







Numéro de convention: 1705C0046

Acronyme: SIGOPTI

Titre: SIGOPTI : Couplage d'approches innovantes d'aide à la décision pour l'approvisionnement

thermique de quartiers

Appel à projets : Energie Durable : production, gestion et utilisation efficaces 2017

Date de début du projet : 17/10/2017

Durée: 25,5 mois

Manuel d'utilisation

Coordinateur: NOBATEK/INEF4

Participants: FNCCR, CREM







[Projet SIGOPTI : Livrables MT4

[Confidentiel]

1/18







Sommaire

| • | Som | nmaire | 2 |
|----------------|-------|--|------|
| 1 | Intro | oduction | 3 |
| | 1.1 | Projet SIGOPTI | 3 |
| 2 | Mar | nuel d'utilisation | 4 |
| | 2.1 | Architecture | 4 |
| | 2.2 | Prérequis : | 5 |
| | 2.2. | 1 Configuration logicielle : | 5 |
| | 2 | .2.1.1 Installation de QGIS | 5 |
| | 2 | .2.1.2 Installation du Plugin SigOpti | 5 |
| | 2.3 | Parcours utilisateur : | 6 |
| | 2.3. | 1 Sous-onglet « Fond de carte » | 7 |
| | 2.3. | 2 Sous-onglets « Données d'entrée » | 7 |
| 2.3.3 2.3.4 | | 3 Sous-onglet « Réseaux » : | 9 |
| | | 4 Sous-onglet « Optimisation » | . 11 |
| | 2.3. | 5 Sous-onglet « Résultats » | . 14 |
| | 2.4 | Utilisation d'optimiseur seul en local | . 15 |
| | 2.5 | Explication du code | . 18 |







Introduction

1.1 Projet SIGOPTI

Le projet SIGOPTI vise le développement d'une plateforme informatique d'aide à la décision à destination des collectivités pour le développement de réseaux de chaleur urbain sur leur territoire. Elle est une réponse à l'appel à projets de recherche ADEME « Energie durable : production, gestion et utilisation efficaces 2017 ».

La plateforme informatique SIGOPTI doit être implémentée sous la forme d'une extension python sous QGIS pour proposer le couplage d'approches innovantes d'aide à la décision pour l'approvisionnement thermique de quartiers en s'appuyant sur les récents progrès en matière de système d'information géographique (SIG) d'une part et sur des algorithmes d'optimisation d'autre part. SIGOPTI version 1

L'outil est disponible après l'installation du Plugin dans l'environnement QGIS. La description du plugin et son installation est précisée dans le manuel d'utilisation dans la section suivante.



Figure 1 - Plugin SIGOPTI dans le menu « Extensions »

Le code d'optimisation est séparé de l'extension QGIS. Celui-ci est exposé via une API (Application Programming Interface) web de type REST. Le fonctionnement est détaillé dans le livrable 4.3.

La partie optimisation est donc invisible pour l'utilisateur mais le code source est mis à disposition de la communauté sur une plateforme d'hébergement.

https://github.com/sigopti

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 3/18 **©NOBATEK/INEF4** 27 janvier 2020







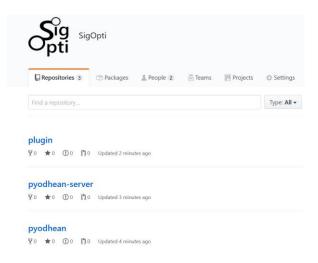


Figure 2 - Dépôt sur plateforme GitHub

Les dépôts disponibles sont les suivants :

/pyodhean : code source de l'optimiseur

/pyodhean-server : serveur distant qui permet d'exposer l'optimiseur via une API

/plugin : développements de l'interface utilisateur dans QGIS

La description de l'algorithme d'optimisation est également précisée dans le manuel d'utilisation (livrable 4.3).

2 Manuel d'utilisation

2.1 Architecture

L'architecture est présentée sous forme schématique ci-dessous (Figure 3).

L'utilisateur réalise la saisie de toutes les informations nécessaires à la description du réseau de chaleur dans QGIS en se laissant guider par les menus du plugin SIGOPTI:

- Import de fonds de cartes et base de données de consommation
- Tracé du feeder
- Définition des points de consommations potentiels
- Définition de l'emplacement de la production
- Raccordement automatique des points de consommations au feeder selon des filtres définis par l'utilisateur
- Génération du réseau complet et affichage d'informations
- Définition des données d'entrée (régime de températures, puissance requise, nature de la production et coût associés, isolation des conduite) avec des valeurs par défaut proposées et modifiables par l'utilisateur
- Lancement de l'optimisation et affichage du coût global du réseau optimisé en termes de dimensionnement
- Comparaison de plusieurs configurations par simulations successives.

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 4 / 18







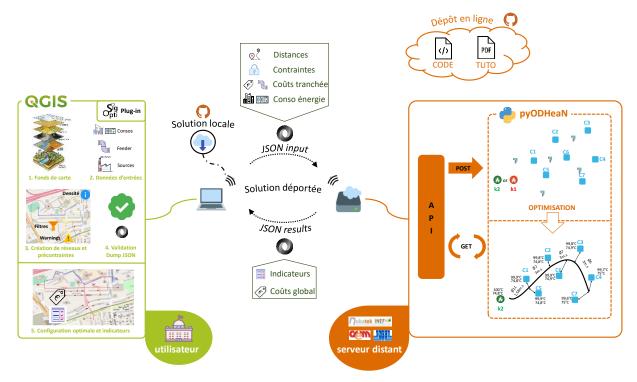


Figure 3 - Architecture de l'outil SIgOpti

L'optimisation est réalisée à distance via un webservice (solution déportée, voir section 2.2). L'affichage des résultats se fait par retour d'informations directement dans QGIS de façon à ce que l'utilisateur n'ait à interagir qu'avec un outil unique.

Le plugin est disponible dans le menu Extensions de QGIS ou installable avec un fichier ZIP pour la version beta.

L'aspect Open Source est garanti par le dépôt du code sur une plateforme GitHub SIGOPTI permettant aussi une utilisation hors ligne (solution locale, voir section 2.4) où se trouve également un tutoriel ainsi qu'un guide d'utilisation.

2.2 Prérequis :

2.2.1 Configuration logicielle:

2.2.1.1 Installation de QGIS

Avant de pouvoir utiliser le plugin SigOpti, l'utilisateur doit au préalable installer une version de QGIS sur son ordinateur.

Les différentes versions sont disponibles soit via une recherche sur Internet, soit directement via l'ULR: https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html

2.2.1.2 Installation du Plugin SigOpti

QGIS offre un outil nommé « Installer/Gérer les extensions », accessible via l'onglet « extension », qui permet à l'utilisateur de gérer et installer les plugins sur son ordinateur (Figure 4).

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 5/18 **©NOBATEK/INEF4** 27 janvier 2020









Figure 4 - Onglet "extensions"

C'est à partir de cet outil que l'utilisateur va pouvoir installer le plugin SigOpti en choisissant l'option « Installer depuis un ZIP » (Figure 5). Ce fichier zip étant disponible via l'url de dépôt du code (https://github.com/sigopti).

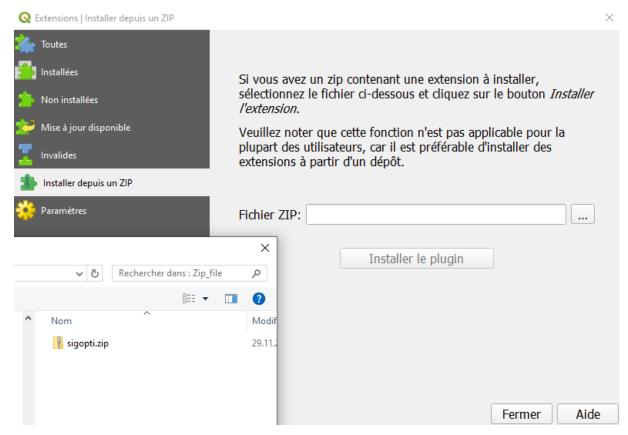


Figure 5 - Module d'installation du plugin SigOpti via un fichier ZIP

2.3 Parcours utilisateur:

L'installation du plugin SigOpti va créer un nouvel onglet « SigOpti » d'outil sur QGIS (Figure 6).

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 6/18 **©NOBATEK/INEF4** 27 janvier 2020









Figure 6 - Onglet SigOpti

Les différentes fonctionnalités offertes par le plugin sont répertoriée par ordre logique dans les différents sous-onglets. La procédure étant de lancer les fonctionnalités.

2.3.1 Sous-onglet « Fond de carte »

La fonction « Ajouter OpenStreetMap » permet à l'utilisateur d'obtenir un fond de carte contextualisant le territoire (Figure 7).

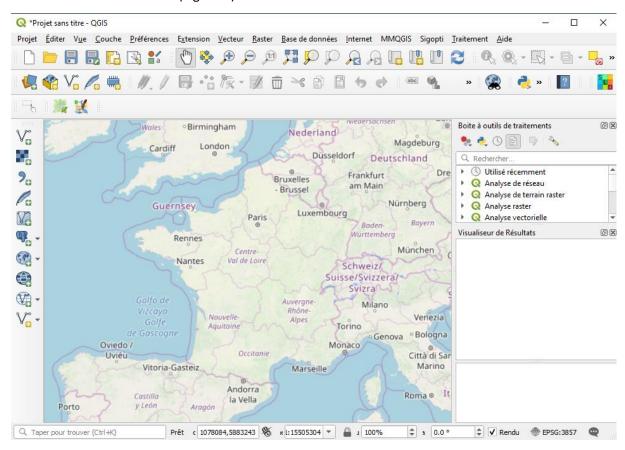


Figure 7 - Fond de carte OSM

2.3.2 Sous-onglets « Données d'entrée »

L'utilisateur va pouvoir ajouter 3 types de données à partir de ce sous-onglet :

• Les consommations : il s'agit de points de consommation géoréférencés, au format Shapefile, dont les attributs à renseigner sont les suivants :

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 7 / 18







| kWh | Temp | kW | t_out | t_in |
|------------|------|-----|-------|------|
| 21100.000 | 22 | 14 | 80 | 60 |
| 155300.000 | 19 | 104 | 80 | 60 |
| 861900.000 | 19 | 575 | 80 | 60 |
| 10600.000 | 21 | 7 | 80 | 60 |
| 43900.000 | 18 | 29 | 80 | 60 |
| 9700.000 | 21 | 6 | 80 | 60 |
| 8700.000 | 22 | 6 | 80 | 60 |
| 11000.000 | 20 | 7 | 80 | 60 |

- MWh: besoin de chaleur du consommateur, exprimé en MWh
- kW: puissance de l'échangeur en sous station (puissance maximale théorique appelée)
- t_out : température requise en entrée du secondaire
- t_in : température de retour à l'échangeur au secondaire
- Le feeder : Il s'agit d'une géométrie Shapefile de type polyligne, tracée par l'utilisateur ou importée à partir d'un tracé existant. Cette géométrie constitue le réseau structurant à partir duquel les consommations vont être raccordées par la suite.
- La source : il s'agit d'un point géoréférencé, au format Shapefile. Cette source permettra d'orienter le réseau à générer pour la distribution d'énergie.



Figure 8 - Exemple d'un RCU modélisé

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 8/18 **©NOBATEK/INEF4** 27 janvier 2020







2.3.3 Sous-onglet « Réseaux » :

L'unique fonction de ce sous-onglet consiste à générer et enregistrer une configuration de réseau.

Le réseau généré va créer le réseau au complet en liant la source et les points de consommation au feeder, selon deux paramètres saisis par l'utilisateur :

- La distance au feeder, exprimé en mètre [m].
- La consommation minimale des consommateurs que l'utilisateur souhaite raccorder, exprimé en [MWh].

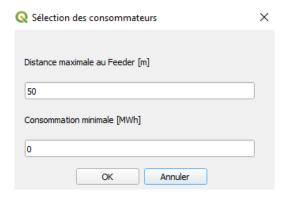


Figure 9 - Sous onglet avec filtres attributaires

Le résultat est ensuite sauvegardé dans un format JSON qui sera par la suite utilisé pour l'interfaçage avec le module d'optimisation.

Auparavant, l'utilisateur va devoir définir un répertoire de sortie (Figure 10) qui permettra de stocker l'ensemble des couches temporaires générées (consommations sélectionnées et réseau secondaire) lors de la création du réseau complet :

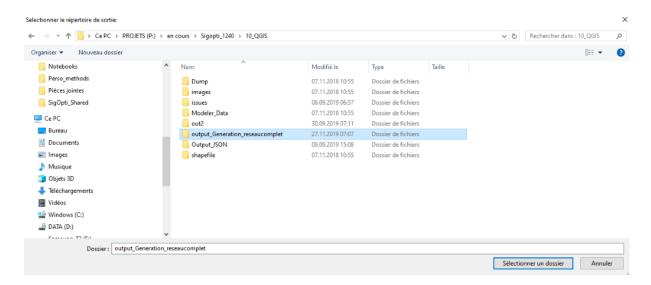


Figure 10 - Choix d'un répertoire de sauvegarde

Il est conseillé à l'utilisateur de sauvegarder son ficher JSON, permettant de définir l'entier du réseau généré, dans ce même dossier.

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 9 / 18







Il est également conseillé à l'utilisateur de mentionné dans le nom du fichier JSON des éléments de contexte (Figure 11) tel que :

- La date
- Le feeder utilisé
- Les paramètres de sélection des utilisateurs

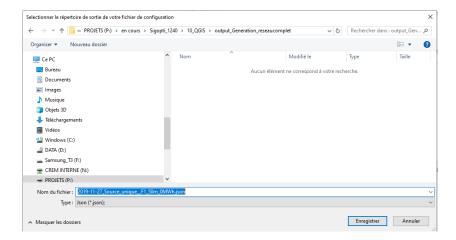


Figure 11 - Définition d'un nom d'un fichier JSON de configuration de réseau

L'architecture d'un fichier JSON est présentée dans la section 2.4.

La génération du réseau complet (Figure 12) créé également trois nouvelles couches Shapefile qui sont affichées sur la carte de QGIS:

- La délimitation de la zone de sélection autour du feeder
- Les consommations sélectionnées par les filtres donnés par l'utilisateur
- Le réseau secondaire raccordant les consommations sélectionnées au feeder

Ces différentes couches sont conservées dans le dossier de sortie, créé définis précédemment par l'utilisateur.

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 10 / 18 ©NOBATEK/INEF4 27 janvier 2020







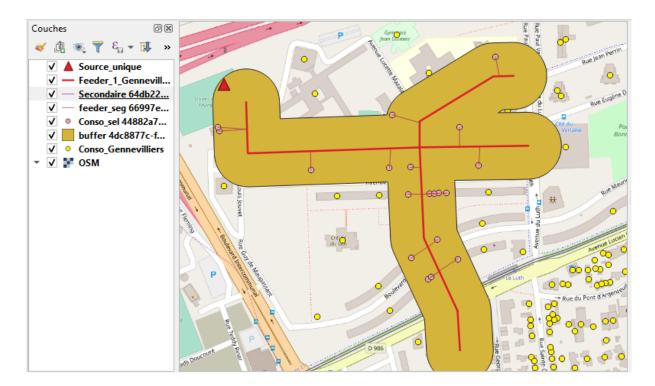


Figure 12 - Réseau complet

Il est intéressant de noter que les différentes couches affichées sur la carte ne correspondent pas directement au réseau complet, mais à des sous-parties de ce dernier. L'information complète concernant l'ensemble des éléments du réseau (source, consommations raccordées et raccordement (feeder et secondaire)) est stockée dans le JSON.

2.3.4 Sous-onglet « Optimisation »

Cliquer sur « Lancer une optimisation » permet à l'utilisateur d'optimiser une configuration de réseau complet enregistrée précédemment au format JSON, en saisissant une série d'autres paramètres comme l'illustre la figure suivante :

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 [Confidentiel]







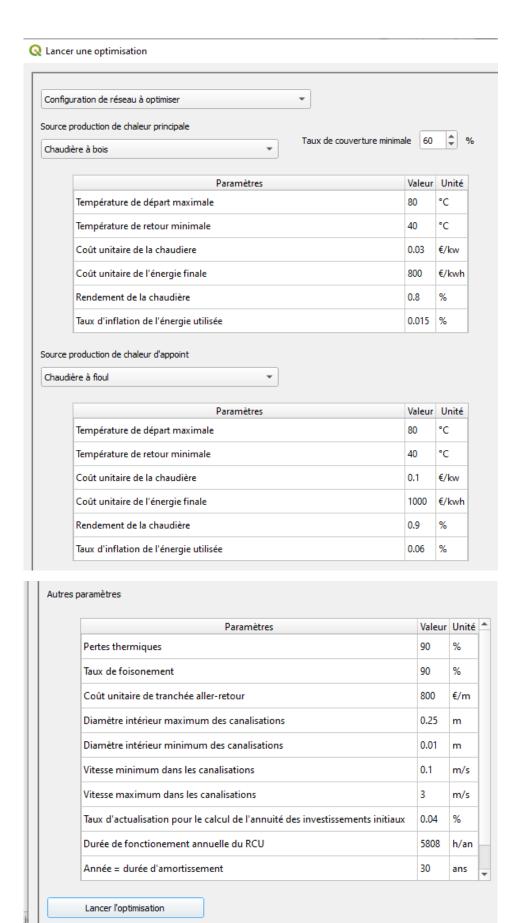


Figure 13 - Onglet "optimisation"

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 12 / 18 **©NOBATEK/INEF4** 27 janvier 2020







Ces paramètres sont les suivants :

Onglet « production »

| nom du PARAMETRE à affiché dans l'onglet SIGOPTI | | Valeur par défaut | | | | Min | Max | Unité | Commentaire | |
|---|------|-------------------|----------|------|------|-----|-----|--------|---|--|
| | | Gaz | Biomasse | PAC | UIOM | | | Office | Commentane | |
| Température de départ maximale | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | °C | # température max en départ de chaufferie | |
| Température de départ minimale | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | | | °C | # température min en retour de chaufferie | |
| Coût unitaire de la chaudière | 1000 | 1000 | 800 | 3000 | 200 | C |) | €/kW | # coût unitaire de la chaudière installée | |
| Coût unitaire de l'énergie finale | 0,1 | 0,08 | 0,03 | 0,14 | 0,02 | C |) | €/kWh | # coût unitaire de l'énergie livrée | |
| Rendement de la chaudière | 90 | 90 | 80 | 300 | 50 | C |) | % | # rendement/efficacité | |
| Taux d'inflation de l'énergie utilisée | 6 | 4 | 1,5 | 4 | 1 | | | % | # inflation propre à la source d'énergie | |
| Taux de couverture | rien | rien | 80 | 80 | 80 | (| 100 |) % | # taux de couverture de la techno | |

Onglet « autres paramètres »

| | Valeur par | | | | |
|---|---------------|-----|------|-------|---|
| nom du PARAMETRE à afficher dans l'onglet SIGOPTI | défaut | Min | Max | Unité | Commentaire |
| Vitesse max | 3 | 0 | | m/s | # borne vitesse max, 3m/s d'après Techniques de l'Ingénieur |
| Diamètre intérieur max du tuyau | 0,25 | 0 | | m | # diamètre intérieur max du tuyau |
| Durée de fonctionnement annuelle du RCU | 5808 | 0 | 8760 | h | # durée de fonctionnement annuelle du RCU |
| Année = durée d'amortissement | 30 | 0 | | année | # durée d'amortissement |
| Taux d'actualisation pour le calcul de l'annuité des | | | | | # taux d'actualisation pour le calcul de l'annuité des |
| investissements initiaux | 4 | 0 | | % | investissements initiaux |
| Coût unitaire de tranchée aller-retour | 800 | 0 | | €/ml | # coût unitaire de tranchée aller-retour |
| Part des coûts de pompage | 1 | 0 | 100 | % | # ratio du coût de pompage/coût global |
| Taux de foisonnement | 70 | 0 | 100 | % | # taux de foisonnement |
| Taux de pertes thermiques globales dans les canalisations | 5 | 0 | 100 | % | # taux de pertes thermiques |

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4







Cet outil va envoyer le JSON de configuration de réseau à l'optimiseur. Si l'optimisation est réussie, un fichier JSON de la configuration du réseau est renvoyée, avec des différents résultats :

Résultats généraux :

- Coût total
- Coût de la chaleur à produire selon la nature de la source d'énergie à la production
- Coût de l'unité de production
- Coût des échangeurs en sous-station
- Coût de la conduite incluant la tranchée et la fourniture de tuyaux pré-isolés

Résultats sur les éléments du réseau :

- Diamètres
- Débits
- Vitesses
- Surface d'échangeurs
- Températures

2.3.5 Sous-onglet « Résultats »

La fonctionnalité *Analyse de réseau* (Figure 14) permet à l'utilisateur d'afficher différents indicateurs sur les configurations de réseaux générés. La figure suivante illustre l'ensembles des indicateurs affichés :



Figure 14 - Onglet "Analyse de réseau"

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 14 / 18







La partie « Résultats de la génération du réseau complet » permet de donner des résultats sans même avoir lancer l'optimisation.

La partie « Résultats de l'optimisation » affiche les résultats issus de l'optimisation de la configuration

La figure suivante illustre un exemple de résultats obtenus pour une configuration de réseaux optimisé (Figure 15).

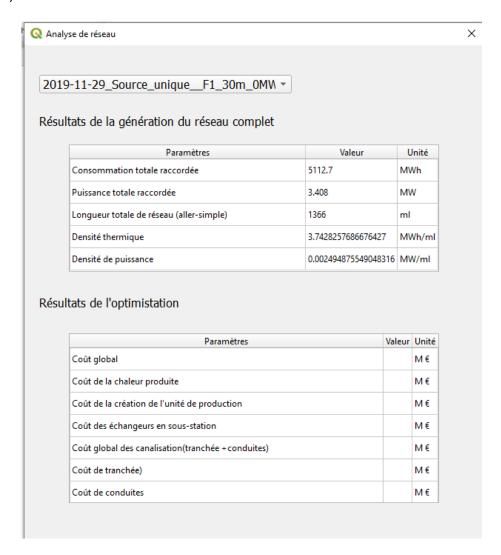


Figure 15 - Affichage des résultats

2.4 Utilisation d'optimiseur seul en local

Pour des besoins de développements et dans une logique de partage Open Source, il est possible de n'utiliser que l'optimiseur. A ce moment-là il faut renseigner le réseau « à la main » dans un fichier JSON (normalement automatiquement généré par QGIS dans une utilisation normale).

Premièrement il convient d'installer :

- Une distribution python
- L'environnement PYOMO (http://www.pyomo.org)
- Le solveur IPOPT (https://github.com/coin-or/lpopt)

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 15 / 18 ©NOBATEK/INEF4 27 janvier 2020







Aller dans sur la plateforme d'hébergement du projet (https://github.com/sigopti) et copier local le répertoire \pyodhean.

Ouvrir l'invitation de commande et taper

```
cd [chemin du dossier]
```

Remplir un fichier JSON à partir du modèle fourni. L'architecture d'un fichier JSON étant la suivante : {"nodes":

```
{"production": [{"id": [0.0, 0.0],
        "technologies": {
                "k1": {"efficiency": 0.8, "t out max": 100.0, "t in min": 30.0,
                "production unitary cost": 800.0, "energy unitary cost": 0.03,
                "energy cost inflation rate": 0.015},
                "k2": {"efficiency": 0.9, "t out max": 100.0, "t in min": 30.0,
                "production unitary cost": 1000.0, "energy_unitary_cost": 0.08,
                "energy cost inflation rate": 0.04}}}],
"consumption": [
{"kW": 80.0, "t in": 60.0, "t out": 80.0, "id": [2.0, 5.0]},
{"kW": 80.0, "t in": 60.0, "t out": 80.0, "id": [30.0, 50.0]}]},
"links": [
{"length": 10, "source": [0.0, 0.0], "target": [2.0, 5.0]},
{"length": 100, "source": [2.0, 5.0], "target": [30.0, 50.0]}],
```

"parameters": {"speed min": 0, "speed max": 3.0, "diameter int max": 0.25, "operation time": 5808.0, "depreciation period": 15.0, "discout rate": 0.04, "trench unit cost": 800.0}

L'utilisation du plugin QGIS rend normalement la génération de ce JSON totalement invisible de l'utilisateur.

Lancer l'optimisation en tapant

```
python NLP JSON cli.py-i [nom du fichierJSON.json]
```

L'optimisation s'initialise (Figure 16) et les itérations sont affichée jusqu'à convergence vers une solution optimale (Figure 17) qui est affichée (Figure 18, Figure 19).

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 16 / 18







```
This program contains Ipopt, a library for large-scale nonlinear optimization.
Ipopt is released as open source code under the Eclipse Public License (EPL).
 For more information visit http://projects.coin-or.org/Ipopt
NOTE: You are using Ipopt by default with the MUMPS linear solver.
Other linear solvers might be more efficient (see Ipopt documentation).
This is Ipopt version 3.11.1, running with linear solver mumps.
Number of nonzeros in equality constraint Jacobian...:
Number of nonzeros in inequality constraint Jacobian.:
Number of nonzeros in Lagrangian Hessian.......
                                                                                        7244
                                                                                       2889
Total number of variables....:
                                                                                        5785
                      variables with only lower bounds: variables with lower and upper bounds:
                                                                                        5756
                              variables with only upper bounds:
                                                                                         21
Total number of equality constraints....:
                                                                                        2207
Total number of inequality constraints.....:
inequality constraints with only lower bounds:
inequality constraints with lower and upper bounds:
                                                                                       4586
                                                                                        968
                                                                                        1764
           inequality constraints with only upper bounds:
                                                                                        1854
```

Figure 16 - Initialisation

```
815 4.1170495e+000 3.61e-007 3.81e-001 -5.0 8.54e-003 -3.6 1.00e+000 1.00e+000h
 816 4.1170495e+000 4.66e-008 4.41e-002 -5.0 1.80e-003 -3.2 1.00e+000 1.00e+000h
817 4.1170495e+000 6.04e-008 4.18e-002 -5.0 3.07e-003 -3.7 1.00e+000 1.00e+000h
818 4.1170495e+000 4.52e-008 1.90e-003 -5.0 1.15e-003 -3.2 1.00e+000 1.00e+000h
 Number of Iterations....: 818
(unscaled)
4.1170495441555843e+000
                                                                                                 1.8981620188185048e-003
                                                                                                4.5240867432016630e-008
                                                                                                9.0909090909091927e-006
                                                                                                1.8981620188185048e-003
Number of objective function evaluations
Number of objective gradient evaluations
Number of equality constraint evaluations
Number of inequality constraint evaluations
                                                                                                 = 1486
                                                                                                = 1486
Number of Inequality constraint Pacibian evaluations = 1406
Number of inequality constraint Jacobian evaluations = 823
Number of inequality constraint Jacobian evaluations = 823
Number of Lagrangian Hessian evaluations = 818
Total CPU secs in IPOPT (w/o function evaluations) =
Total CPU secs in NLP function evaluations =
                                                                                                            82.347
                                                                                                              1.295
EXIT: Optimal Solution Found.
```

Figure 17 - Itération et solution optimale

Figure 18 - Affichage de la solution







```
status': 'ok'}
```

Figure 19 - Affichage de la solution (suite)

2.5 Explication du code

Le code est directement commenté. De plus un tutoriel au format HTLM permet de comprendre le modèle physique associé au réseau de chaleur. Il est disponible dans le répertoire \docs

[Projet SIGOPTI : Livrables MT4 18 / 18 **©NOBATEK/INEF4** 27 janvier 2020