



Chauffage à distance et centrales électriques du futur **Ou l'intégration de la production d'électricité en milieu urbain**



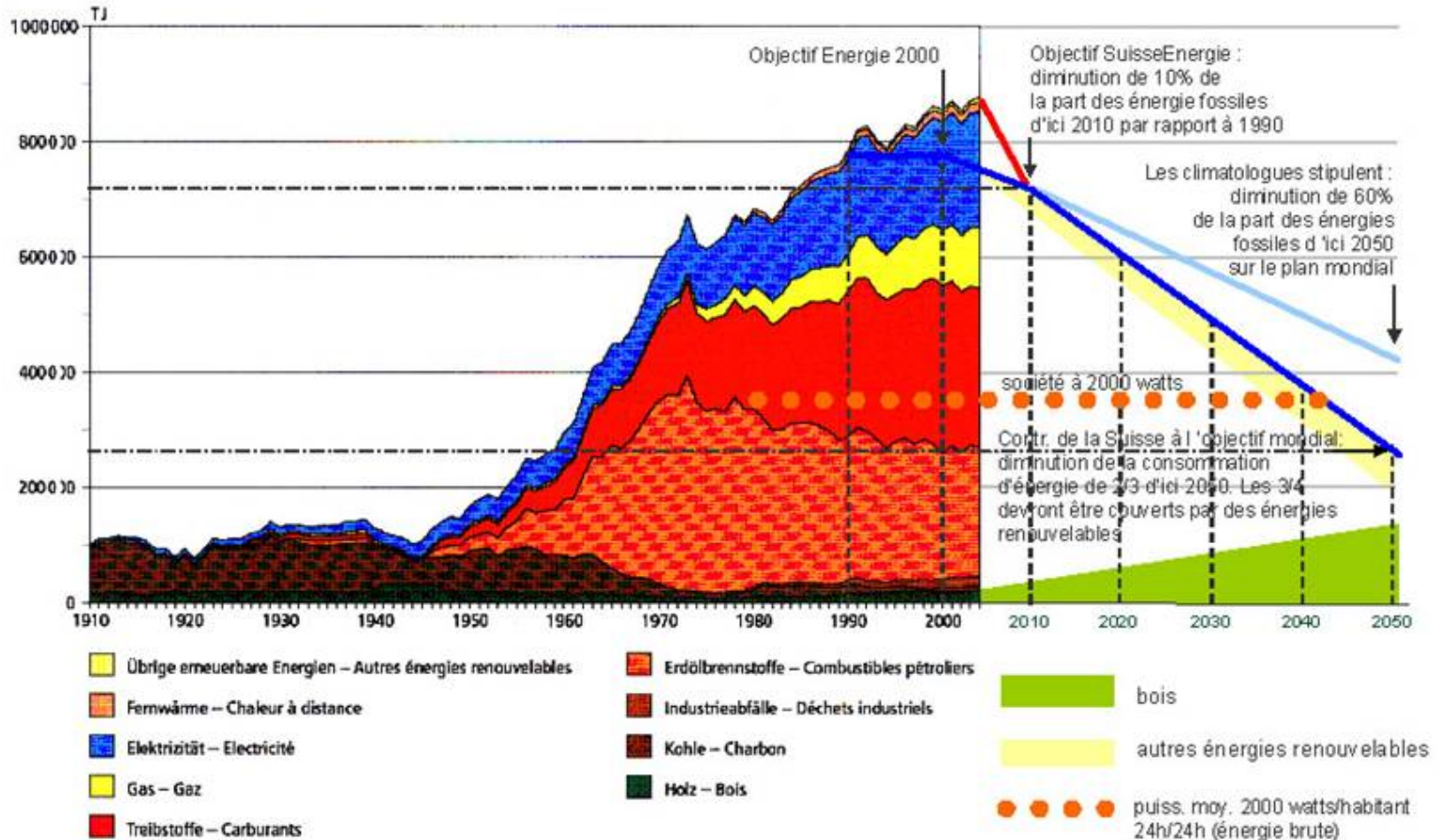
Gaëtan Cherix
CREM
Directeur



Déroulement

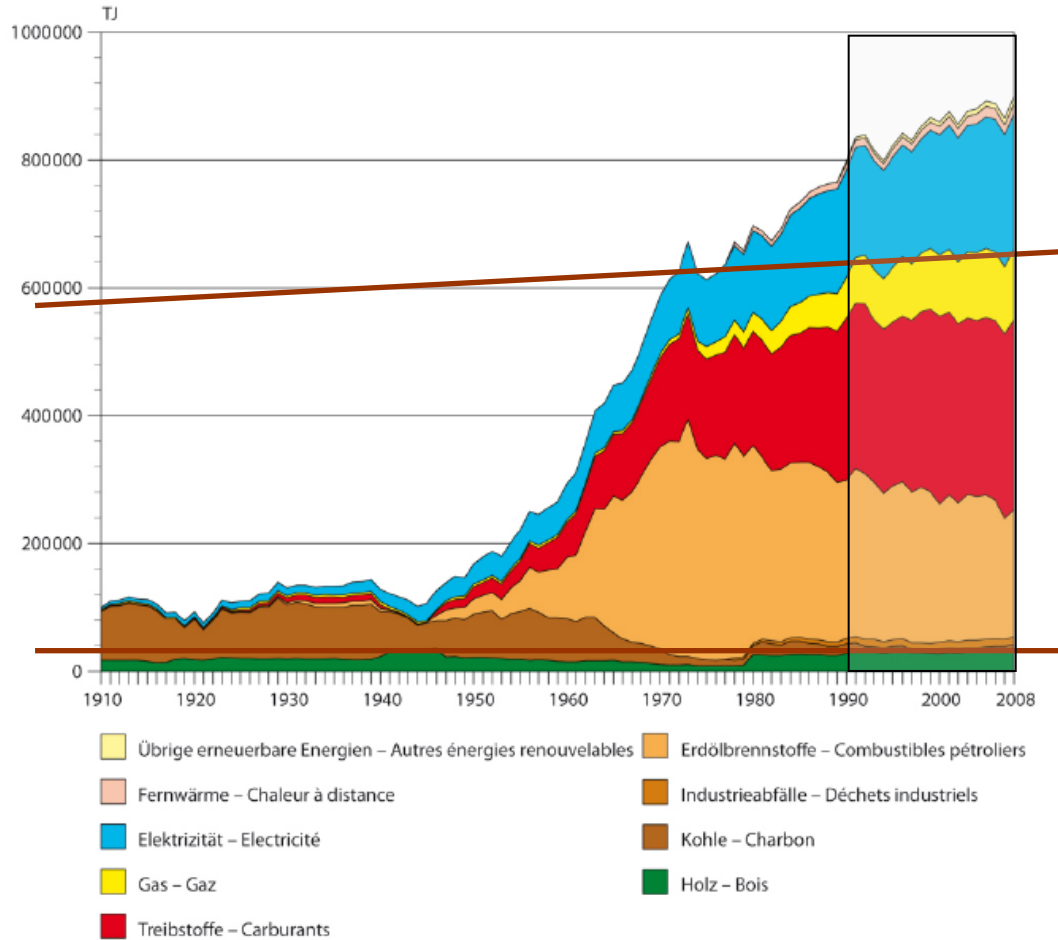
- La Suisse, l'énergie et l'électricité
- Le chauffage à distance
- Des exemples: CTV SA / Ville de La Chaux-de-Fonds
- La vision des systèmes énergétiques urbains du CREM
- Conclusion

L'objectif : la société à 2000 watts



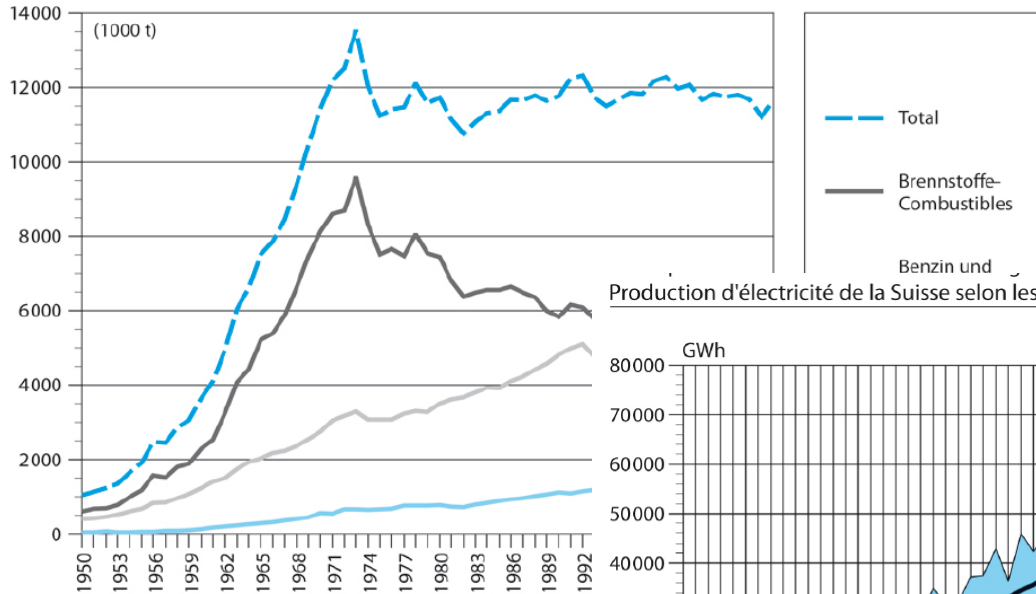
Source : SuisseEnergie

La consommation d'énergie en Suisse

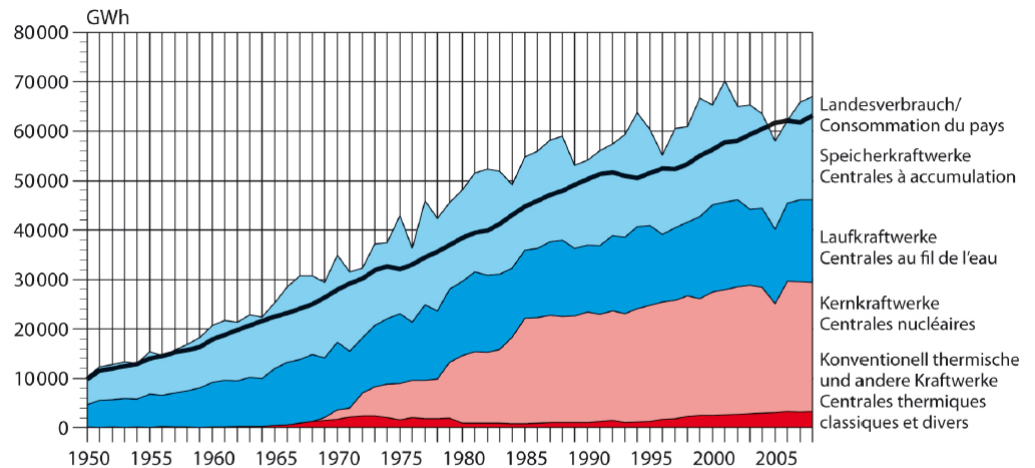


Sources:
 OFEN, statistiques suisses de
 l'énergie 2008

La consommation d'énergie en Suisse



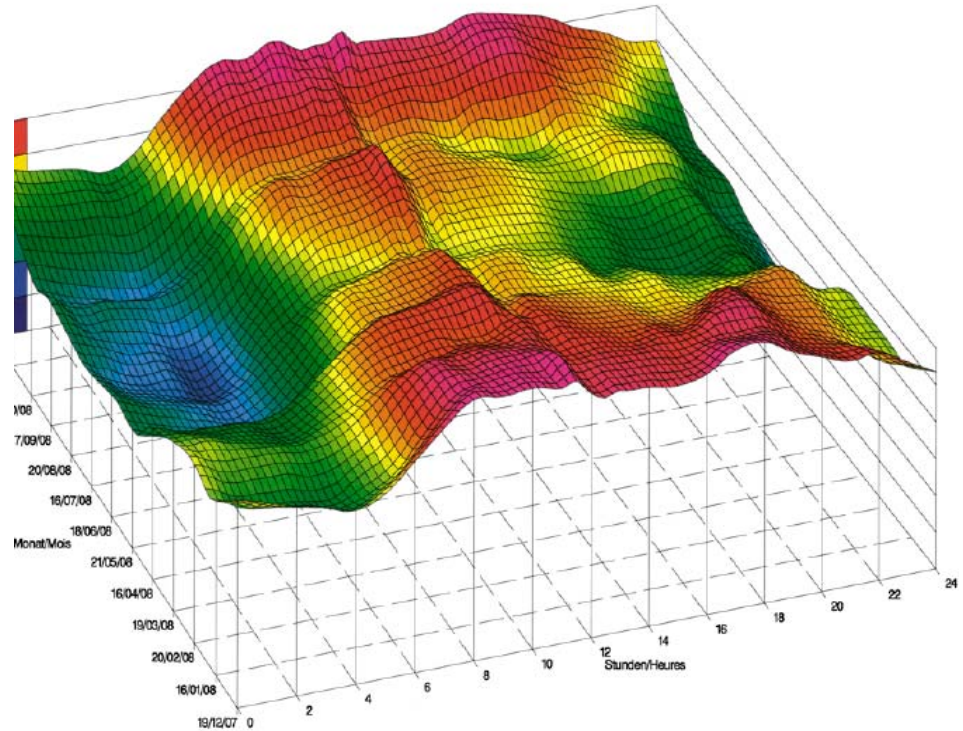
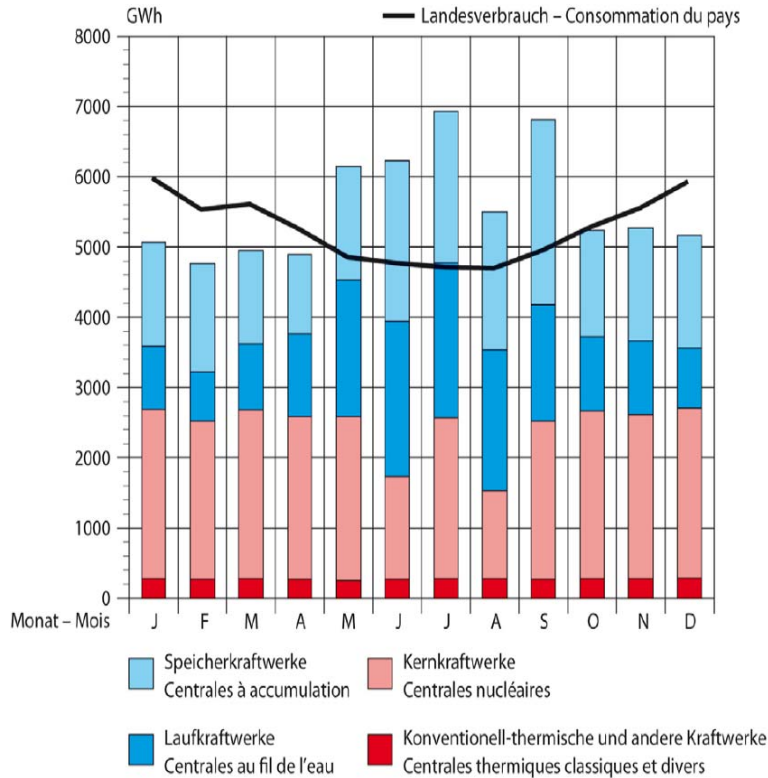
Production d'électricité de la Suisse selon les catégories de production, depuis 1950



Sources:
 OFEN, statistiques suisses de l'énergie 2008
 OFEN, statistiques suisses de l'électricité 2008

Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2008
 Source: OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2008

Charge horaire et mensuelle des centrales électriques suisses



Sources:
 OFEN, statistiques suisses de l'électricité 2008

La cogénération et les pompes à chaleur

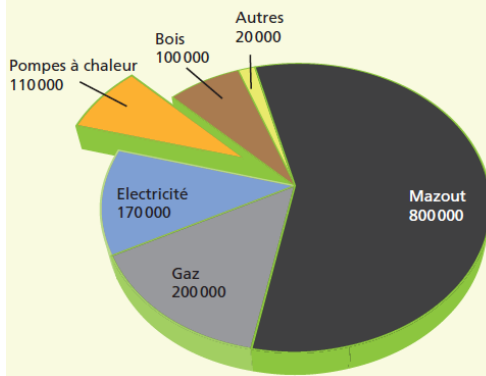


POMPES À CHALEUR

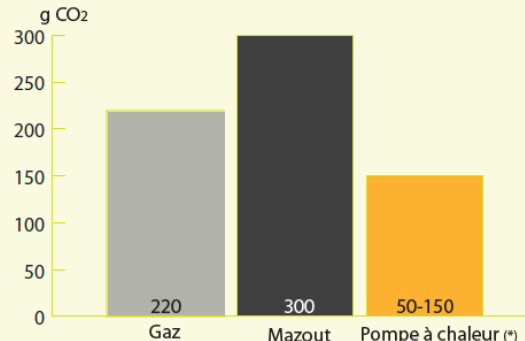
D'une pierre deux coups

Une hypothèse de travail de l'Office fédéral de l'énergie OFEN montre qu'il est possible de simultanément réduire les émissions de CO₂ de la Suisse de 20% par an et d'augmenter la production d'électricité de 10% par an. Comment? En remplaçant les chauffages actuels à mazout par des pompes à chaleur et en produisant l'électricité nécessaire à ces installations par une centrale à gaz à cycle combiné ainsi que par des unités de cogénération.

Chauffages en Suisse
 (seulement chauffages principaux, sans les chalets et résidences secondaires), total: 1,4 mio., année 2006

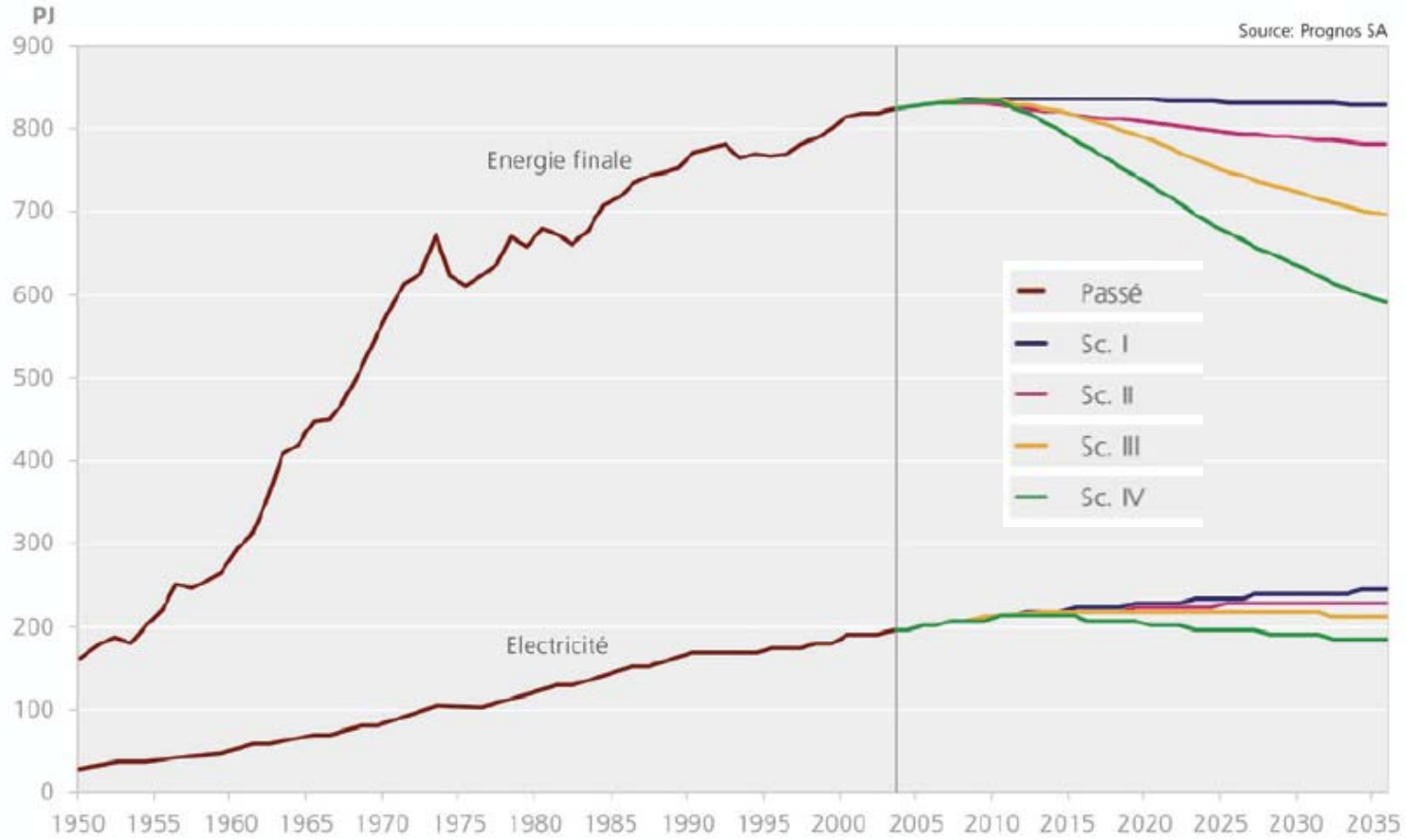


Emissions de CO₂ pour produire 1 kWh de chaleur ou d'eau chaude sanitaire



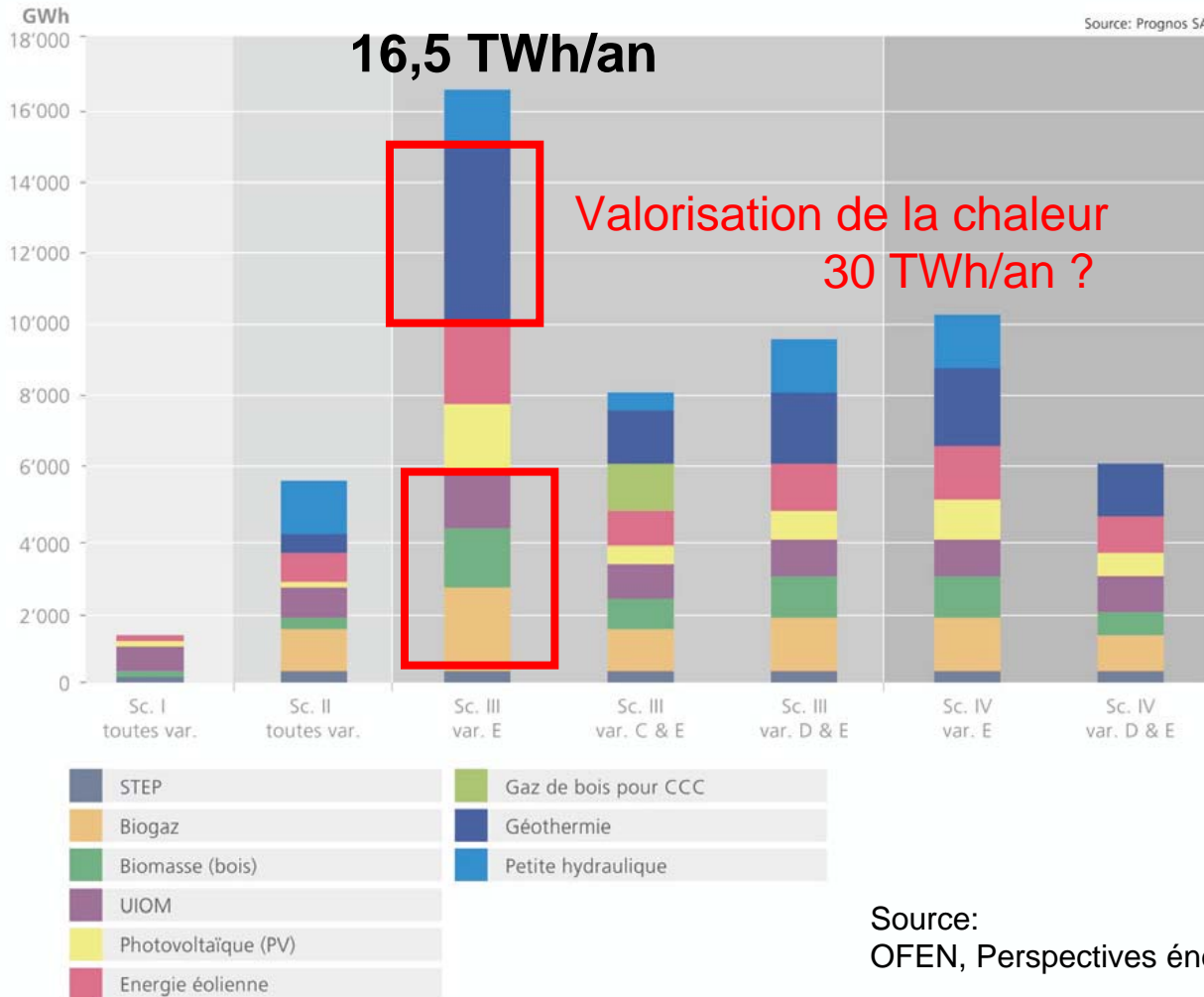
(*) Pompe à chaleur alimentée par l'électricité d'une centrale au gaz à cycle combiné ou d'une cogénération, selon le type de bâtiment et la source de chaleur.

Projection demande d'énergie



Source:
 OFEN (2007), Perspectives énergétiques pour 2035

Potentiel de développement de l'électricité renouvelable



Potentils de développement attendus en 2035 pour la production d'électricité issue des énergies renouvelables (sans les grandes centrales hydroélectriques), par scénarios et variantes d'offre, en GWh par année

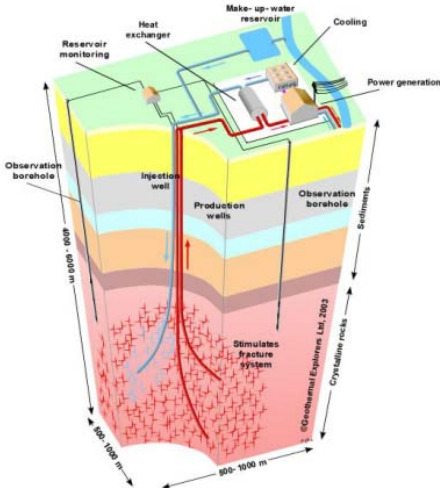
Source: OFEN, Perspectives énergétiques pour 2035

Chauffage à distance

UniGE Cycle de formation énergie – environnement 26.11.09



Source: SIG





Production d'électricité centralisée

Analyse des opportunités de valorisation de chaleur issue d'une centrale à cycle combiné alimentée au gaz naturel en Suisse Romande

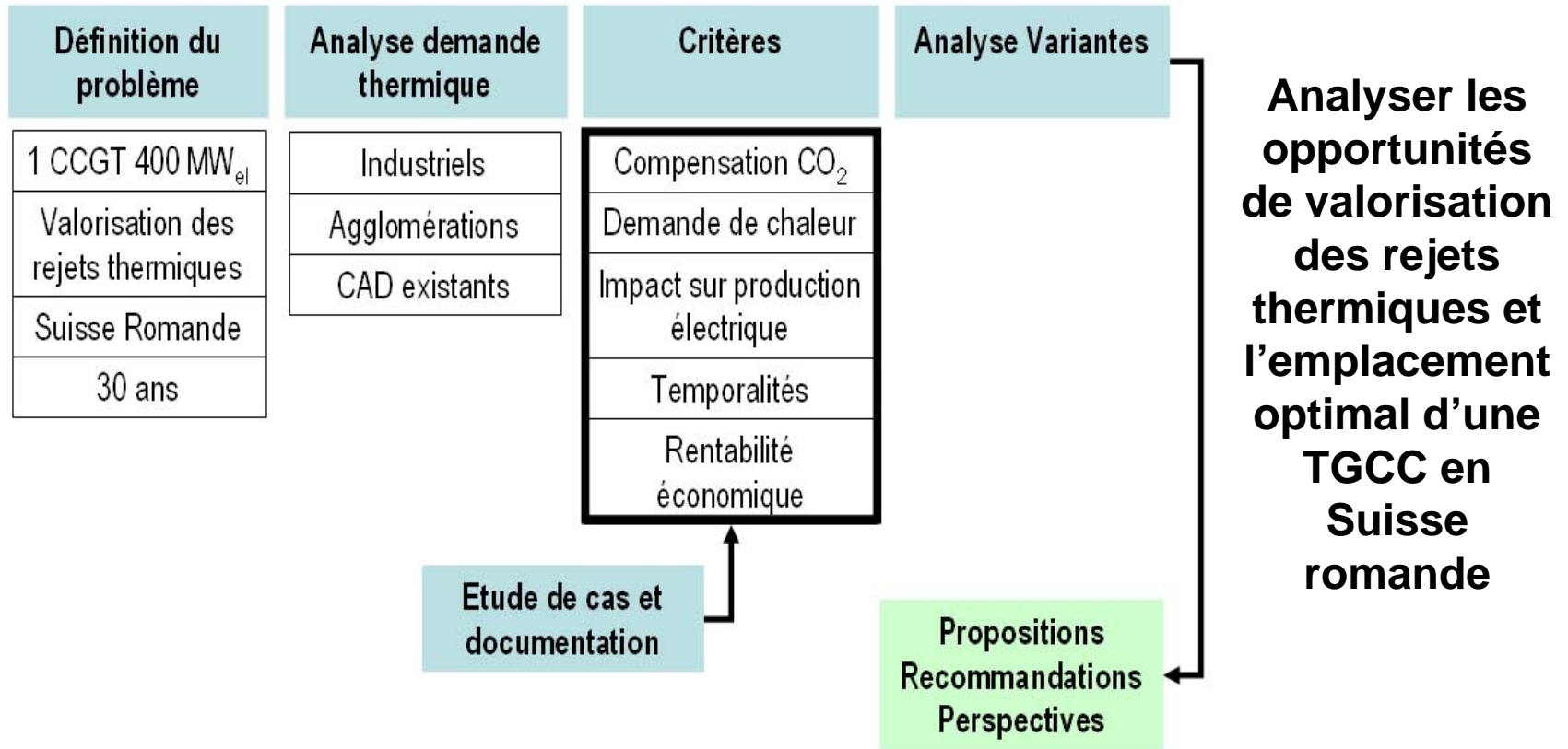
Client : Centrale Thermique de Vouvry (CTV SA)
MM. A. Neville et A. Papina

Prestataire : Centre de Recherches Energétiques et Municipales (CREM)
MM. G. Cherix, S. Storelli, D. Weissbrodt, J-M. Revaz

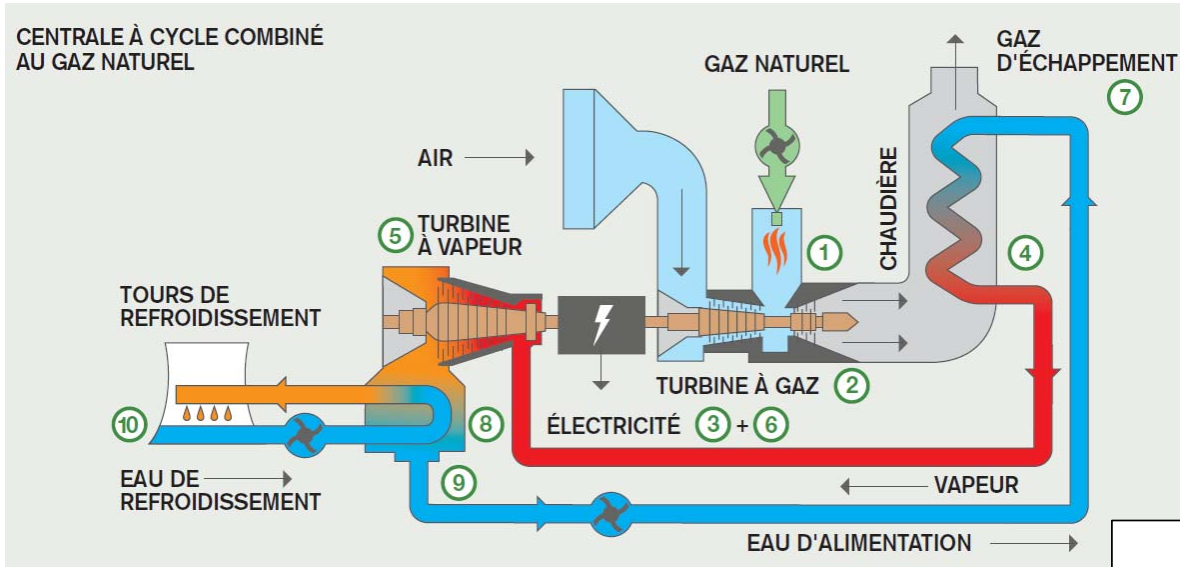
Collaboration : Energy Center (CEN), EPFL
MM. Prof. Dr. H-B. Püttgen, Dr. M. Capezzali



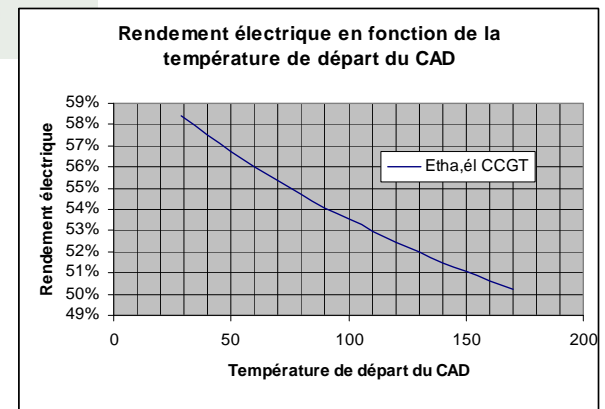
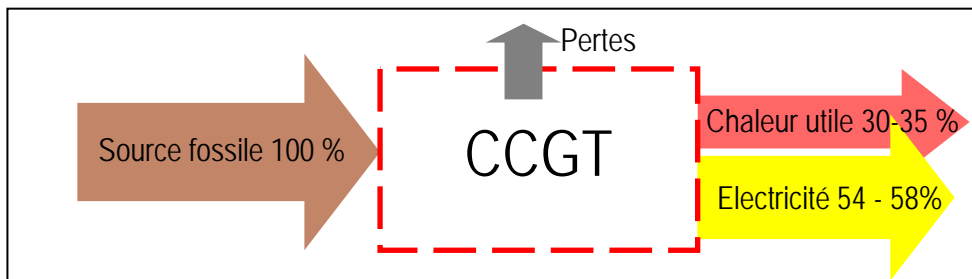
Méthode d'analyse



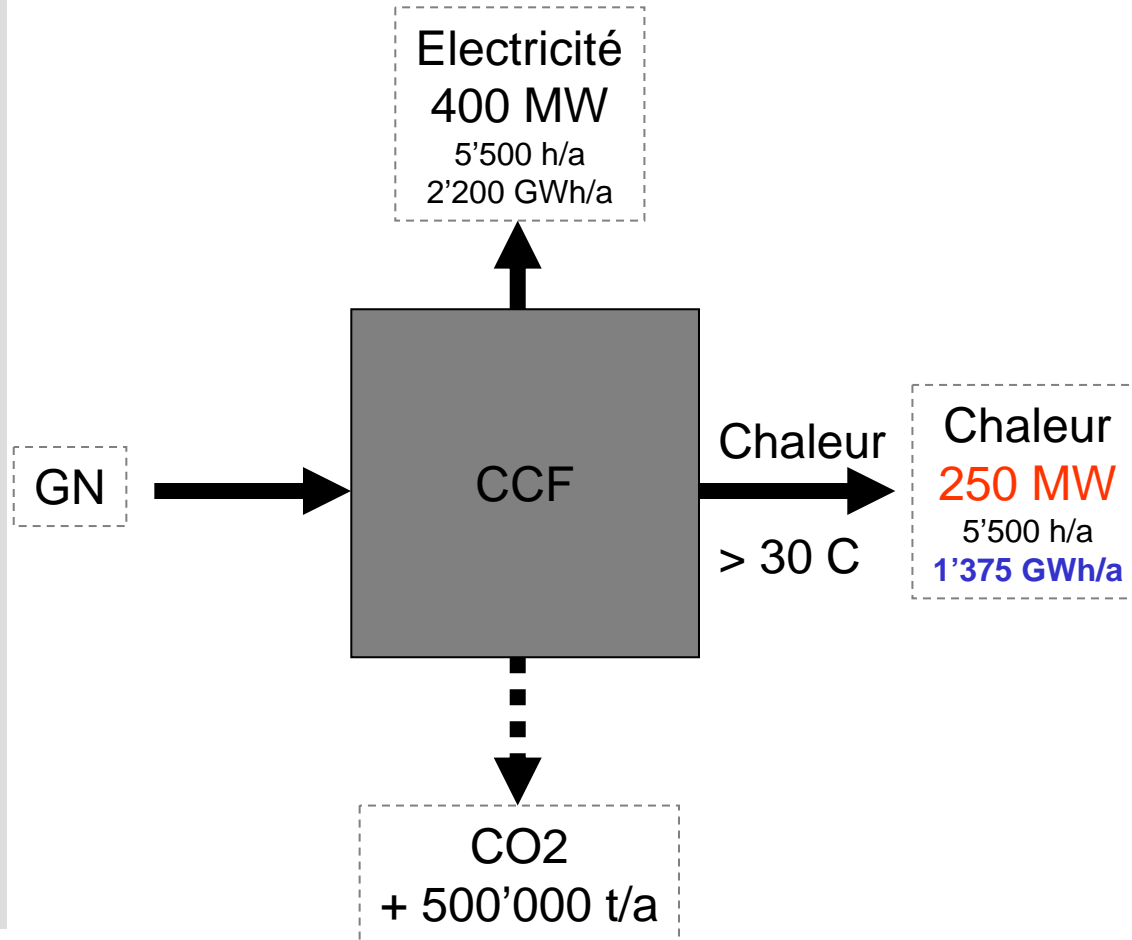
Couplages chaleur force: CCGT



! Forte Puissance !
 Genève SIG 60 MW_{él}
 Chavalon 400 MW_{él}
 Monthel 70 MW_{él}

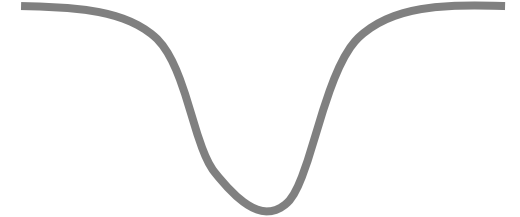


Contexte de Chavalon



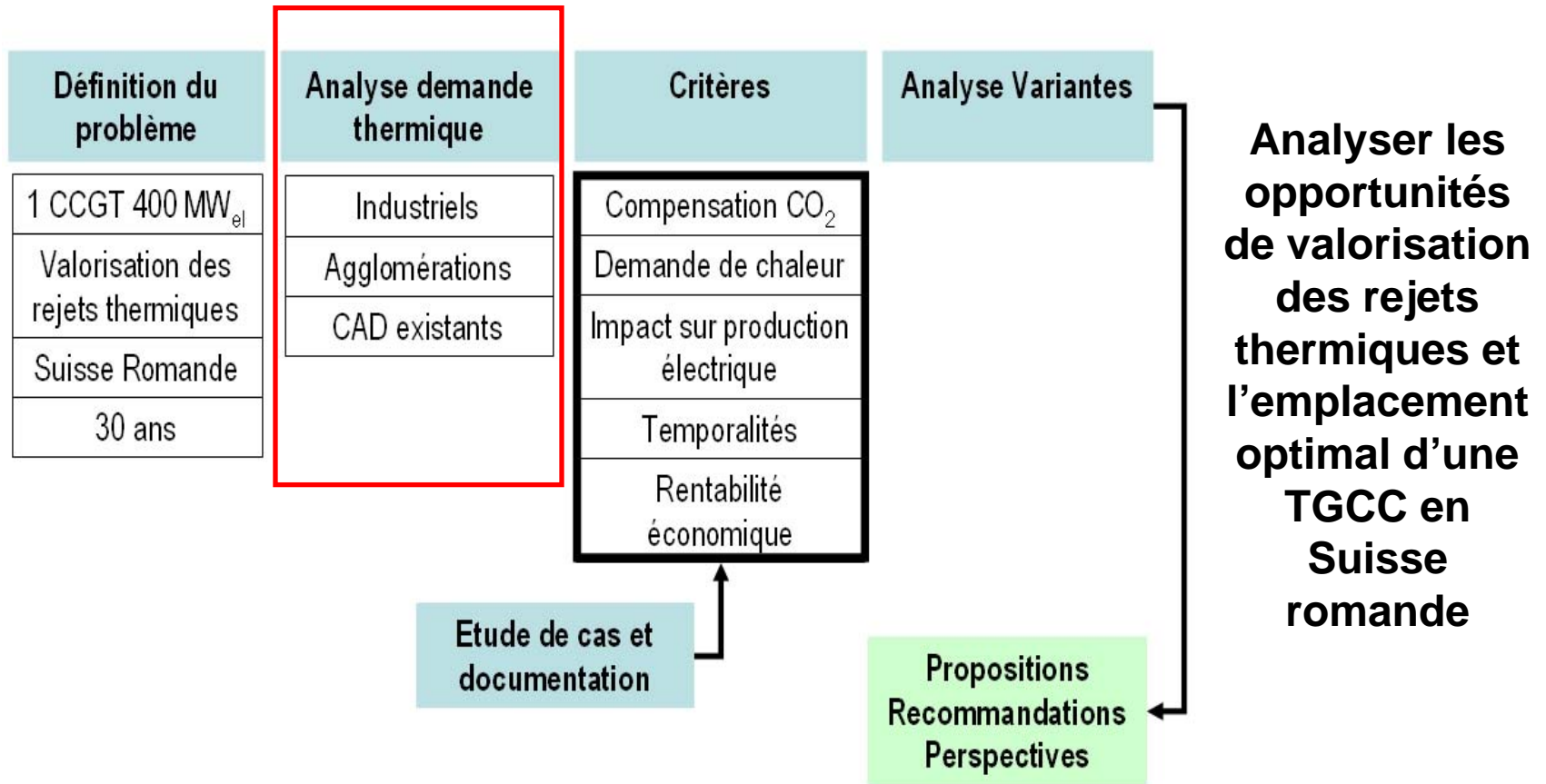
- Immobilier**
- Chauffage et eau chaude**
- 1'000 habitants
2,5 MW - 2'000 h/a – **5 GWh/a**
- 1'000 emplois
1,3 MW – 1'900 h/a – **2,5 GWh/a**
- Serres agricoles 1 ha**
2,5 MW - 1'000 h/a - **2,5 GWh/a**

Puissance équivalente
 100'000 habitants (Ch+ECS)
 200'000 emplois (Ch)
 100 hectares (Ch)

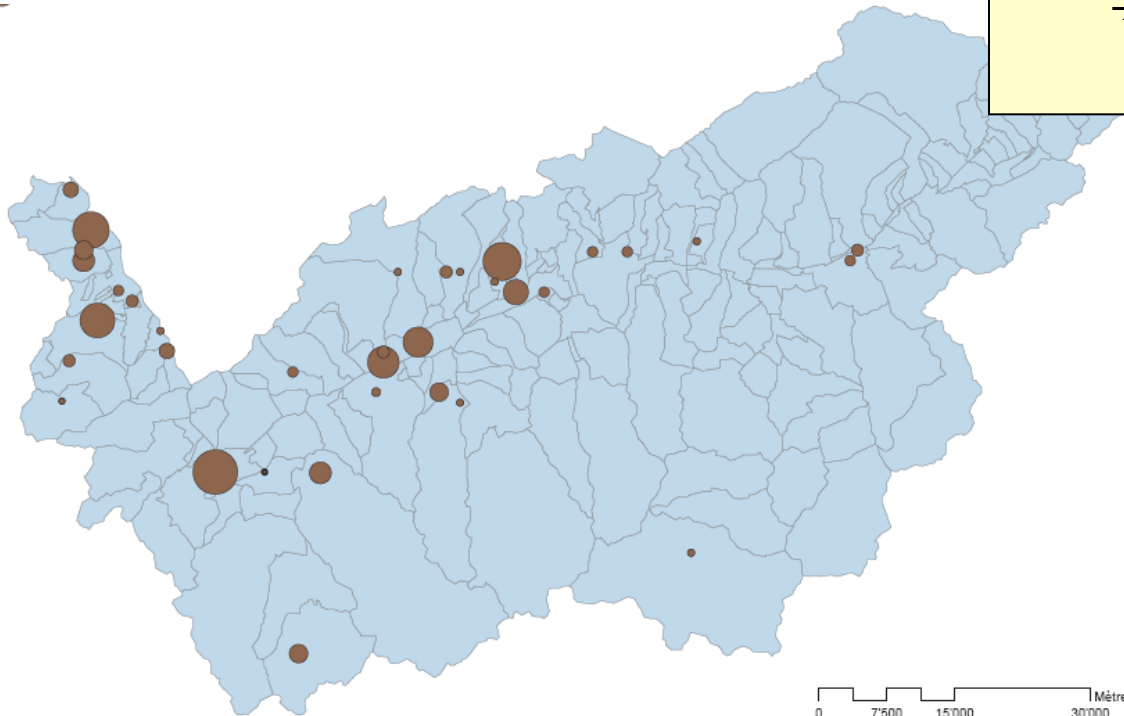


Energie (stockée) équivalente
 275'000 habitants (Ch+ECS)
 550'000 emplois (Ch+ECS)
 550 hectares (Ch)

Méthode d'analyse



Consommateurs identifiés > 1 MW (Valais)



Consommateurs VS identifiés
Total liste VS = 410 GWh_{th}
+ 330 ha de cultures maraîchères
dont 15 ha sous serre et 20 ha sous tunnel
→ 35 ha * 2.5 GWh_{th}/ha = 88 GWh_{th}

Total ~500 GWh_{th} (0.5 TWh_{th})

Evaluation du CAD par GIS

- **Démarche**

- Calcul des densités de consommation énergétique par hectare
- Données des agents énergétiques
- Equivalent-habitant thermique (1 Eht = 5000 kWh/a)
- **Critères d'éligibilité** (> 500 MWh/ha/an, > 700 MWh/ha/an)
- Seuil de rentabilité économique (approx. min 2 MWh par mètre)
- **Capacité d'autofinancement de la distribution locale**

- **Résultats cartographiques**

- Densités de consommation
- **Identification de zones éligibles**

Evaluation du CAD par GIS / méthode 2

Le seuil de densité à considérer pour une distribution de chaleur est à 50 kWh/m² de territoire, à savoir 500'000 kWh/ha.

Tout dépassement du seuil de densité limite, à savoir de 50 kWh/m², implique un financement possible d'une distribution dans une « zone urbaine ».

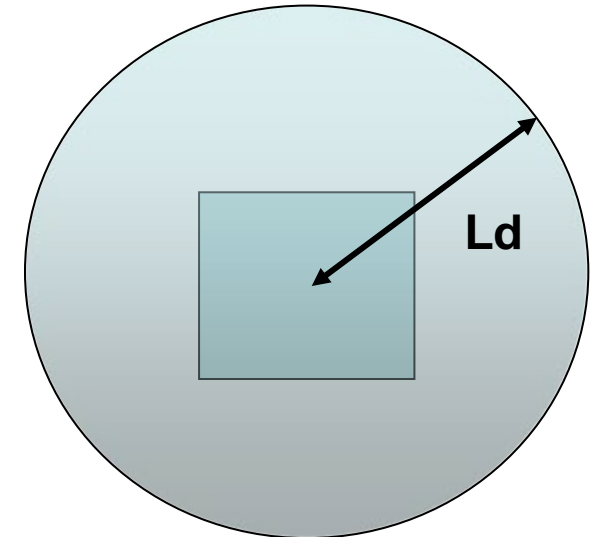
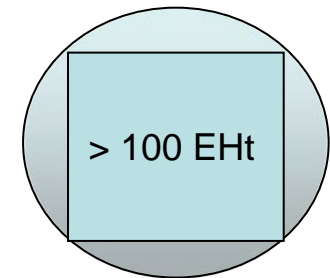
Cette longueur de distribution qui peut être financée par la surdensité d'un hectare permet d'aller « chercher » de la chaleur à une distance correspondante.

1 équivalent-habitant thermique (Eht) consomme 5'000 kWh/a

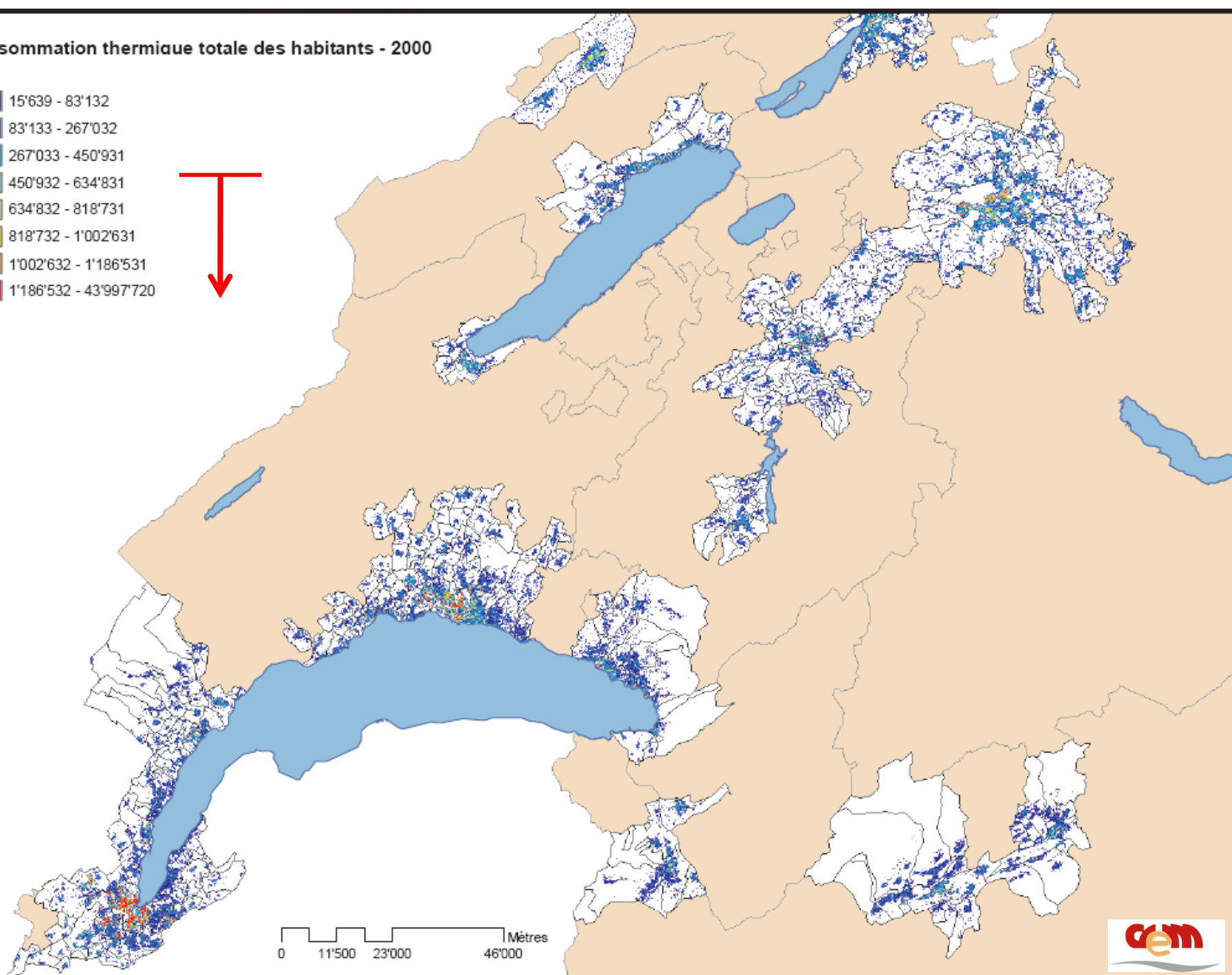
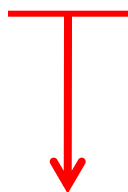
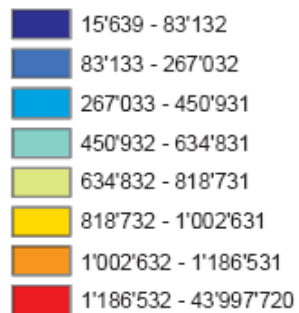
1 Eht correspond à un habitant ou à 2 emplois.

1 habitant = 1 Eht = 5'000 kWh/a

1 emploi = 0.5 Eht = 2'500 kWh/a



Consommation thermique totale des habitants - 2000



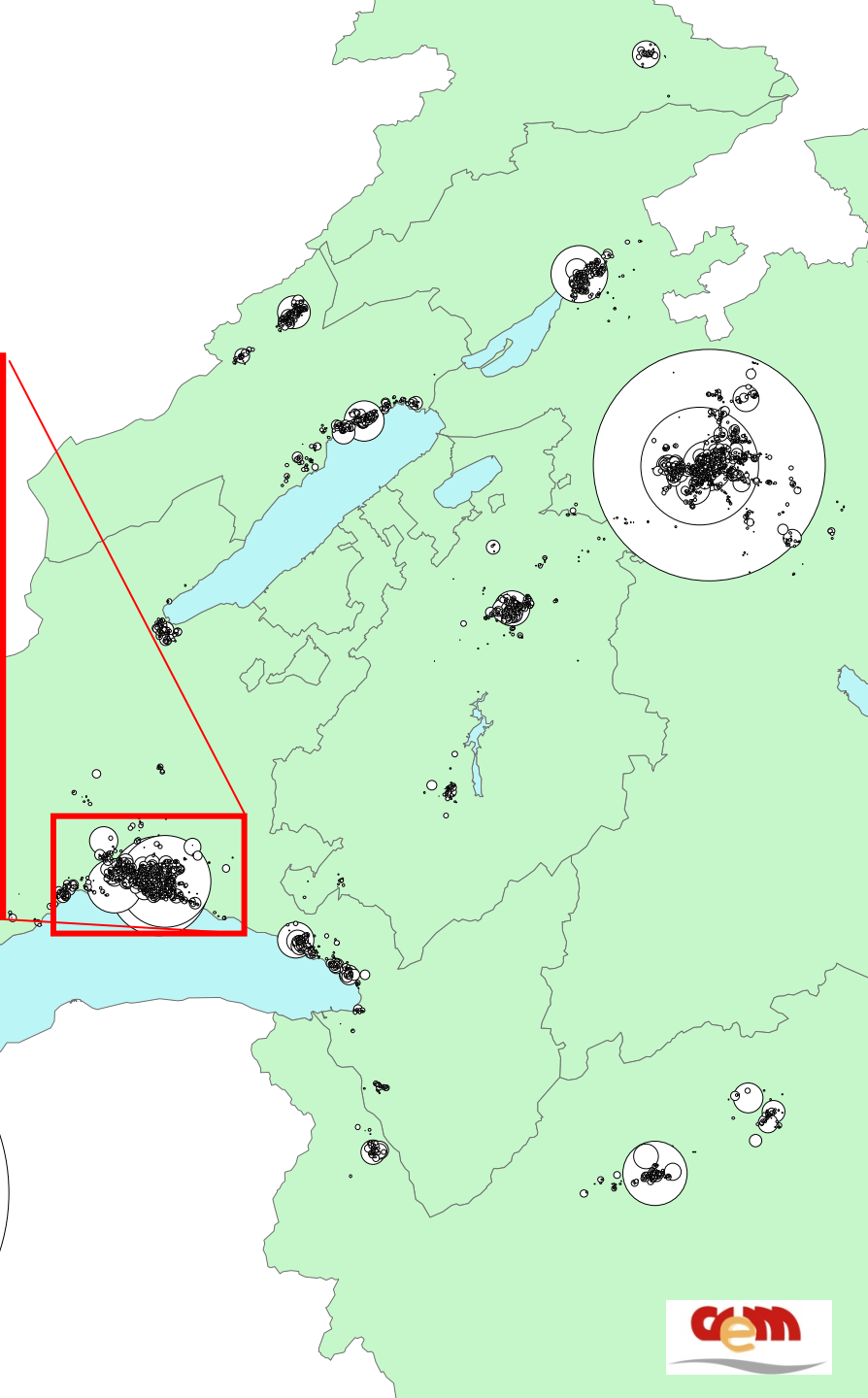
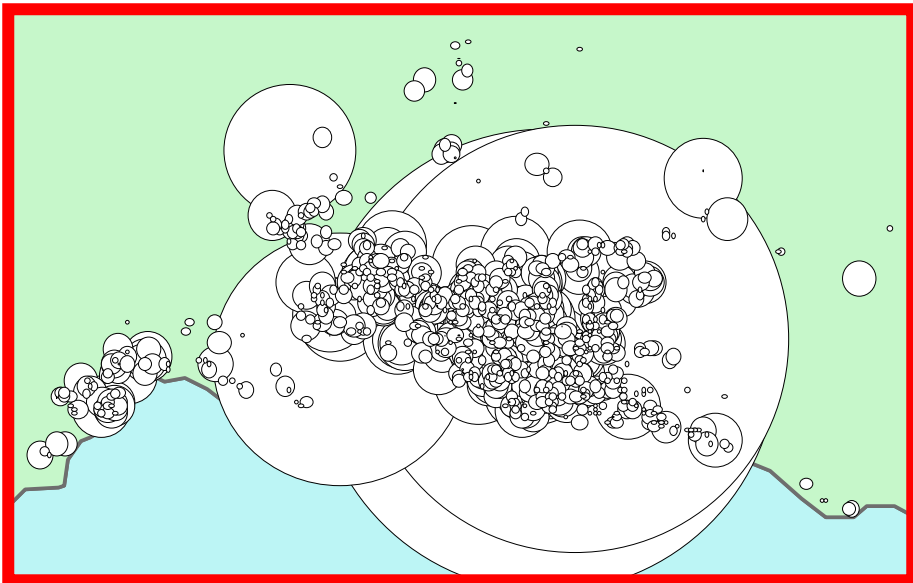
0 11'500 23'000 46'000 Mètres

Rayons de distribution de CAD

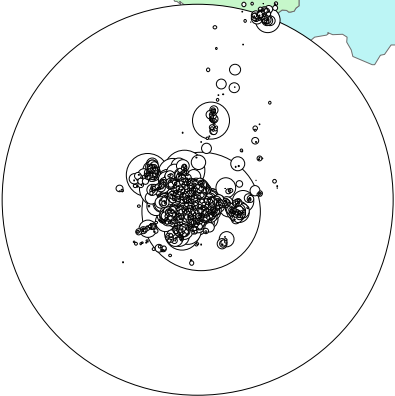
Autofinancement du CAD

Hectares éligibles > 500 MWh/ha

Agglomération lausannoise



Délimitation de zones par recoupement de disques

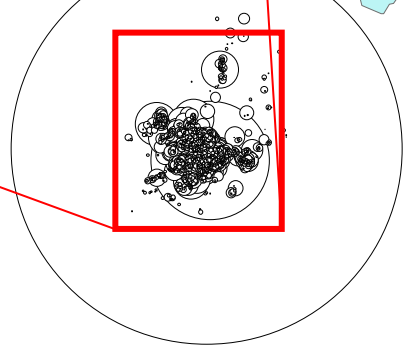
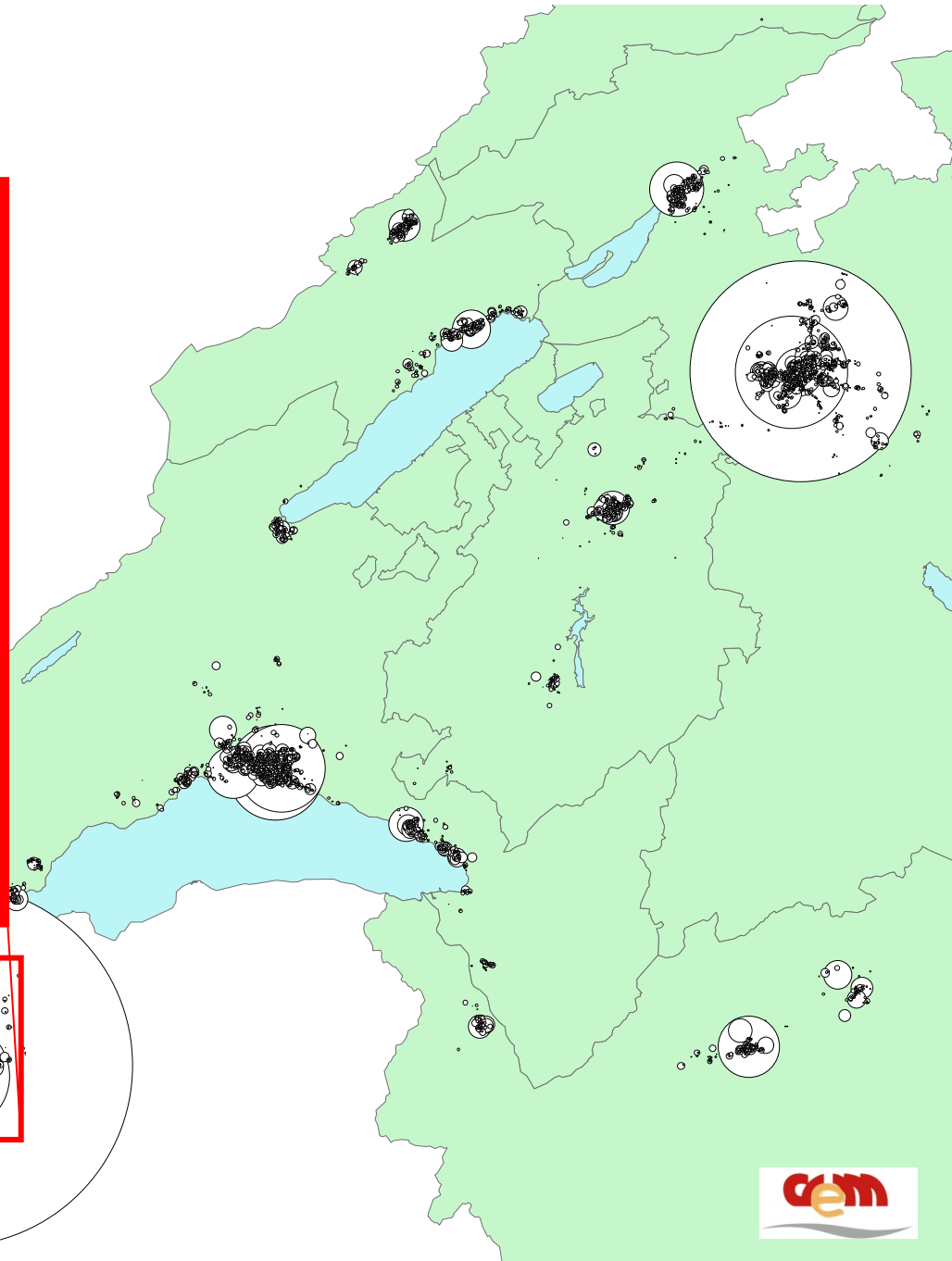
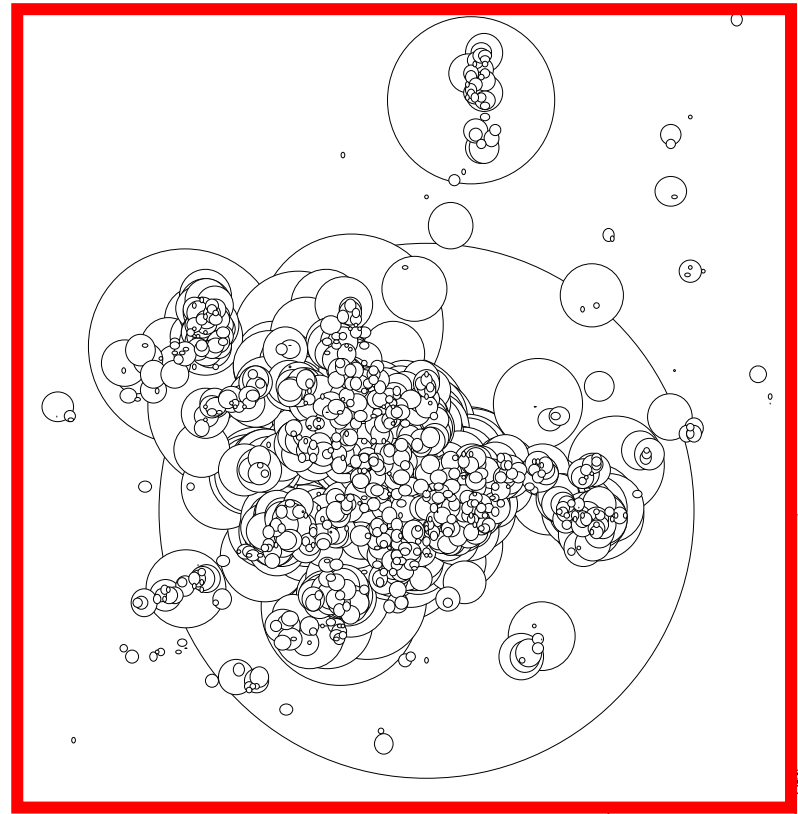


Rayons de distribution de CAD


Autofinancement du CAD

Hectares éligibles > 500 MWh/ha

Agglomération Genevoise



Identification

 Régions sélectionnées

Neuchâtel
802 ha
32'845 hab
20'310 emplois
43'000 EHT
0.21 TWh_{th} annuels

Chaux-de-Fonds
678 ha
33'589 hab
15'340 emplois
41'259 EHT
0.21 TWh_{th} annuels

Bienne
894 ha
50'363 hab
24'788 emplois
62'757 EHT
0.31 TWh_{th} annuels

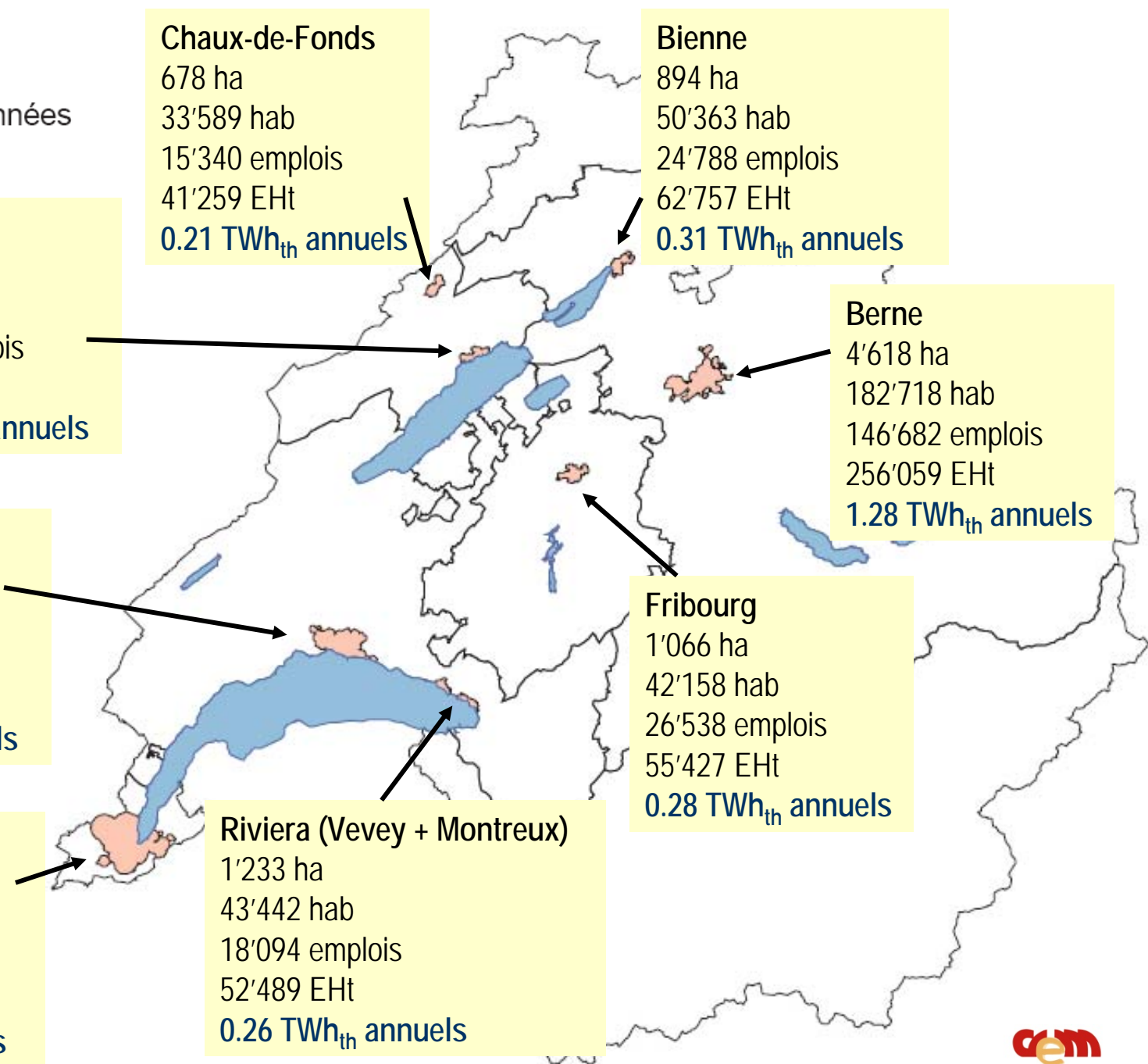
Berne
4'618 ha
182'718 hab
146'682 emplois
256'059 EHT
1.28 TWh_{th} annuels

Lausanne
4'029 ha
200'452 hab
109'905 emplois
255'404 EHT
1.28 TWh_{th} annuels

Fribourg
1'066 ha
42'158 hab
26'538 emplois
55'427 EHT
0.28 TWh_{th} annuels

Genève
9'220 ha
352'560 hab
199'093 emplois
452'106 EHT
2.26 TWh_{th} annuels

Riviera (Vevey + Montreux)
1'233 ha
43'442 hab
18'094 emplois
52'489 EHT
0.26 TWh_{th} annuels



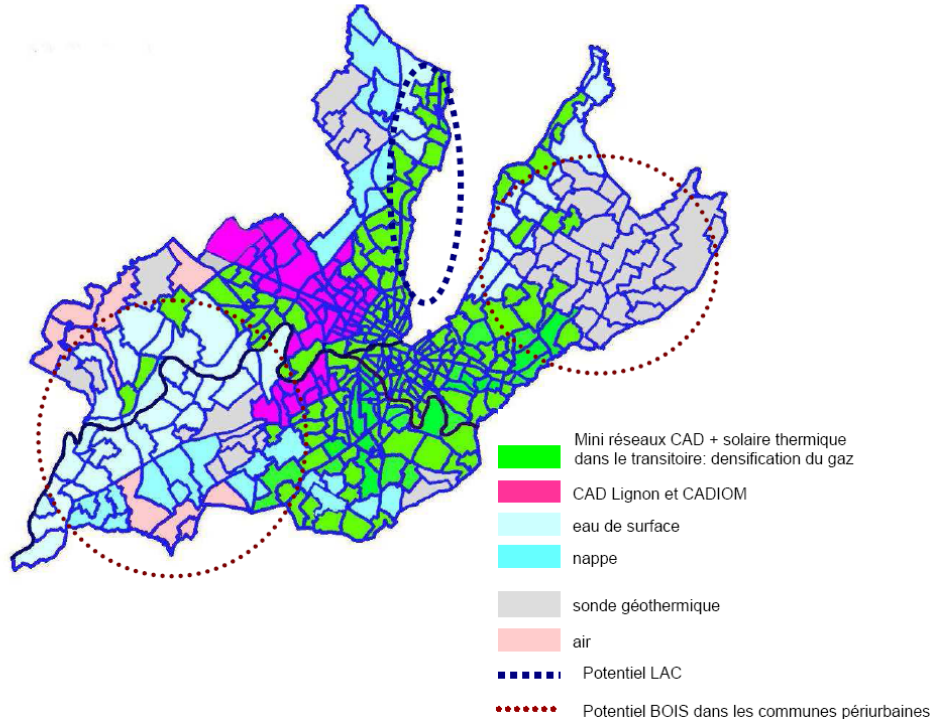
Utilisateurs potentiels de chaleur

- **Agglomération Genevoise**
 - **Vision long terme:** société à 2'000 Watts
 - Cf. Plan directeur cantonal de l'énergie 2005-2009
 - **Energie thermique**
 - Densification des réseaux de gaz
 - Développement des réseaux de chauffage à distance (aujourd'hui < 5% de l'énergie consommée à Genève)
 - Développement de production thermique renouvelable
 - Statistique de consommation:
 - ~2.7 TWh Gaz naturel
 - ~2.7 TWh Mazout

Source: République de Genève (2008)

Utilisateurs potentiels de chaleur

Regard croisé sur les ressources en fonction des contraintes et opportunités locales




- Valorisation de rejets thermiques (CCGT) pourrait constituer une opportunité, mais à évaluer zone par zone et selon un objectif de développement durable.
- Méthode d'analyse synergétique institutionnalisée

Utilisateurs potentiels de chaleur

- **Agglomération Lausannoise (1)**
 - **Plan directeur** des énergies par zones
 - Réseau **CAD existant**, couvert à 70% par énergies renouvelables
 - Reste 30% de couverture où réaliser compensation CO₂
 - Projet d'**extension** du réseau CAD (Sud, Ouest, Prilly), 40'000 hab attendus pour 2020: puissance à produire 2 x 5 MW, puis 28 MW
 - **Niveau de T°**: 130°C → 90°C. Si baisse du niveau de T° réalisée, cogénération envisageable
 - **Stratégie**: gaz durant 10 ans puis PAC, géothermie et CAD
 - **Soutien politique** pour le réseau CAD

Source: Interview SIL (2007)

Identification

 Régions sélectionnées

Neuchâtel
802 ha
32'845 hab
20'310 emplois
43'000 EHT
0.21 TWh_{th} annuels

Chaux-de-Fonds
678 ha
33'589 hab
15'340 emplois
41'259 EHT
0.21 TWh_{th} annuels

Bienne
894 ha
50'363 hab
24'788 emplois
62'757 EHT
0.31 TWh_{th} annuels

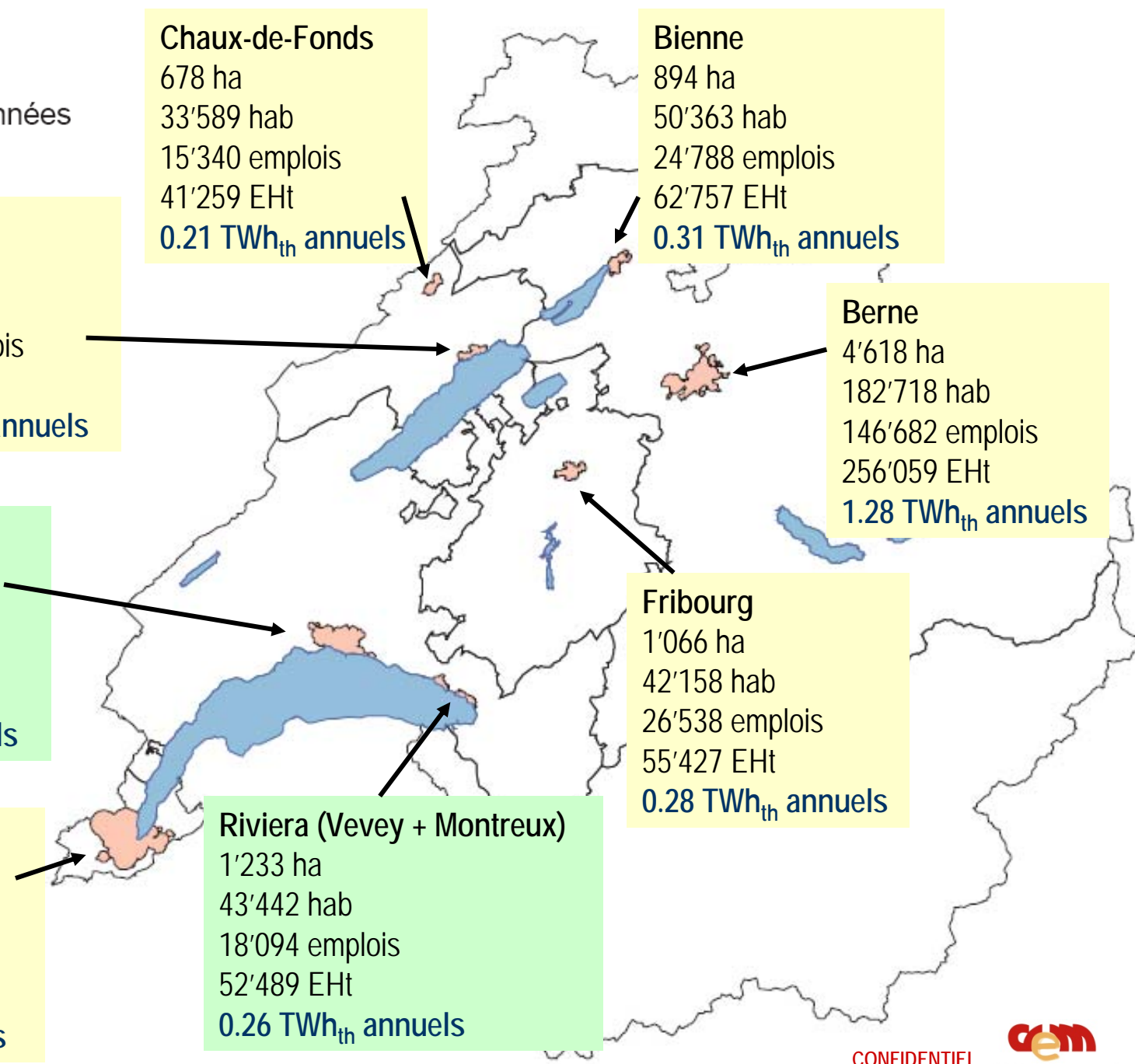
Berne
4'618 ha
182'718 hab
146'682 emplois
256'059 EHT
1.28 TWh_{th} annuels

Lausanne
4'029 ha
200'452 hab
109'905 emplois
255'404 EHT
1.28 TWh_{th} annuels

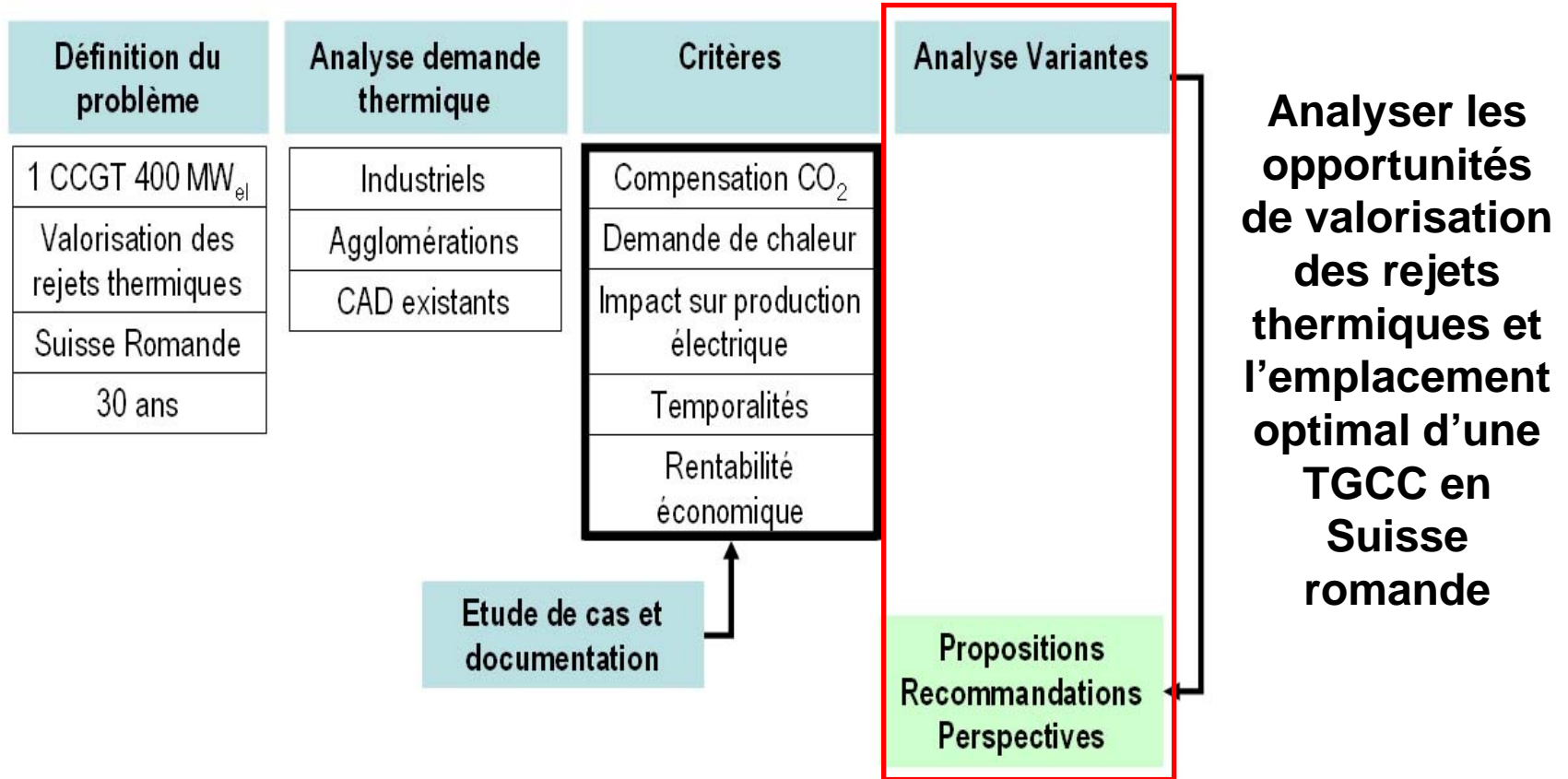
Fribourg
1'066 ha
42'158 hab
26'538 emplois
55'427 EHT
0.28 TWh_{th} annuels

Genève
9'220 ha
352'560 hab
199'093 emplois
452'106 EHT
2.26 TWh_{th} annuels

Riviera (Vevey + Montreux)
1'233 ha
43'442 hab
18'094 emplois
52'489 EHT
0.26 TWh_{th} annuels



Méthode d'analyse



Réseau de transport CAD (2)

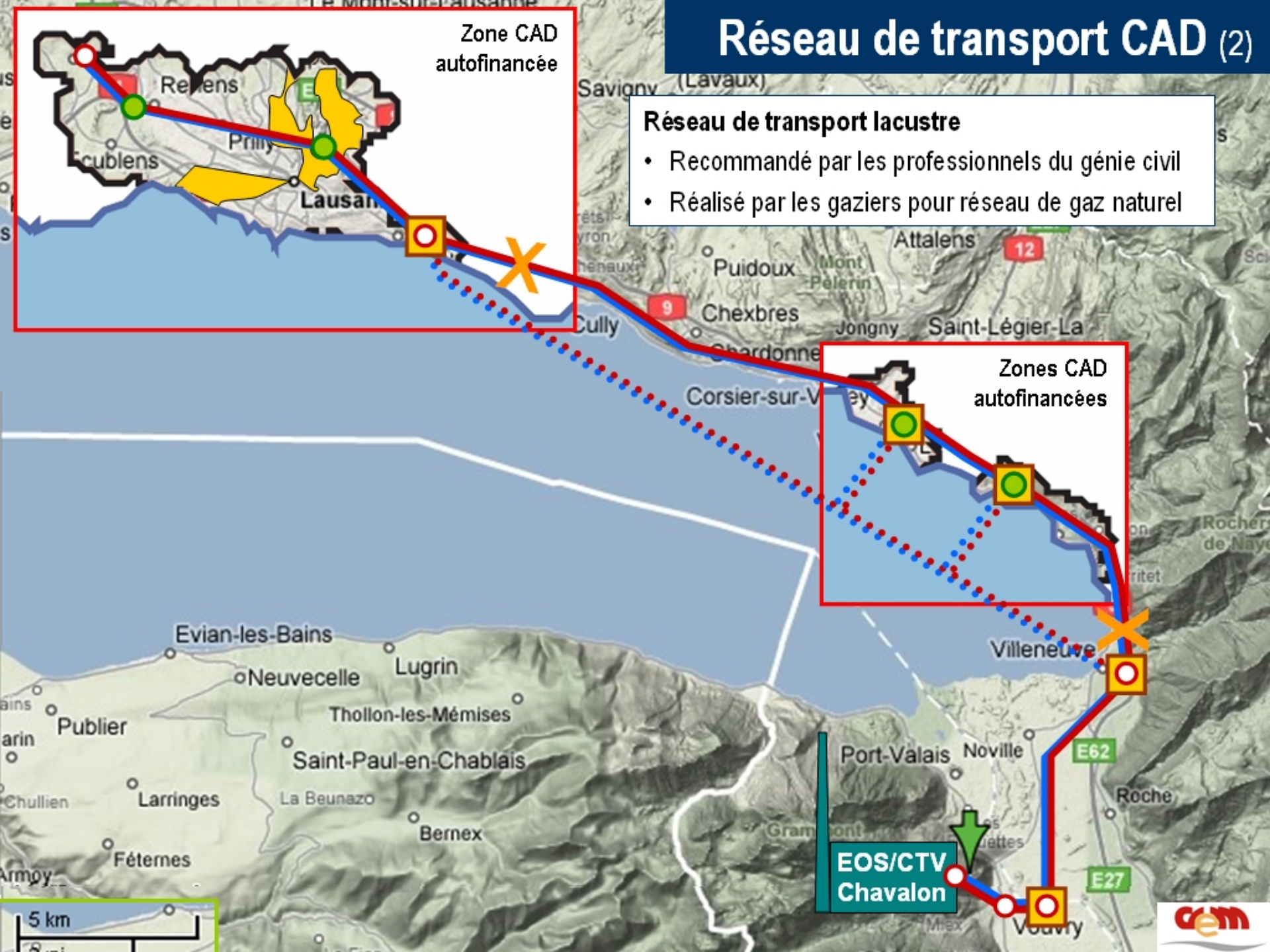
Zone CAD
autofinancée

Réseau de transport lacustre

- Recommandé par les professionnels du génie civil
- Réalisé par les gaziers pour réseau de gaz naturel

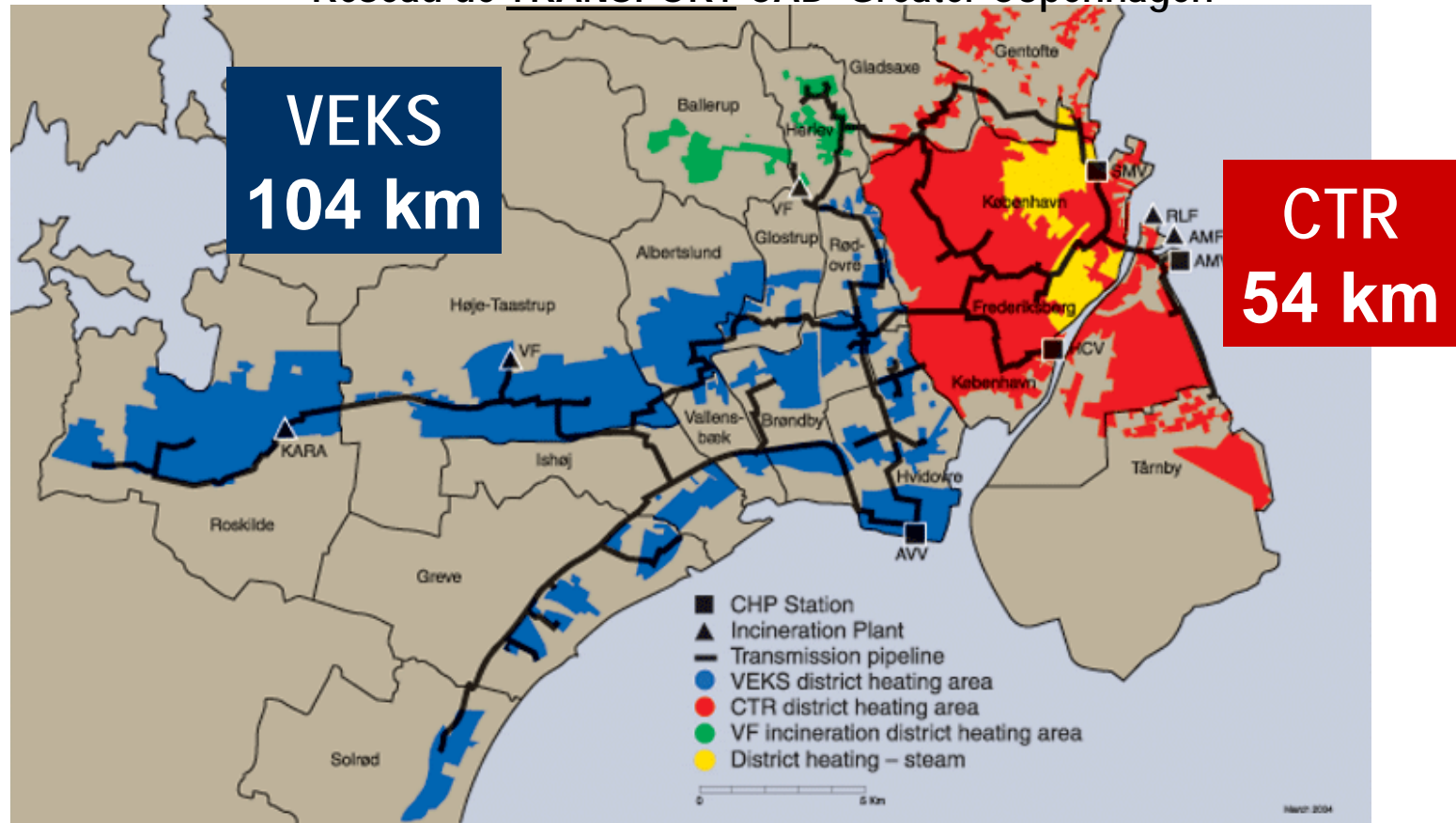
Zones CAD
autofinancées

EOS/CTV
Chavalon



Applicabilité réseau de transport longue distance

Réseau de TRANSPORT CAD 'Greater Copenhagen'



Réseau de transport CAD (3)



Avantage

Importance des industries chablaisiennes pour la sécurité de l'approvisionnement

Implantation Chavalon

Forces

- + Site existant
 - + Ligne à haute tension existante (> 200 kV)
 - + Sécurité de l'approvisionnement (industries à proximité)
 - + Perspective CAD à proximité (Monthey)
 - + Bonne acceptation du site
- Délocalisation production hors agglomération

Faiblesses

- Faible densité de consommation *on-site*
- Réseau de transport de la chaleur

Hectares éligibles > 500 MWh/ha

Agglomération lausannoise

Région Riviera

1 CCGT 400 MW_{el}
~1 TWh_{th}/a
à valoriser

Région chablaisienne

Variante 2
Implantation Lausanne

CONFIDENTIEL



Implantation Lausanne

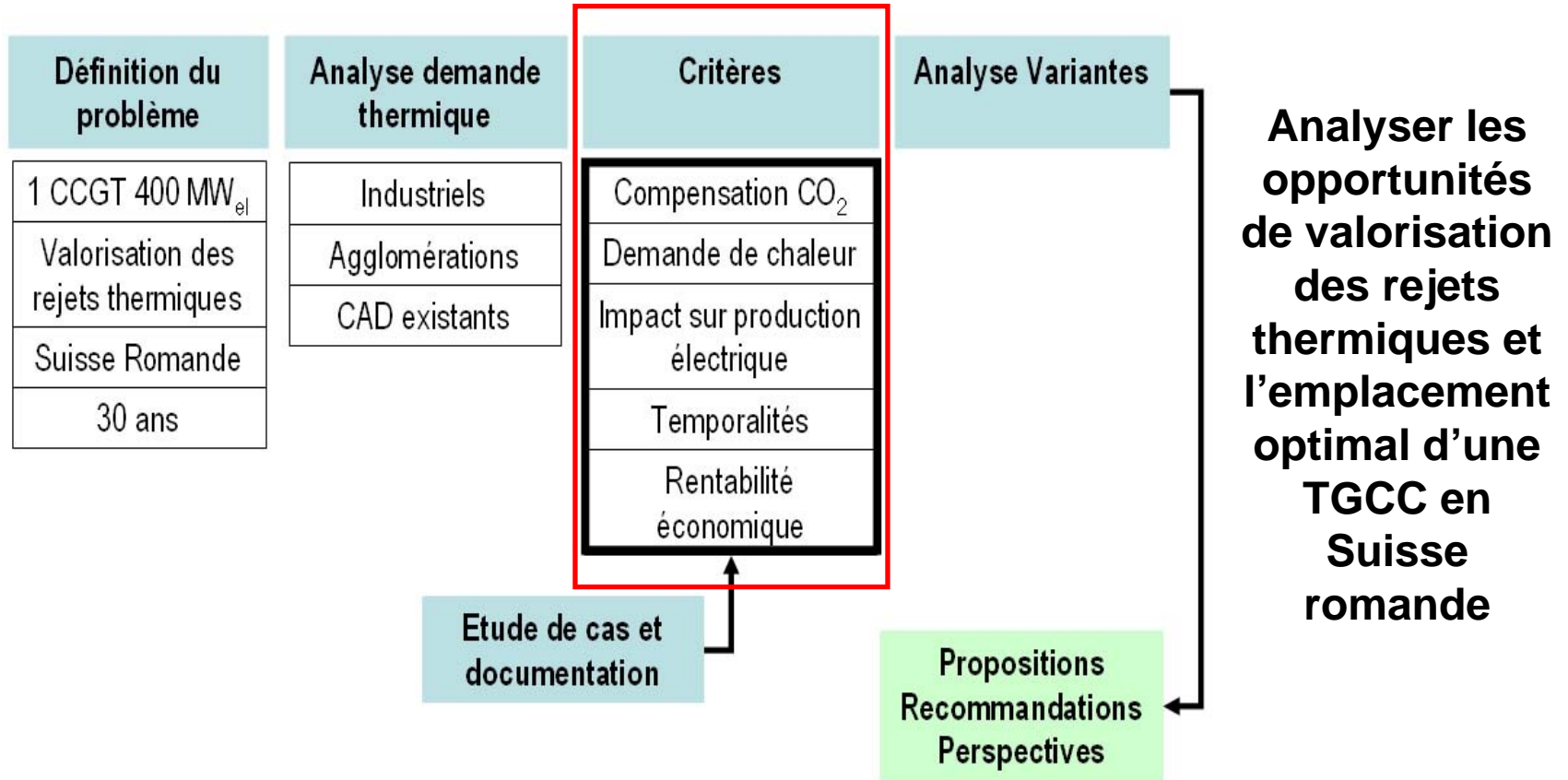
Forces

- + Implantation et production en zone de consommation
Forte densité de consommation *on-site* (suffisante)
- + Lausanne mise sur le CAD

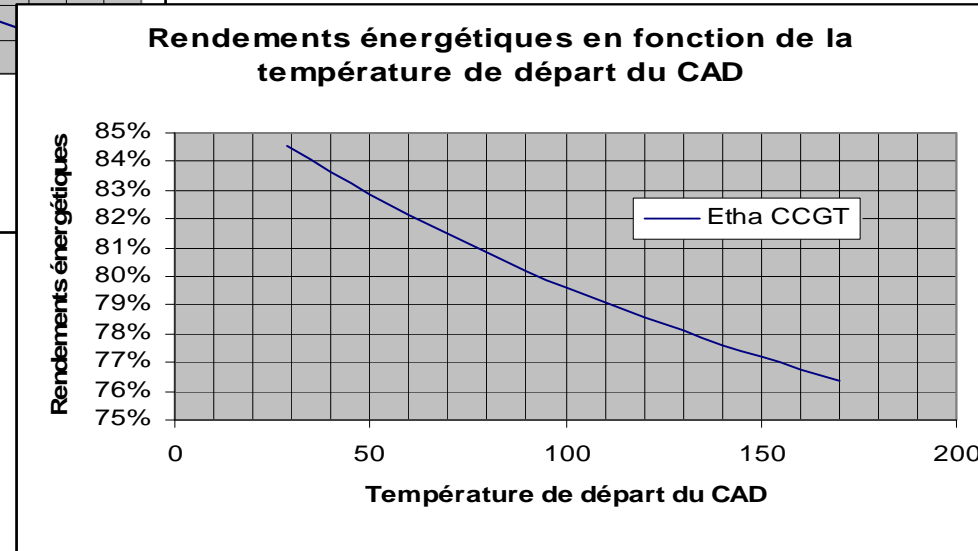
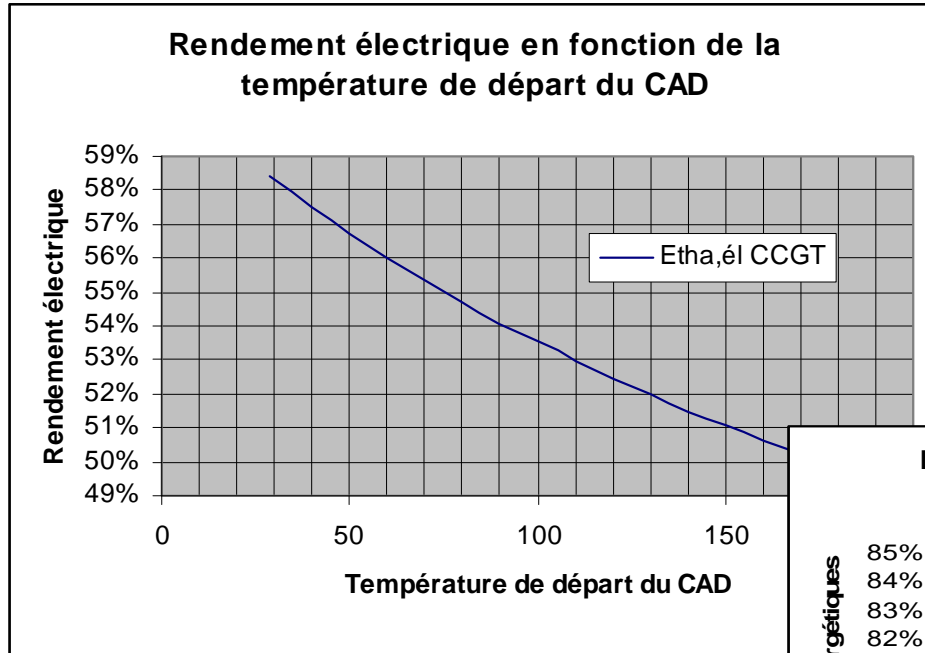
Faiblesses

- **Sécurité d'approvisionnement**
Peu de rejets industriels majeurs
Construction chaudière de secours 180 MWth
- **Acceptabilité et impact**
Délais de construction (réglementation)
Acceptation de la population
Difficultés de placer 2 chaudières de 5 MW

Méthode d'analyse



Impact sur les rendements





Bilan CO₂ et compensation

Substitution de chaudières à mazout à Lausanne

$$1 \text{ TWh}_{\text{th}} \times \{ 338'000 \text{ toCO}_2/\text{TWh}_{\text{th}} \}_{\text{mazout}}$$

338'000 toCO₂

338 kto / 350 kto national (70%) = 97% de la compensation nationale

Energie primaire

CCGT + CAD

4.9 TWh primaire
-20%

CCGT + Chaudières Mazout

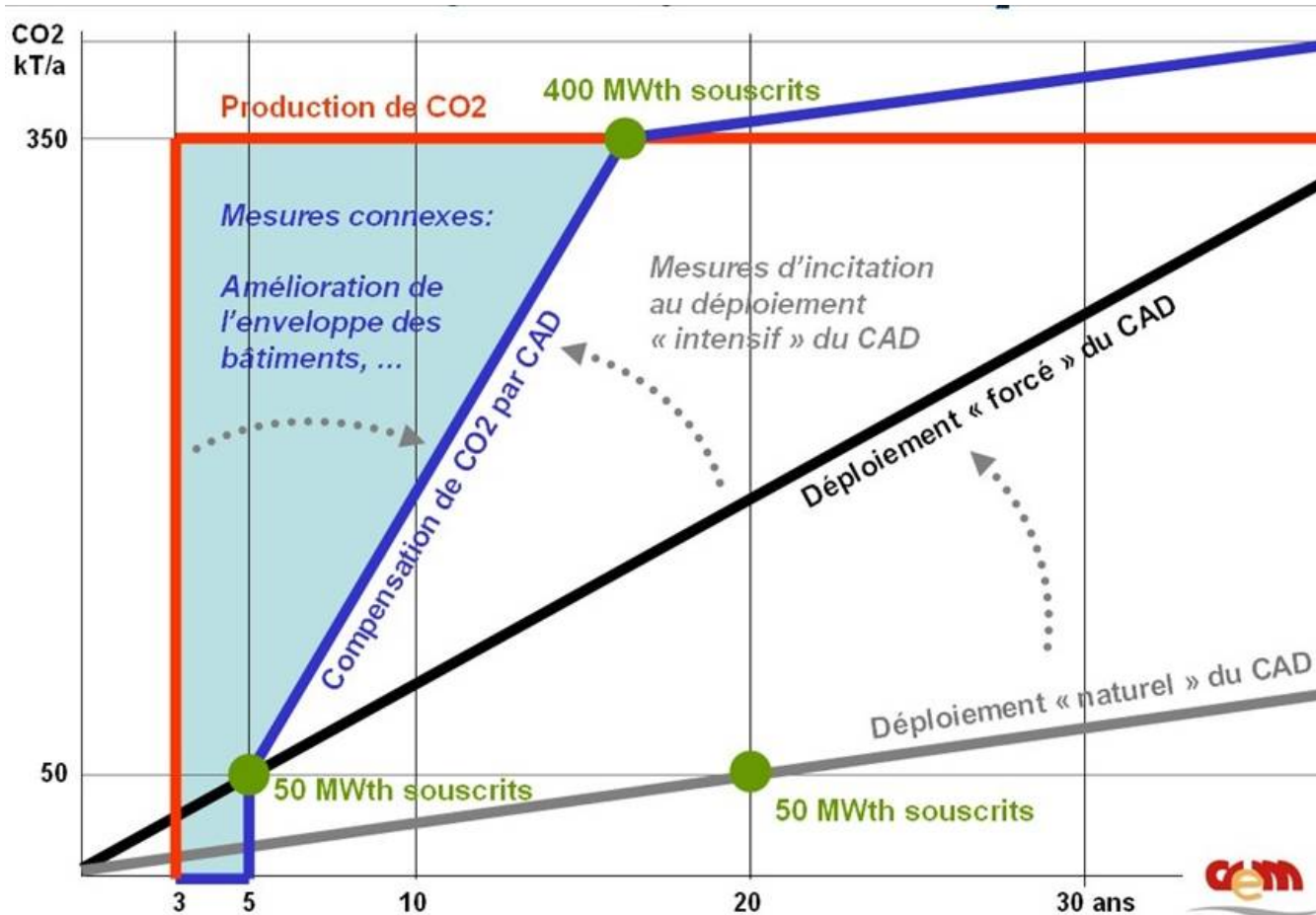
6.2 TWh primaire

Investissements et rentabilité

	Investisse ment	Coût annuel	Coût de la chaleur
Diminution de production électrique		CHF 15-20 mio/an	CHF 1.5-2 cts/kWh _{th}
Transport de la chaleur	CHF 150-250 mio	CHF 15-25 mio/an	CHF 1.5-2.5 cts/kWh _{th}
<i>Total</i>	<i>CHF 150-250 mio</i>	<i>CHF 30-45 mio/an</i>	<i>CHF 3-4.5 cts/kWh_{th}</i>
Distribution de la chaleur	CHF 400 mio	CHF 40 mio/an	CHF 4 cts/kWh _{th}
Raccordement consommateurs	CHF 300 mio	CHF 30 mio/an	CHF 3 cts/kWh _{th}
<i>Total</i>	<i>CHF 700 mio</i>	<i>CHF 70 mio/an</i>	<i>CHF 7 cts/kWh_{th}</i>
			CHF 10-11.5 cts/kWh_{th}

Le coût de la chaleur livrée au CAD est compétitif.
Les coûts de transport ne sont pas déterminants.
Le choix d'emplacement de la centrale de la TGCC peut s'appuyer sur d'autres critères.

Stratégie de compensation de CO₂



La faisabilité d'une valorisation des rejets thermiques est intimement liée à un déploiement « intensif » du CAD et à une minimisation des niveaux de température de service.

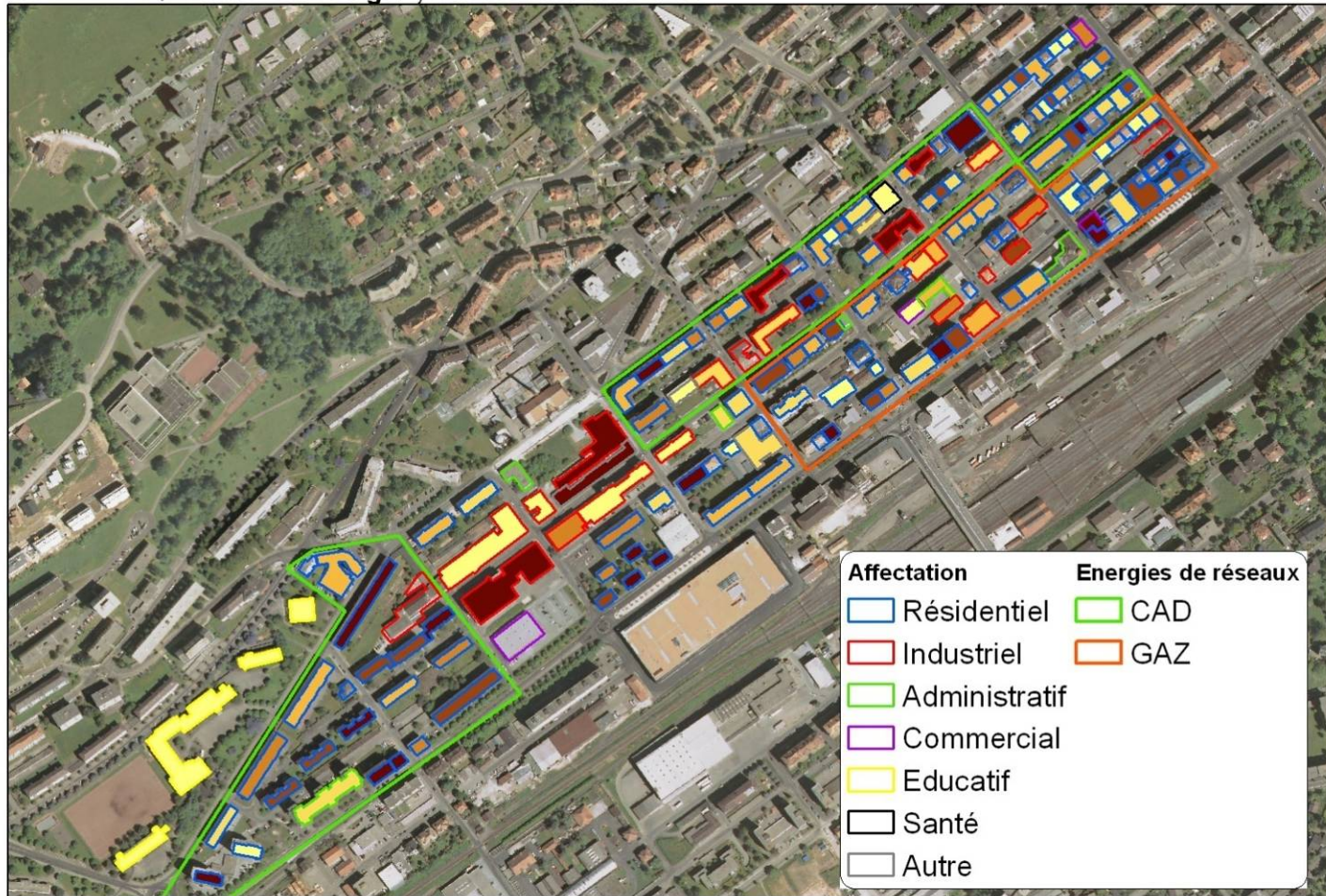


Management Energétique Urbain (MEU)



Production d'électricité décentralisée

Quartier des Forges, La Chaux-de-Fonds



Scénario: Rénovation / CAD / GN / PV

- Assainissement de 52 bâtiments : 113'000m², plus d'un tiers du quartier
- Connexion de 80'000m² supplémentaires au CAD
- Connexion de 80'000m² supplémentaires au gaz naturel
- Apport nécessaire de 1,3MW supplémentaire sur le CAD
- Installations solaires :
 - PV : 7'300m² produisant 730 MWh par an
 - Thermique : 230m² produisant 115 MWh d'ECS par an

Besoins nets [GWh]	38,6	- 15,5%
Energie finale [GWh]	40,8	- 20,7%
Energie primaire [GWh]	57,6	-17,9%
Emissions de CO2 (t./an)	7725	- 35,7%
Part renouvelable (%)	29%	+10,0%

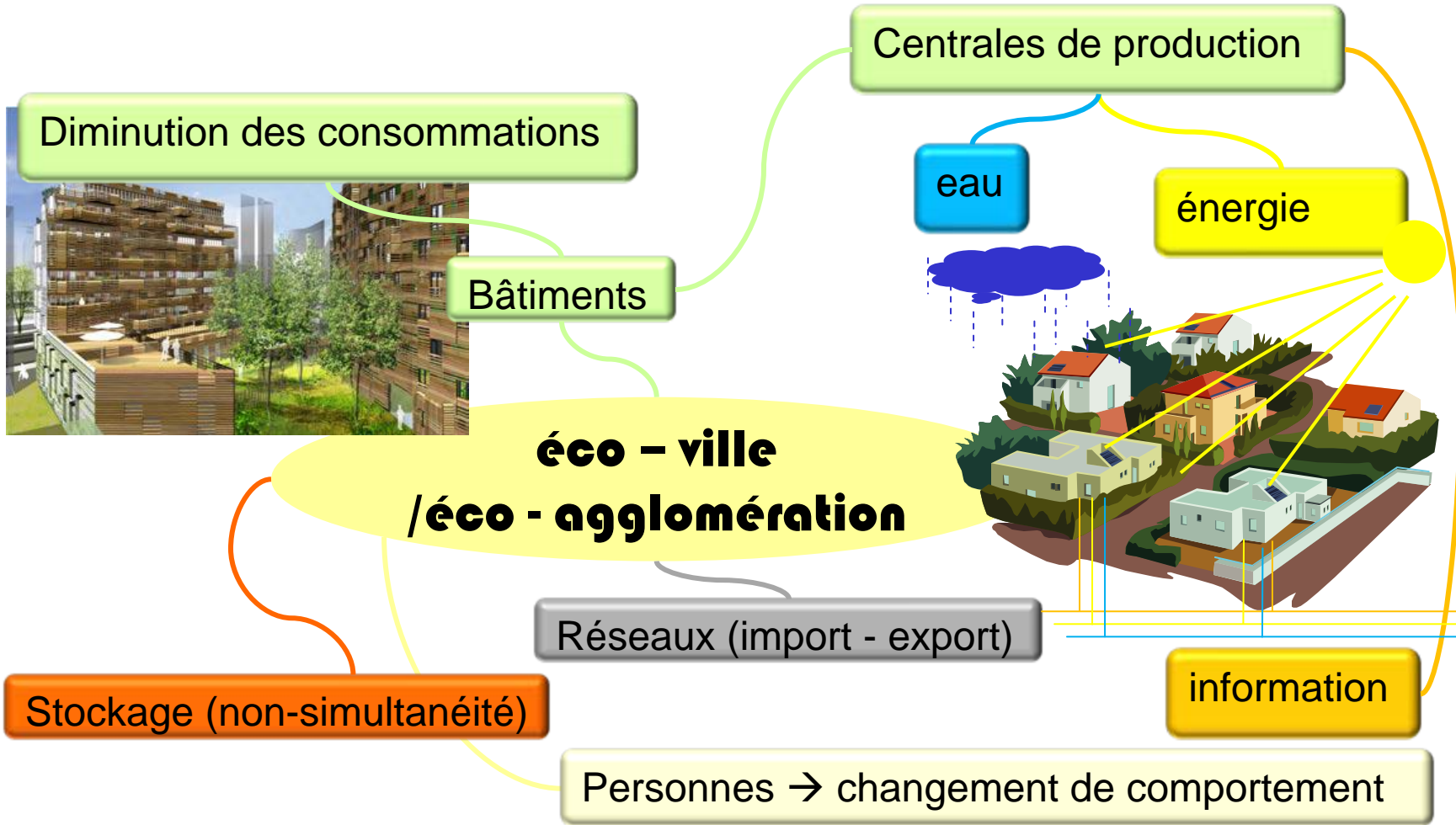
Scénario: CCF centralisés et décentralisés

- Remplacement des chaudières à gaz pour le CAD par des CCF
- Regroupement de consommateurs dans la zone Gaz naturel et implémentation de CCF (>100 kW)
- Pas de rénovation des bâtiments (privés)

ECONOMIES REALISEES	CHALEUR	Besoins	0,0 %
		Energie finale	- 8,9 %
		Energie primaire	- 6,5 %
		CO2	- 21,3 %
		Part renouvelable	+ 6,9 %
	ELECTRICITÉ	Energie finale	0 %
		Energie primaire	- 49,2 %
		CO2	- 19,1 %
		Part renouvelable	- 37,0 %
	TOTAL	Besoins	0 %
		Energie finale	- 7,0 %
		Energie primaire	- 21,4 %
		CO2	- 20,6 %
		Part renouvelable	- 5,1 %

VISION CREM

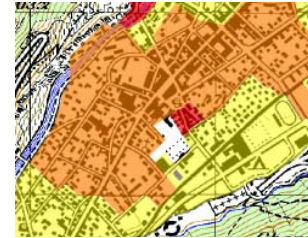
UniGE Cycle de formation énergie – environnement 26.11.09



*Alors comment, au niveau des agglomérations
« ouvrir de nouveaux horizons pour la production électrique » ?*

Un plan directeur des énergies de réseau

A même de gérer la concurrence et favoriser la pénétration du CAD dans les zones où la densité de consommation est suffisante (zones éligibles)



Des procédés d'usages à basse température

A même d'optimiser le rendement électrique de futures unités de cogénération



Un « intégrateur » d'agglomération qui s'investit pour la production thermique d'électricité et le transport et la distribution de la chaleur sur un territoire



Comment produire 1 mia. kWh_{él}/an ?

- 250 éoliennes comme celle de Collonges
- 1 mio. m² photovoltaïque, soit 100 ha nets
- 1 fois **Chavalon** chaque 2 ans
- 1 grande centrale nucléaire chaque 8 ans
- Le Valais produit env. 10 mia. kWh/an
- **Economiser moins de 2%/an !**

Source: Service de l'énergie et des forces hydrauliques du canton du Valais

Remerciements



David Weissbrodt
PhD Student EPFL



Arnaud Chapuis
MSc Mines (France)



Stéphane Storelli
SI Bagnes

www.crem.ch



CREM, Case Postale 256 • CH-1920 Martigny • tél. +41(0)27 721 25 40
fax (0)27 722 99 77 • E-mail: info@crem.ch • www.crem.ch • CCP 19-8518-6

Centre de Recherches Energétiques et Municipales

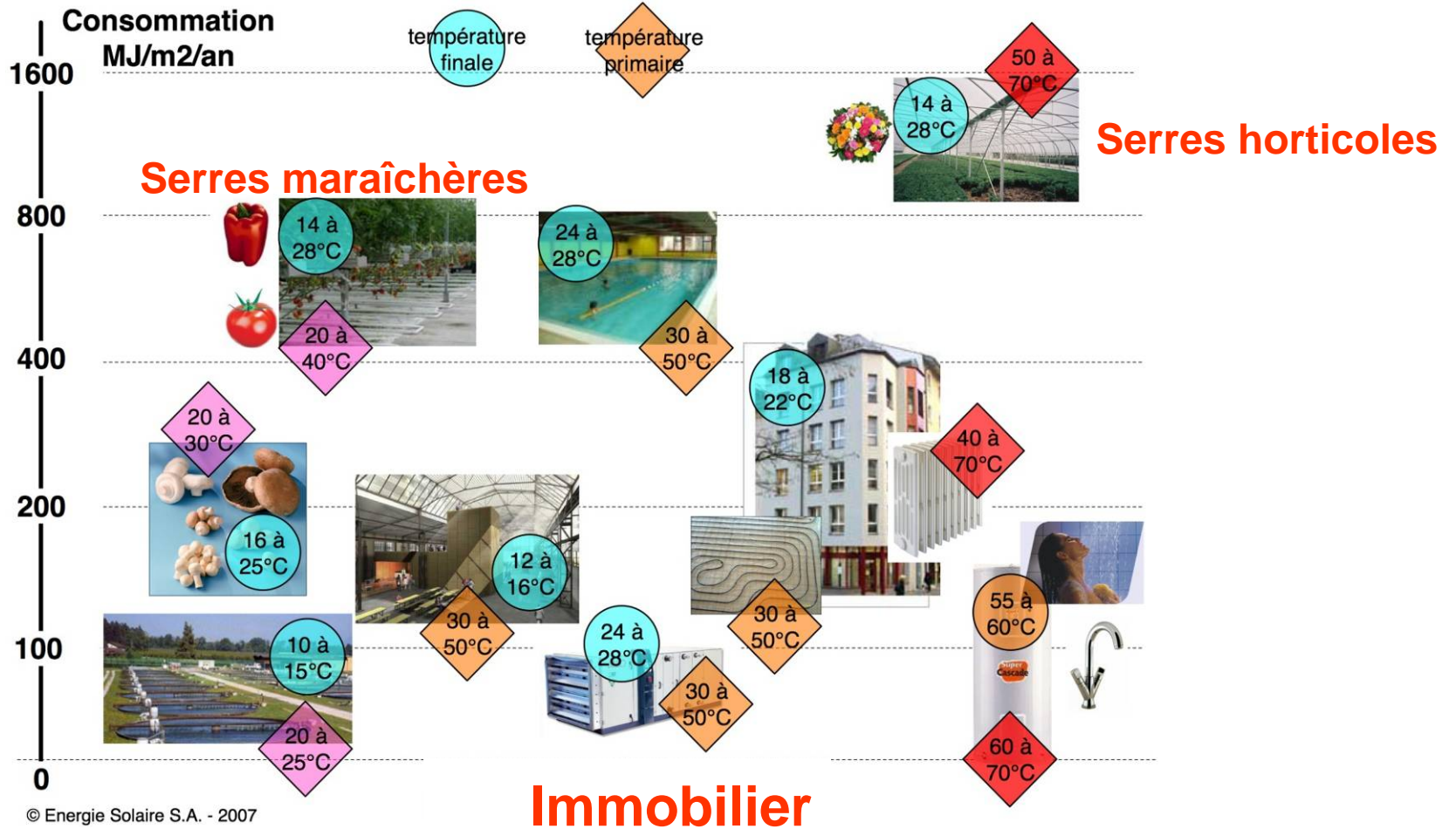
Merci pour votre attention!

Questions?

www.crem.ch
gaetan.cherix@crem.ch

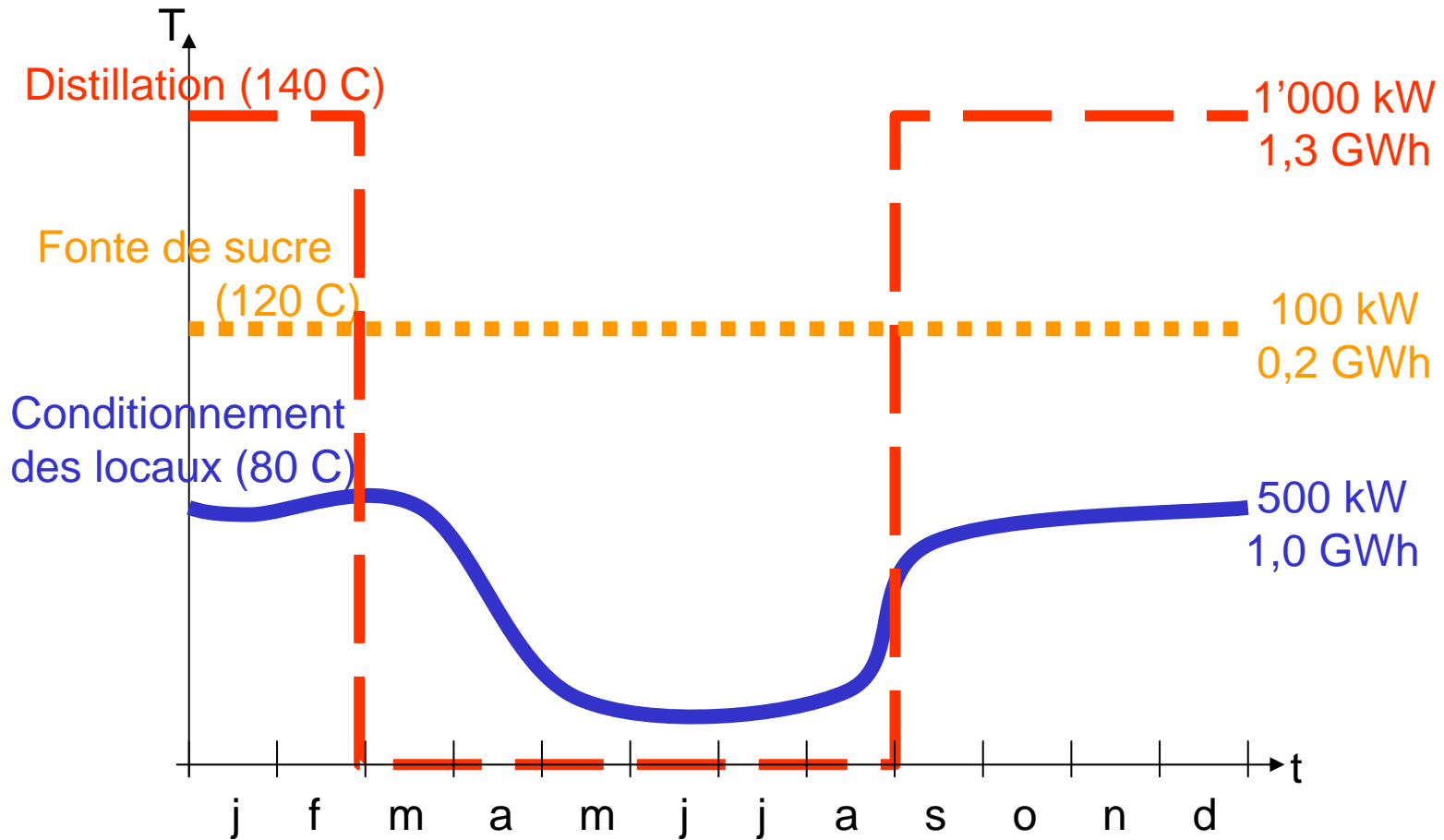
Utilisateurs de chaleur CAD en quantité et en qualité

UniGE Cycle de formation énergie – environnement 26.11.09



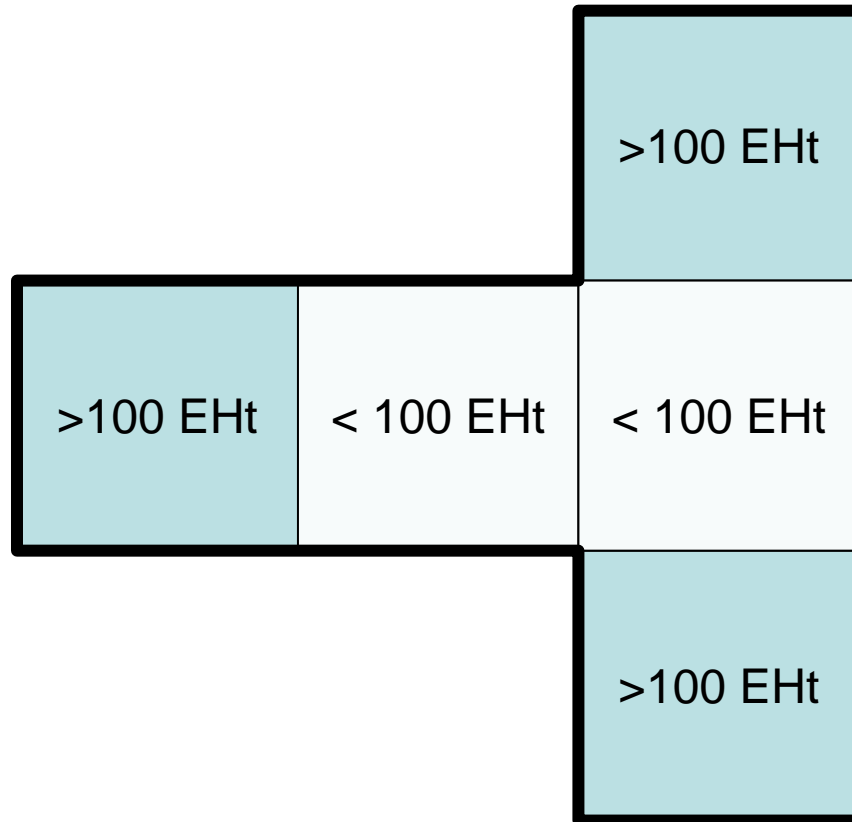
Utilisateurs de chaleur CAD en quantité et en qualité

UniGE Cycle de formation énergie – environnement 26.11.09



Exemple identifié: Puissance 1'600 kW – Consommation: 2,5 GWh (mazout)

Evaluation du CAD par GIS / méthode 2



Agrégation de tous les paramètres de la zone considérée:

Nombre habitants, Emplois, Bâtiments, Ages des bâtiments, Agents énergétiques, etc.

Zone de déploiement CAD autofinancé Agglomération lausannoise

Agglomération lausannoise

4'029 ha

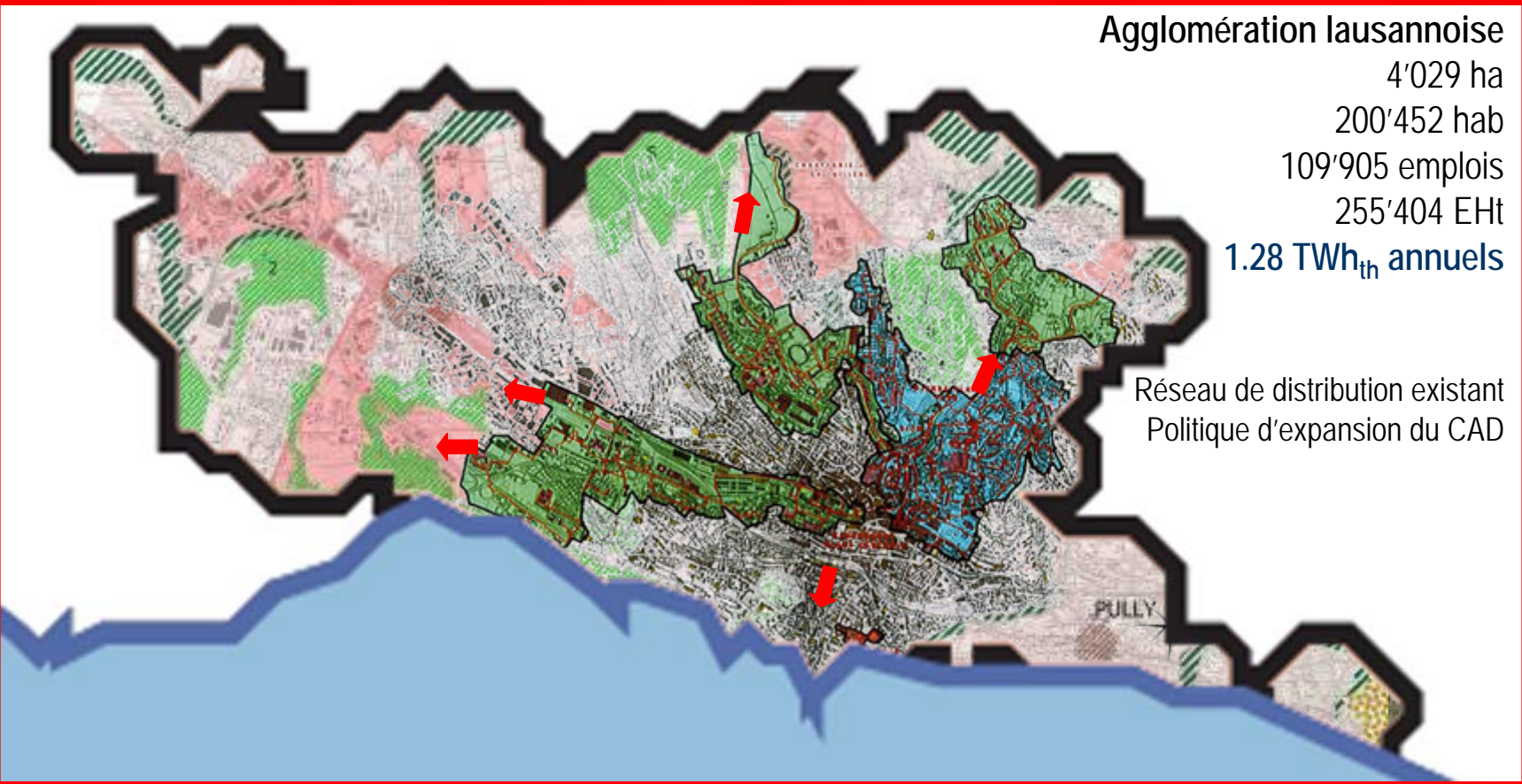





200'452 hab

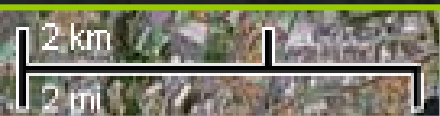
109'905 emplois

255'404 EHT

1.28 TWh_{th} annuels

Réseau de distribution existant
Politique d'expansion du CAD

- 
-  Parcs de l'agglomération
 -  Campus
 -  Centres-villes d'agglomération
 -  Sites stratégiques
 -  Périmètre compact de l'agglomération



Zone de déploiement CAD autofinancé Riviera (Vevey - Montreux)

Riviera (Vevey + Montreux)

1'233 ha

43'442 hab

18'094 emplois

52'489 EHT

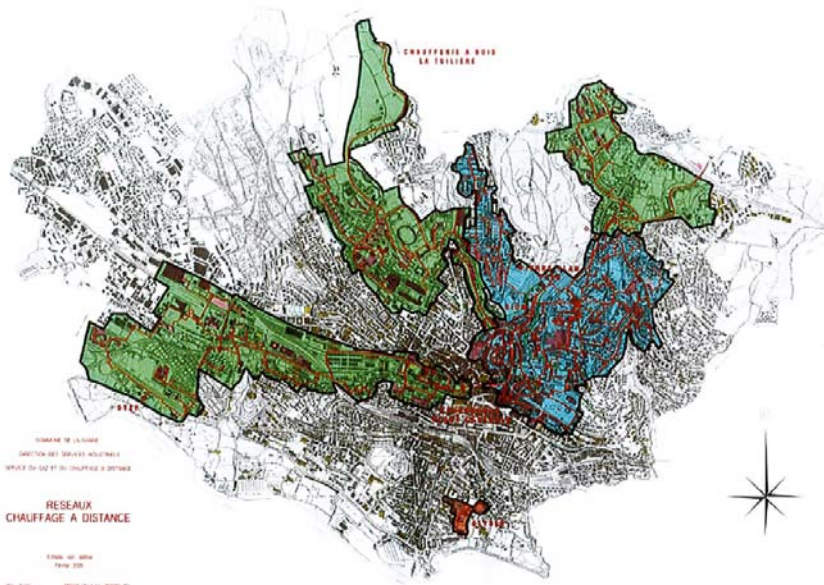
0.26 TWh_{th} annuels

Réseau de distribution non existant
Plusieurs petits réseaux CAD privés



Utilisateurs potentiels de chaleur / Lausanne

UniGE Cycle de formation énergie – environnement 26.11.09



320 GWh (énergie annuelle)

1'000 clients

800 km

2 niveaux T° (**170°** et **130°C**)

Base assurée par énergies renouvelables:
 UIOM, Boues STEP, Bois. Turbine à gaz en hiver.

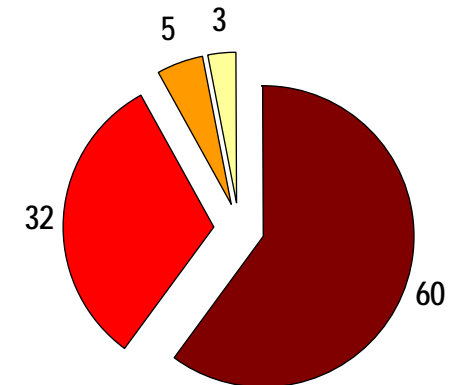
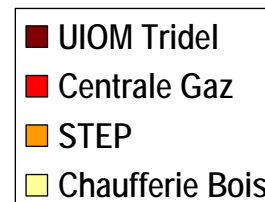
CO₂

CAD

45 kgCO₂/MWh

Chaudière individuelle gaz 255 kgCO₂/MWh

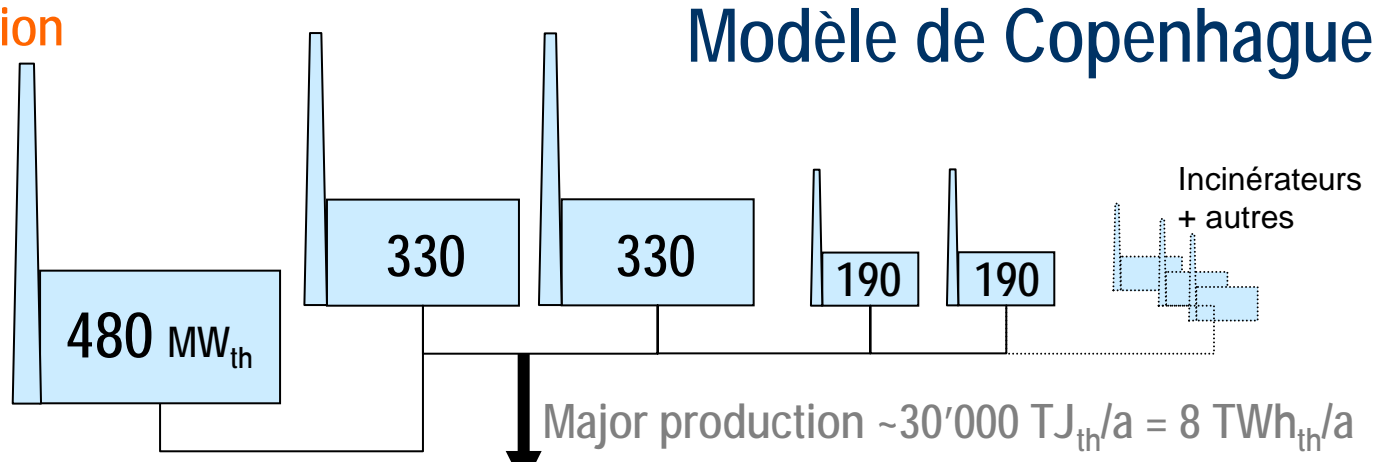
Chaudière individuelle mazout 338 kgCO₂/MWh



Source: SIL (2007)

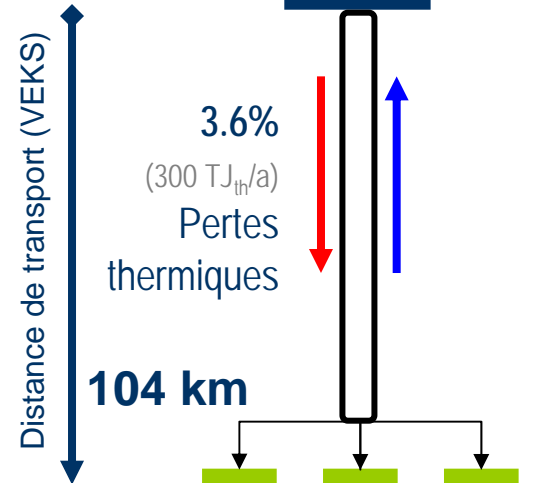
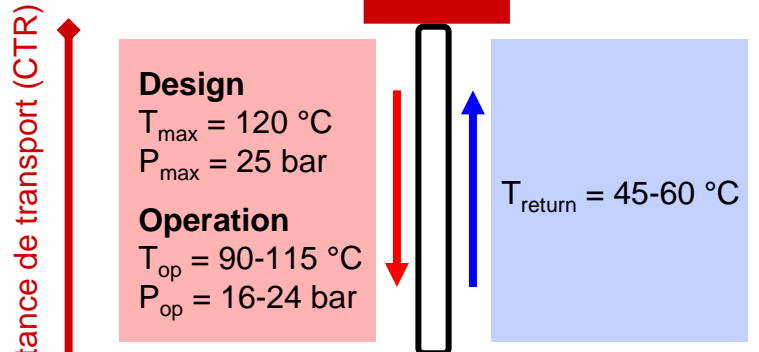
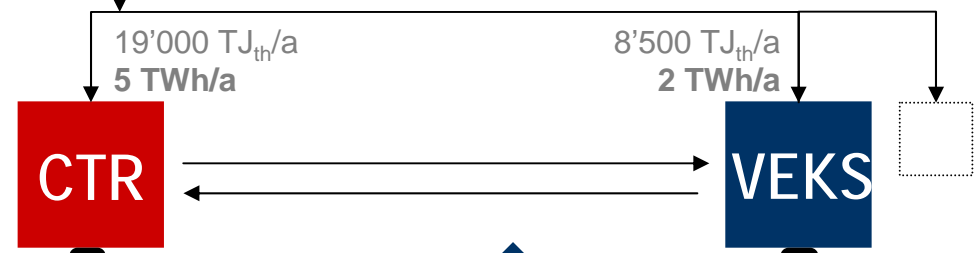
Compagnies de production

CHP plants	5 units	1520 MW _{th} tot
1x 480 MW _{th}	480 MW _{el}	
2x 330	250	
2x 190	136	

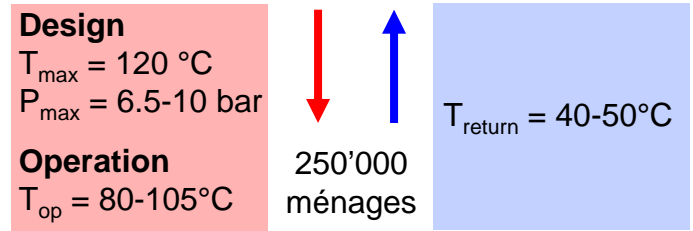


Compagnies de transport (transmission) + booster pumps

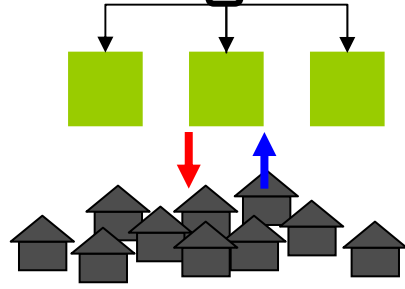
Transport en double tuyau modernes pré-isolés, enterrés
Coûts de construction (CTR)
US \$ 425 mio
Prix de la chaleur (CTR)
€ 42/MWh _{th} + taxes



Compagnies de distribution locales

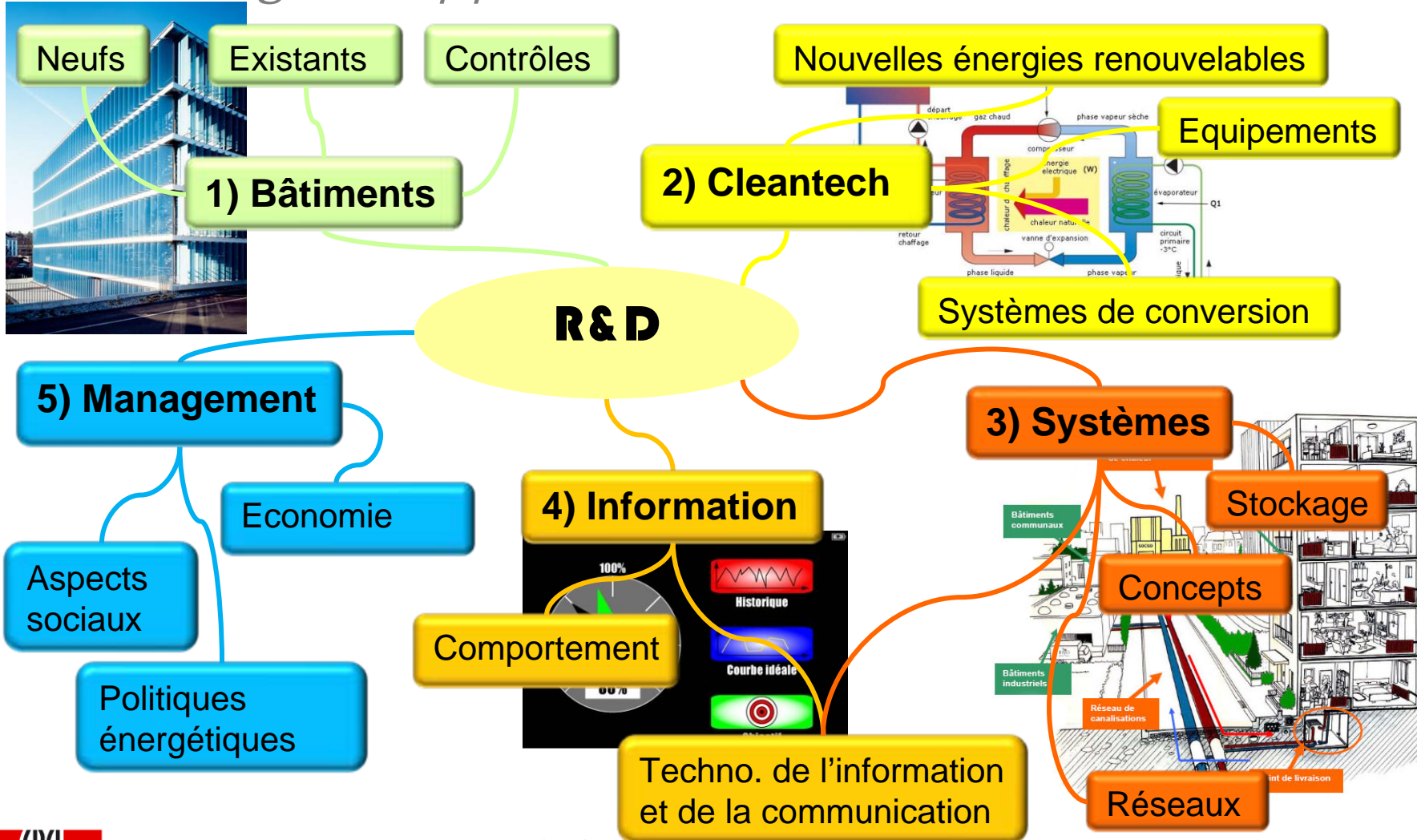


Zones bâties



Challenges / opportunités

UniGE Cycle de formation énergie – environnement 26.11.09





ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

**R&D
Solutions**



Challenges / Opportunités

**VISION
Éco-villes**



**Economie / marché
Formation**

Innovation

THE ARK

**Pilotes +
Démonstrations
Réalizations**

Conclusions : quelques règles d'or

- Consommer moins
 - Bâtiments, équipements, transport, etc.
- Systèmes de conversion efficaces et / ou utilisant des énergie renouvelables
 - Pompes à chaleur, multi-génération, solaire, biomasse, etc.
- Raisonner système
 - Stockage, rejets thermiques, masse critique, etc.
- Plus d'information

Choix stratégiques

A partir des conditions initiales imposées, quels sont les endroits potentiels pour l'implantation d'une centrale de cette taille ?

- **Conditions initiales imposées**
 - 1 Centrale CCGT 400 MW_{el} (taille + conditions de fonctionnement)
- **Données complémentaires sur**
 - CAD
 - Niveaux de température
 - Distances de transport de chaleur
 - Adéquation construction centrale / déploiement CAD et distribution chaleur
- **Détailler sur certains sites**
 - Région de Chavalon (Chablais + Riviera) : étude de faisabilité
 - Ville de Lausanne et agglomération lausannoise
 - Temps de déploiement du CAD
 - Etude de faisabilité
- **Concordance**
 - Projets complémentaires EOS/CTV (biomasse notamment)