



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

Systemes urbains et énergie : application au réseau hydraulique

PROUST Kévin

2016-2017

S9

**Directeur de recherche
MAIZIA MINDJID**

Systemes urbains et energie : application au reseau hydraulique

**Directeur de recherche
MAIZIA MINDJID**

PROUST Kevin

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES EN GENIE DE L'AMENAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENT

Le projet de fin d'études nécessite plusieurs mois de travail. Pendant ces 3 mois de travail, j'ai rencontré un certain nombre de personnes qui m'ont, accompagnées et aidées. Il est donc normal de commencer par remercier toutes les personnes qui ont compté en début de mémoire.

Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur MAIZIA, qui m'a soutenu, aidé, et avec qui j'ai établi une relation de confiance.

Mon PFE n'aurait pas pu aboutir sans l'aide et le soutien de Monsieur SERRHINI.

Mais aussi une pensée pour mes deux collègues qui m'ont permis d'avoir un œil critique à mes recherches Adrien Dardeau et Thibault Jan.

SOMMAIRE

Table des matières

Introduction.....	8
I / Explication d'un réseau d'eau potable	10
A / Production d'eau potable.....	10
1. Captage de l'eau	10
2. Traitement et acheminement de l'eau	11
B / Stockage	11
1. Château d'eau	11
1. Réservoir au sol	12
C/ Réseau Aval.....	14
1/ Modélisation du système.....	14
2/ Maillage du réseau	15
D/ Système électrique	16
1/ Station de pompage.....	16
2 / Accessoires de branchements et compteurs	17
3/ Appareils de retenue : les clapets	17
4/ Appareils de régulation	17
II/ Représentation du problème sous toaster.....	17
A/ Définition du besoin des habitants.....	17
1/ Généralité	17
2/ Calcul du besoin sur toaster	19
B/ Affectation des pompes.....	22
1/ Fonctionnement d'une pompe	22
2/ spatialisation de la pompe	23
C/ Résultat sur toaster.....	26
III/ Objectif de réduction	28
B/ Application avec la nouvelle installation	29

Introduction

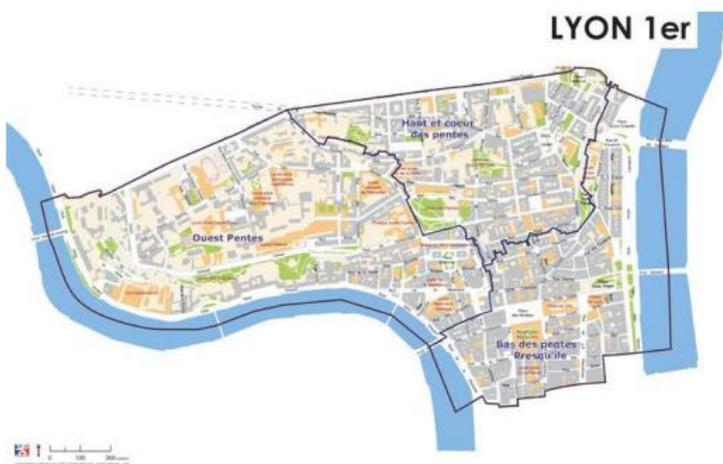


Figure 1: Carte du 1er arrondissement de Lyon (69)

La ville est composée de systèmes techniques organisés en réseaux. Chaque dispositif est supposé satisfaire les besoins des habitants en fournissant l'énergie.

L'énergie est autour de nous, elle se décline sous différentes formes : la matière (eau, gaz, énergie renouvelable) ou des transports (mobilité) sont habituellement traitées, en urbanisme et en aménagement, de manière séparée.

Or chaque système a besoin de l'autre pour fonctionner. En effet, pour fournir de l'eau, le système hydraulique exige

de l'énergie électrique pour pouvoir l'acheminer d'une source vers sa destination. Les systèmes sont donc interdépendants et connectés par des dispositifs MATÉRIELS les reliant deux à deux (des pompes, capteur, etc.).

Afin de reconstituer, à terme, l'architecture globale du système urbain, il s'agit dans ce PFE, et en première approche d'examiner ces dispositifs pour uniquement deux systèmes : le système hydraulique et le système électrique.

Pour ce faire, j'ai décidé d'orienter mon terrain d'étude dans la ville de Lyon (69). Cependant, j'ai rencontré plusieurs difficultés qui ne m'ont pas permis d'étendre mes calculs sur toute la ville.

C'est pourquoi je me suis cantonné au 1^{er} arrondissement de la ville de Lyon. Cependant, je pourrai donner un résultat approximatif sur toute la ville. Je me suis orienté vers le 1^{er} arrondissement de Lyon pour sa topographie. En effet, comme vous pouvez le voir sur l'image ci-dessous, ce quartier possède un grand dévers, d'où une complexité plus grande pour acheminer l'eau.

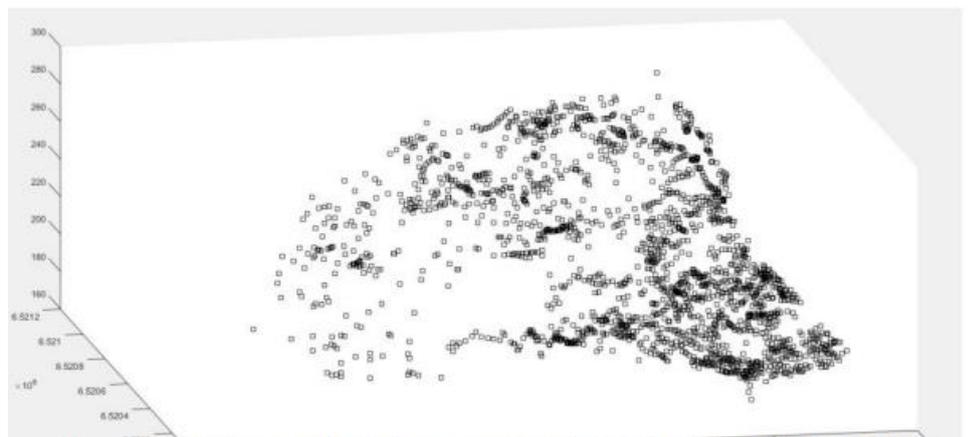
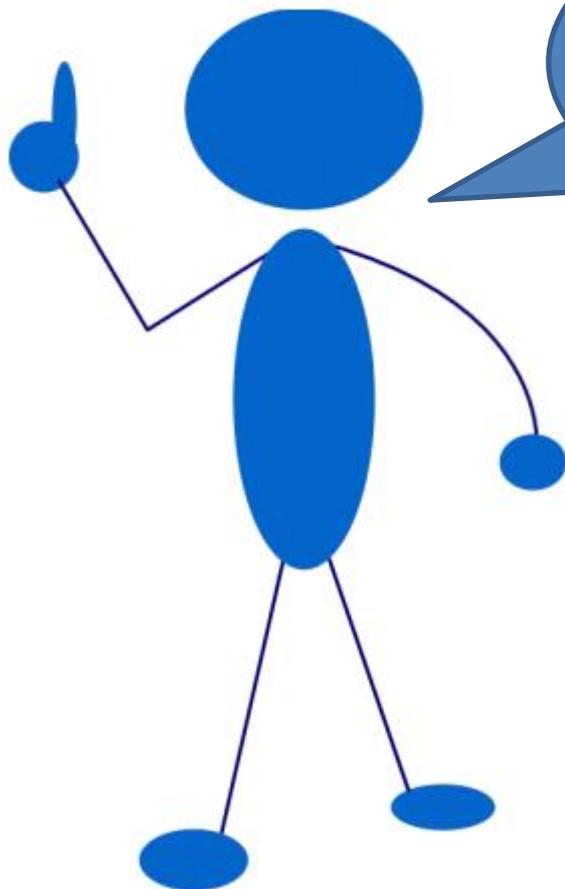


Figure 2: Spécialisation 3D des bâtiments du 1ER Ar de Lyon (réalisé par Kévin PROUST)

Mes objectifs pour ce projet de fin d'études sont les suivants :

- - Décrire matériellement le système hydraulique
- - Décrire matériellement les dispositifs électriques qu'il contient (pompes, régulateurs, etc.)
- - Décrire son fonctionnement en mettant en relation les besoins des habitants en eau potable et les consommations électriques à partir d'un modèle « toaster »
- - Scénariser ce fonctionnement de manière dynamique en modifiant les besoins des habitants



**POUR UNE BONNE
IMMERSION DANS MON PFE
VOICI UNE PETITE VIDEO
QUI VOUS EXPLIQUERA LE
CHEMIN DE L EAU :**
<https://www.youtube.com/watch?v=>

I / Explication d'un réseau d'eau potable

Le sujet de mon Projet de Fin d'Études se concentre essentiellement sur la partie distribution d'eau potable. Cependant, pour un souci de compréhension, j'ai voulu faire une partie succincte sur l'amont de mon terrain d'étude, la production d'eau potable.

A / Production d'eau potable

Le réseau français d'alimentation en eau potable s'étend sur plus de 920 000 kilomètres. Il regroupe l'ensemble des équipements, des services et des actions permettant de produire et de distribuer, à partir d'une eau brute, une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur. On distingue deux grandes étapes : la production d'eau potable (captage, traitement, adduction et stockage) et la distribution d'eau potable jusqu'au robinet des consommateurs. Mon objectif est de décrire, modéliser et de m'intéresser du stockage jusqu'à la distribution finale.

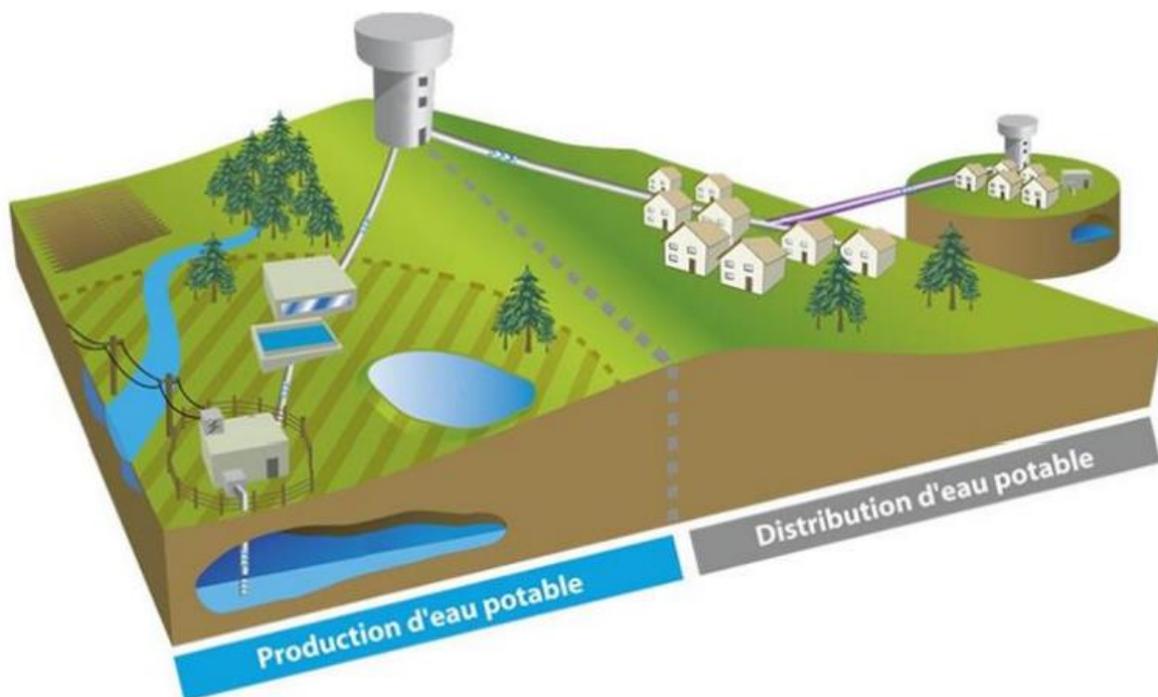


Figure 3: Source SYDED du Lot

1. Captage de l'eau

Le captage, ou prélèvement, de l'eau peut se faire dans trois réserves différentes d'eau naturelle :

- les eaux souterraines (aquifère, nappes phréatiques profondes, rivières souterraines, nappes d'accompagnement de cours d'eau) ;
- les eaux de surface captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves) ;
- les eaux de mer et les eaux saumâtres.

Lorsque l'eau provient d'une source, le captage est dit superficiel. Dans ce cas, une partie de l'eau est prélevée grâce à l'installation d'un système de drainage raccordé au réseau d'eau.

Lorsque l'eau est pompée dans une nappe, le captage est dit souterrain. Dans ce cas, un forage est réalisé, et l'eau pompée est ensuite injectée dans le réseau d'eau potable.

2. Traitement et acheminement de l'eau

L'eau pompée dans une rivière ou captée par forage ne peut pas être consommée directement et doit subir plusieurs traitements avant d'être potable : retrait des plus gros éléments, réaction chimique pour ôter les particules restantes, filtration, etc.

Les traitements nécessaires dépendent beaucoup de la qualité de l'eau utilisée. Ils varient aussi avec le niveau d'exigence et les normes appliquées, différents suivant les pays.

Une fois l'eau mise à disposition pour l'utilisateur, elle est acheminée dans le réseau d'adduction, appelé aussi réseau primaire. Il désigne les canalisations de diamètre supérieur à 300 millimètres qui permettent le transfert de l'eau entre le captage (source ou forage) et le réservoir de stockage.

B / Stockage

Une fois traitée, l'eau est stockée dans des réservoirs de deux types : les bâches au sol ou semi-enterrées et les réservoirs sur tour, appelés également châteaux d'eau. Le choix dépend de la localisation du réservoir. En effet, pour permettre un acheminement de l'eau aux consommateurs dans de bonnes conditions, il est nécessaire que la différence d'altitude entre le réservoir et les habitations soit suffisante pour avoir une pression correcte, l'acheminement de l'eau se faisant par gravitation.

1. Château d'eau

Le principe du château d'eau est simple, situé sur le point culminant de la zone à satisfaire il utilise la gravité pour amener l'eau potable à une pression donnée (3bars). C'est un réservoir surélevé qui sert de stockage et de point de distribution.

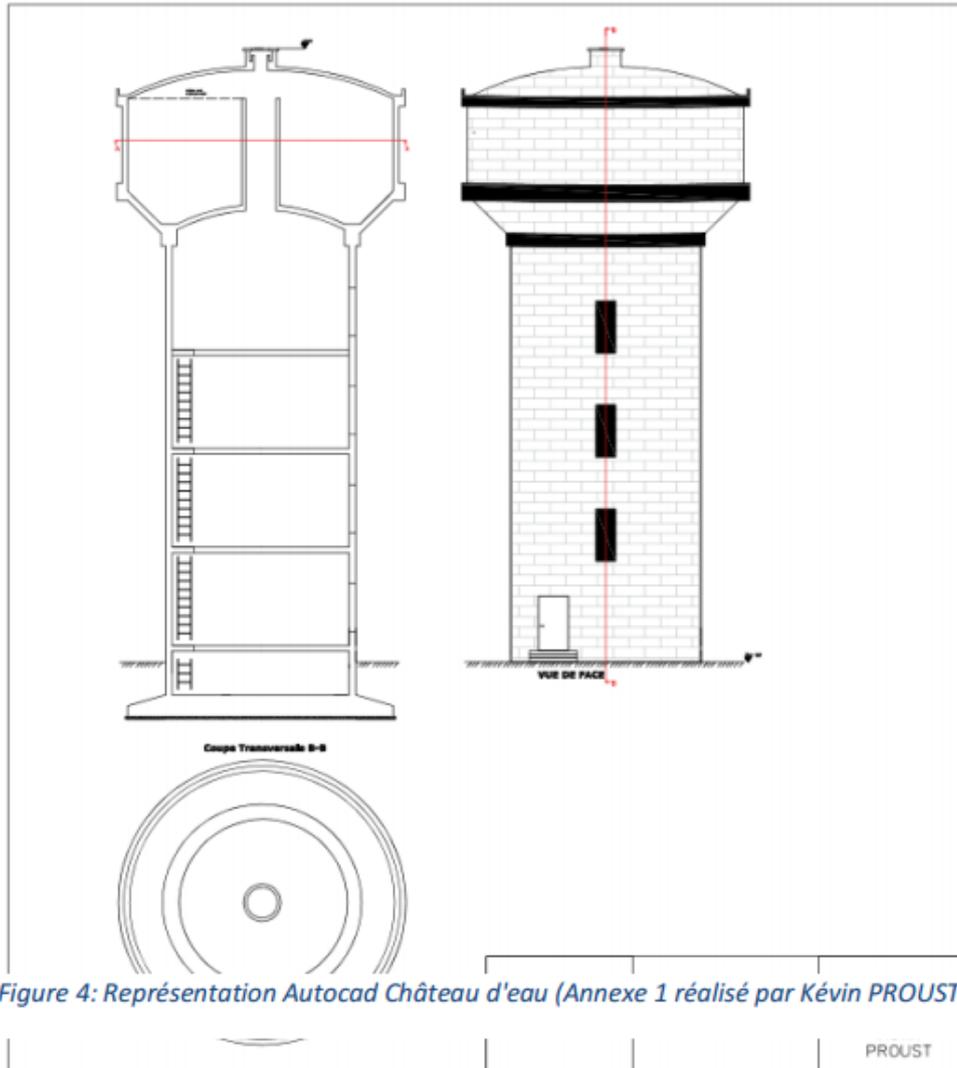


Figure 4: Représentation Autocad Château d'eau (Annexe 1 réalisé par Kévin PROUST)

1. Réservoir au sol

Lorsque la topographie permet de disposer d'un point haut dans l'environnement de la distribution, le réservoir au sol est la solution adéquate.

Les réservoirs emmagasinent l'eau lorsque la consommation est inférieure à l'alimentation, notamment en période nocturne, et ils la restituent au fur et à mesure des demandes, sollicités en particulier lors des points de consommation. Ils jouent le rôle régulateur de volants économiques de distribution, liés à la tarification de l'énergie.

Les réservoirs au sol circulaire ou rectangulaire peuvent être en béton armé coulé en place, à parois minces précontraintes ou industrialisées.

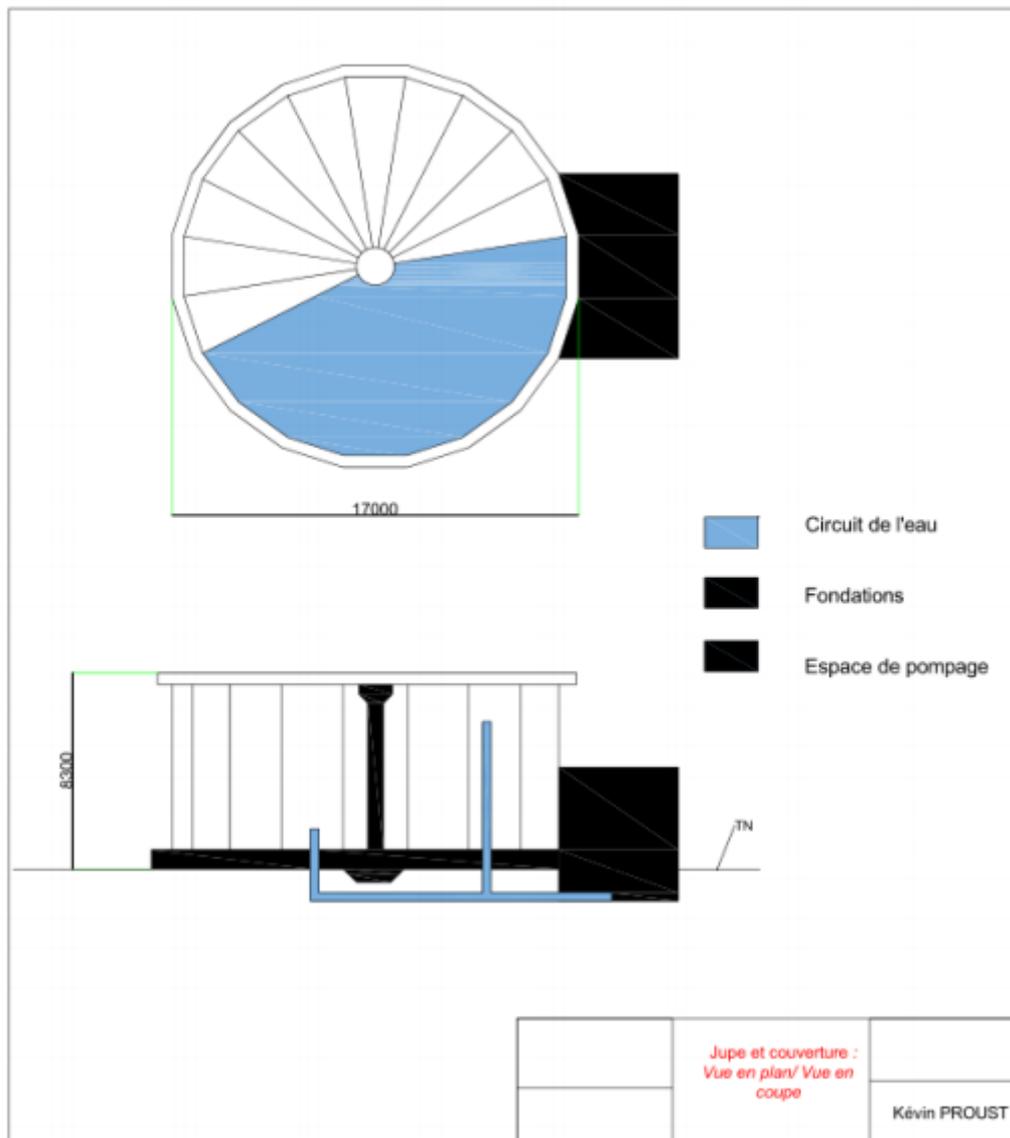


Figure 5: Représentation Autocad réservoir d'eau (Annexe 2 réalisé par Kévin PROUST))

Le réservoir au sol repose sur la même technique que les châteaux d'eau. En effet, ils sont présents pour le stockage de grande quantité d'eau (capacité de 24h). Ils possèdent deux grands avantages :

- Le coût d'investissement est plus faible. Par contre, le coût de fonctionnement sera plus important qu'avec un château d'eau. Il est moins coûteux d'enterrer un réservoir que de l'élever, cependant le réservoir au sol ne bénéficiera pas de la même pression qu'un château d'eau, ce qui engendrera des coûts supplémentaires. Ses derniers concernent principalement le surpresseur qui permet de faire monter de l'eau à des pressions élevées pour le réseau d'acheminement.

- Pour les personnes allergiques à la vision d'un château d'eau, il est incontestable qu'un réservoir au sol est très peu visible dans le paysage. Par contre, l'appréciation esthétique est très variable d'une personne à l'autre et on peut affirmer que certains châteaux d'eau sont assez réussis sur le plan de l'esthétique.

2/ L'eau en déversé dans la partie haute du château d'eau. Pour pouvoir utiliser la gravité/

1/ Grâce à un système de pompage l'eau se dirige vers le stockage.

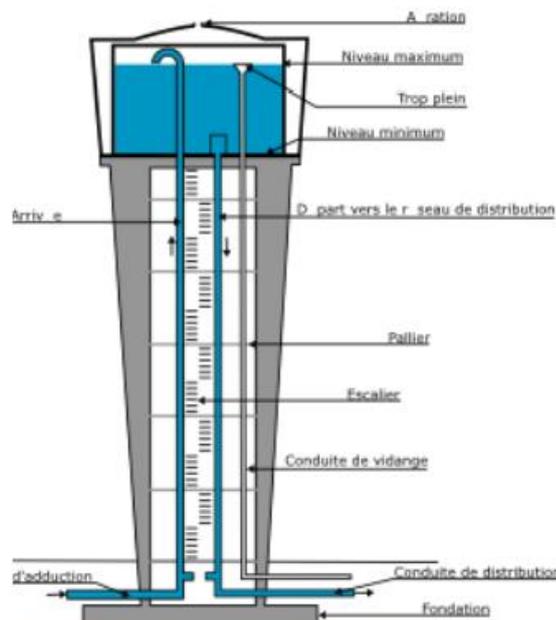


Figure 6 : Schéma explicatif du fonctionnement

3/ Un trop-plein est prévu pour éviter la surcharge. Ainsi que des capteurs de niveau.

4/ Une réserve est prévue pour les incendies.

5/ Sortie de l'eau sous pression (environ 3bars)

1/ Modélisation du système

Dans tous les cas, la pression de service doit permettre d'assurer en permanence l'alimentation des immeubles les plus élevés existants ou les hauteurs inscrites aux documents d'urbanisme.

Une pression minimale de 2m d'eau est nécessaire sur les robinets les plus hauts. Il ne faut d'ailleurs pas oublier que les canalisations intérieures et les accessoires occasionnent une perte de charge importante. De plus, la pression au sol doit être au moins égale à 10mètres pour les besoins du service c'incendie.

Sont à éviter les pressions trop élevées et les surpressions qui risquent d'accroître les fuites aux joints, aux branchements et aux robinets. En principe, il est recommandé de ne pas dépasser 4M d'eau dans l'agglomération. En fait, il est admis des pressions plus élevées, de 50 à 60 m, voire > 80m d'eau. Il est préférable, dans ce cas, de prévoir l'emploi d'un réducteur de pression sur le réseau de distribution.

2/ Maillage du réseau

- ✚ Le réseau ramifié : il est appelé ainsi, car il possède topologiquement une structure d'arbre. Pour ce type de réseau, à partir d'une conduite centrale, on met en relation plusieurs canalisations secondaires, tertiaires, ... etc. jusqu'à chaque compteur individuel. Un tel système présente un grave défaut ; dans une conduite donnée, l'eau circule toujours dans le même sens. Donc, une panne dans la conduite entraîne la perte de service pour tous les usagers situés en aval.

Avantage : économique

Inconvénient : Manque de sécurité (en cas de rupture d'une conduite principale, tous les abonnés situés à l'aval seront privés d'eau).

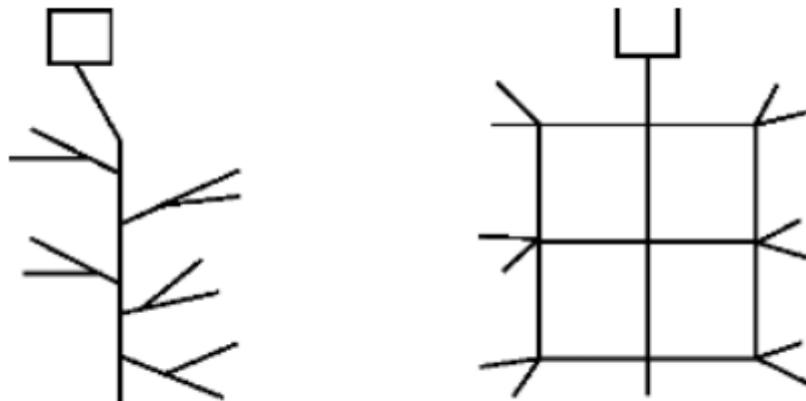


Figure 7: Exemple de Réseau (ramifié & maillé)

- ✚ Le réseau maillé : ce type de réseau est constitué de boucles. Le sens de l'écoulement varie fréquemment selon la demande de certaines conduites. En effet, le nombre d'abonnés non desservis en cas de panne ou de réparation est réduit au maximum puisque l'eau peut atteindre un même point par plusieurs chemins. L'autre intérêt est que la vitesse d'écoulement de l'eau est rarement nulle, ce qui offre l'avantage de maintenir la bonne qualité de l'eau distribuée.

Avantage : Plus de sécurité (en cas de rupture d'une conduite, il suffit de l'isoler et tous les abonnés situés à l'aval seront alimentés par les autres tronçons) avec une répartition plus uniforme de pression et du débit.

Inconvénient : Plus coûteux et plus difficile à calculer.

Pour le projet il est recommandé d'appliquer un réseau maillé pour les grandes villes, ceci est dû aux gages de sécurité.

D/ Système électrique

Mon objectif pour le PFE est de recenser tous les appareils qui demandent de l'énergie électrique. Ceci dans le but de pouvoir calculer leur demande et la quantifier, cependant la consommation d'électricité dans un réseau d'eau potable est due aux ateliers de pompage à 95%. C'est pourquoi j'ai fait le choix de cibler mes calculs sur les pompes seulement. Vous trouverez ci-après le recensement de tous les appareils électriques.

1/ Station de pompage

Les différents constituants des stations de pompage relèvent de particularités selon qu'il s'agit d'eau brute ou traitée, de tête de prise d'eau, de relevage, de refoulement à partir d'un bassin ou d'un réservoir ou d'une bache, avec une installation :

- à l'abri des eaux
- à pompes immergées et moteur sec

Les divers éléments concernés sont :

- Les types de pompes adaptés à la nature de l'eau et à la configuration aspiration/refoulement à axe horizontal ou vertical ;
- Les équipements hydrauliques annexes de fonctionnement et de protection ;
- Les moteurs et l'alimentation en énergie courante et de secours, avec les systèmes de contrôle commande et les automatismes associés ;
- les infrastructures et structures génie civil

Pour la suite du projet, je fais l'hypothèse que les pompes sont de type volumétrique. Ces derniers ont une rotation axiale ou alternative à piston, elles sont essentiellement utilisées pour la surpression, offrant des hauteurs manométriques totales (HMT) plus élevées que les pompes centrifuges. Vu la topographie du terrain, il faudra une forte pression dans les canalisations. Cependant, les débits sont plus faibles ne dépendant pas des caractéristiques du réseau. Le rendement est excellent, souvent voisin de 90%

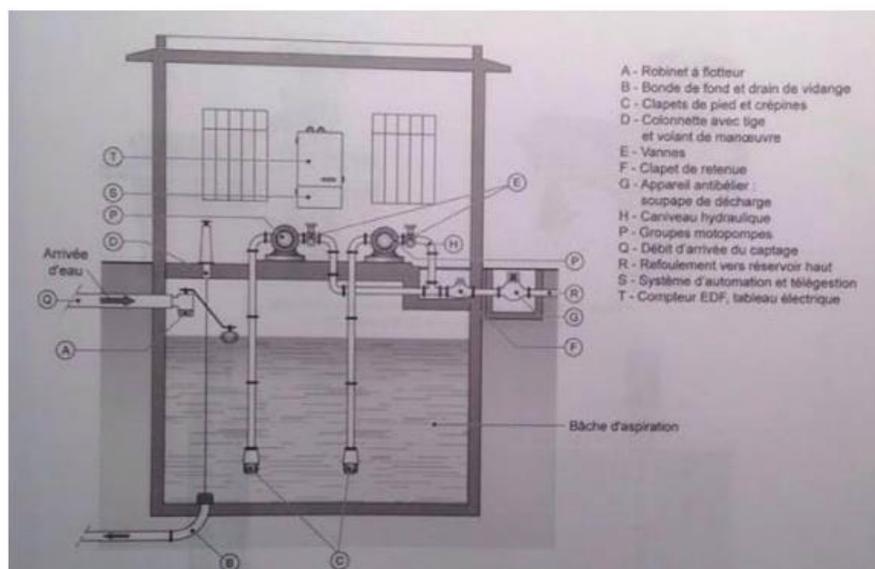


Figure 8: Exemple d'installation de relevage

Le fonctionnement d'une pompe est simple : le moteur transforme l'énergie thermique ou électrique en énergie mécanique pour permettre aux pompes de déplacer un liquide d'un point à un autre, de transmettre cette énergie mécanique au fluide, qui se traduit sous la forme de débit (énergie cinétique). Cette énergie fluide s'échange et se consomme dans le système d'alimentation ou de distribution d'eau.

2 / Accessoires de branchements et compteurs

La prise d'eau sur une conduite destinée à l'alimentation d'antennes, d'appareils et de branchements d'immeubles privés, de lotissements, s'effectue sur le même principe :

- Robinet de prise à vide ou en charge
- Grillage avertisseur de couleur conventionnelle au-dessus du branchement
- Robinet d'arrêt avant compteur
- Compteur général ou individuel

3/ Appareils de retenue : les clapets

Les clapets de retenue s'installent généralement sur la conduite d'aspiration ou de refoulement pour retenir automatiquement la colonne d'eau à l'arrêt du pompage.

4/ Appareils de régulation

Toute une gamme modulaire d'appareillages et de pilotes assure la régulation et l'optimisation fonctionnelle des réseaux d'ouvrages connexes, entre eux :

- Régulateur de pression
- Purgeur
- Robinet automatisé
- Capteur

II/ Représentation du problème sous toaster

A/ Définition du besoin des habitants

1/ Généralité

Plusieurs auteurs préconisent d'adopter, pour les prévisions d'urbanisme en France, les doses domestiques suivantes :

- 200 l/hab/j pour les petites opérations ;
- 250 l/hab/j pour les agglomérations de 10 000 habitants.

Ce sont, de notre point de vue, des valeurs maximalistes qui ne sont retrouvées que rarement, en raison du renchérissement du prix de l'eau. Il faut plutôt considérer les valeurs suivantes :

- Dans les intercommunalités, il faut se référer aux composantes urbaines et non à l'ensemble. Il est en effet fréquent de constater des doses globales (intégrant commerces et petites activités) de seulement 200 l/hab/j ;
- En milieu rural traditionnel, qui diffère du milieu rural résidentiel, la dose unitaire d'eaux est de l'ordre de 150 l/hab/j ;
- en périphérie des centres urbains, la dose unitaire, compte tenu des pertes pour usages externes (arrosage des jardins, lavage des voitures, etc.), ne devrait pas dépasser 250 l/hab/j ;
- en immeubles collectifs (HLM) à niveau socio-économique bas, la consommation est inférieure à 160 l/hab/j ;
- en ce qui concerne les résidences, villas, chalets avec un confort élevé de robinetterie plus débitante et une occupation renforcée, il existe une relation linéaire entre le nombre de pièces principales d'habitation et la consommation d'eau journalière dont la formule proposée est :

$$Q_{ei} = 50 n_p + 100$$

Avec :

Q_{ei} : quantité d'eau journalière ;
 N_p : nombre de pièces principales.

Mon objectif est de déterminer le besoin électrique à l'instant « t » c'est pourquoi connaître la consommation journalière n'est pas suffisant. Je vais donc devoir utiliser la courbe de consommation moyenne des Français pour voir les variations au cours d'une journée.

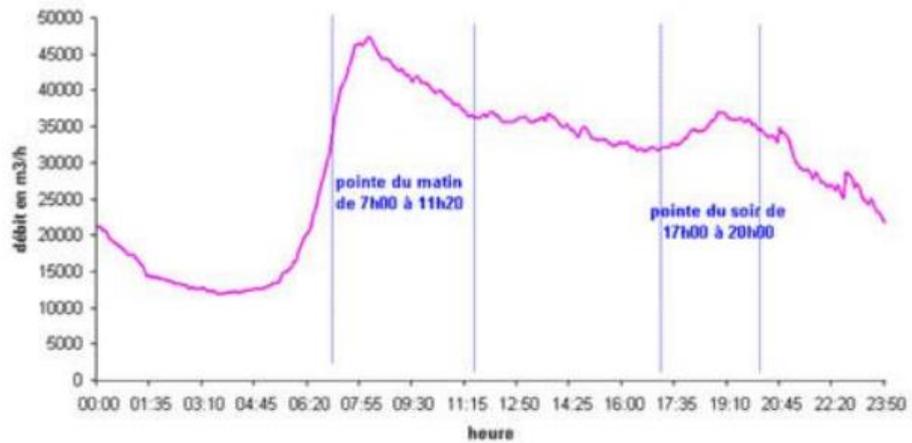


Figure 9 : Courbe de charge de la consommation journalière en eau

2/ Calcul du besoin sur toaster

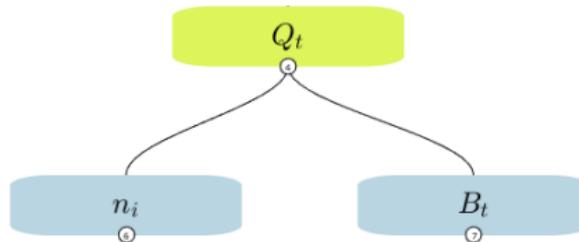


Figure 10: Variables extraites de toaster (réalisé par Kévin PROUST)

Q_t : Débit journalisé en m3/h	
4	$B_t = n_i \cdot B_t$
n_i : Nombre de personnes	
6	$0 \leq n_i \leq 10000$
B_t : Besoin en eau par personne sur une journée en M3/H	
7	$0 \leq B_t \leq +\infty$

Figure 11: Explication des variables toaster (réalisé par Kévin PROUST)

Nous savons que le besoin varie dans le temps c'est pourquoi la variable 7 est une courbe de tendance se rapprochant de l'image 6 ci-dessus. Elle a été créée pour un foyer moyen Lyonnais soit 2,2 personnes puis ramenée pour une personne :

Type de ménage	Personne seule	Couple sans enfant et famille monoparentale	Couple avec 1 enfant			
Nombre de personnes	1	2	3	4	5	6
Pourcentage à Lyon	34,3	34,3	31,4			
Pourcentage à Lyon	34	34	14	12	4	1

→ Soit un total de 219 personnes ramené sur 100 nous donne environ 2,2 personnes. J'ai donc retranscrit la consommation d'un foyer de 2,2 personnes en semaine, avec une consommation qui dépend du fonctionnement des équipements. Bien entendu la répartition des consommations dépend du type d'habitat et du niveau de vie. Il ne faut donc pas s'étonner d'une grande fluctuation, mais il est possible de fournir à partir du niveau d'équipement les ordres de grandeur suivant :

Type d'équipement	Ordre de grandeur de consommation
Douche	20 à 100 l
Lavabo	10 l/usage
Bain	50 à 200 l
Chasse d'eau	6 à 15 l
Lessive	60 à 120 l
Vaisselle	5 à 15 l
Lave-vaisselle	13 à 25 l

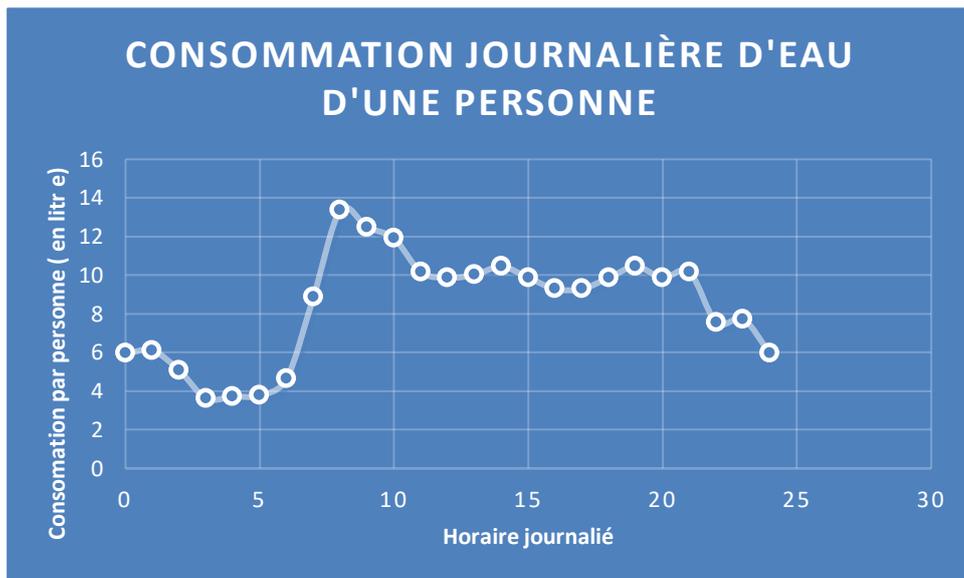


Figure 1 : Courbe de charge journalière pour la consommation d'une personne (réalisé par Kévin PROUST)

Grâce à l'ajout de la consommation journalière unitaire. Une fois créée je l'ai intégré sur toaster en format 1 : 24 :

Figure 2 : Courbe de charge journalière pour la consommation d'une personne (réalisé par Kévin PROUST)

arge
ne d'une

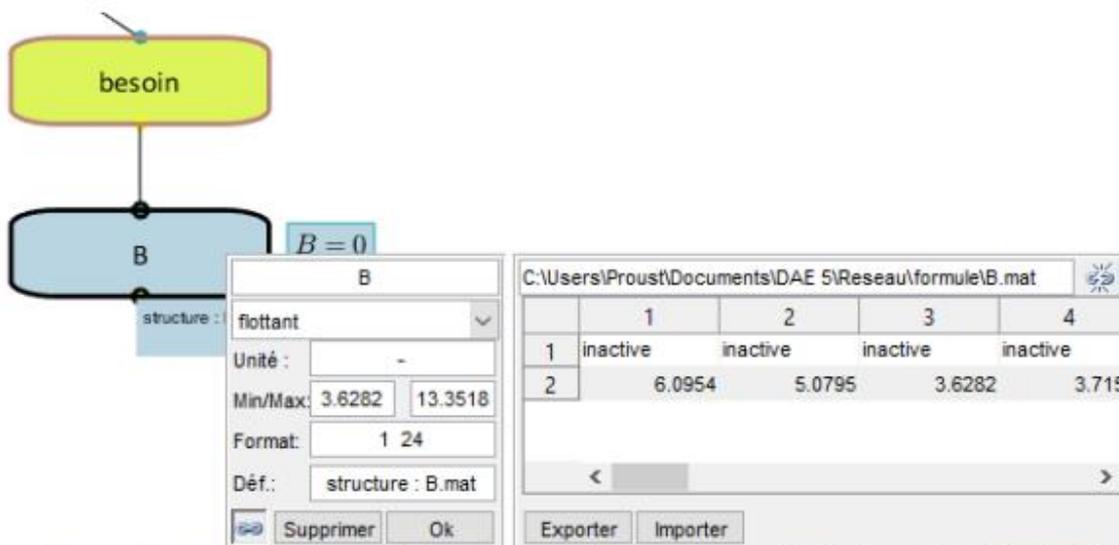


Figure 13 : Exemple d'importation d'une matrice sous toaster (réalisé par Kévin PROUST)

Les besoins vont varier en fonction de la saison en effet en hiver la consommation d'eau est plus forte qu'en été dû au chauffage qui est pour la plupart de foyer à l'eau chaude. Enfin, la variable Q_t à un format de 24 95, elle représente la consommation sur les 24h et 95 représente la répartition des secteurs de mes pompes. Explication des matrices :

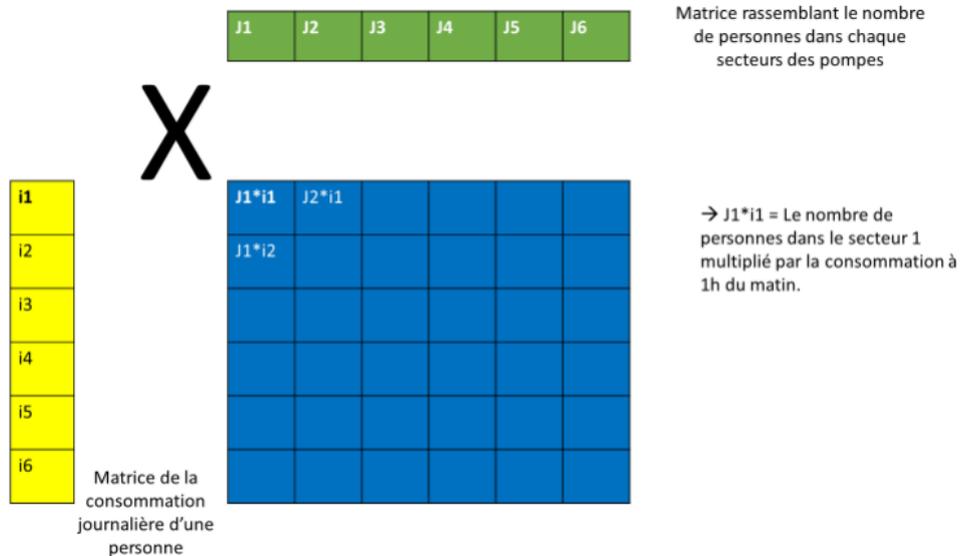


Figure 14 : Explication d'un calcul de matrice (réalisé par Kévin PROUST)

B/ Affectation des pompes

1/ Fonctionnement d'une pompe

Energie mécanique en charge hydrostatique (fluide sur circuit ouvert)

$$P = Q \times \rho \times \Delta H \times 9.81$$

Avec :

P = Puissance transmise au fluide par la pompe en Watt.

Q = débit en m³/s.

r = masse volumique du liquide en kg/m³.

ΔH = hauteur de charge en mètre.

9.81 = Intensité moyenne de la pesanteur.

Comme nous pouvons le voir pour ce calcul deux données sont à produire, le débit Q et ΔH . Nous avons présenté dans la partie d'avant la manière de déterminer Q, pour ΔH il faudra déterminer la hauteur maximale qui dimensionnera la pompe.

Mais c'est deux données seront défini par secteur, en effet il y aura autant de Q et ΔH que d'installation de pompes. ΔH va varier en fonction de la topographie du bâti, et Q sera un débit qui variera en fonction du nombre de personne dans les immeubles.

2/ spatialisation de la pompe

Consommation

La difficulté est d'affecter une installation de relevage à des bâtiments, pour cela il faut définir les emplacements les plus stratégiques pour nos pompes. Pour ce faire, j'ai eu recours à un programme qui choisit entre différents emplacements le plus attractif pour desservir mes bâtiments.



Carte de la consommation en eau des différentes habitations sur le 1^{er} arrondissement de Lyon.

Figure 15: Carte réalisé sous Arcmap (réalisé par Kévin PROUST)

Voici le 1^{er} arrondissement de Lyon, c'est sur ce terrain d'étude que je vais tester le programme. L'échelle représente la consommation en eau des différentes habitations. En effet on peut se douter qu'il y aura plus de pompes dans les zones où la consommation est plus forte.

Programme Matlab

```
n=2044;
xb=xlsread('X_bat.xls');
yb=xlsread('Y_bat.xls');
Bb=rand(n,1);

xr=xlsread('X_r.xls');
yr=xlsread('Y_r.xls');

[V,C]=voronoin([xr,yr]);
hold on
id=[];
for i=1:numel(C)
    xv=V(C{i},1);
    yv=V(C{i},2);
    in=inpolygon(xb,yb,xv,yv);
    if sum(Bb(in))>3
        patch(xv,yv,'y')

        id=[id;i];
    end
end

xnr=xr(id);
ynr=yr(id);

[V,C]=voronoin([xnr,ynr]);
hold on
id=[];
for i=1:numel(C)
    xv=V(C{i},1);
    yv=V(C{i},2);
    in=inpolygon(xb,yb,xv,yv);
    if sum(Bb(in))>3
        patch(xv,yv,'y')
        id=[id;i];
    end
end

plot(xb,yb,'sk')
plot(xnr,ynr,'ro')
plot(xr,yr,'r.')
```

% n représente le nombre bâtiment
% xlsread fait appel à mes fichiers x
et y qui sont les coordonnées de mes
bâtiments
% Besoin de mes bâtiments
% Coordonnées de mes routes

% fonction Voronoin est une
répartition par secteur

% création d'un polygone autour des
pompes

% création des polygones autours des
pompes les plus attractives

% Dessiner en 2 D les coordonnées des
pompes, routes et bâtiments

Programme inspiré par un modèle de Mindjid Maiza

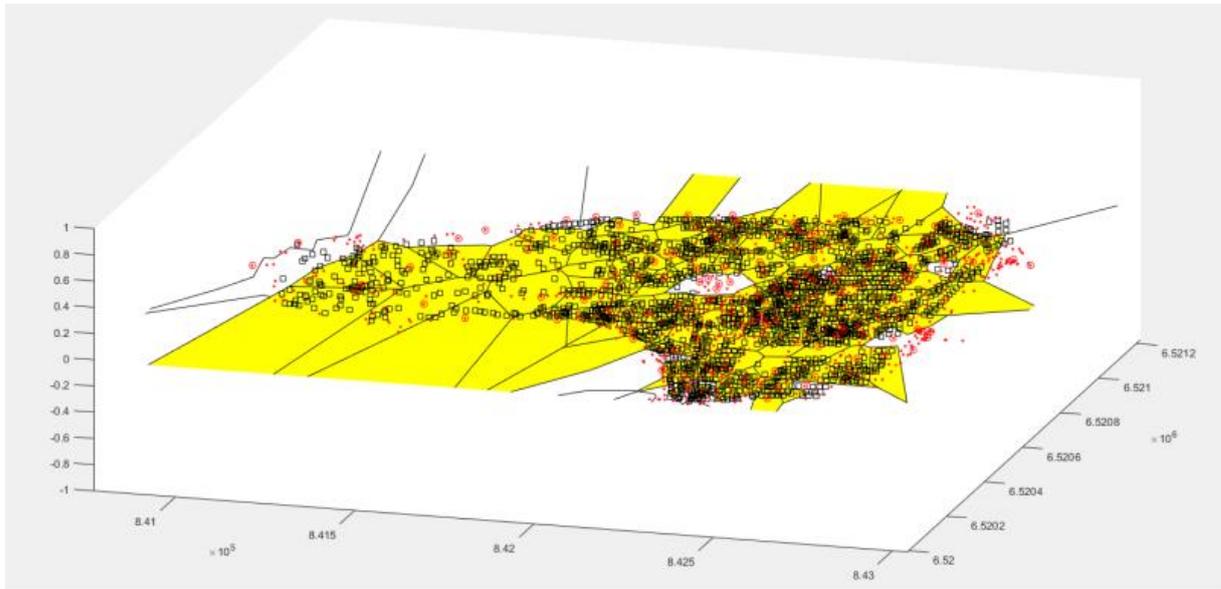


Figure 16: Spécialisation des pompes sous Matlab (réalisé par Kévin PROUST)

- Ce programme m'a permis de me fournir les « xnr, ynr » qui sont les coordonnées de mes pompes
- J'ai pu ensuite les intégrer à mon plan sur arcmap (**annexe :**) ceci m'a donné des points placés sur le centroïde de mes routes.

✚ Affectation

Répartition et affectation des bâtiments aux stations de relevage

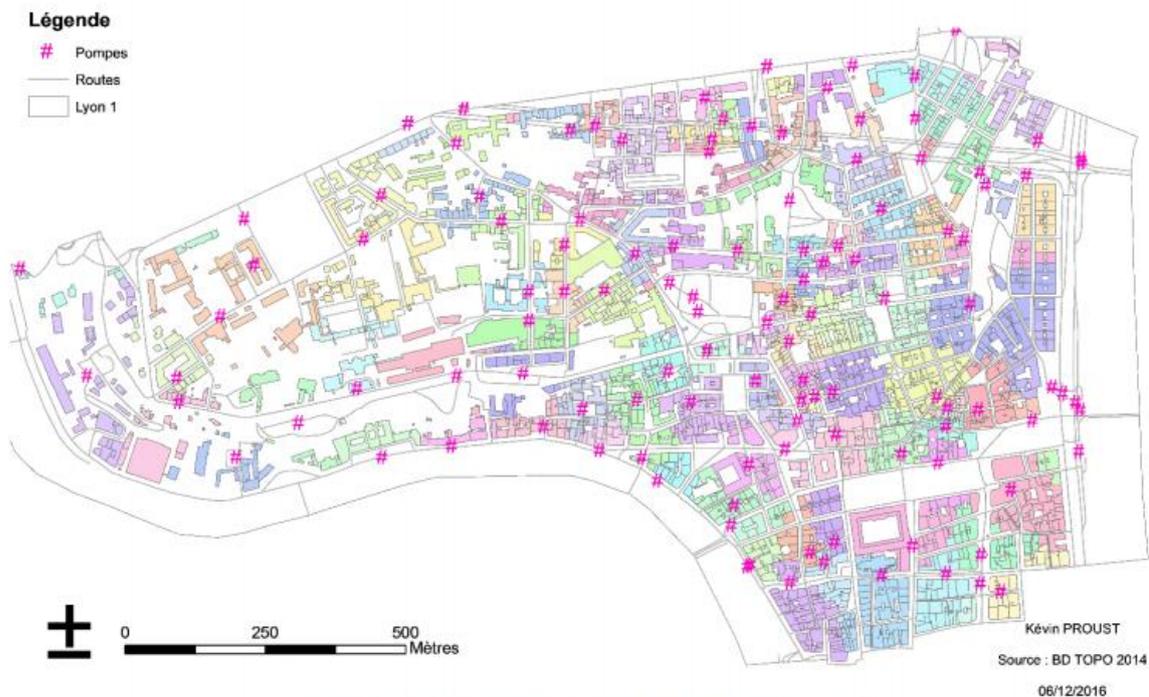


Figure 17 : Réalisé sous ArcMap (réalisé par Kévin PROUST)

- Comme il est possible de le voir sur la carte un code couleur a été mis en place, il permet d'affecter les différentes pompes aux bâtis. Ceci a été possible grâce à une affectation de distance entre les centroïdes des pompes et ceux des bâtiments.

-Ceci m'a donc donné une base de données avec toute la liste des pompes avec leur appartenance aux bâtis

- Malheureusement, et c'est essentiellement la raison pour laquelle j'ai diminué mon terrain d'étude. C'est que pour pouvoir importer les données de matlab sur toaster j'ai dû manuellement les mettre sous le forma demander par mon toaster de 1 95 (somme des habitants dans le secteur de chaque pompe) et mettre sous forme les hauteurs de mes bâtiments par secteur de pompage.

C/ Résultat sur toaster

Comme dit précédemment j'ai dû mettre en forme les hauteurs de mes bâtiments. Car cette dernière rentre dans le calcul de la puissance nécessaire pour le bon fonctionnement des stations de levages. Cependant, nous sommes contraints de dimensionner les pompes en fonction de la hauteur du bâtiment le plus haut. C'est pourquoi la variable H_i récence toutes les hauteurs des bâtiments dans le secteur de chaque station de pompage (forma : 73 95). Enfin la variable H_{max} choisit la hauteur la plus grande dans chaque secteur soit une matrice 1 95.

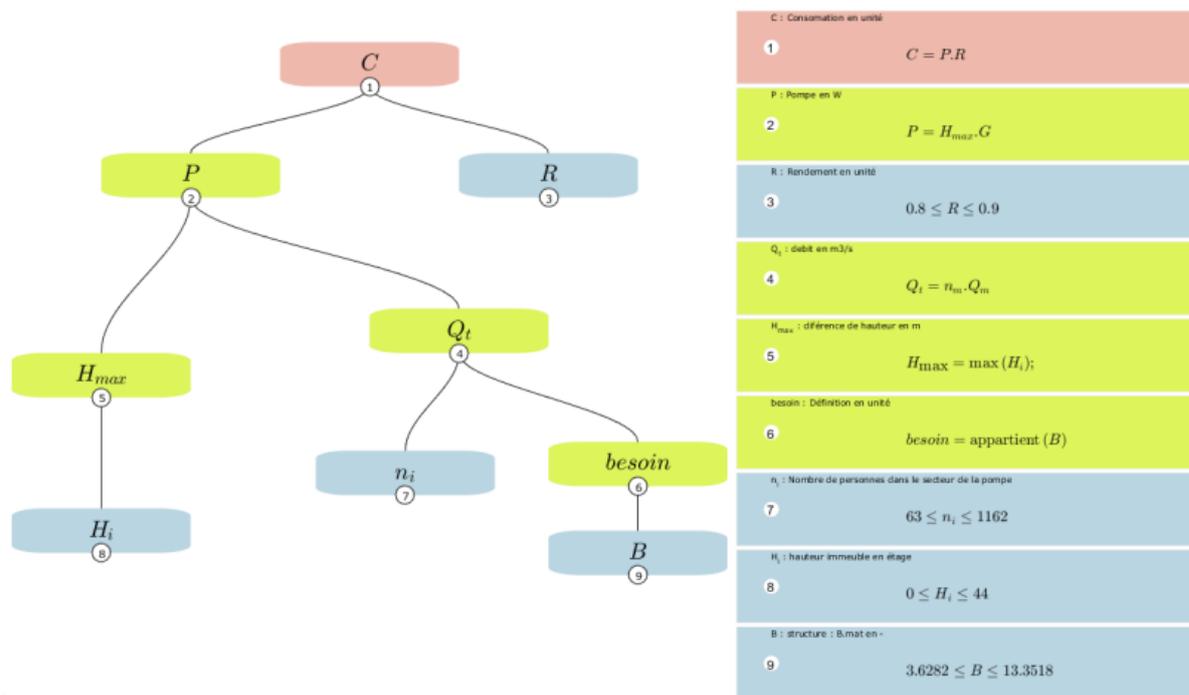


Figure 18 : Ensemble du système sous toaster (réalisé par Kévin PROUST)

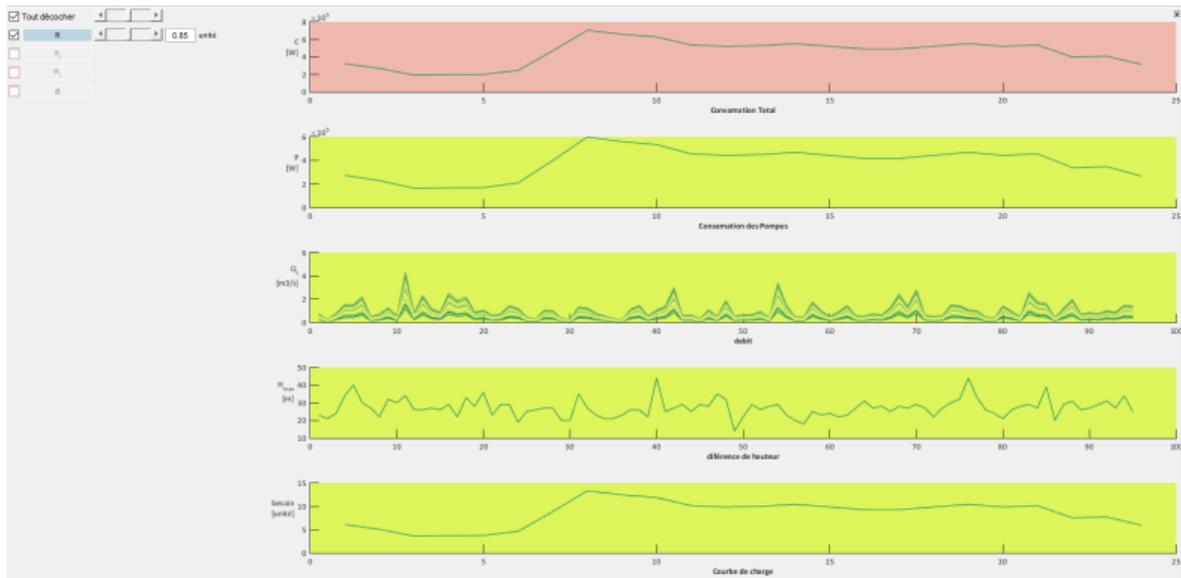


Figure 19 : Résultat du programme sous toaster (réalisé par Kévin PROUST)

On peut lire graphiquement que la consommation a le pic prévu à 7h du matin d'environ 800 000W soit 0,8MW. Ces résultats semblent cohérents, car on sait qu'une pompe d'environ 1m³ consomme environ 12kW avec une hauteur allant jusqu'à 120m. Rapportée à notre territoire, une pompe consomme environ 8 500W en pic (soit la consommation totale divisée par le nombre de pompe). Ayant choisi un terrain d'étude plutôt historique, peu de bâtiments dépassent 8 étages, soit une hauteur d'eau faible.

NOTA : Ceci représente la consommation totale d'une ville ramenée par habitant. La consommation des différentes industries ou entreprises est prise en compte. C'est pourquoi il n'y a pas de consommation nulle (axe des ordonnées égales à zéro).

→ Hypothèse :

Sachant approximativement la consommation d'une pompe, on peut connaître la consommation totale de la ville de Lyon sachant qu'il y a d'après le programme de Matlab 2 718 pompes sur tout le territoire de Lyon.

Ceci représenterait environ 23 MW pour alimenter une ville comme Lyon sans utiliser l'inertie des châteaux d'eau.

III/ Objectif de réduction

A/ Système mis en place

Dans cette partie, je vais insérer des systèmes existants qui réduisent la consommation en eau d'un foyer. Ceci aura donc normalement une incidence directe sur la consommation en énergie électrique.

J'ai choisi les systèmes de réduction d'eau en fonction de leur rendement, de leur coût, mise en place et maintenance. En effet il faut que le produit proposé soit disponible pour l'ensemble de la population sinon les calculs ne reflèteront pas la réalité :

➤ **Limiteur de pression/douchette économique**

Les limiteurs - ou régulateurs - de débit permettent, comme leur nom l'indique, de limiter le débit à la sortie d'un robinet ou d'un flexible de douche. Le débit initial dépend de l'installation (voir d'où vient la pression au robinet), avec les limiteurs, la pression sera toujours constante. Les limiteurs, qui sont en réalité des mousseurs améliorés, permettent théoriquement d'avoir la même sensation de pression avec un débit plus faible et donc moins d'eau. Cela grâce à l'effet venturi, c'est-à-dire que l'on crée plus de turbulences dans l'écoulement de l'eau, ce qui provoque plus de pression en mélangeant plus d'air à l'eau.

Soit :

- Même sensation
- Limitation de 50% la consommation

➤ **Mousseur pour robinet**

Plus de 90% des robinets utilisent un mousseur (qui fait que l'eau qui en sort est "blanche"). Cependant, de nouvelles technologies de mousseurs permettent là encore d'avoir la même sensation de débit, tout en réduisant les consommations d'eau.

Soit :

- Même sensation
- Insertion d'air dans l'eau
- 30 à 50 % d'économies

➤ **Les chasses d'eau bipuissance**

A l'heure actuelle, c'est sur les consommations d'eau des chasses d'eau que l'on communique le plus et à juste titre, puisque c'est le deuxième poste de consommation d'eau. La mise en place de chasses d'eau économiques (bipuissance) est aujourd'hui très répandue, surtout pour les équipements neufs. Cependant, il est également possible de changer le mécanisme soi-même, pour un coût d'une vingtaine d'euros. Passer d'un équipement qui consomme 10L d'eau/utilisation à un 5L/10L (ou 3L/6L) par utilisation peut réduire de 30% les consommations d'eau des WC..

Soit :

- Consommation initiale de 10L à 3/6L
- 50% d'économies

➤ Sac économiseur d'eau

Le titre résume assez bien la fonction de ce produit. En effet, le sac rempli d'eau, et ce jusqu'à 2L, permet de limiter la quantité d'eau à chaque chasse, ce qui représente des économies importantes.

- Réduit de 2L le contenu de la chasse d'eau

B/ Application avec la nouvelle installation

Hypothèses

- 1m³ d'eau coûte 3€
- On considère un ménage (moyenne lyonnaise de 2,2 personnes)
- Le débit initial de la douche est de 12L/min
- Utilisation de la douche estimée à 8 min par jour
- Les toilettes sont équipées de chasse d'eau double commande (cette installation est répandue, donc elle n'est pas prise en compte dans les calculs)

Économies :

- Pour la douche, une économie de 32L/j soit plus de 11,7m³ en 1 an
- Pour les toilettes, en ajoutant le sac économiseur permet une réduction en moyenne de 6L/j soit 2.2m³ par an

Soit une économie totale de 38L/j, soit 14m³/an. Pour visualiser l'économie sur une courbe de charge, il faut définir quand elle a lieu et non pas l'intégrer sur la journée (erreur faite lors de mon premier raisonnement). La réduction des douches qui est la plus grande sera donc intégrée sur la pointe du matin et de la soirée.

CONSOMMATION JOURNALIÈRE D'EAU D'UNE PERSONNE

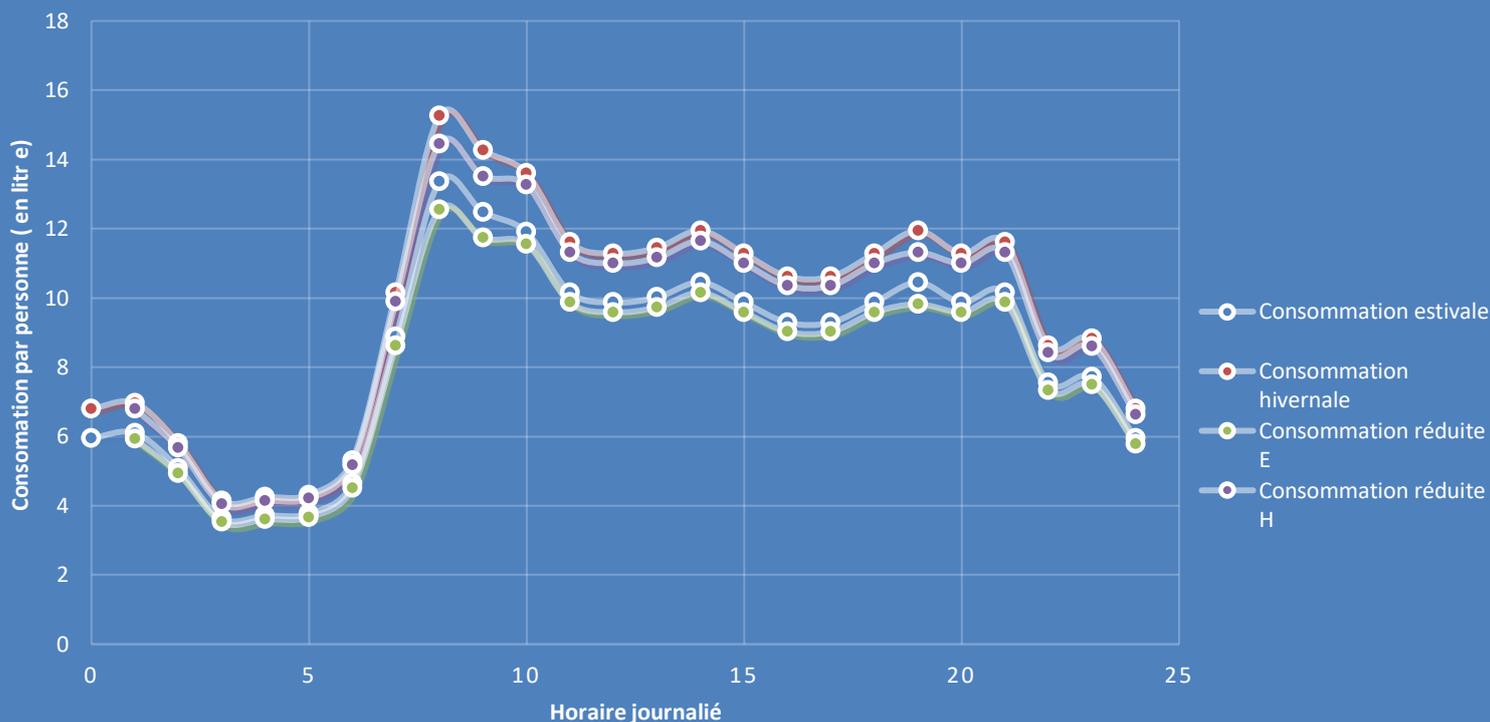


Figure 3 : Consommation journalière d'eau d'une personne avec et sans système de réduction

Sur cette courbe on aperçoit une diminution légère qui revient à l'économie faite pour le système de chasse d'eau, mais on peut voir une nette diminution au pic matinal (de 8h à 9h) et en soirée (19h) qui montre la diminution du système de douche.

On peut donc en déduire que plus on installe de systèmes plus la consommation d'eau va diminuer. Donc nous sommes censés apercevoir une diminution nette sur la consommation électrique à l'échelle du quartier, au niveau des pics de consommation.

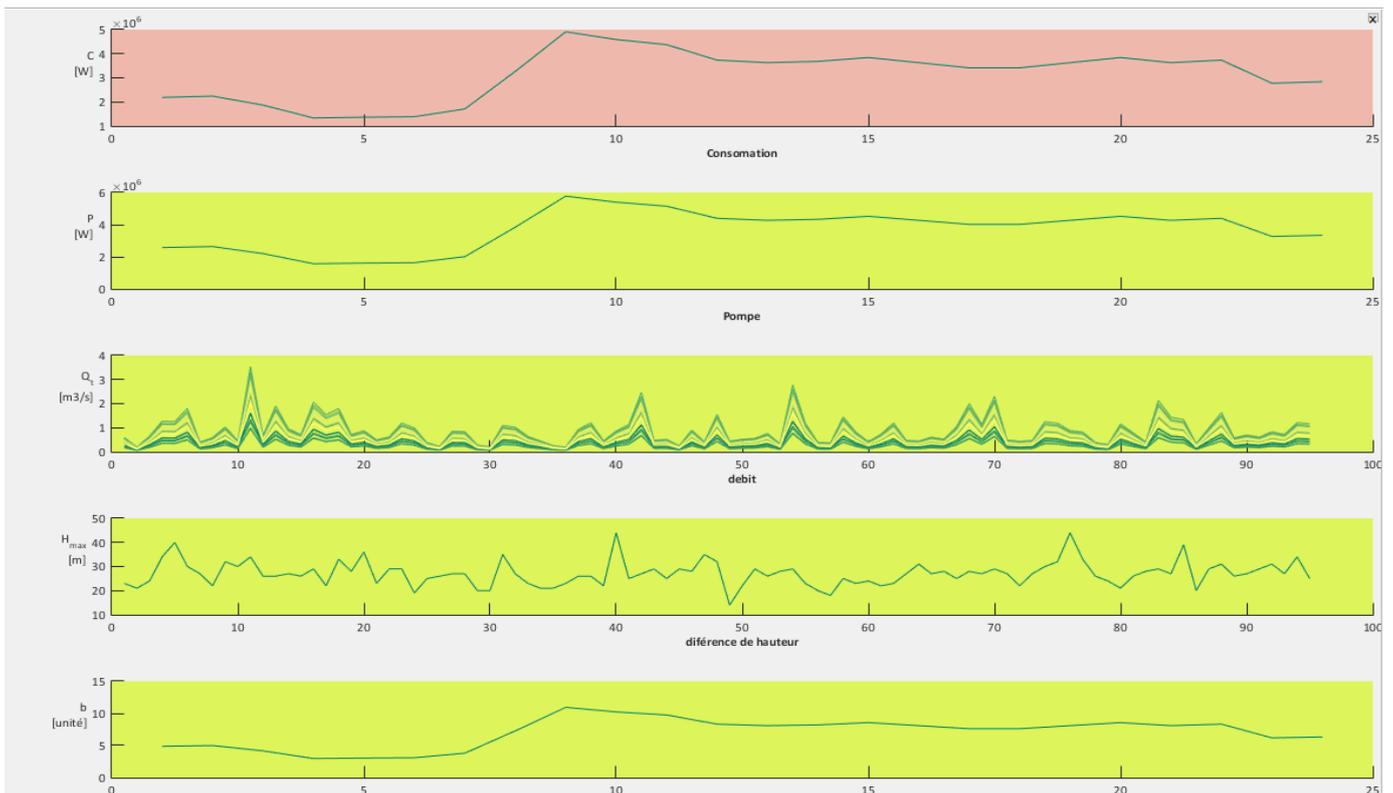


Figure 4 : Consommation électrique du terrain d'étude avec les systèmes de diminution sur toaster (réaliser par Kévin Proust)

Effectivement, on aperçoit une diminution de plus 2 MW entre la courbe ci-dessus qui représente la consommation estivale avec les systèmes de réductions d'eau et celle de la consommation estivale sans les systèmes de réductions d'eau (figure 19).

Nous pouvons conclure que l'application de système de réduction d'eau de quelques litres par jour à une grande importance sur la consommation d'un quartier et encore plus d'une grande métropole comme Lyon.

Bibliographie

Référence internet :

- http://conseils-thermiques.org/contenu/reduire_sa_facture_d_eau_sans_investissement.php
- http://dbm-energie.fr/Joomla/images/PDF/eau/formation_technique.pdf
- http://www.thermexcel.com/french/ressourc/mot_pump.htm

-

Livre :

- « Hydraulique générale Broché » – *31 mai 2002* de Armando Lencastre
- « Réseaux de distribution d'eau potable » - GINGER CATED paru le : 07/2012
- « Branchements : eau potable et assainissement » Broché – 27 mai 2014 de Henri Renaud

Autre :

- Entreprise SOGEDO à LYON

CITERES

UMR 6173
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement

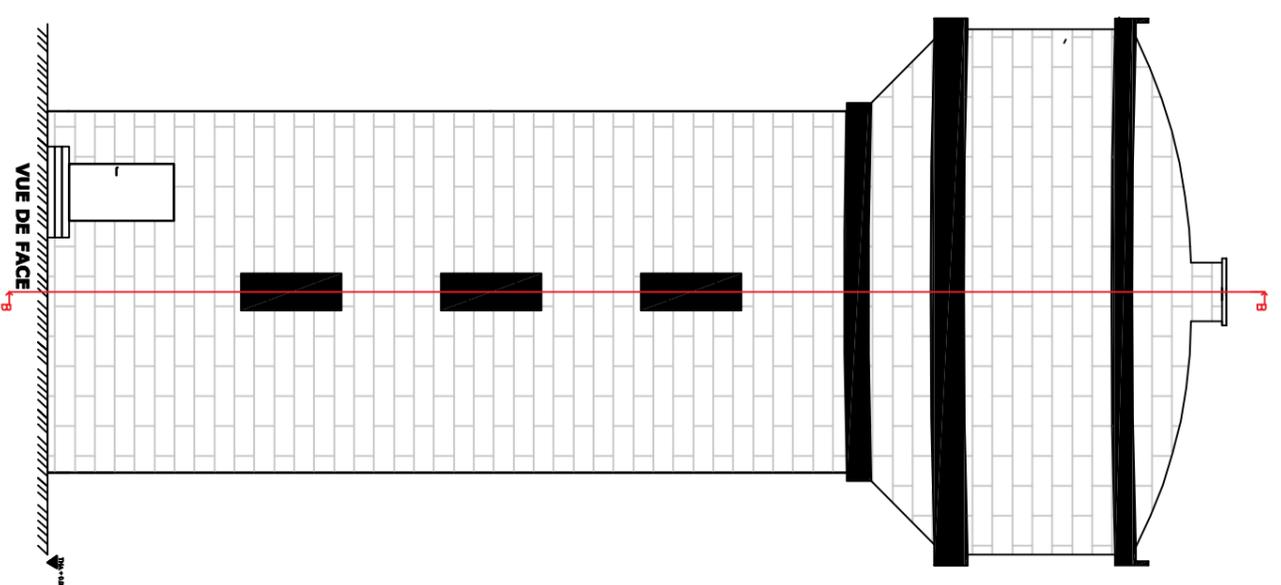
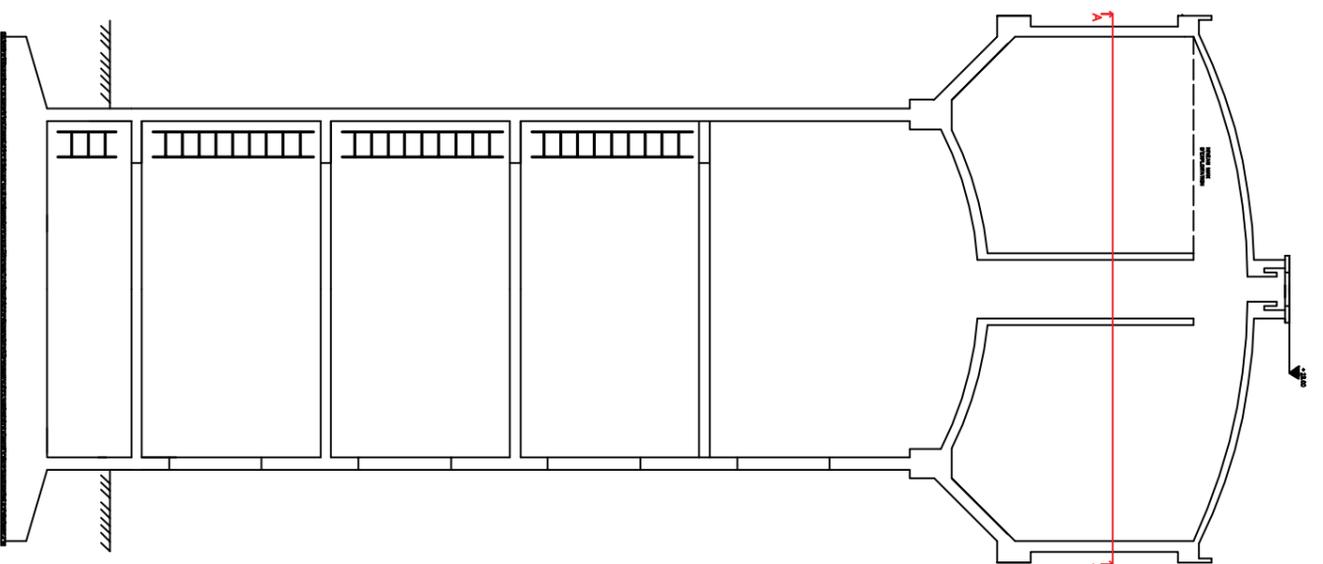
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
MAIZIA MINDJID

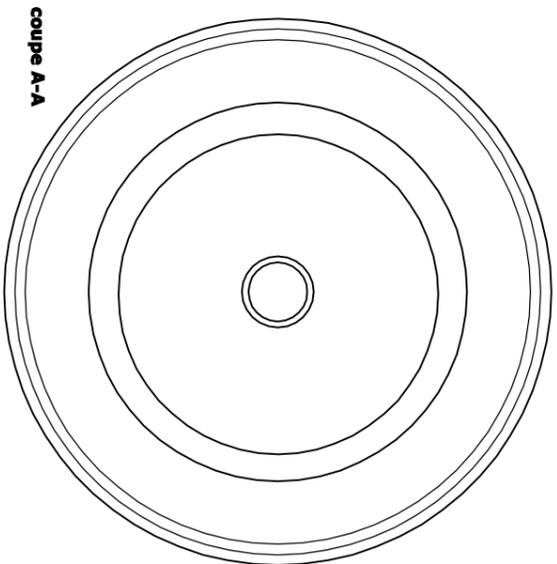
PROUST Kévin
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2016-2017

Systèmes urbains et énergie : application au réseau hydraulique

Quand vous vous servez un verre d'eau au robinet, vous demandez à votre liquide de parcourir plusieurs kilomètres. Pour faire ce trajet, l'eau aura besoin d'être sous pression, il lui faudra donc l'aide d'installations mécaniques (pompes et capteur). Ces dernières consomment de l'énergie électrique, mon objectif est donc de les quantifier à l'instant « t ».

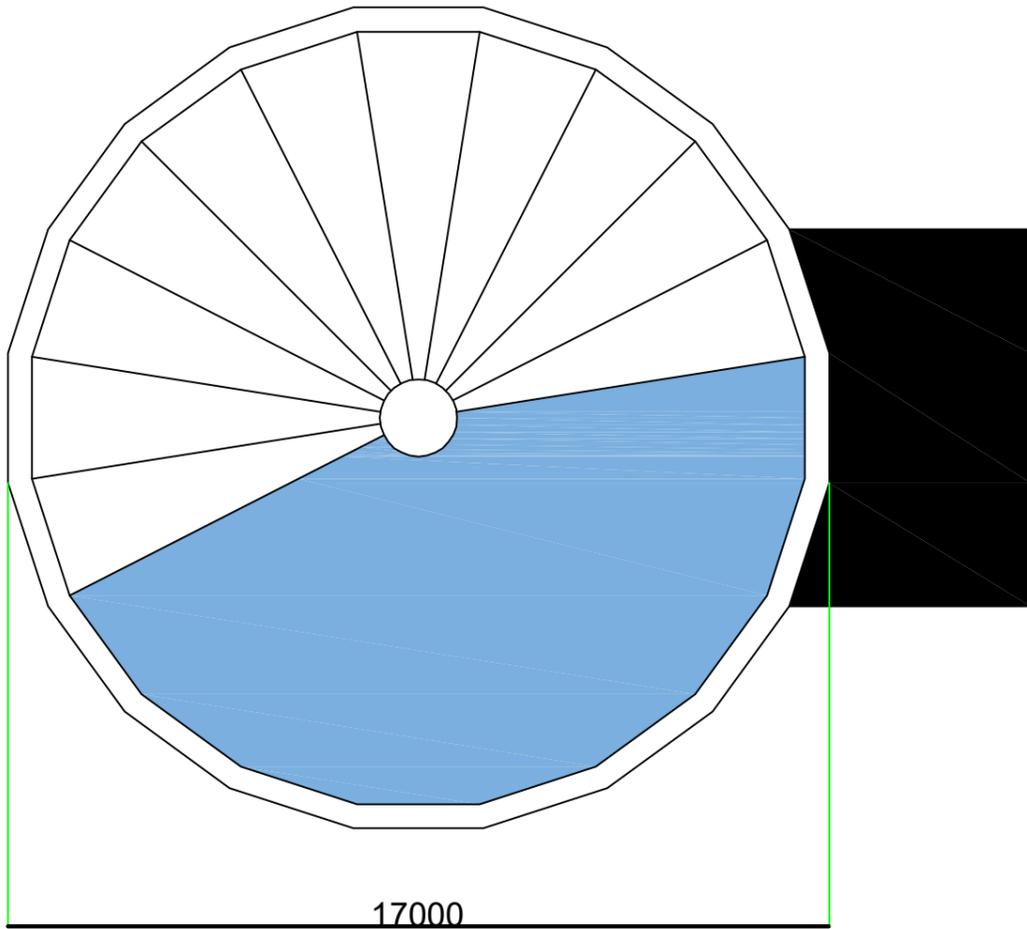


Coupe Transversale B-B



coupe A-A

		Représentation d'un château d'eau	
		Kévin PROUST	



17000



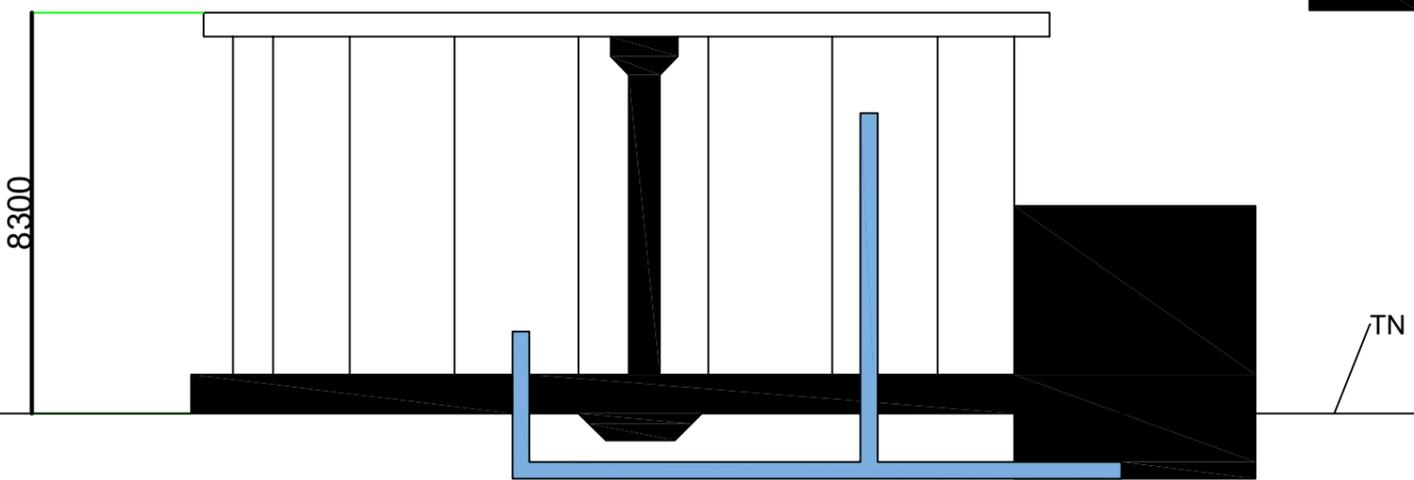
Circuit de l'eau



Fondations



Espace de pompage



8300

TN

Jupe et couverture :
*Vue en plan/ Vue en
 coupe*

Kévin PROUST