

Efficacité énergétique dans l'industrie

Cogénération et trigénération pour
applications industrielles:
dimensionnement et introduction à la
pratique

24-27 novembre 2014, Tunis, Tunisie

 **renac**
renewables academy

En coopération avec:



Soutenu par:



www.renac.de

Faisabilité technique et économique d'applications de cogénération (CHP)

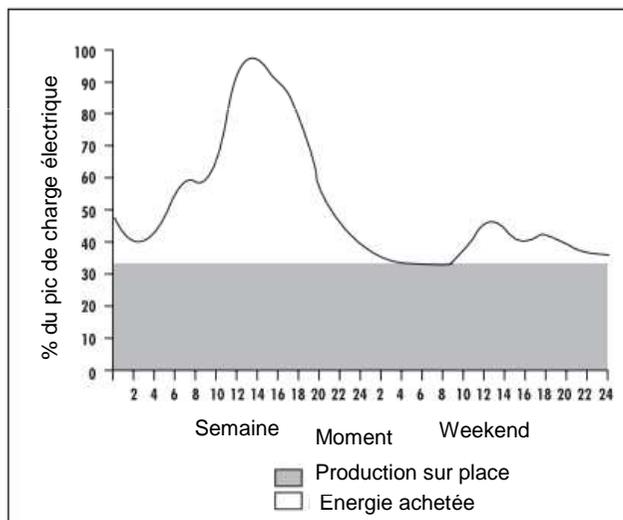


Critères de faisabilité des systèmes énergétiques

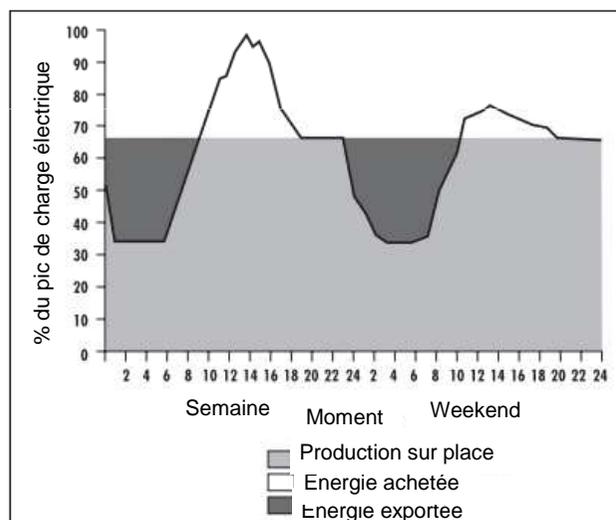
| Facteurs techniques | Facteurs économiques |
|------------------------------------|---|
| Profils énergétiques | coûts d'investissements ("clé-en-main") |
| Conception de la centrale | Coût des combustibles |
| Aspects environnementaux | Coût d'exploitation et de maintenance |
| Disponibilité du service technique | Recettes / Economie d'énergie |
| Disponibilité des combustibles | Stratégie opérationnelle |
| Critères d'autorisation | |

- Principal moteur: prix de l'énergie
- Température de la chaleur demandée!

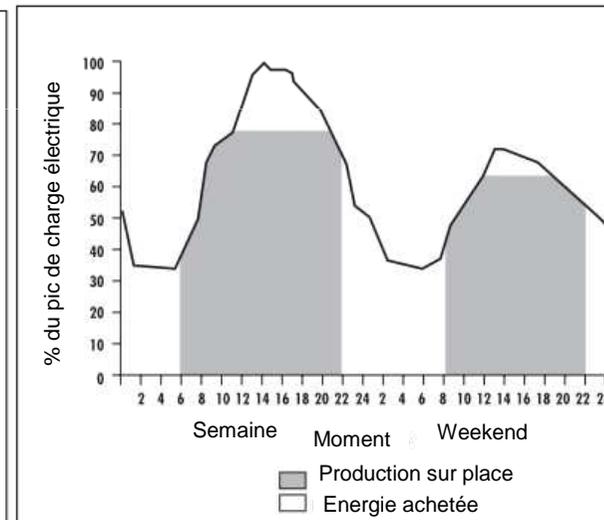
Charge électrique de base



Charge thermique de base



Ecrêtage des pics



Choix de la technologie et problèmes liés au combustible

| Technologie | Source de chaleur/Combustible |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| moteur à combustion | Gaz naturel, pétrol, huile végétale |
| Microturbine à gaz | Gaz naturel |
| Cycle Rankine à fluide organique | Fossile/Biomasse/chaleur récupérée |
| Moteur Sterling | Fossile/Biomasse/chaleur récupérée |
| Piles à combustible | Gaz naturel/Hydrogène |

Production décentralisée: exercice

Contenu

- Objectifs des exercices
- Point de départ d'un projet
- Approche
- Outil logiciel

Etude de cas concret – cadre et objectifs

- Cadre
 - Un hôpital nécessite un nouveau système de chauffage, vous devez les conseiller dans le choix entre une nouvelle chaudière ou un moteur à cogénération
- Objectifs de l'étude de cas
 - Déterminer si il est possible de répondre aux besoins de chaleur actuels grâce à un moteur à cogénération
 - Quel serait le coût d'introduction d'une telle action ?
 - Quels sont les risques d'une transition vers un moteur à cogénération ?
 - Quels sont les aspects réglementaires qui diffèrent de la situation actuelles ?

Point de départ d'un projet

- Comment puis-je garantir mon approvisionnement en énergie ?
- Comment puis-je réduire mes coûts énergétiques ?
- Comment puis-je apporter davantage de valeur ajoutée à mon produit ?
- Comment puis-je réduire l'empreinte CO₂ de mon produit?
- Y-a-t-il des modifications du régime de droit pouvant engendrer des difficultés techniques ou économiques liées à mon système de chauffage actuel?

Conceptualisation du projet – Facteurs déterminants

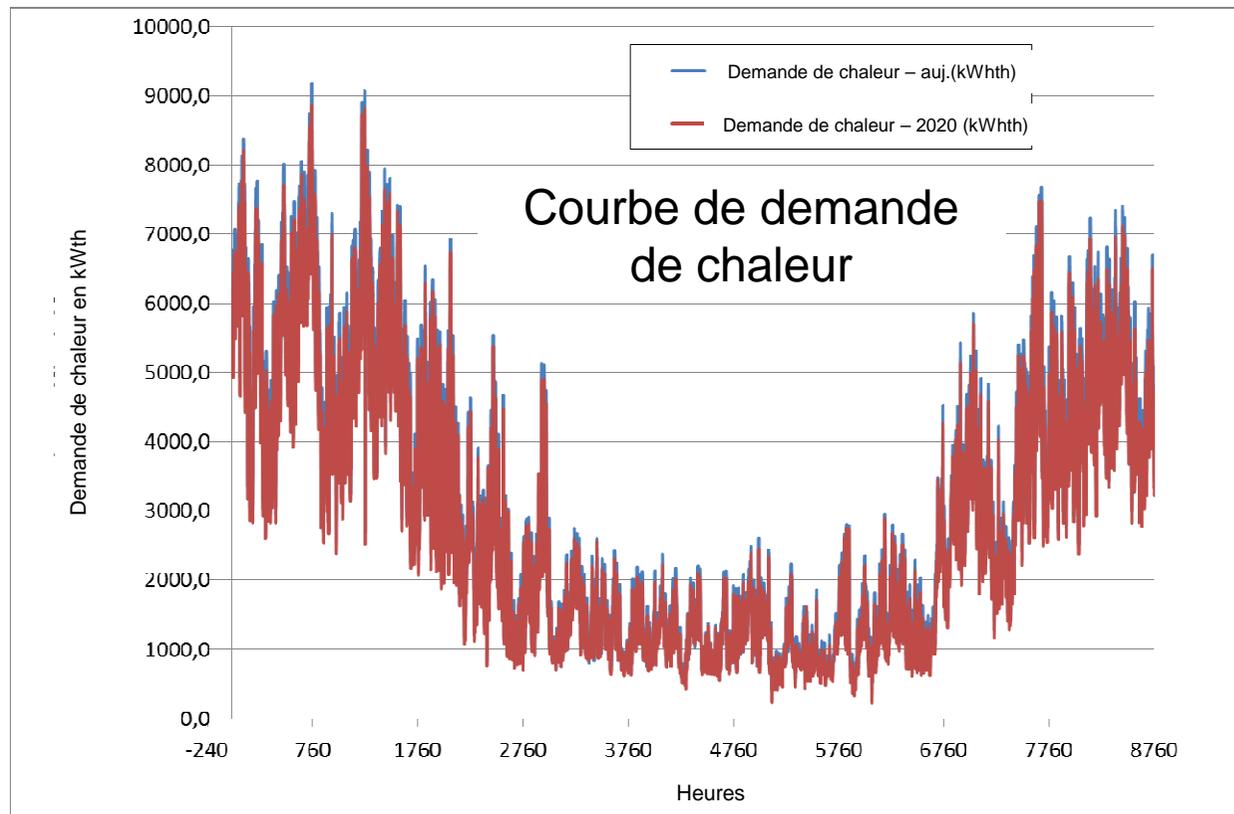
- Sous quelle forme d'énergie se présente ma demande (Chaleur, électricité, Froid) ?
- Quels sont mes prix/coûts d'énergie actuels ?
- Combien de place ai-je à disposition ?
- Y-a-t-il d'autres personnes dans mon voisinage qui pourraient avoir besoin d'énergie ?
- Quand dois-je remplacer mon système de chauffage actuel ?
- ...

Etude de cas concret – comment procéder?

- Tâches
 - Etape 1: Analyser la demande en électricité et en chaleur
 - Etape 2: Quels combustibles alternatifs sont à ma disposition ?
 - Etape 3: Déterminer les principaux paramètres techniques
 - Etape 4: Déterminer les coûts du projet et évaluer la dimension économique
 - Etape 5: Préparer une présentation exposant les résultats
- Fonctionnement
 - Mettre en place un groupe de travail
 - Distribuer les tâches
 - Travailler ensemble pour trouver une solution commune au groupe
 - Présenter vos résultats („vendez votre centrale à votre client“)

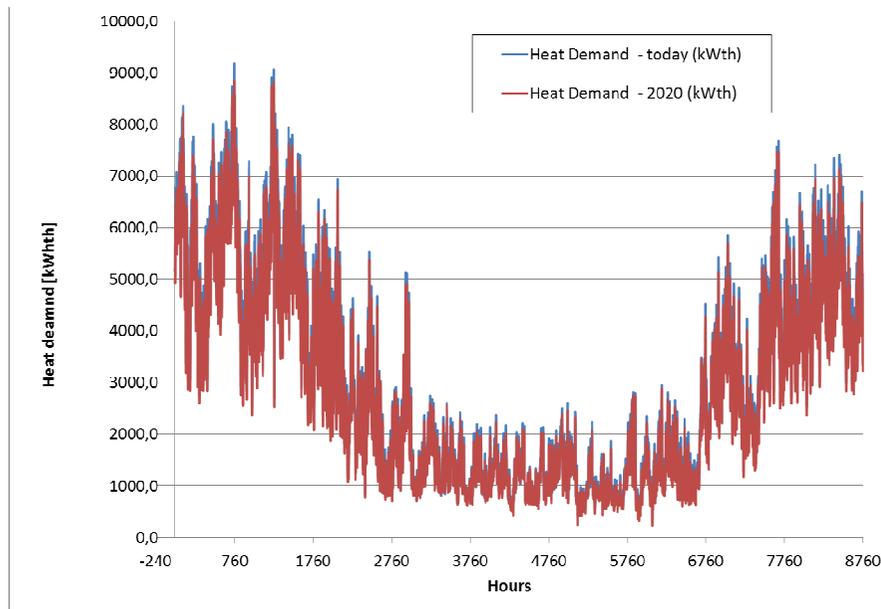
Etape 1: Analyse de la demande en chaleur - profil de demande de chaleur

- Verifier les demandes de chaleur actuelles et le profil de demande en chaleur

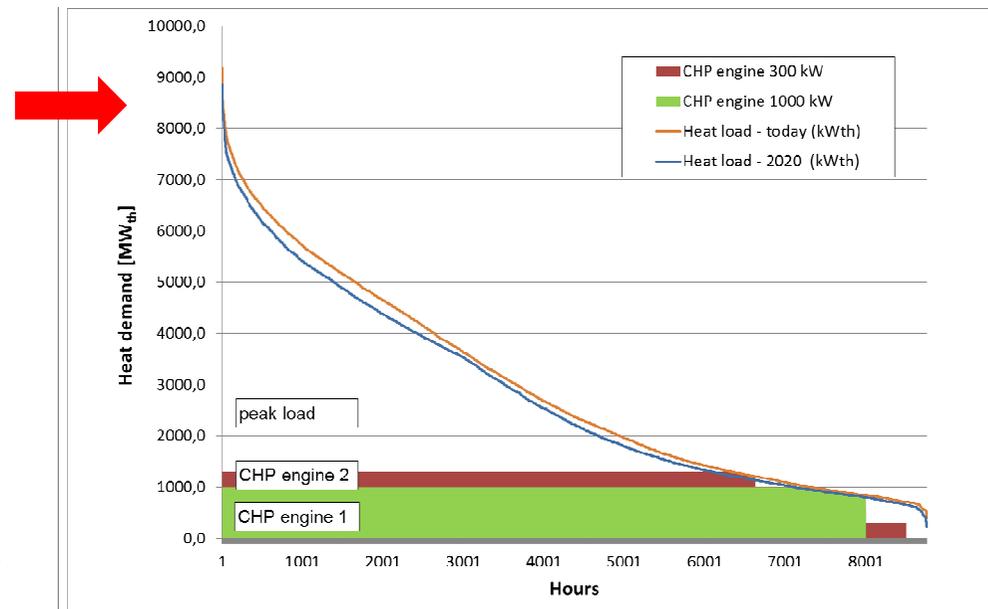


Etape 1: Dimensionnement - de la courbe de demande à la courbe de durée de charge

Courbe de demande de chaleur

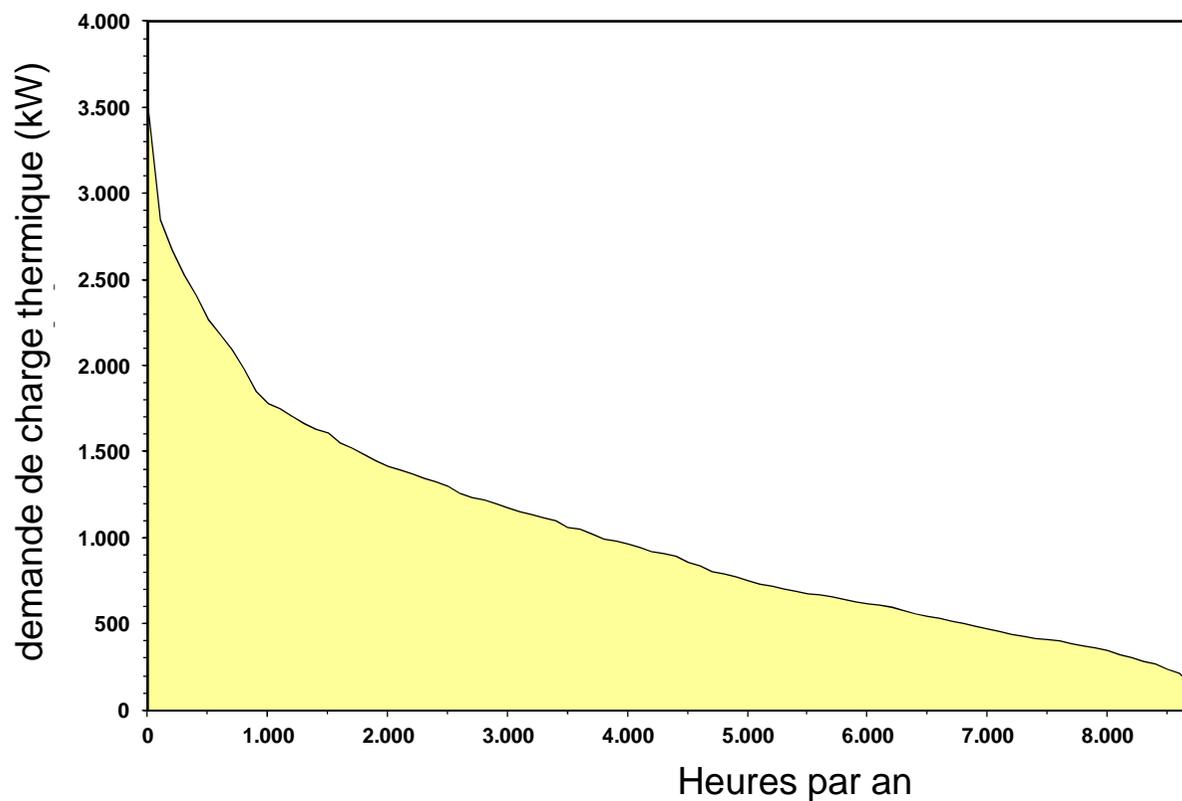


Courbe de charge

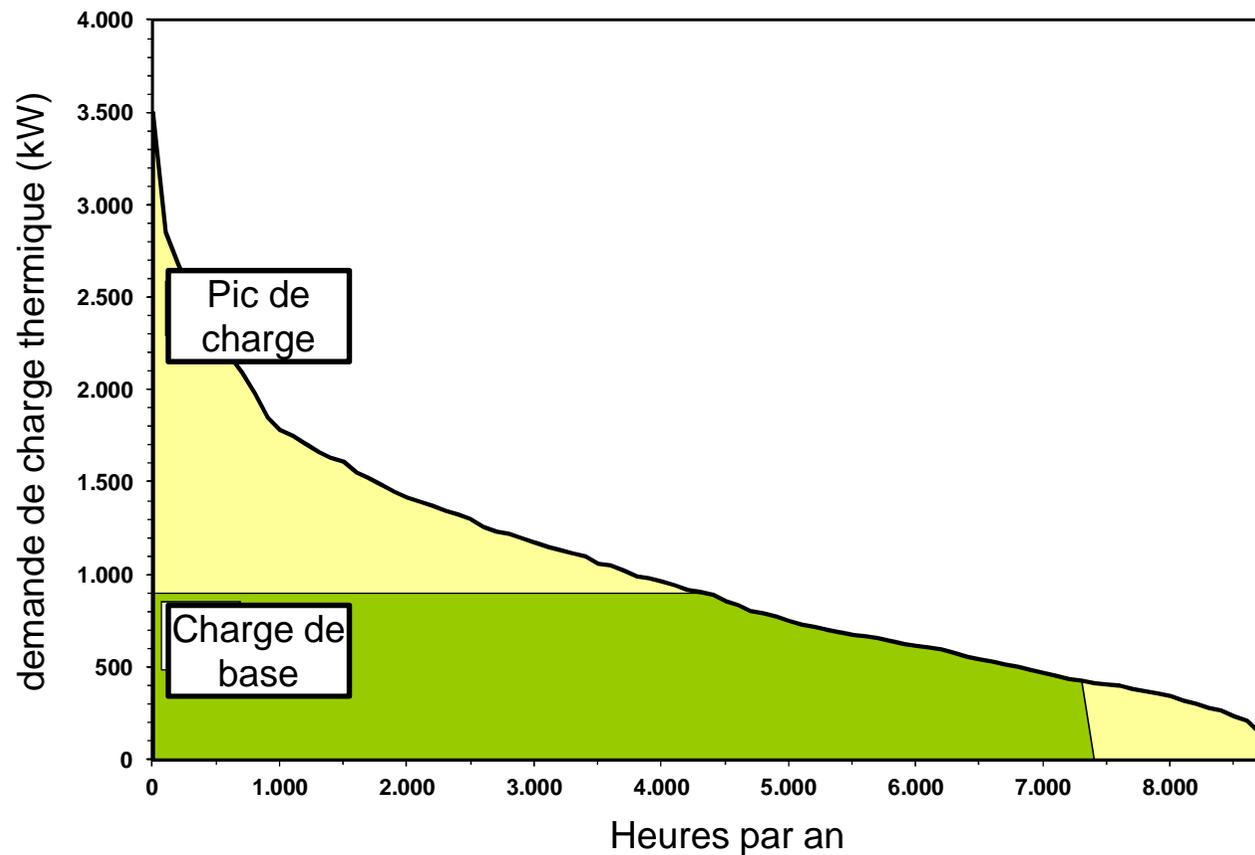


Objectif : augmentation du nombre d'heures de fonctionnement annuelles

Etape 1: Analyse de la demande en chaleur – courbe de durée de charge



Etape 1: Analyse de la demande en chaleur – conceptualisation



Etape 1: Analyse de la demande de chaleur – conception – données de bases pour l’outil d’évaluation

Demande de chaleur

- Paramètres d’entrée
 - courbe de demande
 - paramètres de demande de chaleur

| Données sur la demande de chaleur depuis 1er Janvier, 1h | | |
|--|--|-------------------------------------|
| Heure de l’année | Demande de chaleur - à ce jour (kWth) | Demande de chaleur - 2020 (kWth) |
| 1 | 5157,4 | 4940,8 |
| 2 | 5167,0 | 4952,8 |
| 3 | 5214,6 | 5010,9 |
| ... | | |
| ... | | |
| 8760 | 5567,9 | 5297,7 |

Etape 2 : Combustibles alternatifs

Quels autres combustibles alternatifs sont disponibles ?

- Gaz naturel, mazout, GPL, biogaz...
- paramètres d'entrée : caractéristiques du carburant

| | |
|--|-----------------------|
| Type de combustible | gaz naturel |
| Pouvoir calorifique inférieur du combustible | 10kWh/nm ³ |

Etape 3: Déterminer les principaux paramètres techniques - données de base pour l'outil d'évaluation

Moteur à cogénération

- paramètres d'entrée : capacité thermique et électrique, efficacités, caractéristiques de charges partielles, disponibilités

| PRIO | Type | capacité th. | durée de marché max. | charge partielle min | charge partielle |
|------|--------------------|--------------|----------------------|----------------------|------------------|
| [-] | [-] | [kW] | [h/a] | [%] | [kW] |
| 1 | CHP engine 1000 kW | 1000 | 8000 | 70 | 700 |
| 2 | CHP engine 300 kW | 300 | 8500 | 70 | 210 |

| Données techniques des moteurs à cogénération | |
|---|-------------|
| modèle | 2G agenitor |
| capacité électrique | 889 kWe |
| capacité thermique | 1000 kWth |
| efficacité électrique | 40% |
| efficacité thermique | 45% |
| donnée technique du chauffage existant | |
| efficacité thermique du chauffage remplacé | 90% |

Etape 4 : évaluation économique I

Prix de l'énergie, prix de production énergétique et recette

- Paramètres d'entrée: les prix des combustibles et de l'électricité auxiliaire, prix des combustibles réellement payé, facteurs d'inflation des prix

Exemple

| Coûts de l'énergie | | | |
|-----------------------|----------|-------|-------|
| | US\$/MWh | €/kWh | €/nm3 |
| prix de l'électricité | 95 | 0,068 | |
| prix du gaz | 37,5 | 0,027 | 0,27 |

| coefficients d'inflation | |
|-----------------------------|----|
| mazout | 3% |
| électricité | 3% |
| exploitation et maintenance | 2% |

Etape 4 : évaluation économique II

Coûts d'investissement

- Paramètres d'entrée : coûts d'investissement spécifique à chaque composante

Exemple

| Coûts d'investissement | | | |
|--|-----|--------------|-----------------|
| Unité CHP | 800 | €/kWel | 711111 € |
| connection / hydraulique | 20% | de l'invest. | 142222 € |
| planification | 10% | de l'invest. | 71111 € |
| total | | | 924444 € |
| subvention à l'investissement | 20% | de l'invest. | 184889 € |
| investissement total, subventions incl. | | | 739556 € |

Etape 4 : évaluation économique III

Coûts d'exploitation et de maintenance

- Paramètres d'entrée : paramètre coûts d'exploitation spécifiques
Coûts annuels d'exploitation et de maintenance

| Coûts annuels d'exploitation et de maintenance | |
|--|-----------------------------|
| coûts de maintenance spécifiques | 0,01 €/kWh |
| coûts de maintenance | 70580 €/a |
| coûts des révisions ap.60000h | 50% des coûts de CHP |
| coûts des combustibles | 476035 €/a |
| besoins énergétiques pour prod. CHP | 2% de la demande en chaleur |
| | 158.805 kWh/a |
| coûts de l'électrique pour prod. CHP | 10854 €/a |
| Assurance | 1% d'invest. |
| | 9244 €/a |
| opération - personnel | 0,50% d'invest. |
| | 4622 €/a |
| Coût d'exploitation et maintenance | 571335 €/a |

Etape 4 : évaluation économique IV

Financement

- Paramètres d'entrée: paramètres financiers

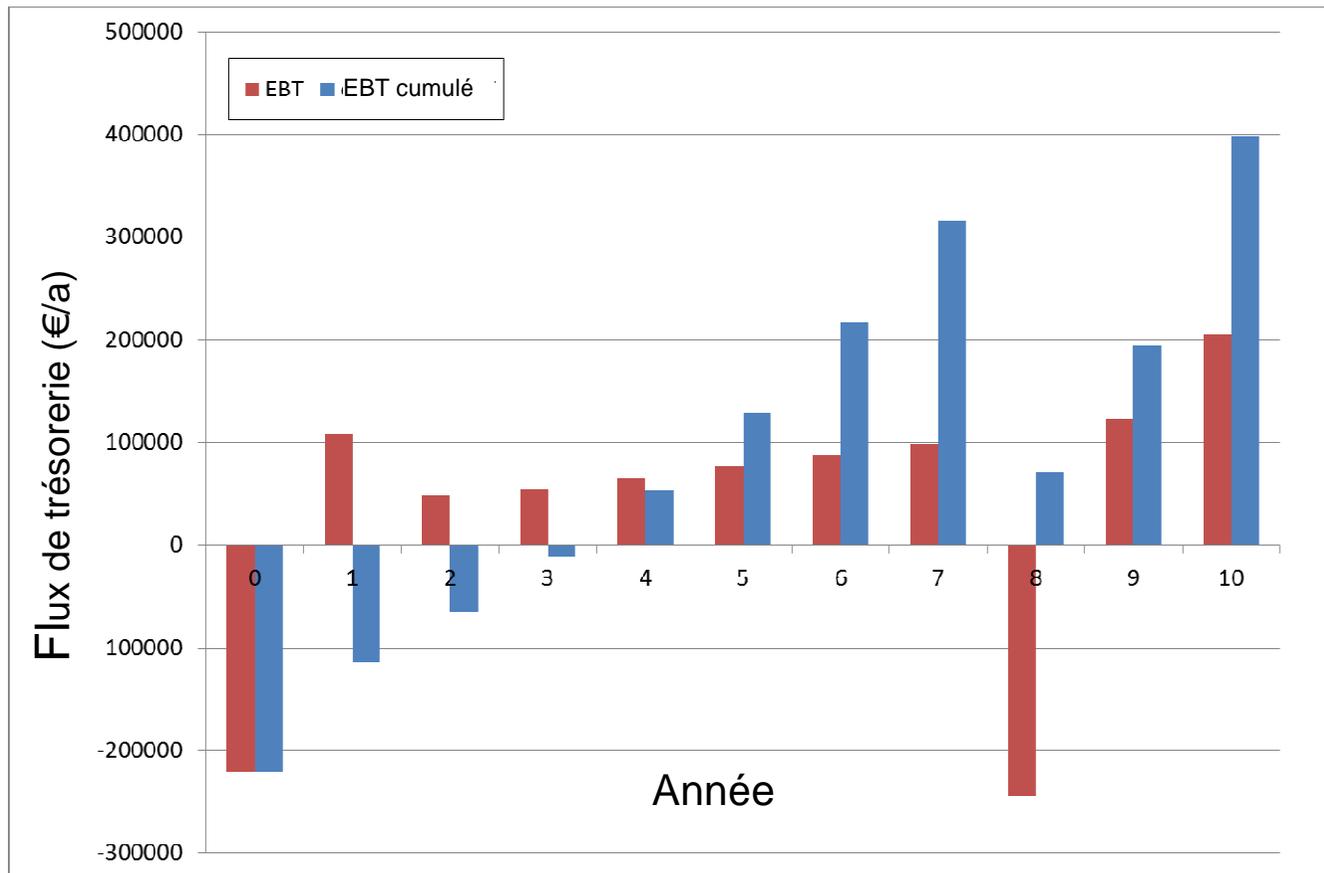
| Conditions de financement | | |
|---------------------------|---------|-----------|
| actions | 30% | 221.867 € |
| dettes | 70% | 517.689 € |
| temps d'emprunt | 8 a | |
| délai de grâce | 1 a | |
| taux d'intérêt | 8% p.a. | |

Etape 4 : évaluation économique IV

Analyse des flux de trésorerie

- Objectif: déterminer la faisabilité économique du projet
- Dépenses et coûts :
 - Coûts d'investissement
 - coûts des combustibles
 - coûts d'exploitation et de maintenance
 - coûts de consommation électrique auxiliaire
 - coûts du personnel
 - bail foncier
 - frais d'évacuation des cendres
- Chiffre d'affaire : vente de chaleur et d'électricité ou économie de coûts
- Financement : taux d'intérêt, remboursement de prêt, ratio d'endettement, subvention
- Résultats : bilan des bénéfices et pertes, bénéfices avant impôts (EBT), retour sur investissement (ROI), taux de rentabilité interne (IRR), coût de production de chaleur

Analyse des flux de trésorerie



Production décentralisée: exemples de bonnes pratiques I



Exemple de bonnes pratiques – unité CHP Monheim/Germany

- 2 MWe connecté à un réseau local de chauffage urbain
- Système de cogénération alimenté au gaz naturel



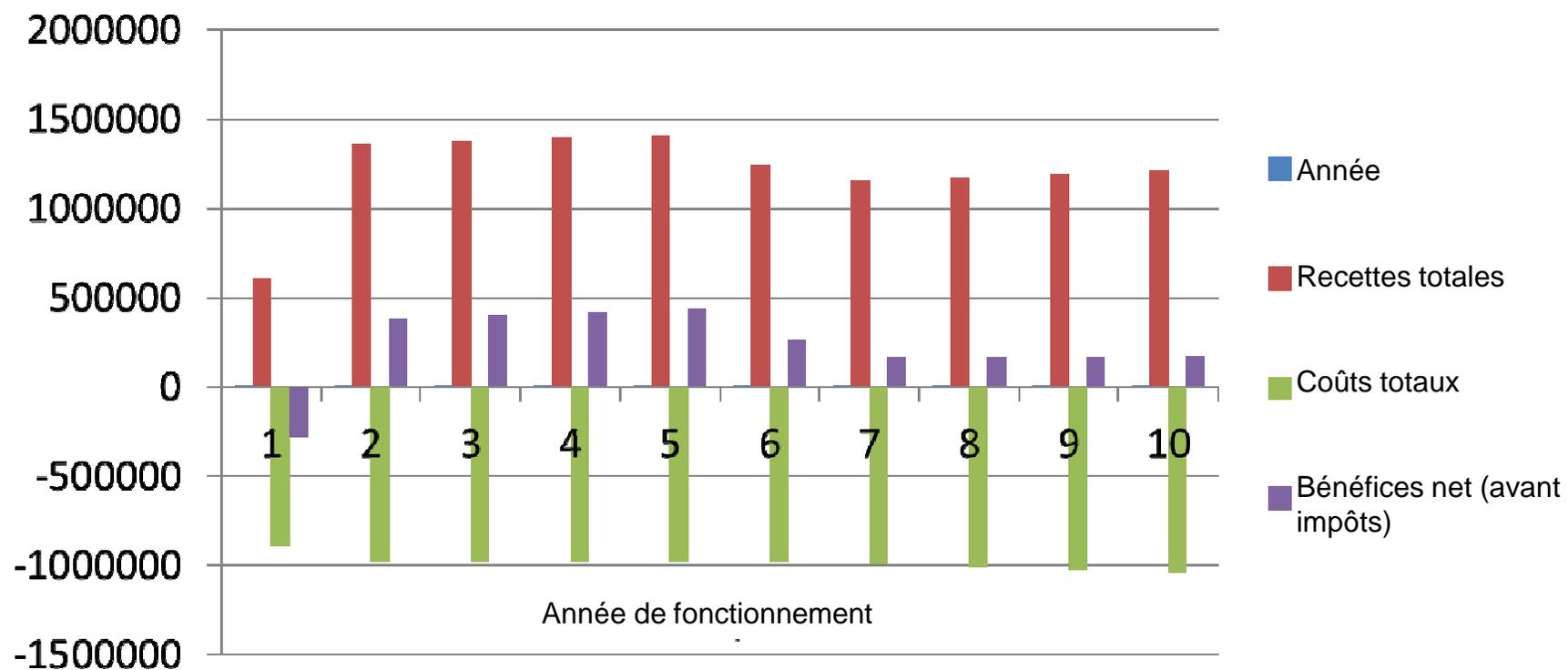
Exemple de coût d'investissement – Monheim/Germany

| Composants | Investissement |
|---|-----------------------|
| unité CHP | 750.000 € |
| Systèmes de contrôle et mode d'alimentation | 205.000 € |
| Ventilation | 50.000 € |
| Gaz de combustion | 75.000 € |
| Travaux électriques | 45.000 € |
| Cuves de stockage | 20.000 € |
| Raccordement au réseau de gaz | 12.000 € |
| Raccordement au réseau de chauffage | 80.000 € |
| Mesures | 3.000 € |
| Mesures de protection contre le bruit et autres | 80.000 € |
| Travaux publics | 180.000 € |
| Investissement Total | 1.500.000 € |

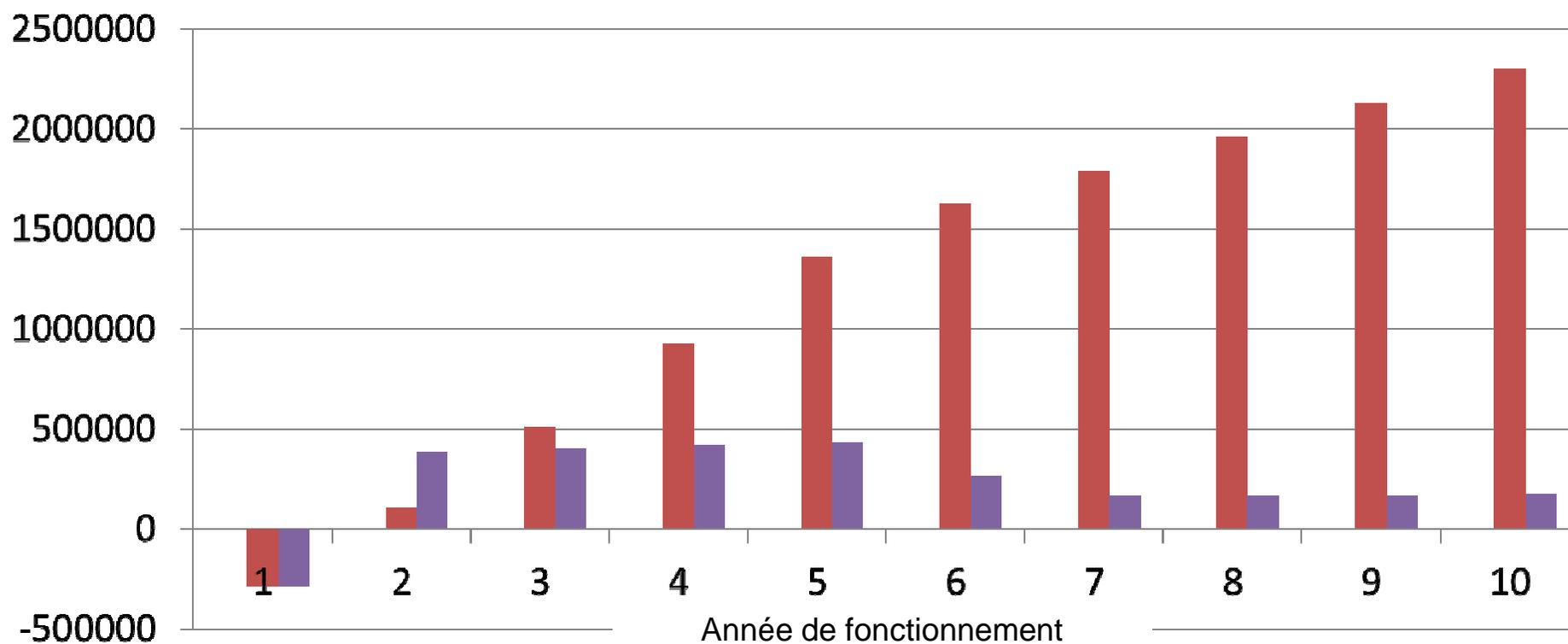
Exemple de coût d'exploitation et de maintenance - Monheim/Germany

| Article | Investissement |
|-------------------------|-----------------------|
| Opérations commerciales | 17.000 € |
| Administration | 5.700 € |
| Maintenance | 75.500 € |
| Combustibles | 806.000 € |
| Total | 904.200 € |

Évaluation économique – Bilan des coûts & profits - Monheim



Évaluation économique – analyse des flux de trésorerie - Monheim



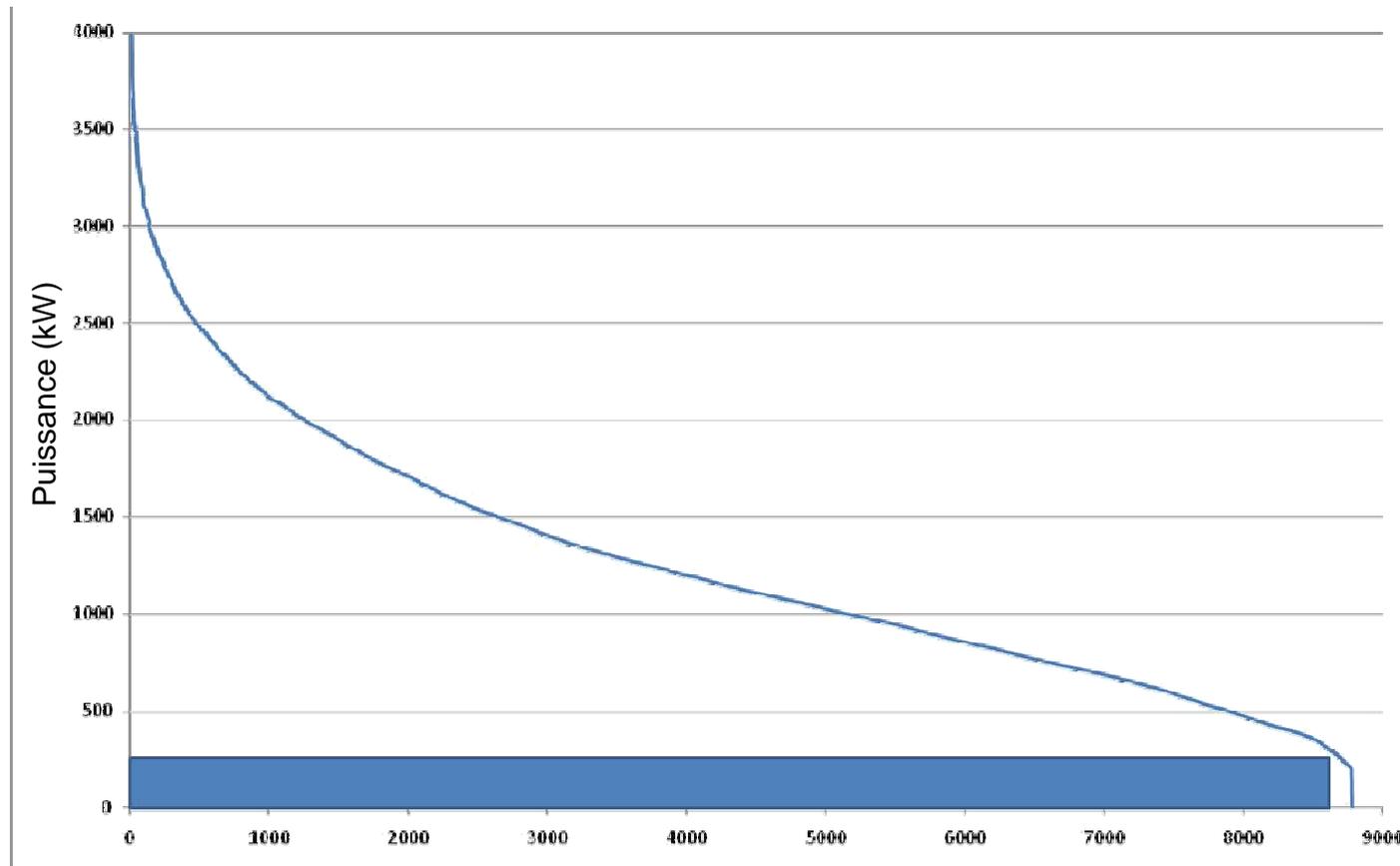
- Situation préalable : dispositif de chauffage électrique
 - Mesures en matière d'efficacité énergétique et situation à posteriori
 - Récupération et utilisation de la chaleur perdue
 - Remplacement de la chaleur électrique par la chaleur du moteur à cogénération (CHP)
- Economies réalisées
 - Energie: 1460 MWh/a
 - Coûts: 228.800 \$/a
 - Emissions: 719 t CO₂/a
- Période d'investissement et de remboursement : 71.500 \$ -> 14 semaines

Description

Approvisionnement complémentaire en énergie et en chaleur par des micro-turbines à gaz

- Modification du système
 - Micro-turbines à gaz (conditionné)
 - Réservoir de chaleur
 - Système de contrôle du réseau de chauffage
 - intégration des procédés
- Prix de l'énergie élevé → propre production énergétique

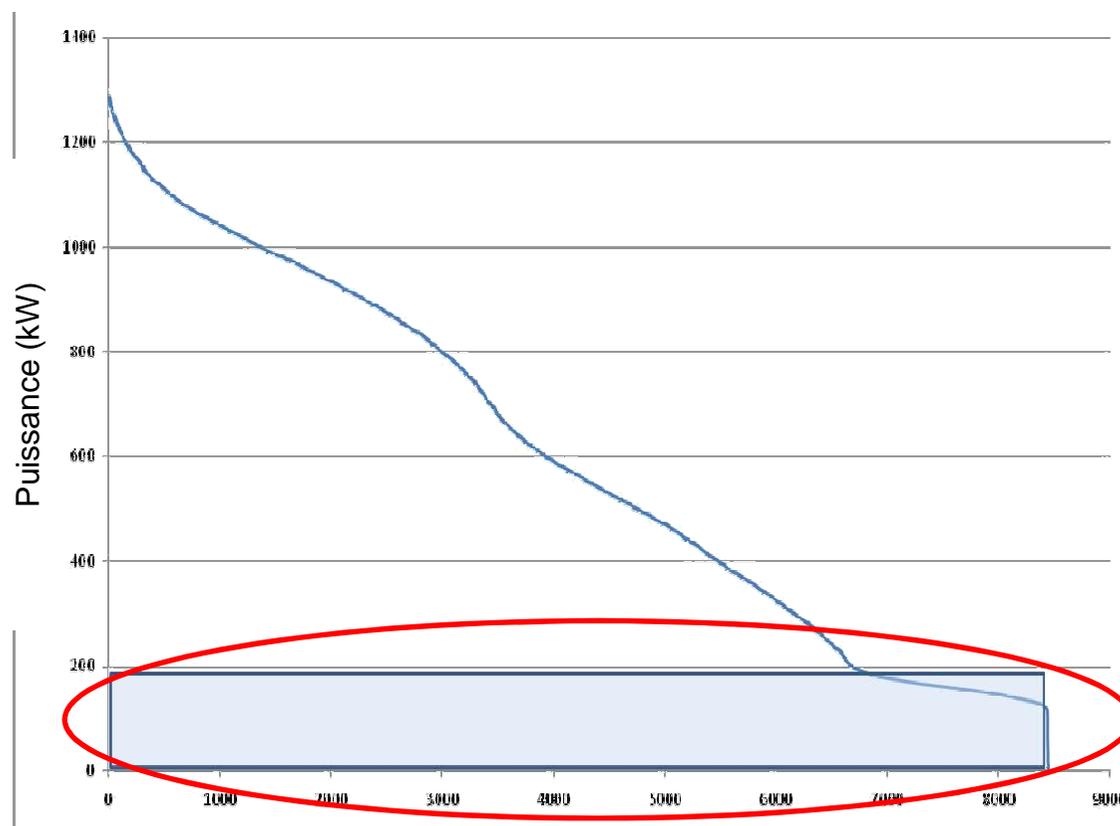
Dimensionnement – Courbe de charge thermique



Dimensionnement – Courbe de charge électrique

Micro-turbine à gaz Capstone C200

| | |
|----------------------------------|----------|
| Capacité électrique | 190 kW |
| efficacité électrique | 31% |
| Température de gaz d'échappement | 280°C |
| Débit de gaz d'échappement | 1,3 kg/s |



Compétitivité économique

| Paramètres économiques | Montant (€) |
|---|-------------------|
| Investissement turbine à gaz | 340.000 |
| Investissement de raccordement | 226.000 |
| Autres investissement | 83.000 |
| Total des investissement | 649.000 |
| Coût annuel total de combustibles | 175.000 |
| Coûts annuel total de maintenance et exploitation | 31.500 |
| Revenu annuel | 290.800 / 226.300 |
| Taux de rendement interne sur 20 ans | 15,8% |

Estimation des possibilités de réductions des coûts, Europe de l'ouest

| | |
|--|----------------|
| ▪ Machineries (pompes, agitateurs, etc.) | -0-20% |
| ▪ Bâtiments / construction (citernes, tubes, etc.) | -10-30% |
| ▪ Electronique, mesures, système de surveillance | -10-20% |
| ▪ Divers | -10-30% |
| ▪ Equipement (CHP, chaudières, etc.) | 0% |
| ▪ Coût total des investissements | -15–30% |

Résumé & Conclusions

- L'approvisionnement en chaleur par cogénération (CHP) est plus rentable sur le moyen et le long terme
- Le surdimensionnement engendre une faible rentabilité ou même des pertes économiques
- Une analyse approfondie de la demande énergétique interne est nécessaire
- Des coûts de maintenance élevés → plus la durée de fonctionnement est élevée, plus l'unité CHP est rentable
- **Augmentation des prix de l'énergie → L'Efficacité domine !**

...Veuillez commencer l'exercice 😊

Merci!

Frank Schillig

KWA Eviva GmbH – www.eviva-energy.com
f.schillig@eviva-energy.com – Tel: +49 221 78946910
pour le compte de:

Renewables Academy (RENAC)

Schönhauser Allee 10-11
D-10119 Berlin
Tel: +49 30 52 689 58-71
Fax: +49 30 52 689 58-99
info@renac.de



**renac**
renewables academy

En coopération avec:



Soutenu par:



www.renac.de