	76,22
Micro cogé chauffage + ECS coll	36,17	33,29	3,70	4,08	1,52	-32,78	45,98	76,22



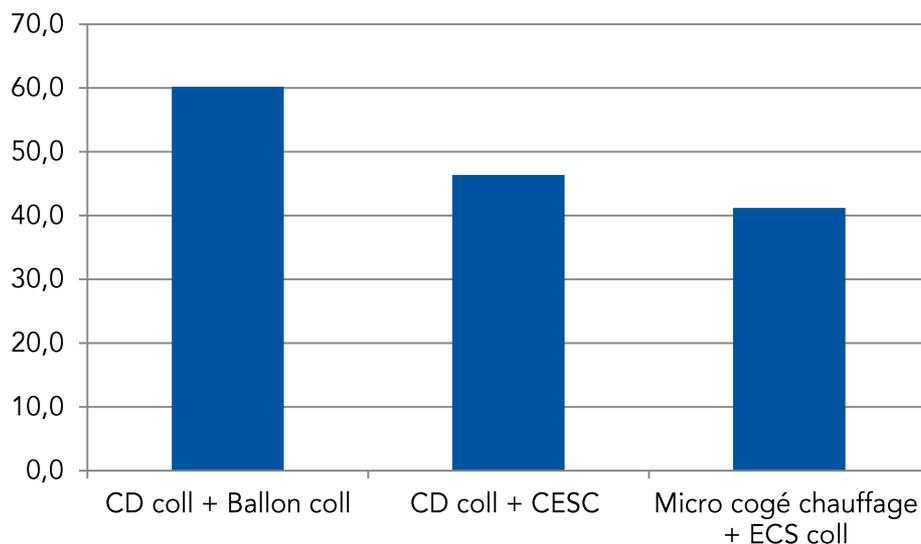
	Ecart Cep	Coût du point de Cep
CD coll + Ballon coll	0%	-
CD coll + CESC	17%	2 814
Micro cogé chauffage + ECS coll	31%	2 506

Immeuble R+2, toujours pris à $B_{bio} = B_{biomax} - 20\%$

18 logements / 1063 SHONrt

		Bbio		
Bbio chaud	Bbio froid	Bbio éclairage	Bbio	Bbio max
20,657135		01,3749686948,1891134		60

	Cch	Cfr	Cecs	Cecl	Cventil	Caux_distrib	Ecogé	Cep	Cepmax
CD coll + Ballon coll	21,2	0,0	28,1	3,5	4,1	3,4	0,0	60,2	64,7
CD coll + CESC	20,9	0,0	14,5	3,5	4,1	3,4	0,0	46,4	64,7
Micro cogé chauffage + ECS coll	29,8	0,0	31,3	3,5	4,1	1,3	28,8	41,2	64,7



	Ecart Cep	Coût du point de Cep
CD coll + Ballon coll	0%	-
CD coll + CESC	23%	2 238
Micro cogé chauffage + ECS coll	32%	2 739

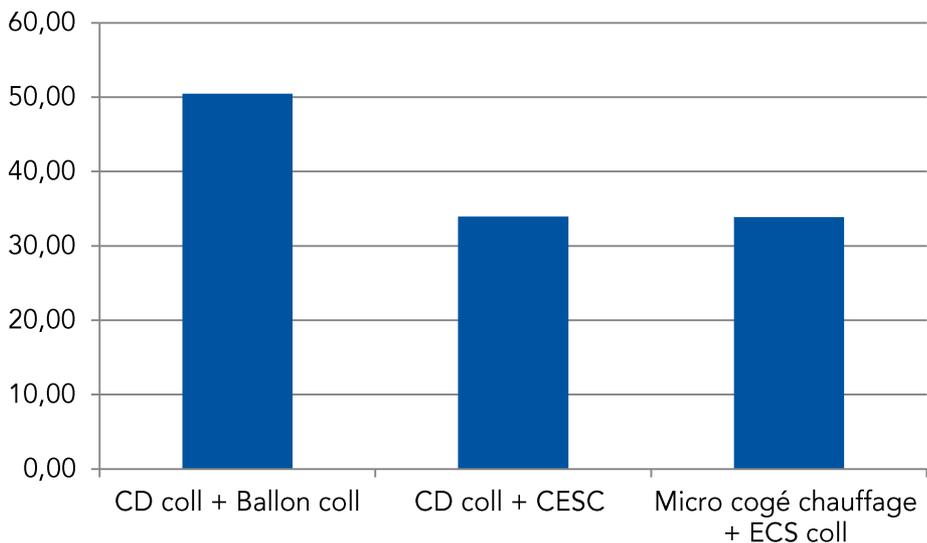
Positionnement RT2012, zone H3

Immeuble R+2, toujours pris à $B_{bio} = B_{biomax} - 20\%$

18 logements / 1063 SHONrt

Bbio				
Bbio chaud	Bbio froid	Bbio éclairage	Bbio	Bbio max
13,1873712	0	1,43707237	33,5601042	42

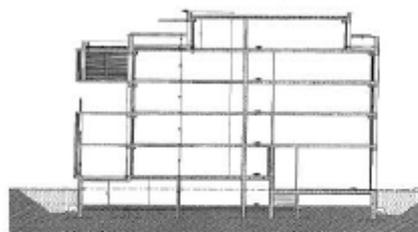
	Cch	Cfr	Cecs	Cecl	Cventil	Caux_distrib	Ecogé	Cep	Cepmax
CD coll + Ballon coll	13,48	0,00	26,26	3,71	4,08	2,96	0,00	50,48	53,22
CD coll + CESC	13,26	0,00	9,96	3,71	4,08	2,96	0,00	33,97	53,22
Micro cogé chauffage + ECS coll	19,28	0,00	28,91	3,71	4,08	0,90	23,01	33,86	53,22



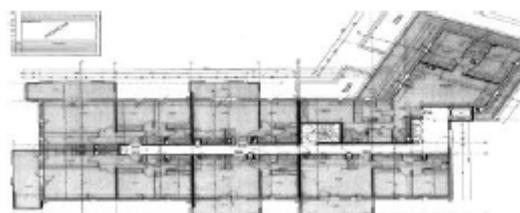
	Ecart Cep	Coût du point de Cep
CD coll + Ballon coll	0%	-
CD coll + CESC	33%	1 880
Micro cogé chauffage + ECS coll	33%	3 141

Bâtiment type R+4 présentant des besoins plus faibles qu'en immeuble R+2

Typologie de bâtiment plus compacte, logements de surface relativement importante (80 m²/lg en moyenne) dont les besoins ECS ramenés au m² sont moins importants que pour l'immeuble type R+2.



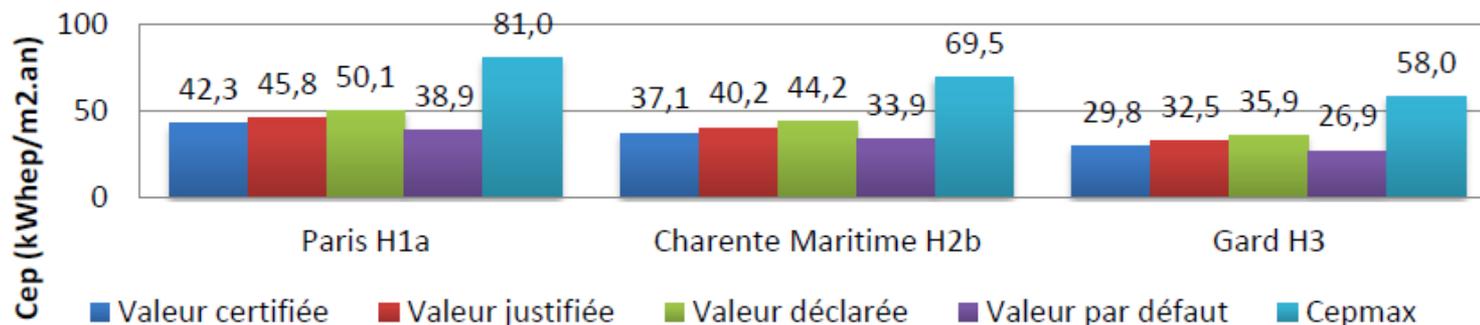
Orientation des Sv : Nord : 13% ; Est : 3% ;
Sud : 29% ; Ouest : 28%



5

Surfaces	SHAB = 2116 m ² SHON_RT = 2778 m ² SHON_RT Igt moyen = 82 m ² Compacté (S _{départiment} / V) = 0,56
Détails	34 logements (11 T2, 19 T3, 4 T4) Sous-sol / toiture terrasse Modes constructifs : briques + ITI & béton + ITE
% Surface vitrée / SHAB	Surface vitrée Sv = 365 m ² Sv / SHAB = 17%
Modulations dans la RT2012	Pas de modulation

Evolution du Cep en fonction du type de valeur avec une cogénération à condensation



Immeuble R+2, toujours pris à $B_{bio} = B_{biomax} - 20\%$

S2	CD coll. hors volume chauffé	reliée au chauffage : ballon de stockage collectif
	marque : Atlantic Guillot - Condensinox 60	marque : Ballon De Dietrich
	Puissance nominale : 60 kW	Volume de stockage : 500 L
	Rendement PCI à Pn (70 °C): 97,4	UA : 2,3
	Rendement PCI à P inter : 109,2	
	Radiateurs basse température	
Valeur spatial : 0,2		
Valeur temporelle : 0,5		
S3	CD coll. hors volume chauffé	CESC relié au chauffage
 	marque : Atlantic Guillot - Condensinox 60	marque : Atlantic Guillot
	Puissance nominale : 60 kW	Volume de stockage : base: 1500 L en zone H1a et 2000 L en zone H2b et H3, appoint 1500 L
	Rendement PCI à Pn (70 °C): 97,4	Surface des capteurs : 28 m ²
	Rendement PCI à P inter : 109,2	
	Radiateurs basse température	
Valeur spatial : 0,2		
Valeur temporelle : 0,5		
S6	Micro-cogénération hors volume chauffé	reliée au chauffage : ballon de stockage collectif
	marque : Viessmann -Vitobloc 200 EM - 5/13	marque : Ballon Charot
	Puissance nom. Therm. : 13,5 kW	Volume de stockage : base: 1000 L + appoint: 1000L
	Rendement thermique : 66,80%	UA :
	Puissance nom. Elec : 5,5 kW	
	Rendement électrique : 27%	
	Statut des valeurs : Valeurs certifiées	
	Ch. Condensation	
	Marque : Atlantic Guillot Condensinox 40	
	Puissance nominale : 40 kW	
	Rendement PCI à Pn (70 °C): 96,9	
Rendement PCI à P inter : 110,5		
Radiateurs basse température		
Valeur spatial : 0,2		
Valeur temporelle : 0,5		

Positionnement RT2012

Recherche de l'optimum technico économique pour atteindre le label Bepos selon trois définitions sur un immeuble de bureaux de 9000m²





Recherche de l'optimum technico économique pour atteindre le label Bepos selon trois définitions sur un immeuble de bureaux de 9000m²

Trois définitions :

- Définition 1 : Bepos Effinergie 2013
- Définition 2 : = Bepos Effinergie + possibilité de stockage d'électricité
- Définition 3 : = Bepos Effinergie uniquement 5 usages

5 techniques en non climatisé:

- Effet Joules
- Pac air-eau
- Chaudière gaz condensation
- Pac abso
- Microcogénération

6 techniques en climatisé:

- DRV
- Pac air-eau
- Chaudière gaz condensation + GF
- Chaudière hybride
- Pac abso + GF
- Microcogénération + GF

- 4 isolations des murs possibles
- 4 traitement du plancher haut
- 4 traitement du plancher bas
- 3 zones climatiques

Et quelques (2880) tirs RT plus tard

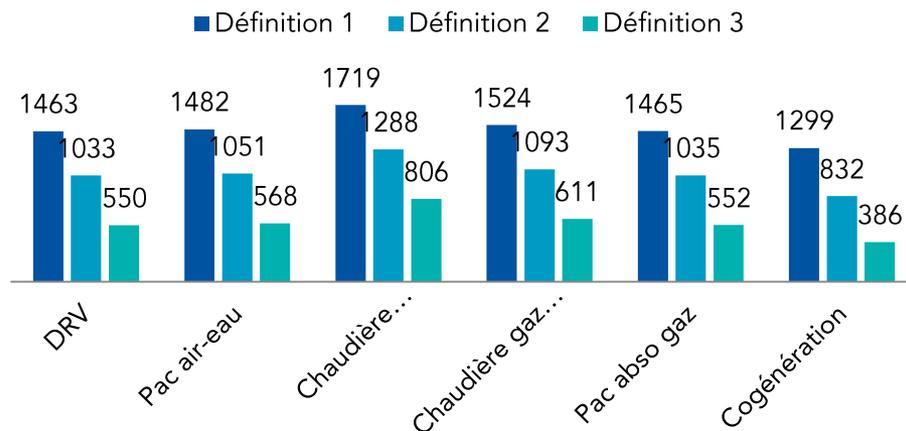
....



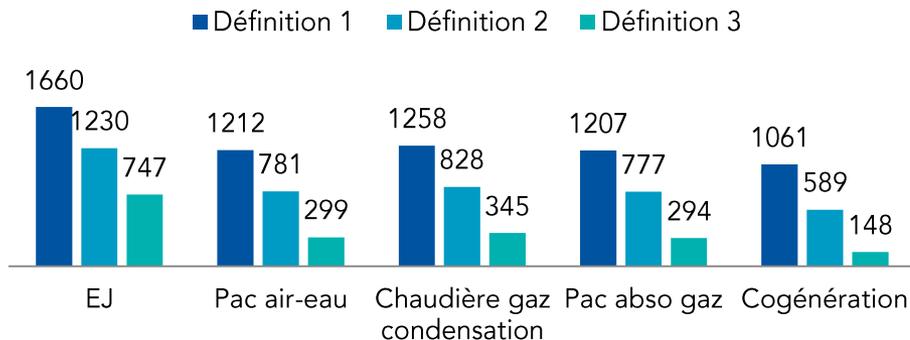
Recherche de l'optimum technico économique pour atteindre le label Bepos selon trois définitions sur un immeuble de bureaux de 9000m²

La micro cogénération apparait comme le produit le plus performant, en ce sens qu'elle nécessite moins de m² de PV pour atteindre l'objectif visé.

Surface de PV pour être Bepos - Bureaux 9000m² climatisés - H2b



Surface de PV pour être Bepos - Bureaux 9000m² non climatisés - H2b

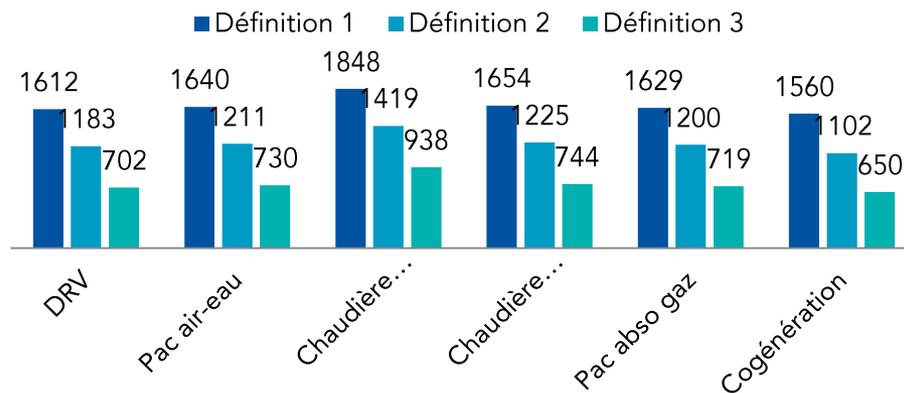




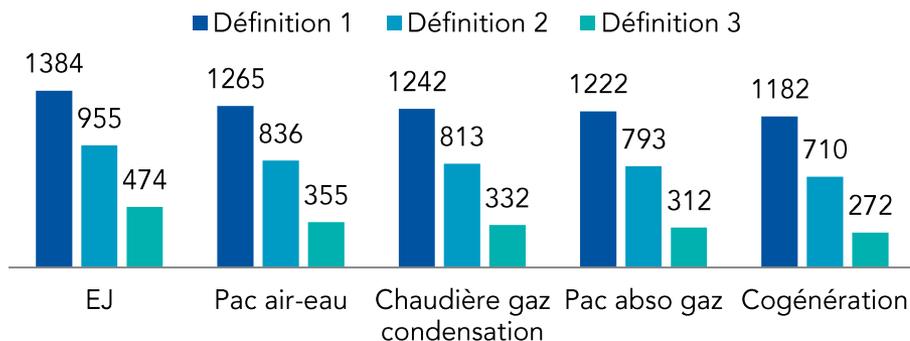
Recherche de l'optimum technico économique pour atteindre le label Bepos selon trois définitions sur un immeuble de bureaux de 9000m²

La micro cogénération apparait comme le produit le plus performant, en ce sens qu'elle nécessite moins de m² de PV pour atteindre l'objectif visé.

Surface de PV pour être Bepos - Bureaux 9000m² climatisés – H3



Surface de PV pour être Bepos - Bureaux 9000m² non climatisés - H3



La micro et minicogénération (MCI) sont intégrées dans la RT existant

Sont traitées dans le RT Existant :

Puissance électrique entre 1,5 et 250 kW_e
 Puissance thermique entre 8 et 400 kW_{th}

Le titreV impose une chaudière en appoint et ballon de stockage ECS mini

Labels en rénovation :

Label	Consommation conventionnelle de référence
Haute Performance Énergétique (HPE) rénovation (bâtiments résidentiels)	Cep ≤ 150 kWh _{EP} /m ² .an (à moduler suivant la zone climatique et l'altitude)
BBC-Effinergie rénovation (bâtiments résidentiels)	Cep ≤ 80 kWh _{EP} /m ² .an (à moduler suivant la zone climatique et l'altitude)
BBC-Effinergie rénovation (bâtiments non résidentiels)	Réduction de 40 % du coefficient C _{ref} de la réglementation thermique globale des bâtiments existants

La minicogénération est intégrée au dispositif des Certificats d'Economie d'Énergie (CEE)

- **Minicogénérations comprises entre 36 et 250 kVA sans OA**
- **La Microcogénération sera prise en compte dans la 3^{ème} période CEE**

- **3 fiches CEE seconde période :**
 - BAR-TH-38 pour le résidentiel collectif
 - BAT-TH-28 pour le tertiaire avec une surface chauffée < 5000 m²
 - BAT-TH-28-GT pour le tertiaire avec une surface chauffée comprise entre 5000 et 10000 m²

- **Fiches disponibles sur :**

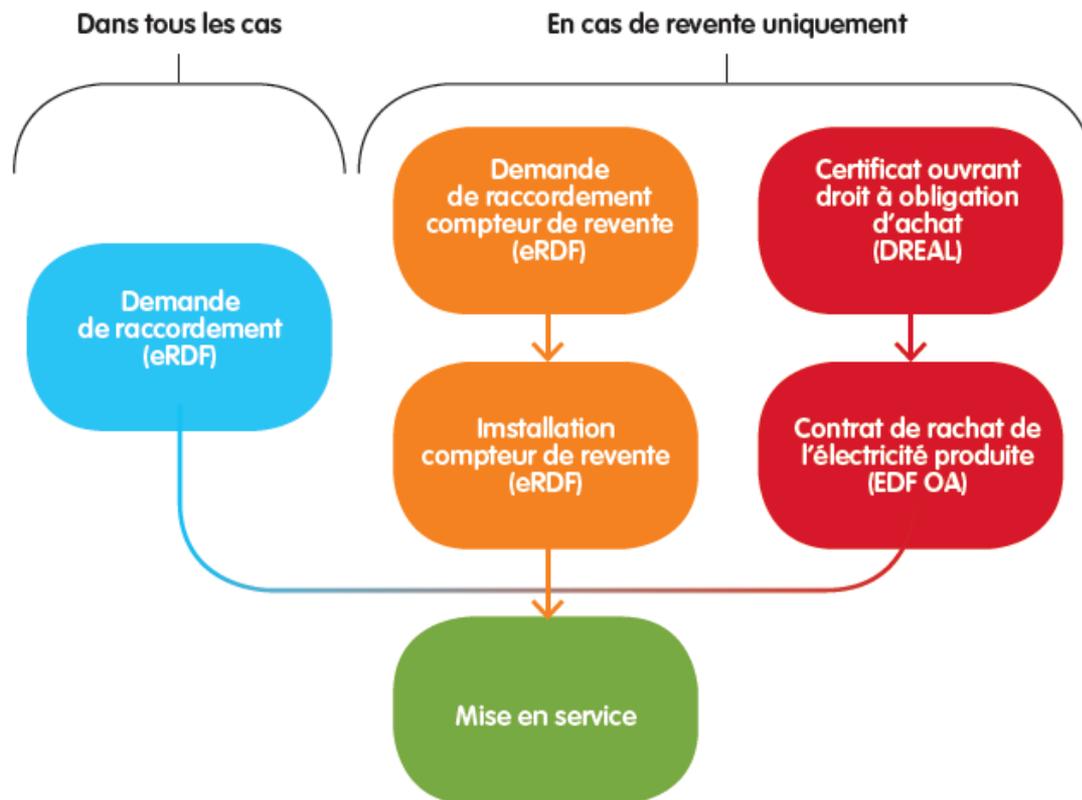
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/bar_th_38.pdf

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/bat_th_28.pdf

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/bat_th_28_gt.pdf



Le contrat de raccordement au réseau électrique est à prévoir très en amont de la mise en service



Le contrat d'obligation d'achat C13 est à privilégier pour les grosses cogénérations

○ Le contrat C13 se base sur 2 nouveaux arrêtés

- Arrêté du 11 octobre 2013 pour les conditions tarifaires
- Arrêté du 9 octobre 2013 pour les conditions techniques

○ Principales caractéristiques du C13

- Economie d'énergie primaire > 10%
- Durée de 12 ans
- Revente garantie sur 5 mois d'hiver (novembre-mars)
- Rapport « énergie thermique produite sur énergie électrique produite » > 0,5
- Disponibilité moyenne de la cogénération = 95%

○ Calcul complexe du tarif d'achat (environ 130€ /MWh)

- Prime fixe (puissance électrique garantie)
- Rémunération énergie active (tension de raccordement, prix gaz marché, efficacité énergétique)

○ Vers plus de souplesse de fonctionnement (mode 5j/7 et fonctionnement été)

La Directive européenne 2012/27/UE « efficacité énergétique » promeut la cogénération

Rendement global : 75%

La cogénération au sens européen permet des économies d'énergie primaire de 10% minimum (critère repris dans la définition française du contrat C13)

$$E_p = 1 - \frac{Q}{\frac{E}{\eta_{\text{électrique}}} + \frac{C}{\eta_{\text{thermique}}}}$$

- E_p : économie sur énergie primaire,
- Q : énergie primaire consommée par le cogénérateur, en kWh PCI,
- E : énergie électrique produite par le cogénérateur, en kWh,
- C : énergie thermique réellement valorisée, en kWh,
- $\eta_{\text{électrique}}$: rendement électrique du système de référence, en %,
- $\eta_{\text{thermique}}$: rendement thermique du système de référence, en %.

Rendement électrique du système de référence $\approx 52,5 \%$

Rendement thermique du système de référence $\approx 90 \%$

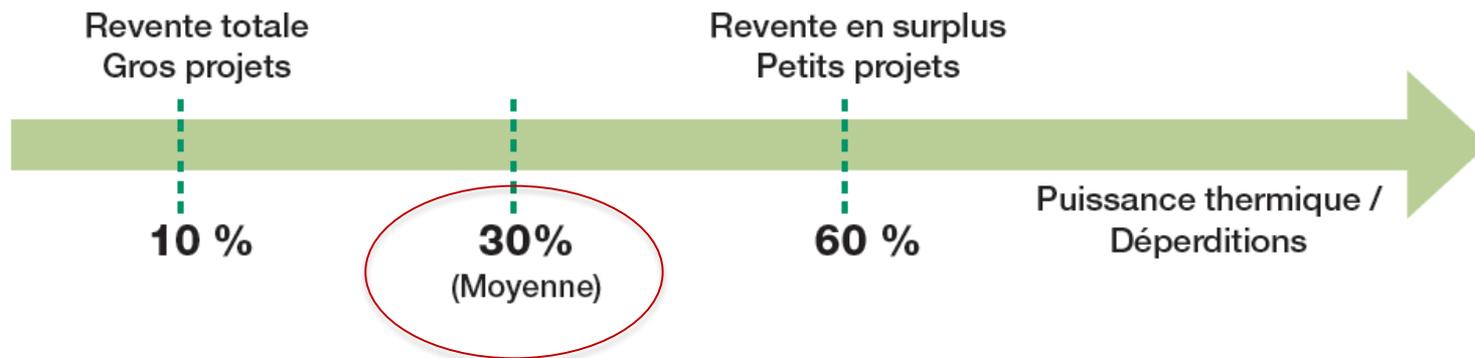
Le contrat d'obligation d'achat PI01 est dédié à la microcogénération < 36 kVA

- Le contrat PI01 (Petites Installations 2001) se base sur l'arrêté du 13 mars 2002

- Principales caractéristiques du PI01
 - Durée de 15 ans
 - Permet le revente d'une partie de la production
 - Si revente, nécessité de mettre en place un 2^{ème} compteur
 - Pas d'obligation de fourniture

- Tarif d'achat encore peu incitatif (environ 80 €/MWh)
 - Le tarif d'achat n'est pas indexé, mais est mis à jour à chaque évolution tarifaire et la facturation est semestrielle.
 - Une rémunération proportionnelle à l'énergie électrique active fournie au point de livraison égale au tarif de fourniture du client HT

Estimer la puissance nominale de la cogénération



- **Plus élevé pour :**
 - valoriser des petits projets
 - rentabiliser la revente d'électricité dans le cas de l'autoconsommation avec revente du surplus
- **Plus faible pour :**
 - assurer la disponibilité et le bon fonctionnement de l'installation sur la durée d'obligation de production dans le cadre de la revente totale d'électricité
- **Pas de données en autoconsommation totale (sans réinjection d'électricité)**

La cogénération et le photovoltaïque produisent chacun de l'électricité à leur façon

Comparons ensemble une micro-cogénération avec du photovoltaïque

La micro-cogénération la plus vendue est le modèle de 7,5 kWe, nous la prenons donc pour notre exemple.

1) Investissement

Il faut donc 75 m² de capteurs photovoltaïques pour avoir 7,5 kW de puissance électrique.

Cela correspond à un investissement de 75 x 400 = 30 000 € pour les panneaux.

La microcogénération de 7,5 kWe coûte 50 000 € fourni posé.

2) Production

Avec 75 m² de capteur, le PV produit 7 500 kWh

La cogénération doit elle fonctionner 1000 h pour en produire autant. Or elle fonctionne plutôt 2000 h dans l'année (en autoconsommation) et 4600h en revente totale. Soit des production de 15 000 kWh et 34500 kWh.

Les surfaces nécessaires pour produire autant d'électricité sont donc de 150 et 345m²

Soit des investissement de 60 k€ et 138 k€

→ à production d'électricité égale, la cogénération est moins chère en investissement

Ratios photovoltaïque

- il faut 10 m² de PV pour avoir 1 kWc électrique de puissance
- 1 m² de PV produit environ 100 kWh
- investissement PV : 400 € / m²

La cogénération et le photovoltaïque sont complémentaires pour atteindre le Bepos

À chaque production d'électricité ses inconvénients et ses avantages

Le photovoltaïque :

- Ne consomme aucune énergie,
- Est une EnR,
- Mais produit de l'électricité principalement en été,
- Mais nécessite une surface disponible

La cogénération :

- Produit de l'électricité quand on en a besoin,
- Produit de la chaleur en même temps pour assurer le chauffage par exemple,
- Produit plus d'électricité que le PV à puissance électrique égale,
- Mais consomme du gaz naturel.

→ Les deux produits se combinent bien et sont complémentaires pour atteindre le label BEPOS

- 1 - Connaître les bases de la micro et minicogénération
- 2 - Préparer une étude : les éléments de faisabilité à considérer
- 3 - Mener un projet : de la conception à la maintenance

3 – Mener un projet : de la conception à la maintenance



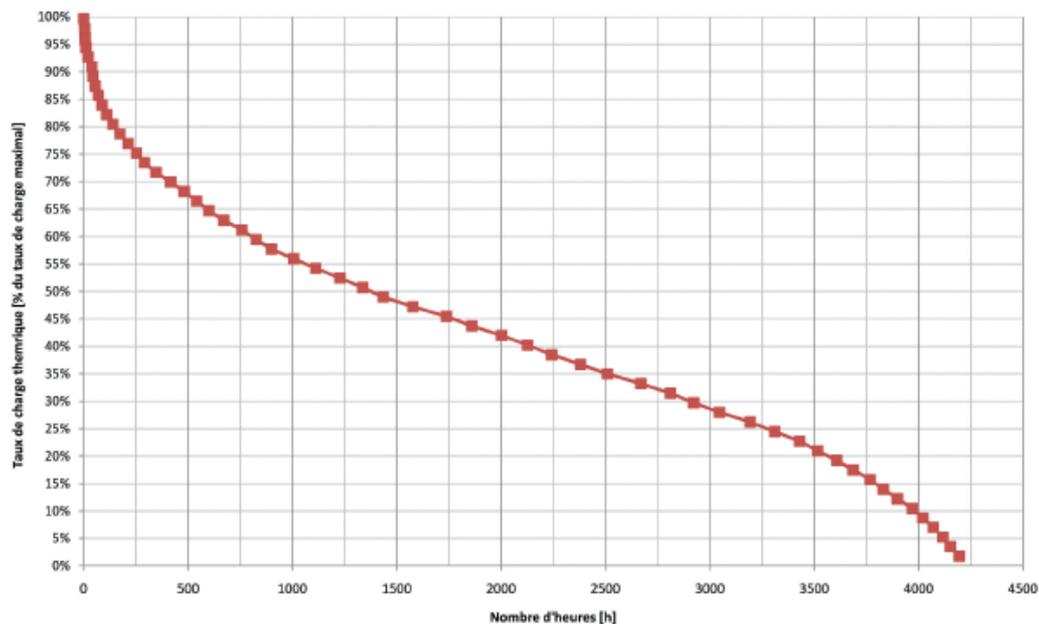
Pour un bon dimensionnement, tracer la monotone chaleur

3 méthodes

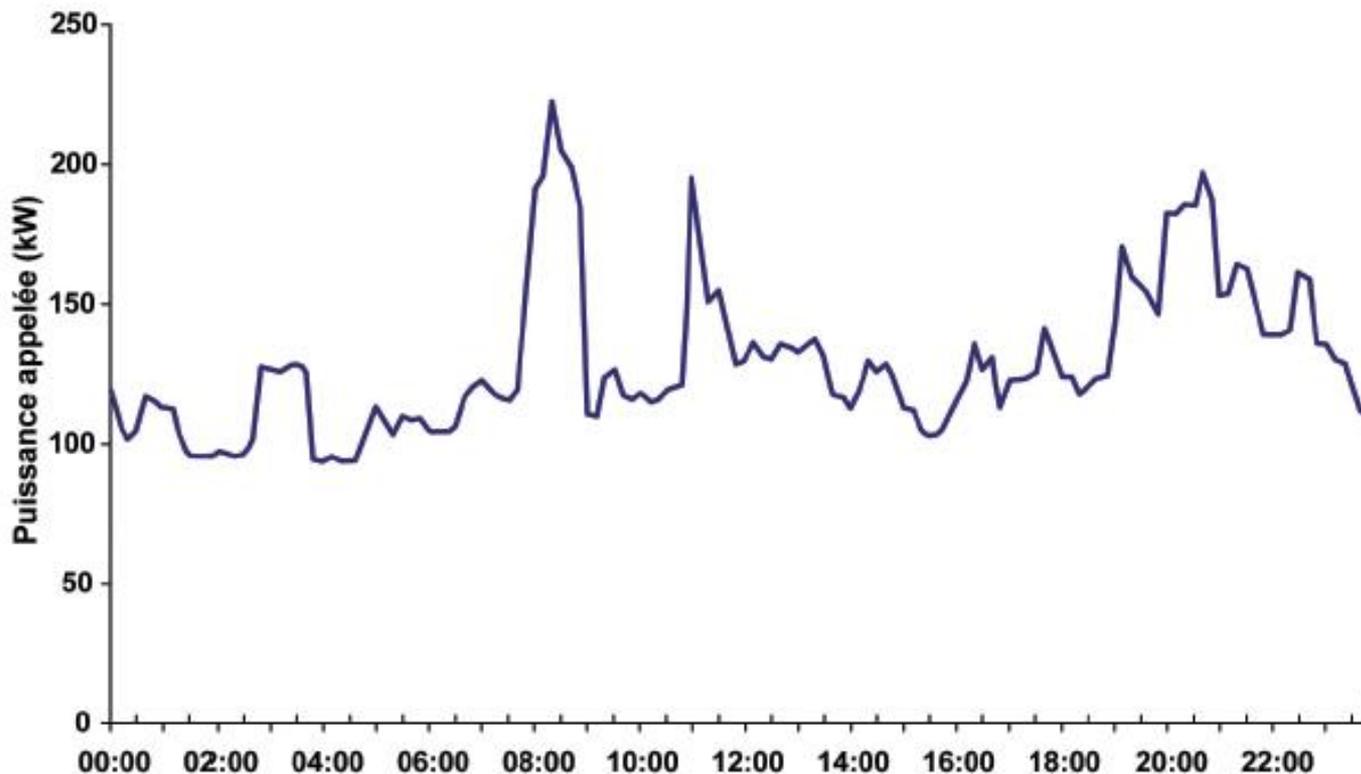
Estimer la monotone à partir des déperditions thermiques globales du bâtiment

Utiliser un logiciel de simulation thermique dynamique (STD)

Réaliser des mesures sur site des besoins de chaleur sur quelques semaines



L'idéal est de connaître également le profil des puissances électriques du bâtiment

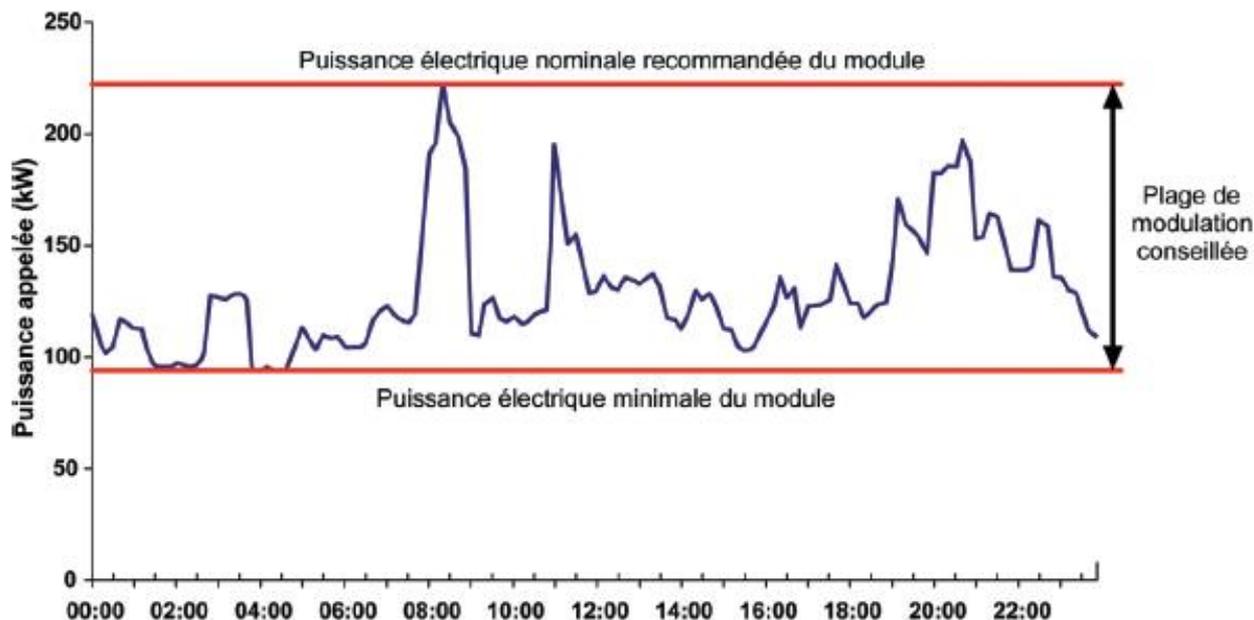


Dimensionnement : autoconsommation totale (sans réinjection)

Minimum du profil des besoins électriques = minimum de modulation de la cogénération

Puissance nominale de la cogénération \leq puissance max appelée

Contrôle de la valorisation conjointe de la production thermique

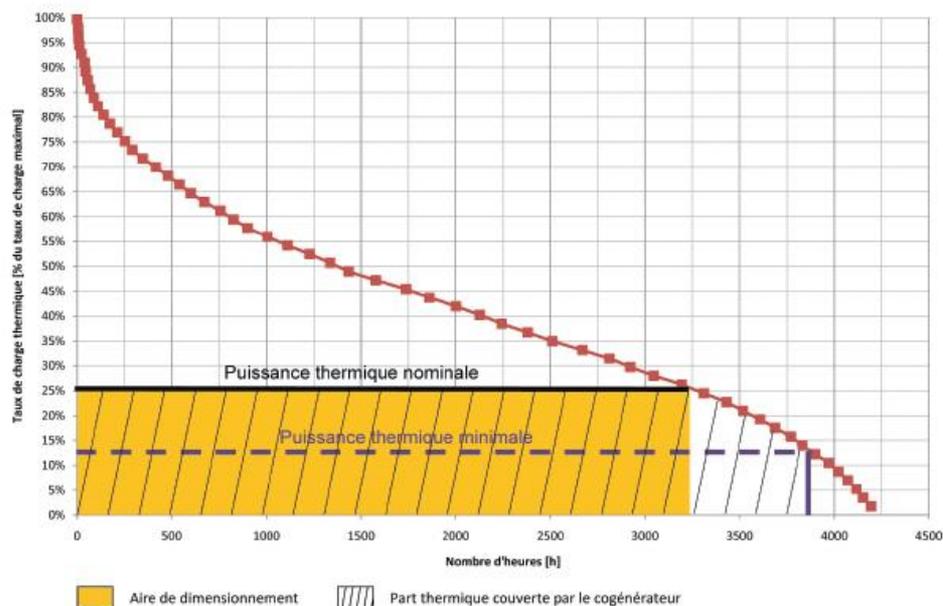


Dimensionnement : autoconsommation sans revente du surplus

Couvrir la part des besoins thermiques la plus grande possible pour un fonctionnement à régime nominal

Production électrique constante

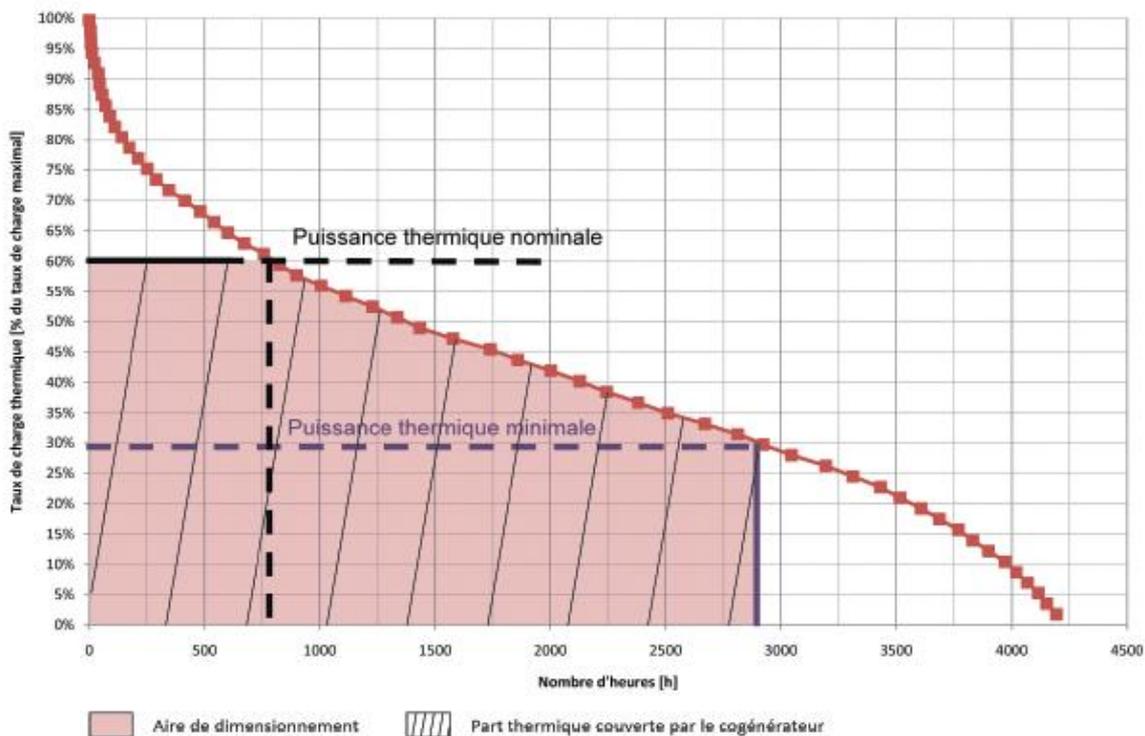
Eviter la réinjection



Dimensionnement : autoconsommation avec revente du surplus

Pas de contrainte sur l'électricité produite même s'il vaut mieux favoriser l'autoconsommation

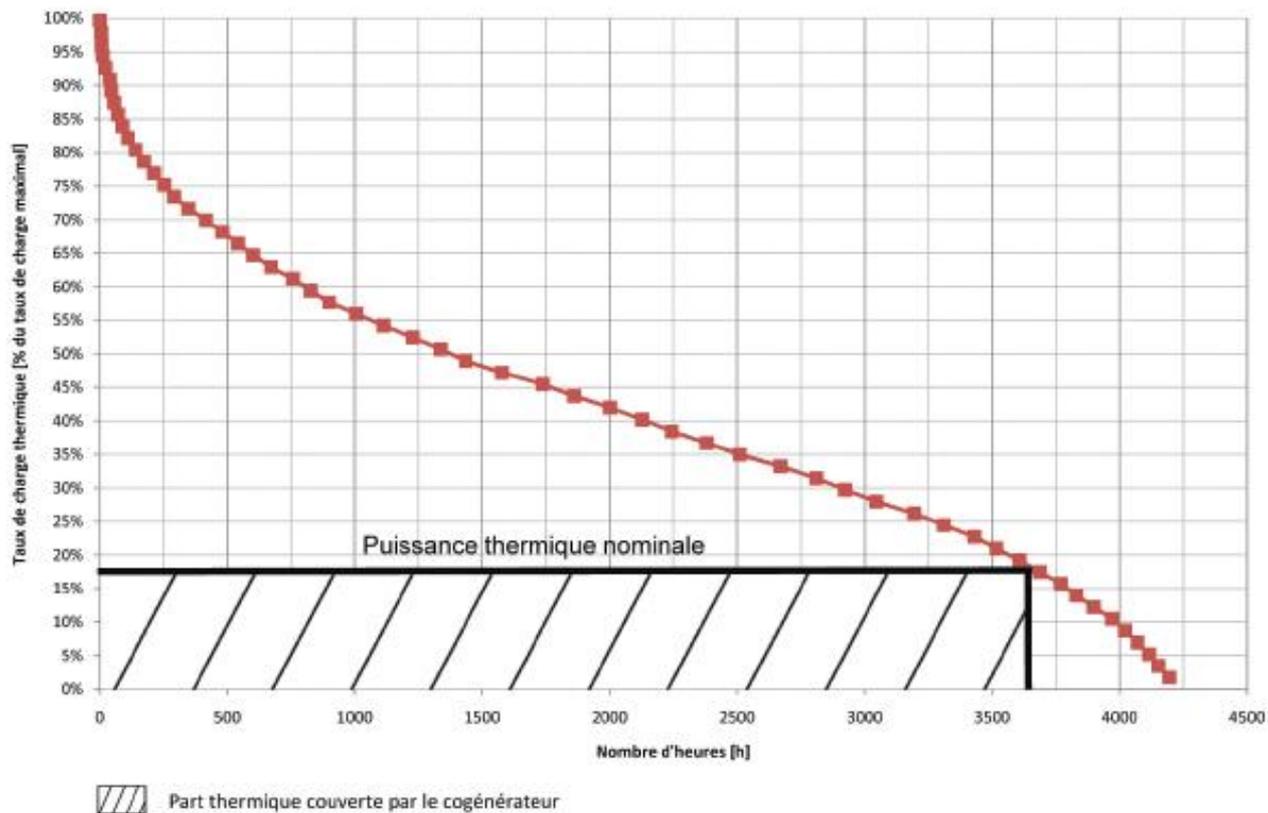
Maximiser l'aire en rose en « jouant » sur la modulation de la cogénération



Dimensionnement : revente totale

Contrat C13 (3620 heures annuelles)

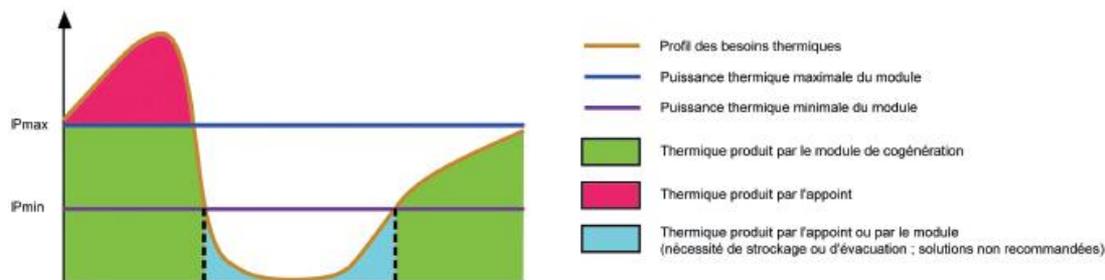
Pas de modulation de la puissance



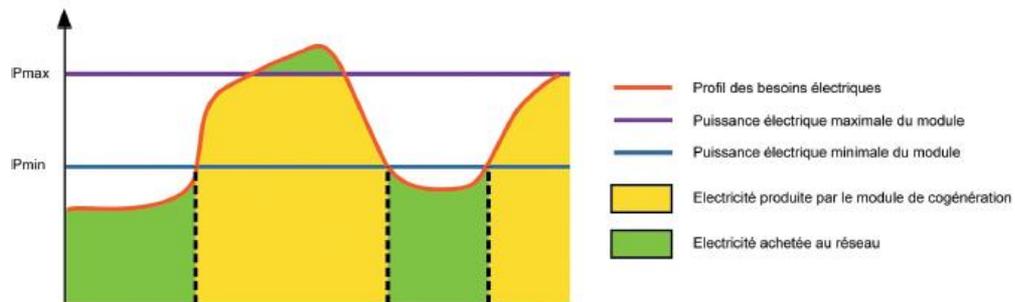
Les 3 modes de régulation possibles

Fonctionnement constant

Régulation sur le besoin thermique

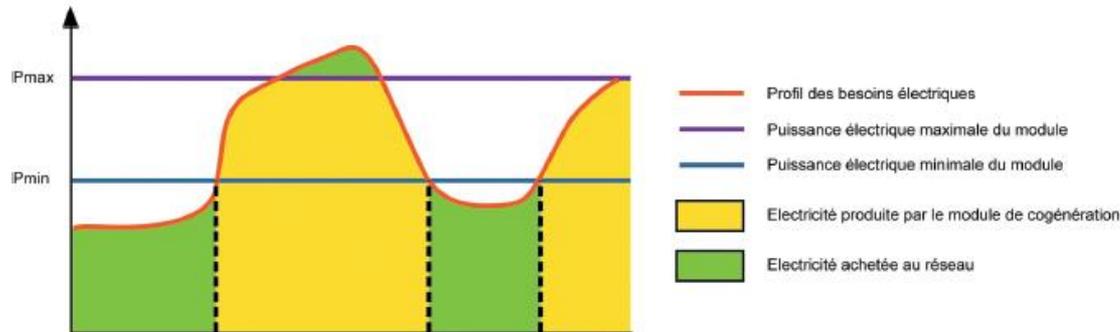
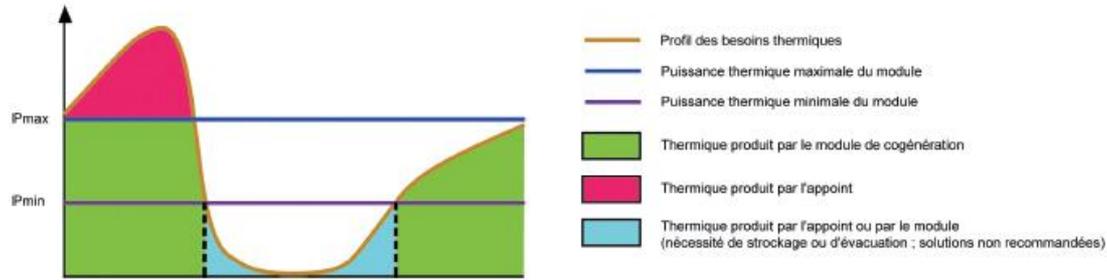


Régulation sur le besoin électrique



Les 3 modes de régulation possibles

- Fonctionnement constant
- Régulation sur le besoin thermique
- Régulation sur le besoin électrique



Le choix de la configuration hydraulique est à valider avec le fabricant

Les éléments à considérer

Nombre de circuits à desservir

Présence d'une ou plusieurs chaudières d'appoint

Distribution hydraulique existante (en rénovation)

Régimes d'eaux entre la cogénération et l'appoint thermique

Débits de chacun des réseaux

....

Symboles utilisés pour les schémas

	Soupape de sécurité		Vanne ou robinet d'équilibrage		Robinet d'isolement
	Clapet anti-retour		Circulateur		Purgeur automatique
	Vanne trois voies de régulation progressive		Volume tampon		Manomètre
	Vase d'expansion		Bouteille de découplage		

Eviter les surchauffes et les court-cycles (une heure minimum conseillée)

$$V_{\text{tampon}} = \frac{P_{\text{th min}} \cdot t_{\text{min}}}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T}$$

- V_{tampon} : contenance conseillée du volume tampon, en litres ;
- $P_{\text{th min}}$: puissance thermique minimale délivrée par le module de cogénération, en Watts. Pour les modules « tout ou rien » ou les modules ne pouvant pas moduler du fait d'un contrat de revente d'électricité, la valeur à retenir est la puissance nominale. Pour les unités modulantes, la puissance minimale est à retenir (égale à la puissance thermique délivrée au taux de charge minimal du module) ;
- t_{min} : temps de fonctionnement minimal recommandé du module de cogénération, en heures. À défaut de valeur fournie par le fabricant, la valeur retenue est d'une heure ;
- ρ : masse volumique du fluide caloporteur, en kg/l. Pour de l'eau pure, cette valeur est prise égale à 1 kg/l ;
- C_p : capacité thermique massique du fluide caloporteur, en Wh/(kg.K). Pour de l'eau pure non glycolée, cette valeur est prise égale à 1,163 Wh/(kg.K) ;
- ΔT : chute de température sur le fluide caloporteur aux bornes du module de cogénération, en Kelvin. À défaut, la valeur de 20 K pourra être retenue.

Volume tampon

Eviter les surchauffes et les court-cycles (une heure minimum conseillée)

Les machines fonctionnent avec une différence de température départ retour de 20°C

$$P_{th} \text{ (kW)} = X \text{ (m}^3\text{/h)} * 1,16 * 20^\circ\text{C}$$

$$P_{th} * 1h = X * 1h * 1,16 * 20^\circ\text{C}$$

$$P_{th} = V \text{ (m}^3\text{)} * 1,16 * 20^\circ\text{C}$$

$$\text{Environ } V \text{ (m}^3\text{)} = P_{th} / 23$$

Installation d'un module de cogénération

Voici ce que contient l'installation d'un module de cogénération

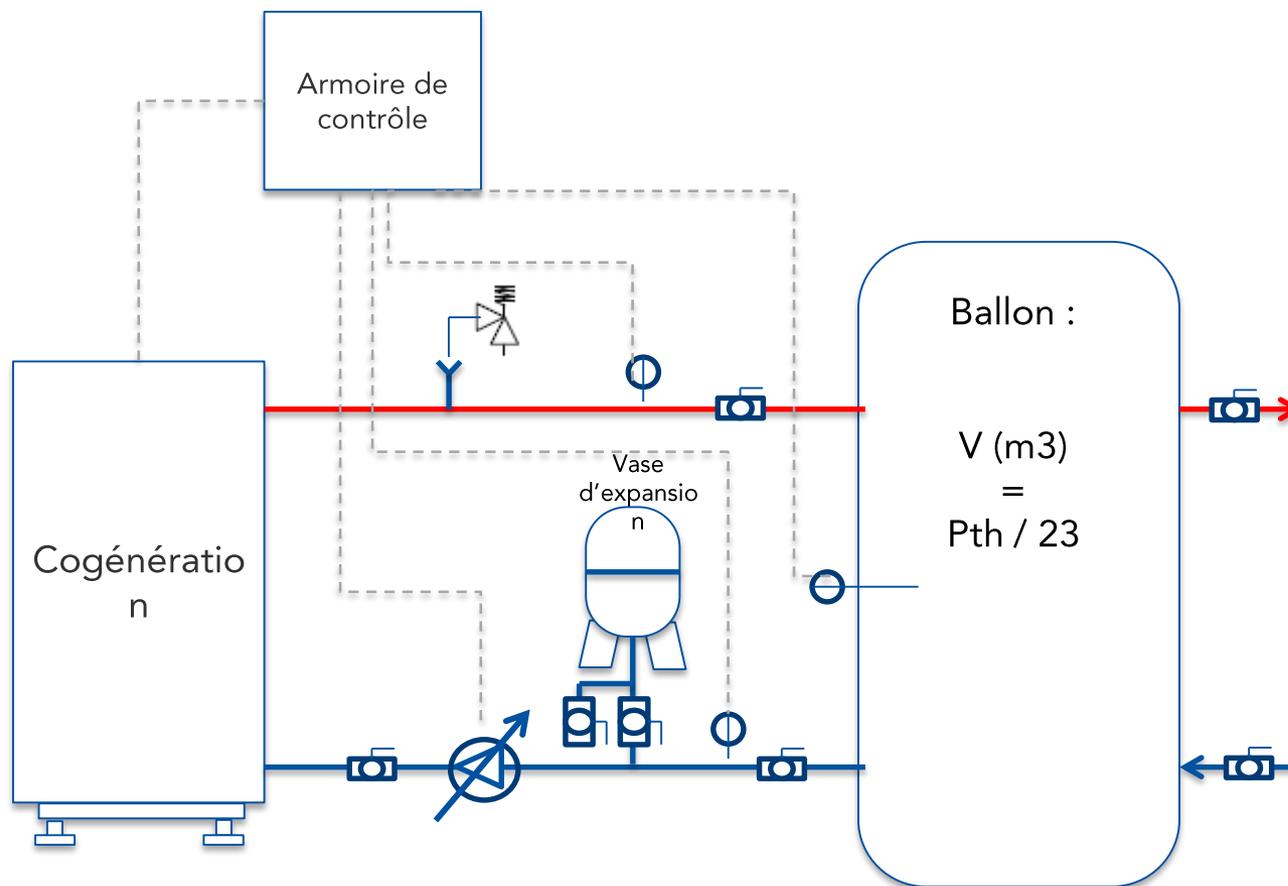


Schéma hydraulique avec une cascade de chaudières adapté au neuf

Cascade de chaudières en parallèle du système « cogé + ballon »

Priorité à la cogénération

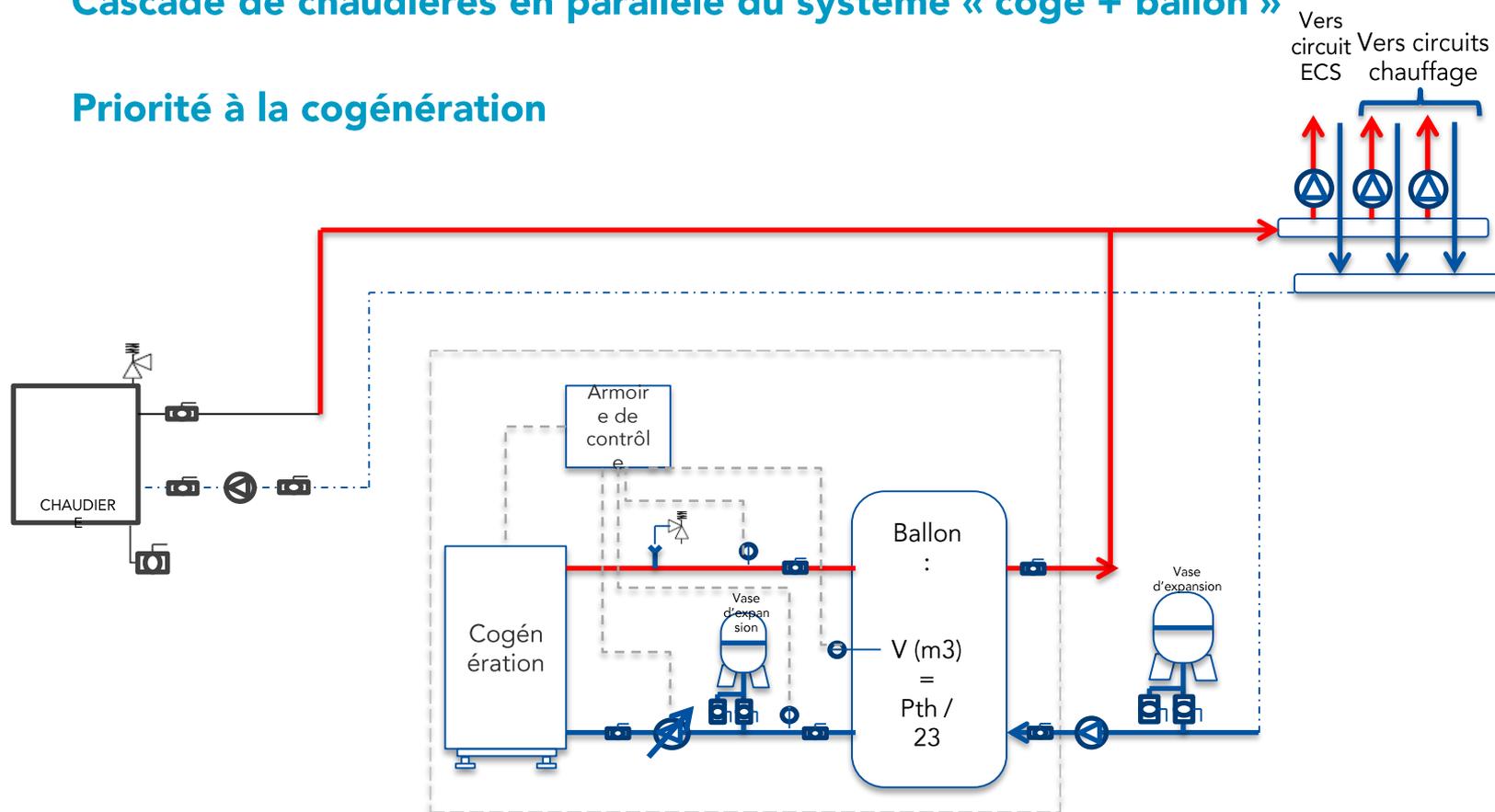
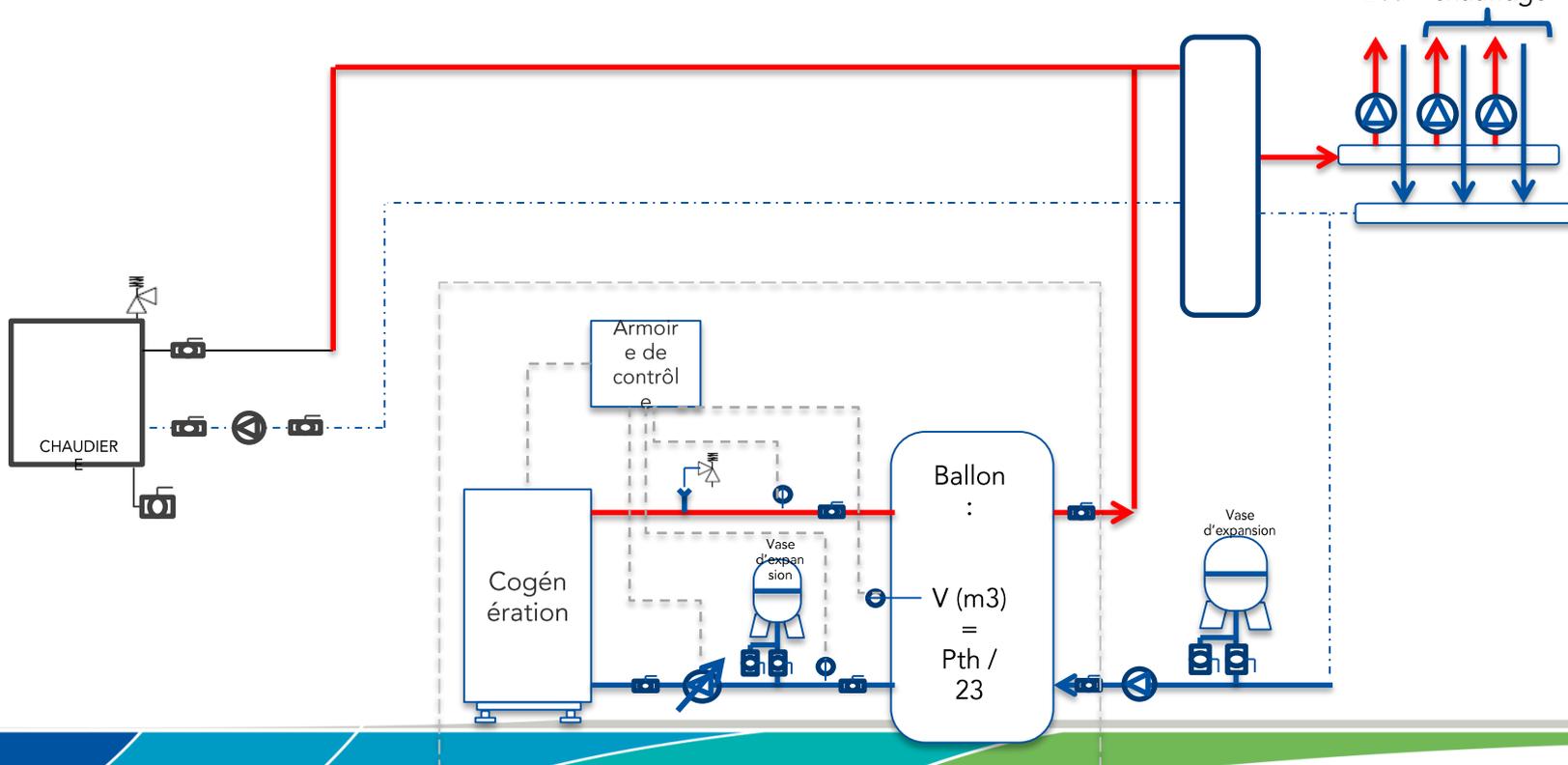


Schéma hydraulique avec une cascade de chaudières adapté en rénovation

Bouteille de découplage primaire/secondaire (débits)

Privilégier T d'entrée de la cogénération constante et peu élevée

Retour d'eau en aval de la bouteille de découplage car Tmax retour module = 70°C. on vient donc chercher la température la plus basse.



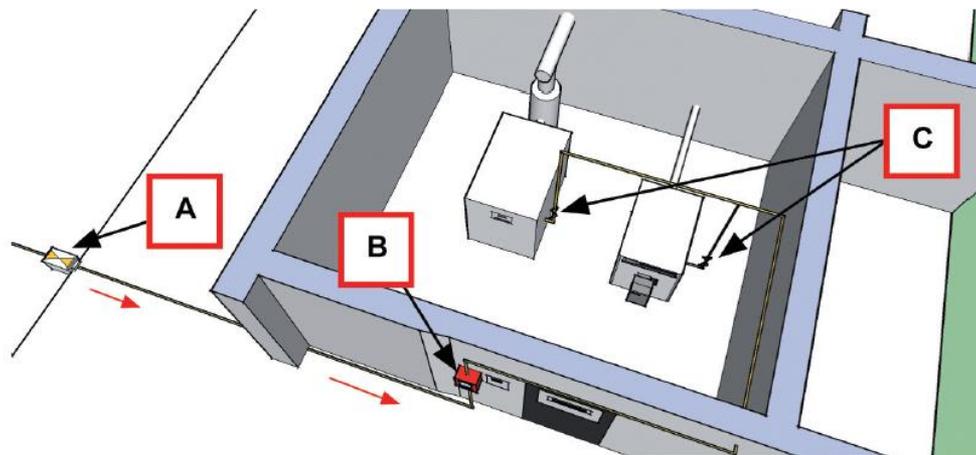
Le raccordement gaz ne présente pas de difficultés particulières

Respect de textes :

arrêté du 2 août 1977 modifié (installations gaz en habitation)

Arrêté du 25 juin 1980 (réglementation incendie en ERP)

Organes de coupure



- **A** : un organe de coupure général muni d'une plaque d'identification indélébile pour l'identifier (en limite de propriété en générale et pénétration de l'immeuble ;
- **B** : un organe de coupure de la salle des machines muni d'une plaque d'identification indélébile précisant le sens de manoeuvre et situé à l'extérieur du local ;
- **C** : un organe de coupure par appareil raccordé.

Le raccordement électrique ne présente pas de difficultés particulières

Un câble de puissance dédié relie la cogénération au TGBT afin d'alimenter la cogénération. Le TGBT dispose des protections adaptées classiques.

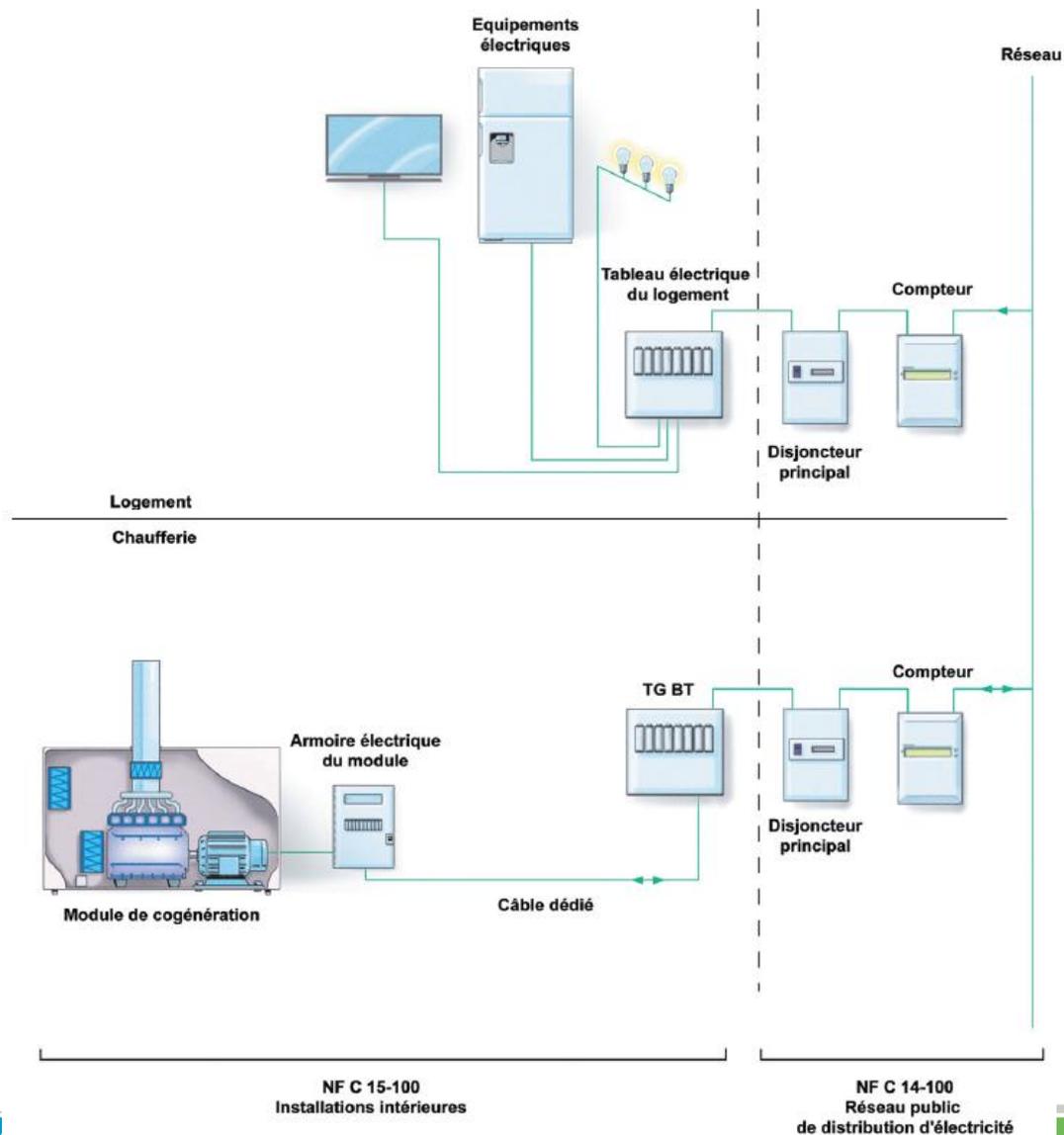
L'armoire électrique est livrée avec la cogénération (intégrée ou non). Elle contient la régulation et peut contenir la protection de découplage.



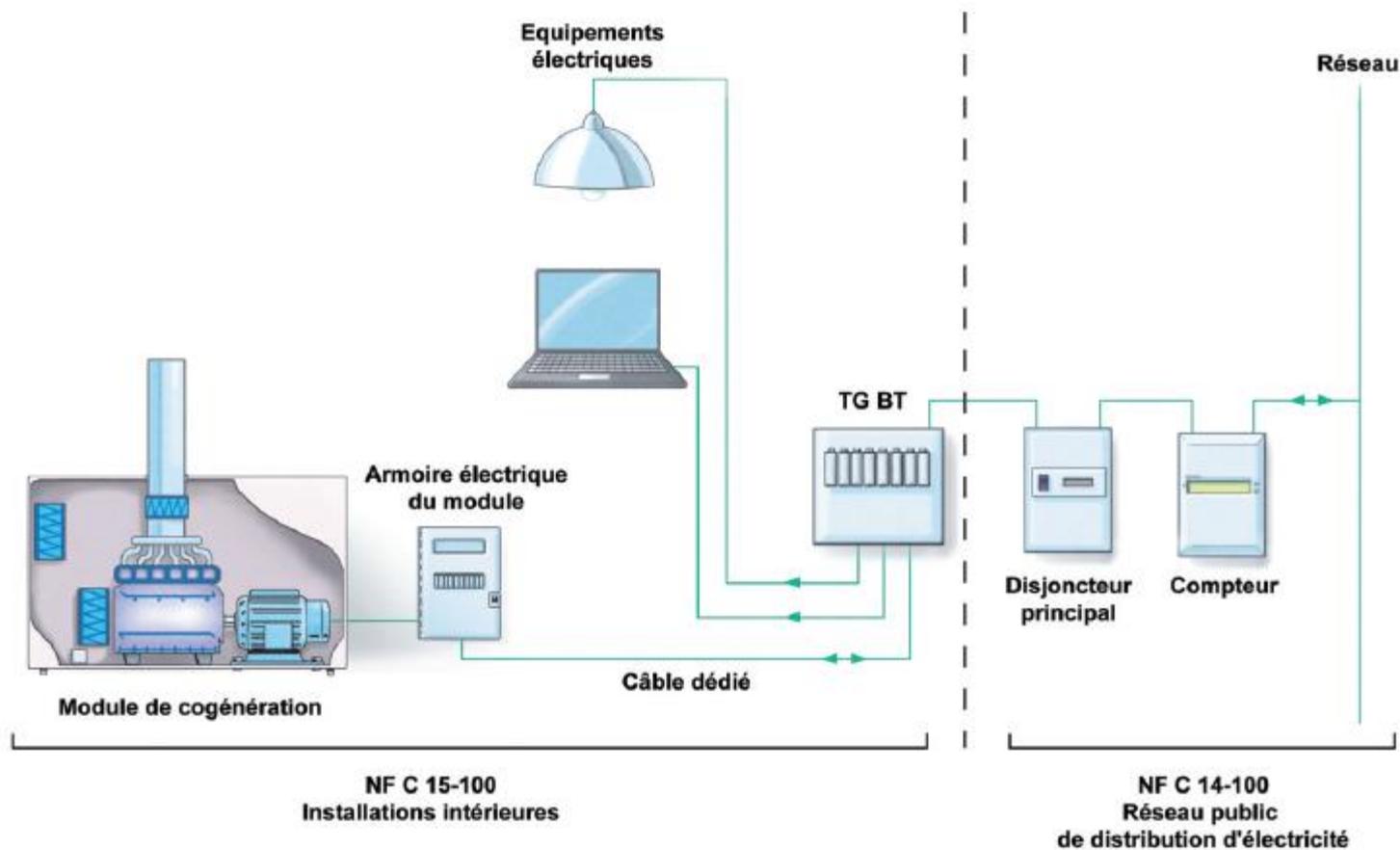
Protection de découplage

Si la protection de découplage est intégrée, elle devra être certifiée suivant la DIN VDE 0126-1-1 par le fabricant

Exemple de raccordement électrique en immeuble d'habitation collective



Exemple de raccordement électrique en immeuble de bureaux



Exploitation : relevés mensuels

Ils peuvent être effectués par l'exploitant de la chaufferie

Relevés des compteurs intégrés à la cogénération

Heures de fonctionnement

Nombre de démarrages

Consommation électrique

Production électrique

Consommation gaz

Production thermique

Vérification des rendements

$$\eta_{\text{thermique}} = \frac{E_{\text{thermique}}}{E_{\text{gaz}}}$$

$$\eta_{\text{électrique}} = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{gaz}}}$$

Opérations de maintenance (1/2)

Une maintenance par saison de chauffe (ou 4000h de fonctionnement)

Par le fabricant ou une société formée par le fabricant

Opération à réaliser toutes les :	4 000 h	8 000 h	12 000 h
Vidanger et remplacer l'huile moteur.	X	X	X
Remplacer le filtre à huile.	X	X	X
Contrôler l'état des batteries et compléter en liquide si nécessaire (si présence de batteries).	X	X	X
Contrôler et changer (si nécessaire) le filtre à air.	X	X	X
Contrôler la pression d'eau du réseau du bâtiment, purger et compléter si nécessaire.	X	X	X
Contrôler et nettoyer l'écoulement des condensats (si présence d'un condenseur).	X	X	X
Contrôler l'état et les connexions des câbles d'allumage et en changer si nécessaire.	X	X	X
Contrôler le moment d'allumage, l'angle d'allumage ainsi que l'état de couplement et de la courroie (si présence). Ajuster si besoin.	X	X	X
Contrôler l'étanchéité générale et de la tenue de toutes les vis.	X	X	X
Graisser les paliers de l'alternateur.	X	X	X
Vérifier le serrage des connexions électriques.	X	X	X

Opérations de maintenance (2/2)

Opération à réaliser toutes les :	4 000 h	8 000 h	12 000 h
Vérifier l'état du filtre de ventilation du module et le remplacer si besoin.	X	X	X
Vérifier l'état et la dureté des silentblocs.	X	X	X
Vérifier l'état et l'étanchéité du bloc gaz.	X	X	X
Remplacer les bougies d'allumage.	X	X	X
Vérifier l'état et le durcissement des flexibles et les remplacer si nécessaire.		X	X
Remplacer les câbles d'allumage.			X
Remplacer les bobines d'allumage.			X
Remplacer la sonde lambda.			X
Contrôler la pression de compression.			X
Tester les fonctions de coupure de sécurité du module.			X
Nettoyer le mélangeur de gaz.			X
Remplacer le liquide de refroidissement.			X

Quelques exemples de coûts de maintenance

Source Cogengreen

Modèle	Investissement (dont mise en service)	Entretien (courant et overhaul)
ecoGEN7.5-AGc	36 580 €	0.27 €/h de fonctionnement et 4 890 € toutes les 30 000 h de fonctionnement
ecoGEN16-AGc	50 240 €	0.36 €/h de fonctionnement et 8 635 € toutes les 30 000 h de fonctionnement
ecoGEN22-AGc	55 790 €	0.38 €/h de fonctionnement et 9 740 € toutes les 30 000 h de fonctionnement
ecoGEN33-AGc	67 730 €	0.57 €/h de fonctionnement et 10 320 € toutes les 30 000 h de fonctionnement
ecoGEN50-SG	87 340 €	0.96 €/h de fonctionnement et 13 750 € toutes les 25 000 h de fonctionnement
ecoGEN70-SG	99 460 €	1.19 €/h de fonctionnement et 14 980 € toutes les 25 000 h de fonctionnement
ecoGEN113-SG	145 380 €	1.95 €/h de fonctionnement et 41 295 € toutes les 40 000 h de fonctionnement
ecoGEN140-SG	150 720 €	1.71 €/h de fonctionnement et 17 950 € toutes les 25 000 h de fonctionnement
ecoGEN200-SG	194 050 €	1.94 €/h de fonctionnement et 21 110 € toutes les 25 000 h de fonctionnement
ecoGEN237-SG	225 090 €	2.31 €/h de fonctionnement et 22 850 € toutes les 33 000 h de fonctionnement
ecoGEN402-SG	299 230 €	2.95 €/h de fonctionnement et 39 240 € toutes les 25 000 h de fonctionnement

Pour en savoir plus

Guide technique « Micro et minicogénération à moteur à combustion interne fonctionnant au gaz naturel » - Edition 2014



Site internet Cegibat

www.cegibat.grdf.fr

Merci pour votre attention

Olivier Broggi
Ingénieur Cegibat GrDF
33, rue Maurice Flandin 69003 Lyon
04 37 56 77 56 - 06 69 70 88 47
olivier.broggi@grdf.fr