

Responsable de stage :
Bruno Lemaire

Maître de stage :
Guillaume Godard

Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois et discussion sur la modélisation des réseaux



Stage de fin d'étude ENGREF,
effectué à Safege Nevers du 01/04/2010 au 30/09/2010.

Emily Le Rouzic

octobre 2010

AgroParisTech - Engref à Montpellier
B.P.7355 – 34086 MONTPELLIER Cedex 4
Tél. (33) 4 67 04 71 00
Fax (33) 4 67 04 71 01

SAFEGE Nevers
25, rue Gambetta
BP 526 – 58005 Nevers Cedex
Tél. (33) 1 46 14 71 00

AgroParisTech – ENGREF

Safege Nevers

Responsable de stage :

Bruno Lemaire

AgroParisTech-ENGREF
Département Sciences et ingénierie
agronomiques, forestières, de l'eau et de
l'environnement
UFR Sciences et ingénierie de l'eau et
des déchets (SIAFEE/SIED)
19, avenue du Maine
F-75732 Paris Cedex 15
Bruno.Lemaire@engref.agroparistech.fr
Tel: + 33 (0)1 45 49 89 30
Fax : + 33 (0)1 45 49 88 48

Maître de stage :

Guillaume Godard
Directeur d'Agence

Safege Nevers,
25 rue Gambetta
BP 526, 58 005 NEVERS Cédex
Guillaume.godard@safege.fr
Tel: + 33 (0)3 86 93 00 73
Fax: + 33 (0)3 86 93 00 74

**Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du
Bazois et de Châtillon en Bazois et discussion sur la
modélisation des réseaux**

Stage de fin d'étude ENGREF,
effectué à Safege Nevers du 01/04/2010 au 30/09/2010.

Emily Le Rouzic

octobre 2010

Abstract

A diagnosis of a drinking water system is a study including the hydraulic and qualitative system analysis and a compensation schedule. This report provides an overview of the different phases of such a diagnosis, based on the example of the inter-communal union for drinking water supply called "SIAEP du Bazois" in the department of Nièvre, France. The present study provides also a feedback about the establishment of a model. One focuses on water leaking areas and chlorination problems, and a schedule of work is done to improve the existing system. The limits of the model are given at each important modelisation phase.

Résumé

Un diagnostic d'un réseau d'eau potable est une étude comprenant l'analyse hydraulique et qualitative du réseau actuel et la réalisation d'un schéma directeur. Ce rapport vise à fournir un aperçu des différentes phases d'un diagnostic de réseau d'eau potable, en se basant sur l'exemple du Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable du Bazois dans la Nièvre. L'étude présente également un retour d'expérience concernant la modélisation accompagnant ce diagnostic. Les secteurs fuyards et faibles du réseau et les problèmes de chloration de l'eau sont mis en lumière et un échéancier de travaux est réalisé afin d'améliorer le réseau existant. Les limites du modèle sont analysées pour chacune des principales phases de modélisation.

Mots clé: diagnostic réseau d'eau potable, modélisation hydraulique, modélisation qualitative, canalisation, réservoirs, chloration.

Remerciements

*Je tiens tout d'abord à adresser mes plus vifs remerciements à **Guillaume Godard**, Directeur de l'agence de Safege Nevers, mon maître de stage, pour m'avoir accueilli au sein de son équipe et pour m'avoir fait confiance sur les différentes missions confiées lors de mon stage.*

*Un grand merci à **Bruno Lemaire**, mon tuteur de stage, pour son suivi, ses conseils avisés et pour son écoute attentive.*

*Je remercie également **Cyril Perriot-Comte**, ingénieur de projet de l'agence, pour son encadrement lors de ce travail, pour sa pédagogie quant aux questions d'hydraulique urbaine et pour son soutien.*

*J'adresse également un grand merci à tous les membres de l'équipe de l'agence de Safege Nevers : **Sandrine, Benoît, Stéphanie** et **Lucille** pour leur bonne humeur et leur écoute.*

*Et, enfin, je remercie la **SAUR**, les maires des différentes communes du SIAEP du Bazois et le maire de Châtillon en Bazois et la **DDT** de la Nièvre pour leur collaboration dans cette étude diagnostic.*

Liste des acronymes

AEP: adduction en eau potable

CCTP : cahier des charges techniques particulières

CT : collectivités territoriales

DDT : direction départementale des territoires

DUP : déclaration d'utilité publique

EP : eau potable

EU : eau usée

HMT : hauteur manométrique totale

ILC : indice linéaire de consommation

ILP : indice linéaire de perte

R^{dt} : rendement

SDIS : service départemental d'incendie et de secours

SIAEP : syndicat intercommunal d'adduction en eau potable

SPANC : service public d'assainissement non collectif

STEP : station d'épuration

VEG : vente en gros

VRD : voiries réseaux divers

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction	9
1.1 Déroulement du stage.....	9
1.2 Présentation de Safege.....	10
1.2.1 L'entreprise Safege.....	10
1.2.2 L'agence de Safege Nevers.....	12
1.3 Présentation de l'étude.....	14
1.3.1 Contexte de l'étude.....	14
1.3.2 Méthodologie générale de l'étude.....	14
1.3.2.1 Phase 1 : le pré-diagnostic.....	14
1.3.2.2 Phase 2 : Campagnes de mesures et recherches de fuites.....	14
1.3.2.3 Phase 3 : diagnostic et modélisation des réseaux.....	15
1.3.2.4 Établissement du schéma directeur et échancier.....	15
1.3.3 Méthodologie de modélisation des réseaux.....	15
1.3.3.1 Objectifs de la modélisation.....	15
1.3.3.2 Les étapes de la modélisation.....	16
2 La construction du modèle	17
2.1 Fonctionnement du logiciel Piccolo.....	17
2.1.1 Description physique du réseau.....	18
2.1.2 Les conditions de fonctionnement du réseau.....	18
2.2 La collecte de données des réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois.....	19
2.2.1 Analyse des consommations actuelles et futures.....	19
2.2.2 Analyse de la production.....	20
2.2.3 Analyse des réseaux.....	20
2.2.3.1 Les principaux ouvrages.....	20
2.2.3.2 Les matériaux et diamètres des canalisations.....	24
2.2.4 Analyse des pertes sur le réseau.....	24
2.2.5 Analyse des besoins et des ressources actuels et à l'horizon 2025.....	28
2.2.6 Analyse des secteurs fuyards des réseaux.....	28
2.2.6.1 Sectorisation des fuites et recherche par corrélation acoustique.....	28
2.2.7 Analyse de la qualité de l'eau.....	29
2.2.7.1 Qualité bactériologique.....	29
2.2.7.2 Qualité physico-chimique.....	29

2.2.8	Conclusions de ces études	29
2.3	L'élaboration du modèle et méthodes de calcul du logiciel	30
2.3.1	Élaboration des canalisations et des appareils hydrauliques : les arcs ..	30
2.3.1.1	Élaboration des canalisations et calcul de perte de charge	31
2.3.1.2	Élaboration des pompes et détermination du débit et de l'asservissement	31
2.3.2	Élaboration des réservoirs et estimation du marnage	32
2.3.3	Intégration de la consommation et du rendement : les nœuds.....	33
2.3.4	Calcul des débits, des pressions et des pertes de charge sous Piccolo ..	35
2.3.5	Conclusion de l'élaboration des réseaux	36
2.4	Le calage du modèle.....	38
2.4.1	Calage en fonctionnement statique.....	38
2.4.1.1	Le SIAEP du Bazois.....	39
A-	Calage en pression	40
B-	Calage en débit.....	41
2.4.1.2	Châtillon en Bazois	42
A-	Calage en pression	43
B-	Calage en débit.....	43
2.4.2	Calage en fonctionnement dynamique	44
2.4.2.1	Le SIAEP du Bazois.....	44
A-	Le profil de besoin	44
B-	Calage du niveau d'eau des réservoirs	45
2.4.2.2	Châtillon en Bazois	47
A-	Le profil de besoin	47
B-	Calage du niveau d'eau des réservoirs	48
3	L'étude du modèle	51
3.1	Introduction	51
3.2	Étude des pressions	52
3.2.1	Le SIAEP du Bazois	52
3.2.1.1	Simulation en pressions maximales, en jour moyen 2008.....	52
A-	Vanne Sud Est fermée.....	52
B-	Vanne Sud Est ouverte.....	54
3.2.1.2	Simulation en pressions minimales, en jour de pointe 2008.....	55
A-	Vanne Sud Est fermée.....	55
B-	Vanne Sud Est ouverte.....	57
3.2.2	Châtillon en Bazois.....	58
3.2.2.1	Simulation en pressions maximales, en jour moyen 2008.....	58
3.2.2.2	Simulation en pressions minimales, en jour de pointe 2008.....	59
3.3	Étude vitesses/débits.....	59
3.3.1	Le SIAEP du Bazois : simulation en jour de pointe 2008.....	60
3.3.2	Châtillon en Bazois : simulation en jour de pointe 2008.....	62
3.4	Étude temps de séjour/qualité chlore.....	63

3.4.1	Le SIAEP du Bazois	63
3.4.1.1	Temps de séjour de l'eau	63
3.4.1.2	La qualité chlore	65
3.4.2	Châtillon en Bazois.....	66
3.5	Étude de la défense incendie	66
3.5.1	La réglementation incendie	66
3.5.1.1	Circulaire interministérielle du 10 décembre 1951.....	66
3.5.1.2	La circulaire du Ministère de l'Agriculture du 9 août 1967	67
3.5.2	Analyse de la défense incendie.....	68
3.5.2.1	Recensement et étude des zones protégées.....	68
3.5.2.2	L'analyse de la conformité incendie par modélisation	68
3.5.3	Le SIAEP du Bazois	69
3.5.3.1	Recensement et étude des zones protégées.....	69
3.5.3.2	L'analyse de la conformité incendie par modélisation	69
3.5.4	Châtillon en Bazois.....	73
3.5.4.1	Recensement et étude des zones protégées.....	73
3.5.4.2	L'analyse de la conformité incendie par modélisation	73
3.5.5	Bilan de l'étude des défenses incendie des réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois.....	75
3.6	Bilan général des simulations.....	76
4	Schéma directeur	77
4.1	Amélioration et mise aux normes de l'eau captée.....	77
4.1.1	Rappel de la problématique	77
4.1.2	Caractéristique de la station de Mingot	78
4.1.2.1	Traitement de l'arsenic et du fluor	78
4.1.2.2	Type de chloration de la station.....	78
4.2	Amélioration de la qualité de l'eau distribuée.....	79
4.3	Travaux sur les ouvrages	83
4.4	Amélioration du rendement du réseau.....	84
4.4.1	Renouvellement du réseau.....	84
4.4.1.1	Les conduites.....	84
4.4.1.2	Les compteurs abonnés.....	84
	A- Le SIAEP du Bazois	85
	B- Châtillon en Bazois	86
4.5	Sécurisation de la défense incendie.....	87
4.6	Récapitulatif des différents travaux à effectuer.....	88
5	Conclusion générale.....	89

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : implantation de Safege en France et à l'international.....	11
Figure 2 : organigramme de l'agence de Safege Nevers	13
Figure 3 : organigramme de la modélisation	16
Figure 4 : représentation physique d'un réseau d'eau potable et paramètres à renseigner.....	18
Figure 5 : schéma du réseau d'eau potable du SIAEP du Bazois	22
Figure 6 : schéma du réseau d'eau potable de Châtillon en Bazois.....	23
Figure 7 : sectorisation du SIAEP du Bazois.....	26
Figure 8 : les réservoirs modélisés sous Piccolo.....	32
Figure 9 : fonctionnement des réservoirs modélisés sous Piccolo.....	33
Figure 10 : définition des zones de consommation.....	34
Figure 11 : exemple d'allocation de consommation domestique	35
Figure 12 : ossature du réseau du SIAEP	37
Figure 13 : ossature du réseau de Châtillon en Bazois	38
Figure 14 : simulation statique d'un réseau	39
Figure 15 : profil de besoin de consommation global du SIAEP du Bazois	45
Figure 16 : évolution de la hauteur (en mètre) du niveau d'eau mesurée et estimée dans le réservoir de Bernière	46
Figure 17 : évolution de la hauteur (en mètre) du niveau d'eau mesurée et estimée dans le réservoir du petit Massé.....	47
Figure 18 : profil de besoin de consommation global de Châtillon en Bazois	48
Figure 19 : évolution de la hauteur (en mètre) du niveau d'eau mesurée et estimée dans le réservoir de Bernière de Châtillon en Bazois	49

Figure 20 : carte des pressions maximales du SIAEP en jour moyen 2008, vanne SE fermée	53
Figure 21 : carte des pressions maximales du SIAEP en jour moyen 2008, vanne SE ouverte	54
Figure 22 : carte des pressions minimales du SIAEP en jour de pointe 2008, vanne SE fermée.....	56
Figure 23 : carte des pressions minimales du SIAEP en jour de pointe 2008, vanne SE ouverte.....	57
Figure 24 : carte des pressions maximales de Châtillon en Bazois en jour moyen 2008	58
Figure 25 : carte des pressions minimales de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008	59
Figure 26 : carte des vitesses maximales du SIAEP en jour de pointe 2008.....	61
Figure 27 : carte des vitesses maximales de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008	62
Figure 28 : temps de séjour maximaux sur le réseau du SIAEP en jour moyen 2008	64
Figure 29 : concentration chlore en jour moyen 2008 sur le réseau du SIAEP.....	65
Figure 30 : carte de conformité des poteaux incendie PI de diamètre 100 mm du SIAEP du Bazois en jour de pointe 2008	71
Figure 31 : carte de conformité des poteaux incendie (PI) de diamètre 80mm, 65mm et 60mm du SIAEP du Bazois en jour de pointe 2008	72
Figure 32 : carte de conformité des poteaux incendie PI de diamètre 100 mm de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008.....	74
Figure 33 : carte de conformité des poteaux incendie (PI) de diamètre 80mm de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008.....	75
Figure 34 : concentration chlore future du réseau du SIAEP	80
Figure 35 : années de renouvellement des compteurs abonnés du SIAEP	85
Figure 36 : évolution du nombre de compteurs abonnés âgés de plus de 15 ans en fonction du renouvellement du SIAEP du Bazois	85
Figure 37 : années de renouvellement des compteurs abonnés de Châtillon en Bazois	86

Figure 38 : évolution du nombre de compteurs abonnés âgés de plus de 15 ans en fonction du renouvellement de Châtillon en Bazois 86

Tableau 1 : missions confiées au cours du stage	9
Tableau 2 : répartitions actuelle (2008) et future de la consommation selon les usages	19
Tableau 3 : caractéristiques des productions annuelles et journalières (2008).....	20
Tableau 4 : ouvrages des réseaux d'eau potable des deux collectivités.	21
Tableau 5 : indicateurs techniques d'état du réseau en 2007.....	24
Tableau 6 : rendements et ILP des secteurs du SIAEP du Bazois	27
Tableau 7 : bilans besoin/ressource actuel et futur	28
Tableau 8 : consignes de fonctionnement des pompes	32
Tableau 9 : éléments modélisés	36
Tableau 10 : rugosité générale des matériaux alloués au SIAEP du Bazois.....	40
Tableau 11 : Calage en pression du réseau du SIAEP	41
Tableau 12 : Calage en débit du réseau du SIAEP	42
Tableau 13 : rugosité générale des matériaux alloués au réseau de Châtillon en Bazois.....	42
Tableau 14 : calage en pression du réseau de Châtillon en Bazois.....	43
Tableau 15 : calage en débit du réseau de Châtillon en Bazois	43
Tableau 16 : Conformité des poteaux incendie (PI) du SIAEP du Bazois	70
Tableau 17 : Conformité des poteaux incendie (PI) de Châtillon en Bazois.....	73
Tableau 18 : critères de choix des filières de chloration.....	79
Tableau 19 : Avantages et inconvénients des solutions proposées pour améliorer la qualité de l'eau.....	80

Tableau 20 : pose des réserves et des poteaux incendie pour les communes du SIAEP	87
Tableau 21 : schéma directeur	88

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 **matériaux et diamètres des réseaux**

Annexe 2 **défense incendie du siaep et de Chatillon-En-Bazois**

Annexe 3 **visite d'ouvrages et travaux à réaliser sur le reseau de Chatillon-En-Bazois**

1

Introduction

1.1 Déroulement du stage

J'ai effectué mon stage de fin d'étude de six mois (du 01/04/2010 au 30/09/2010) au sein du bureau d'étude de Safège Nevers, sous la direction du directeur d'agence et maître de stage Guillaume Godard.

Lors de ce stage, des missions diverses et variées m'ont été confiées : des études, des dimensionnements d'ouvrage, la rédaction de rapports écrits, la réalisation de dossiers réglementaires et une maîtrise d'œuvre.

Tableau 1 : missions confiées au cours du stage

Cadre du projet	Missions confiées
Création d'une zone d'activité de 7 ha	<ul style="list-style-type: none"> ➤ dimensionner le bassin de rétention des eaux pluviales associé à cet aménagement, ➤ rédiger un dossier de déclaration au titre de la loi sur l'eau
Mise en demeure d'un propriétaire privé de mettre aux normes son bief reliant un ruisseau à son étang	<ul style="list-style-type: none"> ➤ dimensionner un seuil pour assurer le débit réservé de la rivière, ➤ dimensionner une pelle pour éviter l'inondation de bergeries à l'aval de ce bief, ➤ rédiger un rapport à la Police de l'eau.
Création d'une station d'eau potable (50m ³ /h ou 1000m ³ /j) pompant dans une rivière, pour la commune de Château-Chinon (58)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ dimensionner un seuil pour assurer un débit de pompage suffisant, ➤ rédiger un dossier de déclaration ou d'autorisation (selon hauteur du seuil), ➤ réaliser une DUP (partie recherche des propriétaires concernés et rédaction).
Diagnostic de 2 réseaux AEP d'une trentaine de kilomètres chacun dans le Morvan (communes de Dun les Places et de Planchez)	Description du réseau, analyse de la consommation, des besoins, de la qualité, du rendement, recherche de fuites, étude...
Maîtrise d'œuvre assainissement : création d'un réseau de collecte et d'une STEP pour 39 hab (Tazilly)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ dimensionner le réseau et la STEP. ➤ concertation pour finaliser l'avant projet de la solution retenue (conception, plans, chiffrage financier) ➤ chiffrer les coûts d'investissement : estimation des travaux, analyse des offres des entreprises travaux, détermination d'une enveloppe maximale de l'ensemble du projet ➤ assistance à maîtrise d'ouvrage : production des pièces techniques du dossier de consultation des entreprises (CCTP, bordereau des prix, plans...) ➤ suivre les travaux avec interventions hebdomadaires et

interventions complémentaires .

Mais la principale mission de mon stage concernait la **réalisation du diagnostic de deux réseaux d'eau potable** voisins : celui du SIAEP du Bazois et celui de Châtillon en Bazois, ainsi que la réalisation d'un schéma directeur. Ce sujet fait suite au travail de Sarah Pouradier, qui avait effectué un pré-diagnostic (description du réseau, analyse de la qualité de l'eau, de la consommation, de la production et des besoins).

Ma mission principale a donc consisté en :

- **l'identification et l'étude des secteurs fuyards du réseau** : analyse de la sectorisation nocturne, identification des secteurs fuyards et confirmation de ces secteurs par recherche de fuite, étude du rendement de ces réseaux suite aux réparations des fuites détectées,
- **l'analyse hydraulique et qualitative du réseau** : modélisation des réseaux, statiquement et dynamiquement, hydrauliquement et qualitativement afin d'étudier, en situations actuelle et future, les pressions, les vitesses d'écoulement, le temps de séjour de l'eau dans les différentes branches du réseau, la concentration en chlore en différents points du réseau, et la défense incendie des réseaux,
- **la réalisation d'un schéma directeur** indiquant les travaux à effectuer afin d'améliorer et de mettre aux normes l'eau des captages par la réalisation d'une ou plusieurs stations de traitement, d'améliorer la qualité de l'eau distribuée et le rendement du réseau et enfin de sécuriser la défense incendie,
- **la rédaction d'un rapport de diagnostic et d'un schéma directeur au client.**

Le présent rapport se focalisera donc sur ma principale mission qu'était le diagnostic et le schéma directeur du réseau d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois.

La partie la plus importante de ce travail ayant été la modélisation des réseaux, ainsi que la collecte de données associées, et l'analyse des résultats de celles-ci, je propose, dans ce rapport, de **discuter des conditions et des limites d'une bonne modélisation.**

Cette question sera reprise tout au long du rapport, dans un encart dédié, et permettra d'inscrire cette étude dans un cadre plus large que la seule étude de réseaux.

Dans ce contexte, le présent rapport sera constitué de cinq parties. J'exposerai tout d'abord, le bureau d'étude Safège et le contexte de l'étude. Dans un second chapitre, j'aborderai la construction du modèle de simulation des réseaux, puis l'étude des simulations réalisées dans une seconde partie, pour ensuite développer les améliorations à réaliser sur les réseaux étudiés dans une quatrième partie. Enfin, une conclusion générale de ces études sera dressée en cinquième et dernière partie.

1.2 Présentation de Safège

1.2.1 L'entreprise Safège

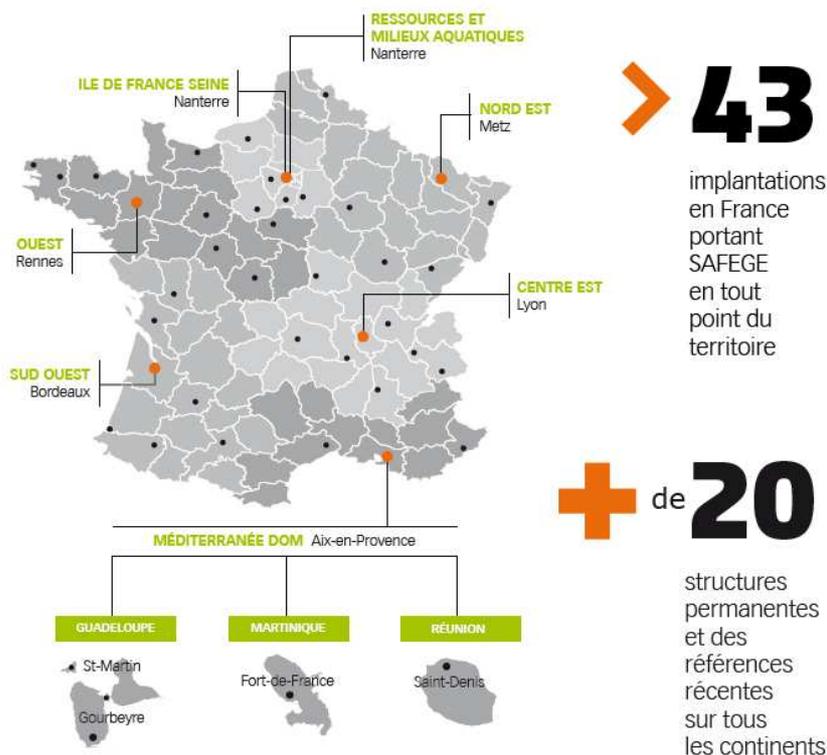
Safège est une filiale du groupe Suez-Environnement, leader mondial des métiers de l'eau et des déchets, chargée des études, des schémas directeurs et de la maîtrise d'œuvre du groupe et dont le Président Directeur Général est Benoît Clocheret.

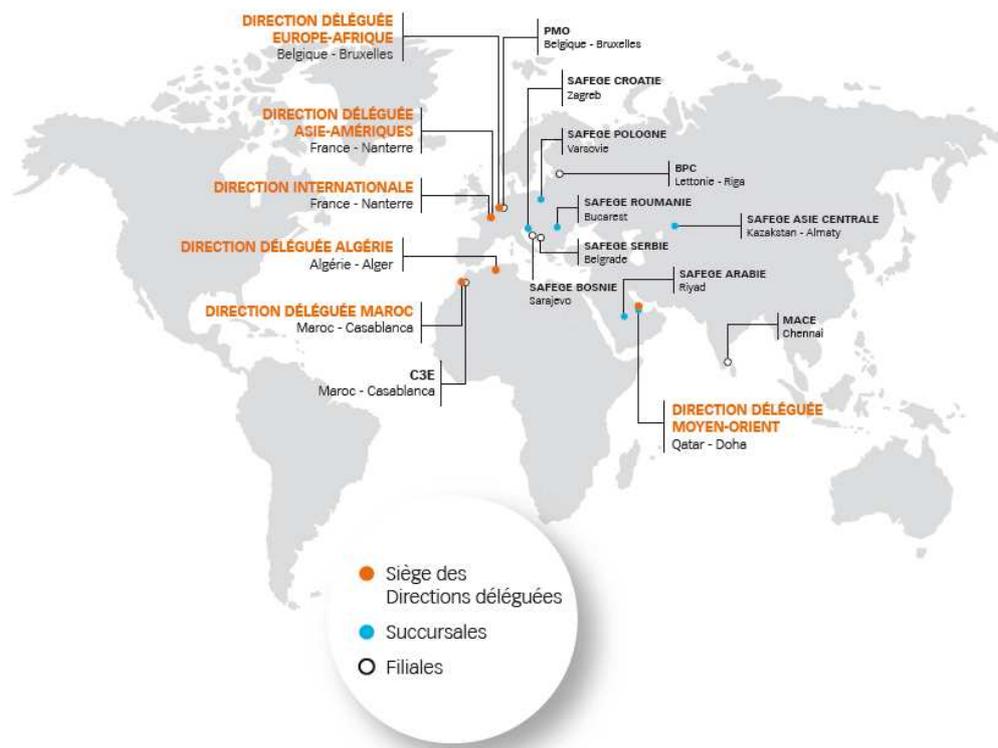
C'est une société de droits privés d'Ingénieurs-Conseil, intervenant sur le territoire français et à l'international, et rassemblant 1200 collaborateurs dont 800 en France.

Ce bureau d'études intervient dans les domaines de l'eau, l'environnement, les déchets et les infrastructures urbaines et de transport, depuis les études amont jusqu'à la maîtrise d'œuvre, en passant par l'assistance à maîtrise d'ouvrage et le management de grands projets.

Dans ses domaines de compétences, Safège est devenu un des leaders en France et se positionne comme une référence à l'international.

Figure 1 : implantation de Safège en France et à l'international.





Depuis plus de 60 ans, elle exerce ses compétences en ingénierie, en France, auprès des collectivités, des autorités publiques, des délégataires de services publics, des clients privés et des industriels. A l'international, ses clients peuvent être des autorités locales, régionales, nationales, voire internationales, des bailleurs de fonds, des organismes de fonds bilatéraux, des groupes industriels et des opérateurs privés.

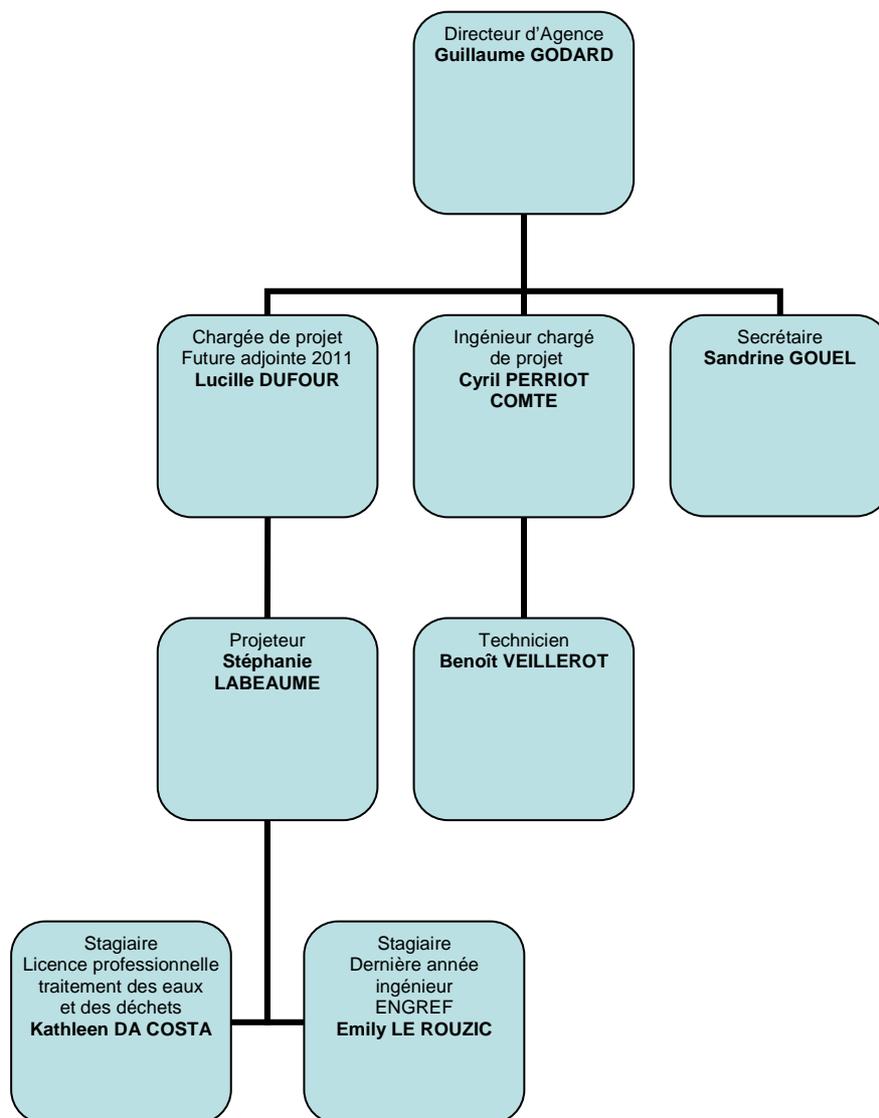
En 2009, Safège annonçait un chiffre d'affaire de 92 millions d'euros, dont 35 millions à l'international.

1.2.2 L'agence de Safège Nevers

L'agence de Safège Nevers fait partie de la délégation Centre-Est dont le siège social est à Lyon et dont le Directeur Délégué est Arnaud Villers d'Arbouet.

A l'heure actuelle, l'agence regroupe six collaborateurs et deux stagiaires, comme présenté dans l'organigramme ci-dessous :

Figure 2 : organigramme de l'agence de Safège Nevers



Dès le 1^{er} octobre 2010, l'agence sera composée de 7 collaborateurs puisque je serai intégrée à l'équipe en tant qu'ingénieur de projet.

Les missions principales de l'agence s'inscrivent dans trois domaines :

- ✓ la maîtrise d'œuvre : VRD aménagement urbain, hydraulique urbaine, marchés à bons de commande voirie, déchets.
- ✓ les études : diagnostic des réseaux d'eau potable et assainissement, schémas directeurs, SPANC, dossier loi sur l'eau, dossier de vidange d'étang.
- ✓ l'assistance à maîtrise d'ouvrage : réhabilitation et construction de bâtiments.

Ces différentes compétences ont permis à l'agence d'annoncer un chiffre d'affaire en 2009 de 600 000 euros, dont 40% en aménagement urbain et VRD, 35% en maîtrise d'œuvre des réseaux EU, AEP et EP et 25% en études réglementaires (diagnostic AEP, étude au titre de la loi sur l'eau).

1.3 Présentation de l'étude

1.3.1 Contexte de l'étude

Le Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable (SIAEP) du Bazois et la Commune de Châtillon en Bazois souhaitent faire le point sur les conditions générales de fonctionnement de leurs réseaux d'eau potable. En effet, en raison de concentrations en fluor et en arsenic supérieures aux normes de potabilité, un arrêt préfectoral de 2005 interdit la consommation de l'eau des réseaux par les habitants des communes.

Ils connaissent donc tous deux des difficultés quant à la qualité de l'eau de leurs réseaux et ont donc décidé l'engagement d'une étude diagnostic générale visant à connaître l'état des équipements afin de définir un programme pluriannuel cohérent d'intervention.

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- ✓ avoir une connaissance précise des réseaux et des ouvrages,
- ✓ juger de l'état, de la fiabilité et des conditions d'exploitation des ouvrages de production, de stockage et de distribution,
- ✓ déterminer les pertes, fuites, défauts de comptage et les mesures nécessaires pour obtenir un objectif pérenne de rendement technique d'au moins 75%,
- ✓ satisfaire quantitativement et qualitativement les besoins dans des conditions acceptables de fonctionnement sur le réseau quelle que soit la saison et pour tous les usagers, en situation actuelle et future,
- ✓ estimer un programme complet de travaux portant sur l'ensemble du système d'alimentation en eau potable, notamment un programme d'interconnexion des deux collectivités et d'amélioration des rendements des réseaux avec les coûts d'investissement et d'exploitation ainsi que l'échéancier.

1.3.2 Méthodologie générale de l'étude

L'étude s'articule autour de quatre phases.

1.3.2.1 Phase 1 : le pré-diagnostic

Cette phase comprend :

- ✓ l'inventaire des études existantes,
- ✓ le recueil et la synthèse des données hydrauliques, du fonctionnement des réseaux, de la qualité de l'eau...,
- ✓ l'estimation de la demande en eau actuelle et future.

1.3.2.2 Phase 2 : Campagnes de mesures et recherches de fuites

Cette phase a pour objectif de réaliser :

- ✓ une campagne de mesure de débits, pressions, analyses de chlore,
- ✓ les analyses de la production, des consommations et la validation des campagnes de mesures par vérifications nocturnes,

- ✓ la définition d'un programme de recherche nocturne de fuites avec pré-localisation et corrélation.

1.3.2.3 Phase 3 : diagnostic et modélisation des réseaux

Cette phase comporte :

- ✓ une modélisation informatique des réseaux afin d'étudier le fonctionnement hydraulique et qualitatif et de déterminer des solutions optimales sur les aménagements à prévoir pour assurer la distribution en eau potable en qualité et quantité suffisante ainsi que la défense incendie,
- ✓ le diagnostic des réseaux,
- ✓ le diagnostic de la filière de traitement.

1.3.2.4 Établissement du schéma directeur et échancier

L'objectif final de l'étude est l'établissement d'un programme d'actions comprenant :

- ✓ l'estimation de la nature et des coûts des travaux à entreprendre concernant les ressources et points de prélèvements, les installations de production et traitement principales et intermédiaires, les ouvrages de stockage et de reprise, les réseaux et les systèmes de télégestion,
- ✓ l'établissement d'un échancier pour la réalisation des travaux en tenant compte de la capacité de financement de la collectivité, de l'urgence des travaux, de la répercussion sur le prix de l'eau, des travaux annexes connus.

La phase 1 de pré-diagnostic ainsi que la campagne de mesure de débits, de pressions, d'analyses de chlore et les analyses de production et de consommation de la phase 2 avaient été précédemment réalisées.

A mon arrivée à l'agence, il restait donc à :

- ✓ analyser les résultats obtenus lors des recherches nocturnes de fuites et les débits mesurés après réparation des fuites,
- ✓ réaliser les phases 3 et 4.

Dans ce contexte, une synthèse des analyses des phases 1 et 2 (regroupant le travail effectué avant mon arrivée et l'analyse des secteurs fuyards que j'ai moi même réalisée) vous est présentée au chapitre suivant.

1.3.3 Méthodologie de modélisation des réseaux

1.3.3.1 Objectifs de la modélisation

Cette modélisation a pour objectif :

- ✓ de vérifier le fonctionnement actuel du réseau : production, stockage, distribution,
- ✓ d'étudier les pressions,
- ✓ d'étudier les vitesses,
- ✓ d'évaluer le temps de séjour de l'eau dans les conduites,
- ✓ de visualiser l'évolution des concentrations en chlore dans les canalisations,
- ✓ d'étudier la défense incendie du réseau,
- ✓ de prévoir les travaux à effectuer en fonction des besoins futurs.

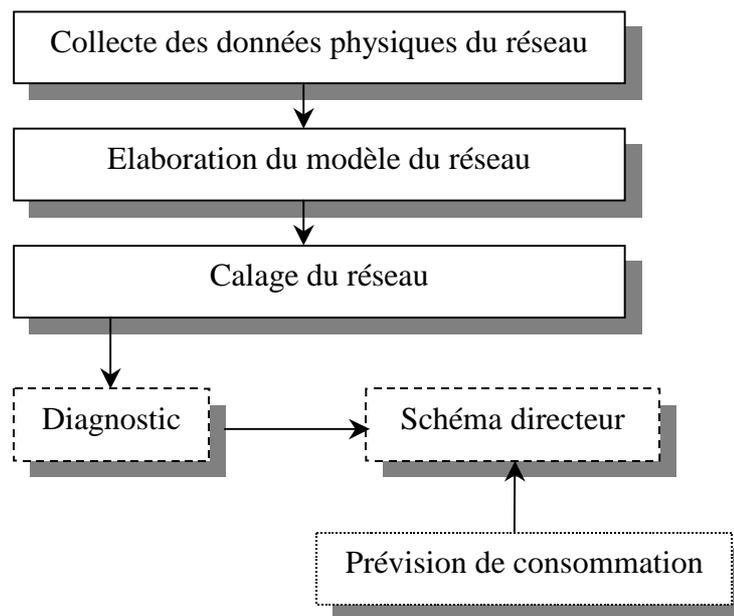
Pour atteindre ces objectifs, la modélisation des réseaux a été réalisée en plusieurs étapes.

1.3.3.2 Les étapes de la modélisation

La figure ci-dessous représente les deux principales étapes de la modélisation :

- ✓ la construction du modèle conceptuel de réseau (encadré en trait plein),
- ✓ l'étude du modèle en vue d'établir un diagnostic du réseau (encadré en pointillé),
- ✓ la réalisation d'un schéma directeur explicitant les travaux futurs à effectuer pour atteindre les objectifs de rendement et de qualité fixés.

Figure 3 : organigramme de la modélisation



2

La construction du modèle

La première étape de construction du modèle est la collecte d'information permettant de renseigner les différents paramètres du modèle. En vue de simplifier la lecture de ce rapport et de justifier les types d'informations à collecter et la méthodologie de travail, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement du logiciel Piccolo.

Aussi, une description structurelle et opérationnelle du logiciel, ainsi que leurs intérêts dans la construction du modèle, seront présentés avant d'aborder la collecte de données proprement dite, puis l'élaboration du modèle et enfin son calage.

2.1 Fonctionnement du logiciel Piccolo

Les réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de la commune de Châtillon en Bazois ont fait l'objet d'une modélisation à l'aide du logiciel **PICCOLO**. Ce logiciel, développé par ADELIOR et Safège est un outil général de simulation de problèmes d'écoulements en charge dans les réseaux maillés.

C'est un modèle mathématique, qui, dans le cas de réseaux de distribution d'eau potable, est un **modèle physique** ayant pour propriété fondamentale de pouvoir être exploité au-delà de son domaine de validation. Piccolo a donc deux fonctions principales :

- ✓ **explicative** : le modèle étant explicite, il permet de comprendre l'influence de toutes les données structurelles et opérationnelles sur les différentes caractéristiques du réseau,
- ✓ **prédictive** : les lois physiques déterminées restant valides pour toutes les conditions de fonctionnement envisageables, il permet de connaître le fonctionnement futur des réseaux selon différentes hypothèses d'évolution.

La modélisation d'un réseau d'eau potable est décrite sous Piccolo comme un ensemble d'éléments physiques soumis à des conditions de fonctionnement.

En d'autres termes, deux grands types de paramètres doivent être renseignés dans ce logiciel :

- ✓ **les données physiques** du réseau (ou données structurelles) sont les spécificités intrinsèques du modèle que sont les caractéristiques des canalisations, des vannes, de la consommation, le dimensionnement des ouvrages hydrauliques...
- ✓ **les conditions de fonctionnement** du réseau (ou données opérationnelles et dynamiques) qui caractérisent le fonctionnement en continu du réseau. Ce sont les consignes de fonctionnement des appareils, la description des automatismes (comme par exemple l'asservissement des pompes au niveau des réservoirs pilotes), la variation de consommation des abonnés au cours de la journée (les profils de besoin), le rendement du réseau...

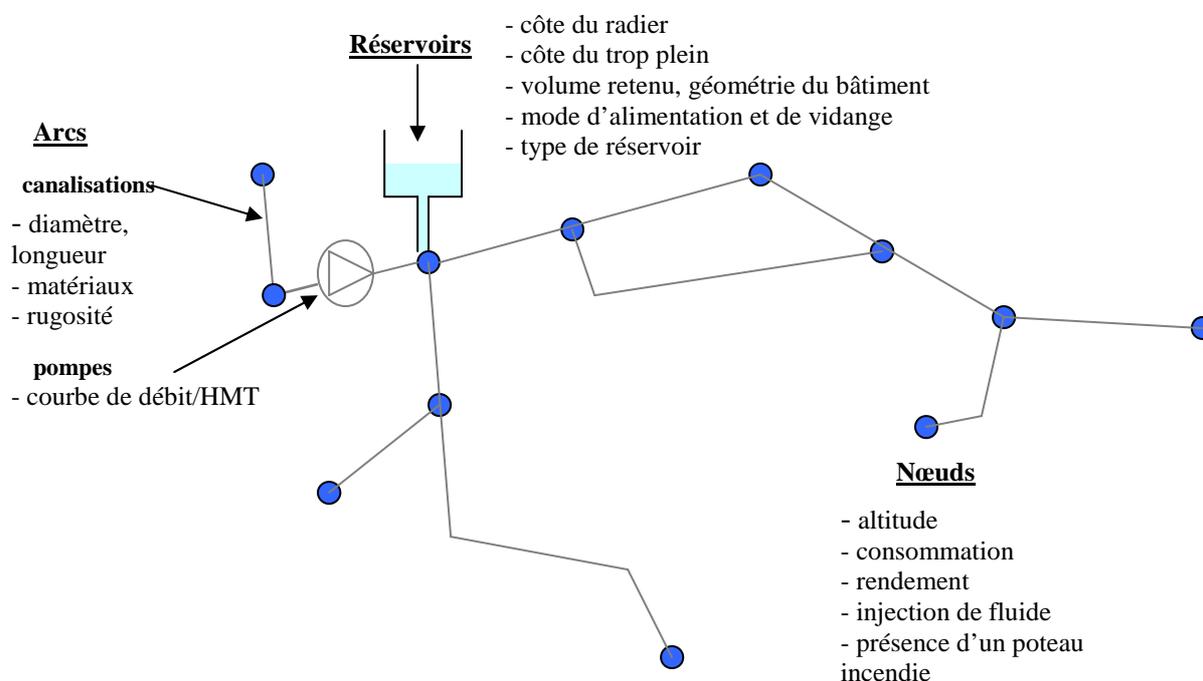
Ces paramètres, indispensables aux calculs sous-jacents de la modélisation, sont détaillés dans les paragraphes suivants.

2.1.1 Description physique du réseau

Le réseau est représenté par trois types d'éléments (décrits dans la figure 4) :

- ✓ **les arcs** : définissent les canalisations et autres appareils hydrauliques tels que les vannes, les régulateurs de pression, les pompes...
- ✓ **les réservoirs** : sont des sources de débit et des points de pression imposée du réseau,
- ✓ **les nœuds** : sont les extrémités des arcs ainsi que le support des données de consommation et d'injection d'eau dans le réseau et le support des données topographiques. Ils représentent également les points de connexion aux réservoirs ou aux poteaux incendie.

Figure 4 : représentation physique d'un réseau d'eau potable et paramètres à renseigner.



Comme l'indique la figure ci-dessus, chacun de ces trois types d'éléments est renseigné par des données physiques qui lui sont propres.

2.1.2 Les conditions de fonctionnement du réseau

Les données opérationnelles du modèle permettent de décrire l'état du réseau.

En simulation statique, elles décrivent l'état du réseau à un instant donné et concernent :

- ✓ pour les arcs : l'ouverture ou la fermeture des vannes,
- ✓ pour les réservoirs : le niveau d'eau initial,
- ✓ pour les nœuds : la consommation d'eau au temps considéré et le rendement du réseau dans cette zone.

En simulation dynamique, ces données sont :

- ✓ au niveau des arcs : les consignes de fonctionnement des pompes et leurs asservissements aux réservoirs, les consignes des régulateurs de pression...

- ✓ au niveau des nœuds : le profil de besoin qui indique les variations de consommation au cours de la journée.

Ainsi, l'étape de collecte des données doit permettre de renseigner tous ces paramètres, physiques et opérationnels, indispensables aux calculs sous-jacents de la modélisation statique et dynamique du réseau.

2.2 La collecte de données des réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois

Afin de comprendre le fonctionnement hydraulique du réseau et de construire un modèle calé sur la réalité du terrain, il est nécessaire de collecter des informations concernant : la structure des réseaux, sa topographie, la répartition géographique et le nombre d'abonnés aux réseaux, les caractéristiques des conduites et des ouvrages hydrauliques, les consignes de fonctionnement des réservoirs et des surpresseurs, l'asservissement des pompes des réservoirs, le rendement du réseau... Comme nous l'avons vu précédemment, chacun de ces paramètres est attribué, dans Piccolo, à un des trois éléments constitutifs du réseau : soit aux arcs, soit aux réservoirs, soit aux nœuds.

Les données nécessaires à l'élaboration du modèle ont été obtenues auprès de la Saur.

2.2.1 Analyse des consommations actuelles et futures

Les usages de l'eau pour le SIAEP du Bazois et Châtillon en Bazois peuvent être distingués en cinq parties :

- ✓ la consommation domestique,
- ✓ les usages agricoles,
- ✓ les services des collectivités territoriales (CT) regroupant principalement les services municipaux, certains syndicats et services du Conseil Général,
- ✓ les activités économiques regroupant les commerçants et les artisans. Le territoire ne comptant pas de grosses industries, un usage industriel n'a pas été défini,
- ✓ la vente en gros (VEG) aux communes voisines.

Pour les deux collectivités, les répartitions actuelle et future des différents usages de l'eau sont synthétisées dans le tableau 2.

Tableau 2 : répartitions actuelle (2008) et future de la consommation selon les usages

Usages de l'eau	SIAEP du Bazois			Châtillon en Bazois		
	Consommation actuelle (2008) (m ³ /an)	Consommation future (2025) (m ³ /an)	Variation par rapport à 2008	Consommation actuelle (2008) (m ³ /an)	Consommation future (2025) (m ³ /an)	Variation par rapport à 2008
Domestique	288 631	292 660	1,2%	44 261	49 270	12%
Agricoles	55 373	55 373	0%	3 955	3 955	0%
Services des CT	4 384	4 384	0%	3 035	3 035	0%
Activités économiques	16 183	16 183	0%	6 166	6 166	0%
VEG	46 122	46 122	0%		0	0%
TOTAL	410 693	414 722	0,1%	57 417	62 426	8,7%

Aucun projet de développement n'étant en cours sur le territoire, il a été estimé que seule la consommation domestique était susceptible d'évoluer. Cette consommation domestique future a été calculée à partir de la consommation domestique spécifique de 2008 (soit 177 l/j/hab pour le SIAEP et 119 l/j/hab pour Châtillon) et l'évolution de la population des deux collectivités.

2.2.2 Analyse de la production

Les productions annuelles et journalières des deux collectivités sont représentées dans le tableau ci-dessus :

Tableau 3 : caractéristiques des productions annuelles et journalières (2008).

	SIAEP du Bazois	Châtillon en Bazois
Production annuelle (m³/an)	845 011	106 151
Production journalière moyenne (m³/j)	1738,7	232,2
Production journalière maximale (m³/j)	2750	480,6
Production journalière minimale (m³/j)	785	74,6
Coefficient de pointe journalière K_{jp}	1,58	2,07

2.2.3 Analyse des réseaux

Les deux réseaux étudiés prélèvent leurs eaux dans la plaine alluviale de l'Aron, cours d'eau traversant Châtillon en Bazois, et sont exploités par la SAUR.

2.2.3.1 Les principaux ouvrages

Les principaux ouvrages hydrauliques des deux collectivités sont présentés dans le tableau 4 et les figures 5 et 6.

Il est à noter que les deux réseaux sont indépendants l'un de l'autre puisque des vannes ferment les canalisations de liaison entre les deux réseaux.

Tableau 4 : ouvrages des réseaux d'eau potable des deux collectivités.

	SIAEP du Bazois	Châtillon en Bazois
Exploitation	La SAUR Du 01/05/2004 au 30/04/2016.	La SAUR Du 01/01/2005 au 31/12/2016.
Linéaire de canalisation	377 km	29 km
Ressource	Source de Mingot. 7 200 m ³ /j	Source de la Dienne. 1 680m ³ /j
Captage	Captage de Mingot. 160 m ³ /h.	Captage de la Dienne. 60 m ³ /h.
Traitement	- À la station de traitement et de reprise de Mingot par du dioxyde de chlore. - 6 chlorations relais à l'eau de javel.	Sur le puits de captage par chlore gazeux à 0,25 mg/l.
Réservoirs	- 7 réservoirs. - réservoir de Bernière 1 est le réservoir de tête. - Volume de rétention : 3 000 m ³ .	- 2 réservoirs. - réservoir de Bernière 2 est le réservoir de tête. - volume de rétention : 1 300 m ³ .
Reprise et surpression après réservoir principal	- 1 station de reprise (station du petit Massé) - 11 surpresseurs	
Comptage	29 compteurs de sectorisation.	3 compteurs de sectorisation.

Figure 5 : schéma du réseau d'eau potable du SIAEP du Bazois

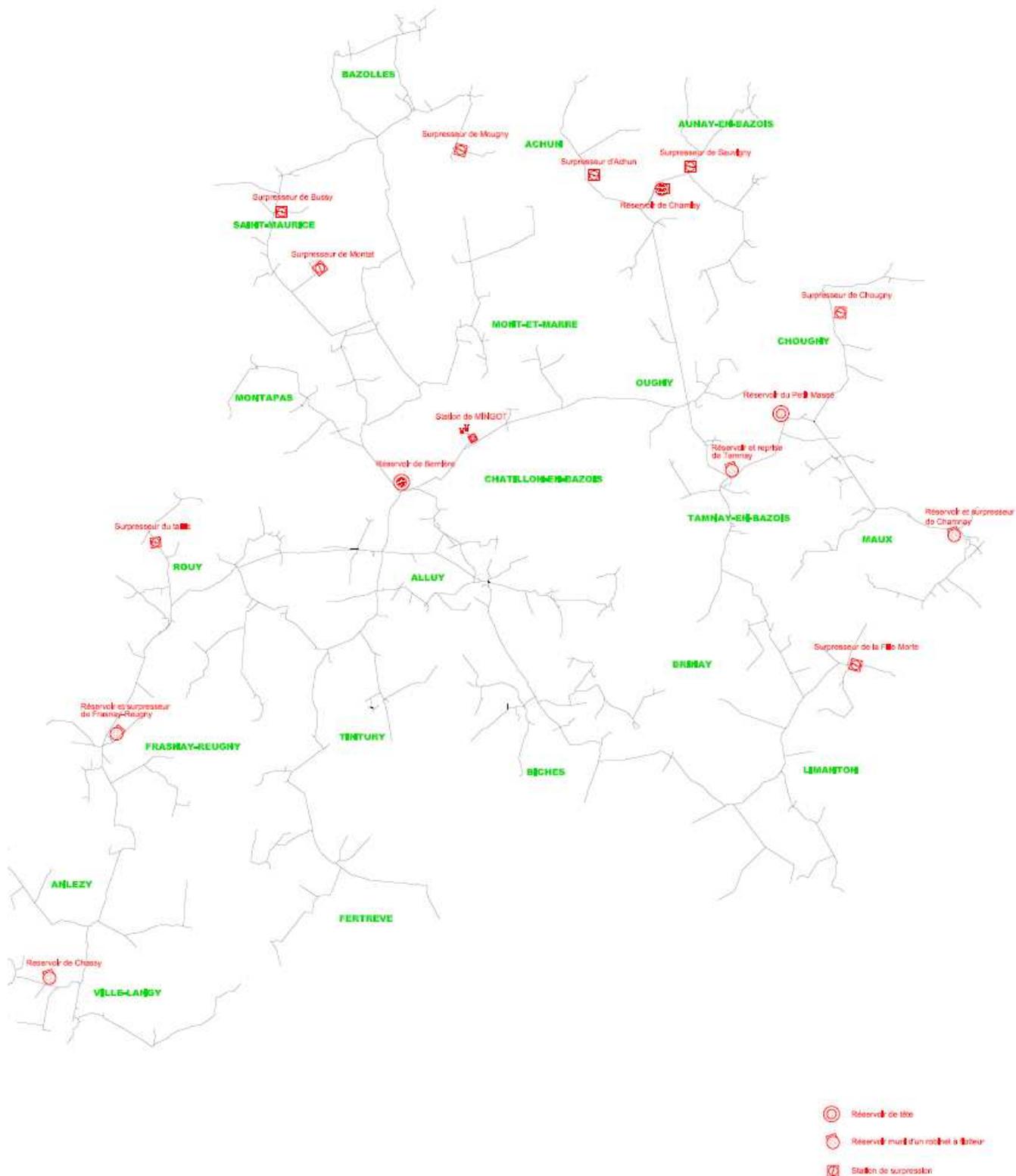
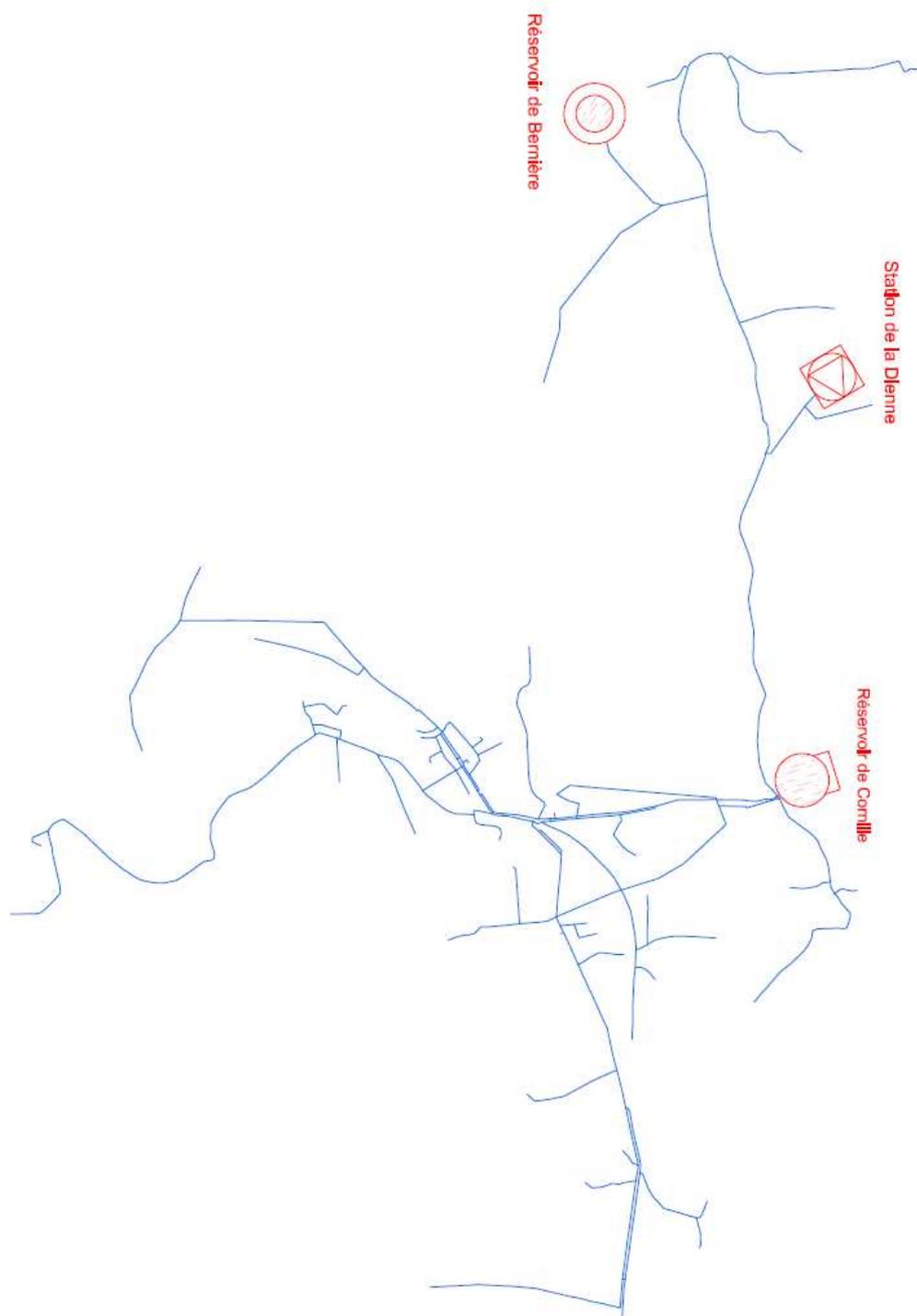


Figure 6 : schéma du réseau d'eau potable de Châtillon en Bazois



2.2.3.2 Les matériaux et diamètres des canalisations

Concernant le réseau du SIAEP, la fonte et le PVC sont les matériaux les plus répandus. Le PVC est principalement utilisé pour les canalisations de petits diamètres (diamètre intérieur < 80 mm) et seuls quelques uns sont en fonte. Un grand nombre de conduites est en PVC collé (présentant ainsi un gros risque de fuites). Pour les gros diamètres, on ne trouve que de la fonte et de l'amiante ciment.

En ce qui concerne le réseau de la commune de Châtillon en Bazois, les matériaux les plus répandus sont l'acier, la fonte et le PVC. L'acier est utilisé pour les petits diamètres (diamètre intérieur < 60 mm), le PVC pour les diamètres intermédiaires (de 60 à 100 mm) et la fonte pour les plus gros diamètres (de 125 à 200 mm)

Les cartes en annexe 1 présentent la répartition spatiale des diamètres et des matériaux des deux réseaux.

2.2.4 Analyse des pertes sur le réseau

Trois des indicateurs du tableau ci-dessous permettent d'évaluer l'état du réseau et plus particulièrement les pertes : le rendement, l'indice linéaire de perte (ILP) et l'indice linéaire de consommation (ILC).

La définition générale de ces ratios est la suivante :

$$R^{dt \text{ primaire}} = \frac{V_{\text{consommé}}}{V_{\text{mis en distribution}}}$$

$$ILP^{primaire} = \frac{V_{\text{mis en distribution}} - V_{\text{consommé}}}{nb \text{ de jours } \times \text{longueur du réseau}}$$

$$ILC = \frac{V_{\text{consommé}}}{nb \text{ de jour } \times \text{longueur réseau}}$$

avec :

$V_{\text{consommé}}$ = volume relevé + volume estimé des clients + VEG (CRUX LA VILLE) + volume exporté (vers CHATILLON EN BAZOIS)

$V_{\text{mis en distribution}}$ = volume produit + volume importé.

Tableau 5 : indicateurs techniques d'état du réseau en 2007

	SIAEP du Bazois	Châtillon en Bazois
Volume mis en distribution	701 578	102 065
Volume consommé	425 113	55 465
Rendement	61%	54%
Longueur du réseau (km)	377	29
ILP (m³/j/km)	2,03	4,30
ILC (m³/j/km)	3,12	5,11

Les ILC des deux réseaux indiquent qu'ils sont ruraux, les valeurs étant bien inférieures à 10. Pour un réseau rural, un ILP supérieur à 4 ou un rendement inférieur à 60% indique un réseau en mauvais état. Ainsi, les réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois sont dans un état médiocre, voire mauvais au vu des ILP et des rendements observés.

Sur le réseau du SIAEP du Bazois, des secteurs de consommation et des rendements associés ont été définis en fonction des compteurs de sectorisation (figure 7 et tableau 6).

Les ILC des deux réseaux indiquent des réseaux ruraux (ILC inférieures à $10 \text{ m}^3/\text{j}/\text{km}$). L'état des réseaux est assez médiocre, voire mauvais au vu des ILP et des rendements observés.

Pour le réseau du SIAEP du Bazois, les ILP et les rendements ont été calculés par secteurs, définis en fonction des compteurs de sectorisation.

Figure 7 : sectorisation du SIAEP du Bazois

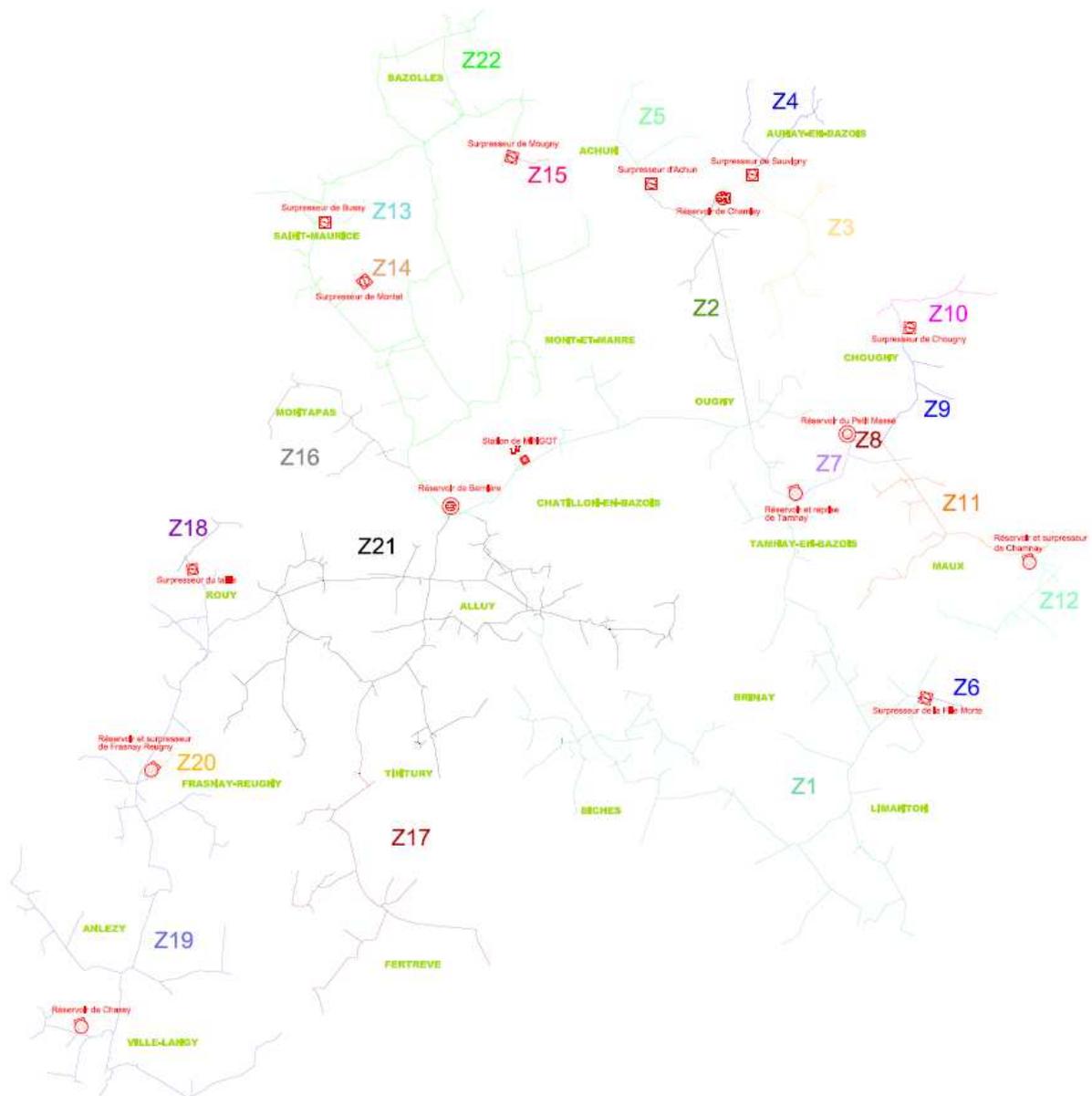


Tableau 6 : rendements et ILP des secteurs du SIAEP du Bazois

Zones de sectorisation	Rendement	ILP
Z1	69,49%	0,93
Z2	52,04%	2,99
Z3	78,07%	0,51
Z4	77,03%	0,48
Z5	84,78%	0,31
Z6	96,12%	0,03
Z7 et Z8		
Z9	49,17%	2,02
Z10	75,44%	0,64
Z11	73,76%	0,53
Z12	50,60%	1,72
Z13		
Z14	78,52%	0,33
Z15	98,72%	0,04
Z16	38,40%	5,75
Z17	31,79%	2,98
Z18	27,49%	5,90
Z19	28,27%	2,56
Z20	92,71%	0,05
Z21	32,72%	6,00
Z22	83,19%	0,70

Ces rendements seront repris dans le chapitre concernant la recherche de fuite et la mesure des débits après réparation des fuites, et serviront également au calage du modèle.

2.2.5 Analyse des besoins et des ressources actuels et à l'horizon 2025.

L'objectif de cette étude est de réaliser, en jour de consommation moyenne et en jour de consommation de pointe, un bilan entre la ressource disponible et les besoins, en situation actuelle d'une part (2008), et en situation future (2025) selon différentes hypothèses de rendement de réseau d'autre part.

Tableau 7 : bilans besoin/ressource actuel et futur

	Situation	Consommation (m ³ /an)	Hypothèse de rendement	Ressource (m ³ /j)	Besoins de production (m ³ /j)		Bilan (ressource – besoins) (m ³ /j)	
					Jour moyen	Jour de pointe	Jour moyen	Jour de pointe
SIAEP du Bazois	2008	410 693	61%	7 200	1 845	2 915	5 355	4 285
	2025	414 722	61%		1 863	2 944	5 337	4 256
			70%		1 623	2 564	5 577	4 636
			75%		1 515	2 394	5 685	4 806
Châtillon en Bazois	2008	57 417	54%	1 680	291	603	1 389	1 077
	2025	62 426	54%		317	656	1 363	1 024
			65%		263	545	1 417	1 135
			75%		228	472	1 452	1 208

Le coefficient de jour de pointe (K_{jp}) pris en compte pour le calcul des besoins en jour de pointe est celui de l'année 2008, soit 1,58 pour le SIAEP et 2,07 pour Châtillon en Bazois.

2.2.6 Analyse des secteurs fuyards des réseaux

2.2.6.1 Sectorisation des fuites et recherche par corrélation acoustique

Compte tenu de la longueur du réseau du SIAEP (377 km), et afin de faciliter la recherche de fuite par corrélation acoustique, il était nécessaire de les pré-localiser. Des mesures de débits nocturnes ont donc été réalisées sur les compteurs, permettant ainsi de sectoriser les fuites.

Les secteurs ont été considérés comme fuyards lorsque le débit de fuite était supérieur à 0,8m³/h. Ce sont au total 337 m³/j de fuites qui ont été sectorisés (notamment en fonction du matériau de la canalisation) sur le réseau du SIAEP et où il a été réalisé une campagne de recherche de fuite précise par corrélation acoustique.

Généralement, les conduites métalliques supportent des contraintes mécaniques (charges circulantes notamment) beaucoup plus grandes que les conduites en matériaux plastiques. Le métal facilite également la recherche de fuites par corrélation acoustique et la localisation des conduites par détection de métaux. En revanche, la rigidité des matériaux rend les réseaux plus sensibles vis-à-vis des mouvements de terrains que ceux en matériaux plastiques. Les

conduites métalliques sont également très sensibles vis à vis de la corrosion, notamment lorsqu'elles ne possèdent pas ou plus de revêtement protecteur.

Les canalisations de diamètres importants (> 300mm) ont une épaisseur importante et sont donc plus résistantes. De plus, les fuites (ou casses) sur une conduite de diamètre élevé sont généralement détectées rapidement et la conduite fait alors l'objet d'une réparation ou d'un remplacement immédiat. En revanche, sur les réseaux de petits diamètres, les fuites ne sont pas forcément détectables rapidement et la conduite peut ainsi ne jamais être remplacée, ce qui accélère sa dégradation.

Concernant le réseau de la commune de Châtillon en Bazois, les résultats obtenus étant satisfaisants dans l'ensemble, aucune sectorisation nocturne n'a été réalisée.

2.2.7 Analyse de la qualité de l'eau

2.2.7.1 Qualité bactériologique

L'analyse bactériologique de l'eau des réseaux d'eau potable se base essentiellement sur la recherche, au point de captage, au point de mise en distribution de l'eau et au robinet, des bactéries coliformes, entérocoques et des bactéries et spores sulfite-réductrices, dont la présence dans l'eau peut être due à une contamination fécale.

Au point de captage du SIAEP et de Châtillon en Bazois, l'eau est bactériologiquement conforme à la réglementation.

Au point de mise en distribution et au robinet, les analyses du SIAEP montrent une contamination bactériologique peu fréquente, avec des dépassements de limites de qualité, notamment pour les entérocoques et E.coli. Ce n'est pas le cas de Châtillon en Bazois dont les analyses sont toujours conformes pour les entérocoques et E.coli. Cette commune ne présente donc pas de problèmes bactériologiques.

2.2.7.2 Qualité physico-chimique

De manière générale, les eaux des captages du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois ont les mêmes qualités. Elles sont légèrement basiques, moyennement dures, peu minéralisées et peu agressives. Des pics de turbidité ont cependant régulièrement lieu au captage de Mingot. Des dépassements de limites de qualité ont lieu pour les fluorures et l'arsenic avec, pour conséquence, l'interdiction par arrêté préfectoral de la consommation de l'eau. La construction d'une nouvelle station de traitement est donc à prévoir pour chaque captage qui restera en fonctionnement.

2.2.8 Conclusions de ces études

Les premières phases de l'étude ont permis de mettre en évidence les conclusions suivantes :

- ✓ le SIAEP et la commune de Châtillon-en-Bazois ont suffisamment de ressources en eau pour couvrir les jours de pointe futurs, et le captage de Mingot a une ressource excédentaire suffisante pour fournir de l'eau au réseau de Châtillon en Bazois en cas de fusion des deux réseaux et d'utilisation future d'un pompage unique,

- ✓ les captages des deux réseaux présentent des concentrations en arsenic et en fluor supérieures aux limites réglementaires de qualité.

La collecte de données est une étape laborieuse mais fondamentale, puisque c'est elle qui détermine la précision et la qualité du modèle réalisé, et en facilite son calage.

Lors de mon stage, cette étape a parfois été difficile, et ceci est dû à des problèmes récurrents de la réalisation de diagnostics d'eau potable et à des conditions spécifiques à mon étude.

Les problèmes rencontrés de façon récurrente lors de la collecte d'information sont :

- ✓ le manque d'actualisation des données. Ainsi, un problème majeur est celui de la non mise à jour des plans du réseau. Ces plans, en version papier pour la plupart, datent de plus de 20 ans et n'intègrent pas les derniers travaux du réseau. Il faut alors se référer au fontainier, seule véritable « mémoire » du réseau.
- ✓ l'absence de données par manque de moyens financiers et/ou humains. Ainsi, dans le cas de réseaux d'eau potable gérés par des sociétés privées ou par des communes au budget suffisant, leurs moyens financiers et humains permettent parfois l'installation de contrôles automatiques (télégestion), facilitant ainsi la collecte des informations. En revanche, pour les petites communes ou dans les zones rurales, seuls les compteurs des abonnés sont pris en considération.

En ce qui concerne les difficultés de collecte inhérentes au contexte de mon étude, le principal problème a été de travailler avec la Saur, concurrent direct de Safège. En effet, le chef d'exploitation a été longtemps réticent à l'idée de nous divulguer ses résultats d'exploitation, et nous a parfois fourni des informations contradictoires. Ce n'est qu'après avoir instauré un climat de confiance réciproque que la collecte de données valides a pu être réalisée.

2.3 L'élaboration du modèle et méthodes de calcul du logiciel

L'élaboration du modèle, à partir des données récoltées lors des premières phases de l'étude, permet d'obtenir une vision globale et opérationnelle des réseaux du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois.

De plus, afin de pouvoir analyser et critiquer les résultats obtenus via ce logiciel, il est nécessaire de comprendre la construction du modèle et les calculs sous-jacents de la simulation.

Ce chapitre a donc pour ambition de décrire ces calculs, tout en gardant à l'esprit leurs intérêts dans l'étude des pressions et des débits du réseau, qui est l'un des objectifs principaux de la modélisation. Aussi, nous exposerons la méthodologie employée lors de l'élaboration du modèle, tout en reliant les informations renseignées dans le logiciel à leurs impacts sur les calculs de pressions et de débits.

2.3.1 Élaboration des canalisations et des appareils hydrauliques : les arcs

Les types d'arcs les plus utilisés dans le cas des réseaux du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois ont été les canalisations et les pompes.

2.3.1.1 Élaboration des canalisations et calcul de perte de charge

Dans Piccolo, une canalisation est assimilée à une conduite présentant une **perte de charge** linéaire. Le logiciel calcule cette perte de charge par la formule de Darcy ou Colebrook :

$$\Delta H = \lambda \cdot (L/D) \cdot (V^2/2g)$$

Où :

ΔH : perte de charge entre deux sections (en mètre de colonne de fluide),

λ : coefficient universel de perte de charge (sans dimension), dépend de la rugosité du matériau,

L : distance entre deux sections (en mètre),

D : diamètre de la canalisation (en mètre),

V : vitesse moyenne de l'écoulement (en mètre par seconde),

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s).

Sous Piccolo, rappelons qu'une canalisation est définie par son diamètre, sa longueur, son matériau et sa rugosité (cf. figure 4). Ainsi, une fois les diamètres et les longueurs établis, le coefficient λ , et donc la rugosité des canalisations, jouent particulièrement sur les valeurs de pression et de débit. La valeur de cette rugosité permettra donc d'ajuster le modèle construit à la réalité. Elle peut être attribuée à un type de matériau et/ou à une canalisation en particulier. Les rugosités attribuées à chaque type de matériaux sont indiquées dans le tableau 10.

2.3.1.2 Élaboration des pompes et détermination du débit et de l'asservissement

Les pompes assurent le refoulement de l'eau dans les réseaux. Sous Piccolo, elles sont caractérisées par leur courbe de débit/HMT et par leur consigne de fonctionnement.

La modélisation des pompes sous Piccolo se fait par une **loi débit-HMT**, qui est la courbe de définition de la pompe. Il est donc nécessaire de connaître cette courbe (ou tout au moins le débit nominal de la pompe), que nous nous sommes procurée auprès du fabricant. Cette courbe permet au logiciel de calculer le débit fourni par la pompe.

Cette courbe de fonctionnement nous permet également de vérifier si la pompe est adaptée au fonctionnement du réseau.

De plus, l'analyse des débits aux compteurs et des niveaux des réservoirs ont permis de déterminer **l'asservissement des pompes** qui commande le remplissage de certains réservoirs.

En ce qui concerne le SIAEP, deux groupes de pompes sont asservis, pour l'un, au réservoir de tête de Bernière, et pour l'autre, au réservoir tampon du Petit Massé (cf. plan du réseau figure 5).

Pour le réseau de la commune de Châtillon en Bazois, seul le marnage du réservoir de Bernière commande le démarrage ou l'arrêt des pompes (cf. plan du réseau figure 6).

Ces différentes pompes se mettent en marche ou s'arrêtent selon le niveau d'eau de leur réservoir respectif. Comme l'indique le tableau 8, ces niveaux varient en fonction du jour et de la nuit :

Tableau 8 : consignes de fonctionnement des pompes

		Réservoirs du SIAEP du Bazois		Réservoir de Châtillon en Bazois
		Bernière	Petit Massé	Bernière
Niveau de mise en route des pompes hauteur d'eau (m)	Jour	4	2	NA
	Nuit	7	NA	4,2
Niveau d'arrêt des pompes hauteur d'eau (m)	Jour	4,5	2,3	NA
	nuir	7,6	3,5	4,6

NA : niveau non atteint lors de la campagne de mesure.

2.3.2 Élaboration des réservoirs et estimation du marnage

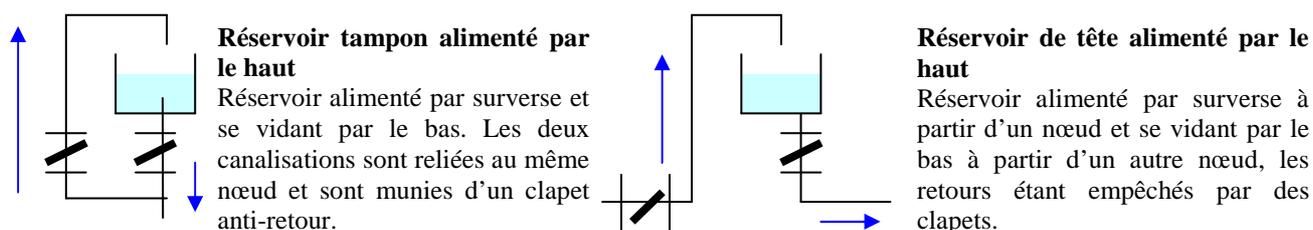
Dans Piccolo, les réservoirs sont des références de pression et sont source de débit dans les réseaux.

Comme indiqué précédemment à la figure 4, sous Piccolo, les réservoirs sont définis en fonction de leur côte de radier, de leur côte de trop plein, de leur volume, de leur courbe hauteur/volume, de leurs modes d'alimentation et de vidange qui définissent le type de réservoir. Ces informations permettent au logiciel de calculer le niveau d'eau contenu dans ces réservoirs en fonction de la consommation, réajustant ainsi, à chaque pas de temps, la pression de référence.

Ainsi, selon les données recueillies lors de la collecte d'information, et en particulier selon le fonctionnement du réservoir, différents types de réservoirs peuvent être modélisés sous Piccolo.

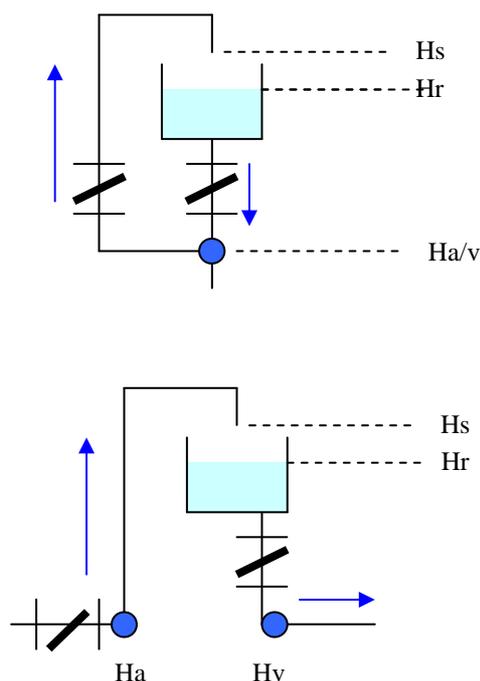
Les dix réservoirs présents sur les réseaux du SIAEP et de Châtillon sont, sous Piccolo, soit des réservoirs tampons alimentés par le haut, soit des réservoirs de tête alimentés par le haut.

Figure 8 : les réservoirs modélisés sous Piccolo



Le fonctionnement des réservoirs dépend des valeurs relatives du niveau d'eau dans le réservoir (H_r), de la charge des nœuds d'alimentation (H_a) et de vidange (H_v) auquel il est raccordé, et de la côte de surverse (H_s).

Figure 9 : fonctionnement des réservoirs modélisés sous Piccolo

**Réservoir tampon alimenté par le haut**

Si $H_s > H_r > H_{a/v}$: le réservoir se vide dans le réseau
 Si $H_s > H_{a/v} > H_r$: il y a montée en pression, le réservoir ne se remplit et ne se vide pas et il est isolé
 Si $H_{a/v} > \max(H_r, H_s)$: le réservoir se remplit

Réservoir de tête alimenté par le haut

Si $H_r > H_v$: le réservoir se vide dans le réseau
 Si $H_r < H_v$: le réservoir ne se vide pas
 Si $H_a > \max(H_r, H_s)$: le réservoir se remplit
 Si $H_a < \max(H_r, H_s)$: le réservoir ne se remplit pas

À partir du type de réservoir choisi par l'ingénieur, et des courbes hauteur/volume des réservoirs, Piccolo calcule les variations du niveau d'eau contenue dans ces réservoirs en prenant en compte le fonctionnement du réservoir et la consommation, réajustant ainsi, à chaque pas de temps, la pression de référence et le débit sortant du réservoir.

2.3.3 Intégration de la consommation et du rendement : les nœuds

Les nœuds portent toutes les données topographiques et de consommation (domestique, industrielle, points d'injection et de fuites) du réseau (cf. figure 4), qui permettent de calculer les charges et les pressions dans Piccolo. De plus, les poteaux incendie, avec le diamètre des bouches, sont affectés sur ces nœuds, ce qui permet de réaliser des simulations sur la défense incendie.

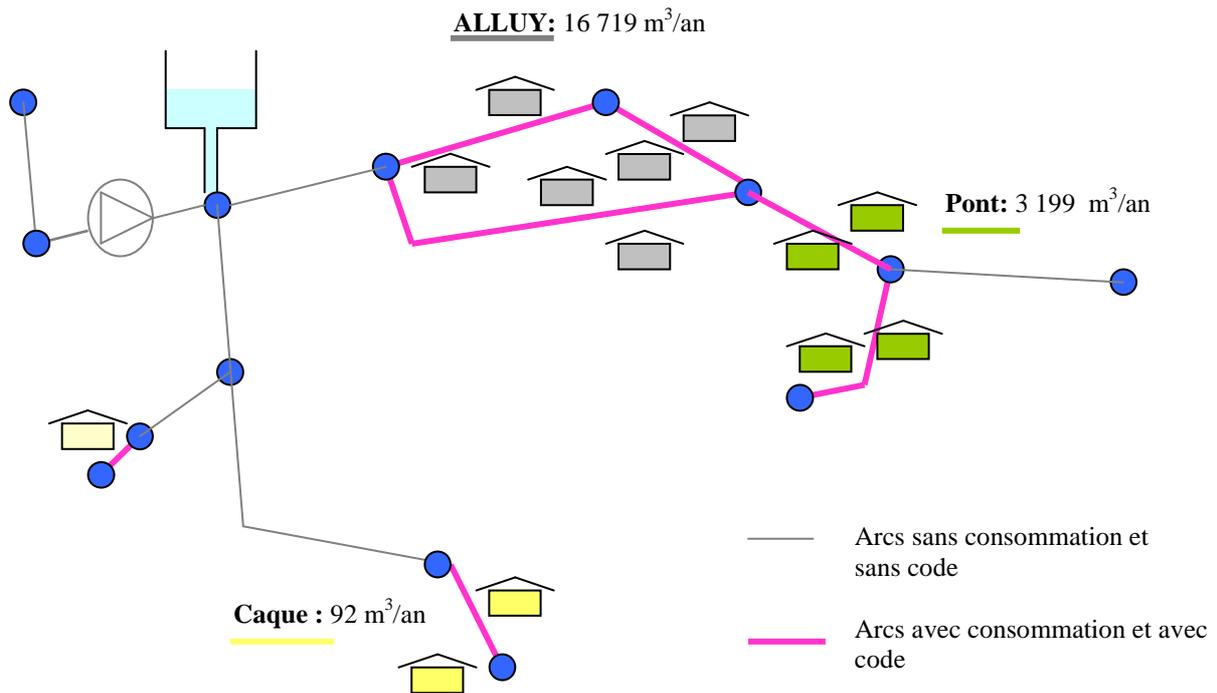
L'**altitude** des nœuds a été déterminée à l'aide des plans IGN.

Le travail le plus important sur les nœuds a été l'affectation des **consommations**. La phase d'analyse de la consommation a révélé différents types de consommations sur les réseaux du SIAEP et de la commune : des consommations domestiques, agricoles, allouées aux collectivités territoriales, aux activités économiques et à la vente en gros (cf. tableau 2). L'affectation des consommations domestiques et ponctuelles a été réalisée par rapport au listing des abonnés et de leur consommation 2008. Dans ce listing, les gros consommateurs ($>1000 \text{ m}^3$) sont distingués des autres consommateurs. Aussi, lors de l'élaboration du modèle, toutes les consommations du listing, excepté celles des gros consommateurs, ont été nommées « consommations domestiques ».

Ces **consommations domestiques**, pour chaque lieu-dit du SIAEP ou, pour chaque rue dans le cas de Châtillon en Bazois, sont additionnées et un fichier texte est créé en associant un code pour un lieu-dit ou une rue à sa consommation domestique de 2008.

La répartition géographique des consommateurs a permis d'isoler des secteurs de consommation, auxquels sont attribués un code, et des secteurs non consommateurs, sans code. Ces codes sont portés par les arcs (cf. figure 10).

Figure 10 : définition des zones de consommation



Piccolo réalise alors l'allocation de consommation aux nœuds délimitant les arcs portant les codes. Cette allocation est proportionnelle à la longueur des arcs : plus il est long, plus les nœuds qui le délimitent auront une consommation importante. Les étapes de calcul d'allocation des consommations aux nœuds sont les suivantes :

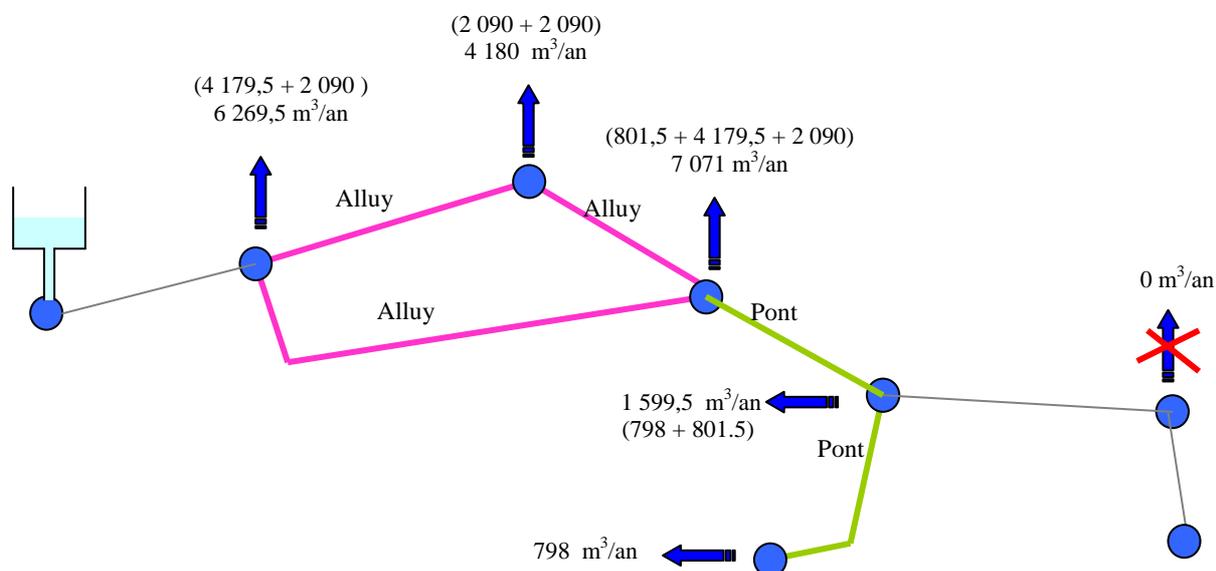
- ✓ calcul de la consommation au niveau d'un arc (C_a) portant un code :

$$C_a = \frac{\text{consommation} \times \text{longueur de l'arc}}{\sum \text{longueur des arcs de même nom}}$$

- ✓ les consommations de chaque arc sont réparties de manière équivalente entre le nœud initial et le nœud final. La consommation au nœud (C_n) est donc :

$$C_n = \frac{C_a}{2}$$

Figure 11 : exemple d'allocation de consommation domestique



Les **ventes en gros** ont été affectées en un nœud précisément localisé sur le réseau.

Les consommations définies, les **rendements** évalués dans les premières phases de l'étude (cf. tableaux 5 et 6), pour la totalité du réseau dans le cas de Châtillon en Bazois et par grands secteurs pour le SIAEP, ont été intégrés dans les calculs des besoins aux nœuds (B_n) tel que :

$$B_n = C_n \times \frac{1}{\text{rendement}}$$

Ces besoins intègrent donc la consommation et les pertes du réseau.

2.3.4 Calcul des débits, des pressions et des pertes de charge sous Piccolo

Piccolo calcule la vitesse, les débits dans les canalisations, les pressions aux nœuds et le niveau des réservoirs en résolvant un système d'équations non linéaires décrivant le comportement du modèle en un instant donné. Ces équations sont des transpositions des lois de Kirchhoff (1 et 3) et d'Ohm (4).

- 1) la somme algébrique des débits aux nœuds est égale à la consommation des nœuds,
- 2) la somme algébrique des pertes de charge le long d'une maille fermée est nulle,
- 3) la somme algébrique des pertes de charge le long d'une maille ouverte (délimitée par deux références de pression) est égale à la différence des références de pression,
- 4) la perte de charge entre deux extrémités d'un arc est égale à une fonction de débit transitant dans l'arc.

En modélisation dynamique, ce système d'équation est couplé dans le temps par la seule dynamique des réservoirs et les éventuelles lois de commande en rétroaction qui font agir

pompes et vannes suivant l'évolution de niveaux des réservoirs ou de pression à certains nœuds.

2.3.5 Conclusion de l'élaboration des réseaux

La quasi-totalité du réseau a été modélisée, à l'exception des branchements.

Tableau 9 : éléments modélisés

	SIAEP	Châtillon en Bazois
Conduites	1437	222
Nœuds	1421	210
Réservoirs	12	2
Stabilisateur de pression	10	1
Pompage	2	1

Près de 406 km de conduites ont ainsi été modélisés.

La figure ci-dessous présente les ossatures des réseaux modélisées :

Figure 12 : ossature du réseau du SIAEP

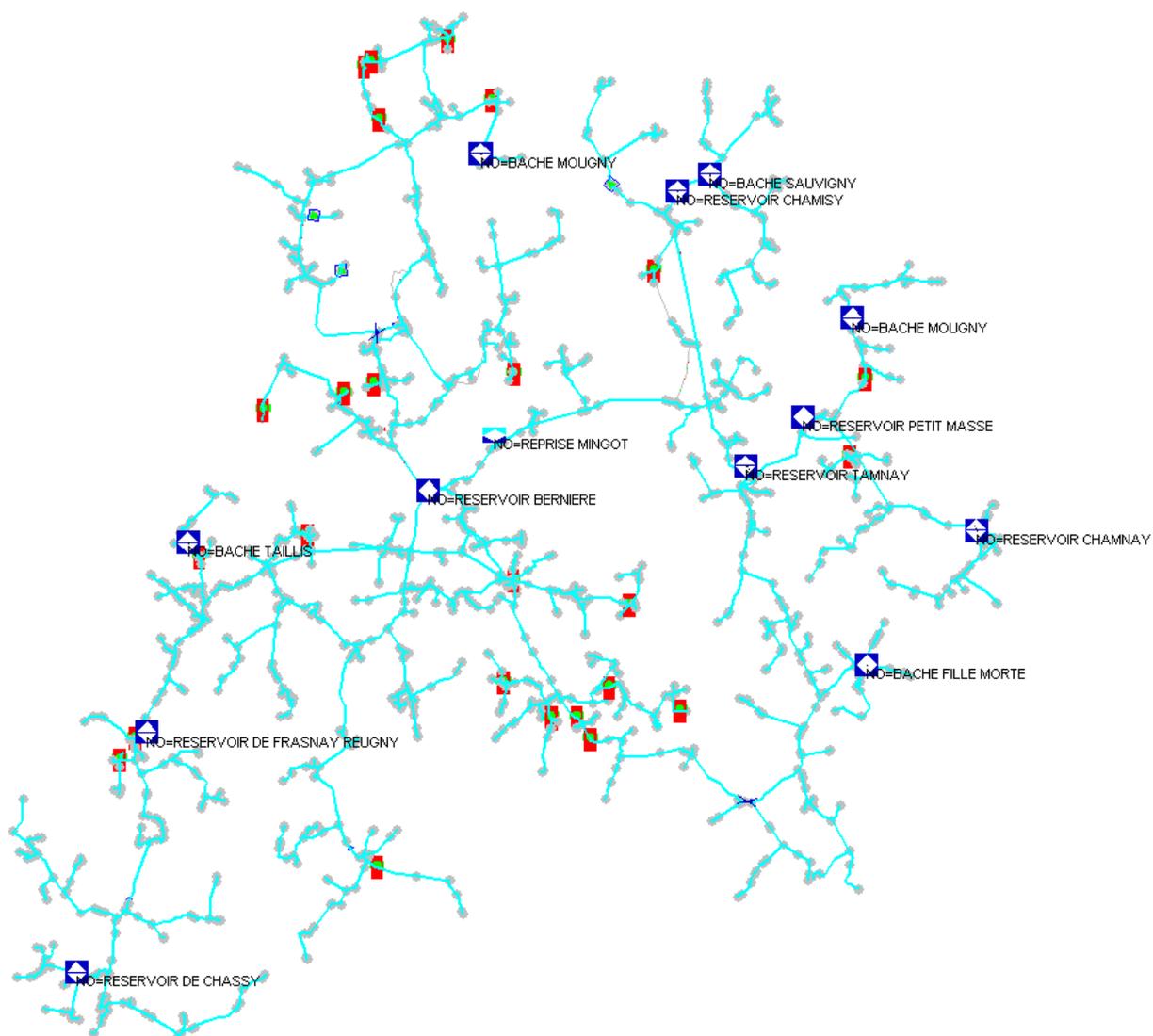


Figure 13 : ossature du réseau de Châtillon en Bazois



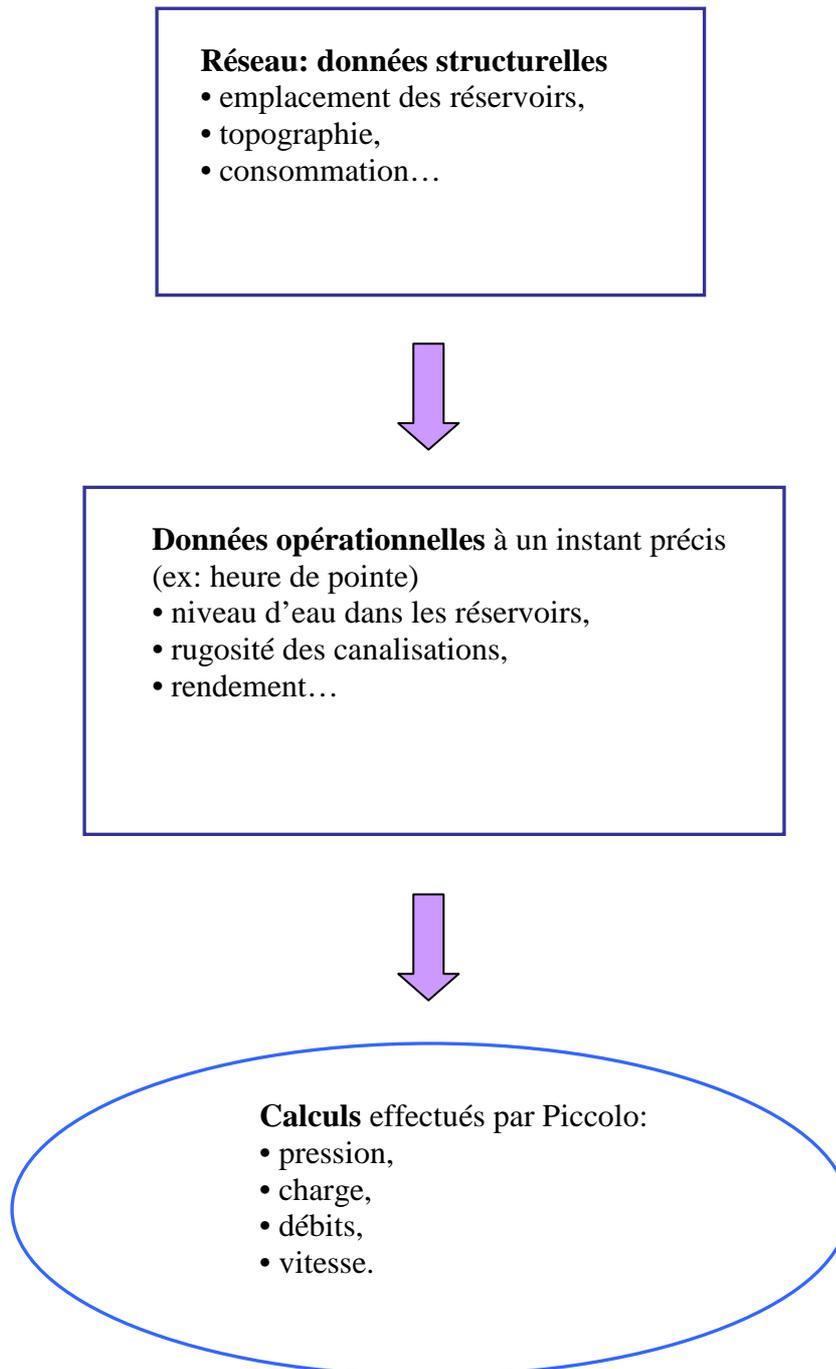
2.4 Le calage du modèle

Le modèle a été calé en fonctionnement statique et dynamique à l'aide de la campagne de mesures et des tests réalisés sur les poteaux incendie.

2.4.1 Calage en fonctionnement statique

Ce type de simulation propose une vision globale et opérationnelle du réseau à un instant t .

A partir des données informées dans le logiciel (données opérationnelles mesurées à cet instant t et données structurales du réseau), qui correspondent à un état du modèle, Piccolo permet de vérifier si les conditions hydrauliques associées à cet état sont satisfaites.

Figure 14 : simulation statique d'un réseau

2.4.1.1 Le SIAEP du Bazois

Lors de la simulation statique du SIAEP, les niveaux d'eau dans les réservoirs de Bernière et du Petit Massé ont été informés en fonction de l'heure des mesures effectuées lors de la campagne du 4 juillet 2009.

Les rendements ont été attribués par secteur comme indiqué dans le tableau 6.

Enfin, les rugosités ont été allouées aux différents matériaux des canalisations par tâtonnement, après avoir comparé les débits mesurés à ceux calculés par le logiciel, afin d'affiner le calage du modèle.

Tableau 10 : rugosité générale des matériaux alloués au SIAEP du Bazois

Matériaux	Rugosité (mm)
Acier	0,4
Fonte ductile	0,2
PVC	0,2
Amiante	0,5
PEHD	0,2

Sur certain tronçons, des rugosités spécifiques ont été allouées afin de modéliser des canalisations vieillissantes ou des pertes de charges singulières (comme des vannes mal fermées lors de la campagne de mesure).

A- Calage en pression

Le tableau ci-dessous indique les pressions mesurées aux poteaux incendie lors de la campagne de mesure et les pressions calculées par le modèle dans les conditions de débit de la campagne, indiquées ci-dessus.

Tableau 11 : Calage en pression du réseau du SIAEP

Point de mesure	Localisation	Valeur mesurée (bar)	Valeur calculée (bar)	Différence (bar)
PI 2	Ville Langy	5,80	5,85	0,05
PI 3	Fertrève	8,60	8,56	-0,04
PI 4	Grond	7,00	7,00	0,00
PI 5	Rouy	4,50	4,19	-0,31
PI 6	La Chaume	6,40	6,13	-0,27
PI 7	Alluy	6,20	6,62	0,42
PI 9	La Cour	7,40	7,06	-0,34
PI 10	Brinay	8,40	8,50	0,10
PI 15	Montigny	9,50	9,16	-0,34
PI 18	Ougny	5,80	5,70	-0,01
PI 19	Achun	5,20	4,34	-0,86
PI 20	Mont-et-Marré	4,2	4,3	0,1
PI 21	Le Fresne	4	4,45	0,45
PI 23	La Bretonnière	6,1	6,39	0,29

L'écart entre les pressions mesurées sur le terrain et celles calculées par le logiciel n'excède pas 0,5 bars, à l'exception des mesures effectuées à Achun, ce qui peut être dû à une faible consommation ponctuelle le jour de la mesure. Les résultats sont cependant cohérents avec les données moyennes de la Saur, ce qui est satisfaisant.

Le modèle est donc considéré calé en pression.

B- Calage en débit

Pour réaliser ce calage du modèle en débit, nous avons modifié les rugosités des canalisations en fonction des mesures effectuées sur les poteaux incendie afin de modéliser au mieux les écoulements (cf. tableau 10).

Le tableau ci-dessous indique les débits mesurés aux poteaux incendie et les débits calculés par le modèle après calage.

Tableau 12 : Calage en débit du réseau du SIAEP

Point de mesure	localisation	Valeur mesurée (m ³ /h)	Valeur calculée (m ³ /h)	Différence (m ³ /h)
PI 6	La Chaume	90	104.71	14.71
PI 10	Brinay	21	26.77	5.77
PI 15	Montigny	42	51.61	9.61
PI 16	Maux	41	32.53	- 8.47
PI 17	Chouigny	16	22.09	6.09
PI 18	Ougny	112	108.17	- 3.83
PI 19	Achun	23	24.87	1.87
PI 21	Le Fresne	24	38.76	14.76
PI 24	Lucy	36	26.52	- 9.48

Des différences sont remarquables en particulier sur quelques poteaux incendie. Nous n'avons pu obtenir de meilleurs résultats sur ces poteaux sans impacter les résultats d'autres poteaux. Ces différences sont sans doute dues à des conditions particulières lors de la réalisation des essais incendie :

Pour le PI 6 et le PI 21, il est possible qu'un ouvrage type vanne induise une perte de charge singulière non connue et de ce fait non modélisée

Ainsi, le modèle est considéré comme calé statiquement en pression et en débit.

2.4.1.2 Châtillon en Bazois

Pour Châtillon en Bazois, le niveau d'eau dans le réservoir de Bernière a été informé en fonction de l'heure des mesures effectuées lors de la campagne du 03 juillet 2009.

Contrairement à ce qui a été fait pour le SIAEP, un rendement de 54% a été appliqué à l'ensemble du réseau.

Là encore, les rugosités ont été allouées aux différents matériaux des canalisations par tâtonnement, après avoir comparé les débits mesurés à ceux calculés par le logiciel, afin d'affiner le calage du modèle.

Tableau 13 : rugosité générale des matériaux alloués au réseau de Châtillon en Bazois

Matériaux	Rugosité
Acier	0,01
Fonte ductile	0,01
PVC	0,01
PEHD	0,2

A- Calage en pression

Le tableau ci-dessous indique les pressions mesurées aux poteaux incendie et les pressions calculées par le modèle dans les conditions de débit de la campagne.

Tableau 14 : calage en pression du réseau de Châtillon en Bazois

Point de mesure	Localisation	Valeur mesurée (bar)	Valeur calculée (bar)	Différence (bar)
PI 11	La Picherotte	5,8	6,36	0,56
PI 12	Mingot	6,4	6,14	-0,26
PI 13	Bernière	4	3,96	-0,04
PI 14	Frasnay	5	4,98	-0,02
PI 25	La Boulaine	4,4	4,78	0,38

La différence entre les pressions mesurées sur le terrain et calculées par le logiciel n'excède pas 0,4 bars, à l'exception des mesures effectuées à La Picherotte, ce qui est satisfaisant. Le modèle est donc considéré calé en pression.

B- Calage en débit

Tableau 15 : calage en débit du réseau de Châtillon en Bazois

Point de mesure	localisation	Valeur mesurée (m ³ /h)	Valeur calculée (m ³ /h)	Différence (m ³ /h)
PI 11	La Picherotte	154	152,41	-1,59
PI 12	Mingot	204	185,29	-18,71
PI 13	Bernière	146	145,57	-0,43
PI 14	Frasnay	51	34,21	-16,79
PI 25	La Boulaine	40	40,56	0,56

Des différences sont remarquables en particulier sur quelques poteaux incendie. Nous n'avons pu obtenir de meilleurs résultats sur ces poteaux sans impacter les résultats d'autres poteaux. Ces différences sont sans doute dues à des conditions particulières lors de la réalisation des essais incendie. Ainsi, pour les PI 12 et 14, il est possible que les pompes de Mingot aient été activées lors de ces essais. Il est également possible qu'un ouvrage type vanne, induise une perte de charge singulière non connue et de ce fait non modélisée.

Lors du calage, nous nous efforçons de nous rapprocher au plus près des pressions et des débits mesurés lors de la campagne de mesure. Mais bien que de nombreuses données soient renseignées pour l'élaboration du modèle, certaines restent inaccessibles et il est nécessaire de faire des hypothèses (faible consommation sur le secteur d'Achun lors de la campagne, vanne mal fermée, fonctionnement anormal des pompes...). Ces hypothèses restant invérifiables,

elles ne peuvent être modélisées, ce qui peut conduire à une modélisation peu fiable sur le secteur mal calé.

2.4.2 Calage en fonctionnement dynamique

La simulation dynamique permet de simuler l'évolution de l'état hydraulique du réseau (en termes de débit et de pression) et les volumes stockés au cours du temps. Cette notion de temps est introduite dans Piccolo :

- ✓ par la définition de périodes de simulations qui seront ici de 24 heures,
- ✓ par un profil de besoin, qui traduit l'évolution de ces besoins (consommations + fuites) au cours de la journée et se base sur les débits horaires.

2.4.2.1 Le SIAEP du Bazois

A- Le profil de besoin

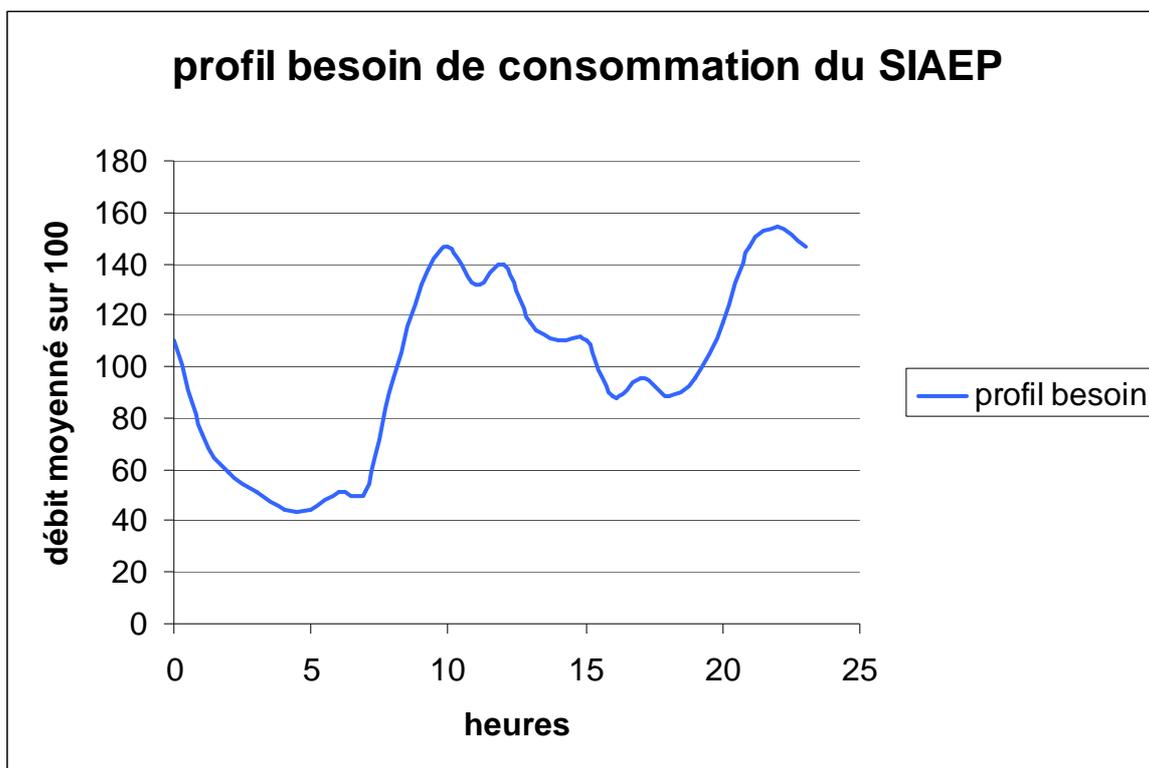
Pour le réseau du SIAEP, deux types de profils ont été introduits dans le modèle :

- ✓ un profil de besoin des consommations domestiques
- ✓ un profil de besoin pour la vente en gros de Crux-la-Ville.

Suite à la défaillance de certains compteurs (en particulier le compteur D5, en sortie du réservoir de Bernière), un profil de besoin n'a pu être attribué à chaque grand secteur de consommation et un profil de besoin global de consommation domestique a été attribué à tout le réseau du SIAEP du Bazois.

Pour la vente de Crux-la-Ville, seule vente en gros du SIAEP (44 149 m³/an), le transfert d'eau s'effectuant chaque nuit entre 2h et 6h, un profil de besoin de 600 m³/h pendant quatre heures a été alloué au nœud portant cette vente.

Figure 15 : profil de besoin de consommation global du SIAEP du Bazois



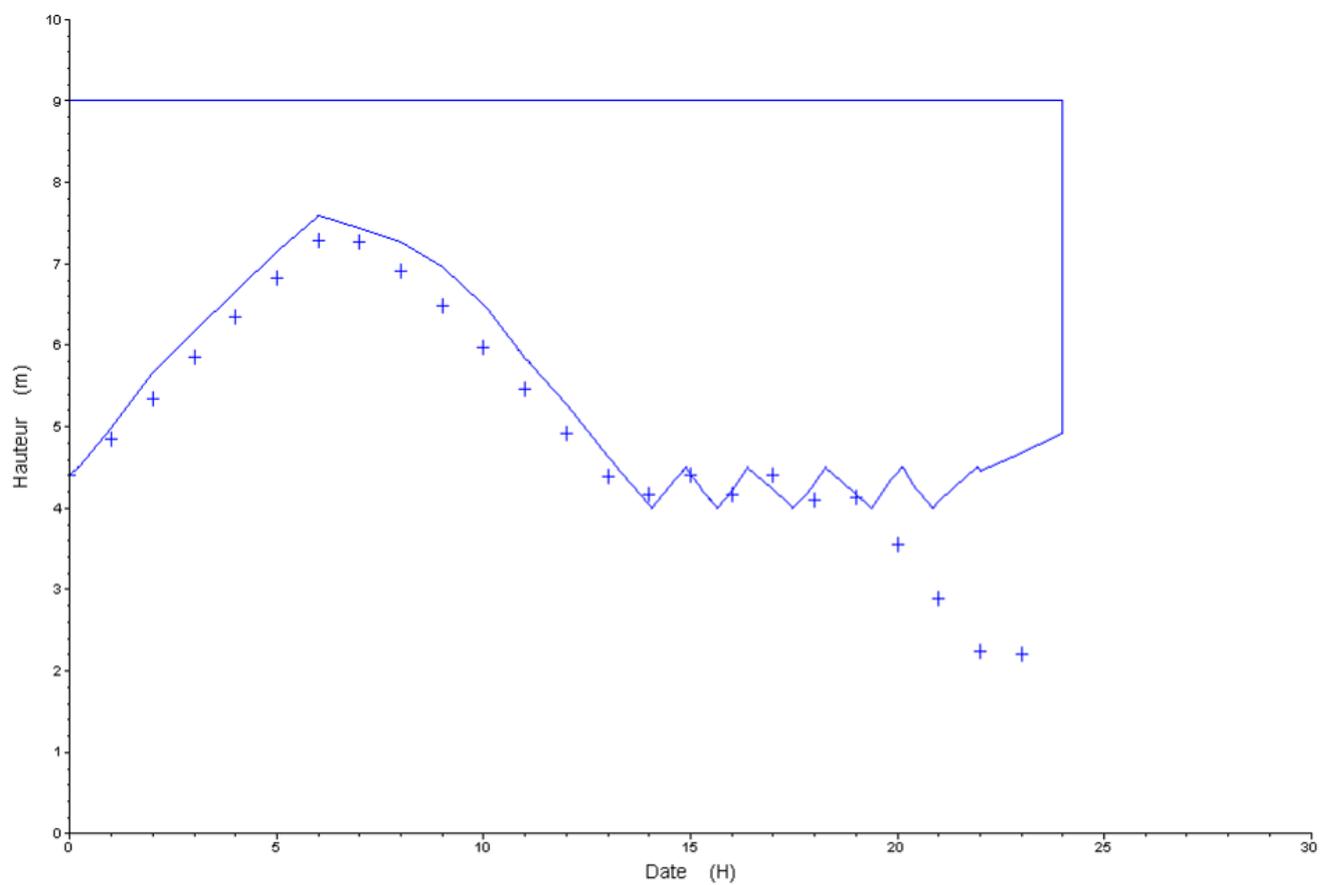
Le profil de besoin renseigné est typique d'une consommation domestique. La consommation de nuit intègre les fuites du réseau recensées en première phase d'étude. Ces fuites sont donc informées lors de l'élaboration du modèle via ce profil de besoin.

La comparaison de l'évolution du niveau des réservoirs, mesurées et calculées par le logiciel au cours d'une journée a permis de caler plus finement les rugosités de certains tronçons.

B- Calage du niveau d'eau des réservoirs

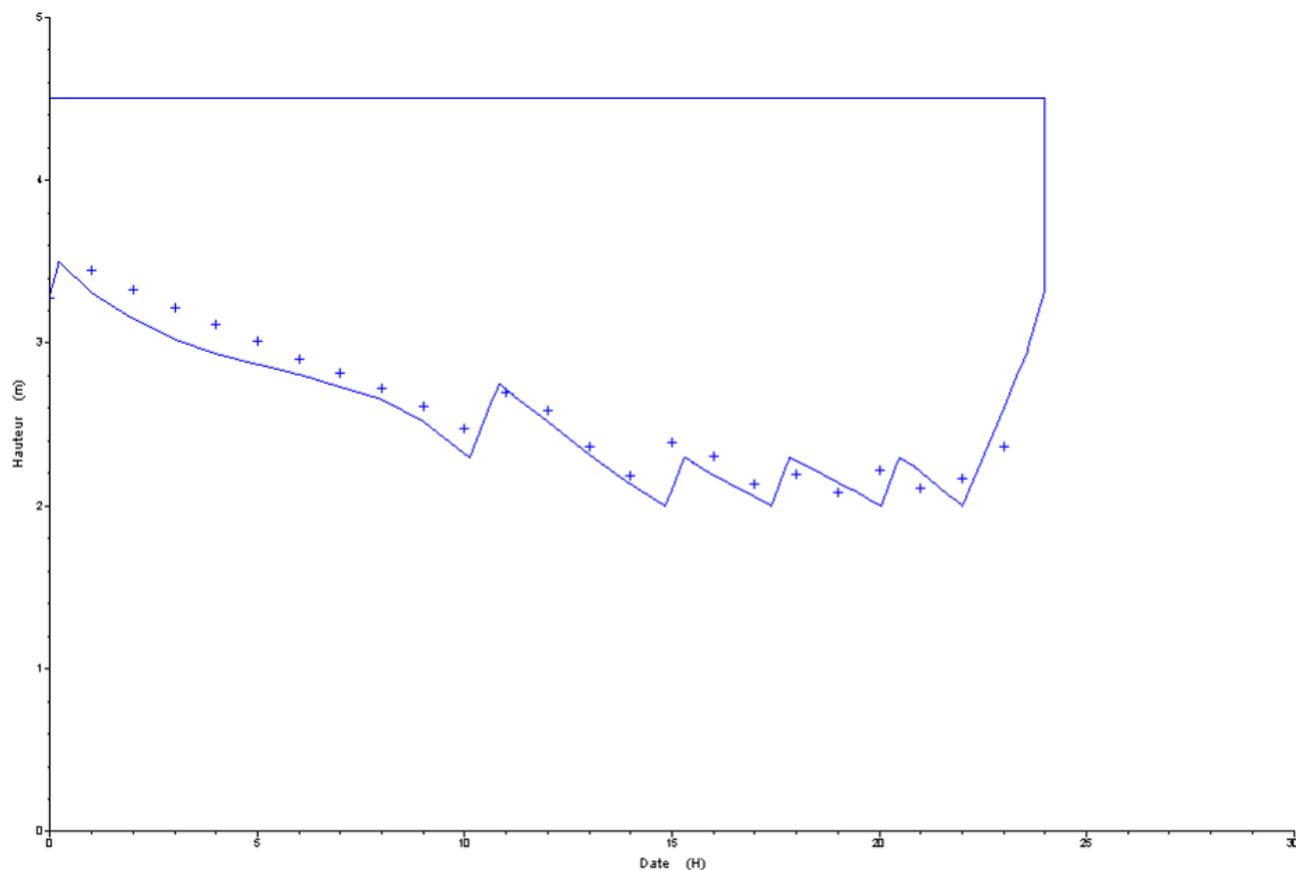
Les figures ci-dessous indiquent les variations du niveau d'eau mesurées et estimées dans les réservoirs de Bernière et du petit Massé au cours de la journée. Les pompes de la station de pompage de Mingot et de la station de reprise de Tamnay sont respectivement asservies par les réservoirs de Bernière et du petit Massé. Cet asservissement a été défini précédemment lors de l'élaboration du modèle (cf. tableau 8).

Après avoir modifié la rugosité de certains tronçons, le calage suivant a été obtenu :

Figure 16 : évolution de la hauteur (en mètre) du niveau d'eau mesurée et estimée dans le réservoir de Bernière

— hauteur estimée (m)
+ hauteur mesurée (m)

Figure 17 : évolution de la hauteur (en mètre) du niveau d'eau mesurée et estimée dans le réservoir du petit Massé



— hauteur estimée (m)
+ hauteur mesurée (m)

Les courbes d'évolution de la hauteur d'eau mesurée sur le terrain et calculée par Piccolo se superposent correctement pour le réservoir du Petit Massé et pour le réservoir de Bernière jusqu'à 20h. La différence de hauteur d'eau dans ce réservoir après 20h (passant sous le niveau des 4m, soit le niveau bas jour de consigne), est sans doute due au dysfonctionnement d'une des pompes. En effet, le relevé des débits au compteur (D1) en amont de la station de Mingot montre un arrêt des pompes correspondant à ces chutes de niveau.

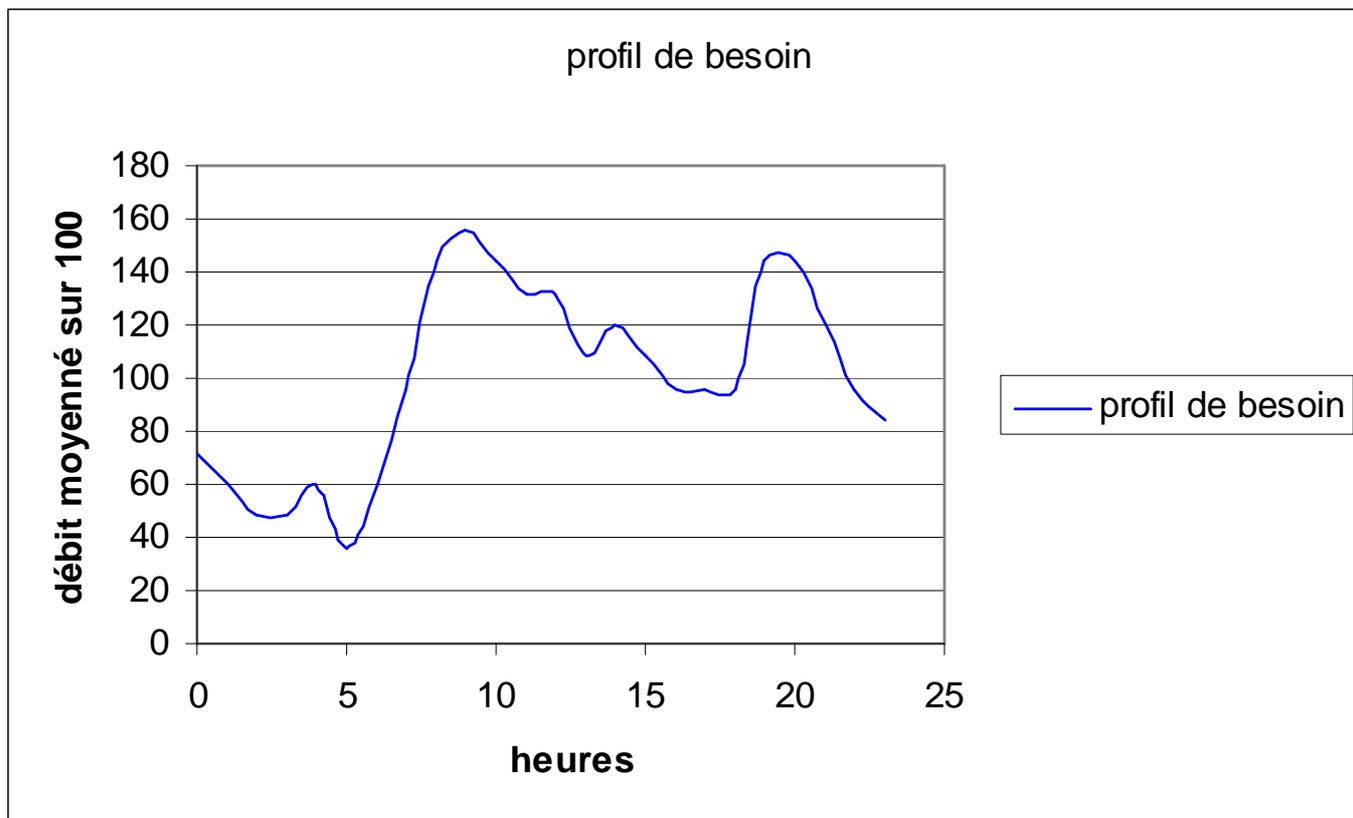
Le modèle est donc considéré calé en dynamique.

2.4.2.2 Châtillon en Bazois

A- Le profil de besoin

Pour le réseau de Châtillon en Bazois, seul un profil de besoin de consommation domestique a été attribué à tout le réseau (aucune vente en gros).

Figure 18 : profil de besoin de consommation global de Châtillon en Bazois



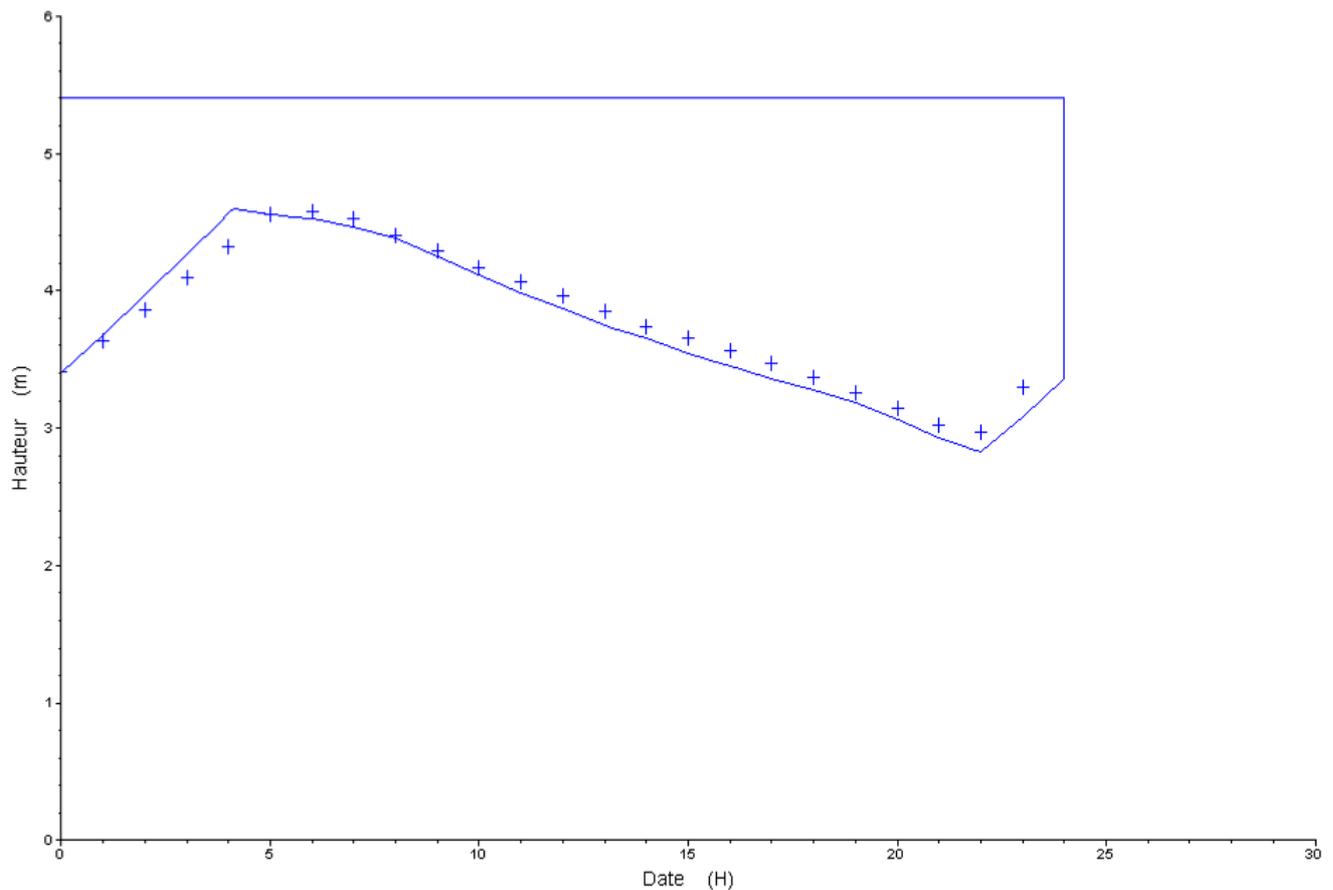
Comme dans le cas du profil de besoin du SIAEP, celui de Châtillon en Bazois permet de renseigner les fuites du réseau (observées la nuit) lors de l'élaboration du modèle.

Les courbes d'évolution du niveau des réservoirs, mesuré et calculé par le logiciel au cours d'une journée, étant immédiatement superposables, aucune modification des valeurs de rugosité n'a été nécessaire.

B- Calage du niveau d'eau des réservoirs

La figure ci-dessous indique les variations du niveau d'eau mesurées et estimées dans les réservoirs de Bernière au cours de la journée. Les pompes de la station de pompage de Dienne sont asservies par ce réservoir, comme défini lors de la phase d'élaboration du modèle (cf. tableau 8).

Figure 19 : évolution de la hauteur (en mètre) du niveau d'eau mesurée et estimée dans le réservoir de Bernière de Châtillon en Bazois



— hauteur estimée (m)
 + hauteur mesurée (m)

Les courbes d'évolution de la hauteur d'eau mesurée sur le terrain et calculées par le logiciel PICCOLO se superposent correctement.

Le modèle est donc considéré calé en dynamique.

La simulation dynamique prend en compte l'évolution dynamique des réservoirs et des organes de contrôles du réseau, mais elle ne permet pas de décrire les phénomènes instationnaires tels que :

- ✓ les phénomènes transitoires comme les coups de bélier,
- ✓ les phénomènes d'inertie de l'eau lorsque le système passe d'un état d'équilibre à un autre.

Mais ces phénomènes, clairement observés lors de la campagne de mesure en continu, sont de l'ordre de quelques minutes. Aussi, le fait de les négliger dans l'étude dynamique ne modifie pas sensiblement l'évolution des réservoirs, où le volume est refoulé par une pompe sur plus d'une quinzaine de minutes.

Mais ignorer ces phénomènes instationnaires révèle une limite du logiciel Piccolo, qui ne permet pas de dimensionner les ouvrages de protection contre les coups de bélier.

3

L'étude du modèle

3.1 Introduction

Après calage du modèle, des simulations ont été réalisées, dans le but de tester le fonctionnement du réseau, suivant différentes hypothèses :

- ✓ consommation d'heure moyenne du jour moyen (la demande journalière correspond à la moyenne annuelle),
- ✓ consommation d'heure moyenne du jour de pointe (la demande journalière correspond à la consommation du jour de l'année au cours duquel la consommation a été la plus forte), où le réseau est sollicité au maximum

Le modèle permet d'étudier les points suivants :

- ✓ les pressions,
- ✓ les vitesses et les débits,
- ✓ les temps de séjour et l'étude du chlore,
- ✓ la défense incendie.

D'un point de vue hydraulique, la situation la plus défavorable est celle présentant le plus faible rendement du réseau, soit la situation actuelle.

De plus, lors de l'étude en situation future (tableau 2) :

- ✓ la consommation domestique du SIAEP augmente de 1% en 2025 par rapport à la consommation de l'année 2008. Cette augmentation peut être compensée par une amélioration de 0,6 % du rendement primaire (soit un passage de 61,8 % à 62,4 % de rendement), ce qui sera probablement atteint en 2025 (les objectifs de rendement primaire étant, à terme, de 75 %).
- ✓ la consommation domestique de la commune de Châtillon en Bazois augmente de 12 % en 2025 par rapport à la consommation 2008. Cette augmentation peut être compensée par une amélioration de 6,8 % du rendement primaire (soit un passage de 59,9 % à 63,7 % de rendement), ce qui sera probablement atteint en 2025 (les objectifs de rendement primaire étant, à terme, de 75 %).

Dans ce contexte, les simulations en situation future sont considérées comme identiques à celles de la situation 2008 et n'ont donc pas été étudiées.

Lors de la simulation en jour moyen, le seul coefficient affecté est, dans ce cas, le rendement :

- ✓ pour le SIAEP du Bazois, le rendement affecté aux différents secteurs est défini dans le tableau 6.
- ✓ pour Châtillon en Bazois, un rendement de 54% a été affecté à tout le réseau.

Les études ont été menées sur une journée, impliquant la nuit la mise en routes des pompes d'alimentation des réservoirs de Bernière et du Petit Massé.

L'heure moyenne du jour de pointe représente la demande moyenne du jour de l'année où les abonnés ont le plus consommé.

Lors de la phase d'élaboration du modèle, les coefficients du jour de pointe (K_{jp}) ont été estimés pour le SIAEP et pour la commune de Châtillon en Bazois (cf. tableau 2) :

- ✓ SIAEP du Bazois : 1,58
- ✓ Châtillon en Bazois : 2,12

Les études ont été menées sur une journée, impliquant la nuit la mise en routes des pompes d'alimentation des réservoirs de Bernière et du Petit Massé.

3.2 Étude des pressions

Cette étude permet de tester la capacité du réseau à assurer une pression idéalement comprise entre 2 bars et 6 bars. On considère qu'une pression comprise entre 6 et 8 bars reste supportable pour le réseau. Au-delà, on préconise la pose d'un détendeur chez les particuliers. Au-dessus de 1 bar, il faut prévoir un surpresseur sur le réseau.

Le cas le plus défavorable de cette étude est :

- ✓ pour l'étude des pressions maximales, l'heure moyenne du jour moyen,
- ✓ pour les pressions minimales, l'heure de pointe du jour de pointe.

Ce diagnostic a donc été réalisé :

- ✓ en jour moyen 2008, pour les pressions maximales,
- ✓ en jour de pointe 2008, pour les pressions minimales.

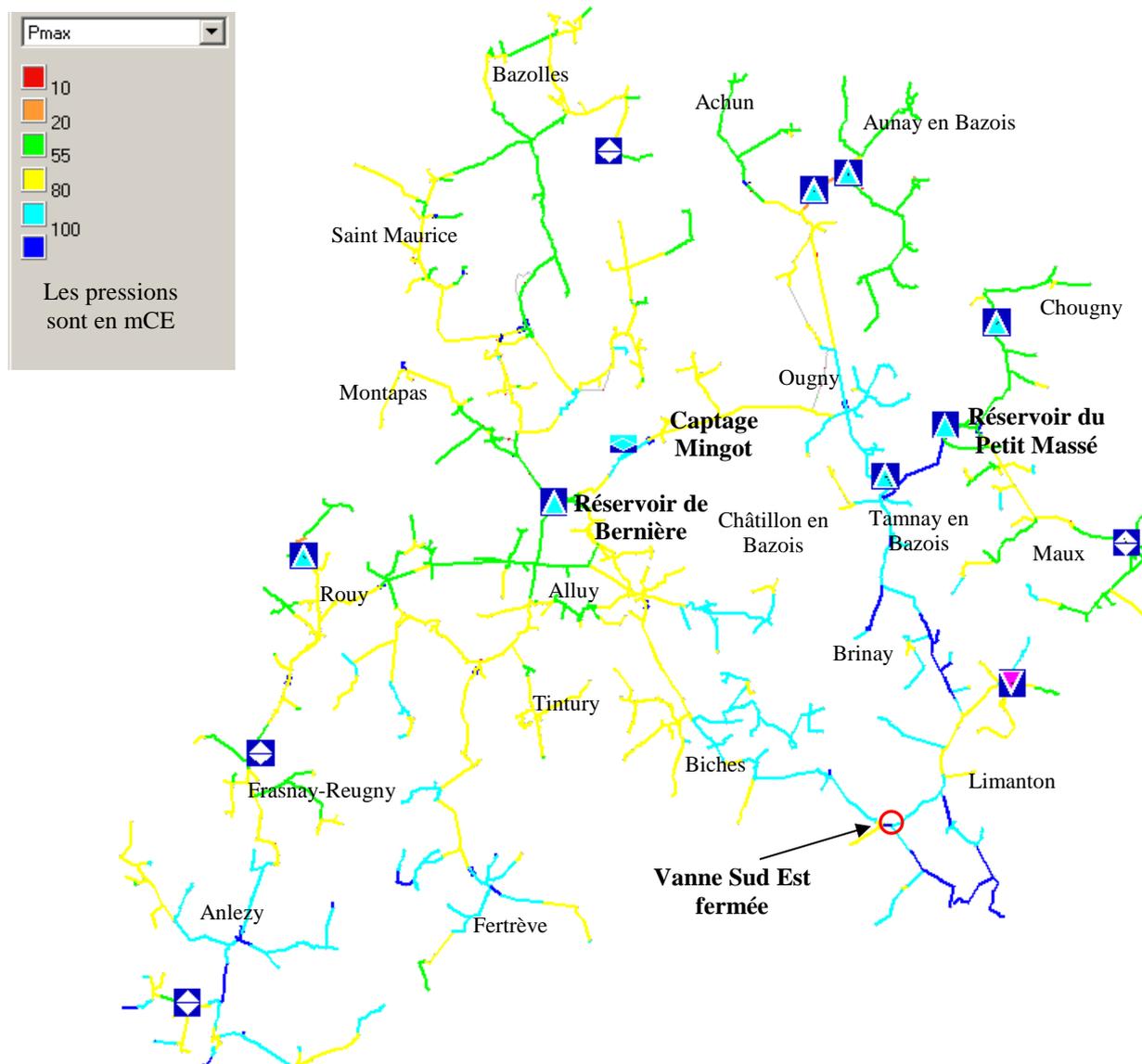
3.2.1 Le SIAEP du Bazois

3.2.1.1 Simulation en pressions maximales, en jour moyen 2008

A- Vanne Sud Est fermée

Les figures ci-dessous présentent les résultats des pressions maximales en jour moyen sur le réseau du SIAEP, la vanne Sud Est étant fermée, isolant ainsi le secteur aval de Limanton.

Figure 20 : carte des pressions maximales du SIAEP en jour moyen 2008, vanne SE fermée



Cette simulation met en évidence des pressions maximales élevées (supérieures à 8 bars) au Sud et à l'Est du réseau sur les secteurs de Anlezy, Fertrève, Ougny, Tamnay en Bazois, Brinay, Biches et Limanton.

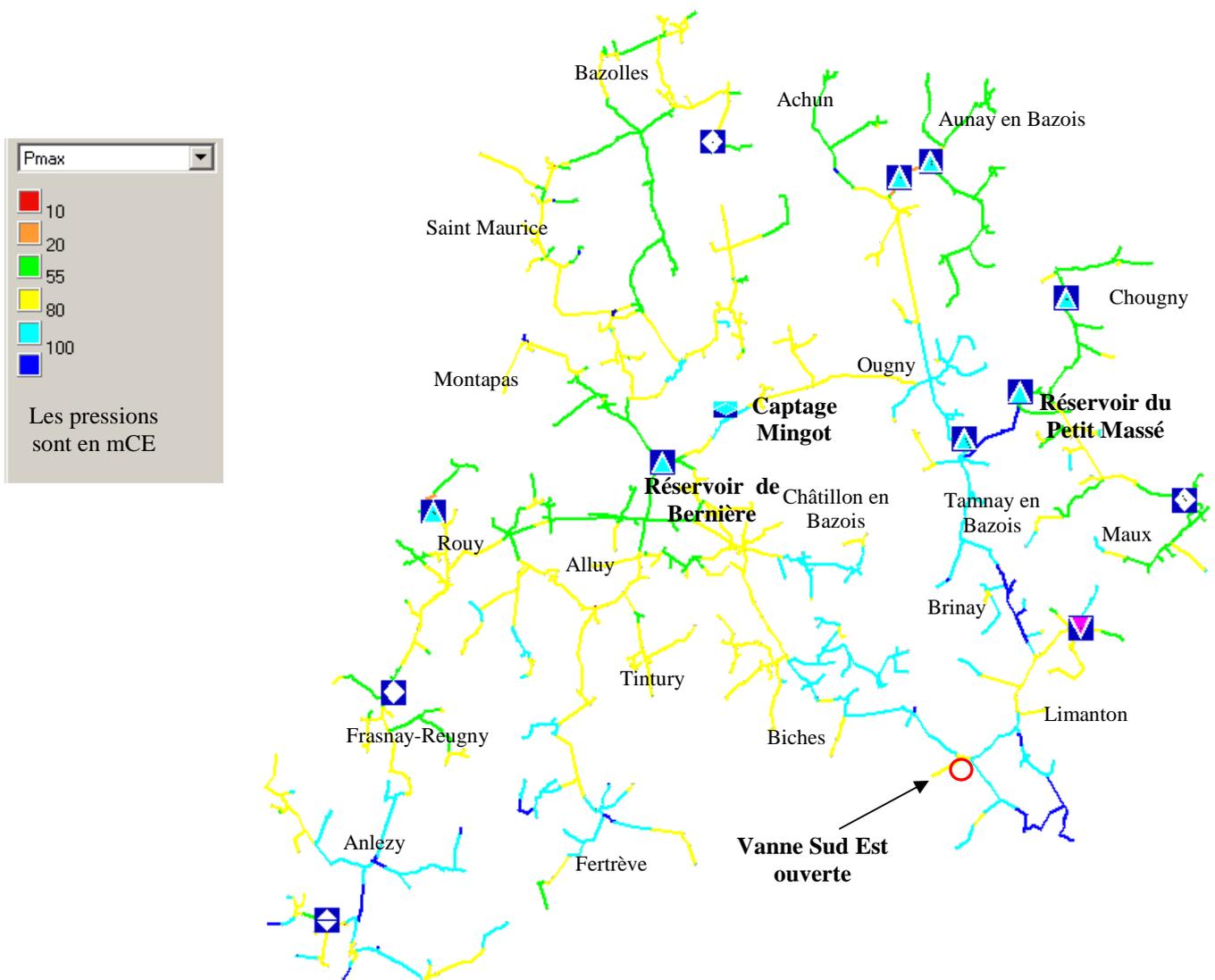
Des pressions supérieures à 10 bars sont observées sur Brinay, Limanton et en bout de réseau des secteurs de Anlezy et Fertrève, ce qui peut être dû à une faible consommation. Ainsi, sur ces secteurs, des réducteurs de pression individuels, chez les particuliers, devront être installés pour protéger les installations. Ces installations devront être confirmées ou infirmées selon les résultats de l'étude des pressions minimales du paragraphe suivant.

En ce qui concerne le tronçon entre les réservoirs de Tamnay et du Petit Massé, la pression supérieure à 10 bars observée est due au fonctionnement des pompes. Aucun branchement n'étant présent sur cette zone, l'installation de réducteurs de pression n'est pas nécessaire.

B- Vanne Sud Est ouverte.

Des pressions fortes (supérieures à 10 bars) ont été calculées sur le secteur de Limanton en jour de consommation moyen, et lorsque la vanne Sud Est était fermée. Une ouverture de cette vanne devrait encore augmenter les pressions maximales calculées.

Figure 21 : carte des pressions maximales du SIAEP en jour moyen 2008, vanne SE ouverte



Lors de l'ouverture de la vanne Sud Est, seul le secteur à l'aval proche de cette vanne présente des pressions satisfaisantes (comprises entre 2 et 8 bars).

L'amélioration (ou la diminution) des pressions observées à l'aval de la vanne Sud Est lors de son ouverture est contraire aux résultats attendus. L'interprétation de ces résultats peut être en partie expliquée si nous prenons en compte les hypothèses de simulation et les calculs effectués par Piccolo :

- ✓ les pressions maximales correspondent aux pressions extrêmes calculées au cours de la journée. Ces pressions ne sont donc pas observées à un instant t.
- ✓ la pression maximale observée sur les arcs représente la moyenne des pressions calculées sur les nœuds initial et final de cet arc. Les différentes valeurs de cette pression moyenne, lors que la vanne est ouverte ou non, dépend donc de la variation relative des pressions aux nœuds initial et final.

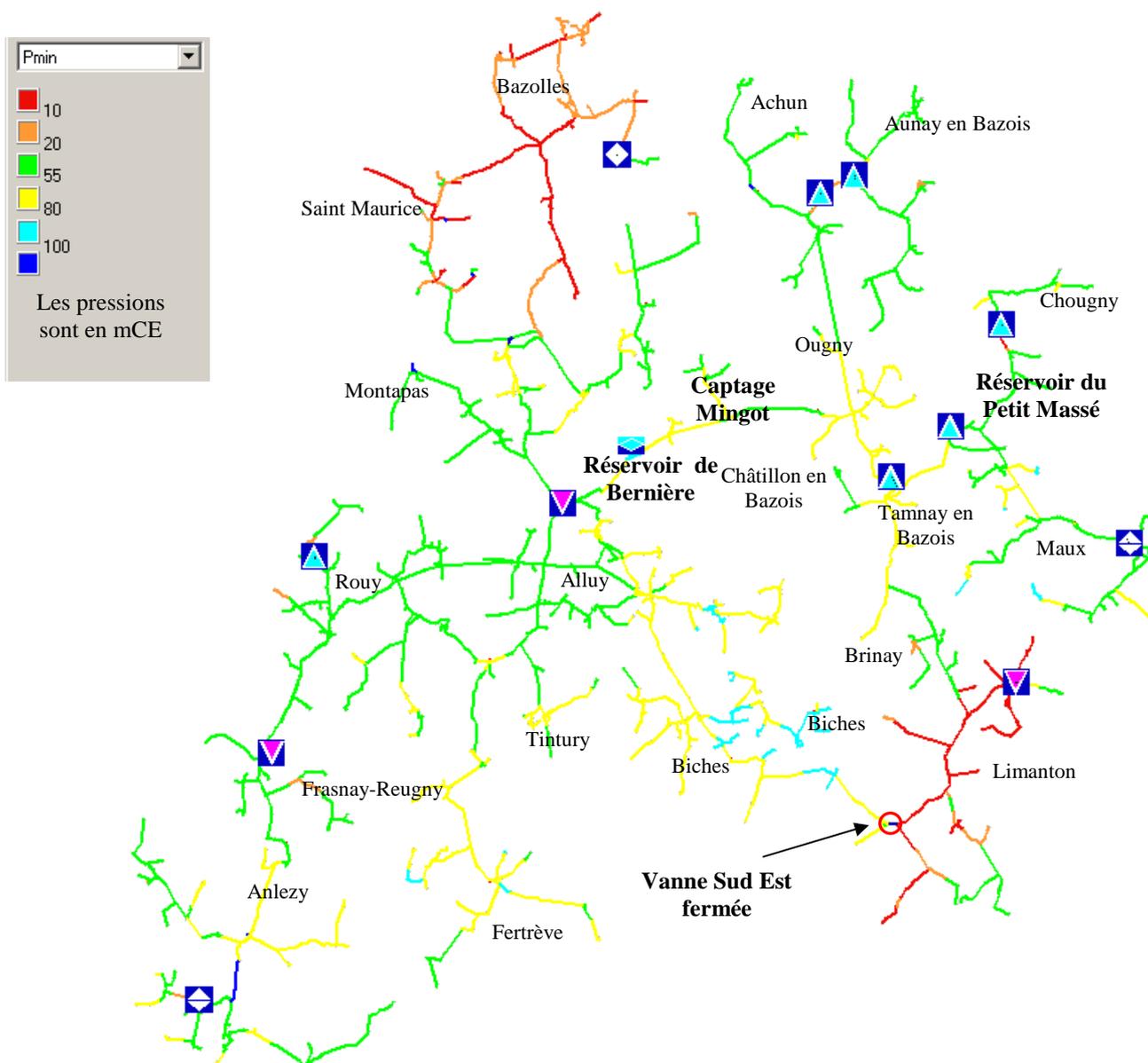
3.2.1.2 Simulation en pressions minimales, en jour de pointe 2008

La consommation étant plus importante, la pression du réseau diminue. La situation la plus défavorable est donc, pour les pressions minimales, en jour de pointe.

A- Vanne Sud Est fermée

Les figures ci-dessous présentent les résultats en pressions minimales en jour de pointe sur le réseau du SIAEP, lorsque la vanne Sud Est est fermée.

Figure 22 : carte des pressions minimales du SIAEP en jour de pointe 2008, vanne SE fermée

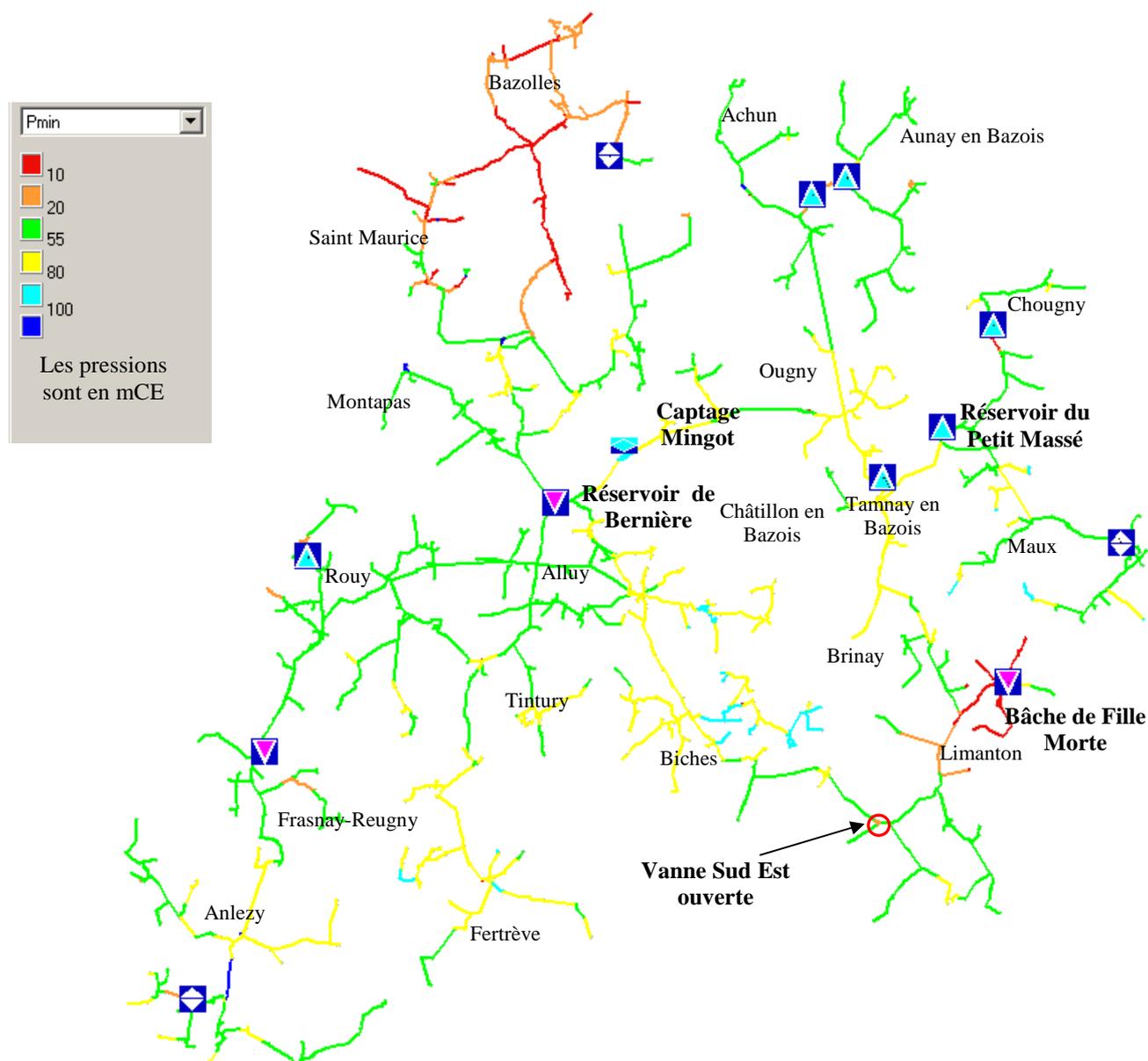


En jour de pointe, le réseau du SIAEP présente des pressions minimales acceptables (supérieures à 2 bars), excepté pour le tronçon au Nord de Saint Maurice et pour le secteur de Limanton. La faible pression calculée sur le tronçon Nord de Saint Maurice est due au fort débit de la vente en gros de Crux-la-Ville (assimilé à une très forte consommation). Cette vente s'effectue la nuit, lorsque les consommations sont faibles. Celles observées à Bazolles peuvent être dues à une forte consommation. Les faibles pressions du secteur de Limanton sont calculées ici lorsque la vanne Sud Est est fermée. Elles peuvent être dues à une consommation trop importante par rapport au débit apporté sur ce secteur. Ce problème peut donc être en partie résolu par l'ouverture de la vanne Sud Est comme le montre la figure 23.

B- Vanne Sud Est ouverte.

Des pressions faibles (inférieures à 2 bars) ont été calculées sur le secteur de Limanton en jour de consommation moyen, et lorsque la vanne Sud Est était fermée. Or en cas de faibles pressions, la Saur ouvre cette vanne, ce qui permet d'augmenter les pressions de ce secteur.

Figure 23 : carte des pressions minimales du SIAEP en jour de pointe 2008, vanne SE ouverte



Lors de l'ouverture de la vanne Sud Est, le secteur de Limanton aval présente des pressions satisfaisantes (comprises entre 2 et 8 bars). Seul son secteur amont, en périphérie de la bâche de Fille Morte, et le secteur Nord Ouest présentent encore des pressions trop faibles (inférieures à 2 bars). Étant donné que ce secteur présente également des pressions importantes (entre 5,5 et 8 bars) en jour de consommation moyenne (cf. figures 20 et 21), l'installation de canalisations avec un diamètre plus important, diminuant les pertes de charges, est préférable à l'installation de surpresseurs sur ce secteur.

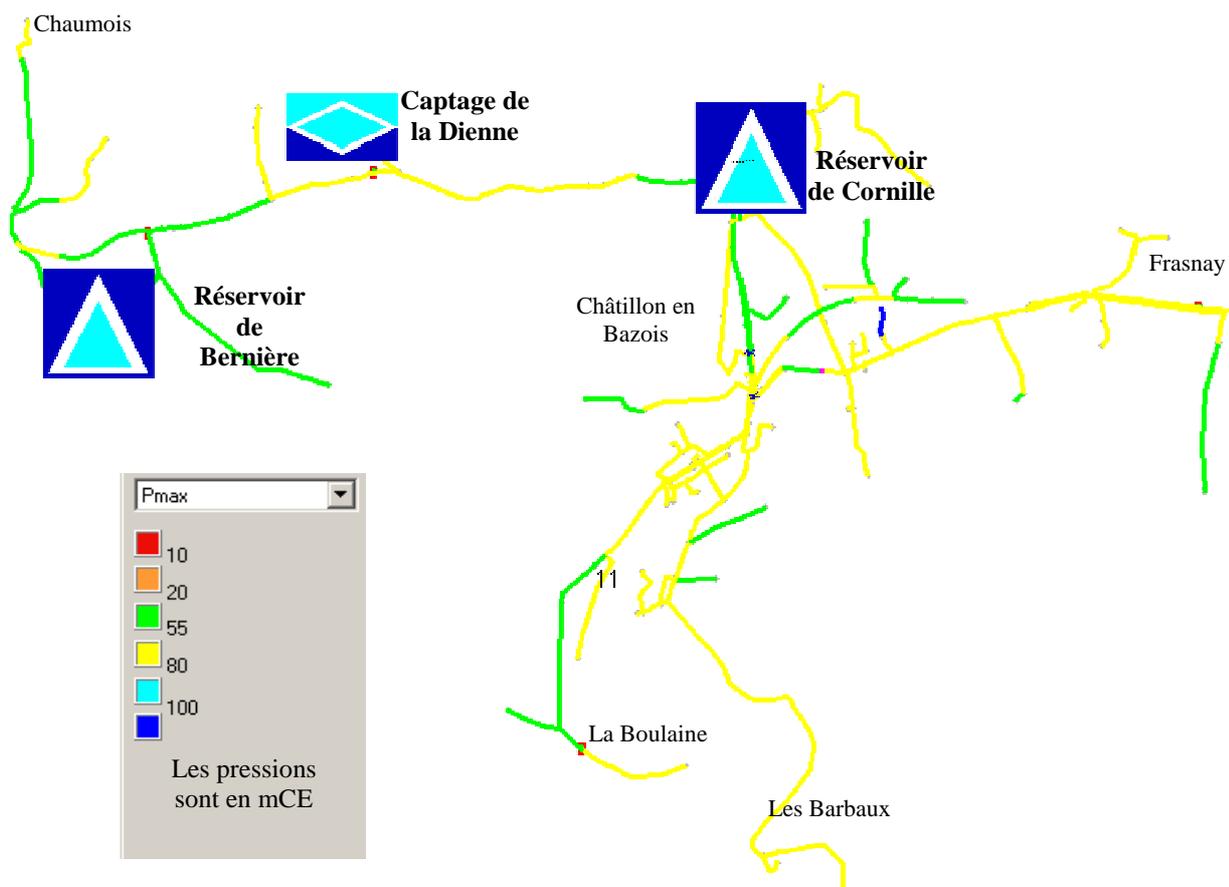
Rappelons qu'en jour de consommation moyenne, des pressions maximales importantes ont été observées (cf. figures 20 et 21) sur les secteurs de Brinay, Limanton, Anlezy et Fertrève. Brinay et Limanton présentent également de faibles pressions en jour de pointe (cf. figures 22 et 23). L'installation de réducteurs individuels de pression n'est donc pas souhaitable, puisque les fortes pressions sont nécessaires pour alimenter ces secteurs lors de consommations importantes. En ce qui concerne les secteurs de Fertrève et de Anlezy, les pressions minimales en jour de pointe sont suffisamment importantes (entre 5,5 et 8 bars) pour envisager l'installation de réducteurs de pression chez les particuliers.

3.2.2 Châtillon en Bazois

3.2.2.1 Simulation en pressions maximales, en jour moyen 2008

La figure ci-dessous présente les résultats en pressions maximales en jour moyen sur le réseau de la commune de Châtillon en Bazois.

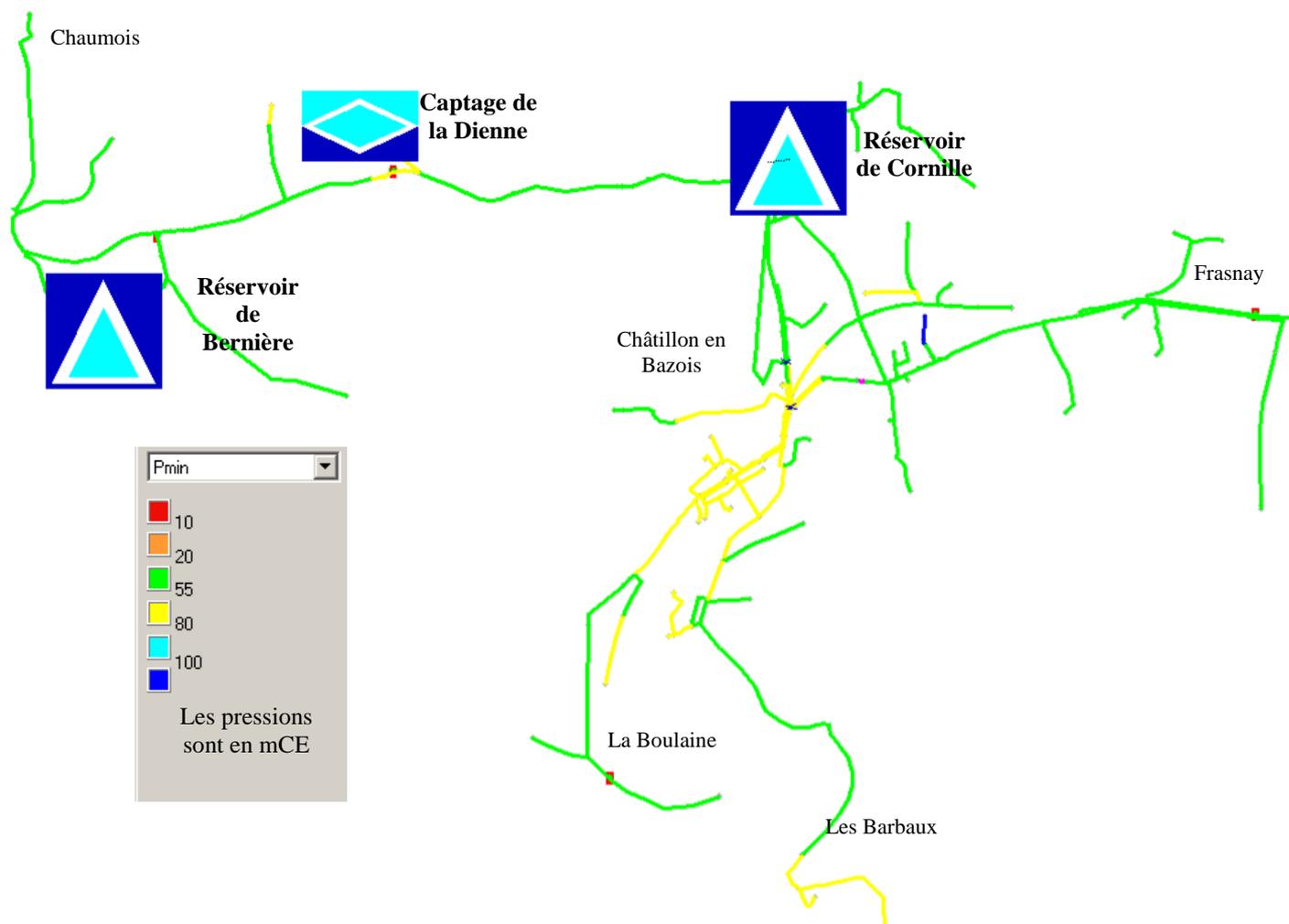
Figure 24 : carte des pressions maximales de Châtillon en Bazois en jour moyen 2008



3.2.2.2 Simulation en pressions minimales, en jour de pointe 2008

La figure ci-dessous présente les résultats en pressions minimales en jour de pointe sur le réseau de la commune de Châtillon en Bazois.

Figure 25 : carte des pressions minimales de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008



Le réseau de Châtillon en Bazois présente des pressions satisfaisantes (comprises entre 2 et 8 bars) sur l'ensemble du réseau de la commune, en jour moyen et en jour de pointe, excepté sur un tronçon de fonte 125 entre Champ Lauron et Fontenille, où des détendeurs devront être installés chez les particuliers branchés sur cette canalisation.

3.3 Étude vitesses/débits

Cette étude permet de tester le bon dimensionnement du réseau hydraulique.

On considère que des vitesses comprises entre 0,1 et 2 m/s sont satisfaisantes pour le réseau.

En effet, des vitesses d'écoulement trop faibles favorisent l'accumulation de dépôts et augmentent le temps de séjour de l'eau, facteur important de sa qualité.

A l'inverse, des vitesses d'écoulement trop élevées génèrent des pertes de charges excessives, induisant :

- ✓ une diminution de la pression,
- ✓ une augmentation des risques de cavitation,
- ✓ une augmentation des effets de coups de bélier,
- ✓ une durée de vie des canalisations plus courte,
- ✓ une dégradation de la qualité de l'eau par remise en suspension du bio-film.

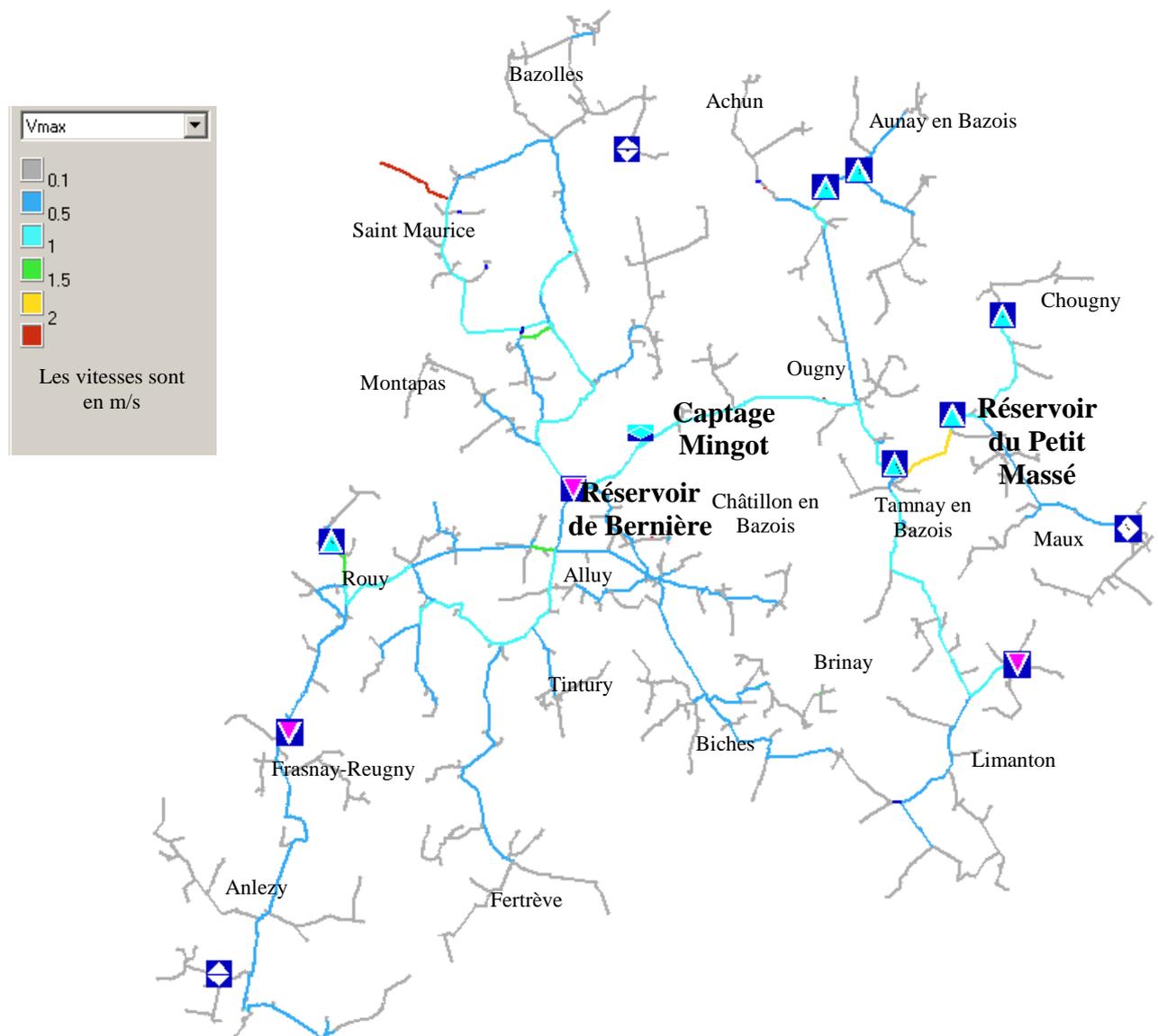
Le cas le plus défavorable pour cette étude étant le jour de pointe, seule cette situation est exposée dans ce rapport.

3.3.1 Le SIAEP du Bazois : simulation en jour de pointe 2008

Les figures suivantes présentent les vitesses d'écoulement de l'eau dans les conduites du réseau du SIAEP, en jour de consommation de pointe.

L'ouverture de la vanne Sud Est ne modifiant pas significativement les résultats obtenus (pas de changement de couleur des arcs), cette situation n'est pas précisée.

Figure 26 : carte des vitesses maximales du SIAEP en jour de pointe 2008



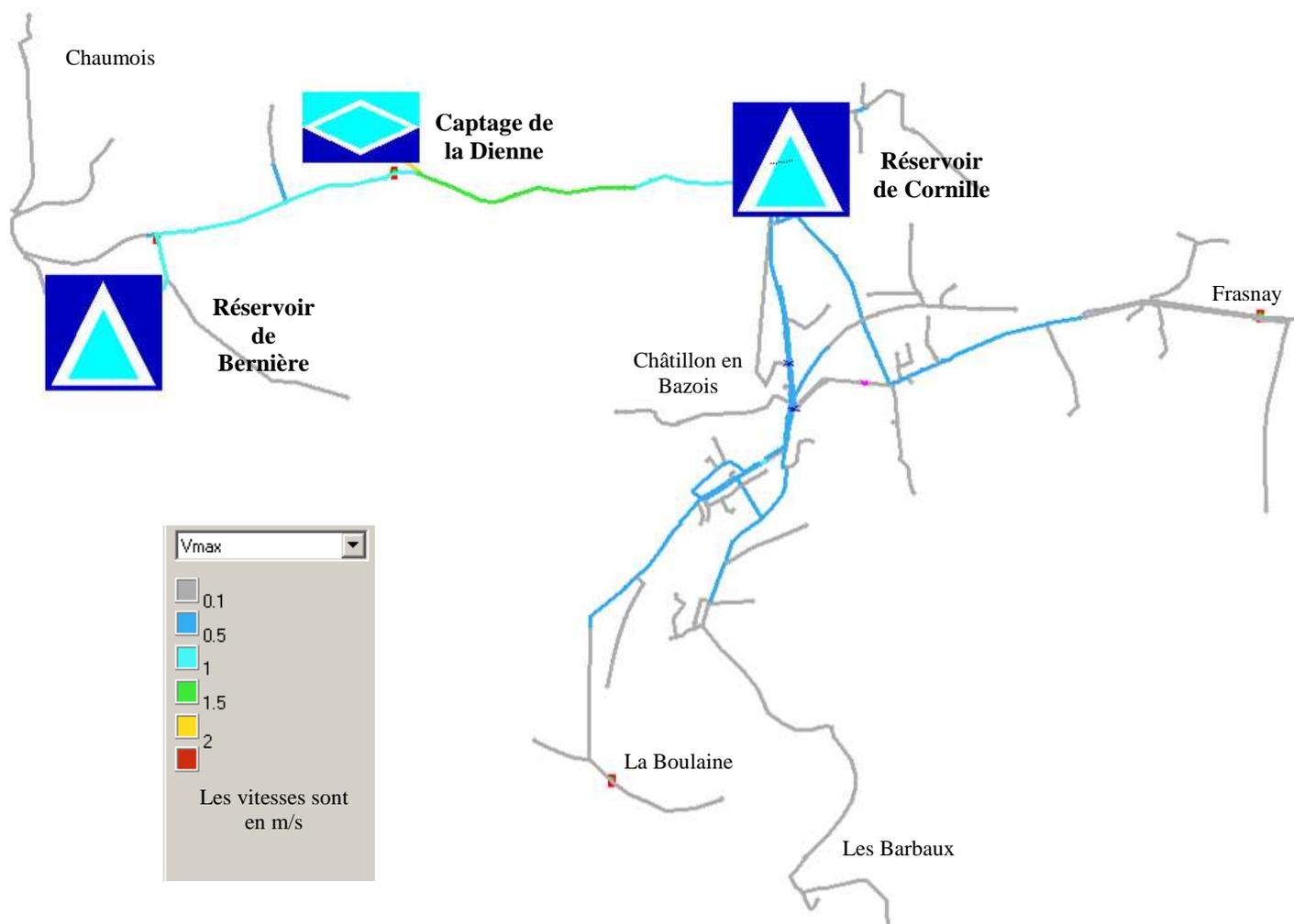
Les simulations en jour de pointe montrent que les vitesses sont faibles (inférieures à 0,1 m/s) dans la grande majorité aux extrémités du réseau du SIAEP. Il existe donc un risque important de dégradation de la qualité de l'eau et d'apparition de dépôts.

Aucune vitesse ne dépassant le seuil de 2 m/s, la durée de vie des canalisations en place n'est pas affectée.

3.3.2 Châtillon en Bazois : simulation en jour de pointe 2008

Les figures suivantes présentent les vitesses d'écoulement de l'eau dans les conduites du réseau de Châtillon en Bazois, en jour de consommation de pointe.

Figure 27 : carte des vitesses maximales de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008



Pour Châtillon en Bazois, les vitesses d'écoulement en jour de pointe sont faibles (inférieures à 0,1 m/s) dans la grande majorité du réseau de la commune. Il existe donc un risque de dégradation de la qualité de l'eau et d'apparition des dépôts.

Là encore, aucune vitesse ne dépasse le seuil de 2 m/s.

Les modélisations obtenues pour les vitesses et les pressions des réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois sont typiques d'un réseau rural. En effet, la longueur du linéaire de canalisation implique des pertes de charges importantes qui diminuent les vitesses et les pressions observées en bout de réseaux. Afin de minimiser ce problème hydraulique, les canalisations présentent des diamètres importants par rapport à la demande en eau. En contre partie, ces diamètres importants engendrent des temps de séjour importants (ce que nous verrons dans les paragraphes suivants) et multiplient les risques de dégradation de l'eau

distribuée. Il est donc nécessaire de trouver « un juste milieu » dans le choix des diamètres des canalisations du SIAEP et de Châtillon en Bazois afin de trouver le meilleur compromis entre des vitesses, des pressions et des temps de séjour proches des recommandations.

3.4 Étude temps de séjour/qualité chlore

Les temps de séjour maximaux ont été analysés en jour moyen seulement, car il s'agit de la situation la plus défavorable.

Dans les réseaux d'eau potable, le temps de séjour maximal conseillé est de 3 jours (soit 72h). En effet, un temps de séjour trop long peut favoriser le développement de bactéries et ainsi dégrader la qualité de l'eau.

La concentration en chlore des eaux du réseau diminuant avec l'augmentation du temps de séjour, les études qualité chlore en situation la plus défavorable ont été effectuées en jour moyen.

Depuis la mise en place du plan vigipirate, la circulaire du 11 octobre 2001 demande une concentration en chlore libre résiduel de :

- ✓ 0,3 mg/l en sortie des réservoirs
- ✓ 0,1 mg/l en tous points du réseau de distribution.

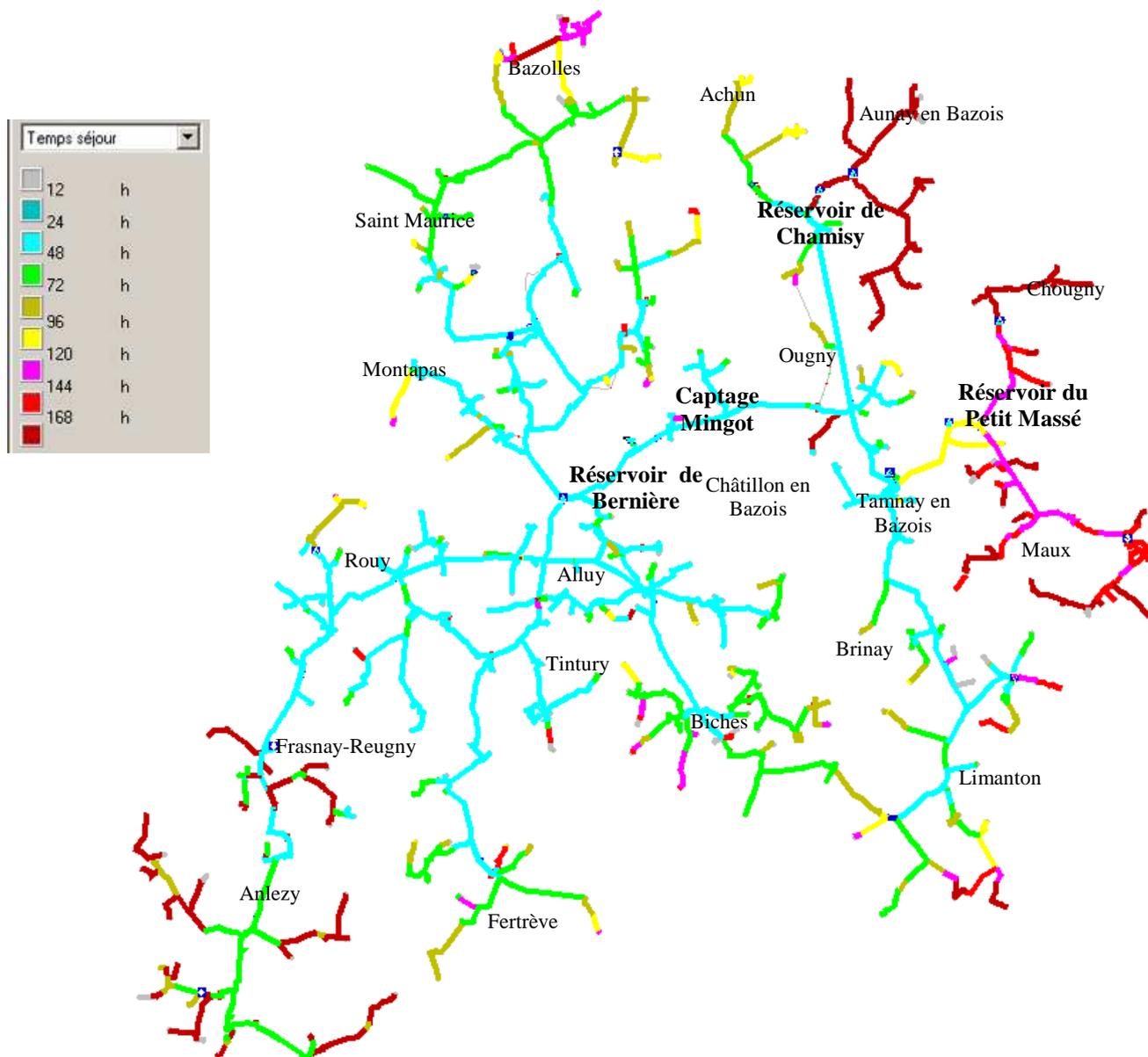
Une concentration en chlore trop faible (inférieure à 0,1 mg/l) représente un risque sanitaire par une mauvaise élimination des pathogènes. A l'inverse, une concentration en chlore trop importante induit un mauvais goût à l'eau de boisson et un risque potentiel pour la santé humaine.

3.4.1 Le SIAEP du Bazois

3.4.1.1 Temps de séjour de l'eau

Les figures ci-dessous indiquent les temps de séjour du réseau du SIAEP.

Figure 28 : temps de séjour maximaux sur le réseau du SIAEP en jour moyen 2008



Des temps de séjour très importants, de plus de 6 jours (alors que l'Agence de l'Eau préconise de ne pas excéder 3 jours) sont relevés sur des tronçons du SIAEP, ce qui indique un risque élevé de dégradation de l'eau.

Les temps de séjour les plus longs sont principalement localisés :

- ✓ en extrémité de réseau, au niveau des antennes les plus éloignées
- ✓ sur les secteurs alimentés par des réservoirs tampons, notamment à l'aval du réservoir du Petit Massé et de Chamisy.

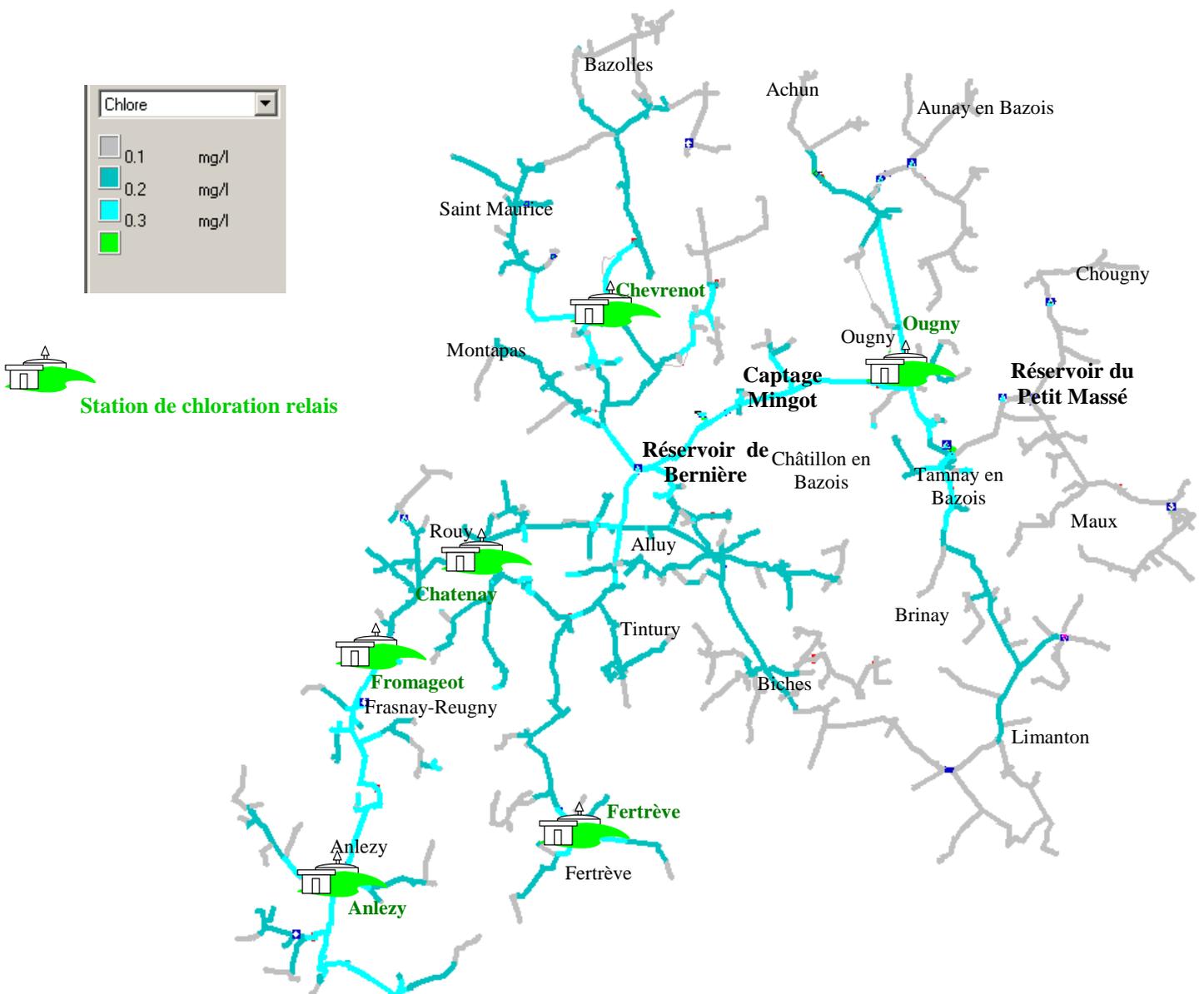
En ce qui concerne le temps de séjour élevé dans les extrémités du réseau, le renouvellement de l'eau est moins important car les consommations sont faibles (quelques abonnés seulement). La qualité de l'eau est donc susceptible d'être dégradée en cas de prolifération bactérienne. Dans ce contexte, des stations de chloration relais sont à préconiser sur des points stratégiques du réseau.

En ce qui concerne le temps de séjour élevé des secteurs en aval des réservoirs, ceci s'explique par le fait que ces réservoirs constituent une zone de stockage de l'eau, qui séjourne donc plus longtemps dans le réseau avant sa consommation. Comme dans le cas des extrémités de réseau, ce temps de séjour important de l'eau (plus de 6 jours) augmente fortement le risque de dégradation de l'eau, et une chloration du réservoir du Petit Massé est à envisager.

3.4.1.2 La qualité chlore

La qualité chlore des différents tronçons du réseau du SIAEP est indiquée ci-dessous.

Figure 29 : concentration chlore en jour moyen 2008 sur le réseau du SIAEP



Les antennes principales du SIAEP présentent pour la plupart des concentrations en chlore satisfaisantes (comprises entre 0,1 et 0,3 mg/L), et aucun secteur ne présente des concentrations en chlore supérieures à la norme (0,3mg/L). En revanche, certaines antennes

principales présentent une concentration en chlore trop faible (inférieure à 0,1 mg/L), en particulier à l'aval de certains réservoirs non chlorés (réservoirs de Chamisy et du Petit Massé) et sur les secteurs aval de Biches et de Limanton.

De plus, de nombreuses extrémités du réseau affichent une concentration en chlore insuffisante (inférieure à 0,1 mg/L).

Ces secteurs à faible concentration en chlore coïncident, comme attendu, avec ceux présentant des temps de séjours importants. Ceci s'explique par le fait qu'au cours du temps, le chlore est dégradé par trois phénomènes :

- ✓ sa consommation lors des réactions chimiques avec l'eau (température, concentration en carbone organique total...)
- ✓ sa consommation par les biofilms,
- ✓ sa consommation liée à la corrosion des canalisations
- ✓ sa disparition par évaporation.

Ainsi, plus le temps de séjour est important, plus la concentration en chlore de l'eau diminue. La chloration des réservoirs tampons, ainsi que l'installation de station de chloration relais sont donc à envisager.

3.4.2 Châtillon en Bazois

Ayant eu aucun accès aux données de chloration sur le réseau de Châtillon en Bazois, son étude n'a pas été faite.

La simulation dynamique de la qualité chlore permet d'obtenir des valeurs de concentration moyennes et non instantanées. Or, les mesures effectuées sur le terrain par la Saur et lors de la campagne de mesure, sont des mesures ponctuelles et donc très dépendantes du débit passant dans la canalisation à cet instant. N'ayant accès ni aux mesures de chlore en continu du fermier, ni à celles effectuées ponctuellement au cours du dernier mois sur le réseau, le calage du chlore n'a pas été possible sur les données réelles. Ce calage a donc été basé sur une extrapolation des données de terrain mis à disposition et en éliminant les modélisations aberrantes.

3.5 Étude de la défense incendie

3.5.1 La réglementation incendie

3.5.1.1 Circulaire interministérielle du 10 décembre 1951

La circulaire interministérielle du 10 décembre 1951 relative aux bouches et poteaux d'incendie installés sur le domaine public dispose que :

- ✓ les sapeurs pompiers doivent pouvoir trouver sur place, en tout temps, 120 m³ d'eau utilisables en 2 heures, voire plus lorsque les agglomérations présentent des risques importants (une moto-pompe a une capacité de 60 m³/h et la durée approximative d'extinction d'un sinistre est de 2 heures),
- ✓ ces besoins peuvent être satisfaits indifféremment à partir d'un réseau de distribution, de points d'eau naturels ou de réserves artificielles.

Dans le cas d'un réseau de distribution :

- ✓ la réserve d'eau d'incendie disponible doit être au moins de 120 m³,

- ✓ les canalisations doivent pouvoir fournir un débit minimum de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 2 heures,
- ✓ la pression disponible doit en principe être au moins de 1 bar ; une pression moindre pourra exceptionnellement être admise à condition de ne jamais descendre au dessous de 0,6 bar,
- ✓ le réseau doit alimenter des prises d'incendie constituées par des bouches de 100 mm ou, de préférence, des poteaux de même diamètre (plus visibles) ; ces appareils doivent en principe être alimentés par des conduites et des branchements d'un diamètre au moins égal à leur orifice ; de plus, ils doivent répondre à des caractéristiques normalisées (NF S 61-211 pour les bouches et 61-213 pour les poteaux) et doivent notamment être incongelables,
- ✓ les prises ne doivent en principe pas être éloignées de plus de 200 à 300 m et être réparties en fonction des risques à défendre (qui seront étudiés); la zone de protection de certaines bouches d'incendie pourra être étendue à 400 m si le risque est particulièrement faible; leurs emplacements doivent être accessibles en toutes circonstances et signalisés.

La circulaire du 10 décembre 1951 prévoit exceptionnellement la possibilité de recourir à des puisards d'aspiration d'une capacité de 2 m^3 sur le réseau de distribution ou à des citernes de 60 m^3 (minimum). Toutefois, il ne s'agit là que de dispositions destinées à éviter des dépenses exagérées et uniquement tolérées dans des cas spécifiques présentant un risque limité. Ce type de dispositif est fréquent sur les réseaux ruraux de grande longueur pour protéger des hameaux

Enfin, des prises accessoires pourront compléter l'ossature principale de protection contre l'incendie (laquelle répond aux préconisations décrites précédemment) pour permettre une intervention des sapeurs pompiers avant l'arrivée des engins du centre de secours voisin ou à ce dernier de compléter son action :

- ✓ des bouches de 100 mm ou, de préférence des poteaux de même diamètre, utilisables par des engins pompes de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ou, momentanément, des engins pompes de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ (réseau en mesure de délivrer $60 \text{ m}^3/\text{h}$ mais réserve d'eau d'incendie de 120 m^3 non disponible en tout temps),
- ✓ des bouches de 70 mm ou, de préférence des poteaux de même diamètre, utilisables par des engins pompes de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (réseau en mesure de délivrer $30 \text{ m}^3/\text{h}$ sous une pression de marche minimum de 0,6 bar),
- ✓ des bouches de lavage ou des bornes de 40 mm (réseau en mesure de délivrer $15 \text{ m}^3/\text{h}$ sous une pression minimum de 0,4 bar).

3.5.1.2 La circulaire du Ministère de l'Agriculture du 9 août 1967

La circulaire du Ministère de l'Agriculture du 9 août 1967 relative à la protection contre l'incendie dans les communes rurales précise les règles à appliquer dans les zones rurales dont l'habitat est dispersé :

- ✓ l'aménagement des points d'eau naturels doit être réalisé dans le cadre d'un plan d'ensemble et peut être assimilé à des travaux d'alimentation en eau potable s'il est effectué simultanément et s'il assure une protection dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes ; pour les points d'eau privés, il convient d'examiner, au cas par cas, les accords particuliers à conclure pour leur aménagement, leur entretien, leur maintien en eau et leur utilisation ;

- ✓ **la défense contre l'incendie n'est qu'un objectif complémentaire des réseaux d'alimentation en eau potable ;**
- ✓ il y a souvent intérêt à renforcer le diamètre des canalisations principales plutôt que de construire des réserves artificielles d'une part pour assurer la défense-incendie et d'autre part pour faire face aux besoins futurs (développement des besoins en eau des exploitations agricoles, expansion des lotissements et résidences secondaires) ; **il convient en revanche de ne pas surdimensionner les antennes secondaires afin d'éviter les dépôts, l'apparition de conditions anaérobies, etc., lorsque le débit normal de distribution est faible ;**
- ✓ les bouches ou, de préférence, les poteaux d'incendie doivent répondre aux prescriptions réglementaires ou être remplacés par un dispositif d'un degré inférieur dont les possibilités ne feront pas illusion (ex : un puisard plutôt qu'un poteau ne pouvant être alimenté dans les conditions réglementaires) ; des limiteurs de débit doivent être mis en place lorsqu'il existe un risque de mise en dépression d'une conduite alimentant plusieurs appareils ; la construction d'un puisard est souhaitable lorsque le débit permet d'alimenter une motopompe de 30 m³/h dans des conditions encore admissibles, sinon le remplissage et le transport des fourgons pompes peuvent se révéler plus rapides à partir des poteaux d'incendie de grand débit, même assez éloignés du lieu du sinistre ;
- ✓ la construction de citernes en maçonnerie dans des zones d'habitat dispersé est coûteuse et doit être réservée à l'existence de risques graves exceptionnels en un point précis (des économies sont possibles avec des réserves en matériaux plastiques ou élastomères).

3.5.2 Analyse de la défense incendie

L'étude de la conformité de la défense incendie des réseaux comprend plusieurs étapes :

3.5.2.1 Recensement et étude des zones protégées

Cette étape s'effectue en deux temps :

- ✓ le recensement de l'ensemble des dispositifs de défense incendie (poteaux, puisards, bâches, citernes) sur les territoires étudiés,
- ✓ le repérage des zones non protégées (c'est à dire non comprises dans le périmètre de protection d'un rayon de 350 m autour d'un dispositif de défense incendie), et étude des dispositifs possibles à mettre en place.

3.5.2.2 L'analyse de la conformité incendie par modélisation

Le logiciel Piccolo offre la possibilité de tester le fonctionnement du réseau modélisé en cas d'incendie. Les conduites suffisantes pour la distribution peuvent se révéler sous dimensionnées pour acheminer les besoins des poteaux incendie.

Pour la simulation incendie, le réseau a été testé dans le cas le plus défavorable : l'heure de pointe du jour de pointe et tous les pompages arrêtés.

Piccolo peut réaliser deux types de simulations incendie :

- ✓ une simulation incendie en débit : au cours de laquelle un débit fixé, de 60m³/h, est imposé par le logiciel, en chaque nœud portant des poteaux incendie. Ces poteaux sont ouverts à tour de rôle et le logiciel calcule la pression à ces nœuds.

- ✓ Une simulation incendie en pression : au cours de laquelle les débits disponibles sont calculés sous une pression fixée à 1 bar.

La simulation en débit n'est pas toujours possible à effectuer sur les poteaux. Ainsi, si le poteau ne peut pas fournir 60 m³/h, Piccolo indique le débit maximal disponible à ce poteau, mais n'indique évidemment aucune pression.

De plus, comme les résultats des simulations dépendent des hypothèses faites lors de la construction du modèle, les conformités ou les non conformités des poteaux devront être validées par une vérification in situ.

Des mesures de terrain ont également été effectuées sur 14 poteaux du SIAEP et 5 poteaux de la commune de Châtillon en Bazois, afin de vérifier la conformité des poteaux testés. Les résultats sont présents en annexe 2.

3.5.3 Le SIAEP du Bazois

3.5.3.1 Recensement et étude des zones protégées

La liste et l'emplacement des dispositifs de défense incendie ont été obtenus auprès de la Saur et du SDIS de la Nièvre.

Le réseau du SIAEP du Bazois est constitué de :

- ✓ 71 poteaux incendie de diamètre 100 mm
- ✓ 21 poteaux incendie de diamètre 80 mm
- ✓ 2 poteaux incendie de diamètre 65 mm
- ✓ 2 poteaux incendie de diamètre 60 mm
- ✓ 39 réserves
- ✓ 26 puisards

L'importance du nombre de poteaux incendie de diamètre inférieur à 100 mm et de puisards est caractéristique des réseaux ruraux de grande étendue. Les réserves sont souvent des réserves naturelles en bord d'étang ou de cours d'eau.

3.5.3.2 L'analyse de la conformité incendie par modélisation

La simulation a permis de vérifier le fonctionnement des poteaux incendie individuellement. Les résultats obtenus sont fournis, par commune, dans le tableau ci-dessous et les cartes des figures 30 et 31 présentent les poteaux incendie conformes et non conformes.

Tableau 16 : Conformité des poteaux incendie (PI) du SIAEP du Bazois

commune	Nombre PI	PI conformes	PI acceptables (Q>50)	PI non conformes	% conformité
ville-Languy	2	2	0	0	100%
Anlezy	4	4	0	0	100%
Frasnay-Reugny	2	1	0	1	50%
Rouy	11	8	1	2	73%
Tintury	5	3	1	1	60%
Montapas	13	6	3	4	46%
Saint-Maurice	3	0	1	2	0%
Bazolles	9	0	1	8	0%
Alluy	13	11	0	2	85%
Mont-et-Marre	6	2	0	4	33%
Biches	8	6	0	2	75%
Brinay	3	0	0	3	0%
Ferrière	2	0	0	2	0%
Limanton	0	0	0	0	
Maux	2	1	0	1	50%
Tamnay-en-Bazois	3	2	0	1	67%
Ougny	2	2	0	0	100%
Chouigny	3	2	0	1	67%
Aunay-en-Bazois	4	1	0	3	25%
Achun	1	0	0	1	0%
TOTAL	96	51	7	38	
%		53%	7%	40%	

Figure 30 : carte de conformité des poteaux incendie PI de diamètre 100 mm du SIAEP du Bazois en jour de pointe 2008

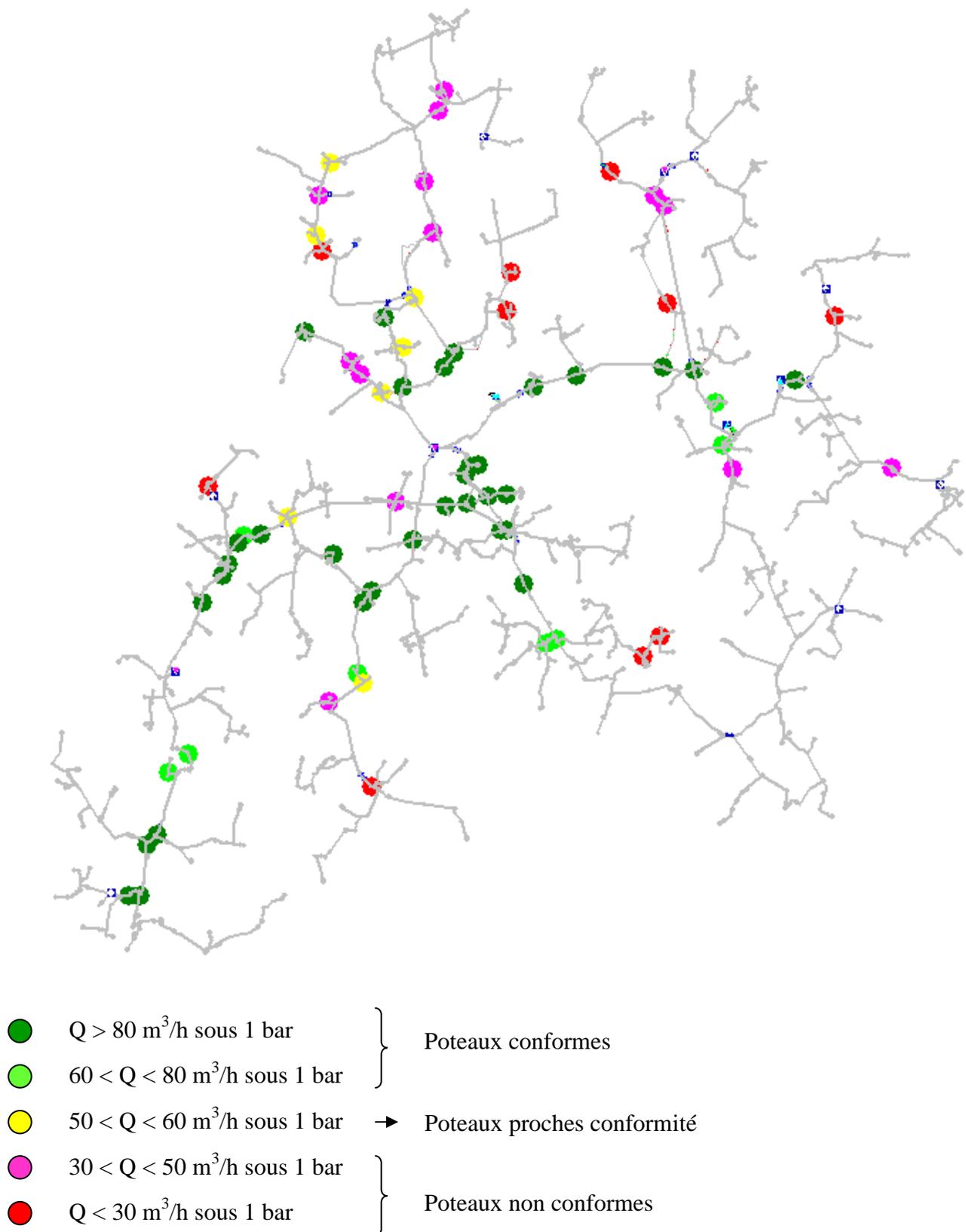
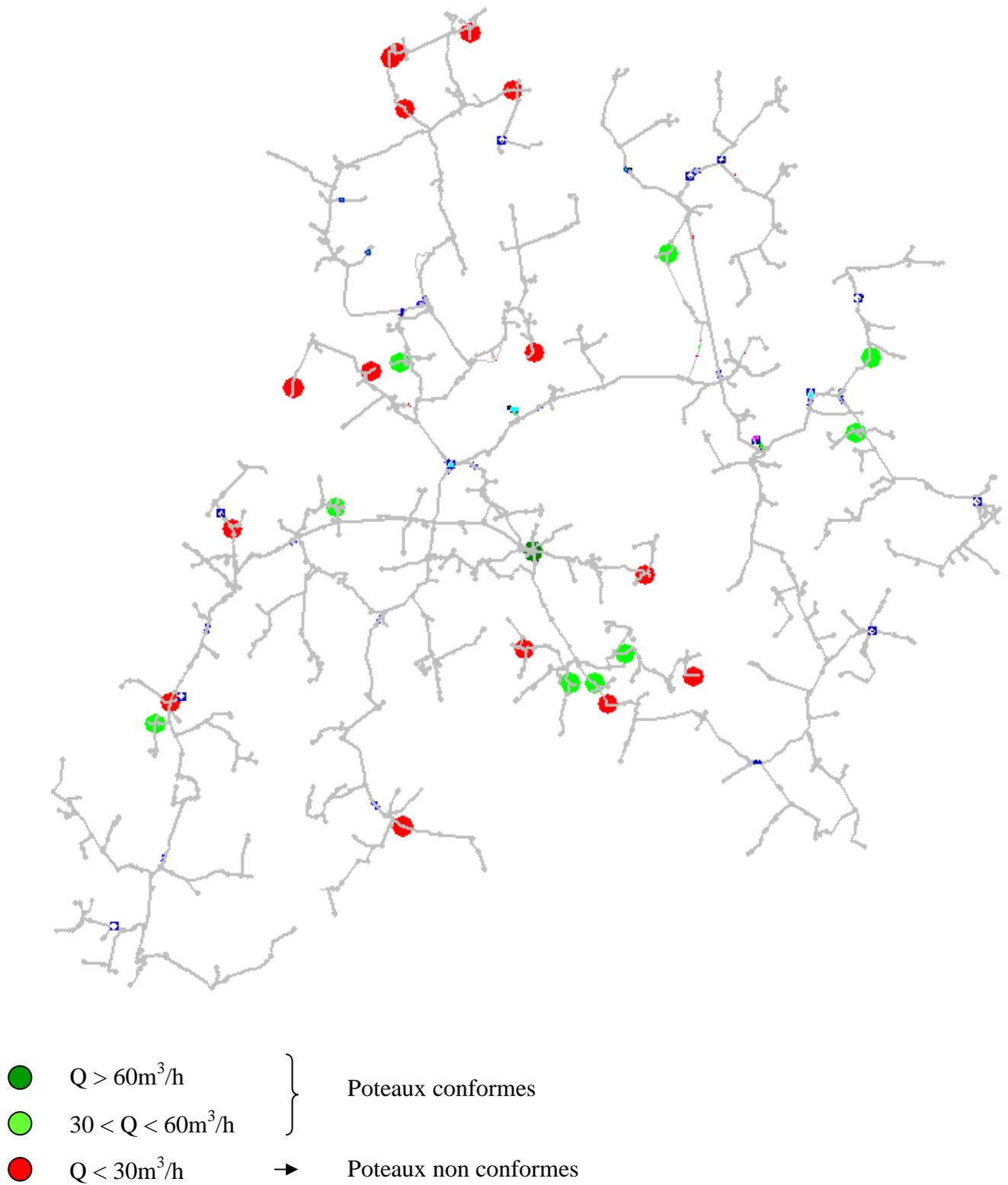


Figure 31 : carte de conformité des poteaux incendie (PI) de diamètre 80mm, 65mm et 60mm du SIAEP du Bazois en jour de pointe 2008



La simulation incendie a mis en évidence 31 poteaux incendie de diamètre 100 mm qui ne délivrent pas le débit souhaité de 60 m³/h à la pression suffisante (1 bar), et 14 poteaux incendie de diamètre inférieurs à 100 mm qui ne fournissent pas le débit attendu de 30 m³/h sous une pression de 1bar.

3.5.4 Châtillon en Bazois

3.5.4.1 Recensement et étude des zones protégées

La commune de Châtillon en Bazois est constituée de :

- ✓ 13 poteaux incendie de diamètre 100 mm
- ✓ 2 poteaux incendie de diamètre 80 mm
- ✓ 19 réserves
- ✓ 1 puisard

Aux vues du nombre relatif de poteaux incendie de diamètre 100 mm et de puisards, le réseau de Châtillon en Bazois est plus urbain que celui du SIAEP.

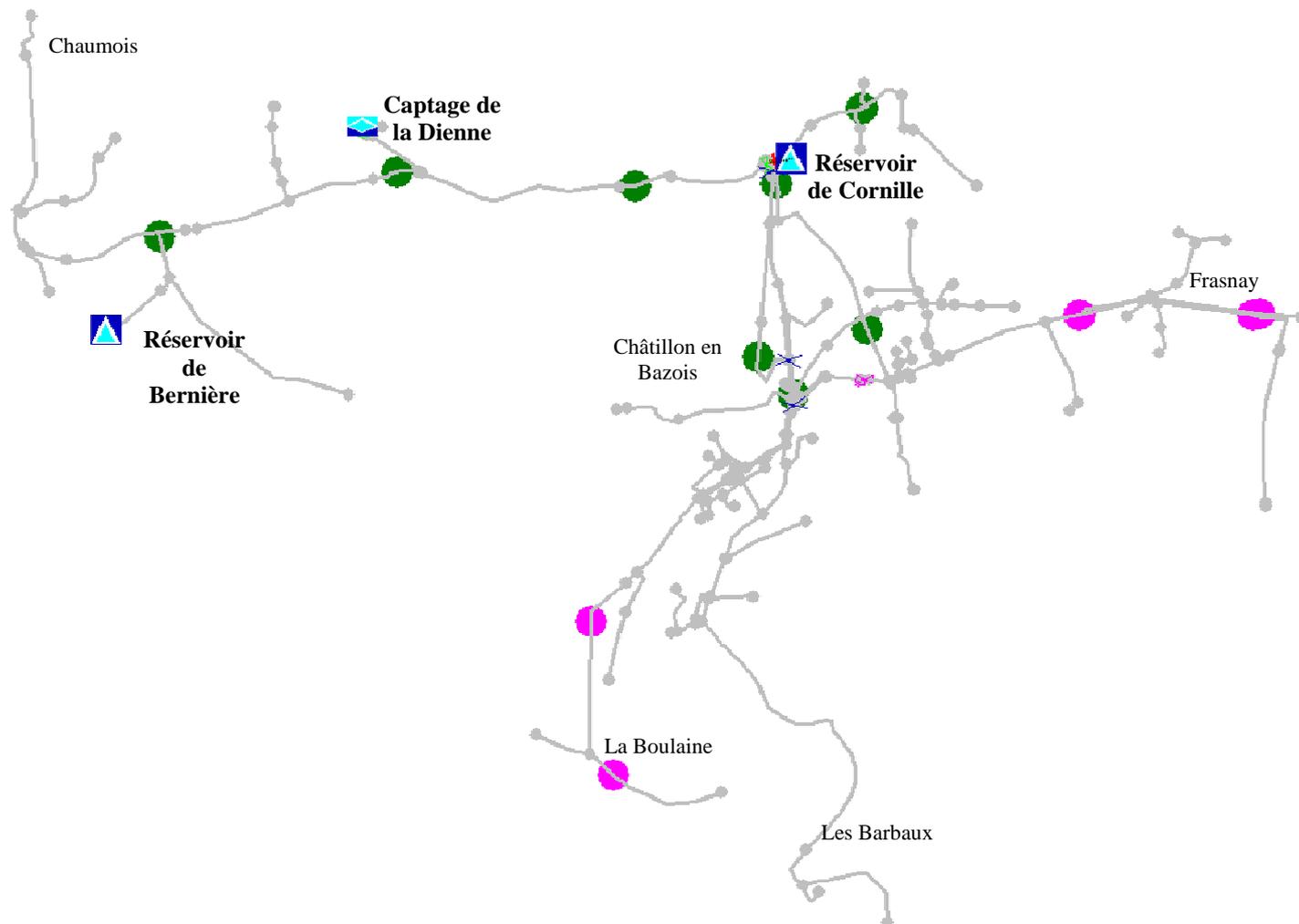
3.5.4.2 L'analyse de la conformité incendie par modélisation

La simulation a permis de vérifier le fonctionnement des poteaux incendie individuellement.

Tableau 17 : Conformité des poteaux incendie (PI) de Châtillon en Bazois

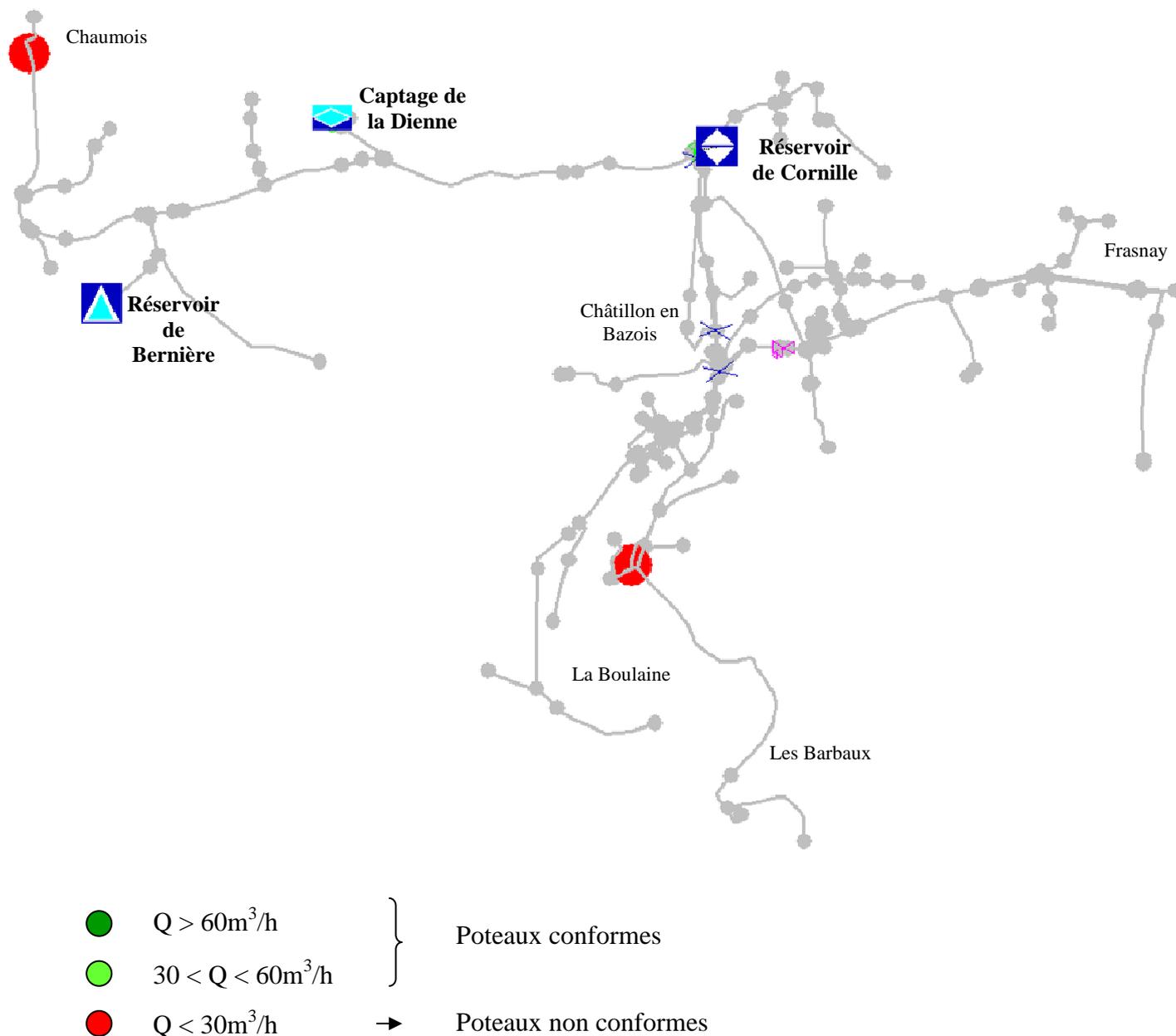
Nombre PI	PI conformes	PI acceptables (Q>50)	PI non conformes	% conformité
14	7	0	7	50%

Figure 32 : carte de conformité des poteaux incendie PI de diamètre 100 mm de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008



- | | | | |
|---|---|---|----------------------------|
| ● | $Q > 80 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 bar | } | Poteaux conformes |
| ● | $60 < Q < 80 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 bar | | |
| ● | $50 < Q < 60 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 bar | → | Poteaux proches conformité |
| ● | $30 < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 bar | } | Poteaux non conformes |
| ● | $Q < 30 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 bar | | |

Figure 33 : carte de conformité des poteaux incendie (PI) de diamètre 80mm de Châtillon en Bazois en jour de pointe 2008



La simulation incendie a mis en évidence 5 poteaux incendie de diamètre 100 mm qui ne délivrent pas le débit souhaité de $60\text{ m}^3/\text{h}$ à la pression suffisante (1 bar), et 2 poteaux incendie de diamètre inférieurs à 100 mm qui ne fournissent pas le débit attendu de $30\text{ m}^3/\text{h}$ sous une pression de 1bar.

3.5.5 Bilan de l'étude des défenses incendie des réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois

A de multiples endroits, le réseau est sous-dimensionné pour répondre aux exigences réglementaires de la défense incendie, en particulier pour les poteaux situés sur les

canalisations secondaires et en extrémité de réseau. Or, sur ces mêmes canalisations, les vitesses sont très faibles en fonctionnement classique de distribution d'eau potable aux abonnés et des temps de séjour élevés sont observés. Ainsi, un renouvellement de réseau, avec la pose de conduites aux diamètres plus importants, permettrait de répondre à la réglementation incendie. Mais cette pose semble peu judicieuse puisqu'elle diminuerait les vitesses déjà trop faibles des réseaux (hors fonctionnement incendie) et elle augmenterait encore les temps de séjour et donc les risques de dégradation de l'eau. Ainsi, une augmentation systématique des diamètres des canalisations n'est pas envisageable.

Il est donc préconisé de se rapprocher des pompiers pour trouver un autre moyen de défense incendie qui répondrait aux exigences réglementaires. Une augmentation du diamètre de certaines canalisations principales ou l'installation des bâches enterrées de 120 m³ pourraient être une solution.

3.6 Bilan général des simulations

Du point de vue des vitesses, les réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois semblent surdimensionnés pour l'alimentation des abonnés puisque de nombreuses conduites présentent des vitesses inférieures à 0,1 m/s.

De même, en ce qui concerne le temps de séjour et la qualité chlore des deux réseaux, les deux réseaux présentent un risque de dégradation de l'eau important, en particulier en bout de réseau. Les Réseaux du SIAEP et du Bazois semblent donc là encore surdimensionnés par rapport à la consommation des abonnés. La mise en place de traitement de chlore des réservoirs, et de station de chloration relais sont donc indispensables.

En ce qui concerne les pressions, elles sont satisfaisantes dans le réseau de Châtillon en Bazois. En revanche, le réseau du SIAEP présente des pressions élevées en bout de réseau dues à une faible consommation. Des pressions minimales sont également observées en aval de Limanton, mais ce problème est partiellement résolu par l'ouverture de la vanne Sud Est.

Enfin, certaines antennes des réseaux apparaissent sous-dimensionnées pour la protection incendie, et ce pour deux raisons distinctes :

- ✓ une partie des poteaux ne répond pas aux normes imposées par la réglementation,
- ✓ le nombre de poteaux incendie et de bâche incendie est insuffisant pour couvrir tout le réseau, que ce soit celui du SIAEP ou celui de Châtillon en Bazois.

Suite à ces études, il est possible de proposer une politique d'intervention sur ces réseaux, objectif final de cette étude diagnostic, qui prendra en compte l'ensemble des résultats obtenus ci-dessus.

4

Schéma directeur

L'objectif final de l'étude est de proposer un programme pluriannuel d'aménagements destiné à optimiser le fonctionnement du système.

Le schéma d'aménagement à long terme permet de définir, sur la base de l'évolution attendue de la population et des activités (industrielles, artisanales et touristiques), les points suivants :

- ✓ la nécessité de mettre en œuvre de nouvelles ressources ou d'en abandonner certaines,
- ✓ le traitement des ressources,
- ✓ la nécessité de mettre en place de nouvelles interconnexions entre les unités de production et de stockage entre les différents réseaux de distribution
- ✓ l'amélioration de la qualité de l'eau,
- ✓ l'amélioration de la défense incendie,
- ✓ la mise en œuvre de télésurveillance et de télégestion complémentaire.

Si certaines anomalies doivent être rapidement rectifiées, d'autres aménagements peuvent être effectués à moyen terme.

Le programme d'amélioration, par ordre de priorité pourrait donc être le suivant :

- ✓ amélioration de la qualité de l'eau captée
- ✓ amélioration de la qualité de l'eau distribuée
- ✓ amélioration des ouvrages,
- ✓ amélioration du rendement,
- ✓ amélioration de la sécurité incendie.

4.1 Amélioration et mise aux normes de l'eau captée

4.1.1 Rappel de la problématique

L'eau de la source de Mingot possède des teneurs en Arsenic et Fluor dépassant les normes, ce qui a pour conséquence l'interdiction par arrêté préfectoral de la consommation de l'eau.

Ces teneurs en arsenic et fluor sont caractéristiques de la nappe du Bazois, nappe qui alimente également plusieurs autres syndicats proches, rencontrant les mêmes problématiques.

La Direction Départementale de L'Agriculture et de la Forêt de la Nièvre a réalisé en décembre 2008 une analyse sur l'ensemble des syndicats concernés par cette problématique. Elle conclut, après analyse des différentes solutions (interconnexion, recherche de nouvelle ressource, dilution, traitement...), que la solution la plus avantageuse financièrement est la création d'une station de traitement commune entre les différents réseaux lorsque cela est possible. Ainsi, la fusion des réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois, l'utilisation d'une ressource unique, celle de Mingot, et la solution d'une seule station de traitement sont envisagées.

4.1.2 Caractéristique de la station de Mingot

La station de traitement devra pouvoir fournir de l'eau au SIAEP du Bazois et à la commune de Châtillon en Bazois et répondre à deux objectifs souhaités par le maître d'ouvrage :

- ✓ le traitement de l'arsenic et du fluor,
- ✓ le remplacement du traitement de l'eau au bioxyde de chlore par de l'eau de javel.

4.1.2.1 Traitement de l'arsenic et du fluor

Pour mettre au point le traitement du fluor et de l'arsenic, des essais pilote ont été confiés au bureau d'étude IRH. Cette étude, datant de 2007, envisage la mise en œuvre d'une station de traitement d'un débit de 160 m³/h permettant, par dilution avec 66% d'eau traitée et 34% d'eau brute, la fourniture au SIAEP et à la commune de Châtillon d'un débit maximum de 4600 m³/j.

La station de traitement, sous bâtiment traitera la turbidité, l'arsenic et le fluor selon la filière suivante :

- ✓ traitement de 66% des besoins et mélange avec l'eau brute à 34% pour se maintenir au-dessous des seuils de potabilité pour un besoin de pointe de 4600 m³/jour.
- ✓ **coagulation** au sulfate d'aluminium dosé à 100 g/m³ pendant un temps de séjour de 10 min
- ✓ **floculation** dosée à 2 g/m³ pendant un temps de séjour de 20 min
- ✓ **décantation** sur décanteur lamellaire à vitesse de 0,85 m/h
- ✓ **une filtration** de l'eau traitée par un filtre à sable avec une charge hydraulique de 8 à 10 m/h.
- ✓ **traitement des boues**
- ✓ reprise de pompage dans des baches d'eau traitée et envoi vers les deux collectivités.

La mise à l'équilibre de l'eau après traitement devra également être prévue, l'eau actuelle étant légèrement agressive.

Le coût estimé pour cette station de traitement est de 1 318 000 €HT, et ce traitement aura un impact sur le prix de l'eau de l'ordre de 0,19 €.

4.1.2.2 Type de chloration de la station

Actuellement, l'eau de la station de Mingot est traitée au bioxyde de chlore. Le maître d'ouvrage souhaiterait à l'avenir traiter son eau à l'eau de javel.

Si nous considérons les critères de choix d'une filière de traitement (cf. tableau 18), l'eau de javel nécessite moins de technicité et d'investissement, et est plus adaptée aux petits débits rencontrés sur les réseaux qu'un traitement au bioxyde de chlore. Mais le dioxyde semble plus approprié que l'hypochlorite si l'obtention d'une concentration en chlore satisfaisante est une priorité. En effet, au vu des temps de séjour importants des réseaux, une rémanence importante du produit bactéricide reste un critère important.

Tableau 18 : critères de choix des filières de chloration

Critères	Eau de javel	Dioxyde de chlore
Taille de l'installation	Petite	Moyenne/grande
Adaptation aux faibles débits	Bonne	Mauvaise
Investissement	Faible	Moyen
Nécessité d'un génie civil dédié	Non	Oui
Entretien	Faible	Faible
Technicité	Simple	Moyenne
Rémanence	Bonne	Très bonne
Efficacité germicide	Bonne	Très bonne

4.2 Amélioration de la qualité de l'eau distribuée

Lors de la campagne de mesure, il a été constaté que certains secteurs présentaient, à la fois, des temps de séjour trop importants (bien supérieurs à 3 jours) et des concentrations en chlore insuffisantes (inférieures à 0,1 mg/L). Deux types d'antennes avaient été distingués : les antennes secondaires situées en bout de réseau et les principales situées à l'aval de certains réservoirs. Afin d'éliminer le risque bactérien et d'améliorer la qualité de l'eau distribuée, plusieurs solutions peuvent être proposées :

- ✓ la mise en place d'une chloration relais au niveau des réservoirs existants ou en certains points du réseau,
- ✓ la diminution du volume stocké dans les réservoirs afin de permettre un renouvellement de l'eau au maximum tous les deux jours.

Tableau 19 : Avantages et inconvénients des solutions proposées pour améliorer la qualité de l'eau

Solution	Avantages	Inconvénients
1 Chloration relais	- Sureté de la désinfection en aval des réservoirs, - Conservation de la fonction de réserve des réservoirs.	- Coût, - Système de désinfection pour peu d'abonné parfois.
2 Diminution du volume	- Solution à moindre coût sans besoin d'aménagement particulier	- Faible quantité d'eau dans les réservoirs qui perdent leur fonction de réserve, - Remplissage plus fréquent des réservoirs (à favoriser la nuit), impliquant des consommations électriques. - solution ne garantissant pas une concentration de 0,1 mg/L de chlore en aval.

La modélisation nous apprenant que

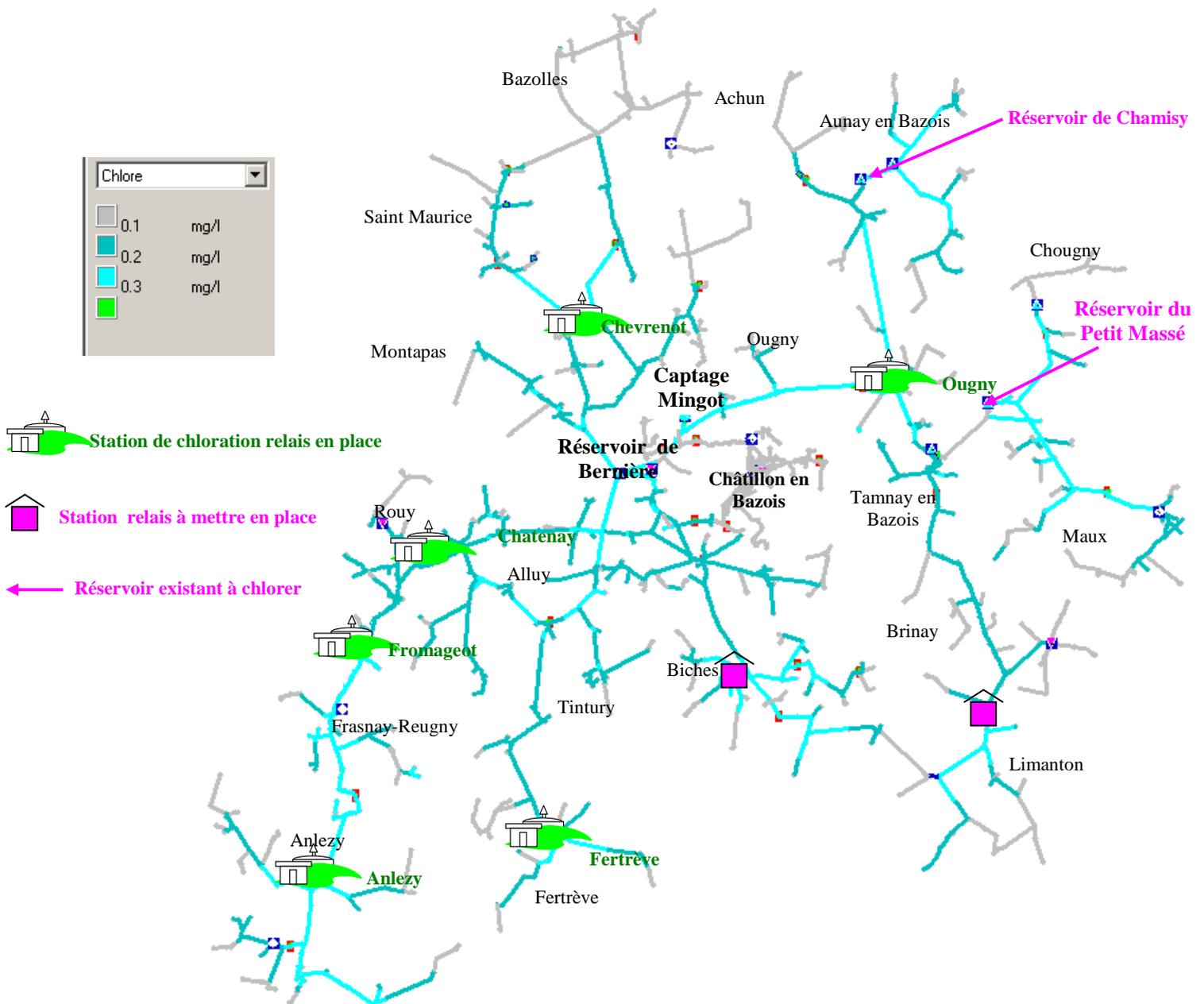
- ✓ pour le SIAEP du Bazois, la solution 2 ne permet pas de résoudre le problème, nous avons conseillé au SIAEP du Bazois d'opter pour la mise en place de chloration relais,
- ✓ pour Châtillon en Bazois, deux propositions sont étudiées, soit la solution 1, soit un mixte des solutions 1 et 2, à savoir la mise en place d'un traitement au chlore supplémentaire et l'élimination du réservoir de Cornille.

4.2.1 Qualité de l'eau du SIAEP du Bazois

La figure suivante indique la concentration en chlore de l'eau du réseau du SIAEP obtenue après la mise en place :

- ✓ d'un traitement au chlore des réservoirs du Petit Massé et de Chamisy, avec une concentration en sortie de 0,3 mg/L,
- ✓ de stations de chloration relais à l'aval de Biches et à l'amont de Limanton, avec une concentration en sortie de 0,3 mg/L.

Figure 34 : concentration chlore future du réseau du SIAEP du Bazois



Malgré les traitements préconisés, les secteurs situés en bout de réseau présentent toujours une concentration en chlore insuffisante. Ceci s'explique par les temps de séjour trop importants de l'eau du réseau sur ces secteurs. Aussi, des mesures de chlore devront être effectuées sur le terrain afin de confirmer les résultats de la modélisation.

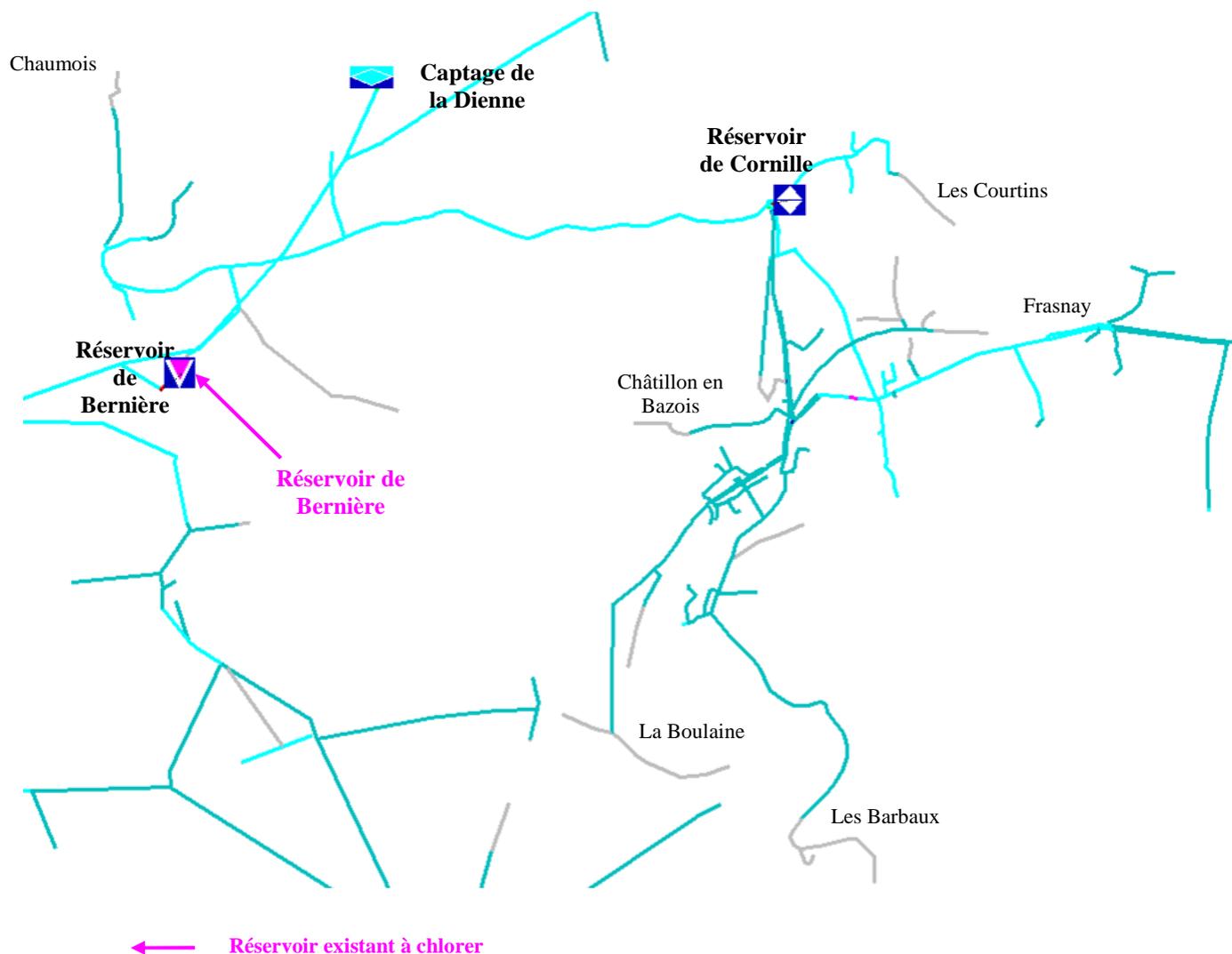
Si cette campagne de mesure confirme une insuffisance de chlore en bout de réseau, la pose de canalisations de diamètres inférieurs à celles en place devra être envisagée afin de réduire les temps de séjour. Le choix des diamètres des canalisations renouvelées devra impérativement prendre en compte les pressions engendrées par un tel changement.

4.2.2 Qualité de l'eau de Châtillon en Bazois

Les figures suivantes indiquent la concentration en chlore de l'eau du réseau de Châtillon en Bazois obtenue

- ✓ Soit après la mise en place d'un traitement au chlore du réservoir de Bernière de Châtillon en Bazois (1000 m³), avec une concentration en sortie de 0,3mg/l et la conservation du réservoir de Cornille,
- ✓ Soit après la mise en place d'un traitement au chlore du réservoir de Bernière de Châtillon en Bazois (1000 m³), avec une concentration en sortie de 0,3mg/l et la destruction du réservoir de Cornille.

Figure 35 : concentration chlore future du réseau de Châtillon en Bazois avec le réservoir de Cornille en place



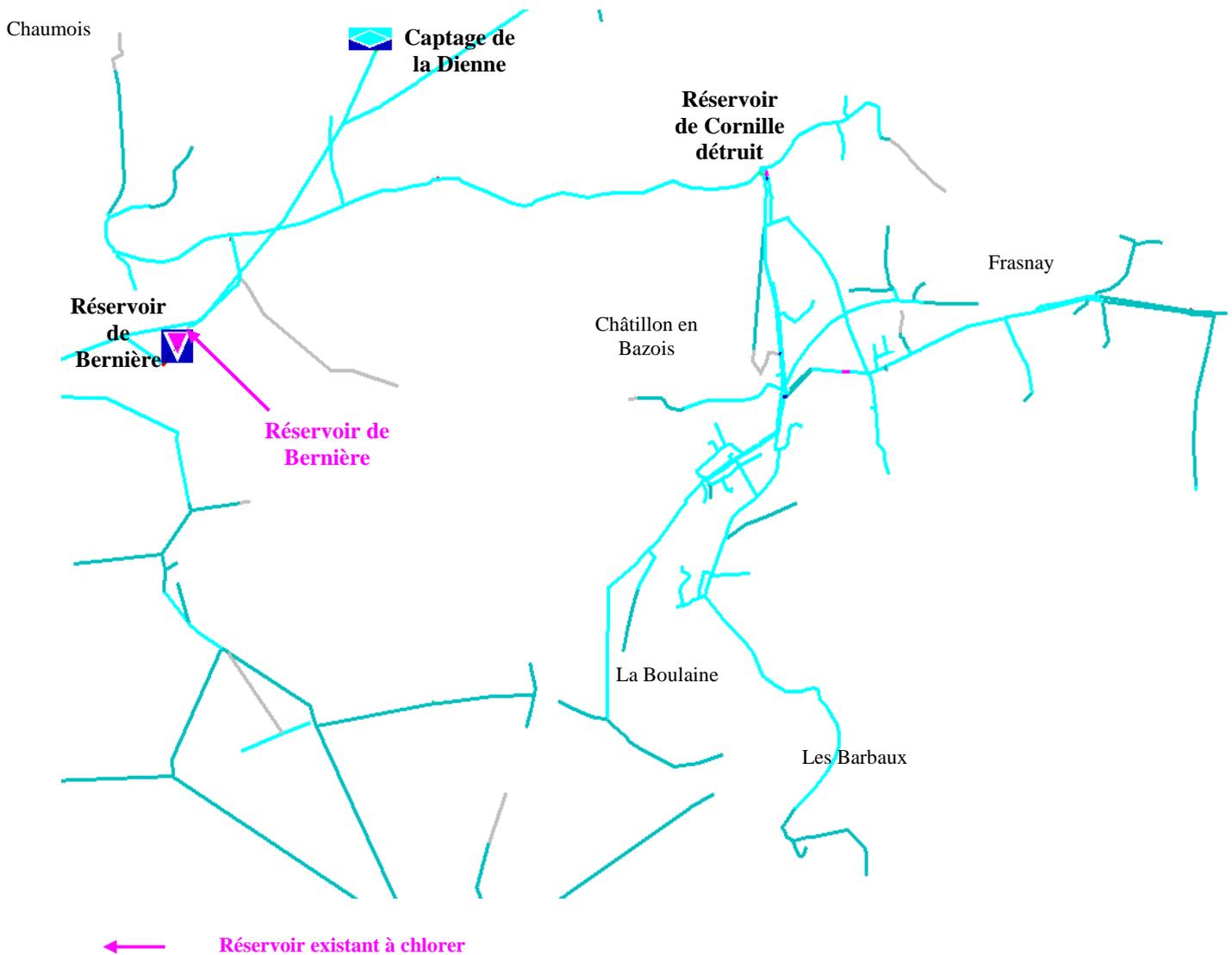
Malgré un traitement au chlore du réservoir de Bernière, les secteurs situés en bout de réseau présentent toujours une concentration en chlore insuffisante : à Chaumois, les Courtins, Châtillon en Bazois, Frasnay, la Boulaine et les Barbaux.

Ceci s'explique par les temps de séjour trop importants de l'eau du réseau sur ces secteurs. Aussi, des mesures de chlore devront être effectuées sur le terrain afin de confirmer les résultats de la modélisation.

Si cette campagne de mesure confirme une insuffisance de chlore en bout de réseau, la pose de canalisations de diamètres inférieurs à celles en place devra être envisagée afin de réduire les temps de séjour. Le choix des diamètres des canalisations renouvelées devra impérativement prendre en compte les pressions engendrées par un tel changement.

Les temps de séjour de l'eau dans le réseau, en partie responsables d'une dégradation de la qualité de l'eau, peuvent être réduits en éliminant le réservoir de Cornille dont la mise aux normes nécessite un investissement conséquent.

Figure 36 : concentration chlore future du réseau de Châtillon en Bazois avec le réservoir de Cornille éliminé



L'élimination du réservoir de Cornille permet d'améliorer la qualité de l'eau avec une concentration en chlore conforme aux normes en vigueur, notamment à l'extrémité des réseaux anciennement alimentés par le réservoir, comme sur les secteurs de La Boulaine et Les Barbaux.

4.3 Travaux sur les ouvrages

Les captages, les réservoirs et la station de pompage sont des ouvrages à entretenir et à nettoyer régulièrement, car leur bonne tenue contribue à la bonne qualité de l'eau distribuée. Lors de la phase 1 de l'étude, chaque ouvrage du réseau de Châtillon en Bazois a fait l'objet d'une visite et certains travaux de réfection sont à réaliser suite aux anomalies rencontrées. Les ouvrages du SIAEP n'ayant pas été visités, les travaux d'amélioration n'ont pas été étudiés.

Enfin, la mise en place d'une station de traitement unique pour les réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois, implique la réalisation d'une interconnexion entre les deux réseaux. Celle-ci est possible entre les deux réservoirs de Bernière.

Les tableaux à réaliser pour le réseau de Châtillon en Bazois, indépendamment de l'interconnexion à réaliser, sont indiqués en annexe 3.

4.4 Amélioration du rendement du réseau

Les rendements actuels (2008) sont de 64% pour le SIAEP et de 54% pour le réseau de Châtillon en Bazois.

Les rendements attendus à l'horizon 2025 sont de 75% pour le SIAEP et Châtillon en Bazois.

4.4.1 Renouvellement du réseau

4.4.1.1 Les conduites

Les études statistiques nationales réalisées à ce jour montrent que la fréquence des fuites augmente exponentiellement en fonction de l'âge des conduites. La durée de vie moyenne des conduites varie selon les régions entre 30 et 70 ans. Il est donc impératif qu'un réseau d'eau potable soit en permanence surveillé et soumis à un renouvellement progressif.

Dans la mesure où l'eau distribuée sur les réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois est légèrement agressive (même si la réalisation d'une nouvelle station de traitement permettra la remise à l'équilibre de l'eau), on peut fixer à 70 ans l'âge limite de remplacement. Sachant que la longueur cumulée des réseaux est de l'ordre de 406 km, il faudrait remplacer 5,8 km par an, la priorité étant donnée au remplacement des conduites les plus fragiles et les plus fuyardes.

Sur cette base, il conviendrait de prévoir un investissement moyen annuel de l'ordre de 696000 €HT, branchements compris. Ce montant est donné à titre indicatif et peut varier selon les contraintes de terrain et le diamètre des canalisations à poser.

Étant donné que l'âge des conduites est inconnu, les conduites à remplacer en priorité seront :

- ✓ les conduites en amiante, matériau qui doit être éliminé des réseaux selon l'Agence de l'eau,
- ✓ les conduites des secteurs définis dans les paragraphes précédents comme fuyards.

4.4.1.2 Les compteurs abonnés

Outre les conduites, les compteurs d'abonnés doivent également faire l'objet d'un renouvellement régulier. L'âge limite de fiabilité des compteurs est de 15 ans.

Les graphiques ci-dessous, établi à partir des données fournies par la Saur, permettent de déterminer le renouvellement a réalisé des compteurs abonnés du SIAEP et de Châtillon en Bazois.

A- Le SIAEP du Bazois

Figure 37 : années de renouvellement des compteurs abonnés du SIAEP

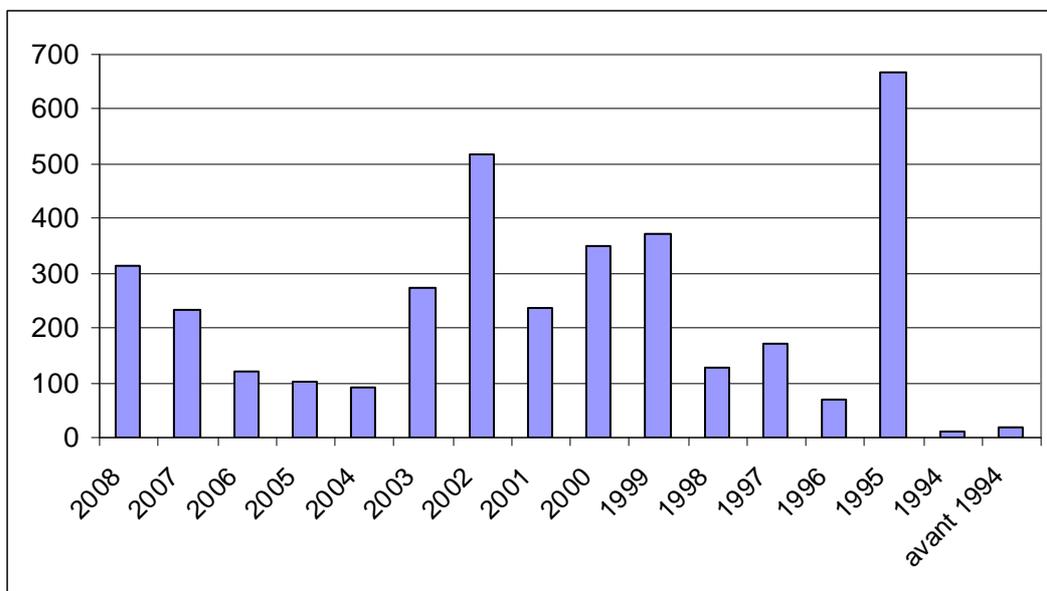
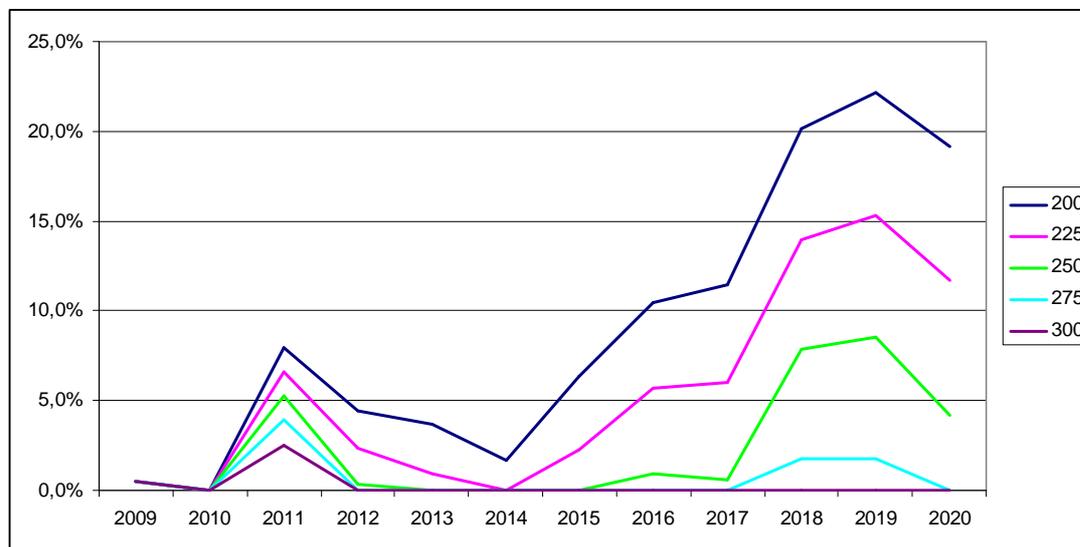


Figure 38 : évolution du nombre de compteurs abonnés âgés de plus de 15 ans en fonction du renouvellement du SIAEP du Bazois



Afin d'éviter de dépasser la barre des 10% du pourcentage de compteurs âgés de plus de 15 ans, la figure 36 indique qu'environ 250 compteurs doivent être renouvelés chaque année sur le SIAEP du Bazois. Lors de ce remplacement, les compteurs installés en 1995 devront être prioritaires.

En estimant que la pose d'un nouveau compteur est de 50€ HT, le coût d'investissement par an de ce renouvellement est estimé à 12 500 € HT.

B- Châtillon en Bazois

Figure 39 : années de renouvellement des compteurs abonnés de Châtillon en Bazois

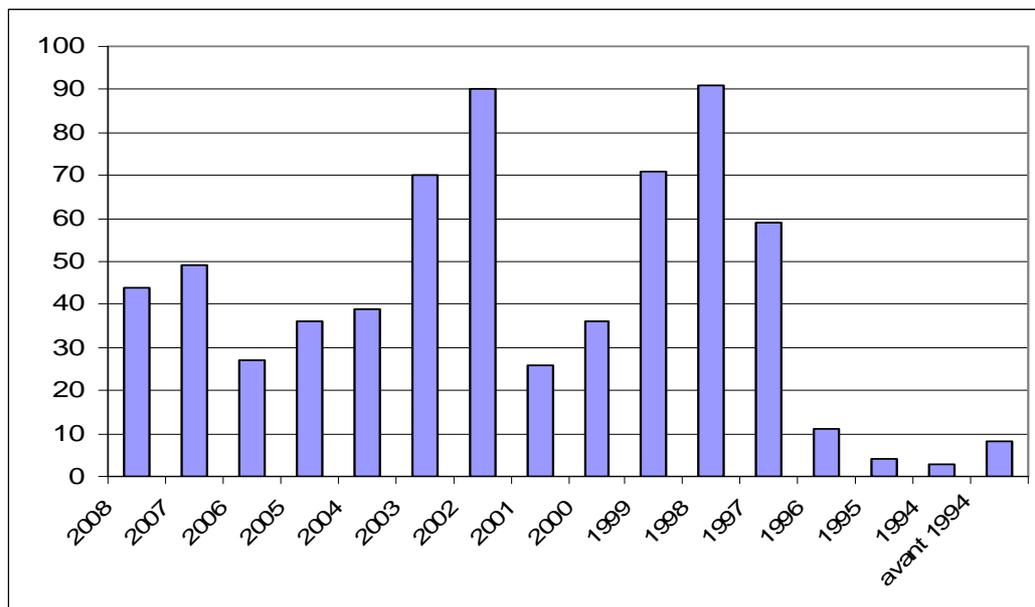
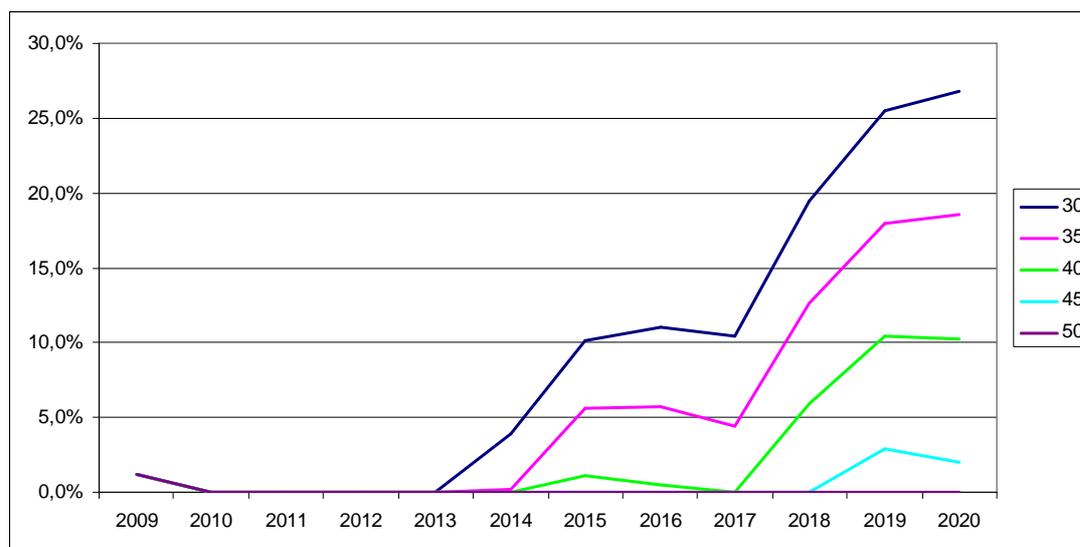


Figure 40 : évolution du nombre de compteurs abonnés âgés de plus de 15 ans en fonction du renouvellement de Châtillon en Bazois



Sur le réseau de Châtillon en Bazois, 40 compteurs abonnés devront être renouvelés tous les ans, avec un remplacement prioritaire des compteurs installés en 1997, ce qui représente un coût d'investissement de 2000€ HT par an.

Il faut également préciser que le plan de renouvellement du SIAEP et de Châtillon en Bazois devra tenir compte du débit que le compteur transférera.

4.5 Sécurisation de la défense incendie

Comme nous l'avons vu lors de l'étude incendie, le réseau est sous-dimensionné pour répondre aux exigences réglementaires de la défense incendie, en particulier sur les canalisations secondaires et en extrémité de réseau. En raison des faibles vitesses observées, une augmentation systématique des diamètres des canalisations n'est pas judicieuse.

De plus, selon la réglementation, les prises incendie ne doivent en principe pas être éloignées de plus de 200 à 300 m et être réparties en fonction des risques à défendre. Les communes du SIAEP et de Châtillon en Bazois ont obtenu une dérogation, étendant la zone de protection à 350 m.

Selon ces deux axes, et en prenant en considération le caractère non prioritaire de la défense incendie sur un réseau d'eau potable, seuls des travaux de pose de nouveaux poteaux incendie et de réserves incendie ont été préconisés dans les zones à risque (cf. plan A2.1 annexe 2). Ces zones à risque définissent les villages ne présentant aucune défense incendie ou les habitations situées à plus de 350m des prises incendie. Les nouveaux poteaux incendie ont été placés dans les zones assurant un débit de 60 m³/h pendant 2 heures. Lorsque ces débits n'étaient pas assurés, des réserves sont préconisées.

Le tableau ci-dessous fournit les travaux à effectuer sur chaque commune, ainsi que l'estimation des coûts engendrés (30000 €Ht par réserve).

Tableau 20 : pose des réserves et des poteaux incendie pour les communes du SIAEP

commune	Nombre de PI à mettre en place	Nombre de réserves à mettre en place	Coût estimé (en €HT)
ville-Langy	9	0	27000
Anlezy	4	0	12000
Frasnay-Reugny	1	0	3000
Rouy	4	0	12000
Tintury	3	0	9000
Montapas	0	0	0
Saint-Maurice	0	0	0
Bazolles	0	2	60000
Alluy	7	0	21000
Biches	6	1	48000
Brinay	3	0	9000
Ferrière	0	5	150000
Limanton	0	8	240000
Maux	0	1	30000
Tamnay-en-Bazois	2	0	6000
Ougny	3	0	9000
Chougny	2	1	36000
Aunay-en-Bazois	10	0	30000
Achun	0	5	150000

Pour la commune de Châtillon en Bazois, de nombreuses réserves existent et toutes les zones habitables sont couvertes par la protection incendie.

4.6 Récapitulatif des différents travaux à effectuer

Le tableau ci-dessous récapitule les différents travaux proposés.

Tableau 21 : schéma directeur

Ordre de priorité	localisation	désignation	impacts	Coûts (€HT)
1	Station de Mingot	Création d'une station de traitement (arsenic et fluor)	Mise au norme de l'eau distribuée (potabilisation de l'eau)	1 318 000
1	Ouvrages	Mise en sécurité des ouvrages	Sécurisation des ouvrages pour le personnel	À déterminer
1	Ensemble du réseau	Création de station de chloration relais	Mise au norme de l'eau distribuée (potabilisation de l'eau)	À déterminer
2	Ensemble du réseau	Renforcement du réseau	Sécurisation de la défense incendie	852 000
3	Renouvellement de conduites	Sur la base de 5,8 km/an	Prévention des fuites	696 000/an
4	Renouvellement de compteurs abonnés	SIAEP : sur la base de 250/an	Amélioration du rendement	125 000/an
		Châtillon en Bazois : sur la base de 40/an	Amélioration du rendement	2 000/an
TOTAL				2 993 000

5

Conclusion générale

L'ensemble de l'étude a permis de décrire les différentes étapes du diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois. Ces travaux mettent en lumière le fonctionnement hydraulique et la qualité des réseaux existants. Ces deux réseaux présentent les caractéristiques types d'un réseau rural avec un linéaire de canalisations important :

- ✓ Le réseau du SIAEP du Bazois est particulièrement étendu avec 377 km de canalisations pour moins de 4000 abonnés et un seul réservoir principal de 1500m³.
- ✓ Le réseau de Châtillon est plus petit, avec 29 km de canalisation sur un territoire plus peuplé. C'est le réservoir principal de 1000m³ qui équilibre tout le réseau.
- ✓ Le rendement est relativement médiocre, compte tenu des grandes distances à parcourir et de l'âge des canalisations. Des améliorations pourront être apportées par un renouvellement des canalisations.
- ✓ Les canalisations de gros diamètres sont nécessaires pour assurer une pression suffisante en bout de réseau. Ceci induit des vitesses faibles et des temps de séjour élevés, en particulier dans les canalisations secondaires et en extrémité de réseau. Malgré cette caractéristique, des problèmes de pressions minimales persistent en bout de réseau et peuvent être améliorés par un jeu de vanne.
- ✓ La défense incendie n'est pas aux normes pour de nombreuses communes, ce qui peut être amélioré par la mise en place de canalisations de plus grand diamètre ou de réserves selon les capacités de débit des réseaux.

Par ailleurs, la qualité de l'eau est médiocre du fait de ses teneurs en arsenic et en fluor élevées, et des faibles concentrations en chlore observées sur une grande partie des branches du réseau. Les concentrations en chlore s'expliquent par les temps de séjour élevés dans le réseau. En revanche, les teneurs en arsenic et fluor sont liées à la nature hydrogéologique de la ressource et nécessitent un traitement spécifique. L'eau distribuée sera donc rendue potable par l'installation d'une station de traitement unique à Mingot pour alimenter les réseaux du SIAEP et de Châtillon en Bazois qui seront interconnectés au niveau des réservoirs de Bernière.

L'ensemble des caractéristiques des réseaux ont été mises en évidence par la modélisation Piccolo, après calage du modèle sur les données de mesure effectuées sur le terrain. Cette modélisation, bien que permettant une étude explicative et prédictive quant au fonctionnement hydraulique des réseaux, présente certaines limites. Un regard critique vis à vis des résultats obtenus est donc indispensable. Ainsi, le manque de données de terrain nécessite l'élaboration d'hypothèses qui impactent les calculs, dont certains mériteraient une vérification par des

mesures in-situ. De même, la modélisation dynamique nécessite la prise en compte des différentes incertitudes des mesures et de l'échelle temporelle des différents phénomènes hydrauliques.

D'un point de vue personnel, ce stage m'a permis d'approfondir mes connaissances en hydraulique urbaine et de bénéficier de l'expérience de terrain de mes collaborateurs. Les différentes modélisations réalisées m'ont également permis de mieux comprendre les impacts de la pose d'une ouvrage ou d'un changement de traitement de l'eau sur les caractéristiques d'un réseau. Lors de mes différentes missions, j'ai également pu appréhender la difficulté, parfois, de concilier les demandes des maîtres d'ouvrage à la réalité du terrain. Ceci m'a donc permis de développer mon sens de la pédagogie et de la négociation.

ANNEXE 1

MATÉRIAUX ET DIAMÈTRES DES RÉSEAUX

Figure A1.1 : matériaux des canalisations du SIAEP du Bazois

Figure A1.2 : diamètres des canalisations du SIAEP du Bazois

Figure A1.3 : matériaux des canalisations du réseau de Châtillon en Bazois

Figure A1.4 : diamètres des canalisations du réseau de Châtillon en Bazois

Figure A1.1 : matériaux des canalisations du SIAEP du Bazois

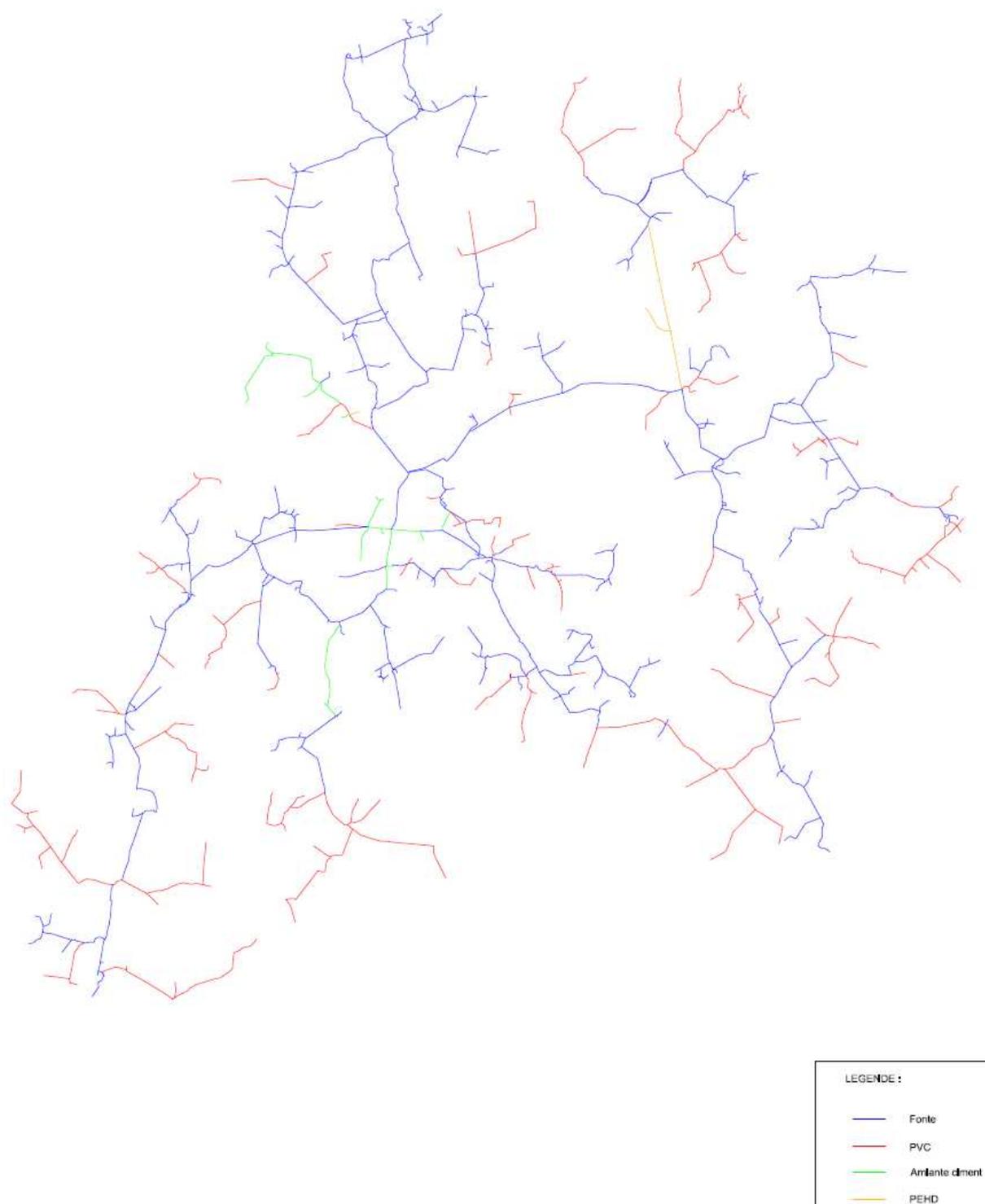


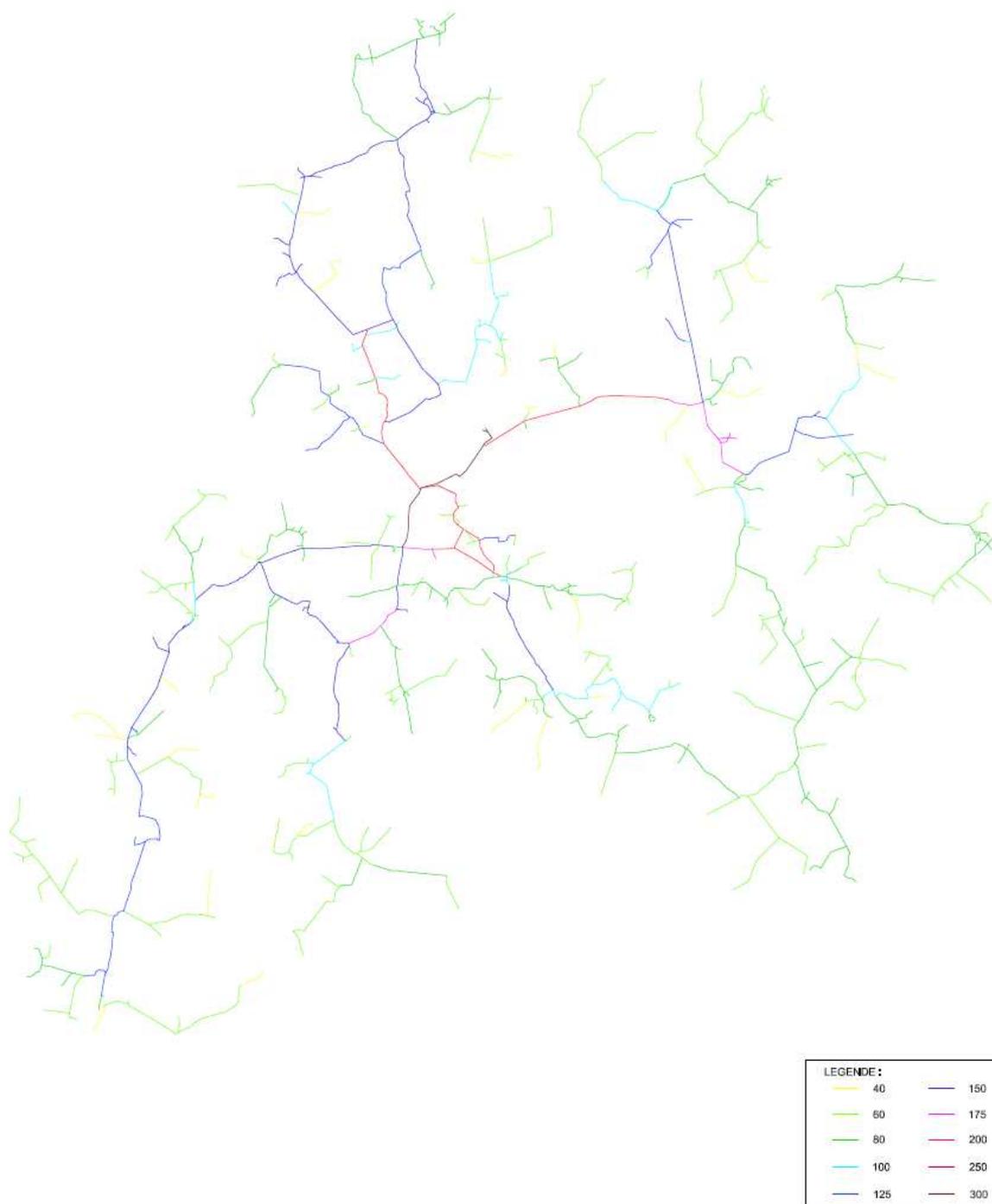
Figure A1.2 : diamètres des canalisations du SIAEP du Bazois

Figure A1.3 : matériaux des canalisations du réseau da Châtillon en Bazois

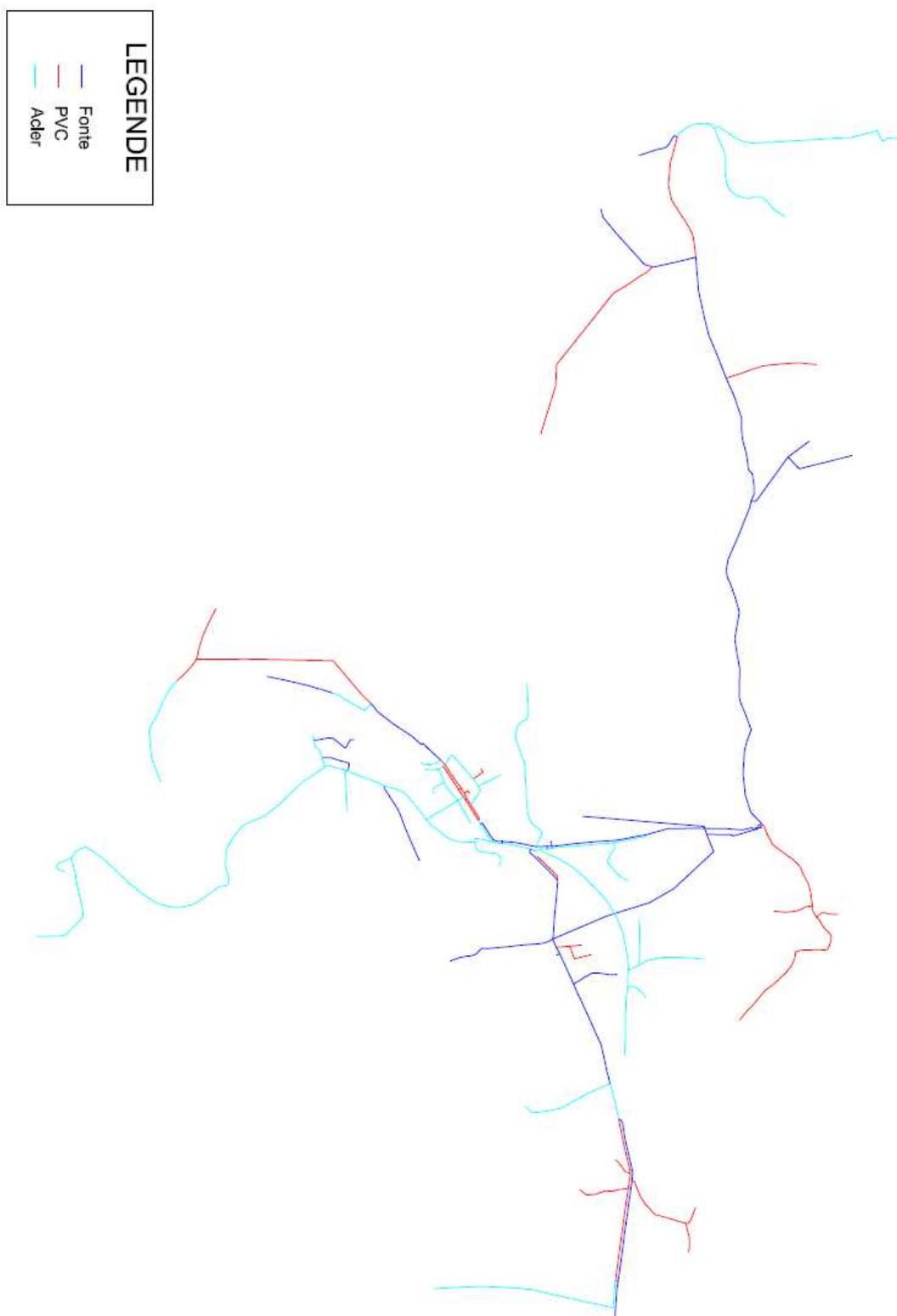
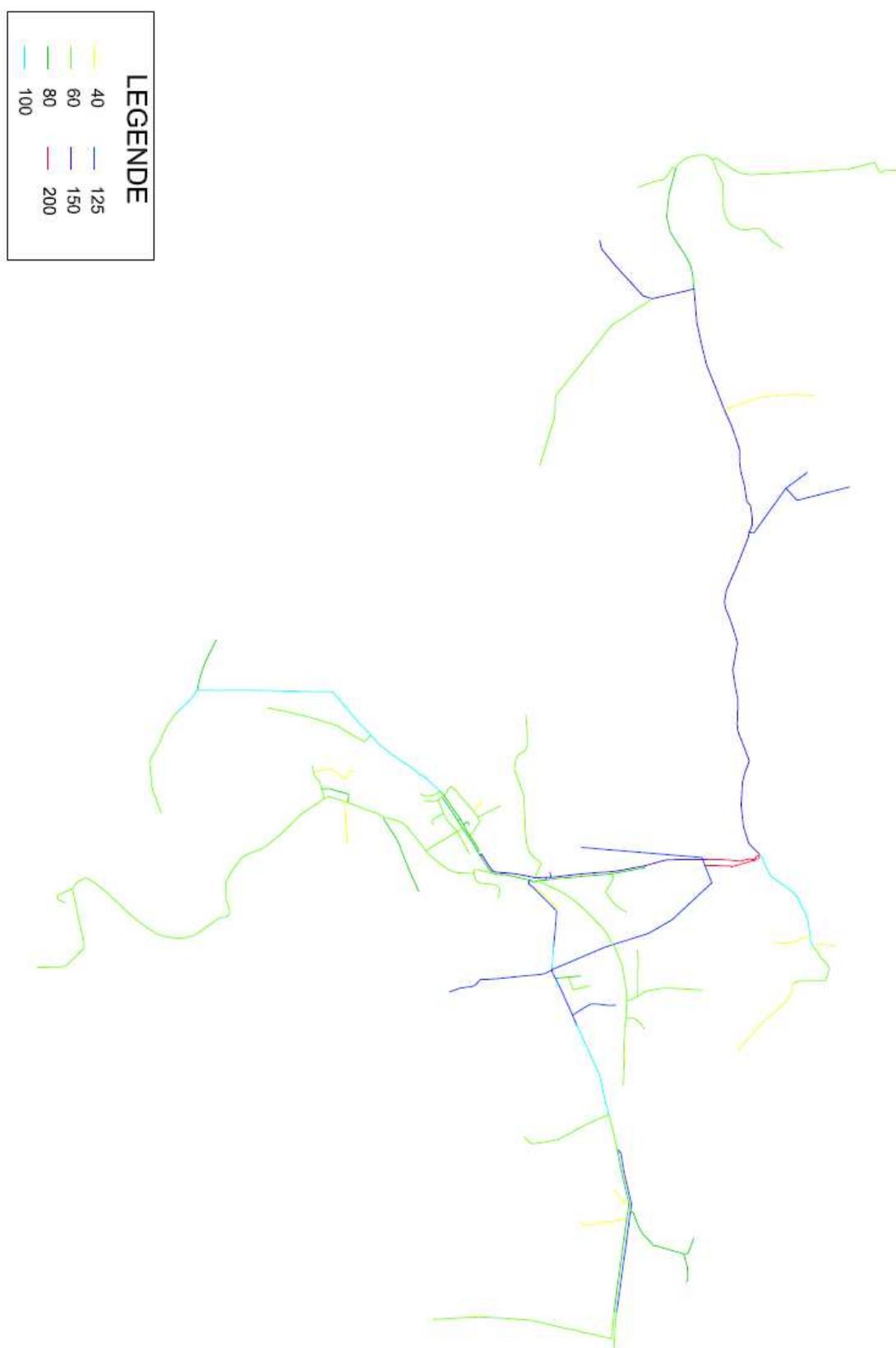


Figure A1.4 : diamètres des canalisations du réseau da Châtillon en Bazois



ANNEXE 2

DÉFENSE INCENDIE DU SIAEP ET DE CHATILLON-EN-BAZOIS

Compte rendu des mesures effectuées sur les poteaux incendie du SIAEP

Compte rendu des mesures effectuées sur les poteaux incendie du réseau de Châtillon en Bazois

Plan A2.1 : défense incendie du SIAEP du Bazois

Compte rendu de mesures

Site : SIAEP DU BAZOIS

Les 3 et 4 novembre 2009 ont été effectuées des mesures sur les poteaux incendies sur le SIAEP du BAZOIS. Les mesures de débits et de pressions ont permis de constater le bon ou mauvais fonctionnement des poteaux. Les normes relatives étant différentes pour un poteau avec un diamètre de 100mm et un de 65mm.

Normes : Diamètre 100 : 1 bar → 60 m³/h
Diamètre 65 : 6 bars → 30 m³/h

Les mesures ont été effectuées sur 25 poteaux incendies aux alentours de CHATILLON-EN-BAZOIS. Ceci permettant de constater le bon état des réseaux d'eau potable.

Cependant certains poteaux étant bloqué ou cassé des changements ont dû avoir lieu. On a donc dû prendre les mesures sur des poteaux près de ceux qui étaient endommagés.

Lorsque l'appareil de mesure ne pouvait se brancher sur le poteau avec un diamètre de 100mm, on utilisait un raccord afin de prendre les mesures sur le diamètre 65mm. Certains poteaux ne possédaient qu'un diamètre de 65mm avec des pertes de charges plus importantes. On a précisé le diamètre de la bouche d'incendie et celui où a été effectuées les mesures.

Un tableau avec les mesures relevées ainsi que toutes observations ont été notés dans le tableau ci-joint.

<i>N° poteau</i>	<i>Diamètre test</i>	<i>Mesure</i>	<i>Pression stat (bar)</i>	<i>Débit à 0,5 Bar (m3/h)</i>	<i>Débit à 1 Bar (m3/h)</i>	<i>Pression à 60m3/h (bar)</i>	<i>Débit Gueule Bée (m3/h)</i>
1	100	Q (m3/h)	0	47	43	60	49
		P (bar)	5	0,5	1	/	0
2	100	Q (m3/h)	0	54	53	60	55
		P (bar)	5,8	0,5	1	/	0
3	100	Q (m3/h)	0	23	22	60	24
		P (bar)	8,6	0,5	1	/	0
4	100	Q (m3/h)	0	147	146	60	150
		P (bar)	7	0,5	1	4,4	0
5	100	Q (m3/h)	0	74	71	60	83
		P (bar)	4,5	0,5	1	2	0
6	100	Q (m3/h)	0	91	90	60	93

Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois

		P (bar)	6,4	0,5	1	3,8	0
7	65	Q (m3/h)	0	190	186	60	196
		P (bar)	6,2	0,5	1	5	0
8	65	Q (m3/h)	0	38	37	60	41
		P (bar)	8,6	0,5	1	/	0
9	100	Q (m3/h)	0	34	34	60	35
		P (bar)	7,4	0,5	1	/	0
10	100	Q (m3/h)	0	21	19	60	22
		P (bar)	8,4	0,5	1	/	0
11	100	Q (m3/h)	0	154	148	60	160
		P (bar)	5,8	0,5	1	5	0
12	100	Q (m3/h)	0	204	200	60	210
		P (bar)	6,4	0,5	1	5,8	0
13	100	Q (m3/h)	0	146	142	60	171
		P (bar)	4	0,5	1	3,2	0
14	100	Q (m3/h)	0	51	47	60	56
		P (bar)	5	0,5	1	/	0
15	100	Q (m3/h)	0	42	41	60	42
		P (bar)	9,5	0,5	1	/	0
16	100	Q (m3/h)	0	41	39	60	47
		P (bar)	6,5	0,5	1	/	0
17	100	Q (m3/h)	0	16	15	60	30
		P (bar)	4,2	0,5	1	/	0
18	100	Q (m3/h)	0	112	110	60	116
		P (bar)	5,8	0,5	1	3,8	0
19	100	Q (m3/h)	0	23	21	60	24
		P (bar)	5,2	0,5	1	/	0
20	100	Q (m3/h)	0	20	17	60	24
		P (bar)	4,2	0,5	1	/	0
21	100	Q (m3/h)	0	24	23	60	26
		P (bar)	4	0,5	1	/	0
22	65	Q (m3/h)	0	37	35	60	38
		P (bar)	6,2	0,5	1	/	0

Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois

23	65	Q (m3/h)	0	72	66	60	86
		P (bar)	6,1	0,5	1	1,6	0
24	100	Q (m3/h)	0	36	35	60	50
		P (bar)	5,6	0,5	1	/	0
25	100	Q (m3/h)	0	40	38	60	44
		P (bar)	4,4	0,5	1	/	0

Compte rendu de mesures

Site : Commune de CHATILLON-EN-BAZOIS

Les 3 et 4 novembre 2009 ont été effectuées des mesures sur les poteaux incendies sur la commune de CHATILLON-EN-BAZOIS. Les mesures de débits et de pressions ont permis de constater le bon ou mauvais fonctionnement des poteaux. Les normes relatives étant différentes pour un poteau avec un diamètre de 100mm et un de 65mm.

Normes : Diamètre 100 : 1 bar \rightarrow 60 m³/h
Diamètre 65 : 6 bars \rightarrow 30 m³/h

Les mesures ont été effectuées sur 5 poteaux incendies aux alentours de CHATILLON-EN-BAZOIS. Ceci permettant de constater le bon état des réseaux d'eau potable.

Cependant certains poteaux étant bloqué ou cassé des changements ont dû avoir lieu. On a donc dû prendre les mesures sur des poteaux près de ceux qui étaient endommagés.

Lorsque l'appareil de mesure ne pouvait pas se brancher sur le poteau avec un diamètre de 100mm, on utilisait un raccord afin de prendre les mesures sur le diamètre 65mm.

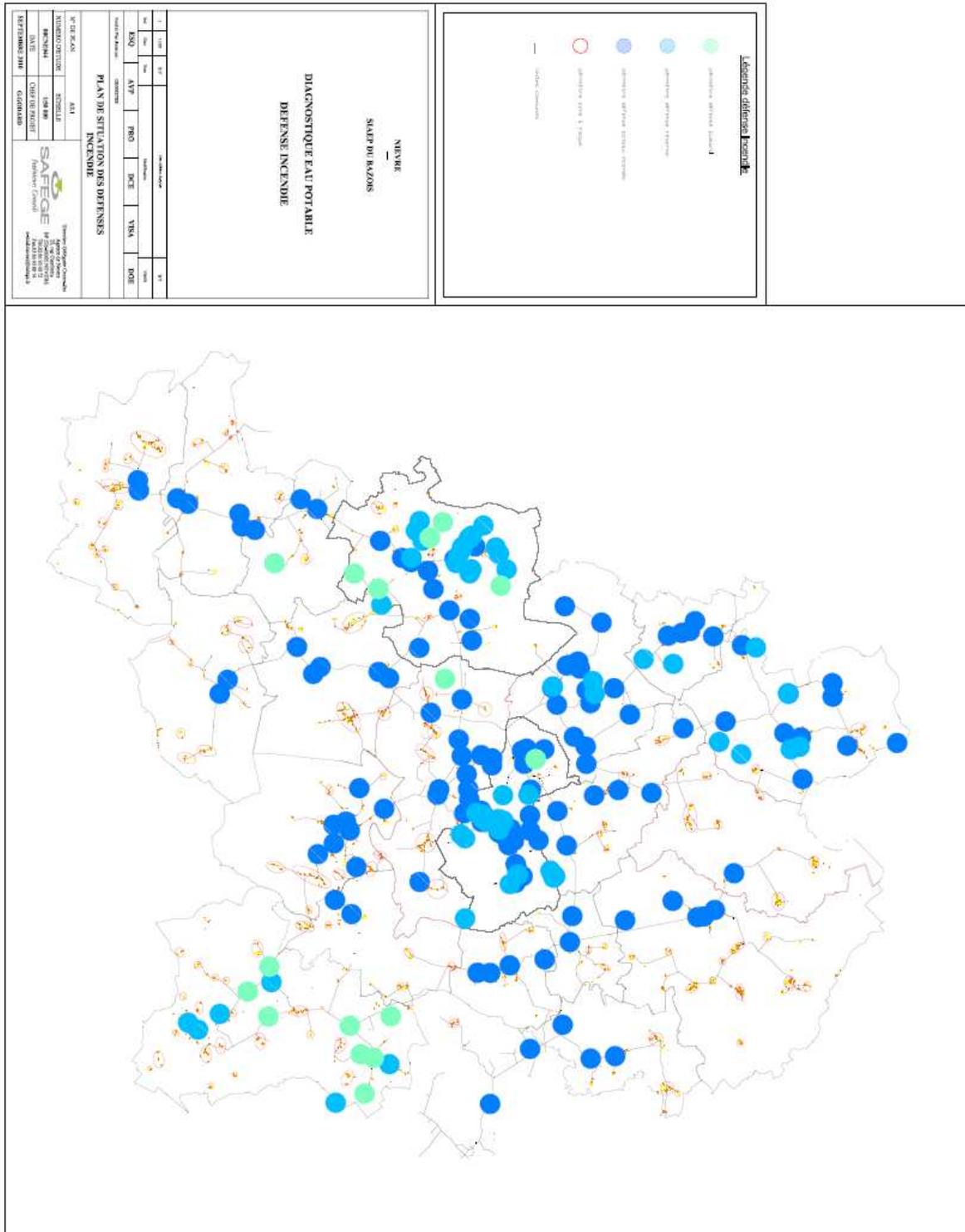


Certains poteaux ne possédaient qu'un diamètre de 65mm avec des pertes de charges plus importantes. On a précisé le diamètre de la bouche d'incendie et celui où a été effectuées les mesures. (voir courbes de chaque poteau).

Pour éviter toute fuite ou autre problèmes nous n'avons pas pris le risque d'effectuer les mesures sur le poteau incendie de la commune de Blaizy, celui-ci étant cassé. Nous avons donc pris un poteau situé à



Plan A2.1 : défense incendie du SIAEP du Bazois



ANNEXE 3
VISITE D'OUVRAGES ET TRAVAUX À
RÉALISER SUR LE RESEAU DE CHATILLON-
EN-BAZOIS

Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois

Nom de l'ouvrage : RESERVOIR DE BERNIERE	Date visite : 28/05/2009
Commune : CHATILLON EN BAZOIS	

Données générales

Volume bache [m³] : <input type="text" value="1 000"/>	Nombre de cuves : <input type="text" value="1"/>	Date construction : <input type="text" value="juste après guerre"/>
Cote seuil [mNGF] : <input type="text" value="270"/>	Cote départ [mNGF] : <input type="text" value="302.52"/>	Cote trop-plein [mNGF] : <input type="text" value="307.92"/>

Génie-civil

Type d'ouvrage : <input type="text" value="Réservoir sur tour"/>
Diamètre [m] : <input type="text" value="15.3"/> Hauteur d'eau [m] : <input type="text" value="5.40"/>
Enduit extérieur : <input type="text" value="oui"/>

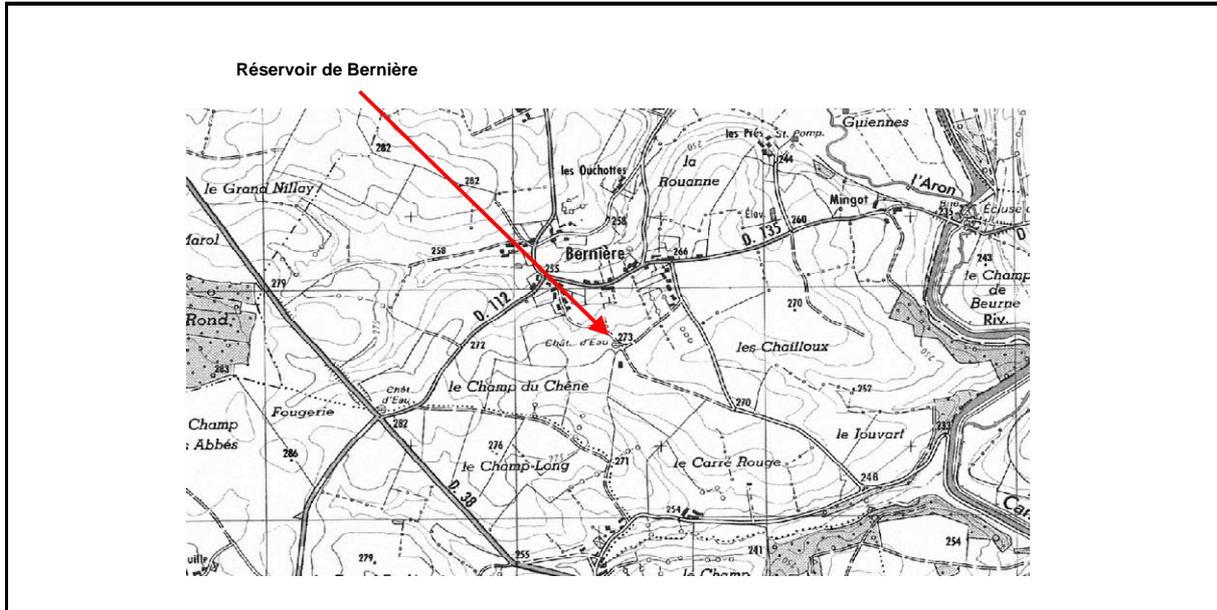
Contexte

Occupation terrain : <input type="text" value="champ"/>	Clôture : <input type="text" value="non"/>		
Chemin d'accès : <input type="text" value="GNT"/>			
EDF : <input type="text" value="oui"/>	EDF à proximité : <input type="text"/>	Télécom : <input type="text" value="oui"/>	Télécom à proximité : <input type="text"/>
Exutoire trop-plein : <input type="text" value="oui"/>			

Equipements hydrauliques

Conduite arrivée : <input type="text" value="F150 en refoulement-distribution"/>
Conduite départ : <input type="text" value="/"/>
Compteur départ : <input type="text" value="non"/>
By-pass : <input type="text" value="oui"/>
Alarme anti-intrusion : <input type="text" value="non"/>
Type de pompe : <input type="text" value="/"/>
Asservissement : <input type="text" value="asservi les pompes de captage"/>
Anti-bélier : <input type="text" value="/"/>
Capteurs : <input type="text" value="sonde de niveau en télégestion"/>
Réserve incendie : <input type="text"/>
Télégestion : <input type="text" value="oui"/>

Plan de situation



Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois

Chambre des équipements	
GC intérieur :	<input type="text" value="OK"/>
Ventilation :	<input type="text" value="OK"/>
Cuve (s)	
GC intérieur :	<input type="text" value="OK"/>
GC extérieur :	<input type="text" value="OK"/>
Ventilation :	<input type="text" value="OK"/>

Etat des équipements hydrauliques

Equipement hydraulique chambre vannes	
Etat général :	<input type="text" value="OK"/>
Manoeuvre :	<input type="text" value="OK"/>
Equipement hydraulique cuve	
Etat général :	<input type="text" value="OK"/>

Etat des équipements divers

Divers	
Serrurerie	<input type="text" value="cadenas"/>
Echelles / crinolines accès extérieur cuve	<input type="text" value="oui"/>
Echelles / crinolines accès intérieur cuve	<input type="text" value="pas de crinoline, utilisation d'un harnais, échelle et garde-corps rouillés"/>
Gardes-corps	<input type="text" value="oui"/>
Eclairage	<input type="text" value="non"/>

Proposition d'aménagements

Travaux à court terme	<input type="text"/>
Travaux à moyen terme	<input type="text" value="Renouvellement des échelles et gardes-corps d'accès à la cuve"/>
Commentaire général	<input type="text"/>

Photos état ouvrages et équipements



Vue extérieure



Chambre de vannes



Calorifugeage des conduites



Rembarde et échelle dans la cuve du réservoir

Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois

Nom de l'ouvrage : RESERVOIR DE CORNILLE	Date visite : 28/05/2009
Commune : CHATILLON EN BAZOIS	

Données générales

Volume bache [m ³] : <input type="text" value="300"/>	Nombre de cuves : <input type="text" value="1"/>	Date construction : <input type="text" value="avant la guerre"/>
Cote sol [mNGF] : <input type="text" value="264"/>	Cote fond de cuve [mNGF] : <input type="text" value="293.78"/>	Cote trop-plein [mNGF] : <input type="text" value="298.88"/>

Génie-civil

Type d'ouvrage : <input type="text" value="Réservoir sur tour"/>	
Diamètre [m] : <input type="text" value="8.7"/>	Hauteur d'eau [m] : <input type="text" value="5.10"/>
Enduit extérieur : <input type="text" value="oui"/>	

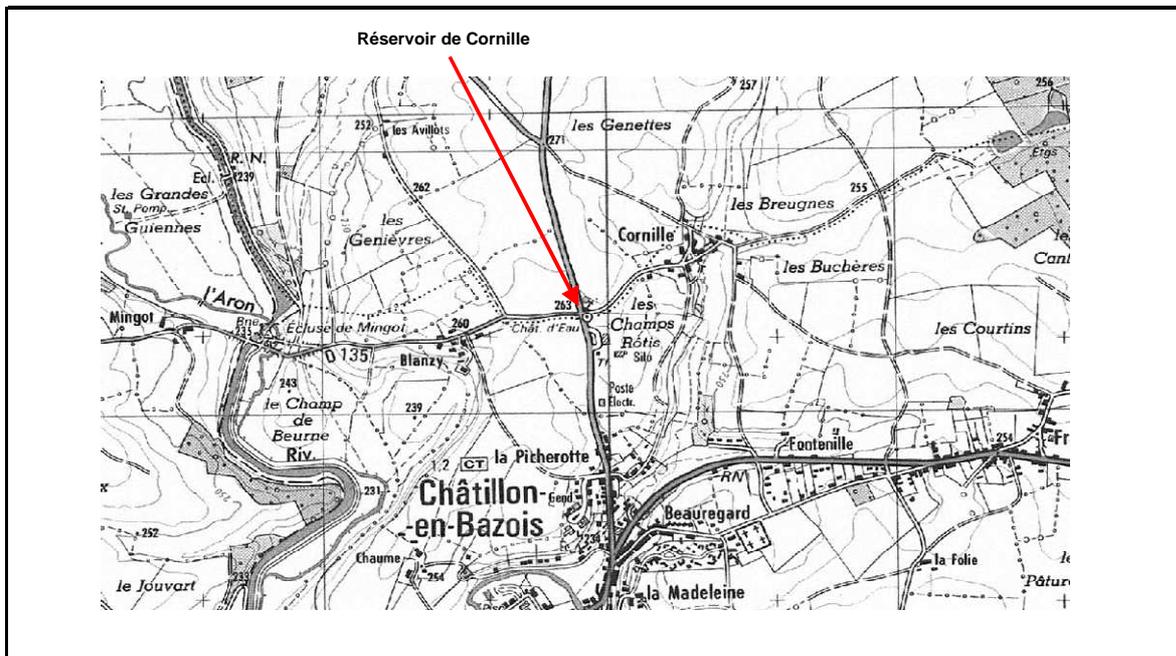
Contexte

Occupation terrain : <input type="text" value="à côté de la voirie"/>	Clôture : <input type="text" value="non"/>		
Chemin d'accès : <input type="text" value="D945"/>			
EDF : <input type="text" value="non"/>	EDF à proximité : <input type="text" value="non"/>	Télécom : <input type="text" value="ligne directe"/>	Télécom à proximité : <input type="text" value="oui"/>
Exutoire trop-plein : <input type="text" value="oui (vidange et trop plein en inox)"/>			

Equipements hydrauliques

Conduite arrivée : <input type="text" value="acier, refoulement distribution"/>
Conduite départ : <input type="text" value="acier, distribution, se sépare en deux (Châtillon et Frasnay) en aval du réservoir"/>
Compteur départ : <input type="text" value="2 compteurs extérieurs dans regard (direction Châtillon et Frasnay)"/>
By-pass : <input type="text" value="oui, à l'extérieur"/>
Alarme anti-intrusion : <input type="text" value="non"/>
Type de pompe : <input type="text" value="/"/>
Asservissement : <input type="text" value="Non, robinet-flotteur, à l'équilibre avec le réservoir de BERNIERE"/>
Anti-bélier : <input type="text" value="/"/>
Capteurs : <input type="text" value="sonde de niveau en télégestion et 2 compteurs extérieurs en télégestion"/>
Réserve incendie : <input type="text" value="oui (volume inconnu, géré par sonde)"/>
Télégestion : <input type="text" value="oui, électricité sur batterie, sonde et deux compteurs"/>

Plan de situation



Etat des ouvrages

Chambre des équipements	
GC intérieur :	Dalle RdC détruite, Mur OK
Ventilation :	Oui
Cuve (n'a pas pu être visitée; source des informations : DDEA et SAUR)	
GC intérieur :	étanchéité à refaire
GC extérieur :	étanchéité à refaire
Ventilation :	Oui

Etat des équipements hydrauliques

Equipement hydraulique chambre vannes	
Etat général :	bon, rénovation jusqu'à la limite de la cuve réalisé récemment
Manoeuvre :	OK
Equipement hydraulique cuve	
Etat général :	non visité

Etat des équipements divers

Divers	
Serrurerie	Porte fermée
Echelles / crinolines accès extérieur cuve	pas de crinoline, harnais et anti-chute
Echelles / crinolines accès intérieur cuve	non visité
Gardes-corps	sur pallier intermédiaire
Eclairage	non

Proposition d'aménagements

Travaux à court terme
dome extérieur et cuve intérieur, étanchéité à refaire, dalle à refaire, sécuriser les accès à la cuve (intérieur et extérieur)
Travaux à moyen terme
renouvellement si nécessaire des échelles et systèmes de sécurité dans la cuve
Commentaire général

Photos état ouvrages et équipements



Extérieur ouvrage

génie civil intérieur



chambre de vannes (conduites de refoulement-distribution, distribution, trop plein et vidange)



BIBLIOGRAPHIE

IRH, 2007. *Étude de l'élimination du Fluor et de l'Arsenic dans les eaux de la nappe du Bazois*. Rapport d'étude. Vandoeuvre-lès-Nancy, IRH Ingénieurs-conseils, 50p.

Safege, 2010. *Piccolo, guide de modélisation*. Nanterre, Safege Ingénieurs-conseils, 274 p.

Safege, 2010. *Guide de modélisation du chlore*. Nanterre, Safege Ingénieurs-conseils, clubs-métiers, 60 p.

Safege, 2009. *Diagnostic des réseaux d'eau potable – Phase 1*. Rapport d'étude. Nevers, Safege Ingénieurs-conseils, 109 p.

Safege, 2009. *Diagnostic des réseaux d'eau potable – Phase 2 : campagne de mesure*. Rapport d'étude. Nevers, Safege Ingénieurs-conseils, 67 p.

Sarah Pourradier, 2009. *Diagnostic des réseaux d'eau potable du SIAEP du Bazois et de Châtillon en Bazois*. Stage de fin d'études ENGREF. Nevers, AgroParisTech-ENGREF, 62p.

