

---

# Pipes in Aquis

---

Modeling pipes: a  
tutorial + background  
July 2012

---

Gilbert Brault

---

## Contents

Introduction .....	3
Introduction .....	3
Steady State Energy Equation .....	4
The Energy and Hydraulic Grade Lines .....	4
Equation de l'énergie en régime établi.....	4
La ligne de charge et la ligne piézométrique .....	4
Extended Bernoulli equation .....	5
L'équation de Bernoulli étendue .....	5
Darcy-Weisbach formula .....	6
La formule de Darcy-Weisbach .....	6
Colebrook equation .....	7
L'équation de Colebrook.....	7
Other equations .....	8
Autres Equations.....	8
Table of Minor Loss Coefficients ( $K_m$ is unit-less) .....	9
Table des pertes mineures.....	9
Piping Scenarios .....	10
Scenarios de raccordement .....	10
Network model to test pipe equations in AQUIS and EPANET .....	11
Modèle de réseau pour tester les équations de conduites d'AQUIS et d'EPANET .....	11
EPANET modeling.....	12
Modéliser avec EPANET .....	12
Create the network.....	13
Création du réseau.....	13
Demand pattern.....	14
Simulation .....	14
Data acquisition .....	14
Gabarit de consommation .....	14
Simulation .....	14
Acquisition des données .....	14
Model into AQUIS .....	16

Le modèle EPANET dans AQUIS .....	16
Tuning some AQUIS parameters.....	17
Ajuster quelques paramètres dans AQUIS.....	17
Simulation .....	19
Data Acquisition .....	19
Simulation .....	19
Acquisition de données.....	19
Compare AQUIS and EPANET .....	22
Comparer AQUIS et EPANET .....	22
Computing f factor .....	23
Calculer le facteur f.....	23
Compute pipe roughness e .....	24
Calcul du paramètre e de rugosité.....	24
Conclusion.....	25
Conclusion.....	25
Annex / Annexe.....	26

## Introduction

Pipes are one of the salient objects of water networks. Understanding “pipe modeling” is very important. The goal of this document is

- To get a better understanding about pipe modeling
- Understand how AQUIS process pipes “out-of-the box”
- Show EPANET provides the same results as AQUIS
- Provide an Excel tool to “calibrate” pipe structural data

Pipe modeling theories are quite ancient and many scientist and engineers have left their names onto many formulas.

They are basically three main branches in the theory

1. Steady-State modeling: finding formulas when flows are independent of time
2. Rigid column transient modeling: formulas which suppose pipes are rigid and water incompressible
3. Distributed transient modeling: formulas with pipes elastic and water compressible

In this document we are covering item #1 as it is the basis for network computation in both AQUIS and EPANET and most of the water simulation programs.

## Introduction

Les tuyaux et conduits sont des objets clés des réseaux d'adduction d'eau. La compréhension de la modélisation des conduites et tuyaux est donc importante. Le but de ce document c'est

- De donner une meilleure compréhension de la modélisation des conduites et tuyaux
- De comprendre comment AQUIS les modélise
- Montrer qu'EPANET donne des résultats identiques
- Procurer un outil Excel permettant d'identifier les données de structure des conduites et tuyaux.

Les théories de modélisation des tuyaux et conduites sont anciennes et bien des scientifiques et des ingénieurs ont laissé leur nom à pas mal de formules

Il y a trois branches principales dans cette théorie

1. La modélisation des régimes stables : il s'agit de donner des formules quand les débits sont constants dans le temps
2. Les régimes transitoires dit de la « colonne rigide » : les formules découlant des hypothèses que l'eau est incompressible et que les conduites sont rigides
3. Les régimes transitoires modélisés par des équations aux dérivées partielles : suppose les tuyaux élastiques et l'eau compressible

Ce document couvre le point #1 qui est à la base du calcul des réseaux aussi bien pour AQUIS et EPANET mais aussi dans la majorité des logiciels de simulation.

## Steady State Energy Equation

### The Energy and Hydraulic Grade Lines

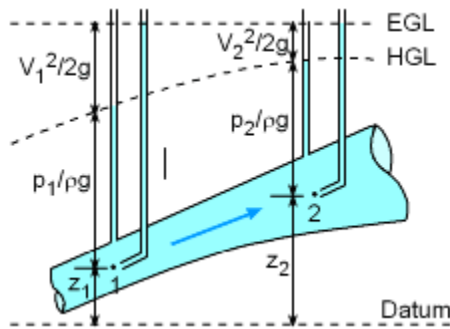


Figure 1

The energy grade line (EGL) and the hydraulic grade line (HGL) provide a graphical interpretation of Bernoulli's equation. The EGL represents the total head available with respect to a chosen datum (i.e., a reference line, as shown in the figure 1).

The EGL is a constant for frictionless flow where no work or heat is associated with the process. On the other hand, the HGL is the sum of static pressure and elevation head.

Sometimes, this is also referred as the piezometric head and is the height a fluid column would raise in a piezometer. The EGL and HGL for frictionless flow in a duct are shown in the figure 1.

Energy grade line EGL represents the total head available with respect to a chosen datum (i.e., a reference line, as shown in the figure).

Equation (1) shown in the next page is the steady state energy equation for incompressible flow in a cylindrical pipe.

## Equation de l'énergie en régime établi

### La ligne de charge et la ligne piézométrique

La ligne de charge (EGL) et la ligne piézométrique sont une interprétation graphique de l'équation de Bernoulli. La ligne de charge représente la pression hydrostatique augmentée de la pression générée par la vitesse : c'est la pression hydrodynamique par rapport à une ligne de référence (datum sur la figure 1).

La ligne EGL est constante pour un fluide sans friction ou ni travail ni chaleur ne sont ajouté dans le processus de transport. Par ailleurs, la ligne HGL est la somme de la pression statique et de la pression liée à l'altitude.

La ligne HGL est aussi nommée ligne piézométrique car c'est la hauteur de la colonne de fluide qui s'élève dans un piézomètre. Les lignes EGL et HGL d'un flux dans un tube sans frictions sont représenté dans la figure 1.

La ligne de charge EGL représente la pression hydrodynamique par rapport à une ligne de référence (Datum tel qu'indiqué dans la figure 1.)

L'Equation (1) de la page suivante représente l'équation d'énergie pour un régime établi d'un fluide transporté par une conduite cylindrique.

## Extended Bernoulli equation

## L'équation de Bernoulli étendue

$$H_p + Z_1 - Z_2 + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g} = h_f + h_m \quad (1)$$

$H_p$  = Pump head (also known as Total Dynamic Head), ft or m.

$Z_1$  = Upstream elevation, ft or m.

$Z_2$  = Downstream elevation, ft or m.

$P_1$  = Upstream pressure,  $\frac{lb}{ft^2}$  or  $\frac{N}{m^2}$ .

$P_2$  = Downstream pressure,  $\frac{lb}{ft^2}$  or  $\frac{N}{m^2}$ .

$V_1$  = Upstream velocity,  $\frac{ft}{s}$  or  $\frac{m}{s}$ .

$V_2$  = Downstream velocity,  $\frac{ft}{s}$  or  $\frac{m}{s}$ .

$\rho$  = weight density,  $\frac{lb}{ft^3}$  or  $\frac{N}{m^3}$ .  $1000 \frac{kg}{m^3}$  for water

$g$  = the gravity  $32.174 \frac{ft}{s^2} = 9.8066 \frac{m}{s^2}$

$h_f$  = Major (friction) losses, ft or m.

$h_m$  = Minor losses, ft or m.

The left side of the equation contains the “driving heads” including heads due to a pump  $H_p$  if present, elevation  $Z_1 - Z_2$ ,

pressure  $\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g}$ , and velocity  $\frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g}$ .

The terms on the right side are friction loss  $h_f$  and minor losses  $h_m$ .

Friction losses are computed using various friction loss heuristic formulas

- Darcy-Weisbach formula
- Hazen-Williams formula
- Manning equation (for open channels)

Minor losses correspond to pipe fittings, bending etc...

La partie gauche de l'équation contient les pressions motrices exercées par une pompe  $H_p$  si présente, l'altitude  $Z_1 - Z_2$ , la

pression  $\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g}$ , et la vitesse  $\frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g}$ .

Les termes à droite de l'équation sont les pertes par friction  $h_f$  et les pertes mineures  $h_m$ .

Les pertes de charges par frictions sont calculées avec des heuristiques diverses

- La formule de Darcy-Weisbach
- La formule d' Hazen-Williams
- L'équation de Manning (canaux ouverts)

Les pertes mineures correspondent aux divers accessoires de raccords et aux changements de directions importants etc...

## Darcy-Weisbach formula

## La formule de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2)$$

$f$  = the Darcy – Weisbach friction factor

$L$  = the pipe length

$D$  = is the pipe diameter

$V$  = the water velocity

$g$  = the gravity  $32.174 \frac{ft}{s^2} = 9.8066 \frac{m}{s^2}$

Equation (2) has been designed using dimensional analysis.

L'équation (2) a été conçue par la méthode d'analyse dimensionnelle.

The Darcy-Weisbach friction factor  $f$  is a function of the same variables as the wall shear stress. Using dimensional analysis a functional relationship for the friction factor can be developed

Le facteur de friction de Darcy-Weisbach  $f$  est une fonction des mêmes variables que la contrainte de cisaillement sur la paroi d'un conduit. Toujours par l'analyse dimensionnelle on peut trouver la fonctionnel de ce facteur

$$f = F \left( R_e, \frac{e}{D} \right) \quad (3)$$

$R_e$  = Reynolds number

$e$  = Pipe surface roughness, ft or m.

$D$  = is the pipe diameter

We can introduce the Reynolds number and the kinematic viscosity

On introduit le nombre de Reynolds et la viscosité cinématique

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (4)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

$D$  = is the pipe diameter

$V$  = the water velocity

$\rho$  = weight density,  $\frac{lb}{ft^3}$  or  $\frac{N}{m^3} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}$  for water

$e$  aka  $\varepsilon$  = Pipe surface roughness, ft or m.

$\mu$  dynamic viscosity (0.001 for water).

$\nu$  = kinematic viscosity,  $\frac{ft^2}{s}$  or  $\frac{m^2}{s}$ .

## Colebrook equation

## L'équation de Colebrook

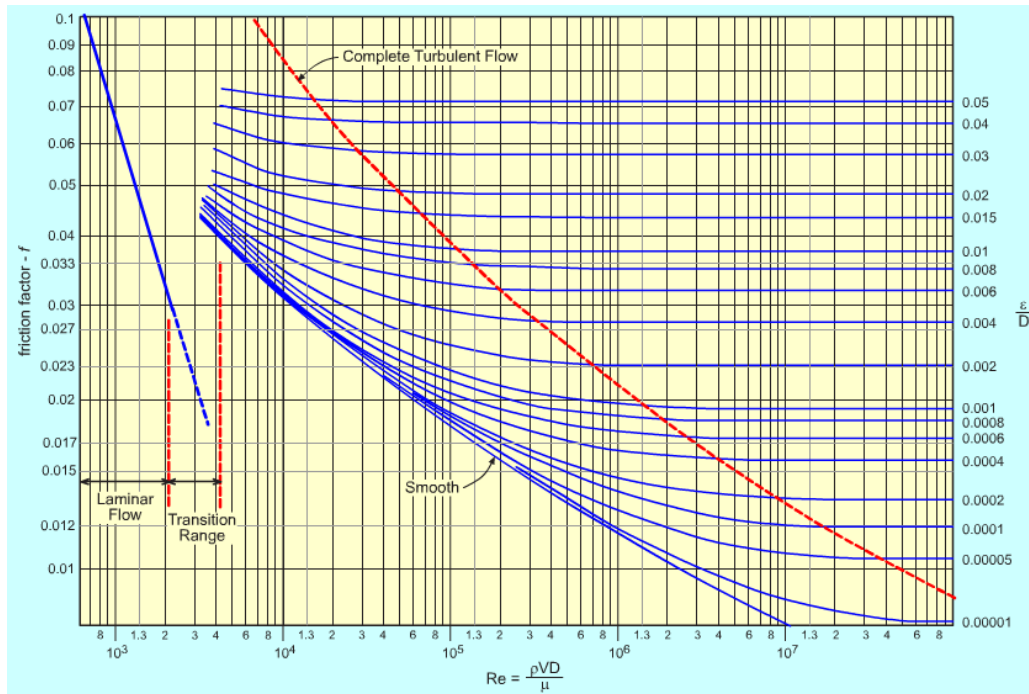


Figure 2

The friction factor for turbulent flow is found using the Moody diagram.

Le facteur de friction turbulent est recherché sur le diagramme de Moody.

The Colebrook equation is the analytical way used by computers to represent the moody diagram.

L'équation de Colebrook est la représentation analytique utilisée par les ordinateurs pour représenter le diagramme de Moody.

if laminar flow ( $Re < 4000$  and any  $\frac{e}{D}$ ),

$$\text{laminar equation } f = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

if turbulent flow ( $4000 \leq Re \leq 10^8$  and any  $0 \leq \frac{e}{D} \leq 0.05$ ), then

$$\text{Colebrook equation: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{e}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (7)$$

Other types of equations have been released to avoid implicit equation of Colebrook.

D'autres types d'équations ont été présentés pour éviter le calcul implicite de Colebrook.



## Other equations

Pump Power (computed by program), lb ft/s or Nm/s. Theoretical pump power.

## Autres Equations

Puissance hydraulique théorique d'une pompe (calculée par programme), lb ft/s ou Nm/s

$$P_H = \rho \cdot Q \cdot H_p \quad (8)$$

Pipe flow rate in pipe, ft<sup>3</sup>/s or m<sup>3</sup>/s

Débit dans une conduite, ft<sup>3</sup>/s ou m<sup>3</sup>/s

$$Q = V \cdot A \quad (9)$$

Pipe cross sectional area ft<sup>2</sup> or m<sup>2</sup>

Aire d'une section droite d'une conduite ft<sup>2</sup> ou m<sup>2</sup>

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (10)$$

The equations above (1) to (10) are dimensionally correct which means that the units for the variables are consistent. A consistent set of English units would be mass in slugs, weight and force in pounds, length in feet, and time in seconds. SI units are also a consistent set of units with mass in kilograms, weight and force in Newton, length in meters, and time in seconds.

*ft = foot,*  
*kg = kilogram,*  
*lb = pound,*  
*m = meter,*  
*N = Newton,*  
*s = second*

Les équations (1) à (10) sont applicables à un jeu cohérent de données de dimension constantes. Par exemple en unité impériales la masse en slugs, le poids et les force en livres, les longueurs en pieds et les durées en secondes. Dans le système SI, la masse en kilogramme, les poids et les forces en Newton, les longueurs en mètre et le temps en secondes.

*ft = foot = pied,*  
*kg = kilogram = kilogramme,*  
*lb = pound = livre,*  
*m = meter = mètre,*  
*N = Newton = Newton,*  
*s = second = seconde*

## Table of Minor Loss Coefficients ( $K_m$ is unit-less)

## Table des pertes mineures

$$h_m = K_m \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$K_m$  = Sum of minor losses coefficients

Fitting	$K_m$	Accessoire
<i>Valves:</i>		<i>Vannes :</i>
Globe, fully open	10	Globe ; totalement ouverte
Angle, fully open	2	D'angle, totalement ouverte
Gate, fully open	0.15	Entrée à obturateur, totalement ouverte
Gate 1/4 closed	0.26	à obturateur : ¼ fermée
Gate, 1/2 closed	2.1	à obturateur : ½ fermée
Gate, 3/4 closed	17	à obturateur : ¾ fermée
Swing check, forward flow	2	clapet de retenue à battant, flux direct
Swing check, backward flow	infinity	clapet de retenue à battant, flux inverse
<i>180° return bends:</i>		<i>Coude en U à 180°</i>
Flanged	0.2	raccord à brides
Threaded	1.5	raccord fileté
<i>Pipe Entrance (Reservoir to Pipe):</i>		<i>Conduite d'entrée (du réservoir à la conduite)</i>
Square Connection	0.5	Raccord carré
Rounded Connection	0.2	Raccord rond
Re-entrant (pipe juts into tank)	1.0	
<i>Elbows:</i>		<i>Coudes</i>
Regular 90°, flanged	0.3	Régulier 90° à bride
Regular 90°, threaded	1.5	Régulier 90° à filetage
Long radius 90°, flanged	0.2	Rayon long 90° à bride
Long radius 90°, threaded	0.7	Rayon long 90° à filetage
Long radius 45°, threaded	0.2	Rayon long 45°, fileté
Regular 45°, threaded	0.4	Régulier 45° fileté
<i>Tees:</i>		<i>Raccords en T</i>
Line flow, flanged	0.2	Primaire, bridé
Line flow, threaded	0.9	Primaire, fileté
Branch flow, flanged	1.0	Secondaire, bridé
Branch flow, threaded	2.0	Secondaire, fileté
<i>Pipe Exit (Pipe to Reservoir)</i>		<i>Conduite de sortie (du réservoir à la conduite)</i>
Square Connection	1.0	Raccords carrés
Rounded Connection	1.0	Raccords ronds
Re-entrant (pipe juts into tank)	1.0	Jonction réentrante (conduite directe réservoir)

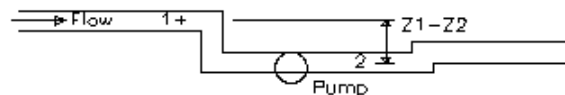
## Piping Scenarios

Boundary conditions affect the flow characteristics). Equation (1) needs to take into account boundary conditions whether locations 1 and 2 are within pipes, at the surface of open reservoirs, or in pressurized mains (same as pressurized tank). If there is no pump between locations 1 and 2, then the pump head ( $H_p$ ) is 0.

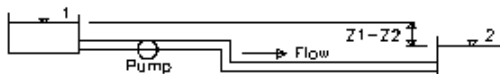
## Scenarios de raccordement

Les conditions aux limites influent sur les caractéristiques de l'écoulement. Il faut en tenir compte dans l'équation (1) suivant que les points 1 et 2 soient dans une conduite, sur la surface libre d'un réservoir ouvert, ou dans un conduit principal sous pression (identique à un réservoir sous pression). S'il n'y a pas de pompe entre le point 1 et le point 2, alors la pression de pompage ( $H_p$ ) doit être prise à 0.

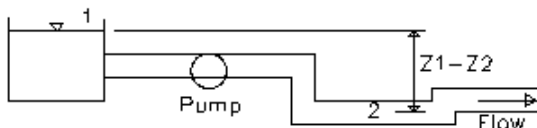
A. Pipe.  $V_1 = V_2$  since constant diameter pipe.  $Z: \uparrow$



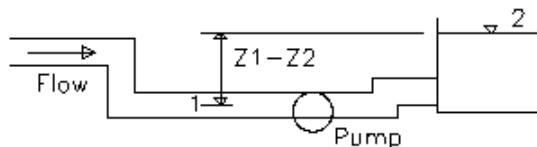
B. Reservoir (tank) to Reservoir (tank)  
 $V_1 = V_2 = 0$  &  $P_1 = P_2 = 0$



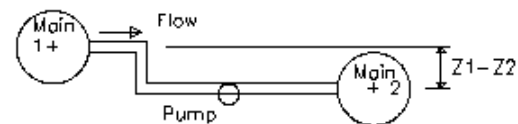
C. Reservoir to Pipe.  $V_1 = 0$  &  $P_1 = 0$



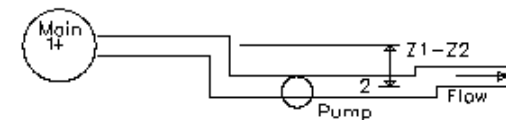
D. Pipe to Reservoir.  $V_2 = 0$  &  $P_2 = 0$   
If 2 above 1, enter  $Z_1 - Z_2$  as negative.



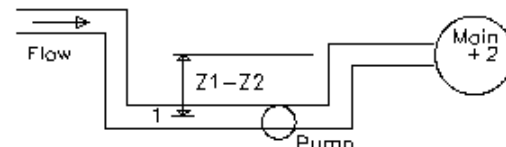
E. Main to Main.  $V_1 = V_2 = 0$



F. Main to Lateral.  $V_1 = 0$

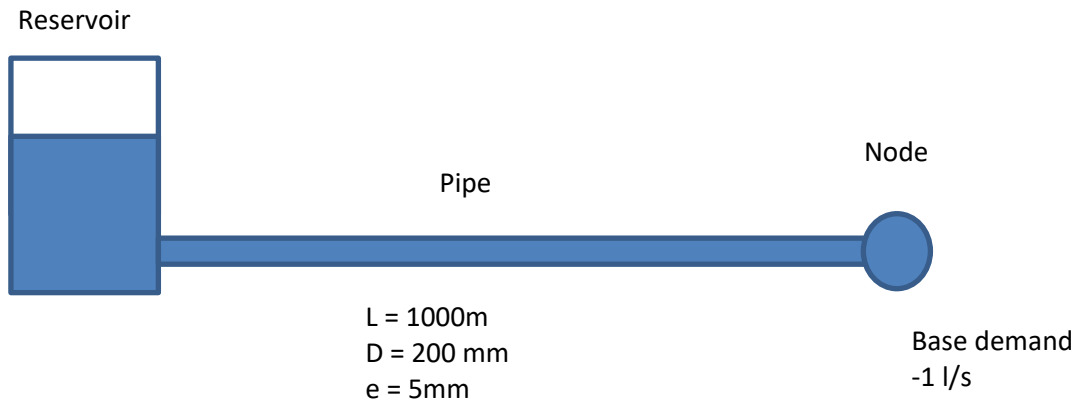


G. Lateral to Main.  $V_2 = 0$   
If 2 above 1, enter  $Z_1 - Z_2$  as negative.



## Network model to test pipe equations in AQUIS and EPANET

## Modèle de réseau pour tester les équations de conduites d'AQUIS et d'EPANET



The network is composed of

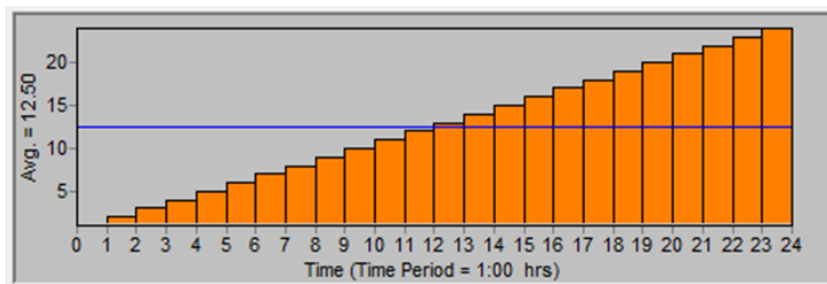
- A reservoir
- A pipe (under test)
- A node

Le réseau est composé

- D'un réservoir
- D'une conduite (objet du test)
- D'un nœud

The node as a base demand of  $-1\text{ l/s}$  which is modulated by a Pattern curve

Le nœud à une demande de base de  $-1\text{ l/s}$  qui est modulée par une courbe gabarie suivante



We want to do the following actions

Nous voulons faire les actions suivantes

- Model into EPANET
- Transfer the EPANET Model into AQUIS
- Verify both give the same results for the pipe
- Find a way to evaluate  $e$ , the roughness from the EPANET and AQUIS values

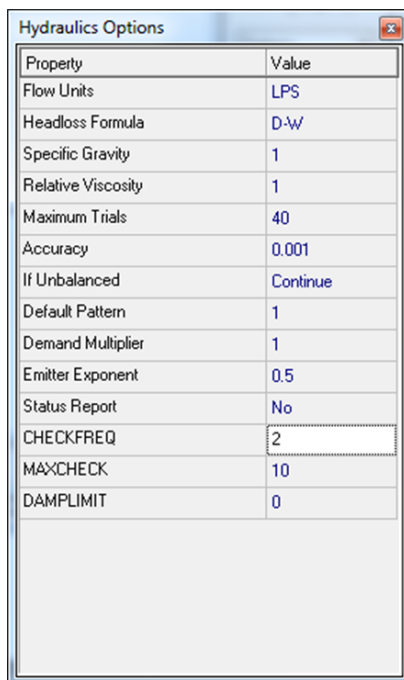
- Modéliser le réseau dans EPANET
- Transférer le modèle EPANET dans AQUIS
- Vérifier que les deux donnent les mêmes résultats pour la conduite
- Trouver une méthode pour évaluer la rugosité à partir des données calculées par EPANET et par AQUIS

## EPANET modeling

The following experiment are using EPANET Version 2.0 Build 2 00.12.



First the Hydraulics Options must be set having the flow Units in LPS and using the Head loss formula D-W (Darcy-Weisbach), all the other settings are defaults.

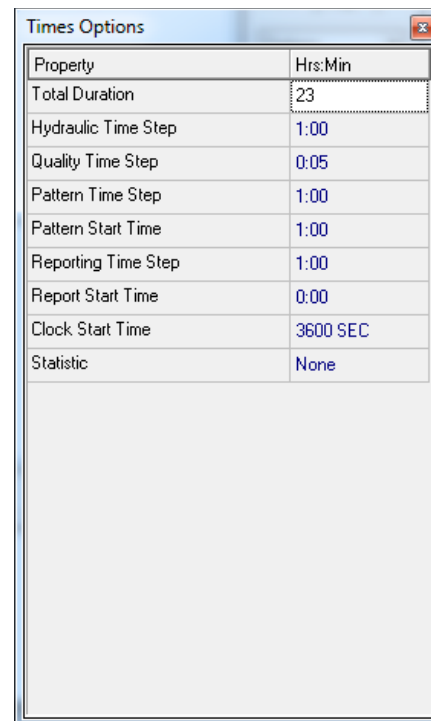


The time option is then setup: adjust the Total duration to 23:00

## Modéliser avec EPANET

L'expérience suivante a été réalisée avec la version EPANET 2.0 mouture 2 00.12.

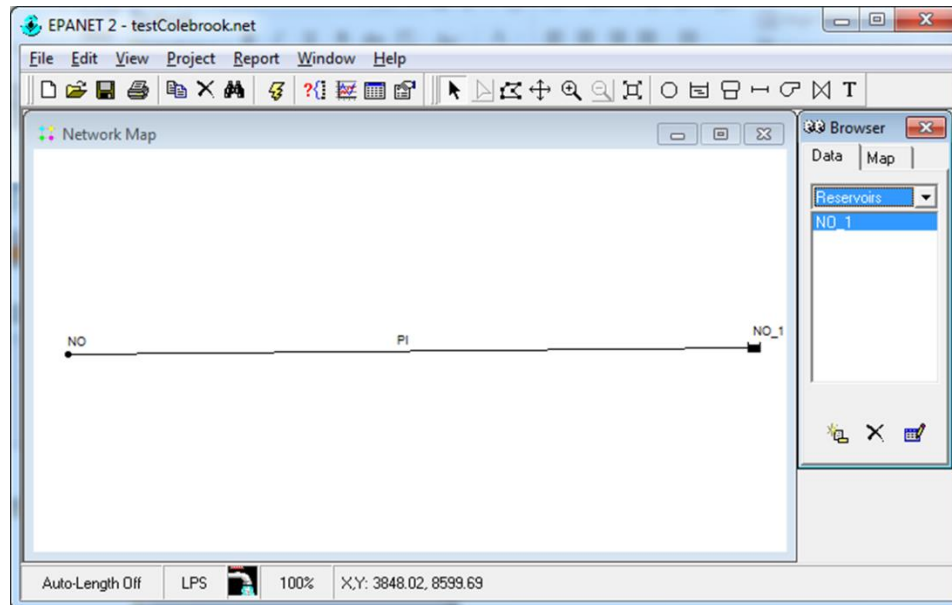
Il faut d'abord paramétrer les Options Hydrauliques en positionnant les unités de débit en LPS et en utilisant la formule de calcul de perte de charge D-W (Darcy-Weisbach), les autres paramètres restent identiques.



Les options de durée doivent être réglées : ajuster la valeur de durée Totale à 23 :00

## Create the network

## Création du réseau



Using the tool bar draw the network with

En utilisant la boîte à outil, dessiner le réseau

- A reservoir
- A node
- A pipe

- Un réservoir
- Un nœud
- Une conduite

Now it's time to setup the appropriate values for the above objects

Il faut maintenant paramétrer les objets qu'on vient de créer

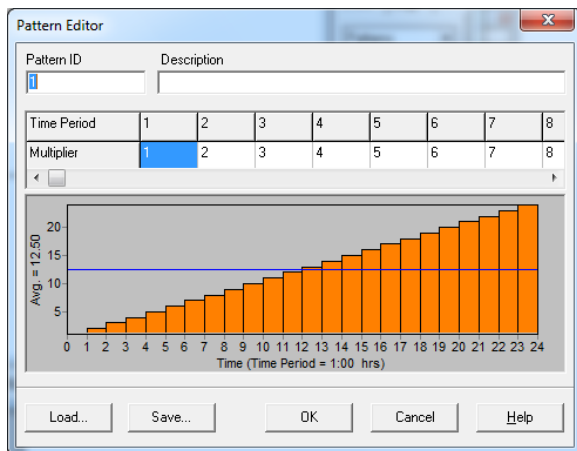
<div><div>Reservoir NO_1</div><table><tr><th>Property</th><th>Value</th></tr><tr><td>*Reservoir ID</td><td>NO_1</td></tr><tr><td>X-Coordinate</td><td>4585.14</td></tr><tr><td>Y-Coordinate</td><td>7080.41</td></tr><tr><td>Description</td><td></td></tr><tr><td>Tag</td><td></td></tr><tr><td>*Total Head</td><td>0</td></tr><tr><td>Head Pattern</td><td></td></tr><tr><td>Initial Quality</td><td></td></tr><tr><td>Source Quality</td><td></td></tr><tr><td>Net Inflow</td><td>2.00</td></tr><tr><td>Elevation</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Pressure</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Quality</td><td>0.00</td></tr></table></div>	Property	Value	*Reservoir ID	NO_1	X-Coordinate	4585.14	Y-Coordinate	7080.41	Description		Tag		*Total Head	0	Head Pattern		Initial Quality		Source Quality		Net Inflow	2.00	Elevation	0.00	Pressure	0.00	Quality	0.00	<div><div>Pipe PI</div><table><tr><th>Property</th><th>Value</th></tr><tr><td>*Pipe ID</td><td>PI</td></tr><tr><td>*Start Node</td><td>NO</td></tr><tr><td>*End Node</td><td>NO_1</td></tr><tr><td>Description</td><td></td></tr><tr><td>Tag</td><td></td></tr><tr><td>*Length</td><td>1000</td></tr><tr><td>*Diameter</td><td>200</td></tr><tr><td>*Roughness</td><td>5</td></tr><tr><td>Loss Coeff.</td><td>0</td></tr><tr><td>Initial Status</td><td>Open</td></tr><tr><td>Bulk Coeff.</td><td></td></tr><tr><td>Wall Coeff.</td><td></td></tr><tr><td>Flow</td><td>2.00</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.06</td></tr><tr><td>Unit Headloss</td><td>0.06</td></tr><tr><td>Friction Factor</td><td>0.057</td></tr><tr><td>Reaction Rate</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Quality</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Status</td><td>Open</td></tr></table></div>	Property	Value	*Pipe ID	PI	*Start Node	NO	*End Node	NO_1	Description		Tag		*Length	1000	*Diameter	200	*Roughness	5	Loss Coeff.	0	Initial Status	Open	Bulk Coeff.		Wall Coeff.		Flow	2.00	Velocity	0.06	Unit Headloss	0.06	Friction Factor	0.057	Reaction Rate	0.00	Quality	0.00	Status	Open	<div><div>Junction NO</div><table><tr><th>Property</th><th>Value</th></tr><tr><td>*Junction ID</td><td>NO</td></tr><tr><td>X-Coordinate</td><td>-865.16</td></tr><tr><td>Y-Coordinate</td><td>7027.62</td></tr><tr><td>Description</td><td></td></tr><tr><td>Tag</td><td></td></tr><tr><td>*Elevation</td><td>0</td></tr><tr><td>Base Demand</td><td>-1</td></tr><tr><td>Demand Pattern</td><td>1</td></tr><tr><td>Demand Categories</td><td>1</td></tr><tr><td>Emitter Coeff.</td><td></td></tr><tr><td>Initial Quality</td><td></td></tr><tr><td>Source Quality</td><td></td></tr><tr><td>Actual Demand</td><td>-2.00</td></tr><tr><td>Total Head</td><td>0.06</td></tr><tr><td>Pressure</td><td>0.06</td></tr><tr><td>Quality</td><td>0.00</td></tr></table></div>	Property	Value	*Junction ID	NO	X-Coordinate	-865.16	Y-Coordinate	7027.62	Description		Tag		*Elevation	0	Base Demand	-1	Demand Pattern	1	Demand Categories	1	Emitter Coeff.		Initial Quality		Source Quality		Actual Demand	-2.00	Total Head	0.06	Pressure	0.06	Quality	0.00
Property	Value																																																																																																							
*Reservoir ID	NO_1																																																																																																							
X-Coordinate	4585.14																																																																																																							
Y-Coordinate	7080.41																																																																																																							
Description																																																																																																								
Tag																																																																																																								
*Total Head	0																																																																																																							
Head Pattern																																																																																																								
Initial Quality																																																																																																								
Source Quality																																																																																																								
Net Inflow	2.00																																																																																																							
Elevation	0.00																																																																																																							
Pressure	0.00																																																																																																							
Quality	0.00																																																																																																							
Property	Value																																																																																																							
*Pipe ID	PI																																																																																																							
*Start Node	NO																																																																																																							
*End Node	NO_1																																																																																																							
Description																																																																																																								
Tag																																																																																																								
*Length	1000																																																																																																							
*Diameter	200																																																																																																							
*Roughness	5																																																																																																							
Loss Coeff.	0																																																																																																							
Initial Status	Open																																																																																																							
Bulk Coeff.																																																																																																								
Wall Coeff.																																																																																																								
Flow	2.00																																																																																																							
Velocity	0.06																																																																																																							
Unit Headloss	0.06																																																																																																							
Friction Factor	0.057																																																																																																							
Reaction Rate	0.00																																																																																																							
Quality	0.00																																																																																																							
Status	Open																																																																																																							
Property	Value																																																																																																							
*Junction ID	NO																																																																																																							
X-Coordinate	-865.16																																																																																																							
Y-Coordinate	7027.62																																																																																																							
Description																																																																																																								
Tag																																																																																																								
*Elevation	0																																																																																																							
Base Demand	-1																																																																																																							
Demand Pattern	1																																																																																																							
Demand Categories	1																																																																																																							
Emitter Coeff.																																																																																																								
Initial Quality																																																																																																								
Source Quality																																																																																																								
Actual Demand	-2.00																																																																																																							
Total Head	0.06																																																																																																							
Pressure	0.06																																																																																																							
Quality	0.00																																																																																																							
Total head = 0.	Length = 1000, Roughness=5, Diameter=200	Base Demand = -1, Demand Pattern = 1																																																																																																						
Pression total = 0	L = 1000m, e = 5mm, D = 200mm	Demande de base = -1, Gabarit = 1																																																																																																						

## Demand pattern

In order to have a significant portion of the curve explored, we must set a variable demand. To do that, we just attach to the node NO\_1 a demand pattern 1.

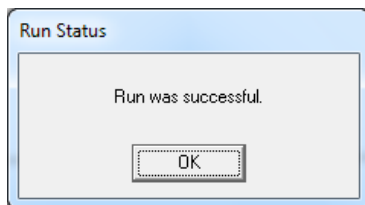
The demand pattern will be multiplied over time by the base demand to find the actual demand.

A tool is provided by EPANET to define a variable demand over time




## Simulation

To run the simulation, just press the run button. The “Run successful” message should show up.



## Data acquisition

To get the computed data from EPANET, just select the object (the Pipe in our case) and click on the graphing button.  The data to display can then be selected.

## Gabarit de consommation

De manière à explorer une partie significative de la courbe, nous devons programmer une demande variable. Pour ce faire, il suffit d’attacher le gabarit de consommation 1 au nœud NO\_1.

Le gabarit sera multiplié au cours du temps par la consommation de base pour calculer la consommation réelle.

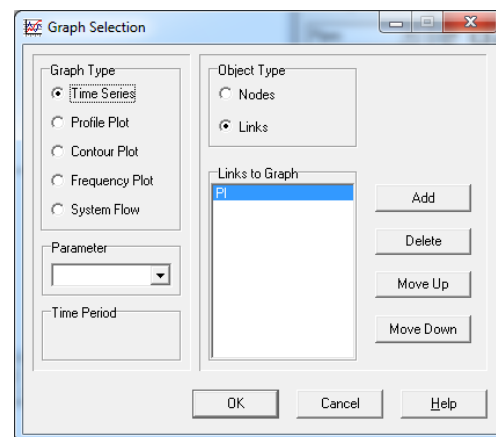
Un outil est fourni par EPANET pour définir un gabarit de consommation dépendant du temps.

## Simulation

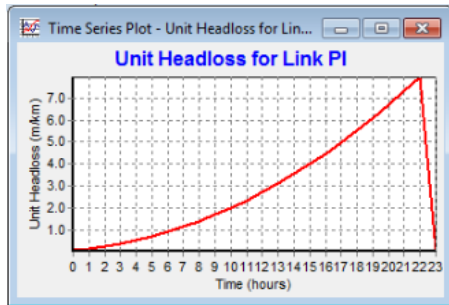
Pour exécuter la simulation, il suffit de presser le bouton « run ». Le message « exécution réussie » doit alors apparaître.

## Acquisition des données

Pour récupérer les données calculées par EPANET, il suffit de sélectionner l’objet (la conduite dans notre cas) et de cliquer sur le bouton graphique. Les données à afficher peuvent alors être sélectionnées.

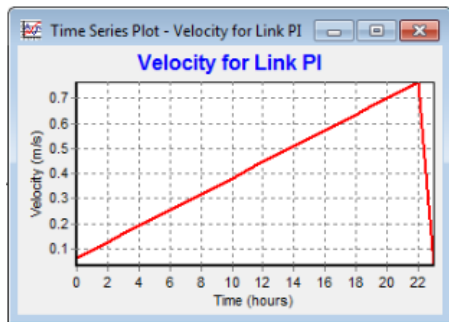


Choisir le « Type de Graphique » série temporelles et le paramètre « perte en charge linéique ». La courbe s’affiche alors :

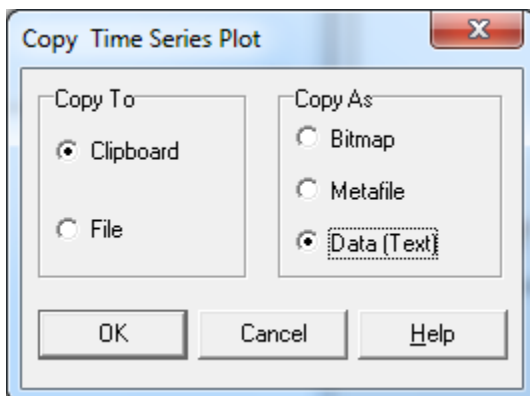


Select the « Time series » « Graph Type » and the parameter “Unit Head loss”. The graphic above is showing up.

Do the same for the velocity parameter:



We need now to get the data out of those graphics. Select the Graphics window and use the Edit menu of the main EPANET window selecting the “Copy To” option. The following popup is showing up:



Select both items: “Clipboard” and “Data Text”. The data is ready to be pasted into Excel.

Faire de même avec le paramètre « Vitesse ».

Nous devons maintenant extraire les données de ces graphiques. Sélectionner la fenêtre du graphique concerné et utiliser le menu « Edit » de la fenêtre principale d’EPANET en cliquant sur l’option « Copy To » du menu. La fenêtre suivante s’affiche alors.

Sélectionner les deux options « Presse Papier » et « Données (Texte) ». Les données sont alors disponibles pour être collées dans Excel.

Model exported from Aquis Operation testColebrook.inp		
Series	Time (hours)	Velocity (m/s)
Computed	0	0.0637
Computed	1	0.0955
Computed	2	0.1273
Computed	3	0.1592
Computed	4	0.191
Computed	5	0.2228
Computed	6	0.2546
Computed	7	0.2865
Computed	8	0.3183
Computed	9	0.3501
Computed	10	0.382
Computed	11	0.4138
Computed	12	0.4456
Computed	13	0.4775
Computed	14	0.5093
Computed	15	0.5411
Computed	16	0.573
Computed	17	0.6048

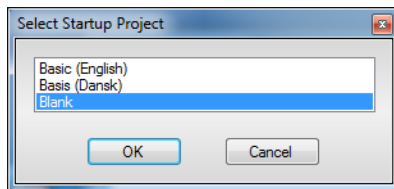


## Model into AQUIS

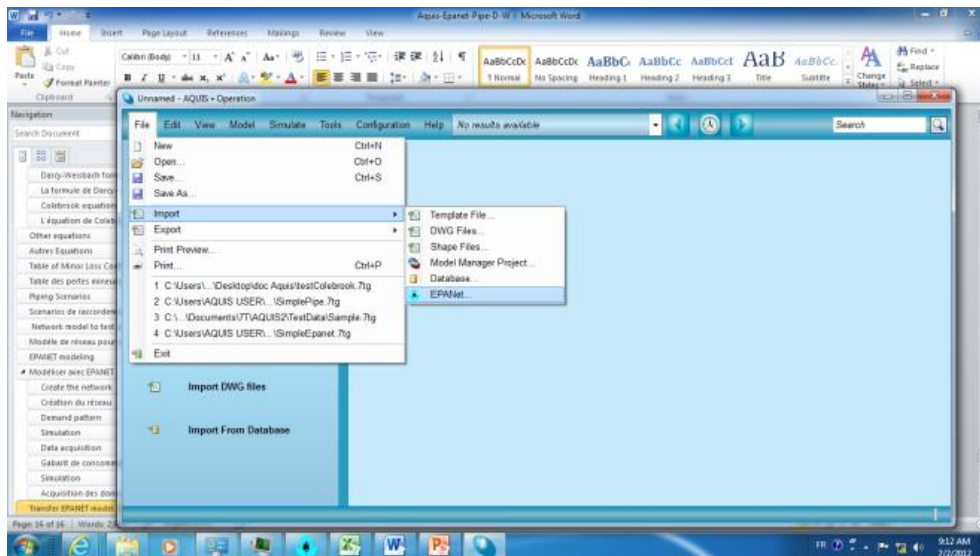
All experiments done with AQUIS 4.0

Before leaving EPANET, save the current network and export it as an .inp (network) file: testColebrook.inp.

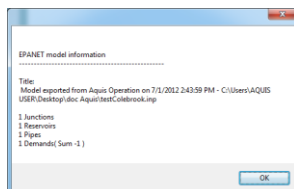
We can now import this file in AQUIS. Open the AQUIS tool and select “create new project” choosing “blank” option.



Select the import menu and choose EPANET. Make sure you select the .inp file otherwise



AQUIS may fail.

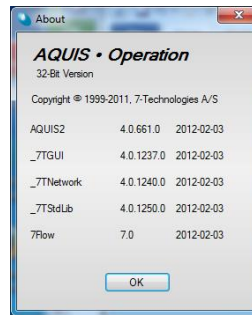


After importing you get a summary of the work done.

## Le modèle EPANET dans AQUIS

Les expériences sont menées avec AQUIS 4.0.

Avant de quitter EPANET, il faut sauvegarder le réseau en cours et l'exporter sous le format .inp (network) : testColebrook.inp.



On peut alors importer ce fichier dans AQUIS. Ouvrir l'outil AQUIS et sélectionner « Créer un nouveau projet ». Choisir l'option « blanc ».

Choisir alors le menu « import » et l'option « EPANET »

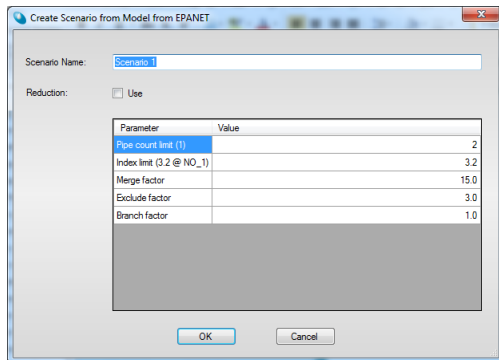
S'assurer que c'est bien un fichier .inp qui est

sélectionné, AQUIS peut dysfonctionner aussi non.

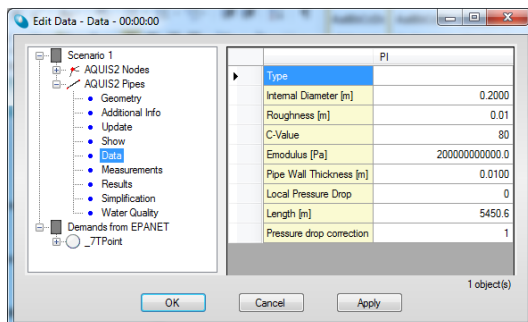
Après le travail de conversion, un résumé du travail accompli est donné.

## Tuning some AQUIS parameters

We can now create the scenario selecting the menu “Model” option “Create a scenario”.

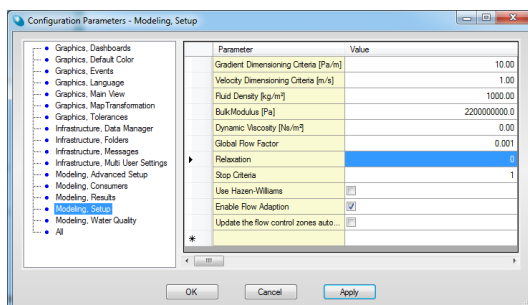


Creating this scenario, AQUIS takes the geometric dimensions to calculate the pipe length and override the length from the EPANET model. You should reverse the pipe length to 1000m in AQUIS.



Remember EPANET flow unit is in LPS (litter per seconds). AQUIS use SI units, for which flow units is  $m^3/sec$ . We must then adjust to that.

AQUIS has a global variable “Global Flow Factor” to make this tuning, set it to 0.001.



## Ajuster quelques paramètres dans AQUIS

Il est maintenant possible de créer un scénario AQUIS en sélectionnant le menu « Modèle » option « Créer un scénario ».

Lors de la création de ce scénario, AQUIS prend les coordonnées géométriques pour calculer les longueurs des conduites et surcharge la valeur importée à partir d’EPANET. Il faut surcharger cette valeur manuellement pour lui donner la valeur 1000m.

Pour ce faire, sélectionner le menu « Editer Tout » après un clic droit dans la zone écran du réseau.

Déployer le nœud « Conduites AQUIS » et sélectionner l’information « Données ».

Mettre le paramètre « Longueur » à 1000m, valider.

Il faut se souvenir aussi qu’EPANET utilise des LPS pour le débit (litter par seconde). AQUIS utilise le système SI pour lequel le débit est exprimé en  $m^3/seconde$ .

AQUIS a une variable globale qui permet ce réglage « Facteur de débit global », il faut le positionner à 0.001.

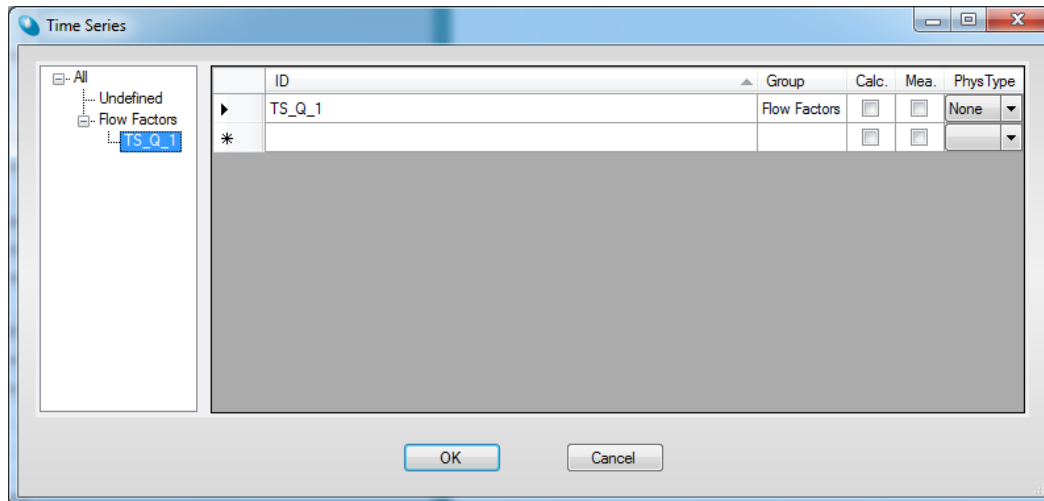
Pour ce faire, sélectionner le menu « Configuration » option « Paramètres de Configuration », puis changer cette valeur.

One step is still need before simulation: the demand Pattern needs some tuning.

Select menu “Edit”, option “Time Series”.

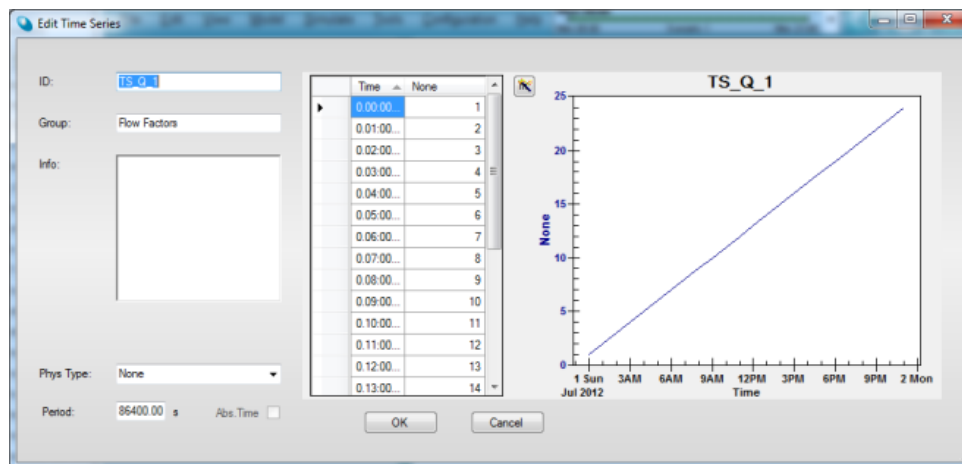
Il reste une étape avant la simulation : le gabarit de consommation a besoin d’être ajusté.

Sélectionner le menu « Edition », option « Séries temporelles »



Click on TS\_Q\_1 label.

Cliquer sur l’étiquette TS\_Q\_1

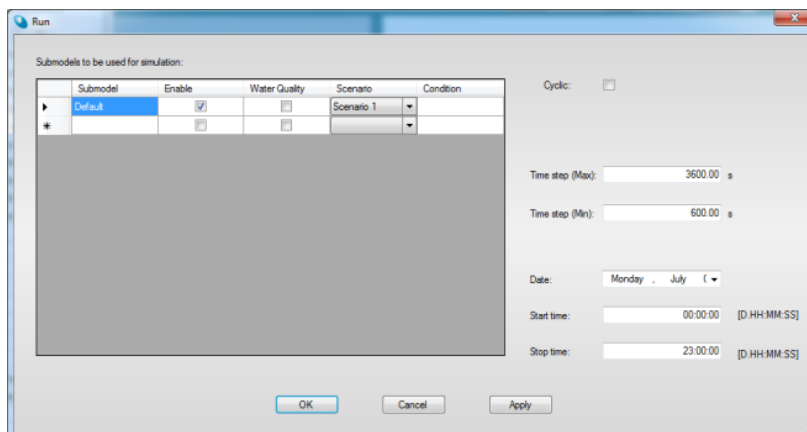


The period should be set to 86400.00sec (24\*3600).

La période doit être renseignée avec la valeur 86400.00sec (24\*3600).

## Simulation

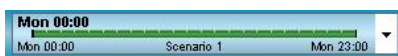
Select the menu « Simulate » option “run”. The stop time needs to be adjusted to 23:00:00, and



then click “ok”.

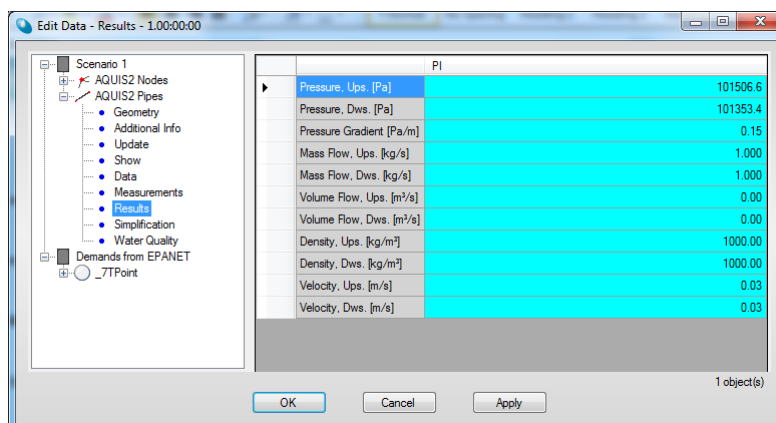
## Data Acquisition

To acquire data, after the simulation is completed which is indicated by a green line with the simulation time span, Go to the network area, and right click.



Select “Edit All” and click. The window with all AQUIS objects is popping up, as seen before.

Develop the “AQUIS Pipes” and click on “Results”.



## Simulation

Sélectionner le menu « Simulation » option « Exécuter ». La date d’arrêt doit être

renseignée avec la valeur 23 :00 :00, puis cliquer sur « ok ».

## Acquisition de données

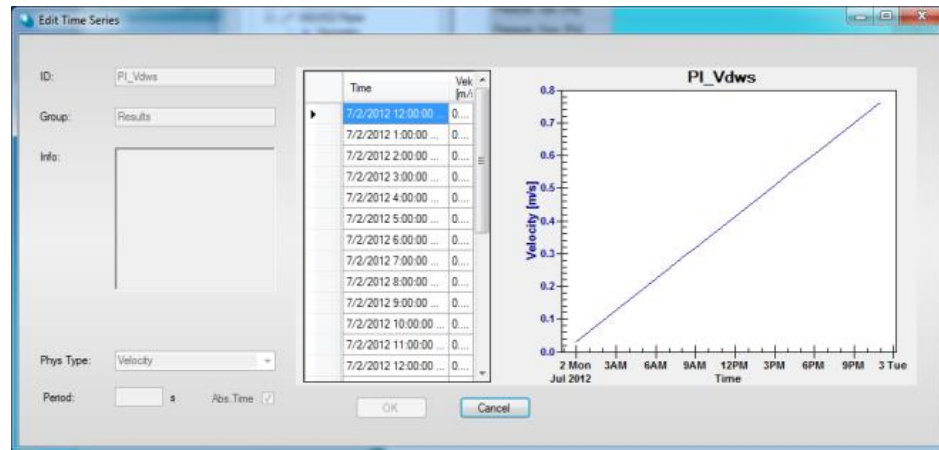
Pour récupérer les données après que la simulation soit terminée, ce qui est indiqué par une ligne verte avec la période de simulation, aller sur la partie réseau de l’écran et cliquer à droite.

Sélectionner l’option « Tout Editer », cliquer. La fenêtre avec tous les objets AQUIS s’ouvre comme vue précédemment.

Développer « Conduites AQUIS » et cliquer sur « Résultats ».

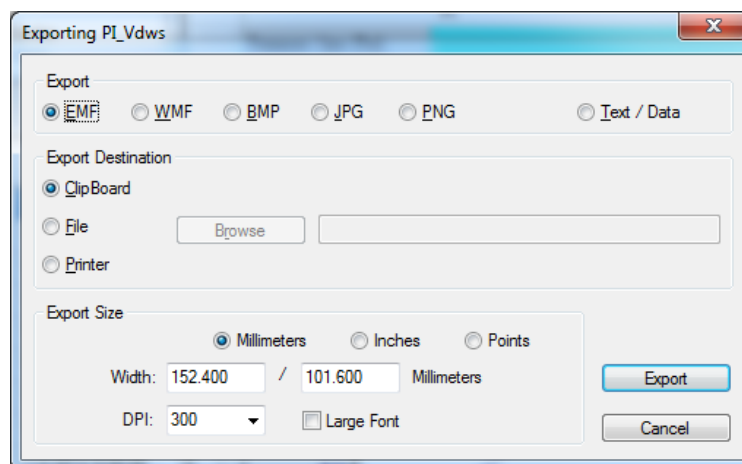
Select « Velocity, Dws [m/s] » and right click on the blue zone. Select the “View Time Series” option of the popup menu.

Sélectionner la donnée « Vitesse, Dws [m/s] » et clic droit sur la zone en bleu. Sélectionner « Voir les Séries Temporelles » du menu.



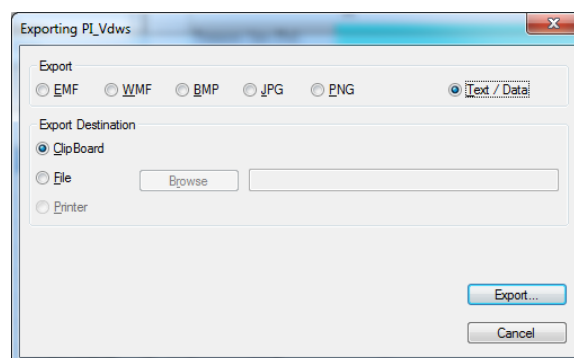
Now right click on the curve part of the popup window and select “Export Dialog” of the popup menu.

Cliquer à droite sur la courbe représentée sur la fenêtre superposée et sélectionner l’option « Dialogue Export » du menu.



Select the “Text / Data” option

Sélectionner l’option « Texte / Donnée »

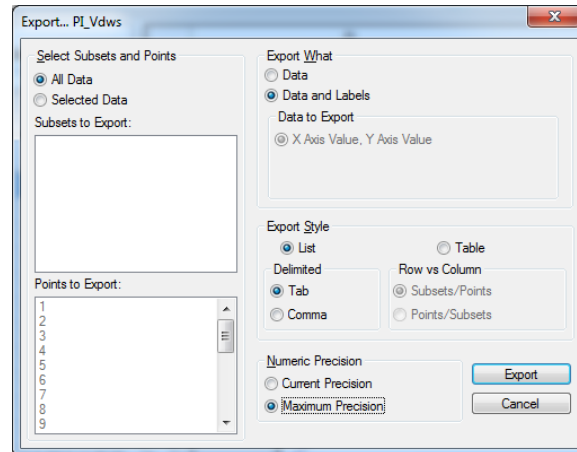


Click « Export », and then select « maximum Precision » and “Export” again.

The data is now ready in the clipboard to be

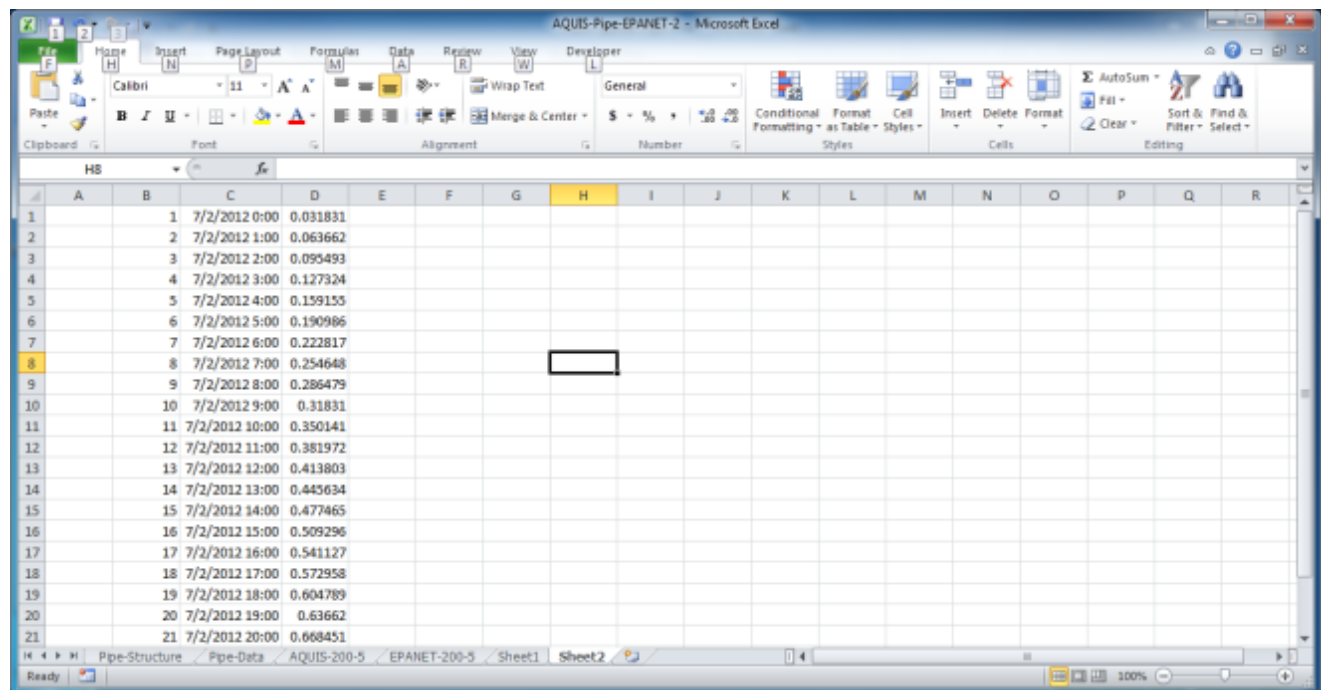
Cliquer sur « Export », puis sélectionner « Précision maximale » et « Export » à nouveau.

Les données sont maintenant disponibles dans le « presse papier » pour être collées dans



past in Excel.

Excel.



## Compare AQUIS and EPANET

We are now able to make the comparison between EPANET and AQUIS:

- We have a common model between EPANET and AQUIS
- The two models were able to be simulated
- We know how to capture data and transfer it to Excel

Let's now compare the results between AQUIS and EPANET for the pipe.

We are interested to see if the curves Head versus Velocity are the same.

We have gathered both simulated data in excel and get the following result.

As we can see AQUIS and EPANET give the same results.

## Comparer AQUIS et EPANET

Nous sommes maintenant capables de faire la comparaison entre EPANET et AQUIS :

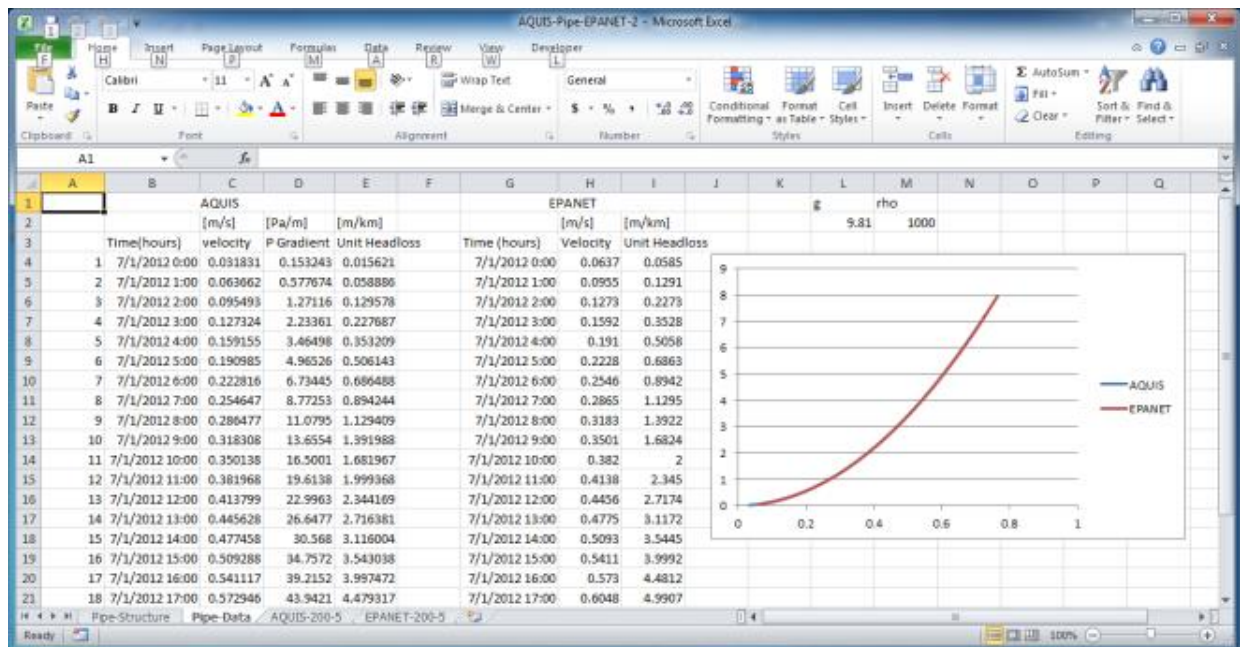
- Nous avons un modèle commun entre EPANET et AQUIS
- Les deux modèles peuvent être simulés
- On sait comment capturer des données pour les exporter dans Excel.

Comparons les résultats entre AQUIS et EPANET pour la conduite.

Nous nous intéressons aux courbes Pression versus vitesse et souhaitons qu'elles soient identiques.

Nous avons récolté les deux jeux de données simulées et ils donnent le résultat suivant.

Comme nous pouvons le voir, AQUIS et EPANET donnent les mêmes résultats.



$$\text{Unit Headloss} \left[ \frac{m}{km} \right] = \left( \frac{\text{Pressure Gradient} \left[ \frac{Pa}{m} \right]}{\rho \cdot g} \right) / 1000$$



## Computing f factor

We have developed a spreadsheet which get its data from the previous experiment and will develop a model to fit with Darcy-Weisbach D-W and derive the f coefficient.

The spreadsheets EPANET-200-5 and AQUIS-200-5 have the following columns (from row 5):

- A: Hours from 00:00 to 23:00
- B: the pipe length ( L=1000m)
- C: the pipe diameter (D=200mm)
- D: the demand flow from 2 to 24 LPS
- E: the velocity  $V$  computed by EPANET or AQUIS
- F: the **Unit HeadLoss** computed by EPANET
- H: the head difference

$$H = P_{Dws} - P_{Ups} = \text{Unit HeadLoss} * L/1000$$

- I:  $E_c = \frac{V^2}{2g}$
- J:  $h_f = f \frac{LE_c}{\left(\frac{D}{1000}\right)}, D [mm], L [m]$
- K:  $h_m = K_m E_c$
- L:  $h_f + h_m$
- M:  $ABS(H - (h_f + h_m))$
- Cell M3 is the sum of column M values

We use then the excel solver where the goal is to minimize M3 and allowing to change f (cell I2). We just set Km to 0, ignoring the minor losses (click on find f which invokes a macro).

The graph shown is presenting the total Head and  $h_f$ , we can see they fit one over the other. As EPANET and AQUIS input data are very similar we obtain a very similar value of "f" in both cases.

## Calculer le facteur f

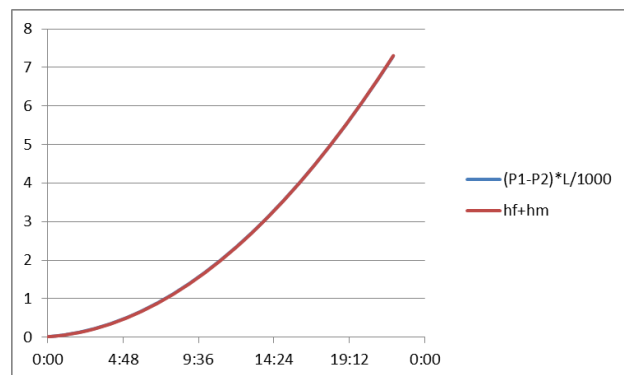
Nous avons développé une feuille de calcul qui reprend les données de l'expérience précédente pour l'ajuster au modèle Darcy-Weisbach D-W et calculer le coefficient f.

Les feuilles de calcul EPANET-200-5 et AQUIS-200-5 ont les colonnes suivantes (à partir de la ligne 5) :

- A : temps de 00:00 à 23:00
- B : la longueur de la canalisation (L=1000m)
- C : le diamètre de la canalisation (D=200mm)
- E : la vitesse d'écoulement  $V$  calculée par EPANET ou AQUIS
- F : la perte en charge linéique
- H : perte en charge totale :
- I à M, regarder la définition dans le texte à gauche

On utilise alors le « solveur » Excel avec comme objectif de minimiser M3 en permettant de changer la variable f (la cellule I2). Nous avons ignoré les pertes mineures avec Km=0. Cliquer sur le bouton « findf » pour invoquer le solveur.

Le graphe représente la charge totale et la friction : on voit qu'il y a superposition de l'une sur l'autre. Comme les données AQUIS et EPANET sont très voisines on obtient un valeur



de « f » très similaire dans les deux cas.



## Compute pipe roughness e

We have computed “f” with the Darcy-Weisbach (D-W) modeling and found the best fitting “f” minimizing the global distance between the points acquired after the simulation and the points computed with D-W model.

Now, using the Colebrook equation, we can find the pipe roughness as we know “f”.

The spreadsheets EPANET-200-5 and AQUIS-200-5 have the following columns (from row 5):

- N:  $1/\sqrt{f}$ , the first member of Colebrook
- O:  $R_e = V \cdot D/\nu$
- P:  $-2 \log_{10} \left[ \frac{e}{3.7 D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right]$  the 2<sup>nd</sup> member of Colebrook
- Q: ABS(N-P)

Cell “Q3” is the sum of those absolute differences. We use the solver again to find the minimum of “Q3”, allowing “e” to change (Cell “K2”).

The value “e” found in both case with AQUIS and EPANET data yield to the same result which is the roughness provided into the pipe definition.

## Calcul du paramètre e de rugosité

Nous avons calculé le facteur « f » du modèle de Darcy-Weisbach (D-W) en trouvant la meilleure valeur de « f » qui minimisait la distance globale entre les points calculés par la simulation et ceux calculés par le modèle de D-W.

Maintenant, en utilisant l’équation de Colebrook, nous pouvons calculer la rugosité puisque nous connaissons « f ».

Les feuilles de calcul « EPANET-200-5 » et « AQUIS-200-5 » ont les colonnes suivantes :

- N :  $1/\sqrt{f}$  le premier membre de l’équation de Colebrook
- O:  $R_e = V \cdot D/\nu$  le nombre de Reynolds
- P :  $-2 \log_{10} \left[ \frac{e}{3.7 D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right]$  le deuxième membre de l’équation de Colebrook
- Q: ABS(N-P)

La cellule « Q3 » est la somme des valeurs absolues des différences. On utilise à nouveau le « solveur » pour rechercher le minimum de « Q3 » en modifiant la valeur « e » (cellule « K2 »).

La valeur de « e » trouvée dans les deux cas AQUIS et EPANET donnent des résultats similaires. C’est aussi la valeur donnée lors de la spécification de la conduite dans les simulateurs EPANET et AQUIS.

## Conclusion

In this document, we have

1. Restated the basic equation of steady-state flows in pipes
2. Created a very simple model for a trivial network in order to investigate the pipe theory with the EPANET and AQUIS water network simulators
3. Implemented the model both with EPANET and AQUIS and shown the results and the modeling are the same
4. Shown the computed values for AQUIS and EPANET are the same for the pipe and follow the Darcy-Weisbach equation, which is what the simulators documentation are telling
5. Developed a simple method with Excel solver to fit “f” factor with “experimental” data, in this case the AQUIS and EPANET simulator results
6. Same for the roughness “e”

The Excel method can of course be used to calculate “f” and “e” for “true” experimental data (coming from real physical measurement campaigns).

But this should also be the case of the calibration features of simulation software. We will discover that in another technical note about “Learning Water Network Modeling”.

## Conclusion





Dans ce document nous avons

1. Reformulé les bases de écoulement stationnaires dans les conduites
2. Créé un modèle très simple pour investiguer cette théorie des conduites avec les simulateurs EPANET et AQUIS
3. Implémenté le modèle avec EPANET et AQUIS et montré que les résultats de modélisation sont les mêmes
4. Montré que les valeurs calculés par AQUIS et EPANET sont identiques pour les conduites et suivent l'équation de Dracy-Weisbach, ce que la documentation des simulateurs spécifie
5. Développé un modèle simple avec le solveur d'Excel pour calculer le facteur « f » avec les données « expérimentales », qui dans ce cas ont été fournies par les simulateurs EPANET et AQUIS.
6. Idem pour le calcul de la rugosité « e »

La méthode Excel peut bien sûr être utilisée pour calculer « f » et « e » à partir de données expérimentales réelle (issue de campagne de mesures physiques).

Mais ceci doit certainement être couvert par la fonction « calibration » des logiciels de simulation. Nous découvrirons ceci dans une autre note technique pour « Apprendre à modéliser les réseaux d'adduction d'eau »

## Annex / Annexe

File/Fichier	Description	Description
 testColebrook.7tg	AQUIS project	Projet AQUIS
 testColebrook.net	EPANET project	Projet EPANET
 testColebrook.inp	EPANET “network” file (.inp), used as AQUIS import from EPANET	Fichier EPANET de type « network » (.inp) servant d’import à AQUIS
 AQUIS-Pipe-EPANET-2.xlsm	Excel Workbook with the following spreadsheets: <ul style="list-style-type: none"> <li>- “Pipe Structure”: data about the pipe under investigation</li> <li>- “Pipe-Data”: the data gathered after the AQUIS and EPANET simulation of the network under investigation</li> <li>- “AQUIS-200-5”: the spreadsheet to calculate the f factor and e the roughness, from simulated data of AQUIS</li> <li>- “EPANET-200-5”: same for EPANET simulation</li> </ul>	Fichier Excel contenant les feuilles suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Pipe Structure » : les données de la conduite en investigation</li> <li>- « Pipe-Data » : les données issues de la simulation AQUIS et EPANET sur le réseau en cours d’étude</li> <li>- « AQUIS-200-5 » : feuille de calcul pour calculer le facteur « f » et la rugosité « e » à partir des données simulée AQUIS.</li> <li>- « EPANET-200-5 » : même chose pour EPANET</li> </ul>