

Systemes multi-énergies et territoires denses

Prof. Dr. Massimiliano Capezzali

Pôle Energies HEIG-VD et IESE

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud

Yverdon-les-Bains, Suisse

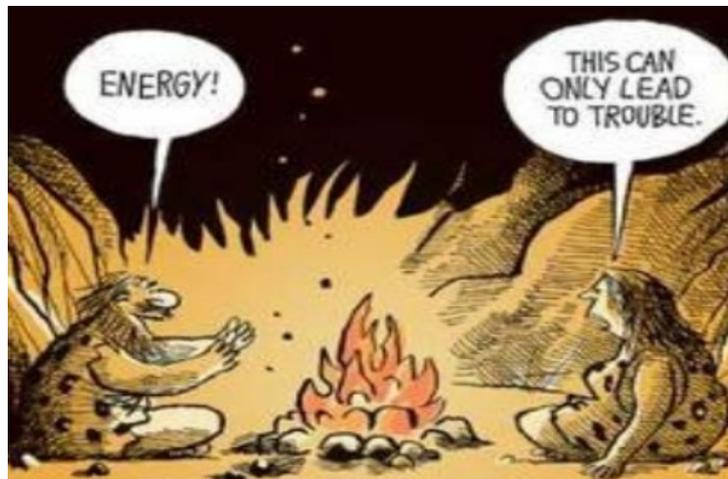
7 février 2020

Fractal Grid – Mines ParisTech

Plan de la présentation

1. Pourquoi des approches multi-énergies, plaider pour la convergence des réseaux
2. Réseaux et énergies renouvelables
3. Projet IntegrCiTy ou quand la planification énergétique devient multi-énergies
4. Projet Networks_in_City ou quand on optimise un réseau "à l'envers"
5. Points de discussion

Pourquoi des approches multi-énergies Plaidoyer pour la convergence des réseaux



Convergence des réseaux – Télécommunications

La convergence des réseaux est un concept qui a d'abord été introduit dans le monde des télécommunications.

Co-existence et interaction entre :

1. Réseau téléphonique cablé
2. Réseau téléphonique hertzien (mobile)
3. Réseau internet (via réseau cablé ou fibre optique)
4. Réseau d'accès aux services de television

Aujourd'hui, on s'abonne à des "paquets de services" :

1. Télévision
2. Internet
3. Téléphonie
4. (Cloud)



Convergence des réseaux – Définitions possibles

Dans le domaine énergétique, la convergence se réfère aux réseaux qui co-existent ET interagissent sur le territoire, tout en pouvant être gérés par des entreprises distinctes :

1. Réseau électrique
2. Réseau de gaz naturel
3. Réseau de chaleur/froid à distance



Des éléments de définition sont donc :

- La convergence indique une interaction volontaire et contrôlée entre les réseaux, afin de répondre à leurs besoins spécifiques.
- La convergence s'adresse tant aux réseaux de distribution que de transport, même si avec des contextes différents.
- La convergence se réalise par le biais de technologies en grande partie existantes (e.g. co-génération).
- Les réseaux énergétiques dits "intelligents" du futur seront en interaction avec leurs "contreparties" des télécommunications

Convergence des réseaux – Deux typologies ?

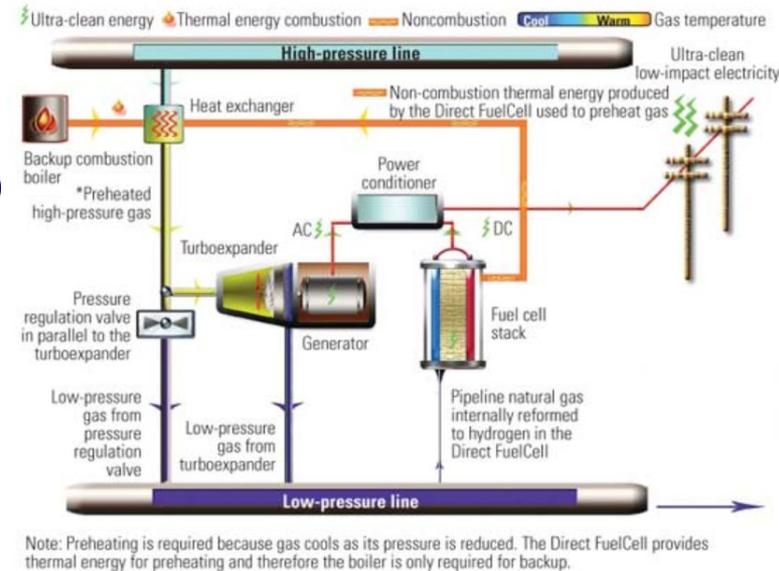
On peut distinguer deux types de convergence dans le domaine des réseaux énergétiques:

Convergence indirecte (uni-directionnelle)

1. Centrale CCGT utilisée pour le réglage du réseau électrique
2. Installation de co-génération
3. Alimentation CAD par une chaufferie à GN
4. *Existante*

Convergence directe (bi-directionnelle)

1. Power-to-gas et power-to-X
2. Stockage sous forme GN
3. Systèmes hybrides
4. *En construction*



Source : <http://www.powermag.com/ontario-turbine-gets-pressure-from-natural-gas-pipelines/>

Nouveaux besoins – Convergence comme réponse ?

D'une manière générale, la convergence des réseaux émerge de trois constatations:

1. Que chaque type de réseau énergétique va au-devant de défis propres;
 - a) Réseau électrique : pénétration massive des sources intermittentes, variation de la charge, bidirectionnalité
 - b) Réseau de gaz naturel : diminution des volumes par effet de mesures d'efficacité énergétique et choix politiques
 - c) Réseau CAD/froid : diminution des densités de demande, mais expansion par le biais du soutien politique aux énergies renouvelables, sources de valeur énergétique variable
2. Que les autres types de réseaux énergétiques, souvent existants sur le même territoire, peuvent apporter des réponses à ces défis, en jouant sur les synergies
3. Que le réseau de gaz naturel peut servir comme "interface flexible" pour cette interopérabilité

Réseaux et énergies renouvelables



Sources renouvelables – Réseau électrique

La pénétration croissante de sources renouvelables dans le mix de génération électrique apporte de nouveaux défis :

1. Production intermittente (à différentes échelles de temps)
2. Production en partie décentralisée (e.g. PV dans le résidentiel)
3. Production souvent éloignée des centres de consommation (e.g. champs éoliens)

D'où la nécessité, pour le réseau électrique, soit :

- De disposer d'importantes capacités de stockage à différentes échelles
- De disposer de technologies pouvant absorber de la puissance lors de pics de productions (e.g. PV en été -> PtG)
- De pouvoir faire appel à des capacités de génération pour compenser les pics de consommation (e.g. pompes à chaleur lors de jours froids en hiver <- cogénération décentralisée)

**Dans les trois cas, la convergence
entre réseaux apporte des solutions**

Les défis liés au réseau électrique – Une opportunité pour les autres réseaux

Les nouveaux défis liés au réseau électrique peuvent être en partie affrontés sans faire appel à la convergence des réseaux :

- Effet de foisonnement et de distribution géographique de sites de production (déjà partiellement le cas pour l'éolien au niveau EU)
- Gestion différente des capacités dans les barrages hydrauliques
- (CCGT), centrales au charbon, load-follow NPP, importations

Des solutions faisant appel aux autres réseaux, toutefois, apportent de multiples opportunités :

- Infrastructures existantes
- Nouvelles opportunités de marché
- Réponse à la baisse des volumes
- Solutions locales
- Flexibilité pour nouveaux besoins
- Entreprises multi-énergies



Source : <http://energy.gov>

Solutions avec convergence – Quelques exemples

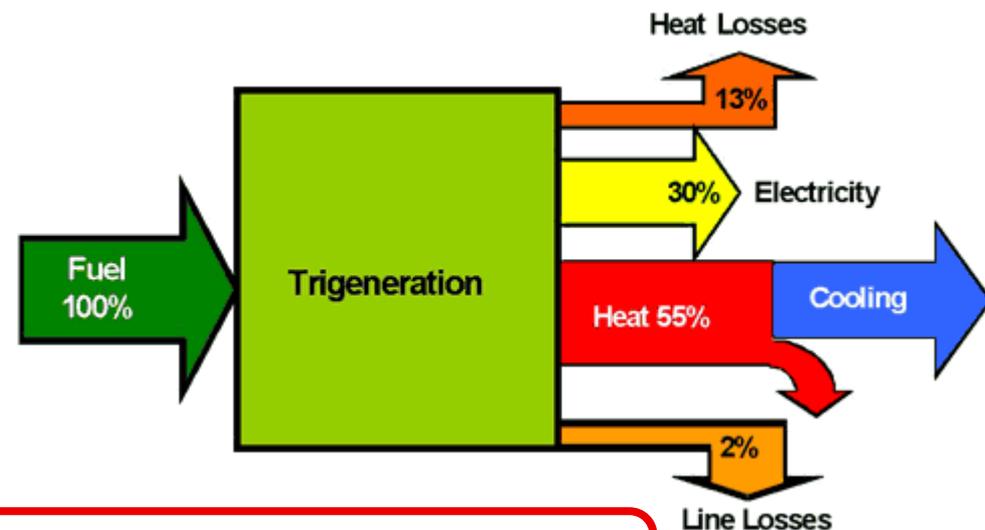
A court terme :

- Promotion de solutions de co-génération, notamment au niveau de blocs d'habitations ou de quartiers, avec possible couplage sur de petits réseaux CAD (ou des stockages) + vente services froid
- Réalisation de stockages de gaz naturel localisés pour couvrir les pointes de demande (en complément aux PàCh), plutôt qu'entretien, et/ou services de backup

A moyen ou long terme :

- Power-to-gas «classique» avec injection d'hydrogène dans le réseau ou industrie
- Power-to-gas avec production de CH₄ pour réseau et/ou mobilité
- Solutions basées sur les PAC

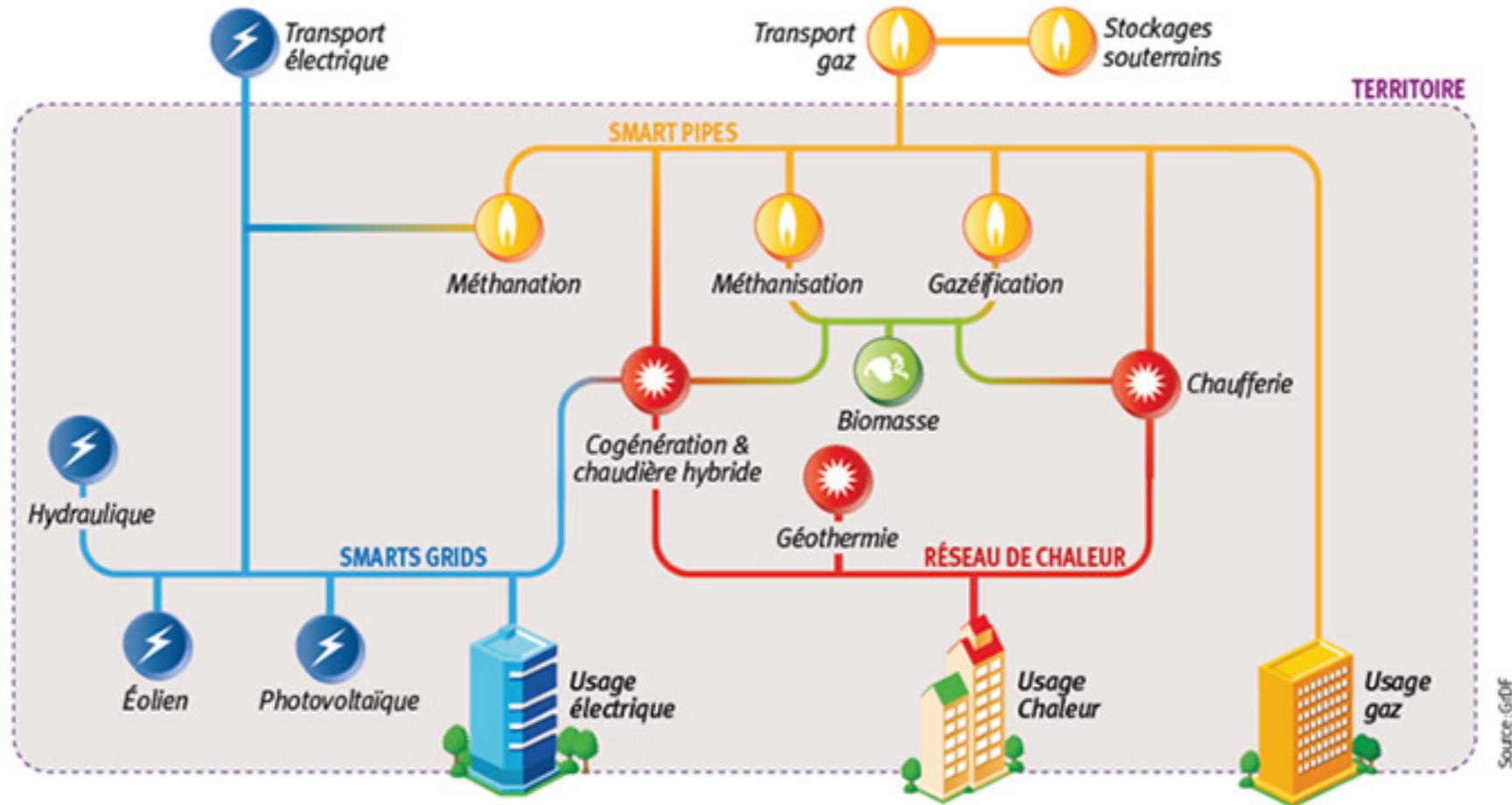
Source : <http://trigeneration.com>



Rentabilité économique dans la situation actuelle des prix de l'énergie ?

Les futurs réseaux énergétiques urbains ?

Les réseaux d'énergie intelligents, une des clés pour l'optimisation des infrastructures territoriales



La convergence des réseaux – Une opportunité pour le gaz naturel

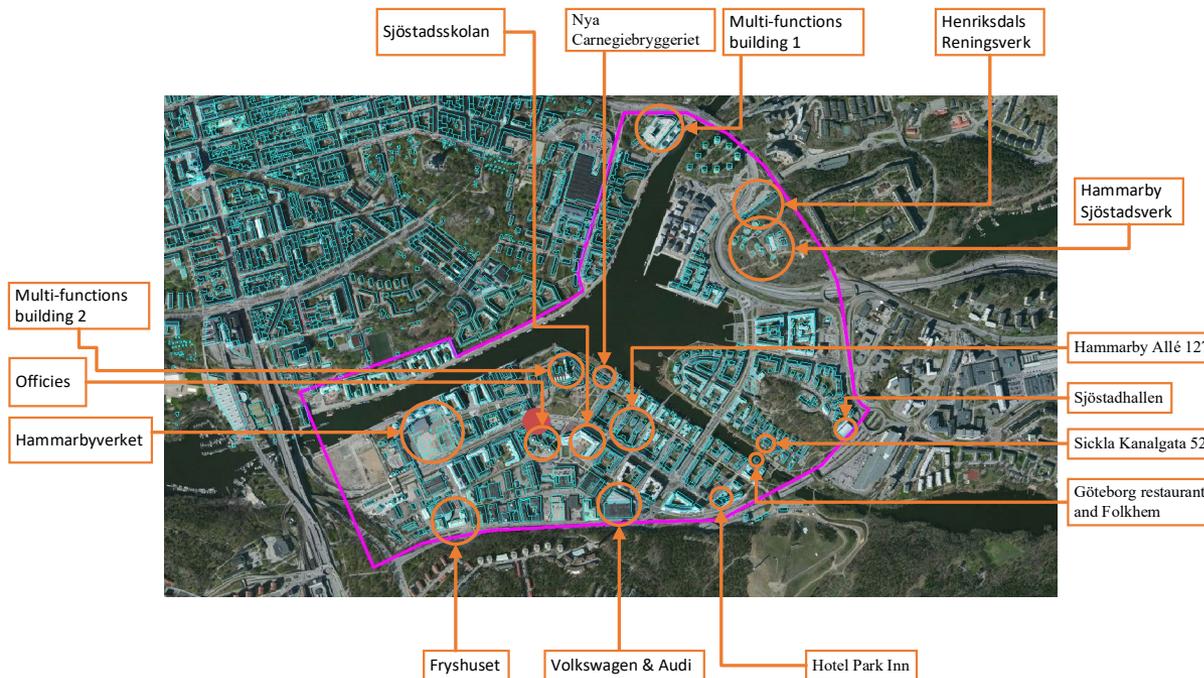
La convergence des réseaux apporte une réponse non seulement par rapport aux défis futurs des réseaux électriques, mais pour les réseaux de gaz naturel en tant que tels :

- Partielle compensation de la stagnation/diminution des volumes (liée aux mesures d'efficacité énergétique)
- Possible argument par rapport à des obstacles politiques
- Optimisation asset management du point de vue des réseaux, avec une vision de stockage court et moyen terme (saisonnier)
- Injection de sources renouvelables gazeuses
- Transition vers des modèles d'affaires de type «services»

Toutefois 1, force est de constater que les conditions-cadre du point de vue légal et réglementaire sont présentement «sous-optimales», voire inexistantes (e.g. importation de biogaz en CH)

Toutefois 2, il faut renforcer la production de gaz renouvelables, surtout locale, i.e. exploiter les gisements

Projet IntegrCiTy ou quand la planification énergétique devient multi-énergies



Source : <http://iese.heig-vd.ch/projets/integracity>

Intégration des réseaux énergétiques - Arguments

- L'intégration des réseaux énergétiques, voire leur interopérabilité à terme, est une voie importante à explorer:
 - Augmentation de la flexibilité du système énergétique
 - Possibilité de sélectionner les solutions énergétiques les plus efficaces
 - Possibilité d'intégrer des réseaux existants
 - Opportunité d'affronter le problème de la décroissance des volumes de vente d'énergie (vers une approche de vente de services)
 - Planification de l'usage du sous-sol
- Alternative au stockage «simple» dans le futur
- Opportunité pour le biogaz et sa valorisation
- Approche intégrant tant la demande que l'approvisionnement énergétique, dans une approche complètement géo-référencée
-> avantage en termes de planification et de prise de décisions

Plateforme d'aide à la décision pour la planification et l'intégration de réseaux multi-énergies et des ressources à bas contenu de carbone dans les villes

Durée

Mars 2016 à fin 2019

Financements

- ERANET ENSCC (pour la Suisse via l'OFEN)
- Romande Energie
- Holdigaz
- Canton de Genève
- Hoval Suisse SA

Territoires

Ville de Vevey, Canton de Genève, Ville de Stockholm

IntegrCity – Partenaires



Industrial
Process and
Energy
Systems
Engineering
Group
(IPESE)



Royal
Institute of
Technology
(KTH)



Romande
Energie SA
(RE)



City of Vevey
(Vevey)



Centre de
Recherches
Énergétiques
et
Municipales
(CREM)



Haute Ecole
Spécialisée
de Suisse
Occidentale
Valais-Wallis
(HES-SO
Valais-Wallis)



Austrian
Institute of
Technology
(AIT)

Coordination



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIEURIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch



République et
Canton de
Genève
(CT GE)



Services
Industriels de
Genève
(SIG)



Europe Power
Solutions AB
(EPS)



Veolia
Sverige AB
(VS)



Holdigaz SA
(HSA)



Riksbyggen
(RB)



ElectriCITY
(EC)



City of
Stockholm



AEE –
Institute for
Sustainable
Technologies
(AEE INTEC)



Hoval Austria
(Hoval AT)

IntegrCiTy – Objectifs

Le projet IntegrCiTy vise à maximiser l'utilisation des énergies renouvelables par :

- l'intégration d'une série de technologies de conversion énergétiques avancées;
- l'interconnexion des réseaux urbains transportant le gaz naturel, l'électricité et l'eau pour le chauffage/refroidissement.

Les synergies entre les réseaux peuvent être identifiées, ainsi que l'évolution de la demande, y compris la mobilité électrique.

L'objectif général du projet est double :

- Développer un environnement de soutien décisionnel et de planification afin d'améliorer l'efficacité et la résilience des infrastructures d'approvisionnement en énergie;
- Mettre en œuvre la plateforme d'aide à la décision et les outils intégrés dans une sélection de villes, pour les administrations publiques et les entreprises énergétiques.

IntegrCiTy – Approche scientifique

L'idée du projet est d'explorer les **techniques de co-simulation** pour atteindre ces objectifs.

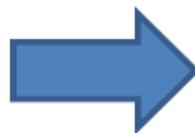
Contrairement à une simulation classique, la co-simulation permet de découper un système complexe en simulant différents sous-systèmes.

- Les simulations de sous-systèmes sont orchestrées et interfacées pour permettre de simuler le comportement du système dans son ensemble.
- Les influences et interactions entre les différents composants des infrastructures énergétiques peuvent ainsi être identifiées et quantifiées.

L'analyse, avec un tel outil, de l'état existant des infrastructures énergétiques permet ainsi de définir des mesures et scénarios d'évolution (rénovation du parc bâti, raccordement d'un nouveau quartier, densification d'un réseau, etc.) qui peuvent à leur tour être simulés, testés et validés grâce à l'outil IntegrCiTy.

IntegrCiTy – Base de données innovante

3DCityDB



3DCityDB "plus"

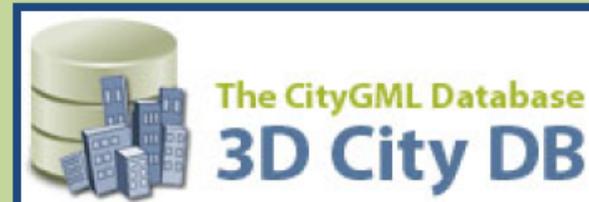
Scenario ADE

Energy ADE

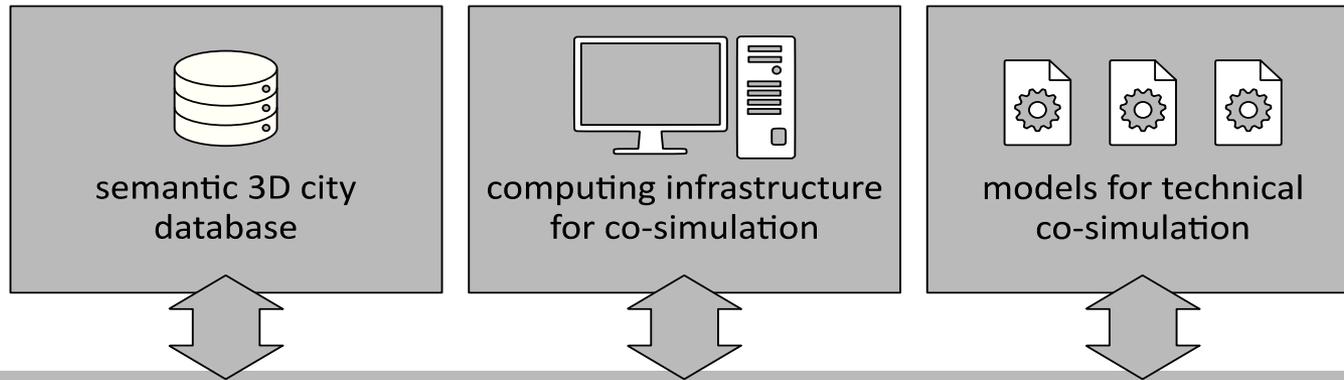
Utility Network ADE

Any other ADE

ADE extension mechanism



IntegrCiTy – Une architecture flexible - 1



back-end layer

data access layer

co-simulation deployment

goal setting phase

determine political goals
translate to key performance indicators

concept phase

provide technology options
provide energy scenarios

design phase

select technologies
optimize system design

validation phase

detailed operational concept
validation of system design

provide feedback

provide feedback

Interface interactive KPI pour la co-construction de scénarios

Scenarios

Results

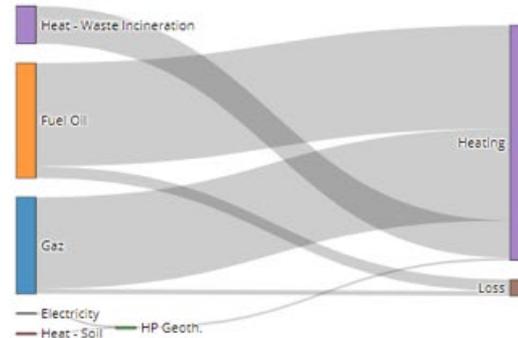
Sankey Diagram

Key Parameter Indices

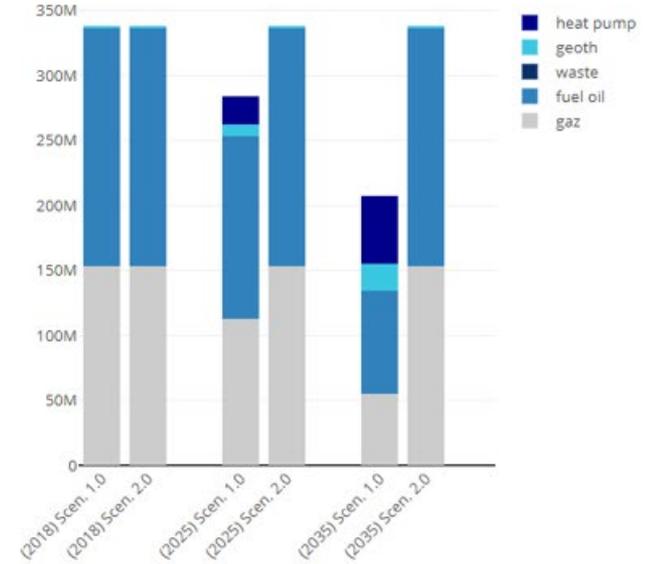


● 2018 ● 2025 ● 2035

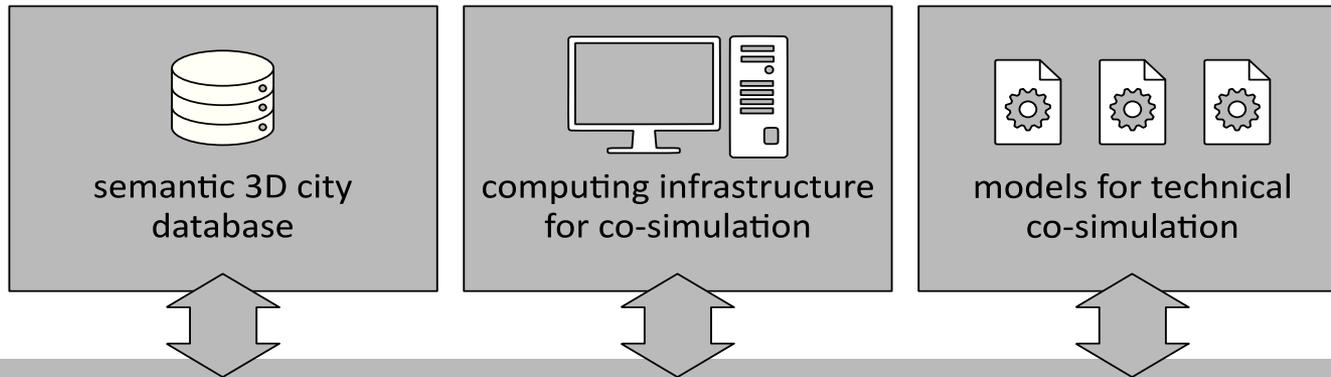
Heating System - Scenario 1.0



Final Energy - Heating [kWh/year]



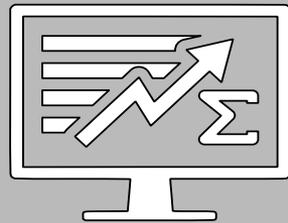
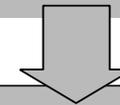
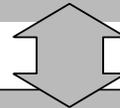
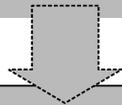
IntegrCiTy – Une architecture pour les scénarios



back-end layer

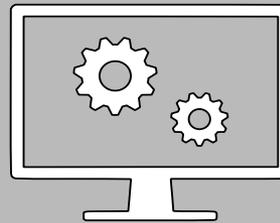
data access layer

co-simulation deployment



Interactive KPI

Sankey and chart visualization for stakeholder process



Jupyter notebook

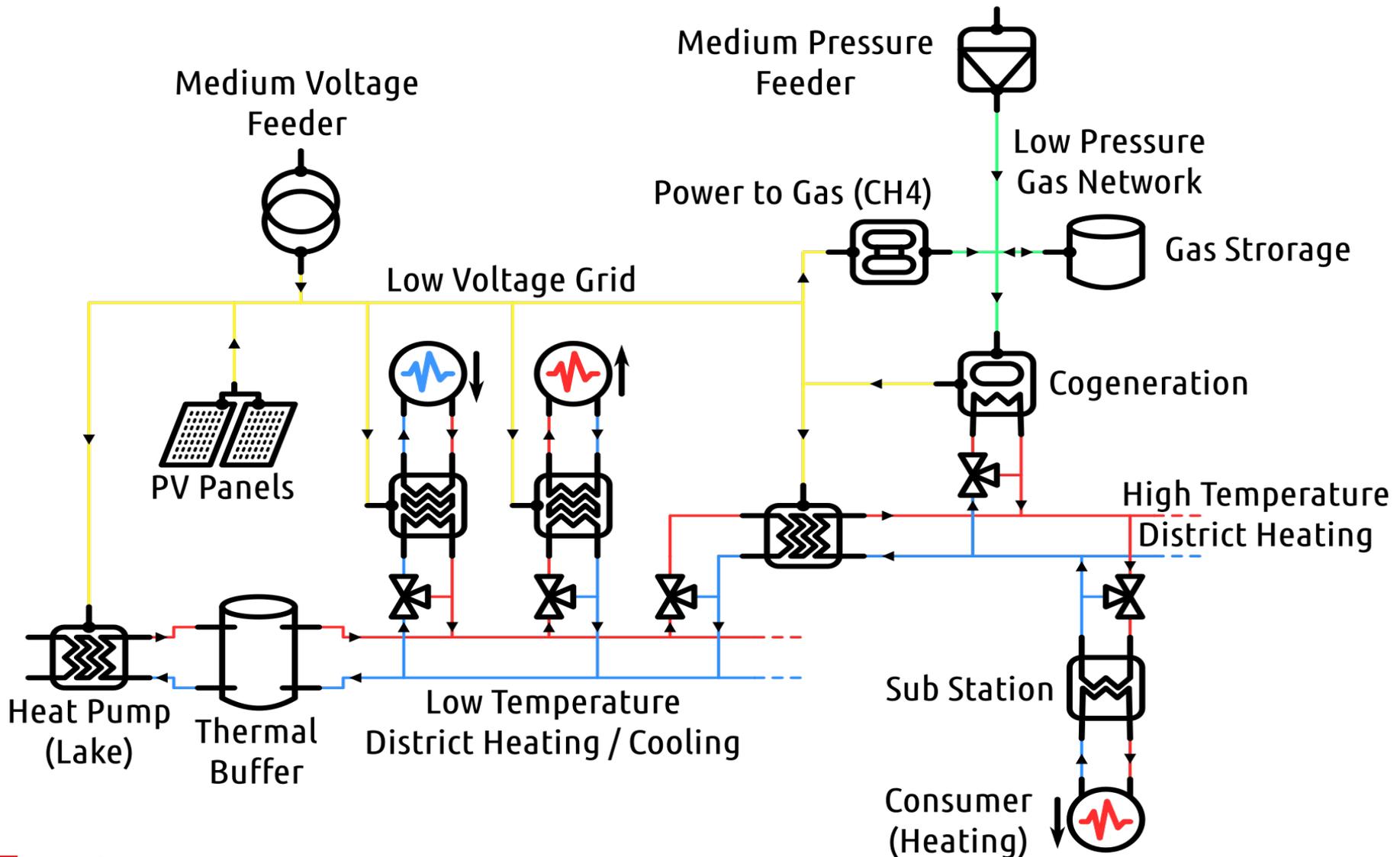
application visualization for co-simulation users



Cesium & PHP Generator

3D visualization of final results

IntegrCiTy – Cas-test de Vevey - Approche



Cas-test de Vevey – Exemple de résultats

Scénarii avec pompes à chaleur (centralisées et décentralisées), production renouvelable (PV) et unités de co-génération + différentes stratégies de contrôle – Paramètres de recherche

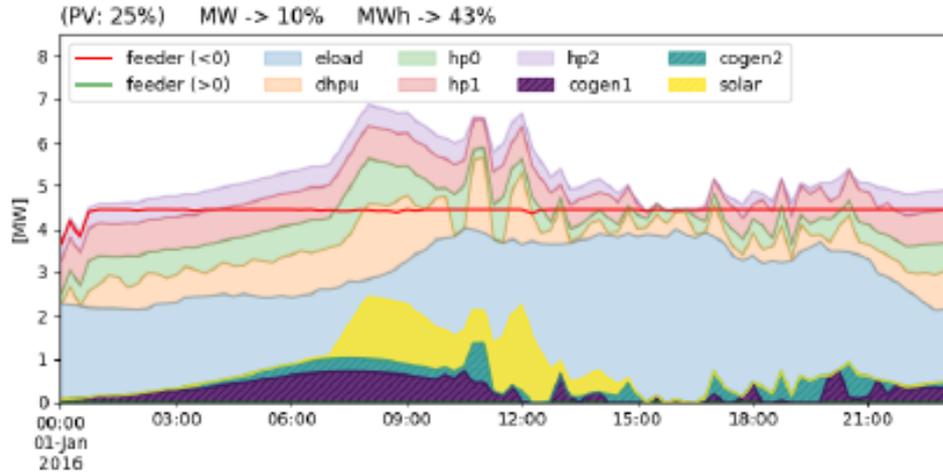


Figure 4.2: One day optimal operation for centralised control

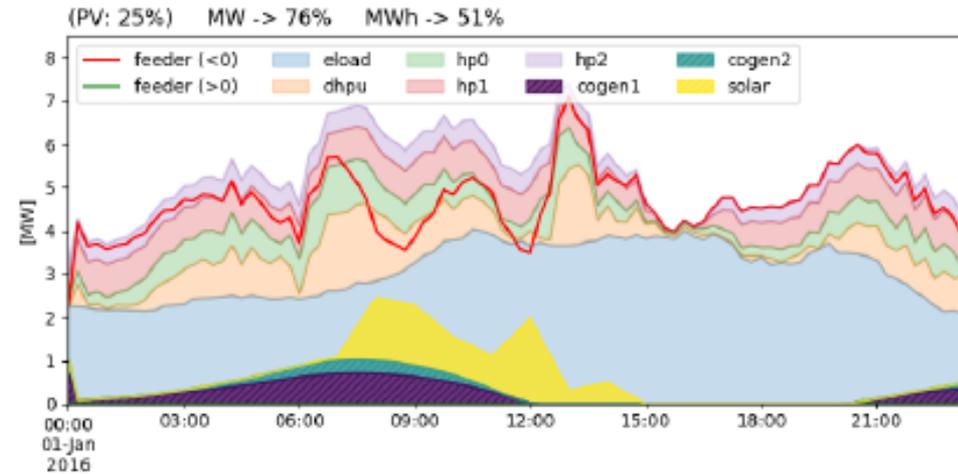


Figure 4.3: One day optimal operation for decentralised control

Cas-test de Genève – Exemple de résultats

Selon les scénarios, identifier des surcharges sur des tronçons de réseau de gaz naturel

Legend

■ Lake

Load Pipe [%]

— 0 - 7

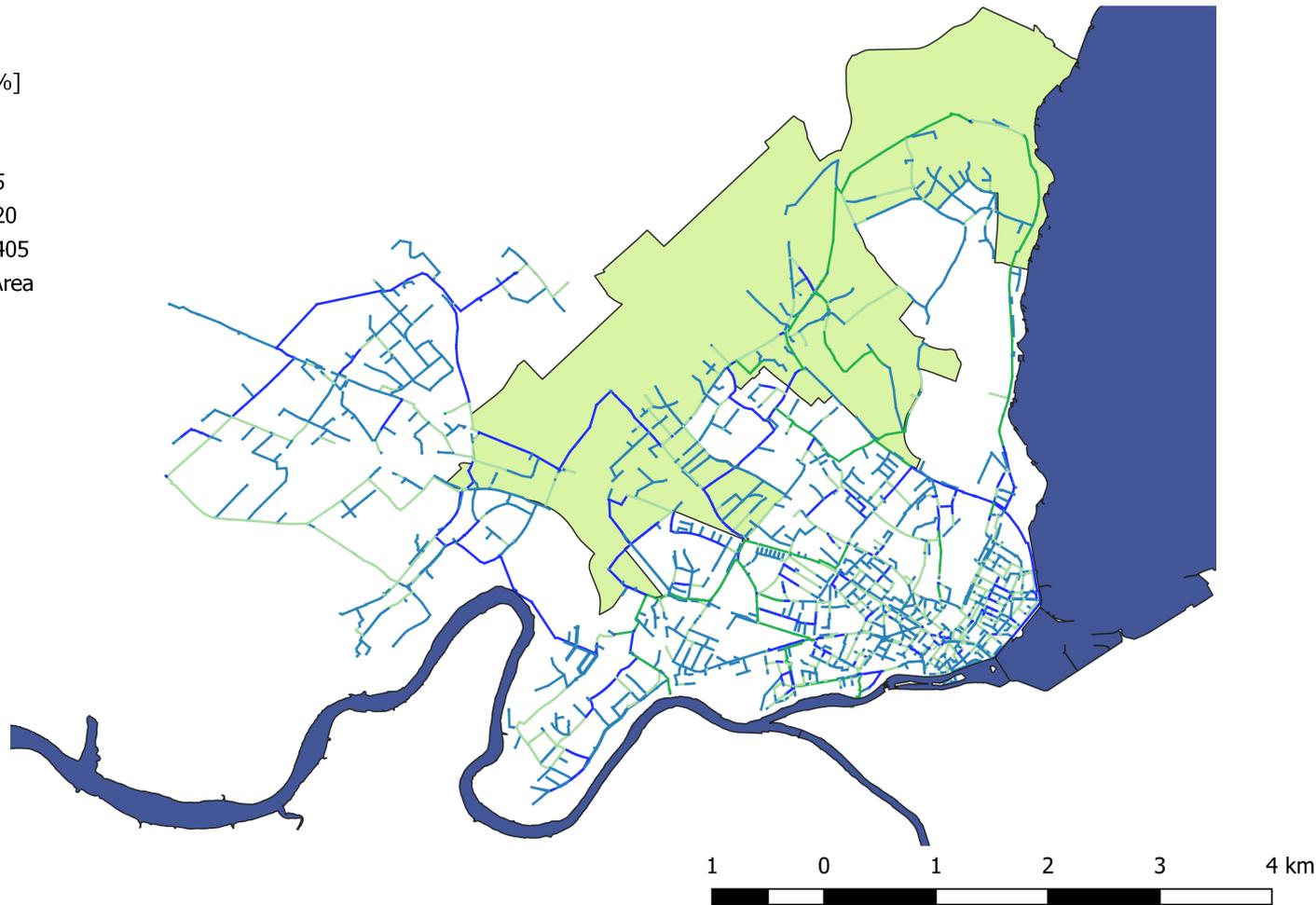
— 7 - 21

— 21 - 45

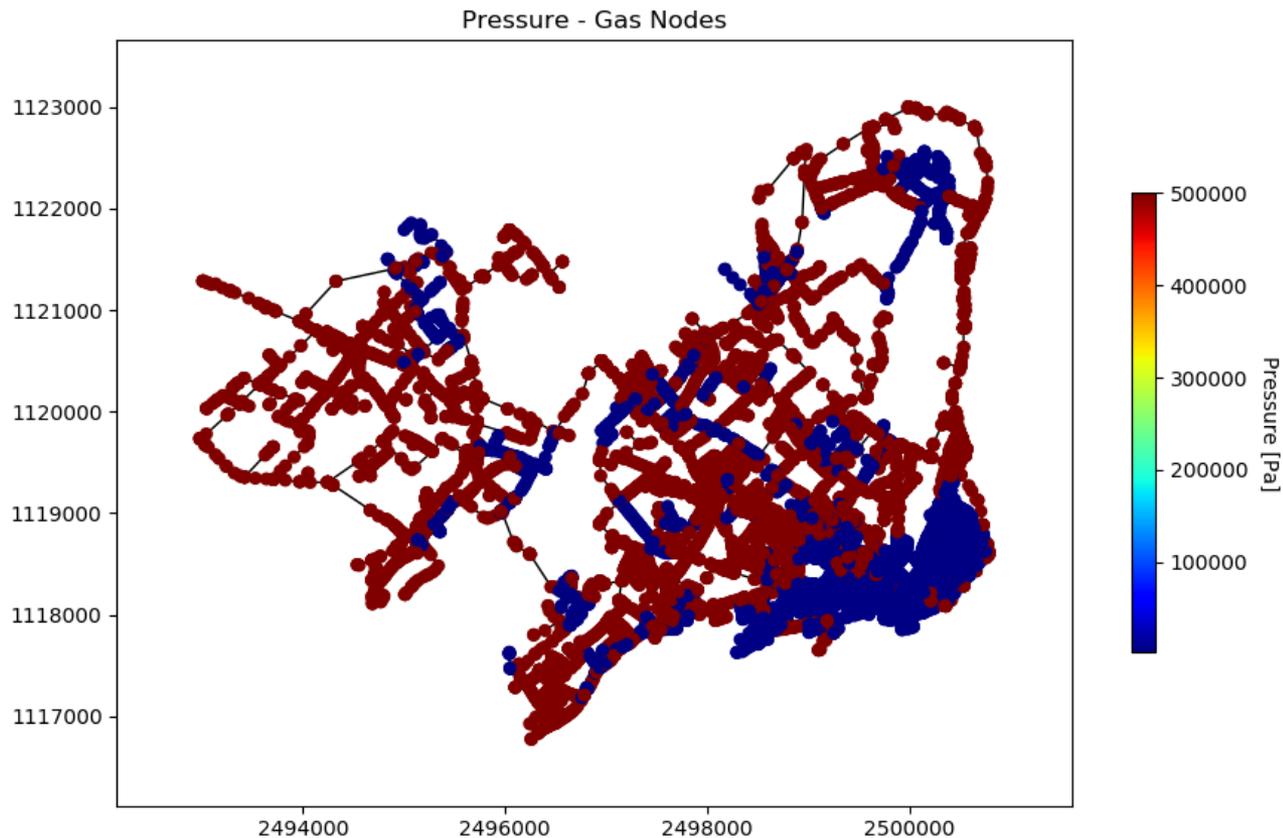
— 45 - 120

— 119 - 405

■ Study Area



Projet Networks_in_City ou quand on optimise un réseau "à l'envers"



Networks_In_CiTy – Approche scientifique

L'idée du projet est celle d'optimiser un réseau de gaz naturel **existant** sur tout un territoire, sous trois contraintes:

- Pénétration d'une technologie de conversion énergétique basée sur un autre vecteur, e.g. pompes à chaleur électriques
- Politiques de rénovation du bâti amenant à une diminution de la demande chaleur sur le territoire
- Disparition d'une technologie ou plusieurs technologies, e.g. chaudières à combustion (e.g. suite à une décision politique)

On se met donc dans un cas réel de planification et de gestion d'asset d'un réseau en place, dans une approche intrinsèquement multi-énergies, alors que les optimisations sont en général faites :

- Pour des réseaux de transport (très grandes distances)
- Pour des nouveaux réseaux (extensions et nouveaux quartiers)

Soutien financier : HES-SO et Fondation ProTechno + données fournies par SIG (paramètres de recherche)

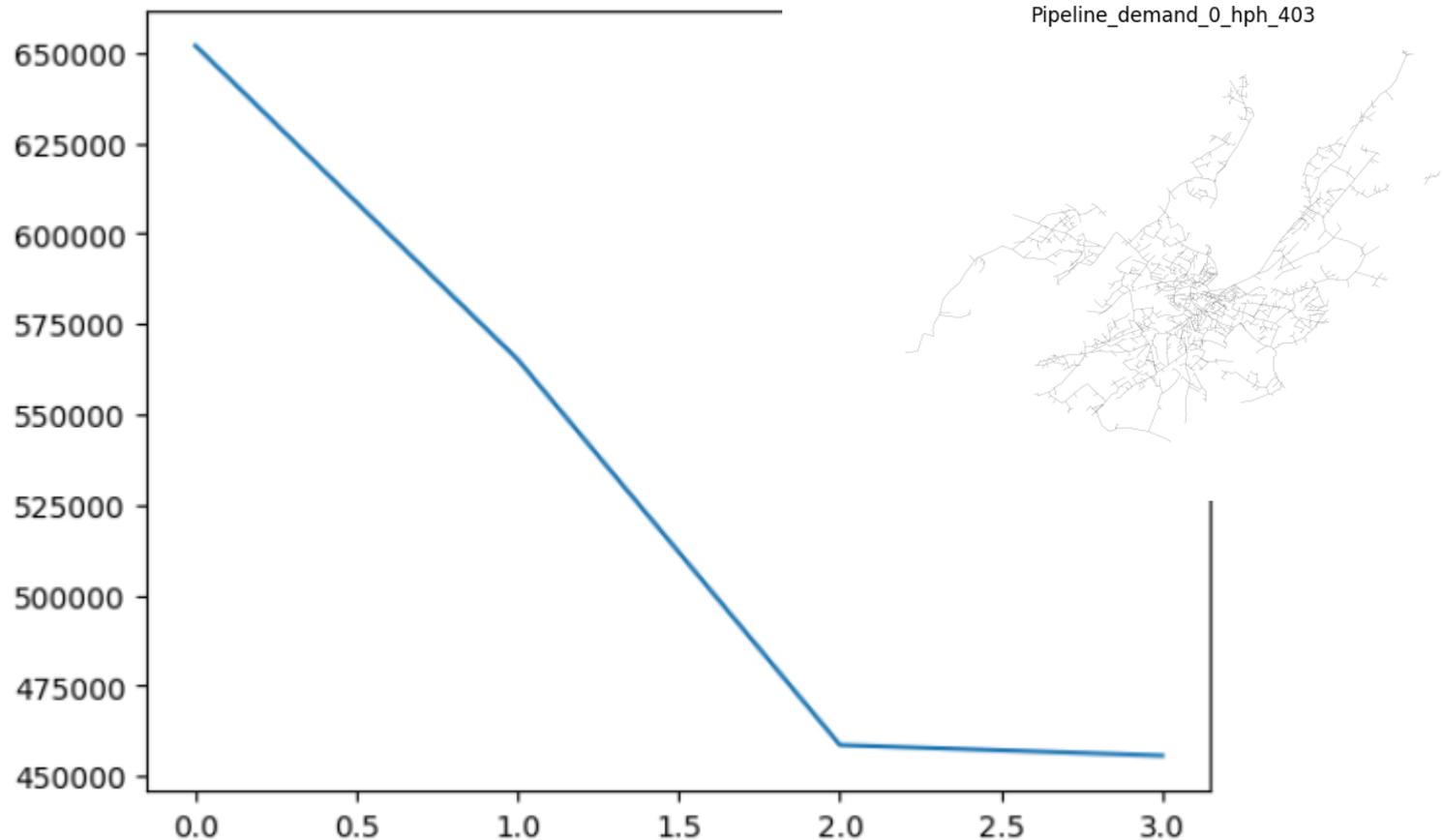
Networks_In_CiTy – Une approche par étapes

Afin de réaliser le processus d'optimisation en tant que tel (fonction objective basée sur les coûts totaux du système), les étapes suivantes sont réalisées:

- a) Collecte des données réseaux détaillées et géolocalisation
- b) Collecte des données de consommation de tous les nœuds du réseaux (presque 10'000 sur le territoire genevois) et géolocalisation
- c) Validation et correction des données de consommation
- d) Détermination des taux de rénovation sur base spatiale et par catégorie d'utilisation des bâtiments
- e) Détermination de jours-type (clustering) pour assurer la faisabilité des calculs numériques
- f) Simplification du problème d'optimisation avec deux étapes, puis contrôle avec outil de simulation Pandangas, développé dans le cadre d'IntegrCiTy

Networks_In_CiTy – Exemples résultats - 1

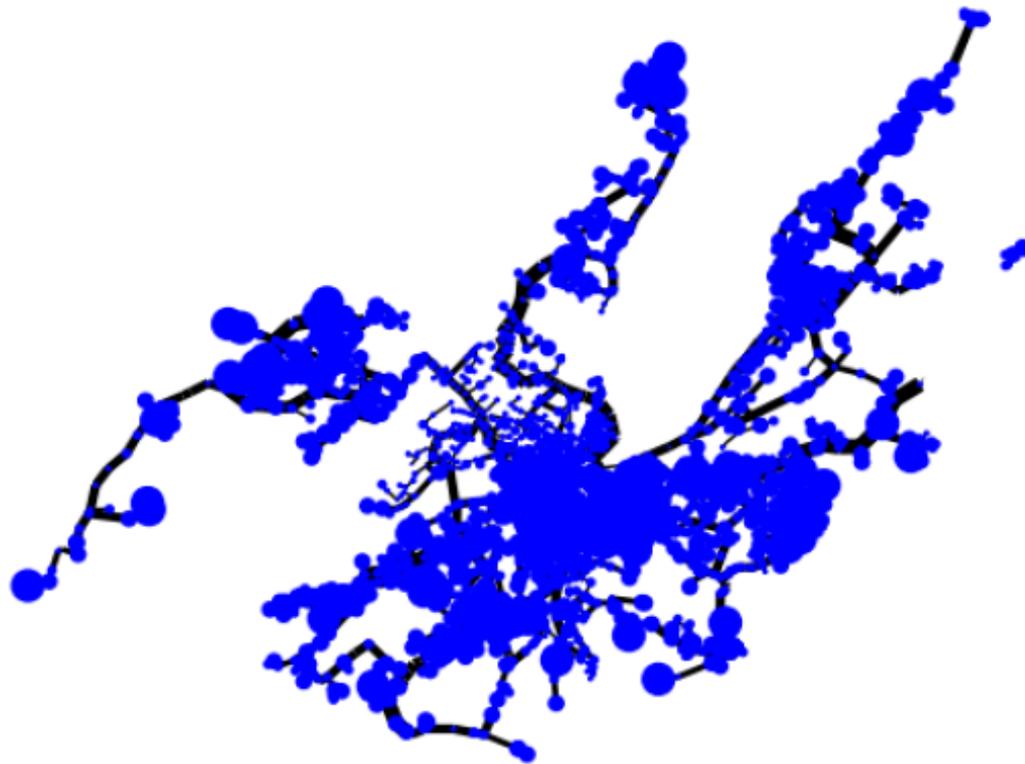
Indeed, the overall length of the gas distribution network decreases over time, as shown in the figure below. The total length of the gas distribution network goes from approximately 650 km down to 450 km.



The optimization highlights branches of the grid that can be abandoned (or used for other purposes, see Annex on mobility) thus leading to a clear advantage in terms of reduction of OPEX costs and, more generally in terms of urban planning, to a more rational usage of underground space in a dense urban area.

Networks_In_CiTy – Exemples résultats - 2

CHP Pipeline in demand_0_hph_403



Since HP total heat production at the end of the 40-year period amounts to approximately 1.8 TWh, if we admit an average COP equal to 3, it means that this would lead to 0.6 TWh_e additional power consumption. On the other hand, 0.6 TWh of heat are produced by CHP, so we can admit that 0.2 TWh_e are produced by these units. This means that, within this scenario, additional CHP capacity can cover a third of the additional power required by the massive penetration of heat pumps.

Points de discussion

- La convergence des réseaux constitue un ensemble de solutions, qui permettront de répondre aux défis des renouvelables à court et moyen terme
- Les réseaux énergétiques doivent être pensés et planifiés ensemble, afin de profiter des synergies
- Clé pour optimiser les investissements et pour définir de nouveaux modèles d'affaires
- La question de la faisabilité économique ET des conditions-cadre n'est, pour l'instant, pas résolue, en tout cas en Europe

