Analyse économique des coûts d'alimentation en eau potable

Serge S. Garcia

▶ **To cite this version:**

Serge S. Garcia. Analyse économique des coûts d'alimentation en eau potable. Environnement et Société. Université des Sciences Sociales (Toulouse 1), 2001. Français. NNT : . tel-02827779

HAL Id: tel-02827779
https://hal.inrae.fr/tel-02827779

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DES SCIENCES SOCIALES DE TOULOUSE

Analyse économique des coûts d'alimentation en eau potable

THÈSE

Pour le Doctorat en Sciences Économiques

Sous la direction de Monsieur Alban THOMAS

Présentée et soutenue le 13 juillet 2001

par

Serge GARCIA

Membres du Jury

Marcel BOYER, Professeur à l'Université de Montréal, *rapporteur*

Thierry MAGNAC, Directeur de Recherche INRA, *rapporteur*

Michel MOREAUX, Professeur à l'Université des Sciences Sociales de Toulouse, Institut Universitaire de France

Patrick POINT, Directeur de Recherche CNRS

Alban THOMAS, Directeur de Recherche INRA

Jean-Philippe TORTEROTOT, Responsable de l'UMR GSP-Cemagref-ENGEES

L'Université des Sciences Sociales de Toulouse n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse : ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Remerciements

«*L'homme*, a écrit Antoine de Saint-Exupéry, *c'est d'abord celui qui crée. Et seuls sont frères les hommes qui collaborent.*» Entreprendre un long et dur labeur comme la réalisation d'une thèse d'économie ne peut évidemment être accompli seul. De nombreuses personnes ont permis, de près ou de loin, à ce travail d'aboutir dans les meilleures conditions.

En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur le Professeur Michel Moreaux. Il m'a le premier initié à l'économie de l'environnement et des ressources naturelles et a su communiquer sa passion par son enthousiasme et sa grande culture lors des heures de cours dispensées en DEA. C'est aussi grâce à lui que j'ai pu réaliser cette thèse pour m'avoir appelé un matin de février 1997 dans mon bureau du 4^{e} Régiment Etranger et m'avoir confié l'étude de ce sujet.

La deuxième personne à laquelle je dois beaucoup dans l'élaboration de cette thèse est bien entendu Alban Thomas. Il m'a intéressé à l'économétrie appliquée, appris ses techniques et fait réfléchir sur ses résultats. Il a su aussi dès le début me motiver et m'éclairer les différentes pistes à explorer. Enfin, il a toujours répondu présent lorsque, stoppé par un nouvel écueil, je venais frapper (un peu fort) à sa porte. Pour l'encadrement exceptionnel dont il m'a fait bénéficier, je lui adresse mes plus vifs remerciements.

J'ai également énormément bénéficié de l'aide, des conseils et des commentaires de François Salanié. Il a été le moteur de secours de cette fin de thèse. Je lui suis très reconnaissant.

Je remercie également Monsieur le Professeur Marcel Boyer et Monsieur Thierry Magnac pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette thèse en acceptant d'en être les rapporteurs, ainsi que Monsieur Patrick Point et Monsieur Jean-Philippe Torterotot pour avoir ac-

cepté de siéger à ce jury.

Je remercie encore M. Careil de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Gironde et Mme Regimbal d'Électricité Services Gironde pour la fourniture des données sur les services d'eau potable de Gironde.

Toute ma gratitude va également à l'INRA et au Cemagref qui ont mis à ma disposition les conditions de travail les meilleures. Je remercie plus particulièrement les membres de l'équipe LEERNA et du laboratoire GSP pour leurs aides et leur soutien amical, et encore Olivier Alexandre et Eugène Weber pour leurs commentaires constructifs.

Je suis très redevable à Céline Nauges pour son travail minutieux de relecture d'une partie de cette thèse. Il ne m'est pas possible de ne pas citer ces camarades qui ont fait un bout de chemin avec moi, et en premier lieu Valérie avec qui la cohabitation et l'entente ont été parfaites. Et puis sous forme d'inventaire à la Prévert : Pascal, Christophe, Liliane, Nicolas, Philippe, Théo, Arnaud, Cécile, Stéphane, Zohra, Laure, Cyril T., Héla, Isabelle, François, Cyril H., Frédéric, Gwenaël, Sébastien, Chantal, Sarah, Ahlem, Anne, Christelle, Raja, Erwann, Stéphanie, Nolwenn, Magueye, Fabian, Estelle, Thibaud, et les autres.

Bien que je les cite en dernier, mes premiers remerciements vont à ma famille en général et mes parents en particulier. Ils m'ont toujours fait confiance et m'ont permis de réaliser mes études dans des conditions idéales. Je leur dois tout et précisément ce travail.
Enfin, à ma femme Valérie pour la liberté qu'elle m'a donnée et la patience qu'elle m'a accordée lors de mes nombreuses absences.

À mon fils Paul

Table des matières

Tables des Matières **9**

Introduction générale **17**

Partie 1 : Étude de la technologie de l'alimentation en eau potable **31**

1 Organisation et réglementation des services d'eau en France **33**

1.1 Introduction 33

1.2 État de la ressource et marché de l'eau en France 35

1.2.1 Données sur la ressource 35

1.2.2 Données économiques et financières 38

1.3 Organisation des services d'eau potable et d'assainissement 41

1.3.1 La structure du marché de l'eau 41

1.3.2 Les acteurs du secteur de l'eau 43

1.3.3 Les différents modes de gestion 48

1.3.4 La législation de la gestion de l'eau en France 49

1.4 Les services publics d'eau potable et d'assainissement 52

1.4.1 Service public, service universel et service d'intérêt général . . . 52

1.4.2 Compétences des collectivités locales 52

1.4.3 Principes des services publics 53

1.4.4 Obligation de qualité 54

1.5 Le financement des services publics de l'eau 55
1.5.1 La tarification 55
1.5.2 Subventions croisées 57
1.5.3 Droits d'entrée 57
1.5.4 Le financement des investissements et les subventions directes . 58
1.5.5 Difficultés pour les régies 58
1.6 Les outils de la régulation lors de la délégation des services 59
1.6.1 La mise en concurrence de la délégation 60
1.6.2 Le type de contrat comme mécanisme incitatif 61
1.6.3 Le contrôle de l'exécution des contrats 63
1.7 Conclusion 63

2 Structure des coûts d'alimentation en eau potable 65
2.1 Introduction 65
2.2 Le réseau et la technologie de l'alimentation en eau potable 71
2.3 Représentation économique des coûts 74
2.4 Rendements de réseau et complémentarités de coût 78
2.5 Conclusion 84

3 Estimation et étude d'une fonction de coût en information complète 87
3.1 Introduction 87
3.2 Le modèle économétrique 89
3.3 Application aux services d'eau potable de Gironde : les données 92
3.3.1 Les dépenses d'exploitation 92
3.3.2 Les données 95
3.4 Les résultats d'estimation 99
3.4.1 L'estimation des paramètres du modèle de coût 99
3.4.2 La substitution des facteurs de production 107
3.4.3 Évaluation des rendements de densité et d'échelle 108
3.4.4 Coût marginaux et élasticités de coût marginal 114

3.5 Conclusion 118

Partie 2 : Essai sur la régulation des services d'eau potable 121

4 Les contrats régissant l'exploitation du service d'eau potable 123

4.1 Introduction 123

4.2 Le modèle structurel 129

4.2.1 La technologie et les coûts de production 129

4.2.2 La demande des usagers 131

4.2.3 Les préférences de la collectivité locale 131

4.3 Le contrat optimal 133

4.3.1 Le cas de l'information complète 133

4.3.2 Le cas de l'information incomplète 134

4.4 La fonction de coût 137

4.5 Des ressources en eau épuisables 140

4.6 Conclusion 141

5 Simulation des contrats pour l'exploitation du service d'eau potable 143

5.1 Introduction 143

5.2 Estimation de la fonction de coût 146

5.3 Estimation de la fonction de demande 152

5.4 Simulation des contrats optimaux 154

5.5 Résultats et commentaires 158

5.5.1 Analyse de sensibilité des solutions à π 159

5.5.2 Analyse de sensibilité des solutions au dommage 163

5.6 Conclusion 167

Conclusion générale **173**

Annexes **181**

A Gestion et réglementation **183**

A.1 Les différents modes de gestion 183

A.1.1 La gestion directe 183

A.1.2 La gestion déléguée 184

A.2 Les principes du service public 186

A.2.1 Les principes traditionnels 186

A.2.2 Les nouveaux principes 188

A.3 Modèle de cahier des charges de délégation du service de d'AEP 189

A.3.1 Objet et étendue du contrat 189

A.3.2 Remise des installations existantes au délégataire en début de contrat 189

A.3.3 Droits et obligations des contractuels 189

A.3.4 Régime financier, comptable et fiscal 190

A.3.5 Contrôle et rapports annuels 190

A.3.6 Clauses diverses 191

B Le réseau d'eau potable **193**

B.1 Structure d'un réseau de distribution d'eau 193

B.2 Le bilan en eau 196

C Les méthodes d'estimation de systèmes d'équations en panel **199**

C.1 Le système "Seemingly Unrelated Regressions" (SUR) 200

C.1.1 L'approche "effets fixes" 202

C.1.2 L'approche "effets aléatoires" 203

C.1.3 Les restrictions linéaires sur les paramètres entre les équations du système 204

C.2 Le système d'équations simultanées 205

C.2.1 Estimation par la méthode des moments généralisée 206
C.2.2 Test de validité des conditions de moment 210

D Vérification de la condition de second ordre des contraintes IC 211

Bibliographie 213

Liste des Tableaux 221

Table des Figures 223

Introduction générale

La gestion des services publics est en pleine évolution depuis maintenant plusieurs années. Longtemps, service public a été synonyme de monopole public et donc était perçu comme une organisation étatique. Cette association peut-être vraie hier n'a plus guère de sens aujourd'hui alors même que ces services sont réorganisés dans de nombreux pays, avec une réduction de l'action publique directe.

Ces services publics sont ou ont été caractérisés par une structure de monopole. On sait qu'une telle organisation du marché conduit à une fixation du prix au-dessus du coût marginal de production. Dès lors, le prix est supérieur et la quantité produite inférieure à ceux correspondant à l'optimum social. À première vue, une situation monopolistique n'est donc pas souhaitable d'un point de vue de l'efficacité économique. Cependant, lorsque le monopole est naturel, il permet de produire plus efficacement car il engendre des coûts inférieurs à ceux de plusieurs entreprises se partageant la production[1]. Du fait de cette inefficacité sociale, les pouvoirs publics peuvent décider de réglementer les services caractérisés par un monopole naturel. Deux types de réglementation sont alors possibles.

Premièrement, l'autorité publique peut choisir de mettre elle-même le service à la disposition des usagers. Dans ce cas-là, la solution optimale est de fixer le prix au coût marginal et d'allouer une subvention permettant de maintenir le budget en équilibre. Deuxièmement, l'autorité publique peut confier la gestion du service à une entreprise privée (ou publique) et effectuer des contrôles réguliers de ses performances.

[1] On parle de monopole naturel si et seulement si la fonction de coût est sous-additive :

$$C\left(\sum_i q_i\right) \leq \sum_i C(q_i), \forall i = 1, ..., n,$$

où C() représente la fonction de coût et q_i la répartition de la production.

Il est alors difficile d'obliger l'entreprise à produire au prix concurrentiel (ou coût marginal). Si c'est le cas, il faut également subventionner l'entreprise par des transferts forfaitaires pour couvrir ses pertes. On parle dans ce cas de tarification optimale de premier rang. Une autre approche proposée est de maximiser le surplus collectif sous contrainte d'équilibre budgétaire. C'est la tarification de second rang, appelée aussi formule de Ramsey-Boiteux (voir Ramsey (1927), Boiteux (1956)), qui consiste dans le cas multi-produits à fixer le prix de chaque bien au coût marginal modulo un facteur multiplicatif appelé "mark-up" et dépendant de l'élasticité de la demande. Dans tous les cas, on voit clairement que le problème de l'autorité publique réside dans la détermination des coûts de l'entreprise ou bien, de façon plus générale, dans la connaissance de ses caractéristiques technologiques.

Cette condition nécessaire pour mettre en œuvre une tarification optimale peut cependant ne pas être vérifiée : l'entreprise privée dispose évidemment d'une position privilégiée pour l'expertise de ses processus de production et de ses comptes financiers, et donc d'une information privée dont elle peut tirer un avantage stratégique lors de ses négociations avec l'autorité publique. On dit alors qu'il existe une asymétrie dans la distribution de l'information lors des relations entre un principal (l'autorité publique) et un agent (l'entreprise privée) liés par un contrat. L'objectif du principal est alors de rechercher des mécanismes de régulation pour inciter l'agent à lui révéler l'information qu'il détient. Le problème d'état caché que nous venons de soulever est appelé sélection adverse. L'entreprise peut par exemple annoncer des coûts plus élevés que ce qu'ils sont en réalité pour obtenir de l'autorité publique une subvention plus importante. Mais il existe également un autre problème informationnel qui concerne cette fois-ci les actions cachées et que l'on appelle l'aléa moral. C'est le cas où l'entreprise ne produit pas l'effort maximal pour réduire ses coûts ou bien ne réalise pas les investissements nécessaires pour améliorer la qualité de son service. Dans tous les cas, si le principal veut connaître l'information privée de l'agent, il ne pourra l'obtenir qu'en lui donnant une contrepartie financière, appelée rente, qui va distordre les allocations productives. Le jeu réside alors dans l'arbitrage entre donner le minimum de rentes et obtenir le

maximum d'information.

Le concept de monopole naturel a pendant longtemps été étendu à toutes les industries de réseaux entraînant ainsi une réglementation de la totalité de leurs activités. Cependant, on s'est aperçu que les frontières des monopoles historiques allaient bien au-delà de celles des activités en monopole naturel. À partir de là, s'est mis en marche un grand mouvement de redéfinition de la réglementation de ces industries. Dans certains pays, les réorganisations (ou re-régulations[2]) se sont déroulées bien plus tôt qu'en France qui commence à peine à voir certains de ses secteurs se restructurer.

La Grande-Bretagne a procédé à des mutations radicales dans certaines industries de réseaux comme le transport ferroviaire, l'électricité ou le gaz en mettant en vente les infrastructures et donnant la gestion à des entreprises privées. D'autres pays ont depuis plusieurs années ouvert leurs services à la concurrence dès que le monopole ne semblait plus naturel avec l'apparition de nouvelles technologies. La présence de coûts fixes élevés étant toujours une réalité, on a séparé la propriété des infrastructures de l'exploitation des services utilisant ces infrastructures. Ainsi, le marché des services a pu être ouvert à la concurrence. Dernièrement en France, dans le secteur des télécommunications, le monopole historique France Télécom a été contraint de laisser de nouveaux entrants utiliser les infrastructures mais en conserve toujours la propriété.

Les services publics d'eau n'échappent pas à ce phénomène de restructuration et la Grande-Bretagne est encore une fois le pays précurseur. Le Water Act de 1973 crée dix grands services publics d'eau régionaux, les Regional Water Authorities (RWA) et 29 compagnies de distribution d'eau privées, les Statutory Water Companies. Mais c'est en 1989 que le gouvernement britannique privatise totalement son secteur de l'eau en mettant en vente les activités des RWA relatives à la distribution d'eau et à l'assainissement. Par ailleurs, les Statutory Water Companies qui assurent la distribution de l'eau en dehors des zones des RWA sont transformées en sociétés anonymes. Il ne

[2] On préfère ce terme à celui de dérégulation car il s'agit effectivement d'un changement de forme de régulation et surtout pas un abandon total de règles.

reste plus finalement que 18 sociétés en charge de la distribution d'eau et 10 opérateurs d'eau potable et d'assainissement en Grande-Bretagne. En position de monopole sur leur territoire, la régulation économique des compagnies des eaux est assurée par l'Office of Water Services (OFWAT).

La régulation est organisée sur la base de l'utilisation combinée de la fixation d'un prix plafond ("Price-Cap") et d'un système de concurrence par comparaison entre les compagnies ("Yardstick Competition"). Cela conduit à une diminution sensible des coûts d'exploitation et donc des prix de l'eau et de l'assainissement. En outre, l'ajustement des prix au moyen d'une formule de révision connue sous la nom RPI-X, proche d'un mécanisme "rate of return" et prenant en compte les gains de productivité espérés, permet aux entreprises de faire des investissements raisonnables. Cependant, la concurrence par comparaison nécessite du régulateur une bonne information de façon à comparer les compagnies privées dans un environnement identique. D'une part, les mesures de performance relative sont très coûteuses en efforts et en temps. Aussi, le nombre de sociétés diminuant dû à des fusions, ce système de concurrence atteint vite ses limites. D'autre part, la régulation par le "price cap" n'est pas facile à mettre en œuvre : si le plafond est fixé trop haut, les entreprises font des gains excessifs. Dans le cas contraire, il peut en résulter un sous-investissement.

Les pays où la privatisation ("divestiture") du secteur de l'eau a eu lieu sont très peu nombreux et souvent celle-ci n'est que partielle contrairement à la privatisation totale réalisée en Angleterre et au Pays de Galles[3]. Si l'on regarde de près l'évolution de la participation privée dans le secteur, on s'aperçoit que le phénomène est relativement récent. Avant les années 1990, la plupart des pays géraient leurs services d'eau directement et les cas comme en France d'une présence privée dans la gestion de l'eau étaient rares. De manière générale, l'entrée des entreprises privées dans le secteur de l'eau est en constante progression depuis 1990 et prend la forme de contrats de gérance et d'affermage (plutôt dans les pays industrialisés) et de concession (dans les pays en voie de

[3]Le Chili a également eu recours à ce modèle au cours des années 1990.

développement). Dans ces cas-là, les autorités publiques gardent la responsabilité des services et la propriété des infrastructures (en fin de contrat pour ce qui relève de la concession), elles maintiennent un certain contrôle sur leur exploitation et peuvent avoir le rôle de régulateur. Silva, Tynan, and Yilmaz (1998) observent quelques tendances marquées de cette participation privée dans le secteur de l'eau : une concentration régionale et nationale des projets privés, une nette dominance des contrats de concession par rapport aux autres types de contrat et la main mise de cinq grandes compagnies internationales (Suez Lyonnaise des Eaux, Vivendi, Aguas de Barcelona, Thames Water et SAUR international) sur le marché.

Le secteur de l'eau est un domaine dans lequel la situation de monopole naturel peut difficilement être remise en cause. L'organisation la moins coûteuse pour distribuer de l'eau potable ou collecter les eaux usées est l'exploitation d'un seul réseau de canalisations par une seule entreprise. Néanmoins, à l'instar de certaines industries de réseau comme le gaz, l'électricité et la télécommunication, il serait possible d'organiser un système de concurrence pour une partie de ses activités. L'étendue du monopole peut être réduite par la séparation de la production et de la distribution. Ainsi dans le secteur de l'électricité, il est maintenant courant de voir des générateurs détenus par des entreprises en concurrence alors que la distribution se fait le long d'un seul réseau.

Dans le cas de l'Alimentation en Eau Potable (AEP), il n'est pas impossible d'imaginer plusieurs entreprises en charge de l'extraction de l'eau brute et de son traitement, à des points différents d'une même nappe d'eau ou bien même sur des ressources différentes. Chacune possédant leur propre usine de production pourrait proposer la vente d'eau potable à une seule entreprise qui, elle, la distribuerait aux usagers finals. Or, cette solution n'a jusqu'à présent que rarement été mise en place, probablement à cause du caractère particulier de la ressource et des problèmes de propriété que poseraient les stocks naturels d'eau. L'autre raison est que le gain en termes de coût est sûrement négligeable tant les dépenses liées à la distribution et à son réseau sont prépondérantes dans le coût total. En effet, la séparation aurait un réel intérêt dans les cas où l'extrac-

tion et le traitement de l'eau brute coûterait plus cher que sa livraison chez les usagers.

En France, la décentralisation au niveau des collectivités locales et la possibilité de choix entre délégation aux entreprises privées et gestion directe confèrent aux services d'eau une place à part dans l'échiquier des services publics. Il est vrai que la question de la création d'une instance de régulation chargée de fixer des règles de comportement pour les exploitants et de contrôler leurs actions, comme cela a été fait dans les télécommunications avec l'ART (Autorité de Régulation des Télécommunications) est remise périodiquement à l'ordre du jour. Fin 1998, dans un rapport sur les entreprises publiques à réseau, le Haut Conseil du secteur public a adressé une recommandation allant dans ce sens. En particulier, il préconise une autorité de régulation dotée de capacités d'expertise et de moyens de contrôle. Cependant, les spécificités du système français, en particulier les relations de proximité entre collectivités locales et entreprises privées qui sont en place depuis des dizaines d'années, laissent penser que l'avènement d'un tel mode de régulation est encore loin.

Depuis le début des années 1990, les élus responsables des collectivités locales, confrontés aux problèmes d'investissement dans des infrastructures conformes aux normes européennes et à l'introduction de nouvelles exigences de financement, sont à la recherche de la meilleure organisation possible pour leurs services d'eau. Par ailleurs, les problèmes de qualité de l'eau, l'augmentation rapide de son prix ces dernières années et les récentes "affaires" ont fait de la gestion des services publics d'AEP et d'assainissement un sujet de débats récurrents au sein de la classe politique en France.

La gestion directe présente l'avantage de fournir aux usagers le service au prix coûtant, puisque la collectivité locale est juste sensée équilibrer son budget en recettes et en dépenses. Cependant, les responsables n'étant pas soumis à la pression d'actionnaires, ils ne sont pas incités à minimiser leurs coûts de fonctionnement. En outre, la gestion directe par les services techniques municipaux de petites collectivités est de moins en moins facile à assurer tant l'exploitation a dû évoluer rapidement pour répondre aux nouvelles contraintes technologiques et financières. Alors, lorsque la commune ne se

sent plus capable de maintenir un bon service ou de faire face à de nouveaux investissements, elle peut faire appel à une entreprise spécialisée dans l'activité. La gestion déléguée présente l'avantage de la performance économique mais pose le problème de l'incitation au meilleur service et de son contrôle. Le rôle et le devoir de la collectivité est alors de réguler efficacement l'exploitant privé. L'objectif général de cette régulation est de choisir les bons mécanismes de façon à ce que l'entreprise offre un service de qualité maximale au prix le meilleur pour les usagers. Pour cela, la collectivité a besoin de savoir combien coûte le service fourni par l'entreprise.

Si la collectivité locale possède toute l'information sur les coûts de l'opérateur privé chargé de l'exploitation, engendrés par la production de volumes d'eau potable dans les conditions qu'elle a spécifiées, alors elle peut fixer le prix à un niveau efficace. Cependant, le cas idéal où le régulateur a une connaissance totale du comportement de l'entreprise privée, n'existe pas. Au mieux, il peut observer les dépenses d'exploitation et d'investissement du service dans les comptes-rendus financiers préparés par l'exploitant, mais les coûts peuvent être dissimulés entre les lignes comptables. La méthode choisie par la commune délégatrice consiste alors en une évaluation des dépenses futures pour le fonctionnement du service, souvent sur proposition de l'opérateur lui-même. Mais avec des estimations des coûts aussi imprécises et non nécessairement contradictoires, le risque de fixer un prix trop élevé existe.

Le problème essentiel du régulateur est donc de concevoir un système qui puisse lui donner accès à la meilleure information. Une solution souvent adoptée est de fixer un objectif de production (volume d'eau potable à mettre à disposition ou volume d'eaux usées à traiter) avec une certaine qualité de service, à différentes entreprises en concurrence pour l'exploitation du service d'eau potable. L'entreprise qui proposera le prix le plus bas (et qui est probablement la plus efficace) sera celle qui remportera ce type d'enchère. Cependant, pour prendre en compte l'évolution de la technologie et de la demande, ce mécanisme de sélection devrait être répété le plus souvent possible. Dans le cas contraire, comme le souligne Gatty (1998), cette concurrence n'est que préalable puisqu'elle ne joue qu'au moment de la mise aux enchères. D'un autre côté,

le contrat passé avec l'exploitant doit être d'une durée suffisante pour que ce dernier puisse développer puis amortir ses investissements. Les usagers ne bénéficient plus alors en permanence du meilleur prix possible.

Une première solution simple à ce problème serait que l'autorité délégatrice prenne en charge les investissements et propose donc plutôt un contrat de type affermage, dans lequel l'entreprise ne s'occupe que de l'exploitation du service. Mais l'on sait que la collectivité n'est pas nécessairement en mesure de financer de très lourds investissements comme la construction d'une nouvelle station de production (dans le cas où celle en place ne permet plus d'assurer à elle seule la fourniture aux usagers), ni en mesure de conduire le projet d'investissement. Lors d'un contrat de concession, le délégataire a la charge de réaliser la construction des équipements. Une solution serait que les investissements non encore amortis au terme du contrat soient repris par l'exploitant arrivant de façon à ce que le sortant ne fasse pas de pertes, tout en conduisant les investissements nécessaires tout au long du contrat. Ainsi la durée des contrats pourrait être plus courte et permettre à la concurrence d'être plus durable et donc à la régulation d'être plus efficace. Cette dernière solution a tout de même un inconvénient puisqu'elle remet en cause la responsabilité du concessionnaire face à ses investissements. En effet, il est clair que ses engagements initiaux vont perdre de leur sens s'ils peuvent être transférés à une autre partie en fin de contrat.

Nous allons nous intéresser dans notre étude à la gestion des services d'eau potable par délégation. La France a opté depuis des décennies pour une organisation fondée sur le principe d'autonomie des collectivités locales et des exploitants des services d'eau. Il n'y a pas de supervision permanente d'un régulateur à l'échelle de l'État mais des liens entre communes et opérateurs privés, concrétisés par des contrats à durée prédéterminée portant sur la délégation du service public. Ce sont les termes même du contrat qui vont permettre à la commune de réguler l'entreprise privée de façon à ce qu'elle n'abuse pas de sa position dominante.

Depuis la loi sur l'eau de 1992, la France a fait le choix clair d'un service financé par

les usagers eux-mêmes et d'une tarification fondée sur les consommations réelles. Ce sont bien alors les volumes d'eau produits et distribués qui sont les variables de contrôle du contrat. Il est vrai que l'objectif de la commune est d'élaborer un contrat le plus complet possible pour s'assurer que les degrés de liberté du cocontractant sont infimes. En conséquence, le nombre de paramètres à prendre en compte devient très important. La qualité de l'eau mise à disposition est certes un élément essentiel mais c'est l'État qui en fixe les normes et qui en contrôle l'application par ses organismes de tutelle : les Directions Départementales de l'Action Sanitaire et Sociale (DDASS). Aujourd'hui que la préservation des ressources est une priorité pour tous, ce sont les quantités d'eau extraites et la part qui va effectivement être consommée et facturée qui sont les véritables enjeux pour une commune lors de l'élaboration du contrat. La qualité du service repose donc entre autres sur la performance des entreprises privées à satisfaire la demande des usagers avec un minimum de pertes d'eau en réseau. D'ailleurs, depuis quelques années en Angleterre, l'OFWAT a placé comme prioritaire cet objectif d'efficacité en termes de rendement du réseau. Son rapport annuel sur le coût de l'eau distribuée et des eaux usées collectées a été remplacé par un rapport annuel sur les fuites et l'efficacité de l'eau en 1997[4]. Cela étant, les pertes ne sont que l'une des conséquences de l'état du réseau, de sa maintenance et de son renouvellement, qui constituent un enjeu fort de moyen terme. À ce titre, les pertes peuvent constituer un indicateur facilement accessible d'un problème plus large.

La régulation par contrat et les mécanismes incitatifs qui en découlent sont l'objet de la seconde partie de cette thèse. Mais avant de s'engager dans l'étude complexe des relations entre les deux principaux acteurs du service de l'eau (commune et opérateur privé), il faut en connaître les règles de fonctionnement (législatives et économiques) et les contraintes technologiques. Nous essayons d'accomplir cette étape préliminaire dans la première partie de la thèse. Le premier chapitre analyse la gestion des services d'eau en France en décrivant l'environnement réglementaire dans lequel ils évoluent.

[4] OFWAT (1997).

Il précise en outre les missions de service public auxquelles ils doivent répondre, les différents systèmes de gestion parmi lesquels le responsable de la collectivité locale peut choisir, la singularité du marché de l'eau avec la présence d'un tout petit nombre de grandes entreprises privées. Enfin, nous faisons une ouverture sur l'intérêt principal de notre travail en analysant le caractère incitatif des différents types de contrats.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons de façon détaillée la technologie de l'AEP en insistant tout particulièrement sur les aspects caractéristiques d'une industrie en réseau. Nous nous intéressons effectivement aux problèmes inhérents au bien mis en vente, liés à sa circulation et sa mise en pression dans les conduites d'eau. Nous attachons également une attention particulière aux problèmes des pertes en réseau qui s'élèvent en France en moyenne à 25% du volume d'eau mis en distribution. Dans le modèle de coût, nous intégrons ces éléments, en particulier par la prise en compte de la diversité de l'infrastructure et une analyse du processus de production dans un cadre multi-produits : l'exploitant produit un volume d'eau potable destiné aux usagers mais également un volume d'eau potable perdu dans le réseau de distribution. Nous modélisons une fonction de coût variable de court terme qui est aussi informative que l'étude directe de la technologie. Elle nous permet en particulier de dériver des notions d'élasticités d'échelle adaptées aux industries en réseau.

Le dernier chapitre de cette partie consacrée à la technologie de l'AEP présente l'estimation de la fonction de coût variable de services d'eau potable du département de la Gironde, suivis sur quatre années de 1995 à 1998. La structure de panel de nos données nous permet de spécifier un terme d'erreur composé dont une des deux composantes est un effet spécifique au service d'eau indépendant du temps. Par l'introduction de ce terme aléatoire, nous prenons en compte le fait qu'il existe des variables propres à l'exploitant que nous ne connaissons pas, liées à l'information privée détenue par l'opérateur. Ainsi, notre analyse n'omet pas complètement les problèmes d'information imparfaite que nous étudierons plus spécifiquement dans la seconde partie.

À partir d'une forme paramétrique flexible (translog) de la fonction de coût, nous estimons les paramètres technologiques à l'aide de méthodes économétriques adap-

tées aux données de panel et traitant l'éventuelle endogénéité de certaines variables comme les volumes d'eau produits, variables centrales de notre étude. Le déroulement de l'application empirique est alors le suivant. Nous commençons par regarder si la spécification empirique de la fonction de coût vérifie bien ses propriétés économiques théoriques. Une fois ces tests préliminaires réalisés, nous utilisons les estimations des paramètres de coût pour étudier la substitution des facteurs de production. Enfin, nous calculons les valeurs des rendements de réseau définis dans le chapitre précédent ainsi que celles des coûts marginaux et de leurs élasticités.

Sur la base d'une étude classique des coûts de production, la première originalité de notre travail réside dans la prise en compte explicite dans la modélisation économique des pertes d'eau en réseau et son intégration dans les décisions des exploitants des services d'eau. De plus, les procédures d'estimation de systèmes d'équations appliquées aux données de panel utilisées sur les coûts de l'eau sont encore très rares dans la littérature économique. Enfin, notre analyse technique des réseaux par le biais de l'estimation des rendements de réseau est également un apport important de cette application au secteur de l'eau potable en France.

La seconde contribution de cette thèse est une étude des relations entre la collectivité locale délégatrice du service public d'AEP et un opérateur privé. Nous étudions le contrat passé entre les deux parties en prenant en compte l'existence d'une information privée détenue par l'opérateur. En France, c'est le seul moyen de réguler l'entreprise privée puisqu'il n'existe pas d'autorités de régulation fixant des règles économiques que l'exploitant doit respecter. L'objectif principal de cette partie est de mettre en évidence l'existence d'une information privée par la modélisation économique des contrats puis de valider cette thèse par une application empirique sur notre échantillon de services d'eau.

Le chapitre 4 débute la seconde partie de cette thèse. Il est consacré à la modélisation de ces relations contractuelles. Le cadre multi-produits à partir duquel nous menons notre étude peut être comparé aux spécifications de contrat utilisées dans

d'autres secteurs sur la base d'une association quantité-qualité, et donne à cette étude toute son originalité. En effet, nous modélisons le comportement du régulateur (la collectivité locale) dont l'objectif est d'allouer des volumes d'eau consommés et perdus qui maximisent un critère de bien-être construit à partir d'une somme pondérée des surplus des usagers et de l'exploitant. Elle propose donc un menu de contrats spécifiant le volume d'eau à fournir aux usagers avec une certaine qualité de service représentée par le niveau des pertes d'eau en réseau. Les opérateurs privés candidats à l'exploitation du service d'eau vont s'auto-sélectionner en fonction de leur efficacité technique. Les contrats sont définis dans le cas de l'information complète où la collectivité locale possède toute l'information disponible sur l'exploitant et dans le cas de l'information incomplète où elle n'observe pas les caractéristiques productives de l'exploitant. Nous montrons par ailleurs que la spécification de la fonction de coût avec un paramètre d'efficacité non observable multiplicatif ne permet pas de différencier les deux cas. Nous proposons en conséquence une nouvelle forme qui intègre le fait que ce paramètre est étroitement lié à la qualité du réseau en termes de taux de pertes. Enfin, nous introduisons dans le modèle de régulation une fonction de dommage environnemental pour prendre en compte le fait que les stocks d'eau à partir desquels les usagers sont alimentés, ne sont pas inépuisables.

Enfin, l'objet du chapitre 5 est d'analyser et d'approfondir les résultats du chapitre précédent à partir des données à notre disposition. Après avoir estimé les paramètres de la fonction de coût, nous mettons en œuvre un exercice de simulation des contrats optimaux qui consiste à résoudre les conditions de premier ordre du programme du régulateur local par rapport aux volumes d'eau produits. Nous étudions en particulier leur trajectoire et celle d'autres variables économiques d'intérêt comme le bien-être des usagers et les rentes de l'opérateur privé en fonction de l'efficacité de l'exploitant. Nous analysons ensuite la sensibilité des solutions du système d'équations aux variations des paramètres d'information et de dommage qui ne peuvent pas être estimés directement à partir de la fonction de coût. Ces simulations nous permettent par exemple de mettre en évidence le résultat classique de la théorie des incitations sur l'arbitrage du principal

entre extraction de rentes et efficacité.

Partie 1 :

Étude de la technologie de l'alimentation en eau potable

Chapitre 1

Organisation et réglementation des services d'eau en France

1.1 Introduction

Décrire l'organisation et la réglementation des services liés à l'eau est un exercice difficile tant les domaines d'activité (techniques, économiques, juridiques, institutionnels) et leurs interconnexions sont nombreux et complexes. Cependant, avant d'entreprendre l'analyse économique d'un secteur d'activité, il est indispensable d'en connaître les mécanismes et le fonctionnement. L'accent sera mis dans ce chapitre sur les caractéristiques économiques et réglementaires du secteur de l'eau.

L'alimentation en eau potable, la collecte et le traitement des eaux usées (assainissement) sont, en premier lieu, des services d'intérêt général puisque l'eau est indispensable à la vie et à l'organisation des activités économiques, mais ce sont aussi des activités industrielles et commerciales.

Les spécificités du bien "eau" et de son marché font appel à de nombreuses notions économiques. Tout d'abord, La situation de monopole naturel local n'a jamais été aussi pertinente que dans le secteur de l'eau, en raison des économies d'échelle et des coûts fixes irrécupérables très élevés. Dans ce cas, lorsque l'organisation de l'activité est

confiée à une entreprise privée, l'intérêt privé et l'objectif de service public apparaissent clairement antinomiques mettant à défaut le marché.

Le secteur de l'eau est une industrie en réseau qui lui confère une infrastructure particulière reposant sur les interconnexions des canalisations de distribution. La nature collective du service permet aussi de classer l'eau potable dans la catégorie des biens de club. En effet, sa consommation n'entraîne pas, dans les pays équipés et hors pénurie particulière, de rivalité entre les usagers mais certains peuvent en être exclus. Les externalités de demande sont une conséquence de cette caractéristique : le bien-être de chacun est croissant avec le nombre d'usagers raccordés au réseau puisque les coûts sont partagés. Les problèmes de qualité de l'eau entraînent eux aussi des phénomènes d'externalité puisque les actions de certains usagers (pollueurs) peuvent avoir un effet négatif sur d'autres sans que cela soit pris en compte par le marché.

Dans ce contexte économique et juridique complexe, la théorie économique de la réglementation a pour but de pallier les imperfections du marché en le réglementant pour rechercher l'intérêt général.

Le choix réglementaire commence par le choix du mode de gestion du service en question ; et on remarque que les modes de gestion adoptés sont souvent liés à l'histoire du pays. Alors que dans les autres États de l'Union Européenne, la distribution d'eau potable et l'assainissement se caractérisent par l'utilisation de modes de gestion relativement uniformes — entreprises publiques locales (Stadtwerke) en Allemagne, entreprises privées en Angleterre et au Pays de Galles — la France connaît une assez grande diversité de modes de gestion qui lui confère une certaine originalité qualifiée parfois de "modèle français de gestion de l'eau". En outre, le rôle de l'État a été singulièrement remis en cause sous l'effet des lois de décentralisation.

Contrairement à d'autres secteurs de même type comme l'électricité et le téléphone, celui de l'eau n'a pas encore fait l'objet d'une véritable réflexion sur des bases théoriques quant à la mise en place de dispositifs et d'autorités de régulation. Il y a eu certes des évolutions en termes de réglementation qui se sont concrétisées par la loi de

1992 réactualisant le cadre législatif mis en place en 1964, la loi "Sapin" de 1993 pour mettre un terme aux pratiques illicites impliquant entreprises privées et responsables des collectivités locales et enfin la loi "Barnier" en 1995 sur la protection de l'environnement. Cependant, il n'existe pas d'autorités administratives et financières pour établir les règles économiques que devraient respecter les sociétés privées en charge du service public de l'eau.

Ce chapitre a pour but d'analyser le secteur de l'eau en France. Tout en décrivant les spécificités de la distribution d'eau potable et de l'assainissement, nous nous concentrons sur trois aspects essentiels : l'organisation du secteur, la nature de service public des activités et les problèmes de réglementation des services.

Dans la section 2 de ce chapitre, nous fournissons un bref descriptif de l'état de la ressource et de l'importance économique du secteur en quelques chiffres-clés. La section 3 explique comment les services d'eau potable et d'assainissement sont organisés en France en décrivant la structure économique du secteur, le rôle des différents intervenants et les différents modes de gestion. Nous examinons également l'évolution du cadre législatif du secteur de l'eau en quatre dates. La nature du service public et son financement font l'objet des sections 4 et 5. Enfin, la section 6 analyse les mécanismes réglementaires du point de vue de la théorie économique des incitations et des contrats.

1.2 État de la ressource et marché de l'eau en France

1.2.1 Données sur la ressource

L'eau est une ressource naturelle semi-renouvelable car son stock n'est pas inépuisable. C'est un bien vital puisqu'elle est essentielle à toute forme de vie, et qui plus est, ne possédant aucun substitut parfait. Ses usages sont multiples : domestiques, industriels, agricoles... Et parfois conflictuels. L'eau est aussi caractérisée par sa valeur écologique, esthétique et récréative. Il s'agit d'un bien fragile, volumineux et lourd, et donc difficile à transporter.

L'eau est globalement abondante en France puisque l'on dispose de réserves largement supérieures aux besoins de la population : les Agences de l'eau estiment que la capacité de stockage naturelle en France est élevée, avec des réserves atteignant 1 000 milliards de m^3 et une ressource potentielle annuelle par habitant de 3 600 m^3. En France[1], les précipitations représentent 440 milliards de m^3 en année moyenne et les ressources internes[2] sont évaluées à 170 milliards de m^3 par an en moyenne annuelle. Les ressources renouvelables disponibles couvrent largement nos besoins. Cependant, ces chiffres cachent des disparités régionales et temporelles. Chaque année, un nombre croissant de ressources en eau sont surexploitées, ce qui les rend impropres à la potabilisation[3].

Les prélèvements d'eaux brutes pour répondre à l'ensemble des besoins (centrales électriques, collectivités locales, agriculture, industries) ont été de 41 milliards de m^3 en 1994. Mais le total des consommations nettes annuelles[4] ne représente que 6 milliards de m^3, ce qui correspond à 103 m^3 d'eau par habitant et par an. Parmi ces 6 milliards, seulement 4,5 milliards de m^3 sont effectivement facturés. 60% de l'eau potable distribuée provient de ressources souterraines mais certaines régions comme la Bretagne ne disposent que d'une très faible quantité d'eau dans leurs sols à cause de leur structure granitique. La France compte 32 046 captages d'eau pour l'adduction collective en eau potable, dont 96% (31 111) sont des captages d'eau souterraine (puits, forages, sources) et 4% (1 295) sont des captages d'eau superficielle (lacs, cours d'eau). Toutefois les captages d'eau superficielle produisent 37% du volume distribué annuellement (source : Direction Générale de la Santé). Il y a 29 142 unités de distribution d'eau potable. Parmi elles, 2 109 desservent plus de 5 000 habitants, ce qui correspond à 73% de la population. A l'inverse, 27 033 desservent seulement 27% de la population (source : Direction Générale de la Santé). De source Ifen, en 1995, 81% des logements

[1] La plupart des chiffres cités ici sont des estimations pour l'année 1994 provenant de l'Institut français de l'environnement (Ifen).

[2] Ressources internes = précipitations − évapotranspiration + apports des fleuves des pays voisins.

[3] Nous pensons en particulier aux épisodes récurrents de pénurie d'eau potable en Bretagne ou dans la Beauce.

[4] Volumes d'eau non restitués au milieu aquatique.

étaient desservis par un réseau d'assainissement, 10% disposaient d'un système d'assainissement non collectif, et 9% d'aucun système. Le taux moyen de collecte des eaux usées dans les agglomérations de plus de 10 000 habitants (soit 62% de la population) était de 68%. Les stations d'épuration présentant un rendement moyen de 73%, on atteignait un taux de dépollution moyen d'environ 49% pour les eaux collectées.

Les hommes utilisent des quantités d'eau importantes mais la disparité de la consommation selon les pays, les habitudes et les usages est nette. Selon le C.I.EAU[5], un Français consomme en moyenne 156 litres d'eau par jour. Si l'on ajoute à ce chiffre de consommation domestique personnelle l'ensemble des consommations collectives (écoles, hôpitaux, lavage des rues, consommations dans le cadre du travail...), on obtient une moyenne d'environ 210 litres par jour et par personne. Actuellement, dans les pays de l'OCDE[6], la moyenne de consommation domestique par habitant s'établit à environ 180 litres par habitant et par jour. Elle atteint plus de 400 litres dans certaines villes des Etats-Unis. Parallèlement, dans beaucoup de villes d'Afrique, la consommation quotidienne est inférieure à 30 litres. En France, un foyer de trois personnes consomme en moyenne 150 m^3 d'eau par an. Toutefois, ce chiffre diffère sensiblement selon le revenu des personnes et différentes variables socio-économiques (habitat, âge...) et climatiques. Le montant que les ménages consacrent à l'eau est en constante augmentation. On considère qu'aujourd'hui la part des dépenses domestiques pour ce poste dans leur budget total est de l'ordre de 1%.

Si la majorité des Français déclare avoir confiance en l'eau du robinet, la question de sa qualité reste plus que jamais d'actualité. Cette eau indispensable à la vie n'a pas toujours les qualités requises pour sa consommation. D'après les indicateurs de qualité traditionnels, la qualité des eaux de surface s'est améliorée depuis plusieurs années avec une nette diminution des eaux de surface très polluées dues aux rejets industriels et urbains, grâce aux mesures prises pour le traitement des eaux usées. Mais en même

[5] Centre d'Information sur l'Eau.
[6] Source : OCDE.

temps, les eaux de très grande qualité sont en diminution. Quant aux eaux souterraines, elles connaissent une détérioration constante, en particulier par des pollutions dues aux nitrates surtout dans les zones de l'Ouest de la France (Bretagne, Charentes) mais aussi dans certains endroits de la Beauce. La qualité des nappes est meilleure au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'Est[7] de la France.

93% des captages d'eau souterraine et 94% des captages d'eau superficielle respectent les limites impératives de la directive communautaire 75.440/CEE sur la qualité des eaux brutes (source : Direction Générale de la Santé). Selon les Agences de l'eau, on estime la pollution engendrée par une personne utilisant 200 litres d'eau par jour à 70 à 90 g de matières en suspension, 60 à 70 g de matières organiques et 15 à 17 g de matières azotées. D'après un bilan réalisé par les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) en 1995 sur les réseaux les plus importants concernant les trois-quarts des Français, 55% de la population a reçu, au moins une fois dans l'année, une eau qui ne respectait pas une norme de potabilité. Pour 13% de la population, le dépassement a été supérieur à 30 jours.

1.2.2 Données économiques et financières

L'industrie de l'eau constitue un marché important, sur lequel la dépense nationale est élevée et les emplois nombreux. En 1995[8], la dépense nationale de mobilisation de la ressource en eau atteignait 29,22 milliards de francs. Elle était essentiellement constituée de dépenses de renouvellement des installations et des canalisations et, dans une moindre mesure, d'investissements destinés à améliorer la qualité des eaux distribuées et à sécuriser la distribution d'eau potable. La dépense nationale de gestion des eaux usées représentait quant à elle 56,2 milliards de francs, soit 968 francs par habitant. Elle s'élevait en 1997 à 1 041 francs par habitant devenant le premier poste de dépenses de protection de l'environnement. La dépense courante (dépenses de fonctionnement) augmente d'environ 11% par an, ce qui s'explique par l'augmentation de la quantité

[7]La nappe phréatique d'Alsace (160 Km de long sur 20 Km de large) est d'excellente qualité (source : Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace (APRONA)).

[8]Source : Agences de l'eau et Ifen.

d'eaux usées collectées et par la hausse des coûts de traitement.

Le chiffre d'affaires du secteur éco-industriel "Production et distribution d'eau" est passé de 17,5 milliards de francs en 1985 à 47,9 milliards en 1995 (en francs courants). Dans le même temps, l'effectif total des emplois de ce secteur passait de 23 000 à 32 900 personnes. Dans ce domaine, la France exporte bien son savoir-faire. Par exemple, le commerce extérieur des appareils de filtration ou d'épuration des eaux affichait un solde positif de 506 millions de francs en 1995. De même, le chiffre d'affaires réalisé à l'international par les grands groupes français était estimé à 16 milliards de francs en 1995.

En 1995, les activités dans les domaines de l'alimentation en eau potable et la gestion des eaux usées représentaient 95 000 emplois. Ce nombre d'emplois était estimé à 90 000 en 1990 et à 93 000 en 1992. Le secteur "Collecte et épuration des eaux usées" présente à l'heure actuelle le plus fort dynamisme ; les emplois progressent tant en masse qu'en technicité en raison du développement des stations d'épuration modernes. La répartition par catégorie professionnelle des emplois directs dans le domaine de l'eau montre la prépondérance des employés et ouvriers qualifiés (presque un tiers chacun de la totalité des emplois "eau").

L'ensemble du patrimoine[9] du secteur est évalué aujourd'hui à 630 milliards de francs par les services économiques de la FNTP[10]. Il se répartit entre les activités de l'eau potable pour 450 milliards de francs, des eaux usées pour 150 milliards de francs et des eaux pluviales pour 30 milliards de francs. Et l'ensemble des investissements nécessaires pour satisfaire aux normes européennes s'élèveraient à 350 milliards de francs voire 500 milliards de francs si l'on intègre les frais d'entretien et de réhabilitation.

Pour la période 1990-1994[11], les collectivités rurales ont engagé un montant d'investissement en eau potable (y compris le renouvellement) de près de 21 milliards de francs. Les dépenses prévisionnelles sur la période 1995-1999 s'élevaient à 32 milliards

[9] Réseaux et ouvrages.

[10] Fédération Nationale des Travaux Publics.

[11] Source : FNDAE : "Situation de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement des communes rurales en 1995" - Synthèse nationale et résultats départementaux.

de francs soit 1270 francs par habitant permanent. Pour l'assainissement et sur cette même période, elles étaient estimées à environ 30 milliards de francs soit 1201 francs par habitant permanent[12]. Le VII^e programme des Agences de l'eau (1997–2001) prévoit une aide aux investissements de 45 milliards de francs et une aide au fonctionnement de 12 milliards de francs.

Le prix moyen de l'eau (eau, assainissement et taxes) a progressé en moyenne de 5% par an entre 1995 et 1998. II s'établit actuellement autour de 17 francs/m^3. La hausse annuelle moyenne du prix de l'eau s'élevait sur la période 1992-1995 à 10% par an principalement à cause de l'impact de la directive du 21 mai 1991 sur l'assainissement[13]. Cela correspond à une augmentation du prix de l'ordre de 50% alors que l'inflation a été d'environ 10% sur cette même période. La hausse du prix moyen de l'eau se stabilise aujourd'hui autour de 2% et devrait rester modérée au cours des prochaines années. Le prix de l'eau a donc considérablement augmenté au cours de cette période : de 8,60 francs TTC en 1990 à 16,80 francs/m^3 en 1998. A titre de comparaison, c'est l'Allemagne qui a les prix les plus élevés d'Europe (20 francs/m^3), tandis que la Belgique, les Pays-Bas et la Grande-Bretagne ont enregistré les croissances les plus importantes sur la période allant de juillet 1991 à juillet 1993 (respectivement +22%, +18%, et +14% par an). En outre, l'évolution du prix de l'eau reste surprenante si on la compare à d'autres postes de consommation courante. Selon l'INSEE, on note que le prix de l'eau est passé d'une base 100 en 1990 à 164,5 en 1997 (en francs courants TTC), contre 106,9 pour l'électricité, 119 pour l'essence et 94,4 pour les télécommunications.

Une enquête de Conso 2000 (groupement de 17 associations de consommateurs) en mai 1995 a montré qu'il existait une différence de prix importante selon la taille des communes (voir tableau 1.1). On observe par ailleurs qu'en milieu rural, l'eau est souvent vendue à un prix inférieur pour différentes raisons (techniques de traitement de

[12] On distingue les habitants permanents des habitants saisonniers par le fait qu'ils résident dans la commune plus de six mois par an.

[13] La directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines transposée en droit français dans la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 précise les niveaux de collecte et de traitement des eaux domestiques ainsi que des eaux non domestiques raccordées au réseau urbain et des boues des stations d'épuration en fonction de la taille des agglomérations et de la sensibilité de l'écosystème récepteur.

TAB. 1.1 – Le prix de l'eau selon la taille des communes

Population	Prix moyen (TTC)
moins de 500 hab.	8,73 F/m^3
500 à 2000 hab.	10,52 F/m^3
2000 à 5000 hab.	12,33 F/m^3
5000 à 20000 hab.	12,56 F/m^3
20000 à 100000 hab.	13,32 F/m^3
100000 à 200000 hab.	12,36 F/m^3
plus de 200000 hab.	16,43 F/m^3

Source : Enquête Conso 2000, mai 1995.

l'eau et d'assainissement moins sophistiquées, nombreuses aides aux investissements, autorisation de recourir au budget général pour équilibrer le budget du service, service souvent de qualité inférieure à celui assuré dans les villes). Cependant, ces chiffres ne doivent pas masquer le fait que le coût du mètre cube d'eau potable est trois plus élevé dans les communes rurales que dans les zones urbaines (FNDAE 1990).

1.3 Organisation des services d'eau potable et d'assainissement

En France, la gestion de l'eau est une préoccupation ancienne des responsables publics locaux. Depuis 1790, les communes sont chargées du maintien de la salubrité publique et, à ce titre, de la fourniture de l'eau potable. C'est dans la seconde moitié du 19ème siècle qu'elles ont commencé à mettre en œuvre des services de distribution d'eau potable à domicile. Mais il faut attendre le début des années 1980 pour que 99% des habitants bénéficient de l'eau courante.

1.3.1 La structure du marché de l'eau

La séparation dans l'organisation des services

Dans l'organisation des services de l'eau, on observe deux activités différentes avec d'un côté les services de distribution d'eau potable comprenant la production, le trans-

port et la distribution d'eau potable, et de l'autre les services d'assainissement dont le but est la collecte et la dépollution des eaux usées. Elles constituent différentes étapes d'un seul cycle physique de l'utilisation de l'eau. En termes économiques et financiers, l'organisation de ce cycle en un service unique peut sembler, à première vue, justifiée[14]. Toutefois, la différenciation des services d'eau potable et d'assainissement s'explique assez facilement. D'une part, ces deux activités sont deux phases distinctes du cycle de l'utilisation de l'eau mettant en œuvre des facteurs de production différents et des compétences techniques différentes (seul le personnel administratif pourrait être mis en commun lors de l'exploitation des services). D'autre part, le souci de clarté et l'exigence de transparence financière prônés par les pouvoirs publics justifient cette séparation : le regroupement des deux services ne permet pas d'analyser avec précision l'évolution des coûts, des produits et l'origine d'éventuels déséquilibres, ce qui est pénalisant lorsque l'objectif est de fixer un prix pour équilibrer un budget.

Des monopoles naturels locaux incontestés

Les eaux potables ou usées sont des produits lourds, dont le transport est coûteux et le stockage difficile. En outre, l'eau potable doit respecter des obligations de qualité qui nécessitent une certaine proximité entre les lieux de production et de consommation. La distribution de l'eau et le traitement des eaux usées ont donc naturellement incombé aux collectivités locales. La production, le traitement et le transport engendrent des coûts fixes importants. Par ailleurs, l'impossibilité de réutilisation des infrastructures à d'autres fins commerciales ainsi que de construction de réseaux concurrents donne à ces coûts fixes un caractère irréversible et confère au secteur une nature monopolistique incontestable. De plus, la présence d'économies d'échelle provenant de l'existence de ces coûts fixes et de la nature du transport propre aux industries de réseau (canalisations et possibilité d'interconnexion) achève de démontrer que le coût minimal du bien ne peut être atteint que lorsqu'il est produit par une seule entreprise.

[14] La loi du 2 février 1995 autorise les communes de moins de 3000 habitants à avoir un budget unique pour l'eau potable et l'assainissement mais oblige la distinction des activités lors de la facturation.

1.3.2 Les acteurs du secteur de l'eau

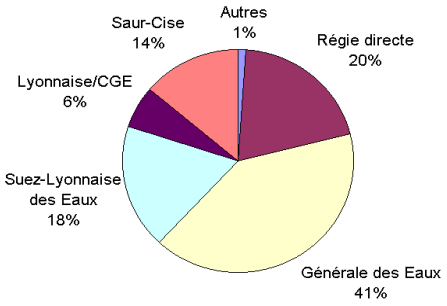
Les services de l'eau mettent en relation un grand nombre d'acteurs. Les principaux intervenants sont les communes ou groupements de communes responsables des services et les opérateurs privés lorsque les services publics de l'eau sont délégués. Mais un grand nombre d'acteurs institutionnels, administratifs, techniques ou économiques sont aussi présents. Leurs interventions se font à des échelles géographiques différentes : départementales, régionales, au niveau des bassins versants et nationales.

L'autorité responsable : la commune

Ce sont les communes qui sont chargées de l'organisation des services publics liés à l'eau. Cependant, les communes ont la possibilité de se regrouper au sein de structures de coopération intercommunales (Syndicat Intercommunal à Vocation Unique (SIVU), Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple (SIVOM), district, communauté urbaine, etc.). En effet, la particularité du découpage territorial en France (36 772 communes en 1995), les problèmes techniques et l'importance des investissements à réaliser, ont souvent amené les maires des municipalités à faire le choix du rapprochement pour une gestion moins coûteuse des services. Aujourd'hui, les différents regroupements réalisés ont permis de réduire le nombre de services de distribution d'eau potable à environ 13 500 (un peu plus pour l'assainissement).

Les autorités locales sont responsables de l'organisation des services d'eau potable et d'assainissement. Elles choisissent le mode de gestion des services et fixent en accord avec l'exploitant les termes du contrat si la gestion est déléguée. Ces termes concernent l'objet de la délégation et la durée du contrat, le périmètre de la zone desservie, les conditions de gestion des infrastructures et le prix de l'eau pratiqué par le délégataire. En outre, elles exercent un contrôle sur l'exécution du service et conservent la propriété des installations nécessaires au fonctionnement du service.

FIG. 1.1 – Gestion des services d'eau potable en % de population desservie (1995).



Source : Syndicat professionnel des entreprises de services d'eau et d'assainissement.

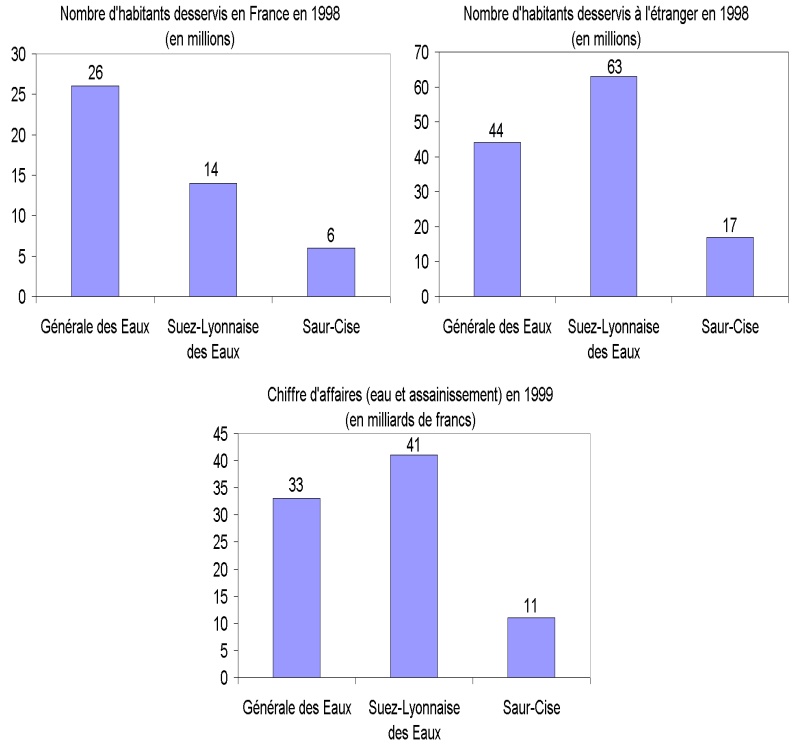
Les opérateurs privés

Trois entreprises privées se partagent les trois quarts du marché français de la distribution d'eau potable : la Générale des Eaux (groupe Vivendi), Suez-Lyonnaise des Eaux et Saur-Cise (groupe Bouygues). La figure 1.1 montre la répartition du marché entre les différents opérateurs en France.

Numéro un incontesté en France, la Générale des Eaux desservant quelques 25 millions d'habitants est chargée d'exploiter les services de grandes villes dont Lyon, Marseille, Toulouse (avec la Lyonnaise), Caen, Brest, Le Havre, Saint-Etienne, la rive droite de Paris, etc. Suez-Lyonnaise des Eaux se trouve en deuxième place sur notre territoire avec environ 14 millions d'habitants desservis, mais s'est montrée nettement plus active à l'étranger où elle est présente dans plus de 100 pays[15]. En France, elle gère les services d'eau de Bordeaux, Dijon, Dunkerque, Orléans, la rive gauche de Paris, etc. Saur-Cise est un intervenant plus récent sur le marché de l'eau et dessert "seulement" 6 millions d'habitants, principalement dans les zones rurales ; les plus grandes communes avec lesquelles cette entreprise ait contracté sont Nîmes et Brive. La figure 1.2 donne des chiffres-clés mesurant l'importance de ces grands groupes dans le secteur de l'eau.

[15]Depuis 1997, elle a remporté plusieurs grands contrats internationaux : Postdam en Allemagne, Cordoba en Argentine, Zongshan en Chine, Atlanta aux Etats-Unis...

FIG. 1.2 – Chiffres-clés des grands groupes privés en eau potable



Les instances de régulation

Outre les deux acteurs principaux que sont l'autorité organisatrice et l'exploitant (dans le cas de la régie directe, autorité et exploitant sont les mêmes entités), il existe différentes catégories d'intervenants que l'on peut distinguer selon les échelons territoriaux.

- L'échelon départemental :
  - **le préfet** anime et coordonne la politique de l'État en matière de police et de gestion des ressources en eau, de réglementation sanitaire et a autorité sur les services extérieurs des différents ministères (voir ci-dessous). Il assure le contrôle de légalité vis-à-vis des collectivités.
  - **La Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF)** a la charge des questions intéressant l'eau potable et l'assainissement (police de l'eau et des milieux aquatiques) et peut avoir des missions de conseil et de contrôle d'affermage pour les collectivités.
  - **La Direction Départementale de l'Equipement (DDE)** peut avoir des missions de même nature et exécute les missions confiées par ses ministères de tutelle en matière de grands travaux d'équipements hydrologiques, et de gestion de domaine public fluvial, d'urbanisme...
  - **La Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS)** est compétente pour toutes les questions de santé publique. Elle est chargée de la surveillance de la qualité des eaux potables, et parfois des stations d'épuration (assainissement collectif) et des fosses septiques (assainissement autonome).
- L'échelon régional :
  - **La Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS)**, **la Direction Régionale de l'Equipement (DRE)** et **la Direction Régionale de l'Agriculture et des Forêts (DRAF)** supervisent et coordonnent au niveau régional les administrations départementales.

  - **La Direction Régionale de l'environnement (DIREN)** assure entre autres la mise en œuvre de la réglementation française et des directives européennes relatives à l'environnement et donc à la qualité de l'eau.
  - **La Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE)** intervient dans tout ce qui concerne les installations classées (tout comme la DDAF), mais également la géothermie, le domaine minier...
- L'échelon du bassin :
  - **Le comité de bassin** regroupe les représentants de l'État, des collectivités locales, des usagers et d'autres personnes compétentes. Il élabore le ou les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) qui fixent les orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau. Il assure aussi l'harmonisation des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) élaborés par la commission locale de l'eau.
  - **L'Agence de l'eau** possède la personnalité civile et l'autonomie financière. Elle contribue à l'exécution des travaux d'intérêt commun en allouant des aides financières en contrepartie de prélèvements de redevances.
  - **la Commission Locale de l'Eau (CLE)** est composée de représentants des collectivités territoriales, des usagers et de l'administration. Elle définit, suit et supervise la mise en œuvre du SAGE.
  - **Le préfet de bassin et le délégué de bassin** représentent l'administration dans les organismes de bassin.
- L'échelon national regroupe différents comités ou missions interministériels ayant en charge de définir, examiner ou coordonner les politiques des différents ministères supervisant la politique de l'eau (ministères de l'intérieur, de l'environnement, de la santé et de l'agriculture).
- à l'échelon européen, la commission européenne est à l'origine de nombreuses directives sur l'eau qui sont retranscrites dans la réglementation française.

1.3.3 Les différents modes de gestion

Les services publics d'eau et d'assainissement peuvent être exploités directement (régies directes, régies avec seule autonomie financière ou/et avec personnalité morale) ou bien faire l'objet d'une délégation à une entreprise publique ou privée (concession, affermage, régie intéressée, gérance).

La concession est envisagée quand la collectivité veut confier la construction ou éventuellement la refonte et la modernisation des infrastructures à une entreprise publique ou privée. L'affermage est la forme de délégation la plus répandue actuellement en France, dans laquelle la collectivité confie les infrastructures à une société pour faire fonctionner le service. Il arrive souvent que l'affermage succède à un contrat de concession. La régie intéressée et la gérance se situent à mi-chemin entre affermage et régie directe. On ne peut pas parler de "privatisation" des services car, dans tous les cas, les infrastructures restent la propriété des municipalités ou le deviennent en fin de contrat de concession. Les différents modes de gestion sont décrits amplement dans l'annexe A.1.

Les collectivités locales ont le libre choix du mode de gestion de leurs services d'eau et d'assainissement qu'elles expriment après délibération de leur assemblée (conseil municipal, comité syndical...). Lorsque la gestion est directe, l'objectif des collectivités locales étant d'équilibrer leurs budgets de l'eau et donc de ne pas réaliser de profit, l'eau est facturée de façon à rembourser les coûts de l'activité (depuis 1992, comme nous le verrons plus loin). Cependant, la collectivité n'ayant aucune pression pour améliorer sa gestion, on peut penser que les efforts pour diminuer les coûts ne sont pas maximum. De plus, pour un service qui devient de plus en plus complexe du point de vue technologique, la formation des employés municipaux n'est plus toujours adaptée. Le choix de la gestion déléguée est donc souvent guidé par la recherche d'une compétence technique que la collectivité de taille modeste n'est plus capable d'assurer. De son côté, l'entreprise est rémunérée pour son service, et celle-ci va donc chercher à accroître ses profits en réduisant ses coûts.

TAB. 1.2 – évolution du type de gestion pour l'alimentation en eau potable

	1970	1980	1985	1990	1995
Taux de raccordement	92%	99%	99%	99%	99%
Population desservie totale	47 020 000	55 133 000	55 937 000	58 022 000	58 443 509
Population desservie par une régie	22 245 000 (47%)	22 604 000 (41%)	18 459 000 (33%)	14 486 000 (25%)	11 688 700 (20%)
Population desservie par un délégataire	24 775 000 (53%)	32 529 000 (59%)	37 478 000 (67%)	43 536 000 (75%)	46 754 800 (80%)
Nombre de communes en gestion déléguée	10 821 (29%)	17 737 (48%)	19 194 (52%)	20 490 (55%)	23 000 (63%)
Volume total vendu en gestion déléguée (millions de m^3)	1 320	2 095	2 510	3 131	–

Confrontées à des difficultés tant sur le plan financier que sur le plan technique, les collectivités locales ont été tentées par la délégation de la gestion des services publics de distribution d'eau potable et d'assainissement à des partenaires privés. Le tableau 1.2 montre la progression de la gestion déléguée pour la distribution d'eau potable depuis 1970.

1.3.4 La législation de la gestion de l'eau en France

Il ne s'agit pas ici de faire un inventaire exhaustif des textes législatifs et réglementaires qui se sont succédés depuis l'origine des politiques de l'eau mais plutôt de rappeler les principales lois qui ont marqué l'organisation de la gestion de l'eau en France. Les lois sur l'eau de 1964 et 1992 ont surtout contribué à introduire une démarche de gestion globale. Les rapports contractuels entre les communes et les sociétés délégataires des services de distribution d'eau et d'assainissement ont été précisés par la loi Sapin du 29 janvier 1993, la loi Barnier du 2 février 1995 et la loi Mazeaud du 8 février 1995 "relative aux marchés publics et délégations de service public".

La loi sur l'eau du 16 décembre 1964

C'est la première loi organisant globalement la gestion de l'eau. Elle précise et modernise le régime et la répartition des eaux et la lutte contre leur pollution. Elle crée une police de la qualité des eaux. Le territoire français est partagé en six grands bassins hydrographiques auxquels correspondent six Agences Financières de Bassin (rebaptisées "Agences de l'Eau"). L'idée étant de constituer un organisme d'incitation, de concertation et de promotion de la gestion des eaux, le territoire des Agences résulte d'un découpage naturel suivant les lignes de partage des eaux.

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992

Elle modifie la loi de 1964 sur la répartition, la police et la protection des eaux. L'eau fait partie du patrimoine de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de sa ressource utilisable sont d'intérêt général. L'eau a une valeur économique : elle peut donc devenir rare et chère. Cette loi institue la planification globale de la ressource en eau par la création des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) élaborés au niveau des bassins et des Schémas d'Aménagement des Eaux (SAGE) définis à des échelons géographiques inférieurs. Cette loi renforce notamment le rôle des collectivités locales dans le domaine de l'assainissement.

La loi "Sapin" du 29 janvier 1993

Cette loi n'est pas spécifique au secteur de l'eau. Désormais, le choix de l'entreprise délégataire doit être soumis aux règles de concurrence et donc faire l'objet d'un appel d'offre. La durée de cette procédure est de plusieurs mois. En particulier, la collectivité locale doit rédiger un cahier des charges précis dans lequel elle indique les différents objectifs à atteindre pour l'exploitant en matière de volumes d'eau produits, de prix et de service. La reconduction tacite des contrats avec les opérateurs sortants n'est donc plus autorisée. C'est une décision supplémentaire allant dans le sens de la durée déterminée des contrats de délégation.

La loi "Barnier" du 2 février 1995

La loi Barnier "relative au renforcement de la protection de l'environnement" n'est pas non plus consacrée au domaine de l'eau exclusivement. Cependant, elle fixe de nouvelles règles concernant les contrats entre collectivités et entreprises délégataires. En particulier, elle limite la durée des contrats à 20 ans, elle interdit le versement de droits d'entrée par l'entreprise privée. Des rapports annuels sur le prix et la qualité du service doivent être élaborés chaque année par les collectivités. La loi offre aux collectivités de moins de 3500 habitants la possibilité d'avoir un budget unique de l'eau et de l'assainissement collectif, sous certaines conditions (même mode de gestion, montants relatifs à l'assainissement et à la distribution d'eau potable apparaissant de façon distincte dans le budget et sur la facture...).

1.4 Les services publics d'eau potable et d'assainissement

1.4.1 Service public, service universel et service d'intérêt général

Plutôt que service public, le service de l'eau est défini en termes de service universel et service d'intérêt général dans les textes européens. Ces différentes notions ne sont pas synonymes. Lévêque (1998) décrit précisément leurs caractéristiques. La formule de service universel a été introduite par le droit communautaire lors de la communication des livres verts de la Commission sur les télécommunications et la poste. Elle regroupe uniquement les services marchands[16] et donc un droit d'accès "abordable" pour tous les citoyens est jugé indispensable ainsi que des instruments supplémentaires (subventions croisées, etc.) pour compenser les déficits entraînés par le service. La notion de service d'intérêt (économique) général est associée au droit de la concurrence européen et s'éloigne de l'idée de service public. En effet, l'objectif des textes liés à ce concept est davantage l'égalité de traitement des entreprises que celui des citoyens.

1.4.2 Compétences des collectivités locales

Le service public d'eau potable est devenu au fil des années un service public assuré par l'ensemble des communes au profit de la quasi totalité de la population. Cependant, comme l'écrit Bourdin (1998), le fondement juridique de l'obligation ainsi assumée est très flou ; aucun article du Code des Communes et maintenant du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT) ne mentionne que les communes doivent assurer la distribution de l'eau. Ce n'est qu'en effectuant un recoupement de textes que l'on peut en inférer une obligation communale. C'est la combinaison des articles 31-10 de la loi des 18 et 20 juillet 1837, L133-10 de la loi du 5 avril 1884 et l'article 9 de la loi du 15 février 1902 qui donne une compétence aux communes en matière d'eau potable.

[16] La notion de service public englobe également les services administratifs et les fonctions régaliennes de l'État.

Par ailleurs, il est intéressant de souligner qu'aucun article ne donne à la commune un monopole dans ce domaine.

En revanche, pour l'assainissement la loi est très précise. L'article L. 372-1-1 du CGCT stipule : «*les communes prennent obligatoirement en charge les dépenses relatives aux systèmes d'assainissement collectif, notamment aux stations d'épuration des eaux usées et à l'élimination des boues qu'elles produisent et les dépenses de contrôle des systèmes d'assainissement non collectif.*» Ainsi, l'assainissement entraîne des dépenses obligatoires pour les collectivités locales ayant des conséquences sur le plan financier, mais aussi sur le plan des responsabilités puisque l'ordonnateur peut voir sa responsabilité pénale engagée en cas de faute.

1.4.3 Principes des services publics

L'eau potable et l'assainissement sont des activités qui revêtent plusieurs aspects particuliers :

- On les classe dans la catégorie des Services Publics Industriels et Commerciaux (SPIC). La vocation industrielle et commerciale impose à ces services des règles particulières tant sur le plan juridique (les liens entre l'usager et le service relèvent du droit privé) qu'en matière budgétaire et de gestion de trésorerie (budgets équilibrés en recettes et en dépenses, interdiction d'alimenter les budgets de l'eau par le budget général de la collectivité hors dérogations, financement du service par l'usager).
- Les services de l'eau sont des services publics locaux par nature parce que le transport de l'eau est difficile et coûteux mais aussi comme on l'a vu plus haut, parce que sa distribution et son épuration apparaissent comme des compétences appartenant aux collectivités locales.
- Les services de l'eau mettent en œuvre des activités d'intérêt général et donc doivent respecter les principes des services publics.

Nous pouvons classer les principes des services publics en deux catégories. D'une part, il y a les principes traditionnels appelés aussi par Louis Rolland dans les années

trente, les lois du service public. Cela concerne en premier lieu le principe d'égalité devant le service qui signifie que ce dernier doit rester neutre sur trois points : l'accès au service, ses prestations et son tarif.

En particulier, le principe d'égalité des usagers devant le service public ne signifie pas que le prix de l'eau doit être identique pour tous les usagers, mais plutôt stipule l'interdiction de discrimination. Cela veut dire que des situations identiques doivent être traitées de manière identique mais que deux types d'usagers qui créent des coûts différents au gestionnaire du service public peuvent payer un prix différent. Ainsi, on observe des disparités dans les prix d'une commune à l'autre ; de même au sein d'une même collectivité, un industriel peut avoir droit à un tarif dégressif alors qu'un ménage paie une facture proportionnelle à sa consommation.

On trouve aussi le principe de continuité du service. Cette priorité accordée à la permanence du service implique que chaque usager doit disposer à chaque instant du jour et de l'année du service à domicile. Le principe de mutabilité signifie que le service doit pouvoir s'adapter chaque fois qu'il le faut pour l'intérêt général.

D'autre part depuis quelques temps, de nouveaux principes apparaissent comme une nécessité à côté des lois traditionnelles. Le principe de transparence permet d'informer tous ceux qui sont en contact avec le service public (usagers, collectivités...). Le principe de participation veut associer et responsabiliser les usagers vis-à-vis de la gestion du service public.

Ces principes de service public s'imposent à tous les gestionnaires (publics ou privés) de toutes les collectivités et à tous les usagers. Ils sont plus amplement détaillés dans l'annexe A.2.

1.4.4 Obligation de qualité

En ce qui concerne la distribution d'eau potable, la CEE a adopté une directive datée du 16 juin 1975 concernant la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire. Le texte important pour le responsable de l'eau potable reste la directive du 15 juillet 1980 relative à la qualité des eaux destinées à la consom-

mation humaine fixant les concentrations maximales admissibles pour 65 paramètres de qualité de l'eau potable. Pour être conforme à ces directives européennes, la France a promulgué après le décret du 3 janvier 1989 un grand nombre de circulaires sur les eaux brutes (eaux superficielles et profondes) et les eaux destinées à la consommation humaine.

Une nouvelle directive concernant la qualité des eaux destinées à la consommation humaine a été adoptée le 3 novembre 1998 par l'Union Européenne, elle devait être transcrite dans la loi française à l'échéance du 25 décembre 2000 et entrer en vigueur fin décembre 2003. Elle ramène le nombre de paramètres de 65 à 48, abaissant les concentrations maximales autorisées de certains produits (plomb, nickel...). Le contrôle de la qualité de l'eau s'effectuera désormais au robinet du consommateur.

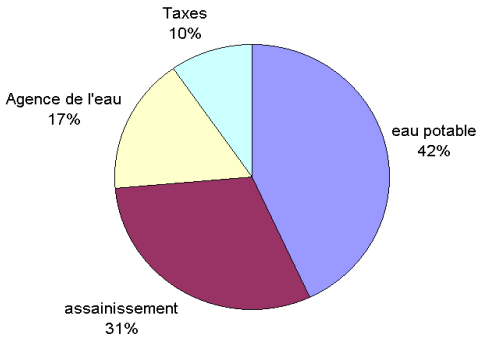
Quant à l'assainissement, la France se plie à la directive européenne du 21 mai 1991 fixant les normes relatives aux traitements des eaux résiduaires urbaines. Le point fort de ce texte est qu'il rend obligatoire l'équipement en systèmes de collecte et d'épuration des eaux usées pour toutes les collectivités hors zones d'assainissement non collectif qui doivent être délimitées. Un échéancier précis prend en compte la taille des communes et la sensibilité de la zone.

1.5 Le financement des services publics de l'eau

1.5.1 La tarification

Il y a trois éléments distincts dans le prix des services de l'eau : eau potable, assainissement et une partie "taxes et redevances".

- La composante eau potable se décompose elle-même généralement en deux parties :
  - une partie fixe (abonnement) qui est le montant annuel à verser quelque soit la consommation d'eau, qui doit couvrir les frais de mise à disposition du service (entretien des installations, relevés des compteurs, facturation...). Elle peut varier en fonction du diamètre du compteur.



Source : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes, 2000.

FIG. 1.3 – Décomposition de la facture d'eau en 1999.

  - Une partie variable qui dépend de la consommation d'eau relevée au compteur.
- La composante assainissement couvre les frais de collecte et de traitement des eaux usées.
- Les taxes et redevances
  - les redevances prélevées par les Agences de l'eau (préservation des ressources et lutte contre la pollution),
  - les taxes fixées au niveau national (TVA, FNDAE, voies navigables de France).

Avant la loi du 3 janvier 1992, la facturation au forfait était très courante. Elle est définitivement interdite depuis le 4 janvier 1994 quelque soit le mode de contrat. En effet, cette tarification ne reflétait pas la consommation des usagers et était fixée selon des critères techniques. Elle s'est avérée d'une part inéquitable mais aussi inefficace car elle n'incitait pas les usagers à économiser l'eau. Aujourd'hui, le prix de l'eau doit dépendre du volume d'eau consommé mais on autorise toutefois une partie forfaitaire pour couvrir les charges fixes : c'est la tarification binôme. Ce principe est adopté aussi par des entreprises dans d'autre secteurs : télécommunication ou électricité par exemple. Par contre, chaque service d'eau évoluant dans un environnement différent, il y a une tarification différente pour chaque distributeur : la péréquation du prix de l'eau n'existe pas.

1.5.2 Subventions croisées

Le nouveau droit de l'eau issu de la loi de 1992 et les réglementations qui ont suivi reflètent la volonté des pouvoirs publics de se mettre en conformité avec les réalités économiques du service. En particulier, la mise en place de services d'eau et d'assainissement autonomes, équilibrés et financés par l'usager s'est traduite par l'obligation pour les services de suivre l'instruction comptable M49 directement inspirée du plan comptable général de 1982 et publiée au Journal Officiel du 5 octobre 1991.

L'article 224-1 du CGCT réaffirme le principe de l'équilibre des services d'eau et d'assainissement. Il interdit la compensation pure et simple du déficit de fonctionnement par le budget général et inversement, sauf exception prévue par la loi. De plus, la loi du 2 février 1995 oblige de faire une distinction entre eau et assainissement. Dans certains cas, elle autorise la création d'un service unique pour les communes de moins de 3000 habitants, mais elle oblige dans la facturation à distinguer ce qui relève de l'eau et ce qui correspond à l'assainissement.

1.5.3 Droits d'entrée

Il est vrai que l'article L. 1411-2 du CGCT autorise dans certains contrats la réclamation d'un droit d'entrée par l'autorité concédante au délégataire. Néanmoins, le législateur par la loi du 2 février 1995 interdit le versement de droits d'entrée, droit d'utilisation ou droit d'usage dans le secteur de l'eau potable et l'assainissement : «*le versement par le délégataire de droits d'entrée à la collectivité délégante est interdit quand la délégation concerne l'eau potable, l'assainissement...*». La pratique du droit d'entrée avait des conséquences néfastes pour la concurrence lors de la négociation des contrats de délégation.

1.5.4 Le financement des investissements et les subventions directes

Dans la cas d'un contrat de concession, c'est l'entreprise privée qui est en charge du financement des investissements. Dans tous les autres cas (affermage sans clauses concessives, gestion publique...), ce sont les municipalités, ou leurs groupements, qui doivent réunir les fonds nécessaires à la réalisation ou à la rénovation des ouvrages.

Outre la rémunération du service par les usagers, plusieurs régimes d'aides financières existent au profit des communes et leurs groupements :

- les Agences de l'eau aident fortement les communes.
- Depuis la décentralisation, les subventions de l'État ont considérablement diminué. Les départements et les régions, partenaires habituels des communes contribuent également au financement des investissements. Cela peut prendre la forme de subventions ou bien de bonification des intérêts des emprunts.
- Les départements sont chargés de l'affectation des fonds mis en répartition par le Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE). C'est un fonds de solidarité villes-campagnes qui vise à compenser les surcoûts d'investissement pour les communes rurales dus à la dispersion et à la faible densité des habitations.

1.5.5 Difficultés pour les régies

Il est souvent constaté que les régies de taille modeste font face à des difficultés principalement d'ordre technique et financier. Face à de nouveaux objectifs de qualité imposant la mise en œuvre de technologies plus complexes, les services en régie manquent parfois de personnels hautement qualifiés. Ceci ajouté à la faiblesse de l'effectif employé est souvent la cause d'inefficacité de gestion et donc de coûts d'exploitation élevés. De plus, le mauvais état des réseaux et l'absence de rigueur dans les procédures comptables et de facturation accroissent les difficultés de gestion.

Le manque de rigueur dans la gestion a évidemment des implications néfastes sur

le plan financier. En outre, le retard pris par les collectivités dans l'application de l'instruction M49 semble être la principale cause de ces insuffisances de gestion. En particulier, la mauvaise gestion de la trésorerie mais surtout la programmation hasardeuse des investissements et la maîtrise insuffisante de leur réalisation se retrouvent dans les charges financières et donc dans le prix final facturé à l'usager.

1.6 Les outils de la régulation lors de la délégation des services

La possibilité pour les communes de déléguer les services des eaux est très ancienne. Elle est apparue dès la mise en place des premiers réseaux d'eau à Paris (1808) et Toulouse (1818) et a connu une expansion constante créant la singularité du modèle français, voir Guellec (1995). Aujourd'hui, le secteur de l'eau potable et de l'assainissement en France est caractérisé par la domination d'un tout petit nombre de grands groupes qui, par ailleurs, interviennent dans d'autres secteurs aussi variés que les déchets, l'énergie, les travaux publics ou les télécommunications.

En référence à la théorie de la régulation, plus particulièrement au paradigme principal-agent, nous pouvons considérer que la collectivité locale qui confie l'exploitation de son service d'eau à un opérateur privé occupe le rang de principal et l'opérateur choisi celui de l'agent. Le problème essentiel que l'on rencontre dans un modèle principal-agent est informationnel. Les entreprises privées possèdent une information sur leur technologie et les coûts pour exploiter le service que les collectivités n'ont pas. C'est à partir de cette imperfection du marché, en dissimulant ses vrais coûts, que l'entreprise délégatrice peut réaliser des rentes. Réciproquement, le mode de fixation du prix et les obligations de service peuvent résulter en un risque financier à la charge du concessionnaire ou fermier. Lorsque la collectivité décide de faire appel à une entreprise privée, c'est dans le cadre d'un contrat pluriannuel définissant les règles que doit respecter le prestataire de service. Cela concerne les termes des prestations attendues, le prix de l'eau payé par

les usagers ainsi que la formule de révision des prix, et, dans le cas de l'affermage, la part reversée par la société fermière à la municipalité au titre des investissements.

L'autre problème propre au secteur est lié au fait que l'entreprise exploitante exerce son pouvoir de monopole sur les usagers. En France, les communes représentent les citoyens usagers. Par là, on introduit un élément de pouvoir de décision collectif dans le modèle français de régulation. Il n'y a pas de supervision permanente d'un régulateur mais une sorte de concurrence organisée à intervalle régulier par le biais de contrats à durée prédéterminée conclus entre les communes et les sociétés privées, permettant ainsi de réduire un peu leurs profits.

1.6.1 La mise en concurrence de la délégation

Ici, lorsque nous parlons de concurrence, il ne s'agit pas du jeu sur le marché au sens traditionnel du terme, mais une sorte de mise aux enchères des droits exclusifs pour l'exploitation du service aux risques et périls de l'entreprise.

Depuis la loi "Sapin" du 29 janvier 1993, toute collectivité qui procède à une délégation de service public a l'obligation de recourir à une mise en concurrence sous peine de sanctions graves à l'encontre des dirigeants de la collectivité. Ainsi, le CGCT prévoit deux types de mise en concurrence :

- l'appel d'offre sur concours pour lequel la collectivité est seulement tenue de présenter un document définissant les deux points obligatoires vus dans le paragraphe précédent et un rapport explicatif du maire.
- La mise en concurrence sur la base de spécifications précises qui demande l'élaboration d'un dossier présentant les caractéristiques de la délégation de façon plus approfondie.

Toutefois, les deux conditions préliminaires au bon fonctionnement de ce mécanisme sont qu'il y ait un nombre suffisant d'entreprises se présentant lors de la mise en concurrence et qu'il n'y ait pas d'entente entre elles. En effet, il ne serait pas impossible qu'un opérateur privé décide de laisser un service à son concurrent en échange d'un

autre dont elle a la charge depuis plusieurs années.

1.6.2 Le type de contrat comme mécanisme incitatif

La théorie des contrats propose des instruments pour corriger les distorsions économiques qui sont la conséquence de l'existence d'une asymétrie dans la distribution de l'information entre principal et agent. Les problèmes d'information peuvent se résumer, nous l'avons dit, au fait que le principal qui confie l'exploitation d'un service à un agent ne connaît ni ses caractéristiques techniques, ni l'effort qu'il est prêt à consentir pour gérer efficacement son activité. Le principal doit arbitrer entre l'efficacité de l'agent en termes de coût et l'extraction de ses rentes. Il est d'usage de représenter cet arbitrage par les deux types de contrat suivants :

- les contrats fondés sur des prix fixes ou plafonnés ("price cap") ont un pouvoir incitatif élevé mais également un coût élevé en termes d'abandon de rentes,
- les contrats fondés sur des formes de remboursement des coûts ("cost plus") ont un pouvoir incitatif faible mais sont peu coûteux.

On montre que les entreprises les plus efficaces ont intérêt de choisir un contrat "price cap" et les autres un contrat "cost plus".

Les collectivités délégatrices des services publics d'eau et d'assainissement disposent d'une large liberté pour rédiger les contrats de délégation. Néanmoins, l'assemblée délibérante de la collectivité doit en premier lieu se prononcer obligatoirement sur deux points :

- le type de contrat (qui doit être mentionné dans les avis de mise en concurrence),
- les caractéristiques quantitatives et qualitatives des prestations que doit assurer le délégataire et les conditions de tarification du service rendu à l'usager.

Les collectivités sont totalement responsables de leurs choix. Elles doivent donc élaborer des contrats équilibrés c'est-à-dire qui incitent le délégataire à offrir le meilleur service en garantissant le prix le plus satisfaisant pour les usagers. Pour la rédaction du contrat, les collectivités peuvent se référer aux contrats-types existants. L'annexe

A.3 présente un descriptif détaillé du contenu du contrat de délégation classique.

Le mode de délégation influence le comportement de gestion de l'opérateur.

La formule de la **concession** incite l'entreprise privée à faire les travaux d'investissement en début de contrat puis à exploiter le service en en ralentissant le rythme au fil des ans. Le moyen pour la collectivité de pousser le délégataire à améliorer son service tout au long de la période d'exploitation est d'introduire dans le contrat des objectifs à atteindre à date fixée et d'en vérifier régulièrement la réalisation. Cela correspond à la mise en place d'un taux de rendement ("rate of return") implicite pour le capital, choisi par les deux signataires du contrat, devant de fait couvrir la prise de risque du délégataire.

Les contrats d'**affermage**, les frais de premier établissement étant engagés, incitent le fermier à une bonne gestion de son service dans la mesure où son objectif est d'accroître son résultat d'exploitation et donc de réduire ses coûts. La collectivité doit alors s'assurer que cette diminution des coûts ne se fait pas au détriment de la qualité du service fourni aux usagers ni de la gestion de la ressource (en laissant le réseau en mauvais état par exemple).

La **gérance**, tout comme l'affermage, a pour effet d'améliorer l'efficacité du service en incitant l'exploitant à une meilleur productivité. Sa formule de tarification se rapproche du "price cap" car le tarif des prestations est fixé par le contrat. Ce système va donc inciter le gestionnaire à réduire ses coûts. Le problème de la collectivité est de choisir correctement ce tarif de façon à ce que le gérant ne soit pas obligé de faire des économies excessives, ni au contraire dispensé de tout effort.

Le contrat de **régie intéressée**, comme son nom l'indique, se situe à mi-chemin entre la gestion publique et la gestion déléguée puisque la participation de l'entreprise privée à l'exploitation est faible. La rémunération de l'opérateur en fonction des résultats de l'exploitation l'encourage à des efforts dans le sens d'une amélioration de la performance d'ensemble du service.

1.6.3 Le contrôle de l'exécution des contrats

Nous avons vu que les collectivités étaient responsables de l'organisation du service public d'eau et d'assainissement, et notamment du choix du mode de gestion et de la définition des règles de fonctionnement du service. Il est un pouvoir supplémentaire dont on a peu parlé qui est le contrôle de l'exécution du contrat.

Dans le cas de la distribution potable, il porte sur trois points :

- la gestion technique des installations appartenant à la collectivité,
- la gestion financière du service délégué,
- la qualité des prestations fournies aux usagers.

En ce qui concerne les aspects techniques et de qualité des prestations fournies aux usagers, la plupart des entreprises délégataires respectent leurs engagements. En revanche, l'aspect financier du contrôle est celui qui est le plus problématique. En effet, les comptes-rendus financiers des entreprises délégataires sont d'un laconisme patent comparé aux comptes administratifs détaillés d'une gestion en régie. Ceci permet aux sociétés une grande flexibilité dans le jeu comptable. Malgré les nombreuses dispositions du code des communes tentant de préciser ces aspects financiers, les délégataires ont toujours opposé le "secret commercial" aux tentatives d'éclaircissement de leurs comptes.

1.7 Conclusion

En France, les services d'eau potable et d'assainissement sont sous la responsabilité des communes. Toutefois, une grande partie des collectivités locales choisissent de déléguer ces services publics à des opérateurs privés plutôt que de les gérer directement. L'organisation du secteur de l'eau, la diversité des modes de gestion et certains points de la législation ont fait l'objet de ce chapitre. Ils sont autant de thèmes qui différencient la France des autres pays européens. Néanmoins, on relève que la voie choisie par la France dite de délégation partielle des services est de plus en plus adoptée par d'autres pays en Europe (Espagne, Allemagne...). Elle est aussi recommandée pour les

pays en voie de développement par plusieurs instances internationales dont la Banque mondiale.

Dans la dernière section de ce document, nous montrons comment par le biais des différents types de contrats et le système de remise en jeu de l'exploitation des services par les collectivités, il est fait appel à certains outils de régulation recommandés par la théorie économique.

Ce premier chapitre descriptif du secteur de l'eau permet de cadrer et de clarifier la discussion sur la gestion des services d'eau. Il permet également de mettre en évidence les différentes questions que peuvent se poser les responsables politiques, les experts et même les usagers. Les prochains chapitres ont pour objectif d'y apporter des éléments de réponse et s'agenceront de la façon suivante. L'étape préliminaire qui sera l'objet du chapitre 2 de cette partie est l'étude de la technologie de l'alimentation en eau potable par le biais de l'estimation d'une fonction de coût des services. Une fois ce travail réalisé dans un cadre simple d'information complète, il est possible d'introduire les problèmes liés à l'information incomplète dans la perspective d'étudier les relations entre un régulateur et un exploitant en charge du service. C'est en effet la source principale des difficultés rencontrées par le régulateur lorsque celui-ci incite l'agent à mettre en œuvre les actions les plus efficaces.

Chapitre 2

Structure des coûts d'alimentation en eau potable

2.1 Introduction

Depuis plusieurs années et dans la plupart des pays industrialisés, la gestion des services publics d'Alimentation en Eau Potable (AEP) et d'assainissement est l'objet de débats récurrents. Très tôt, les questions que se posaient les décideurs politiques ont été soumises aux économistes. De nombreuses études principalement américaines ont été réalisées sur le sujet, voir Ford and Warford (1969), Crain and Zardkoohi (1978), Kim (1987), Teeples and Glyer (1987), Bhattacharyya, Harris, Narayanan, and Raffiee (1995), parmi d'autres. Cependant, les résultats d'estimation sur les rendements d'échelle et ceux sur la comparaison des gestions publique et privée sont très hétérogènes et ne sont pas toujours concluants. En outre, les travaux similaires effectués sur des services d'eau potable français sont pour ainsi dire inexistants. À notre connaissance, seule l'étude de Sage (1999) consacrée à la concurrence par comparaison avec une application au secteur de l'eau en France se penche sur le côté offre du marché de l'eau. Cette thèse contient une analyse empirique sur les prix de l'eau réalisée à partir d'un échantillon de services d'eau français. Cependant, elle ne traite pas spécifiquement la question de la technologie et des coûts de la fourniture en eau potable.

Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'en France, l'exploitation des services pouvait être soit directement réalisée par la collectivité soit confiée à une entreprise spécialisée. L'AEP étant caractérisée par une exploitation monopolistique, la gestion des services d'eau par des entreprises privées est source d'inefficacité, principalement à cause de l'information privée détenue par les exploitants sur leur technologie. D'un autre côté, les arguments contre une gestion publique sont nombreux : difficulté croissante pour recevoir des fonds publics, sur-utilisation de la dette, coûts d'exploitation élevés, etc.

Dans ce contexte et dans le cadre de l'élaboration d'un système de tarification et de réglementation efficace pour le secteur de l'eau, une évaluation des coûts des services est au préalable nécessaire. Dans une perspective de régulation du secteur de l'eau, il apparaît indispensable d'étudier la structure du coût des services d'eau. En particulier, cette étape est essentielle pour des autorités publiques désirant mettre en place des schémas de régulation incitatifs basés sur le mécanisme de prix-plafond ("price-cap"), le principe de remboursement des coûts ("cost-plus"), la concurrence par comparaison ("yardstick competition") ou bien sur la performance.

Les pratiques actuelles de tarification des services d'eau sont soumises aux critiques des économistes pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les prix sont établis à partir des dépenses moyennes annuelles et ne reflètent donc pas les coûts marginaux des services. Ensuite, le cycle et la structure des demandes sont totalement négligés. De plus, l'eau étant une ressource naturelle semi-renouvelable, les problèmes inhérents à sa nature doivent aussi trouver leur place dans la gestion du service.

Trois caractéristiques de la distribution de l'eau potable sont particulièrement intéressantes à analyser. Premièrement, l'eau potable destinée aux différents usagers est obtenue à partir d'une eau brute, non traitée. Ce facteur a un accès réglementé mais libre dans le sens où son prix est nul. C'est pourquoi il n'est pas traité de la même façon que les autres facteurs de production que sont le travail, l'électricité et le matériel. Par conséquent, le seul coût pour accroître la quantité de ce facteur eau dans le réseau est

le coût marginal associé à sa production, à savoir essentiellement les coûts d'énergie et de traitement.

La seconde caractéristique est l'existence de pertes d'eau sur le réseau en aval de la mise en distribution du volume d'eau destiné aux usagers. C'est une des causes d'inefficacité d'ensemble du système et clairement un point à ne pas négliger pour les gestionnaires des services en termes de coût d'opportunité du volume d'eau perdu. D'un point de vue public, les pertes d'eau sont indésirables dans le contexte de politiques de protection de la ressource, en particulier dans les régions où l'eau n'est pas abondante.

La façon dont ces pertes interfèrent avec l'eau destinée aux usagers finals n'a pas été pleinement prise en compte dans la littérature économique sur les services publics d'AEP. Les responsables des services d'eau ont intérêt à tenir compte de ces interactions. S'ils produisent un volume d'eau perdu non optimal, ils ne distribuent pas l'eau potable au coût le plus bas. Donc, s'ils cherchent à réduire ce type d'inefficacité, ils doivent ajuster le niveau des pertes en fonction du volume d'eau demandé et du coût de prévention des pertes.

De leur côté, les autorités de régulation environnementale devraient également tenir compte de ce problème lorsqu'elles élaborent des systèmes de régulation basés sur la performance des services. Si cette performance se mesure en termes d'adéquation des infrastructures à la zone desservie et au volume d'eau potable mis à disposition, les instances préoccupées par l'état des stocks des ressources doivent porter une attention particulière au rendement des réseaux. En effet, un taux de perte trop élevé pourrait signifier que les installations fonctionnent en surcapacité et qu'un réseau de meilleure qualité permettrait une extraction plus raisonnable et ainsi des économies d'eau brute.

D'un point de vue environnemental, les pertes d'eau dans le réseau doivent être réduites autant que possible. Si nous considérons que l'eau brute a une valeur économique non nulle appelée aussi prix fictif "in situ", le dommage social associé aux pertes pourrait être calculé simplement comme le produit de ce prix et du volume d'eau perdu. Ce problème peut finalement se résumer à un arbitrage entre la réparation des fuites et l'accroissement du bien produit, lorsqu'il faut répondre à la demande des usagers et

qu'il existe des pertes en réseau.

Notons toutefois qu'un tel raisonnement perd un peu de son poids si l'exploitation du service d'eau potable intègre à la fois les étapes de production et de distribution. En effet, une façon de remédier à ces gaspillages d'eau serait de préconiser la séparation des activités production et distribution en deux services publics distincts. Dans ce cas, le service en charge de la distribution a clairement intérêt à minimiser les pertes du système, l'eau provenant du service de production devenant alors un facteur de production. Par conséquent, le gain à la séparation des activités de production et de distribution dans un service public d'eau dépend de l'importance des économies de coûts réalisées lorsque le service s'autorise un certain volume d'eau perdu.

La troisième caractéristique du secteur est la possibilité pour les services d'eau d'atteindre une meilleure efficacité d'ensemble de différentes manières. Cela est possible de par la nature même des réseaux, qui permet une connexion relativement aisée des usagers. En augmentant le nombre de connexions, davantage d'usagers sont présents sur le réseau, pour un volume d'eau distribué qui peut rester plus ou moins stationnaire. Une autre possibilité est le regroupement de plusieurs communes sous la forme d'un syndicat intercommunal, une pratique qui permet de partager les coûts fixes et les coûts administratifs et de limiter les risques de déficit d'eau en cas de sécheresse. Le bénéfice de tels rapprochements dépend de manière cruciale de l'existence d'économies d'échelle.

L'intérêt de l'analyse de la structure des coûts d'AEP, au-delà de son apport indispensable pour la réglementation du service, est donc multiple. L'analyse du comportement des gestionnaires des services d'eau est également importante en ce qui concerne les aspects techniques, environnementaux et de bien-être social. Dans un secteur où la ressource doit être protégée, il semble approprié d'évaluer le degré d'efficacité technique des services dans leur ensemble pour différentes raisons.

D'abord, une recherche poussée sur la structure des coûts peut aider à détecter et à réduire les inefficacités techniques et économiques avec des bénéfices sociaux directs sous la forme de baisse du prix de l'eau. Ensuite, la possibilité pour les services de

tenir compte des effets d'échelle permet de réduire les coûts moyens d'exploitation. Une bonne connaissance de la technologie employée peut donner des indications sur d'éventuels gains au branchement de nouveaux abonnés ou au développement des réseaux (regroupement de communes). Enfin, le gaspillage d'eau sous la forme de pertes en réseau doit aussi être intégré dans l'analyse afin de donner des éléments nouveaux pour les arbitrages que doivent faire les responsables des services et des instances de régulation.

Dans la littérature économique appliquée aux services d'eau, les auteurs ont d'abord considéré un seul bien produit, correspondant au volume d'eau facturé aux usagers du service. Mais ils ont rapidement reconnu que l'analyse multi-produits avait de nombreux intérêts, en particulier pour différencier les usagers qui occasionnaient les coûts les plus importants au service. Plus récemment, les chercheurs ont alors entrepris d'étudier la technologie d'AEP en désagrégeant le volume d'eau total distribué en fonction des différentes destinations correspondant à différents types d'abonnés (ménages, entreprises...). On peut citer pour ces applications au cadre multi-produits, l'article de Hayes (1987) dans lequel les ventes d'eau au détail et les ventes en gros sont séparées, et celui de Renzetti (1992b) qui fait la distinction entre usagers domestiques, commerciaux et industriels.

Le travail que nous proposons tente de prendre en compte les différents aspects que nous avons soulignés mais dans un cadre nouveau trop souvent négligé dans les études précédentes. Nous considérons les pertes d'eau en réseau comme un bien produit conjointement au volume d'eau qui est facturé aux usagers. Le phénomène de fuites est une caractéristique particulière des réseaux d'eau. Ainsi, l'analyse du processus de production intégrant ces pertes est de nature à donner de précieuses indications aux gestionnaires des services et aux décideurs politiques. D'autre part, négliger cet aspect dans l'étude des réseaux peut mener à des résultats peu fiables si les décisions des responsables des services ne sont pas indépendantes de ces pertes d'eau. Par exemple, l'accroissement de la production d'eau peut résulter d'un choc de la demande des usagers, mais aussi

de la nécessité de répondre en quantité aux besoins des usagers si les pertes d'eau sont importantes. Si les décisions du service d'eau sont considérées simplement dans un cadre mono-produit, des déductions incorrectes peuvent résulter de l'observation de telles variations dans la production. Malgré ces arguments, à notre connaissance, la littérature sur l'analyse de production dans le secteur de l'eau n'a jamais pris en compte ces problèmes.

Dans ce chapitre, nous proposons par le biais de mesures classiques de rendements appliquées au secteur de l'eau, une analyse détaillée de la technologie de production à partir de variables techniques de réseau et des effets de leur variation. Cette approche nous permet d'apporter des indications utiles sur la performance des réseaux des services existants en réponse aux variations de la demande d'eau. Nous définissons cette performance en termes d'élasticités de coût par rapport à la production, à la taille du service et aux infrastructures de stockage et de pompage, ainsi qu'au nombre d'abonnés branchés sur le réseau d'eau. En outre, les mesures d'économies d'échelle qui dépendent notamment du nombre de communes desservies par le service d'eau nous permettent d'étudier la pertinence du regroupement de ces communes au sein d'un syndicat des eaux. Enfin, nous introduisons le concept de complémentarités de coût pour étudier le gain à produire conjointement un volume d'eau consommé et un volume d'eau perdu.

Dans la section 2 de ce chapitre, nous décrivons la technologie mise en œuvre dans les réseaux d'AEP. La troisième section concerne la modélisation économique du processus de production, qui nous amène à l'étude de la fonction de coût variable d'AEP. La section 4 rappelle les définitions des mesures de rendements de densité et d'échelle ainsi que d'autres notions importantes de l'analyse de production. Enfin, la dernière section conclut ce chapitre en apportant des commentaires supplémentaires sur notre modélisation.

2.2 Le réseau et la technologie de l'alimentation en eau potable

Les objectifs généraux du service sont de produire une eau de bonne qualité à partir d'une eau brute pouvant nécessiter un traitement, puis de la mettre à disposition des usagers en s'adaptant en permanence à leur demande et en préservant la qualité de l'eau durant son séjour dans le réseau.

S'agissant d'un service public, la priorité est accordée à la permanence du service et à la sécurité de fonctionnement tant sur le plan qualitatif que quantitatif. Les conditions du service doivent être régulières, le risque de défaillance minimum, le coût de la fourniture aussi faible que possible. Il en résulte que chaque usager doit disposer en permanence à chaque instant du jour et de l'année et à l'emplacement où il a souscrit un abonnement, de la quantité d'eau conforme aux normes de potabilité dont il a besoin et à la pression suffisante.

Il apparaît ainsi clairement que les contraintes technologiques sous-jacentes vont jouer un rôle déterminant dans la construction de la fonction de coût.

L'AEP[1] couvre toutes les opérations mises en œuvre pour assurer la desserte en eau potable depuis le prélèvement dans le milieu naturel jusqu'au robinet de l'usager. Le processus de production fait intervenir cinq fonctions essentielles, chacune entraînant des dépenses spécifiques :

- **la fonction production-traitement**[2] couvre l'ensemble des prélèvements d'eau dans le milieu naturel : prise d'eau superficielle en rivière, en lac ou en mer, captage de sources, prélèvement en nappe alluviale ou profonde. Lorsqu'il est nécessaire, le traitement (ou potabilisation) fait partie intégrante de la production. Les procédés de traitement les plus fréquents sont la filtration, la déferrisation, la démanganésation, sans oublier la chloration presque toujours utilisée.

[1] Pour une définition plus complète du réseau, voir Annexe B.1.

[2] On peut trouver des canalisations (adduction) véhiculant l'eau brute ou prétraitée de la zone de prélèvement vers la zone d'utilisation, en amont des ouvrages de production.

- **Le transfert** est le transport de l'eau potable entre ouvrages. Il peut être gravitaire[3] ou nécessiter la mise en jeu d'un pompage (refoulement).
- **Le stockage** consiste à réaliser des réserves d'eaux brutes (barrages) à hauteur de l'adduction et de la production, ou bien d'eau potable (réservoirs) à l'interface entre le transfert et un secteur de distribution.
- **La mise en pression** d'un secteur de distribution est assurée soit de façon gravitaire par un réservoir implanté à une cote suffisamment élevée, soit par un équipement de pompage. La circulation de l'eau dans les canalisations est évidemment un problème essentiel et la topographie de l'aire de service est un point clé du coût de mise à disposition de l'eau. En ce sens, intégrer les capacités des installations en jeu dans cette activité, à savoir les stations de surpression et les réservoirs participe de cette volonté de prendre en compte toutes les spécificités de cette industrie.
- **La distribution** est la livraison de l'eau à l'abonné par les conduites de distribution et les conduites de branchement.

Les premiers à s'être intéressés à la modélisation et l'estimation de fonctions de coût de l'eau ont été des ingénieurs du génie civil. Orlob and Lindorf (1958) se concentrent sur l'étude des coûts de construction d'usine et des opérations de traitement de l'eau dans l'état de Californie. En particulier, ils proposent des chiffres comparatifs sur l'importance des coûts selon la provenance des eaux brutes. Paine and White (1969) se penchent sur les coûts de transport de l'eau à partir de données sur les canalisations mais aussi des éléments relatifs aux systèmes de pompage. L'une des premières études économiques et empiriques est l'œuvre de Hines (1969) qui définit une fonction de coût de long terme pour la production d'eau dans le Wisconsin (USA).

Il est difficile de représenter de façon adéquate la technologie d'AEP au moyen d'une fonction de coût représentative d'un service d'eau, tant l'environnement dans

[3]Le transport est gravitaire lorsque l'écoulement de l'eau se fait naturellement : le niveau de l'eau statique à l'amont du tronçon considéré est à une cote supérieure au niveau d'eau statique à l'aval du tronçon, voir Davies (1968).

lequel le service évolue peut être différent. La production d'eau doit être initialement distinguée selon que la ressource est souterraine ou captée en surface. L'eau produite à partir d'une nappe souterraine implique des coûts plus importants de forage et de pompage alors que les coûts de traitement sont d'ordinaire plus conséquents pour les eaux de surface. La différence en termes de coûts moyens peut se trouver lors de la phase de distribution qui dépend largement de la taille des zones desservies et de leur densité en population.

Il est donc nécessaire de prendre en compte cette hétérogénéité en intégrant dans la fonction de coût, outre les prix des facteurs de production et les volumes d'eau, des variables représentant le stock de capital (stations de production et de traitement, infrastructures de stockage, équipements de pompage et conduites) et l'environnement technique (nombre de communes et d'abonnés desservis par le service).

Comme nous l'avons déjà dit plus haut, l'AEP est séparable en deux activités principales[4] : la production d'eau potable proprement dite et la distribution de cette eau vers différentes catégories d'usagers. L'activité de production consiste à prélever l'eau dans le milieu naturel et à la traiter (si nécessaire) pour la rendre potable. L'activité de distribution signifie la fourniture de l'eau potable à la sortie des usines de production aux usagers. Le volume d'eau potabilisé a alors plusieurs destinations possibles. La première est la vente en gros à d'autres services d'eau potable. La seconde est la vente d'eau à différents usagers dans l'aire desservie (ménages, entreprises privées, structures publiques...). Cependant, seulement une partie de ce volume d'eau distribué atteint réellement sa destination, l'autre partie est perdue principalement à cause de fuites et de ruptures de conduites. À l'étape de production, les fuites sont négligeables car les conduites de transfert sont peu nombreuses et les fuites facilement localisables. Lors de l'étape de distribution, des pertes se produisent à cause de joints fuyants et de l'action de la corrosion sur les conduites. Des pertes trop élevées ne permettent plus aux installations de faire face et peuvent aggraver le coût d'exploitation (surconsommation d'énergie de pompage, de réactifs de traitement).

[4]Pour une définition plus détaillée des volumes d'eau, voir Annexe B.2.

Une relation importante à prendre en compte en pratique est donc celle entre la pression et la demande finale. Il est bien connu dans l'ingénierie de l'eau que pour un réseau et un niveau de pertes d'eau donnés, plus il y a de pression exercée sur les canalisations, plus grande est la vraisemblance des fuites d'eau. Par ailleurs, quand la demande finale d'eau augmente, la pression diminue. Pour comprendre cela, imaginons qu'un certain volume d'eau est mis à disposition des usagers soit par système gravitaire (en utilisant le différentiel de hauteur entre un réservoir et les usagers finals) soit artificiellement (par pompage). Quand le débit d'eau est minimal (heures creuses par exemple), la pression est maximale. Mais lorsque le débit d'eau consommé augmente, la pression d'eau diminue. Donc, si on augmente la production pour accroître le volume d'eau mis en distribution (sur le même réseau de canalisations) suite à une augmentation de la demande, la pression diminue. Ainsi, les pertes d'eau n'augmentent pas et peuvent même elles aussi diminuer.

Par conséquent, le service d'eau doit faire face à l'alternative suivante lorsque la demande augmente : soit elle accroît sa production en laissant les fuites en l'état, soit elle répare les fuites avec le même volume d'eau offert.

Nous allons donc considérer deux biens produits par cette technologie. Le premier correspond aux volumes d'eau vendus aux usagers finals et les volumes vendus en gros à d'autres services d'eau. Le second bien est en fait non désirable et correspond aux pertes d'eau en réseau. Bien que ce dernier volume ne soit pas vendu, il peut néanmoins lui être associé un prix fictif égal à son coût marginal de "production".

2.3 Représentation économique des coûts

Un service d'alimentation en eau potable produit un vecteur de deux biens en quantités positives noté $V \equiv (V_c, V_p)' \gg 0$ où V_c est le volume d'eau consommé (facturé) aux usagers finals et V_p le volume d'eau perdu. Le processus de production utilise les facteurs de production travail (L), électricité (E), matériels (M) et capital (K).

Nous supposons que la technologie de production évolue lentement et qu'à environnement identique elle est la même pour toutes les unités de distribution. Chaque

service d'eau faisant face à un environnement de production différent, certaines caractéristiques peuvent affecter le choix des quantités de facteurs de production et sont donc introduites dans notre modélisation. Elles sont appelées "variables techniques" et représentées par le vecteur de variables $Z \equiv (Abon, Com)' \gg 0$. Il s'agit du nombre total d'abonnés ($Abon$) desservis et du nombre de communes (Com) adhérant au même service.

Les différents services d'eau dans une région donnée font face au même environnement réglementaire et la qualité de la ressource est très peu différente. Ainsi, nous supposons que leur impact sur les coûts est uniforme entre les services et peut donc être écarté de notre analyse.

Le processus de production peut être représenté par la fonction de transformation

$$f(V, x; Z) = 0,$$

avec $x \equiv (x_K, x_L, x_E, x_M)'$ le vecteur des facteurs de production utilisés.

Le résultat de la théorie de production sur la dualité nous permet de dire que la structure de la technologie peut être retrouvée à partir d'une fonction de coût duale à la fonction de transformation sous-jacente. Étant donné le vecteur des prix des facteurs (positifs) $w \equiv (w_K, w_L, w_E, w_M)' \gg 0$, nous faisons l'hypothèse que le service choisit une combinaison de ses facteurs de production de manière à minimiser ses dépenses de production et à produire V :

$$\min_x [w_K x_K + w_L x_L + w_E x_E + w_M x_M] \quad \text{s.c} \quad f(V, x; Z) = 0.$$

Il existe donc une fonction de coût total de long terme s'écrivant :

$$C_{LT}(V; w, Z) = \sum_{i=K,L,E,M} w_i x_i(V, w, Z).$$

Cette fonction de coût doit vérifier les propriétés suivantes :

- $C_{LT}(V; w, Z)$ est non négative et non décroissante en $V \geq 0$ et $w \gg 0$.
- $C_{LT}(V; w, Z)$ est homogène de degré 1, concave et continue par rapport à w.

Considérer que le service résout son programme par rapport à la totalité de ses facteurs de production implique que leurs quantités peuvent être ajustées à tout moment. Le stock de capital est un facteur quasi-fixe, ce qui signifie que le modifier sur une période courte entraîne un coût très élevé, voire n'est pas réalisable physiquement.

Nous avons parlé précédemment de l'importante infrastructure nécessaire à la mise à disposition de l'eau potable. Il est vrai que le réseau lui-même sous forme de conduites et de canalisations de branchement est l'élément le plus représentatif de ce patrimoine immobilier. Cependant, l'eau est extraite et potabilisée dans une usine de production, elle est mise en pression ou refoulée par des stations de pompage (ou de reprise) et peut être stockée dans des réservoirs. Les variables que nous introduisons dans notre modèle de coût sont des mesures du niveau physique du capital. Nous représentons l'importance du réseau par la longueur ($Long$) de ses conduites. Les mesures de capacité des autres infrastructure sont leurs capacités de production ($Prod$), de pompage ($Pomp$) et de stockage ($Stoc$). Le vecteur des "variables de capital" s'écrit donc $K \equiv (Long, Prod, Pomp, Stoc)'$.

Notons $x_v \equiv (x_L, x_E, x_M)' \gg 0$ le vecteur des facteurs variables. On peut alors construire une fonction de coût de court terme issue du programme de minimisation des dépenses en facteurs variables conditionnellement au niveau de stock de capital K (vecteur des facteurs quasi-fixes) :

$$\min_{x_v} [w_L x_L + w_E x_E + w_M x_M] \quad \text{s.c} \quad f(V, x_v, x_K; Z) = 0 \quad \text{et} \quad x_K = K.$$

Ceci donne la fonction de coût de court terme :

$$\begin{aligned} C_{CT}(V; w_v, w_K, K, Z) &= \sum_{i'=L,E,M} w_{i'} x_{i'}(V; w_v, K, Z) + w_K K \\ &= CV(V; w_v, K, Z) + CF, \end{aligned}$$

où $w_v = (w_L, w_E, w_M)'$ est le vecteur des prix des facteurs variables. Nous appelons CV les coûts variables, c'est-à-dire incluant les coûts directement liés à la production. Les coûts fixes CF recouvrent tous les coûts qui sont indépendants des volumes produits.

La fonction de coût variable conditionnelle (de court terme) :

$$CV(V; w_v, K, Z) \tag{2.1}$$

contient la même information que le processus de production d'origine.

Il nous paraît peu réaliste d'étudier une fonction de coût total englobant coûts variables et coûts fixes, qui supposerait que tous les facteurs (y compris le capital) peuvent s'ajuster instantanément. Ceci serait d'autant plus erroné que la durée des contrats entre la collectivité et l'opérateur a considérablement diminué ces dernières années et donc que l'exploitant ne se préoccupe qu'à très court terme de l'état des infrastructures.

Le modèle ne se désintéresse pas pour autant du coût du capital, car il inclut des variables représentant la capacité du réseau. Ainsi, cette mesure du capital joue un rôle important dans l'explication des coûts variables et la définition du niveau optimal des infrastructures. En effet, les facteurs fixes ne minimisent pas forcément les coûts. Ainsi, la fonction de coût total de long terme peut être retrouvée à partir de la fonction de coût variable seulement si cette dernière est minimisée par rapport au stock du capital :

$$\begin{aligned} C_{LT}(V; w, Z) &= \min_K CV(V; w_v, K, Z) + w_K K \\ &= CV(V; w_v, K(V, w, Z), Z) + w_K K(V, w, Z) \\ &= C_{CT}(V; w, K(V, w, Z), Z). \end{aligned}$$

Comme le soulignent par exemple Cowing and Holtmann (1983), les conditions de premier ordre sont satisfaites si :

$$\frac{\partial CV(V; w_v, K, Z)}{\partial K_u^*} = -w_{K_u},$$

où K_u^* est le niveau optimal du facteur capital u et w_{K_u} son prix.

La fonction de coût de court terme doit satisfaire aux mêmes propriétés que la fonction de coût de long terme. Elle doit toutefois vérifier une propriété supplémentaire (voir Chambers (1988), p.102) dite de non croissance en K.

2.4 Rendements de réseau et complémentarités de coût

L'AEP mais aussi l'assainissement, la collecte et le traitement des déchets sont organisés en réseau à l'échelle des collectivités locales. La notion de réseau évoque à la fois des définitions techniques et économiques. Nous nous efforçons de tenir compte de ces deux aspects dans notre analyse. Pour l'ingénieur, le réseau d'eau est d'abord un ensemble d'interconnexions de canalisations dont le but est de transporter de l'eau d'un point d'origine (lieu de prélèvement) vers un point final (les usagers). C'est aussi tout le processus de transformation qui s'opère entre ces deux points. La morphologie du réseau et les problèmes qui s'y rapportent (essentiellement de transmission) est le sujet de préoccupation de l'ingénieur. L'économiste et le gestionnaire s'intéressent aux caractéristiques économiques de l'activité en réseau. Le réseau est considéré comme un mode d'intermédiation entre des fournisseurs et des consommateurs du bien "eau".

La mesure des rendements d'échelle est très utilisée dans l'analyse micro-économique de la production. La définition classique à partir de la relation entre l'accroissement proportionnel des facteurs de production et l'accroissement de la production est équivalente à celle entre l'accroissement de la production et celle des coûts moyens que nous allons utiliser (Hanoch (1975)).

Elles ont été généralisées aux entreprises multi-produits par Panzar and Willig (1977) et Baumol (1977). Ces auteurs montrent que la définition et les propriétés des économies d'échelle qui s'appliquent au cas d'un seul produit ne sont plus valides.

En particulier, Baumol (1977) montre que dans le cas multi-produits, «*Les économies d'échelle ne sont ni nécessaires ni suffisantes pour le monopole pour être la forme d'organisation productive la moins coûteuse.*»

L'AEP étant organisée en réseau, cela nous conduit à détailler et adapter les concepts de rendements de la littérature économique (voir Roberts (1986)). Dans notre cas, l'intérêt de l'étude des rendements de réseau est de déterminer les effets sur les coûts de production de données propres à la configuration du réseau. L'inclusion de variables comme le nombre d'abonnés nous permet de faire la distinction entre rendements de densité et rendements d'échelle[5] et de prendre en compte les différentes manières dont la production peut s'accroître. Nous allons donc définir en plus des élasticités d'échelle (EE), les élasticités de densité de production (EDP) et les élasticités de densité d'usagers (EDU).

Nous faisons également la distinction entre les effets d'échelle à court terme et à long terme à partir de la fonction de coût variable. Pour le long terme, comme Caves, Christensen, and Swanson (1981), on calcule les élasticités de coût au niveau de capital observé. Dans ce cas, à l'instar de Panzar (1989), on se défend de qualifier nos mesures de rendements de long terme, à moins de montrer que l'état actuel du réseau et des infrastructures est optimal ou bien que la technologie est homothétique.

Économies de densité de production (EDP). Il existe des économies de densité de production lorsque la production augmente à taille de réseau et nombre d'abonnés inchangés, c'est-à-dire lorsque la quantité demandée par usager s'accroît, entraînant une diminution des coûts variables moyens. À court terme, le capital physique est fixe et il n'est pas possible d'ajuster les infrastructures aux modifications de la demande des usagers. Ainsi, l'élasticité de densité de production de court terme (EDP_{CT}) s'écrit :

$$EDP_{CT} = \left[\sum_{j=c,p} \frac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln V_j} \right]^{-1}. \tag{2.2}$$

[5] Voir Caves, Christensen, and Tretheway (1984) qui ont fait cette distinction dans l'industrie du transport aérien.

Lorsque EDP_{CT} est supérieur, égal ou inférieur à 1, les rendements de densité de production de court terme sont respectivement croissants, constants ou décroissants.

Sur une période plus longue, il peut être nécessaire d'ajuster la capacité de production. En revanche, nous ferons l'hypothèse que les variations de quantité d'eau demandée ne sont pas suffisamment importantes pour envisager de modifier la capacité des réservoirs[6]. Notons $Prod$ la capacité de production, un élément du vecteur des variables de capital K. Dans ce cas, l'élasticité de densité de production (EDP) peut être définie en termes de coûts variables de la façon suivante :

$$EDP = \left[1 - \frac{\partial \ln CV(V; w, K, Z)}{\partial \ln Prod}\right] \left[\sum_{j=c,p} \frac{\partial \ln CV(V; w, K, Z)}{\partial \ln V_j}\right]^{-1}. \qquad (2.3)$$

Lorsque EDP est supérieur, égal ou inférieur à 1, les rendements de densité de production sont respectivement croissants, constants ou décroissants. Rappelons à nouveau qu'une telle définition peut être qualifiée de long terme seulement si la technologie est homothétique ou bien si le stock de capital est optimal.

Économies de densité d'usagers (EDU). Une industrie organisée en réseau qui accroît son efficacité lorsqu'elle augmente sa production pour satisfaire la demande de nouveaux usagers mais à taille de réseau inchangée, exploite les économies de densité d'usagers. Notons qu'ici la quantité demandée par usager est constante. Nous supposons qu'à court terme le branchement de nouveaux usagers ne se fait pas brutalement et donc que le réseau est bien dimensionné pour répondre à cet accroissement de la demande. En prenant en compte le nombre d'abonnés ($Abon$) comptabilisés sur le réseau, une composante du vecteur des variables techniques Z défini plus haut, l'élasticité de densité

[6] La seconde fonction du réservoir autre que la mise en pression du réseau est la régulation de la production. Ainsi, si la demande augmente, l'eau des réservoirs peut être utilisée pour satisfaire les usagers.

d'usagers de court terme (EDU_{CT}) s'écrit :

$$EDU_{CT} = \left[\sum_{j=c,p} \frac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln V_j} + \frac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Abon} \right]^{-1}. \quad (2.4)$$

Lorsque EDU_{CT} est supérieur, égal ou inférieur à 1, les rendements de densité d'usagers de court terme sont respectivement croissants, constants ou décroissants.

Cependant, les réseaux d'eau dépendent fortement des caractéristiques géographiques mais aussi de la pression mise en jeu pour faire circuler l'eau. Il en résulte que lorsqu'un nouveau groupe d'usagers doit être connecté, le service de distribution d'eau potable doit prendre en compte la configuration présente du réseau. S'il s'agit du branchement d'un petit nombre d'usagers, alors le réseau ayant été dimensionné normalement en prévision de nouveaux branchements, il n'y a pas de problèmes de pression. Dans le cas de raccordement d'un lotissement par exemple, la connexion au réseau existant peut nécessiter alors un aménagement comme l'ajout de surpresseurs entraînant des coûts supplémentaires si le service n'a pas prévu de telles modifications.

S'il suffit d'augmenter la pression, le risque est que les vieilles canalisations ne puissent supporter cette nouvelle contrainte et que le nombre de fuites augmente, diminuant ainsi la performance d'ensemble du réseau. L'ajustement de la capacité de production et de la capacité des réservoirs devient alors nécessaire. Notons *Stoc* et *Pomp* respectivement les capacités de stockage et de pompage, deux composantes du vecteur des variables de capital K. L'élasticité de densité d'usagers (EDU) est définie en termes de coûts variables :

$$EDU = \frac{1 - \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Prod} - \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Stoc} - \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Pomp}}{\sum_{j=c,p} \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln V_j} + \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Abon}}. \quad (2.5)$$

Lorsque EDU est supérieur, égal ou inférieur à 1, les rendements de densité d'usagers sont respectivement croissants, constants ou décroissants. Ici encore, comme pour

EDP, EDU est l'élasticité de densité d'usagers de long terme si la technologie est homothétique ou bien si le stock de capital est optimal.

Économies d'échelle (EE). La mesure des économies d'échelle décrit le comportement des coûts variables moyens lorsque la production varie avec la taille du réseau et le nombre d'abonnés, mais la quantité demandée par usager et la densité d'usagers restent inchangées.

Cela correspond au cas typique du regroupement de communes pour former un syndicat intercommunal. Ainsi, un accroissement de la production accompagné d'un accroissement du nombre d'abonnés et du nombre de communes dans le syndicat impliquant une diminution des coûts variables moyens indique la présence d'économies d'échelle.

Notons que pour définir la mesure des élasticités d'échelle, il serait sans grand intérêt de regarder le cas où le capital n'est pas modifié car le regroupement de plusieurs communes ne peut se faire sans le cumul des capacités d'infrastructure. Ici, lorsque nous prenons en compte des variations dans le stock de capital, il ne s'agit pas de construire de nouvelles d'infrastructures mais bien la mise en commun comptable du capital installé.

Les variables techniques Z $(Abon, Com)$ ainsi que celles représentant le capital K $(Prod, Stoc, Pomp, Long)$ nous permettent de calculer l'élasticité d'échelle (EE) :

$$EE = \frac{1 - \sum_u \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln K_u}}{\sum_{j=c,p} \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln V_j} + \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Abon} + \dfrac{\partial \ln CV(V; w_v, K, Z)}{\partial \ln Com}}. \tag{2.6}$$

Lorsque EE est supérieur, égal ou inférieur à 1, les rendements d'échelle sont respectivement croissants (économies d'échelle), constants ou décroissants.

Si nous nous attardons sur le signe des élasticités EDP, EDU et EE, nous pouvons remarquer que ces expressions ne sont pas nécessairement positives. Premièrement, à

l'équilibre de long terme, le numérateur dépendant des élasticités de coût par rapport aux variables de capital est positif parce que la dérivée de CV par rapport à K est négative. Mais le signe des élasticités de coût par rapport aux variables techniques (*Abon* et *Com*) dans le dénominateur n'est pas déterminé.

Deuxièmement, si l'on n'est pas à l'équilibre de long terme, rien n'empêche les élasticités de coût par rapport aux variables de capital d'être positives. Ainsi, le signe des expressions de rendements peut être indéterminé. Nous aurons donc à vérifier ex post que le signe des estimations des élasticités est bien positif.

Les pertes en réseau. L'idée développée ici est que l'exploitant du service peut trouver plus avantageux de ne pas minimiser ses pertes en réseau, en particulier en ne réparant pas toutes ses fuites, et de préférer la production jointe des deux biens (eau facturée et eau perdue). Si l'exploitant décide de ne pas réparer les fuites à cause des coûts prohibitifs, il ne fera pas d'économies sur la production d'eau. Néanmoins, il peut préférer cette dernière solution parce qu'accroître sa production d'eau est moins coûteux.

Si le problème est de satisfaire un accroissement de la demande des usagers, la solution adoptée peut être de produire plus d'eau au lieu de réparer les fuites en réseau. Comme expliqué plus haut, pour un réseau donné, la vraisemblance de fuite n'augmentera pas avec le volume d'eau potable fourni si la demande augmente. En d'autres termes, parce que les réparations de fuites sont très intensives en travail alors qu'accroître la production augmente essentiellement les coûts d'énergie, la production jointe des deux volumes d'eau sera préférée si le coût marginal du travail est supérieur au coût marginal de l'électricité.

En conclusion, parce que la production des deux biens est avantageuse en termes de coûts, les services d'eau ne produiront pas d'eau destinée aux usagers finals sans "produire" un volume d'eau automatiquement perdu sous la forme de fuites.

Une première idée est d'appliquer la notion d'économies d'envergure à notre problème. Il existe des économies d'envergure si le service produit le bien désiré et un volume

d'eau perdu à un coût plus faible qu'il ne le ferait s'il cherchait à supprimer les pertes :

$$CV(V; w_v, K, Z) < CV(V_c, 0; w_v, K, Z) + CV(0, V_p; w_v, K, Z).$$

Cependant, cette définition est difficilement interprétable[7], en particulier en ce qui concerne la pertinence de considérer un service perdant la totalité du volume mis en distribution.

Le concept de complémentarités de coût faible (Panzar (1989)) nous permet en revanche d'avoir de précieuses informations sur l'intérêt de produire les deux biens conjointement. Si

$$\frac{\partial^2 CV(V; w_v, K, Z)}{\partial V_c \partial V_p} \leq 0$$

alors il existe des complémentarités de coût entre les produits.

2.5 Conclusion

L'alimentation en eau potable est une industrie de réseau par excellence parce que son réseau est matérialisé par des canalisations, contrairement à d'autres secteurs comme la vente de journaux, les services d'assurance qui peuvent être considérés comme des marchés "toile d'araignée" mais possédant des caractéristiques différentes. D'une apparente complexité, l'étude économique des réseaux peut dans un premier temps apparaître déroutante, tant les méthodes traditionnelles semblent inadaptées aux spécificités de ces industries. Cependant, certaines caractéristiques des réseaux ont été analysées par les économistes. L'étude des coûts et le calcul des rendements de densité, d'échelle et d'envergure font partie de ces sujets qui sont maintenant classiquement traités dans les travaux micro-économiques sur la production.

Le deuxième point important de notre étude est la prise en compte du bien marchand "eau" comme une ressource naturelle. Elle est certes disponible en quantité satisfai-

[7] Cette définition est d'autant plus difficile à appliquer qu'une forme fonctionnelle des coûts en logarithme rendrait son utilisation impossible (ln(0) est indéfini).

sante en France mais pas de façon illimitée. De plus, les problèmes de sécheresse et de pollution des nappes présents de manière récurrente en France montrent la nécessité de ne pas occulter la nature du bien. Ainsi, la modélisation de la production par la définition d'un bien désiré et facturé aux usagers et d'un bien non désirable et perdu pour la consommation va dans ce sens. Par ailleurs, la France comme la plupart des pays a fait le choix de la consommation alimentaire de cette eau. Les gestionnaires des services doivent donc veiller à ce que leur bien produit soit de bonne qualité.

Dans ce chapitre, nous avons d'abord décrit la technologie de production et de mise à disposition de l'eau potable. Nous avons en particulier insisté sur la complexité du processus de transformation du point de prélèvement de l'eau brute jusqu'au robinet de l'usager. Cette complexité est liée à la mise en œuvre de fonctions différentes et à l'exploitation d'infrastructures spécifiques. Elle est d'autant plus accentuée que le réseau d'eau potable n'a pas une physionomie unique.

À partir de cette étude, nous avons modélisé les décisions des exploitants en charge des services d'alimentation en eau potable. A l'instar de l'école néoclassique, nous utilisons la théorie de la dualité stipulant que le processus de production peut être indifféremment représenté par sa fonction de production ou sa fonction de coût. Nous considérons plus précisément que l'entreprise minimise ses dépenses d'exploitation étant donné son environnement technologique.

Le lecteur pourrait regretter que la qualité de l'eau soit finalement peu considérée dans notre analyse des coûts. Il est vrai que le problème de qualité n'est pas modélisé explicitement dans notre travail. Par exemple, l'introduction de variables sur les procédés de traitement utilisés par chaque service d'eau pourrait donner certaines indications sur l'impact de la qualité des eaux prélevées sur le niveau des coûts de production. Néanmoins, le problème n'est pas totalement occulté puisque nous prenons en compte dans le modèle de coût l'utilisation des produits de traitement et des installations de potabilisation. Cependant, l'exploitation que nous en faisons ne nous permet pas d'isoler l'effet de la qualité de l'eau sur les coûts.

De plus, la multiplicité des variables pourrait conduire à une multi-colinéarité dommageable pour notre étude. Aussi, la réglementation publique de la qualité des eaux par l'édiction de directives, lois ou autres décrets pourrait trouver sa place dans la modélisation. Par exemple, l'introduction d'une variable indicatrice signifiant la mise en application de la loi sur l'eau de 1992 serait un moyen d'analyser son impact sur les coûts et donc le prix de l'eau. Malheureusement, l'absence d'information sur cette période nous interdit une telle analyse.

L'étude de la qualité de l'eau n'est pas non plus le centre d'intérêt de notre étude. Nous avons fait ici le choix de développer les problèmes de qualité du réseau parce que les directives européennes sévères sur la qualité de l'eau limitent les marges de manœuvre de l'exploitant. En revanche, la réglementation sur les taux de rendement de réseau est tout à fait inexistante.

Nous n'avons pas parlé non plus de la manière d'étudier l'impact d'une différence de gestion sur les coûts d'exploitation et la qualité du service rendu. Une façon simple de faire serait d'introduire une variable captant le choix de gestion de la collectivité. Cependant, une analyse basée sur la seule étude des coûts biaiserait nos résultats tant ce choix apparaît dépendant d'une multitude de paramètres (voir Thomas (2000)). Une façon simple de traiter et de tester l'hypothèse d'effet significatif du type de gestion en place sur les coûts serait d'analyser les rentes des exploitants c'est-à-dire les différences prix-coût marginal.

L'objet du prochain chapitre est l'étude d'un échantillon de services d'eau potable de Gironde sur lequel nous allons vérifier empiriquement la pertinence des hypothèses émises ici.

Chapitre 3

Estimation et étude d'une fonction de coût en information complète

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons donné une formalisation économique à la structure productive du secteur de la distribution de l'eau potable à partir des coûts d'exploitation engendrés par l'activité. Nous allons à présent donner une forme statistique et paramétrique à la fonction de coût issue du programme d'optimisation du gestionnaire du service d'eau.

À ce stade de l'analyse, il est important de préciser que les problèmes liés à l'asymétrie dans la distribution de l'information entre la collectivité locale et l'entreprise en charge du service d'eau ne sont pas explicitement abordés dans ce chapitre. Cependant, l'optique empruntée dans notre étude n'est pas complètement "myope" car nous laissons effectivement la possibilité à la régression d'être bruitée par l'information privée détenue par l'opérateur sur sa technologie. L'utilisation de données de panel nous permet en effet de spécifier un effet propre à l'exploitant qui peut être interprété comme son niveau d'efficacité pouvant capter le phénomène d'anti-sélection dans un modèle avec asymétrie d'information.

Dans ce chapitre, nous choisissons une forme fonctionnelle qui impose un minimum de contraintes à la fonction de coût variable, inconnue a priori. Les équations de part de coût dérivées du lemme de Shephard apportent une information supplémentaire et procurent in fine un système d'équations à estimer.

Nous disposons d'un nombre important de services d'eau observés sur plusieurs années. Grâce à la définition d'un effet spécifique individuel et d'un terme d'erreur caractérisant simultanément les dimensions individuelles et temporelles, nous internalisons la double information apportée par des données en panel. Il s'agit alors de traiter par une méthode d'estimation adéquate cette modélisation en utilisant toute l'information dont nous disposons. Pour l'estimation du modèle de coût, nous nous basons essentiellement sur la méthode des moments généralisée (GMM, Hansen (1982)) pour ses hypothèses réduites sur la distribution des erreurs et sur l'exogénéité des variables explicatives.

L'étude empirique concerne un échantillon de services d'eau sous contrat d'affermage du département de la Gironde. Il ne s'agit pas, bien entendu, de prétendre que notre échantillon est représentatif des unités de distribution d'eau en France, mais plutôt de montrer que le cadre économique défini et les méthodes économétriques utilisées sont bien adaptés à l'analyse empirique.

Dans la section 2 de ce chapitre, nous décrivons la forme fonctionnelle translog de la fonction de coût variable, ses propriétés et ses attributs. La section 3 présente en détail les données qui peuvent être disponibles dans les différents documents comptables et techniques et propose de nombreuses statistiques descriptives pouvant aider à représenter les réseaux d'eau potable étudiés. La section 4 est consacrée aux résultats empiriques d'une application réalisée sur 47 services d'eau potable de Gironde dont l'exploitation a été confiée à des entreprises privées. L'étude porte sur la période allant de 1995 à 1998. En particulier, elle nous permet d'exploiter les différentes estimations des élasticités de substitution entre les facteurs de production, des rendements de réseau ainsi que des coûts marginaux et de ses élasticités. La section 5 conclut ce chapitre

et cette première partie en rappelant les principaux résultats obtenus.

3.2 Le modèle économétrique

Considérons dans un premier temps une forme paramétrique Cobb-Douglas pour estimer la fonction de coût variable dépendant des quantités de biens produits (V) et des prix des facteurs de production (w) :

$$CV = \theta \prod_{i=L,E,M} w_i^{\alpha_i} \prod_{j=c,p} V_j^{\alpha_j}, \tag{3.1}$$

avec $\theta > 0$, α_i et α_j des paramètres inconnus, où i indice les facteurs de production et j les produits de la technologie. Cette spécification standard n'incorpore pas les variables de capital et les variables techniques vues plus haut, notées K et Z respectivement. Pour les inclure, nous allons exprimer les paramètres en fonction de ces variables :

$$CV = \theta \prod_i w_i^{\alpha_i(K,Z)} \prod_j V_j^{\alpha_j(K,Z)} \prod_u K_u^{\alpha_u(K,Z)} \prod_r Z_r^{\alpha_r(K,Z)}.$$

Ainsi, l'hétérogénéité dans le processus de production due à des physionomies de réseau et des caractéristiques techniques différentes sont prises en compte en conditionnant les paramètres originaux de la fonction de coût Cobb-Douglas. Pour chaque vecteur V, w, K ou Z, les paramètres sont spécifiés selon l'expression suivante :

$$\alpha_l(K,Z) = \alpha_{l0} + \sum_u \alpha_{lu} \ln K_u + \sum_r \alpha_{lr} \ln Z_r \qquad (l = i, j, u, r),$$

où u et r sont respectivement les indices pour les composantes du stock de capital K et des variables techniques Z.

La spécification Cobb-Douglas étant une représentation contraignante de la technologie[1], nous généralisons l'équation (3.1) à la fonction de coût translog par l'inclusion de

[1] Arrow, Chenery, Minhas, and Solow (1961) remettent en question la forme Cobb-Douglas, en

termes croisés et quadratiques (Christensen, Jorgenson, and Lau (1973)).

La fonction translog est une série de Taylor de second ordre du logarithme du coût en fonction du logarithme des variables explicatives. Elle donne une approximation d'une fonction de coût inconnue a priori et impose peu de restrictions sur les caractéristiques de la technologie de production. La valeur de la fonction est le niveau de coût (en log), le gradient de la fonction représente les demandes conditionnelles des facteurs de production et des autres variables explicatives, et le hessien les élasticités-prix des demandes. En outre, la forme translog est bien adaptée aux cas multi-produits, et les équations de parts de coût dérivées sont linéaires dans les paramètres. Pour ces raisons, c'est la forme fonctionnelle la plus utilisée pour spécifier les fonctions de coût. L'approximation translog s'écrit :

$$\begin{aligned}\ln(CV) = A_0 &+ \sum_i A_i \ln w_i + \sum_j B_j \ln V_j + \sum_u C_u \ln K_u + \sum_r D_r \ln Z_r \\ &+ \frac{1}{2}\sum_i \sum_q A_{iq} \ln w_i \ln w_q + \frac{1}{2}\sum_j \sum_k B_{jk} \ln V_j \ln V_k \\ &+ \frac{1}{2}\sum_u \sum_v C_{uv} \ln K_u \ln K_v + \frac{1}{2}\sum_r \sum_s D_{rs} \ln Z_r \ln Z_s \\ &+ \sum_i \sum_j E_{ij} \ln w_i \ln V_j + \sum_i \sum_u E_{iu} \ln w_i \ln K_u + \sum_i \sum_r E_{ir} \ln w_i \ln Z_r \\ &+ \sum_j \sum_u F_{ju} \ln V_j \ln K_u + \sum_j \sum_r F_{jr} \ln V_j \ln Z_r + \sum_u \sum_r G_{ur} \ln K_u \ln Z_r. \end{aligned} \tag{3.2}$$

Les paramètres à estimer sont :
$(A_0, A_i, B_j, C_u, D_r, A_{iq}, B_{jk}, C_{uv}, D_{rs}, E_{ij}, E_{iu}, E_{ir}, F_{ju}, F_{jr}, G_{ur})$.

La fonction de coût étant deux fois différentiable, nous pouvons imposer à la matrice hessienne d'être symétrique[2].

Une fonction de coût bien définie doit aussi être homogène de degré 1 par rapport

particulier à cause de l'impossibilité d'étudier la substituabilité des facteurs de production.

[2]Les restrictions de symétrie sont les suivantes : $A_{iq} = A_{qi}$, $B_{jk} = B_{kj}$, $C_{uv} = C_{vu}$, $D_{rs} = D_{sr}$, $E_{ij} = E_{ji}$, $E_{iu} = E_{ui}$, $E_{ir} = E_{ri}$, $F_{ju} = F_{uj}$, $F_{jr} = F_{rj}$, $G_{ur} = G_{ru}$. Le coefficient $\frac{1}{2}$ ne s'applique qu'aux termes élevés au carré.

aux prix des facteurs. Cette propriété peut être imposée en divisant le coût variable et les prix unitaires des facteurs de production par le prix d'un facteur. Ceci est équivalent à imposer un ensemble de restrictions sur les paramètres de la fonction de coût[3].

La concavité de la fonction (3.2) est aussi une propriété importante. Diewert and Wales (1987) montrent qu'une condition nécessaire et suffisante pour qu'une fonction deux fois continûment différentiable soit concave (globalement) dans les prix des facteurs est que la matrice des coefficients A_{iq} soit semi-définie négative, et que les parts de coût soient non négatives (condition de monotonie).

Il serait possible d'estimer la fonction de coût seule mais on négligerait alors l'information apportée par les équations de part de coût. Si l'on note S_i la part du coût du $i^{\text{ème}}$ facteur, nous obtenons grâce au lemme de Shephard :

$$S_i = \frac{w_i x_i}{CV} = \frac{\partial \ln(CV)}{\partial \ln w_i}.$$

À partir de la spécification (3.2), les parts de coût sont de la forme :

$$S_i = A_i + \sum_q A_{iq} \ln w_q + \sum_j E_{ij} \ln V_j + \sum_u E_{iu} \ln K_u + \sum_r E_{ir} \ln Z_r \qquad (i = L, E, M). \tag{3.3}$$

Il est donc préférable d'estimer le système d'équations comprenant l'équation de coût variable et les équations de parts[4].

Les élasticités-prix propres ε_{ii} et croisées $\varepsilon_{ii'}$ des demandes en facteurs de production i sont directement dérivées du modèle coût (3.2)-(3.3) :

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\alpha_{ii}}{S_i} + S_i - 1, \tag{3.4}$$

[3] L'homogénéité linéaire dans les prix des facteurs requiert les restrictions paramétriques suivantes : $\sum_i A_i = 1$, $\sum_i A_{iq} = \sum_q A_{iq} = 0$, $\sum_i E_{ij} = \sum_i E_{iu} = \sum_i E_{ir} = 0$.

[4] Comme $\sum_i S_i = 1$, une des parts de coût est enlevée du système pour éviter que la matrice de variance-covariance soit singulière. Le choix de l'équation à enlever n'a aucun impact sur l'estimation des paramètres si l'on utilise le maximum de vraisemblance. Il en a en revanche avec une méthode de régressions empilées.

$$\varepsilon_{ii'} = \frac{\alpha_{ii'}}{S_i} + S_{i'}, \quad i \neq i'. \tag{3.5}$$

Les élasticités de substitution d'Allen ($\sigma_{ii}^A = \frac{\varepsilon_{ii}}{S_i}$ et $\sigma_{ii'}^A = \frac{\varepsilon_{ii'}}{S_{i'}}$) sont souvent utilisées pour mesurer la substituabilité entre les facteurs de production. Elles sont symétriques ($\sigma_{ii'}^A = \sigma_{i'i}^A$). Une autre mesure proposée initialement par Morishima (1967) est l'élasticité de substitution de Morishima ($\sigma_{ii'}^M$) :

$$\sigma_{ii'}^M = \varepsilon_{i'i} - \varepsilon_{ii}. \tag{3.6}$$

Elle mesure la courbure de l'isoquante quand on ajuste les facteurs de production, lorsque la variation du ratio $P_i/P_{i'}$ est due à une variation de P_i. Cette courbure est différente lorsque $P_{i'}$ varie. Cette élasticité est donc asymétrique[5] et égale à zéro lorsque $i = i'$. Nous préférons cette mesure de substitution pour deux raisons déjà invoquées par d'autres auteurs. Chambers (1988) fait remarquer que l'élasticité d'Allen n'apporte pas plus d'information que l'élasticité-prix croisée parce que celle-ci est juste divisée par la part de coût du facteur. Blackorby and Russell (1989) vont plus loin en démontrant que l'élasticité de Morishima est une meilleure mesure de substitution que l'élasticité d'Allen dès qu'il y a plus de deux facteurs de production.

3.3 Application aux services d'eau potable de Gironde : les données

3.3.1 Les dépenses d'exploitation

Les composantes du coût de l'eau peuvent être retrouvées à partir de la comptabilité analytique dans laquelle le gestionnaire reporte la totalité des dépenses engagées pour l'exploitation du service. De cette façon, il est possible de connaître les coûts des différents postes du service et leur part relative. On peut alors également suivre leur évolution et établir des prévisions.

[5] L'élasticité de substitution de Morishima est symétrique dans le cas d'une fonction de production CES.

TAB. 3.1 – Les composantes du coût de l'eau

	Moyenne	Fourchette
Salaires	35%	de 20 à 50%
Électricité	10%	de 0 à 15%
Fourniture et sous-traitance	21%	de 15 à 50%
Frais divers	8%	de 5 à 15%
Frais financiers	16%	de 0 à 20%
Amortissements	10%	de 8 à 25%

Source : OIEAU, 2000.

L'OIEAU (Office International de l'Eau) indique que l'examen des dépenses engendrées par la distribution de l'eau potable montre que les éléments de coût proportionnels au volume (énergie, réactifs...) ne représentent qu'un tiers du coût total, les deux tiers restant étant des charges difficilement compressibles (salaires, frais financiers, amortissement...). Une idée de la répartition des dépenses pour l'exploitation de services d'eau potable est donnée dans le tableau 3.1.

Les dépenses peuvent être réparties en six grands postes principaux : les salaires et les charges de personnel, l'énergie, les fournitures, la sous-traitance, les frais divers et les charges relatives aux investissements, garanties de renouvellement, amortissements.

Les salaires et les charges de personnel. Cela concerne aussi bien le personnel technique que le personnel administratif. Cependant, dans le cas des régies, ce dernier n'est pas toujours pris en compte, car il s'agit souvent de travail à temps partagé d'employés de mairie. Outre la rémunération directe du personnel, les dépenses à la charge de l'employeur comprennent les charges sociales et toutes autres dépenses liées au salaire.

L'énergie. Elle est principalement utilisée pour pomper l'eau dans le réseau de distribution mais aussi dans le processus de potabilisation. La consommation d'électricité dépend donc du relief de la zone de desserte et du traitement de potabilisation mis en œuvre. Elle est estimée en moyenne à 500 Wh/m^3 d'eau produit, dont 10% pour le traitement. Cependant, elle peut varier dans des proportions importantes : de 0 (si

l'eau circule de façon gravitaire) à 900 Wh/m^3 en distribution et de 0 (si l'eau brute est déjà potable) à 160 Wh/m^3 pour le traitement. La politique tarifaire d'EDF permet de tenir compte de la période de consommation (été-hiver, jour-nuit), des quantités consommées, des quantités consommables (puissance souscrite) et de la qualité des équipements (énergie réactive).

Les fournitures. Ce poste regroupe l'ensemble des achats nécessaires au bon fonctionnement du service. Ce sont les produits de traitement de l'eau (leur part relative est estimée à moins de 2% du coût de l'eau en moyenne). Cela concerne aussi les pièces de rechange et lubrifiants : il s'agit des éléments utilisés lors des opérations d'entretien des équipements électromécaniques et des réseaux. La consommation de ces composants dépend de l'état du parc de machines tournantes et des canalisations, soit d'une part, du programme existant de renouvellement des installations, et d'autre part, du programme de maintenance suivi.

Est inclus également dans les fournitures l'achat d'eau en gros à un service voisin. Entrent aussi dans cette catégorie les véhicules, les frais généraux comprenant les fournitures de bureau, les frais d'affranchissement et les coûts de télécommunication. Ces derniers ne sont pas négligeables, en particulier lorsque le réseau est sous télégestion[6]. De plus, le coût de la communication avec les consommateurs prend de plus en plus de poids dans le budget du service pour répondre à un besoin d'informations de plus en plus sensible.

La sous-traitance. Il peut s'agir de sous-traitance pour la facturation et les encaissements, de sous-traitance pour des opérations nécessitant un matériel et/ou un savoir-faire spécifiques : recherche de fuites, cartographie informatisée du réseau, simulation de fonctionnement, suivi vibratoire et suivi de la maintenance de certaines machines tournantes, entretien d'automates programmables.

Le coût du contrôle de qualité de l'eau distribuée organisé par la DDASS (choix

[6]La télégestion permet de recueillir et de retransmettre à distance des informations fournies par des capteurs, détecteurs ou actionneurs. Ces informations peuvent concerner les niveaux et la qualité de l'eau, l'état des équipements, etc.

des sites et de la fréquence des prélèvements) et réalisé par un laboratoire agréé par le Ministère de la Santé, est supporté par le service. Sont comptabilisés également les frais de "siège" engendrés par le fonctionnement administratif du service (gestion du personnel, gestion financière, comptabilité...), l'utilisation de locaux spécifiques au service, les frais de recherche, etc.

Les frais divers. Ils regroupent les provisions diverses pour de grosses réparations, participation de la section de fonctionnement à l'investissement (autofinancement), imprévus, etc. Il peut s'agir aussi du bénéfice des fermiers et concessionnaires en cas de délégation. Les taxes et impôts divers dus par l'exploitant sont également inclus dans cette catégorie.

Les charges relatives aux investissements, garanties de renouvellement, amortissements. Pour les investissements, les modalités de calcul prennent en compte la perte de valeur économique du bien en francs courants, augmentée du coût de financement. En ce qui concerne le renouvellement, le montant retenu correspond au rapport de la valeur de remplacement de chaque installation sur sa durée de vie. Cette provision est destinée à garantir le maintien du potentiel des installations. Dans le cadre d'une régie, l'amortissement représente le coût d'usage des immobilisations et constitue l'autofinancement minimum exigé pour assurer la couverture du remboursement de ses emprunts en capital.

3.3.2 Les données

Notre base de données est composée de 188 observations concernant 47 services communaux ou syndicaux sur les années 1995, 1996, 1997 et 1998. Il s'agit de services de distribution d'eau potable de la région de Bordeaux, délégués à des entreprises privées sous contrat d'affermage : Lyonnaise des eaux (SLE), Générale des eaux (Vivendi-CGE), CISE, SAUR, Electricité Service Gironde (ESG) et SOGEDO. Dans l'échantillon d'origine, nous avions deux services directement gérés par la collectivité et 4 autres sous une forme de contrat très peu courant (appelé régie sans nom). Nous avons préféré les

enlever car leur poids était trop peu important par rapport à la totalité des observations et il n'aurait pas été possible d'en tenir compte dans la fonction de coût.

Ces données sont principalement issues des rapports réalisés par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) de Gironde à partir des comptes-rendus techniques et financiers établis annuellement par les délégataires. Ces rapports contiennent des informations sur les dépenses en facteurs de production, des renseignements techniques sur le réseau, ainsi que des données sur les volumes d'eau produits, distribués et facturés. Nous pouvons trouver également dans ces rapports les consommations d'électricité et les heures de travail fournies annuellement. Notre échantillon a été complété par une enquête que nous avons réalisée directement auprès des collectivités. De plus, le service commercial d'ESG nous a permis de consulter ses documents comptables et techniques.

Le volume d'eau produit et consommé (V_c) est la somme du volume facturé aux usagers et du volume vendu à d'autres services d'eau potable. Le volume perdu (V_p) est calculé comme la différence entre le volume mis en distribution et le volume effectivement vendu aux usagers. Toutes ces quantités d'eau sont exprimées en m^3 et pour une année. Le taux de rendement (r) est lui calculé comme le rapport entre le volume facturé aux usagers et le volume mis en distribution. Il n'est pas inutile de rappeler ici que les volumes produits, distribués et vendus diffèrent, et parfois dans des proportions importantes. En effet d'après l'OIEAU, selon la qualité du réseau, le volume d'eau perdu par les fuites peut varier entre 10% et 50% de la production.

Nous calculons les coûts variables (CV) c'est-à-dire les coûts d'exploitation du service comme la somme des dépenses en travail (L), en électricité (E) et en matériel et autres dépenses (M). Les coûts fixes (CF) sont les dépenses liées aux investissements prenant en compte la valeur économique augmentée du coût de financement. Ils englobent également les dépenses en renouvellement, c'est-à-dire la valeur de remplacement de chaque installation sur sa durée de vie. Toutes ces dépenses sont en francs et pour une année.

La quantité de travail est définie comme le nombre d'heures de travail sur l'année. Le prix du travail horaire (salaire, charges et autres dépenses) (w_L) exprimé en francs/heure est obtenu en divisant les dépenses en salaires et charges de personnel par la quantité de travail effectuée. Le prix de l'électricité (w_E) est défini comme le rapport entre les dépenses en électricité et la consommation annuelle d'énergie et a donc comme unité des francs/kWh. Les dépenses en matériels sont composées de plusieurs catégories de coûts assez hétérogènes regroupant des lignes comptables aussi diverses que achats et stocks, travaux et réparations, sous-traitance, etc. À cause de l'absence d'informations sur les prix et du problème d'hétérogénéité de ce facteur, nous avons choisi de construire un indice de prix noté w_M pour le facteur matériel comme un coût unitaire par m^3 d'eau potable produit[7].

Dans notre modèle de coût, nous avons introduit des variables techniques comme le nombre d'abonnés desservis ($Abon$) et le nombre de communes rattachées au service de distribution (Com[8]). Les variables représentant le capital sont : la longueur du réseau ($Long$) exprimée en kilomètres, la capacité de production ($Prod$) en m^3/heure, la capacité de stockage ($Stoc$) en m^3 et la capacité de pompage ($Pomp$) en m^3/heure.

De plus, nous avons à notre disposition les prix unitaires ($Prix$) facturés aux usagers pour l'eau potable, ainsi que l'abonnement ($Fixe$) du tarif binôme. Nous avions également construit une variable destinée à capter les effets de la qualité de l'eau sur les coûts en classant les observations en fonction du type de traitement pratiqué sur les eaux brutes. Malheureusement, comme sa variabilité est très peu importante dans notre échantillon, cet indice ressort non significatif de nos estimations. Les statistiques descriptives des différentes variables citées figurent dans le tableau 3.2.

[7]Le prix du facteur matériel est simplement défini comme la somme de différentes dépenses (achats et stocks, sous-traitance...) divisée par le volume d'eau produit. L'unité est donc le franc/m^3.

[8]La variable Com prend des valeurs supérieures à un dans le cas d'un syndicat intercommunal.

TAB. 3.2 – Statistiques descriptives de l'échantillon

Variable	Unité	Moy. arith.	Moy. géo.	Écart-type	Minimum	Maximum
CV	Francs	1 394 372	926 898	1 674 669	134 566	10 210 000
CF	Francs	294 117	181 651	410 854	7 000	2 535 000
S_L	%	46	44	15	17	67
S_E	%	10	9	4	2	30
S_M	%	44	42	15	10	75
w_L	Francs/heure	196,13	195,89	9,74	158,35	221,48
w_E	Francs/kWh	0,49	0,46	0,22	0,15	1,70
w_M	Francs/m^3	1,24	1,15	0,46	0,26	2,67
Production	m^3	532 343	201 536	724 719	0	4 278 094
Distribution	m^3	541 831	336 305	722 136	38 824	4 278 094
V_c	m^3	397 193	252 311	510 383	31 755	3 177 604
V_p	m^3	148 981	82 147	220 541	4 279	1 258 316
r	%	74	74	8	49	90
$Abon$	—	2 876	1 897	3 249	257	17 210
Com	—	5	3	7	1	34
$Long$	Km	145	96	160	9	889
$Prod$	m^3/heure	224	134	227	0	1 380
$Stoc$	m^3	1 652	890	2 037	0	10 500
$Pomp$	m^3/heure	332	176	402	0	2 300
$Prix$	Francs	2,36	2,08	1,05	0,10	6,40
$Fixe$	Francs	175,67	158,23	83,58	60,00	432,26

Notes : 47 individus étudiés sur 4 années, soit 188 observations.
Moy. arith. et Moy. géo. signifient respectivement moyenne arithmétique et moyenne géométrique.

3.4 Les résultats d'estimation

3.4.1 L'estimation des paramètres du modèle de coût

La fonction de coût translog est une série de Taylor de second ordre, l'approximation doit donc se faire autour d'un point de référence. Nombreux sont les économètres appliqués qui ne normalisent pas leurs variables et considèrent donc un point d'approximation égal à zéro (ln(1)), ce qui n'a de sens que lorsque les variables utilisées sont des indices. D'autres auteurs choisissent de diviser directement les variables par leur moyenne dans l'échantillon (voir par exemple, Braeutigam, Daughety, and Turnquist (1982) ou Dionne and Gagné (1996)).

Cependant, il est préférable de prendre comme point d'approximation la moyenne du logarithme des variables explicatives ($\overline{\ln(X)}$) puisque $\ln(CV)$ est bien fonction des variables transformées logarithmiquement. Ceci revient alors à diviser chaque variable par sa moyenne géométrique. Notre spécification étant une approximation locale autour de ce point de référence, l'estimation à la moyenne géométrique donne la meilleure approximation de la vraie fonction de coût. De cette façon, nous minimisons les erreurs d'estimation des élasticités lorsque nous les calculons à la moyenne (géométrique) des variables.

Le système d'équations à estimer est composé de la fonction de coût variable CV et des parts de coût de l'énergie S_E et du matériel S_M. Suivant les notations de Schmidt (1990), nous pouvons réécrire le système des trois équations avec une équation m de la forme

$$Y_m = X_m \beta_m + u_m, \qquad (m = 1, 2, 3), \tag{3.7}$$

où Y_m est la variable dépendante, X_m est la matrice $(HT \times K_m)$ des régresseurs, dont certains peuvent être endogènes comme cela sera discuté plus tard. β_m est la vecteur $(K_m \times 1)$ des paramètres à estimer et u_m le vecteur des termes d'erreur. Ce système

d'équations s'écrit sous une forme plus compacte :

$$Y = X\beta + u, \tag{3.8}$$

où Y est le vecteur $(3HT \times 1)$ des variables dépendantes, X la matrice $(3HT \times G)$ des régresseurs, avec $G = \sum_m K_m$. Il y a G paramètres à estimer (dimension du vecteur β) pour la forme non contrainte. Cependant, puisque les deux dernières équations sont les équations de parts de coût dérivées de la fonction de coût, il y a un certain nombre de restrictions paramétriques entre les équations. Comme tous les paramètres structurels entrent dans la fonction de coût alors que les équations de part contiennent seulement des sous-ensembles de l'ensemble complet des paramètres, le nombre total de paramètres à estimer est K_1. Ils sont estimés par deux méthodes différentes : Within-SURE et GMM instrumentée. Elles sont amplement détaillées dans l'Annexe C.

La première est la méthode Within-SURE itérée. Nous imposons la symétrie entre les paramètres et l'homogénéité de degré 1 dans le prix des facteurs (en divisant le coût variable et les prix des facteurs par w_L). L'inconvénient de cette procédure est qu'elle ne permet d'étudier l'effet des régresseurs invariant dans le temps (*Long*, *Prod*, *Stoc*, *Pomp*, *Com*) que par le biais des termes croisés entre ces variables et celles variant dans le temps. En effet, la transformation Within fait disparaître les variables qui ne varient pas dans le temps mais élimine également les effets individuels. L'inconvénient devient alors un avantage car cela évite une éventuelle corrélation de ces effets avec certaines variables explicatives.

La deuxième méthode utilisée est celle des triples moindres carrés utilisant les instruments de Hausman and Taylor (1981). On la notera par la suite HT-3SLS. Comme cela est expliqué dans l'Annexe C, il est nécessaire de faire des hypothèses d'exogénéité dans le but d'avoir des conditions d'orthogonalité pour le critère GMM. Il existe plusieurs sources d'endogénéité potentielle dans notre système d'équations.

D'abord, l'hypothèse selon laquelle les gestionnaires des services d'eau considèrent les volumes d'eau comme fixés indépendamment de leur choix n'est pas réaliste. Il

est en effet improbable que les services n'aient pas de pouvoir de décision en ce qui concerne les volumes produits ou vendus et donc les volumes perdus. De plus, le prix unitaire du facteur matériel étant calculé comme une fonction de la production d'eau, il est alors endogène si cette dernière l'est.

Ensuite, le choix d'appartenance ou non à un syndicat intercommunal ne peut également pas être raisonnablement considéré comme exogène, tant cette décision peut avoir un impact important sur la gestion. Pour ces raisons, nous supposons que les volumes d'eau vendus V_c et perdus V_p, le prix du matériel w_M et le nombre de communes Com appartenant au même service sont endogènes dans les équations de coûts et de parts. La matrice complète des instruments est composée des matrices WX, $X_{m(1)}$ et $Z_{m(1)}$:

- WX contient les régresseurs variant dans le temps transformés par l'opérateur Within W pour chaque équation.
- $X_{m(1)}$ est composée des variables variant dans le temps supposées exogènes et de leurs termes quadratiques. En sont donc exclues les variables endogènes citées plus haut : V_c, V_p et w_M (en log) ainsi que leurs termes quadratiques. De même, les termes croisés variant dans le temps impliquant la variable Com ne font pas partie de cette catégorie. Tous ces termes entrent dans la composition de la matrice $X_{m(2)}$.
- $Z_{m(1)}$ contient les régresseurs invariant dans le temps supposés exogènes : ce sont les variables représentant le capital $(Long, Prod, Stoc, Pomp)$ (en log) et leurs termes quadratiques. La variable Com (en log), son carré ainsi que les termes croisés avec les autres variables invariant dans le temps sont les éléments du vecteur $Z_{m(2)}$, la matrice des variables endogènes ne variant pas dans le temps.

Notons ici que les équations de part de coût ne sont définies que par des termes de premier ordre, diminuant ainsi le nombre des instruments.

Il est vrai que nous aurions pu obtenir des estimations encore plus efficaces en utilisant les matrices de variables instrumentales proposées par Amemiya and MaCurdy (1986) et Breusch, Mizon, and Schmidt (1989). Cependant, plusieurs raisons nous y

font renoncer. D'abord, le problème de colinéarité due à la duplication des variables produit des matrices de moments empiriques non définies positives. Ensuite, le gain en efficacité est parfois négligeable par rapport aux problèmes rencontrés. Enfin, le nombre de conditions suridentifiantes étant déjà important, le risque de biaiser nos estimations n'en devient que plus grand.

Les estimations des paramètres avec la méthode HT-3SLS sont obtenues après avoir imposé les restrictions de symétrie et d'homogénéité. Il y a 66 paramètres à estimer et nous utilisons 93 instruments. Nous vérifions la validité des conditions de moment au moyen de la statistique de test de Hansen. La valeur du test est égale à 15,42 avec 27 degrés de liberté. La p-value du test étant de 0,96, nous ne rejetons pas les conditions d'exogénéité choisies. Ce résultat confirme la bonne spécification de notre modèle.

La propriété d'homothétie étant suffisante dans la définition des rendements de long terme, nous testons cette hypothèse en imposant les restrictions paramétriques suivantes : les 4 paramètres associés aux termes croisés des prix des facteurs et produits sont fixés à zéro. Dans le cas de l'estimation Within-SUR, la statistique de test du ratio de vraisemblance est égale à 27,63 et la p-value du test est 0,00. Pour la procédure d'estimation HT-3SLS, la statistique du ratio de vraisemblance est équivalente à la différence entre le critère GMM du modèle contraint et celui du modèle non contraint, ce qui donne une valeur de 3,85 et une p-value de 0,43. Ainsi, dans le cas d'une estimation Within-SUR, nous rejetons l'hypothèse d'homothétie de la technologie alors qu'elle ne l'est pas avec la procédure HT-3SLS. Ce résultat est intéressant d'une part parce qu'une telle hypothèse est cruciale dans la définition des économies d'échelle. D'autre part, elle nous permet de mettre en évidence l'importance des variables de capital invariant dans le temps et de la prise en compte explicite de l'endogénéité de certaines variables.

TAB. 3.3: Les paramètres estimés du modèle de coût

Paramètre	Variable	Within-SURE	Écart-type	HT-3SLS	Écart-type
A_0	Constante	—	—	8,4277(***)	0,0472
A_e	w_E	0,0955(***)	0,0125	0,0954(***)	0,0023
A_m	w_M	0,4809(***)	0,0243	0,4460(***)	0,0056
A_{ee}	$w_E * w_E$	0,0425(***)	0,0040	0,0435(***)	0,0027
A_{mm}	$w_M * w_M$	0,2029(***)	0,0098	0,1963(***)	0,0052
A_{em}	$w_E * w_M$	-0,0468(***)	0,0044	-0,0452(***)	0,0026
B_c	V_c	0,4323(***)	0,0417	0,4867(***)	0,0432
B_p	V_p	0,1831(***)	0,0111	0,2007(***)	0,0128
B_{cc}	$V_c * V_c$	-0,5613(***)	0,1618	0,0186	0,2172
B_{pp}	$V_p * V_p$	0,0805(***)	0,0234	0,0440	0,0330
B_{cp}	$V_c * V_p$	-0,2213(***)	0,0416	-0,0691	0,0544
C_{lon}	$Long$	—	—	-0,1106	0,0912
C_{lolo}	$Long * Long$	—	—	-0,8165(***)	0,2396
C_{pro}	$Prod$	—	—	-0,0363	0,0432
C_{prpr}	$Prod * Prod$	—	—	0,0977(***)	0,0328
C_{sto}	$Stoc$	—	—	0,1121(**)	0,0441
C_{stst}	$Stoc * Stoc$	—	—	-0,2843	0,1753
C_{pom}	$Pomp$	—	—	-0,0322	0,0307
C_{popo}	$Pomp * Pomp$	—	—	-0,0211	0,0208
D_{ab}	$Abon$	0,3147(***)	0,1225	0,2393(***)	0,0726
D_{abab}	$Abon * Abon$	-0,4330	0,3333	-0,1341	0,3766
D_{com}	Com	—	—	0,0222	0,0605
D_{coco}	$Com * Com$	—	—	-0,1018	0,1309
E_{elo}	$w_E * Long$	-0,0295	0,0242	0,0004	0,0131
E_{mlo}	$w_M * Long$	0,1852(***)	0,0305	0,0819(***)	0,0239
E_{epr}	$w_E * Prod$	-0,0240(**)	0,0114	0,0086(***)	0,0031

TAB. 3.3: (suite)

Paramètre	Variable	Within-SURE	Écart-type	HT-3SLS	Écart-type
E_{mpr}	$w_M * Prod$	-0,0912(***)	0,0217	0,0092	0,0073
E_{est}	$w_E * Stoc$	0,0047	0,0126	-0,0015	0,0033
E_{mst}	$w_M * Stoc$	0,0662(***)	0,0209	-0,0134(*)	0,0075
E_{epo}	$w_E * Pomp$	-0,0090(**)	0,0043	0,0017	0,0019
E_{mpo}	$w_M * Pomp$	-0,0372(**)	0,0146	-0,0010	0,0048
E_{eab}	$w_E * Abon$	-0,0214	0,0212	-0,0307(***)	0,0067
E_{mab}	$w_M * Abon$	-0,0816(***)	0,0290	-0,0591(***)	0,0144
E_{eco}	$w_E * Com$	0,0345(***)	0,0128	0,0271(**)	0,0107
E_{mco}	$w_M * Com$	-0,0378(**)	0,0168	-0,0075	0,0188
F_{clo}	$V_c * Long$	0,5015(***)	0,0568	0,2522(***)	0,0757
F_{plo}	$V_p * Long$	0,0816(***)	0,0275	0,0320	0,0352
F_{cpr}	$V_c * Prod$	0,0276	0,0277	-0,0198	0,0420
F_{ppr}	$V_p * Prod$	0,0056	0,0082	0,0154	0,0106
F_{cst}	$V_c * Stoc$	0,0070	0,0697	-0,2471(***)	0,0733
F_{pst}	$V_p * Stoc$	0,0266	0,0170	-0,0012	0,0185
F_{cpo}	$V_c * Pomp$	-0,1564(***)	0,0556	-0.0386	0,0619
F_{ppo}	$V_p * Pomp$	-0,0190(***)	0,0072	0,0056	0,0082
F_{cab}	$V_c * Abon$	0,3356(*)	0,1891	0,0631	0,2481
F_{pab}	$V_p * Abon$	0,0310	0,0565	-0,0783	0,0743
F_{cco}	$V_c * Com$	-0,1086(**)	0,0453	0,0724	0,0584
F_{pco}	$V_p * Com$	-0,0197	0,0146	0,0356(*)	0,0189
G_{ablo}	$Abon * Long$	-0,4988(***)	0,1733	0,1350	0,2174
G_{abpr}	$Abon * Prod$	-0,1349	0,1672	-0,3728(**)	0,1782
G_{abst}	$Abon * Stoc$	0,2157	0,1849	0,4129(***)	0,1299
G_{abpo}	$Abon * Pomp$	0,1677	0,1023	-0,1871(**)	0,0936
G_{abco}	$Abon * Com$	0,1532(**)	0,0730	-0,1740	0,1137

TAB. 3.3: (suite)

Paramètre	Variable	Within-SURE	Écart-type	HT-3SLS	Écart-type
G_{lopr}	$Long * Prod$	—	—	0,3059(**)	0,1320
G_{lost}	$Long * Stoc$	—	—	-0,0072	0,1232
G_{lopo}	$Long * Pomp$	—	—	0,1054(**)	0,0471
G_{loco}	$Long * com$	—	—	0,2097(**)	0,0836
G_{prst}	$Prod * Stoc$	—	—	0,1492	0,1368
G_{prpo}	$Prod * Pomp$	—	—	0,3964(**)	0,1059
G_{prco}	$Prod * Com$	—	—	-0,3189(**)	0,1292
G_{stpo}	$Stoc * Pomp$	—	—	-0,1610(***)	0,0582
G_{stco}	$Stoc * Com$	—	—	0,0856	0,0736
G_{poco}	$Pomp * Com$	—	—	0,1105(*)	0,0642
$\bar{R}^2$		0,9942		0,9607	

Notes : H=47, T=4, nombre d'observations = 188.

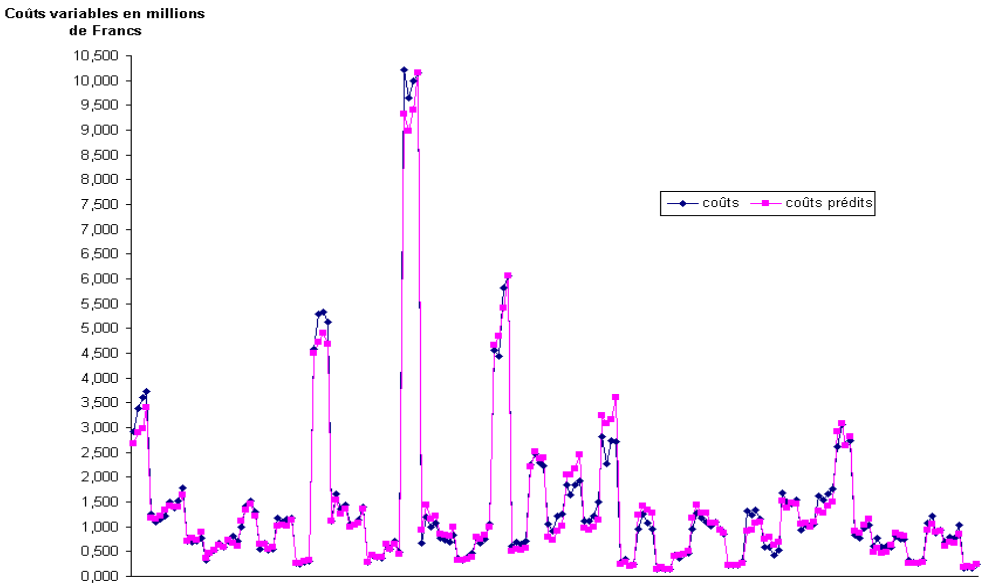
(*), (**) et (***) indiquent respectivement les niveaux de confiance 10%, 5% et 1%.

Avec la procédure Within-SURE, $\bar{R}^2$ pour S_E et S_M sont respectivement 0,8456 et 0,9621.

Avec la procédure HT-3SLS, $\bar{R}^2$ pour S_E et S_M sont respectivement 0,4265 et 0,6823.

Dans le but de comparer les deux ensembles de paramètres estimés, nous imposons la propriété d'homothétie de la technologie pour les deux procédures d'estimation, ainsi que la symétrie et l'homogénéité de degré un dans les prix des facteurs. Les paramètres estimés et leur écart-type sont présentés dans le tableau 3.3. Dans le cas Within-SURE, seulement 41 paramètres sont identifiés alors que dans le cas HT-3SLS, les 62 paramètres sont estimés avec 93 instruments, ce qui fait 31 conditions suridentifiantes. La statistique de test de Hansen est égale à 19,27 avec une p-value de 0,95. Ici encore, notre spécification n'est pas rejetée à un niveau de confiance de 5%. Le coefficient de détermination ajusté $\bar{R}^2$ mesure l'ajustement du modèle. Le $\bar{R}^2$ de l'équation de coût est égal à 0,9942 dans le cas de l'estimation Within-SUR et à 0,9607 si l'on utilise la

FIG. 3.1 – Ajustement de la fonction de coût aux données



méthode HT-3SLS. Dans les deux cas, le modèle a une très bonne capacité explicative des écarts de coût variable entre les services d'eau. Nous reportons sur la figure 3.1, les coûts variables observés et nos prédictions pour avoir une vue d'ensemble de l'excellent ajustement de notre modèle de coût aux données.

La fonction de coût doit vérifier certaines autres conditions de régularité importantes telles que la monotonie et la concavité dans les prix des facteurs. Les parts des coûts estimées sont positives pour chaque observation. La condition de monotonie est donc bien satisfaite ex post. En outre, la matrice des coefficients A_{iq} obtenue à partir de nos données est semi-définie négative et nous permet donc de vérifier la concavité (globale) de la fonction de coût. Comme la procédure d'estimation HT-3SLS est convergente et efficace, et qu'elle permet l'identification de tous les paramètres, l'inférence statistique réalisée par la suite se fera à partir des estimations des paramètres estimés par cette méthode.

TAB. 3.4 – Estimations des élasticités-prix (ε_{iq}) et des élasticités de substitution de Morishima (σ_{iq}^{M})

	Élasticité-prix			Élasticité de substitution		
	Travail	Électricité	Matériel	Travail	Électricité	Matériel
Travail	-0,2141	0,0998	0,1143	0	0,6943	0,3341
	(0,0202)	(0,0093)	(0,0139)		(0,0621)	(0,0341)
Électricité	0,4803	-0,4516	-0,0287	0,5513	0	0,4453
	(0,0448)	(0,0282)	(0,0267)	(0,0363)		(0,0268)
Matériel	0,1201	-0,0063	-0,1138	0,2281	0,0851	0
	(0,0147)	(0,0058)	(0,0119)	(0,0253)	(0,0259)	

Notes : les élasticités sont calculées à la moyenne des parts de coût observées et les écarts-types entre parenthèses sont estimés en considérant les parts de coût comme non stochastiques, voir Binswanger (1974).

3.4.2 La substitution des facteurs de production

Le tableau 3.4 présente les estimations pour le service moyen des élasticités-prix propres et croisées ainsi que celles des élasticités de substitution de Morishima. Elles sont calculées à partir de la moyenne des parts de coût observées.

On constate en premier lieu que les élasticités-prix propres ont le signe attendu, c'est-à-dire que les demandes de facteur réagissent négativement à une variation de leur prix et de façon significative.

Les facteurs de production peuvent être considérés comme des substituts au sens de Morishima, puisque les élasticités de substitution sont positives. Ce résultat nous conforte dans l'idée qu'il existe un arbitrage possible entre les deux activités de l'AEP : la production où le facteur électricité est prédominant et la distribution où les facteurs travail et matériel recouvrent en partie les travaux de réparation (essentiellement des réparations sur le réseau).

Si le prix du travail augmente, l'estimation de σ_{LE}^{M} (0,69) indique que les services sont capables de substituer de l'électricité au travail assez facilement ; autrement dit, il est aisé pour l'exploitant de laisser le réseau en l'état et d'augmenter la production d'eau pour satisfaire de façon identique la demande des usagers si le prix de la main-d'œuvre réparant les fuites augmente. La substitution inverse apparaît un peu moins facile car l'estimation de σ_{EL}^{M} est plus faible (0,55).

On peut remarquer également que la substitution entre électricité et matériel (0.09) est significativement différente de 0 lorsque le prix du matériel diminue (w_E/w_M augmente quand w_M diminue) mais faible. L'élasticité de substitution σ_{EM}^M est, quant à elle, positive (0,45) et significative, montrant ainsi que l'électricité et le matériel sont des substituts.

Considérons à présent la substitution entre les facteurs travail et matériel. Nous avons dit auparavant que les dépenses en matériel incluaient différents types de dépenses comme les coûts de maintenance tels que réparations et sous-traitance qui nécessitent beaucoup de main-d'œuvre. Nous pouvons présumer que les services d'eau utilisent indifféremment leur propre personnel ou celui fourni lors de contrats de sous-traitance. Cependant, il n'est pas immédiat que les deux types de travail soient substituables en pratique. Néanmoins, la sous-traitance est la principale composante des dépenses en matériel. Ainsi, puisque travail et matériel apparaissent comme substituts dans nos estimations, nous nous autorisons à conclure que sous-traitance et travail sont des substituts dans notre cas particulier.

3.4.3 Évaluation des rendements de densité et d'échelle

L'étude de la flexibilité des coûts nous permet d'analyser la performance des services de notre échantillon de façon détaillée, en s'appuyant sur la technologie spécifique des réseaux d'AEP.

Notre modèle de coût prend en compte deux caractéristiques importantes des services d'alimentation en eau potable : le nombre d'usagers ($Abon$) et le nombre de communes (Com) rattachées à la même unité de distribution. Il inclut également plusieurs variables ($Long, Prod, Stoc, Pomp$) mesurant le poids du capital dans la fonction de coût. Nous pouvons ainsi faire une extension de l'analyse de production classique en introduisant, comme cela est décrit dans la section 2.4, les notions de rendements de densité propres aux industries de réseaux.

Grâce à la normalisation des données (approximation de la fonction de coût autour

de la moyenne), les paramètres de premier ordre peuvent être interprétés directement comme des élasticités de coût (estimées à la moyenne géométrique d'échantillon des autres variables).

Par exemple, les estimations d'élasticité de coût par rapport aux biens produits s'interprètent de la façon suivante : un accroissement de 1% du volume d'eau consommé V_c et du volume d'eau perdu V_p entraîne une augmentation du coût variable respectivement de 0,49% et 0,20%, toutes choses étant égales par ailleurs. Ces estimations montrent que la production d'une unité supplémentaire d'eau "perdue" accroît les coûts d'exploitation dans une moindre mesure qu'une unité supplémentaire d'eau vendue. Ceci serait une première explication au fait que la minimisation des pertes d'eau n'est pas une priorité pour le responsable du service, en particulier si la réparation des fuites est très coûteuse.

Si nous étudions de façon plus précise les estimations des élasticités de coût par rapport aux variables de capital, nous pouvons en tirer de précieux enseignements. Dans la section 2.3, nous avons vu qu'une condition nécessaire pour que le programme du service d'eau corresponde à une minimisation des dépenses à long terme, était que : $\frac{\partial CV(V;w_v,K,Z)}{\partial K_u^*} = -w_{K_u}$. Nous pouvons alors conclure que si ce n'est pas le cas, c'est-à-dire que $\frac{\partial CV(V;w_v,K,Z)}{\partial K_u^*} \neq -w_{K_u}$, alors le service ne se trouve pas sur le sentier d'équilibre de long terme.

Le signe de nos estimations nous permet d'envisager un test de l'hypothèse $H0$: $\frac{\partial CV(V;w_v,K,Z)}{\partial K_u^*} \geq 0$ contre l'alternative $H1$: $\frac{\partial CV(V;w_v,K,Z)}{\partial K_u^*} < 0$. Si l'hypothèse nulle n'est pas rejetée, il y a surinvestissement en capital.

Les valeurs des élasticités de coût par rapport à la capacité de production *Prod*, la capacité de pompage *Pomp* et la variable représentant l'importance du réseau *Long* ne sont pas significatives. Le signe négatif est cohérent avec la propriété de non croissance de la fonction de coût variable par rapport au capital, mais nous ne pouvons pas conclure que les responsables du service d'eau font un calcul de long terme.

L'estimation de l'élasticité de coût par rapport à la capacité de stockage *Stoc* est

TAB. 3.5 – Estimations des rendements de réseau pour le service moyen

Élasticité	Estimation	Écart-type
EDP_{CT}	1,4546	0,1071
EDP_{LT}	1,5075	0,1170
EDU_{CT}	1,0790	0,0732
EDU_{LT}	1,0320	0,0860
EE	1,1244	0,0594

Notes : les écarts-types sont calculés à partir de la méthode du delta exposée par Kmenta (1986). CT et LT signifient respectivement court et long termes. EDP est l'abréviation d'élasticité de densité de production, EDU d'élasticité de densité d'usagers et EE d'élasticité d'échelle.

positive (0,11) avec un niveau de confiance de 5%. Ceci suggère que le service d'eau moyen est caractérisé par des capacités excessives de stockage. Ces résultats sont en accord avec la pratique observée : le gestionnaire d'un service doit se protéger contre d'éventuels chocs positifs importants de la demande. Il doit en effet se prémunir contre les différents pics de consommation dans la journée mais minimale la nuit. Il doit être aussi capable de répondre aux variations liées aux changements de saisons, surtout dans une région fortement marquée par le tourisme, comme celle étudiée. Les réservoirs ont cette fonction de régulation. Par ailleurs, ces résultats sont vérifiés pour la plupart des services de notre étude qui ne seraient pas situés sur le sentier d'équilibre de long terme. Par conséquent, si nous avions estimé une fonction de coût de long terme, celle-ci aurait été mal spécifiée.

Dans le tableau 3.5, nous avons reporté les estimations des différentes notions de rendements et de leur écart-type[9] qui ont été calculés pour le service moyen de notre échantillon. Toutes les estimations (sauf celles des élasticités de densité d'usagers) sont significatives. Cependant, il est plus informatif de tester l'hypothèse $H0 : rendements = 1$ (les rendements sont constants) contre les hypothèses $H1 : rendements < 1$ (rende-

[9]Pour calculer l'écart-type d'une fonction non linéaire de paramètres $f(x, \beta)$ (comme c'est le cas pour le calcul des rendements), x étant un vecteur de variables et β un vecteur de paramètres, nous utilisons la formule de l'approximation de la variance (Kmenta (1986), pp.485–487) : $Var(f(x,\beta)) = \nabla f(x,\beta)' \times \widehat{Cov}(\hat{\beta}) \times \nabla f(x,\beta)$, où $\widehat{Cov}(\hat{\beta})$ est la matrice des variances-covariances estimées des paramètres estimés et $\nabla f(x,\beta)$ le gradient de la fonction f.

ments décroissants) ou $H1 : rendements > 1$ (rendements croissants).

Les résultats de ces tests indiquent que, pour un service moyen, on rejette l'hypothèse nulle de rendements de densité de production constants à court terme et à long terme. La valeur de l'élasticité est significativement supérieure à un (1,45 à court terme et 1,51 à long terme) : les rendements de densité de production sont croissants. Par ailleurs, les rendements de densité d'usagers de court terme et de long terme sont constants. De plus, les rendements d'échelle sont significativement croissants pour le service moyen. Dans le but d'avoir des interprétations des estimations pour des services de physiologie différente et afin d'approcher la taille efficiente d'un service d'eau de l'échantillon, nous avons recalculé ces élasticités en classant les individus selon plusieurs critères.

Le premier classement consiste à ranger les services selon qu'ils distribuent un volume d'eau exprimé en m^3 par abonné faible ($[126; 150]$), moyen ($[154; 192]$) ou élevé ($[196; 276]$). Cela nous permet de comparer les rendements de densité de production estimés par rapport à la densité de production. La partie haute du tableau 3.6 présente également les résultats d'estimation des élasticités de densité d'usagers et d'échelle suivant ce classement. Nous utilisons les écarts-types estimés et reportés dans le tableau pour tester l'hypothèse nulle de rendements contants.

Les valeurs obtenues indiquent que les élasticités de densité de production sont significativement supérieures un, à la fois sur le court et le long terme, avec des valeurs particulièrement élevées (respectivement 2,07 et 2,08) pour les volumes d'eau par abonné les plus faibles. Les rendements de densité d'usagers sont également croissants, mais les valeurs estimées sont peu différentes de un. En revanche, les rendements d'échelle sont clairement et significativement croissants. Par ailleurs, ces économies d'échelle décroissent avec la densité de production indiquant ainsi que les services dont les abonnés consomment le moins d'eau ont le plus de bénéfice à retirer d'un rapprochement avec d'autres communes au sein d'un même service.

Pour connaître l'impact de la densité d'usagers sur les coûts, nous avons classé les

TAB. 3.6 – Estimations des élasticités de densité et d'échelle

Services classés par volume d'eau mis en distribution ($m^3/Abon$)						
	[126; 150]		[154; 192]		[196; 276]	
	CT	LT	CT	LT	CT	LT
EDP	**2,0669**	**2,0825**	**1,2442**	**1,3539**	**1,4898**	**1,5364**
	(0,3464)	**(0,3675)**	**(0,0870)**	**(0,1159)**	**(0,1569)**	**(0,1689)**
EDU	1,1016	1,1450	1,0135	0,9313	1,1175	1,1334
	(0,0931)	(0,1033)	(0,0691)	(0,0690)	(0,1148)	(0,0977)
EE	1,2211		1,1136		1,1175	
	(0,1510)		(0,0512)		(0,0446)	
Services classés par nombre d'abonnés au kilomètre ($Abon/Km$)						
	]6; 20]		[21; 29]		[30; 50]	
	CT	LT	CT	LT	CT	LT
EDP	1,2036	1,1000	1,4003	1,5436	2,5518	2,8649
	(0,0878)	(0,0992)	(0,1221)	(0,1827)	(0,5360)	(0,6444)
EDU	**0,9792**	**0,7983**	**1,2008**	**1,1470**	**1,3019**	**1,4423**
	(0,1012)	**(0,0615)**	**(0,1274)**	**(0,1159)**	**(0,2000)**	**(0,2239)**
EE	0,9973		1,1795		1,4005	
	(0,0440)		(0,0770)		(0,2658)	
Services classés par nombre de communes desservies						
	1 commune		2 à 6 communes		+ de 6 communes	
	CT	LT	CT	LT	CT	LT
EDP	1,7466	1,6591	1,3491	1,6685	1,2211	1,0955
	(0,1901)	(0,2264)	(0,1169)	(0,1606)	(0,1502)	(0,1735)
EDU	1,1008	1,0660	0,9686	1,0859	1,3005	0,8433
	(0,1002)	(0,0724)	(0,0661)	(0,0864)	(0,2605)	(0,0908)
EE	**1,1471**		**1,2070**		**0,8831**	
	(0,1357)		**(0,0565)**		**(0,0837)**	

Notes : Toutes les élasticités sont calculées à la moyenne du sous-échantillon des variables. Les écarts-types sont estimés par la méthode du delta, voir Kmenta (1986). CT et LT signifient respectivement court et long termes.

services par rapport au nombre d'abonnés desservis au kilomètre. Comme cela peut être vu dans la partie centrale du tableau 3.6, les estimations indiquent des rendements de densité d'usagers constants lorsque le nombre d'abonnés au kilomètre est faible. Les rendements deviennent ensuite croissants (mais non significatifs) avec la concentration des abonnés. Cette tendance semblerait signifier qu'une zone à densité de population élevée (zone urbaine) est davantage en mesure d'accueillir de nouveaux abonnés que les zones moins peuplées, en particulier à long terme (valeur de l'élasticité de 1,44 pour un écart-type de 0,22). Il est intéressant de noter que l'on observe pour les densités d'usagers les plus élevées, les élasticités de densité de production les plus fortes (2,55 et 2,86 respectivement à court terme et long terme), indiquant également une meilleure capacité pour ces services à accroître leur distribution d'eau par abonné.

En outre, on observe des rendements d'échelle significativement croissants à partir d'une certaine densité d'usagers (21 abonnés au kilomètre). Il y aurait donc des économies de coût non exploitées à accroître la taille du syndicat lorsque les zones de desserte sont à densités plus élevées.

Nous avons également classé les services selon le nombre de communes desservies par la même unité de distribution : ceux composés d'une seule commune, les syndicats regroupant jusqu'à six communes et enfin ceux qui ont plus de six communes sous la même exploitation. Nous pouvons ainsi avoir une idée de l'évolution des rendements d'échelle en fonction de la taille du service d'eau.

Les résultats reportés dans la partie inférieure du tableau 3.6 révèlent qu'il est toujours profitable aux collectivités locales de se regrouper et de former un syndicat intercommunal, mais jusqu'à une certaine taille. Pour les services communaux, il existe des économies d'échelle élevées avec une élasticité estimée à 1,15 mais non significatives. Il en est de même pour les services comprenant jusqu'à six communes et dont les rendements sont significatifs et égaux à 1,21 (écart-type égal à 0,06).

Cependant, pour des services regroupant plus de six communes, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle de rendements d'échelle constants. La valeur de l'élasticité est

inférieure à un et nous montre qu'on n'est pas loin d'avoir des déséconomies d'échelle. Cela indiquererait ainsi qu'il n'existe aucun gain voire une perte économique à accroître indéfiniment la taille du syndicat.

Nous trouvons, par ailleurs, des résultats similaires à ceux des précédents cas concernant les densités de production et indiquant des rendements croissants. L'évolution des élasticités de production indique en particulier que les services qui ont le plus intérêt à s'agrandir sont aussi ceux qui ont intérêt à accroître leur quantité d'eau distribuée.

3.4.4 Coût marginaux et élasticités de coût marginal

L'estimation des coûts marginaux d'un secteur d'activité est d'un grand intérêt pour la fixation de ses prix, que ce secteur soit réglementé ou pas. D'une part, la comparaison du coût marginal et du prix pratiqué peut donner une information sur le déficit ou l'excédent des comptes de l'exploitant. D'autre part, cette estimation apporte un élément indispensable pour une autorité indépendante de régulation qui veut instaurer un prix plafond ("price cap") ou qui désire mettre en place une concurrence par comparaison ("yardstick competition").

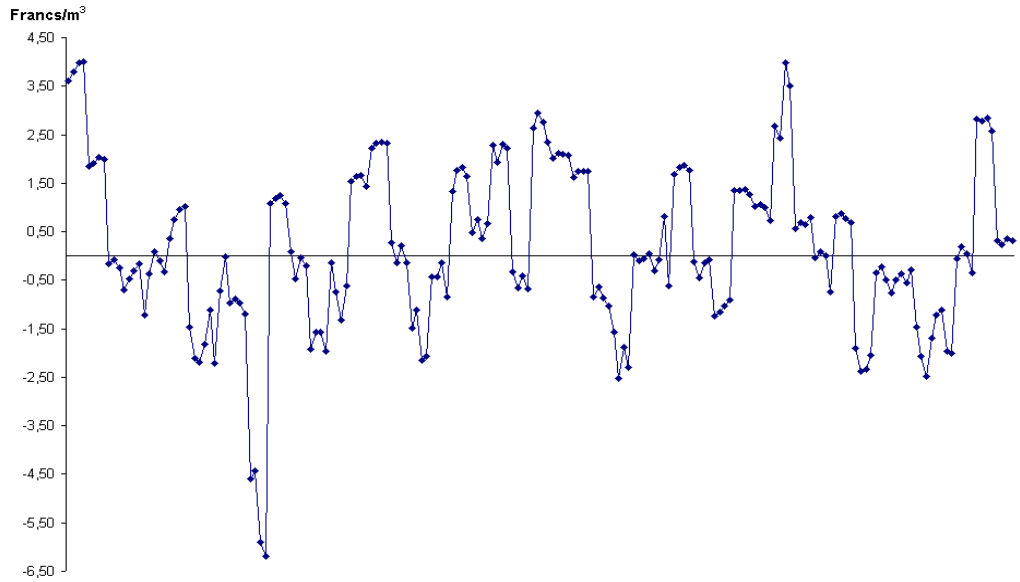
Nous avons calculé les coûts marginaux de distribution de l'eau potable aux usagers pour chaque service à partir de la fonction de coût variable de court terme (2.1). Pour une forme fonctionnelle translog, le coût marginal estimé du bien j est donné par l'expression suivante :

$$Cm_j(V_c, V_p; w_v, K, Z) = \frac{CT}{V_j}\varepsilon_{C_{V_j}}$$

où Cm_j est le coût marginal du bien j, CT représente le coût total de court terme du service (coûts variables et coûts fixes) et $\varepsilon_{C_{V_j}} = \frac{\partial \ln CV(V_c,V_p;w_v,K,Z)}{\partial \ln V_j}$ est l'élasticité de coût par rapport à la quantité de bien V_j.

Evaluer le coût marginal à la moyenne géométrique des variables de la fonction de coût implique que tous les termes de la translog deviennent nuls à cause de la normalisation par la moyenne géométrique faite préliminaire à l'estimation. Ainsi, l'expression du coût marginal pour le service moyen s'écrit simplement : $Cm_j = \frac{A_0}{\overline{V_j}} \times B_j$, où

FIG. 3.2 – Différence prix-coût marginal



A_0 et B_j sont les paramètres estimés de la fonction de coût (3.2) et $\overline{V_j}$ la moyenne géométrique de la variable V_j.

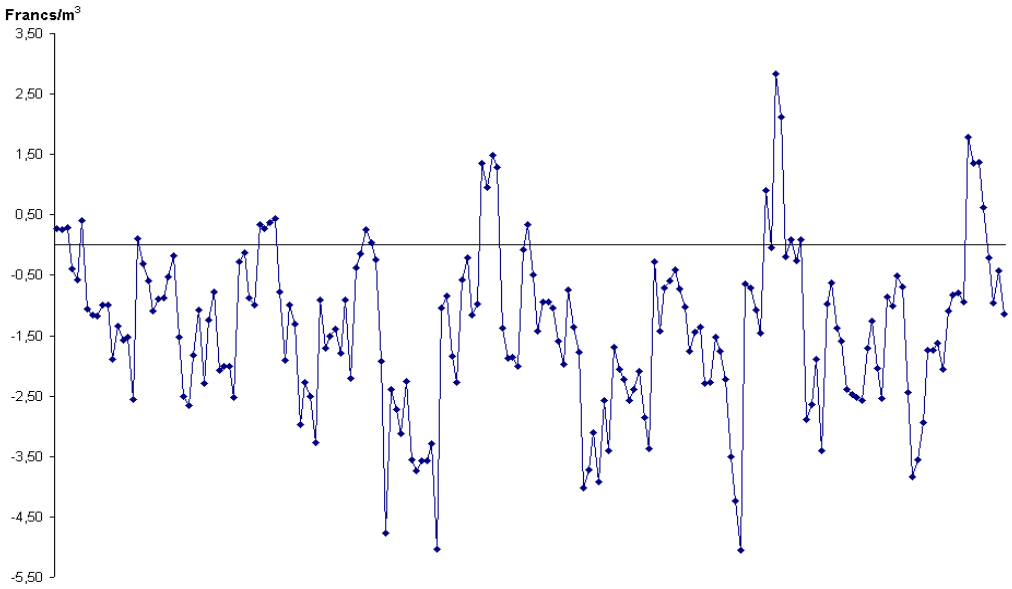
Le coût marginal du service moyen est estimé à 1,73 francs. Cette estimation est significative à un niveau de confiance de 1% puisque l'écart-type estimé est de 0,17. Cette estimation du coût marginal est inférieure au prix du mètre cube observé en moyenne par les exploitants privés des services girondins et qui est égal à 2,36 francs (moyenne géométrique = 2,08 francs). Nous avons également estimé le coût marginal du volume perdu (V_p). Il est égal à 2,19 francs avec un écart-type de 0,16.

Les résultats d'estimation montrent des différences importantes selon le service. Le coût marginal du bien consommé estimé minimal est égal à 0,09 franc. Le coût marginal le plus élevé avoisine les 9,47 francs. La moyenne observée sur l'échantillon est de 2,20 francs.

Nous avons calculé pour chaque service et chaque année la différence entre le prix unitaire facturé par l'opérateur et son coût marginal estimé. Les points sont reportés dans le graphique 3.2. Nous constatons qu'il y a une répartition égale[10] entre les services

[10]Plus exactement, nous trouvons 90 observations sur 188 correspondant à un prix supérieur au

FIG. 3.3 – Différence prix-coût variable moyen



dont le prix est supérieur au coût marginal et ceux qui pratiquent un prix inférieur. Ceci nous permet de conclure que la tarification au coût marginal n'est pas la pratique utilisée. Nous ne pouvons pas nous prononcer si le service réalise des rentes positives ou tel autre fait des pertes car nous n'étudions pas le montant des abonnements. D'autre part, La figure 3.3 montre que dans leur grande majorité, les services d'eau fixent leur prix unitaire en dessous du coût variable moyen (et donc a fortiori en dessous du coût moyen). Ceci signifie que le choix du montant de la partie fixe du tarif a une importance déterminante sur la rentabilité de l'entreprise et ses profits.

L'étude de la variation des coûts marginaux en fonction des volumes d'eau apporte de précieuses informations sur les effets de substitution ou de complémentarité de coût (Kim (1987)). Ainsi, le calcul des élasticités de coût marginal par rapport à ces variables permet de quantifier ces effets :

$$\frac{\partial \ln Cm_j}{\partial \ln V_j} = \frac{B_{jj}}{\varepsilon_{C_{V_j}}} + \varepsilon_{C_{V_j}} - 1,$$

coût marginal, et donc 98 dans la situation inverse.

TAB. 3.7 – Estimations des élasticités propres et croisées de coût marginal

	V_c	V_p
V_c	-0,4751	0,0587
	(0,4418)	(0,1122)
V_p	0,1424	-0,5802
	(0,2723)	(0,1643)

Notes : les élasticités sont calculées au point d'appro-ximation de la forme translog et les écarts-types sont estimés par la méthode du delta.

$$\frac{\partial \ln Cm_j}{\partial \ln V_k} = \frac{B_{jk}}{\varepsilon_{C_{V_j}}} + \varepsilon_{C_{V_k}},$$

où B_{jk} est le paramètre associé au terme quadratique propre si $j = k$ et croisé si $j \neq k$ des volumes dans l'équation (3.2). Elles mesurent la variation en pourcentage du coût marginal d'un bien due à une variation de 1% de la quantité de ce bien ou d'un autre bien. Les élasticités de coût marginal sont estimées à la moyenne des variables de l'échantillon et sont présentées dans le tableau 3.7.

Les élasticités propres de coût marginal du service moyen sont négatives. L'estimation est significative pour le volume d'eau perdu mais non significative pour le volume facturé. La courbe du coût marginal des pertes est donc décroissante, indiquant clairement que le service a intérêt d'accroître son volume d'eau perdu pour sortir de la zone d'inefficacité. Les élasticités croisées de coût marginal sont faibles mais positives. En conséquence, ces résultats ne suggèrent pas l'existence de complémentarité de coût entre les deux biens. Et donc il n'y aurait pas d'avantage économique à produire ensemble ces deux produits. En revanche, la décroissance de son coût marginal donne une explication au niveau assez élevé observé du volume d'eau perdu sur les réseaux d'eau potable.

3.5 Conclusion

À partir de la modélisation économique des décisions des opérateurs privés en charge de l'exploitation des services d'AEP et à l'aide d'une fonction de coût variable multi-produits, nous avons introduit un élément stochastique pour tester différents concepts de l'analyse de la production. L'utilisation d'une procédure d'estimation basée sur les GMM et prenant en compte la possibilité d'endogénéité de certaines variables explicatives nous permet d'obtenir des estimations convergentes et efficaces sur un échantillon de services de Gironde.

Notre modèle présente plusieurs particularités. La première est de définir la production comme la fourniture d'un bien désiré (le volume d'eau potable effectivement vendu) et d'un bien non désiré (le volume d'eau potable perdu). La seconde caractéristique est l'introduction de variables techniques de réseau que sont le nombre d'abonnés desservis et le nombre de communes appartenant au service d'eau, ainsi que des variables de capital propres au secteur d'activité : la longueur des conduites de distribution, les capacités de production et de pompage, et la capacité de stockage.

Grâce à ces éléments, nous avons pu nous intéresser en particulier à la façon dont il était possible d'améliorer l'efficacité technique d'ensemble du réseau, par le calcul de différentes notions de rendements. Nous avons également tenté de mettre en évidence dans quelle mesure l'exploitant avait intérêt à ne pas réparer ses fuites de canalisations.

L'estimation des paramètres de la fonction de coût et des équations de parts nous permet de calculer les élasticités de substitution entre facteurs de production ainsi que les élasticités de densité et d'échelle pour les services de notre échantillon. Au vu des résultats présentés dans ce chapitre, nous pouvons tirer plusieurs enseignements sur la technologie de l'alimentation en eau potable et sur la structure des coûts de l'activité dans le but d'une régulation efficace :

1. la substitution des facteurs de production entre eux suggère la possibilité d'un arbitrage entre l'activité de production et celle de distribution de l'AEP. La substitution par le facteur électricité essentiellement utilisé dans l'extraction et la

mise en pression d'un volume d'eau, du facteur matériel dont une large part consiste en des réparations et de la sous-traitance en est un bon exemple. Cela nous autorise à penser qu'un exploitant peut prendre la décision de laisser les pertes d'eau en l'état et d'accroître sa production en amont pour continuer de satisfaire la demande de ses usagers.

2. Les tests réalisés à partir des paramètres associés aux variables de capital nous permettent de conclure que les infrastructures de stockage sont en surcapacité. L'explication à ce résultat est liée à la gestion de la demande des usagers. En effet, le responsable du service surdimensionne ses réservoirs d'eau potable de façon à pouvoir répondre aux pics de demande.

3. Pour le service moyen, les rendements de densité de production sont croissants. Les estimations des élasticités d'échelle (lorsqu'elles sont supérieures à un) confirment l'idée selon laquelle un service à intérêt à s'élargir pour exploiter ses économies d'échelle. Ainsi, Les communes ont fortement intérêt à adhérer à un syndicat intercommunal. En revanche, cette profitabilité diminue lorsque le service grandit et devient même négative (déséconomies d'échelle) lorsque le syndicat regroupe plus de six communes.

   Nous montrons également que les services dont la consommation par abonné est faible ont de forts gains à accroître leur production par abonné (en augmentant le prélèvement d'eau brute) et à, soit adhérer à un syndicat si le service est communal, soit privilégier l'entrée d'autres communes dans le syndicat. Nous observons aussi que les services dont la densité d'usagers est la plus forte, ont également intérêt à se regrouper et à augmenter leur distribution d'eau potable par usager.

4. De plus, l'estimation des coûts marginaux nous donne une indication indispensable pour fixer le prix au m^3 à facturer aux usagers et nous permet d'expliquer l'hétérogénéité observée entre des services souvent très proches géographiquement.

5. Les estimations des élasticités propres de coût marginal montrent que la courbe du

coût marginal par rapport au volume d'eau perdu est décroissante. On peut alors expliquer l'existence de volumes d'eau perdus important de la façon suivante. Le réseau étant confié dans un certain état au nouvel exploitant, celui-ci n'a pas intérêt de réparer les fuites d'eau sur le réseau puisque cela entraîne une augmentation des coûts marginaux.

Cependant, nous ne trouvons pas de preuve empirique qu'il existe une complémentarité de coût entre le volume d'eau consommé et le volume d'eau perdu.

Ces résultats sont très encourageants en ce qui concerne leur application directe en termes de décisions politiques. L'absence de résultats sur la complémentarité de coût entre les deux biens produits semble indiquer que les coûts ne sont pas la seule raison au taux de perte élevé observé sur les réseaux d'AEP. Y aurait-il une raison qui fasse que la collectivité autorise l'opérateur à faire davantage de pertes que ce qui serait optimal ? Ces questions appellent d'autres formalisations davantage centrées sur la définition des contrats entre décideurs locaux et opérateurs privés.

Dans la suite de notre étude, nous allons analyser plus minutieusement le comportement des gestionnaires des services d'eau potable par rapport aux pertes en réseau et la régulation à mettre en œuvre pour produire les volumes d'eau optimaux. Lorsque les responsables des collectivités locales délèguent l'exploitation du service public de distribution d'eau potable aux opérateurs privés, des problèmes de sélection adverse et de risque moral dans l'exploitation du service vont se poser dès la mise en concurrence des services. L'information privée de l'opérateur sur ses décisions de production, l'objectif social attendu qui est de distribuer de l'eau potable au coût le plus bas, tout en intégrant le phénomène d'usure des réseaux, nécessite de faire appel à la théorie des contrats.

Partie 2 :

Essai sur les contrats dans l'alimentation en eau potable

Chapitre 4

Les contrats régissant l'exploitation du service d'eau potable

4.1 Introduction

En France, les services d'eau n'ont pas encore fait l'objet d'une véritable réflexion économique quant à la mise en place de dispositifs et d'autorités de régulation. L'activité d'AEP ayant une structure de monopole naturel, elle engendre des inefficacités allocatives. De plus, la collectivité locale responsable de l'AEP qui choisit de déléguer l'exploitation du service plutôt que de le gérer elle-même, fait face à des inefficacités liées à l'existence d'information privée. Ce type d'inefficacités est inclus dans ce que l'on appelle plus généralement l'"inefficience-X" (ou "X-inefficiency", voir Leibenstein (1966)). La commune délégatrice se trouve donc en difficulté lorsqu'elle veut obtenir de l'exploitant la meilleure qualité de service au moindre prix.

Lorsque la collectivité locale décide de faire appel à une entreprise privée, c'est dans le cadre d'un contrat pluriannuel définissant les règles que doit respecter la société délégataire. Cela concerne les termes des prestations attendues, en particulier les volumes d'eau à mettre à disposition et le prix de l'eau payé par les usagers. Excepté le cas des contrats de concession, les frais de premier établissement ont déjà été engagés par la collectivité, le fermier doit alors exploiter le service tout en assurant les travaux

de maintenance (dont l'entretien du réseau). Le contrat entre l'opérateur privé et la collectivité locale est donc le moyen principal de fixer les règles de l'exploitation.

En 1964, ont été créées les Agences de l'eau dont la mission est de gérer les ressources en eau des grands bassins versants métropolitains. Elles sont en particulier chargées d'en préserver la qualité en luttant contre leur pollution. Les évolutions de la réglementation au début des années 1990 se sont concrétisées essentiellement par des contraintes législatives de plus en plus fortes sur les émissions de polluants.

Par ailleurs, la Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies (FNCCR), une association représentant les intérêts des collectivités locales et de leurs syndicats en ce qui concerne les services publics locaux à caractère industriel et commercial, suggère bien des méthodes pour la rédaction des contrats de délégation. Cependant, elle n'a qu'un rôle de conseil : «*Les collectivités délégantes disposent d'une large liberté pour rédiger les contrats de délégation comme elles l'entendent. Il leur incombe donc d'élaborer des contrats équilibrés, c'est-à-dire à la fois incitatifs vis-à-vis des délégataires et garantissant un rapport qualité/prix satisfaisant pour les usagers.*»

En définitive, il n'existe pas d'autorités administratives et financières pour établir les règles économiques que devraient respecter les entreprises privées en charge des services publics de l'eau. Ces dernières ont alors toute liberté pour fixer un prix supérieur à celui qui maximiserait un critère de bien-être social. Elles peuvent également rester tout à fait passives en ce qui concerne l'effort engagé pour réduire leurs coûts et décider de produire la qualité minimale autorisée pour le service. Dans ce cas, le régulateur (ici la collectivité locale) va devoir créer les meilleures conditions pour contraindre l'opérateur à s'autodiscipliner. Ces conditions ne peuvent donc être mises en place que par l'intermédiaire d'un contrat qui va poser les règles que l'opérateur doit respecter de façon à l'inciter à exploiter au mieux le service.

Depuis le début des années 1980, la recherche économique sur la théorie des contrats a traité les problèmes d'asymétries d'information en modélisant les relations entre un régulateur public (le principal) et un monopole privé (l'agent). Dans ces modèles, il est

montré que l'information privée détenue par l'entreprise régulée sur sa technologie est un avantage stratégique dans sa relation avec le régulateur. Deux principaux courants de recherche analysent les processus de régulation mis en œuvre selon que les coûts sont non observés (Baron and Myerson (1982)) ou qu'un audit de la comptabilité des entreprises permet d'utiliser l'information sur les coûts de l'entreprise (Laffont and Tirole (1986)).

Cependant, les applications empiriques de ces modèles sont encore peu nombreuses. Dans la plupart des travaux économétriques sur le secteur de l'eau (Mann and Mikesell (1976), Crain and Zardkoohi (1978), Hayes (1987), Kim (1987), Renzetti (1992b)), les implications de la détention d'une information privée par l'exploitant du service d'eau sont ignorées.

L'article pionnier de Wolak (1994) étudie le secteur de la distribution d'eau aux États-Unis en supposant qu'il existe des asymétries d'information dans la régulation d'un monopole. Il repose sur un modèle à la Baron-Myerson où les coûts sont non observés et le problème d'asymétrie d'information basé sur l'hétérogénéité non observable des entreprises, modélisée via la qualité du travail fourni. L'auteur propose l'estimation d'une fonction de coût dans le cas d'information complète où le paramètre d'efficacité de l'entreprise est connu du régulateur et dans le cas d'information incomplète où l'efficacité n'est pas observée directement. La technologie de production est supposée être de type Cobb-Douglas. La procédure utilisée permet d'estimer les paramètres technologiques et simultanément la distribution du paramètre d'efficacité de façon non paramétrique. Un des résultats de l'étude est que le modèle en information complète surestime les économies d'échelle. La présence d'une information privée conduit à un niveau de production plus faible et un prix plus élevé. En outre, le modèle en information complète est rejeté en faveur de celui en information incomplète par un test non emboîté.

Thomas (1995) propose une estimation d'un modèle structurel de régulation des rejets d'effluents industriels dans le milieu naturel. Il part du postulat qu'une taxation insuffisante de la pollution nécessite la mise en œuvre d'un mécanisme de régulation

pour inciter les industriels à réduire davantage leur niveau de pollution en augmentant la capacité de leur station d'épuration. La méthode d'estimation se déroule en deux étapes. Dans un premier temps, l'auteur estime la distribution conditionnelle du paramètre d'efficacité. Dans un second temps, il estime les paramètres structurels à partir des conditions de premier ordre du contrat optimal. Les résultats montrent en particulier qu'il faut contracter avec les industriels les plus efficaces et doubler la taxe en place pour fournir les bonnes incitations.

Quelques études sur d'autres secteurs d'activité prennent en compte l'incomplétude de l'information comme celles de Dalen and Gomez-Lobo (1996) et Dalen and Gomez-Lobo (1997) dans le secteur des transports urbains. Ces travaux sont basés sur un modèle à la Laffont-Tirole avec sélection adverse et risque moral dans lequel le régulateur propose un menu de contrats linéaires qui permet de faire varier la puissance des incitations. Le premier article consiste à estimer les paramètres du contrat indirectement par la dérivation de la fonction de coût des entreprises en forme réduite. Les auteurs montrent en particulier qu'une enchère sur un contrat à prix fixe procurerait le même niveau de bien-être qu'une enchère sur le contrat optimal. Le second article est présenté comme une méthode (différente de celle de Wolak (1994)) d'estimation de la fonction de coût des entreprises régulées qui prend en compte l'existence d'une information privée. Les auteurs reprennent le modèle utilisé dans leur étude précédente, l'appliquent aux données de transport par bus norvégien et en déduisent des résultats similaires. Gagnepain and Ivaldi (2002) proposent une étude des contrats dans les transports publics en France. Ils partent d'un modèle proche des études que nous venons de décrire et comparent les schémas réglementaires en place aux schémas optimaux. Ils montrent en particulier que les contrats "cost-plus" actuels peuvent être améliorés en terme de bien-être mais qu'en revanche les contrats optimaux de second rang proposés ne feraient pas mieux que les contrats à prix fixe en place.

Auriol, Ivaldi, and Kim (1999) considèrent la production d'un service de télécommunication avec un certain niveau de publicité à partir d'un modèle de régulation à la Baron-Myerson. Les cas d'information complète et d'information incomplète sont

étudiés. Dans le second cas et lorsque le niveau de publicité est vérifiable, il est montré que le régulateur affecte des niveaux de production et de publicité plus faibles aux entreprises moins efficaces pour diminuer les rentes d'information. Si le niveau de publicité n'est pas vérifiable, l'entreprise détermine un niveau de publicité supérieur au niveau socialement optimal. Par ailleurs, un test non emboîté montre la supériorité d'une modélisation en information incomplète.

Notre étude se concentre sur l'existence de fuites d'eau sur les réseaux en aval de la mise en distribution du volume d'eau destiné aux usagers. Dans les réseaux d'AEP, les niveaux de pertes sont très élevés : les observations montrent des taux de perte de 25% en moyenne pouvant atteindre 50% du volume mis en distribution. Ces chiffres sont d'autant plus étonnants que ces pertes sont indésirables dans le contexte d'une politique de préservation de la ressource. En outre, c'est un problème que les gestionnaires des services n'ont pas intérêt à négliger en termes de coût d'opportunité du volume d'eau perdu pour d'autres usagers éventuels. Les quantités d'eau produites et distribuées sont par ailleurs les principaux outils sur lesquels peuvent s'appuyer les communes lors de la rédaction du contrat avec l'opérateur privé. De plus, la qualité de service et la performance de l'exploitant semblent résider entièrement sur sa capacité à assurer une distribution d'eau potable efficace dans le sens où il réalise un niveau de pertes optimal. Il existe en effet un large consensus sur le fait que l'activité de production de l'AEP ne pose pas de problèmes technologiques[1] en situation courante. C'est pour ces raisons que nous considérons que l'analyse des pertes d'eau doit être le problème central de la régulation à mettre en place.

Nous montrons dans le chapitre précédent que le responsable du service d'eau peut trouver avantageux de ne pas réparer toutes les fuites sur les conduites, et préférer extraire un volume d'eau plus important pour satisfaire la demande de ses abonnés. Nous avons vu qu'il peut être très coûteux de réparer ces fuites et que la substitution

[1] Les techniques de potabilisation ne sont pas très coûteuses, d'autant plus que les normes de qualité des eaux brutes fixées à l'échelon européen sont de plus en plus contraignantes. Elles nécessitent donc moins de traitement à normes inchangées de qualité des eaux de consommation.

entre les facteurs de production autorise le responsable du service à pallier la diminution du volume destiné aux usagers en augmentant la production d'eau. Toutefois, nous n'avons pas apporté la preuve empirique qu'il existait une véritable complémentarité de coût entre volume d'eau consommé par les usagers et volume d'eau perdu. Ceci permet de penser que le problème des réparations coûteuses n'est pas la seule justification d'un tel niveau de pertes. Dans ce chapitre, nous nous tournons vers l'analyse des facteurs liés à l'existence d'information privée pour lesquels la collectivité locale autoriserait l'opérateur à ne pas réduire ce volume d'eau perdu.

Notre étude présente ainsi l'originalité de s'inscrire dans un cadre multi-produits. Les biens produits (eau consommée et eau perdue) peuvent paraître moins classiques que ceux pris en compte dans d'autres secteurs comme le transport ferroviaire qui offre des services pour les passagers et pour le fret. Cependant, le cadre multi-produits est également pertinent si l'on considère que le service d'eau propose un seul bien (le volume d'eau potable facturé aux usagers) avec une qualité variable mais vérifiable (le volume d'eau perdu). D'autres industries présentent des caractéristiques qui peuvent être rapprochées de celles de l'AEP : les contrats d'armement spécifient la fourniture du produit et sa performance à la date de livraison, les contrats à terme de matières premières spécifient un prix et une quantité ainsi qu'un lieu de livraison et une qualité.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser l'impact de l'asymétrie dans la distribution de l'information entre la collectivité et l'opérateur privé sur ses décisions de production. Avant de déléguer l'exploitation de son service d'eau potable, la collectivité locale fait face à deux problèmes principaux :

1. Elle ne connaît pas les caractéristiques des entreprises qui répondent à son appel d'offre de délégation du service d'eau.
2. L'effort fourni par l'entreprise choisie pour améliorer la qualité du réseau en réduisant les pertes d'eau lui est également inconnu.

La régulation de l'exploitant est basée sur un contrat spécifiant les volumes d'eau à fournir et le prix facturé. En définitive, les variables de contrôle dans le contrat

sont les deux biens produits suivants : l'eau effectivement consommée et l'eau perdue ou, de manière équivalente, le taux de rendement du réseau. À partir d'un modèle de régulation de type Baron-Myerson, nous dérivons d'abord les solutions optimales dans le cas d'une information complète. Le second cas étudié est celui dans lequel l'opérateur a une information privée (θ) sur la technologie et son efficacité. Par ailleurs, nous introduisons une fonction de dommage dans le programme de la commune. Par le biais de ce nouvel instrument, nous intégrons le fait que le stock de la ressource n'est pas inépuisable et qu'il faut en tenir compte pour les prélèvements futurs. Enfin, pour l'analyse empirique des chapitres qui suivront dans lesquels l'estimation des paramètres technologiques est cruciale, nous avons besoin de spécifier correctement la fonction de coût. Tout particulièrement, l'incidence de θ sur les variables de contrat et sa place dans la fonction de coût sera traitée avec attention.

La section 2 présente le modèle structurel construit à partir de la technologie de l'AEP et de la demande des usagers. Le modèle économique de régulation et les solutions optimales du contrat sont présentés dans la section 3. La section 4 discute brièvement de la forme de la fonction de coût et de sa relation avec le paramètre d'efficacité technique θ dans le but d'étudier le signe des dérivées croisées du coût par rapport à θ et aux biens produits. Dans la section 5, nous introduisons dans le programme de la collectivité locale un dommage lié au prélèvement d'eau dans les réservoirs naturels pour prendre en compte le problème de renouvellement de la ressource. La section 6 conclut ce chapitre.

4.2 Le modèle structurel

4.2.1 La technologie et les coûts de production

L'AEP résulte des deux étapes successives de production et de distribution d'eau potable aux usagers. Le processus de production correspond à l'extraction d'un volume V_e d'eau brute et de potabilisation si elle est impropre à la consommation. L'eau entre ensuite dans le réseau de distribution pour atteindre in fine le robinet des usagers.

Cependant, parce qu'il existe des fuites sur les canalisations, une partie V_p du volume extrait V_e est perdue, et n'est pas facturée aux usagers. Nous avons[2] :

$$V_e = V_c + V_p,$$

où V_c est le volume consommé (facturé) par les usagers.

Nous supposons que l'objectif de l'exploitant d'un service d'eau potable est de minimiser ses dépenses d'exploitation étant donné le capital existant et la technologie de production. Ainsi, sous les conditions habituelles de régularité (Lau (1976)), il existe une fonction de coût qui peut s'écrire[3] :

$$C(V_c, V_p, \theta) \tag{4.1}$$

L'efficacité de l'exploitant est caractérisée par un paramètre réel $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$. Nous supposons que C est croissant par rapport à θ, de telle façon que les valeurs les plus élevées de θ correspondent aux opérateurs les moins efficaces[4].

Ainsi, l'équation (4.1) donne le coût associé à la mise à disposition du volume d'eau V_c, étant donné la qualité du réseau θ et le niveau de pertes V_p autorisé. À ce stade de la modélisation, il est intéressant de noter que C n'est pas nécessairement décroissant par rapport à V_p. En effet, un volume d'eau perdu élevé permet certes de réduire les coûts d'entretien du réseau, mais cela impose en contrepartie d'extraire et de traiter davantage d'eau.

[2] D'autres échanges de volumes d'eau peuvent également intervenir. L'exploitant peut acheter un volume d'eau potable supplémentaire à un autre service de distribution, mais aussi exporter une certaine quantité à un autre service. Toutefois, parce que ces volumes sont négligeables dans notre base de données, nous n'expliquons pas les choix de l'exploitant en ce qui concerne l'achat ou la vente d'eau en gros.

[3] L'écriture de la fonction de coût est simplifiée ici, de telle sorte que seules les variables de contrat apparaissent. Dans la partie empirique, nous introduisons toutes les variables définies dans la partie 1 de cette étude, à savoir les prix des facteurs de production, les variables techniques et les variables de capital.

[4] Nous aurions pu interpréter θ comme un indice de qualité du réseau sans que cela modifie les résultats à venir. En d'autres mots, tous les exploitants sont identiques mais ils supportent des coûts différents dus à des variations locales de θ et des autres variables représentant la configuration particulière du service.

4.2.2 La demande des usagers

Pour une collectivité locale donnée, le surplus brut des usagers est noté $S(V_c)$, avec $S' > 0$, $S'' < 0$ et $S(0) = 0$. La fonction de demande inverse $P(V_c) = S'(V_c)$ est donc décroissante, avec P le prix unitaire de l'eau consommée.

Si nous appelons T la partie fixe (multipliée par le nombre d'usagers) du tarif binôme de l'eau que les usagers paient au service d'eau potable, le surplus net des usagers s'écrit :

$$W \equiv S(V_c) - P(V_c)V_c - T.$$

Comme l'accès à l'eau potable est un bien essentiel, le nombre d'abonnés est supposé ne pas dépendre de T. En outre, les budgets de l'eau des collectivités locales sont séparés de leur budget général depuis la mise en place de l'instruction comptable M49 en 1992. Les subventions croisées sont interdites. Les usagers paient T directement sur leur facture et non par l'intermédiaire d'impôts locaux. En d'autres mots, des variations du niveau de T ne créent pas de distorsions, de sorte qu'il n'y a pas de coûts sociaux de fonds public associé à ce transfert monétaire (Laffont and Tirole (1993)).

4.2.3 Les préférences de la collectivité locale

Dans la majeure partie des contrats de délégation de service public d'eau potable à un opérateur privé, presque tous les investissements sont supportés par la collectivité locale[5]. Ainsi, le transfert monétaire T de la collectivité locale à l'exploitant correspond au produit de la charge fixe unitaire (ou abonnement) et du nombre total des usagers, et a pour but de couvrir les coûts fixes imputés à l'exploitant. Par ailleurs, les profits du service sont :

$$U \equiv T + P(V_c)V_c - C(V_c, V_p, \theta).$$

Nous allons faire maintenant deux hypothèses clés qui nous permettront de caractériser le contrat de délégation optimal établi par la collectivité locale. La première hypothèse

[5]Seuls les contrats de concession impliquent effectivement la construction de tout ou partie des infrastructures, ou les clauses concessives des contrats d'affermage.

est que l'opérateur doit recevoir un niveau minimal de profit u, autrement il n'accepterait pas la gestion du service d'eau. Nous supposerons que ce niveau de réserve u est indépendant de θ[6].

La seconde hypothèse postule que les préférences de la collectivité locale sont représentées par une somme pondérée du surplus net des usagers W et des profits de l'opérateur U. Formellement, le critère à maximiser est :

$$\pi W + (1 - \pi)U, \tag{4.2}$$

avec $\pi \in]\frac{1}{2}, 1]$. C'est une manière de calculer le surplus social si une part des profits réalisés par le service d'eau est dépensé ou redistribué localement.

Baron (1989) développe la façon dont il est possible de caractériser une mesure du bien-être. Il utilise une forme équivalente à la nôtre de pondération des surplus : $W + \alpha U$, où $\alpha \in [0, 1[$. En outre, il explique comment le choix de la valeur de α peut être interprété comme le choix des électeurs lors de l'élection de leur représentant. L'expression du bien-être peut donc être considérée comme un forme simplifiée de la fonction objectif du responsable élu de la collectivité locale. Les échéances des élections obligent à prendre soin du bien-être des électeurs[7], mais aussi des contributions lors des campagnes électorales faites par l'opérateur privé (voir Grossman and Helpman (1994)), et de l'activité économique générale.

Finalement, puisque $U = T + P(V_c)V_c - C$, nous pouvons réécrire $W = S(V_c) - U - C$. Ainsi, l'équation (4.2) se réduit à $\pi[S(V_c) - U - C] + (1 - \pi)U$. En divisant l'expression par π, nous obtenons le critère équivalent suivant qui sera utilisé dans la suite de notre

[6] Dans le cas où θ représente la qualité du réseau, c'est le profit minimum que les entreprises (supposées identiques sauf sur les caractéristiques locales de réseau) peuvent obtenir en exploitant un autre service.

[7] La séparation des budgets de l'eau du budget général de la collectivité et l'élaboration d'un compte-rendu sur la qualité du service de l'eau fait par le responsable de la collectivité sont maintenant obligatoires. En conséquence, les coûts d'ensemble et la qualité du service sont devenus plus facilement observables par les électeurs et les transferts dissimulés (par le biais des impôts locaux) sont à présent impossibles à mettre en œuvre.

étude :

$$S(V_c) - C(V_c, V_p, \theta) - \mu U, \tag{4.3}$$

avec $\mu \equiv \dfrac{2\pi - 1}{\pi} \in]0, 1]$.

4.3 Le contrat optimal

Le contrat de délégation doit spécifier un volume d'eau V_c consommé par les usagers finals (qui détermine le prix unitaire $P(V_c)$), un volume d'eau V_p perdu (qui détermine le volume d'eau V_e à extraire : $V_e = V_c + V_p$) et un transfert monétaire T représentant le montant de l'investissement en capital supporté par l'exploitant.

4.3.1 Le cas de l'information complète

Nous supposons ici que la collectivité locale connaît le paramètre θ caractérisant l'opérateur privé lorsqu'elle propose un contrat. Le contrat optimal doit maximiser le critère (4.3) sous la contrainte de participation $U \geq u$. Puisque $\mu > 0$, laisser des rentes à l'entreprise est coûteux. En conséquence, nous avons $U = u$, et les conditions d'efficacité usuelles s'écrivent :

$$P(V_c) = C_{V_c}(V_c, V_p, \theta) \tag{4.4}$$

$$C_{V_p}(V_c, V_p, \theta) = 0. \tag{4.5}$$

L'équation (4.4) est simplement l'égalité du prix et du coût marginal. L'équation (4.5) indique que le volume d'eau V_p perdu est choisi de façon à minimiser C étant donné V_c. Elle caractérise donc le niveau de pertes optimal. Pour le moment, nous ne faisons pas d'hypothèse particulière sur le niveau du coût marginal du volume d'eau consommé en fonction de θ.

Notons également que la solution optimale (V_c, V_p) donnée par le système ci-dessus ne dépend pas de π. Ce résultat est essentiellement dû au fait que la collectivité locale préfère favoriser les usagers ($\pi > \frac{1}{2}$) et qu'en information complète, les rentes peuvent

être fixées à zéro.

4.3.2 Le cas de l'information incomplète

Nous considérons maintenant le cas où l'opérateur à une information privée sur sa technologie, c'est à dire sur le paramètre d'efficacité θ. La collectivité locale n'observe pas θ mais en a une information a priori représentée par la fonction de densité f définie sur l'intervalle $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$.

En effet, même si les exploitants doivent présenter les comptes-rendus techniques et financiers de leur activité, la collectivité locale ne peut pas déduire θ de ces rapports : les comptabilités peuvent présenter des lignes de dépenses agrégées qui ne correspondent pas nécessairement à l'exploitation de l'année courante, ou même de la collectivité. Un opérateur peut en effet choisir d'allouer certaines de ses dépenses entre différents services d'eau dont il a la charge.

Dans un tel cas, l'exploitant a un avantage stratégique qu'il peut utiliser afin d'augmenter ses profits au-delà de son niveau de réserve u. Le contrat conçu par la collectivité locale doit alors trouver un point d'équilibre entre l'efficacité et l'extraction de rentes.

Le principe de révélation[8] permet de considérer que la collectivité locale propose à l'opérateur privé un menu de contrats indicé par θ, $(V_c(.), V_p(.), T(.))$ et que l'opérateur privé choisit le contrat qu'il préfère en révélant son vrai type θ. La première étape dans la caractérisation du contrat d'équilibre est de déterminer la classe des mécanismes implémentables. Le mécanisme est implémentable (ou réalisable), s'il est compatible en termes d'incitations et s'il respecte la contrainte de participation.

Si un opérateur de type θ reporte θ', ses profits s'écrivent :

$$v(\theta, \theta') = T(\theta') + P[V_c(\theta')]V_c(\theta') - C[V_c(\theta'), V_p(\theta'), \theta].$$

Le contrat $(V_c(\theta), V_p(\theta), T(\theta))$ doit donc vérifier les contraintes d'incitation (IC) sui-

[8] Nous utilisons la méthodologie classique des problèmes de sélection adverse utilisée par Baron and Myerson (1982) et étendue par Guesnerie and Laffont (1984).

vantes :

$$v(\theta,\theta) \geq v(\theta,\theta'), \qquad \forall\ \theta,\theta' \in [\underline{\theta},\bar{\theta}].$$

En définissant $U(\theta) = v(\theta,\theta)$, la condition nécessaire de premier ordre peut être obtenue à partir du théorème de l'enveloppe :

$$U'(\theta) = -C_\theta(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta). \tag{4.6}$$

Notons d'abord que (4.6) est une condition locale qui signifie que pour tout mécanisme compatible en termes d'incitations, le profit de l'exploitant pour tous les types possibles est une fonction décroissante de θ puisque C_θ est positif. En d'autres termes, le profit d'un exploitant avec des coûts élevés (θ élevé) est inférieur au profit d'un autre qui a des coût plus faibles (θ faible) sur un même service.

La condition de second ordre s'écrit :

$$C_{\theta V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)\frac{dV_c}{d\theta} + C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)\frac{dV_p}{d\theta} \leq 0. \tag{4.7}$$

Comme U est décroissant en θ, la contrainte de participation (ou de rationalité individuelle) $U(\theta) \geq u$ se limite à

$$U(\bar{\theta}) = u. \tag{4.8}$$

Nous ignorons les contraintes de second ordre (vérifiées plus tard) de telle sorte que le programme du régulateur s'écrit :

$$\max_{V_c(.),V_p(.)} \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \Big[S(V_c(\theta)) - C(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) - \mu U(\theta) \Big] f(\theta) d\theta \tag{4.9}$$

sous les contraintes (4.6) et (4.8). La combinaison de ces contraintes donne une expression de la rente d'information que reçoit l'opérateur. Nous calculons cette rente comme étant égale à :

$$U(\theta) - u = \int_{\theta}^{\bar{\theta}} C_\theta(V_c(\tau), V_p(\tau), \tau) d\tau \tag{4.10}$$

de telle sorte que la valeur espérée de $U(\theta)$ est aussi la valeur espérée de $u + C_\theta \frac{F}{f}(\theta)$.

En introduisant l'expression (4.10) dans le critère à maximiser, le problème du régulateur devient :

$$\max_{V_c(\theta),V_p(\theta)} \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left[S(V_c(\theta)) - C(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) - \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_\theta(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) \right] f(\theta) d\theta. \quad (4.11)$$

La solution optimale (V_c, V_p) est donnée par le système :

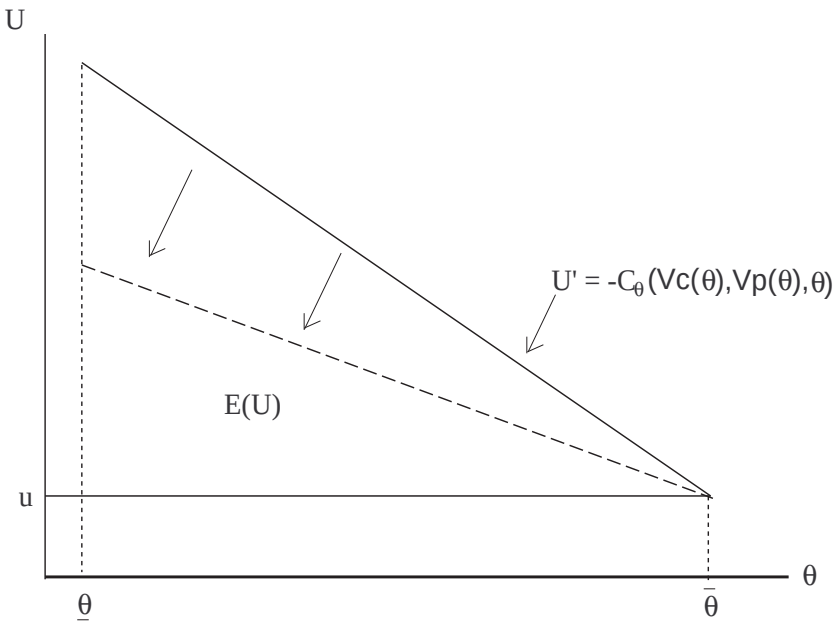
$$P(V_c) = C_{V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) + \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) \quad (4.12)$$

$$0 = C_{V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) + \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta). \quad (4.13)$$

Si l'on compare le système d'équations (4.12–4.13) au système (4.4–4.5) du cas de l'information complète, on remarque qu'il y a deux termes supplémentaires. Ces termes disparaissent lorsque $\mu = 0$, ou de manière équivalente $\pi = \frac{1}{2}$. Dans ce cas, les rentes ne sont plus coûteuses, et il n'y a plus d'arbitrage entre efficacité et extraction de rentes. Ainsi, tester la présence d'information privée consiste à vérifier que μ est différent de zéro (ou de manière équivalente que π est différent de $\frac{1}{2}$).

Un résultat important concernant les solutions du modèle est le suivant. Comme nous l'avons souligné plus haut, la valeur espérée des rentes est égale à la valeur espérée de $C_\theta \frac{F}{f}(\theta)$. Réduire les rentes revient alors à diminuer C_θ (voir figure 4.1). Les signes des dérivées croisées $C_{\theta V_c}$ et $C_{\theta V_p}$ sont donc les deux éléments qui régissent les distorsions par rapport au cas de l'information complète. En particulier, si $C_{\theta V_p} < 0$ c'est-à-dire s'il est plus coûteux pour les exploitants les plus inefficaces de réduire les pertes, alors un accroissement des pertes V_p réduit les rentes. En d'autres termes, il pourrait être dans l'intérêt de la collectivité locale de permettre à l'exploitant d'accroître ses pertes au-delà du niveau optimal, pour que les exploitants les plus efficaces n'aient pas de gain à se faire passer pour inefficaces. Ainsi, l'information incomplète offre une raison supplémentaire à la présence de pertes d'eau importantes dans les réseaux d'eau potable.

FIG. 4.1 – Réduire les rentes des opérateurs



4.4 La fonction de coût

Un point important à ne pas négliger pour l'application empirique des contrats sur l'eau potable est l'estimation des paramètres de la fonction de coût à partir desquels nous allons calculer les coûts marginaux de distribution. Nos résultats et l'intérêt d'introduire les notions d'asymétrie d'information reposent sur la forme que nous allons choisir pour la fonction de coût et en particulier sur la nature de l'information privée de l'exploitant représentée par son efficacité productive.

Dans le chapitre précédent, nous avions pris en compte cette possibilité d'information cachée, spécifique à chaque exploitant privé mais sans faire d'hypothèses particulières sur sa signification. Nous l'avions alors traitée comme une erreur multiplicative sur les coûts. Nous allons montrer que cette spécification ne permet pas de capter l'effet sur les décisions de production en information incomplète, avant de proposer une nouvelle spécification.

En information incomplète, les termes d'asymétrie d'information présents dans les

conditions de premier ordre dépendent des dérivées croisées de la fonction de coût par rapport à θ et aux volumes d'eau ($C_{\theta V_c}$ et $C_{\theta V_p}$). Soit la fonction de coût écrite comme nous l'avons définie dans le chapitre précédent :

$$C(V_c, V_p, \theta) = H(V_c, V_p)exp(\theta),$$

où $H(V_c, V_p) = exp(TL(V_c, V_p))$, avec TL la forme translog de la fonction de coût. Les coûts marginaux s'écrivent : $C_{V_c} = H_{V_c}exp(\theta)$ et $C_{\theta V_c} = C_{V_c}$, de même $C_{\theta V_p} = C_{V_p}$.

Le système des conditions de premier ordre (4.12–4.13) en information incomplète peut alors s'écrire :

$$P(V_c) = C_{V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)(1 + \mu\frac{F(\theta)}{f(\theta)})$$

$$0 = C_{V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)(1 + \mu\frac{F(\theta)}{f(\theta)}).$$

La combinaison de ces deux équations nous conduit à la même conclusion que celle vue plus haut dans le cas de l'information complète, à savoir $C_{V_p} = 0$. Dans ce cas, la collectivité locale utilise seulement le volume d'eau consommé pour extraire les rentes de l'exploitant. C'est un exemple de dichotomie de la tarification incitative exposé par Laffont and Tirole (1993), pp. 178–181. Ainsi, l'information privée détenue par l'opérateur avec une spécification de la fonction de coût telle que le paramètre d'efficacité productive est un terme multiplicatif, n'explique pas la distorsion observée sur les volumes d'eau perdus.

Nous partons alors du postulat que le paramètre d'efficacité s'applique directement sur une variable indiquant la performance du service en terme de taux de perte en réseau ($\frac{V_c}{V_c+V_p}$). Ainsi, sans toucher à la forme fonctionnelle translog, nous pouvons considérer une fonction de coût de la forme :

$$C(V_c, V_p, \theta) = H(V_c, V_p)exp(\theta\frac{V_c}{V_p}). \tag{4.14}$$

Le paramètre θ d'efficacité technique (ou de sélection adverse) qui est l'information

privée de l'exploitant est directement relié au rapport entre le volume d'eau qui va être effectivement consommé et le volume d'eau perdu. Le ratio $\frac{V_c}{V_p}$ est une mesure possible de la qualité du réseau proche de celles utilisées par les ingénieurs hydrauliques tel que le taux de rendement ($\frac{V_c}{V_c+V_p}$) ou l'indice linéaire de perte ($\frac{V_p}{Long}$), avec *Long* la longueur totale du réseau. De cette façon, nous considérons que l'efficacité de l'opérateur est essentiellement définie par sa capacité à améliorer la distribution de l'eau potable en offrant un volume d'eau suffisant aux usagers avec des pertes de réseau minimales.

Avec cette spécification de la fonction de coût, nous avons bien notre hypothèse sur l'efficacité des exploitants qui est vérifiée : $C_\theta = \frac{V_c}{V_p} C > 0$. En outre, nous ne pourrons valider nos interprétations sur les trajectoires des volumes d'eau faites dans la section précédente que si la condition de second ordre (4.7) est vérifiée. Par conséquent, étudions le signe des dérivées secondes de la fonction de coût :

$$C_{\theta V_c} = C_{V_c} \times \frac{V_c}{V_p} + \frac{C}{V_p} \tag{4.15}$$

$$C_{\theta V_p} = C_{V_p} \times \frac{V_c}{V_p} - C \times \frac{V_c}{{V_p}^2} \tag{4.16}$$

D'une part, comme C_{V_c} et $\frac{C}{V_p}$ doivent être tous les deux positifs, alors nécessairement $C_{\theta V_c} > 0$. Cela veut dire qu'il est plus coûteux pour les entreprises inefficaces d'augmenter le volume d'eau effectivement consommé. D'autre part, faire l'hypothèse qu'il est plus coûteux pour les entreprises inefficaces de faire décroître le volume d'eau perdu conduit à supposer que $C_{\theta V_p} < 0$. D'après l'égalité (4.16), ceci est équivalent à $C_{V_p} < \frac{C}{V_p}$ ou encore à dire que le coût moyen de production d'un volume d'eau perdu $\frac{C}{V_p}$ est décroissant en V_p.

La conclusion principale issue des mécanismes de régulation est que la collectivité locale doit inciter l'exploitant à accroître ses pertes d'eau en réseau par rapport au niveau optimal de premier rang ($V_p^{SR} > V_p^{PR}$)[9] si elle veut diminuer ses rentes. La condition de second ordre (4.7) est donc vérifiée pour l'alternative suivante :

– soit $\frac{dV_c}{d\theta} < 0$ c'est-à-dire que le volume d'eau consommé par les usagers diminue

[9] PR et SR signifient respectivement premier rang et second rang.

avec un exploitant moins efficace et $\frac{dV_p}{d\theta} > 0$,

– soit $\frac{dV_c}{d\theta} > 0$ et $\frac{dV_p}{d\theta} > 0$ mais alors $C_{\theta V_c}\frac{dV_c}{d\theta} \leq -C_{\theta V_p}\frac{dV_p}{d\theta}$. Cela signifie que le problème technologique pour un exploitant réside davantage dans sa capacité à améliorer la qualité du réseau que dans celle à accroître son volume d'eau consommé (ou de façon équivalente, accroître son volume extrait).

4.5 Des ressources en eau épuisables

Le critère (4.3) utilisé pour dériver les conditions ci-dessus ne tient pas compte de l'impact environnemental de l'extraction d'un volume V_e. Si la ressource n'est qu'imparfaitement renouvelable, alors les usagers devraient s'inquiéter du prélèvement incontrôlé d'eau, parce qu'il réduit les stocks disponibles pour les consommations futures (en particulier, pendant les périodes de sécheresse). Pour prendre en compte ce problème, nous introduisons un dommage $D(V_e)$ supporté par l'ensemble de la collectivité indépendamment de la consommation. C'est également un moyen de donner une valeur aux coûts d'opportunité du volume d'eau perdu. En effet, une question intéressante à analyser est de savoir si renoncer à la vente d'une partie du volume extrait coûte moins cher que le bénéfice retiré de la diminution des rentes.

Nous supposons que la fonction de dommage est croissante et convexe, et nous réécrivons le critère de la façon suivante :

$$S(V_c) - D(V_c + V_p) - C(V_c, V_p, \theta) - \mu U \tag{4.17}$$

Notons que ce terme additionnel ne modifie que superficiellement le programme de la collectivité locale. Si nous définissons $V_e(\theta) = V_c(\theta) + V_p(\theta)$, alors nous obtenons les nouvelles conditions :

$$P(V_c) = C_{V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) + D'(V_e(\theta)) + \mu\frac{F(\theta)}{f(\theta)}C_{\theta V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) \tag{4.18}$$

$$0 = C_{V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) + D'(V_e(\theta)) + \mu\frac{F(\theta)}{f(\theta)}C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta). \tag{4.19}$$

Le terme additionnel dans ces équations mesure la rareté de la ressource. Nous l'appelons le prix fictif (ou "shadow price") de l'eau "in situ".

4.6 Conclusion

La distribution de l'information entre la collectivité locale (le principal) et l'opérateur privé (l'agent) à qui la gestion du service d'eau potable est confiée, est asymétrique. En effet, chaque entreprise connaît parfaitement sa technologie (ou ses coûts de production) alors que le régulateur n'en a qu'une idée plus ou moins correcte. Par conséquent, les relations contractuelles entre les deux parties sont biaisées par l'avantage stratégique que l'opérateur peut retirer de cette information privée.

Ce chapitre propose une modélisation économique de ces relations. L'objectif collectif est que l'opérateur privé satisfasse la demande des usagers avec une bonne qualité de service représentée par un faible taux de perte. Dans notre modèle, la collectivité locale est supposée maximiser une fonction de bien-être composée du surplus des usagers et des profits de l'opérateur, ce dernier choisit sa stratégie de production étant donné le mécanisme de régulation mis en œuvre par la collectivité locale. Partant de l'hypothèse que l'inefficacité productive θ provient de la difficulté pour l'entreprise d'améliorer la qualité du réseau, le contrat optimal proposé par la collectivité locale est défini par un volume d'eau (V_c) effectivement consommé par les usagers, un volume de pertes en réseau (V_p) autorisé et un transfert monétaire (T) du principal vers l'agent.

Dans la perspective d'une application du modèle théorique à partir de données sur des services d'eau potable en affermage, nous portons une attention particulière à l'introduction du paramètre θ dans la fonction de coût. L'impact de cette information privée est matérialisé par une mesure de la performance de réseau (le rapport entre V_c et V_p) proche de celle utilisée par les ingénieurs spécialistes des réseaux d'eau potable.

Nous calculons les solutions optimales en situations d'information complète et d'information incomplète à partir des conditions de premier ordre issues de la maximisation des préférences de la collectivité locale. Ces conditions associées à celles de second ordre nous donnent des conclusions intéressantes sur les incitations qu'offre la collectivité lo-

cale à l'opérateur. L'arbitrage entre extraction de rente et efficacité caractéristique de ce type de théorie est mis en évidence par notre modèle. Il se manifeste par l'autorisation donnée à l'exploitant de "produire" un volume d'eau perdu au-delà du volume optimal.

Ce résultat peut expliquer les forts taux de perte observés sur les réseaux d'eau potable. Dans le chapitre précédent, nous n'apportions pas de preuve empirique de l'intérêt de l'exploitant à accroître ses pertes en réseau : il n'existe pas de complémentarité de coût des volumes d'eau consommé et perdu. La modélisation des relations contractuelles principal-agent montre que la présence de volumes élevés de fuites pourrait avoir une origine informationnelle. La suite de notre étude consiste à valider ce modèle théorique de régulation sur le jeu de données à notre disposition. En particulier, nous simulons les contrats optimaux afin d'étudier les évolutions des variables de contrat et d'approfondir les résultats énoncés par le modèle par une analyse de bien-être.

Chapitre 5

Simulation des contrats pour l'exploitation du service d'eau potable

5.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons modélisé les relations contractuelles entre une collectivité locale responsable de l'AEP de ses administrés et un opérateur privé qui se voit confier l'exploitation du service d'eau potable. Le modèle économique et les conditions de premier ordre issues de la maximisation de la fonction objectif de la commune en information complète et incomplète montrent l'impact sur les volumes d'eau distribués de la prise en compte d'une information privée.

Il est à présent intéressant d'étudier dans quelle mesure les données de notre échantillon de services d'eau potable valident certains résultats de la théorie économique des contrats. Notre premier travail consiste à utiliser les techniques de simulation et de calibrage afin d'observer les trajectoires des principales variables de contrôle de notre modèle (volumes d'eau, taux de rendement et transfert) ainsi que d'autres variables économiques (coûts, rentes, bien-être...).

Les travaux les plus récents sur les contrats utilisant des techniques de simulation ont pour cadre d'analyse les marchés de télécommunication locale. Schmalensee (1989) modélise le comportement d'un monopole et ses coûts de production, et propose d'étu-

dier le contrat fixé par un régulateur. Il est défini par une forme linéaire et peut ainsi représenter différents régimes réglementaires caractérisés par leur puissance incitative. À partir d'un modèle similaire, Gasmi, Ivaldi, and Laffont (1994) simulent les solutions de premier et second rangs de ces schémas de régulation lorsque les coûts peuvent être observés ex post (Laffont and Tirole (1986)). Ils définissent le surplus social comme une somme pondérée du surplus des usagers et des profits de l'entreprise. Un premier exercice est de regarder la trajectoire des principales variables d'intérêt (effort, prix, transfert, rente) en fonction de l'efficacité de l'entreprise et de l'importance de ses profits dans la fonction de bien-être social. Ces simulations montrent en particulier que les distorsions sur l'effort et le prix augmentent lorsque le profit de l'entreprise a moins de poids dans le bien-être social. Les auteurs comparent également les différents schémas entre eux en terme de variation de bien-être. Lorsque le poids de l'entreprise augmente, le bien-être associé aux différents régimes se rapproche du bien-être de premier rang. Il est montré que la régulation par "Price-Cap" laisse plus de rentes à l'opérateur que les autres schémas, mais que cet effet peut être réduit par l'introduction de mécanismes de partage de profit.

Les travaux de Gasmi, Laffont, and Sharkey (1997) sont réalisés à partir d'une estimation des coûts de production des services de télécommunication locale. La base de données utilisée est engendrée par un modèle d'optimisation[1]. Les auteurs simulent alors les allocations optimales de second rang, en insistant sur les nécessaires calibrages à effectuer pour obtenir des valeurs raisonnables des surplus, de la désutilité de l'effort, etc. Cette analyse permet de mettre en évidence plusieurs résultats vérifiant les propriétés usuelles des contrats optimaux issues de la théorie de la régulation sur l'évolution des rentes et du bien-être des consommateurs avec l'efficacité du producteur.

Gasmi, Laffont, and Sharkey (1999) partent du cadre général défini dans l'article précédent et étudient les mécanismes d'incitation selon que les coûts sont observés ex post (modèle Laffont-Tirole) ou non (modèle Baron- Myerson) et les comparent aux schémas de régulation de type "Price-Cap" et "Cost-Plus". Les auteurs quantifient la

[1]Le modèle utilisé est appelé LECOM (Local Exchange Cost Optimization Model.) développé par Gabel and Kennet (1991)

valeur sociale des transferts et des procédures d'audit ainsi que les conséquences redistributives des différentes formes de régulation. Ils obtiennent des conclusions similaires à leurs études précédentes.

Le modèle structurel que nous avons développé et la technologie de production de l'opérateur privé régulé sont fondés sur les coûts d'exploitation, leur endogénéité et celle des volumes d'eau extraits (ou consommés) et perdus. Les conditions de premier ordre dépendent donc indirectement des paramètres technologiques par le biais des coûts marginaux des biens produits, et du paramètre d'efficacité productive de l'exploitant. Elles sont également fonction des paramètres du bien-être de la collectivité représenté par les préférences du régulateur. Ce sont les poids attribués au surplus des usagers et au profit de l'entreprise ainsi qu'au dommage provoqué par l'extraction de ressources naturelles imparfaitement renouvelables.

Dans ce qui suit, nous appliquons sur notre échantillon de services d'eau potable en affermage le modèle de régulation développé dans le chapitre théorique précédent. L'analyse empirique que nous proposons consiste à :

1. Estimer de façon convergente les paramètres technologiques ainsi que le paramètre relatif à l'information privée θ afin de retrouver sa distribution, à partir de la fonction de coût et des équations de parts de coût.

2. Les valeurs de μ (ou π), coefficient associé au terme informationnel, ainsi que celles des paramètres de la fonction de dommage marginal ne peuvent être retrouvées par l'estimation de la fonction de coût. Il faut donc paramétrer la fonction de dommage en spécifiant sa forme fonctionnelle, puis la calibrer.

3. Insérer ces paramètres dans les conditions de premier ordre afin de simuler le contrat optimal. Les solutions de ce système sont les volumes d'eau V_c et V_p (ou de manière équivalente, V_e et V_c) qui doivent être spécifiés dans le contrat de délégation.

Les deux dernières étapes sont cruciales pour étudier la sensibilité des solutions de

premier et second rangs au paramètre μ[2] du bien-être social et aux paramètres de la fonction de dommage.

L'exercice de simulation mis en œuvre dans ce chapitre permet d'étudier l'évolution des volumes d'eau produits en fonction de l'efficacité de l'exploitant sur un service moyen de notre échantillon. En particulier, il permet de vérifier que les pertes d'eau potable augmentent avec l'inefficacité de l'opérateur ainsi que le volume d'eau extrait (et le volume d'eau potable consommé) et de confirmer la dégradation de la qualité du réseau prévue par le modèle économique. Cette application met également en évidence l'incontournable arbitrage entre l'extraction de rente et l'efficacité mesurée par le niveau du bien-être social.

Dans la section 2, nous estimons la fonction de coût. La section 3 présente, elle, l'estimation de la demande à partir de laquelle nous calculons le surplus des usagers. La section 4 est consacrée à la présentation de l'exercice de simulation proprement dit, tandis que les résultats et les commentaires sont exposés dans la section 5.

5.2 Estimation de la fonction de coût

Comme discuté dans le chapitre précédent, nous choisissons la même forme translog que celle estimée dans la première partie de la thèse. Cette forme paramétrique autorise en effet une grande flexibilité en termes de substituabilité entre les volumes d'eau V_c et V_p. Dans le chapitre précédent, nous avons défini la fonction de coût comme

$$C(\theta, V_c, V_p, X) = H(V_c, V_p, X) exp(\theta \frac{V_c}{V_p}),$$

où X représente le vecteur des autres variables déjà introduites précédemment dans la fonction de coût et $H(V_c, V_p, X)$ l'exponentielle de la forme translog. Sous sa forme logarithmique, pour le service h et la période t, nous avons :

$$\log C_{ht} = TL\left[V_c(\theta_h, X_{ht}), V_p(\theta_h, X_{ht}), X_{ht}\right] + \theta_h \frac{V_c(\theta_h, X_{ht})}{V_p(\theta_h, X_{ht})}.$$

[2] μ ne peut pas être estimé directement dans la fonction de coût.

En ajoutant le terme d'erreur conventionnel (i.i.d.) ε_{ht}, la fonction de coût hypothétique s'écrit :

$$\begin{aligned}\ln(C_{ht}) = {} & A_0 + \sum_i A_i \ln w_{i,ht} + \sum_j B_j \ln V_{j,ht} + \sum_u C_u \ln K_{u,ht} + \sum_r D_r \ln Z_{r,ht} \\ & + \frac{1}{2}\sum_i \sum_q A_{iq} \ln w_{i,ht} \ln w_{q,ht} + \frac{1}{2}\sum_j \sum_k B_{jk} \ln V_{j,ht} \ln V_{k,ht} \\ & + \frac{1}{2}\sum_u \sum_v C_{uv} \ln K_{u,ht} \ln K_{v,ht} + \frac{1}{2}\sum_r \sum_s D_{rs} \ln Z_{r,ht} \ln Z_{s,ht} \\ & + \sum_i \sum_j E_{ij} \ln w_{i,ht} \ln V_{j,ht} + \sum_i \sum_u E_{iu} \ln w_{i,ht} \ln K_{u,ht} + \sum_i \sum_r E_{ir} \ln w_{i,ht} \ln Z_{r,ht} \\ & + \sum_j \sum_u F_{ju} \ln V_{j,ht} \ln K_{u,ht} + \sum_j \sum_r F_{jr} \ln V_{j,ht} \ln Z_{r,ht} + \sum_u \sum_r G_{ur} \ln K_{u,ht} \ln Z_{r,ht} \\ & + \theta_h \frac{V_{c,ht}}{V_{l,ht}} + \varepsilon_{ht},\end{aligned} \tag{5.1}$$

où i et q sont les indices des facteurs de production, j et k des volumes produits, u et v des variables de capital, et r et s des variables techniques. θ_h est l'effet spécifique individuel. Les paramètres à estimer sont (A_0, A_i, B_j, C_u, D_r, A_{iq}, B_{jk}, C_{uv}, D_{rs}, E_{ij}, E_{iu}, E_{ir}, F_{ju}, F_{jr}, G_{ur} et θ_h). La fonction de coût étant deux fois différentiable, la matrice hessienne doit satisfaire le restrictions paramétriques de symétrie suivantes : $A_{iq} = A_{qi}$, $B_{jk} = B_{kj}$, $C_{uv} = C_{vu}$, $D_{rs} = D_{sr}$, $E_{ij} = E_{ji}$, $E_{iu} = E_{ui}$, $E_{ir} = E_{ri}$, $F_{ju} = F_{uj}$, $F_{jr} = F_{rj}$, $G_{ur} = G_{ru}$. De plus, nous imposons l'homogénéité de degré un par rapport aux prix en divisant le coût et les prix des facteurs de production w_E et w_M par le prix unitaire du travail w_L. La fonction de coût est estimée à l'intérieur d'un système d'équations composées des équations de part de coût du facteur électricité et du facteur matériel (auxquelles on a également ajouté un terme d'hétérogénéité $\theta_h \frac{V_c}{V_p}$).

La prise en compte du biais d'endogénéité est particulièrement importante dans l'estimation de la fonction de coût pour la raison suivante. Le coût observé devrait correspondre au niveau de coût optimal pour chaque service d'eau, dans le sens où il dépend des niveaux optimaux des variables de contrôle V_c et V_p. Cependant, comme ces dernières sont définies comme étant les solutions des conditions de premier ordre

du contrat optimal, elles dépendent implicitement de θ et des autres variables X si l'on résout les équations sous leur forme réduite. En outre, nous supposons que l'information privée est reliée au ratio entre volume d'eau consommé et pertes d'eau en réseau. Lors du choix de la procédure d'estimation, il faut donc tenir compte du fait que les volumes d'eau produits sont des variables endogènes dans le sens où les volumes sont corrélés avec le paramètre θ spécifique à chaque exploitant.

Puisque θ_h est différent pour chaque exploitant, nous avons un modèle économétrique à coefficient variable dans lequel l'hétérogénéité est capturée par le coefficient $\frac{V_c}{V_p}$. Toutefois, nous ne pouvons pas estimer les paramètres individuels parce que le nombre d'années ($T = 4$) sur lesquelles les services d'eau sont étudiés est limité (voir Hsiao (1986), p.128). Ainsi, l'étape préliminaire que nous proposons est de diviser toutes les variables à gauche et à droite des équations de coût et de part, par le terme $\frac{V_{c,ht}}{V_{l,ht}}$. C'est un moyen simple d'estimer θ_h qui devient un effet individuel additif dans un modèle de régression linéaire pondéré.

Nous allons utiliser la procédure d'estimation Within sur le système de régressions. L'avantage de cette méthode est que nous traitons le possible biais d'endogénéité par l'élimination des effets individuels θ_h[3]. Pour obtenir une matrice de variance-covariance des paramètres convergente, nous procédons à l'estimation du système par la méthode SURE itérée conjointement à la transformation Within. En d'autres termes, la matrice de variance-covariance des erreurs du système est estimée de manière itérative, avec des erreurs provenant des équations de coût et de part transformées par la procédure Within.

Les résultats d'estimation sont présentés dans la table 5.1. À partir des paramètres estimés, les effets fixes θ_h peuvent être retrouvés en calculant $\overline{\log C_h} - \overline{\widehat{\log C_h}}$, où $\overline{\log C_h}$ représente la moyenne individuelle (sur les périodes de temps) de $\log C_h$ (divisé par le

[3]Nous rappelons que l'inconvénient de la méthode d'estimation Within est que tous les termes qui ne varient pas dans le temps sont éliminés par la transformation Within. Certains paramètres structurels ne peuvent plus être estimés, puisque les variables constantes dans le temps disparaissent. Toutefois, la normalisation préliminaire par $\frac{V_{c,ht}}{V_{l,ht}}$ permet à toutes les variables de varier dans le temps. De cette façon, tous les paramètres peuvent être identifiés.

terme $\frac{V_{c,ht}}{V_{l,ht}}$). Les valeurs des θ sont distribuées entre -0,275 et 0,110 sur l'échantillon, avec pour moyenne -0,127 et comme écart-type 0,076. Le graphique de la densité des θ empirique laisse penser qu'une distribution normale serait une bonne approximation de la vraie loi de θ. Nous vérifions d'ailleurs l'hypothèse de normalité des θ par le test de Jarque and Bera (1980). La statistique de test qui est distribuée comme un χ^2 à deux degrés de liberté est égal à 2,7281 et la valeur critique du test est 5,99. Ceci implique que l'hypothèse de normalité n'est pas rejetée à un niveau de confiance de 5%. De cette façon, les résultats d'estimation nous permettent de retrouver la distribution complète du paramètre d'information privée $F(\theta)$.

TAB. 5.1: Estimations des paramètres

Paramètre	Variable	Estimation	Écart-type
A_0	*constante*	8,8580(***)	0,1332
A_e	w_E	0,0971(***)	0,0100
A_m	w_M	0,2927(***)	0,0183
A_{ee}	$w_E * w_E$	0,0355(***)	0,0040
A_{mm}	$w_M * w_M$	0,2774(***)	0,0074
A_{em}	$w_E * w_M$	-0,0437(***)	0,0038
B_c	V_c	0,7995(***)	0,1469
B_p	V_p	-0,2909(***)	0,1312
B_{cc}	$V_c * V_c$	-0,5521(**)	0,2275
B_{pp}	$V_p * V_p$	0,3901(***)	0,1160
B_{cp}	$V_c * V_p$	-0,1177	0,1264
C_{lo}	*Long*	-0,3617(***)	0,1124
C_{lolo}	$Long * Long$	-0,1856	0,1339
C_{pr}	*Prod*	-0,0656	0,0566
C_{prpr}	$Prod * Prod$	-0,0045	0,0199
C_{st}	*Stoc*	0,2643(***)	0,0619
C_{stst}	$Stoc * Stoc$	-0,0091	0,0892

TAB. 5.1: (suite)

Paramètre	Variable	Estimation	Écart-type
C_{po}	$Pomp$	-0,0841	0,0536
C_{popo}	$Pomp * Pomp$	0,0023	0,0156
D_{ab}	$Abon$	0,5066(***)	0,1024
D_{abab}	$Abon * Abon$	-0,1633	0,3101
D_{co}	Com	0,1602(***)	0,0463
D_{coco}	$Com * Com$	0,0216	0,0496
E_{ec}	$w_E * V_c$	-0,0316(***)	0,0116
E_{mc}	$w_M * V_c$	-0,0915(***)	0,0232
E_{ep}	$w_E * V_p$	-0,0041	0,0091
E_{mp}	$w_M * V_p$	0,1823(***)	0,0165
E_{elo}	$w_E * Long$	0,0103	0,0100
E_{mlo}	$w_M * Long$	0,1167(***)	0,0191
E_{epr}	$w_E * Prod$	0,0101(**)	0,0042
E_{mpr}	$w_M * Prod$	0,0090	0,0092
E_{est}	$w_E * Stoc$	0,0022	0,0057
E_{mst}	$w_M * Stoc$	-0,0249(**)	0,0099
E_{epo}	$w_E * Pomp$	-0,0044(*)	0,0026
E_{mpo}	$w_M * Pomp$	-0,0136(*)	0,0071
E_{eab}	$w_E * Abon$	0,0040	0,0164
E_{mab}	$w_M * Abon$	-0,1164(***)	0,0318
E_{eco}	$w_E * Com$	0,0103(**)	0,0045
E_{mco}	$w_M * Com$	-0,0618(***)	0,0094
F_{clo}	$V_c * Long$	0,2278(**)	0,0985
F_{plo}	$V_p * Long$	0,2410(***)	0,0923
F_{cpr}	$V_c * Prod$	0,0329	0,0539
F_{ppr}	$V_p * Prod$	-0,0196	0,0574

TAB. 5.1: (suite)

Paramètre	Variable	Estimation	Écart-type
F_{cst}	$V_c * Stoc$	0,0083	0,0612
F_{pst}	$V_p * Stoc$	-0,0959(**)	0,0476
F_{cpo}	$V_c * Pomp$	-0,1176(*)	0,0633
F_{ppo}	$V_p * Pomp$	0,0769(*)	0,0427
F_{cab}	$V_c * Abon$	0,5048(**)	0,2328
F_{pab}	$V_p * Abon$	-0,3280(***)	0,1011
F_{cco}	$V_c * Com$	-0,1156(**)	0,0478
F_{pco}	$V_p * Com$	-0,0981(***)	0,0350
G_{ablo}	$Abon * Long$	-0,3303(***)	0,1149
G_{abpr}	$Abon * Prod$	-0,1002	0,0790
G_{Abon}	$Abon * Stoc$	0,0760	0,0879
G_{abpo}	$Abon * Pomp$	0,2011(***)	0,0604
G_{abco}	$Abon * Com$	0,2005(***)	0,0665
G_{lopr}	$Long * Prod$	0,1105	0,0725
G_{lost}	$Long * Stoc$	0,0376	0,0763
G_{lopo}	$Long * Pomp$	0,0438	0,0346
G_{loco}	$Long * com$	-0,0579	0,0503
G_{prst}	$Prod * Stoc$	0,0136	0,0677
G_{prpo}	$Prod * Pomp$	0,0190	0,0567
G_{prco}	$Prod * Com$	-0,0361	0,0498
G_{stpo}	$Stoc * Pomp$	-0,1230(**)	0,0490
G_{stco}	$Stoc * Com$	0,0918(**)	0,0358
G_{poco}	$Pomp * Com$	-0,0666(**)	0,0276

Notes : H=47, T=4, nombre d'observations = 188.

(*), (**) et (***) indiquent respectivement les niveaux de confiance 10%, 5% et 1%.

$\bar{R}^2$ pour C, S_E et S_M sont respectivement 0,99, 0,83 et 0,95.

À partir de ces valeurs de paramètres, nous avons estimé les coûts marginaux de production pour chaque bien produit. La moyenne des coûts marginaux du volume d'eau consommé est de 1,92 Francs tandis qu'elle s'élève à 1,97 Francs pour les volumes d'eau perdus. Un premier constat est que si l'on se réfère aux équations de conditions de premier ordre (4.4) et (4.5) du contrat optimal dans le cas d'information complète, il n'est pas possible à partir de l'échantillon étudié de respecter ces égalités. En particulier, la seconde condition spécifiant les pertes d'eau optimales de façon à minimiser les coûts de production ne peut pas être vérifiée puisque les coûts marginaux estimés sont positifs.

5.3 Estimation de la fonction de demande

Dans le but d'évaluer le surplus brut $S(V_c)$ puis le bien-être des usagers W, nous devons spécifier une fonction de demande et estimer ses paramètres. Dans cette optique, il doit être souligné que la demande inverse dépend du prix moyen de l'eau[4] alors que dans notre modèle, seul le prix unitaire relatif à l'AEP rémunérant l'exploitant est considéré. Ainsi, pour des raisons triviales de manipulation des différents prix, nous faisons l'hypothèse que la fonction de demande inverse a une forme linéaire.

Notons PM le prix moyen de l'eau tel que $PM = P(V_c) + \tilde{P}$, où $\tilde{P}$ est la somme des autres composantes du prix moyen. Nous pouvons alors écrire pour le service h,

$$PM_h = \alpha_h + \beta X_h + v_h \quad \Leftrightarrow \; P(V_{c,h}) = \tilde{\alpha}_h + \beta X_h + v_h,$$

où $\tilde{\alpha}_h = \alpha_h - \tilde{P}_h$. De cette façon, l'estimation des paramètres α_h et β à partir de la fonction de demande inverse initiale permet de retrouver l'expression de la demande en fonction du prix unitaire revenant à l'operateur $P(V_c)$.

Nous avons des données sur le prix moyen PM, la consommation d'eau potable par abonné ($\frac{V_c}{Abon}$), le revenu moyen (Rev) par foyer fiscal et le nombre de personnes à charge par foyer fiscal ($Pers$). Les statistiques descriptives de ces variables sont reportées dans

[4]La facture d'eau regroupe à la fois les prix unitaires et les abonnements relatifs à l'AEP et l'assainissement allant dans les caisses des exploitants et de la collectivité locale. Elle comprend aussi les diverses taxes collectées (FNDAE, Agence de l'eau, TVA).

le tableau 5.2.

TAB. 5.2 – Statistiques descriptives de l'échantillon sur la demande

Variable	Unité	Moy. arith.	Moy. géo.	Écart-type	Minimum	Maximum
PM	Francs	18,17	17,32	5,01	5,61	31,30
P	Francs	2,36	2,08	1,05	0,10	6,40
$Fixe$	Francs	175,67	158,23	83,58	60,00	432,26
$\frac{V_c}{Abon}$	m^3/Abon	132,96	130,99	23,12	79,22	202,29
Rev	Milliers de francs	82,770	81,493	15,840	56,819	176,630
$Pers$	—	0,52	0,49	0,22	0,28	2,24

Notes : 47 individus étudiés sur 4 années, soit 188 observations. Moy. arith. et Moy. géo. signifient respectivement moyenne arithmétique et moyenne géométrique.

Pour éviter les problèmes d'endogénéité dus à une éventuelle corrélation entre les variables explicatives et l'effet individuel reflétant l'hétérogénéité non observable, nous estimons la fonction de demande inverse par la méthode des effets fixes :

$$PM_h = \alpha_h + \beta_V \left(\frac{V_c}{Abon}\right)_h + \beta_R Rev_h + \beta_P Pers_h + v_h.$$

Les résultats d'estimation sont reportés dans le tableau 5.3. Le paramètre β_V est estimé à -0,041. Il a le signe négatif attendu et est significatif (avec une valeur du t de Student de -3,98) à un niveau de confiance de 1%. La moyenne des α_h estimés est de 21,09 et les effets $\tilde{\alpha}_h$ estimés ont une moyenne de 4,96. Nous pouvons également noter la significativité des autres paramètres de la fonction de demande : la demande réagit positivement à l'accroissement du revenu et du nombre de personnes dans le foyer.

TAB. 5.3 – Estimation des paramètres de la demande

Paramètre	Estimation	Écart-type	t de Student
β_V	-0,0410	0,0103	-3,9801
β_R	0,0289	0,0151	1,9197
β_P	0,1791	0,0836	2,1439

Nous avons également réalisé la régression inverse du volume d'eau consommé par abonné sur le prix moyen pour comparer la valeur de l'élasticité de la demande à celles

estimées dans d'autres études. Le paramètre représentant la pente de demande linéaire est estimé à -2,5142, avec le même t de Student que le précédent[5]. L'élasticité-prix d'une demande linéaire de la forme $C = \alpha + \beta P$ est donnée par l'expression $\beta \times \frac{P}{C}$. Cela correspond pour les estimations trouvées à une élasticité-prix de la demande égale à -0,33 pour une consommation par abonné et un prix moyens (moyenne géométrique) sur notre échantillon. Cette valeur estimée pour toutes les catégories d'usagers confondues (domestiques, industriels...) est naturellement un peu supérieure à ce qui est trouvé dans la littérature empirique sur la demande domestique d'eau potable en France[6] puisque les consommateurs industriels ont en général une élasticité plus grande que les consommateurs domestiques. Cette élasticité-prix est donc aussi inférieure à l'estimation donnée par Renzetti (1992a) sur une étude de la demande des industriels au Canada.

5.4 Simulation des contrats optimaux

Comme nous l'avons dit en introduction, les paramètres estimés de la fonction de coût ne sont pas suffisants pour dériver les solutions V_c et V_p des conditions de premier ordre du contrat optimal. Il nous manque deux pièces essentielles pour compléter notre modèle : ce sont le poids π dans la fonction de bien-être que maximise la collectivité locale et les paramètres de la fonction de dommage. Une fois ces éléments fixés, nous sommes en mesure de simuler le contrat optimal en information complète ($\pi = 0,5$) et en information incomplète ($\pi \in]0,5;1]$). En effet, à cause de la complexité des solutions du système, en particulier parce qu'elles dépendent du paramètre d'efficacité spécifique à chaque individu, il est nécessaire de faire appel à des techniques numériques pour retrouver un ensemble de valeurs pour les variables de contrôle du contrat.

Il y a différents aspects pour lesquels la simulation des contrats peut apporter

[5] Dans le cas de la régression de la consommation d'eau par abonné, les autres variables dont le revenu moyen ne sont plus significatives. Nous ne calculerons donc pas l'élasticité revenu.

[6] Voir Point (1993) pour des résultats sur le département de la Gironde, Nauges and Thomas (2000) pour une estimation de la demande en Moselle, ainsi que Nauges and Reynaud (2001) pour un étude comparée sur les départements de la Gironde et de la Moselle.

d'intéressantes informations. D'abord, le choix des quantités d'eau distribuées et du volume d'eau perdu accordé par la commune va dépendre du type d'exploitant qui est en charge du service. La simulation des solutions optimales pour différentes valeurs de θ nous permet de mesurer l'amplitude des variations des termes du contrat en fonction de l'efficacité de l'exploitant. Ensuite, la composition du surplus collectif est un déterminant important de la politique choisie par la collectivité locale. En effet, il est intéressant d'étudier le rôle des préférences de la collectivité locale (en termes du poids plus ou moins grand accordé au surplus des usagers ou au profit de l'opérateur) sur la distorsion liée à l'asymétrie d'information. Enfin, la magnitude du dommage marginal associé à l'extraction d'une ressource épuisable est également l'élément clé de la politique (environnementale) pratiquée par la commune. En effet, elle peut avoir à faire un arbitrage entre la préservation des ressources d'eaux brutes qu'elle prélève pour distribuer aux usagers et la nécessité d'autoriser plus de pertes en réseau pour que l'exploitant lui révèle son type.

Notre modèle de coût contient de nombreuses variables telles que les prix des facteurs de production, les variables de capital et les variables techniques dont les variations n'ont pas d'intérêt primordial lorsque nous faisons de la statique comparative. Par ailleurs, il y aurait peu d'apports intéressants à réaliser notre étude pour tous les services présents dans notre échantillon. C'est pourquoi nous fixons toutes ces variables à leur moyenne observée dans l'échantillon. Cela a l'avantage de simplifier les calculs du modèle économique puisque la fonction de coût translog s'en trouve considérablement réduite (car c'est une approximation locale au point moyen de l'échantillon). Nos résultats de simulation porteront donc sur un contrat pour le service d'eau potable moyen de l'échantillon.

L'autre élément sur lequel nous avons un pouvoir discrétionnaire est la fonction de dommage. Il parait à première vue difficile de sélectionner la spécification et les valeurs de ses paramètres. L'approche utilisée ici est de choisir des valeurs de D qui conduisent à des solutions (V_c, V_p) proches de leurs valeurs moyennes empiriques. Nous proposons une forme quadratique pour la fonction de dommage qui permette ainsi de respecter

les hypothèses de convexité faite dans le chapitre théorique précédent :

$$D(V_e) = \beta_0 + \beta_1 V_e + \frac{1}{2}\beta_2 V_e^2,$$

où $V_e = V_c + V_p$, de sorte que le dommage marginal s'écrit :

$$D'(V_e) = \beta_1 + \beta_2 V_e.$$

La procédure de simulation se déroule de la façon suivante. Dans un premier temps, nous sélectionnons les valeurs de θ sur l'intervalle $[\theta_{min}; \theta_{max}]$ issu de l'étape d'estimation de la fonction de coût. Cependant, pour des valeurs très petites de θ, le rapport $\frac{F(\theta)}{f(\theta)}$ calculé à partir d'une distribution normale de moyenne -0,127 et d'écart-type 0,076, tend vers zéro. Le problème est alors que le terme d'asymétrie d'information lui aussi tend vers zéro et donc que les conditions de premier ordre sont peu différentes du cas de l'information complète. Dans ce cas, on a vu que les estimations des coûts marginaux ne pouvaient pas satisfaire le contrat optimal. Il n'est donc pas possible de trouver des solutions au système d'équations du modèle économique. Nous restreignons donc la grille des θ à $[-0.127; -0.118]$, un intervalle sur lequel on observe une grande partie des services d'eau de l'échantillon. Choisir la moyenne des observations de θ comme le minimum du domaine de simulation est la valeur limite que nous nous autorisons. En effet, nous jugeons plus intéressant de faire des simulations sur des valeurs de θ proches de celles estimées dans la première étape. Nous verrons que cette contrainte que nous nous imposons a en revanche l'inconvénient de limiter l'observation des solutions lorsque les valeurs de π sont proches de 0,5.

Dans un second temps, nous spécifions le dommage marginal comme une fonction linéaire avec des coefficients positifs afin que la fonction de dommage soit convexe. Nous choisissons plusieurs valeurs pour les paramètres $b1$ et $b2$ de façon à calibrer le modèle sur des valeurs raisonnables du dommage environnemental provenant de l'extraction d'eau brute. Ainsi, les valeurs des volumes d'eau retournées par notre processus de simulation sont proches de leurs moyennes empiriques dans notre échantillon.

Nous remplaçons ensuite les paramètres de la fonction de coût par les estimations trouvées dans la première étape de notre travail. Notons que seuls les termes de premier ordre et les termes quadratiques relatifs aux volumes d'eau apparaissent dans la fonction de coût. Ceci est dû à la normalisation par la moyenne des variables réalisée sur la forme translog.

Nous calculons les solutions (V_c, V_p) pour le service d'eau moyen par une résolution numérique réalisée avec la procédure NLSYS du logiciel Gauss, du système de conditions de premier ordre[7] :

$$P - C_{V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) - D'(V_c(\theta) + V_p(\theta)) - \left(\frac{2\pi - 1}{\pi}\frac{F(\theta)}{f(\theta)}\right) C_{\theta V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) = 0, \tag{5.2}$$

$$C_{V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) + D'(V_c(\theta) + V_p(\theta)) + \left(\frac{2\pi - 1}{\pi}\frac{F(\theta)}{f(\theta)}\right) C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) = 0. \tag{5.3}$$

À partir de 10 valeurs équidistantes tirées sur l'intervalle [-0,127 ;-0,118] et des valeurs initiales de V_c et V_p choisies comme étant les moyennes géométriques de ces variables, nous lançons la procédure de simulation sur l'ensemble des valeurs de θ. Pour analyser la sensibilité de nos résultats aux préférences de la collectivité locale (critère de maximisation), nous calculons les solutions du contrat optimal avec différentes valeurs de $\pi \in [0,5; 1]$. Notons que lorsque $\pi = 0,5$ (information complète) et jusqu'à $\pi = 0,58$, le système n'admet pas de solutions pour les raisons que nous avons évoquées plus haut. En effet, le modèle en information complète ne peut être validé par nos données si l'on contraint les volumes d'eau à être proches des valeurs moyennes de l'échantillon. Nous avons également exclue la borne supérieure de l'intervalle. En conséquence, nous baserons notre analyse sur l'intervalle $[0,6; 0,95]$ à partir de 8 valeurs équidistantes d'un pas de 0,05.

[7] Nous avons également vérifié que la matrice hessienne de l'expression du bien-être maximisé par la collectivité locale était bien semi-négative.

TAB. 5.4 – Résultats de simulation du contrat optimal ($\pi = 0,60$)

θ	V_c	V_p	r	T	$P(V_c)$
-0.127	250 527	73 623	77,3	681 922	2,00
-0.126	253 382	76 144	76,9	691 831	1,94
-0.125	256 075	78 541	76,5	701 500	1,88
-0.124	258 637	80 842	76,2	710 991	1,82
-0.123	261 092	83 063	75,9	720 350	1,77
-0.122	263 457	85 218	75,6	729 614	1,72
-0.121	265 746	87 318	75,3	738 808	1,67
-0.120	267 969	89 371	75,0	747 953	1,62
-0.119	270 134	91 383	74,7	757 065	1,58
-0.118	272 248	93 360	74,5	766 159	1,53

Les volumes consommés V_c et perdus V_p sont exprimés en m^3. Le taux de rendement r est défini comme $100\frac{V_c}{V_c+V_p}$ (unité %). Le transfert monétaire T est exprimé en francs et le prix unitaire en francs/m^3. Le dommage environnemental est nul.

5.5 Résultats et commentaires

Le tableau 5.4 fournit les caractéristiques des contrats d'un service d'eau moyen pour des exploitants de types θ différents et $\pi = 0,60$. Des valeurs plus élevées de θ (les entreprises moins efficaces) conduisent à un accroissement des volumes d'eau consommés et perdus (et donc des volumes d'eau extraits). Ainsi, comme le prédit le modèle théorique, la solution de contrat optimal requiert que la commune autorise les exploitants les moins efficaces à moins bien entretenir leur réseau en ne réparant pas les fuites, ce qui signifie un taux de rendement plus faible.

Un résultat important à souligner, et qui n'est pas à première vue très intuitif, est qu'un exploitant moins efficace propose un prix du m^3 d'eau potable plus bas. En effet, l'efficacité dans l'AEP réside dans la capacité à réduire les pertes d'eau en réseau. De plus, nous avons posé comme hypothèse implicite que le prélèvement d'eau brute ne pose pas de problèmes technologiques. Donc, un exploitant qui fait beaucoup de pertes doit extraire davantage. Si le volume d'eau produit augmente, la pression dans les conduites d'eau diminue[8] et le volume d'eau mis à disposition des abonnés augmente,

[8] On sait depuis le chapitre 2, qu'une baisse de pression due à une augmentation du débit d'eau n'augmente pas les fuites et peut même les diminuer.

il faut donc le proposer à un prix plus faible. En revanche, le transfert monétaire de la commune vers l'exploitant est plus élevé pour les moins efficaces, ce qui veut dire que ces opérateurs demandent aux usagers de payer un abonnement plus élevé.

Nous développons dans l'annexe D les calculs qui permettent d'utiliser la condition de second ordre (4.7) qui doit être satisfaite pour un contrat de régulation optimal. Lorsque $\pi = 0,65$ et avec la grille de θ utilisée pour les simulations, cette condition est effectivement vérifiée.

5.5.1 Analyse de sensibilité des solutions à π

Le tableau 5.5 présente les valeurs simulées pour V_c et V_p, les volumes d'eau consommés et perdus (en m^3) pour des π différents et pour une entreprise d'efficacité moyenne dans notre échantillon ($\theta = -0.127$). La figure 5.1 regroupe les graphiques montrant

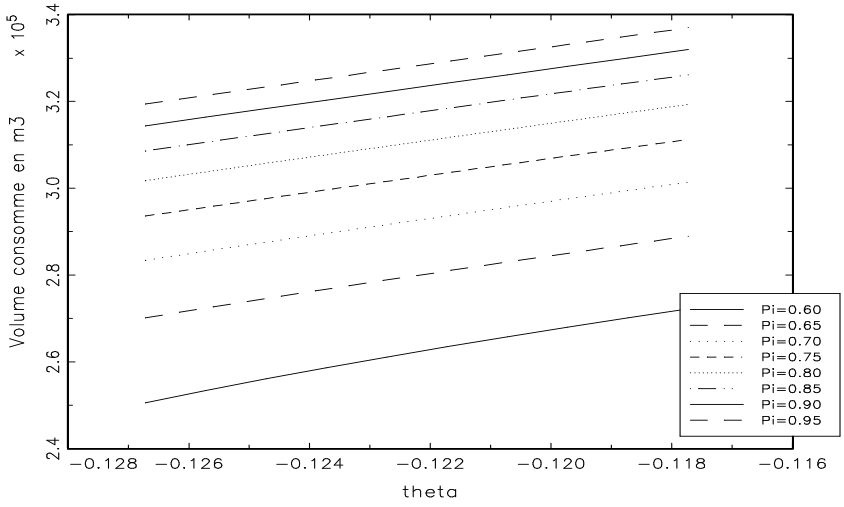
TAB. 5.5 – Schémas de contrat optimal

π	V_c	V_p	r	T	$P(V_c)$
0,60	250 527	73 623	77,3	681 922	2,00
0,65	270 101	90 474	74,9	796 509	1,58
0,70	283 394	102 376	73,5	886 603	1,29
0,75	293 571	111 732	72,4	961 650	1,07
0,80	301 777	119 428	71,7	1 025 825	0,89
0,85	308 600	125 927	71,0	1 081 614	0,74
0,90	314 395	131 517	70,5	1 130 693	0,62
0,95	319 395	136 391	70,1	1 174 276	0,51

Ces résultats correspondent à $\theta = -0,127$ et un dommage nul.
Les volumes consommés V_c et perdus V_p sont exprimés en m^3.
Le taux de rendement r est défini comme $100\frac{V_c}{V_c+V_p}$ (unité %).
Le transfert monétaire T est exprimé en francs et le prix unitaire en francs/m^3.

l'évolution du niveau des volumes d'eau consommés et perdus en fonction de l'efficacité de l'opérateur pour des π différents et un dommage nul. En particulier, la tendance à l'accroissement des volumes d'eau produits est confirmée. Sur la figure 5.2, on peut observer également une diminution du taux de rendement de réseau lorsque π augmente c'est-à-dire lorsque la distorsion due à l'information privée sur les pertes d'eau

FIG. 5.1 – Volumes consommés et perdus optimaux



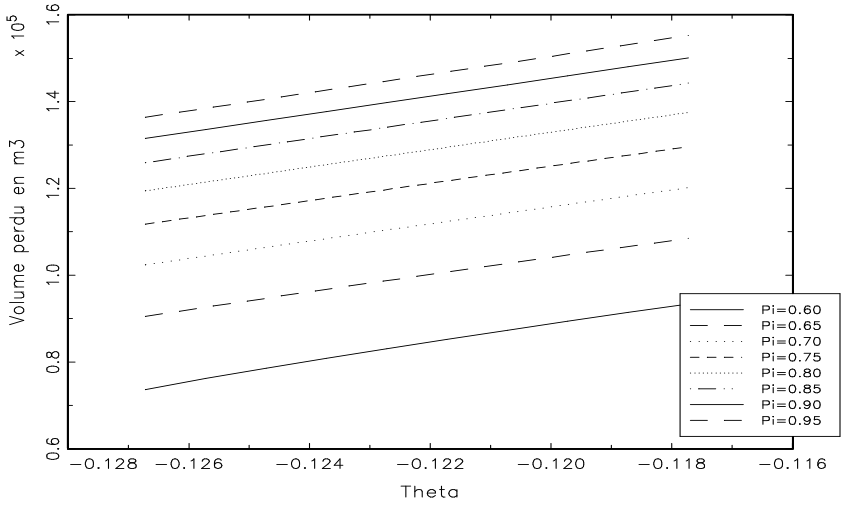
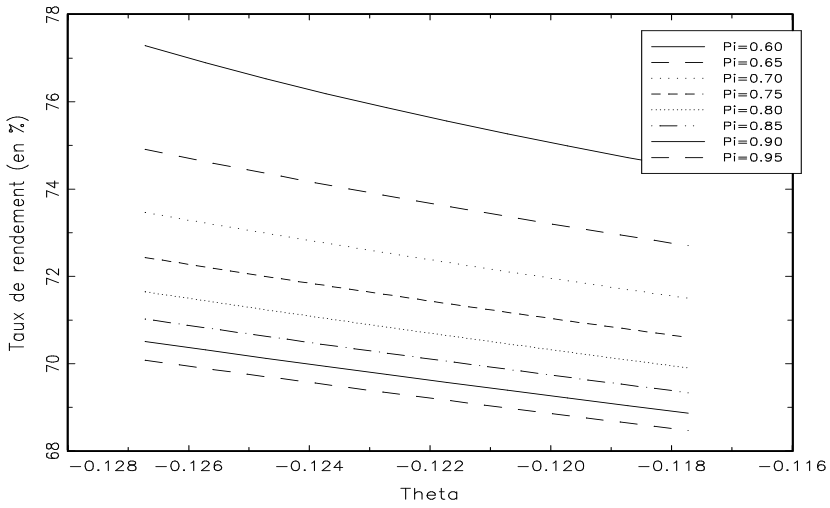


FIG. 5.2 – Taux de rendement de réseau optimal



croît : plus π augmente, plus la collectivité locale attache de l'importance au surplus des usagers et moins elle laissera de rente à l'opérateur (voir figure 5.3). Ceci illustre parfaitement l'arbitrage entre l'extraction de rente et l'efficacité.

On observe également une diminution du prix unitaire lorsque la valeur de π augmente. Néanmoins, le surplus des usagers diminue car le transfert monétaire augmente plus vite que la baisse du prix unitaire de l'eau lorsque π augmente. La figure 5.4 montre les tendances sur le bien-être des usagers. Une autre façon de mesurer l'efficacité des différents schémas de régulation est de calculer l'écart des coûts marginaux par rapport à leur valeur à l'optimum de premier rang. La tâche est difficile car nous avons deux critères à prendre en compte simultanément puisque qu'il y a deux variables de contrôle. Cependant, nous avons vu dans le chapitre 4, que la combinaison des deux conditions de premier ordre en information complète donnait l'égalité $C_{V_p} = 0$. Nous pouvons donc considérer que plus le coût marginal du volume d'eau perdu s'écarte de zéro, plus le schéma de régulation est efficace. Le tableau 5.6 illustre cet arbitrage

FIG. 5.3 – Rente optimale

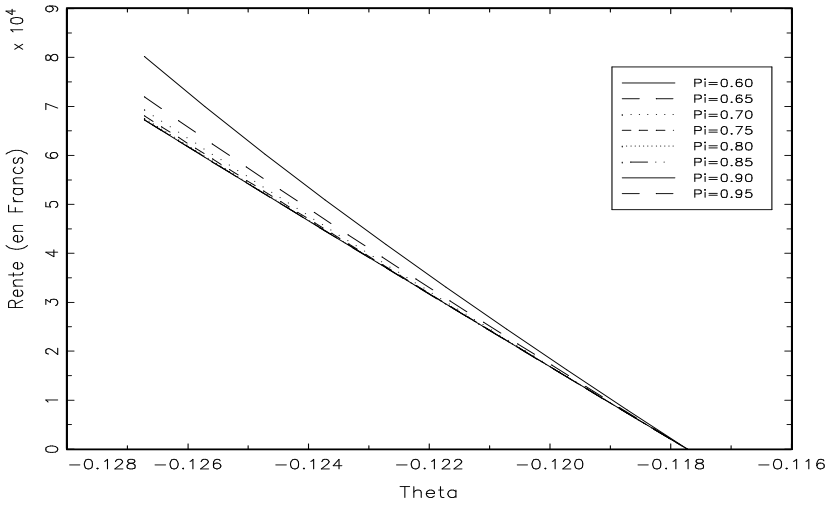
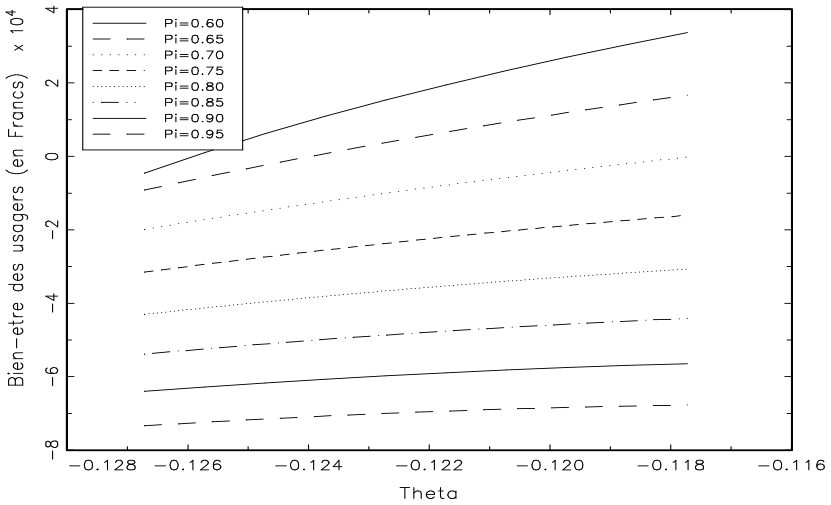


FIG. 5.4 – Bien-être des usagers optimal



TAB. 5.6 – Arbitrage
extraction de rente/efficacité

π	U	C_{V_p}	$P - C_{V_c}$
0,60	80 189	1,47	0,31
0,65	71 983	1,49	0,00
0,70	69 281	1,53	-0,21
0,75	68 111	1,56	-0,36
0,80	67 565	1,58	-0,48
0,85	67 319	1,61	-0,58
0,90	67 232	1,62	-0,66
0,95	67 234	1,64	-0,73

$\theta = -0,127$ et dommage nul.
La rente U et les coûts marginaux sont exprimés en francs.

entre l'extraction de rente et l'efficacité. Des valeurs croissantes de π entraînent une diminution des rentes mais un accroissement de l'inefficacité car le coût marginal des pertes d'eau C_{V_p} augmente.

Nous pouvons tirer un autre enseignement des résultats du tableau 5.6. Le prix facturé du m^3 d'eau potable peut être inférieur à son coût marginal comme on l'observe pour un service sur deux dans notre échantillon si la collectivité locale a pour objectif de réduire les rentes informationnelles. Cependant, en contrepartie la partie fixe du tarif de l'eau sera plus élevé puisque le transfert augmente lorsque le coût marginal diminue.

5.5.2 Analyse de sensibilité des solutions au dommage

Nous étudions à présent comment réagissent les variables de contrat ainsi que les autres variables d'intérêt à différentes valeurs du dommage marginal (causé par l'extraction de ressources naturelles) puisque nos résultats dépendent de sa calibration. Nous rappelons que le dommage marginal est linéaire par rapport au volume d'eau extrait et positif : $\beta_1 + \beta_2 V_e$. Nous choisissons de faire varier le dommage par le biais du paramètre[9] β_2 qui doit être positif pour que l'hypothèse de convexité de la fonction

[9]Nous supposons que le paramètre β_1 est égal à zéro, car sa variation n'apporte pas d'information supplémentaire. Notons que fixer β_2 à zéro aurait été plus restrictif puisque le dommage marginal

TAB. 5.7 – Sensibilité du contrat optimal ($\pi = 0,60$) au dommage marginal

$\underline{D'}$	$\overline{D'}$	$\underline{V_c}$	$\overline{V_c}$	$\underline{V_p}$	$\overline{V_p}$	$\underline{r}$	$\overline{r}$	$\underline{T}$	$\overline{T}$
0,00	0,00	250 527	272 248	73 623	93 360	77,3	74,5	681 922	766 159
0,03	0,04	250 164	273 313	70 938	91 114	77,9	75,0	679 956	770 080
0,09	0,11	248 644	275 239	65 338	86 694	79,2	76,1	672 883	776 662
0,15	0,18	245 436	276 841	59 073	82 334	80,6	77,1	659 680	781 137
0,20	0,25	237 521	278 033	50 350	77 990	82,5	78,1	632 082	782 882

Pour chaque variable, les première et seconde colonnes correspondent respectivement aux bornes inférieure et supérieure de l'intervalle des θ.

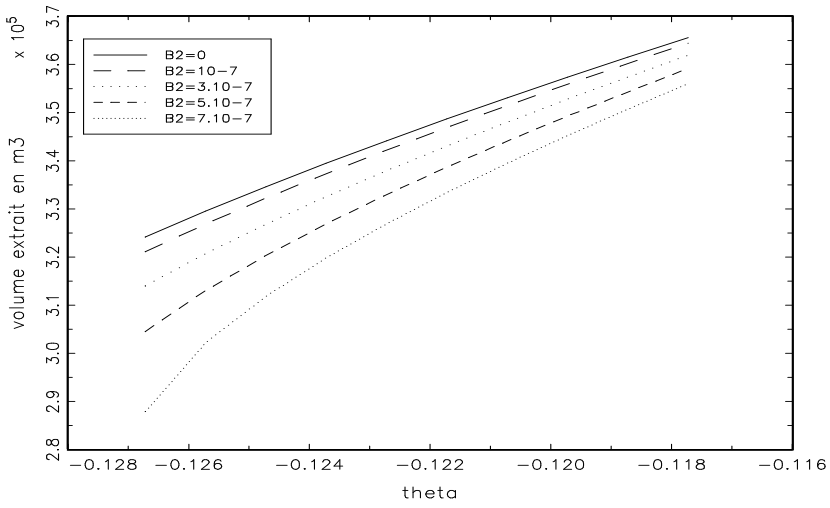
de dommage soit respectée. Dans les simulations qui suivent, le paramètre β_2 prend les valeurs suivantes : $(0\,;\,10^{-7}\,;\,3\times10^{-7}\,;\,5\times10^{-7}\,;\,7\times10^{-7})$ de telles sorte que le dommage marginal varie entre 0 et 0,20 franc pour les volumes extraits les plus faibles (cas des entreprises efficaces) et jusqu'à 0,25 franc pour des volumes extraits plus importants (entreprises inefficaces).

Le tableau 5.7 montre la trajectoire des composantes du contrat optimal pour un π égal à 0,60 lorsque la collectivité met un poids croissant sur le dommage provoqué par l'extraction d'eau. Les résultats sont donnés pour l'exploitant le plus efficace et celui qui est le moins efficace de notre grille des θ. Les pertes d'eau diminuent lorsque le dommage croît. La figure 5.6 montre l'évolution du prix du m^3 d'eau potable en fonction de l'importance du dommage et l'efficacité des opérateurs privés. Les exploitants les plus efficaces augmentent leur prix pour que le volume d'eau consommé décroisse. En revanche, les volumes d'eau consommés augmentent pour les opérateurs les moins efficaces, ce qui signifie qu'ils baissent leur prix unitaire. En contrepartie, l'abonnement que les usagers paient est plus élevé. Au total, lorsque le dommage marginal augmente, le volume d'eau extrait diminue moins pour les entreprises les plus inefficaces et le taux de rendement se comporte de manière symétrique (voir figure 5.5).

Nous avons aussi reporté dans le tableau 5.8 les variations dues à l'importance du dommage marginal sur les rentes des exploitants et l'efficacité. Les résultats de simulation indiquent que plus le dommage prend de l'importance dans les préférences de la collectivité locale plus les rentes augmentent car le volume d'eau perdu décroît.

serait indépendant du volume extrait.

FIG. 5.5 – Volumes extraits et rendements optimaux avec dommage



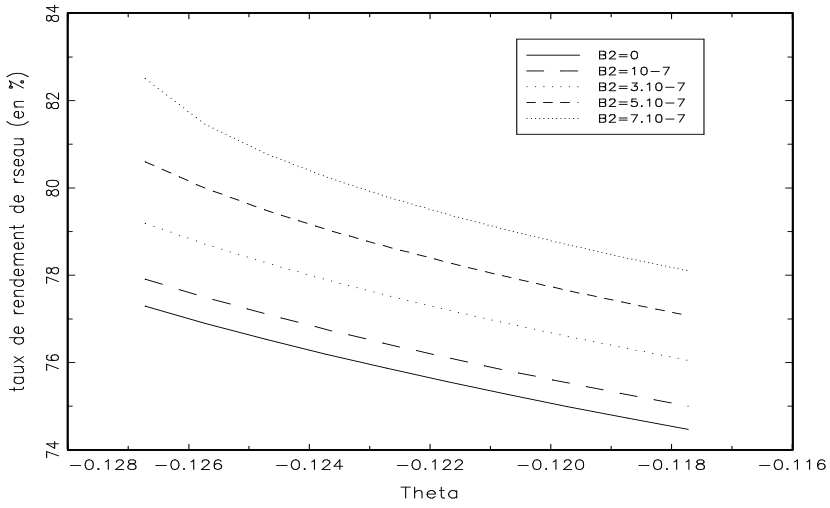
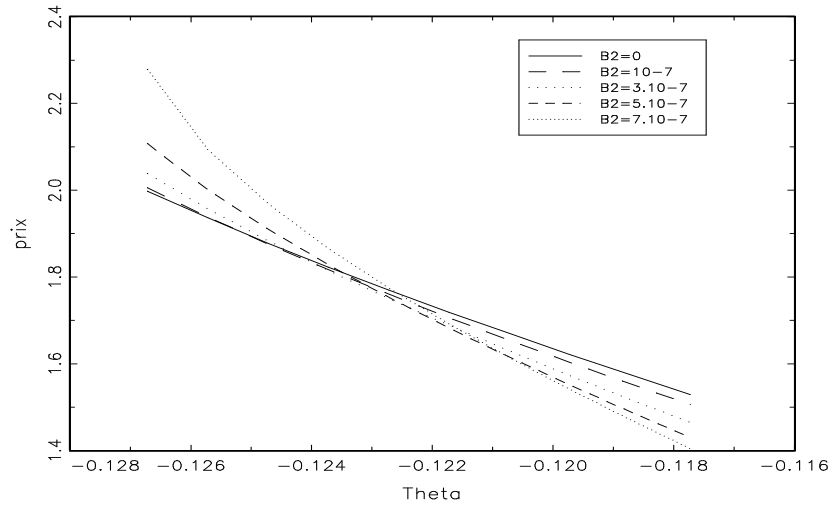


FIG. 5.6 – Prix du m^3 d'eau potable avec dommage

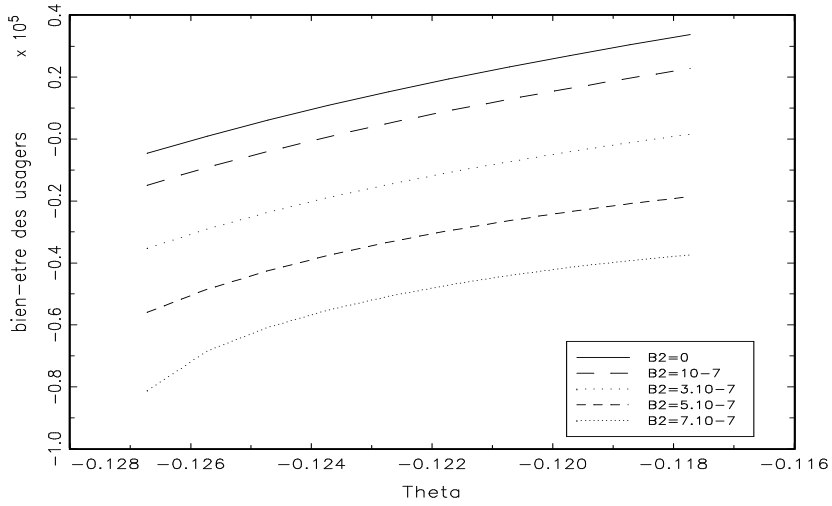


TAB. 5.8 – Sensibilité de la rente et de l'efficacité au dommage marginal

$\underline{D'}$	$\overline{D'}$	$\underline{U}$	$\overline{U}$	$\underline{C_{V_p}}$	$\overline{C_{V_p}}$	$\underline{P - C_{V_c}}$	$\overline{P - C_{V_c}}$
0,00	0,00	80 189	0	1,47	1,18	0,31	-0,20
0,03	0,04	83 344	0	1,54	1,21	0,37	-0,18
0,09	0,11	91 015	0	1,73	1,27	0,50	-0,13
0,15	0,18	101 916	0	2,01	1,36	0,68	-0,07
0,20	0,25	123 484	0	2,56	1,46	0,99	0,00

Pour chaque variable, les première et seconde colonnes correspondent respectivement aux bornes inférieure et supérieure de l'intervalle des θ.

FIG. 5.7 – Bien-être des usagers avec dommage



Mais parallèlement, on s'éloigne davantage de la condition de premier ordre sur les volumes d'eau perdus en information complète. En conclusion, lorsque la commune intègre un critère environnemental dans ses préférences, on s'éloigne de l'optimum de second rang et on abandonne du même coup davantage de rentes. Par ailleurs, le graphique 5.7 montre l'évolution du bien-être des usagers en fonction de l'importance du dommage marginal, on voit clairement qu'il diminue.

5.6 Conclusion

À partir du modèle économique de régulation construit dans le chapitre 4, nous mettons en œuvre une expérience de simulation des solutions du contrat optimal. L'objectif de cet exercice est de mettre en évidence l'évolution des variables de contrat en fonction de l'efficacité de l'opérateur privé. Il s'agit également d'étudier la sensibilité de ces résultats aux paramètres utilisés pour calibrer le modèle : le poids π représentant la part

du surplus des usagers dans les préférences de la collectivité locale, et les paramètres de la fonction de dommage.

Cette analyse empirique se déroule en plusieurs étapes. Premièrement, nous estimons les paramètres de la fonction de coût ainsi que le paramètre d'efficacité θ par une méthode convergente et efficace : la procédure Within-SURE itérée. L'estimation des paramètres θ de chaque exploitant nous permet de retrouver sa loi statistique à partir de sa distribution empirique. Deuxièmement, nous calculons les coûts marginaux prédits dans les deux conditions de premier ordre extraites du modèle théorique. Enfin, comme les valeurs du paramètre π et celles de la fonction de dommage ne peuvent être estimées par des méthodes simples, elles sont choisies de façon à calibrer notre modèle.

Les résultats confirment les conclusions énoncées dans le chapitre 4. Regardons d'abord le cas où la commune n'intègre pas la perte provoquée sur les stocks des ressources par le prélèvement des services d'eau. D'une part, les volumes d'eau perdus augmentent avec l'inefficacité de l'exploitant. C'est d'ailleurs le prélèvement total d'eau brute qui croît avec le paramètre θ. Ainsi, pour laisser moins de rentes aux entreprises privées, la commune doit les inciter à faire plus de pertes (et donc à ne pas réparer les fuites sur réseau). Cependant, cela distord un peu plus ces volumes d'eau perdus et on s'éloigne alors du niveau de perte optimal. Le transfert monétaire augmente pour ses entreprises. D'autre part, on observe un accroissement du volume consommé entraînant une baisse du prix unitaire de l'eau de telle sorte que le bien-être des usagers augmente avec l'inefficacité des entreprises. Néanmoins, lorsque les usagers sont privilégiés dans les préférences de la commune (π augmente), la distorsion est si forte que leur bien-être diminue.

Lorsque l'on introduit une fonction de dommage environnemental dans le critère de la commune, nous avons une nouvelle illustration de l'arbitrage entre efficacité et extraction de rentes. La présence d'un dommage contraint les exploitants à réduire les pertes, mais ceci se traduit mécaniquement par une augmentation des rentes. En outre, les niveaux de pertes pratiqués sont inférieurs au niveau optimal, ce qui les place sur la partie décroissante de la courbe de coût marginal (voir tableau 5.8). L'accroissement

de la valeur du dommage marginal éloigne un peu plus du niveau de pertes optimal.

Les techniques de simulation employées ici nous ont permis de comparer différents schémas de régulation par la calibration d'une fonction de dommage et en faisant varier le paramètre π que nous ne pouvions estimer par le biais de la fonction de coût seule. Nous venons de rappeler comment cette analyse nous permettait de mettre en évidence plusieurs résultats issus de notre modèle économique fondé sur le paradigme principal-agent. Dans la logique du déroulement de notre étude économique des services d'eau potable, un prolongement de nos travaux pourrait être l'estimation de ces paramètres jusqu'à présent fixés arbitrairement.

Conclusion générale

L'analyse économique des coûts d'une entreprise, tout comme ceux des services d'eau potable, est un exercice d'une importance capitale présentant un double intérêt. Elle permet d'appréhender la technologie avec la même pertinence qu'une étude directe du processus de production. L'estimation de la fonction de coût autorise ainsi une analyse complète de la productivité comme l'étude des propriétés de la technologie, les effets d'échelle de la production, la substituabilité des facteurs de production, le calcul des coût marginaux, etc. En outre, c'est une étape cruciale pour le gestionnaire du service qui doit non seulement veiller à ce que l'eau soit utilisée efficacement mais aussi fixer un prix qui lui assure des revenus suffisants pour couvrir ses coûts et faire de nouveaux investissements afin de fournir un service de bonne qualité. La fonction de coût entre également dans le programme de la collectivité locale lorsqu'elle réfléchit aux mécanismes de régulation qu'elle va devoir mettre en œuvre lors de la rédaction d'un contrat de délégation de l'exploitation du service à une entreprise privée.

Cette thèse a tenté d'embrasser ces différents aspects par deux contributions importantes aux travaux sur la production dans le secteur de l'Alimentation en Eau Potable (AEP). Elles sont présentées dans deux parties distinctes puisque au départ les perspectives sont différentes : la partie 1 consiste en une étude de la structure productive des services d'eau et la partie 2 se penche sur les contrats régissant l'exploitation de ces services. Néanmoins, elles sont inéluctablement liées du fait de leurs interconnexions nécessaires à la circulation de l'information telles que le sont les conduites constituant les réseaux pour la distribution de l'eau potable.

L'objet de cette thèse et l'approche utilisée partent des constats suivants :

– il existe des niveaux élevés de pertes d'eau en réseau (en moyenne 25% du volume

d'eau potable mis en distribution),

- les recommandations sur ce problème de la part des instances politiques sont sans cesse renouvelées (comme celles de l'OFWAT, l'organisme de régulation des compagnies des eaux en Angleterre, dans ses rapports annuels sur les fuites et l'efficacité de l'eau),
- mais dans le même temps, les études économiques sur le secteur occultent totalement cette caractéristique inhérente aux réseaux d'eau.

La recherche des raisons de l'existence de tels volumes d'eau perdus a délibérément été le centre d'intérêt de cette thèse. Nous avons dans un premier temps cherché des causes intrinsèques à la structure de production. Dans cette optique, nous avons construit le modèle économique de coût d'une part, en intégrant les caractéristiques de réseau de la technologie de l'AEP et d'autre part, en étudiant la production comme un processus multi-produits (eau facturée et eau perdue). Ce premier point consiste donc en une analyse technique de l'industrie par l'intégration de variables propres à chaque service comme le nombre d'abonnés alimentés en eau potable et le nombre de communes desservies par le même exploitant. Nous avons également porté une attention particulière à la diversité des infrastructures représentées dans notre modélisation par leur capacité technique (longueur des conduites, capacité de production, capacité de stockage, capacité de pompage). Le choix d'un cadre d'étude multi-produits s'explique essentiellement par le fait que le service d'eau a pour responsabilité la mise à disposition du volume d'eau potable demandé par les usagers mais qu'il s'autorise un certain volume d'eau perdu. La production du service est effectivement le volume d'eau qui est mis en distribution dans le réseau, mais que nous avons différencié en deux biens distincts.

À partir de la spécification de la fonction de coût variable, nous avons dérivé différents concepts de rendements appliqués à la structure de réseau des services d'eau. L'objectif de cette première partie était d'estimer les paramètres technologiques de notre modèle ; nous avons effectué ce travail à partir d'un échantillon de 47 services d'eau potable du département de la Gironde observés sur la période 1995–1998, exploi-

tés en affermage par des opérateurs privés. Pour cela, nous avons mis en œuvre des méthodes d'estimation adaptées aux données de panel et prenant en compte spécifiquement l'endogénéité des volumes d'eau produits puisqu'ils sont issus d'une décision de l'exploitant.

Les résultats d'estimation nous permettent de tirer de précieux enseignements sur la technologie de l'AEP. Nous avons d'abord montré que les facteurs de production étaient substituables entre eux et donc que cela autorisait un arbitrage entre les activités de production et de distribution. Cela signifie concrètement qu'il est techniquement possible de satisfaire de manière équivalente les usagers en compensant les pertes d'eau qui, par définition, ne sont pas consommables, par un accroissement du volume d'eau extrait. Par ailleurs, un test sur l'élasticité de coût par rapport aux variables de capital laisse penser que certains équipements comme les réservoirs d'eau sont en surcapacité par rapport au niveau optimal de long terme. Ceci s'explique en particulier par la nécessité pour les exploitants de tenir compte des variations journalières et saisonnières de la demande. Cela valide également notre modélisation sur une période de court terme des décisions des exploitants.

Nous avons ensuite développé de façon détaillée l'effet sur les coûts moyens d'une variation de la production. Cette variation peut avoir des origines différentes dans un réseau d'AEP : une variation de la consommation par usager (nous parlons d'élasticité de densité de production), une variation du nombre d'usagers sur le réseau (élasticité de densité d'usagers) ou bien une variation de la taille du service dû au regroupement de communes (élasticité d'échelle). Ces mesures ont un intérêt crucial pour les gestionnaires de service qui désirent évaluer la capacité optimale de leur réseau. Nous montrons en particulier que les services d'eau sont capables de répondre rapidement à un accroissement de la demande des usagers, que la connexion de nouveaux usagers est moins coûteuse dans les zones urbaines et enfin que le regroupement de communes en un syndicat de distribution apporte des gains significatifs, mais jusqu'à un certain seuil confirmant ainsi la nature locale du monopole.

Nous avons également calculé le coût marginal de chaque service, élément déter-

minant lors de la fixation du prix. Les résultats indiquent des différences importantes entre les services. On peut observer aussi que le prix du m^3 d'eau est souvent fixé indépendamment de la valeur du coût marginal. Enfin, l'estimation des élasticités de coût marginal montre qu'il n'existe pas de complémentarité de coût entre le volume d'eau consommé et le volume d'eau perdu indiquant ainsi que les aspects de coût ne seraient pas la seule raison aux niveaux élevés observés des pertes.

Ce dernier constat offre un argument intéressant à la modélisation des relations contractuelles entre la collectivité locale et l'opérateur privé qui a en charge l'exploitation du service d'eau potable. Les résultats issus de notre modèle théorique de régulation montrent effectivement qu'il existe une raison informationnelle à de tels niveaux de pertes.

Les services d'eau potable en France peuvent être gérés soit directement par la collectivité locale, soit par des entreprises spécialisées à qui l'on confie leur exploitation. La première solution pose souvent des problèmes techniques et financiers dus principalement au niveau élevé des normes de qualité fixées par l'Union Européenne. C'est pourquoi le choix de la délégation du service public à un opérateur privé est de plus en plus envisagé par les collectivités locales comme une solution de remplacement pratique lui permettant de transférer un partie des risques d'exploitation à un tiers.

Cette seconde solution n'est pas sans inconvénient pour deux raisons principales : il existe des inefficacités allocatives liées à la structure monopolistique du service d'AEP mais également des inefficacités provoquées par des contraintes informationnelles. L'exploitant possède une information privée sur sa technologie et il l'utilise de façon stratégique dans ses relations contractuelles avec la collectivité locale. Concrètement, celle-ci se trouve confrontée au difficile problème d'inciter l'entreprise à lui révéler les coûts réels engendrés par l'exploitation du service. De plus, les actions réalisées par l'entreprise pour améliorer la qualité du service ne sont pas toujours observables par la commune. Il existe donc un second point à ne pas négliger qui consiste à faire accomplir le bon niveau d'effort à l'exploitant.

Nous considérons dans notre étude que l'efficacité de l'opérateur privé repose sur sa capacité à réduire les pertes d'eau et que c'est une information cachée. À partir de la maximisation du critère de bien-être de la collectivité locale construit comme une somme pondérée des surplus des usagers et de l'exploitant, nous avons obtenu les conditions de premier ordre correspondant au contrat optimal. Les premières interprétations que nous en tirons sont très intéressantes puisque l'on montre que, dans le but d'extraire les rentes informationnelles, la collectivité locale autorise l'exploitant à faire des pertes supérieures aux niveaux optimaux.

Les exercices de simulation que nous avons mis en œuvre et l'étude des trajectoires des volumes d'eau produits et des variables économiques du modèle vont dans le sens de ces résultats. Il a été mis en évidence que les volumes d'eau perdus augmentaient avec l'inefficacité de l'exploitant et qu'il en était de même pour les volumes consommés. Par ailleurs, on observe les mêmes tendances lorsque que le poids relatif au surplus des usagers (et donc la distorsion liée à l'information incomplète) augmentait. Ceci a une conséquence à première vue étonnante : les entreprises inefficaces proposent des prix au m^3 inférieurs à ceux des entreprises efficaces. Néanmoins, elles fixent un abonnement plus élevé. Une analyse du bien-être des usagers nous permet de vérifier que l'accroissement de la distorsion économique a un effet négatif. De plus, l'évolution du coût marginal du volume d'eau perdu indique bien un éloignement de l'optimum de premier rang. L'introduction d'une fonction de dommage dans le programme de la collectivité locale confirme par ailleurs l'arbitrage entre extraction de rente et efficacité vu auparavant, un résultat classique de la théorie de la régulation.

Ces résultats sont importants puisque c'est la première fois, à notre connaissance, que l'on montre de manière empirique qu'il existe une information privée détenue par l'opérateur privé dans la délégation des services d'AEP en France. En outre, notre modélisation économique des contrats d'affermage donne une explication claire à la présence de pertes d'eau élevées dans les réseaux d'eau potable.

En guise d'extension directe de notre étude, nous proposons d'estimer les équations

structurelles de contrat optimal issues du modèle économique. Cependant, le paramètre d'efficacité θ est non observable et apparaît sous une forme non linéaire à travers sa distribution. Cette particularité pose un problème de résolution analytique lorsque que l'on utilise les méthodes économétriques traditionnelles. Nous proposons alors d'estimer en une seule étape le système complet des conditions de premier ordre du contrat optimal par la méthode des moments simulés (Method of Simulated Moments, MSM, McFadden (1989)). Cette méthode a l'avantage d'utiliser la totalité de l'information disponible. Nous pourrons en particulier tester si la valeur du paramètre π relatif à l'asymétrie d'information est significativement différent de 0,5 (le cas de l'information complète).

Un projet de loi présenté au conseil des ministres le 27 juin 2001 propose la création d'un haut conseil des services publics de l'eau et de l'assainissement. Il n'aura pas une véritable fonction de contrôle et de régulation avec un pouvoir d'intervention direct, mais rendra public des recommandations sur la facturation, l'économie des contrats et leur équilibre financier.

Le contrat reste l'outil de référence lorsqu'il s'agit de rendre plus "équilibrées" les relations entre la collectivité locale et l'opérateur, au départ à l'avantage de celui-ci. Lors de la présence d'asymétrie d'information, le contrat de délégation peut permettre de se rapprocher du service optimal. Toutefois, nous devons souligner que les contrats spécifiés dans le cadre de cette thèse se limitent au contrôle des variables de production, certes primordiales mais qui ne sont évidemment pas suffisantes pour pouvoir qualifier ces contrats de complets. D'autres objectifs concernant les prestations, la qualité du service et la productivité pour l'entreprise privée peuvent être clairement définis dans le contrat (et y sont d'ailleurs déjà introduits), mais cela ne peut se faire sans abandonner une rente informationnelle supplémentaire. La difficulté reste de trouver le bon équilibre dans l'exercice d'arbitrage entre l'objectif d'efficacité et l'extraction de rente.

Le modèle économique de régulation développé dans cette thèse a donc été assez sim-

plifié. Un des premiers prolongements de nos travaux serait alors d'introduire d'autres instruments de contrôle dans la modélisation des préférences des agents tels que les variables de capital qui peuvent jouer un rôle déterminant dans le comportement de chacun. Cela permettrait ainsi de prendre en compte des contraintes additionnelles ayant des effets à ne pas négliger sur le contrat optimal.

Notre étude ne traite pas volontairement de plusieurs points intéressants qui pourraient faire l'objet de travaux futurs. La comparaison des gestions publique et privée est l'un de ces sujets sensibles en France qu'il faut aborder avec une approche non partisane. Il s'agit de mettre en balance les avantages et inconvénients de chaque mode de gestion. Les méthodes utilisées dans cette thèse pourraient très bien servir de point de départ à ce projet, en particulier en estimant les effets spécifiques de chaque exploitant. Leur distribution pourrait être comparée et ainsi nous pourrions vérifier si, comme le suggère la théorie, les entreprises privées sont de manière générale plus efficaces mais offrent davantage d'incertitude sur leur valeur.

Le problème de la tarification doit également faire partie de notre agenda de recherches futures. La confrontation de l'offre et la demande sur le marché de l'eau permettrait de retracer le processus de fixation des prix. Ainsi, il serait possible d'évaluer les pratiques actuelles de tarification en France, de les comparer aux tarifications efficaces et de mesurer les variations de bien-être lors d'un déplacement vers l'optimum.

Enfin, l'esprit de globalité de la gestion de l'eau ne serait pas tout à fait atteint si l'activité d'assainissement n'était pas également étudiée. En effet, le prix de l'eau sur la facture des usagers et mentionné dans les différentes statistiques sur le domaine comprend l'eau potable mais aussi la collecte et le traitement des eaux usées. Un travail de la même nature que celui réalisé sur l'eau potable pourrait être mis en œuvre en tenant compte des interactions entre les deux activités.

Annexes

Annexe A

Gestion et réglementation

A.1 Les différents modes de gestion

A.1.1 La gestion directe

La régie directe ou régie simple ne comprend pas d'organe spécialisé de gestion. Le fonctionnement du service et la gestion du personnel sont sous la responsabilité de l'assemblée délibérante de la collectivité locale. La régie supporte toutes les dépenses d'exploitation, d'entretien, de renouvellement et encaisse toutes les recettes. Ces opérations financières font l'objet d'une comptabilité séparée dans un budget annexe qui doit être "équilibré en recettes et en dépenses".

La régie dotée de la seule autonomie financière fonctionne un peu comme la régie directe mais les textes imposent la désignation d'un directeur qui veille au bon fonctionnement du service, prépare le budget et dirige le personnel. Elle se différencie aussi de la régie directe par l'institution d'un conseil d'exploitation mais qui n'a qu'un rôle consultatif, l'assemblée délibérante prenant les décisions les plus importantes.

La régie autonome dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière est un petit établissement public administré par un conseil d'administration (désigné par l'assemblée délibérante) et un directeur (nommé par l'ordonnateur). Elle

est dotée d'un budget propre, dispose d'un patrimoine distinct de celui de la collectivité et fonctionne en grande partie selon les règles de droit privé.

A.1.2 La gestion déléguée

La concession est un contrat dans lequel le délégataire est chargé de financer les équipements nécessaires au bon fonctionnement du service et de les exploiter à ses risques et périls, moyennant le droit de percevoir des redevances payées par les usagers pour couvrir ses charges d'investissement et d'exploitation. À la fin du contrat (20 ans maximum[1]), les infrastructures reviennent à la collectivité.

L'affermage est une contrat dans lequel les frais de premier établissement ont été engagés par la collectivité. C'est la formule la plus souple et donc la plus répandue car elle permet de s'adapter au plus grand nombre de situations. Le fermier se voit confier la seule exploitation du service et il reçoit des usagers les redevances fixées par le contrat pour couvrir ses charges d'exploitation et ses frais de maintenance. N'ayant pas les travaux initiaux à sa charge, le fermier doit tout de même assumer les travaux d'entretien (et certains travaux de renouvellement, si clauses spécifiques). La collectivité perçoit une partie du produit des factures pour couvrir ses frais d'investissement. Compte tenu de ces spécificités, les contrats d'affermage ont, en général, une durée plus courte (7–12 ans) que celle des contrats de concession.

La régie intéressée. La collectivité est responsable de l'organisation du service. Le régisseur engage l'exécution des tâches matérielles mais n'exploite pas à ses risques et périls. En particulier, il ne prend pas le risque des déficits d'exploitation. Le produit des factures revient à la collectivité. La rémunération du délégataire fixée par le contrat est fonction du chiffre d'affaires et elle bénéficie d'un intéressement aux résultats d'exploitation.

[1]Sauf autorisation spéciale du Trésorier payeur général.

La gérance se distingue de la régie intéressée par le caractère forfaitaire de la rémunération du gérant. Elle est calculée en fonction du tarif des prestations assurées par le gérant qui est fixé par la collectivité. Elle ne dépend pas des résultats du service.

TAB. A.1 – Modes de gestion et partage des responsabilités

Mode de gestion	Propriété des infrastructures	Exploitation et maintenance	Financement des investissements	Risque commercial
Gestion directe	Publique	Publique	Public	Public
Régie intéressée	Publique	Publique et privée	Public	Public
Gérance	Publique	Publique et privée	Public	Public
Affermage	Publique	Privée	Public et privé (si clause spécifique)	Public et privé
Concession	Publique (en fin de contrat)	Privée	Privé	Privé

A.2 Les principes du service public

A.2.1 Les principes traditionnels

L'égalité devant le service public d'eau et d'assainissement

Le principe d'égalité a une valeur constitutionnelle depuis le 12 juillet 1979, et d'ailleurs rappelé par la décision 81-130 DC du 30 octobre 1981 : «*Le principe d'égalité devant la loi oblige à faire application de règles semblables à des personnes placées dans des situations semblables, il n'interdit pas que puissent être appliquées des règles différentes à des personnes placées dans des situations différentes.*» Ce principe impose donc une égalité de traitement entre les usagers d'un même service public. Ceci entraîne l'égalité d'accès au service, l'égalité devant les prestations du service, l'égalité devant le tarif du service.

Égalité d'accès au service. L'aspirant usager désirant profiter du fonctionnement du service doit pouvoir réaliser un branchement sans autres limitations que les contraintes techniques et financières liées à la réalisation privée des travaux.

Égalité devant les prestations du service. Lorsqu'il a été admis à bénéficier du service, l'usager ne doit pas voir sa prestation modifiée sauf en cas de conditions exceptionnelles.

Égalité devant le tarif du service. L'égalité tarifaire ne signifie pas qu'il est exigé un tarif identique pour toutes les catégories d'usagers. C'est ainsi qu'en matière de tarification de l'eau, une distinction est fréquemment opérée entre les tarifs destinés aux usagers domestiques, industriels ou agricoles. Cependant, la Cour des Comptes (1997) rappelant l'arrêt Bachelet du 14 janvier 1991 du Conseil d'État : «*Le principe d'égalité ... s'apprécie entre usagers placés dans des situations analogues*» énonce que «*le respect du principe d'égalité entre usagers du service public doit se vérifier entre les différentes catégories d'usagers définies contractuellement.*» La différenciation des tarifs entre catégories trouve sa justification dans l'article L. 2224-2 du CGCT mais

la Cour des Comptes observe qu'«*une application contractuelle trop large de ce principe au bénéfice des services et des établissements industriels ou commerciaux dont la consommation est en général supérieure à celle des abonnés domestiques peut pénaliser ces derniers.*» Ainsi, la dégressivité d'un tarif qui ne bénéficierait qu'à la seule catégorie des industriels et commerçants est manifestement peu conforme au principe d'égalité. De plus, la Cour des Comptes trouve anormal que «*une partie significative de la consommation d'eau des services publics locaux, quand ce n'est pas celle de leurs agents, n'est pas facturée, soit en application d'usages anciens, soit grâce à l'instauration de tarifications spécifiques ou de systèmes de ristourne.*» Elle observe aussi que l'égalité entre usagers domestiques n'est pas toujours respectée lorsque par exemple le service prend à sa charge les travaux de branchement d'un usager alors qu'ils sont à la charge exclusive des propriétaires ou bien «*lorsque l'existence de compteurs collectifs dispense certains usagers du paiement de la partie fixe du tarif, alors que d'autres disposant de compteurs divisionnaires y sont assujettis.*»

La continuité du service

Les usagers d'un service public d'eau et d'assainissement disposent d'un droit d'accès normal et permanent aux prestations que le service s'est engagé à fournir c'est-à-dire une quantité répondant à leurs besoins et une qualité correspondant aux normes en vigueur.

Le principe de mutabilité ou principe d'adaptation

Le service public doit s'adapter à l'évolution des besoins des usagers et ces derniers doivent accepter les modifications de la consistance des prestations fournies. Ainsi les usagers ne peuvent pas s'opposer aux adaptations tarifaires dès lors qu'elles sont justifiées par des coûts supplémentaires, ni au changement de mode d'exploitation lorsque les procédures ont été respectées.

A.2.2 Les nouveaux principes

Le principe de transparence du service public

Les lois des 3 janvier 1992, 6 février 1992 et 29 janvier 1993 apportent quatre nouveautés essentielles : elles améliorent l'information des élus et des usagers, organisent une publicité des délégations de service public, la consultation des documents relatifs à l'exploitation des services publics délégués, renforcent le contrôle de l'État sur les délégations de service public. De plus, chaque année, le maire doit présenter au conseil municipal un rapport sur l'eau et l'assainissement.

Le principe de participation à la gestion du service public

C'est principalement la loi du 6 février 1992 qui est venue préciser les modalités de participation des élus et des usagers à la gestion des services. Ainsi, les conseillers municipaux peuvent exposer leurs questions à propos de la gestion directe ou déléguée des services. Pour les communes de plus de 3500 habitants, différentes commissions composées selon la représentation proportionnelle ont un rôle essentiel dans le fonctionnement des services publics locaux. Certaines commissions consultatives doivent comprendre parmi leurs membres des représentants d'associations d'usagers.

A.3 Modèle de cahier des charges de délégation du service de d'AEP

Ce descriptif est la synthèse de plusieurs documents décrivant contenu des contrats de délégation autorisés dans le secteur de l'eau. Il s'appuie en particulier sur des études réalisées par la Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies (FNCCR (1996)).

A.3.1 Objet et étendue du contrat

- Formation du contrat : compétence de la collectivité et attribution de la délégation.
- Objet de la délégation : description du service et conditions générales.
- Périmètre concerné.
- Durée du contrat (depuis 1993, elle ne peut excéder 20 ans sauf cas particulier).

A.3.2 Remise des installations existantes au délégataire en début de contrat

- Conditions de remise des installations existantes au délégataire.
- Rachat éventuel des matériels nécessaires à l'exploitation.
- Inventaire des ouvrages, équipements et installations.

A.3.3 Droits et obligations des contractuels

- Délimitation aussi précise que possible des responsabilités respectives de la collectivité et du délégataire pour tout ce qui concerne :
  - les propriétés quantitatives et qualitatives de l'eau distribuée ou de l'eau assainie,
  - les travaux à réaliser : dans le cas d'un contrat d'affermage, il faut éviter toute disposition floue sur les responsabilités des deux parties, notamment en ce qui

concerne les travaux de maintenance (à la charge du délégataire) et les travaux de renforcement et de renouvellement (à la charge de la collectivité),
  - les incidents et accidents éventuels.
- Qualité du service assuré aux usagers : délais d'intervention en cas de problème, délais de réponse aux réclamations, etc.
- Conditions générales de réalisation des travaux.

A.3.4 Régime financier, comptable et fiscal

- Sommes perçues par le délégataire : soit les tarifs payés par les usagers (concession, affermage) en distinguant la part perçue par le délégataire pour son propre compte, et la part perçue pour le compte de la collectivité (surtaxe), soit la formule de calcul de la rémunération du délégataire en fonction des prestations qu'il assure ou du chiffre d'affaires.
- Modalités d'indexation des sommes perçues par le délégataire et de leur révision périodique.
- Disposition fiscale (en particulier la récupération de la TVA payée par la collectivité sur les travaux d'investissement en cas d'affermage).
- Modalités fixées pour la tenue de la comptabilité du service délégué par le délégataire (concession et affermage).

A.3.5 Contrôle et rapports annuels

- Précisions relatives au contenu du rapport annuel que le délégataire doit remettre obligatoirement à la collectivité (comptes-rendus techniques et financiers).
- Modalités du contrôle du délégataire par la collectivité.
- Pénalité et autres sanctions encourues par le délégataire en cas d'entorse aux dispositions du contrat.

A.3.6 Clauses diverses

- Dispositions applicables en cas de contestation.
- Dispositions applicables au moment de l'expiration du contrat, notamment en ce qui concerne le retour à la collectivité des ouvrages du service délégué, etc.
- Dispositions spéciales applicables en cas de retrait du contrat avant sa date normale d'expiration.

Annexe B

Le réseau d'eau potable

Les descriptions qui suivent sont largement inspirées de Hahn (1992).

B.1 Structure d'un réseau de distribution d'eau

Un réseau de distribution est caractérisé par un ensemble de tronçons de conduites reliés par des points communs dénommés nœuds.

Un nœud peut être de deux types. Le nœud à débit fixé se caractérise par la connaissance de sa cote au sol et de son débit sortant. L'inconnue est la pression régnant au nœud. Le nœud à charge fixée se caractérise par la connaissance de sa pression mais non de son débit.

Un tronçon est délimité par les deux nœuds d'extrémité. Il est caractérisé par sa longueur, son diamètre, son coefficient de rugosité et le débit qui y transite. Un tronçon peut supporter une singularité : de longueur fictive nulle, une pompe sera représentée par sa puissance...

L'assemblage des conduites peut se faire en série lorsque des tronçons de nature différente sont placés bout à bout. On parle d'assemblage en parallèle lorsque les différents

tronçons partent d'un même nœud amont et se rejoignent à un même nœud aval.

Il existe différents types de réseau. Un réseau ramifié est un réseau à structure arborescente à partir du nœud à charge fixée qui assure la mise en pression. Cette disposition est très couramment rencontrée en milieu rural. Elle est économique mais moins fiable quant à la sécurité d'approvisionnement : une rupture de conduite en un point prive d'eau tous les abonnés situés en aval de ce point. Dans un réseau maillé un certain nombre d'antennes sont bouclées. On le rencontre surtout en zone agglomérée. Ses avantages et inconvénients sont inverses de ceux d'un réseau ramifié. Un réseau étagé est un réseau comportant plusieurs secteurs de distribution, chacun d'eux étant à une pression différente.

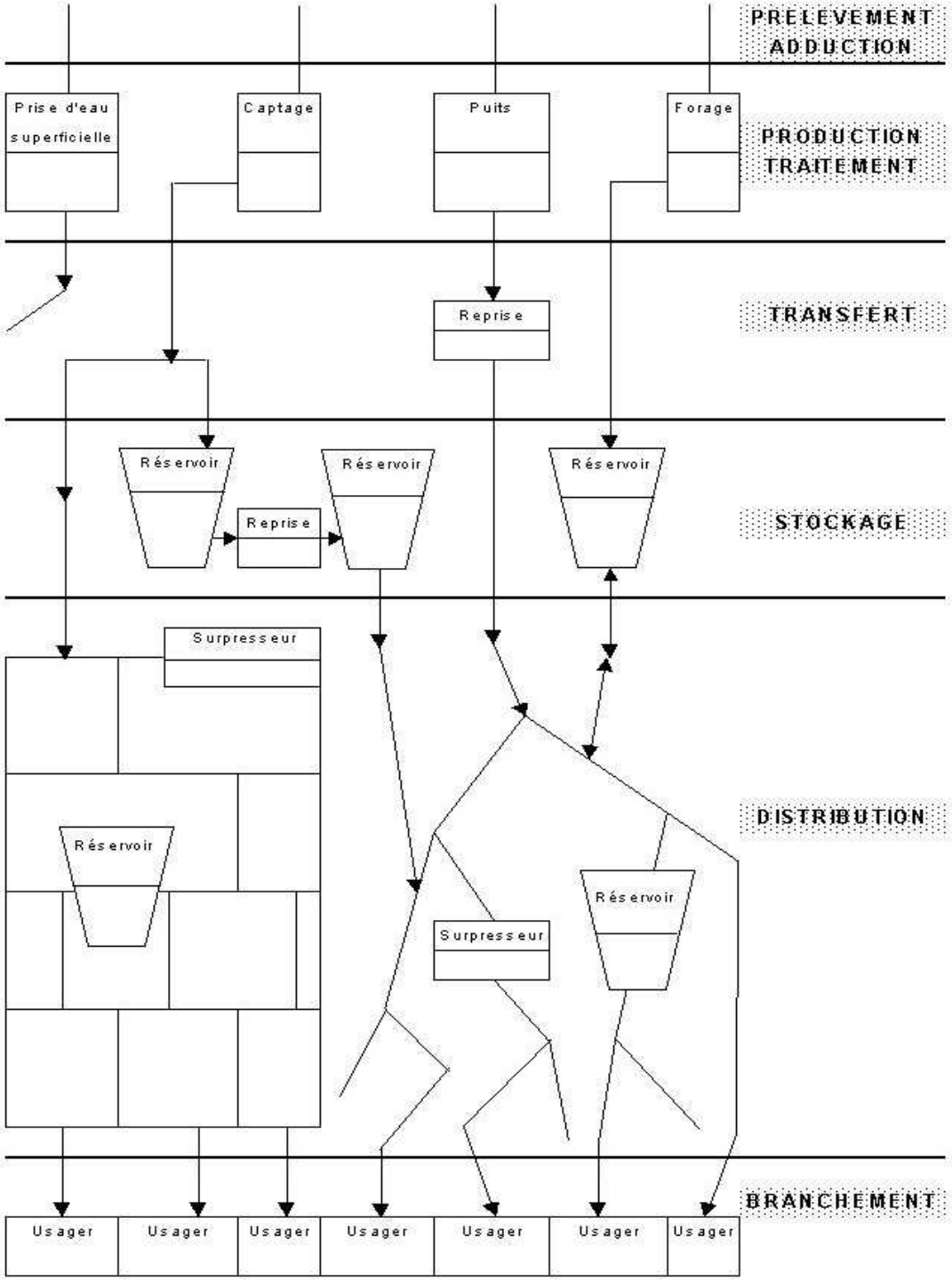


FIG. B.1 – Le réseau d'alimentation en eau potable

B.2 Le bilan en eau

1. Le volume produit (volume mis en distribution). C'est le volume total obtenu à partir des différents points de fourniture (et/ou éventuellement de cession) à l'origine du réseau :
   (a) le volume prélevé dans le milieu naturel,
   (b) le volume acheté à un tiers ou volume importé,
   (c) le volume vendu en gros ou volume exporté (qui est retranché dans le bilan).
2. Le volume consommé. C'est le volume total obtenu en comptabilisant tous les usages de l'eau au niveau des utilisateurs. Il comprend :
   (a) le volume comptabilisé : le consommations domestiques (appartement, maison individuelle...), les consommations industrielles (établissements industriels, artisanaux et agricoles), les consommations collectives (hôpital, collège, maison de retraite, restaurant, hôtel...), les consommations municipales (bâtiments et services municipaux, fontaine publique...),
   (b) le volume consommateurs sans comptage, nécessité par les volumes souscrits (fourniture à la jauge ou au robinet libre), la lutte contre l'incendie, les bouches d'arrosage, les chasses d'égouts, les sanitaires et les fontaines publiques,
   (c) les volumes de service de réseau et de besoin des usines.
3. Les pertes. On entend par "pertes" toute eau produite et non directement mesurable. Elles se produisent aussi bien en adduction qu'en distribution. Il existe trois causes principales de pertes sur réseau public :
   (a) les volumes d'eau soutirés en réseau hors comptage : branchements illicites ou volume détourné, déversement des réservoirs ou volume gaspillé,
   (b) les défauts d'enregistrement des compteurs : absence de compteur, dérive et panne de compteurs, débits inférieurs au seuil de démarrage des compteurs non mesurés,

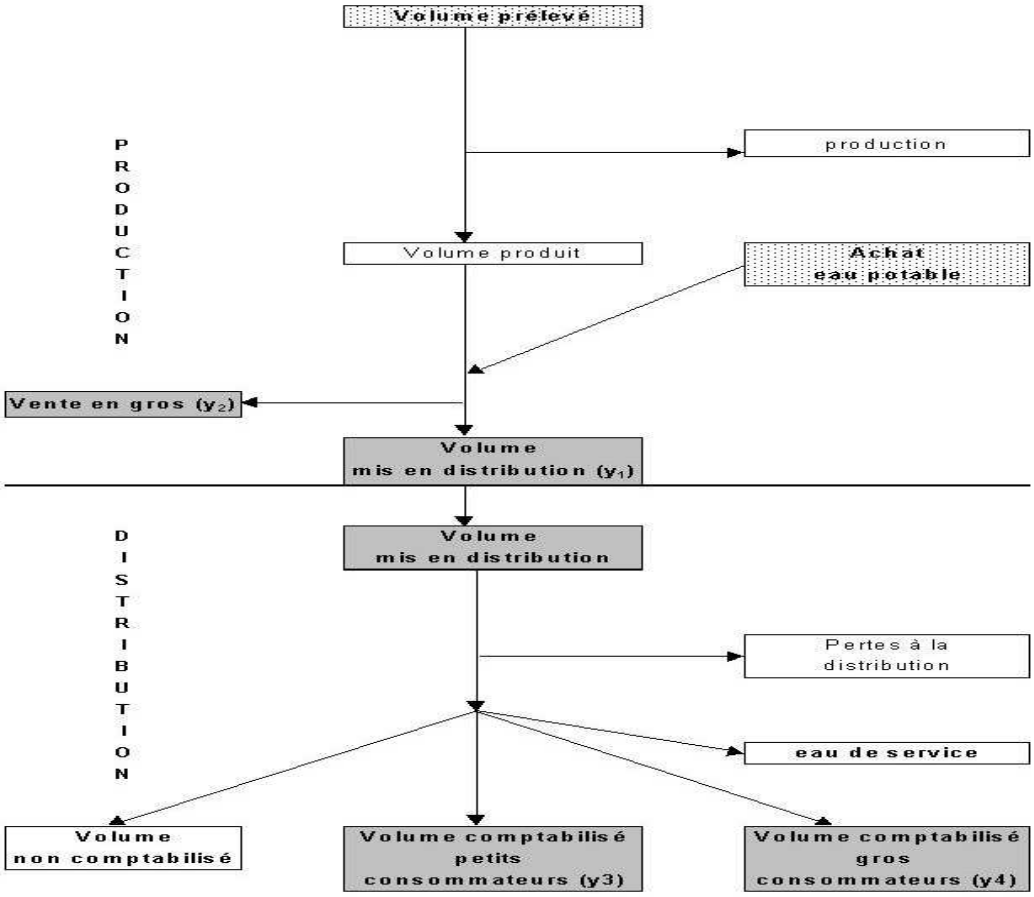


FIG. B.2 – Les volumes d'eau en circulation

(c) les fuites sur réseau : fêlure, casse ou rupture de canalisation, fuites sur vannes et joints, pertes sur branchements.

Annexe C

Les méthodes d'estimation de systèmes d'équations en panel

Dans notre échantillon, les mêmes individus (les services d'eau) sont observés sur plusieurs périodes de temps successives. Les modèles économétriques qui prennent en compte cet aspect des données par un double indiçage, individuel (h) et temporel (t) et par des effets spécifiques dans le terme d'erreur sont appelés "modèles de panel". Les avantages de ce type de modèles sont multiples.

Ajouter une dimension à un ensemble d'observations élargit l'échantillon qui sert à l'estimation des paramètres du modèle. La double dimension des données de panel apporte une information supplémentaire par rapport à des données en coupe transversale ou en série temporelle. Elle donne plus de variabilité, plus de degrés de liberté, plus d'efficacité et réduit le risque de colinéarité entre les variables.

En outre, l'erreur composée permet le contrôle de la présence d'effets individuels et temporels dans le modèle. Elle permet de tenir compte de l'hétérogénéité entre les individus et de capter les variations dues au temps.

Notre modèle économétrique est composé de plusieurs équations. Nous avons expliqué précédemment que considérer les différentes régressions simultanément plutôt que séparément avait un intérêt informatif. Nous allons voir comment nous pouvons

prendre en compte les corrélations entre les erreurs de chaque équation et avec quelles méthodes d'estimation. Le modèle de coût s'écrit :

$$\ln(CV_{ht}) = \ln CV(y_{ht}, w_{ht}, K_{ht}, Z_{ht}) + u_{cv,ht}$$
$$S_{i,ht} = S_i(y_{ht}, w_{ht}, K_{ht}, Z_{ht}) + u_{s_i,ht},$$

où $h = 1, ..., H$, H est le nombre total d'individus, $t = 1, ..., T$, T est le nombre d'années d'observation. $u_{cv,ht}$ est le terme d'erreur associé à l'équation de coût variable translog (CV), $u_{s_i,ht}$ est le terme d'erreur entrant dans l'équation de part de coût i.

De façon standard dans l'analyse des données de panel, le terme d'erreur de l'équation m pour l'observation ht se décompose de la façon suivante :

$$u_{m,ht} = \mu_{m,h} + \varepsilon_{m,ht}, \tag{C.1}$$

où $\mu_{m,h}$ est l'effet spécifique individuel et $\varepsilon_{m,ht}$ est le terme d'erreur classique identique et indépendamment distribué (i.i.d.) pour l'équation m entre les individus et les périodes de temps. L'hypothèse généralement faite est que $E(\mu_{m,h}\varepsilon_{m',h't}) = 0$, $\forall m, m', h, h', t$. Cependant, nous permettons aux effets individuels ainsi qu'aux termes $\varepsilon_{m,ht}$ d'être corrélés entre chaque équation. En outre, nous n'imposons pas à nos termes d'erreur d'être homoscédastiques.

C.1 Le système "Seemingly Unrelated Regressions" (SUR)

Le principe de l'estimation SUR développée par Zellner (1962) selon lequel la corrélation entre les erreurs de chaque équation est prise en compte dans l'estimation, a été généralisé pour la première fois aux modèle à erreurs composées par Avery (1977).

Soit un système de M équations où la $m^{\text{ème}}$ équation est de la forme :

$$y_m = X_m\beta_m + u_m, \qquad m = 1, ..., M, \tag{C.2}$$

où y_m est de dimension $HT \times 1$, X_m est la matrice $HT \times k_m$ des variables explicatives, β_m est le vecteur $k_m \times 1$ des paramètres à estimer et u_m le terme d'erreur.

Le terme d'erreur de l'équation m se décompose en : $u_m = \mu_m + \varepsilon_m$, où $\mu'_m = (\mu'_1, ..., \mu'_H) \otimes e'_T$ est l'effet spécifique individuel invariant dans le temps avec e_T un vecteur $T \times 1$ de 1 et $\varepsilon'_m = (\varepsilon_{m11}, ..., \varepsilon_{m1T}, ..., \varepsilon_{mH1}, ..., \varepsilon_{mHT})$ est un terme d'erreur i.i.d. pour l'équation m.

On peut réécrire les équations empilées sous la forme d'un système :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & X_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_M \end{bmatrix}, \tag{C.3}$$

ou bien encore sous forme matricielle compacte :

$$Y = X\beta + U, \tag{C.4}$$

où Y est le vecteur $(MHT \times 1)$ des variables à expliquer. Les observations sont empilées dans l'ordre des équations, services, années :
par exemple, $Y = [(Y_{111}, ..., Y_{M11}), (Y_{112}, ..., Y_{M12}), ..., Y_{mit}, ...(Y_{1HT}, ..., Y_{MHT})]$. X est la matrice $(MHT \times K)$ des variables explicatives, où $K = \sum_m k_m$, et U le vecteur $(MHT \times 1)$ des termes d'erreur.

Nous supposons que le terme d'erreur aléatoire ε est *i.i.d.* $(0, \Sigma_\varepsilon \otimes I_{HT})$, avec $\Sigma_\varepsilon = [\sigma^2_{\varepsilon_{mm'}}]$ une matrice de dimension $M \times M$. Ainsi, on peut réécrire le système :

$$Y = \alpha + X\beta + \varepsilon, \tag{C.5}$$

où $\alpha' = (\alpha'_1, ..., \alpha'_M)$ est un vecteur de constantes à estimer.

C.1.1 L'approche "effets fixes"

Nous allons considérer ici que l'effet individuel est fixe dans toutes les équations du système. Cela consiste à supposer que les α_m sont des paramètres inconnus constants à estimer. La méthode proposée pour estimer le système d'équations consiste dans un premier temps à transformer par l'opérateur Within (W) les deux membres du système d'équations. Dans ce cas, les α_m sont éliminés mais peuvent être estimés ex post. Cette méthode a l'avantage d'éliminer tout problème éventuel de corrélation entre les régresseurs et le terme individuel puisque ce dernier a disparu.

En prémultipliant par $(I_M \otimes W)$ les équations du système, on obtient :

$$\tilde{Y} = \tilde{X}\beta + \tilde{\varepsilon}, \tag{C.6}$$

où $\tilde{Y} = (I_M \otimes W)Y$, $\tilde{X} = (I_M \otimes W)X$ et $\tilde{\varepsilon} = (I_M \otimes W)\varepsilon$.

Dans un second temps, les équations du système sont estimées simultanément par la méthode SUR. Cela consiste à faire une estimation préliminaire des équations séparément par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO) sur les variables transformées, puis à réestimer globalement le modèle par la méthode des Moindres Carrés Généralisés (MCG) en utilisant les résidus Within de la première étape. Ainsi, l'estimateur Within s'écrit :

$$\hat{\beta}_W = (\tilde{X}'\tilde{X})^{-1}\tilde{X}'\tilde{Y}$$

et la matrice de variance-covariance estimée à partir des résidus Within est :

$$\hat{\Sigma}_\varepsilon = \frac{\hat{\varepsilon}'_w\hat{\varepsilon}_w}{H(T-1)}.$$

En la réinjectant dans notre système, on obtient l'estimateur Within-SUR noté WSUR :

$$\hat{\beta}_{WSUR} = [\tilde{X}'(\hat{\Sigma}_\varepsilon^{-1} \otimes I_{HT})\tilde{X}]^{-1}\tilde{X}'(\hat{\Sigma}_\varepsilon^{-1} \otimes I_{HT})\tilde{Y}. \tag{C.7}$$

Rappelons que l'inconvénient majeur de cette méthode est que si certaines variables sont invariantes dans le temps, il n'est pas possible d'identifier leurs paramètres. De

plus, les estimateurs Within ne sont pas efficaces car conditionner le modèle original par les α_m enlève beaucoup de degrés de liberté. Si l'ensemble des variables utilisées pour notre étude varie dans le temps, tous les paramètres peuvent être estimés. En outre, l'emploi de la procédure itérative de Zellner nous permet d'accroître l'efficacité de l'esrtimateur Within-SUR.

C.1.2 L'approche "effets aléatoires"

Notre modèle reste essentiellement le même que dans la section précédente, excepté pour l'effet spécifique individuel qui est maintenant considéré comme aléatoire. Le modèle est appelé "modèle à erreurs composées". L'hypothèse faite en général est que les effets individuels ne sont pas corrélés avec le terme d'erreur général : $E(\alpha_{mh}\varepsilon_{m'h't}) = 0$, $\forall m, m', h, h', t$. En revanche, les effets individuels ainsi que les termes ε_{mht} peuvent être corrélés entre chaque équation. En outre, nous n'imposons pas à nos termes d'erreur d'être homoscédastiques. La matrice de variance-covariance a la forme suivante :

$$\Omega_{mm'} = E(u_m u_{m'}) = \sigma^2_{\alpha_{mm'}}(I_H \otimes J_T) + \sigma^2_{\varepsilon_{mm'}} I_{HT}.$$

La matrice de variance-covariance pour l'ensemble des M équations s'écrit alors :

$$\Omega = E(UU') = \Sigma_\alpha \otimes (I_H \otimes J_T) + \Sigma_\varepsilon \otimes I_{HT}, \tag{C.8}$$

où $\Sigma_\alpha = [\sigma^2_{\alpha_{mm'}}]$ et $\Sigma_\varepsilon = [\sigma^2_{\varepsilon_{mm'}}]$ sont deux matrices $M \times M$.

Dans un souci de simplification des notations, il est d'usage d'utiliser la transformation $\Sigma_1 = T\Sigma_\alpha + \Sigma_\varepsilon$ et ainsi de réécrire la matrice de variance-covariance comme :

$$\Omega = \Sigma_1 \otimes B + \Sigma_\varepsilon \otimes W. \tag{C.9}$$

Grâce à cette décomposition, il est possible d'écrire :

$$\Omega^{-1/2} = \Sigma_1^{-1/2} \otimes B + \Sigma_\varepsilon^{-1/2} \otimes W.$$

L'estimateur MCG-SUR est défini de la façon suivante :

$$\hat{\beta}_{MCGSUR} = (X'\Omega^{-1}X)^{-1}X'\Omega^{-1}y, \tag{C.10}$$

et sa variance est de la forme :

$$V(\hat{\beta}_{MCGSUR}) = (X'\Omega^{-1}X)^{-1}. \tag{C.11}$$

Pour calculer cet estimateur, la matrice de variance-covariance (Ω) doit être estimée, en particulier ses composantes Σ_1 et Σ_ε :

$$\begin{cases} \hat{\Sigma}_1 = \dfrac{\hat{U}_b'\hat{U}_b}{H}, \\ \hat{\Sigma}_\varepsilon = \dfrac{\hat{U}_w'\hat{U}_w}{H(T-1)}. \end{cases}$$

On définit alors l'estimateur MCQG-SUR par :

$$\hat{\beta}_{MCQGSUR} = (X'\widehat{\Omega}^{-1}X)^{-1}X'\widehat{\Omega}^{-1}Y, \tag{C.12}$$

où $\hat{\Omega} = \hat{\Sigma}_1 \otimes B + \hat{\Sigma}_\varepsilon \otimes W$.

C.1.3 Les restrictions linéaires sur les paramètres entre les équations du système

Il est souvent nécessaire d'imposer des restrictions paramétriques dans un système de régressions ; nous pensons en particulier aux restrictions linéaires qu'il faut imposer entre les équations quand on estime conjointement une équation de coût et ses équations de part de coût dérivées. Dans ce cas-là, les restrictions linéaires sur le vecteur des

paramètres,

$$C\beta = r, \tag{C.13}$$

sont facilement utilisables pour transformer les variables. C est une matrice $q \times k$ de rang q avec g le nombre de contraintes imposées et r un vecteur de dimension $g \times 1$. L'estimateur contraint MCG-SUR[1] est égal à :

$$\hat{\beta}^c_{MCGSUR} = \hat{\beta}_{MCGSUR} + (X'\Omega^{-1}X)^{-1}C'[C(X'\Omega^{-1}X)^{-1}C']^{-1}(r - C\hat{\beta}_{MCGSUR}), \tag{C.14}$$

où $\hat{\beta}^c_{MCGSUR}$ et $\hat{\beta}_{MCGSUR}$ sont respectivement les estimateurs contraint et non contraint MCG-SUR du vecteur des paramètres β de dimension $K \times 1$.

C.2 Le système d'équations simultanées

Un système d'équations simultanées ne se distingue d'un système d'équations SUR que par le fait qu'il y a des variables endogènes dans la partie droite des équations. Dans la suite de cette section, comme dans le cas d'une seule équation et suivant Hausman and Taylor (1981), nous supposerons que l'endogénéité provient de la corrélation de certaines variables explicatives avec l'effet individuel non observé. Cela conduit à la non convergence des estimateurs des MCG classiques et nous oblige à utiliser des méthodes d'estimation par variables instrumentales.

Nous allons considérer dans cette section un système dont les équations sont semblables au modèle (C.2). Nous écrivons la $m^{\text{ème}}$ équation comme :

$$y_m = R_m\zeta_m + u_m, \qquad m = 1, ..., M, \tag{C.15}$$

où $R_m = [X_m, Z_m]$ avec X_m la matrice $HT \times K_m$ représentant les variables variant dans le temps et Z_m la matrice $HT \times G_m$ des variables invariant dans le temps de l'équation m. $\zeta_m = [\beta_m, \gamma_m]$ est le vecteur des paramètres qui leur sont respectivement associés. Le terme d'erreur u_m se décompose de la façon suivante : $\alpha_m + \varepsilon_m$. Nous pouvons

[1] L'estimateur contraint Within-SUR est lui aussi trivialement dérivable.

réécrire le modèle sous une forme matricielle de la même façon que nous l'avons fait pour le système SUR (C.4) :

$$Y = R\zeta + U, \tag{C.16}$$

où $Y = (y_1 \ \dots \ y_G)'$ et de même pour ζ et U. R est une matrice bloc-diagonale comme la matrice X dans l'équation (C.3).

Concernant l'endogénéité des variables de la partie droite des équations, nous utilisons les notations suivantes : $R = [X_{(1)}, X_{(2)}, Z_{(1)}, Z_{(2)}]$ est la matrice $MHT \times (K_{(1)} + K_{(2)} + G_{(1)} + G_{(2)})$ des régresseurs et $\zeta = [\beta_{(1)}, \beta_{(2)}, \gamma_{(1)}, \gamma_{(1)}]$ le vecteur $(K_{(1)} + K_{(2)} + G_{(1)} + G_{(2)}) \times 1$ des paramètres qui leur sont respectivement associés avec, comme dans le cas d'une seule équation, 1 et 2 indiçant respectivement les variables exogènes et les variables endogènes a priori. Pour éviter toute confusion dans les notations, les indices entre parenthèses indiquent le caractère endogène ou non de la variable, alors que les autres indices (sans parenthèses) numérotent les équations. En revanche, les variables explicatives sont toutes strictement exogènes par rapport au terme d'erreur variant dans le temps ε. Nous avons alors les conditions d'orthogonalité suivantes : $E(X_{(1)}U) = 0,\ E(X_{(2)}U) = 0,\ E(Z_{(1)}\varepsilon) = 0,\ E(Z_{(2)}\varepsilon) = 0.$

C.2.1 Estimation par la méthode des moments généralisée

Une procédure d'estimation qui donne des estimateurs convergents et qui n'utilise pas d'hypothèses distributionnelles sur le terme d'erreur est la méthode des moments généralisée (Generalized Method of Moments ou GMM) dont l'estimateur par variables instrumentales (VI) est un cas particulier. L'idée de base des GMM est de spécifier seulement la forme paramétrique des moments (en général l'espérance). On utilise donc un ensemble de conditions d'orthogonalité en postulant que certaines variables ne sont pas corrélées avec le terme d'erreur :

$$E[A'(Y - R\zeta)] = 0, \tag{C.17}$$

où A est la matrice bloc-diagonale $(MHT \times L)$ d'instruments valides avec A_m le $m^{\text{ème}}$ bloc d'instruments pour l'équation m et L le nombre de variables instrumentales utilisées :

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & A_M \end{bmatrix}.$$

Le critère GMM est construit à partir de l'équivalent empirique de l'équation (C.17) en considérant la forme quadratique suivante :

$$\left(\frac{1}{\sqrt{HT}}A'(Y - R\zeta)\right)' \Omega^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{HT}}A'(Y - R\zeta)\right), \tag{C.18}$$

où $\Phi = E[A'(Y - R\zeta)(Y - R\zeta)'A] = A'\Sigma A$ est la matrice de variance-covariance $L \times L$ de l'ensemble des conditions d'orthogonalité (C.17) et Σ la matrice de variance-covariance des erreurs inconnue.

En minimisant ce critère, on obtient l'estimateur des Triples Moindres Carrés (Three Stage Least Squares ou 3SLS) noté GMM-3SLS :

$$\hat{\zeta}_{GMM3SLS} = (R'A\Phi^{-1}A'R)^{-1}R'A\Phi^{-1}A'Y. \tag{C.19}$$

Sous la condition d'orthogonalité (C.17), l'hypothèse d'identification, et les conditions de régularité usuelles, $plim_{HT\to\infty}\hat{\zeta}_{GMM3SLS} = \zeta$.

En pratique, nous utiliserons une version "faisable" de l'estimateur 3SLS en remplaçant la matrice de variance-covariance Ω inconnue par une estimation par VI qui est convergente. On procède donc, dans un premier temps, à une estimation par la méthode IV. L'estimateur IV est défini par :

$$\begin{aligned} \hat{\zeta}_{IV} &= arg\min_{\zeta} \{(Y - R\zeta)'A(A'A)^{-1}A'(Y - R\zeta)\} \\ &= (R'A(A'A)^{-1}A'R)^{-1}R'A(A'A)^{-1}A'Y. \end{aligned} \tag{C.20}$$

Dans un second temps, on récupère les résidus IV : $\hat{U}_{IV} = Y - R\hat{\zeta}_{IV}$ pour calculer l'estimateur GMM-3SLS :

$$\hat{\zeta}_{FGMM3SLS} = (R'A(A'\hat{U}'_{IV}\hat{U}_{IV}A)^{-1}A'R)^{-1}R'A(A'\hat{U}'_{IV}\hat{U}_{IV}A)^{-1}A'Y, \tag{C.21}$$

et sa variance est égale à :

$$V(\hat{\zeta}_{FGMM3SLS}) = (R'A(A'\hat{U}'_{IV}\hat{U}_{IV}A)^{-1}A'R)^{-1}. \tag{C.22}$$

On propose plusieurs ensembles d'instruments qui satisfont les conditions de moment (C.17). On peut considérer le cas où l'on applique le même ensemble d'instruments pour toutes les équations ou bien différents instruments aux différentes équations du système (voir Cornwell, Schmidt, and Wyhowski (1992)). Dans ce dernier cas, nous pouvons supposer que certaines variables considérées comme endogènes dans une équation peuvent être exogènes dans les autres et inversement.

Comme dans le cas d'une seule équation, trois ensembles d'instruments sont disponibles :

- L'ensemble des instruments proposés par Hausman and Taylor (1981) (HT),

$$A_m^{HT} = [WX, X_{m(1)}, Z_{m(1)}],$$

  où $W \equiv I_{HT} - B$ est l'opérateur Within, avec I_{HT} la matrice identité de dimension HT, $B \equiv I_H \otimes \frac{J_T}{T}$ l'opérateur Between et J_T une matrice carrée de un de dimension T. $X_{m(1)}$ est la matrice $(HT \times K_{(1)})$ des variables variant dans le temps et supposées exogènes. $Z_{m(1)}$ est la matrice $(HT \times G_{(1)})$ des variables ne variant pas dans le temps et supposées endogènes.
- L'ensemble des instruments proposés par Amemiya and MaCurdy (1986) (AM),

$$A_m^{AM} = [WX, X^*_{m(1)}, Z_{m(1)}],$$

  où $X^*_{m(1)}$ est la matrice des variables réarrangées séparément pour chaque période

$t = 1, 2, ..., T$. Par exemple, pour une matrice S de dimension $(T \times L)$

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} \\ \vdots \\ S_{1T} \\ \vdots \\ S_{H1} \\ \vdots \\ S_{HT} \end{bmatrix}, S^* s'crit : S^* = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1T} & (h=1, t=1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1T} & (h=1, t=T) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{H1} & S_{H2} & \dots & S_{HT} & (h=H, t=1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{H1} & S_{H2} & \dots & S_{HT} & (h=H, t=T) \end{bmatrix}.$$

La différence entre ces deux ensembles d'instruments réside dans la chose suivante. HT utilise la moyenne des variables exogènes comme instruments alors que AM utilise les valeurs des variables à chaque période t.

– L'ensemble des instruments proposés par Breusch, Mizon, and Schmidt (1989) (BMS) :

$$A_m^{BMS} = [WX, (WX_{m(1)})^*, (WX_{m(2)})^*, BX_{m(1)}, Z_{m(1)}],$$

où $X_{m(2)}$ est la matrice $(HT \times K_{(2)})$ des variables variant dans le temps et supposées endogènes. Une dernière matrice n'apparaissant pas dans nos notations est $Z_{m(2)}$ la matrice $(HT \times g_{(2)})$ des variables invariant dans le temps et supposées endogènes.

Dans un système d'équations, la nature de la corrélation entre les variables et les effets spécifiques peut être différente d'une équation à l'autre. C'est pourquoi il est possible que l'ensemble d'instruments varient entre les équations si certaines variables sont corrélées avec les effets fixes dans une équation et non dans l'autre.

La procédure GMM en deux étapes avec ces ensembles d'instruments est robuste à l'hétéroscédasticité. L'estimateur FGMM-3SLS est efficace.

C.2.2 Test de validité des conditions de moment

Le critère GMM (C.18) peut être utilisé directement pour tester la validité des conditions de moment (test de spécification de Hansen (1982)). Ce critère suit une distribution khi-deux (χ^2) à $(L - (K_{(1)} + K_{(2)} + G_{(1)} + G_{(2)}))$ degrés de liberté sous l'hypothèse nulle que les conditions de moment (C.17) sont valides. Il y a donc $(L - (K_{(1)} + K_{(2)} + G_{(1)} + G_{(2)}))$ restrictions suridentifiantes qui ne sont pas nécessaires pour identifier β, mais qui apportent une information supplémentaire utilisée pour vérifier la spécification du modèle. En particulier, si l'ensemble des instruments contient des variables endogènes, le test détecte la déviation de l'hypothèse nulle. La matrice des instruments doit alors être modifiée.

Annexe D

Vérification de la condition de second ordre des contraintes IC

Dans le chapitre 4, nous avons défini la condition de second ordre des contraintes d'incitation de la façon suivante :

$$C_{\theta V_c}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)\frac{dV_c}{d\theta} + C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)\frac{dV_p}{d\theta} \leq 0.$$

Cependant, cette condition n'est pas suffisante pour pouvoir conclure que le maximum local est également un maximum global. D'après Laffont and Tirole (1993), appendix A3.1, p.206, une condition suffisante est

$$C_{\theta V_c}(V_c(\tau), V_p(\tau), \theta)\frac{dV_c}{d\tau} + C_{\theta V_p}(V_c(\tau), V_p(\tau), \theta)\frac{dV_p}{d\tau} \leq 0, \qquad \forall\theta, \tau. \tag{D.1}$$

D'après les résultats de simulation présentés dans le tableau 5.4, le taux de rendement de réseau r est décroissant en θ. r étant défini comme le rapport entre le volume consommé V_c et le volume mis en distribution $V_c + V_p$, on a de manière équivalente $\frac{V_p}{V_c}$ qui est croissant en θ. Donc $\frac{dV_p}{d\tau}V_c \geq \frac{dV_c}{d\tau}V_p$. Comme l'on sait, par ailleurs, que $C_{\theta V_c} > 0$, alors la condition suffisante (D.1) peut se ramener à

$$C_{\theta V_c}(V_c(\tau), V_p(\tau), \theta)V_c(\tau) + C_{\theta V_p}(V_c(\tau), V_p(\tau), \theta)V_p(\tau) \leq 0, \qquad \forall\theta, \tau.$$

Notons au passage que cette dernière condition est plus forte que la condition (D.1).

Nous allons voir à présent comment, grâce à la spécification (4.14) de la fonction de coût, la condition de second ordre devient remarquablement facile à manipuler. Rappelons d'abord que la fonction de coût est de la forme :

$$C(V_c, V_p, \theta) = H(V_c, V_p) exp(\theta \frac{V_c}{V_p}),$$

où $H(V_c, V_p) = exp(TL(V_c, V_p))$, avec TL la forme translog de la fonction de coût. À partir de cette spécification, nous avons :

$$C_{\theta V_c} = C_{V_c} \frac{V_c}{V_p} + \frac{C}{V_p} = \frac{C}{V_p} + \frac{V_c}{V_p} \left(\frac{\theta}{V_p} C + exp(\theta \frac{V_c}{V_p}) H_{V_c} \right),$$

$$C_{\theta V_p} = C_{V_p} \frac{V_c}{V_p} - \frac{\theta V_c}{V_p^2} C = -\frac{V_c}{V_p^2} C + \frac{V_c}{V_p} \left(-\frac{\theta V_c}{V_p^2} C + exp(\theta \frac{V_c}{V_p}) H_{V_p} \right).$$

En multipliant respectivement ces deux égalités par V_c et V_p, la condition à vérifier devient finalement :

$$TL_{V_c}(V_c(\tau), V_p(\tau)) \times V_c(\tau) + TL_{V_p}(V_c(\tau), V_p(\tau)) \times V_p(\tau) \leq 0, \qquad \forall \tau.$$

Elle ne dépend plus de θ et peut donc être facilement vérifiée.

Bibliographie

Amemiya, T., and T. MaCurdy (1986) : "Instrumental-Variable Estimation of an Error-Components Model," *Econometrica*, 54(4), 869–880.

Arrow, K., H. Chenery, B. Minhas, and R. Solow (1961) : "Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency," *Review of Economics and Statistics*, 45, 225–247.

Auriol, E., M. Ivaldi, and H. Kim (1999) : "Advertising and Regulation in the US Local Telephone Market," Mimeo, Université des Sciences Sociales, Toulouse.

Avery, R. B. (1977) : "Error Components and Seemingly Unrelated Regressions," *Econometrica*, 45(1), 199–209.

Baron, D. P. (1989) : "Design of Regulatory Mechanisms and Institutions," in *Handbook of Industrial Organisation*, vol. II, edited by R. Schmalensee, and R. D. Willig, Amsterdam : Elsevier Science Publishers B. V., 1347–1448.

Baron, D. P., and R. B. Myerson (1982) : "Regulating a Monopolist with Unknown Costs," *Econometrica*, 50(4), 911–930.

Baumol, W. J. (1977) : "On the Proper Cost Tests for Natural Monopoly in a Multiproduct Industry," *American Economic Review*, 67(5), 809–822.

Bhattacharyya, A., T. R. Harris, R. Narayanan, and K. Raffiee (1995) : "Specification and Estimation of the Effect of Ownership on the Economic Efficiency of the Water Utilities," *Regional Science and Urban Economics*, 25(6), 759–784.

Binswanger, H. P. (1974) : "A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution," *American Journal of Agricultural Economics*, 56(1), 377–386.

Blackorby, C., and R. R. Russell (1989) : "Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand up ? (A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticities)," *American Economic Review*, 79(4), 882–888.

Boiteux, M. (1956) : "Sur la Gestion des Monopoles Publics Astreints à l'Equilibre Budgétaire," *Econometrica*, 24(1), 22–40.

Bourdin, J. (1998) : *Les Finances des Services Publics de l'Eau et de l'Assainissement*, Collection Collectivités Territoriales. Economica, Paris.

Braeutigam, R. R., A. F. Daughety, and M. A. Turnquist (1982) : "The Estimation of a Hybrid Cost Function for a Railroad Firm," *Review of Economics and Statistics*, 64(3), 394–404.

Breusch, T., G. Mizon, and P. Schmidt (1989) : "Efficient Estimation Using Panel Data," *Econometrica*, 57(3), 695–700.

Caves, D. W., L. R. Christensen, and J. A. Swanson (1981) : "Productivity Growth, Scale Economies, and Capacity Utilization in U.S. Railroads, 1955–74," *American Economic Review*, 71(5), 994–1002.

Caves, D. W., L. R. Christensen, and M. W. Tretheway (1984) : "Economies of Density versus economies of Scale : why Trunk and Local Service Airline Costs Differ," *RAND Journal of Economics*, 15(4), 471–189.

Chambers, R. G. (1988) : *Applied Production Analysis : A Dual Approach*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Christensen, L. R., D. W. Jorgenson, and L. J. Lau (1973) : "Transcendental Logarithmic Production Frontiers," *Review of Economics and Statistics*, 55(1), 28–45.

Cornwell, C., P. Schmidt, and D. Wyhowski (1992) : "Simultaneous Equations and Panel Data," *Journal of Econometrics*, 51, 151–181.

Cour des comptes (1997) : "La Gestion des Services Publics Locaux d'Eau et d'Assainissement," Rapport Public Particulier, n^o 4327, Les éditions du Journal Officiel.

Cowing, T. G., and A. G. Holtmann (1983) : "Multiproduct Short-Run Hospital Cost Functions : Empirical Evidence and Policy Implications from Cross-Section Data," *Southern Economic Journal*, 49(1), 637–653.

Crain, W. M., and A. Zardkoohi (1978) : "A Test of the Property-Rights Theory of the Firm : Water Utilities in the United States," *Journal of Law and Economics*, 21(2), 395–408.

Dalen, D. M., and A. Gomez-Lobo (1996) : "Regulation and Incentive Contracts : An Empirical Investigation of the Norwegian Bus Transport Industry," Working Paper No. W96/8 (Institute for Fiscal Studies, London).

——— (1997) : "Estimating Cost Functions in Regulated Industries characterized by Asymmetric Information," *European Economic Review*, 41, 935–942.

Davies, G. (1968) : "Trunk Pipeline Selection–What Size and When," *Journal of the Institution of Water Engineers*, 22, 281.

DDAF Gironde (1995, 1996, 1997, 1998) : "Rapports Techniques et Financiers sur les Services d'Eau Potable Délégués en Gironde," Documents Internes.

Diewert, W. E., and T. J. Wales (1987) : "Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions," *Econometrica*, 55(1), 43–68.

Dionne, G., and R. Gagné (1996) : "Progrès Technique et Croissance de la Productivité : Estimations sur un Panel Incomplet de Firmes ayant des Qualités de Production Différentes," *Économie et Prévision*, 126(5), 63–76.

FNCCR (1996) : "Pour une Délégation Maîtrisée de l'Eau Potable," Services Publics Communaux et Départementaux, Numéro Spécial.

FORD, J. L., AND J. J. WARFORD (1969) : "Cost Functions for the Water Industry," *Journal of Industrial Economics*, 18(1), 53–63.

GABEL, D., AND D. M. KENNET (1991) : "Estimating the Cost Structure of the Local Telephone Exchange Network," .

GAGNEPAIN, P., AND M. IVALDI (2002) : "Incentive Regulatory Policies : The Case of Public Transit Systems in France," *RAND Journal of Economics*, 33(4), 605–629.

GASMI, F., M. IVALDI, AND J.-J. LAFFONT (1994) : "Rent Extraction and Incentives for Efficiency in Recent Regulatory Proposals," *Journal of Regulatory Economics*, 6, 151–176.

GASMI, F., J.-J. LAFFONT, AND W. W. SHARKEY (1997) : "Incentive Regulation and the Cost Structure of the Local Telephone Exchange Network," *Journal of Regulatory Economics*, 12, 5–25.

——— (1999) : "Empirical Evaluation of Regulatory Regimes in Local Telecommunications Markets," *Journal of Economics and Management Strategy*, 8(1), 61–93.

GATTY, J. (1998) : "Quelle Concurrence pour les Services Publics d'Eau et d'Assainissement ?," Collection Eau, Matière et Réflexion, Agence de l'Eau Seine-Normandie.

GROSSMAN, G. M., AND E. HELPMAN (1994) : "Protection for Sale," *American Economic Review*, 84(4), 833–850.

GUELLEC, A. (1995) : "Le Prix de l'Eau : de l'Explosion à la Maîtrise ?," Rapport d'Information, n^o 2342, Assemblée Nationale.

GUESNERIE, R., AND J.-J. LAFFONT (1984) : "A Complete Solution to a Class of Principal-Agent Problems with an Application to the Control of a Self-Managed Firm," *Journal of Public Economics*, 25(3), 329–369.

HAHN, D. (1992) : "Alimentation en Eau Potable," Polycopié du centre de formation des personnels du Ministère de l'Agriculture.

HANOCH, G. (1975) : "The Elasticity of Scale and the Shape of Average Costs," *American Economic Review*, 65(3), 492–497.

HANSEN, L. (1982) : "Large Sample Properties of Generalized Method of Moment Estimators," *Econometrica*, 50(4), 1029–1054.

HAUSMAN, J., AND W. TAYLOR (1981) : "Panel Data and Unobservable Individual Effects," *Econometrica*, 49(6), 1377–1398.

HAYES, K. (1987) : "Cost Structure of the Water Utility Industry," *Applied Economics*, 19(3), 417–425.

HINES, L. G. (1969) : "The Long-Run Cost Function of Water Production for Selected Wisconsin Communities," *Land Economics*, 42(2), 133–140.

HSIAO, C. (1986) : *Analysis of Panel Data*, Econometric Society Monographs No. 11. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

JARQUE, C. M., AND A. K. BERA (1980) : "Efficient Tests for Normality, Homoscedasticity and Serial Independence of Regression Residuals," *Economics Letters*, 6, 255–259.

KIM, H. Y. (1987) : "Economies of Scale in Multiproduct Firms : An Empirical Analysis," *Economica*, 54(214), 185–206.

KMENTA, J. (1986) : *Elements of Econometrics*. Macmillan Publishing Company, New York, second edn.

LAFFONT, J.-J., AND J. TIROLE (1986) : "Using Cost Observation to Regulate Firms," *Journal of Political Economy*, 94(3), 614–641.

——— (1993) : *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. MIT Press, Cambridge, Massachussets.

LAU, L. J. (1976) : "A Characterisation of the Normalized Restricted Profit Function," *Journal of Economic Theory*, 12, 131–163.

LEIBENSTEIN, H. (1966) : "Allocative Efficiency vs "X-Efficiency"," *American Economic Review*, 56(3), 392–415.

LÉVÊQUE, F. (1998) : *Économie de la réglementation*, Collection Repères. Éditions La Découverte, Paris.

MANN, P. C., AND J. L. MIKESELL (1976) : "Ownership and Water System Operation," *Water Resources Bulletin*, 12(5), 995–1004.

MCFADDEN, D. (1989) : "A Method of Simulated Moments for Estimation of Discrete Response Models without Numerical Integration," *Econometrica*, 57(5), 995–1026.

MORISHIMA, M. (1967) : "A Few Suggestions on the Theory of Elasticity," *Keiza Hyoron (Economic Review)*, 16, 144–50.

NAUGES, C., AND A. REYNAUD (2001) : "Estimation de la Demande Domestique d'Eau Potable en France," *Revue Economique*, 52(1), 167–185.

NAUGES, C., AND A. THOMAS (2000) : "Privately-Operated Water Utilities, Municipal Price negotiation, and Estimation of Residential Water Demand : the Case of France," *Land Economics*, 76(1), 68–85.

OFWAT (1997) : "Report on Leakage and Water Efficiency 1996-97," Report on Water Companies.

ORLOB, G. T., AND M. R. LINDORF (1958) : "Cost of Water Treatment in California," *Journal of the American Water Works Association*, 50(1), 45–55.

PAINE, N., AND J. K. WHITE (1969) : "Water Transport Costs," *Journal of the Institution of Water Engineers*, 23(7), 435–448.

PANZAR, J. C. (1989) : "Technological Determinants of Firm and Industry Structure," in *Handbook of Industrial Organisation*, vol. II, edited by R. Schmalensee, and R. D. Willig, Amsterdam : Elsevier Science Publishers B. V., 3–59.

PANZAR, J. C., AND R. D. WILLIG (1977) : "Economies of Scale in Multi-Output Production," *Quarterly Journal of Economics*, 91(3), 481–493.

POINT, P. (1993) : "Partage de la Ressource en Eau et Demande d'Alimentation en Eau Potable," *Revue Économique*, 4, 849–862.

RAMSEY, F. P. (1927) : "A Contribution to the Theory of Taxation," *Economic Journal*, 37, 47–61.

RENZETTI, S. (1992a) : "Estimating the Structure of Industrial Water Demands : the Case of Canadian Manufacturing," *Land Economics*, 68(4), 396–404.

RENZETTI, S. J. (1992b) : "Evaluating the Welfare Effects of Reforming Municipal Water Prices," *Journal of Environmental Economics and Management*, 22, 147–163.

ROBERTS, M. J. (1986) : "Economies of Density and Size in the Production and Delivery of Electric Power," *Land Economics*, 62(4), 378–387.

SAGE, E. (1999) : "La Concurrence par comparaison ("Yardstick Competition") : Théorie et Applications. Une Proposition pour le Secteur de l'Eau en France," Thèse de Doctorat, Université Paris IX - Dauphine.

SCHMALENSEE, R. (1989) : "Good Regulatory Regimes," *RAND Journal of Economics*, 20, 417–436.

SCHMIDT, P. (1990) : "Three-Stage Least Squares with Different Instruments for Different Equations," *Journal of Econometrics*, 43, 389–394.

SILVA, G., N. TYNAN, AND Y. YILMAZ (1998) : "Private Participation in the Water and Sewerage Sector—Recent Trends," World Bank, *Finance, Private Sector and Infrastructure Network* – Public Policy for the Private Sector, Note n^o 147.

TEEPLES, R., AND D. GLYER (1987) : "Production Function for Water Delivery Systems : Analysis and Estimation Using Dual Cost Function and Implicit Price Specifications," *Water Resources Research*, 23, 765–773.

THOMAS, A. (1995) : "Regulating Pollution under Asymmetric Information : the Case of Industrial Wastewater Treatment," *Journal of Environmental Economics and Management*, 28(3), 357–373.

——— (2000) : *Économétrie des variables qualitatives : Manuel et exercices corrigés*, Éco Sup. Dunod, Paris.

Wolak, F. A. (1994) : "An Econometric Analysis of the Asymmetric Information, Regulator-Utility Interaction," *Annales d'Économie et de Statistique*, 34, 13–69.

Zellner, A. (1962) : "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression and Test for Aggregation Bias," *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 348–368.

Liste des tableaux

1.1 Le prix de l'eau selon la taille des communes 41
1.2 évolution du type de gestion pour l'alimentation en eau potable 49

3.1 Les composantes du coût de l'eau 93
3.2 Statistiques descriptives de l'échantillon 98
3.3 Les paramètres estimés du modèle de coût 103
3.3 (suite) 104
3.3 (suite) 105
3.4 Estimations des élasticités-prix (ε_{iq}) et des élasticités de substitution de Morishima (σ_{iq}^{M}) 107
3.5 Estimations des rendements de réseau pour le service moyen 110
3.6 Estimations des élasticités de densité et d'échelle 112
3.7 Estimations des élasticités propres 117

5.1 Estimations des paramètres 149
5.1 (suite) 150
5.1 (suite) 151
5.2 Statistiques descriptives de l'échantillon sur la demande 153
5.3 Estimation des paramètres de la demande 153
5.4 Résultats de simulation du contrat optimal ($\pi = 0,60$) 158
5.5 Schémas de contrat optimal 159
5.6 Arbitrage 163
5.7 Sensibilité du contrat optimal ($\pi = 0,60$) au dommage marginal 164

5.8 Sensibilité de la rente et de l'efficacité au dommage marginal 166

A.1 Modes de gestion et partage des responsabilités 185

Table des figures

1.1 Gestion des services d'eau potable en % de population desservie (1995). 44
1.2 Chiffres-clés des grands groupes privés en eau potable 45
1.3 Décomposition de la facture d'eau en 1999. 56

3.1 Ajustement de la fonction de coût aux données 106
3.2 Différence prix-coût marginal 115
3.3 Différence prix-coût variable moyen 116

4.1 Réduire les rentes des opérateurs 137

5.1 Volumes consommés et perdus optimaux 160
5.2 Taux de rendement de réseau optimal 161
5.3 Rente optimale 162
5.4 Bien-être des usagers optimal 162
5.5 Volumes extraits et rendements optimaux avec dommage 165
5.6 Prix du m^3 d'eau potable avec dommage 166
5.7 Bien-être des usagers avec dommage 167

B.1 Le réseau d'alimentation en eau potable 195
B.2 Les volumes d'eau en circulation 197