Module 3 : Production de chaleur

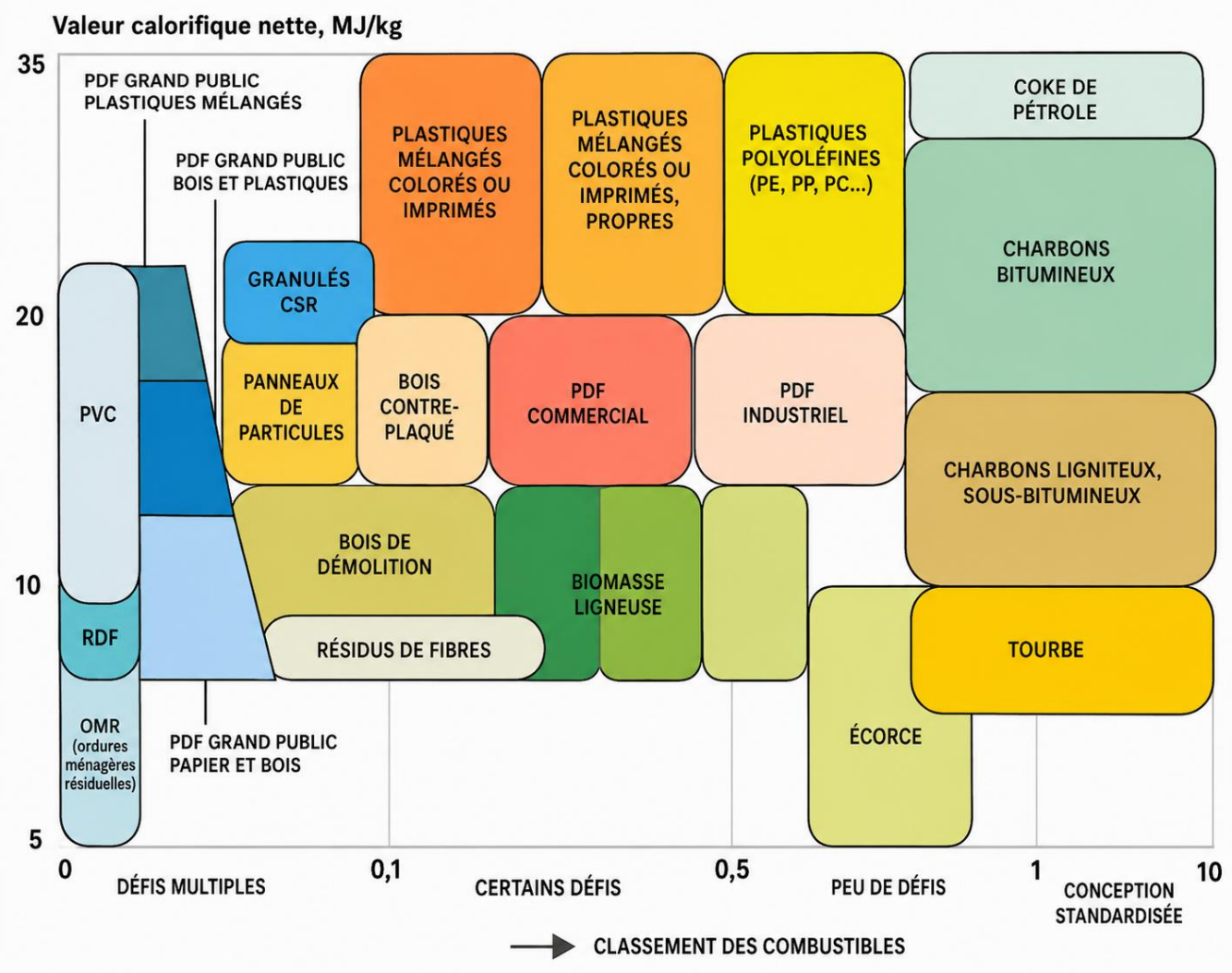
Module 3.1 Production de chaleur renouvelable

SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities
Erasmus+ KA220-HED Cooperation Partnerships in Higher Education
Institution: Budapest University of Technology and Economics
Auteur: Dr. Balázs Bokor
Date: Mai 2026
Version 1.1



SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

ÉVALUATION DES COMBUSTIBLES SOLIDES



Ordonnée : valeur calorique

Forte teneur en humidité

PVC, RDF (combustibles dérivés des déchets - CSR), OMR (déchets solides municipaux), PDF(combustibles dérivés de palstiques)

HCl et dioxines, toxiques même à faible concentration.

Formation de cendres

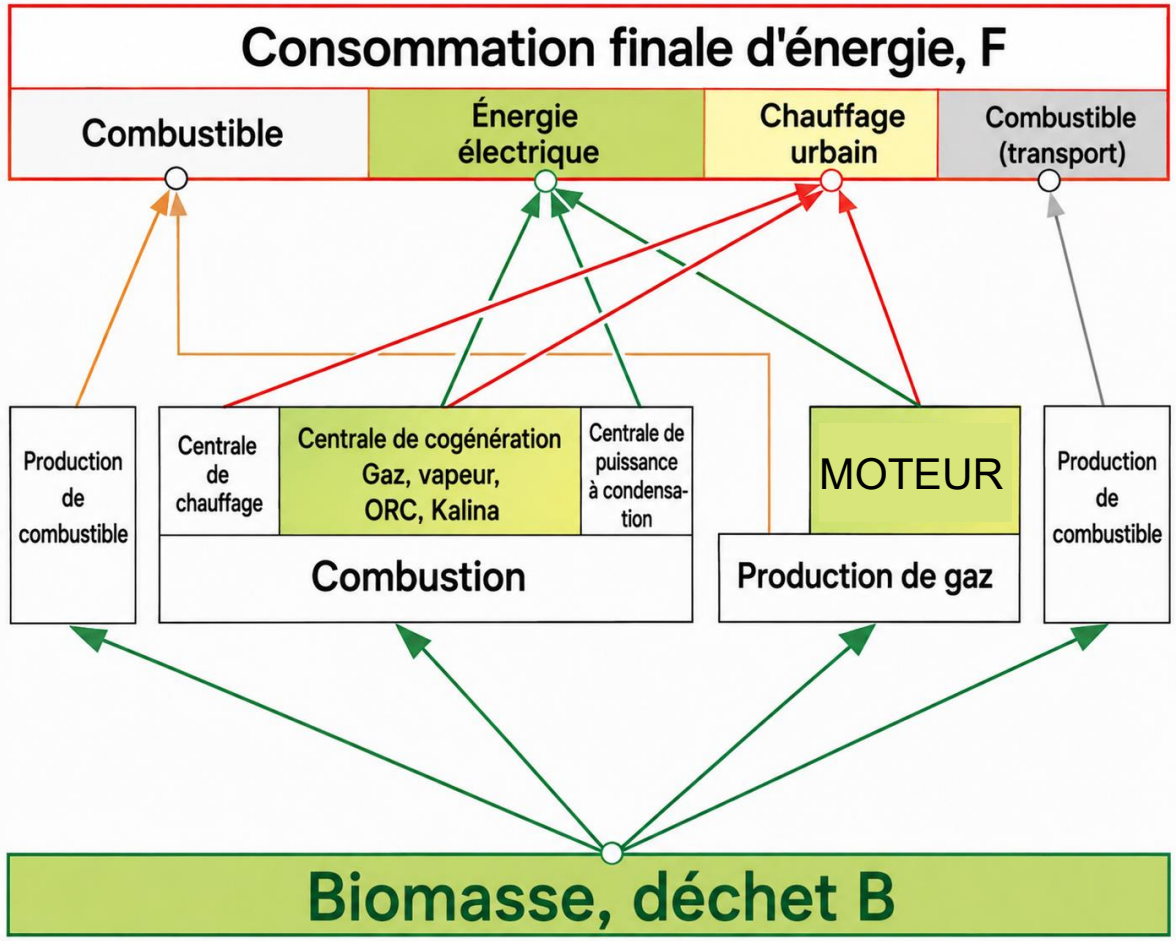
Peut-être très corrosif

Dans d'autres cas, c'est inoffensif.

Source: Svend Fredriksen, Sven Werner: District Heating and Cooling. Studentlitteratur 2013

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Utilisations de la biomasse et des déchets



Biomasse de moindre qualité et récupération des déchets pour l'approvisionnement en chauffage urbain.
Récupération énergétique de la biomasse :

Combustion de biomasse solide et sèche

Production de chaleur directe ou combinée

Gazéification

Biomasse humide, boues

Production de gaz brut utilisé pour la génération combinée de chaleur et d'électricité (moteur à gaz).

Vente de biogaz comme gaz combustible.

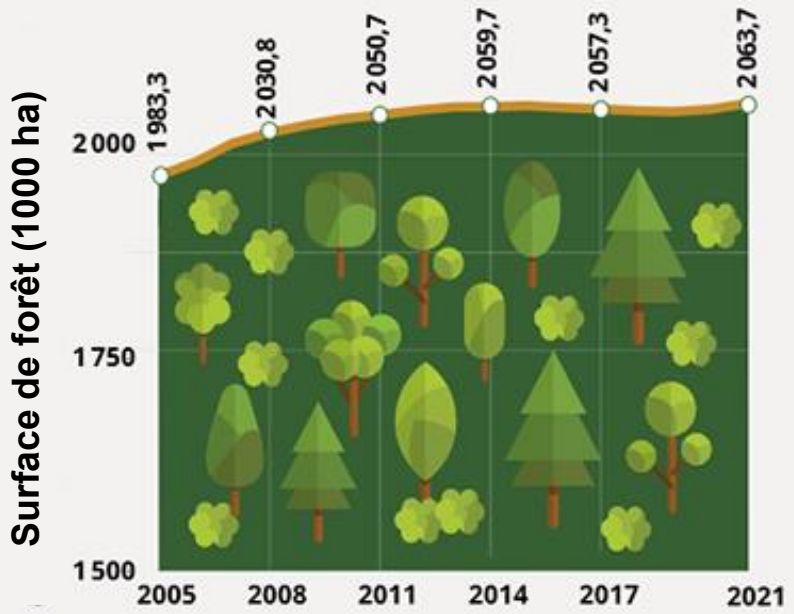
Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés.

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

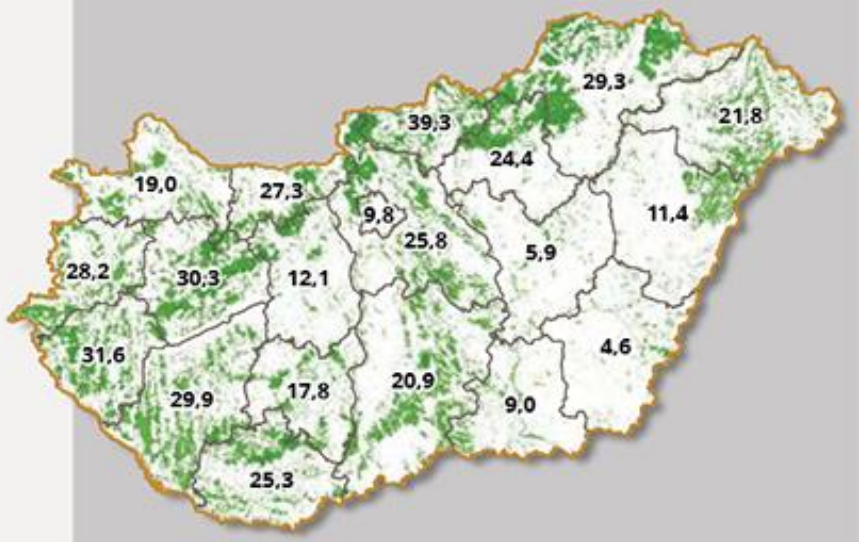
Biomasse forestière

Surface de forêt

Evolution de la surface de forêt référencée dans la base nationale des forêts



Densité de forêt par département en Hongrie



Foresterie, biomasse agricole

Déchets solides municipaux (OM)

Couverture forestière basse hongroise :

20 % (moitié de la moyenne européenne)

Population estimée d'arbres :

360 millions de m^3

Gain : 13 millions m^3/an

Si la moitié du gain est utilisée énergétiquement :

Source d'énergie primaire de 60 à 70 PJ/an

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1, https://fataj.hu/2022/11/erdok-erdogazdalkodas-magyarorszagon-2021/

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Combustibles d’origine végétale



Bois de chauffage

40 % de l’exploitation forestière

Il est conseillé de l’utiliser dans des systèmes de chauffage individuels

Valeur calorique à 15 % d’humidité : 15 000-16 000 kJ/kg

Copeaux de bois

Combustible utilisé dans les chaudières plus grandes

Valeur calorique à 50 % d’humidité : 8 000 kJ/kg

Valeur calorique à 10 % d’humidité : 16 000 kJ/kg

Quantité hongroise : 1 à 1,4 million de t/an

Potentiel énergétique par an : 10-18 PJ/an

Paille de blé

Peut être brûlé annuellement : 1,5 million de t/an

Valeur calorique à 18 % d’humidité : 13 000 kJ/kg

Source d’énergie primaire de 20 PJ/a

Total des combustibles d’origine végétale

Source d’énergie renouvelable 70-90 PJ/an

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1, https://ecocomfort.hu/biomassza/

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Bio-briquette, bio-pellet





- Combustion plus efficace, meilleur contrôle de combustion, plus confortable
- Compression sans liant
- Densité : 1-1,3 t/m³
- Permet le fonctionnement automatique sur les petits équipements

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1, https://barkacsvilag.hu/, https://www.kemencemania.hu/

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Plantation d’énergie



Ils poussent rapidement et jusqu’à 2-3 m de hauteur

Lors d’une croissance rapide, la plante se lie à des composés agressifs

Corrosion dans les usines de combustion, pollution de l’environnement.

Les espèces à croissance rapide peuvent également déclencher des processus dangereux dans le sol.

Leur récolte et leur séchage sont bien mécanisés.

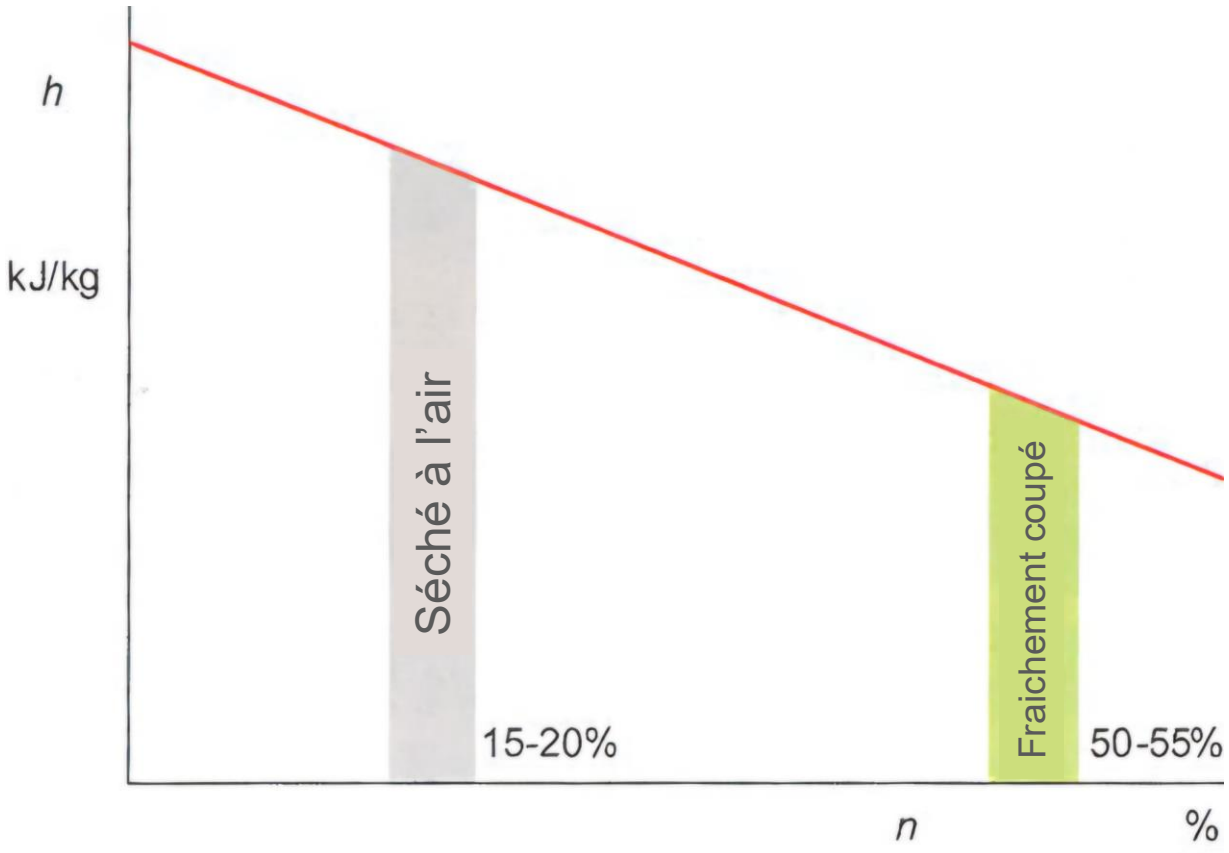
Plantation d’énergie

- Cycle de coupe de 2 à 3 ans
- Cannes de 2-3 cm de diamètre, 2-3 m de haut
- Un faucheur spécial le déchiquète immédiatement.
- Après la coupe, il repousse à la racine.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1, http://www.panenerg.hu/biomassza/

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Centrales de chauffage à combustion par biomasse



- Centrales de chauffage : 100 kW à plusieurs MW
- Utilisation de biomasse locale (impact environnemental du transport)
- Gestion des approvisionnements de biomasse.
- Déchets locaux de menuiserie, exploitations forestières.
- Biomasse fraîchement coupée avec 50 % d'humidité
- Elle peut être réduite à 15-20 % par séchage.
- Possibilité de séchage, entre les saisons de chauffage, en été.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

COMBUSTION DE LA BIOMASSE



- Les centrales de production thermique haute performance peuvent être recouvertes d’une façade en verre pour minimiser les dommages structurels en cas d’explosion.

COMBUSTION DE LA BIOMASSE



- Le camion livrant la biomasse est pesé à l’entrée.

COMBUSTION DE LA BIOMASSE



COMBUSTION DE LA BIOMASSE



- Mesure d’échantillons du combustible (humidité…)
- Cout du combustible basé sur la qualité de la biomasse
- Les très petits copeaux de bois sont un problème car l’air les emporte pendant la combustion.



COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Dispositif d’achemeninement





COMBUSTION DE LA BIOMASSE



COMBUSTION DE LA BIOMASSE



COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Foyer de chaudière à copeaux de bois



Vidage des cendres de la chaudière



COMBUSTION DE LA BIOMASSE

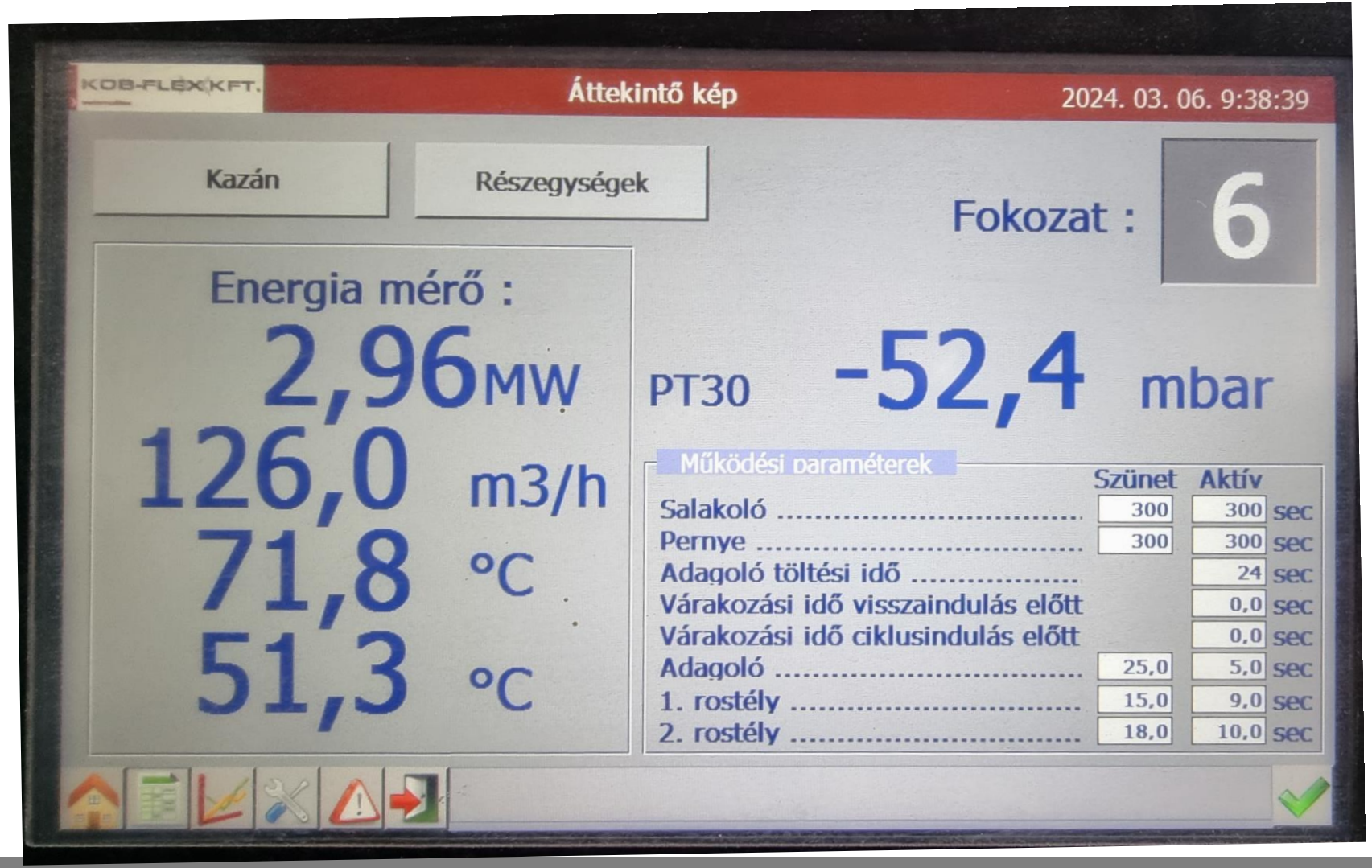


Tableau de contrôle de la chaudière

- Performance instantanée
- Débit volume d'eau chaude
- Température d'alimentation
- Température de retour

COMBUSTION DE LA BIOMASSE



- **Connexion au chauffage urbain :**
- **Approvisionnement primaire,**
- **Retour**

COMBUSTION DE LA BIOMASSE



- Pompes à circuit primaire dans la centrale de chauffage
- Petite pompe pour l'exploitation estivale
- Grande pompe pour l'exploitation hivernale.
- Assurer le maintien de la pression et le traitement de l'eau



COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Chaudières à gaz de secours pour garantir l’approvisionnement en chaleur en toutes circonstances



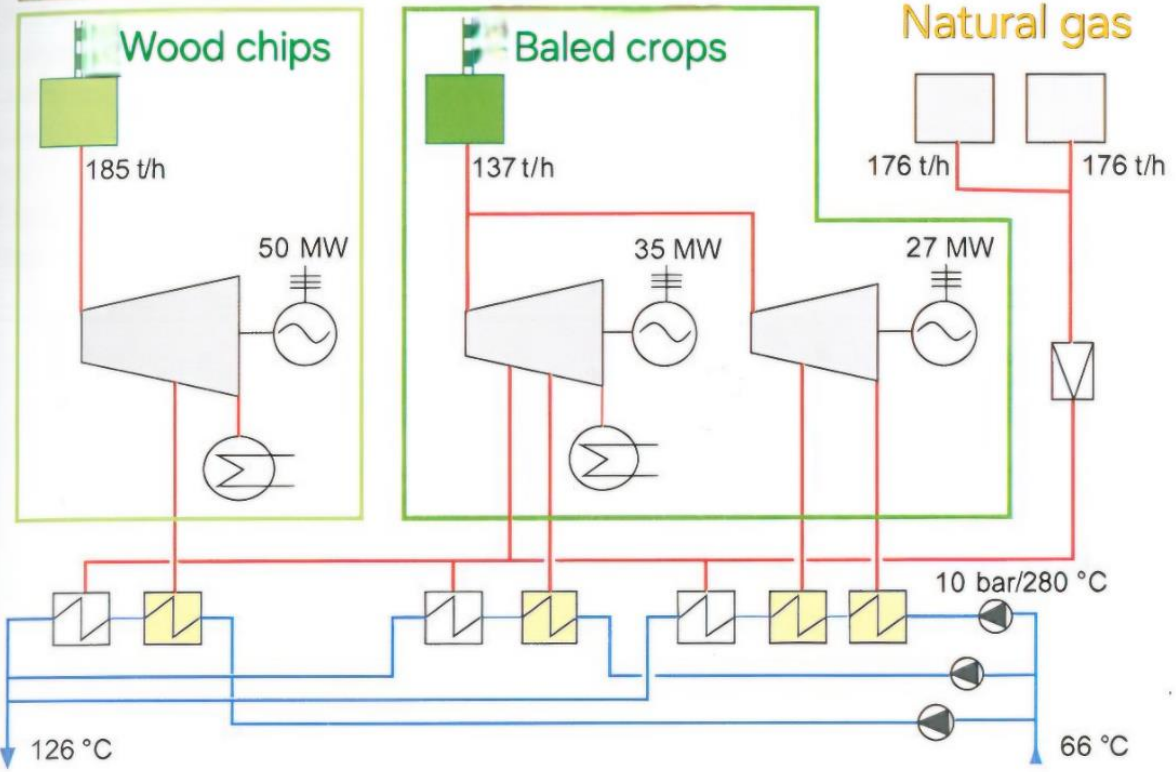


COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Copeaux de bois et ballots de paille à la centrale de Pécs







- À l'origine une centrale au charbon a été convertie en centrale à biomasse en deux étapes.
- Les turbines à vapeur et les paramètres vapeur de l'ancienne centrale ont été préservés.
- Étape 1 : une chaudière à copeaux de bois a été installée. Chaudière à vapeur de 185 t/h.
- Elle produit de la vapeur pour sa turbine à vapeur à condensation et extraction d'une capacité électrique de 50 MW.
- Étape 2 : chaudière à paille installée
- La chaudière, d'une capacité de vapeur de 137 t/h, coopère avec une turbine à vapeur à condensation et extraction de 35 MW en dehors de la période de chauffage. Pendant la période de chauffage, il fonctionne en conjonction avec une turbine de chauffage en contre-pression de 27 MW.

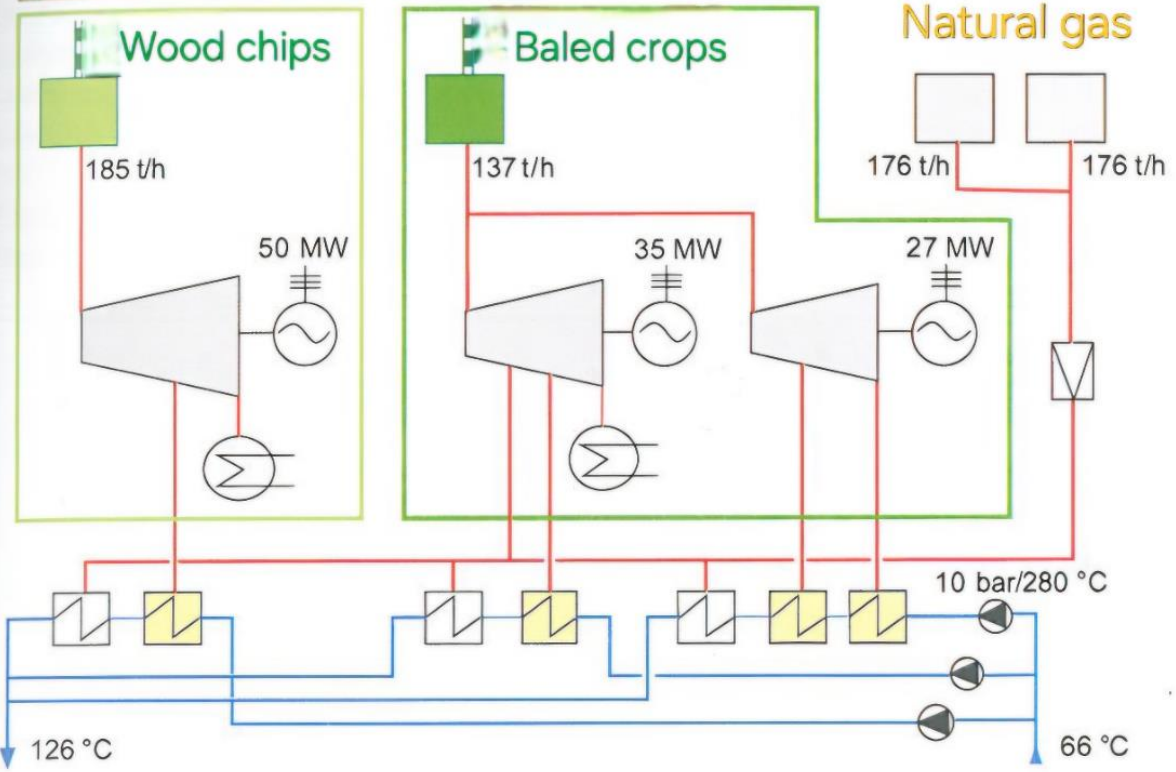
Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

COMBUSTION DE LA BIOMASSE

Copeaux de bois et ballots de paille à la centrale de Pécs







- Approvisionnement en chauffage urbain de la ville de Pécs :
- 31 000 appartements
- 450 institutions
- Demande annuelle de chaleur : 1600 TJ/an
- 62 % est fourni par des ballots de paille
- 32 % est fourni par l'unité de chauffage à bois.
- Les unités de biomasse fournissent 94 % de chaleur et d'électricité renouvelables à Pécs.
- La combustion du gaz naturel doit couvrir environ 6 % de la demande de chaleur.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

LE POTENTIEL DE LA PRODUCTION HONGROISE DE BIOGAZ

Matériau organique	Quantité (million t/an)	Production de biogaz (milliard m^3/an)	Équivalent gaz naturel (milliard m^3/an)
Déchets d'origine animale	43	1,6	1,1
Déchets municipaux	10	0,7	0,5
Cultures énergétiques (1 000 mille ha)	30	3,3	2,2
Total	**83**	**5,6**	**3,8**

- Biomasse facilement biodégradable qui ne peut pas être utilisée par la combustion.
- Par exemple, 700 000 t/a de boues usées sont produites chaque année.
- Dans l'agriculture hongroise, 7,5 millions de t/a de déchets adaptés à la gazéification sont générés chaque année.
- Aujourd'hui, environ 40 usines de biogaz nationales utilisent environ 3 millions de tonnes.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés.

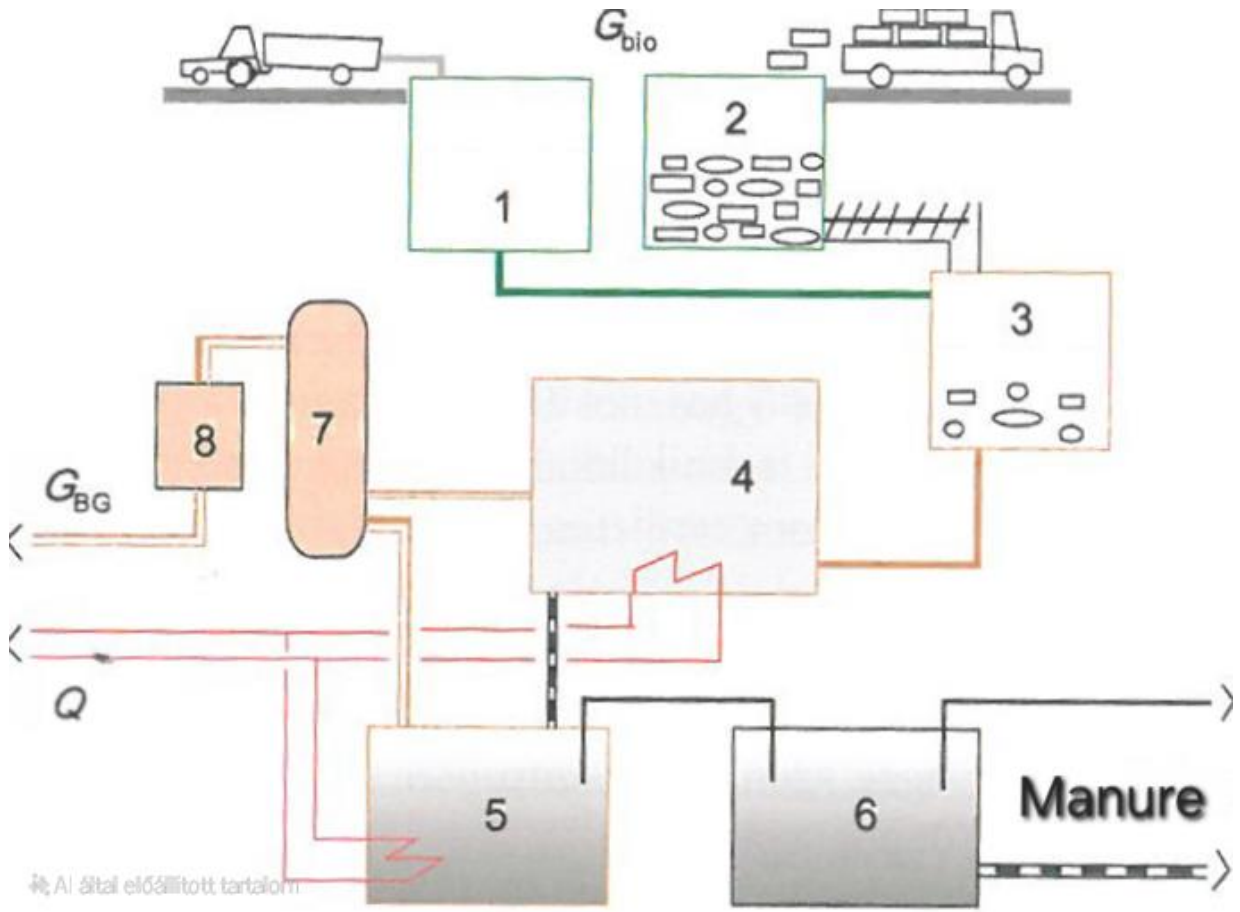
LE POTENTIEL DE LA PRODUCTION HONGROISE DE BIOGAZ



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1, https://www.mnnsz.hu/wp-content/uploads/2014/05/m7.2.jpg

- Fermentation anaérobie de la matière organique (=fermentation dans un environnement sans oxygène).
- Décomposition humide des glucides, graisses et protéines dans un environnement sombre et pauvre en oxygène.
- **Le processus de méthanisation en 4 étapes**
- **Hydrolyse** : Découpage des molécules complexes en éléments simples (glucides, acides gras).
- **Acidogenèse** : Transformation de ces éléments simples en acides gras volatils et alcools.
- **Acétogenèse** : Conversion des acides volatils en acide acétique (acétate), H_2 et CO_2.
- **Méthanogenèse** : Production du biogaz (méthane CH_4 et CO_2) par des bactéries spécifiques

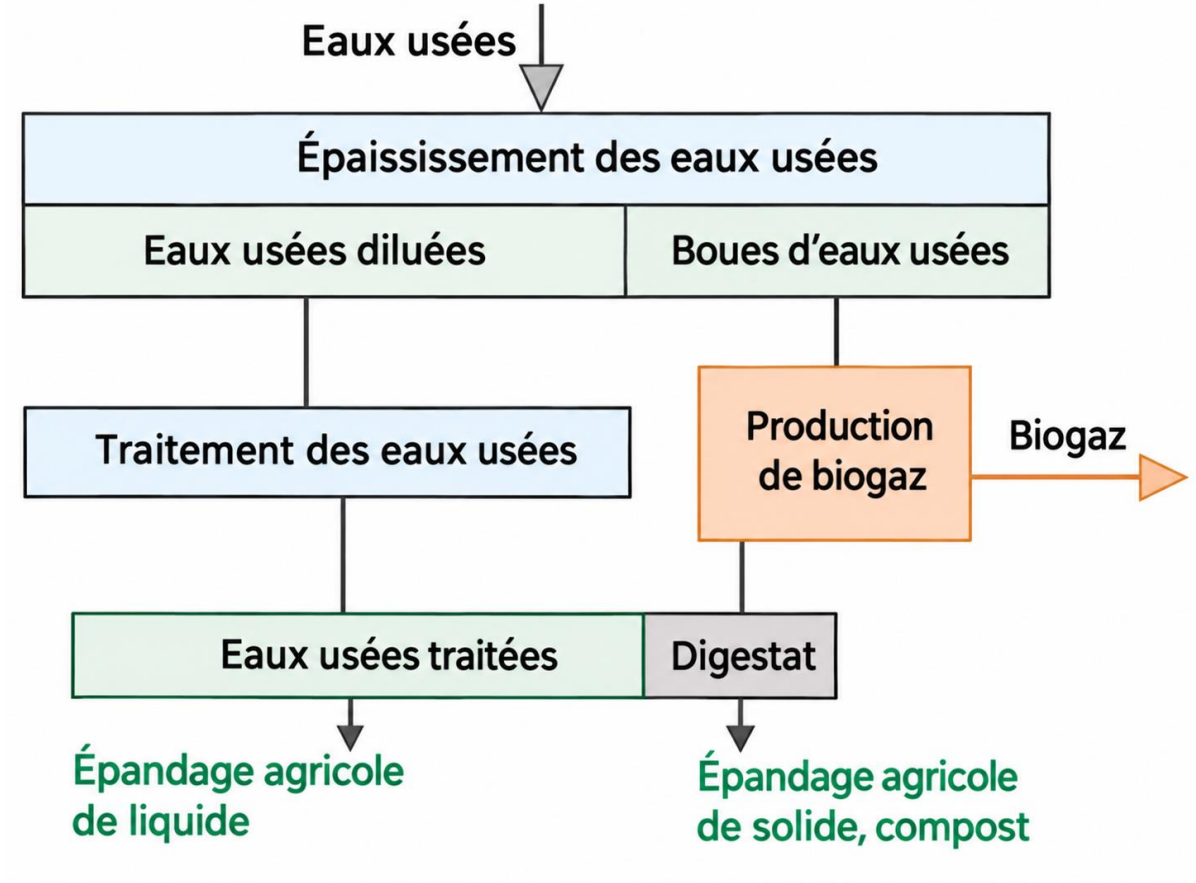
LE PROCESSUS DE PRODUCTION DE BIOGAZ



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

- 1 : Réception de biomasse liquide
- 2 : Réception de biomasse solide
- 3 : Pré-stockage
- 4 : Pré-fermenteur
- 5 : Post-fermentateur
- 6 : Stockage final
- 7 : Réservoir de biogaz
- 8 : Purificateur à gaz
- Pendant la fermentation, le nombre d'agents pathogènes dans la biomasse diminue, elle devient moins odorante et devient un excellent nutriment pour les plantes.

PROCÉDÉ DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DE PRODUCTION DE BIOGAZ



- Les eaux usées urbaines sont épaissies.
- Les boues épaisses des eaux usées sont dirigées vers un système de gazéification anaérobie.
- Un biogaz énergétiquement précieux et du fumier solide sont produits.
- Les eaux usées diluées sont adaptées à un usage agricole après une purification, une désodorisation et une désinfection appropriées.
- Si ce procédé n'est pas totalement complet, il sert à irriguer les cultures énergétiques.
- Après séchage, du fumier solide peut être utilisé comme combustible.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

LA CENTRALE À BIOMASSE DE GÜSSING

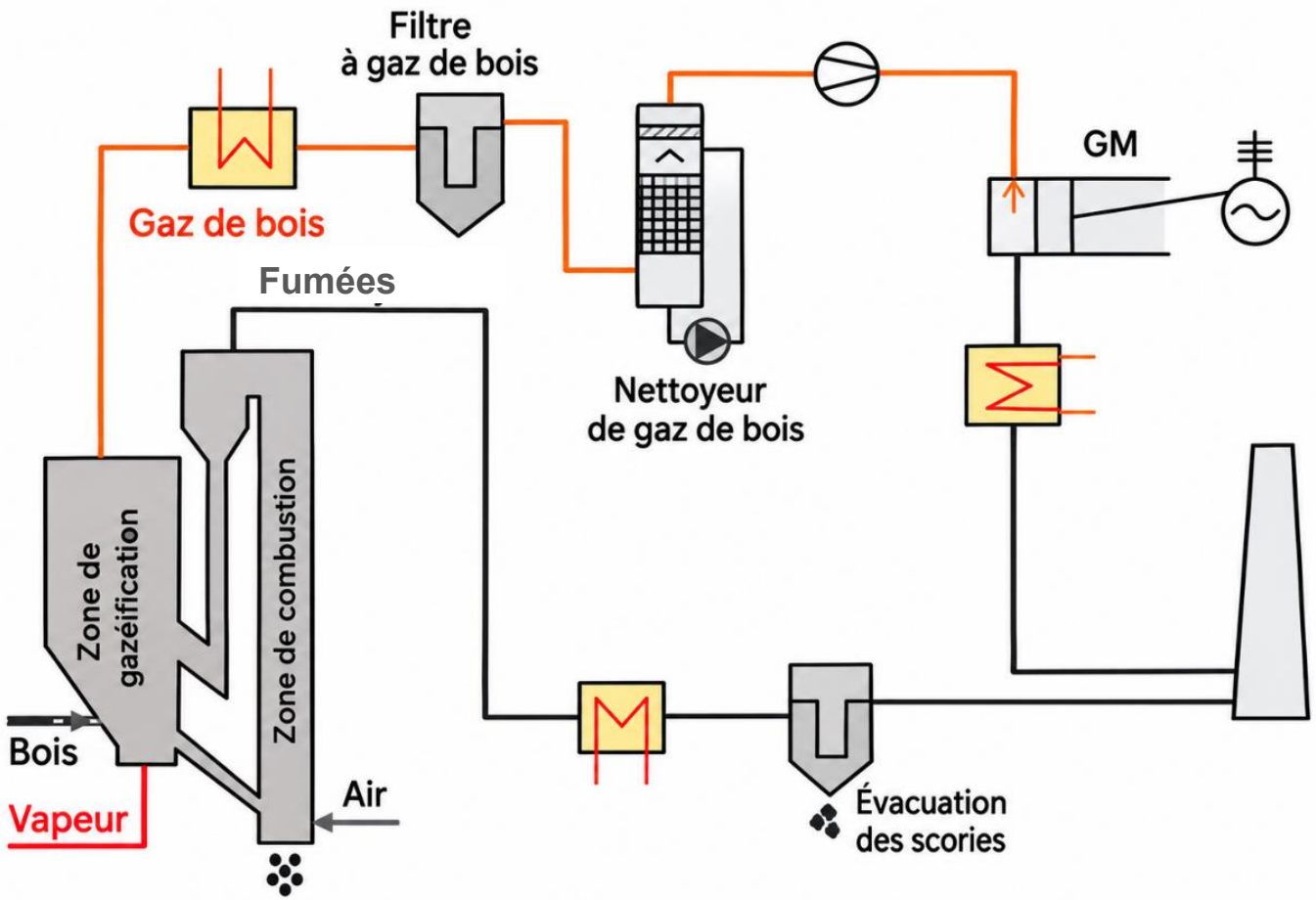
- Gazéification thermique du bois dans une atmosphère d'air ou de vapeur.
- Production de gaz de synthèse.





Source: https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/biomasse-kraftwerk-in-guessing

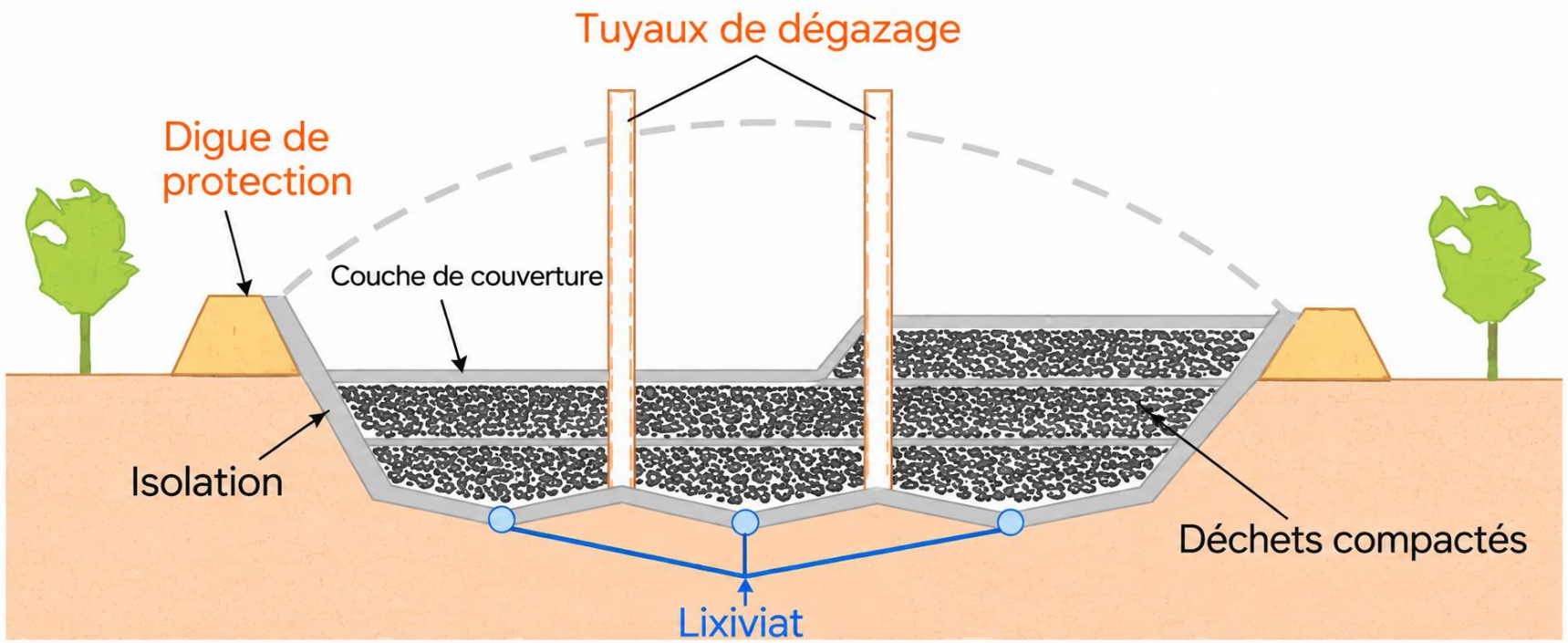
SCHEMA DU PROCÉDÉ DE LA CENTRALE DE GAZÉIFICATION À BIOMASSE DE GÜSSING



- Le gazéifieur de bois de lit fluidisé a deux zones.
- Zone de combustion : Le matériau du lit et l'air circulent et fournissent de la chaleur pour la gazéification.
- Zone de gazéification : Du bois est introduit ici. La vapeur surchauffée (850°C) générée par la chaleur fluidifie cette zone.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

CENTRE D'ENFOUISSEMENT DE DÉCHETS SOLIDES MUNICIPAUX, PRODUCTION DE GAZ DE DÉCHARGE



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

Des processus aérobies, puis anaérobies ont lieu.

Gaz de décharge :

- 40-60 % de méthane
- 60-40 % de dioxyde de carbone

Traces de :

- Monoxyde de carbone
- Azote
- Sulfure d'hydrogène
- Acides gras volatils
- Mercaptans,
- Vapeur.

La fermeture du site prend 20 à 30 ans.

Extractible : 2-3 $m^3/t.a$

RENDEMENT EN BIOGAZ PROVENANT DE DIVERS MATÉRIAUX ORGANIQUES

Matière organique	Rendement en biogaz (m^3/t)	Matière organique	Rendement en biogaz (m^3/t)
Lisier de porc	340–550	Herbe	280–550
Fumier de bovin	90–310	Roseau	170
Fumier de volaille	310–620	Trèfle	430–490
Fumier de cheval	200–300	Déchets de pomme de terre	280–490
Fumier de mouton	90–310	Feuilles de betterave sucrière	400–500
Fumier de étable	175–280	Feuilles de tournesol	300
Paille de blé	200–300	Résidus agricoles	310–430
Tiges de maïs	380–460	Graines végétales	620
Paille de colza	200	Feuilles	210–290
Paille de riz	170–280	Algues	420–500
Lin	360	Boues d'épuration	310–740
Chanvre	360	Déchets de décharge	40–300

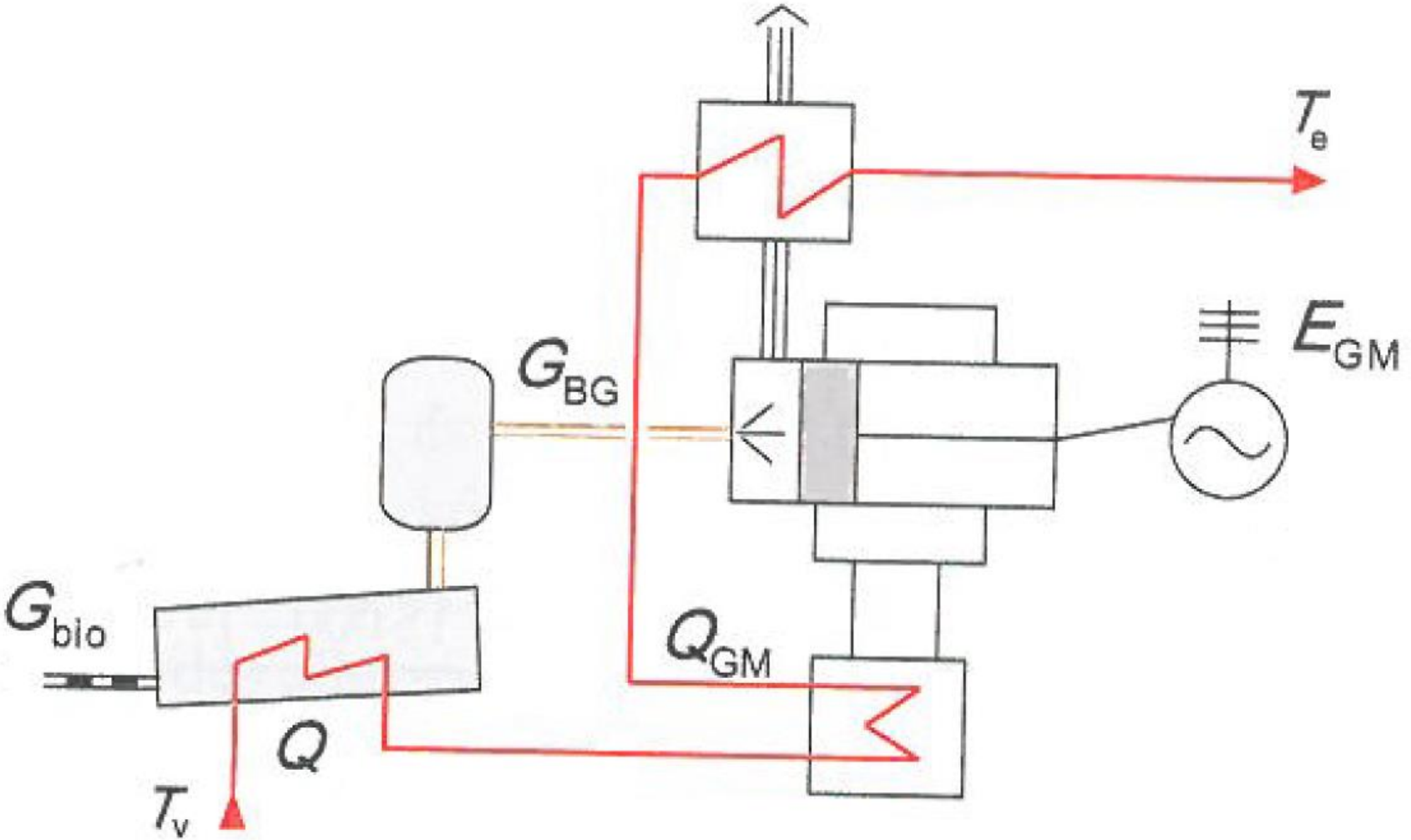
Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

COMPARAISON ENTRE LE BIOGAZ, LE GAZ DE DÉCHARGE ET LE GAZ NATUREL

Composant	Biogaz	Gaz de décharge (décharge de déchets)	Gaz naturel
Méthane (%)	50 – 70	45 – 55	94 – 98
Dioxyde de carbone (%)	17 – 42	30 – 35	0,0 – 3
Azote (%)	0 – 1	15 – 25	0,3 – 4
Densité (kg/m³)	1,1 – 1,15	1,15 – 1,20	0,8 – 0,9
Valeur calorifique (kJ/m³)	18 000 – 25 000	15 000 – 17 000	32 000 – 40 000

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés.

PRODUCTION COMBINÉE DE CHALEUR ET D'ÉLECTRICITÉ AVEC UN MOTEUR ALIMENTÉ AU BIOGAZ

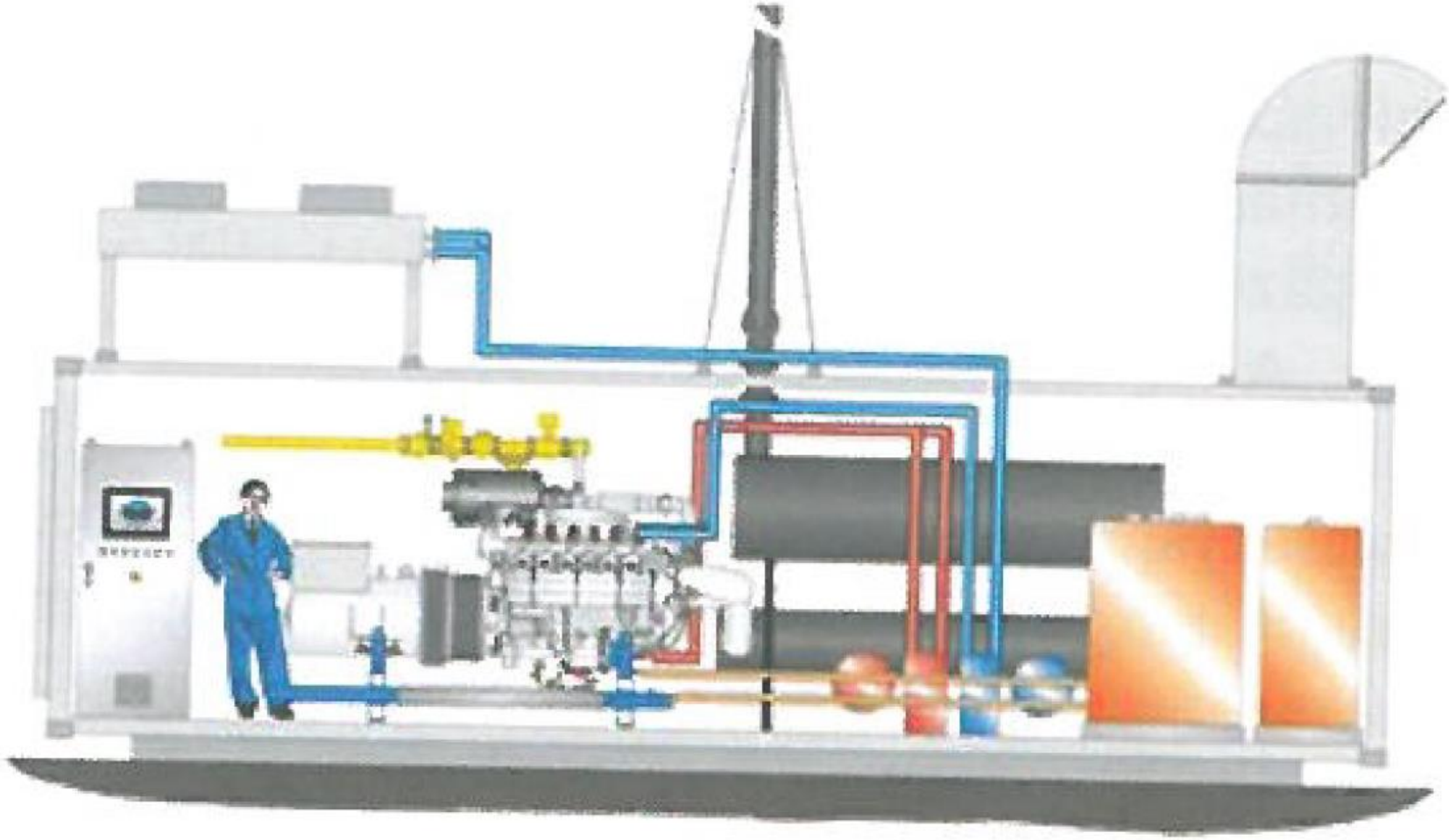


- Utilisation décentralisée dans les moteurs à essence.
- Moteurs à essence : plage entre quelques kW et MW.
- Moteurs à biogaz conteneurisés
- Installation facile
- Comprend des échangeurs de chaleur chauffants. Le générateur électrique et les équipements de connexion.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

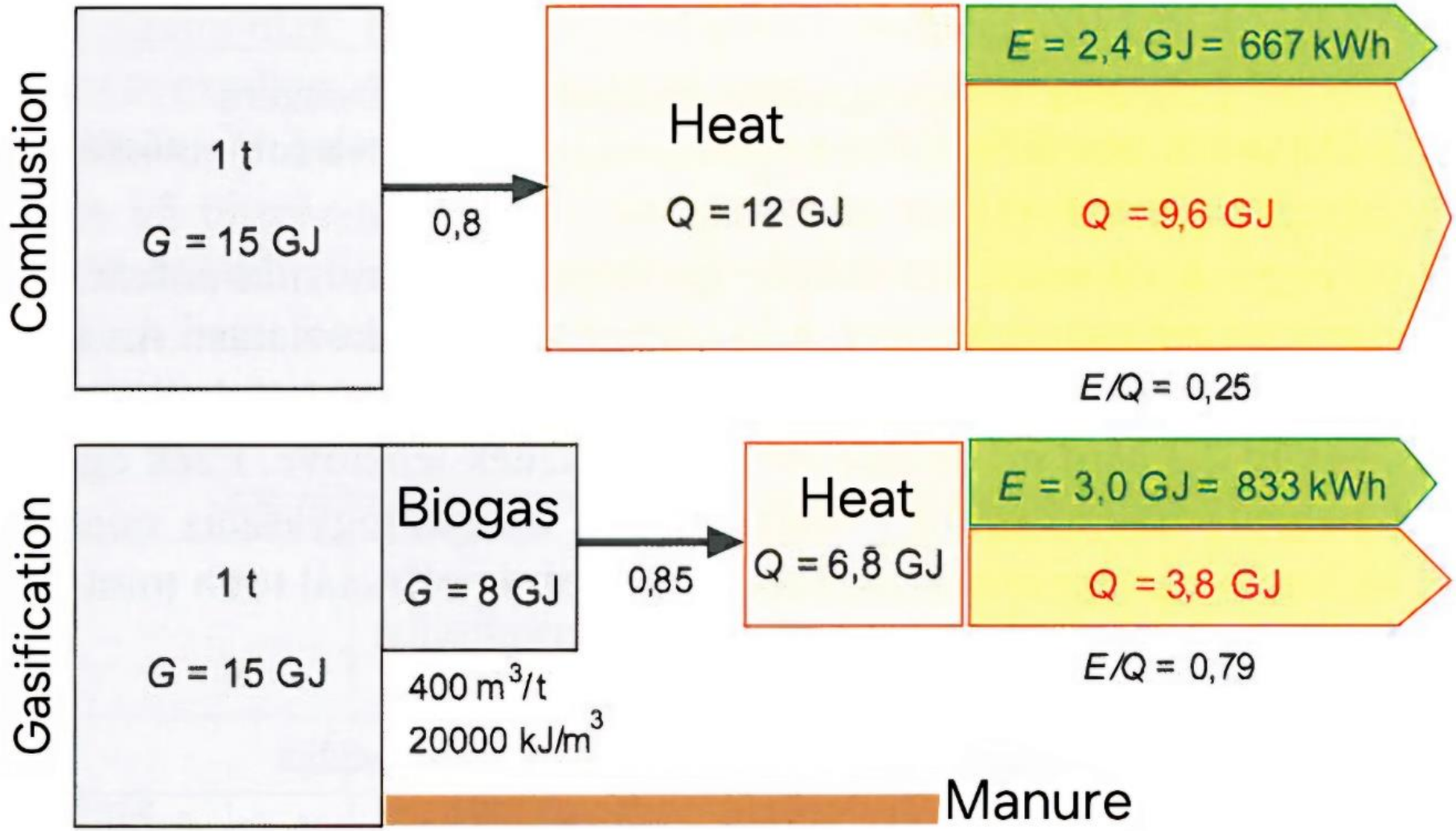
MOTEUR À GAZ ALIMENTÉ AU BIOGAZ EN CONTENEUR





Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés. ISBN: 978-968-88358-7-1

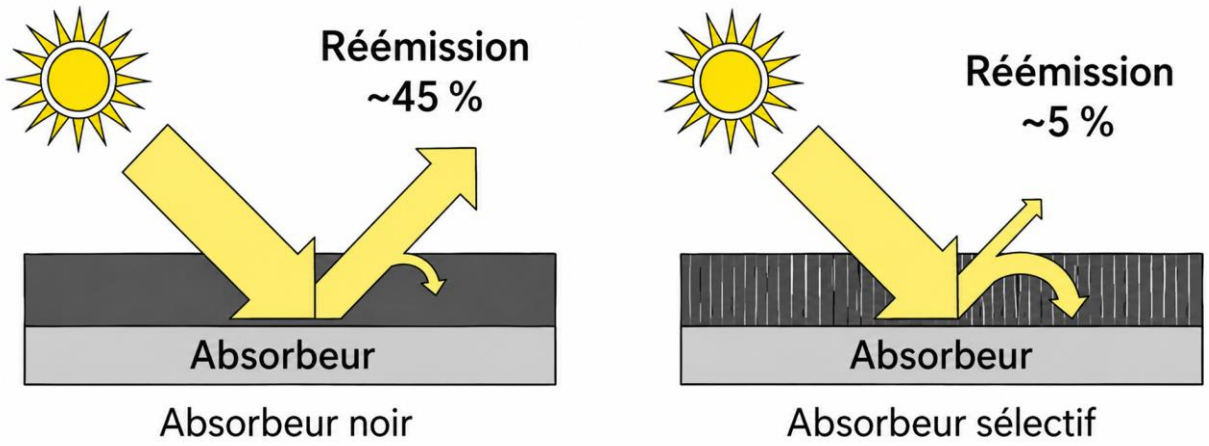
COMPARAISON DE LA COMBUSTION DE LA BIOMASSE ET DE LA GAZÉIFICATION POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

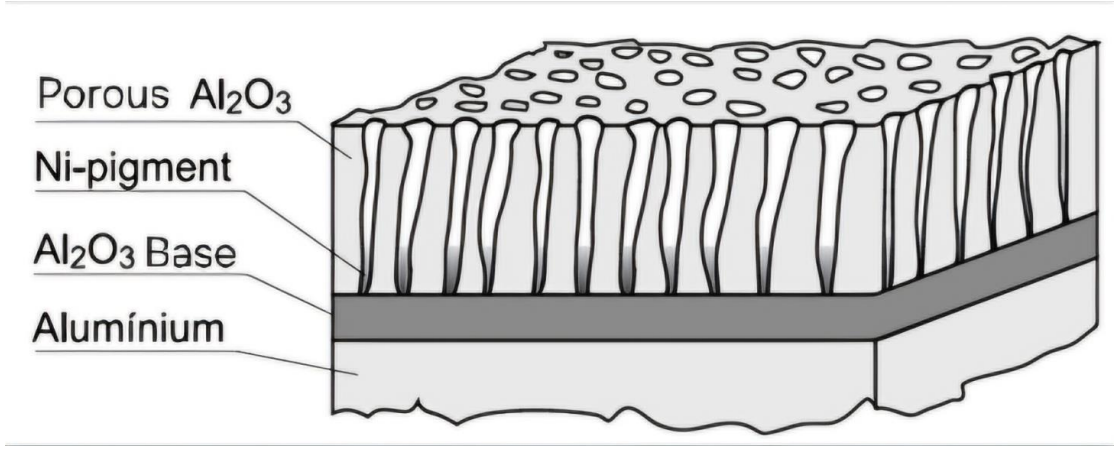


- Combustion ou gazéification ?
- Pour les besoins thermiques élevés, il est conseillé de choisir la combustion, tandis que pour les besoins faibles en chaleur, la gazéification est recommandée.

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés.

CHAUFFAGE SOLAIRE URBAIN





Collecteur solaire plan

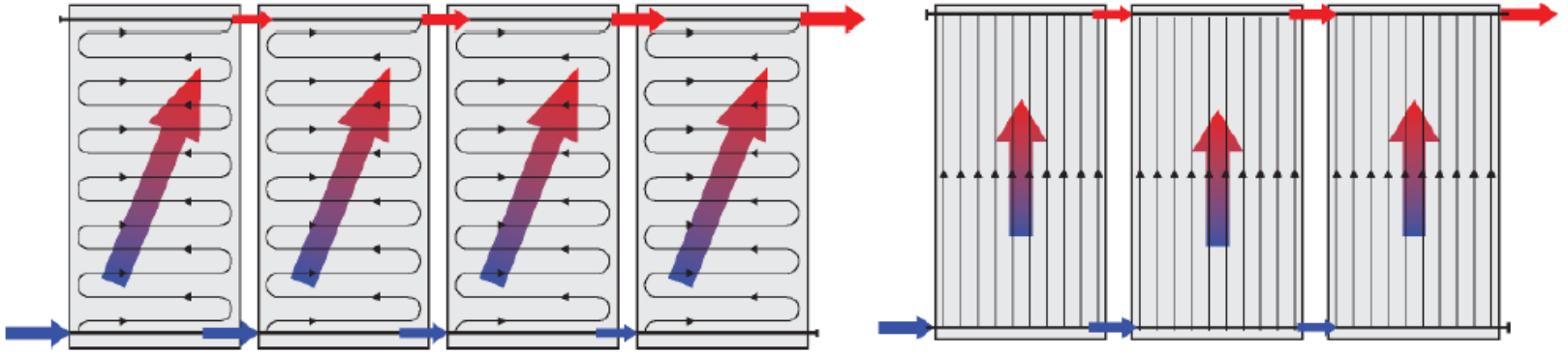


Source: gazdasaghaza.hu, naplopo.hu

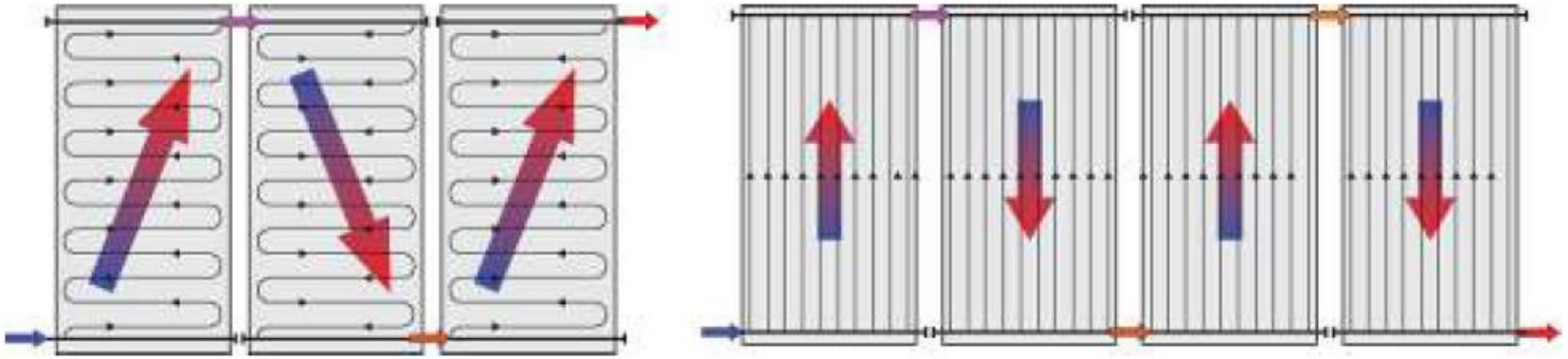
CHAUFFAGE SOLAIRE URBAIN

Connexion de champs collecteurs

- En connexion parallèle, la chute de pression est moindre, mais le débit est plus faible.
- En connexion série, il y a une plus grande perte de pression et un débit plus élevé.
- Contrôle ?
- Les collecteurs sont-ils équivalents ?



Parallel connection

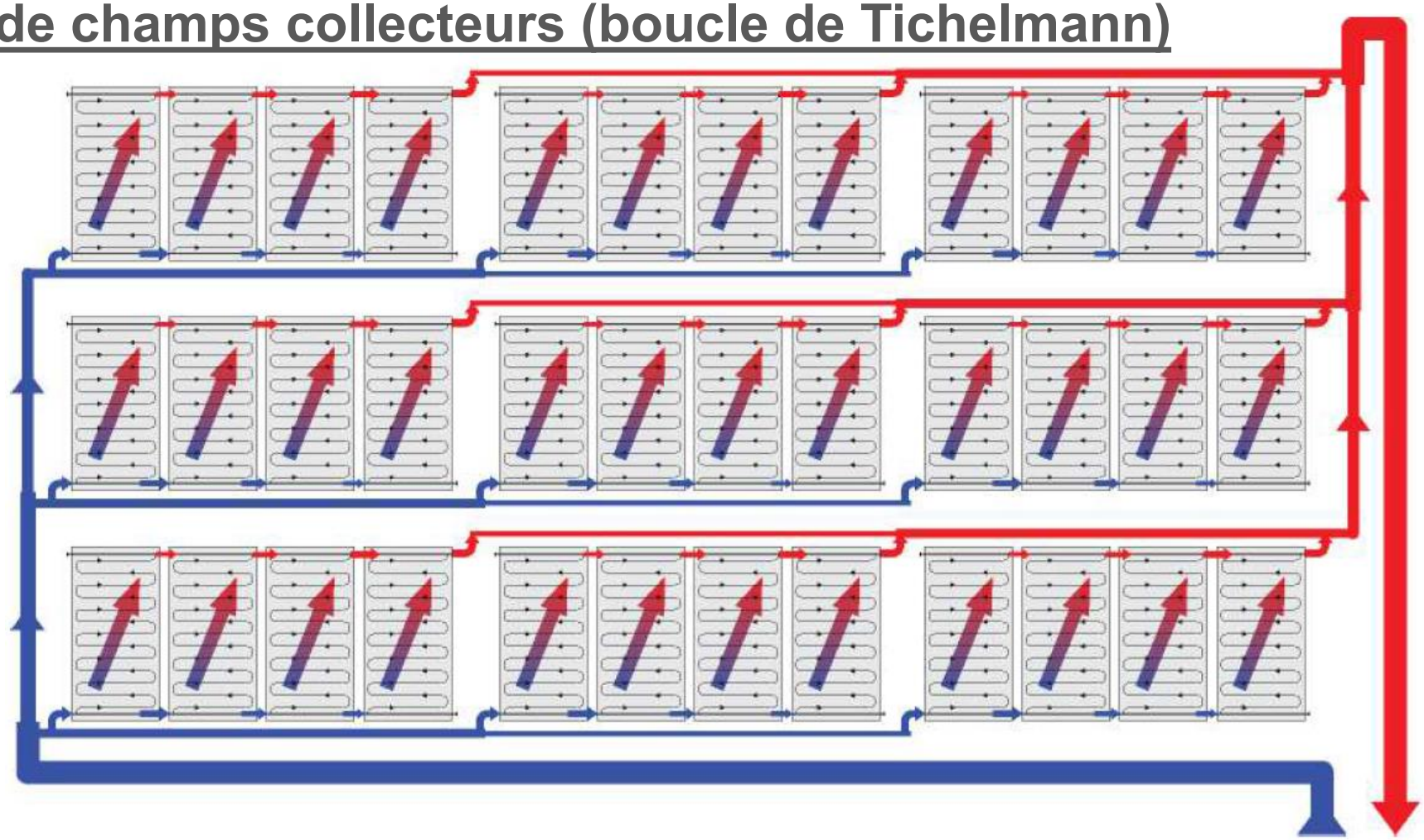


Series connection

Source: naplopo.hu

CHAUFFAGE SOLAIRE URBAIN

Connexion de champs collecteurs (boucle de Tichelmann)



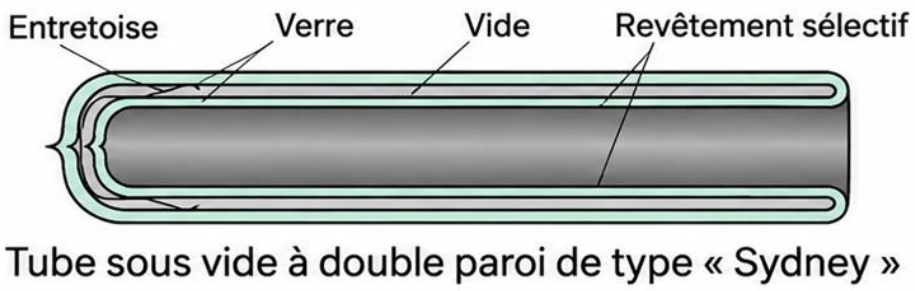
Source: naplopo.hu

CHAUFFAGE SOLAIRE URBAIN

- Tube à vide double paroi de type thermos
- Absorbeur collé à la face intérieure de la paroi vitrée intérieure
- Feuille conductrice thermique requise
- Miroir CPC (concentrateur parabolique composite) optionnel pour maximiser le rayonnement utilisé

Collecteur « Sydney tube »



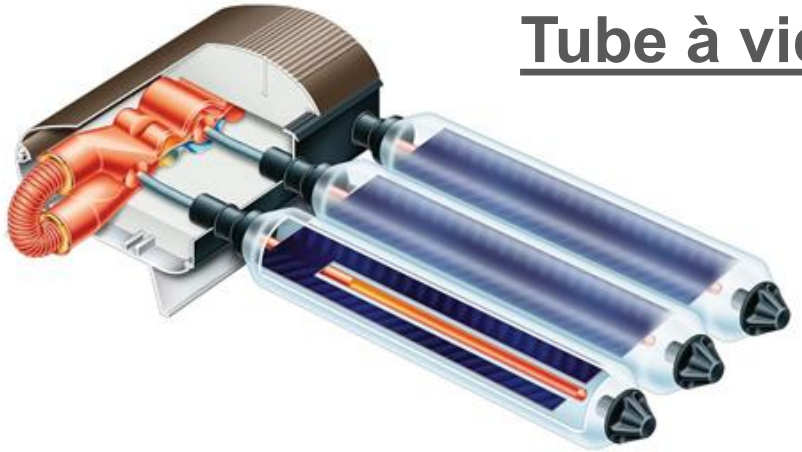


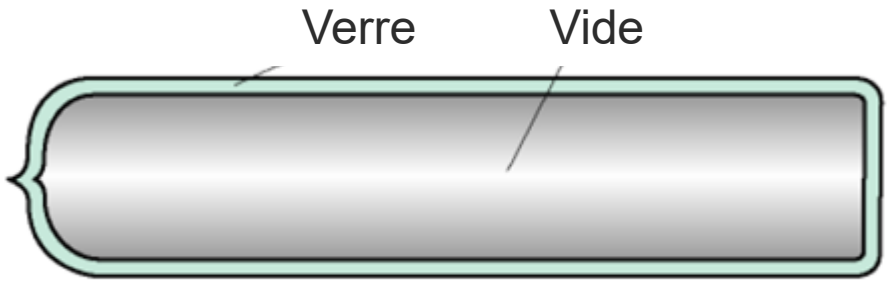
Tube sous vide à double paroi de type « Sydney »

Source: naplopo.hu, paradigma.de

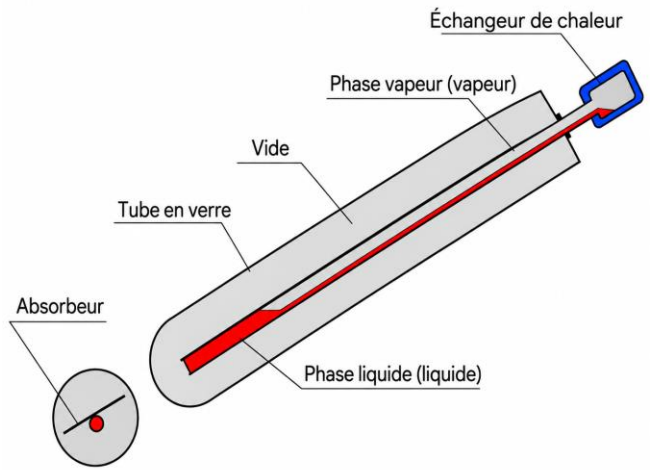
CHAUFFAGE SOLAIRE URBAIN

Tube à vide caloduc





Tube à vide

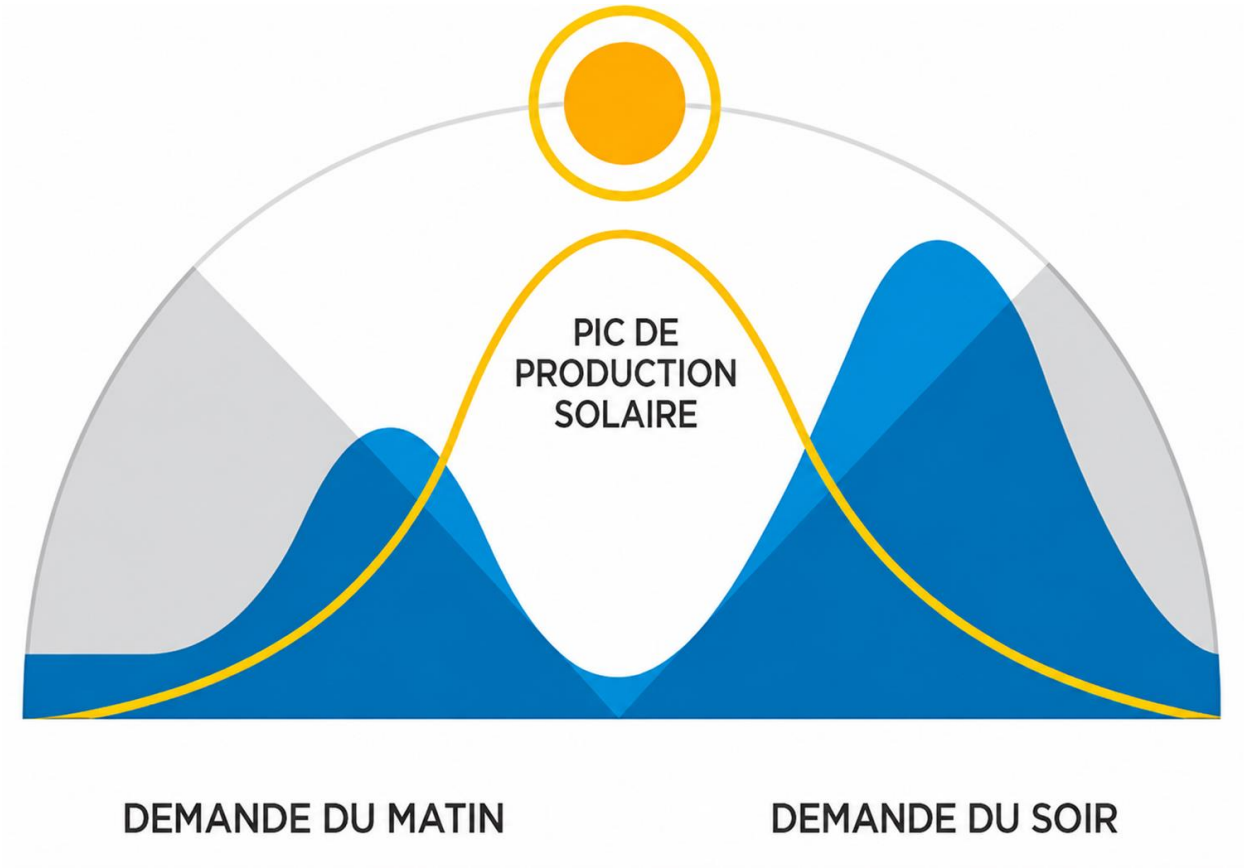


- Absorbeurs plats dans les tubes
- Angle d'inclinaison de l'absorbeur légèrement ajustable à l'intérieur du tube à vide
- Conception du caloduc, qui doit être installé avec un angle par rapport à l'horizontal
- Une attention particulière requise pour la dilatation thermique aux connexions verre-métal

Source: naplopo.hu, viessmann.com

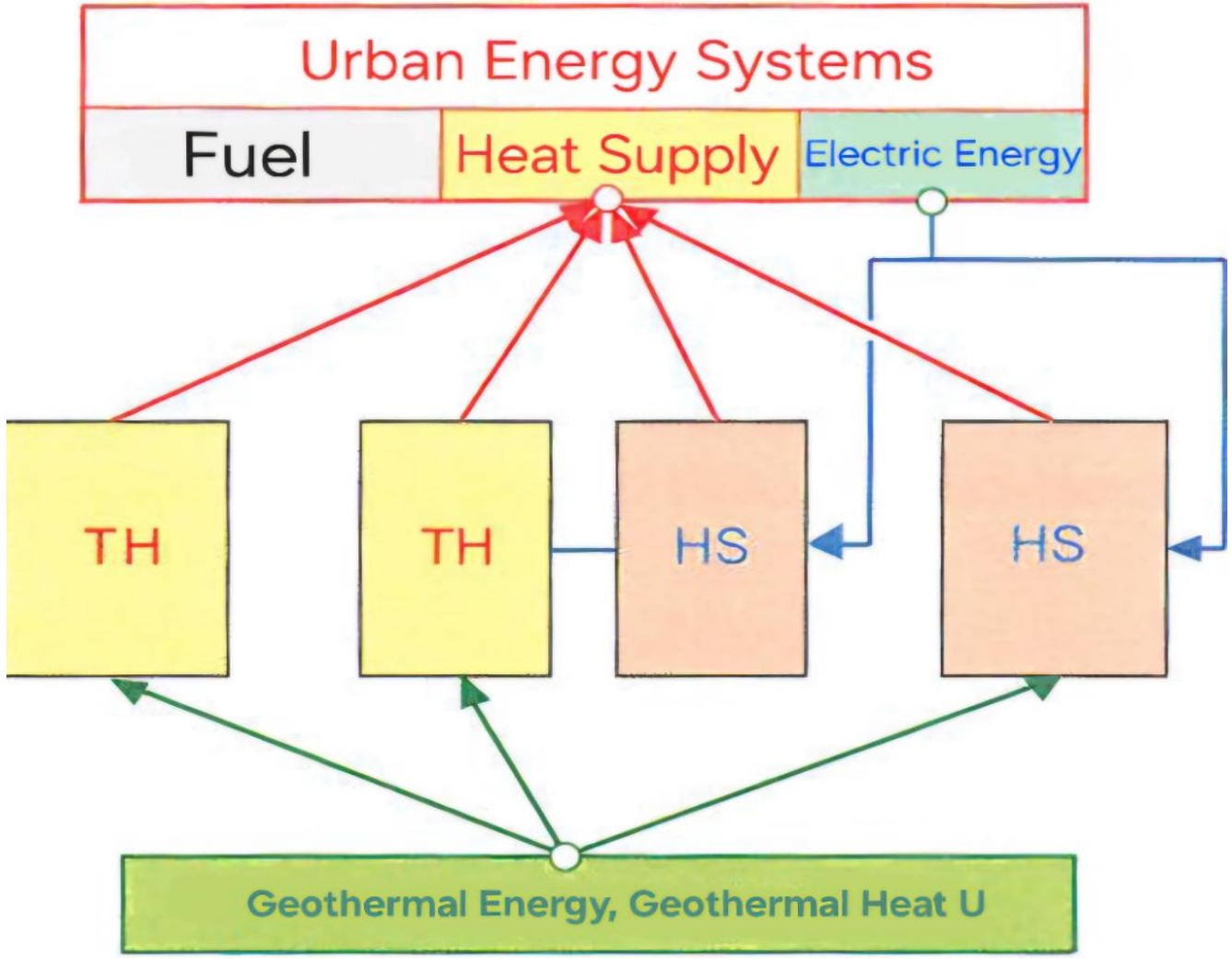
CHAUFFAGE SOLAIRE URBAIN

Le défi de la production de chaleur solaire à grande échelle : les pics de performance de stockage



Source: www.teslamotors.com

Chauffage urbain géothermique



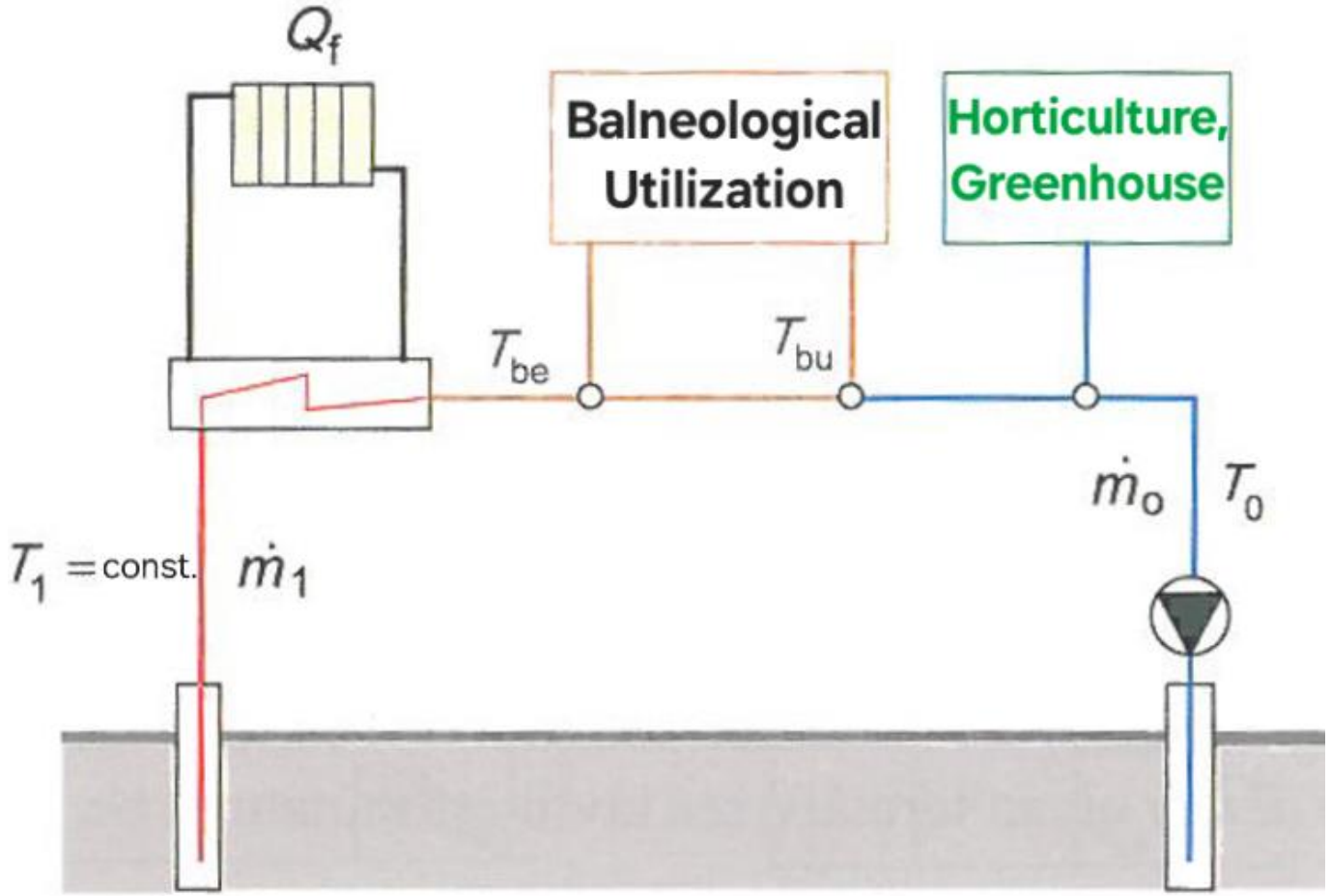
Utilisation de l'énergie géothermique dans les systèmes énergétiques urbains

- Eau thermale à haute température (>80°C) pour l'alimentation directe en chaleur.
- Eau thermale à température moyenne (40-80°C) pour une utilisation partiellement directe et une pompe à chaleur
- Utilisation de pompe à chaleur pour eau thermale basse température (<30°C).

Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

Chauffage urbain géothermique

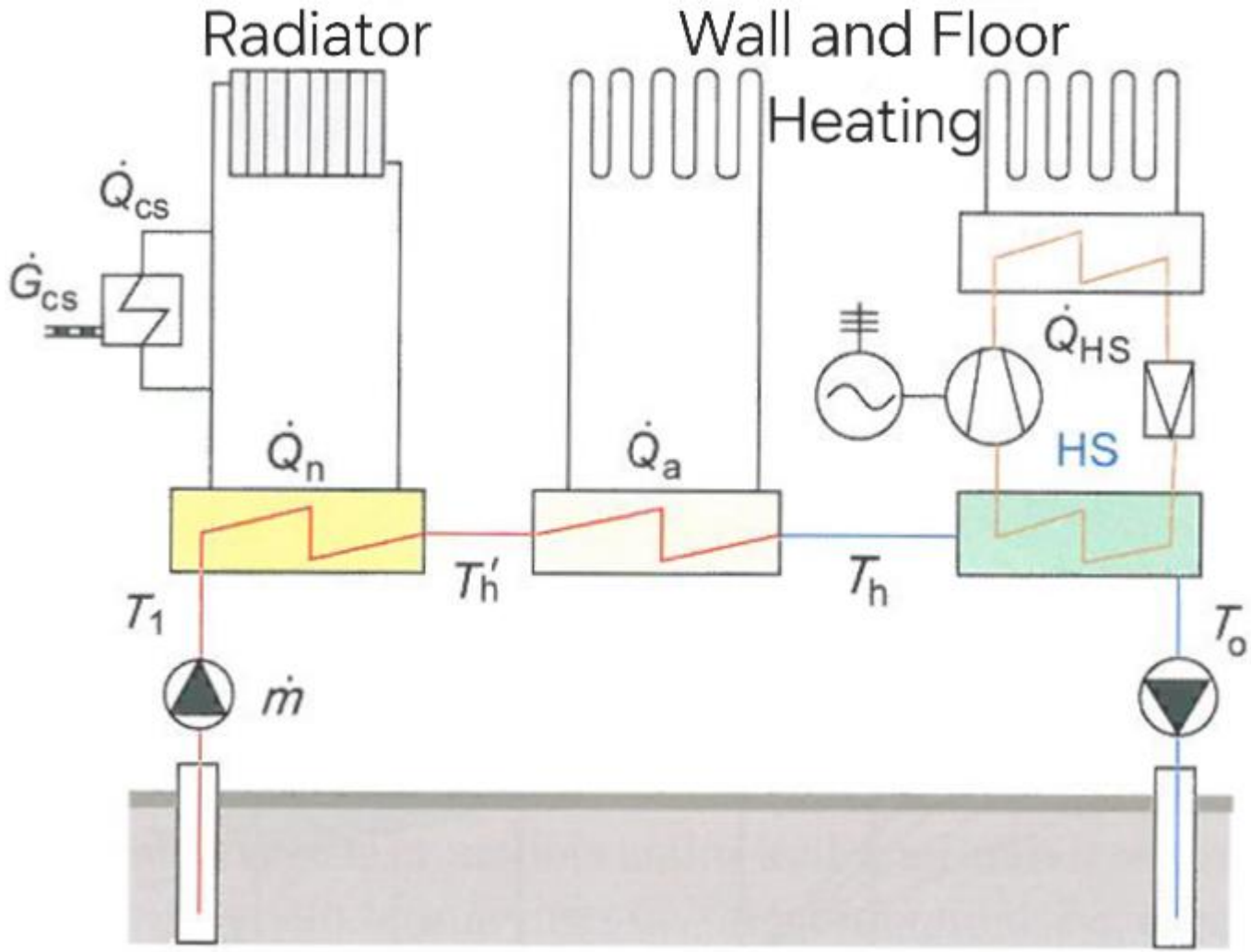
Utilisation multifonctionnaire en cascade de l'eau thermale



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

Chauffage urbain géothermique

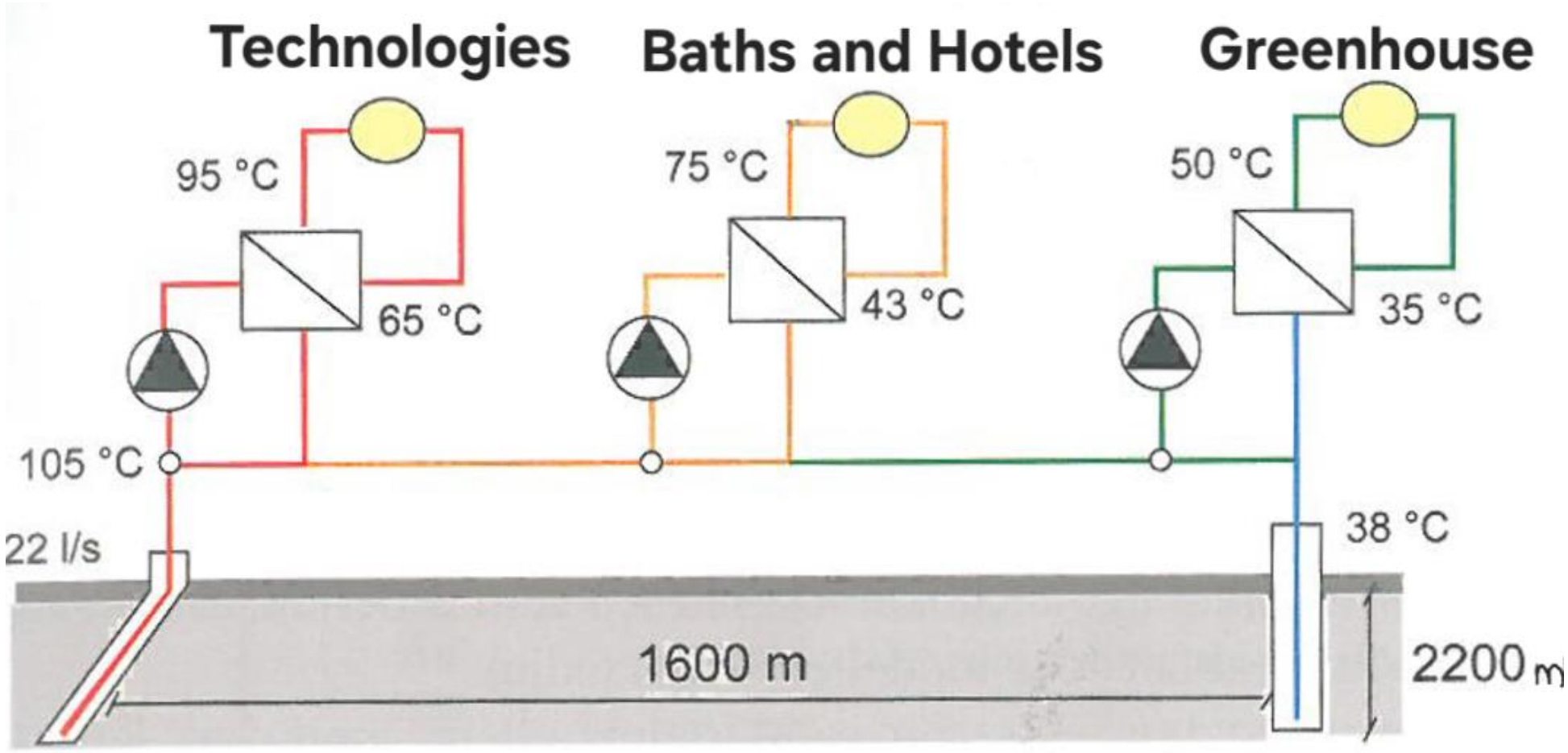
Chauffage urbain des eaux thermales



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

Chauffage urbain géothermique

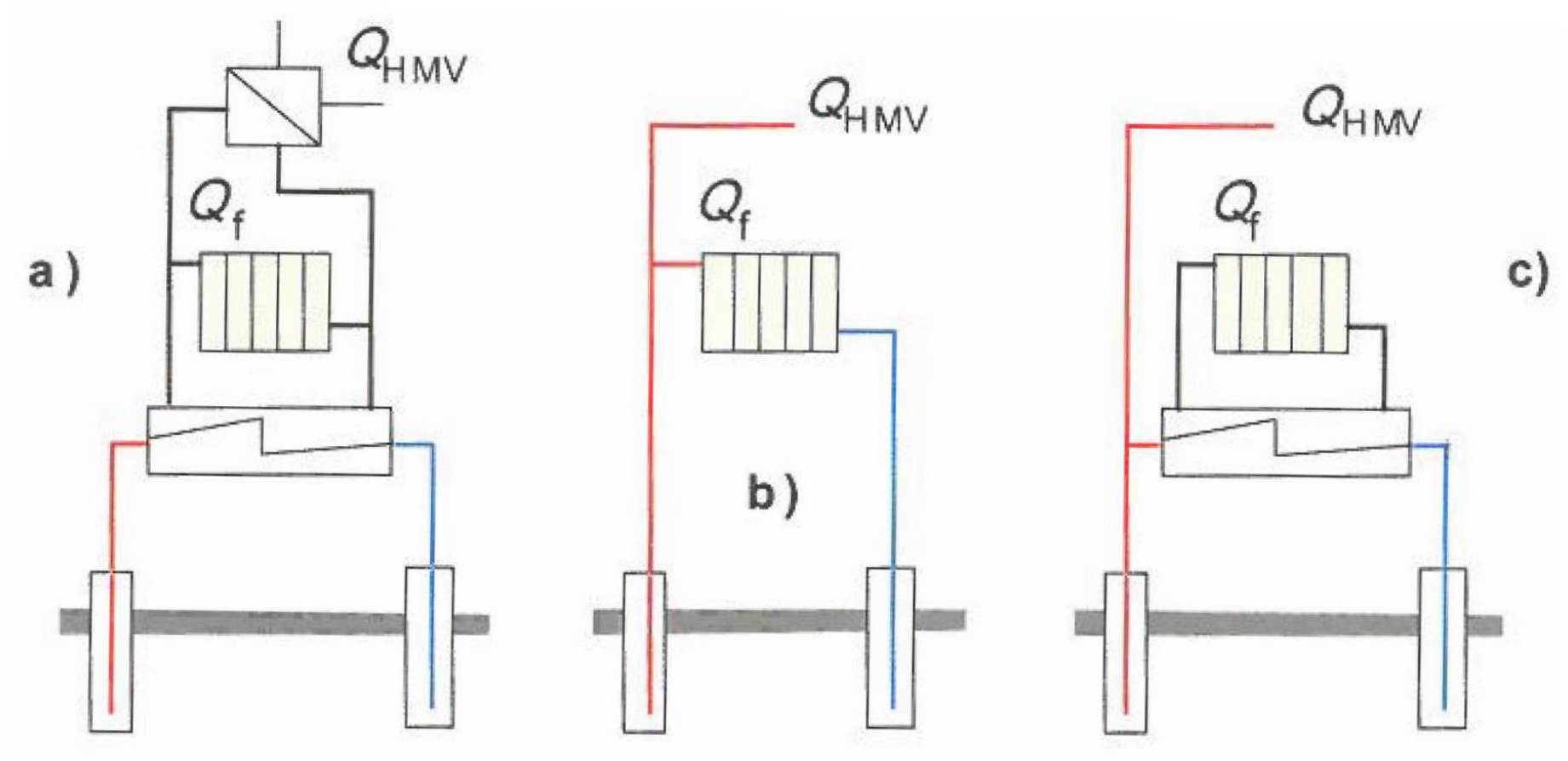
Connexion en cascade de l'utilisation de l'eau thermale à Geinberg



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

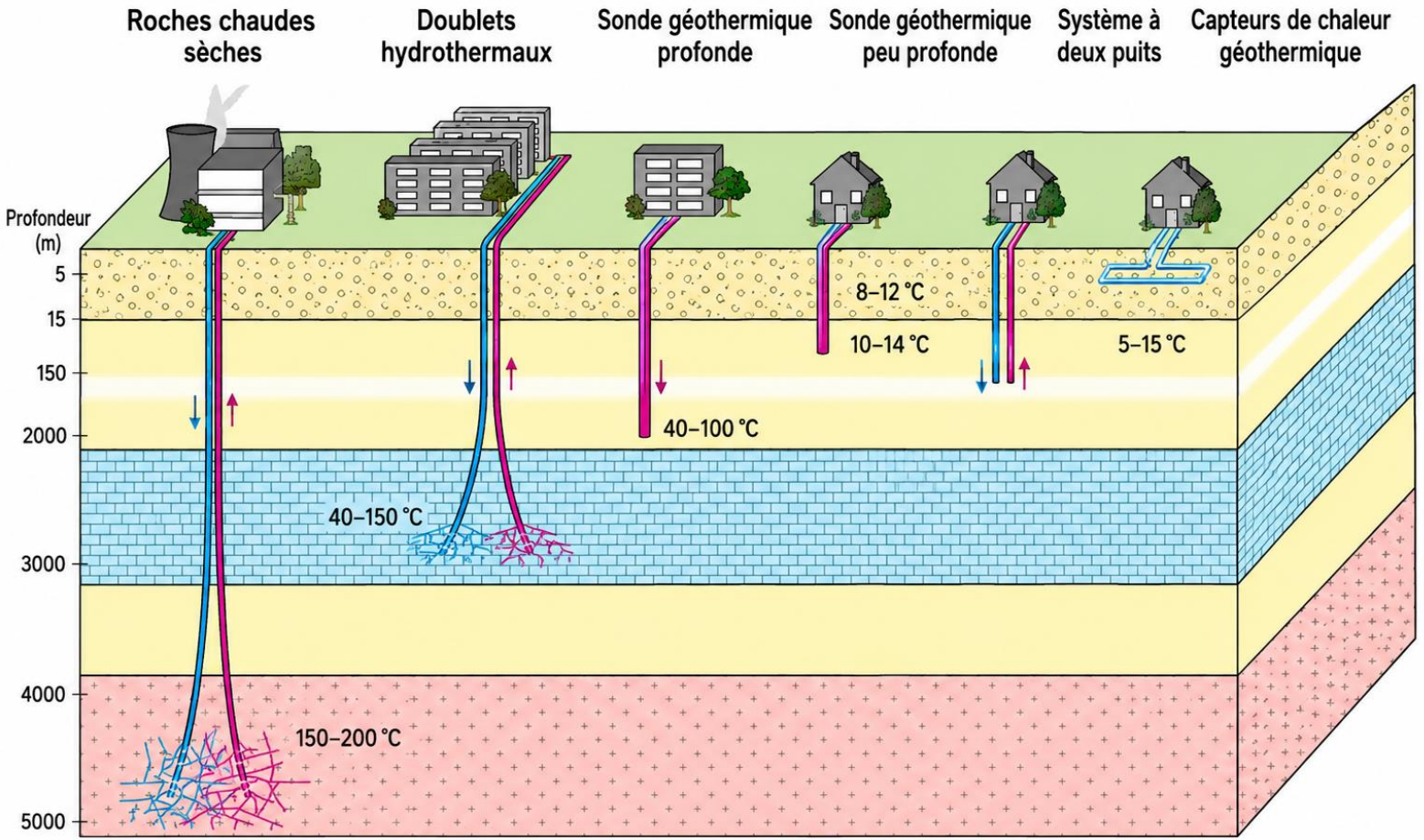
Chauffage urbain géothermique

Connecter les consommateurs directement, indirectement au chauffage urbain géothermique



Source: Büki Gergely, Metzing József, Orbán Tibor: Településenergetika, távhőellátás, távhűtés

Chauffage urbain géothermique



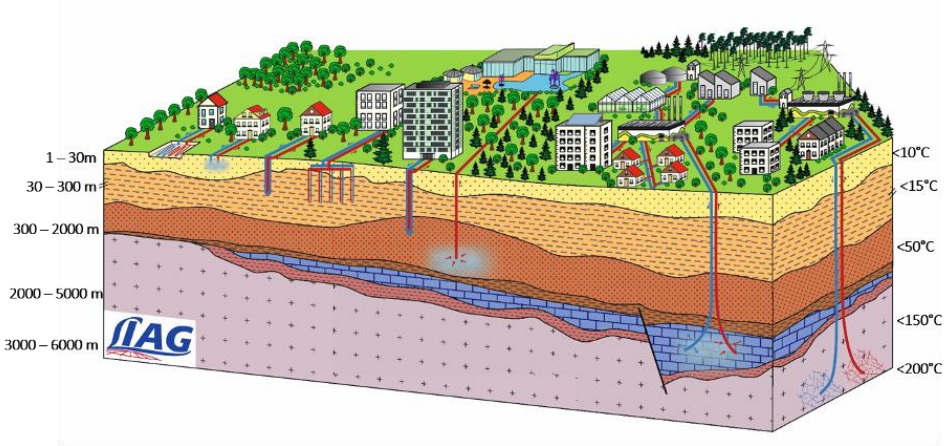
Les possibilités d'utilisation de l'eau dépendent de la qualité et du rendement de l'eau

- L'utilisation en tant que produit médicinal dépend des méthodes éprouvées basées sur la teneur en sel minéral et en gaz.
- Production d'électricité à partir de fluides à haute enthalpie via des puits de production.
- Puits d'eau thermale à faible enthalpie pour le chauffage.

Source: https://www.roedl.com/en-gb/de/media/publications/newsletters/renewable-energy/publishingimages/02-2018/geothermal%20heat.jpg

Chauffage urbain géothermique

Mise en place d'un système de chauffage urbain géothermique



Top 7 countries (Heat energy production in GWh, 2015)			
1		Iceland	6,421
2		France	1,335
3		Germany	662
4		Hungary	380
5		Austria	272
6		Italy	249
7		Serbia	243

Avec la biomasse, l'énergie géothermique est la source d'énergie renouvelable la plus accessible pour le chauffage urbain.

Coût d'investissement élevé.

Risque d'échec partiel ou complet du projet :

- Incertitude dans l'estimation du rendement en eau.
- Estimation précise de la température de l'eau.

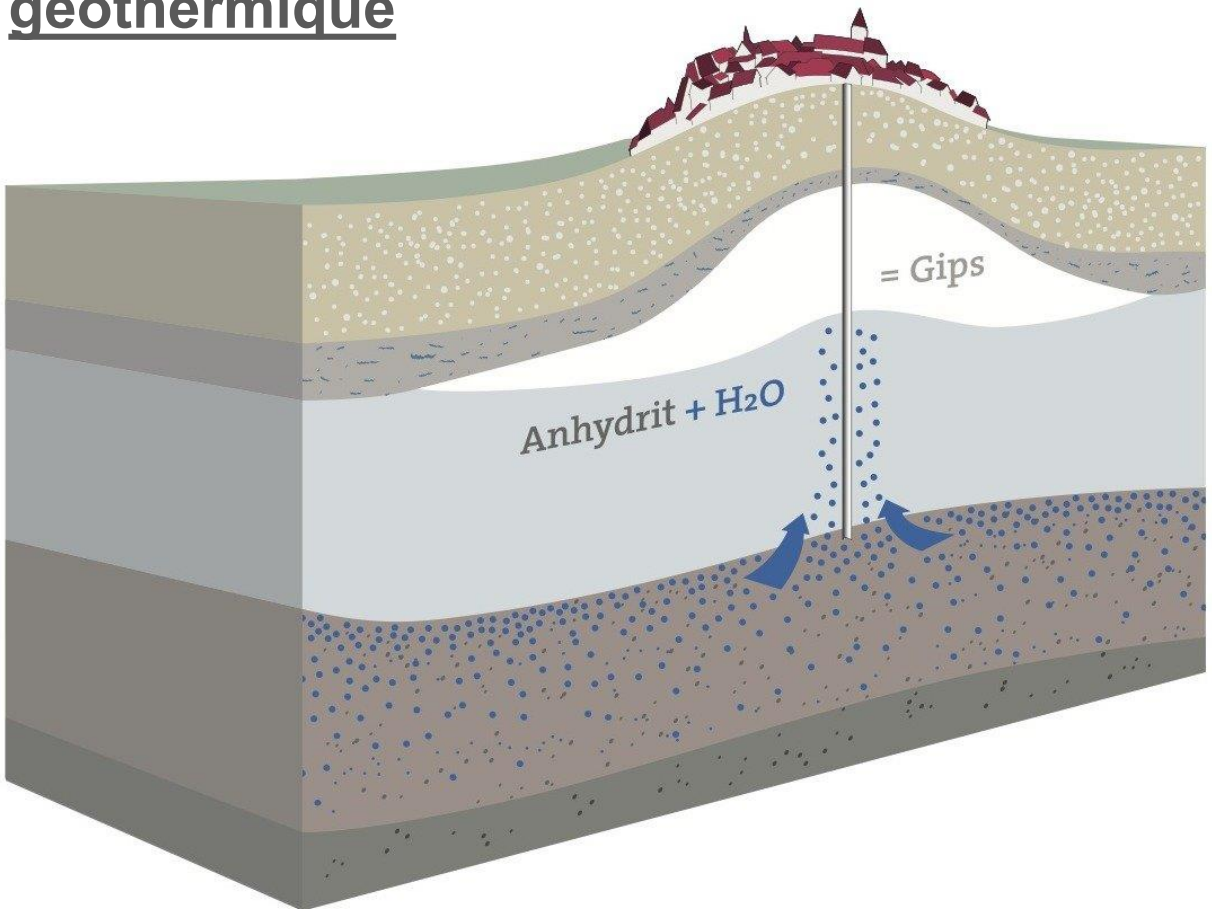
Présent dans les zones tectoniquement actives :

- Là où il y a des tremblements de terre.
- Là où il y a des éruptions volcaniques.

Source: https://www.roedl.com/insights/renewable-energy/2018-02/key-europes-district-heating-lies-deep-underground, https://www.europenowjournal.org/2021/05/10/geothermal-heating-and-cooling-networks-for-green-and-livable-urban-transformations-part-i/

Chauffage urbain géothermique

Défis lors de la mise en œuvre d'un système géothermique



- Les eaux souterraines géothermiques peuvent contenir des substances toxiques (par exemple de l'arsenic) mais aussi des ressources minérales (exemples du Lithium à Schwabwiller).
- Elle peut contaminer les ressources souterraines en eau potable.
- Il faut faire preuve d'une grande prudence lors de la réinjection.
- Séismes d'origine humaine: (Bâle (CH), Stauffen (DE)
- « L'anhydrite est un minéral sulfate de calcium sans eau, appartenant au groupe sulfate et classé comme sulfate alcalin. » [Wikipédia]

Source: https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/geothermie-trotz-einzelner-schaeden-sicheres-verfahren/

Chauffage urbain géothermique



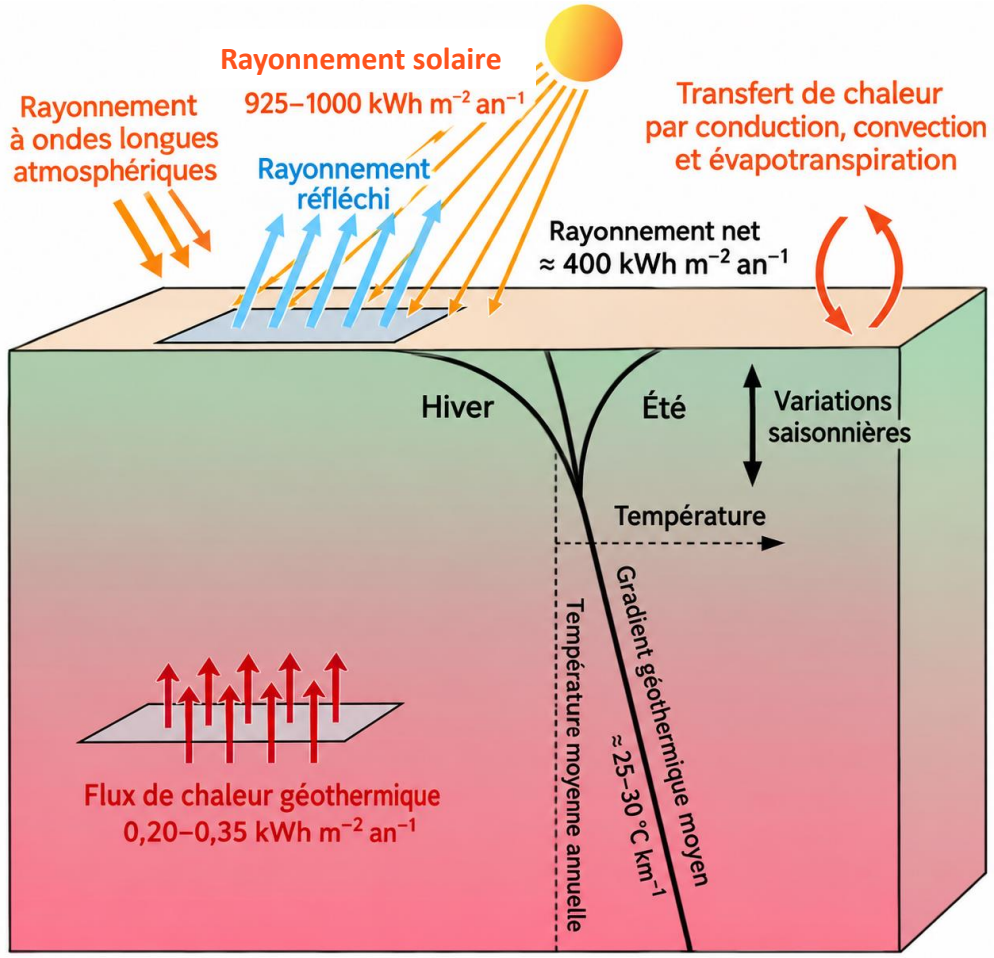
Staufen (DE)

- Le niveau du sol augmente de 3 mm par an

Source: https://www.planet-wissen.de/technik/energie/erdwaerme/pwieproblemfallstaufen100.html

Chauffage urbain géothermique

Le gradient géothermique



- La température de la Terre augmente vers son centre, proportionnellement à la distance depuis la surface terrestre.
- Plus la croûte solide sous une zone donnée est mince, plus le gradient géothermique est élevé.
- Dans la couche supérieure (la lithosphère), elle est d'environ 30 °C/km.
- Une profondeur moyenne de puits de 3 km est requise pour atteindre 90°C.
- 90°C est la limite minimale pour la production d'électricité géothermique.
- Les puits les plus profonds atteignent actuellement 5 km.

Source: https://www.researchgate.net/publication/234094751_Shallow_geothermal_energy_in_Denmark/figures?lo=1

TEMPÉRATURE SUPÉRIEURE à 90°C à 2000 m DE PROFONDEUR



Source: http://geodh.eu/geodh-map/

Couches d’eau souterraine dans le bassin des Carpates



Source: http://geodh.eu/geodh-map/

Carte GeoDH

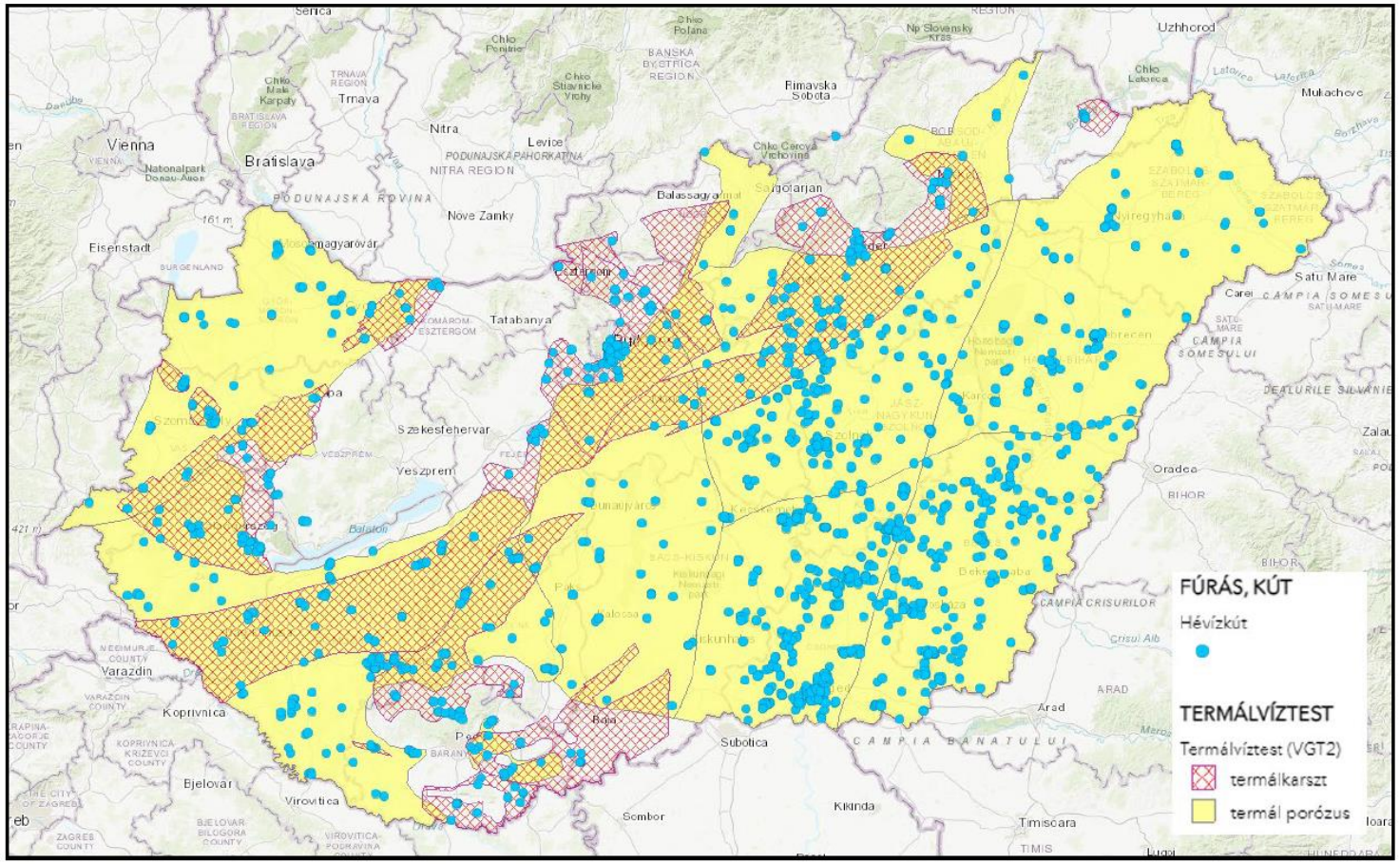


- http://geodh.eu/geodh-map/
- Estimation des sources de chaleur géothermique
- Chauffage urbain géothermique existant
- Carte de la demande thermique
- Pour 14 pays du projet :
- Italie
- Allemagne
- France
- Pays-Bas
- Irlande
- Royaume-Uni
- Slovaquie
- Slovénie
- République tchèque
- Roumanie
- Bulgaria
- Poland
- Denmark
- Hungary

Source: http://geodh.eu/geodh-map/

Chauffage urbain géothermique

Potentiel géothermique en Hongrie

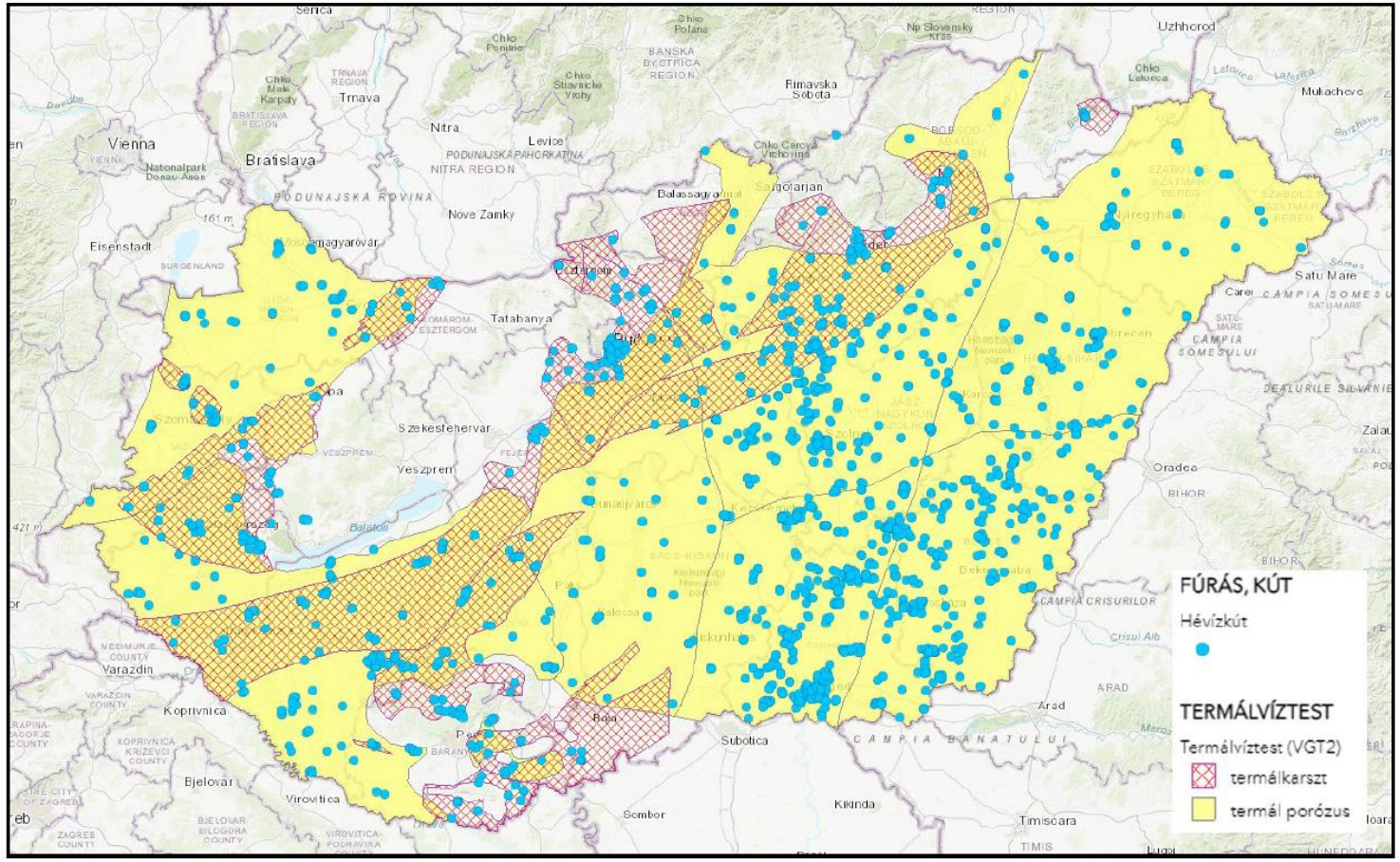


- Données de l'an 2000
- 1100 puits d'eau thermale
- 286 puits avec une température de sortie de 30 à 40°C
- 179 puits avec une température de sortie de 41 à 60°C
- 121 puits avec une température de sortie de 61 à 90°C
- En supposant une température de refroidissement finale de 15 K, la quantité annuelle de chaleur extraite est de 30,4 PJ
- Cela correspond à la valeur calorifique de 740 000 tonnes de pétrole brut

Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó, [https://map.mbfsz.gov.hu/ogre/#], Graf Dárius: Termálvíz hasznosítása fürdőkomplexumokban. Szakdolgozat, Budapest 2023.

Chauffage urbain géothermique

Potentiel géothermique en Hongrie

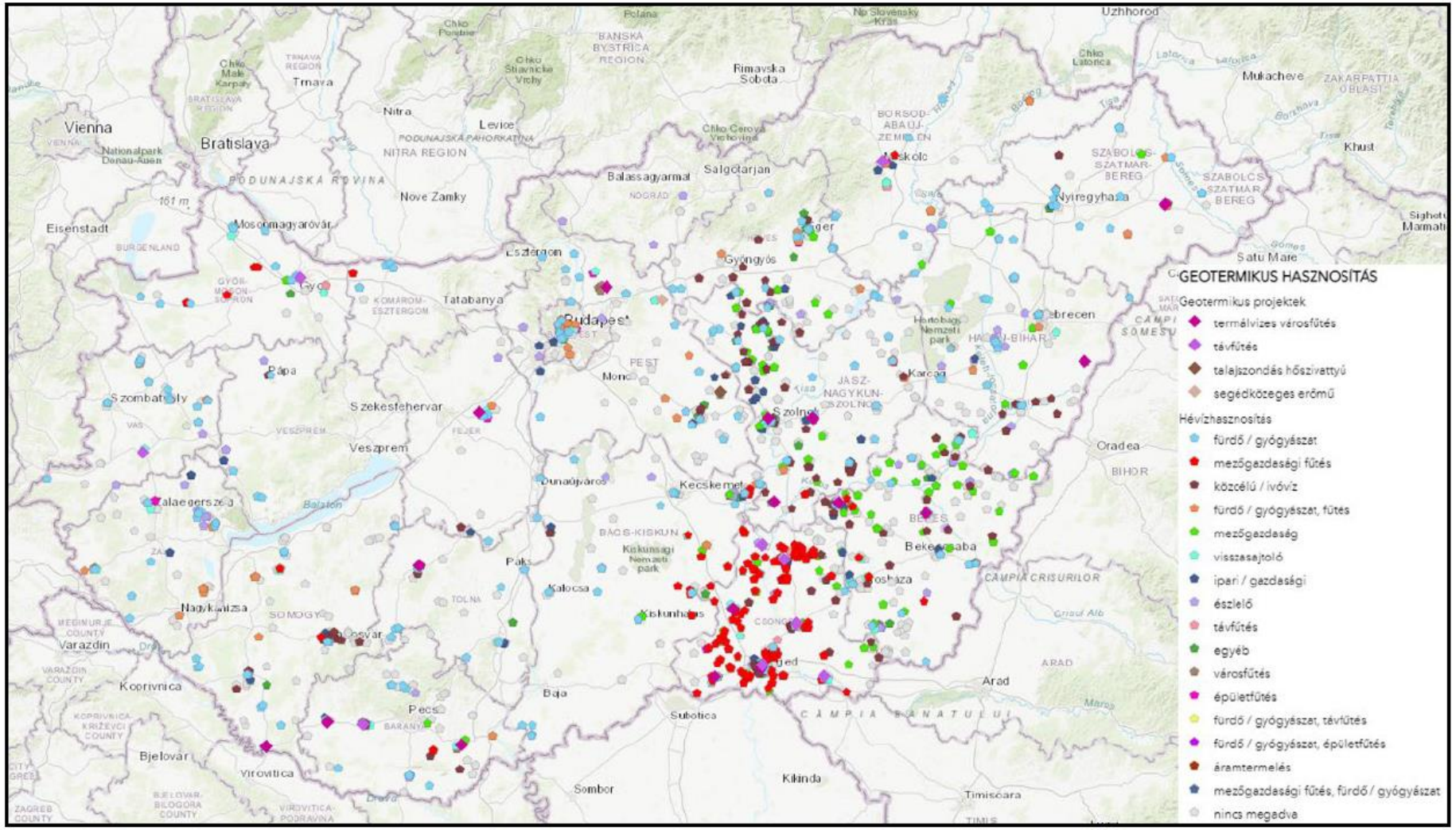


- 2015 : 1622 puits. En 2015, la quantité d'eau thermale extraite a atteint 24,608 millions de m³ par an, ce qui correspond à 2509 TJ d'énergie thermique.
- 2023 : Le nombre de puits est estimé entre 1750 et 1800.
- Système géothermique national (OGRE)
- https://map.mbfsz.gov.hu/ogre/#

Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó, [https://map.mbfsz.gov.hu/ogre/#], Graf Dárius: Termálvíz hasznosítása fürdőkomplexumokban. Szakdolgozat, Budapest 2023.

Chauffage urbain géothermique

Utilisation des puits géothermiques en Hongrie



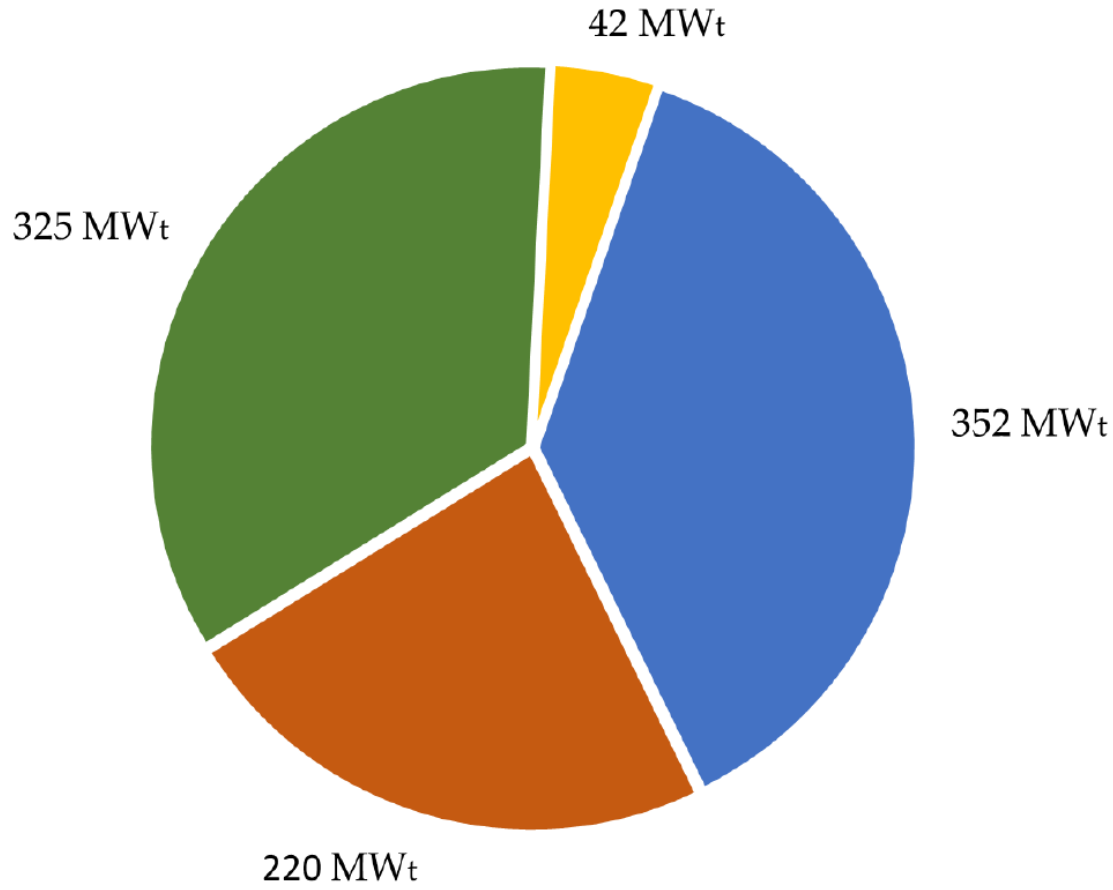
- Balnéothérapie
- Agriculture
- Chauffage urbain, chauffage urbain
- La construction de réseaux de chauffage urbain a commencé à la fin des années 1960 dans les villes du sud de la Hongrie.

Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó, Graf Dárius: Termálvíz hasznosítása fürdőkomplexumokban. Szakdolgozat, Budapest 2023

Chauffage urbain géothermique

Utilisation directe de la chaleur basée sur l'énergie géothermique en Hongrie

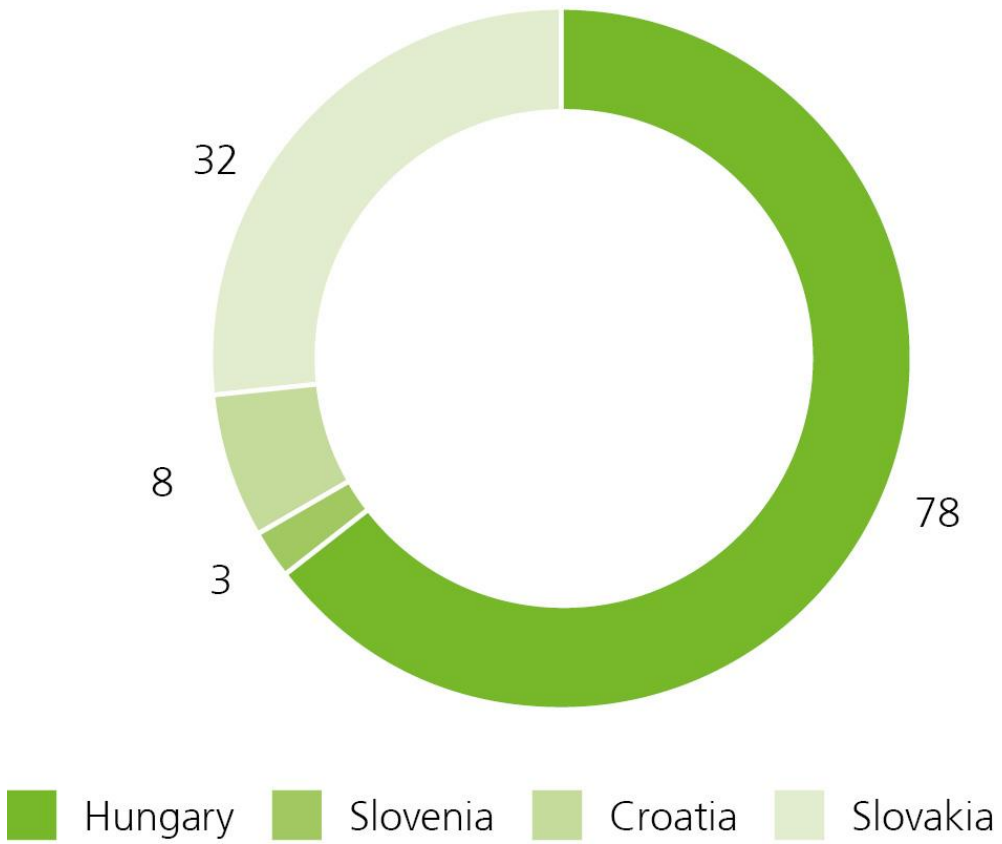
- Balnéothérapie
- Chauffage des bâtiments
- Agriculture et industrie
- Pompes à chaleur géothermiques



Source: Graf Dárius: Termálvíz hasznosítása fürdőkomplexumokban. Szakdolgozat, Budapest 2023.

Chauffage urbain géothermique

Nombre de systèmes de chauffage urbain près de champs géothermiques importants



- « L'énergie stockée dans la croûte externe (10 km de profondeur) peut fournir les besoins énergétiques mondiaux pendant 6 millions d'années (selon la consommation actuelle).
- « Problème de source : L'intensité de la source peut diminuer considérablement au fil des années.
- Déplacement de la source au fil du temps : Est-ce économiquement viable ?

Source: https://www.roedl.com/insights/renewable-energy/2018-02/key-europes-district-heating-lies-deep-under-ground

Chauffage urbain géothermique

Aspects pratiques de l’utilisation des eaux souterraines thermales

La chaleur provenant des couches profondes est apportée à la surface par des fluides géothermiques, contenant :

De l’eau,

Sels dissous,

Gaz,

Des solides en suspension.

Production d’essai

Pour déterminer les caractéristiques de production :

Le pompage de nettoyage à 40, 60, puis 80 % du débit d’eau est effectué pendant un minimum de 72 heures.

Le niveau d’eau au repos est mesuré en même temps que la hauteur de la colonne d’eau.

Aussi, on peut déterminer si le puits fonctionne en mode positif ou négatif.

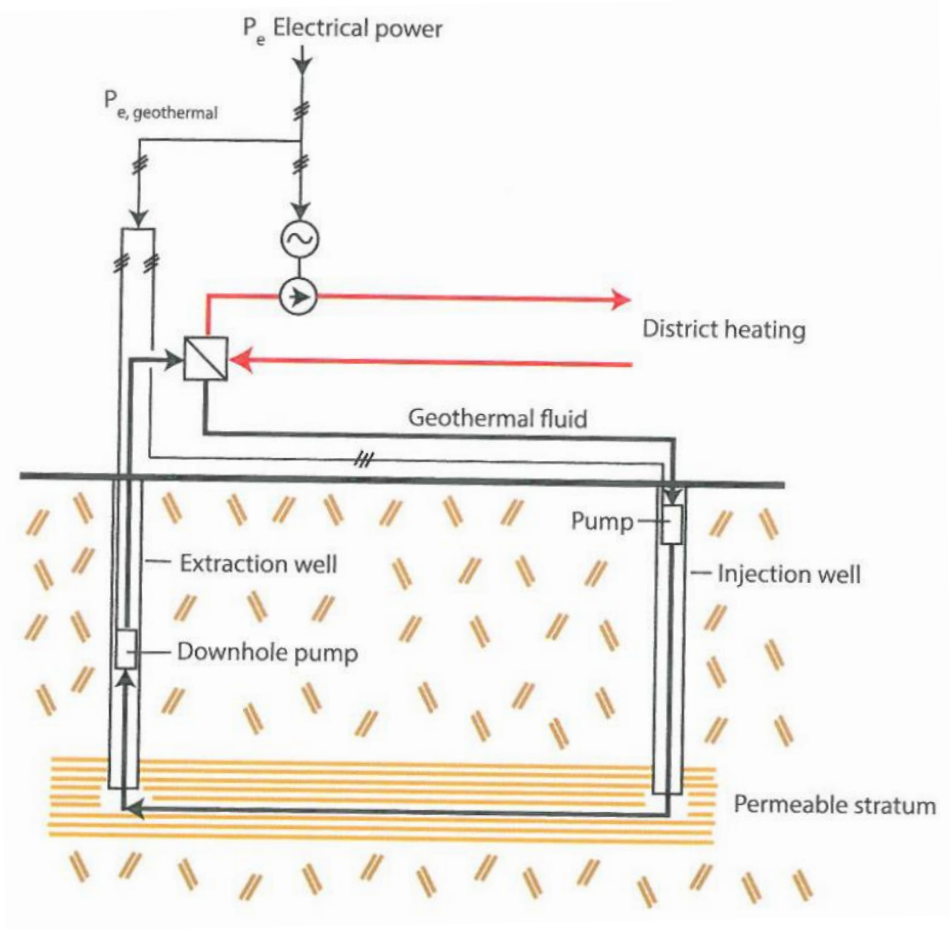
Mode positif : Le puits fonctionne de manière indépendante, permettant un flux libre.

Mode négatif : Le puits nécessite une exploitation artificielle, par exemple avec des pompes, car les niveaux d’eau statiques et opérationnels n’atteignent pas la surface.

Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó

Chauffage urbain géothermique

Production artificielle



Les puits positifs peuvent fournir la quantité d'eau thermale requise sans avoir besoin d'équipements auxiliaires.

Les puits négatifs ont leur niveau d'eau statique sous la surface et nécessitent une assistance :

Un équipement auxiliaire est nécessaire pour élever la quantité d'eau requise à la surface.

Pour une utilisation à long terme, la plupart des puits d'eau thermale passent à un mode de fonctionnement négatif.

Seules les méthodes artificielles peuvent faire remonter l'eau à la surface.

Deux types de production artificielle :

Fonctionnement du compresseur

Fonctionnement de la pompe

Source: Svend Fredriksen, Sven Werner: District Heating and Cooling. Studentlitteratur 2013, Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó

Chauffage urbain géothermique

Méthodes de production artificielles

Production à pompe

Des pompes centrifuges à plusieurs étages ou des pompes submersibles peuvent être installées dans des puits d'eau thermale. Ces pompes sont souvent équipées de turbines radiales ou semi-axiales intégrées à un moteur électrique.

La production moderne implique toujours une extraction contrôlée de l'eau thermale.

Les performances de la pompe submersible sont régulées par un contrôle de vitesse pour maintenir les niveaux souhaités.

Aujourd'hui, les pompes submersibles sont largement utilisées en raison de leur régulation des performances précise, automatique et économique.

Production basée sur compresseurs

Des tuyaux d'introduction d'air sont installés dans le puits.

De l'air comprimé est injecté dans la colonne d'eau du puits.

Cela réduit la densité de la colonne d'eau dans le puits.

L'inconvénient est que l'eau thermique extraite contient plus d'oxygène dissous.

Cette méthode n'est pas adaptée aux puits à forte teneur en sédiments, comme les eaux transportant du sable.

Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó

Chauffage urbain géothermique

Augmentation du débit d'eau

Pour une demande de débit plus élevée, l'une des méthodes suivantes peut être appliquée :

Acidification :

Le débit d'eau peut être augmenté par un traitement acide durant au moins 8 heures.

Explosions :

Détonation d'explosifs insolubles à grande profondeur dans le puits.

Fracturation en couches :

Des fluides à haute pression sont injectés dans le puits pour éliminer la contamination par le sable.

Essais hydrodynamiques

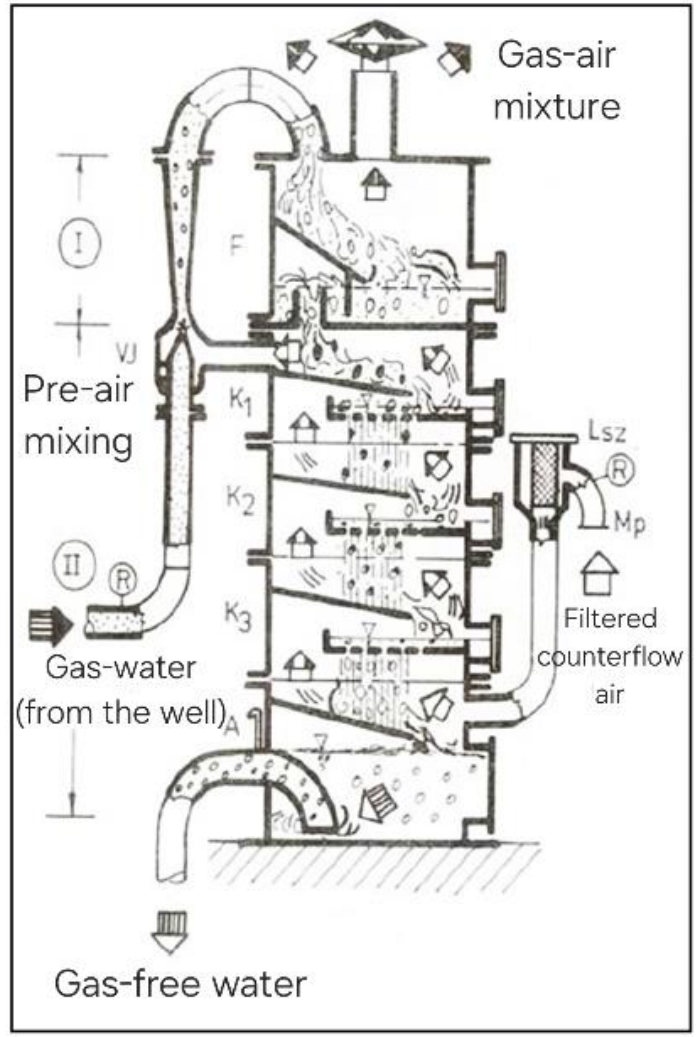
Des tests de capacité qui examinent l'ensemble du système d'approvisionnement en eau pour des évaluations détaillées de la pression-volume-température.

Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó

Chauffage urbain géothermique

Dégazage de l'eau thermale extraite

- Les eaux thermales extraites contiennent souvent une teneur en gaz séparable.
- Typiquement CO_2, CH_4, N_2
- Pour une faible teneur en méthane : Le gaz est libéré dans l'environnement ou comprimé et stocké dans des cuves. Il peut également être injecté dans de l'eau thermale refroidie avant la réinjection.
- En cas de forte teneur en méthane, le méthane séparé est utilisé dans les moteurs à gaz.



Source: Kontra Jenő: Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó

Chauffage urbain géothermique



Utilisation des puits thermiques en Hongrie

- À Budapest, la maison des palmiers était déjà chauffée à l'énergie hydrothermale après la Première Guerre mondiale.
- Les premiers immeubles résidentiels chauffés géothermiquement à Pest se trouvent à proximité du zoo et du jardin botanique de Budapest.

Source: https://pestbuda.hu/cikk/20200501_foldvary_gergely_az_allatkert_lakoit_csaknem_teljesen_megettek_a_budapestiek_az_1945_os_ostrom_utan_de_majus_1_jen_ujra_megnyilt_az_intezmeny

Chauffage urbain géothermique

Système à Veresegyház dans (le premier puits lancé en 1987)



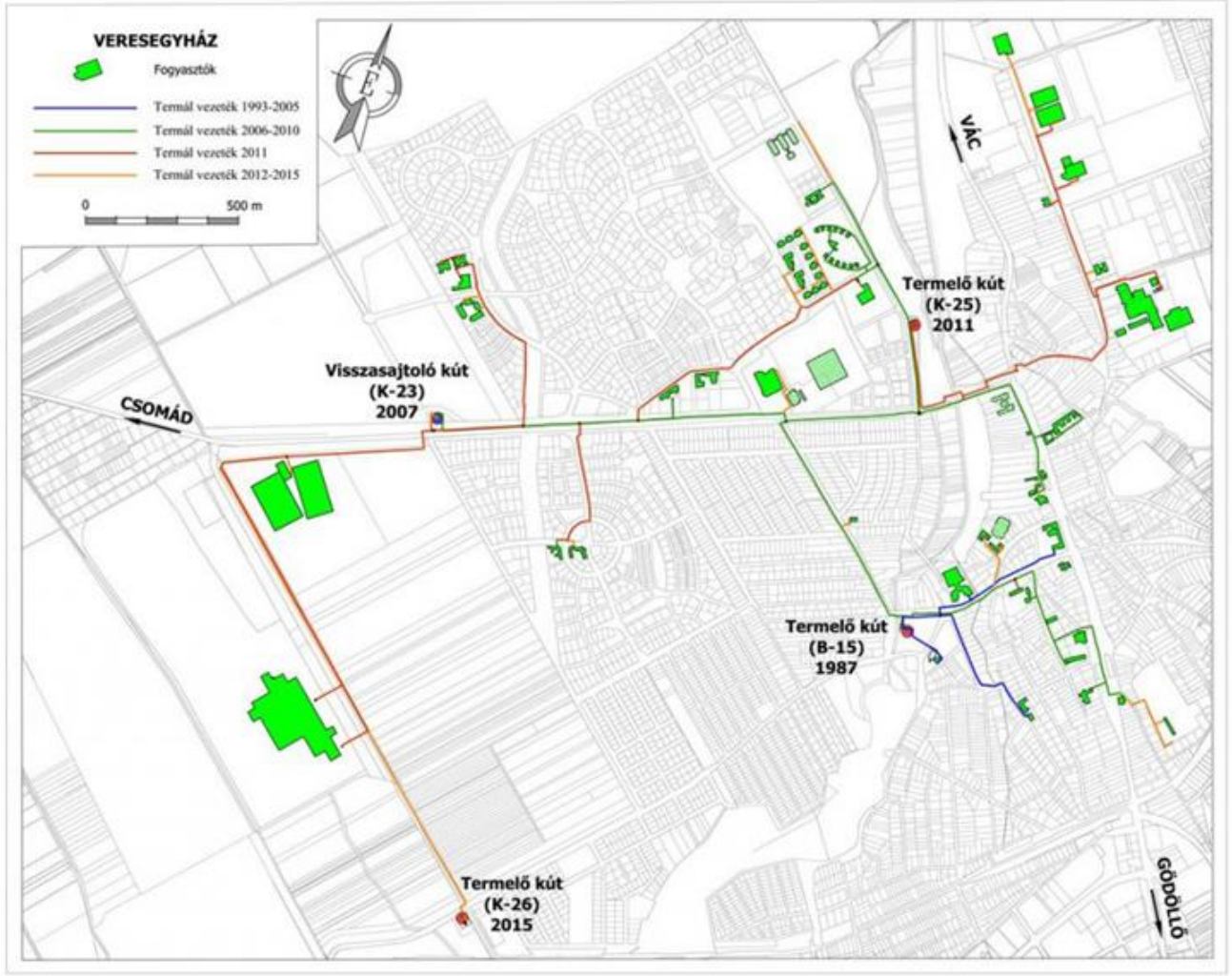
- En 1987, le premier puits de production a été foré
- En 1992, les thermes ont été construits, suivis par la connexion de l'école, du centre communautaire, puis de la nouvelle école primaire Mézesvölgy et de la piscine au système de chauffage géothermique.
- La construction du puits de reinjection a marqué une étape importante : en 2007–2010, plusieurs institutions publiques ont été raccordées au système, et à partir de l'automne 2011, avec le forage de nouveaux puits de production et la construction de pipelines d'une longueur totale de près de 1 500 mètres, environ 45 grands consommateurs ont pu bénéficier des avantages de l'énergie à faible coût fournie par les ressources géothermiques.

Source: https://porcio.hu/veresegyhaz-38/

Chauffage urbain géothermique

Le système à Veresegyház

- En hiver, les habitants peuvent marcher sur des trottoirs sans neige ni verglas.
- Les tuyaux avant sont isolés, mais les tuyaux de retour ne sont pas isolés et s'étendent à 1,5 mètre sous terre, permettant à la chaleur de l'eau utilisée de faire fondre la neige et la glace sur les trottoirs. Le système s'étend sur plus de 14,5 kilomètres.
- Consommateurs : institutions publiques et installations industrielles.
- Remplace chaque année 2,2 millions de mètres cubes de gaz.



Source: https://porcio.hu/veresegyhaz-38/

Chauffage urbain géothermique

Le système de chauffage urbain géothermique à Veresegyház (Puits K26 en 2016, un an après sa mise en service)

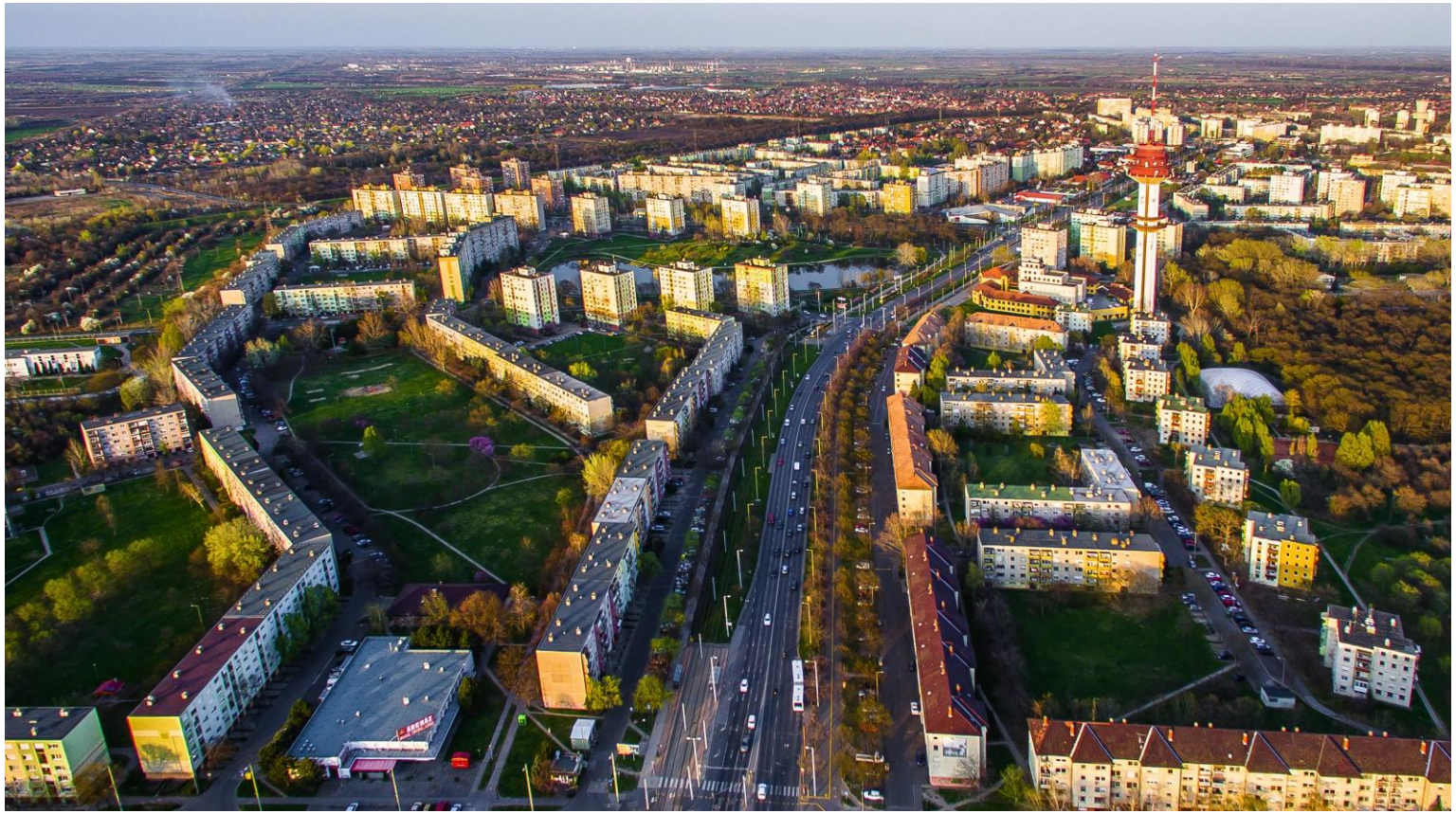


Sans un soutien de 60 % de l'Union européenne et du gouvernement, le développement n'aurait pas pu être réalisé. Le projet, d'un coût d'environ 650 millions de HUF, a reçu un financement de 385 millions de HUF, auquel la municipalité a contribué avec un cofinancement de 40 %.

Source: https://porcio.hu/veresegyhaz-38/

Chauffage urbain géothermique

Le système de chauffage urbain à Szeged



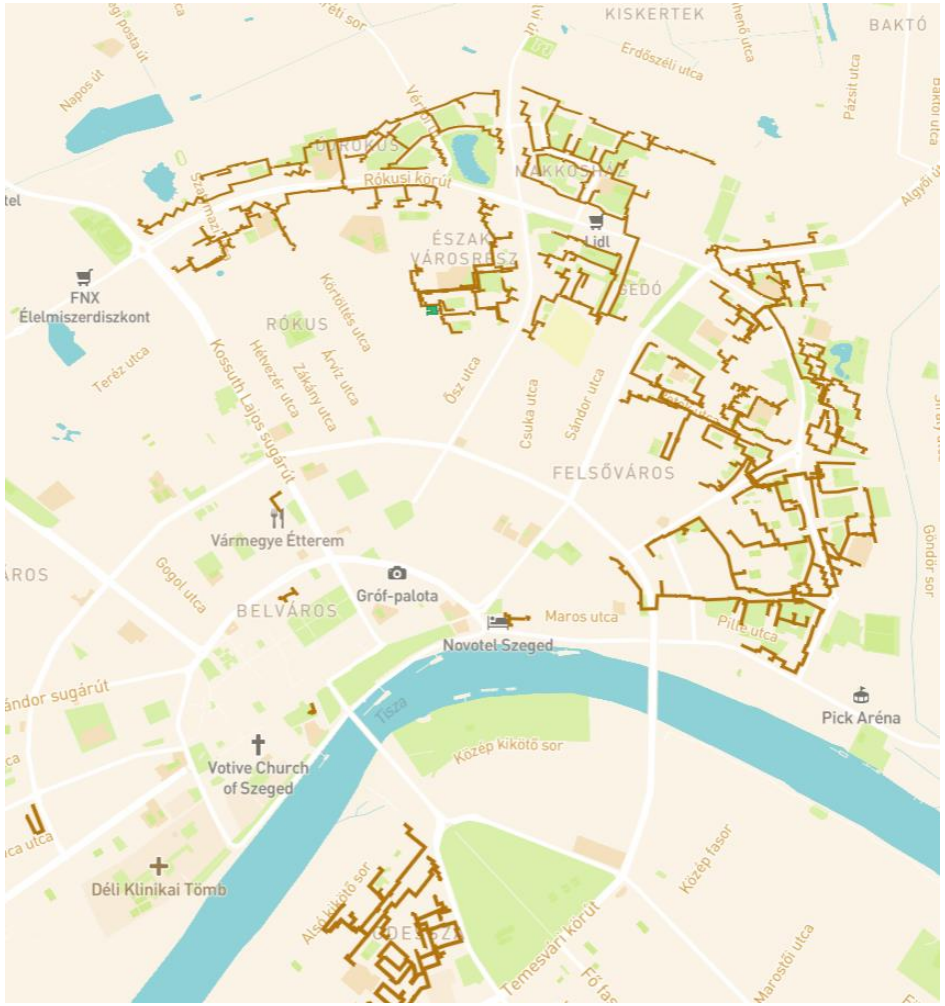
- La Szeged District Heating Company fournit chauffage et eau chaude domestique à 27 256 appartements (principalement dans des immeubles résidentiels de 4 à 10 étages).
- 433 bâtiments publics (écoles, jardins d'enfants, commerces).
- Depuis 2018, SZETAV et ses partenaires réalisent la plus grande rénovation de chauffage urbain géothermique en Europe.

Source: https://geotherm.szetav.hu/

Chauffage urbain géothermique

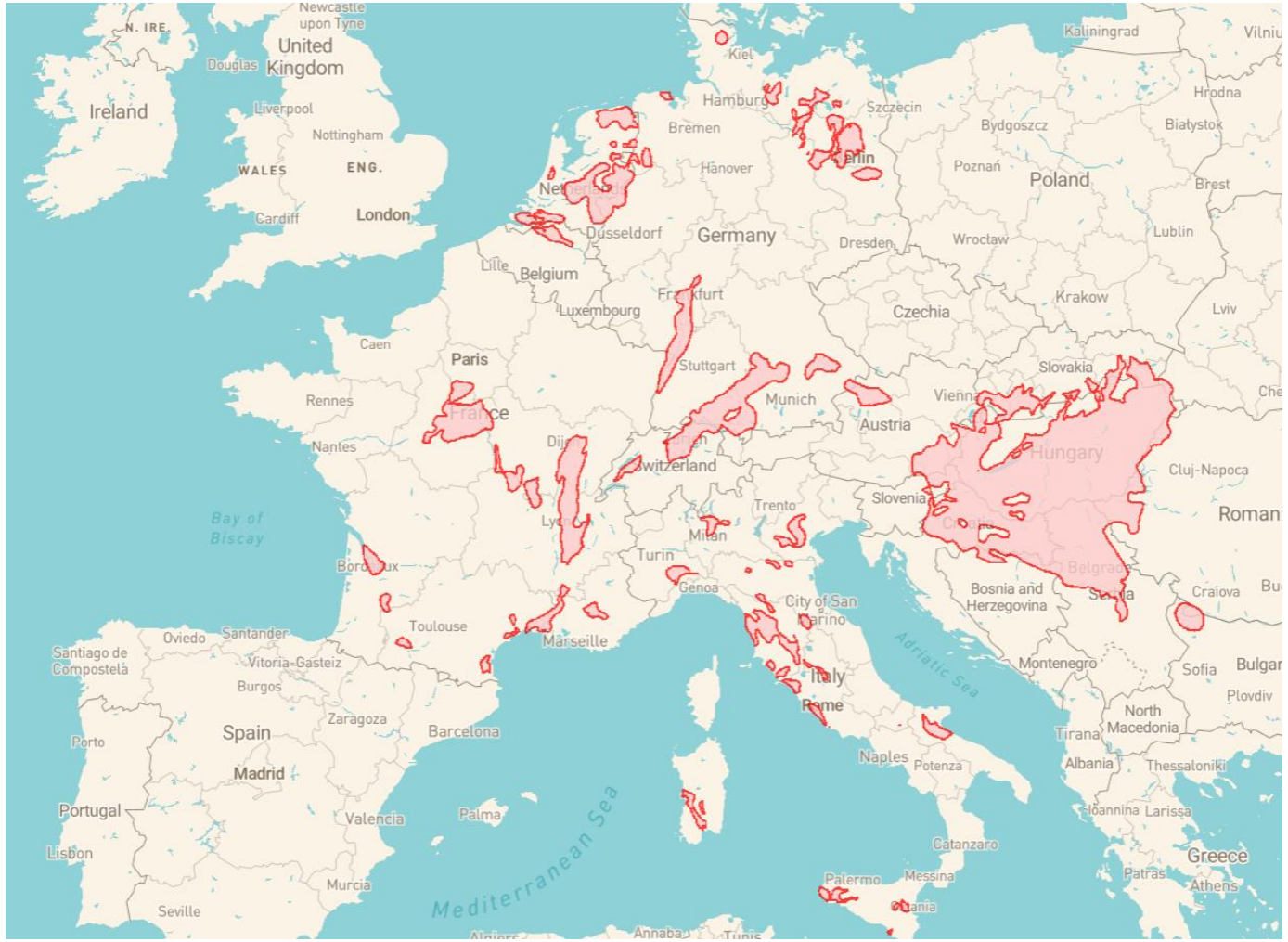
Le système de chauffage urbain à Szeged

- Le système de chauffage urbain de Szeged se compose de 23 circuits de chauffage.
- Les chaudières d'une capacité de 1 à 12 MW fournissent une capacité installée totale de 204,17 MW.
- Une production totale d'énergie de 843 700 GJ/an est fournie aux utilisateurs finaux.
- 239 centres de chaleur.
- 215 km de réseau.
- Jusqu'à récemment, le système reposait entièrement sur le gaz naturel importé comme seule source d'énergie, faisant de l'entreprise le plus grand émetteur local de CO_2.



Source: https://geotherm.szetav.hu/

Chauffage urbain géothermique

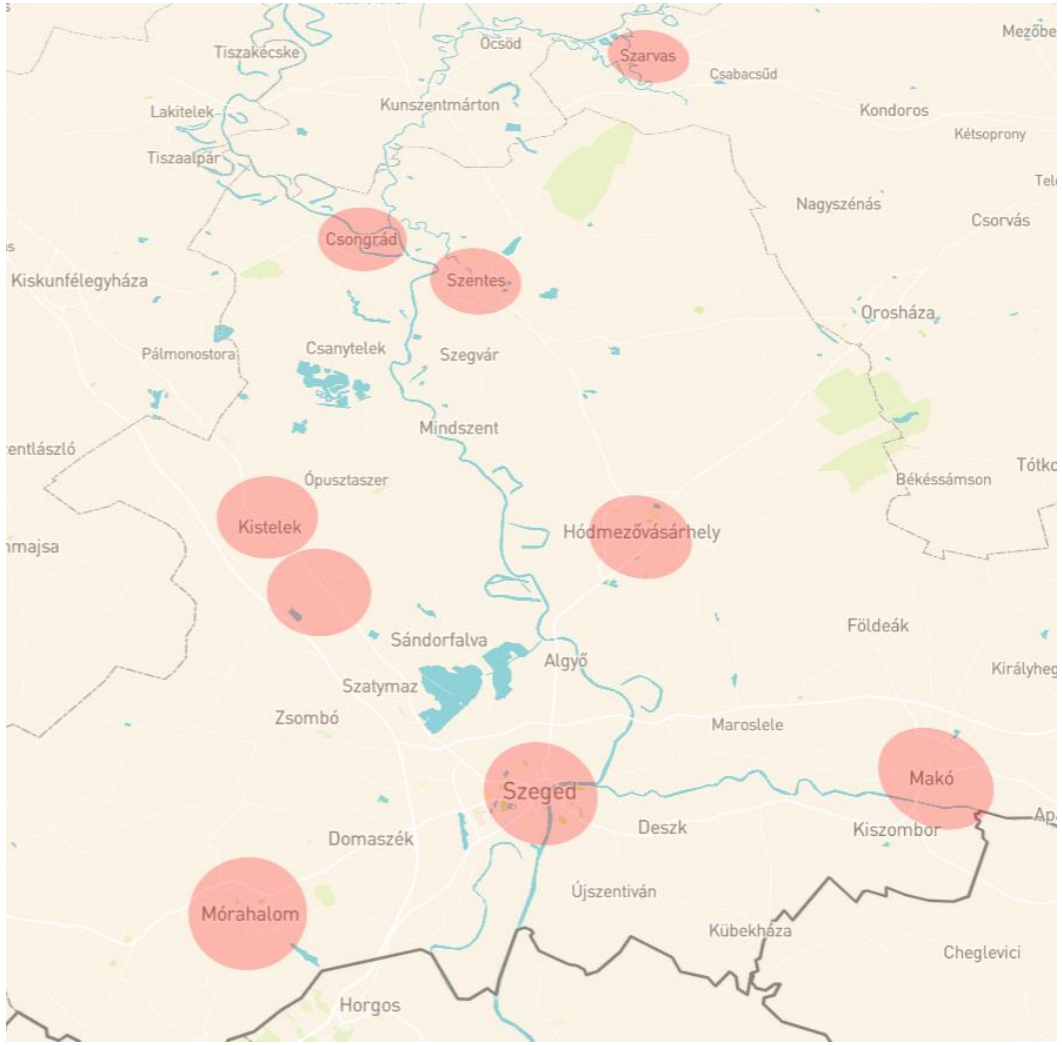


Source: https://geotherm.szetav.hu/

Chauffage urbain géothermique

Système de chauffage urbain de Szeged

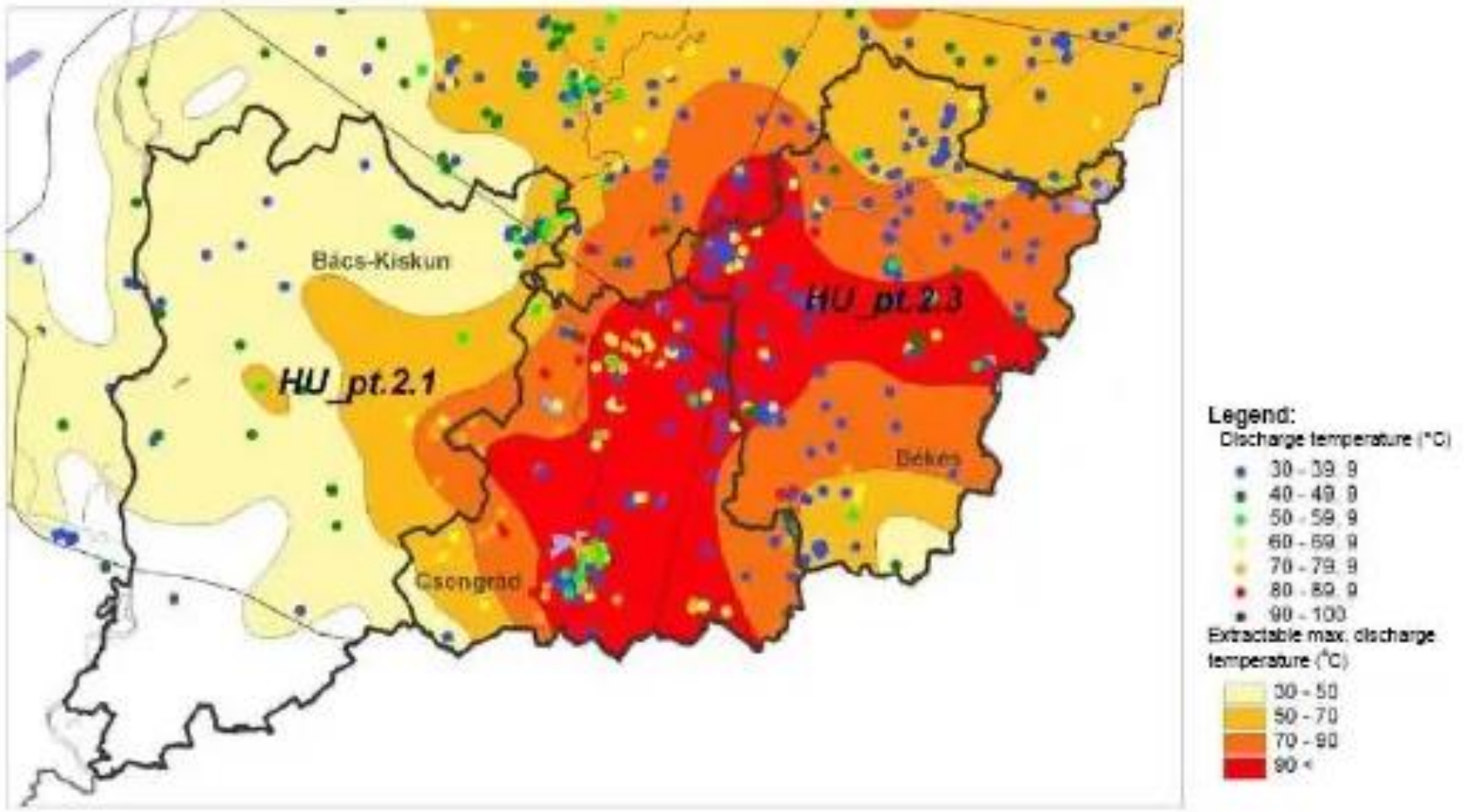
- Outre les usages balnéologiques et agricoles, 9 établissements utilisent l'énergie géothermique pour le chauffage urbain dans un rayon de 50 km.
- Ces systèmes reposent sur des sources d'enthalpie favorables au milieu.
- La plupart des systèmes reposent sur une conception avec un puits de production et 1 ou 2 puits de réinjection, certains utilisant également l'eau thermale pour le chauffage et des fins balnéologiques.



Source: https://geotherm.szetav.hu/

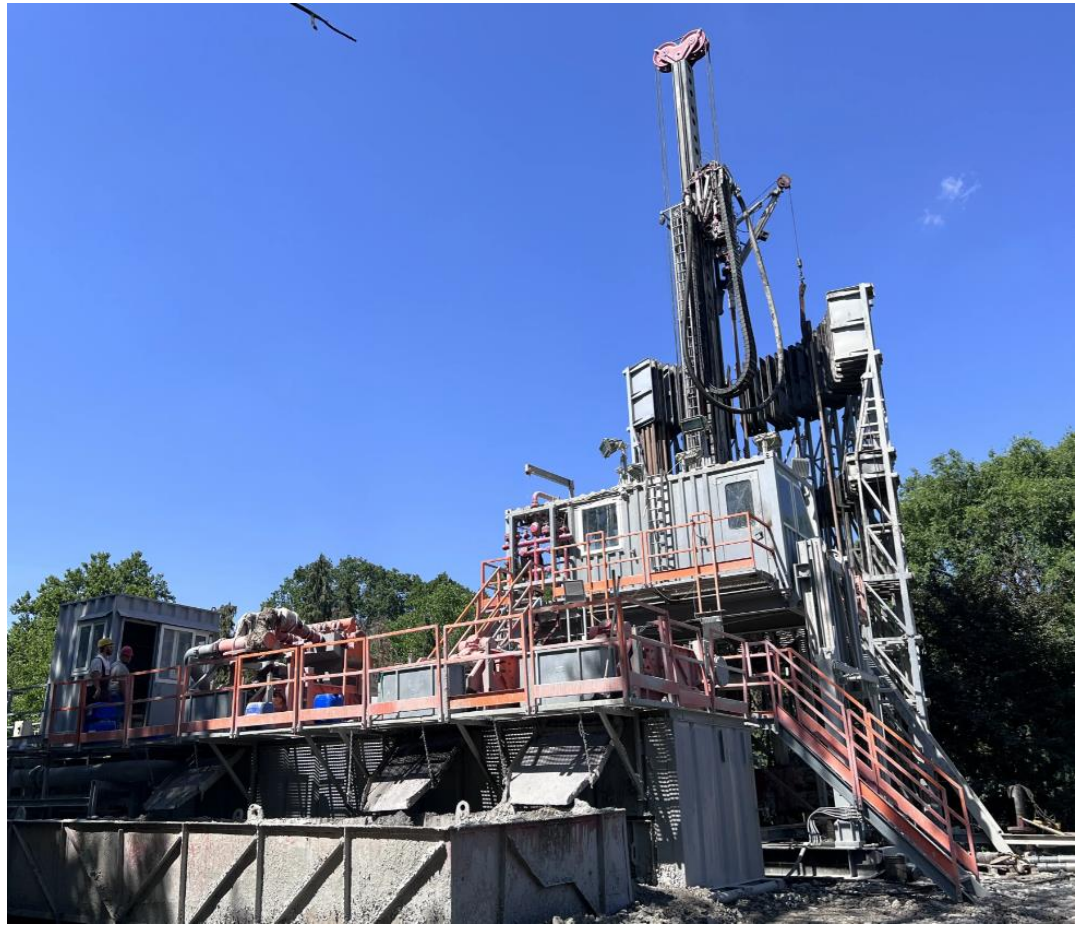
Chauffage urbain géothermique

La température de l'eau thermale extractible



Source: https://geotherm.szetav.hu/

Chauffage urbain géothermique



Le système de chauffage urbain à Szeged

- À « Felsőváros », dans le lotissement d'Odessa, dans la partie nord de la ville, à Tarján, à Rókus et au centre-ville, des puits thermaux sont forés à des profondeurs de 1700 à 2000 mètres.
- Ces sources produisent 70 m³/h d'eau thermale à 90°C.
- Au total, 27 nouveaux puits sont forés dans la ville, avec deux plateformes de forage en activité jour et nuit.

Source: https://geotherm.szetav.hu/

Chauffage urbain géothermique





Le système de chauffage urbain à Szeged

- L’énergie thermique est utilisée par des échangeurs de chaleur.
- L’eau géothermique sert uniquement de source de chaleur, elle n’entre donc pas dans le réseau de chauffage urbain et n’est pas utilisée comme eau chaude domestique.
- Chaque année, 606 958 GJ d’énergie géothermique peuvent remplacer près de 20 millions de m³ de gaz naturel.
- La chaleur géothermique du système de chauffage urbain de Szeged permet des économies de 595 887 GJ/an (82 %) et de 17 525 718 m³/an (68 %) de consommation de gaz naturel.
- 606 958 GJ/an d’énergie thermique garantissent une économie de 39 299 t/an (65 %) en émissions de CO_2 dans le chauffage urbain.

Source: https://geotherm.szetav.hu/

Merci!

Module 3.1 – Production de chaleur renouvelable
SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities

https://www.shakeproject-dhc.eu/

Développé par Budapest University of Tevhnology and Economics
Balázs Bokor | bokor.balazs@gpk.bme.hu



Co-funded by
the European Union