



## Note aux lecteurs

Les prescriptions techniques générales s'appliquent aux opérations à réaliser en Haïti et relevant du champ de compétence de la Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DINEPA). Elles constituent un référentiel, certaines à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle, d'autres ayant un rôle d'information et de support complémentaire.

Les documents à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle sont :

- **Les Fascicules Techniques** indiquant les principes obligatoires et les prescriptions communes à une sous thématique technique ;
- **Les Directives Techniques** prescrivant les règles minimales imposées pour la conception et la réalisation ainsi que la gestion d'ouvrages spécifiques.

Tout propriétaire et/ou réalisateur est tenu de respecter au minimum les prescriptions qui y sont indiquées. Toute dérogation devra faire l'objet d'une autorisation au préalable et par écrit de la DINEPA.

Les documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire, sont :

- Les fiches techniques et Guides techniques présentant ou décrivant des ouvrages ou des actions dans les différentes thématiques ;
- Les modèles de règlements d'exploitation ou de gestion ;
- Les modèles de cahiers des clauses techniques particulières, utilisables comme « cadres - type » pour les maîtres d'ouvrages et concepteurs ;
- Divers types de modèles de documents tels que procès verbaux des phases de projet, modèles de contrat ou de règlement, contrôle de bonne exécution des ouvrages, etc.

Ces documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire sont compatibles avec la réglementation imposée et peuvent préciser la compréhension des techniques ou fournir des aides aux acteurs.

Le présent référentiel technique a été élaboré en 2012 et 2013 sous l'égide de la DINEPA, par l'Office International de l'Eau (OIEau), grâce à un financement de l'UNICEF.

Dépôt légal 13-11-546 Novembre 2013. ISBN 13- 978-99970-52-05-6.

Toute reproduction, utilisation totale ou partielle d'un document doit être accompagnée des références de la source par la mention suivante : *par exemple* « extrait du référentiel technique national EPA, République d'Haïti : Fascicule technique/directives techniques/etc. 2.5.1 DIT1 (projet DINEPA-OIEau-UNICEF 2012/2013) »

# Sommaire

1	Introduction .....	3
2	Limites.....	3
3	Modélisation mathématique des réseaux d'eau potable .....	3
3.1	Principe.....	3
3.1.1	Réalisation du modèle .....	4
3.1.2	Campagne de mesures .....	7
3.1.3	Calage du modèle.....	8
3.1.4	Utilisation du modèle .....	9
3.2	Choix du logiciel de modélisation .....	11
4	Contenu de l'étude de modélisation.....	11

## 1 Introduction

La réalisation d'une modélisation hydraulique d'un réseau d'eau potable a pour but de **reproduire mathématiquement le fonctionnement réel du système**. Les modèles hydrauliques permettent de déterminer les caractéristiques d'un réseau : pression en chaque point du réseau, sens de circulation de l'eau, débit dans les conduites, point de fonctionnement des ouvrages singuliers (réservoirs, pompes, régulateurs, ...). Cette modélisation doit aussi permettre de déterminer les insuffisances et anomalies de fonctionnement des réseaux et des ouvrages. Après la modélisation de l'existant, la simulation informatique doit pouvoir valider les aménagements et travaux nécessaires pour améliorer et sécuriser la distribution de l'eau potable.

A condition d'être élaboré avec soin, un modèle permet donc :

- de comprendre l'influence des différents paramètres sur le fonctionnement du réseau ;
- d'analyser le comportement du réseau à partir de modifications structurelles ou fonctionnelles.

## 2 Limites

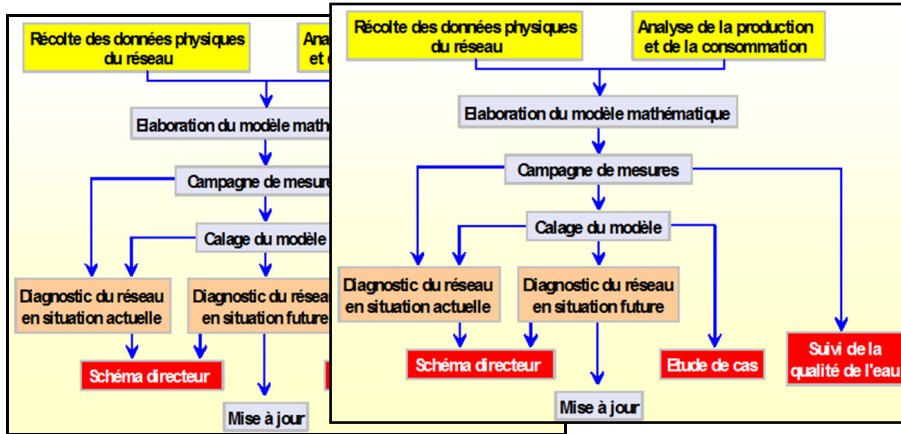
La modélisation est un outil qui n'a d'utilité qu'en complément d'une excellente connaissance du terrain. Une modélisation avec des hypothèses qui ne se confirment pas sur le terrain (diamètre des conduites mal connu, rugosité évaluée sans l'avoir vérifiée, topographie estimée, fonctionnement hydraulique non permanent, etc.) est non seulement inutile mais conduira à des erreurs de dimensionnement, voir à un non fonctionnement complet du projet.

L'outil de modélisation doit ainsi être réservé aux seuls réseaux déjà en état de fonctionnement hydraulique en charge et dont les caractéristiques physiques réelles sont bien connues ou facilement mesurables en pratique. Pour les réseaux simples (ramifiés, faible nombre d'abonnés...) ou peu fonctionnels (mise en charge quelques heures seulement) il est vivement recommandé de procéder à un calcul hydraulique sur papier et un dessin précis du réseau, plutôt qu'à une modélisation qui prendrait du temps pour un résultat risquant d'être éloigné des réalités du réseau.

## 3 Modélisation mathématique des réseaux d'eau potable

### 3.1 Principe

La complexité des réseaux (réseaux maillés, nombreux ouvrages de stockage et de suppression...) nécessite de disposer d'outils adaptés permettant de simuler son fonctionnement actuel et les réactions d'un tel réseau aux modifications éventuelles qu'il pourrait subir (extension d'un quartier, mise hors service d'un ouvrage...). De plus, un tel outil permet d'optimiser la politique d'investissement à réaliser (à court, moyen ou long terme) afin d'assurer à tout moment les besoins qualitatifs et quantitatifs.



### 3.1.1 Réalisation du modèle

La constitution d'un modèle nécessite la collecte d'un nombre important de données permettant de constituer la base du modèle. Pour la réalisation de son modèle mathématique des réseaux d'eau potable, le Bureau d'Etudes devra prendre en compte les éléments suivants :

#### Plan du réseau

On établira un plan géoréférencé des réseaux à une échelle adéquate, qui résume toutes les composantes du système de distribution. Tous les nœuds seront numérotés, leurs altitudes seront recherchées. La précision minimale admissible pour les altitudes sera de +/- 0,1 m<sup>1</sup>

Quel que soit le support matériel utilisé (plans papier ou S.I.G.), on distingue en général :

- Les plans d'ensemble repérant les ouvrages importants et les principales canalisations à une échelle de 1/25 000 ou 1/10 000.
- Les plans détaillés par secteur à l'échelle 1/2 000 ou 1/2 500.
- Les plans de récolement avec mention de l'emplacement des branchements et la description des appareillages hydrauliques sur les nœuds.
- Les carnets de vannage où les ouvrages hydrauliques sont triangulés par rapport à des repères fixes.

Ces documents comporteront le diamètre, la nature et l'âge des canalisations, les poteaux et bouches d'incendie, ainsi que tous les ouvrages et équipements hydrauliques du réseau (vannes, ventouses, vidanges, régulateurs de pression et de débit, compteurs généraux...).

Les plans pourront être complétés par l'élaboration d'un profil schématique ou d'un synoptique représentatif du fonctionnement hydraulique du réseau.

Très utilisé par certains exploitants, ce document précise les caractéristiques et les cotes des ouvrages, les noms et les cotes extrêmes des lieux desservis, les conduites principales et les équipements particuliers.

<sup>1</sup> Cette valeur peut être plus importante en cas de fort dénivelé entre le point de distribution et celui d'arrivée, mais elle ne dépassera en aucun cas le mètre.

Ce document respecte l'échelle des hauteurs et indique des cotes de niveau, les longueurs et autres dimensions horizontales sont schématisées (Exemple en Annexe 1).

### **Données structurelles**

Les données structurelles du réseau doivent être connues pour le fonctionnement réel du réseau, mesurées in situ ou données par le fabricant pour les réseaux neufs :

- les conduites de transport et de distribution, avec leurs caractéristiques propres: longueur, diamètre, année de pose, matériaux, rugosité, fuites majeures, profondeur de pose, etc... ;
- les ouvrages de production, de stockage distribution, tels que les usines de traitement, les stations de pompage, de reprise et de surpression, les réservoirs et les stabilisateurs de pression avec leurs caractéristiques propres:
  - courbes ( $Q^2$ , HMT<sup>3</sup>) des groupes électropompes ;
  - côtes de radier, de trop plein et de surverse des réservoirs ;
  - côte piézométrique aval des stabilisateurs...
- les divers appareillages tels que clapets, vannes fermées ou partiellement ouvertes et susceptibles d'être manœuvrés en service normal...

### **Données relatives aux consommations**

Détermination des valeurs de consommation et leur répartition spatiale.

Dans le cas des réseaux urbains en Haïti ces valeurs seront particulièrement délicates à obtenir : les variations de comportement des consommateurs sont importantes (de 20 à 150l/j répartis très inégalement au fil de la journée) mais surtout du fait du faible ratio de branchements équipés de compteurs fonctionnels voire de vannes permettant une mise en charge.

En Haïti, hors Port Au Prince, la consommation d'eau potable des ménages, s'établit comme suit : 70 l/jour/habitant en moyenne en villes secondaires et 20 l/jour/habitant en zones rurales (source : Etude sur l'approvisionnement en eau potable en Haïti, 2005).

Selon le schéma directeur de la région métropolitaine de Port-au-Prince, la consommation d'eau potable des ménages, s'établit comme suit :

---

<sup>2</sup> Q : Débit

<sup>3</sup> HMT : Hauteur Manométrique Totale

**Tableau 1: Consommation d'eau potable des ménages et hypothèses d'évolution de la demande en eau dans la région métropolitaine de Port-au-Prince**

RÉSIDENTIEL	ANNEE HORIZON 2015			ANNEE HORIZON 2020			ANNEE HORIZON 2025		
	POPULATION	CONSOM. (l/pers/j)	DEMANDE (m <sup>3</sup> /J)	POPULATION	CONSOM. (l/pers/j)	DEMANDE (m <sup>3</sup> /J)	POPULATION	CONSOM. (l/pers/j)	DEMANDE (m <sup>3</sup> /J)
Haut standing	254 000	210	53 340	267 000	215	57 405	280 000	220	61 600
Moyen standing	1 314 000	65	85 410	1 381 000	70	96 670	1 451 000	75	108 825
Bas standing	830 000	45	37 350	872 000	50	43 600	917 000	55	50 435
Très bas standing	693 000	35	24 255	728 000	40	29 120	765 000	45	34 425
<b>TOTAL RESIDENTS</b>	<b>3 100 000</b>	<b>65</b>	<b>200 355</b>	<b>3 200 000</b>	<b>71</b>	<b>226 795</b>	<b>3 400 000</b>	<b>75</b>	<b>255 285</b>
+ AUTRES QUE RES.		20%	40 071		25%	56 699		30%	76 586
- RECUP. PLOIE		15%	30 053		15%	34 019		15%	38 293
- AUTRES APPROV.		15%	30 053		15%	34 019		15%	38 293
<b>Besions totaux CTE</b>			<b>180 320</b>			<b>215 455</b>			<b>255 285</b>
Pertes du reseau		50%	180 500		40%	143 600		30%	109 500
Rendement du reseau			50%			60%			70%
Production requise			361 000			359 000			365 000
Production actuelle			190 000			190 000			190 000
Deficit en m3/j			171 000			169 000			175 000

Il faut faire la distinction entre les abonnés domestiques et les gros consommateurs avec localisation de ces derniers.

**Tableau 2: Exemple de tableau de synthèse**

Nœud final	Localisation	TN initial	TN final	Longueur (m)	Diamètre intérieur (mm)	Nombre d'abonnés nœud final	Conso nœud final (m <sup>3</sup> /an)	Conso moyenne nœud final (m <sup>3</sup> /h)	Conso pointe nœud final (m <sup>3</sup> /h)
Pompage Montaigt	Montaigt	463	460	110	60				
Château d'eau de Montaigt	Montaigt	460	511	1047	80				
Montaigt	Montaigt	511	485	540	80	24	3123	0,3565	0,5348
Lachaud	Lachaud	485	480	1380	60	20	1950	0,2226	0,3339
Peu du Coup	Peu du Coup	480	487	629	60	3	173	0,0197	0,0296
Jalibout	Jalibout	511	483	261	80	10	1001	0,1143	0,1714
Joux	Joux	483	475	303	60	1	152	0,0174	0,0260
Chazette	Chazette	475	432	1188	60	8	548	0,0626	0,0938
Le Grand Montaigt	Le Grand Montaigt	483	490	599	80	20	3219	0,3675	0,5512
Les Baïlles	Les Baïlles	490	434	601	63,2	2	218	0,0249	0,0373
Meillerateix	Meillerateix	434	395	1161	63,2	5	172	0,0196	0,0295
Réducteur Pression 1	Meillerateix	395	397	57	63,2				
Le Monteillard	Le Monteillard	397	396	553	63,2	10	556	0,0635	0,0952
Las Champs	Las Champs	397	421	622	63,2	4	263	0,0300	0,0450
6	La Villatte	395	405	578	63,2				
Réducteur Pression 2	La Villatte	405	404	18	63,2				
La Villatte	La Villatte	404	401	158	63,2	12	1957	0,2234	0,3351
7	Le Deniaud	405	458	637	63,2				
Château d'eau des Charrauds	Les Charrauds	458	484	176	75,8				
8	Les Termes	484	449	329	75,8				
Réducteur Pression 3	Les Termes	449	446	137	53				
Saint Silvain	Saint Silvain	446	394	855	53	18	844	0,0963	0,1445
La Faye	La Faye	449	472	459	53	12	1570	0,1792	0,2688
Rebeyrat	Rebeyrat	472	432	575	42	13	1548	0,1767	0,2651
Rebeyrat 2	Rebeyrat	432	428	383	42	1	50	0,0057	0,0086
Les Charrauds	Les Charrauds	484	467	515	75,8	36	2555	0,2917	0,4375
Masbonson	Masbonson	467	470	599	33,6	14	911	0,1040	0,1560
Le Pont du Cher	Le Pont du Cher	470	429	953	33,6	1	99	0,0113	0,0170

### Données dynamiques

Pour la modélisation, nous devons avoir les profils de consommation au cours du temps pour les différents réseaux et catégories d'abonnés ainsi que les règles de contrôle et d'asservissement des ouvrages.

Les données de consommation sont celles qui résultent de l'analyse des besoins, elles sont réparties quantitativement et géographiquement aux nœuds et le long des tronçons. L'ensemble de ces données est alors enregistré par un programme de saisie informatique.

### 3.1.2 Campagne de mesures

Une campagne de mesures doit être réalisée en certains points du réseau choisis judicieusement pour permettre le calage du modèle.

L'implantation des points de mesures sera au minimum la suivante :

- Débit :
  - En sortie de captages, forages, réservoirs de tête, usines de production...,
  - En sortie des points de stockage (réservoirs, château d'eau...)
- Niveaux :
  - Réservoirs
- Pression :
  - En bout de réseau, points bas, points hauts caractéristiques, ouvrages stratégiques...

#### **Démarche pour la campagne de mesures :**

Des appareils enregistreurs de pression (data logger, par exemple) seront installés sur les « x » points pendant une journée (minimum 24 heures) en utilisant les équipements divers du réseau : ventouse, vanne, bouche d'incendie, branchement particulier, robinet extérieur, etc...

Les niveaux des réservoirs et les débits des différentes ressources seront mesurés et enregistrés pendant la période de mesure (minimum une semaine).

Les débits (et éventuellement la pression) seront aussi mesurés sur les « x » points nodaux du réseau pendant une semaine au minimum.

L'analyse des résultats sera effectuée zone par zone, les données seront classées au minimum par heure.

Cette campagne de mesure se déroulera sous la responsabilité d'un ingénieur spécialisé et un agent de la collectivité assistera à sa réalisation.

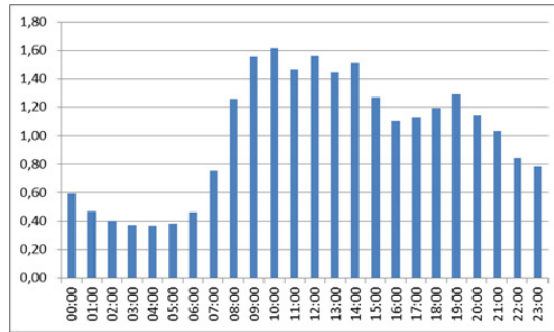
Par ailleurs, le matériel de mesure<sup>4</sup> nécessaire à cette opération sera fourni par une société spécialisée et/ou on pourra utiliser les données du matériel de mesures éventuellement déjà en place sur le réseau.

En cas d'intervention sur le réseau (pose de prises en charge), les travaux de pose seront assurés par l'exploitant et les travaux de surveillance et de relevé seront assurés par le responsable de l'étude.

---

<sup>4</sup> Vérifié et étalonné par un organisme accrédité





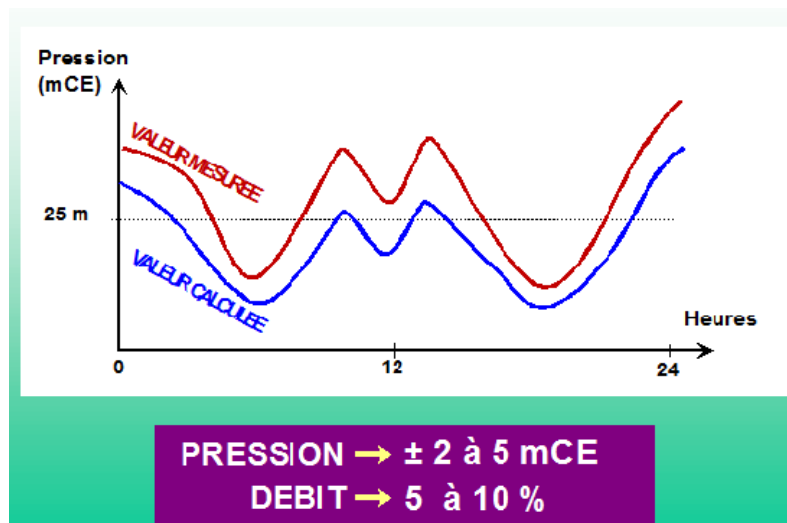
**Figure 1: Exemple de courbe de consommation**

On notera que le bilan des principaux incidents enregistrés sur le réseau au cours des dernières années pourra être établi : manque d'eau, pression insuffisante, qualité de l'eau, fuites, plaintes abonnés,...

### 3.1.3 Calage du modèle

A partir des données établies précédemment, on procédera au calage du modèle qui consiste à modifier les données de base de ce modèle jusqu'à obtenir par le calcul, les valeurs mesurées sur le terrain.

La validité du calage s'apprécie au travers de la comparaison des courbes de débit, des marnages de réservoirs, des courbes de pression et niveaux piézométriques calculés avec les données observées sur le terrain.



**Figure 2: Calage du modèle**

En cas de besoin, les ajustements des données de terrain (coefficients de rugosité, pertes de charges singulières, déconnexions de canalisations, réglage de vannes, etc...) seront faits en donnant une valeur habituelle ou normale aux grandeurs modifiables plutôt que par des ajustements anormaux. Si toutefois de tels ajustements doivent être faits (rugosités très élevée, considérations particulières sur des pertes de charges singulière ou des connexions, etc...), le contrôle de leur validité doit être effectué par des mesures et des vérifications sur le terrain en collaboration avec le personnel de l'exploitant.

Si les résultats du calage ne sont toujours pas satisfaisants ( $Dp^5 > 5mCE$  ou  $Dq^6 > 10\%$ ), la campagne de mesures devra être répétée jusqu'à atteindre les résultats demandés.

Le calage peut être réalisé en statique (deux instants précis au minimum) ou en dynamique (24h au minimum). Le calage dynamique est à privilégier car il permet de traduire les variations de débit et de pression durant la journée en fonction du comportement des consommateurs.

Le calage doit être validé par le fonctionnement du modèle dans une autre situation que celle du calage initial.

On peut, par exemple, réaliser la validation sur une journée de la campagne de mesures où a été créé un événement exceptionnel (tirage sur un PI<sup>7</sup>, modification d'un maillage...).

### 3.1.4 Utilisation du modèle

La modélisation doit permettre d'améliorer le fonctionnement du réseau mais aussi l'optimisation des programmes d'investissement pour satisfaire et compléter les besoins en eau potable dans les années futures.

En effet, un tel outil permet de simuler toutes les conditions de fonctionnement du réseau existant ou projeté et de sélectionner les solutions de renforcement et d'extension qui soient à la fois sûres sur le plan technique et d'un coût optimum.

#### **Etude de l'existant, aménagements à court terme**

Les premières simulations auront pour but de faire apparaître les éventuelles anomalies importantes présentées par les installations existantes, par exemple:

- pertes de charge importantes dans certaines conduites ;
- pressions trop faibles ou trop fortes en certains points du réseau ;
- absence de marnage des réservoirs d'équilibre ou au contraire leur vidage ou débordement ;
- vitesse de circulation trop faible dans certaines conduites pouvant nuire à la qualité de l'eau ou au contraire vitesses anormalement élevées ;
- simulation de situations exceptionnelles (insuffisance ou arrêt total d'un point d'approvisionnement, rupture d'une canalisation principale,...) avec définition d'un schéma d'alimentation prioritaire en cas de crise (hôpitaux, industriels, bâtiments publics, ...).

Il est à noter que la modélisation ne s'applique pas à l'étude du réseau pour les paramètres suivants :

- paramètres bactériologiques, vulnérabilité aux contaminations, consommation du chlore injecté ;
- réseaux en air, réseaux ne se mettant en charge que durant une faible portion de la journée/semaine ;

---

<sup>5</sup> Différence de pression

<sup>6</sup> Différence de débit

<sup>7</sup> Poteau Incendie

## 5.2.1 GUI2

- absence de mise en charge due à l'absence de vannes chez les abonnés ou à des fuites trop nombreuses ;
- absence de mesure des débits ou insuffisance de cette mesure ;
- absence de mesure des pressions ou insuffisance de cette mesure ;
- matériaux, diamètres, rugosité et ouvrages hydrauliques inconnus ou mal connus.

**Remarque :** Pour les réseaux importants, il est souvent conseillé de réaliser plusieurs modèles successifs, le premier ne comportant que les ouvrages et les conduites principales. Une fois que le fonctionnement général est validé (se référer au paragraphe 3.1.3 Calage du modèle), le modèle est complété jusqu'au niveau de détail souhaité.

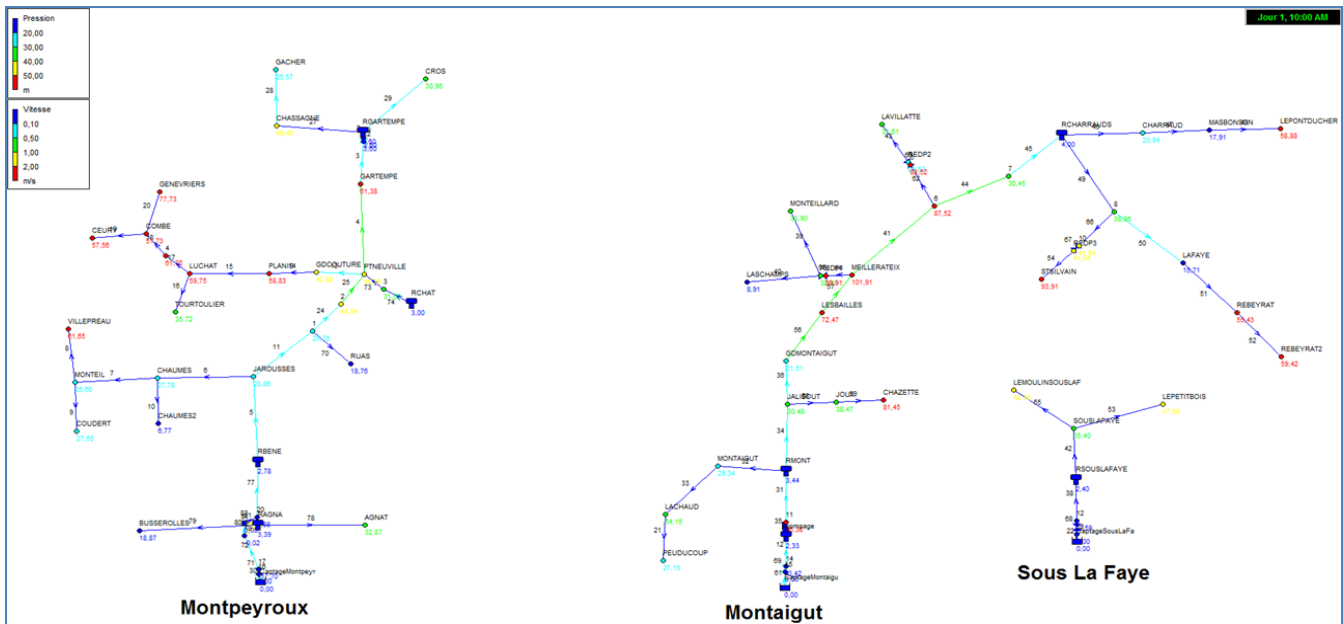
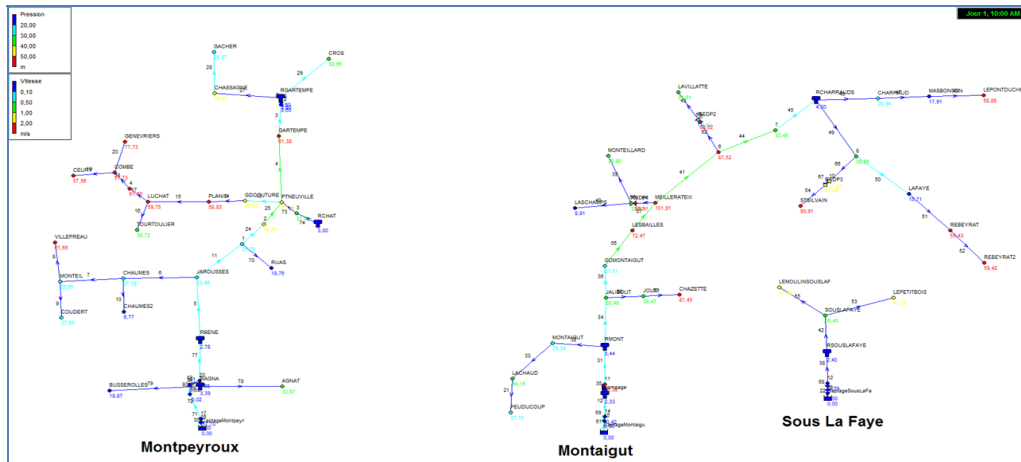


Figure 3: Exemples de modélisation

**Sensibilité du réseau à une augmentation de la consommation, aménagements à moyen terme :**

Le modèle mathématique permettra également de déterminer à partir de quel moment il sera nécessaire de procéder à des renforcements (réseau, réservoir, pompes, ...) compte tenu de nouveaux projets d'urbanisation ou d'une augmentation supposée de la consommation.

### **Etude en configuration de défense incendie :**

Il s'agit d'utiliser le modèle en vue de tester la sécurité offerte par la configuration actuelle ou future du réseau en situation de défense incendie.

Une telle situation permet, entre autres, de mesurer l'impact sur le réseau (en pression et débit) d'un prélèvement important effectué par les services de défense incendie.

### **3.2 Choix du logiciel de modélisation**

Le logiciel de modélisation mathématique utilisé doit être compatible avec Windows pour pouvoir partager et diffuser le modèle. Il doit permettre:

- la saisie de plus de 5 000 nœuds et 5 000 tronçons ;
- la modélisation des différents ouvrages et organes d'un réseau d'eau potable, de visualiser à l'écran le réseau, les ouvrages du modèle ;
- l'affichage des données relatives à un tronçon ou un nœud par simple « clic » de souris ; le paramétrage couleur de données ;
- la modélisation des asservissements, du fonctionnement des pompes, vannes, réservoirs à la pression, au niveau, à un compteur horaire,
- le tracé de profils hydrauliques ;
- la visualisation de résultats sur 24 heures sous forme de tableaux et de graphiques.

Il est obligatoire que le format de fichier fourni pour une modélisation soit compatible intégralement avec le logiciel EPANet.

Pour les coordonnées géographiques les prescriptions minimales sont :

- le référentiel géodésique est le WGS 84 ;
- le système de projection est le UTM, fuseau 18 (le 19 peut être employé pour les extrémités d'Haïti mais sa conversion en fuseau 18 doit être donnée) ;
- les coordonnées GPS sont exprimées en degré, minutes, secondes, décimales (par exemple : 45°50'8.60"N - 1°14'25.70"E) ;
- la précision minimale des coordonnées est de 1 m ;
- les altitudes ont une précision minimale de +/- 0,1 m.

## **4 Contenu de l'étude de modélisation**

L'étude comprend donc plusieurs phases:

1. Recueil des données descriptives et caractéristiques du réseau, ainsi que des dernières consommations en eau.
2. Construction du modèle à proprement parler avec saisie du réseau d'eau potable et affectation des consommations en eau sur l'ensemble du réseau.
3. Campagne de mesure et calage du modèle (réduction des écarts entre les valeurs calculées et les valeurs observées).
4. Etude de cas.
5. Rapport de synthèse.

Le rapport de synthèse rappellera la méthode utilisée, les mesures effectuées, les hypothèses retenues.

Il synthétisera les résultats obtenus sur le réseau global, pour les différents cas de fonctionnement retenus et prendra en compte les possibilités de développement.

Le rapport mettra en évidence:

- les points faibles du réseau, des ouvrages à savoir pression trop basse ou trop élevée, variations brusques de pression, vitesse de l'eau trop faible ou trop importante, modification du sens de l'écoulement, stockages surdimensionnés ou insuffisants, marnage anormal des réservoirs, etc...
- des solutions techniques adaptées permettant de résoudre les problèmes constatés (renforcement de réseau, ouvrages de stockage, de pompage)

Les solutions proposées seront testées sur le modèle afin de s'assurer du résultat.