

THESE DE DOCTORAT

présentée à

L'UNIVERSITE DE LILLE I

Pour obtenir

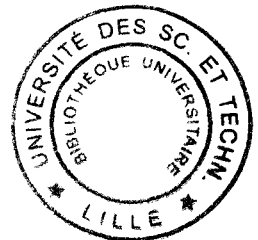
LE GRADE DE DOCTEUR

Spécialité : GENIE CIVIL

Par

Jérôme LE GOUEVEC

Titulaire d'un D.E.A. Génie Civil

**Méthodologie d'aide à la décision :****Application à la mise en conformité
des systèmes d'assainissement des collectivités de faible taille**

Soutenance prévue le 29 novembre 2001, devant la commission d'examen

Jury :	Bernard	CHOCAT	Rapporteur
	Edmond	MIRESCO	Rapporteur
	Didier	PARIS	Examineur
	François	BUYLE-BODIN	Directeur de Thèse
	Olivier	BLANPAIN	Codirecteur de thèse

SOMMAIRE

Introduction générale	2
Première Partie : Aide au choix de solutions d’assainissement eaux usées en phase préliminaire de conception	
Introduction	6
Chapitre I : Petites collectivités et assainissement eaux usées – Du contexte local à l’étude des solutions	8
Introduction	8
I. Le contexte des collectivités de faible taille	10
1. Description des types d’assainissement considérés	10
1.1. L’assainissement individuel	11
1.1.1. Contexte technique	11
1.1.2. Types de traitement considérés	17
1.1.3. Contexte réglementaire	21
1.2. L’assainissement autonome regroupé	22
1.2.1. Contexte technique	22
1.2.2. Contexte réglementaire	24
1.3. L’assainissement collectif gravitaire	25
1.3.1. Contexte technique	25
1.3.2. Contexte réglementaire	27
1.4. Les technologies de transport d’effluents aidé	28
1.4.1. Assainissement sous pression	28
1.4.2. Assainissement sous vide	31
1.4.3. Contraintes associées à ces systèmes	32
2. Les spécificités de communes de faible taille	37
2.1. La typologie urbaine	37
2.2. La maîtrise de l’assainissement : situation et enjeux	38
2.3. Les conséquences de la rénovation de la politique d’assainissement	40

3. L'organisation de l'assainissement communal	42
3.1. Les enjeux généraux posés par l'élaboration d'un zonage	42
3.2. Quels secteurs du territoire communal sont concernés ?	43
3.3. La problématique d'assainissement associée	43
II. L'étude de zonage	45
1. Exposé des principes actuellement retenus	45
1.1. Analyse de l'habitat	45
1.2. Etude des solutions d'assainissement autonome	46
1.3. Etude des solutions d'assainissement autonome regroupé et collectif	47
1.4. Analyse économique	47
2. Limites posées par les informations utilisées	48
2.1. Leur contenu	48
3. Limites posées par le modèle de problématique	49
3.1. Le choix du support de raisonnement	49
3.2. Le choix des échelles d'analyse	50
4. Limites posées par le mécanisme de raisonnement	52
4.1. Bien fondé du raisonnement analytique pour l'étude des solutions	52
4.2. Remise en cause en phase de choix	53
Conclusions du chapitre I	56
Chapitre II : Méthodologie d'aide au choix de solutions basée sur un processus de raisonnement systémique et itératif.	57
Introduction	57
I. Formalisation de la méthodologie d'aide au choix	59
1. Objectifs recherchés	59

1.1. Impliquer le décideur en amont de la phase de choix	59
1.2. Adopter une attitude plus globale à l'égard de la problématique	59
1.3. Reformuler le processus de choix de solutions	60
2. Deux questions - réponses concernant la problématique d'assainissement	62
2.1. Première question : la problématique est-elle compliquée ou complexe ?	62
2.2. Deuxième question : comment modéliser la zone d'étude ?	63
3. Modélisation du processus de résolution de la problématique	68
3.1. Résoudre, c'est décider...oui, mais comment ?	68
3.2. Présentation du modèle canonique de décision – résolution	70
3.3. Application à la problématique d'assainissement	72
3.3.1. La phase de compréhension	72
3.3.2. La phase de conception	72
3.3.3. La phase de choix	73
II. Elaboration de solutions d'assainissement potentielles	74
1. Proposition de raisonnement : le système de production	74
1.1. Architecture	75
2. Représentation des connaissances	77
2.1. Remarques préliminaires	77
2.2. Les faits	77
2.3. Les règles	79
3. La structure de contrôle	80
3.1. Exécution des règles	80
3.2. Formulation des conclusions et arrêt de l'exploration	82

III. Aide à la décision pour l'évaluation des solutions proposées	83
1. Evaluation par approche monocritère	83
1.1. Hypothèses requises	83
1.2. Critiques de la décision optimale dans le contexte d'une aide	83
2. Quitter le domaine du problème mathématiquement bien posé	85
2.1. Pouvoir porter un jugement en correspondance avec la réalité du contexte	85
2.2. Déployer au maximum le champ des conséquences de chaque solution potentielle	85
2.3. Formuler la recherche de solutions en termes moins restrictifs	86
3. Evaluation par élaboration d'un système de préférences	88
3.1. Les quatre situations fondamentales de préférences	88
3.2. Concept de critère	88
3.3. Modèle de critère retenu	90
4. Agrégation des évaluations en univers multicritère	91
4.1. Pourquoi ne pas construire un critère unique de synthèse ?	91
4.2. Recherche d'une procédure fondée sur la synthèse de jugements partiels des évaluations	93
4.2.1. Justifications et concept de surclassement	93
4.2.2. Etapes générales de construction d'une procédure de surclassement	95
5. Méthode de surclassement de type ELECTRE II	96
5.1. Justification du choix	96
5.1.1. Pourquoi une méthode ELECTRE ?	96
5.1.2. Pourquoi la méthode ELECTRE II ?	96
5.2. Exposé de la méthode	97
5.2.1. Evaluation des solutions potentielles	97
5.2.2. Construction des relations de surclassement	101
5.2.3. Exploitation des relations de surclassement	104

5.3. Analyse de robustesse	106
5.3.1. Objectif et moyens	106
5.3.2. Paramètres à tester	107
Conclusions du chapitre II	108
Chapitre III : Application de la méthodologie d'aide au choix de solutions	
à trois types d'assainissement : autonome, regroupé et collectif	109
Introduction	109
I. Elaboration des solutions potentielles à l'échelle de chaque sous zone	110
1. Préambule	110
2. Cas de l'assainissement non collectif individuel	111
2.1. Présentation des faits et des règles	111
2.2. Exécution des règles et arrêt de l'exploration	114
3. Cas de l'assainissement autonome regroupé	115
3.1. Analogies avec l'assainissement individuel	115
3.2. Présentation des faits et des règles	116
3.3. Exécution des règles et arrêt de l'exploration	118
4. Cas de l'assainissement collectif	120
4.1. Présentation des faits et des règles	120
4.2. Exécution des règles et arrêt de l'exploration	122

II. Quels critères prendre en compte et comment les construire ?	124
1. Présentation générale des critères retenus	124
2. Le critère “Adéquation avec le devenir de la sous-zone”	125
2.1. Aperçu des conséquences des solution vis à vis de l’évolution de l’habitat	125
2.2. Approche proposée pour l’évaluation des solutions	126
3. Le critère “Adéquation avec la politique de gestion de l’assainissement”	128
3.1. Paramètres concourant à définir une politique	128
3.2. Evaluation des solutions par résolution d’un problème sous contraintes	132
4. Le critère “Préservation du milieu naturel”	136
4.1. Présentation du contexte	136
4.1.1. Définition du milieu naturel considéré	136
4.1.2. Flux polluants et réglementation : point de vue systémique	136
4.1.3. Objectifs de réduction	137
4.2. Définition générale des objectifs de qualité des cours d’eau	138
4.3. Principes d’application des objectifs de réduction	139
4.4. Démarche de raisonnement proposée	140
4.4.1. Problèmes posés pour l’application des objectifs de réduction	140
4.4.2. Proposition de raisonnement basé sur la notion de risque	143
4.4.3. Evaluation des solutions	144
5. Le critère “Coût financier”	146
5.1. Préambule	146
5.2. Le coût d’investissement	147
5.2.1. Coûts élémentaires pour chaque solution d’assainissement	147
5.2.2. Expression du coût total	148
5.3. Le coût d’exploitation annuel	148
5.3.1. Problèmes posés par son estimation	149
5.3.2. Expression du coût total	150
5.4. Agrégation des coûts totaux	150

5.5. Evaluation des solutions	151
5.5.1. Hypothèse	151
5.5.2. Démarche proposée	152
6. Le critère “Adéquation avec l’assainissement des autres sous-zones”	154
6.1. Hypothèses	154
6.2. Conséquences de la prise en compte d’une influence potentielle	154
6.2.1. Conditions à satisfaire	154
6.2.2. Situations d’influences potentielles retenues	155
6.3. Evaluation des solutions	156
6.3.1. Condition de compatibilité hydraulique	156
6.3.2. Condition de compatibilité topographique	157
6.3.3. Elaboration de la fonction de performance	157
III. Evaluation des solutions potentielles sur la zone d’étude : aide au choix	161
1. Préambule	161
2. Choix des coefficients d’importance	161
3. Synthèse des évaluations sur chaque sous-zone	163
3.1. Forme générale de la matrice de jugements	163
3.2. Forme particulière de la matrice de jugements	164
4. Construction de la relation de surclassement de chaque sous-zone	165
4.1. Test de concordance : quelles valeurs attribuer aux seuils	165
4.2. Test de non-discordance : quelles valeurs attribuer aux seuils ?	167
5. Exploitation de la relation de surclassement sur chaque sous-zone	168
5.1. Remarques préliminaires	168
5.2. Première proposition de surclassement	169
5.2.1. Forme pratique de la proposition	169
5.2.2. Choix du décideur	170
5.3. Etude des relations entre sous-zones dans le processus de surclassement	171

3. Quels sont les objectifs recherchés ?	200
3.1. Objectifs généraux	200
3.2. Difficultés attendues	201
4. Aide apportée par une étude de diagnostic pour la définition d'interventions	202
4.1. Déroulement d'une étude de diagnostic	202
4.2. Analyse critique de la démarche générale	204
5. Autres approches possibles dans le cadre d'une aide à la définition d'interventions	206
5.1. Gestion des infrastructures	206
5.2. Gestion par optimisation	207
5.3. Critiques dans le contexte d'une petite collectivité	208
6. Démarche proposée	209
6.1. Hypothèses préliminaires	209
6.2. Objectif et principes de la démarche	209
Conclusions du chapitre I	213

Chapitre II : Elaboration de priorités d'intervention

 dans le cas de dysfonctionnements indépendants	215
---	-----

Introduction	215
--------------	-----

I. Elaboration de priorités d'intervention dans le cas de débordements	216
1. Que recherchons-nous ?	216
2. Recours à l'outil de simulation numérique	217
2.1. Modélisation du réseau	217
2.2. Calage du modèle	218
2.3. Exploitation du modèle : identification et représentation d'un débordement	219

3. Evaluation de la non-performance hydraulique des tronçons	220
3.1. Formulation de la non-performance hydraulique	220
3.1.1. Détermination de la période de retour d'insuffisance	220
3.1.2. Construction d'une note de non-performance	223
3.2. Modération de l'impact d'un débordement	224
3.2.1. Définition du coefficient de sensibilité	224
3.2.2. Reformulation de la note de non-performance	225
3.3. Forme attendue du résultat	225
4. hiérarchisation des priorités d'intervention	226
4.1. Classement des évaluations	226
4.2. Cas d'indécidabilité	227
4.3. Remise en cause de la hiérarchisation : cas d'une influence aval	227
4.3.1. Définition d'une influence aval	227
4.3.2. Comment la stratégie peut-elle être remise en cause ?	228
5. Recherche de l'origine d'un débordement	229
5.1. Principe de localisation : utilisation du taux de remplissage	229
5.2. Révision de la stratégie d'intervention	231
5.3. Mise en garde en phase de conception	234

II. Elaboration de priorités d'intervention dans le cas de surverses de déversoirs d'orages

1. Manifestations liées au dysfonctionnement d'un déversoir d'orages	235
1.1. A quel type de dysfonctionnement nous intéressons-nous ?	235
1.2. Origines possibles	236
1.3. Conséquences attendues	236
1.3.1. Impacts sur le milieu récepteur	236
1.3.2. Impacts sur les usages	237
2. Approche du fonctionnement d'un déversoir d'orages par une collectivité	237
2.1. Le contexte réglementaire	237
2.2. Les différents objectifs	239

3. Approches possibles de réduction de la pollution apportée au milieu naturel	239
3.1. Cas où il n'existe pas de mesure disponible	239
3.2. Cas où il n'existe que des données pluviométriques	240
3.3. Cas où le déversoir d'orages est instrumenté	241
3.4. Approche retenue	242
4. Cas de plusieurs déversoirs d'orages : définition des ordres de priorité	243

III. Elaboration de priorités d'intervention dans le cas

d'intrusion d'eaux parasites	246
1. Types d'eaux parasites	246
2. Problèmes posés par les eaux parasites d'infiltration	248
2.1. Sur les infrastructures de collecte et les déversoirs d'orages	248
2.2. Sur l'unité de traitement des effluents	250
3. La problématique du diagnostic des eaux parasites d'infiltration	251
3.1. Objectifs particuliers	251
3.2. Présentation synthétique des étapes	252
3.3. Commentaires	252
4. Méthodologie pour la hiérarchisation des apports d'EPI	254
4.1. Définition du cadre d'étude	254
4.1.1. Quels est notre objectif ?	254
4.1.2. Définition des limites systémiques de l'objet étudié	255
4.1.3. A quel type d'EPI nous intéressons-nous ?	255
4.2. Evaluation des apports d'EPI permanentes	256
4.2.1. Hypothèses préliminaires	256
4.2.2. Quantification des apports	257
4.2.3. Quantification du linéaire concerné	258
4.3. hiérarchisation des secteurs d'apport	260
4.3.1. Principe	260
4.3.2. Cas d'équivalence	260

4.3.3. Conditions de remise en cause de la hiérarchisation	261
Conclusions du chapitre II	263
Chapitre III : Aide au choix de priorités de priorités d'intervention dans le cas de dysfonctionnements couplés	265
Introduction	265
I. Présentation des couplages de dysfonctionnements étudiés	266
1. Types de couplages	266
2. Caractérisation des relations entre les couplages	266
2.1. Infiltrations d'eaux parasites permanentes et débordements	266
2.2. Infiltrations d'eaux parasites permanentes et surverses de déversoirs d'orages	267
2.3. Débordements et surverses de déversoirs d'orages	268
2.4. Infiltrations d'eaux parasites permanentes, débordements et surverses	269
II. Méthodologie de définition des priorités d'intervention	271
1. Hypothèses préliminaires	271
2. Couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements	271
2.1. Objectifs	271
2.2. Types de responsabilités des apports parasites sur les débordements	272
2.3. Détermination de la responsabilité des apports parasites	273
2.4. Cas particulier d'apports parasites à responsabilité partielle	275
2.5. Elaboration des priorités d'intervention	275
2.6. Exemple d'application	278

3. Couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – surverses de déversoirs d'orages	281
3.1. Analogies avec le couplage précédent	281
3.2. Exposé des principes à appliquer	281
3.3. Elaboration des priorités d'intervention	283
4. Couplage débordements – surverses de déversoirs d'orages	284
4.1. Problème posé	284
4.2. Démarche de hiérarchisation proposée	286
5. Couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements – surverses	289
5.1. Rappels	289
5.2. Elaboration des priorités d'intervention	290
Conclusions du chapitre III	293
Conclusions de la deuxième partie : bilan et perspectives	295
Conclusion générale	299
Bibliographie	308

INTRODUCTION GENERALE

De part le fait qu'il est une étape indispensable entre la consommation de l'eau et sa restitution au milieu naturel, l'assainissement est devenu un chantier majeur pour l'ensemble des collectivités. Sa place est aujourd'hui centrale dans leur vie et ce, quelle que soit leur taille. Chaque population, chaque activité, qu'elle soit celle d'une commune de faible taille ou d'une grande agglomération, participe au cycle de l'eau. Les exigences requises sur la qualité des rejets sont toujours présentes.

Cependant, les problèmes de l'assainissement revêtent une coloration particulière pour une petite collectivité. D'abord, les défis posés à un élu par l'évolution de la population, par la reconquête de la qualité des milieux naturels, ou encore par les responsabilités engagées viennent augmenter les difficultés à réunir les moyens de satisfaire aux obligations réglementaires et techniques. Ensuite, une collectivité de faible taille dispose rarement de compétences techniques nécessaires à la maîtrise de l'assainissement. Elle doit alors s'en remettre à des sous-traitants (les bureaux d'étude) n'ayant eux, qu'une vision technicienne des problèmes.

Pour autant, l'action de l'élu dans l'objectif d'un assainissement performant demeure essentielle, car elle concourt d'une part à l'amélioration du cadre de vie et d'autre part, à la préservation de l'environnement pour les générations à venir. Il est donc essentiel de replacer le processus de décision dans un cadre à points de vue multiples où le décideur peut et doit jouer son rôle.

La capacité du décideur local à appréhender globalement et à long terme les problèmes d'assainissement est alors nécessaire. Mais elle n'est pas facile à acquérir, car si un équipement d'assainissement ne donne pas satisfaction du point de vue de son fonctionnement, le décideur est conduit à prendre une décision en ne maîtrisant pas toujours les différents enjeux en raison de l'absence de services techniques. Le problème de décision auquel il doit faire face n'est donc pas simple. Certes, des solutions sont toujours formulées. Mais souvent, l'inadéquation de ces solutions au contexte local et leur pérennité fragile trahissent une démarche de résolution du problème qui n'est pas bien formalisée.

Dans le cadre de la thèse, nous proposons de nous intéresser à la problématique de décision relative aux systèmes d'assainissement en dysfonctionnement. Notre objectif est de conduire une étude d'aide au choix de solutions en nous situant au carrefour de l'aide à la décision et de l'hydrologie urbaine.

Pour un même type de collectivité (faible taille) et pour un même contexte local, notre étude vise à répondre à deux questions majeures :

- Comment aider à effectuer un choix pertinent de solutions à partir de dispositifs non collectifs qui ne sont pas conformes aux exigences de qualité des rejets ?
- Comment aider à définir une stratégie d'intervention sur un système collectif non conforme aux exigences de fonctionnement ?

L'approche scientifique visée porte sur la formalisation de problématiques complexes, non linéaires, parfois subjectives, non indépendantes et difficilement simplifiables. Notre démarche, essentiellement méthodologique, est de ce fait fortement éloignée du raisonnement cartésien et ira chercher ses fondements dans le paradigme systémique.

La problématique d'aide à la décision n'étant posée qu'en termes méthodologiques, les réponses que nous tenterons d'apporter ne permettront pas de construire d'outil opérationnel. Par contre, nous rechercherons quelle approche méthodologique de résolution de chaque problématique nous pouvons élaborer compte tenu de l'information dont une petite collectivité dispose.

Nous n'avons donc pas cherché à répondre aux deux questions majeures par les mêmes processus d'aide au choix, mais par les plus adéquats à chacune d'entre elles. Si nous utiliserons les outils génériques d'aide à la décision, les méthodes développées seront spécifiques à chaque question. Pour cette raison, le mémoire sera divisé en deux parties traitées indépendamment l'une de l'autre.

Le premier volet sera relatif à la formalisation de la démarche méthodologique d'aide au choix de solutions d'assainissement eaux usées pour des dispositifs non collectifs en dysfonctionnement. Nous débuterons par la caractérisation du contexte des collectivités de faible taille en matière d'assainissement. Puis, nous poserons les principes généraux de modélisation et de résolution d'une problématique de décision que nous avons retenus. Ce volet sera clos par l'application de notre approche à trois types de solutions.

Dans le second volet, nous aborderons la question liée à la correction des dysfonctionnements d'un système collectif. Il s'agira ici de construire une méthodologie visant à aider à la

hiérarchisation des priorités d'intervention à partir de trois types de dysfonctionnements. Une partie des principes de représentation et de résolution de la problématique de décision seront analogues à ceux utilisés en première partie. Nous ne les développerons pas à nouveau. C'est pourquoi, ce deuxième volet pourra sembler moins conséquent en volume.

Enfin, nous nous interrogerons sur la légitimité de chaque raisonnement adopté en matière de formalisation et de résolution de problématique. Nous réfléchirons à la potentialité d'une approche commune, dans la mesure où, dans un cas comme dans l'autre, nous traitons bien un problème de mise en conformité de dispositifs d'assainissement.

Sur ce plan , nous tenterons de dégager :

- ❖ des bases communes qui permettraient de converger vers un seul outil d'aide à la décision capable de résoudre les deux problématiques ;
- ❖ les arguments qui plaideraient en défaveur d'un outil unique ;

le but essentiel de ce travail étant d'approfondir le champs des connaissances lié à l'aide à la décision en génie urbain.

Première partie

**Aide au choix de solutions d'assainissement eaux usées
en phase préliminaire de conception**

Introduction

De plus en plus de collectivités jettent aujourd'hui un regard critique sur leur situation en matière d'assainissement des eaux usées. Le cadre réglementaire qui s'impose au décideur, ainsi qu'une volonté affirmée d'une meilleure maîtrise des rejets domestiques sur son territoire communal, le conduisent très souvent à reconsidérer la performance des équipements existants.

Mais cette démarche se heurte parfois à une méconnaissance de l'ensemble des systèmes d'assainissement en place et met presque toujours en exergue de nombreux problèmes face auxquels le décideur reconnaît qu'il ne possède pas les éléments nécessaires à leur approche globale. Une étude est alors déclenchée. En élaborant un zonage du territoire communal en secteurs d'assainissement collectif et non collectif, l'étude a pour but de proposer des solutions de collecte et de traitement des eaux usées adaptées au cadre local.

L'analyse de la démarche sur laquelle se fonde cette étude montre, d'une part que le principe d'aide à la décision qui devrait prévaloir pour le décideur en matière de choix de solutions à mettre en œuvre n'y est pas présent, et d'autre part que les solutions élaborées ne s'inscrivent pas toujours dans un objectif d'aménagement durable de l'assainissement du fait de leur inadéquation avec le contexte local.

Pourtant, l'étude de zonage demeure le seul outil capable de procurer une approche intégrée de l'assainissement des eaux usées face aux problèmes spécifiques que peut rencontrer une collectivité de faible taille. Par conséquent, si pour le décideur cette étude doit redevenir une véritable base pour à l'aide au choix de solutions pertinentes, c'est sur le type de raisonnement à adopter qu'il est nécessaire de mener une réflexion.

Cette première partie est consacrée à la réintroduction du concept d'aide à la décision dans le processus d'une étude. Nous nous placerons en situation de phase préliminaire de conception.

Nous ne chercherons pas à concevoir des solutions, mais à savoir quelles sont celles à mettre en œuvre sur la zone d'étude et comment procéder sur un plan méthodologique.

Nous débuterons par un premier chapitre dans lequel nous présenterons en premier les caractéristiques générales du contexte. Puis nous définirons la problématique d'assainissement associée. Enfin, nous présenterons les principes de raisonnement d'une étude de zonage, ainsi que les limites qui en ressortent.

L'analyse de ces limites nous mènera dans un second chapitre à proposer une démarche de raisonnement méthodologique alternative, fondée sur une représentation complexe de la problématique, ainsi que sur un point de vue systémique de la zone d'étude. Les différentes étapes de résolution de la problématique seront ensuite développées. Elles nous conduiront dans un premier temps à formuler un sous-ensemble de solutions dites potentielles en recourant aux principes d'un système à base de règles, puis dans un second temps à proposer une méthode multicritère d'aide à la décision pour le choix des solutions à retenir dans laquelle le rôle du décideur sera central.

Un troisième chapitre sera consacré à l'application de l'outil méthodologique à trois types d'assainissement. Nous y formaliserons respectivement leur système à base de règles et les critères d'évaluation requis par la méthode d'aide au choix. Nous les mettrons en pratique sur un exemple type de zone d'étude.

Enfin, nous conclurons et aborderons quelques perspectives de travail relatives à l'enrichissement de l'outil méthodologique et à sa validation.

Chapitre I : Petites collectivités et assainissement eaux usées –

Du contexte local à l'étude des solutions.

Introduction

La mise en œuvre d'un système d'assainissement est essentiellement le résultat de la confrontation entre les données techniques propres au procédé et celles fournies par le support, c'est à dire le terrain.

Beaucoup de réalisations montrent un décalage entre les solutions proposées et les besoins de communes, alors que les spécificités nées d'une typologie urbaine originale, les impacts d'une rénovation de la politique communale d'assainissement et plus généralement, les enjeux locaux fixés par la réglementation en matière de rejets d'eaux usées sont tout aussi déterminants pour la mise en œuvre pérenne d'un système.

Le succès d'un assainissement communal dépend donc de l'ensemble de ces facteurs sous le couvert d'une vision globale à long terme. Pour ce faire, le décideur dispose en principe d'un véritable document d'aide à la décision, appelé "schéma directeur d'assainissement. Les études réalisées pour élaborer ces schémas sont nécessaires par le fait même qu'elles permettent d'atteindre une étape essentielle de la planification de l'assainissement : le zonage du territoire communal en secteurs d'assainissement collectif et non collectif, sur lesquels des solutions de collecte et d'épuration des effluents pourront être proposées. Mais l'analyse de la méthodologie de ces études amène à formuler un certain nombre de limites relatives au choix et à l'harmonisation des équipements d'assainissement retenus. Elles émergent des connaissances utilisées et de la démarche de raisonnement adoptée.

Dans ce chapitre, nous débuterons donc par la présentation du contexte local des communes de faible taille :

- ❖ Quels sont les dispositifs d'assainissement potentiellement impliqués et quelles contraintes amènent-ils ?

- ❖ Quelles spécificités se dégagent des communes de faible taille ?
- ❖ Quels problèmes généraux émanent d'une organisation de l'assainissement communal ?

Puis, nous poursuivrons par l'exposé de la démarche actuelle des études de zonage :

- ❖ Quels en sont les principes ?
- ❖ Quelles limites peuvent alors être formulées ?
- ❖ Quelles conséquences sont attendues sur la qualité des solutions d'assainissement proposées ?

I. Le contexte des collectivités de faible taille

1. Description des types d'assainissement considérés

Depuis une dizaine d'années, l'assainissement urbain est l'objet d'une approche globale. Ainsi, l'objectif initial de collecte des effluents eaux usées de l'ensemble des habitations est désormais complété par celui de leur traitement efficace avant de renvoyer les eaux épurées vers le milieu naturel.

Les collectivités de faible taille n'échappent pas à cette dynamique. Pour satisfaire ces deux objectifs, elles peuvent recourir à un éventail de solutions. Quatre types d'assainissement sont développés dans ce paragraphe : individuel, autonome regroupé, collectif gravitaire et collectif sous forme aidée (sous vide et sous pression).

Remarque : sur le plan juridique, la loi sur l'eau de 1992 exclut de recourir aux termes d'*assainissement individuel* ou *autonome*. Elle ne distingue que l'assainissement collectif et non collectif. Mais il s'avère qu'en pratique, le non collectif regroupe très souvent des équipements allant de l'assainissement uni-familial à des installations regroupant plusieurs habitations. De plus, l'appellation *assainissement autonome* ayant été introduite antérieurement à la réglementation de 1992 par l'arrêté du 3 mars 1982 [Amphoux, 93] et le terme *individuel* ayant été utilisé bien avant cet arrêté, il est tout à fait concevable de penser qu'ils restent encore très ancrés dans le langage courant. C'est pourquoi, par souci de simplification, nous emploierons indifféremment dans la suite de tout le document le vocable *assainissement individuel* et *autonome* pour parler d'un assainissement uni-familial et le vocable *assainissement autonome regroupé* en référence à l'assainissement non collectif multi-familial (regroupement de plusieurs habitations).

Dans ce qui suit, nous n'allons pas exposer les avantages et inconvénients de ces équipements. En revanche, nous nous attacherons à présenter les contraintes techniques et réglementaires qu'elles posent. Ce point est essentiel, car de ces contraintes dépendra la façon de poser la problématique d'assainissement dans le cadre d'une étude de zonage.

1.1. L'assainissement individuel

1.1.1. *Contexte technique*

Du point de vue fonctionnel, le principe d'un assainissement individuel peut être décrit par le schéma de la figure 1.

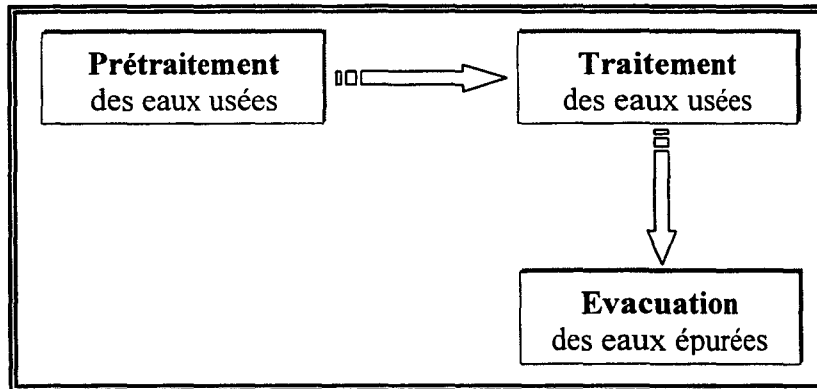


Figure 1 : principe de fonctionnement d'un assainissement individuel.

Prétraitement des eaux usées

En ce qui concerne le prétraitement, la solution la plus communément adoptée est la fosse septique toute eaux (FSTE), chargée de collecter les eaux usées domestiques (eaux vannes et eaux ménagères) de l'habitation, de les liquéfier partiellement et de retenir les matières solides, ainsi que les déchets flottants [GRAIE, 97]. Ce dispositif doit être enterré et accessible pour les opérations de vidange.

Nous pouvons donc définir une première contrainte, que nous appellerons **contrainte de bâti**. Elle s'applique :

- ❖ Au type d'habitat lorsqu'il regroupe plusieurs habitations individuelles. En effet, le problème lié à l'accès peut survenir dans le cas de leur organisation en bande (figure 2). L'accessibilité devant être impérativement suffisante, seul un habitat jumelé est alors envisageable (figure 3) ;

- ❖ Au mode d'implantation de l'habitat, car la continuité du bâti (figure 4) pose encore le problème de l'entretien de la fosse. Une résidence isolée sur la parcelle est alors préférée (figure 5).

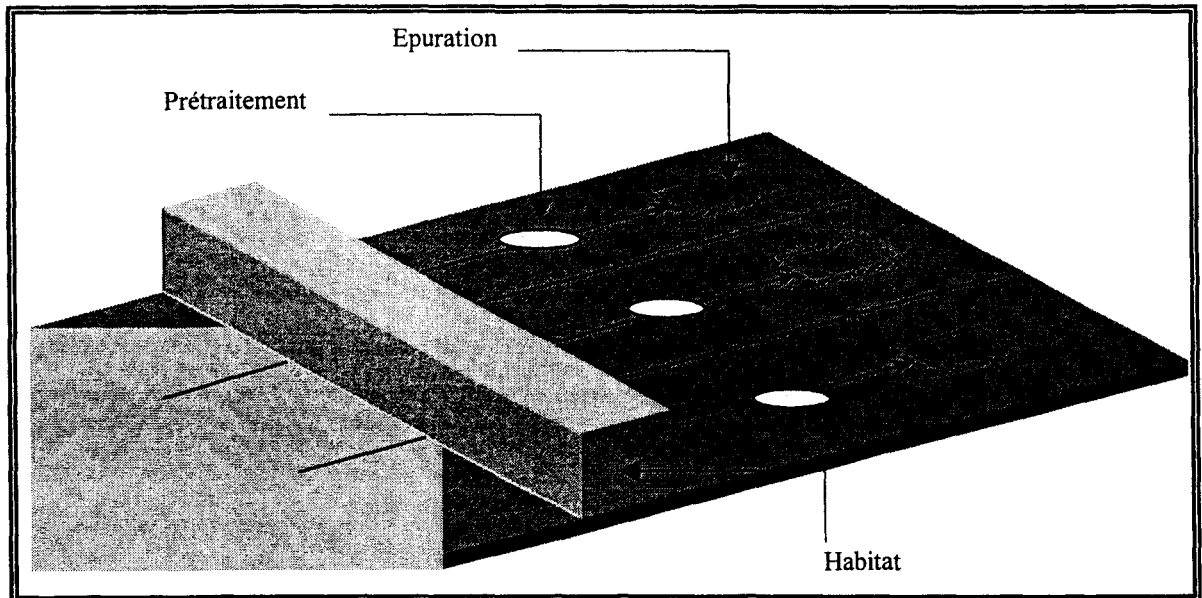


Figure 2 : Cas d'accès impossible pour l'entretien du dispositif de prétraitement - habitat en bande.

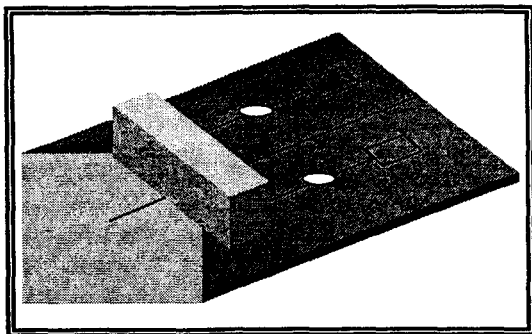


Figure 3 : implantation jumelée de l'habitat.

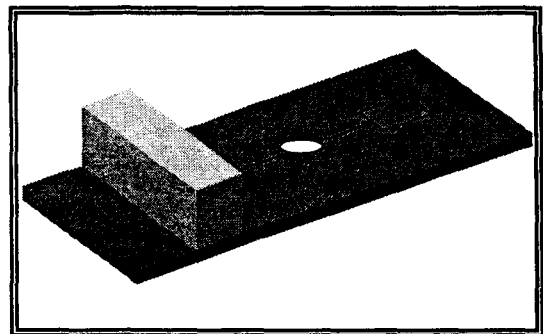


Figure 4 : habitat avec continuité du bâti.

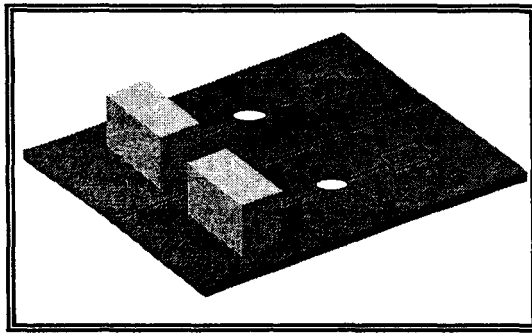


Figure 5 : implantation isolée de l'habitat.

Traitement des eaux usées

Le principe du traitement des eaux usées demeure le même quel que soit le procédé utilisé. Nous pouvons distinguer trois types : l'épandage souterrain, le terre d'infiltration et le filtre à sable drainé vertical ou horizontal [STU (1), 85].

Outre leurs caractéristiques intrinsèques, qui seront présentées plus loin, **l'aptitude du sol au traitement** des effluents demeure un facteur déterminant pour le choix du procédé à mettre en œuvre.

Un sol est considéré apte au traitement s'il satisfait un ensemble de facteurs pédologiques et hydromorphiques. Les contraintes relatives au critère d'aptitude d'un sol à l'épuration sont rassemblées dans le tableau 1.

Facteurs de contrainte d'aptitude à l'épuration
Perméabilité du sol (mm/heure)
Profondeur du substratum perméable (m.)
Profondeur du substratum imperméable (m.)
Niveau de la nappe phréatique (m.)

Tableau 1 : facteurs associés à la contrainte d'aptitude d'un sol à l'épuration - cas d'un assainissement individuel.

Les valeurs de ces facteurs orienteront le choix de la ou des filières de traitement potentiellement réalisables.

Mais à ces facteurs d'aptitude s'ajoutent aussi des **facteurs de site**. Ceux-ci figurent dans le tableau 2 [XP P 16-603, 98].

Facteurs de contrainte de site
Usages de l'espace privatif
Pente générale du terrain (%)
Surface minimale pour une filière (m ²)

Tableau 2 : facteurs associés à la contrainte de site -
cas d'un assainissement individuel.

L'appropriation des espaces privés et les usages qui en sont faits engendrent parfois des conflits avec certains impératifs pratiques liés aux systèmes d'assainissement autonome (servitudes d'accès pour les vidanges de fosses par exemple). A partir d'un certain nombre d'observations [STU (2), 85], différents usages ont été dégagés. Ceux-ci sont tous issus des attentes que formulent les usagers qui occupent un habitat individuel.

Nous pouvons trouver :

- ❖ Un usage utilitaire, dans lequel les activités de bricolage sont dominantes (ateliers, ...)
- ❖ Un usage économique, lié à l'exploitation du sol. L'emprise générée par ce type d'activité est variable, mais lorsque le marché foncier autorise des tailles de parcelles relativement importantes (cas de petites et moyennes collectivités à caractère rural ou semi-rural), une grande partie de l'espace privatif peut être occupée ;
- ❖ Un usage de détente, dans lequel nous retrouvons pour beaucoup de cas la présence d'aires de jeux (piscines, ...) ou d'espaces de convivialité ;
- ❖ Un usage lié à l'évolution temporelle du bâti ou de transformation du mode de vie (extension des surfaces habitables) ;
- ❖ Un usage ornemental toujours présent en habitat individuel à travers une personnalisation de l'espace parcellaire (jardins, arbres, pelouses, ...).

Remarque : L'ensemble des usages présenté n'est pas exhaustif. Cependant, nous pouvons noter que tous ces choix d'aménagements convergent vers un même résultat : l'investissement progressif et parfois total de l'espace privatif au cours de la vie du bâti en contradiction avec les servitudes d'accès imposées par les différentes filières d'assainissement autonomes.

La mise en œuvre d'une filière sur **un terrain pentu** est un cas délicat mais néanmoins fréquent. Outre la nécessité d'un écoulement gravitaire de l'habitation jusqu'au dispositif d'épuration, le risque majeur dû à une pente trop élevée est celui de la résurgence des effluents eaux usées sur une parcelle aval.

Généralement, une pente supérieure à 5 % requiert une attention particulière quand à la filière à appliquer. Lorsque la pente atteint 15 %, l'assainissement individuel est à proscrire, quel que soit le dispositif envisagé.

La surface minimale nécessaire à l'implantation de la filière varie selon le type de sol rencontré (perméabilité k), ainsi que selon l'importance de l'habitation desservie (volumes d'effluents générés).

Elle peut être calculée selon différents moyens. Une démarche d'approche consiste à prendre en compte les usages privatifs de la parcelle et les éventuels conflits qui y sont liés. Fondée sur une méthode canadienne du calcul de la surface minimale de parcelle à partir d'un dispositif d'épandage classique [STU (2), 85], cette approche est aussi reprise en France [Lakel, 00].

Les hypothèses suivantes sont formulées :

- ❖ Surface moyenne au sol de l'habitation = 100 m^2 ;
- ❖ Surface minimale pour l'assainissement = 200 m^2 ;
- ❖ Surface libre supplémentaire égale à la surface nécessaire pour l'épandage = 200 m^2 , afin de procurer au particulier une utilisation relativement libre du privatif ;
- ❖ Distance réglementaire de 5 mètres entre l'habitation et l'aire de traitement, correspondant à une surface de 100 m^2 pour une largeur courante de bande parcelle de 20 mètres.

Ces hypothèses conduisent alors à une surface minimale de parcelle égale à 600 m². Il est à noter que cette valeur est un seuil en deçà duquel aucune organisation acceptable ne pourra être effectuée, que ce calcul confirme les tailles de parcelles couramment observées et que les hypothèses émises sont en accord avec les dispositions techniques en vigueur [XP P 16-603, 98].

Evacuation des effluents traités

L'évacuation des eaux épurées peut être réalisée selon différents modes :

- ❖ Séparément de l'opération de traitement. Dans ce cas, l'exutoire naturel des effluents traités est constitué par le milieu récepteur de surface (cours d'eau, fossé) ou par un réseau d'eaux pluviales proche ;
- ❖ Simultanément de l'opération de traitement. Dans ce cas, le sol assure à la fois les fonctions d'épuration et de dispersion de la charge polluante.

Les différentes alternatives envisageables en fonction du type de filière sont rassemblées dans le tableau 3.

Type de filière	Type d'évacuation
Epandage souterrain	Souterrain
Tertre d'infiltration	Souterrain
Horizontal Filtre à sable	Surface / Souterrain
Vertical	Surface / Souterrain

Tableau 3 : Modes d'évacuation des effluents relatifs aux différentes filières individuelles.

Dans le cadre de l'opération d'évacuation, la seule contrainte technique est celle liée à la présence d'un exutoire de type fossé (évacuation en surface) ou réseau d'eaux pluviales (évacuation souterraine), si un filtre à sable figure parmi les dispositifs potentiellement

réalisables. Néanmoins, ce procédé de traitement restitue des effluents reconnus bactériologiquement douteux et il n'est que très peu souvent mis en œuvre. Nous pouvons donc raisonnablement penser que dans la grande majorité des situations rencontrées, **l'opération d'évacuation ne génère pas de contrainte systématique.**

1.1.2. Types de traitement considérés

Epandage souterrain

Toujours considérée comme prioritaire dans les études d'assainissement à la parcelle, cette filière utilise le sol en place pour répartir de façon gravitaire et le plus uniformément possible les effluents issus du dispositif de prétraitement au moyen de drains d'infiltration (figure 6).

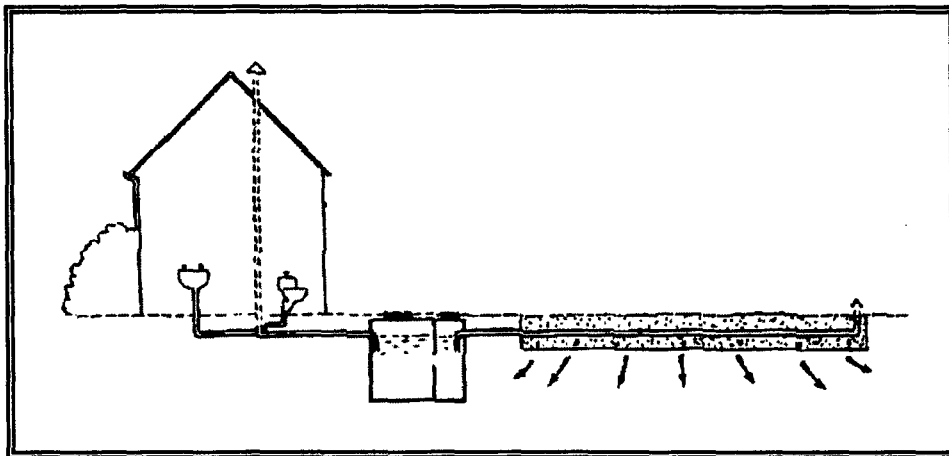


Figure 6 : schéma type d'un assainissement par épandage souterrain.

Ce mode de traitement est utilisé lorsque le sol en place présente une aptitude à l'épuration satisfaisante. Définie par la norme [XP P16 603, 98], l'aptitude est évaluée par les contraintes figurant dans le tableau 1 et dont les valeurs admissibles sont données par les tableaux 4 (coefficients de perméabilité k) et 5 (profondeur des substratums et de nappe).

Coefficient k (mm/h)]15, 30]	[30 → 500[
Nature du sol	limoneux	Limoneux → Sableux

Tableau 4 : valeurs de perméabilité admissibles pour un épandage souterrain.

Aptitude	Très favorable	Favorable
Profondeur du substratum perméable (m)	> 2	[1.5, 2]
Profondeur du substratum imperméable (m)	> 2.5	[1.5, 2.5]
Profondeur de la nappe (m)	> 3	[1.5, 3]

Tableau 5 : classes d'aptitude d'un sol à l'épandage souterrain.

Terre d'infiltration

Sur le même principe, ce type de filière correspond à un épandage souterrain, mais situé au dessus du niveau du sol dans une masse de matériaux rapportés (figure 7).

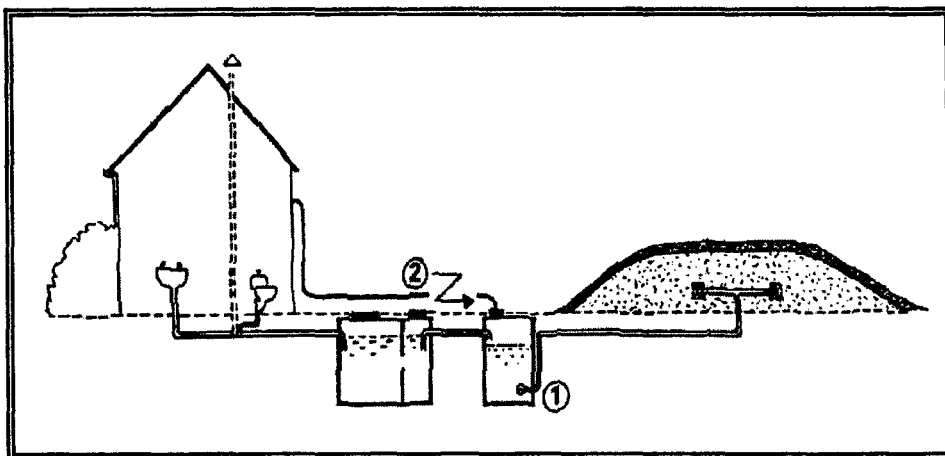


Figure 7 : schéma type d'un assainissement par terre d'infiltration.

Quatre causes d'utilisation peuvent être dégagées :

- ❖ La profondeur de la nappe est trop faible ($< 1,5$ m), ce qui permet d'éviter sa pollution ;
- ❖ La profondeur du substratum perméable est trop faible ($< 1,5$ m) pour assurer une épuration correcte des effluents eaux usées ;
- ❖ Le terrain est très imperméable (coefficient $k \leq 15$ mm/h) et ne peut alors pas permettre une dispersion adéquate des effluents à épurer ;
- ❖ La perméabilité est telle que l'infiltration des effluents par le sol risque d'être trop rapide et engendrer une épuration non suffisante (coefficient $k \geq 500$ mm/h).

Filtre à sable horizontal ou vertical drainé

Que le flux d'effluents soit horizontal ou vertical, le recours à ce type de filière (figure 8) est satisfaisant lorsque [Lakel, 00] :

- ❖ Le sol en place est trop imperméable (coefficient $k \leq 15$ mm/h) ;
- ❖ La perméabilité du sol est trop élevée (coefficient $k \geq 500$ mm/h) comme dans le cas d'un horizon fissuré par exemple.

Nous pouvons remarquer que cette filière a des conditions de mise en œuvre communes avec le tertre d'infiltration. Cependant, nous rappelons que la qualité bactériologique des effluents traités dans le cas du filtre est souvent sujette à caution. De plus, la nécessité d'un exutoire pour les eaux traitées par ce dispositif (il n'a qu'une fonction d'épuration, pas d'évacuation) impose donc d'y recourir que lorsque le tertre d'infiltration n'est pas réalisable malgré une emprise au sol plus grande de ce dernier (environ 100 m^2 pour une habitation de 4 pièces prétraitement compris, contre 60 m^2 pour un filtre à sable).

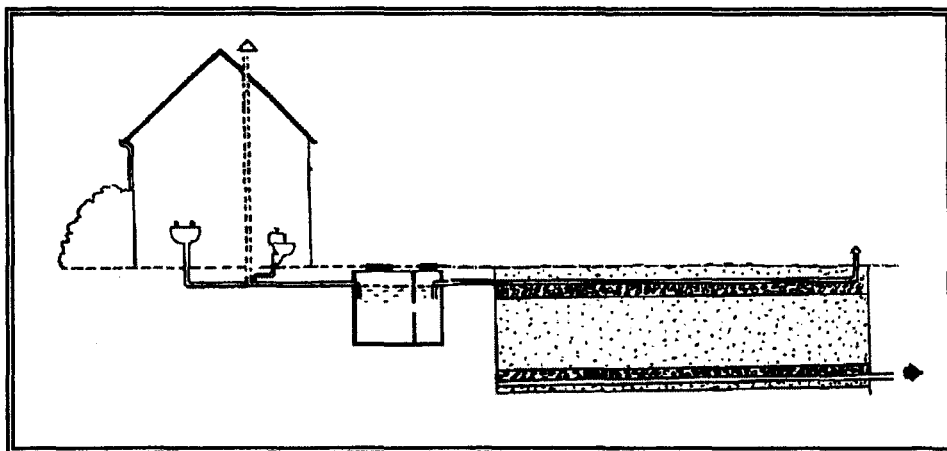


Figure 8 : schéma type d'un assainissement par filtre à sable.

En revanche, lorsque la profondeur de nappe est le seul facteur limitant en terrain difficile (trop faible ou trop forte perméabilité), le dispositif d'infiltration devant alors être surélevé, le filtre à sable n'est alors plus applicable et le tertre devra logiquement s'imposer.

Parfois, les caractéristiques de site ne permettent pas d'implanter un filtre à sable vertical. C'est le cas de terrains dont la pente dépasse 5 %, ou d'une emprise au sol réduite dans le sens de la longueur. Les bandes de matériaux drainants sont alors disposées perpendiculairement au sens d'écoulement (filtre horizontal). Mais le principe de fonctionnement reste le même que pour un lit filtrant vertical. Nous ne développerons donc pas davantage ce dispositif.

En résumé, la présentation des différentes filières d'assainissement individuel appelle des contraintes spécifiques qui s'ajoutent aux contraintes générales de mise en œuvre (contraintes de bâti, d'aptitude du sol et de site). Elles concernent la nécessité d'un entretien plus rigoureux des dispositifs dont la surface de traitement est plus réduite à volume d'effluents équivalent (tertre et filtre à sable). Un risque de colmatage des matériaux drainants pouvant survenir, la possibilité de leur renouvellement doit être prise en considération.

1.1.3. Contexte réglementaire

La réglementation relative à la gestion des équipements d'assainissement individuel est apparue avec la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. En transposant partiellement la directive européenne du 21 mai 1991, cette loi a instauré pour les communes (quelle que soit leur taille) l'obligation de prendre en charge le contrôle des systèmes non collectifs et si elles le souhaitent, leur entretien.

Ainsi, en modifiant le code des communes (article L. 372-1-1), la loi sur l'eau impose à celles-ci une contrainte de gestion financière pour les équipements à réaliser.

Cette révision juridique est fondamentale pour la problématique de l'assainissement communal. En effet, au delà du contexte technologique (depuis l'apparition des premières fosses septiques dans les années 70, les dispositifs sont aujourd'hui beaucoup plus performants), l'assainissement individuel n'est plus considéré comme une solution complémentaire à un réseau collectif, mais comme une alternative pertinente.

Cependant, malgré une volonté évidente de réhabiliter le mode autonome auprès des responsables communaux, la contrainte de gestion apportée par les textes juridiques pose un certain nombre de problèmes :

- ❖ D'abord la mise en œuvre d'une filière autonome chez un particulier s'accompagne parfois d'un manque d'entretien de sa part (vis à vis des vidanges de fosses par exemple), car cette solution est souvent considérée comme un pis-aller en attendant un raccordement futur au réseau collectif [Berland, 99]. Les dispositions réglementaires en vigueur n'imposant pas de sanction dans ce cas, le défaut d'entretien conduit presque toujours à remettre en cause la pérennité fonctionnelle de l'installation ;
- ❖ Ensuite, il subsiste une inconnue financière relative aux dépenses de contrôle, car l'application technique de l'assainissement autonome faisant appel à un large panel de filières, l'évaluation a priori du coût engendré est difficile à faire et variable selon la prestation fournie [Lakel, 00] ;

- ❖ Enfin, les dispositions réglementaires excluant la prise en charge de la réhabilitation d'installations non conformes par la commune (cas d'une pollution avérée du sol par des effluents non correctement traités), celle-ci n'a pas d'intérêt à s'assurer de la qualité de la remise en état.

Par conséquent, dans le cadre du service public que chaque commune doit mettre en place, il semble que la contrainte de gestion comporte des risques au regard du service rendu aux usagers :

- ❖ A travers le contenu des prestations fournies lors de l'opération de contrôle. Sa qualité peut être largement dépendante du montant fixé ;
- ❖ L'action de contrôle de conformité étant souvent l'occasion d'un diagnostic des installations, est-ce vraiment un service rendu aux usagers que de les laisser financer la réhabilitation d'un équipement défectueux sans y apporter de suivi technique continu ?

Face à ces questions qui restent encore en suspens au regard de la législation, beaucoup de communes ont développé des activités d'information et de responsabilisation de l'ensemble des intervenants. Cette forme de communication apparaît pour le moment comme la seule alternative aux vides juridiques "pour atteindre l'objectif de conformité des installations".

1.2. L'assainissement autonome regroupé

1.2.1. *Contexte technique*

Il s'agit par définition d'un dispositif de traitement commun au moins à deux habitations. Son principe de fonctionnement obéit aux mêmes règles que celles d'un assainissement individuel, à savoir :

- ❖ Collecte des eaux usées domestiques ;
- ❖ Prétraitement des effluents (Fosse Septique Toutes Eaux, FSTE) ;
- ❖ Traitement des effluents (filiale d'épuration) ;
- ❖ Evacuation des eaux épurées.

Toutefois, deux différences majeures portent sur :

- ❖ La collecte, qui est assurée par des canalisations empruntant à la fois le domaine privé (la parcelle) et le domaine public (la voirie le plus souvent) ;
- ❖ Le prétraitement qui peut être réalisé de façon individuelle ou collective (figure 9).

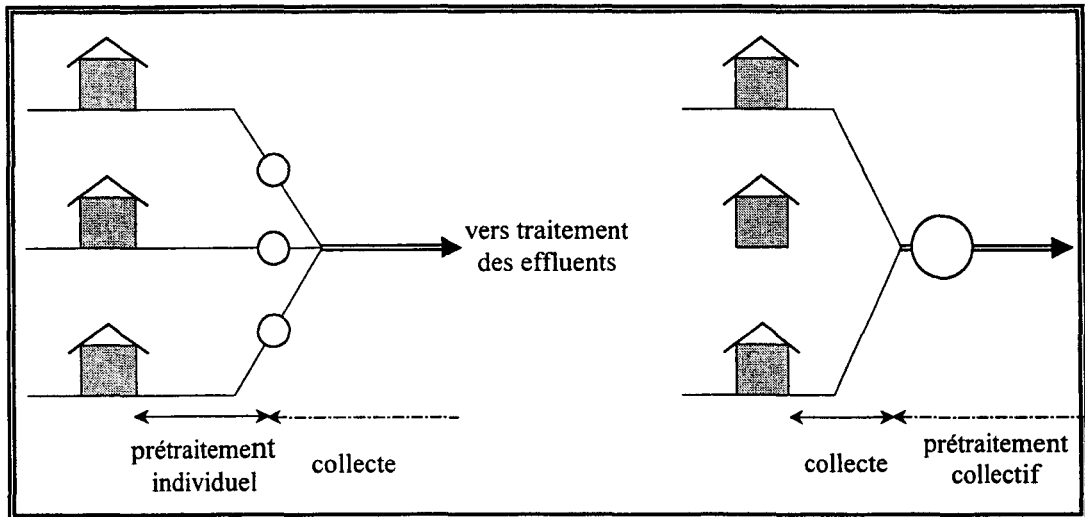


Figure 9 : les deux principes de prétraitement des eaux usées en assainissement autonome regroupé.

Au contraire du cas de l'assainissement individuel, l'espace collectif doit faire l'objet d'une attention particulière en autonome regroupé.

Dans le cas de groupes d'habitations, cet espace constitue le fait générateur de l'aménagement urbain. La problématique d'un assainissement de ce type impose alors une réflexion sur l'articulation entre le système d'une part et l'organisation de l'espace collectif d'autre part.

Cette réflexion doit surtout se focaliser sur le mode d'épuration à réaliser. Car en effet, sachant que par exemple, pour 100 usagers une FSTE occupe une surface de 30 m² et un épandage souterrain près de 3000 m² dans le cas le plus défavorable [STU (3), 87], il paraît clair que les contraintes les plus importantes sur la gestion de l'espace public proviennent de ce genre d'équipements.

Nous ne développerons pas les différentes filières de traitement afférentes à un assainissement autonome regroupé, celles-ci étant identiques aux techniques précédemment exposées.

Ainsi, les contraintes générales inhérentes aux systèmes autonomes sont aussi applicables en autonome regroupé. Nous les retrouvons dans les tableaux 1 et 2 précédemment exposés (cf. chapitre I,-I § 1.1.1.) à ceci près que dans le tableau 2, nous ne parlerons plus d'usages de l'espace privatif, mais de l'espace collectif et que la surface nécessaire pour la mise en œuvre d'une filière sera une partie de cet espace

1.2.2. Contexte réglementaire

Nous devons remarquer au préalable que le vocable "assainissement autonome regroupé" ne bénéficie d'aucune définition juridique en tant que tel. Il n'a donc pas non plus de référence réglementaire. Toutefois, en considérant ce type de dispositif comme un système de traitement et d'élimination des eaux usées domestiques qui ne sont pas évacuées par un réseau public, la loi sur l'eau de 1992 a modifié l'arrêté technique du 3 mars 1982 (relatif à l'assainissement autonome des bâtiments d'habitation) pour ne plus juridiquement définir qu'un assainissement non collectif qui réunit à la fois les équipements individuels et regroupés [Venet, 00].

Du point de vue réglementaire, ceci signifie donc que l'autonome regroupé bénéficie des mêmes obligations de la part de la commune qu'un système individuel (opérations de contrôle et éventuellement d'entretien). Sur ce point, nous devons remarquer qu'une localisation dissociée du prétraitement et de l'épuration (par exemple, le premier peut être réalisé sur le domaine privatif et le second sur l'espace collectif), peut conduire à des conflits pour l'attribution des responsabilités financières et juridiques en cas de dysfonctionnement de l'assainissement.

En effet, dans ce cas l'entretien d'une partie du système étant à la charge de l'utilisateur (le prétraitement) et l'autre à celle de la commune (le traitement), il devient dès lors difficile d'identifier la part de responsabilité de chacun en situation de pollution avérée du milieu récepteur des rejets.

De plus, en supposant que l'installation de prétraitement est à l'origine du dysfonctionnement (l'utilisateur est donc en cause), la maîtrise d'ouvrage communale sur domaine privé étant encore

couverte de zones d'ombres juridiques, rares seront les communes qui engageront une action de réhabilitation. Ainsi, la pérennité du système peut être potentiellement remise en cause.

En résumé, si le contexte technique permet d'effectuer un choix relativement au regroupement des opérations de prétraitement et de traitement des eaux usées, le volet réglementaire ne devra pas être négligé afin de ne pas conduire à un échec de la politique d'assainissement non collectif qu'une commune souhaiterait mettre en place.

1.3. L'assainissement collectif gravitaire

1.3.1. *Contexte technique*

Le principe de fonctionnement d'un assainissement collectif gravitaire est représenté schématiquement figure 10.

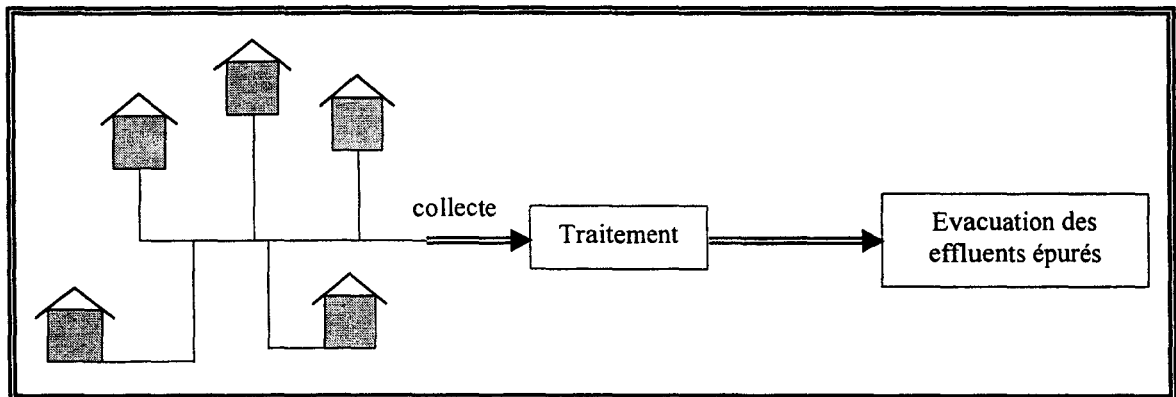


Figure 10 : fonctionnement schématique d'un assainissement collectif gravitaire.

Collecte des eaux usées

Cette opération est assurée par un réseau de canalisations. Deux situations peuvent se présenter :

- a) **Ces collecteurs concernent une extension de l'existant et sont raccordés à un système existant.**

Dans ce cas, nous pouvons dégager deux contraintes :

- ❖ Une **contrainte hydraulique** liée à l'accroissement des flux. La capacité du réseau existant doit pouvoir prendre en compte les débits supplémentaires engendrés par le raccordement de l'extension. Le débit résiduel admissible de l'ensemble des collecteurs en place doit donc être connu ;
- ❖ Une **contrainte topographique**, afin d'assurer la compatibilité des écoulements entre les deux réseaux de collecte. La cote du point le plus bas de l'extension doit par conséquent être supérieure à celle du point d'entrée de l'ouvrage de traitement pour assurer un transport des effluents sans relèvement. Toutefois, si un poste de relèvement était admis, cette contrainte pourrait devenir caduque.

b) Il s'agit d'un nouvel équipement d'un ensemble d'habitations auparavant assainies sous un mode non collectif.

La **contrainte topographique** est ici exprimée sous la forme de **la pente** à donner aux collecteurs. La liaison gravitaire imposant l'emprunt de la voirie, dans une collectivité à relief varié les profondeurs de pose peuvent devenir excessives pour conserver des pentes raisonnables.

Traitement des eaux usées

En ce qui concerne l'opération d'épuration collective, nous considérons que seul le scénario a) conduit à formuler une contrainte technique, puisqu'à priori dans le scénario b) les données hydrauliques de calcul (débits, volumes) doivent être connues dès la phase de conception des équipements.

Il s'agit de confronter le volume résiduel admissible de l'unité de traitement existante (compte-tenu du rendement épuratoire exigé) aux volumes supplémentaires engendrés par les habitations raccordées en plus: c'est une **contrainte de compatibilité** entre les **volumes de traitement admissibles** et les **volumes d'entrée** de station d'épuration.

Le tableau 6 résume l'ensemble des contraintes techniques présentées.

Type d'opération	Contraintes associées
Collecte (réseau)	Topographie Capacité hydraulique (débits)
Traitement (STation d'EPuration)	Capacité de traitement (volumes)

Tableau 6 : synthèse des contraintes techniques relatives à un assainissement collectif gravitaire.

1.3.2. Contexte réglementaire

La rénovation du dispositif réglementaire communal par le décret d'application du 3 juin 1994 relatif à la loi sur l'eau, a essentiellement consisté à fixer des contraintes de date de réalisation des équipements des communes en matière d'assainissement collectif [TSM, 96].

D'abord, le 31 décembre 2000 fixait l'échéance à laquelle toute collectivité dont le territoire est intégré en totalité ou en partie dans une agglomération produisant plus de 900 kg/jour de DBO5¹ (soit plus de 15 000 eq. Hab².) devait être équipée d'un réseau de collecte.

Pour les communes de plus faible taille (2000 à 15 000 eq. Hab, soit une charge de DBO5 variant de 120 à 900 kg/jour), la date limite d'équipement est repoussée au 31 décembre 2005, hormis pour celles de plus de 10 000 eq. Hab. dont la zone de rejet est un milieu sensible et pour lesquelles l'échéance était fixée au 31 décembre 1998.

En ce qui concerne le type de traitement appliqué aux effluents (traitement primaire et éventuellement secondaire) et à l'instar de la collecte, les délais fixés par le décret varient en fonction de l'importance de la population des communes, ainsi que de la sensibilité des milieux récepteurs des eaux épurées.

Toutefois, les petites collectivités (taille inférieure à 2000 eq. Hab.) rejetant en eaux douces ou en milieux estuariens, échappent à ces échéances de temps et doivent traiter leurs effluents en accord avec les objectifs de qualité du milieu concerné dès la mise en œuvre d'un réseau collectif.

¹ Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours.

² Par hypothèse, un eq. Hab. produit en moyenne 60 g/j de DBO5.

1.4. Les technologies de transport d'effluents aidé

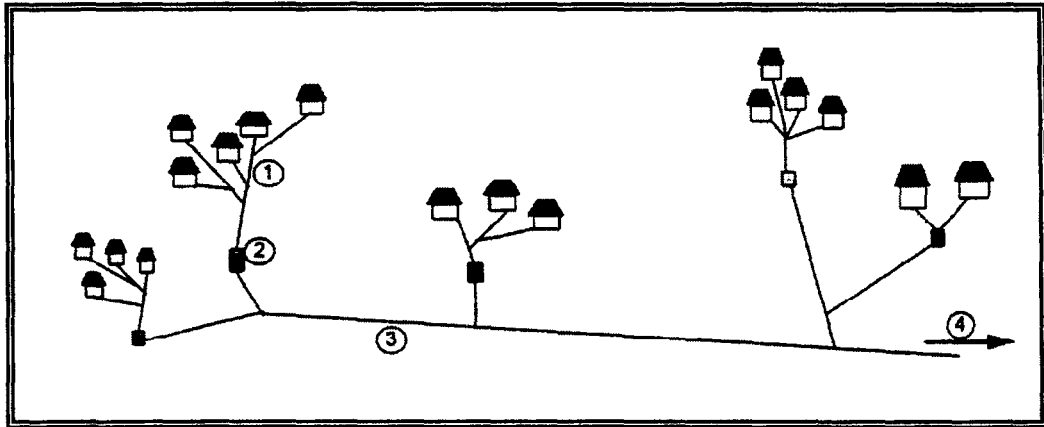
Nous évoquerons ici les réseaux d'assainissement sous vide et sous pression, c'est à dire ceux usant d'une autre forme d'énergie que la gravité pour le transport des eaux usées.

Bien que parfois considérés comme récents, ces systèmes ont en réalité un certain passé historique. Le concept d'assainissement sous pression a été développé aux USA il y a un peu moins de 40 ans [EPA (1), 91]. Les premiers brevets sur l'assainissement sous vide furent déposés aux Pays-Bas en 1886 [Bremond & Garnier, 86] et aux USA en 1888. C'est pourquoi ces technologies sont parfois qualifiées de "rétro innovantes".

1.4.1. *Assainissement sous pression*

Deux types de réseaux sous pression existent. L'un et l'autre se différencient par le mode de déclenchement des postes d'injection : aléatoire (chaque poste fonctionne indépendamment des autres) ou coordonnée (un automate déclenche un poste en fonction du niveau des effluents dans les autres postes).

Nous n'allons pas exposer les détails techniques des différents éléments qui composent ces types de réseaux. En revanche, leur principe général de fonctionnement étant identique, il peut être représenté par la figure 11 [Nabet, 98].



- ① : branchement de la partie gravitaire
- ② : poste d'injection
- ③ : canalisation sous pression
- ④ : vers exutoire

Figure 11 : synoptique général d'un assainissement sous pression.

La partie gravitaire de la collecte peut être plus ou moins étendue (faible pour quelques habitations à forte pour un lotissement par exemple). Un collecteur gravitaire, une STEP ou un poste de refoulement classique assurent la fonction d'exutoire.

Au milieu des années 60, le concept d'assainissement sous pression a beaucoup gagné en considération grâce au développement de projets pilotes américains [Clift, 68]. En raison de la croissance rapide de la population des petites collectivités (jusqu'à 40 % par an) qui engendrait des extensions urbaines souvent non structurées (en décalage avec le développement des infrastructures routières), ainsi qu'une topographie et une géologie très largement défavorables (reliefs variables ou plats, sol rocheux), la solution classique du réseau gravitaire a du laisser la place à des réalisations innovantes comme les systèmes sous pression.

Les premiers résultats publiés en 1968 montrèrent que ces solutions concurrençaient difficilement la technique gravitaire sur le plan des coûts d'investissement et de maintenance, en partie à cause du caractère empirique de leur conception [Clift, 68].

Néanmoins, les travaux scientifiques qui suivirent en matière de transport d'effluents eaux usées par des collecteurs de petit diamètre [Carcich & al, 74], ont rapidement permis de démontrer la flexibilité de tels dispositifs. Ils ont ainsi été mis en œuvre dans d'autres communes américaines dans le cadre de la restructuration de réseaux gravitaires défailants ou pour le raccordement au système de collecte en place de zones nouvellement urbanisées.

En France, ces systèmes ont aussi connu un développement croissant à partir du milieu des années 80 et jusqu'à la fin des années 90. Ce développement s'est d'abord appuyé sur un coût des travaux d'assainissement gravitaire qui devenait de plus en plus élevé compte-tenu des nouvelles exigences sur la qualité de pose.

Mais le choix d'une telle technique a surtout été favorisé par un certain nombre de critères (tableau 7) contraignant pour l'exécution d'un système gravitaire [Nabet, 98].

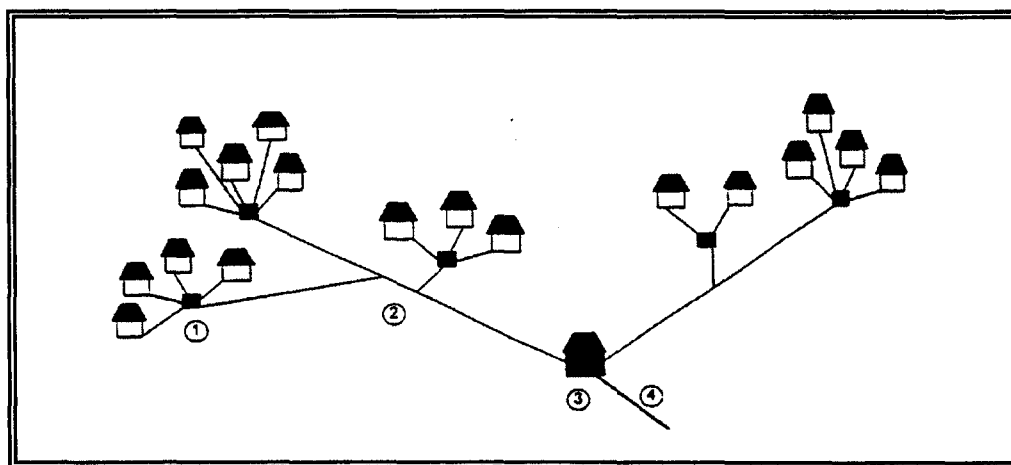
Critères	Apports
Terrain plat	La profondeur de pose étant réduite, une réduction des terrassements est attendue
Nappe phréatique haute	Le rabattement de nappe n'est pas nécessaire pour implanter le réseau
Encombrement du sous-sol	Le contournement d'obstacle est facilité par la modularité du système
Sol rocheux ou instable	Les faibles profondeurs de tranchée diminuent les surcoûts de terrassement.

Tableau 7 : critères favorables à la réalisation d'un assainissement sous pression

Ainsi, le mode sous pression a été largement implanté dans diverses régions françaises (région girondine, Charentes, Charentes Maritimes, Pas de Calais, ...) présentant des caractéristiques de site (zones balnéaires, régions sans relief, ...) qui répondent à un ou plusieurs des critères précités.

1.4.2. Assainissement sous vide

Les eaux usées d'une ou plusieurs habitations sont collectées de façon gravitaire vers une bache de transfert. Puis, les effluents sont aspirés dans un collecteur sous vide (vide proche de 0,5 bar) qui les véhicule jusqu'à une cuve de stockage située dans une centrale de vide. Enfin, les effluents sont envoyés de la centrale vers la station d'épuration par une pompe de refoulement (figure 12).



- ① : regard de transfert
- ② : canalisation sous vide
- ③ : centrale de vide
- ④ : refoulement vers un exutoire (STEP ou collecteur gravitaire)

Figure 12 : principe d'un assainissement collectif sous vide.

Ce n'est qu'à partir du début des années 70 que ce type d'assainissement est apparu en France dans sa conception moderne. L'étanchéité du réseau et la faible profondeur des tranchées (profondeur minimale égale à la mise hors gel) constituent ses deux principales caractéristiques.

Comme pour le sous pression, l'intérêt pour la viabilisation de terrains difficiles et les changements survenus dans la répartition spatiale de l'urbanisation ont fortement contribué à la promotion du dispositif sous vide. Les critères favorisant ce choix sont donc identiques à ceux présentés tableau 8.

En 1992, la France comptait 50 réseaux sous vide et en 1998 ce nombre était passé à 70. Aujourd'hui, il n'a guère évolué et illustre ainsi le caractère encore peu développé de ce système d'assainissement collectif.

1.4.3. *Contraintes associées à ces systèmes*

Contraintes techniques

Assainissement sous pression

Que son fonctionnement soit aléatoire ou coordonné, un ensemble de contraintes techniques rassemblées dans la norme [EN 1671, 97] sont imposées. Mais nous ne les développerons pas, car elles s'apparentent plus à des recommandations spécifiques de conception appliquées à certains éléments constitutifs (pompes, vannes, ...) qu'à des limites d'application.

Toutefois, nous pouvons dire que **la mise en œuvre d'un réseau à fonctionnement coordonné peut être limitée par une estimation incorrecte des débits de projet** à prendre en compte [Bremond, 95]. Ceci signifie que son implantation est dépendante de la capacité de la collectivité à estimer précisément le nombre d'habitations desservant chaque poste d'injection, sachant qu'il ne sera pas possible d'en adjoindre d'autres ultérieurement (dans le cas d'une extension urbaine négligée ou de quelques habitations oubliées en phase de projet par exemple).

En effet, à partir de ce nombre est calculé le volume tampon de chaque poste nécessaire pour échelonner les démarrages de pompes. Ce volume correspondant à un niveau d'alerte des eaux usées au dessus duquel le trop plein du poste est atteint, le risque de déversement d'effluents bruts au milieu naturel deviendrait alors maximal.

Dans le **cas d'un réseau à fonctionnement aléatoire**, le raisonnement est inverse. Afin de maîtriser les conditions aléatoires de fonctionnement, le système est toujours conçu tel que la probabilité d'avoir deux pompes en fonctionnement simultané à l'amont d'un tronçon reste faible (inférieure ou égale à 5 %). Cela suppose par conséquent **des débits de pompage très supérieurs aux débits de pointe des effluents**, à tel point que généralement le système

requiert une capacité de pompage supérieure de 50 à 100 fois le débit réel. Ainsi, ce contexte permettrait-il de tenir compte de futurs raccordements non comptabilisés dans le projet initial, mais **dans la limite imposée par les capacités de pompes** disponibles sur le marché.

Assainissement sous vide

Les exploitants de réseaux semblent parfois ignorants des qualités techniques d'un tel système, pourtant fondées sur des exigences normatives bien référencées [EN 1091, 97].

La **première contrainte** a trait à la **majoration systématique de la sécurité de fonctionnement** demandée lors d'une réalisation. Toute anomalie devant être détectée très rapidement (cas d'un défaut de vide par exemple) sous peine de se trouver face à un système incapable de transporter les effluents, les dispositifs de télédétection ou d'alarme d'urgence sont multipliés.

La **deuxième contrainte** réside dans la **longueur maximale** qu'une **antenne³ sous vide** peut atteindre. L'effluent se déplace dans un tronçon par une différence de pression ΔP de part et d'autre du bouchon liquide. L'arrêt est donc provoqué lorsque $\Delta P=0$. Afin de créer des conditions de redémarrage, le profil du tronçon est caractérisé par une succession de pentes faibles et de remontées brutales (figure 13) au bas desquelles l'accumulation des effluents génère à nouveau une différence de pression.

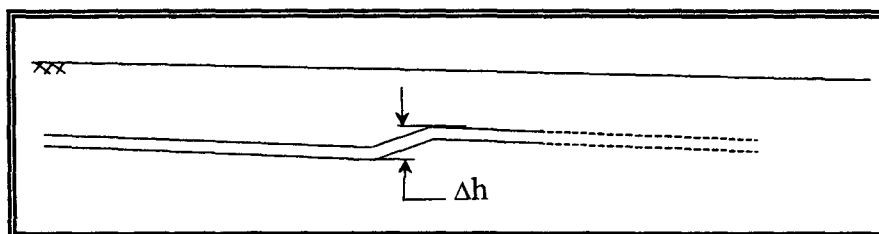


Figure 13 : profil en long de collecteurs sous vide.

³ distance entre le regard de transfert le plus éloigné et la centrale de vide.

L'énergie mobilisable ΔP pour le transport (au moins égale à 30 kPa [Bremond, 95]) doit permettre de vaincre les pertes de charge dans le collecteur (P_{dc1}) et celles dans les remontées (P_{dc2}).

Les pertes de charge P_{dc1} sont exprimées de la façon suivante :

$$P_{dc1} = |k_{1j} - k_{2i}| * L \quad (1)$$

- ❖ j est la perte de charge linéaire (m/m) ;
- ❖ i est la pente du collecteur (valeur minimale imposée de 0.2 % par la norme EN1091) ;
- ❖ L est la longueur du collecteur ;
- ❖ k_1 et k_2 sont des coefficients exprimant le caractère diphasique de l'écoulement :
 - k_1 croît avec le rapport air / eau
 - k_2 décroît avec le rapport air / eau

La perte de charge dans une remontée est calculée comme suit :

$$P_{dc2} = k * \Delta h \quad (2)$$

k est un coefficient minuteur de perte d'énergie. En deça de 0.3 m. de dénivelée, le caractère diphasique de l'écoulement conduit à ne prendre qu'une partie de la dénivelée pour le calcul de la perte d'énergie.

Généralement, si la dénivelée n'excède pas 0.3 mètres, alors $k = 0.5$. Sinon, pour un Δh supérieur, $k = 1$ [Bremond, 95]. Certains auteurs [EPA (1), 91] calculent la perte de charge en tenant compte du diamètre Φ du collecteur, soit $\Delta P = (\Delta h - \Phi)$.

Pour assurer le transport, il faut donc :

$$\Delta P \geq P_{dc1} + P_{dc2} \quad (3)$$

Soit :

$$\Delta P \geq |k_{1j} - k_{2i}| * L + k * \Delta h \quad (4)$$

En choisissant le diamètre du collecteur tel que la perte de charge j peut être compensée par la pente de pose i , alors (4) n'est plus fonction que de la perte de charge de remontée, soit :

$$\Delta P \geq k * \Delta h \quad (5)$$

Or, en terrain plat $\Delta h = i * L$ (figure 14).

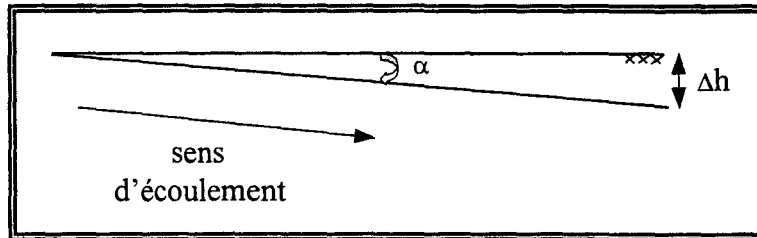


Figure 14 : expression de la pente en fonction de la dénivellée - cas d'un terrain plat.

(5) devient alors :

$$\Delta P \geq k * L * i \quad (6)$$

Pour une pente de pose $i = 0.2 \%$, un coefficient $k = 0.5$ et un ΔP de 30 kPa (3 mètres), la longueur maximale L est donc égale à 3000 mètres.

Un terrain plat conduisant à une pente de pose faible est donc un domaine d'emploi privilégié d'un assainissement sous vide. La longueur maximale d'une antenne sera par conséquent considérée comme une contrainte générale de mise en œuvre.

En résumé, le tableau 8 présente la synthèse des contraintes techniques des technologies de transport d'effluents aidé.

Type d'assainissement	Contraintes générales
Fonctionnement coordonné Sous pression	Estimation précise des débits de projet
Fonctionnement aléatoire	Capacités de pompage élevées
Sous vide	Majoration des équipements de sécurité Longueur limitée d'une antenne

Tableau 8 : synthèse des contraintes techniques
en assainissement sous vide et sous pression.

Contraintes réglementaires

Les technologies sous vide et sous pression ne font pas exception à la réglementation en vigueur puisqu'elles demeurent des équipement d'assainissement collectifs au même titre que la forme gravitaire. Les contraintes appliquées au traitement et au rejet des effluents restent aussi valables dans ce cas (pour mémoire, le lecteur pourra se reporter au chapitre I,-I § 1. 3.2.).

En résumé, nous avons abordé quatre type d'assainissement qui peuvent être mis en jeu dans le contexte d'une collectivité de taille relativement faible. Ceux-ci ont été exposé à travers les contraintes techniques et réglementaires qu'ils induisent ou qui s'imposent à eux.

Selon leur type, elles apparaissent différentes en nature et en nombre. Mais ce ne sont pas les seules. En effet, les aspects financiers et ceux inhérents aux opérations d'exploitation (entretien, maintenance) génèrent aussi des contraintes souvent décisives dans un projet d'assainissement.

Nous ne les avons pas développées ici, car **c'est le décideur qui y recourt pour choisir un système** parmi un ensemble de solutions proposées et que cette étape du processus sera abordée plus loin. La connaissance de l'ensemble des différents types d'assainissement doit d'abord permettre de définir sur une base technique un sous-ensemble de "possibles", à partir

duquel une évaluation sera conduite en tenant compte de critères (dont ceux tirés des contraintes réglementaires) afin d'en dégager la plus adaptée au contexte local.

2. Les spécificités de communes de faibles taille

2.1. La typologie urbaine

Aux communes dont la population n'excède pas 10 000 habitants, nous substituerons le vocable "faible taille " au terme rural souvent employé. En effet, parler d'un habitat rural dénote plus la dimension sociologique d'une population (son mode de vie par exemple) que sa typologie. Même si cette dimension exerce une influence certaine sur la répartition de l'habitat, elle ne saurait en décrire l'organisation générale.

Sur ce plan, quel que soit le type de commune, nous retrouvons de manière constante un secteur d'habitat assez dense, constitué par le bourg. Celui-ci est relativement bien organisé, car historiquement il a toujours bénéficié de règles bien établies de développement du bâti : le long des infrastructures routières principales, puis le long des dessertes secondaires avec un espacement de plus en plus élevé des habitations au fur et à mesure qu'elles s'éloignent du centre.

Autour du bourg, nous pouvons trouver :

- ❖ Des hameaux ou lotissements, caractérisés par des aménagements collectifs bien structurés (voirie, zones de stationnement, aires de cheminement, ...);
- ❖ Des grappes d'habitations dont la répartition du bâti montre une tendance à la dispersion et dont l'organisation n'est pas rigoureuse, c'est à dire sans aménagement clair de l'espace collectif;
- ❖ Des habitations isolées, parfois à vocation agricole, parfois lieu de résidence sans activité particulière, souvent très éloignées du bourg.

Lorsque la faible présence (ou l'absence) d'habitats groupés (quelle que soit son organisation structurale) sur le territoire de la commune est compensée par une dominance de logements uni-familiaux clairsemés, celle-ci prend alors un caractère rural marqué.

2.2. La maîtrise de l'assainissement : situation et enjeux

Nombre de Maîtres d'Ouvrages sous-entendent par "assainissement des collectivités", l'assainissement collectif. Dans ce cas, zone urbanisée et périmètre assaini de la commune sont confondus pour former un périmètre d'assainissement collectif sans étude particulière de faisabilité des filières autonomes.

Les dispositifs individuels ne concernent donc que les habitations plus ou moins isolées et considérées comme non raccordables.

Aujourd'hui, les communes constatent que la généralisation du tout collectif effectué depuis plus d'une dizaine d'années (en 1995 par exemple, un peu moins de 90 % des logements français relevaient de l'assainissement collectif, contre 79.2 % en 1988 [ENV, 96]), atteint plusieurs limites :

- ❖ Lorsque la densité de l'habitat est relativement faible, **le coût d'investissement des infrastructures collectives devient prohibitif** à tel point que souvent, au delà de 30 mètres de distance de raccordement, les solutions individuelles sont considérées comme concurrentielles. Cette valeur est une donnée communément admise et constitue une règle que nous pouvons qualifier de "règle non écrite".

En réalité, cette valeur est à modérer. D'une part, parce que sont mis en comparaison une filière autonome basique (FSTE et épandage souterrain, les contraintes d'aptitude de sol et de site étant supposées favorables) avec un réseau collectif. Il s'avère pourtant que certaines des contraintes nécessitent de recourir à des systèmes plus coûteux comme un tertre d'infiltration. La distance de raccordement pourrait par conséquent être accrue. D'autre part, le problème du raccordement n'est pas toujours analysé à une échelle correcte de la problématique. Un projet d'urbanisation proche ou au sein d'un secteur d'habitat initialement dispersé, peut exercer une influence telle que le facteur de distance à un réseau collectif devient alors inadapté.

Enfin, et par souci de rigueur, même si les collectivités de faible taille ont des caractéristiques communes sur le plan de leur typologie, il existe néanmoins des spécificités (notamment la façon dont elles définissent une politique d'assainissement collectif par rapport à cette typologie) qui ne permettent pas d'être trop affirmatif en utilisant cette notion de distance de raccordement économique.

- ❖ **Le niveau de complexité trop élevé** de certaines stations d'épuration (leur trop grande modernité pourrions-nous aussi dire), pousse parfois certaines communes aux moyens financiers et techniques limités à ne pas en assurer un niveau de maintenance efficace. Des conséquences directes sur la qualité du milieu récepteur peuvent alors être redoutées en raison de la médiocre qualité des rejets ;
- ❖ Ces **ouvrages de traitement sont aussi soumis à des défaillances de fonctionnement** qui ne sont pas dus à un manque d'intervention humaine, mais à des débits d'entrée variables induits par des variations saisonnières de population ;
- ❖ Du fait des progrès effectués par les communes dans le transport et la collecte des eaux usées, la pollution domestique peut aujourd'hui constituer une véritable **source de dégradation des réseaux hydrographiques de surface** (cours d'eau, ...) par concentration des effluents en un point de rejet unique.

Ainsi, comparés aux investissements réalisés par les communes (en 1997, 90 % de la population française relevant de l'assainissement collectif étaient desservis par un réseau public, dont 85 % étaient raccordés à une STEP [GRAIE, 97]) et à ceux annoncés (toujours en 1997, le chiffre de 50 milliards de francs pour les collectivités de moins de 2000 habitants était avancé), les résultats moyens produits par les équipements collectifs révèlent un premier enjeu : ne plus recourir de façon systématique au couple STEP-réseau collectif classique (sous forme gravitaire) en ne le considérant plus comme l'équipement d'assainissement principal.

Actuellement, les derniers arrêtés ou circulaires ENVIRONNEMENT (notamment la circulaire du 22 mai 1997) visent à infléchir la culture du "tout collectif" à travers deux autres enjeux :

- ❖ Faire adhérer à la solution assainissement individuel, les usagers et les décideurs en renforçant les actions en faveur des collectivités locales, notamment de la part des Agences de l'Eau. Ces actions se traduisent par des taux d'aides incitatifs pour les travaux de réhabilitation (l'assainissement des nouveaux logements n'est pas financé) ;
- ❖ Quant il s'agit de mettre en œuvre un dispositif neuf, remédier aux insuffisances constatées pour effectuer un travail de qualité. En effet, d'une part aucune étude n'est conduite pour déterminer la filière d'assainissement individuelle la mieux adaptée et d'autre part, la technique est souvent mal maîtrisée par les constructeurs d'habitations individuelles et les usagers qui en ont l'entretien à charge.

2.3. Les conséquences de la rénovation de la politique d'assainissement

La réforme du régime juridique national en matière d'assainissement des eaux usées a été engagé par la loi sur l'eau de 1992.

Nous avons déjà partiellement abordé ce point lors de l'exposé des contraintes réglementaires posées par les différents modes d'assainissement. De manière plus générale, nous pouvons dire que pour toute commune, cette réforme a permis une évolution juridique fondamentale :

- ❖ De l'exercice de la police de l'eau ;
- ❖ Des compétences et des obligations des communes.

En instituant une approche globale des milieux aquatiques, le nouveau paysage juridique autorise aujourd'hui l'exercice de la police de l'eau à l'égard des systèmes d'assainissement et de leurs rejets.

En ignorant les limites du territoire communal, **cet exercice doit se focaliser sur l'ensemble des pollutions** qui émanent des réseaux d'eaux usées et à leurs effets cumulatifs (ceux issus de la collectivité et les autres) sur le milieu de rejet. Ce point est essentiel, car il sous-entend qu'une commune, même de faible taille, doit d'une part connaître ce qu'elle rejette (quantitativement et qualitativement) et d'autre part évaluer les conséquences de ces rejets sur les milieux récepteurs en fonction des objectifs recherchés ou imposés.

Ceci exige donc que les systèmes d'assainissement mis en œuvre soient fiables tant au niveau de la collecte que du traitement, que leur fonctionnement fasse l'objet d'une surveillance (notamment en ce qui concerne les déversoirs d'orages de réseaux unitaires) et que les zones sensibles soient clairement identifiées afin d'appliquer un traitement renforcé des effluents.

En matière de compétences, les agents des services communaux possèdent désormais un droit d'accès aux propriétés privées pour :

- ❖ La réalisation des branchements à un réseau collectif ;
- ❖ Le contrôle du bon fonctionnement des équipements individuels et le cas échéant leur entretien.

A ce titre, ces missions constituent des actions de service public comme pour l'assainissement collectif, car il s'agit bien de préserver la salubrité sur le territoire communal.

Enfin, **en matière d'obligations les communes doivent délimiter sur leur territoire les zones d'assainissement collectif et non collectif**, afin d'une part de définir précisément l'ensemble des prestations afférentes aux systèmes collectifs et à celles de contrôle des installations individuelles, et d'autre part, de formuler les besoins en collecte et traitement des effluents sur des secteurs où les équipements sont en dysfonctionnement ou inexistantes.

Plus généralement, nous pensons que les enjeux fixés par cette réforme juridique (bientôt modifiée par un projet de loi révisant la loi sur l'eau de 1992), invitent les collectivités de faible taille à développer des solutions adaptées à leur contexte. Les textes réglementaires proposent des éléments de choix entre système collectif, autonome et par extension autonome regroupé.

Cependant, à l'échelle locale, la politique d'assainissement ne saurait se résumer à une action réglementaire. Chaque commune doit impérativement mener des études préalables : les études de zonage. Leur objectif est d'arriver à une organisation cohérente et pertinente de l'assainissement communal pour que la logique promouvant l'assainissement aux dépens des équipements non collectifs, qui semble se dégager de la réglementation ne prévale pas systématiquement.

3. L'organisation de l'assainissement communal

3.1. Les enjeux généraux posés par l'élaboration d'un zonage

En découpant le territoire communal en secteurs d'assainissement collectif et non collectif, le zonage apparaît comme un outil d'aménagement durable pour les collectivités locales, particulièrement pour celles dont la population est relativement faible et pour lesquelles la connaissance des systèmes en place est parcellaire. Un exemple de zonage est donné par la figure 15 [AEAP, 99].

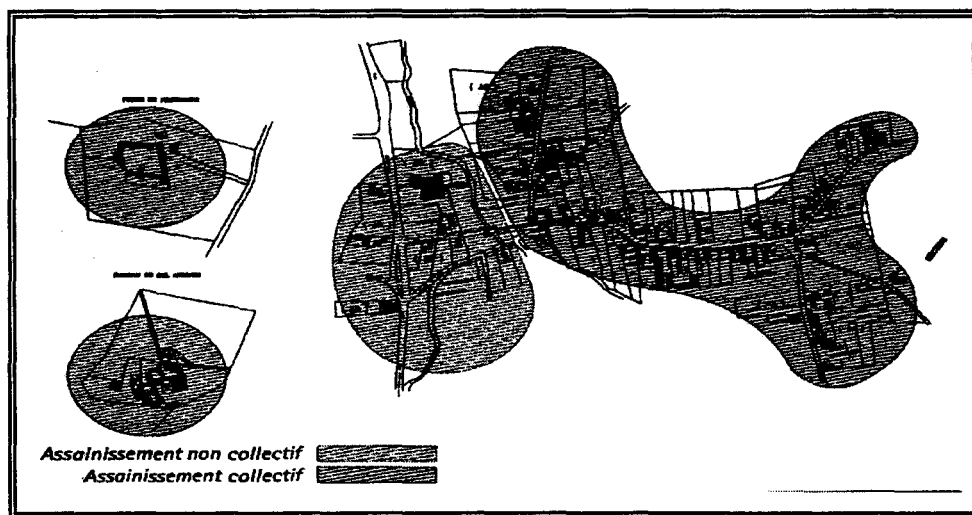


Figure 15 : exemple de zonage d'assainissement.

L'élaboration d'un zonage doit permettre :

- ❖ De développer une approche globale et intégrée de l'ensemble des problématiques d'assainissement : diagnostiquer les équipements soumis à des dysfonctionnements (rejets non conformes, mauvaise collecte des effluents, traitement absent, ...) et identifier les habitations non assainies ;
- ❖ De mener une réflexion sur les choix des systèmes à mettre en œuvre ;
- ❖ D'orienter ces choix en fonction du contexte physique et urbain de la commune, ainsi que des objectifs de préservation de la qualité du milieu naturel.

Dans l'idéal, le zonage doit donc parvenir à conseiller les modes d'assainissement les plus adaptés à chaque type d'habitat en sachant justifier pourquoi un réseau est préféré sur certains secteurs et un mode non collectif sur d'autres.

3.2. Quels secteurs du territoire communal sont concernés ?

Dans le cadre d'une approche intégrée de l'assainissement des eaux usées, c'est l'ensemble du territoire qui est concerné puisque le zonage se fonde en premier lieu sur l'analyse de l'existant.

Toutefois, dès lors que la commune a procédé au transfert de tout ou partie de ses attributions à une structure intercommunale (syndicat, communauté, ...), les limites territoriales sont bien entendu repoussées à celles définies par le groupement de collectivités.

Pour l'existant, il s'agit donc :

- ❖ De l'habitat le plus dense de la commune ("le bourg") qui est le plus souvent raccordé à un réseau collectif ;
- ❖ Des écarts que constituent les hameaux ou les grappes d'habitations ;
- ❖ Des habitations isolées dont l'assainissement non collectif est parfois non conforme aux prescriptions de rejets ou même inexistant.

En outre, parce qu'il est aussi un des supports d'élaboration ou de réorientation des documents d'urbanisme (notamment le plan d'occupation des sols), le zonage doit intégrer les secteurs non bâtis sur lesquels une urbanisation est autorisée et prévue.

3.3. La problématique d'assainissement associée

En matière de diagnostic de l'existant, lorsqu'un système est défaillant, il peut s'agir :

- ❖ **De dispositifs non collectifs.** La problématique consiste à évaluer les besoins en terme :
 - ☐ de *réhabilitation* : faut-il procéder à une mise en conformité du traitement des effluents vis à vis des normes en vigueur ?
 - ☐ de *restructuration* : faut-il mettre en œuvre un autre dispositif de traitement apte à rejeter des effluents compatibles avec les caractéristiques du milieu récepteur ?

- d'*abandon*, soit au profit d'un mode d'assainissement de type autonome regroupé par exemple en anticipant sur une densification à venir de l'habitat, soit au profit d'un raccordement à un réseau de collecte qui serait réalisé dans le cadre de l'urbanisation du secteur concerné ou d'une zone proche constructible ;

- ❖ **d'un réseau collectif** et la problématique est aussi définie en termes de *réhabilitation* (pas de changement de collecteur), ou de *restructuration partielle ou totale* du système (remplacement de collecteurs et/ou aménagements supplémentaires).

Les dispositions réglementaires présentent une volonté forte de ramener l'assainissement non collectif au premier plan des études de zonage par les avantages qu'il procure. **Nous ne traiterons donc que le cas de la défaillance des équipements autonomes ou autonomes regroupés et celui d'habitations non assainies** dans le cadre de cette première partie de la thèse.

II. L'étude de zonage

1. Exposé des principes actuellement retenus

Nous considérons ici que le diagnostic de l'existant a été effectué et a permis d'identifier clairement les parties du territoire communal caractérisées par des systèmes non collectifs en dysfonctionnement ou absents. La présentation de la démarche générale des études de zonage ne concernera donc que celle qui se focalise sur l'étude des solutions à mettre en œuvre sur ces secteurs afin d'y (re)trouver une collecte et un traitement des rejets d'eaux usées domestiques conformes aux normes en vigueur.

1.1. Analyse de l'habitat

L'étude de l'habitat conduit à **un découpage** des secteurs précités en sous-secteurs que nous appellerons "**sous-zones**". L'ensemble de ces sous-zones forme la **zone d'étude** que nous représentons comme indiqué figure 16.

Le travail préliminaire de découpage aura été effectué par le bureau d'études en accord avec le décideur. Il prend en compte :

- ❖ La densité de population ;
- ❖ La répartition de l'habitat.

La figure 16 montre un découpage de la zone d'étude en quatre sous-zones.

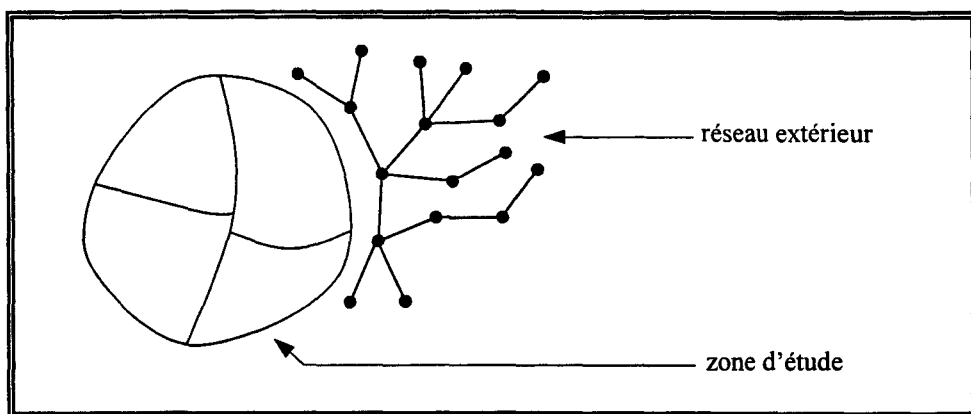


Figure 16 : représentation de la zone d'étude.

Ce schéma “type” constituera la base de notre démarche méthodologique et nous conserverons cette représentation tout au long du document.

En outre, la figure montre un réseau d’assainissement extérieur à la zone. Dans l’absolu, considérer ou non son existence n’est pas essentiel pour notre travail. Il en va de même pour la nature des effluents qu’il collecte (séparatif eaux usées ou unitaire).

Cependant, nous nous plaçons dans le cas le plus général possible. Nous supposons donc que quelle que soit sa taille, la commune est déjà assainie en collectif eaux usées. Elle possède son propre réseau, ou bien elle fait partie d’une intercommunalité dont le système de collecte la desservant (au moins en partie) transporte les effluents vers une unité de traitement (station d’épuration).

1.2. Etude des solutions d’assainissement autonome

Sur chaque sous-zone, la réalisation potentielle des 3 filières correspondantes est analysée en prenant en compte la surface disponible sur chaque parcelle, le mode d’implantation du bâti (vis à vis de l’accès pour entretien), les usages de l’espace privatif, ainsi que la topographie des terrains (la pente).

Chaque sous zone est ensuite soumise à une étude d’aptitude du sol sur la base de contraintes :

- ❖ Pédologiques : nature des couches de sol, perméabilités ;
- ❖ Hydrogéologiques : profondeur de la nappe phréatique.

Dans le cas général, trois types de sol sont définis :

- ❖ Type 1 : aptitude à l’épandage souterrain ;
- ❖ Type 2 : aptitude à l’épandage par un sol reconstitué (tertre d’infiltration) ;
- ❖ Type 3 : aptitude à l’épandage par filtre à sable drainant.

Presque toujours, les études proposent de façon prioritaire un dispositif par épandage souterrain, car celui-ci procure une épuration performante des effluents pour le coût d’investissement le plus faible.

1.3. Etude des solutions d'assainissement autonome regroupé et collectif

Sur les sous-zones où, par défaut, une épuration à la parcelle par un dispositif individuel n'est pas possible (par exemple dans le cas d'une surface de parcelle disponible trop faible), l'étude s'oriente vers :

- ❖ Des solutions de regroupement de l'habitat. Il s'agit alors de rechercher une surface d'épuration collective suffisante pour laquelle le sol répond aux contraintes d'aptitude au traitement ;
- ❖ Des solutions de raccordement à un réseau existant. Ici, ce sont les contraintes de compatibilité hydraulique avec ce réseau (débits) et avec la station d'épuration (volumes), les contraintes topographiques, ainsi que la distance de raccordement qui sont évaluées.

1.4. Analyse économique

A l'échelle d'une sous-zone, lorsque plusieurs alternatives se présentent, le choix de celle à retenir se fonde alors sur une analyse comparée des coûts d'investissement mis en jeu.

Bien souvent, à ce niveau de l'étude, la solution de raccordement à un réseau est rejetée en raison de l'invocation de la valeur limite de distance (30 mètres) au delà de laquelle elle n'est plus compétitive.

La démarche générale des études de zonage que nous venons d'exposer est résumée par le synoptique de la figure 17.



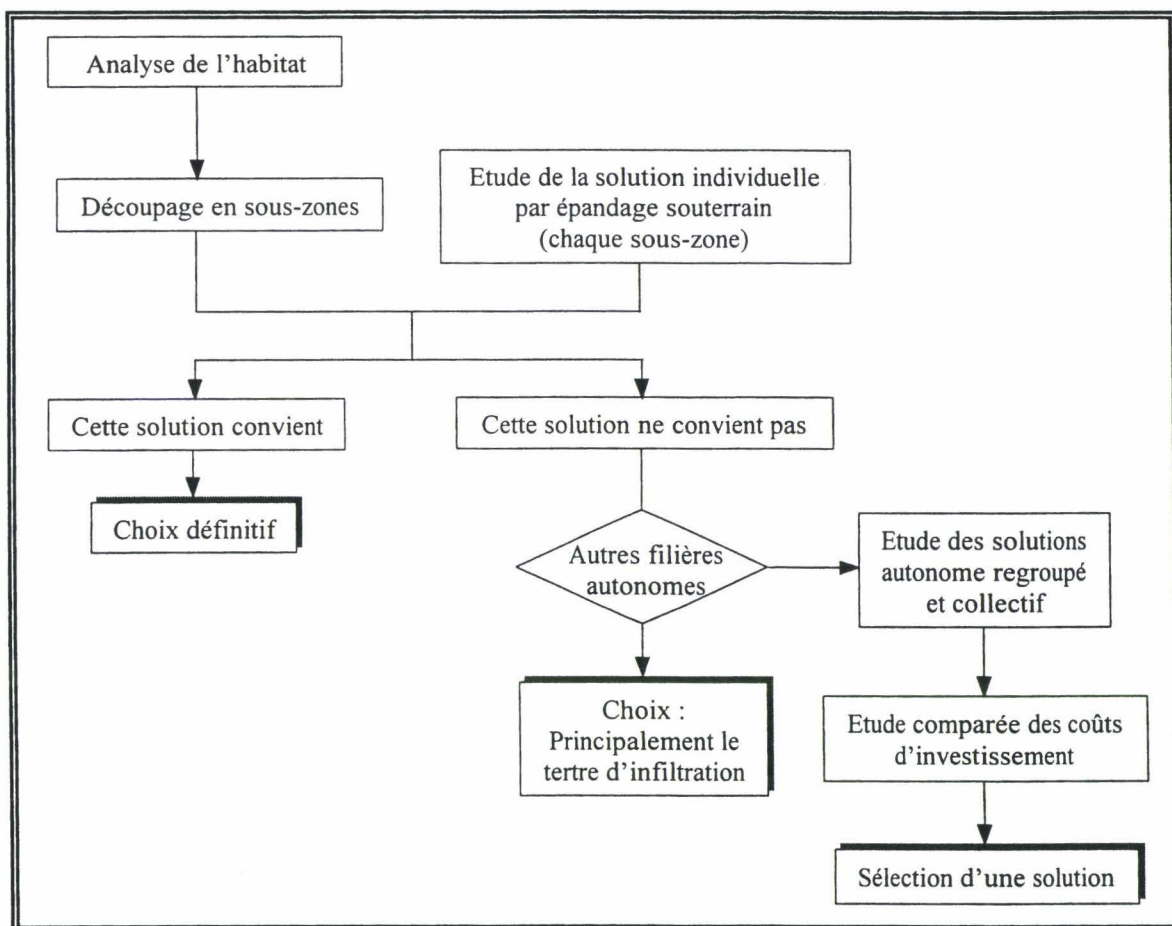


Figure 17 : synoptique général des études de zonage -
Cas d'un assainissement non collectif en dysfonctionnement ou absent.

2. Limites posées par les informations utilisées

2.1. Leur contenu

Dans le cas de petites collectivités, les informations recueillies sont souvent éparées, parcellaires, ou erronées. Dans ce contexte, il est évident que des connaissances tirées d'informations de ce type mèneront inévitablement à élaborer des solutions qui, même si elles paraissent pertinentes au regard de ces informations, demeureront inadaptées au contexte lors de leur réalisation et/ou pendant leur durée de vie. La démarche d'analyse des informations recueillies est donc essentielle.

Le bureau d'études doit chercher à connaître :

- ❖ **Leur degré de détermination.** Autrement dit, une information dont il ne connaît qu'une partie est-elle suffisante pour déterminer de façon unique cette information ? Si oui, il s'agit alors d'une information clé. Sinon, il devra rechercher son complément. Celui-ci peut être exprimé sous la forme d'une autre information parmi l'ensemble détenu, ou bien sous une forme qu'aucune de celles déjà acquise ne peut fournir. Elle doit alors être trouvée hors de l'ensemble. Par exemple, la perméabilité ne permet pas à elle seule de connaître l'aptitude d'un sol à l'épuration, les connaissances complémentaires telles que la profondeur de la nappe ou du substratum perméable sont nécessaires. Par contre, une parcelle dont la surface est inférieure à 600 m² n'implique pas de déterminer le mode d'implantation du bâti, puisqu'elle est de toute façon trop petite pour y implanter un assainissement individuel ;

- ❖ **Leur degré d'équivalence,** afin de ne pas traiter d'informations inutiles à la résolution du problème. Connaître la perméabilité d'un sol n'est pas équivalent à connaître le type d'assainissement autonome à proposer. Par contre, savoir que l'habitat est implanté en bande est équivalent à bannir tout dispositif individuel ;

- ❖ **Leur degré de précision,** afin d'affiner le contenu de certaines informations. Par exemple, il est nécessaire de connaître les valeurs de perméabilité des sols, ou celle des surfaces de parcelles. Des assertions de type "sol perméable", ou encore "surface de parcelle ok !" ne sont pas suffisamment précises dans leur expression.

3. Limites posées par le modèle de problématique

3.1. Le choix du support de raisonnement

Nous avons vu que pour l'élaboration du zonage communal, la zone d'étude est découpée en sous-zones sur lesquelles sont recherchées des solutions.

Or, la prise de décision en assainissement peut être rendue sensible au découpage comme l'illustre la figure 18.

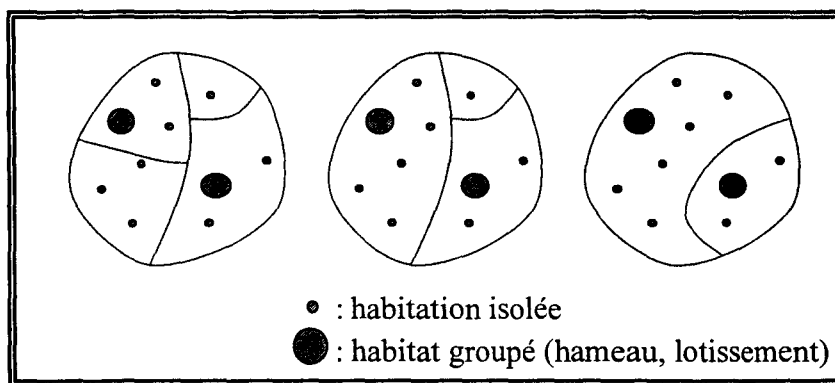


Figure 18 : trois exemples de découpage d'une zone d'étude en sous-zones.

Le découpage en sous-zones est fonction de paramètres comme la typologie urbaine, son évolution en terme de densification, ou encore la distance d'habitations à un système collectif existant. Selon l'appréciation portée sur ces paramètres, des formes diverses de découpage pourront naître et ainsi engendrer la réalisation de modes d'assainissement tout aussi variables dans la mesure où leur mise en œuvre se base également sur certains de ces paramètres (la densité de l'habitat par exemple).

3.2. Le choix des échelles d'analyse

Le processus menant à l'aménagement d'une sous-zone par un système d'assainissement débute par la prise en compte des contraintes techniques exposées au paragraphe 1. à une échelle qui n'est que locale (celle de la sous-zone en question). Dans l'hypothèse où les formes non collectives et collectives sont possibles, la distance au réseau existant présidera alors au choix d'un raccordement ou non.

Mais cette démarche, effectuée sur chaque sous-zone indépendamment les unes des autres, peut finalement, à l'échelle de la zone, conduire à remettre en cause la pertinence des solutions élaborées. Le changement d'échelle introduit un biais [Le Gouévec & Blanpain, 01]. La figure 19 illustre notre propos.

Choisissons au hasard une sous-zone sur laquelle il est proposé d'appliquer un système individuel ou collectif. La longueur de raccordement est évaluée (étape n°1). Si elle est jugée

trop grande (la limite est généralement fixée à 25 ou 30 mètres rappelons-le), alors l'assainissement autonome sera choisi. A une étape ultérieure (étape n°i), le même cas de figure se repose sur une sous-zone plus proche du réseau extérieur. La distance étant cette fois jugée faible, l'assainissement collectif est retenu.

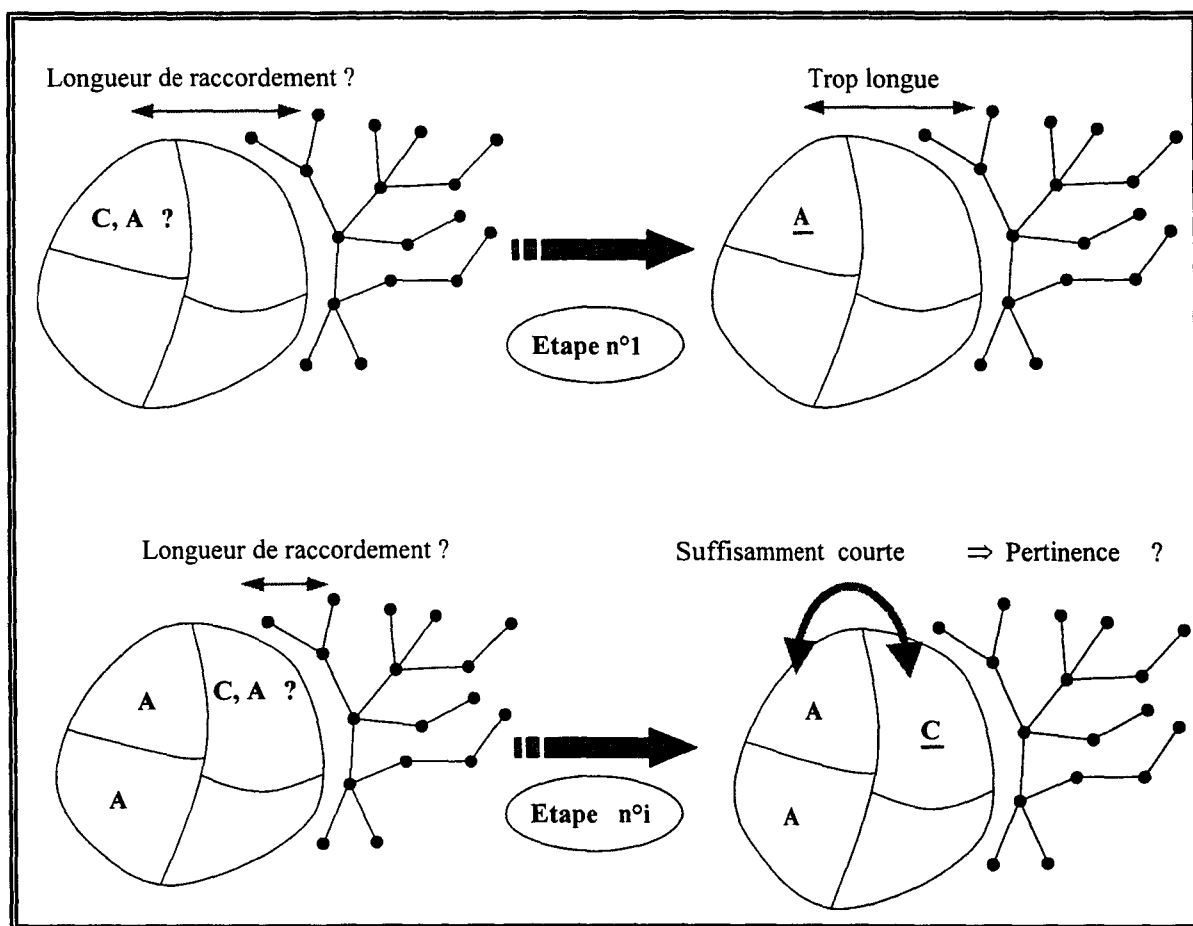


Figure 19 : illustration du biais introduit par un changement d'échelle d'analyse.

Si à ce moment de la démarche, nous effectuons une analyse rétrospective des différents types d'assainissement choisis, nous pouvons penser que le système autonome n'est plus pertinent au regard de la condition d'éloignement au réseau. Initialement supposée trop grand, l'éloignement s'en trouve désormais réduit du fait même du développement du collectif sur une sous-zone voisine. Un système d'assainissement collectif pourrait alors être préféré sur la sous-zone assainie en individuel à l'étape n°1.

Bien sûr, si la sous-zone étudiée la première avait été celle la plus proche du réseau extérieur, la démarche suivie n'aurait peut être pas mené à remettre en cause la pertinence de ces solutions. Toutefois, parce qu'il n'est pas possible de connaître à priori l'ordre dans lequel les sous-zones seront traitées (cet ordre étant dépendant du chargé d'étude), la limite posée par le passage d'une échelle d'analyse locale à une échelle globale reste fondée.

4. Limites posées par les mécanismes de raisonnement

4.1. Bien fondé du raisonnement analytique pour l'étude des solutions

Au départ, le problème que doit résoudre le bureau d'études est généralement posé sous la forme d'un objectif plus ou moins précis. Il peut s'agir d'une formulation de type "rechercher un assainissement performant et durable", ou encore "mettre en œuvre des solutions autonomes qui permettent de redonner au milieu naturel une qualité demandée".

En tout cas, l'objectif apparaîtra souvent comme non aisément réalisable, en raison d'une distance trop grande entre le contexte existant au moment précis de l'étude et la situation finale pour qu'une démarche claire soit établie entre les deux.

Très souvent, le bureau d'études choisit de scinder la problématique en sous-problèmes d'une part pour les confier aux personnes compétentes (l'étude sol pour le pédologue, ...) et d'autre part, parce que les mécanismes de progression vers la solution (la logique de raisonnement) alors mis en jeu l'aideront à préciser puis à atteindre l'objectif. Chaque sous-problème apporte alors une réponse définitive qu'un autre exploitera et la solution finale sera celle fournie par le dernier. La démarche ainsi élaborée est celle d'un processus analytique dont le passage d'un sous-problème à un autre est fait sur la base de relations de cause à effet.

Certes, ce type de raisonnement a son utilité. C'est le cas lorsque les effets peuvent être expliqués par des causes clairement identifiables. Par exemple, dans la recherche des systèmes d'assainissement réalisables sur une sous-zone, si certaines parcelles ont une surface inférieure à la limite requise (600 m^2), alors les filières individuelles ne seront pas possibles et le raccordement de l'habitat à un réseau peut être envisagé. D'une problématique initiale "déterminer les solutions à mettre en œuvre sur la sous-zone", nous sommes passé à deux

sous-problèmes “les solutions autonomes sont-elles possibles” et “le raccordement collectif est-il envisageable?”. La cause d'impossibilité de l'un des modes a donc provoqué l'effet selon lequel un assainissement collectif devait être étudié.

Cet exemple nous permet de penser que dans le cas d'une problématique d'assainissement, le raisonnement analytique est applicable dans la mesure où le support permettant sa formulation (ici, chaque sous-zone) est réductible à un système fermé.

En d'autres termes, il est possible d'extraire le support de son environnement sans que la problématique en soit appauvrie, soit parce que sa résolution ne met pas en jeu les relations que le support peut développer avec son environnement, soit parce qu'aucune perte d'information ou de données (nécessaires aux réponses à apporter) n'est engendrée lors de son extraction.

Ainsi, lorsque l'objectif formulé est de déterminer sur une sous-zone, un sous-ensemble de solutions d'assainissement possibles parmi un ensemble de systèmes existants, la démarche analytique est fondée.

Il ne s'agit ici que d'une étude de faisabilité entre les contraintes présentées par la sous-zone et celles amenées par ces solutions. De même, dans le cas d'un raccordement à un réseau extérieur, sa capacité résiduelle étant connue, elle n'est pas modifiée si la sous-zone concernée est isolée des autres sous-zones.

4.2. Remise en cause en phase de choix

Lorsque sur une sous-zone, un sous-ensemble de solutions d'assainissement possibles est proposé, un choix doit être fait à partir de l'évaluation de chacune de ces solutions.

L'évaluation se fonde sur la prise en compte de critères, souvent nombreux et de nature différente, qui ont un impact potentiel sur la pertinence du choix à formuler.

Nous pouvons citer :

- ❖ Les coûts financiers ;
- ❖ La préservation de la qualité des milieux récepteurs ;
- ❖ Le service rendu aux usagers ;

- ❖ La politique de développement de l’habitat ;
- ❖ ...

Si une démarche analytique est requise pour conduire un raisonnement d’évaluation, elle doit alors faire appel à ces critères.

Mais premièrement, ceux-ci ne sont pas toujours indépendants les uns des autres. Par exemple, une politique forte de développement de l’urbanisation à court terme peut contraindre à choisir un assainissement collectif sur une sous-zone dont la densité de population est faible au moment de l’étude. Il en résulte alors un surcoût financier de départ non négligeable qui se répercute sur le prix de l’eau et en quelque sorte sur le service rendu aux usagers.

Si nous raisonnons analytiquement, nous pouvons formuler la problématique suivante : “*Rechercher un mode d’assainissement tenant compte d’un développement urbain, dont le coût est faible et donnant satisfaction aux usagers*”.

D’après les principes de base de la logique analytique, nous pouvons découper la problématique en 3 sous-problèmes **sp₁**, **sp₂**, **sp₃** exprimés de la façon suivante :

- ❖ **sp₁** : “*rechercher un mode d’assainissement prenant en compte le développement urbain*”. Un assainissement de type autonome regroupé ou collectif peuvent constituer une solution ;
- ❖ **sp₂** : “*rechercher un mode d’assainissement à faible coût*”. Une solution d’assainissement individuel conviendrait ;
- ❖ **sp₃** : “*rechercher un mode d’assainissement permettant la satisfaction des usagers*”. Dans ce cas, un mode collectif serait approprié puisqu’il ne nécessite aucun entretien de la part des usagers.

La reconstitution de la problématique initiale à partir des {sp_i} conduit alors à effectuer un choix sur des **solutions** qui sont **incompatibles** : un assainissement individuel génère un coût d’investissement moins élevé que celui d’un réseau, mais il peut ralentir le développement de l’urbanisation (la commune hésitera beaucoup à demander aux usagers de financer un

assainissement autonome tout en sachant qu'ils devront à court ou moyen terme se raccorder sur un réseau) et ne procure pas toujours un service aux usagers par les contraintes d'entretien qu'il engendre (notamment la nécessité de vidanger régulièrement la fosse septique sous peine de compromettre son fonctionnement).

Le processus analytique montre donc **une première limite**.

Deuxièmement, **certains critères** peuvent être **antagonistes** pour l'évaluation d'une solution potentielle. En concentrant les rejets en un point unique, un assainissement collectif nuit parfois à la préservation de la qualité des milieux récepteurs, malgré un service rendu aux usagers qui est perçu comme bon (aucune contrainte dès le raccordement effectué).

La problématique doit alors être réduite pour être résolue. Elle doit ignorer, soit le critère lié à la qualité du milieu de rejet, soit celui de service rendu.

Le processus analytique montre **une seconde limite**.

Troisièmement, des solutions incompatibles et des critères antagonistes conduisent fréquemment à des **situations d'indécidabilité**, pour lesquelles la logique propositionnelle impliquée par le raisonnement analytique ne peut pas trouver d'issue. Il est dès lors impossible de faire un choix sans faire appel à une aide extérieure (comme par exemple l'avis du décideur), qui remettent de ce fait en cause les automatismes et les formalismes utilisés par le processus : le raisonnement déductif achoppe.

Le processus analytique montre **une troisième limite**.

Enfin, si le choix du bureau d'études diffère de celui que le décideur aura implicitement formulé sur la base de ses propres préférences, lequel faut-il retenir ? Qui a tort ? Qui a raison ? Un des deux choix est-il vraiment mauvais ?

En ne pouvant pas répondre à ces questions, la démarche analytique **montre une quatrième limite** : elle n'est pas structurée pour résoudre **des choix conflictuels**.

Conclusions du chapitre I

Le challenge auquel sont confrontées les études de zonage n'est pas simple. En devant tenir compte de situations spécifiques variables des collectivités de faible taille, des différents modes d'assainissement auxquels elles font référence, sans oublier le cadre réglementaire général mais aussi local de la maîtrise des flux polluants, ce challenge conduit à proposer des solutions ne répondant pas toujours à l'objectif de répartition cohérente sur l'ensemble du territoire.

Les limites posées par l'organisation des connaissances et surtout par le raisonnement uniquement analytique auquel les bureaux d'études recourent pour l'élaboration des solutions possibles, puis pour effectuer un choix, semblent en être la cause principale.

Afin de revenir vers l'outil d'aide à la décision que constituent en principe les études de zonage et vers une organisation rationnelle de l'assainissement des eaux usées sur le territoire communal, le processus de résolution de la problématique doit être reformulé. Cette reformulation passe par une autre conception du modèle de problématique, la séparation de la phase d'élaboration des solutions possibles de celle du choix en leur appliquant deux raisonnements distincts, une réflexion sur la façon dont les critères d'évaluation des systèmes d'assainissement doivent être utilisés et une implication forte du décideur.

Sur ces arguments, le chapitre II propose une approche originale qui se démarque des grands types de raisonnement que nous avons l'habitude de manipuler, comme la méthode analytique.

Chapitre II : Méthodologie d'aide au choix de solutions basée sur un processus de raisonnement systémique et itératif.

Introduction

La réflexion correspondant aux études de zonage d'assainissement se situe actuellement hors du cadre de l'aide à la décision traditionnellement mis en place pour le décideur. En effet, les problèmes cruciaux posés par les multiples enjeux de l'assainissement conduisent souvent à reléguer le décideur au rang d'acteur passif face au technicien qui devient l'acteur central de la problématique d'assainissement. Il en ressort alors un décalage argumentaire entre eux au moment de la décision. Le technicien argumente sur la base de son raisonnement, le décideur sur celle de la proposition qui lui est faite. Le principe d'aide à la décision ne vaut donc plus pour ce dernier, puisqu'il ne maîtrise pas les mécanismes de raisonnement utilisés.

Le retour vers ce principe doit par conséquent impliquer le décideur dans le processus de résolution de la problématique. C'est l'objectif général de ce chapitre.

Le premier point va consister à exposer les grands principes méthodologiques retenus. D'abord, nous reformulerons la problématique de façon globale en supposant la non indépendance des sous-zones. Puis, nous tenterons de représenter la zone d'étude comme un support décisionnel considéré comme complexe à l'aide de la modélisation systémique. Enfin, nous présenterons le modèle général de processus de résolution relatif à la problématique d'assainissement, ainsi que ses propriétés.

Le deuxième point abordera le processus d'élaboration des solutions d'assainissement potentielles. Nous débuterons par l'exposé de l'architecture du système à base de règles utilisé. Puis, nous en exposerons le fonctionnement.

Enfin, le troisième point concernera l'évaluation de ces solutions en adoptant un point de vue multicritère de la problématique. Fondée sur les notions de relations de préférence et de

surclassement, la méthode multicritère ELECTRE II sera présentée, ainsi qu'une formulation itérative des propositions de solutions.

I. Formalisation de la méthodologie d'aide au choix

1. Objectifs recherchés

1.1. Impliquer le décideur en amont de la phase de choix

Nous avons vu que les problèmes d'assainissement prennent un relief particulier pour une commune dont la population est relativement faible. Les défis imposés au décideur le prennent souvent au dépourvu pour répondre aux exigences d'une réglementation nouvelle et organiser une politique d'assainissement.

Au moment du choix du ou des systèmes d'assainissement à mettre en œuvre, le décideur ne trouve pas toujours de réponse (ou toutes les réponses) aux interrogations qu'il formule parce qu'il ne maîtrise pas les tenants et les aboutissants de la proposition qui lui est soumise. En d'autres termes, le raisonnement mené entre la formulation de la problématique et sa résolution ne lui permet pas de saisir l'ensemble des éléments et des mécanismes concrets de compréhension des choix qui sont faits, ainsi que les raisons de l'échec de certains vis à vis des besoins initiaux.

Le premier objectif que nous recherchons, consiste à (re)donner au décideur un rôle central dans le processus de réflexion stratégique qu'une étude de zonage induit. L'outil méthodologique d'aide au choix que nous souhaitons construire, s'oriente donc vers une aide au choix de solutions d'assainissement des eaux usées dont les principes reposent sur **une participation active du décideur dès la phase d'évaluation des solutions** potentiellement réalisables jusqu'à l'étape ultime du choix.

1.2. Adopter une attitude plus globale à l'égard de la problématique

La problématique d'assainissement ne peut pas se limiter à la recherche de solutions sous-zone par sous-zone. Dans l'esprit de cohérence qui ressort du régime juridique de la loi sur l'eau, mettre en place une démarche capable d'effectuer une analyse critique des solutions à

appliquer sur chaque sous-zone à l'échelle de la zone d'étude, s'avère nécessaire pour la pertinence des solutions et la rationalité du zonage.

Si un collecteur traverse un secteur d'habitat dont la densité est faible, une pression à l'urbanisation peut survenir sur ce secteur même si aucun projet ne figure sur les documents d'urbanisme. Ainsi, l'enclenchement de la croissance urbaine n'est pas le résultat d'une volonté réfléchie, mais celui de l'existence d'une canalisation qu'il convient de rentabiliser dans un secteur dont la vocation n'était pas a priori vouée au développement de l'habitat. Le choix d'un assainissement individuel sur une sous-zone en raison d'un habitat dispersé n'est alors plus pertinent et remet par conséquent en cause la rationalité de l'organisation des systèmes à l'échelle de la zone, donc le zonage.

Le passage d'un point de vue local (la sous-zone) à un point de vue global (la zone d'étude) ne doit pas être effectué sous la forme d'un "saut". Il doit emprunter un cheminement particulier en supposant que les sous-zones ne sont pas indépendantes les unes des autres.

L'adoption d'une attitude plus globale à l'égard de la problématique d'assainissement doit donc aussi tenir compte de cette notion de dépendance. En postulant pour l'existence de relations spécifiques entre les sous-zones que nous qualifions d'**interactions potentielles**, la problématique peut alors être formulée plus intelligemment et de façon plus riche.

Par ailleurs, ces relations ne se limitent pas aux sous-zones. Nous devons aussi considérer que la zone n'est pas isolée de son environnement. L'exemple de la nécessité d'une compatibilité hydraulique d'un réseau existant (et extérieur à la zone) avec un possible raccordement des habitations d'une sous-zone le montre bien. De même, l'approche globale des flux polluants imposée par le contexte juridique appelle aussi à considérer une relation forte entre la qualité des rejets de l'ensemble des modes d'assainissement de la zone et la qualité des milieux récepteurs, y compris ceux extérieurs aux limites du territoire communal.

1.3. Reformuler le processus de choix de solutions

Les interactions que nous prenons désormais en compte nécessitent de supposer que le processus d'évaluation de chaque solution d'assainissement doit être évolutif. En effet, l'expression du choix d'une solution ne doit plus être fondé sur le seul "intérêt" qu'elle

procure sur une sous-zone, mais aussi sur son adéquation avec le choix déjà effectué sur d'autres sous-zones. Le processus doit donc pouvoir être “**corrigé rétroactivement**” au fur et à mesure de l'avancement des choix sur les sous-zones : un choix à l'étape (i) peut être remis en cause à l'étape (i+1).

L'intérêt qu'une solution suscite est en pratique traduit par une satisfaction sur un ensemble de critères, appelés critères de choix. Supposons que le choix est établi sur un seul critère. Le processus évolutif tel que nous l'avons défini, implique qu'une solution soit satisfaisante sur ce critère à l'étape (i), puis ne le soit plus à l'étape (i+1). Il faut donc accepter qu'au cours du processus le critère puisse devenir défavorable pour le choix de cette solution.

Ainsi, étendu à l'ensemble des critères, ce raisonnement peut conduire à des situations où :

- ❖ Certains d'entre eux sont conflictuels par rapport à la décision à prendre sur une solution potentielle. Par exemple, elle peut satisfaire les critères A, C et D mais pas B et E ;
- ❖ Des situations deviennent difficilement décidables en raison de solutions satisfaisant par exemple 4 critères sur 5 pour certaines ou 2 sur 5 pour d'autres.

Dans ce cadre, la résolution de la problématique de choix semble donc en apparence ardue. Or, la question de savoir s'il est nécessaire de rechercher à résoudre un problème en se reposant sur une convergence absolue du raisonnement ? Non. Une solution potentielle n'a pas à satisfaire tous les critères pour qu'elle devienne une solution effective du problème. A priori, il peut suffire qu'elle soit satisfaisante pour le plus grand nombre d'entre eux, ou encore pour un critère majeur.

Evidemment, les configurations de solutions sont nombreuses, mais ce qui importe réside dans le fait que le processus de choix n'induit pas la recherche d'une solution unique et optimale vis à vis de tous les critères élaborés.

En effet, la réduction de la problématique à une dimension monocritère ne ferait alors que la limiter à la résolution d'un problème “mathématiquement bien posé” (nous développerons ce point au chapitre III). Le calcul du choix permettrait donc de conclure qu'il est le seul, mais pas qu'il est le plus adapté. Dans ce cas, le dénoncer ne suffirait pas car aucune alternative plus satisfaisante ne pourrait être proposée et la problématique resterait sans réponse.

Nous postulons donc pour une démarche de décision qui traduise le **choix** comme **satisfaisant** et non **pas optimal** en nous fondant sur les travaux de H. A. Simon qui proposa de forger le néologisme anglais *Satisficing* à propos de décisions non issues d'un processus d'optimisation [Le Moigne (2), 99].

2. Deux questions - réponses concernant la problématique d'assainissement

2.1. Première question : la problématique est-elle compliquée ou complexe ?

Par analogie avec la distinction popularisée par Le Moigne entre un système compliqué et un système complexe [Clergue, 97], nous pouvons dire qu'une problématique de projet d'assainissement (celle de la zone d'étude) est compliquée s'il est possible de la découper en sous-problèmes élémentaires et indépendants (les sous-problèmes des sous-zones) qui s'enchaînent de façon linéaire. L'analyse et l'explication de chacun d'entre eux permet de reconstituer la problématique dans sa globalité en ne laissant aucune place à l'imprévisibilité dans la réalisation du projet.

Par contre, la problématique est considérée complexe si sa résolution n'est pas directement envisageable par l'analyse (sous entendu cartésienne). Elle se définit alors par un ensemble qui n'est pas égal à la somme de ses parties et pour lesquelles, les relations mises en jeu ne sont pas causales. Le processus de raisonnement formulé peut subir des changements souvent impossibles à prévoir dès le début.

Or, nous avons vu au paragraphe 1.2. que la problématique d'assainissement, dans sa phase de choix à partir d'un sous-ensemble de solutions possibles, est à concevoir dans son unité ET dans ses interactions.

Par conséquent, chercher à simplifier la problématique en la réduisant à des sous-problèmes indépendants relatifs aux sous-zones pour élaborer une réponse est une erreur de raisonnement compte tenu de la conception que nous en avons. La problématique n'est donc pas compliquée.

En revanche, faire l'hypothèse d'une problématique complexe nous semble fondé pour les raisons suivantes :

- ❖ D'une part, parce que l'observation du support de raisonnement (la zone d'étude) montre des propriétés qui n'apparaissent pas dans les éléments qui le composent (les sous-zones) : les interactions ne sont dévoilées qu'à une échelle globale de la zone ;
- ❖ D'autre part, à travers les notions d'indécidabilité et d'incertitude opérant sur le choix lorsqu'il ne s'agit plus de rechercher une solution optimale, le raisonnement apporte aux conclusions une certaine forme d'instabilité. Les actions engendrées modifient les finalités du projet, qui en reformule de nouvelles jusqu'à atteindre un équilibre.

2.2. Deuxième question : comment modéliser la zone d'étude ?

De manière générale, le travail de représentation d'un objet (sa modélisation) se décompose en deux étapes : l'identifier et le caractériser, puis procéder à l'établissement du modèle.

Dans notre cas, l'identification de l'objet est claire : il s'agit de la zone d'étude. Voyons maintenant comment caractériser et modéliser la zone d'étude.

Caractérisation de la zone d'étude

Historiquement, le développement de la science occidentale est issu d'une vieille tradition rationaliste remontant à Aristote (rationalité analytique) et dont en France, Descartes est un des plus fidèles représentants. Pourtant, depuis une vingtaine d'années, cette approche est de plus en plus remise en question lorsque la structure d'un objet n'est pas au centre des interrogations.

Un mode de raisonnement alternatif à la modélisation analytique est possible en effectuant un effort de reformulation paradigmatique⁴. Cet effort de reformulation fut exprimé par le passage du paradigme de la mécanique rationnelle au paradigme de la mécanique statistique au cours du XIX^{ème} siècle [Le Moigne (1), 84] :

- ❖ la mécanique rationnelle présuppose qu'un objet ne peut pas être expliqué si sa structure, dont l'existence est certaine, unique et invariante, n'a pas été préalablement mise en

⁴ Un paradigme est un modèle théorique de pensée.

évidence. La structure explicative de l'objet est fondamentale dans le discours cartésien, car elle est la cause de l'effet observé, c'est à dire de la fonction assurée (principe de causalité) ;

- ❖ la mécanique statistique (encore appelée thermodynamique), en posant la question du fonctionnement de l'objet dans un environnement vide (l'objet est alors décrit comme un système fermé), préfère parler d'évolution plutôt que de fonctionnement : cette activité de l'objet devient alors inintéressante et cède la place à l'étude des transformations internes, considérées comme bien plus essentielles. Ce changement d'état d'esprit est fondamental, puisqu'il exprime une volonté profonde de reconnaître à l'objet des qualités intrinsèques en adoptant un point de vue non plus microscopique (dissection de l'objet pour en étudier sa structure), mais macroscopique (l'évolution de l'objet est autrement instructive).

C'est dans cet esprit que le paradigme structuraliste, unificateur des deux mécaniques, s'est déployé entre 1950 et 1970 en se fondant sur l'hypothèse selon laquelle le comportement d'un objet est représenté par la conjonction des concepts de fonctionnement et de transformation. Désormais, l'objet en fonctionnant, se transforme et en se transformant, il assure certaines fonctions (certaines finalités).

La figure 20 synthétise les différents paradigmes de conception d'un objet [Le Moigne (1), 84].

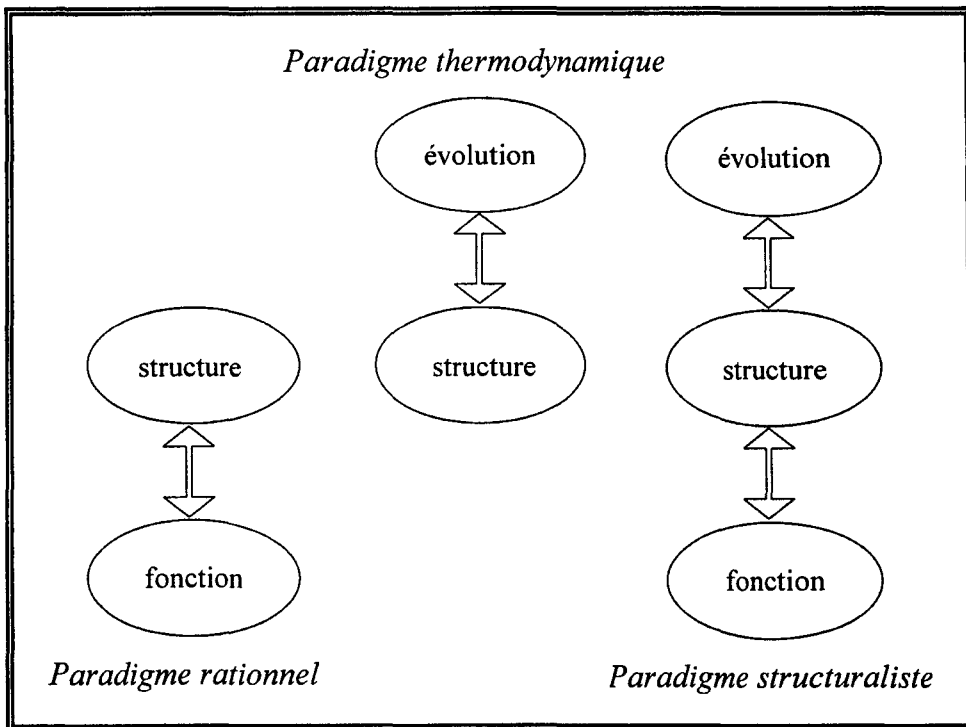


Figure 20 : les trois paradigmes de conception d'un objet.

Cette étape de conciliation, ou plutôt de réconciliation de deux voies de modélisation d'un objet qu'est la démarche structuraliste, va dégager à partir de 1968 un nouveau concept de modélisation de cet objet par conjonction avec le paradigme cybernétique : **le concept de système ou paradigme systémique** .

En construisant une nouvelle forme de modélisation, la cybernétique propose que le modélisateur ne se focalise plus sur les mécanismes régissant la structure d'un phénomène étudié en les enfermant à l'intérieur de "boites noires", mais sur la représentation et la compréhension des comportements de ce phénomène qu'il décrit par rapport aux environnements dans lesquels il fonctionne et se transforme. La notion d'environnement apparaît donc, l'objet (la zone d'étude) est dès lors définitivement décrit comme un système ouvert pratiquant de nombreux échanges avec tout ce qui l'entoure (c'est ce que sous-entendait la propriété de transformation évoquée par le paradigme structuraliste). Le comportement de ce système peut donc être qualifié d'actif.

L'approche que nous choisissons donc d'adopter concernant **la modélisation de la zone d'étude** est celle que nous venons d'exposer ci-dessus et qui est appelée **approche système**. Cette approche n'est pas une théorie bien formalisée, ni une méthodologie bien codifiée [De Montgolfier & Bertier, 78]. C'est plutôt une attitude d'esprit à adopter lorsque l'on effectue une représentation (une modélisation) d'une situation, d'un objet, ou d'un phénomène. L'approche système est alors légitime parce que la vision du problème à étudier est celle d'un système tel que nous l'avons défini ci-dessus : c'est la vision systémique.

Le système "zone d'étude" est défini par quatre concepts [Durand, 98] :

- ❖ *la complexité*, dont l'origine provient de la composition même du système et de ses liaisons et des aléas propres à l'environnement de celui-ci ;
- ❖ *l'ouverture du système*, c'est à dire ses relations avec son environnement ;
- ❖ *la globalité* : la priorité est donnée à la description des interactions entre ses éléments, plutôt qu'à la description structurelle de chacun d'entre eux ;
- ❖ *l'organisation*, concept central du système, qui exprime l'organisation des interactions.

Appliqués à la zone d'étude, les concepts d'ouverture et de globalité peuvent être représentés par la figure 21 [Le Gouévec & Blanpain, 00].

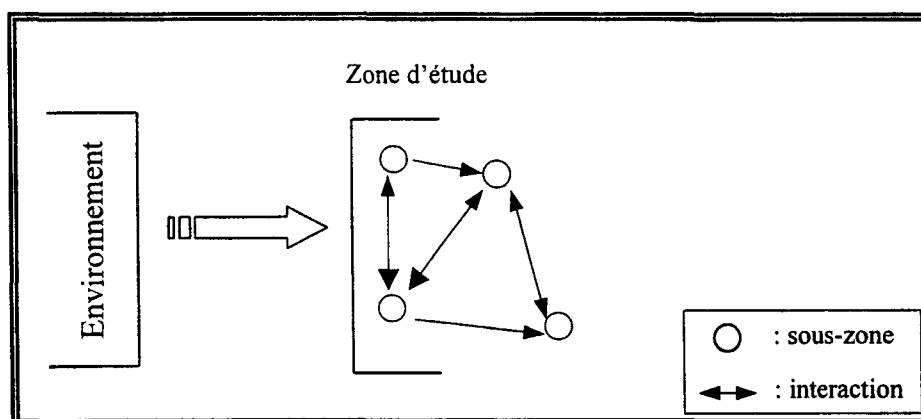


Figure 21 : application des concepts de globalité et d'ouverture au système "zone d'étude".

Modélisation de la zone d'étude

La représentation d'un système complexe sous forme d'un réseau⁵ graphique constitue un outil privilégié de l'approche systémique, car celui-ci met bien en évidence les relations entre éléments et permet une appréhension plus globale du système à représenter : la représentation graphique fait donc partie intégrante de la modélisation systémique.

Parmi beaucoup de modèles possibles, *l'archétype du modèle de système à neuf niveaux* [Le Moigne (2), 99] est approprié lorsque nous cherchons à organiser le modèle d'un système complexe.

Chacun de ces neuf niveaux de complexification progressive d'un système ne couvre pas les mêmes champs. Les **niveaux 1,2,3 et 4** (avant introduction de la capacité à décider) sont ceux relatifs à la catégorie des **systèmes de type machine**. Les **niveaux 5, 6 et 7** couvrent le domaine de **la vie** (avec l'apparition de la mémoire et de la coordination). Enfin, les **niveaux 8 et 9** sont ceux des domaines **humain** et **social** (avec l'émergence de l'intelligence et de la conscience).

Etant donné que la construction de notre outil se focalise sur une méthodologie d'aide au choix de solutions, son développement se bornera à n'intégrer que les quatre premiers niveaux du modèle archétype pour deux raisons :

- ❖ la méthodologie propose un modèle de raisonnement ne comportant que les activités de formulation de problème, d'élaboration et d'évaluation des solutions potentielles. La sphère décisionnelle n'y est pas incluse, elle reste extérieure au processus de modélisation ;
- ❖ le modèle ne générant aucune décision, les propriétés de décision autonome, de mémoire, de coordination, d'imagination et d'auto-finalisation correspondantes aux niveaux 5, 6, 7, 8 et 9 sont de ce fait inutiles à prendre en considération.

⁵ un réseau met en évidence les relations entre les éléments d'un système.

L'organisation du système complexe "zone d'étude" suivant les quatre premiers niveaux du modèle archétype est représentée figure 22.

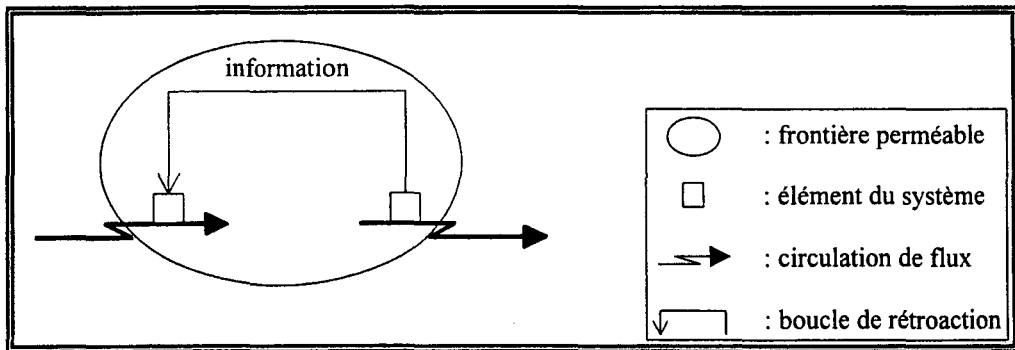


Figure 22 : organisation du système complexe suivant les quatre premiers niveaux du modèle archétype de Le Moigne.

Enfin, le processus conduisant à la décision, bien que séquençable (diagnostic de fonctionnement, formuler le problème, concevoir des solutions, effectuer un choix, le justifier), n'est plus supposé établir de relation linéaire entre les séquences et le choix qui est fait. Il existe désormais à l'intérieur de ce processus une possibilité de remise en cause des résultats par effets rétroactifs.

Ainsi, l'approche systémique de la problématique en projet d'assainissement étant posée, sa modélisation systémique doit maintenant être recherchée.

3. Modélisation du processus de résolution de la problématique

3.1. Résoudre, c'est décider... oui mais comment ?

Dans le contexte d'un raisonnement analytique, lorsqu'il s'agit d'effectuer un choix parmi un sous-ensemble de solutions possibles, le processus de résolution s'identifie à un processus de calcul dont le résultat est un optimum. La solution retenue étant supposée la meilleure, le choix s'oriente naturellement vers elle sans la remettre en cause.

Le concept de choix optimal que nous avons déjà introduit au paragraphe 1.3, traduit dès lors un point de vue en quelque sorte fataliste de la décision, puisque celle-ci est prédéterminée par le produit du calcul qui n'appelle aucune discussion sur son sens. Conformément au raisonnement utilisé, la décision est un résultat analytique.

Mais une problématique complexe ne peut se satisfaire d'une décision de cette nature. Son caractère fortement multicritère (cf. chapitre I,-II § 4.2.), l'indécidabilité et l'incompatibilité de solutions qui apparaissent dans certaines décisions, sont autant de facteurs qui amènent à **représenter le choix comme une délibération ou une discussion basée sur plusieurs alternatives.**

En d'autres termes, le choix décisionnel doit être perçu comme une activité nourrie de l'élaboration de plusieurs solutions possibles et à partir desquels une démarche d'évaluation contradictoire de chacune d'entre elles générera un nouveau choix. En cela le choix est contradictoire : il est à la fois un processus et son résultat.

Les recherches entreprises par [Newell & Simon, 72] dans le domaine de l'organisation complexe des processus de décision, permettent aujourd'hui de représenter ce processus sous forme systémique à l'aide de deux hypothèses.

[Le Moigne (2), 99] les reprend :

- ❖ *La décision est conception.* Elle consiste à inventer, développer et analyser différentes actions possibles susceptibles de résoudre des problèmes et par là même, d'atteindre des "familles d'objectifs" ;
- ❖ *La décision est intelligente.* C'est un exercice de compréhension de l'environnement au sens large, pour identifier et formuler des problèmes. L'environnement est constitué des acteurs de la décision, ainsi que du (des) phénomène(s) ou de la (des) situation(s) à l'origine des problèmes.

La représentation systémique du processus de décision suggère implicitement des effets de rétroaction entre les différents problèmes, dus au fait de l'existence de ces mêmes effets (les interactions) dans le phénomène ou la situation modélisée.

De plus, la résolution de tous les problèmes ne présuppose pas à priori que l'ensemble des objectifs de la problématique générale puisse être atteint, à la différence d'un raisonnement analytique. Les actions testées ne sont pas préformatées. Il est donc tout à fait possible d'imaginer que parmi elles, certaines soient par exemple incompatibles, mais présentant quand même un intérêt qui nécessite leur évaluation.

La démarche de résolution de la problématique se traduit donc par un processus de décision dont la modélisation doit prendre en compte la situation complexe (ici la situation prend la forme de la zone d'étude), mais aussi le décideur (nous revenons à la nécessité de l'impliquer en amont du choix que nous évoquions au paragraphe 1.1). Ce modèle doit pouvoir être testé en pratique (action et décision doivent être réalisables) et simulé (chaque action et chaque décision peuvent être codées).

3.2. Présentation du modèle canonique de décision - résolution

Sur la base des deux hypothèses formulées par Simon (cf. chapitre II,-I § 3.1.), le processus de décision peut être représenté par un modèle, *le modèle canonique de décision – résolution* [Le Moigne (2), 99]. Il s'appuie sur trois séquences (figure 23) :

- ❖ *La compréhension* de la situation réelle de laquelle doivent émerger un diagnostic de son fonctionnement et la formulation de la problématique générale (la “problématisation”) ;
- ❖ *La conception* et l'évaluation d'actions possibles ;
- ❖ *Le choix* d'une action à retenir et de la décision à prendre.

Mais le processus n'est pas purement séquentiel. Au moment du choix, des boucles “rétro-décisionnelles” (ou itératives) peuvent être générées.

Nous trouvons :

- ❖ La décision de *réflexion* du fait d'un choix rendu non possible en raison d'actions proposées parfois non satisfaisantes. D'autres alternatives doivent alors être conçues (boucle choix – conception – choix) ;

- ❖ La décision de *s'informer* : l'évaluation des actions n'est pas assez discriminante pour effectuer un choix. La formulation de la problématique générale doit être revue, tout au moins partiellement (boucle choix –compréhension – conception – choix) ;
- ❖ La décision *arrêtée* : l'évaluation des actions conduit à un choix satisfaisant parmi celles-ci. L'action choisie est appliquée à la situation réelle ;
- ❖ La décision de *refinalisation* : après un certain nombre d'itérations d'information et/ou de réflexion, si le choix n'est toujours pas considéré satisfaisant, alors le processus peut être modifié. Sont ainsi modifiés les objectifs à atteindre ou encore la problématique générale en la complexifiant un peu plus par exemple.

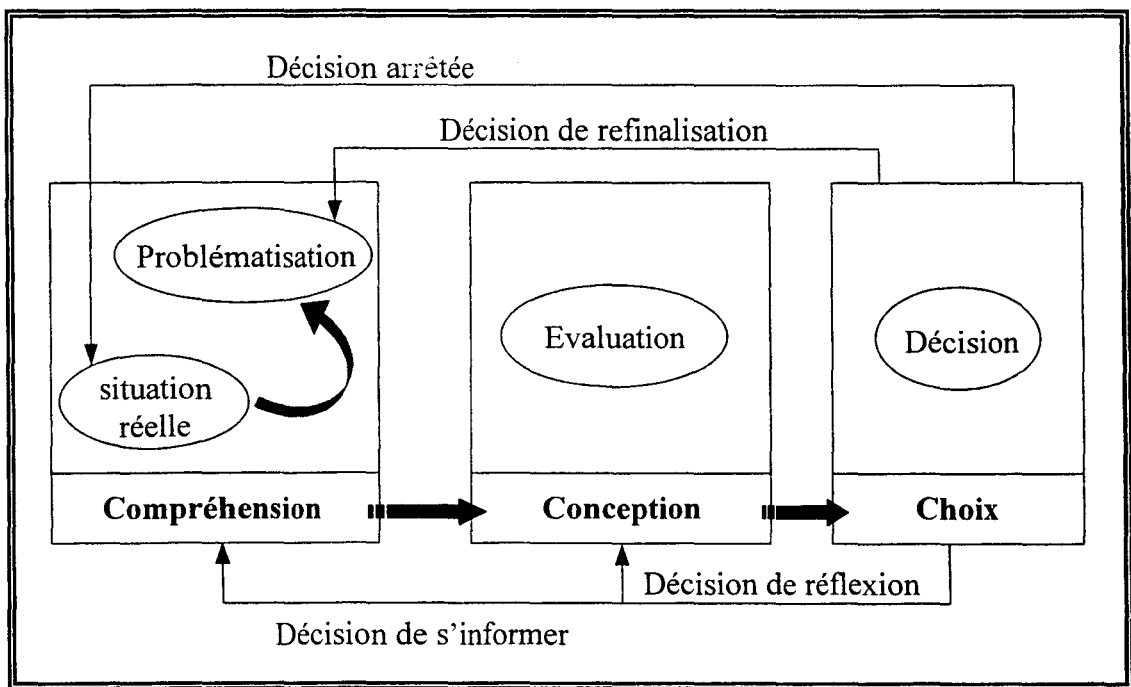


Figure 23 : modèle canonique de décision – résolution.

3.3. Application à la problématique d'assainissement

3.3.1. *La phase de compréhension*

Le processus consiste ici à diagnostiquer le fonctionnement du système opérant, par comparaison de ses performances avec les objectifs recherchés.

Dans le cadre d'une étude de zonage, il s'agit donc de procéder à l'identification des habitations dont les équipements d'assainissement non collectifs sont en dysfonctionnement ou inexistants par rapport aux objectifs de rejets conformes aux normes en vigueur, ou de protection de la qualité des milieux récepteurs (sensibles ou non).

Ce travail de diagnostic permet alors de relever un ensemble de problèmes qui peuvent concerner les équipements eux-mêmes, mais aussi leur environnement physique et humain (les usagers), afin de formuler une problématique générale.

3.3.2. *La phase de conception*

Elaboration d'un sous-ensemble de solutions potentielles

Rappelons d'abord que l'objectif de notre démarche n'est pas de fournir une aide à la conception, mais une aide à la décision. En ce sens, la phase de conception doit plutôt être perçue comme une phase d'élaboration d'un sous-ensemble de solutions potentielles.

Leur élaboration ne tient pas compte de la complexité du système (la zone d'étude). C'est pourquoi ce travail est effectué de manière indépendante sur chaque sous-zone. Son rôle conduira à déterminer en aval du processus une solution satisfaisante vis à vis de la problématique générale, sans toutefois en assurer la garantie.

Mais le raisonnement utilisé ici ne doit pas anticiper la résolution du problème de décision en cherchant à tout prix LA SOLUTION. C'est pourquoi un raisonnement heuristique⁶ est préféré à un raisonnement algorithmique. En effet, seul ce premier permet de conférer à l'opération de conception toute la fécondité nécessaire à la construction des solutions

⁶ Une heuristique est un raisonnement formalisé pour lequel la détermination d'une solution satisfaisante est plausible, mais pas certaine.

potentielles, au contraire d'un algorithme qui implique d'emblée une convergence du raisonnement vers une solution unique.

Evaluation du sous-ensemble de solutions potentielles

Chaque solution potentielle est évaluée par rapport aux objectifs à atteindre. Ceux-ci sont imposés par le système complexe (la zone d'étude) et par son environnement, ainsi que définis et explicités par le décideur. Le travail d'évaluation doit par conséquent tenir compte des propriétés du système (les interactions entre sous-zones et avec leur environnement physique), ainsi que du caractère multicritère et parfois antagoniste des objectifs.

3.3.3. *La phase de choix*

C'est l'étape à laquelle le processus va comparer les évaluations des solutions potentielles. De cette comparaison, doit en principe ressortir la solution la plus satisfaisante sur l'ensemble des objectifs recherchés. Elle fera alors d'objet d'une réalisation (c'est la décision arrêtée).

Toutefois, en pratique le choix laisse souvent la place à une discussion autour des solutions potentielles, car soit elles n'apparaissent pas assez discriminantes, soit certaines d'entre elles sont incomparables.

Le raisonnement utilisé doit alors pouvoir tenir compte des préférences des acteurs (en particulier le décideur dans notre cas) vers certaines solutions. En structurant ces préférences de façon particulière, le raisonnement doit les intégrer et ainsi revêtir une forme d'aide à la décision.

Mais pour les structurer, le raisonnement doit s'appuyer sur la partie stable de la problématique, c'est à dire sur les objectifs à atteindre.

C'est pourquoi, dans le modèle canonique de décision – résolution, nous n'envisagerons pas le cas d'une décision de refinalisation. Celle-ci, en remettant en cause la problématique, peut en effet modifier les objectifs à atteindre.

II. Elaboration des solutions d'assainissement potentielles

1. Proposition de raisonnement : le système de production

Comment le bureau d'études raisonne-t-il ? Voilà la question centrale de cette section.

Dans les études de zonage d'assainissement, l'intervention du bureau d'études a déjà été soulignée au chapitre I,-II §1. Face à un problème posé, il utilise sa capacité à raisonner pour proposer des solutions en traitant les informations qu'il récolte ou qui lui sont fournies.

Cette idée fondamentale du traitement de l'information a été posée par [Newell & Simon, 72] qui observèrent qu'en général, l'homme était capable de résoudre de nombreux problèmes tirés de différentes situations. Si un modèle de raisonnement devait être élaboré, il devait s'inspirer de cette capacité.

Le modèle du *General Problem Solver*, ou *GPS* (le terme "*Solver*" s'adresse à l'homme vu comme un "résolveur" de problèmes) fut présenté. Il postule pour la résolution d'un problème donné au moyen d'un processus de raisonnement par étapes successives d'une situation initiale à une situation finale.

[Lévine & Pomerol, 89] ont représenté ce processus en supposant que le raisonnement organise la progression dans le problème par l'action d'opérateurs autorisés (figure 24).

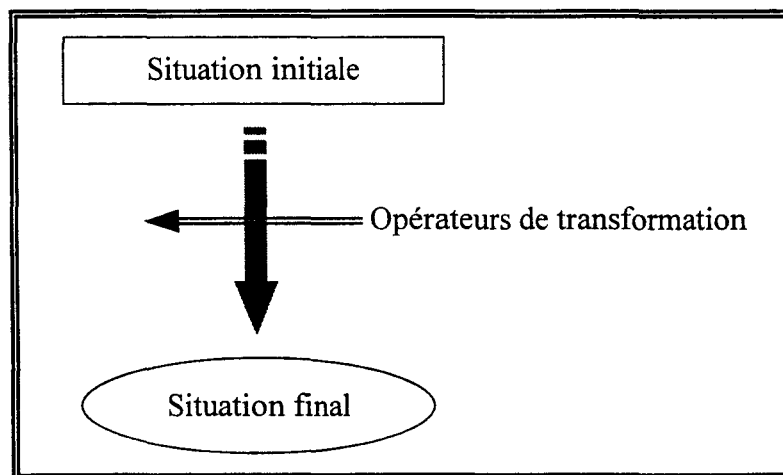


Figure 24 : schéma général de résolution de problème.

Les avancées récentes dans le champ des systèmes de production (dont les systèmes capables de reproduire la démarche d'un expert), permettent aujourd'hui de proposer nombre d'outils pour l'organisation des connaissances afin de chercher à simuler les processus de raisonnement [Su & al, 01] [Leon & al, 00] [Paladini, 00]. Mais ces outils ne se séparent pas du schéma général de résolution de problème illustré par la figure précédente. Il reste leur fondement.

Si nous voulons appliquer ce principe de résolution dans le cadre de l'élaboration de solutions possibles à partir de différents types d'assainissement, il s'agit alors dans un premier temps à construire une architecture de raisonnement fondée sur la démarche de traitement de l'information par le technicien relativement à chaque mode d'assainissement traité. Dans un deuxième temps, le fonctionnement du raisonnement doit être explicité. Nous nous appuyerons sur une démarche empruntée à celle des systèmes experts.

1.1. Architecture [Benchimol & al, 86]

Lors d'une étude de zonage d'assainissement, le bureau d'études s'appuie sur l'expérience qu'il possède, issue d'un certain nombre de données tirées des dispositifs en place et du contexte communal.

Le processus que nous cherchons à construire doit donc prendre la forme d'un **système de production** reproduisant le raisonnement du technicien dans le domaine de l'assainissement non collectif.

L'ensemble des informations que l'expert connaît préexistent toujours au raisonnement : ce sont les données. Cet ensemble est appelé **base de faits** $\{Fi\}$. Chaque fait est une information élémentaire de la base (récoltée ou fournie).

En partant de cette base, l'expert élabore plusieurs enchaînements de raisonnement pour le conduire vers une action. Ces enchaînements peuvent être formulés sous la forme de **règles de production** $\{Ri\}$.

Par ailleurs, il est possible que pour un enchaînement de raisonnement donnée, plusieurs règles de production soient applicables. Dans ce cas, un choix doit être effectué : c'est le rôle de la **structure de contrôle** Sc du système qui en indique alors l'ordre d'application.

Enfin, ce module doit aussi savoir quand arrêter le processus de raisonnement. L'expert définit pour cela une **condition d'arrêt** chargée de statuer sur la solution d'assainissement testée.

Ainsi, nous pouvons représenter l'architecture du système constitué d'une base de faits, d'une base de règles et d'une structure de contrôle par la figure 25.

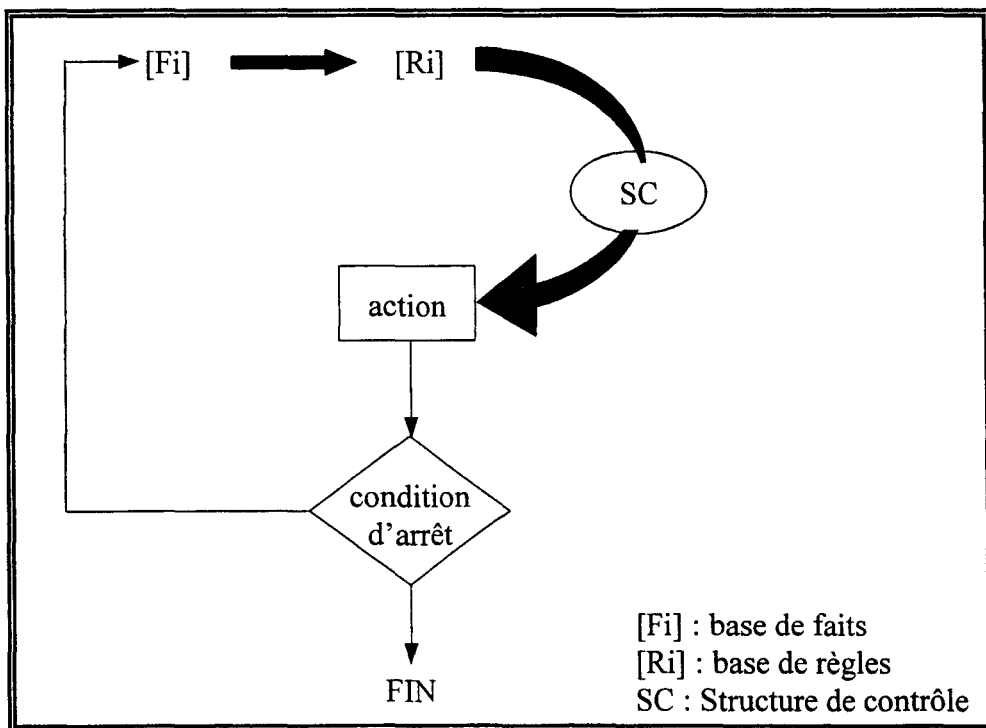


Figure 25 : architecture générale du système de production relative à l'élaboration de solutions d'assainissement potentielles.

Les solutions d'assainissement étant différentes les unes des autres (à savoir individuel, autonome regroupé et collectif), seule la stratégie de contrôle leur sera commune. Celle-ci ne dépend pas du type de solution puisqu'elle n'est chargée que de représenter le processus de raisonnement.

2. Représentation des connaissances

2.1. Remarques préliminaires

Deux types de connaissances sont apportées à un système de production :

- ❖ *Les connaissances assertionnelles*, contenues dans la base de faits ;
- ❖ *Les connaissances opératoires*, contenues dans la base de règles.

La question de l'acquisition d'informations de qualité, par ailleurs récurrente dans tous les domaines impliquant un support de décision, ne sera pas abordée.

2.2. Les faits

Les systèmes de production à base de connaissances sont reconnus pour l'intérêt qu'ils procurent vis à vis de leur retranscription informatique [Smith & Koutoulis, 98]. Mais l'avantage apporté par la structure de raisonnement à la fois proche de celle de l'homme et proche de la logique informatique n'est pas tout.

En effet, la synthèse des différentes sources d'information que ces systèmes impliquent, la centralisation des connaissances qu'ils effectuent, ainsi que la nécessité de les représenter correctement et objectivement, sont autant d'intérêt [Davey, 98] [Hamburg, 95] face aux connaissances éparses et parcellaires parfois rencontrées dans les études, et notamment en zonage d'assainissement.

Dans une base de faits, l'information peut être représentée par une chaîne de caractères, comme par exemple "perméabilité du terrain = 30 mm/h". Mais une telle représentation ne facilite pas sa manipulation, en particulier lors du codage informatique de la base.

C'est pourquoi, une structure courante consiste à utiliser des triplets :

{attribut} {objet} {valeur}

L'attribut exprime une propriété de l'objet. L'exemple précédent peut être mis sous la forme :

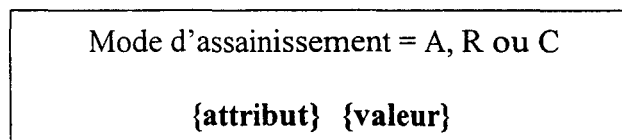
{perméabilité} {terrain} {30 mm/h}

Cette représentation est intéressante lorsque le problème contient plusieurs objets.

Or, dans le cadre de notre problématique d'assainissement, chaque type de solution testée sur une sous-zone n'est caractérisée que par un seul objet :

- ❖ Dans le cas de l'assainissement individuel (A), il s'agit de la parcelle ;
- ❖ Dans le cas de l'assainissement autonome regroupé (R), il s'agit de l'espace collectif ;
- ❖ Dans le cas de l'assainissement collectif (C), il s'agit du réseau existant.

Une représentation plus simple peut donc être envisagée sans intervention de l'objet dans la base de faits. La structuration est alors la suivante :



Dans le cas de l'assainissement individuel, nous pourrions donc trouver dans la base une expression de type “{coefficient de perméabilité} {30 mm/h}”. La valeur de chaque attribut sera supposée fixe (non modifiable) pendant le processus de raisonnement, en vertu de la préexistence des faits au raisonnement.

Plus généralement, chaque base de faits sera constituée de l'ensemble des couples {attribut}{valeurs} exprimant les informations clés (c'est à dire les données de terrain) qui conditionnent la mise en œuvre du mode d'assainissement envisagé. En individuel, la perméabilité du sol en est une. En collectif, la capacité résiduelle du réseau extérieur en est une autre.

Les faits seront présentés en détail au chapitre III,-I.

2.3. Les règles

D'une manière générale, une règle renvoie toujours à une condition. Lorsqu'elle est invoquée et si elle est applicable (c'est à dire, si, compte tenu de l'état de la base de fait, la condition est satisfaite), elle engendre une action.

De plus, une règle est un opérateur de transformation qui permet de passer d'un état du processus de raisonnement à un autre. Différentes méthodes d'enchaînement existent [Levine & Pomerol, 89].

Parmi elles, nous trouvons principalement :

- ❖ L'enchaînement par *induction* ;
- ❖ L'enchaînement par *déduction*.

L'enchaînement par **induction** repose sur la comparaison de situations (quasi-)semblables. Dans la situation $s(i)$, la condition de la règle est examinée par rapport à une situation de référence $s(r)$ du problème ou d'un autre présentant des similitudes fortes avec celui étudié. Le raisonnement employé dans ce cas est l'**analogie**.

L'enchaînement par **déduction** repose sur la construction de règles déductives de type **Si** (*condition est vraie*) **Alors** (*conclusion*) **Sinon**. En référence au principe général de production, l'action provoquée par l'exécution de la règle prend alors la forme d'une conclusion.

Illustrons cette méthode d'enchaînement du raisonnement par un exemple :

Un bureau d'étude sait qu'une surface de parcelle supérieure à 600 m^2 permet de mettre en œuvre un assainissement individuel (nous faisons ici abstraction de l'aptitude du sol à l'épuration dans un souci de compréhension de la notion de règle). Supposons que la surface de parcelle à traiter soit de 800 m^2 . Le bureau d'étude va donc chercher à savoir si ce type d'assainissement est applicable compte tenu des informations dont il dispose.

Mis sous la forme d'une règle, le raisonnement est le suivant :

- La valeur de l'attribut {surface} est extraite de la base de faits. Celle-ci renvoie {800 m²} ;

- La règle "Si (surface ≥ 600 m² est vraie) Alors (assainissement individuel possible) Sinon (assainissement individuel pas possible)" est exécutée ;

- La condition est satisfaite et le raisonnement conclut sur ce fait à la réalisation de ce type d'assainissement, l'étape suivante pouvant consister à traiter les informations relatives à l'aptitude du sol au traitement.

La règle déductive **Si** (*condition est vraie*) **Alors** (*conclusion*) **Sinon** que nous venons d'illustrer appartient au domaine de la logique.

En raison des contextes techniques et réglementaires variables d'une commune à une autre, l'analogie ne sera pas la méthode d'enchaînement du raisonnement retenue dans notre travail. **Pour chaque solution d'assainissement traitée, nous nous appuyerons donc sur un raisonnement déductif.**

La construction des règles relatives à chaque solution d'assainissement testée sera présentée au chapitre III.

3. La structure de contrôle

3.1. Exécution des règles

Dans le cadre de notre problématique d'élaboration de solutions potentielles, le but à atteindre est connu. A partir de la base de faits préalablement complétée, nous cherchons à savoir si une solution est potentiellement réalisable ou non. La structure de contrôle n'est donc pas menée sans information. Elle s'appuie sur les informations de la base.

De plus, lorsque nous avons exposé les concepts généraux de formalisation de la méthode d'aide au choix, nous avons plaidé en faveur d'une heuristique en phase de conception des

solutions (cf. chapitre II,-I § 3.3.1.). Un tel processus appliqué à une structure de contrôle se traduit alors par une exploration des règles en cherchant à en parcourir un nombre beaucoup plus faible qu'une progression sans information. Ce gain de parcours est réalisé par le pilotage de l'exploration par les faits.

Le raisonnement heuristique nécessite donc une organisation particulière des connaissances dans leur base, que nous qualifions d'organisation hiérarchique.

Une telle structuration des connaissances agit alors inévitablement sur l'organisation des règles :

- ❖ Un fait F_i suit un fait F_{i-1} et précède un fait F_{i+1} ;
- ❖ Chaque fait est discriminant d'un autre, en ce sens que la connaissance qu'il contient ne figure pas dans un autre fait ;
- ❖ Il ne peut donc pas y avoir plusieurs règles applicables à un fait ;
- ❖ Les règles sont par conséquent organisées suivant une loi de précedence : une règle R_{i-1} appelle l'exécution d'une règle R_i qui elle-même appellera celle d'une règle R_{i+1} .

L'exécution d'une règle logique dans une structure de contrôle heuristique est illustrée par la figure 26 [Cift-cioglu & al, 01].

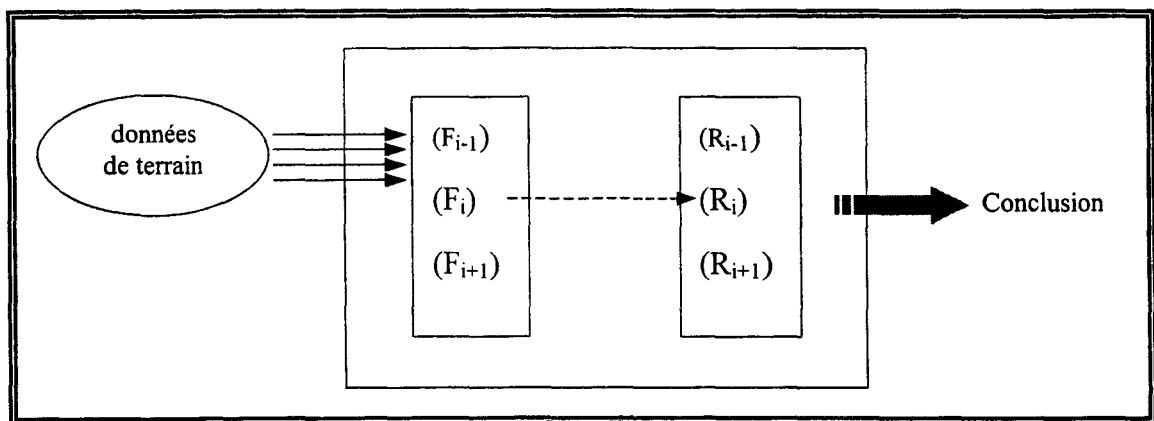


Figure 26: schéma d'exécution d'une règle déductive par une structure de contrôle heuristique.

Le chapitre III présentera de façon détaillée l'exécution de l'ensemble des règles pour chaque solution d'assainissement testée.

3.2. Formulation des conclusions et arrêt de l'exploration

L'exécution d'une règle conduit à un nouvel état de fait. Celui-ci exprime la connaissance acquise à ce moment du raisonnement vis à vis de la potentialité de réalisation de la solution d'assainissement testée.

A chaque règle invoquée, correspond donc **une conclusion** qui se traduit par **le niveau de connaissance détenu**.

L'**arrêt de l'exploration** sera alors provoquée lorsque le **niveau de connaissance** sera **suffisant pour répondre à la question "la solution est-elle possible ou non ?"**.

Ce sont les deux cas suivant :

- ❖ Tous les faits n'ont pas été traités, mais l'un d'entre eux, par la connaissance qu'il apporte, permet de formuler une réponse ;

- ❖ Les faits d'aptitude du sol à l'épuration ont pu être traités.

L'architecture et les concepts du système de raisonnement logique pour l'élaboration de solutions potentielles d'assainissement sont à présent posés.

Il va maintenant s'agir de formaliser un processus d'évaluation de ces solutions potentielles, en vue d'aider le décideur à effectuer son choix. Son rôle dans ce processus devra par conséquent être central.

Mais pour ce faire, les principes de construction adopté, d'une part ne doivent pas être éloignés de la réalité de la décision afin de ne pas générer de décision "décalée", et d'autre part doivent tenir compte du système de valeurs du décideur quant aux jugements qu'il est amené à porter sur ces solutions.

III. Aide à la décision pour l'évaluation des solutions proposées

1. Evaluation par approche monocritère

1.1. Hypothèses requises

Dans de nombreux contextes impliquant une décision, le décideur parle très souvent de solution optimale. Mais pour envisager un optimum, le processus d'évaluation doit être représenté par un problème mathématiquement bien posé [Roy & Bouyssou, 93] tel que :

- ❖ Chaque solution envisagée soit exclusive de toutes les autres ;
- ❖ L'ensemble des solutions évaluées soit fixé de manière définitive ;
- ❖ Les solutions puissent être ordonnées de façon incontestable de la plus mauvaise à la meilleure.

1.2. Critiques de la décision optimale dans le contexte d'une aide

La solution optimale recherchée par le décideur revêt souvent un caractère économique. Il s'agit alors d'optimiser un paramètre unique représenté par le coût [Ruscassier & Deutsch, 00]. En prenant appui sur des mesures et une attitude scientifique rigoureuse, l'objectif consiste à rechercher et à désigner quel que soit le contexte la meilleure décision, c'est à dire celle dont la solution traduit ce fameux optimum.

Inscrite dans un problème déterminé, la recherche d'une solution optimale passe par la construction d'une fonction f continue sur un certain nombre de variables X, Y, Z, \dots . Les variations de f sont alors représentables graphiquement par une courbe pour laquelle l'optimum recherché sera tel que des valeurs de X, Y, Z, \dots minimisent la fonction : c'est l'équilibre des coûts ou optimum économique [Jacquemin & Tulkens, 87].

Les inconvénients d'une telle approche, fortement cloisonnée des autres aspects de la société, sont souvent soulignés par beaucoup d'auteurs [Boyer, 93] [Mareschal, 00]. En effet, lorsque le choix d'une solution est effectué selon ce concept d'optimum, le problème de décision est

jugé à partir d'un ensemble de paramètres exclusivement quantitatifs, dont la fonction traduisant leurs variations exprime une notion de coût monétaire.

Trois critiques peuvent être énoncées à l'égard de cette approche :

- ❖ Dans un ensemble de solutions possibles, rechercher celle procurant une décision optimale parmi les autres suppose qu'elle est la meilleure et donc que chaque solution présentée caractérise l'ensemble des aspects de la problématique de décision : l'approche économique est trop globale. En entreprise ou en collectivité, la résolution d'un problème naît d'actions souvent partielles : la globalité n'est donc pas toujours vérifiée ;
- ❖ Rechercher l'optimum, c'est rechercher "La solution" : l'analyse critique de solutions potentielles parmi un ensemble est alors inutile, celles-ci étant par ailleurs toutes comparables puisque chacune présentant la problématique dans sa globalité ;
- ❖ Enfin, un modèle (mathématique) d'optimisation n'est pas toujours adéquat vis à vis de toutes les situations de décision. Lorsque celles-ci font intervenir des relations de pouvoir, ou des systèmes de valeurs particuliers (cas des problèmes incluant le contexte social, ou de ceux dont certaines préférences doivent être prises en compte de façon explicite), quel que soit la sophistication du modèle, la solution issue de la décision pourra paraître décalée, voire en contradiction avec la réalité du contexte.

Ainsi, chercher à représenter une situation de choix en recourant à un outil mathématique, qui plus est à vocation économique, n'est pas pertinent dans le cadre de notre méthodologie d'aide à la décision. Chaque solution doit pouvoir être évaluée sur d'autres facteurs qu'un coût. Ce point de vue monocritère est trop restrictif compte tenu des multiples conséquences potentiellement engendrées par la mise en œuvre d'une solution d'assainissement.

2. Quitter le domaine du problème mathématiquement bien posé

2.1. Pouvoir porter un jugement en correspondance avec la réalité du contexte

Optimiser revient à se placer dans une approche à critère unique. Mais dès que plusieurs points de vue sont pris en compte pour juger diverses décisions envisageables, chacun de ces points de vue risque de désigner comme optimale une décision différente.

Chaque jugement porté sur une solution doit pouvoir être pleinement exprimé. Les hésitations et les conflits peuvent alors resurgir. Le décideur peut enfin discuter des faiblesses de jugement qu'il possède sur certains aspects de la question, dues à son manque de maîtrise de l'ensemble des dimensions du problème posé, ou encore à la non compatibilité de ses objectifs.

En bref, la sollicitation du décideur par l'expression de ses préférences enrichit le processus devant mener à la décision de choix. Cette fécondité ne pourra alors, si elle est correctement exploitée, que conduire à retenir la solution la plus en adéquation avec la problématique et les aspirations du décideur. La solution optimale, illusoire, est alors remplacée par une solution satisfaisante.

2.2. Déployer au maximum le champ des conséquences de chaque solution potentielle

Avant de procéder à la décision de choix, la formalisation des conséquences engendrées par chaque solution doit être effectuée.

La confrontation de ces conséquences aux objectifs du décideur lui permettra d'explicitier et de justifier plus clairement ses préférences et de mettre ainsi à jour le raisonnement implicite qu'il effectue sur certaines des dimensions de la problématique.

Les conséquences sont multiples et il est difficile d'en dresser une liste exhaustive. Néanmoins, en nous appuyant sur les travaux de [Deutsch & al, 92], nous pouvons citer à titre de guide :

- ❖ Les conséquences liées aux objectifs manifestes ;
- ❖ Les conséquences liées à l'efficacité économique ;

- ❖ Les conséquences liées à l'efficacité opérationnelle ;
- ❖ Les conséquences politiques.

Dans le cadre du choix de solutions d'assainissement potentielles, ces conséquences peuvent être explicitées comme suit :

- ❖ Les objectifs manifestes sont ceux incombant à la responsabilité de la commune. Il s'agit de la protection sanitaire et de l'environnement. Les conséquences sont alors celles liées à l'approvisionnement en eau potable, aux usages du milieu naturel, à l'impact de la solution d'assainissement sur ce milieu en termes de pollution, ...
- ❖ Les conséquences liées à l'efficacité économique regroupe les aspects financiers. Elles peuvent être constituées par les coûts d'investissement, les coûts et les recettes d'exploitation, ou encore la cohérence entre les compétences requises par une solution d'assainissement et celles de la commune ;
- ❖ La pérennité des équipements, leur facilité d'exploitation et de gestion, les difficultés du personnel à assurer leur suivi technique, sont autant de conséquences liées à l'efficacité opérationnelle ;
- ❖ Les relations induites avec les usagers, le service rendu, constituent quelques répercussions politiques non négligeables pour une commune.

Toutes ces conséquences sont des éléments sur lesquels la décision sera construite. Ils ne sont pas à proprement dit décisionnels, mais ils permettent au décideur d'élaborer une structure de préférences à partir de laquelle un système d'évaluation des solutions potentielles sera élaboré.

2.3. Formuler la recherche de solutions en termes moins restrictifs

Devant un ensemble de solutions potentielles, le décideur peut se demander quelle est la meilleure, la plus satisfaisante, ou encore la plus adéquate lorsqu'il doit en retenir une. Ce travail nécessaire lui incombe totalement dès lors qu'il quitte le domaine de l'optimisation.

Dans le cas d'une problématique dont les conséquences des solutions potentielles peuvent être très variées en nature et en appréciation, le décideur peut s'interroger sur la pertinence de sa décision par rapport au problème posé. L'élaboration d'un modèle de recherche de solution adapté revêt alors une importance non négligeable, car il peut permettre au décideur de laisser planer certains flous sur l'expression de ses préférences vis à vis de certaines conséquences [Schärting, 90].

[Roy, 93] a proposé quatre problématiques de référence que nous exposons brièvement :

- ❖ **La problématique de choix** ($P\alpha$), consistant à rechercher la meilleure solution en sachant qu'elle appartient à un sous-ensemble, mais sans nécessairement la désigner. Le sous-ensemble renferme souvent les solutions les plus difficile à comparer entre elles, parmi lesquelles figure la meilleure ;
- ❖ **La problématique de tri** ($P\beta$), consistant à affecter chaque solution potentielle à une catégorie prédéfinie. Il s'agit donc ici de chercher à séparer les bonnes solutions des moins bonnes ;
- ❖ **La problématique de rangement** ($P\gamma$), consistant à classer les solutions potentielles depuis la meilleure jusqu'à la moins bonne conformément aux préférences du décideur, pour ensuite en choisir certaines ;
- ❖ **La problématique de description** ($P\delta$), consistant à décrire les solutions potentielles et leurs conséquences dans un langage approprié.

En choisissant une problématique, le décideur choisira la façon de poser le problème de décision. En appliquant chaque problématique, le décideur verra sa décision éclairée par une procédure de sélection ($P\alpha$), d'affectation ($P\beta$), de classement ($P\gamma$) ou cognitive ($P\delta$).

3. Evaluation par élaboration d'un système de préférences

1.1. Les quatre situations fondamentales de préférences

Lorsque le décideur doit comparer deux solutions S_i et S_k , selon [Roy, 93] il peut avoir l'une des trois réactions suivantes :

- ❖ Il préfère l'une des solutions à l'autre. Le décideur établit alors **une relation de préférence** qui peut être :
 - **Stricte** si elle correspond à l'existence de raisons claires justifiant une préférence significative en faveur de l'une des deux solutions;
 - **Faible** si le décideur peut affirmer que " S_i n'est pas préférée à S_k ", tout en hésitant entre " S_i est strictement préférée à S_k " et " S_i est indifférente à S_k ";

- ❖ Il est indifférent aux deux solutions. Le décideur établit alors **une relation d'indifférence** qui correspond à l'existence de raisons claires qui justifient une équivalence entre les deux solutions ;

- ❖ Il ne peut pas effectuer de comparaison entre les deux actions. Le décideur établit alors **une relation d'incomparabilité** entre S_i et S_k . Cette relation particulière traduit un refus du décideur de prendre position au niveau de la modélisation des préférences sur la comparaison des valeurs des solutions S_i et S_k .

Les relations de préférence stricte, de préférence faible, d'indifférence et d'incomparabilité constituent les **quatre situations fondamentales de préférences**.

Désormais, nous supposons que lorsque le décideur fait appel à sa structure de préférences, il se placera toujours dans l'une des quatre situations décrites ci-dessus.

3.2. Concept de critère

Nous avons vu que le choix d'une problématique de décision et son application permettent d'éclairer la décision. Cependant, cet éclairage ne peut pas être effectué sans s'intéresser aux conséquences de chaque solution.

Ces conséquences sont multiples et peuvent être appréciées de manière très différente : monétaire, confort, image, ... Bref, sous une forme qualitative ou quantitative. Leur évaluation n'est donc pas nécessairement aisée, mais elle reste fondamentale pour la comparaison des solutions en termes de préférence, d'indifférence, ou d'incomparabilité.

Le jugement de préférence entre deux solutions S_i et S_k peut différer selon l'importance que le décideur accorde à une conséquence plutôt qu'à une autre. Fréquemment, ce jugement apparaît comme la résultante d'aspects conflictuels. L'aide à la décision permet sur ce point d'aider à clarifier la formulation et l'argumentation des préférences autour d'un concept clé : le critère.

Un critère vise à exprimer les évaluations d'une solution sur différentes dimensions à l'aide d'une fonction $g()$ [Perny, 92]. Celle-ci synthétise ces dimensions dès lors qu'elles peuvent être ramenées à un même "axe de signification", c'est à dire à un même point de vue. Par exemple, un critère "protection du milieu naturel" peut être défini en regroupant les dimensions *impact sur l'hydrosystème, usages, sensibilités, ...*

La fonction $g()$ doit permettre de comparer deux solutions S_i et S_k à partir de deux nombres $g(S_i)$ et $g(S_k)$ appelés performances de S_i et S_k sur le critère g .

La définition d'un critère ne doit pas autant que possible inclure d'éléments en relation forte avec un système de valeurs particulier. Elle doit être la plus objective possible. De plus, la recherche d'un procédé d'évaluation de chaque solution sur un critère doit être simple et transparente pour le décideur.

Lorsque **l'hétérogénéité des conséquences** est telle que :

- ❖ Chacune d'entre elles ne peut pas être chiffrée dans une unité commune (cas d'appréciation qualitative et quantitative des conséquences) ;
- ❖ L'exclusion de celles ne pouvant pas être appréhendées dans un système de représentation chiffré unique est impossible au risque de devoir retirer des points de vue sur les solutions à évaluer ;

il est alors préférable de **bâtir une famille de plusieurs critères dont chacun d'eux traduit une catégorie homogène de conséquences**. La famille de critères ainsi construite, si

elle est intelligible et acceptée par le décideur comme base de travail, constitue alors un outil à partir duquel les préférences seront formulées, structurées et argumentées.

3.3. Modèle de critère retenu

Le modèle le plus classique pour séparer deux évaluations $g(S_i)$ et $g(S_k)$ suppose que :

❖ Si $g(S_i) > g(S_k)$ alors S_i est strictement préférée à S_k ;

et

❖ Si $g(S_i) = g(S_k)$ alors S_i est indifférente à S_k .

g est alors **appelé vrai critère** et le **préordre** effectué au sein de $S = \{ S_i , S_k \}$ est dit **complet**. Dans ce modèle, tout écart sur les évaluations $g(S_i)$ et $g(S_k)$ aussi petit soit-il, ne modifie pas la préférence stricte.

Toutefois, il peut arriver que $g(S_i)$ et $g(S_k)$ soient caractérisés par de l'imprécis, ou alors que la fonction $g()$ utilisée soit mauvaise. Le modèle du vrai critère peut alors conduire à des situations où l'hypothèse de préférence stricte de S_i sur S_k n'est plus vraie avec certitude. Un seuil **q** **appelé seuil d'indifférence** est alors introduit. Il représente le plus grand écart $[g(S_i) - g(S_k)]$ en deça duquel la situation d'indifférence entre S_i et S_k apparaît. Dans ce cas, **g** est **appelé quasi-critère** et il est établi **un quasi-ordre** sur $S = \{ S_i , S_k \}$.

Dans le modèle du quasi-critère, tout écart légèrement supérieur au seuil d'indifférence traduit une situation de préférence stricte.

Mais dans certaines situations, ce passage de l'indifférence à la préférence stricte peut parfois sembler brutal. Ainsi, pour éviter ce changement brusque dans la modélisation des préférences, **un modèle à deux seuils p et q** ($p > q$) introduisant le concept de préférence faible peut être introduit. Il traduit l'hésitation entre l'indifférence et la préférence stricte.

C'est le **modèle du pseudo-critère**. Il est défini comme suit :

❖ Il y a préférence forte de S_i sur S_k si $g(S_i) - g(S_k) > p (g(S_k))$;

❖ Il y a préférence faible S_i sur S_k si $q (g(S_k)) < g(S_i) - g(S_k) \leq p (g(S_k))$;

- ❖ Il y a indifférence de S_i sur S_k si $g(S_i) - g(S_k) \leq q(g(S_k))$.

Le préordre établi au sein de $S = \{ S_i, S_k \}$ est appelé **pseudo-ordre**.

Désireux d'être le plus général possible dans notre démarche et n'ayant pas encore exposé les critères retenus ni la méthode d'évaluation des solutions potentielles d'assainissement, nous retiendrons dans un premier temps le modèle du pseudo-critère.

4. Agrégation des évaluations en univers multicritère

4.1. Pourquoi ne pas construire un critère unique de synthèse ?

L'approche du critère unique de synthèse est la plus naturellement employée. Dans ce cas, l'aspect multidimensionnel de la problématique est "gommé" par la construction d'un critère unique g , dont la caractéristique principale est de synthétiser l'ensemble des conséquences des solutions potentielles. Cette synthèse est réalisée au moyen d'une transformation mathématique, dont le résultat est formulé par un classement de toutes les solutions de la meilleure à la moins bonne.

Sous sa forme la plus générale, g est représenté par une fonction f telle que $g = f(g_j)$, j variant de 1 à n . Les $\{g_j\}$ représentent l'ensemble des critères dont chacun d'eux traduit un sous-ensemble homogène de conséquences des solutions potentielles.

Notons qu'en dépit de similitudes apparentes avec une approche monocritère, l'approche par critère unique de synthèse passe d'abord par une étape d'élaboration de plusieurs critères. En cela, elle demeure fondamentalement différente d'un raisonnement monocritère.

Les formes analytiques disponibles pour la formulation de la fonction f sont très nombreuses. Nous pouvons citer l'agrégation additive des évaluations sur chaque critère g_j (cas de la somme pondérée par exemple), l'agrégation multiplicative, ou encore l'agrégation par recours à des fonctions d'utilité partielles.

Cependant, notre objectif n'est pas d'exposer la théorie de l'ensemble de ces formes d'agrégation, ni de développer chacune d'entre elles. D'autres auteurs s'en sont chargés. Citons [Pomerol & Barba-Romero, 93]. En revanche, il s'agit de savoir pourquoi elles ne correspondent pas à notre problématique d'aide au choix de solutions.

Remarque: l'emploi du terme "choix" ci-dessus ne signifie pas que nous nous plaçons d'emblée dans une problématique de choix au sens de celui défini par Roy (cf. chapitre II,-III §3.2.). Ce terme désigne ici simplement le fait que le décideur doit retenir une solution à mettre en œuvre parmi un sous-ensemble.

Nous devons d'abord noter que la formulation même du critère unique de synthèse exclue toute incomparabilité des solutions sur certains critères de $\{g_j\}$. Or, nous ne pourrions admettre cette hypothèse dans la mesure où, certains objectifs du décideur étant parfois conflictuels, les comparaisons des évaluations sur ces critères peuvent alors poser problème. Il importe par conséquent de pouvoir effectuer les comparaisons de ces évaluations sur chaque critère pris séparément.

De plus, il existe une ambiguïté entre le contenu du résultat fourni par la fonction f (le classement de toutes les solutions de la meilleure à la moins bonne) et la part d'arbitraire résidant dans le choix de f , ainsi que dans l'attribution des valeurs à ses paramètres. Il est alors possible de s'interroger au sujet de la validité du résultat vis à vis de la décision (de la solution à retenir) .

Si une autre fonction était choisie, aurions-nous le même classement et sinon, quelle en serait l'interprétation ? Dans ce cas, nous pourrions imaginer qu'une solution meilleure qu'une autre puisse devenir moins bonne en modifiant la procédure d'agrégation (en passant par exemple d'une fonction additive à une fonction multiplicative). L'élaboration des relations entre les solutions potentielles peuvent donc être beaucoup plus largement dépendantes de l'outil mathématique que des préférences du décideur.

Par ailleurs, si les échelles de certains critères de $\{g_j\}$ sont différentes, ou si certains d'entre eux ne sont pas de même nature (qualitative et quantitative), comment est-il possible de rendre compte de ces informations dites "inter-critères" à travers les paramètres de la

fonction ? Sur la base de quelle démarche mathématique ? Le caractère discriminant du critère de synthèse g sur l'évaluation des solutions est-il alors fiable ?

Toutes ces questions sous-tendent en fait l'existence d'un problème lié à la (trop grande) richesse du résultat apporté par une procédure d'agrégation multicritère basée sur une fonction unique. Nous pensons que les hypothèses mathématiques introduites par cette approche ne sont pas adaptées à la résolution d'une problématique de choix par un décideur, car :

- ❖ Ce sont avant tout ses jugements qui doivent guider la démarche de choix à effectuer et non pas la structuration de la fonction d'agrégation des évaluations des solutions ;
- ❖ Les préférences du décideur sur certains critères n'étant pas toujours très tranchées (elles ne sont pas toujours strictes), la comparaison de deux solutions potentielle doit pouvoir être effectuée explicitement sur chaque critère ;
- ❖ Ces préférences n'étant pas non plus toujours établies de manière définitive (elles peuvent évoluer en cours de processus de décision), nous devons recourir à une approche moins rigoureuse qu'une approche mathématique pure ;
- ❖ La diversité de ces préférences doit être maintenue dans le processus de décision afin de prévenir tout phénomène de compensation de certaines d'entre elles, car la décision ne serait alors plus le reflet de la dimension multicritère de la problématique et donc de la réalité du choix.

4.2. Recherche d'une procédure fondée sur la synthèse de jugements partiels des évaluations

4.2.1. *Justification et concept de surclassement*

En matière de choix, nous venons de voir que la décision pouvait être aidée en recourant à l'outil mathématique.

Cependant, l'aide à la décision comme aide au choix peut également se fonder sur une méthode conçue de manière à **exploiter la plus ou moins grande solidité des jugements**

portés par le décideur sur les évaluations des solutions. Cette méthode **privilégierait alors l'aspect relationnel des préférences plutôt que la recherche d'une fonction d'évaluation globale.**

Considérant que les jugements sont souvent influencés par des sentiments d'indifférence et de préférence qui préexistent chez le décideur et considérant que ces jugements peuvent faire naître des situations d'incomparabilité sur certaines solutions, la méthode utilisée devra en tenir compte. Elle ne peut donc pas s'appuyer sur une comparaison globale de deux nombres pour évaluer deux solutions potentielles (comme c'était le cas avec le critère unique de synthèse). En effet, la prise en compte des sentiments du décideur ne peut être effectuée que lorsque les relations entre les solutions sont examinées critère par critère [Pomerol & Barba-Romero, 93].

Le **concept de surclassement** introduit par [Roy, 93] est à l'origine de la formalisation d'une telle méthode. Dans une relation de surclassement entre deux solutions S_i et S_k , S_i surclasse S_k s'il y a suffisamment de critères pour admettre que S_i est au moins aussi bonne que S_k , sans que les autres critères ne s'opposent à cette affirmation.

La définition du surclassement suppose de substituer à chaque critère une relation traduisant la préférence du décideur figurant parmi l'une des quatre situations fondamentales de préférences exposées au paragraphe 3.1. Le problème posé consiste alors à rechercher un mécanisme d'agrégation qui permettrait de construire, sur la base de toutes les relations et de l'information inter-critères (cette information est nécessaire car elle permet de connaître l'opposition éventuellement exercée par certains de ces critères à une relation de surclassement), une synthèse des jugements partiels appelée **système relationnel de synthèse** [Perny, 92].

Remarque: nous aborderons le point relatif à l'information inter-critères de façon plus détaillée au paragraphe 5.2. avec les concepts de concordance et de discordance.

Il ne s'agit donc plus ici d'agrégier les évaluations des solutions sur chaque critère, mais les relations de préférences sur ceux-ci établies par le décideur en vue de la résolution du problème de décision. De ce fait, la construction du système relationnel de synthèse ne permet pas d'obtenir un résultat de surclassement de solutions de façon immédiate. Il est nécessaire de transiter par différentes étapes que nous proposons d'exposer dans le paragraphe suivant.

4.2.2. *Etapas générales de construction d'une procédure de surclassement*

Modélisation des préférences partielles

A partir de la construction explicite des critères et d'une matrice des évaluations $g_j(S)$ locales (c'est à dire de chaque solution S sur chaque critère g_j), il s'agit d'élaborer un ou plusieurs sous-ensembles de relations entre tous les couples de solutions (S_i, S_k) permettant de rendre compte de l'ensemble des préférences partielles sur chaque critère g_j . Cette étape requiert le recours à des tests de préférences par la mise en œuvre de règles permettant d'évaluer pour tout couple $[g_j(S_i), g_j(S_k)]$, dans quelle mesure l'affirmation de surclassement de S_i sur S_k serait fondée.

Agrégation des préférences partielles

A l'aide des relations de surclassement établies sur tous les couples (S_i, S_k) et d'un jeu d'indicateurs de préférences sur les critères g_j , un modèle de préférences globales doit être construit. Les indicateurs sont destinés à moduler le rôle de chaque surclassement dans l'élaboration des préférences globales (ces indicateurs prennent souvent la forme de coefficients de pondération). Il est important de souligner ici que des paires (S_i, S_k) de solutions peuvent être telles que S_i n'est pas préférée à S_k qui elle-même n'est pas préférée à S_i . En d'autres termes, le mécanisme d'agrégation n'exclut pas à priori les situations d'incomparabilité de solutions au niveau des préférences globales. En ce sens, la méthode utilisée reste proche de la réalité de la décision qui laisse souvent entrevoir de telles situations lorsque certains points de vue sont conflictuels.

Exploitation du système de préférences globales

Cette dernière étape a pour objet d'ordonner les solutions potentielles en construisant un classement final à partir du modèle de préférences globales. Mais la relation de préférences globales établie pouvant être incomplète (du fait de la présence de solutions incomparables), il est nécessaire de recourir à une procédure d'exploitation pour le rangement des solutions potentielles. Cette procédure repose sur un ensemble de principes mis en œuvre pour élaborer le classement qui apportera au décideur la recommandation finale. Ces principes seront présentés au paragraphe 5.

Les étapes générales de construction d'une procédure de synthèse de jugements partiels pour un surclassement de solutions sont à présent posées. Nous proposons maintenant d'en aborder

l'application à notre problématique d'aide au choix de solutions d'assainissement en recourant à la méthode multicritère ELECTRE II.

5. Méthode de surclassement de type ELECTRE II

5.1. Justification du choix

5.1.1. *Pourquoi une méthode ELECTRE⁷ ?*

La famille des méthodes ELECTRE, issue des travaux de Roy cités par [Maystre & al,94], appartient aux méthodes d'agrégation partielle des préférences. Nous pouvons exposer quelques arguments généraux qui ont guidé notre choix :

- ❖ Nous recherchons une méthode ne faisant pas intervenir de hiérarchie à priori sur les critères ;
- ❖ Nous recherchons une méthode de surclassement capable d'examiner dans quelle mesure un critère est en accord ou en désaccord avec une affirmation de surclassement d'une solution S_i sur une solution S_k , de façon à refléter les conflits entre les différents points de vue pouvant survenir dans la prise de décision. Les concepts de concordance et de discordance (que nous définirons au paragraphe 5.2.) doivent y être inclus ;
- ❖ A chacune des quatre problématiques de références exposées au paragraphe 2.3. correspond au moins une méthode de la famille ELECTRE.

5.1.2. *Pourquoi la méthode ELECTRE II ?*

Dans le cadre de notre problématique d'aide au choix de solutions d'assainissement, nous cherchons à classer les solutions potentielles de chaque sous-zone de la meilleure à la moins bonne. Nous nous plaçons donc dans une problématique de rangement ($P\gamma$). Trois méthodes sont possibles : ELECTRE II, III et IV.

⁷ Elimination Et Choix Traduisant la REalité

Nous supposons que les critères ne revêtent pas la même importance pour le décideur. L'attribution de coefficients de pondération chargés de traduire l'importance relative d'un critère sur un autre est par conséquent rendue nécessaire, ce qui exclut alors ELECTRE IV puisque cette méthode n'y a pas recours.

De plus, le décideur étant fortement impliqué dans le processus méthodologique que nous construisons, nous ne souhaitons pas lui présenter une méthode d'analyse multicritère trop complexe.

Or, les procédures de rangement de solutions fondées sur l'agrégation des relations de préférences, ne sont pas d'une compréhension aisée pour la majorité des décideurs. En introduisant la logique floue dans les relations de surclassement, la méthode ELECTRE III franchit encore un degré supplémentaire de complexité dans la résolution d'un tel problème. Nous pensons qu'elle ne se justifie pas dans le cadre d'un apprentissage d'un décideur à la modélisation des préférences par un raisonnement multicritère.

La méthode ELECTRE II, en permettant un surclassement de solutions par des critères potentiellement conflictuels et non hiérarchisables, définit selon nous une relation de surclassement suffisamment riche pour notre cas d'étude.

5.2. Exposé de la méthode

La présentation de la méthode ELECTRE II que nous allons faire dans ce paragraphe est tirée de l'ouvrage de [Maystre, 94]. Nous n'allons pas décrire de façon détaillée l'ensemble des mécanismes d'ELECTRE II, mais exposer les principaux éléments nécessaires à sa compréhension et à son utilisation. Le lecteur désireux d'approfondir le sujet pourra se reporter à l'ouvrage pour de plus amples informations.

5.2.1. *Evaluation des solutions potentielles*

A partir du sous-ensemble de solutions potentielles $\{S_j\}$ dont le décideur dispose, il va conduire une évaluation chiffrée de chacune d'entre elles sur chaque critère g_i doté d'un poids

P_j . Cette évaluation est symbolisée par $g_i(S_j)$.

L'ensemble des évaluations est rassemblé dans un tableau à double entrée, appelé **matrice des évaluations** (ou des jugements) dans laquelle chaque ligne représente une solution potentielle et chaque colonne un critère (tableau 9).

Critères →	g_1	...	g_i	...	g_p
↓ solutions potentielles					
S_1					
⋮					
S_j					
⋮					
S_n					

Tableau 9 : représentation générale de la matrice des évaluations.

La matrice des évaluations étant remplie, la démarche opérationnelle d'agrégation des préférences partielles du décideur sur chaque critère peut être appliquée. Afin de proposer un classement des solutions de la meilleure à la moins bonne, ELECTRE II construit une relation de surclassement en prenant appui sur deux notions : la concordance et la discordance, ainsi que sur une hypothèse de surclassement posée pour tout couple de solution qu'il s'agit de vérifier.

Pratiquement, pour tout couple (S_j, S_k) , l'hypothèse " S_j surclasse S_k " sera acceptée si une condition de concordance et une condition de non-discordance sont satisfaites. L'évaluation de chacune de ces conditions est réalisée à l'aide de deux indices, l'un de concordance et l'autre de discordance.

Condition de concordance

Si l'hypothèse " S_j surclasse S_k " est formulée, il est alors dit d'un critère g_i qu'il concorde avec cette hypothèse si la solution S_j est au moins aussi bonne que la solution S_k sur

ce critère, ce qui se traduit par la relation $g_i(S_j) \geq g_i(S_k)$ comme nous l'avons précédemment vu (cf. chapitre II,-III § 3.3.).

Remarque : Dans ELECTRE II, les seuils d'indifférence et de préférence faible sont implicitement supposés nuls ($p = q = 0$). Le critère dont il est question est donc un vrai critère.

L'indice de concordance C_{jk} est obtenu en considérant les critères en accord avec l'hypothèse de surclassement, c'est à dire ceux pour lesquels l'évaluation de S_j est au moins égale à celle de S_k dans la matrice des évaluations. Sur ces critères, la somme des poids est effectuée et normée en la divisant par la somme de tous les poids P .

Mathématiquement, C_{jk} est formulé comme suit :

$$C_{jk} = \frac{P^+(S_j, S_k) + P^-(S_j, S_k)}{P}, \quad C_{jk} \in [0, 1] \quad (7)$$

- ❖ $P^+(S_j, S_k)$ représente la somme des poids des critères pour lesquels la solution S_j est préférée à la solution S_k , ce qui dans la matrice des évaluations correspond à une évaluation de S_j supérieure à celle de S_k ;
- ❖ $P^-(S_j, S_k)$ représente la somme des poids des critères pour lesquels la solution S_j est équivalente à la solution S_k , ce qui dans la matrice des évaluations correspond à une évaluation de S_j égale à celle de S_k .

Cet indice de concordance exprime combien l'hypothèse " S_j surclasse S_k " concorde avec la réalité traduite par les évaluations des solutions sur chaque critère. En d'autres termes, il faut savoir si l'importance des critères pour lesquels S_j est préférée à S_k est suffisamment forte.

Pour l'ensemble des critères, trois seuils notés c^- , c^0 et c^+ sont définis tels que $c^- \geq c^0 \geq c^+$ et qu'ils appartiennent tous à l'intervalle $[0, 1]$.

Pour chaque critère, la relation $C_{jk} \geq c^+$ (respectivement $C_{jk} \geq c^0$ et $C_{jk} \geq c^-$) correspond à la satisfaction de la condition de concordance avec une certitude forte (respectivement moyenne



et faible). Pour chaque couple de solutions, cette relation est nécessaire, mais non suffisante à la satisfaction de la condition de concordance. Il faut lui adjoindre une condition supplémentaire :

$$\frac{P^+(S_j, S_k)}{P^-(S_j, S_k)} \geq 1 \quad (8)$$

L'objectif de cette condition est de supprimer les *circuits*⁸. Ceux-ci sont toujours gênants dans la mesure où ils peuvent conduire à des interprétations erronées sur ces solutions.

Condition de non-discordance

Cette condition permet de juger le refus de l'hypothèse "S_j surclasse S_k" obtenue après la satisfaction de la condition de concordance, lorsqu'il existe une opposition trop forte sur au moins un critère g_i.

La condition de non-discordance est issue d'une idée commune aux méthodes ELECTRE. Elle postule pour un principe de majorité de critères tempérée par un principe de forte minorité éventuelle d'autres critères pour l'acceptation de l'hypothèse de surclassement.

[Maystre, 94] formule cette idée de la façon suivante :

Lorsqu'une solution S_j est au moins aussi bonne qu'une autre S_k selon la plupart des critères et qu'en plus il n'existe pas de critère selon lequel S_j est beaucoup plus mauvaise que S_k, alors S_j surclasse S_k.

Pratiquement, il s'agit de définir dans quelles limites l'opposition de critères discordants à l'hypothèse de surclassement doit se tenir pour qu'elle puisse rester acceptable. Les limites que la discordance ne doit pas dépasser sont fixées pour chaque critère, au nombre de deux par critère. Ce sont les seuils de discordance D₁ et D₂ tels que D₁ ≤ D₂.

⁸ un circuit est caractérisé par des relations de surclassement de type "S₁ surclasse S₂", "S₂ surclasse S₃", "S₃ surclasse S₁".

Pour tout critère pour lequel la solution S_k est préférée à la solution S_j , la condition de non-discordance est énoncée comme suit :

- ❖ Si $g_i(S_k) - g_i(S_j) \leq D_{2(i)}$, alors il y a une certitude forte que le critère g_i ne présente pas une opposition majeure à l'hypothèse de surclassement ;
- ❖ Si $D_2 < g_i(S_k) - g_i(S_j) \leq D_{1(i)}$, alors il y a une certitude faible que le critère g_i ne présente pas une opposition majeure à l'hypothèse de surclassement.

Afin de faciliter l'examen de la condition, les valeurs de discordance pour l'ensemble des couples (S_j, S_k) sont généralement rassemblées dans un tableau. Celui-ci fait apparaître en ligne chaque couple (S_j, S_k) , en colonne chaque critère g_i et à l'intersection d'une ligne et d'une colonne :

- ❖ La valeur de la différence $[g_i(S_k) - g_i(S_j)]$ si le critère g_i est discordant, c'est à dire s'il est tel que l'évaluation de S_k est supérieure à celle de S_j ;
- ❖ La valeur zéro si g_i n'est pas discordant, c'est à dire s'il est tel que l'évaluation de S_k est inférieure ou égale à celle de S_j ;

5.2.2. Construction des relations de surclassement

L'élaboration d'une relation effective de surclassement entre deux solutions S_j et S_k implique de satisfaire en même temps la condition de concordance et de non-discordance. Toutefois, ELECTRE II admettant plusieurs niveaux de certitude pour la satisfaction de ces deux conditions (certitude faible, moyenne et forte pour la concordance et faible et forte pour la non-discordance), deux relations de surclassement sont possibles, chacune correspondant à un niveau de risque différent :

- ❖ Un **surclassement fort** traduisant l'assertion “ S_j surclasse S_k ” plus solidement assise ;
- ❖ Un **surclassement faible** traduisant l'assertion “ S_j surclasse S_k ” moins solidement assise.

Les conditions de surclassement fort et faible sont définies comme suit :

❖ **Surclassement fort**

$$\begin{array}{l}
 C_{jk} \geq c^+ \\
 \text{et } g_i(S_k) - g_i(S_j) \leq D_{1(i)} \\
 \text{et} \\
 \frac{P^+(S_j, S_k)}{P^-(S_j, S_k)} \geq 1
 \end{array}$$

et / ou

$$\begin{array}{l}
 C_{jk} \geq c^0 \\
 \text{et } g_i(S_k) - g_i(S_j) \leq D_{2(i)} \\
 \text{et} \\
 \frac{P^+(S_j, S_k)}{P^-(S_j, S_k)} \geq 1
 \end{array}$$

❖ **Surclassement faible**

$$\begin{array}{l}
 C_{jk} \geq c^- \\
 \text{et } g_i(S_k) - g_i(S_j) \leq D_{1(i)} \\
 \text{et} \\
 \frac{P^+(S_j, S_k)}{P^-(S_j, S_k)} \geq 1
 \end{array}$$

Le synoptique de la figure 27 reproduit le cheminement complet que peut suivre la recherche de la construction d'une relation de surclassement correspondant à tout couple (S_j, S_k) .

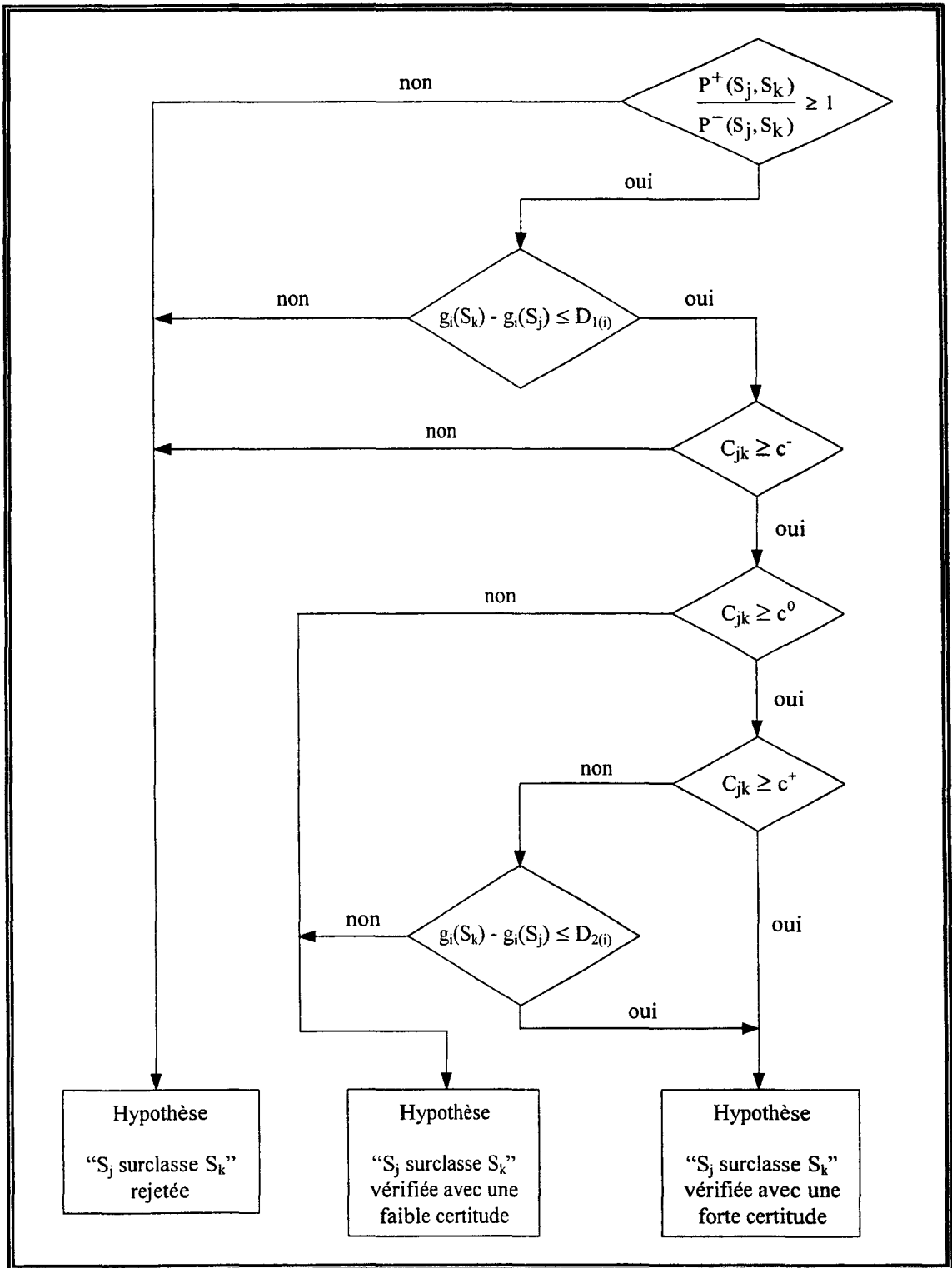


Figure 27 : construction d'une relation de surclassement pour un couple de solutions.

Le résultat de cette étape est l'établissement de deux graphes de surclassement, fort et faible. Un exemple est donné figure 28.

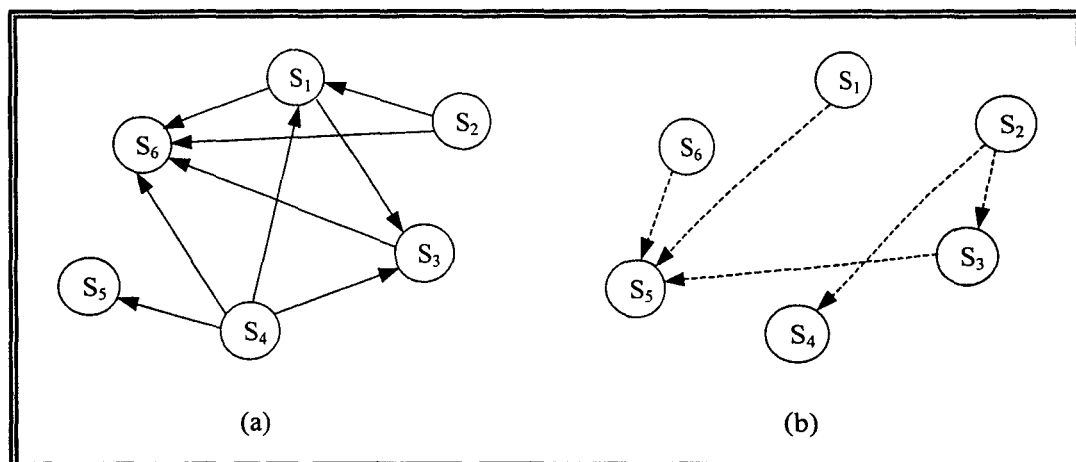


Figure 28 : exemple de graphes de surclassements fort (a) et faible (b).

5.2.3. Exploitation des relations de surclassement

Le classement des solutions potentielles depuis la meilleure jusqu'à la moins bonne est établi en construisant trois préordres : deux préordres totaux et un préordre partiel.

Mais préalablement à leur construction, il est nécessaire d'éliminer les éventuels circuits. Les solutions qui forment un circuit constituant une classe d'équivalence, tout circuit sera remplacé par une solution fictive S' de substitution.

Construction du premier préordre total

Le premier classement, appelé **classement direct**, considère tous les surclassements forts établis entre deux solutions S_j et S_k et plus particulièrement les chemins qu'ils constituent. Les solutions sont rangées par classes, en fonction de la longueur des chemins qui y aboutissent.

Remarque : dans la théorie des graphes, la longueur d'un chemin est le nombre d'arcs constituant ce chemin [Schärting, 90].

La première classe est celle des solutions non surclassées, c'est à dire celle auxquelles aboutit un chemin de longueur nulle. La deuxième classe est celle des solutions auxquelles aboutit un chemin de longueur 1 : ce sont les solutions qui seraient non surclassées si la première classe était retirée du graphe des surclassements forts. Et ainsi de suite. Les classes contenant plusieurs solutions, s'il y a des ex-aequo, le graphe des surclassements faibles est alors utilisé pour départager les solutions à l'intérieur de ces classes.

Construction du second préordre total

Le second classement, appelé **classement inverse**, repose sur l'idée qu'une solution est d'autant mieux classée, que les chemins issus de cette solution sont plus longs. Cette fois-ci, les solutions du surclassement fort sont donc rangées en fonction de la longueur des chemins qui en sont issus : la dernière classe est celle des solutions qui n'en surclasse aucune autre, c'est à dire dont n'est issu aucun chemin, ou dont est issu un chemin de longueur nulle. L'avant dernière classe est celle des solutions dont est issu un chemin de longueur 1. Et ainsi de suite. La première classe est celle des solutions dont est issu un chemin de longueur maximale (solutions surclassées par le maximum d'autres solutions). A nouveau, les ex-aequo sont départagés à l'intérieur des classes en examinant les surclassements faibles.

Construction du préordre partiel

Le préordre partiel est composé de l'intersection des classements direct et inverse. A ce niveau, l'incomparabilité entre deux solutions est autorisée. Les règles de construction du préordre partiel sont les suivantes :

- ❖ Si S_j est préférée à S_k dans les deux préordres complets, il en sera alors de même pour le préordre partiel ;
- ❖ Si S_j est équivalente à S_k dans un préordre complet, mais si S_j est préférée à S_k dans le second préordre complet, alors S_j sera préférée à S_k dans le classement final ;
- ❖ Si, dans le premier préordre S_j est préférée à S_k et si, dans le second S_k est préférée à S_j , alors les deux solutions sont incomparables.

En ce qui concerne la représentation du préordre partiel, [Maystre, 94] propose un support graphique (figure 29). Les solutions sont positionnées sur un plan en utilisant leur rang dans les deux classements.

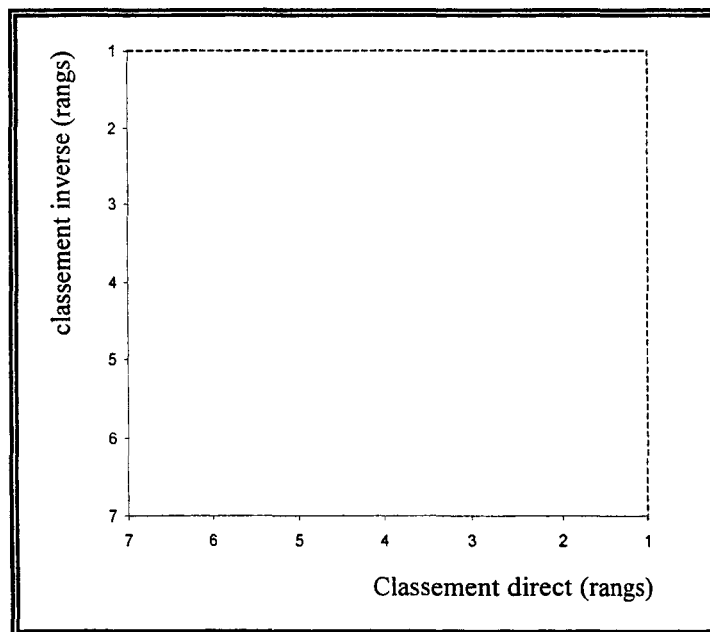


Figure 29 : support graphique de représentation du préordre partiel final par ELECTRE II.

Par convention, la ou les meilleures solutions (de rang 1) sont situées en haut et à droite de la figure.

5.3. Analyse de robustesse

5.3.1. Objectif et moyens

L'analyse de robustesse cherche à déterminer le domaine de variation de certains paramètres dans lequel un surclassement de solutions reste stable. Son utilité est essentielle, car elle permet de fournir au décideur un surclassement robuste qui l'informe quant à sa capacité à résister à des variations entre la réalité de la décision et sa représentation par un modèle multicritère.

Afin de parvenir à cerner quels sont les paramètres influençant la stabilité du surclassement, l'analyse de robustesse se fonde sur des analyses de sensibilité. Elles visent à répéter la méthode de surclassement en faisant varier les valeurs originales des paramètres de façon à savoir là où il suffit d'une modification pour changer le surclassement proposé.

Leur légitimité se fonde sur le fait que la pertinence des valeurs peut être remise en cause en raison de leur caractère parfois incertain [Van Gusteren, 01], ou de leur subjectivité.

5.3.2. Paramètres à tester

De façon générale, les paramètres à tester sont les suivants :

- ❖ Les poids des critères ;
- ❖ L'amplitude des échelles d'évaluation ;
- ❖ Les seuils de concordance c^- , c^0 et c^+ ;
- ❖ Les seuils de discordance par critère D_1 et D_2 .

En pratique, la planification des analyses de sensibilité n'est pas aisée. De plus, leur réalisation est souvent longue et leur interprétation délicate. Mais elles restent nécessaires et indissociables de la mise en oeuvre d'une méthode ELECTRE.

Nous pensons qu'un exposé détaillé de telles analyses n'a pas sa place dans le cadre de notre travail. Notre objectif ne consiste ici qu'à rechercher une méthode d'aide à la décision adaptée à notre problématique et capable de fournir au décideur un outil d'évaluation multicritère de solutions. Certes, le surclassement obtenu sera peut être discutable sur certains points, mais il constituera le résultat de l'outil. Son analyse de robustesse n'est qu'une seconde étape qui ne le remet pas en cause. Elle ne teste que sa robustesse.

C'est pourquoi, nous n'aborderons pas plus en détail ce volet des méthodes multicritères ELECTRE. Nous n'en ferons également pas état lors de l'application de la méthodologie d'aide au choix.

Conclusions du chapitre II

L'objectif de ce chapitre a été d'approcher la méthodologie de l'étude de zonage d'assainissement en adoptant un point de vue alternatif au raisonnement séquentiel actuellement adopté.

La problématique de décision concernant le choix de solutions à mettre en œuvre est considérée comme complexe. Le processus de résolution est caractérisé par des boucles rétro-décisionnelles.

La zone d'étude a été modélisée par un système en relation avec son environnement dans lequel les différents éléments (les sous-zones) sont en interaction.

La recherche d'un sous-ensemble de solutions potentielles d'assainissement pour chaque sous-zone a été effectuée en menant un raisonnement heuristique traduit par l'élaboration d'un système à base de règles. D'une part, ce type de système permet de mieux structurer les connaissances nécessaires à l'étude des solutions. D'autre part, il constitue un véritable guide quant à la démarche d'étude à conduire.

Pour l'évaluation des solutions potentielles, nous avons rejeté l'approche monocritère, considérant que ces solutions doivent aussi être jugées sur d'autres critères que celui du coût.

Pour chaque sous-zone, nous avons pris le parti de nous appuyer sur un modèle d'évaluation basé sur une problématique de rangement. A partir des préférences du décideur qu'il exprime sur des critères bien définis, chaque solution d'un sous-ensemble est évaluée par la méthode ELECTRE II. Le résultat fourni consiste en un surclassement des solutions depuis la meilleure jusqu'à la moins bonne.

Chapitre III : Application de la méthodologie d'aide au choix de solutions à trois types d'assainissement : autonome (A), regroupé (R) et collectif (C).

Introduction

Ce chapitre porte sur l'application la méthodologie à la conception et au choix de solutions d'assainissement selon le modèle canonique de décision – résolution.

Premièrement, en nous appuyant sur les trois modes (A), (R) et (C), nous construirons un système à base de règles pour l'élaboration des solutions potentiellement réalisables sur une sous-zone. Les règles feront appel aux contraintes techniques de chaque mode telles qu'exposées au chapitre I.

Puis, nous présenterons un ensemble de critères retenus pour l'évaluation des solutions. Nous les formaliserons et pour chacun d'entre eux, nous développerons la démarche de notation que nous avons adoptée.

Enfin, la phase d'évaluation nous conduira à exposer l'étape finale de notre méthodologie. Il s'agit de l'étape de choix des solutions à mettre en œuvre sur l'ensemble de la zone d'étude. La méthode d'analyse multicritère ELECTRE II sera appliquée sous une forme itérative dans laquelle l'intervention du décideur sera précisée.

I. Elaboration des solutions potentielles à l'échelle de chaque sous-zone

1. Préambule

Au chapitre I, nous avons présenté les différents types d'assainissement mis en jeu dans le contexte des collectivités de faible taille, dont les technologies de transport d'effluents aidé. Mais nous avons fait le choix de ne pas inclure ces derniers parmi les solutions d'assainissement à traiter. En effet, nous constatons que de manière générale, les décideurs montrent encore quelques réticences à envisager leur recours. Leurs avantages doivent souvent être démontrés de façon insistante pour emporter l'adhésion des décideurs. Ceci tient au fait que les coûts d'entretien et de maintenance de ces technologies restent très mal connus en raison de l'insuffisance des retours d'expérience. L'enquête que nous avons réalisée le montre bien [Le Gouévec, 99].

De plus, notre objectif est ici de ne considérer que des modes d'assainissement et non pas des technologies, bien que dans le cas de l'assainissement non collectif, nous envisageons les dispositifs par épandage souterrain, par tertre d'infiltration et par filtre à sable. Cela se justifie par le fait que l'impossibilité de mettre en œuvre l'une de ces trois filières ne condamne pas pour autant l'assainissement autonome comme mode d'assainissement potentiel. Les autres filières peuvent s'y substituer.

Par contre, si l'assainissement collectif n'est pas applicable pour le raccordement d'habitations d'une sous-zone, que les effluents soient alors transportés sous forme gravitaire, sous vide ou sous pression n'y change rien. Nous pourrions imaginer que dans le cas contraire, le type de transport des effluents pourrait être important si la contrainte topographique de raccordement est très défavorable. Mais nous préférons envisager ce cas dans les perspectives de la démarche méthodologique. L'assainissement collectif dont il s'agit dans ce chapitre est donc gravitaire.

2. Cas de l'assainissement non collectif individuel

2.1. Présentation des faits et des règles

Les faits

A l'échelle d'une sous-zone, une solution d'assainissement est supposée possible si les données de terrain (ce que nous appelons les faits) satisfont les valeurs de facteurs de contraintes techniques requises [STU (1), 85] figurant dans le tableau 10. Nous avons choisi de faire figurer dans ce tableau les valeurs de facteurs qui correspondent à un dispositif de type épandage souterrain (cf. chapitre I,-I, § 1.1.1. et 1.1.2. . Celui-ci présentant les contraintes les plus fortes, nous nous appuyerons sur ces valeurs pour construire la base de règles.

Contrainte	Facteur	Valeur(s)
Site	Surface de parcelle minimale (S)	$\geq 600 \text{ m}^2$
	Mode d'implantation du bâti	/
	Usages de l'espace privatif (UEP)	/
	Pente générale du terrain (P)	$\leq 5 \%$
Aptitude du sol à l'épuration	Coefficient de perméabilité (k)]15; 500 mm/h[
	Profondeur du substratum perméable (SP)	$\geq 1,5 \text{ m}$
	Profondeur du substratum imperméable (SI)	$\geq 1,5 \text{ m}$
	Profondeur de la nappe (Pn)	$\geq 1,5 \text{ m}$

Tableau 10 : contraintes et facteurs associés pour la mise en œuvre potentielle d'un assainissement individuel.

De façon générale, l'étude d'un dispositif d'assainissement individuel adopte un processus de hiérarchisation des faits. En effet, un sol peut être apte à l'épuration, mais si les contraintes de site de la parcelle ne permettent pas de procéder à la réhabilitation ou à la restructuration de l'existant, la solution envisagée n'est alors pas possible.

La hiérarchisation des faits est établie de la manière suivante :

- ①- La surface de parcelle doit d'abord être connue. Un minimum de 600 m² est requis.
- ②- Puis vient le mode d'implantation de l'habitat sur la parcelle qui est déterminant pour assurer l'accessibilité au dispositif et notamment de la Fosse Septique Toutes Eaux pour les opérations de vidange.

Le mode d'implantation requiert que l'Habitat soit Isolé sur la Parcelle (noté HIP). Il est considéré comme tel si un des pignons ne jouxte pas une des limites latérales de propriété (cas d'un habitat jumelé par exemple).

Dans le cas contraire, l'habitat est soit en bande, soit mitoyen des deux cotés du terrain s'il est seul. Il faut alors impérativement que l'Habitat soit placé en Fond de Parcelle (noté HFP) vis à vis de la voirie afin que l'accessibilité au dispositif soit conservée.

- ③- Le mode d'implantation du bâti est une condition nécessaire mais non suffisante. En effet, les Usages de l'Espace privatif (notés UEP) doivent aussi être pris en compte puisque la démarche s'appuie sur un assainissement individuel existant (en dysfonctionnement nous le rappelons). Parfois, ces usages occupent un tel espace que la réhabilitation ou le remplacement du dispositif en place n'est pas envisageable.

- ④- Enfin, si la surface de parcelle, le mode d'implantation de l'habitat et les usages de l'espace privatif le permettent, l'aptitude du sol à l'épuration peut être étudiée. Cependant, la confrontation des faits aux facteurs k, SP, SI, Pn et P du tableau 10 ne génèrent pas les mêmes conclusions en fonction du dispositif considéré.

Parce que la filière Epanchage Souterrain (notée ES) utilise le sol en place, sa mise en œuvre est toujours recherchée en premier. Les fait d'aptitude à l'épuration doivent alors satisfaire les la valeurs de facteurs suivantes :

- Généralement, au regard d'éventuels problèmes de résurgences, la pente P du terrain est limitée à 5 % ;
- Le coefficient de perméabilité k du substratum perméable doit être supérieur à 15 mm/h et inférieur à 500 mm/h. Dans le cas contraire, l'infiltration des effluents serait trop faible ou trop forte et engendrerait ainsi soit un risque de concentration élevée d'eaux usées non épurées dans les premières couches de sol, soit un risque de pénétration du substratum perméable trop rapide pour subir une dispersion suffisamment lente ;

- La profondeur du substratum perméable SP ou imperméable SI doit être d'au moins 1,5 mètres sous le drain d'infiltration afin d'éviter une contamination de la nappe phréatique par des effluents insuffisamment épurés ;
- La profondeur de nappe Pn sous le drain doit être d'au moins 1,5 mètre, car sinon le risque de contamination par des effluents n'ayant pas pu suffisamment diffuser dans le sol est accru.

Ainsi, si l'une de ces quatre condition n'est pas réunie lors de l'étude d'aptitude à l'épuration, la solution ES ne peut pas être envisagée et les solutions terre d'infiltration (noté T) ou filtre à sable (noté FS) doivent s'y substituer.

Les règles

Conformément à l'organisation des faits, les règles de production sont énoncées de la façon suivante :

Si	$[S] \geq \{600 \text{ m}^2\}$	Alors [voir HIP] Sinon [(A) pas possible]
Si	$[HFP] = \text{oui}$	Alors [voir UEP] Sinon [voir HFP]
Si	$[HFP] = \text{oui}$	Alors [voir K, P, SP, SI, Pn] Sinon (A) pas possible
Si	$[k] > \{15 \text{ mm/h}\}$ et $[k] < \{500 \text{ mm/h}\}$ et $\{P\} \leq \{5 \%\}$ et $\{SP\} \geq \{1,5 \text{ m}\}$ et $\{SI\} \geq \{1,5 \text{ m}\}$ et $\{Pn\} > \{1 \text{ m}\}$	Alors (ES) possible Sinon (T, FS) possibles

2.2. Exécution des règles et arrêt de l'exploration

En adoptant la symbolique “ \diamond ” pour chaque règle de production S_i , *Alors*, *Sinon*, l'exécution de l'ensemble des règles peut être graphiquement représentée par la figure 30.

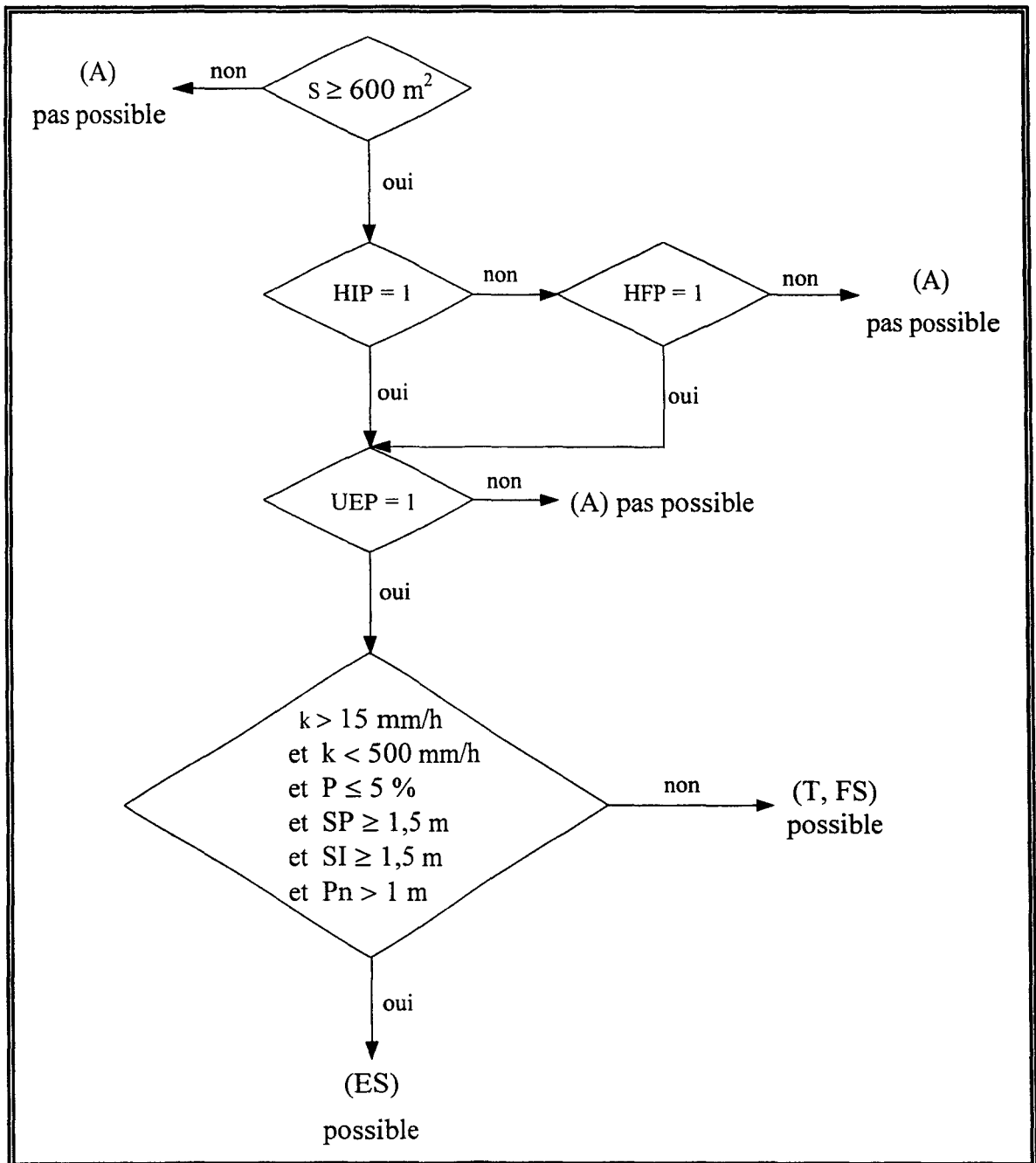


Figure 30 : exécution des règles de production - cas d'un assainissement non collectif individuel.

Remarque : nous avons substitué les assertions {oui} des attributs {HIP} et {HFP}, ainsi que {bon} de l'attribut {UEP} par l'assertion unique {1} dans un souci de clarté. Ceci signifie que lorsque les conditions des règles ne sont pas satisfaites, les attributs prennent la valeur {0}.

La figure 30 montre que l'exploration heuristique peut conduire à une solution d'assainissement individuelle non envisageable.

Cette situation correspond à :

- ❖ Un habitat qui n'est pas isolé ni situé en fond de parcelle vis à vis de la voirie ;
ou
- ❖ Des usages de l'espace privatif risquant de générer des conflits par rapport à une éventuelle réhabilitation ou un changement de dispositif d'assainissement.

L'étude de l'aptitude du sol à l'épuration n'est alors pas nécessaire, car la connaissance apportée par chacun des faits précédents permet de répondre négativement à la question de l'application potentielle d'un assainissement individuel quelle que soit la filière envisagée.

En revanche, dans le cas favorable (la solution est possible sous forme ES, T ou FS), la condition d'arrêt est prononcée lorsque les connaissances sur les faits de site permettent d'accéder à celles sur les faits d'aptitude à l'épuration.

3. Cas de l'assainissement autonome regroupé

3.1. Analogies avec l'assainissement individuel

Dans le contexte d'un dispositif individuel en dysfonctionnement, la solution d'assainissement autonome regroupé est parfois envisagée lorsque les parcelles des habitations sont trop petites pour permettre une réhabilitation ou un changement de filière, ou bien lorsque le sol de l'espace privatif est défavorable pour une épuration correcte des effluents. Le choix s'oriente alors vers l'étude de l'implantation d'un dispositif de traitement sur l'espace collectif.

Mis à part la question de la localisation de l'équipement de prétraitement (la FSTE) que nous supposons réalisée sur l'espace privatif pour simplifier, la faisabilité potentielle de l'assainissement autonome regroupé présente des similitudes avec celle d'un assainissement individuel à la parcelle :

- ❖ Il s'agit aussi de rechercher une surface de taille suffisante pour le traitement des effluents d'un ensemble d'habitations, mais à l'intérieur de l'espace collectif ;
- ❖ Les caractéristiques d'aptitude du sol à l'épuration doivent être évaluées de la même façon qu'en autonome non regroupé puisque les filières d'épuration des effluents sont identiques.

3.2. Présentation des faits et des règles

Les faits

Comme en assainissement individuel, une solution autonome regroupé est supposée possible si les données de terrain (les faits) satisfont les valeurs de facteurs de contraintes techniques [STU (1), 85] figurant dans le tableau 11.

Contrainte	Facteur	Valeur(s)
Site	Surface minimale de traitement (S)	$\geq 150 \text{ m}^2 / \log^t$
	Mode d'implantation du bâti	/
	Pente générale du terrain (P)	$\leq 5 \%$
Aptitude du sol à l'épuration	Coefficient de perméabilité (k)]15; 500 mm/h [
	Profondeur du substratum perméable (SP)	$\geq 1,5 \text{ m}$
	Profondeur du substratum imperméable (SI)	$\geq 1,5 \text{ m}$
	Profondeur de la nappe (Pn)	$\geq 1,5 \text{ m}$

Tableau 11 : contraintes et facteurs associés pour la mise en œuvre potentielle d'un assainissement autonome regroupé.

Remarque : la valeur de surface de traitement minimale donnée dans le tableau correspond à une filière par épandage souterrain pour les mêmes raisons qu'en assainissement individuel. Néanmoins, la surface nécessaire n'est pas directement corrélée au nombre d'habitants raccordés. C'est pourquoi la valeur n'est qu'indicative.

Nous pouvons procéder à l'organisation des faits relatifs à une solution autonome regroupé de façon analogue à celle de l'assainissement individuel, :

-①- La surface disponible pour un traitement collectif est à connaître en premier lieu. Mais ne sachant pas à priori combien de logements sont concernés, nous ne donnerons pas de valeur minimale stricte à respecter.

-②- Parfois, les Usages de l'Espace Collectif (notés UEC) ne sont pas en adéquation avec l'organisation requise pour la mise en œuvre d'une filière d'épuration.

Deux possibilités se présentent alors :

Chercher à fractionner la filière (noté FF, 1^{er} cas) ;

ou

Chercher à planter la filière à l'extérieur de l'ensemble des habitations (noté IFE), mais cela nécessite alors une maîtrise du foncier de la part de la commune (2^{ème} cas).

De façon générale, c'est le 1^{er} cas qui est d'abord recherché, car la maîtrise du foncier contraint parfois la commune à éloigner fortement le dispositif d'épuration des habitations et l'assainissement autonome regroupé perd alors le bénéfice de la proximité du traitement.

-③- Enfin, l'étude de l'aptitude du sol à l'épuration est conduite. Cette étape ne sera pas détaillée. Les filières mises en jeu étant les mêmes qu'en individuel, les faits doivent donc satisfaire les mêmes facteurs de contraintes (cf. page 112).

Les règles

L'organisation des faits engendre un énoncé des règles de la façon suivante :

<i>Si</i>	$[\{S\} \geq \{150 \text{ m}^2 \times n \log^{15}\}]$	<i>Alors</i> [voir <i>k, P, SP, SI, Pn</i>] <i>Sinon</i> [voir <i>FF</i>]
<i>Si</i>	$[\{FF\} = \text{oui}]$	<i>Alors</i> [voir <i>k, P, SP, SI, Pn</i>] <i>Sinon</i> [voir <i>IFE</i>]
<i>Si</i>	$[\{IFE\} = \text{oui}]$	<i>Alors</i> [voir <i>K, P, SP, SI, Pn</i>] <i>Sinon</i> (<i>A</i>) pas possible
<i>Si</i>	$[\{k\} > \{15 \text{ mm/h}\} \text{ et } \{k\} < \{500 \text{ mm/h}\} \text{ et } \{P\} \leq \{5 \%\}$ $\text{ et } \{SP\} \geq \{1.5 \text{ m}\} \text{ et } \{SI\} \geq \{1.5 \text{ m}\} \text{ et } \{Pn\} > \{1 \text{ m}\}]$	<i>Alors</i> (<i>ES</i>) possible <i>Sinon</i> (<i>T, FS</i>) possibles

3.3. Exécution des règles et arrêt de l'exploration

En adoptant la symbolique “ \diamond ” pour chaque règle de production *Si, Alors, Sinon*, l'exécution de l'ensemble des règles peut être graphiquement représentée par la figure 31.

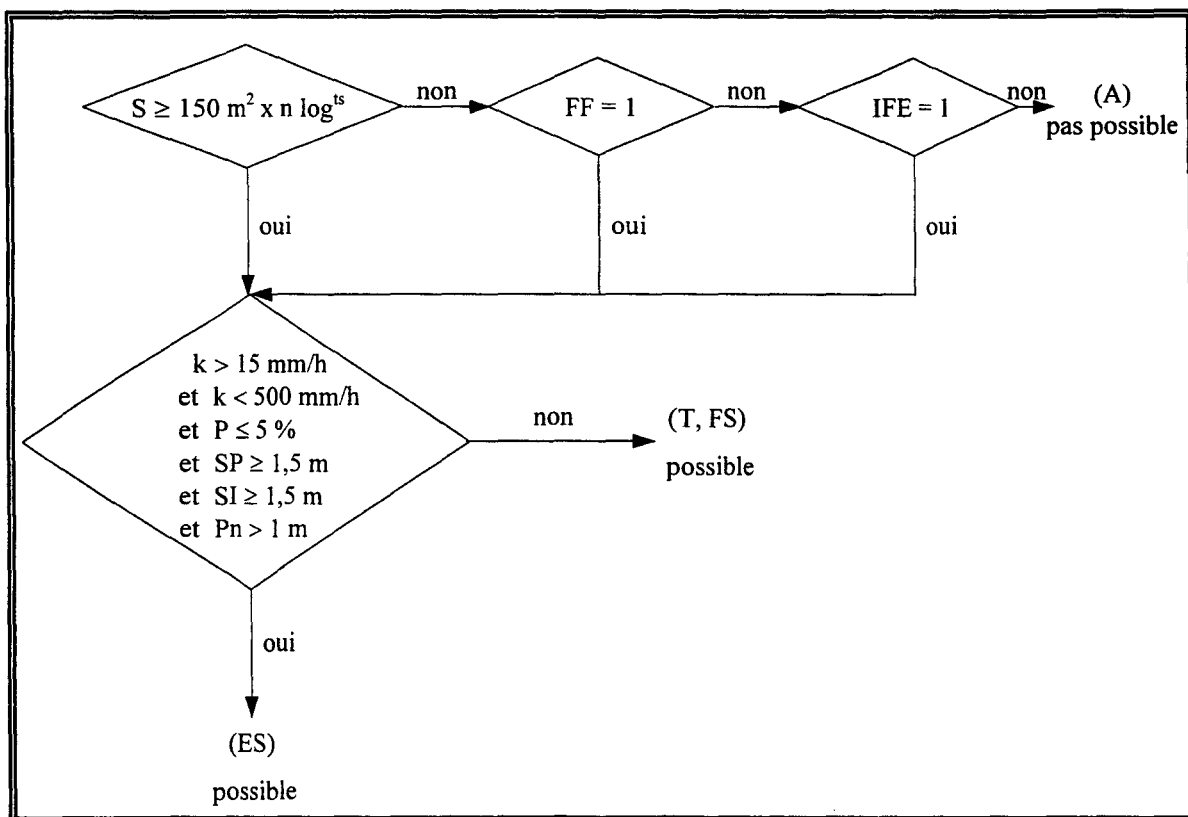


Figure 31 : exécution des règles de production - cas de l'assainissement non collectif regroupé.

Remarque : sur le même principe qu'en individuel, nous avons substitué les assertions {oui} des attributs {FF} et {IFE} par l'assertion unique {1}. Lorsque les conditions des règles ne sont pas satisfaites, les attributs prennent la valeur {0}.

La figure 31 montre que l'exploration heuristique peut conduire à une solution d'assainissement regroupé non envisageable dans le cas où ni la surface, ni un fractionnement, ni une implantation extérieure du dispositif de traitement n'est possible. L'étude de l'aptitude du sol à l'épuration n'est donc pas nécessaire, car la connaissance apportée par chacun de ces faits précédents permet de répondre négativement à la question de l'application potentielle d'un assainissement regroupé quelle que soit la filière envisagée.

En revanche, dans le cas favorable (la solution est possible sous forme ES, T ou FS), la condition d'arrêt est prononcée lorsque les connaissances sur les faits de site permettent d'accéder à celles sur les faits d'aptitude à l'épuration.

4. Cas de l'assainissement collectif

4.1. Présentation des faits et des règles

Les faits

Un assainissement collectif (gravitaire) n'est pas toujours potentiellement réalisable sur le plan technique. En effet, si la mise en œuvre d'un réseau est projetée sur une ou plusieurs sous-zones du territoire communal, son développement peut être limité par le débit résiduel admissible du réseau extérieur d'une part et/ou par le volume résiduel admissible de l'unité de traitement des effluents existante d'autre part. Ces deux facteurs de contraintes doivent donc impérativement être connus lors du test d'une solution d'assainissement collectif.

Par ailleurs, nous avons aussi précédemment mentionné une contrainte topographique sous la forme de la pente à donner aux collecteurs (cf. chapitre I,-I § 1.3.1.). Toutefois, nous ne la prendrons pas en compte dans le test de potentialité de réalisation d'un réseau sur une sous-zone. En effet, la contrainte topographique peut être perçue comme pénalisante pour la solution d'assainissement collectif (par exemple la nécessité d'une profondeur de pose excessive induit un coût financier plus élevé), mais pas rédhibitoire. A l'inverse, un débit résiduel non suffisant du réseau extérieur condamne à priori la solution. C'est pourquoi, de notre point de vue, le facteur de pente des collecteurs ne participe pas au test de réalisation potentielle d'un réseau collectif.

Les facteurs de contraintes retenus figurent dans le tableau 12.

Contraintes	Facteurs	Valeurs
Capacité résiduelle du réseau extérieur	Débit	Q_r (m ³ /s)
Capacité résiduelle de la STEP extérieure	Volume	V_r (m ³)

Tableau 12 : contraintes et facteurs associés pour la mise en œuvre potentielle d'un réseau collectif.

Remarques : Q_r et V_r correspondent au débit et au volume résiduels du réseau et de la STEP en place.

Dans le cas d'un réseau eaux usées strict, la connaissance du débit résiduel Q_r est simple à obtenir (campagne de mesures), car elle ne concerne qu'un problème de capacité. La compatibilité des débits doit être telle que l'écoulement doit toujours se faire à surface libre.

Par contre, en unitaire le problème de la capacité résiduelle est plus difficile à traiter car la prise en compte de débits supplémentaires peut générer de multiples répercussions sur le réseau en place et/ou sur son environnement naturel. Par exemple, ces débits peuvent créer ou aggraver des dysfonctionnements en temps de pluie (mises en charge de collecteurs et éventuellement débordements locaux), ou encore accroître la pollution rejetée au milieu naturel par les déversoirs d'orages.

Nous avons précédemment indiqué que la nature des effluents collectés par le réseau en place n'était pas un paramètre déterminant en ce qui concerne notre démarche méthodologique (cf. chapitre I,-II, § 1.). Cependant, afin de lever toute interrogation ou ambiguïté relative à l'estimation du débit résiduel Q_r du réseau en place, nous poursuivrons l'élaboration de notre démarche en supposant que le réseau est de type eaux usées strict.

En ce qui concerne la hiérarchisation des faits, la démarche adoptée est la suivante :

- ①- Le débit résiduel Q_r du réseau extérieur est le premier fait à connaître. Si celui-ci n'est pas suffisant pour admettre un débit projeté (noté Q_p), le décideur devra alors poser la question de la Remise en Cause du Réseau Projeté (notée RCRP) ou du réseau extérieur (notée RCRE) en envisageant éventuellement pour ce dernier une opération de restructuration (partielle ou non).

- ②- Le débit résiduel du réseau existant est suffisant pour admettre des flux supplémentaires et il est alors nécessaire de confronter le volume résiduel V_r de la STEP aux volumes issus des habitations potentiellement raccordées (notés V_p). Nous trouvons deux cas :
 - Les volumes sont compatibles, la solution d'assainissement collectif est par conséquent potentiellement réalisable sur la sous-zone ;
 - Les volumes ne sont pas compatibles. Le décideur devra alors poser la question de la remise en cause du réseau projeté (RCRP) ou de la STEP (notée RCSTEP) en envisageant éventuellement une opération de restructuration de l'ouvrage de traitement collectif (partielle ou non).

Les règles

L'énoncé des règles est le suivant :

Si	$\{Q_r\} > \{Q_p\}$	Alors [voir V_r] Sinon [RCRP ou RCRE ?]
Si	$\{V_r\} > \{V_p\}$	Alors (AC) possible Sinon [RCRP ou RCSTEP ?]

4.2. Exécution des règles et arrêt de l'exploration

Graphiquement, l'exécution des règles est représentée par la figure 32.

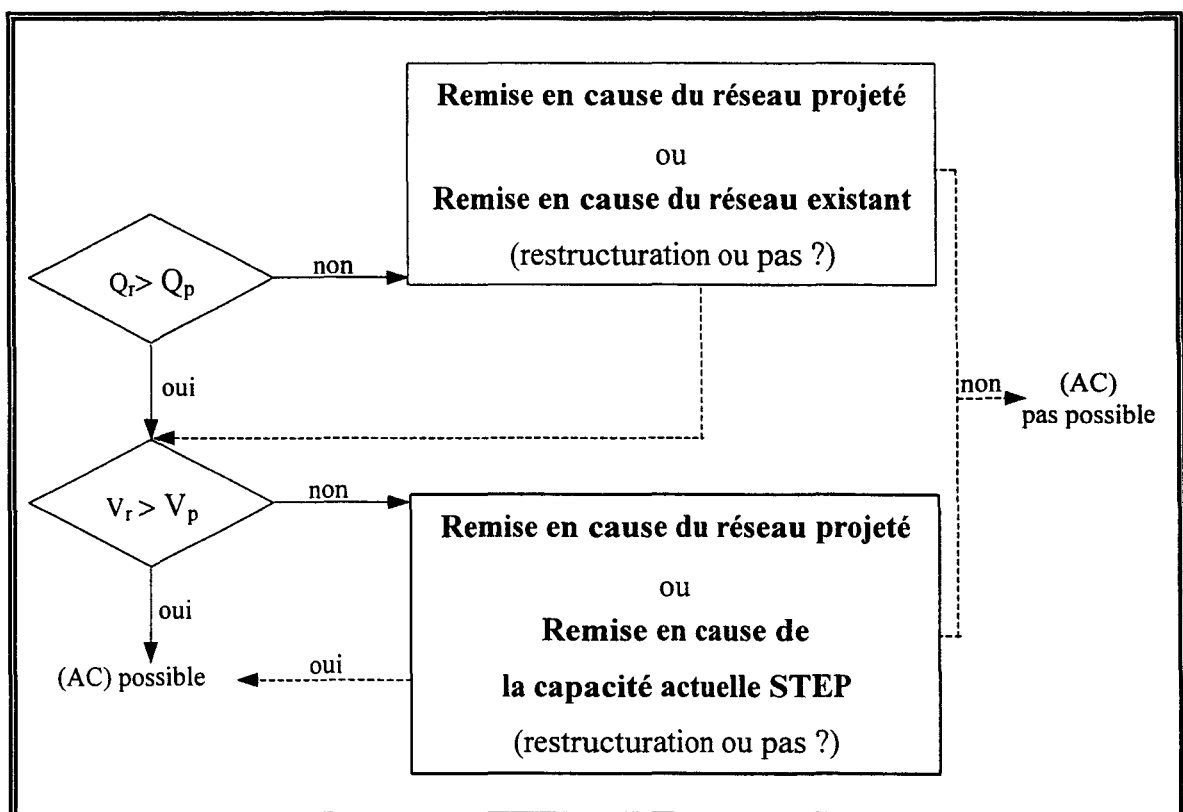


Figure 32 : exécutions des règles de production – cas de l'assainissement collectif gravitaire.

La figure 32 montre que dans le cas où le débit ou le volume résiduels des équipements d'assainissement existants ne sont pas suffisants, la solution ne sera pas potentiellement réalisable si la remise en cause de ces équipements n'est pas souhaitée.

Parmi les trois systèmes de production exposés, celui-ci revêt un caractère particulier dans la mesure où il est le seul qui doit explicitement requérir l'implication du décideur. Cependant, nous n'avons pas voulu développer les modalités de cette implication, car elle fait appel à des considérations qui vont au-delà de l'enjeu posé par la simple faisabilité technique d'une solution d'assainissement collectif sur une sous-zone.

Sur ces arguments, nous pouvons dire que **l'arrêt de l'exploration sera provoqué** :

- ❖ **De façon définitive** lorsque **tous les faits sont compatibles** avec les contraintes imposées : la solution est alors possible ;
- ❖ **De façon temporaire** lorsque **le décideur est sollicité** (cas de la remise en cause du projet, du réseau en place, ou de l'unité de traitement collective). La solution n'est pas potentiellement réalisable tant que la réponse apportée n'est pas positive.

En guise de synthèse, l'ensemble de ces trois systèmes de production devra mener à un résultat sur chaque sous-zone comme illustré figure 33.

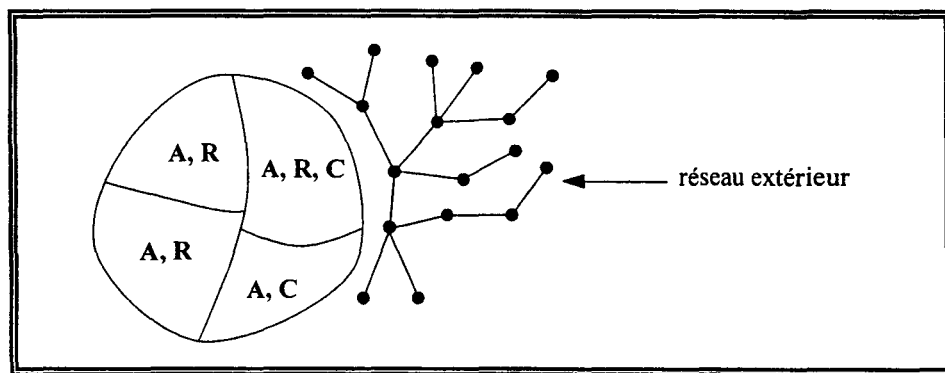


Figure 33 : sous ensemble de solutions potentielles pour chaque sous-zone.

Les solutions d'assainissement potentielles étant à présent déterminées, il va par la suite s'agir de procéder à leur évaluation. Mais auparavant, nous allons présenter les critères retenus, ainsi que la démarche méthodologique de notation des solutions par chacun d'entre eux.

II. Quels critères prendre en compte et comment les construire ?

1. Présentation des critères retenus

Les critères que nous allons présenter dans ce chapitre sont au nombre de cinq :

- ❖ Adéquation avec le devenir de la sous-zone ;
- ❖ Préservation du milieu naturel ;
- ❖ Coût financier ;
- ❖ Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement ;
- ❖ Adéquation avec l'assainissement des autres sous-zones.

Critère “Adéquation avec le devenir de la sous-zone”

Il s'agit de la prise en compte des projets de développement de l'urbanisation sur certains secteurs du territoire communal. La recherche de solutions en adéquation avec le type d'habitat existant sur chaque sous-zone, ainsi qu'avec son évolution future est rendue nécessaire vis à vis de la cohérence à long terme du zonage

Critère “Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement”

En pratique, le choix d'une politique de gestion met en jeu des facteurs décisionnels variables (satisfaction de la relation avec les usagers, moyens humains et techniques suffisants, ...) selon que cette politique s'exerce sur l'ensemble des équipements d'assainissement, sur l'assainissement collectif, ou sur l'assainissement non collectif. Mais chaque solution d'assainissement potentielle ayant ses propres contraintes, notamment vis à vis du dispositif réglementaire apporté par la loi sur l'eau de 1992, il est nécessaire que le décideur procède à une mise en adéquation de l'ensemble de ces contraintes avec la politique souhaitée.

Critère “Préservation du milieu naturel”

Le décideur ne doit pas se limiter à l'évaluation des conséquences des solutions potentielles sur la qualité actuelle du milieu naturel en ne prenant en compte que les usages et

vocations qu'il en est fait aujourd'hui. Ces conséquences doivent être évaluées par rapport aux objectifs de préservation du milieu, qui sont définis ou imposés par une approche globale des flux polluants à l'échelle du bassin hydrographique.

Critère “Coût financier”

Le coût engendré par un équipement d'assainissement figure parmi les contraintes les plus fortes pour une commune de faible taille compte tenu de son budget limité. Ce coût est trop souvent limité au montant de l'investissement à réaliser. Pourtant, les dépenses d'entretien et de maintenance sont parfois non négligeables et peuvent même constituer un facteur discriminant à l'égard des solutions potentielles, qu'elles soient de type collectif ou non. L'évaluation du coût financier d'une solution devra par conséquent impérativement être effectuée en prenant en compte les coûts d'investissement et d'exploitation (entretien, maintenance).

Critère “Adéquation avec l'assainissement des autres sous-zones”

La modélisation systémique de la zone d'étude suppose l'existence d'interactions potentielles entre les sous-zones. Lorsque le décideur aura à choisir une solution d'assainissement sur une sous-zone, son évaluation devra alors prendre en compte les solutions présentes sur les sous-zones voisines dans le respect des principes de modélisation, ainsi que la cohérence de l'ensemble des solutions à l'échelle de la zone.

2. Le critère “Adéquation avec le devenir de la sous-zone”

2.1. Aperçu des conséquences des solutions vis à vis de l'évolution de l'habitat

Chaque mode d'assainissement potentiel a ses propres contraintes relativement à un éventuel développement de l'urbanisation sur une sous zone.

L'assainissement autonome (A) fige pour longtemps ce développement. En effet, il paraît difficilement concevable de demander à un particulier peu de temps après avoir financé son propre dispositif de se connecter à un nouveau système collectif et par conséquent de devoir

s'acquitter d'une taxe de raccordement. Ceci signifie donc que, si la sous zone est concernée par un futur développement (projet de lotissement, zone commerciale, ...), ce mode d'assainissement n'est pas adéquat vis à vis du critère.

L'assainissement autonome regroupé (R) apparaît comme un type intéressant. En effet, possédant toutes les caractéristiques d'un mode d'assainissement collectif, il est aisé d'envisager le passage du regroupé au collectif si la sous zone est susceptible d'être concernée par une densification de l'urbanisation. La modification à apporter est alors l'élimination du dispositif d'épuration et du système de prétraitement.

L'assainissement collectif relève d'une stratégie de planification. Mais cette stratégie ne concerne pas seulement les sous-zones déjà urbanisées. En effet, au moment de la planification, l'urbanisation n'est peut-être pas très développée sur la sous-zone, mais l'assainissement collectif peut être préféré même si le développement urbain à venir n'est pas prévu dans un avenir très proche et ceci en dépit de coûts d'investissement initiaux plus élevés.

2.2. Approche proposée pour l'évaluation des solutions

L'adéquation d'une solution est difficile à juger d'emblée car :

- ❖ le critère fait appel à des hypothèses d'évolution de l'urbanisation sur chaque sous-zone propres à la commune que nous ne maîtrisons pas ;
- ❖ ces hypothèses peuvent être fonction de plusieurs paramètres tels que le type de devenir sur chaque sous-zone (évolution d'un habitat isolé vers un lotissement ou une grappe sans structuration particulière par exemple), ou encore l'intensité de l'urbanisation dans le temps (progression lente, rapide, ...).

Toutefois, nous pensons qu'il est essentiel de tenir compte de ce critère car, si une solution d'assainissement peut se révéler intéressante à court terme, compte tenu des contraintes qu'elle pose, elle peut constituer un obstacle au développement de la commune.

Le travail d'évaluation de chaque solution sur ce critère requiert donc à notre avis une implication forte du décideur.

Le raisonnement adopté est le suivant :

- a) Le décideur doit connaître l'état actuel de l'urbanisation sur chaque sous-zone. Nous proposons les scénarii d'urbanisation suivants sur la base des différentes typologies de l'habitat précédemment exposées (cf. chapitre I,-I, § 2.1.) :
- ❖ *Très faible*, la ou les habitations sont isolées ;
 - ❖ *Faible*, correspondant à une structuration de l'habitat en grappe ;
 - ❖ *Moyennement dense*, correspondant à une structuration de l'habitat en hameaux ou lotissements.
- b) Puis, nous supposons divers types d'urbanisation à venir sur la sous-zone :
- ❖ Pas d'urbanisation ;
 - ❖ Faible ;
 - ❖ Moyenne ;
 - ❖ Forte, à tendance péri-urbaine (le développement atteint la périphérie du bourg).
- c) Nous adoptons l'échelle d'adéquation d'une solution avec le type d'urbanisation à venir suivante :
- ❖ Faible = 1 ;
 - ❖ Moyenne = 2 ;
 - ❖ Bonne = 3 ;
 - ❖ Très bonne = 4.
- d) Enfin pour chaque sous-zone, il est demandé au décideur d'attribuer la note d'adéquation de chaque solution potentielle qu'il pense être le plus en correspondance avec le type d'urbanisation future compte tenu de la situation actuelle et sans faire intervenir le point de vue économique (tableau 13).

Type de solution potentielle	Note
Assainissement individuel (A)	a
Assainissement autonome regroupé (R)	b
Assainissement collectif (C)	c

Tableau 13 : évaluation des solutions potentielles -
critère "Adéquation avec le devenir de la sous-zone".

scénarii d'urbanisation future présentés sont subjectifs, puisqu'ils émanent de nos
options. Si le décideur souhaitait les nuancer ou les reformuler partiellement, cela ne
pas en cause la démarche. De même, ils ne constituent pas un ensemble exhaustif, le
peut les compléter.

le critère "Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement"

Paramètres concourant à définir une politique

acteurs participent au bon fonctionnement d'une organisation et d'une gestion du
assainissement au niveau d'une commune, qu'il soit collectif ou non collectif.

, nous pouvons retenir :

Mode de gestion du service ;

relations avec les usagers ;

ressources humaines mobilisables.

de gestion du service

règle générale, il existe trois manières d'assurer la gestion d'un service

ement collectif :

gie, c'est à dire directement par la commune avec ses propres moyens matériels,

ins et financiers. L'organisation et le fonctionnement du service public

inissement sont assurés directement par la commune qui l'a créé. Elle en a la

se complète. La contrepartie réside dans le fait que le service est de type industriel

et commercial. La commune doit donc disposer de l'autonomie financière d'investissement et d'exploitation des installations.

- ❖ Par délégation de tout ou partie du service à un tiers :
 - Dans le cas d'une concession, le contrat concerne à la fois la réalisation d'investissements et l'exploitation des installations collectives. Vis à vis de la commune, le concessionnaire s'engage à exploiter à ses risques et périls le service d'assainissement, ainsi qu'à construire et entretenir les ouvrages nécessaires à l'exploitation du service. Les avantages pour la commune sont dans ce cas de pouvoir se dispenser d'une compétence technique pour l'exploitation des installations, ainsi que de la tenue d'une comptabilité annexe pour le service concédé. En revanche, il n'y a pas de contrôle de la commune sur les taxes de raccordement versées par les usagers, puisque le concessionnaire se rémunère directement auprès d'eux. De plus, le concessionnaire ayant parfois un privilège d'exploitation exclusive, dans une situation de conflit avec la commune (défaut d'exploitation préjudiciable pour le fonctionnement du réseau par exemple) les conséquences peuvent être non négligeables en ce qui concerne la satisfaction du service à assurer ;

 - Dans le cas de l'affermage, le service s'effectue aussi aux risques et périls du fermier, mais il ne porte que sur l'exploitation des équipements d'assainissement. Les ouvrages nécessaires à cette exploitation (cas d'une STEP par exemple) ne sont pas construits par l'exploitant, mais mis à sa disposition par la commune qui en assure le financement. En contrepartie du droit d'exercer l'exploitation du service public, le fermier verse à la collectivité une redevance forfaitaire. La volonté de transparence et d'équité du tarif de l'eau appliqué aux usagers est ici possible grâce à la participation de la commune ;

- ❖ En régime mixte (gérance, contrats spécifiques, ...), la commune verse au gérant une rémunération forfaitaire en décidant seule des tarifs. Mais le gérant n'assume aucun risque dans l'exploitation du service. La responsabilité incombe totalement à la commune.

En matière d'assainissement non collectif, il n'existe pas de jurisprudence établie. Cependant, l'action de contrôle des installations peut être exercée en régie ou par un tiers, et la prise en charge éventuelle de leur entretien peut faire l'objet d'une délégation de service public.

Par ailleurs, le service dédié à l'assainissement collectif peut aussi être utilisé pour le non collectif. Mais les deux budgets doivent être séparés et équilibrés en comptabilité.

Les relations avec les usagers

Le cadre de ces relations est précisé dans la réglementation du service public d'assainissement, ainsi que dans des conventions pour les usagers utilisant un assainissement non collectif. L'objet général du règlement et des conventions est d'organiser les relations entre les usagers et la commune afin d'éviter tout risque de conflit portant sur l'utilisation et le fonctionnement des équipements.

Selon le cas, en non collectif, les conventions ne sont relatives qu'à l'entretien des dispositifs (vidanges des FSTE), ou bien à l'entretien et aux travaux de réhabilitation nécessaires pour retrouver une épuration correcte des effluents.

En matière d'entretien, les conventions rappellent généralement que le propriétaire doit faciliter la possibilité pour la commune de procéder régulièrement à une inspection des conditions de fonctionnement en plus de son obligation de faire réaliser les opérations de vidange chaque fois qu'il est nécessaire.

En matière de travaux, les conventions définissent leur contenu, arrêtent leur coût et le montant de la participation des usagers, fixent les modalités d'intervention sur le domaine privatif et prévoient l'adhésion au service d'entretien.

Dans ce dernier cas, le principe des conventions est très intéressant pour une commune souhaitant acquérir la maîtrise de l'ensemble de l'assainissement sur son territoire. Sous couvert d'une adhésion d'ensemble de la part des propriétaires d'installations non collectives, la commune peut alors véritablement exercer une mission de service public en procurant à tous les usagers de l'assainissement communal le même niveau de confort vis à vis de l'utilisation des équipements collectifs ou non. En effet, les usagers des dispositifs individuels

sont “soulagés” des servitudes liées à leur entretien et peuvent alors prétendre à une prestation de service équivalente à celle d’un assainissement collectif.

Mais en choisissant de ne prendre en charge que le contrôle et les vidanges périodiques des dispositifs non collectifs, la commune demeure tout de même dans un contexte de service rendu aux usagers, en leur faisant par exemple bénéficier de tarifs intéressants par des interventions groupées.

Les ressources humaines mobilisables

La qualité de fonctionnement du service public d’assainissement assuré par une commune, repose sur ses effectifs techniques et sur leur qualification par rapport aux ouvrages à exploiter.

De façon générale, un service public requiert les postes suivants :

- ❖ Etudes, bien que les communes de faible taille confient souvent cette fonction à des intervenants extérieurs publics (DDAF, DDE, intercommunalité, ...) ou privés (bureaux d’études) ;
- ❖ Entretien des ouvrages ;
- ❖ Travaux ;
- ❖ Contrôle de l’assainissement non collectif ;
- ❖ Entretien de l’assainissement collectif ;
- ❖ Administration et gestion du personnel
- ❖ Facturation et comptabilité ;

La question des effectifs dans une commune de faible taille se pose réellement pour les postes d’exploitation des équipements. En effet, la commune doit prendre en compte une capacité d’intervention du personnel 24 heures sur 24 pour l’assainissement collectif (plus faible en non collectif).

De plus, l’agent responsable de la station d’épuration doit pouvoir optimiser les performances épuratoires, ou encore maîtriser son fonctionnement. Ses compétences doivent couvrir les champs techniques, biologiques et relationnels.

Ainsi, chercher à **définir une politique de gestion de l'assainissement**, implique de la part du décideur d'**évaluer différents paramètres** décisionnels. Tels qu'ils se présentent à travers la description que nous venons d'en faire, ces paramètres apparaissent le plus souvent **sous la forme de contraintes**.

Par conséquent, l'évaluation d'une solution d'assainissement potentielle sur le critère "Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement" peut être conduite sous la forme d'**une résolution d'un problème sous contraintes**.

3.2. Evaluation des solutions par résolution d'un problème sous contraintes

Un ensemble de contraintes procure un ensemble de vues locales d'une solution. Chaque contrainte fournissant des informations fragmentaires de la solution considérée, le problème consiste alors à construire sa représentation en tenant compte de l'ensemble de ses descriptions partielles et des objectifs fixés [Berlandier, 92].

La stratégie d'évaluation de chaque solution d'assainissement potentielle que nous proposons, consiste à concevoir un système dans lequel les contraintes apportées par chaque solution sont confrontées à des contraintes de validité apportées par le décideur.

Graphiquement, la démarche d'évaluation est représentée par la figure 34.

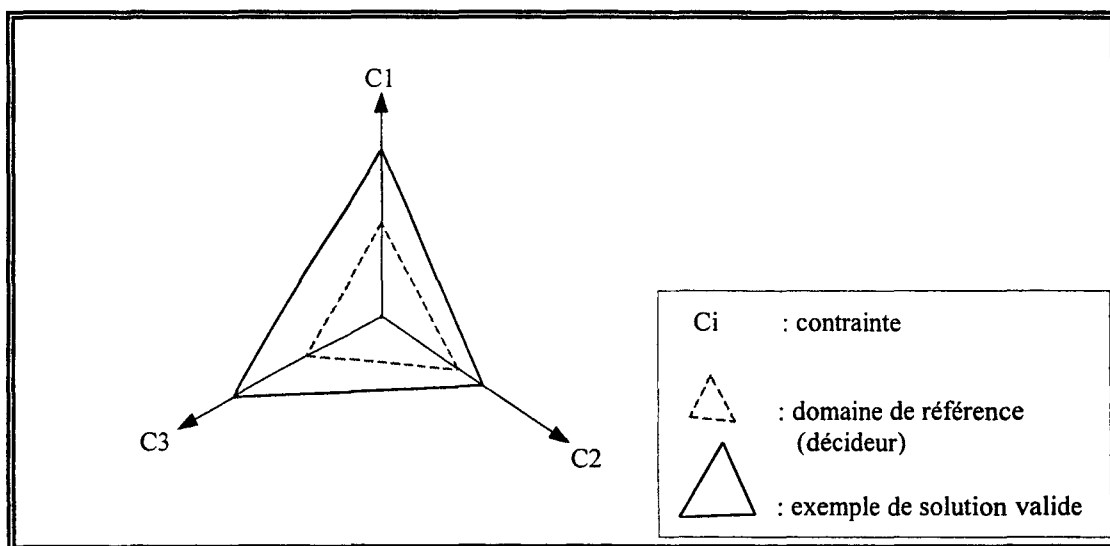


Figure 34 : démarche d'évaluation graphique des solution potentielles - critère "Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement".

Les contraintes de validité définissent un domaine à l'extérieur duquel les solutions potentielles sont valides. Ce domaine est appelé **domaine de référence**.

Sur l'ensemble des contraintes, une solution définit un domaine dit **domaine de préférence**.

Pratiquement, chaque contrainte de validité dépassée se traduit par une satisfaction sur la solution vis à vis de cette contrainte. Sur l'ensemble des contraintes, plus le domaine de préférence d'une solution est grand et plus elle est préférée à une autre. Lorsque la surface S_{pref} de ce domaine est supérieure à celle du domaine de référence S_{ref} , nous considérons que la satisfaction apportée par la solution est maximale. En d'autres termes, toutes les solutions pour lesquelles le domaine de préférence inclus le domaine de référence, sont supposées équivalentes sur le critère.

La qualification de la satisfaction globale d'une solution par rapport aux objectifs définis, peut alors être effectuée suivant le principe d'intersection entre un domaine de préférence et le domaine de référence.

La note globale (notée ng) respective de chaque solution sur le critère est calculée de la façon suivante :

Pour une solution, si :

- $S_{pref} \cap S_{ref} = S_{ref}$ alors $ng = 1$
- $S_{pref} \cap S_{ref} < S_{ref}$ alors :

$$ng = \frac{S_{pref}}{S_{ref}} \quad (9)$$

Cette démarche nécessite par conséquent que toutes les contraintes aient une échelle quantitative pour le calcul de la surface d'un domaine. S'il existe certaines contraintes qualitatives, une transformation de leur appréciation en une note est impérative.

Illustrons notre démarche. L'exemple qui suit est purement fictif, il n'est présenté que dans un but pédagogique. La figure 35 illustre l'évaluation de trois solutions d'assainissement (A), (R) et (C) sur trois contraintes C_i . Les domaines de préférences de chaque solution sont reportés graphiquement.

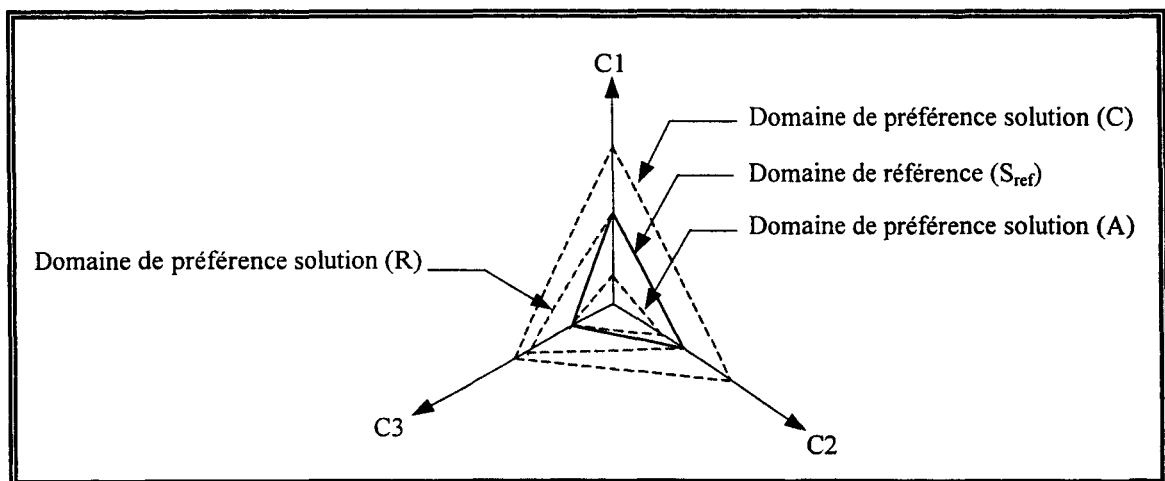


Figure 35 : exemple d'évaluation graphique de solutions potentielles critère "Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement".

Chaque solution est notée en fonction de sa surface incluse S dans la surface de référence S_r , soit :

❖ Solution (A) :

□ $S_{\text{pref}} \cap S_{\text{ref}} < S_{\text{ref}}$, $ng < 1$

❖ Solution (R) :

□ $S_{\text{pref}} \cap S_{\text{ref}} = S_{\text{ref}}$, $ng = 1$

❖ Solution (C) :

□ $S_{\text{pref}} \cap S_{\text{ref}} = S_{\text{ref}}$, $ng = 1$

D'où $ng(C) = ng(R) > ng(A)$.

Nous en déduisons donc que sur le critère "Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement":

- ❖ La solution (C) est aussi satisfaisante que la solution (R) ;
- ❖ Les solution (R) et (C) sont plus satisfaisante que la solution (A).

En adoptant cette démarche, le premier travail du décideur consistera à définir les contraintes de validité à appliquer à chaque sous-zone. Pour les construire, il pourra par exemple s'appuyer sur l'exposé des différents paramètres concourant à la définition d'une politique que nous avons fait précédemment, compte tenu du contexte communal actuel en matière de service d'assainissement.

Puis, il devra effectuer la description partielle des solutions d'assainissement potentielles sur chaque sous-zone vis à vis de chaque contrainte.

L'élaboration éventuelle d'une échelle de transformation pour le passage d'une description qualitative à une description quantitative des solutions pour certaines contraintes peut être simple dans le cadre d'une première approche du principe d'évaluation par le décideur. Il pourra par la suite modifier l'échelle de transformation si par exemple, il n'existe pas de solution vérifiant les objectifs, ou si ceux-ci requièrent une échelle plus détaillée.

4. Le Critère “Préservation du milieu naturel”

4.1. Présentation du contexte

4.1.1. *Définition du milieu naturel considéré*

Nous nous intéressons ici à la préservation de l’environnement au regard des conséquences générées par des rejets d’eaux usées sur les hydrosystèmes et plus particulièrement sur deux milieux de rejet : les cours d’eaux et les nappes phréatiques (via le sous-sol). Nous ne parlerons pas des milieux estuariens, ni des milieux côtiers ou marins.

Notre point de vue est par conséquent environnementaliste [Chocat & al, 1997]. Les écosystèmes (faune et flore aquatique) ne sont pas pris en compte, bien que nous soyons conscient que leur évolution est intimement liée à celle des hydrosystèmes [Maskey & al, 00].

4.1.2. *Flux polluants et réglementation : point de vue systémique*

L’approche des flux polluants imposée par le contexte réglementaire de la loi sur l’eau de 1992 est une approche globale. A l’échelle du bassin hydrographique, elle implique que la commune rejette des effluents traités en tenant compte des rejets des autres collectivités du bassin, ainsi que de l’état du milieu naturel.

La commune doit donc se placer dans une dynamique d’ensemble en ce qui concerne sa contribution à la préservation de la qualité du milieu de rejet. Cette dynamique peut être représentée sous forme systémique par la figure 36.

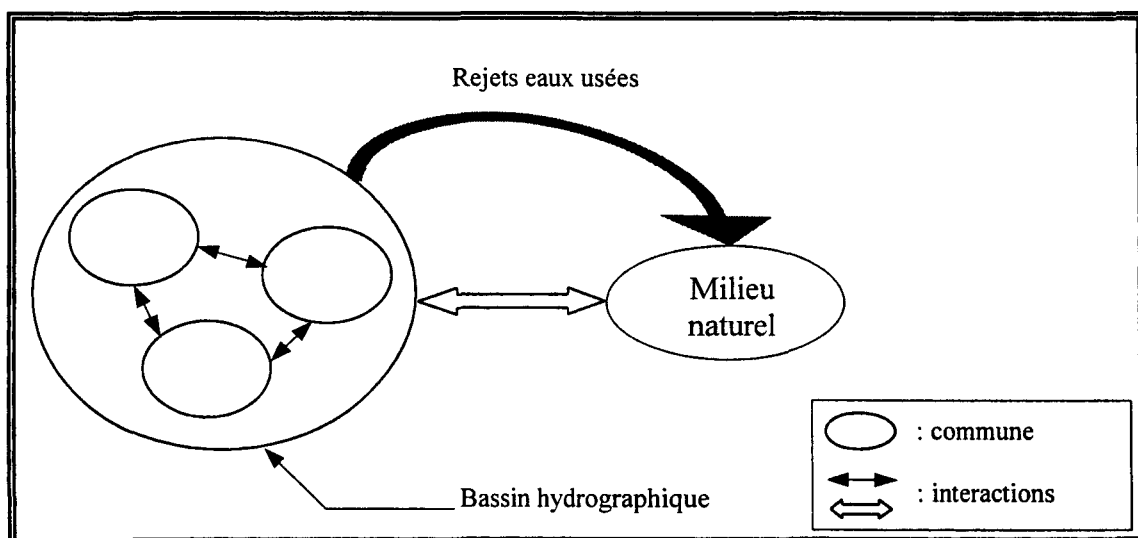


Figure 36 : conception systémique de l'approche réglementaire des flux polluants à l'échelle d'un bassin hydrographique.

4.1.3. Objectifs de réduction

La gestion des systèmes d'assainissement a longtemps négligé les conséquences induites par les rejets sur le milieu naturel. Le respect de normes de rejet à l'exutoire des systèmes ne constituait que la seule préoccupation, sans prise en compte des circonstances locales, en particulier la qualité du milieu de rejet [Ranch & al, 98].

Aujourd'hui, nous sommes passés d'une obligation de moyens (réaliser des équipements d'assainissement conformes aux normes) à une obligation de résultats. Celle-ci implique de concevoir des solutions d'assainissement sur chaque commune qui nécessite le respect des objectifs de qualité du milieu récepteur. L'enjeu peut donc consister à devoir réduire les flux polluants rejetés (même s'ils sont conformes aux normes de rejet fixées) afin d'atteindre un niveau de qualité imposé ou recherché.

4.2. Définition générale des objectifs de qualité des cours d'eau

Les équipements et les rejets d'un même périmètre d'assainissement doivent être tels que la gestion globale et équilibrée des hydrosystèmes soit assurée. C'est un principe de base de la loi sur l'eau.

La reconquête de la qualité des eaux se traduit par une politique d'objectifs. A ce titre, les Agences de l'Eau ont réalisé des grilles d'appréciation générale de la qualité afin de respecter les caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques de manière compatible avec les différents usages de l'eau.

L'Agence de l'Eau Artois Picardie a par exemple défini 4 classes et 13 paramètres de classement de la qualité générale de l'eau (tableau 14) [AEAP, 99].

Paramètres	Qualité			
	1	2	3	4
O ₂ dissous (mg/l)	≥ 5	≥ 3	≥ 1	< 1
O ₂ dissous (% saturation)	≥ 70	≥ 50	≥ 10	< 10
DBO ₅ (mg/l)	≤ 5	≤ 10	≤ 25	> 25
DCO (mg/l)	≤ 25	≤ 40	≤ 80	> 80
NO ₃ ⁻ (mg/l)	≤ 25	< 50	≤ 80	> 80
NH ₄ ⁺ (mg/l)	≤ 0,5	≤ 2	≤ 8	8
NO ₂ ⁻ (mg/l)	≤ 0,3	≤ 1	≤ 1	
NTK (mg/l)	≤ 2	≤ 3	≤ 10	> 10
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	≤ 0,5	≤ 1	≤ 2	> 2
MeST (mg/l)	≤ 70		> 70	
Phosphore total	0,3	≤ 0,6	≤ 1	> 1
Conductivité	≤ 2000		> 2000	
pH	≥ 6,5 et ≤ 8,5		< 6,5 ou > 8,5	

Tableau 14 : grille d'appréciation de la qualité générale des cours d'eau selon l'Agence de l'Eau Artois Picardie.

La classe 1 correspond à une bonne qualité, la classe 2 à une qualité moyenne, la classe 3 à une mauvaise qualité et la classe 4 à une très mauvaise qualité.

De plus, les grilles de qualité sont complétées par une carte des zones sensibles de chaque bassin hydrographique. Conformément aux prescriptions du décret du 3 juin 1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées, les zones sensibles aux pollutions azotées et/ou phosphorées (eutrophisation) sont spécifiées conjointement aux exigences de réduction des substances polluantes.

Par une approche globale de la qualité au niveau d'un bassin hydrographique, chaque Agence de l'Eau doit donc définir les priorités d'actions relatives à l'amélioration quantitative et qualitative des ressources en eau.

Pour toute commune de taille supérieure à 2000 équivalents habitants, en collaboration avec l'Agence de l'eau, la Mission Inter Service de l'Eau (MISE) établit une proposition d'objectifs de réduction des flux polluants en fonction de la charge totale produite et de la sensibilité du milieu récepteur. Ce document contient [AEAP, 99] :

- ❖ Une carte indiquant pour le milieu récepteur les objectifs de qualité, les principaux usages de l'eau, ainsi que la nature de la pollution qui les affectent ;
- ❖ Une évaluation de la charge brute de pollution organique et des autres pollutions produites sur le territoire communal.

Cette proposition est soumise à l'avis des communes. Après modification éventuelle, un arrêté préfectoral fixe les objectifs de réduction des flux polluants à atteindre pour l'ensemble des équipements d'assainissement de la commune.

4.3. Principes d'application des objectifs de réduction

[Wolff, 94] a développé trois principes fondamentaux :

- ❖ Considérer globalement l'ensemble des rejets pour conserver une démarche cohérente de préservation de la qualité du milieu de rejet ;

- ❖ Intégrer l'impact des rejets sur le milieu comme un critère d'évaluation des actions à entreprendre ;
- ❖ Prendre en compte explicitement les objectifs de préservation de la qualité du milieu dans la gestion de l'assainissement.

L'application de ces objectifs de réduction nécessite de considérer globalement les apports de tous les systèmes d'assainissement. Il s'agit non seulement des rejets eaux usées de temps sec, mais aussi de temps de pluie (dont les eaux pluviales), reconnus comme étant au moins aussi polluants que les rejets domestiques stricts [Valiron & Tabuchi, 92].

Néanmoins, notre problématique se limitant aux rejets d'eaux usées, nous supposons que les objectifs ne se réfèrent qu'à ce type de rejets.

De plus, le milieu de rejet est différent selon le type d'assainissement. En assainissement non collectif, il s'agit de la nappe phréatique (par l'intermédiaire du sous-sol). En assainissement collectif, il s'agit du réseau hydrographique de surface, c'est à dire les cours d'eau. Les conséquences potentielles des rejets ne sont donc pas les mêmes selon le type de milieu et selon ses usages éventuels. La connaissance des impacts est donc essentielle à une politique de réduction des flux polluants.

Enfin, l'application des objectifs de réduction est une étape décisive de la préservation de la qualité du milieu récepteur, mais elle doit inciter le décideur à les prolonger ou les dépasser sur le long terme au regard d'un développement durable de la politique de préservation sur le plan communal.

4.4. Démarche de raisonnement proposée

4.4.1. *Problèmes posés pour l'application des objectifs de réduction*

Les rejets de l'ensemble des dispositifs d'assainissement de la zone d'étude d'une commune n'étant pas supposés interagir, la charge polluante totale est donc égale à la somme des charges sur chaque sous-zone.

Un premier problème vient du fait que nous évaluons les solutions d'assainissement potentiellement réalisables sous-zone par sous-zone. Il se peut alors qu'à un certain état d'avancement de la démarche, les rejets engendrés par une solution évaluée sur une sous-zone ne permette plus de satisfaire les objectifs de réduction globalement.

Dans ce cas, de quelle façon le décideur peut-il intervenir ?

- ❖ Peut-il accepter le dépassement du seuil de réduction, même temporairement ? En principe il ne le peut pas car, d'une part les objectifs lui sont imposés et d'autre part, le principe d'un développement durable de la politique de préservation est à respecter ;

- ❖ Doit-il restreindre ses choix possible sur une sous-zone, c'est à dire abandonner une solution potentielle ? Nous pensons qu'il doit le faire et que cette intervention est la plus raisonnable compte tenu de la méthodologie d'évaluation que nous avons adoptée.

Nous sommes bien conscient des conséquences que le second raisonnement apporte. En se voyant contraint de restreindre le sous-ensemble de solutions potentielles sur certaines sous-zones, le décideur peut alors implicitement renoncer ou limiter un développement futur de l'urbanisation (si le mode retiré est l'assainissement collectif). De même, il peut être obligé de n'évaluer que deux solutions dont le coût d'investissement n'est pas adéquat avec le budget alloué. Enfin, il peut devoir réviser sa politique de gestion de l'assainissement en envisageant de ne plus nécessairement avoir la maîtrise du fonctionnement des équipements d'épuration sur certaines sous-zones (si les solutions à évaluer sont en non collectif).

Cependant, dans le cadre de la réglementation actuelle, le volet environnemental de l'assainissement est fondamental. Nous pouvons penser qu'il aura de toute façon des implications non négligeables sur l'ensemble des points que nous venons d'aborder, quelle que soit la méthode d'évaluation des solutions retenue.

Le second problème se situe au niveau de la quantification des impacts des rejets sur le milieu récepteur. L'évaluation de la contribution des rejets à la dégradation ou la préservation de la qualité de l'eau reste actuellement difficile pour plusieurs raisons :

- a) le caractère incertain de l'évolution dans le temps et dans l'espace des hydrosystèmes et les grandes quantités de données souvent nécessaires pour modéliser les phénomènes, sont parfois incompatibles avec les modèles numériques déterministes dédiés à l'étude

des problèmes de dégradation de la qualité des cours d'eau [Maeda & al, 00] [McIntyre & al, 01]. Des modèles recourant aux algorithmes génétiques ou à la logique floue peuvent alors être construits [Chen & Chang, 98]. Mais en étant à ce jour appliqués à des cas d'étude bien spécifiques, ils posent le problème de leur généralisation.

- b) Les modèles affectés aux différents sous-systèmes de la chaîne de production, de transport et de réception de la pollution (figure 37) sont souvent indépendants les uns des autres et incompatibles. Pour des problèmes d'échelle spatiale et temporelle, les résultats d'un sous-système ne correspondent pas aux entrées d'un autre [Wolff, 94].

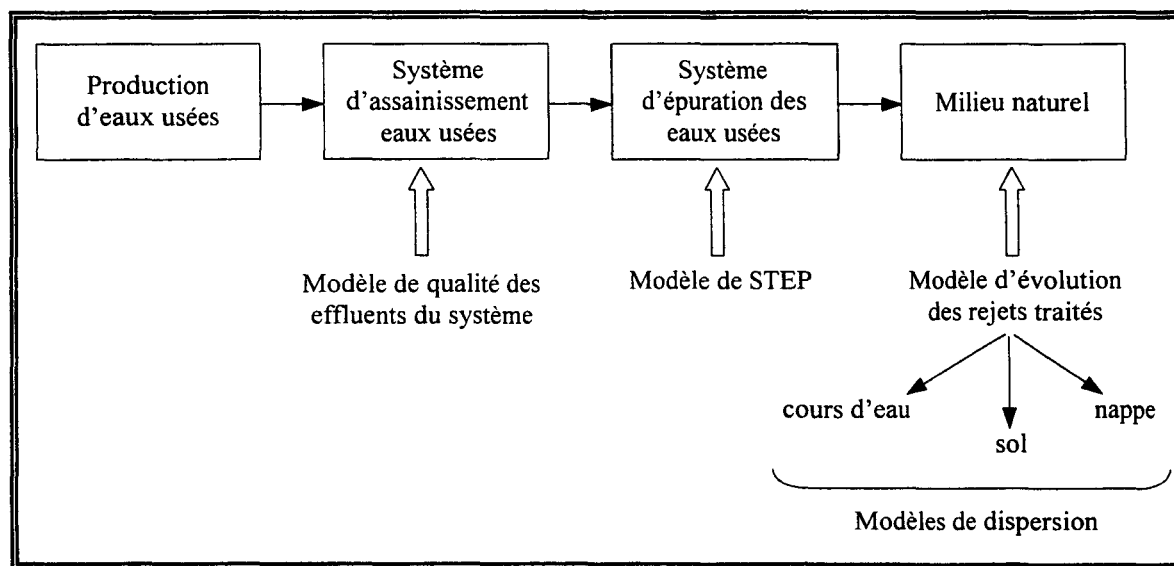


Figure 37 : sous-systèmes de production, de transport et de réception de la pollution - Types de modèles numériques correspondants.

Nous ne développerons pas l'ensemble de ces modèles. Le lecteur pourra se reporter à [Wolff, 94] dont la bibliographie est assez complète, ou à [Vanrolleghem, 01] pour un exemple de modèle récent de gestion de STEP ;

- c) Lorsque des modèles intégrés sont conçus de façon à enchaîner les entrées et les sorties afin de déterminer l'impact des rejets sur le milieu récepteur (cf. les travaux de [Fantozzi & Battisti, 00] ou ceux de [Willems & al, 00]), les temps de calcul requis sont très longs et des données de qualité sont nécessaires. L'incertain régnant souvent sur beaucoup de

paramètres (cf. a)), certains modules de ces modèles sont basés sur des relations empiriques, ce qui remet en cause la fiabilité des résultats engendrés ;

- d) La plupart des modèles présents dans la littérature sont consacrés à la représentation de la qualité spatio-temporelle des cours d'eau. En revanche, nous n'en avons trouvé que très peu qui soient dédiés à l'impact des rejets eaux usées sur le sous-sol. [Kukuric & Hall, 00] ont noté que la définition du protocole de modélisation de la pollution du sous-sol n'est pas une tâche aisée, en partie à cause du manque de données nécessaires à l'élaboration de modèles numériques qui implique différentes compétences scientifiques.

4.4.2. Proposition de raisonnement basé sur la notion de risque

Les objectifs de réduction des flux polluants tels qu'ils sont formulés ou appliqués usuellement, ne conviennent pas à notre processus d'évaluation sous-zone par sous-zone des solutions potentielles selon le critère "Préservation du milieu naturel".

Un autre type d'approche peut cependant être envisagé : l'identification à priori des risques de dégradation du milieu récepteur par les rejets, selon sa nature, sa sensibilité et les usages qu'il en est fait.

Certes, dans ce cadre une solution potentielle n'est plus évaluée vis à vis du respect des objectifs de réduction. Toutefois, cette démarche peut être perçue comme la première étape d'une étude plus détaillée qui viserait à évaluer de manière plus approfondie l'impact d'une solution dans le cas où elle engendrerait un risque non négligeable.

Nous proposons de qualifier la sensibilité du milieu récepteur en fonction de ses usages :

- ❖ Si le milieu récepteur n'a pas d'usage relatif aux activités humaines alors la sensibilité est supposée faible ;
- ❖ Si le milieu récepteur a des usages relatifs aux activités humaines hors usages de consommation (activités de loisir comme la pêche) alors la sensibilité est supposée moyenne ;
- ❖ Si le milieu récepteur a des usages relatifs aux activités humaines qui sont des usages de consommation (production d'eau potable) ou des usages mettant directement l'homme au contact du milieu (baignade, ...) alors la sensibilité est supposée forte.

Les différents usages et sensibilités sont résumés par le tableau 15.

Usages → ↓ Sensibilités	Non liés aux activités humaines	Activités humaines hors consommation	Consommation ou contact direct avec l'homme
Faible			
Moyenne			
Forte			

Tableau 15 : synthèse des niveaux des sensibilités d'un milieu naturel en fonction des usages proposés.

4.4.3. Evaluation des solutions

La démarche d'évaluation (la notation) des solutions potentielles (A), (R) et (C) sur le critère est conduite de la façon suivante :

❖ Milieu récepteur : nappe phréatique

- Si la sensibilité de la nappe est forte, alors
 - note (C) = 1
 - note (A) = 0
 - note (R) = 0

Les solutions (A) et (R) utilisant le sous-sol pour l'épuration des effluents, compte tenu de sa sensibilité, un risque de pollution peut avoir des conséquences très fortes. Aucune des deux solutions n'est satisfaisante, au contraire de la solution (C) dont les effluents traités n'utilisent pas ce milieu de rejet ;

- Si la sensibilité de la nappe est moyenne, alors
 - note (C) = 1
 - note (R) = 0,5
 - note (A) = 0

Quelle que soit la solution évaluée, le risque de pollution est supposé ne pas avoir de conséquence compte tenu des usages correspondants à une faible sensibilité.

La synthèse de l'ensemble des notes attribuées pour les deux milieux récepteurs suscités figure dans le tableau 16.

Solution potentielle	Nappe phréatique			Cours d'eau		
	Faible	moyenne	forte	faible	moyenne	forte
(A)	1	0	1	1	1	1
(R)	1	0.5	0	1	1	1
(C)	1	1	0	1	0.5	0

Tableau 16 : notes d'évaluation des solutions potentielles - critère "Préservation du milieu naturel".

5. Le critère "Coût financier"

5.1. Préambule

Nous entendons par "coût financier", l'évaluation des dépenses financières de la collectivité en matière d'assainissement eaux usées. Ces dépenses doivent impliquer deux types de coûts (deux contraintes) :

- ❖ le coût d'investissement, relatif aux infrastructures mises en œuvre sans tenir compte des subventions éventuellement perçues (celles-ci étant variables d'une Agence de l'Eau à une autre) ;
- ❖ le coût d'exploitation annuel de ces infrastructures.

Afin de travailler sur une base d'évaluation objective, le coût d'investissement sera celui établi par la collectivité avant le lancement de l'appel d'offre. Quand au coût d'exploitation, nous savons qu'il est souvent difficile à évaluer au niveau d'un projet. Cependant, il constitue un facteur discriminant à l'égard des solutions à élaborer, surtout lorsque le décideur doit

juger de modes d'assainissement aussi différents que l'assainissement collectif ou autonome, pour lesquels le cadre législatif et réglementaire en matière d'entretien n'est pas le même. C'est pourquoi, nous tiendrons aussi compte du coût d'exploitation pour l'évaluation des solutions vis à vis du critère "coût financier".

5.2. Le coût d'investissement

Il s'agit ici de juger les performances de trois solutions d'assainissement (A), (R) et (C) sur un paramètre quantitatif assez facilement estimable. Mais le niveau d'estimation de ce coût doit être tel qu'il permette de différencier chaque solution des autres de façon univoque. Ce niveau correspond au coût des infrastructures hors frais d'études et honoraires. C'est un coût de référence.

5.2.1. *Coûts élémentaires pour chaque solution d'assainissement*

L'étude du coût d'investissement nécessite de dégager un certain nombre de coûts élémentaires propres à chaque solution. En ce qui concerne la solution assainissement collectif, nous n'envisageons pas pour le moment les surcoûts éventuels liés aux volumes supplémentaires à traiter en station d'épuration, ni ceux relatifs à une restructuration potentielle de tout ou partie du réseau extérieur à la zone d'étude.

Les coûts élémentaires sont les suivants :

❖ **En assainissement collectif :**

- la longueur totale de collecteurs ;
- le branchement sur le domaine public ;
- le raccordement des habitations au réseau ;

❖ **En assainissement individuel :**

- le type de filière d'épuration considéré (coût fixe par habitant) ;
- le dispositif de prétraitement des eaux usées (coût fixe par habitant) ;

❖ **En assainissement autonome regroupé :**

- ❑ le type de filière d'épuration considéré (coût variable selon le nombre d'habitants raccordés) ;
- ❑ la longueur totale de collecteurs ;
- ❑ le branchement et le raccordement au collecteur d'amenée au dispositif d'épuration ;
- ❑ le dispositif de prétraitement des eaux usées, dont le coût est fonction du nombre d'habitants s'il est collectif, ou fixe s'il est individuel.

5.2.2. Expression du coût total

Pour une solution donnée, le coût d'investissement total CI_i est évalué sur chaque sous-zone. Aucune interaction n'est prise en compte entre les différentes sous-zones.

L'expression du coût d'investissement est formulé comme indiqué par le tableau 17.

Solution d'assainissement	Coût d'investissement
Assainissement individuel (A)	CI_1
Assainissement autonome regroupé (R)	CI_2
Assainissement collectif (C)	CI_3

Tableau 17 : coût d'investissement par type d'assainissement.

5.3. Le coût d'exploitation annuel

Nous considérons ici l'entretien et le fonctionnement des infrastructures collectives et le contrôle des dispositifs non collectifs.

Le coût d'exploitation doit impérativement être pris en compte lors de la phase d'étude de zonage car il constitue un critère discriminant à l'égard des solutions évaluées pour deux raisons :

- ❖ si un assainissement autonome demande peu d'entretien (vidange 1 à 2 fois tous les 3 ans), en revanche un système collectif appelle des dépenses d'entretien et de fonctionnement beaucoup plus élevées ;
- ❖ l'expérience montre que la pérennité des dispositifs d'assainissement dépend pour beaucoup de la qualité de leur entretien.

5.3.1. *Problèmes posés par son estimation*

De manière générale, le coût d'exploitation pose trois problèmes :

- ❖ Son évaluation plus approximative que celle du coût d'investissement, car il rassemble des postes de dépenses parfois difficilement quantifiables (salaires, ...), ou bien parce que l'exploitation est externe à la commune sous forme d'une prestation forfaitaire peu explicitée ;
- ❖ Le fait que les dépenses d'exploitation ne sont pas toujours supportées par les mêmes personnes morales. L'entretien des systèmes autonomes est en principe à la charge du particulier (hors visites et contrôles d'entretien), celui de l'assainissement collectif est à la charge de la commune ou d'un exploitant extérieur, celui du type autonome regroupé peut être pour partie à la charge du particulier (lorsque le système de prétraitement est sur le domaine privatif) et pour partie à la charge de la commune (si elle a la maîtrise du foncier) ou encore à celle du lotisseur (si la concession n'est pas encore rétrocedée) ;
- ❖ La variabilité des échelles de temps, une estimation précise du coût d'exploitation nécessite de connaître la période sur laquelle le système est sensé assurer le service pour lequel il a été mis en œuvre : est-ce sa durée de vie théorique ou une échelle de temps correspondant à une période de garantie ?

Il faut donc être conscient que l'évaluation du coût d'exploitation annuel est difficile et que la précision recherchée ne peut pas atteindre celle du coût d'investissement.

5.3.2. Expression du coût total

L'expression du coût d'exploitation annuel transformé CE_i par solution (tableau 18) sera effectuée de la même manière que celle relative au coût d'investissement.

Solution d'assainissement	Coût d'exploitation
Assainissement individuel (A)	CE_1
Assainissement autonome regroupé (R)	CE_2
Assainissement collectif (C)	CE_3

Tableau 18 : évaluation du coût d'exploitation annuel.

5.4. Agrégation des coûts totaux

Pour chaque solution, l'agrégation des coûts d'investissement et d'exploitation peut être envisagée selon différentes démarches :

- ❖ Le coût financier CF est calculé par somme de l'investissement et de l'exploitation sur une durée fixée :

$$CF = CI_i + D * CE_i \quad (10)$$

La durée D relative au coût d'exploitation peut être définie comme un "long terme" (contrairement à l'investissement défini sur le court terme), plutôt qu'un retour sur investissement ou une durée de vie des ouvrages (très variable). Dans ce cas, c'est au décideur de la quantifier. En effet, selon la durée donnée, le coût financier sera différent et surtout il pourra conduire à une modification du classement entre deux solutions sur le critère.

L'exemple suivant en fait l'illustration.

Soient deux solutions S_1 et S_2 . Les coûts d'investissement et d'exploitation (trois durées fixées à 2, 5 et 10 ans) figurent dans le tableau 19.

	Coût investissement	Coût exploitation / an	10 ans	5 ans	2 ans
S ₁	1 MF	0.1 MF	2 MF	1.5 MF	1.2 MF
S ₂	0.5 MF	0.2 MF	2.5 MF	1.5 MF	0.9 MF

Tableau 19 : exemple de coûts totaux pour 2 solutions d'assainissement.

Selon la durée d'exploitation considérée, nous constatons que l'ordre de préférence varie. Si elle est égale à 10 ans, alors S₁ est préféré à S₂ sur le critère. Par contre, lorsqu'elle est fixée à 5 ans les 2 solutions sont équivalentes et si elle est réduite à 2 ans, l'ordre est inversé : S₂ est préféré à S₁. La durée peut donc être un facteur de bouleversement de l'ordre des préférences dans le cas de l'agrégation des coûts.

- ❖ Le choix peut aussi être fait de conserver distincts les deux coûts pour une question de meilleure lisibilité des contraintes financières apportées par chaque solution. Le coût financier CF n'est alors pas calculé en sommant l'investissement et l'exploitation ;
- ❖ Le coût financier peut être calculé par somme pondérée des coûts d'investissement et d'exploitation. Les règles de pondération sont alors soit à définir, soit laissées à la charge du décideur.

Cependant, dans le cadre de notre étude, nous considérerons que l'expression du coût financier retenue est celle indiquée en (10).

5.5. Evaluation des solutions

5.5.1. *Hypothèse*

L'évaluation de chaque solution est effectuée sous-zone par sous-zone. Il peut donc apparaître que pour une sous-zone donnée, le coût financier ajouté à ceux des solutions des sous-zones précédemment traitées entraîne un dépassement du budget alloué par la commune. Dans ce

cas, il paraît difficile de refuser d'évaluer les solutions responsables du dépassement, comme il semble aussi déraisonnable de demander au décideur de procéder à une répartition à priori de son enveloppe financière sur chaque sous-zone.

Nous partirons donc de l'hypothèse que **le budget n'est pas une limite**, ou plus précisément que l'évaluation de chaque solution sera fait sur la base du mieux disant et non pas du moins disant. En d'autres termes, nous considérons que le décideur recherche une solution d'assainissement de qualité, mais pas nécessairement celle qui engendre le coût financier le plus bas.

5.5.2. Démarche proposée

Alors que le principe du moins disant aurait conduit à évaluer chaque solution indépendamment les unes des autres, le principe du mieux disant implique de raisonner par rapport à un coût financier de référence. Parmi les trois solutions potentielles (A), (R) et (C), nous supposons que le coût financier de la solution (A) constitue le coût de référence.

Le processus d'évaluation de chaque solution sur le critère se décompose en deux étapes :

- ❖ Calculer les valeurs de Δ pour chaque couple (A, R) et (A, C) ;
- ❖ Attribuer à chaque solution potentielle une note.

ELECTRE II ne rend pas obligatoire l'opération de transformation en note. Mais, l'ensemble des critères retenus ne sont pas tous quantitatifs. Certains bénéficient d'évaluations qualitatives, comme le critère "Adéquation avec le devenir de la sous-zone" par exemple. Afin d'éviter une éventuelle discrimination par le décideur (une évaluation qualitative perçue comme subjective et une évaluation quantitative perçue comme objective peuvent influencer la répartition des poids sur les critères), il nous a paru préférable de ne travailler qu'avec des notes qui évitent ainsi cet effet "psychologique".

Deux différentiels Δ sont donc à calculer :

$$\Delta \left(\frac{A - R}{A} \right) = \Delta_1 \quad (11)$$

$$\Delta \left(\frac{A-C}{A} \right) = \Delta_2 \quad (12)$$

Selon le signe du différentiel Δ , le sens des préférences est exprimé comme suit :

- ❖ Pour $\Delta > 0$, plus le différentiel croît, plus la préférence sur la solution évaluée augmente ;
- ❖ Pour $\Delta < 0$, plus le différentiel décroît, plus la préférence sur la solution évaluée diminue.

Prenons un exemple :

Soit (C) la solution évaluée.

□ Pour $\Delta > 0$:

$$\text{si } \Delta \left(\frac{A-C}{A} \right) = 0.15 \quad \text{alors } C = 0,85 A$$

$$\text{si } \Delta \left(\frac{A-C}{A} \right) = 0.40 \quad \text{alors } C = 0,60 A$$

Un différentiel croissant signifie donc que le coût de la solution (C) diminue par rapport à celui de la solution (A), la préférence va donc en augmentant.

□ Pour $\Delta < 0$:

$$\text{si } \Delta \left(\frac{A-C}{A} \right) = -0.15 \quad \text{alors } C = 1,15 A$$

$$\text{si } \Delta \left(\frac{A-C}{A} \right) = -0.40 \quad \text{alors } C = 1,4 A$$

Un différentiel décroissant signifie donc que le coût de la solution (C) augmente par rapport à celui de la solution (A), la préférence va donc en diminuant.

La solution (A) étant la solution de référence, sa note sera toujours nulle. Les notes attribuées aux solutions (R) et (C) seront respectivement Δ_1 et Δ_2 (tableau 20).

Solution potentielle	Note
(A)	0
(R)	Δ_1
(C)	Δ_2

Tableau 20 : évaluation des solutions potentielles sur le critère “Coût financier”.

6. Le critère “Adéquation avec l’assainissement des autres sous-zones”

6.1. Hypothèses

De manière générale, nous supposons qu’une influence exercée par une sous-zone (appelée sous-zone potentiellement influente) sur une autre sous-zone (appelée cible) est engendrée par la présence d’une solution d’assainissement collectif sur la sous-zone influente.

Par contre, nous considérons que l’assainissement autonome regroupé ne peut pas générer d’influence car nous supposons qu’il n’est pas possible de regrouper plusieurs sous zones sous ce mode, le découpage de la zone d’étude étant fixé à priori.

Il est évident que l’assainissement autonome n’est pas concerné par le phénomène.

6.2. Conséquences de la prise en compte d’une influence potentielle

6.2.1. *Conditions à satisfaire*

Lorsque l’influence d’une solution (C) présente sur une sous-zone donnée est exercée sur une cible, cela peut se traduire par un désir de raccorder les habitations de la cible sur la sous-zone potentiellement influente.

Mais dans ce cas, deux conditions doivent être satisfaites :

- ❖ il doit y avoir compatibilité hydraulique du réseau et de l'unité de traitement collective avec l'ensemble des effluents supplémentaires apportés, c'est à dire ceux de la sous-zone comportant un réseau projeté ajoutés à ceux de la sous-zone cible ;
- ❖ Le relief doit permettre la compatibilité topographique entre la sous-zone influente et la cible de façon à ce que la pente des collecteurs de raccordement soit adéquate.

6.2.2. Situations d'influences potentielles retenues

En pratique, nous considérons deux scénarii principaux :

- ❖ une sous-zone exerce une influence potentielle sur plusieurs autres (figure 38) :

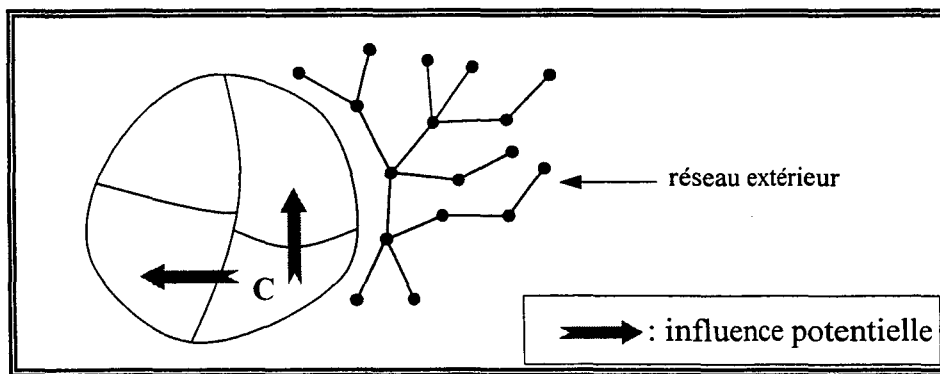


figure 38 : exemple d'influence exercée par une solution d'assainissement collectif sur plusieurs sous-zones cibles.

Dans ce cas, chaque influence sera évaluée séparément.

- ❖ plusieurs sous-zones exercent une influence sur une seule cible (figure 39) :

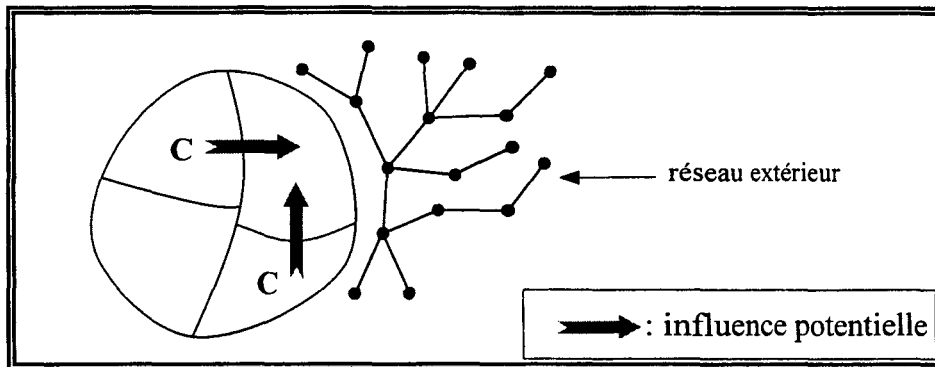


Figure 39 : exemple d'influence exercée par deux solutions d'assainissement collectif sur une seule sous-zone cible.

Dans ce cas, avant de procéder à l'évaluation d'une influence, il s'agira de savoir quelle est celle qui est le plus susceptible d'être exercée (cela revient à déterminer la sous-zone de raccordement éventuelle).

6.3. Evaluation des solutions

6.3.1. *Condition de compatibilité hydraulique*

Cette condition a déjà été abordée lors de l'élaboration du système à base de règles relatif à l'assainissement collectif (cf. chapitre III,-I § 4.1). Mais il est nécessaire que la condition soit encore présente lorsqu'il s'agit d'évaluer l'influence potentielle d'une solution (C) d'une sous-zone sur une ou plusieurs cibles, car elle contribue à limiter l'extension du collectif sur l'ensemble des sous-zones.

Si la condition n'est pas satisfaite, cela signifie qu'il ne pourra pas y avoir de raccordement entre les deux sous-zones. L'étude de la condition de compatibilité topographique n'est alors pas nécessaire.

6.3.2. Condition de compatibilité topographique

Cette condition constitue la base sur laquelle nous allons nous appuyer pour l'évaluation des solutions potentielles sur le critère. La condition de compatibilité topographique peut être traduite par la contrainte posée par le relief vis à vis de la mise en œuvre éventuelle de collecteurs entre les deux sous-zones.

Pour chacune de ses sous-zones, nous élaborons une fonction de performance chargée de quantifier l'importance de la contrainte. Puis, **l'évaluation d'une solution par cette fonction nous permettra de lui attribuer une note.**

Remarque : selon ce principe de raisonnement, il est facile de comprendre que les solutions (A) et (R) n'exerçant pas d'influence potentielle, la condition de compatibilité topographique sera systématiquement satisfaite. Leur évaluation sur le critère consistera alors à simplement leur attribuer une note maximale, dont la valeur dépendra de la formulation de la fonction de performance.

6.3.3. Elaboration de la fonction de performance

Avant toute chose, les intervalles de pentes évoqués dans ce qui suit sont tirés de l'ouvrage de [Satin & Belmi, 95] et calculés pour un collecteur circulaire de diamètre égal à 800 mm (ce qui correspond à une valeur standard).

La fonction de performance est construite à partir de l'analyse des pentes entre deux sous-zones sz_1 et sz_2 . Nous considérons deux situations :

a) La dénivelée entre Sz_1 et Sz_2 est positive

- ❖ *S'il existe une ou plusieurs pentes négatives*, partant du fait que nous n'autorisons pas dans ce cas la mise en œuvre de collecteurs à contre-pente, la note attribuée par la fonction de performance est alors nulle ;

❖ *Si toutes les pentes sont positives, alors :*

- Si $P_v \in [0 ; 0,42 \text{ \%}]$, alors la vitesse d'écoulement est trop faible et peut engendrer des curages très fréquents, ou encore des surprofondeurs excessives de pose des collecteurs pour pallier ces faibles pentes ;

Nb : 0,42 % est la valeur correspondant à une vitesse minimale à pleine section afin d'éviter les problèmes de décantation des effluents.

- Si $P_v \in [0,42 ; 1,4 \text{ \%}]$, alors ce sont les conditions normales de mise en œuvre du collectif gravitaire ;

NB : 1,4 % correspond à la pente maximale d'un collecteur (vitesse maximale admissible).

- Si $P_v > 1,4 \text{ \%}$, alors des problèmes d'érosion des collecteurs peuvent survenir en raison de vitesses d'écoulement trop élevées.

Nous pouvons donc graphiquement représenter les différents domaines de pentes et attribuer une performance de fonctionnement associée sous la forme d'une note (figure 40).

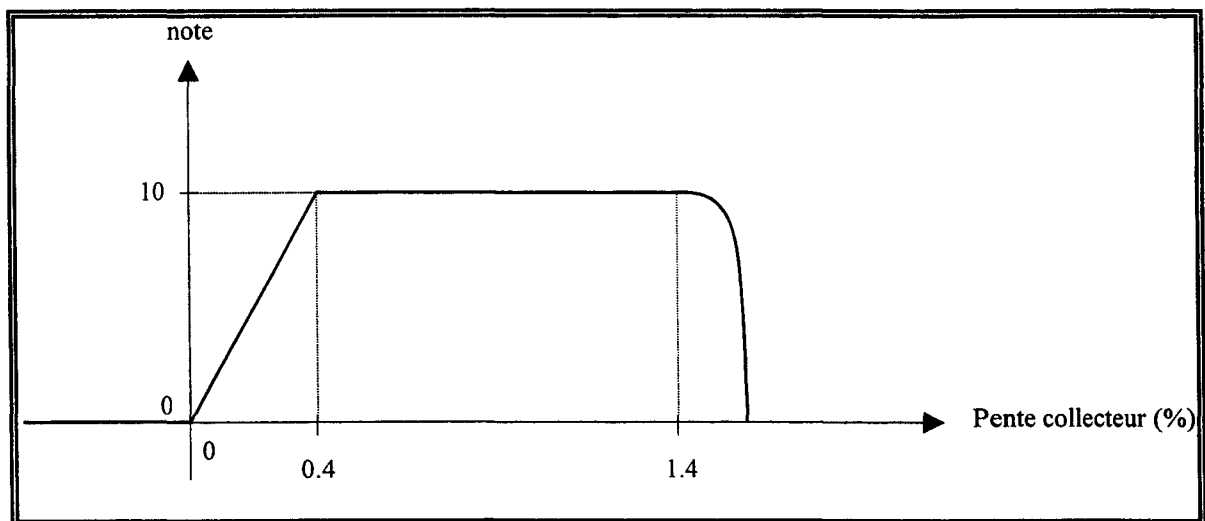


Figure 40 : fonction de performance d'un assainissement collectif gravitaire.

Notons qu'au delà d'une valeur de pente égale à 1,4 %, le gravitaire peut encore tout à fait être mis en œuvre. C'est pourquoi le graphique ci-dessus permet d'en tirer une note. Mais alors, les vitesses d'écoulement pouvant contrarier le bon fonctionnement du réseau (cela dépend aussi de l'état structurel des collecteurs et des conditions de pluie), la performance hydraulique des collecteurs peut très vite être diminuée. Afin de tenir compte de cette situation, nous proposons que la note ne varie pas de façon linéaire en fonction de la pente pour $P_v > 1,4 \%$.

b) la dénivelée entre Sz_1 et Sz_2 est négative

- ❖ *Si le décideur accepte un refoulement mécanique des effluents*, la note est maximale (égale à 10) puisqu'alors la contrainte topographique est nulle. Mais dans ce cas, le transport des effluents par refoulement aura une répercussion sur le coût financier de la solution d'assainissement collectif ;
- ❖ *Si le décideur n'accepte pas de refoulement*, la note attribuée à la solution d'assainissement collectif est alors nulle.

Dans le cas où plusieurs sous-zones exercent une influence sur une seule cible, le choix de l'influence à retenir pour l'évaluation pourra être effectué par comparaison de chaque note globale obtenue. En effet, le principe de construction d'une note globale montre que :

- ❖ Moins la contrainte posée par la topographie est forte, plus la note n_p attribuée à la performance hydraulique d'un collecteur est élevée (cf. figure 40);
- ❖ A longueur de collecteur fixe, la note globale sera d'autant plus élevée que chaque note n_p sera élevée.

Une note globale élevée traduisant une faible contrainte de topographie, l'influence à retenir sera par conséquent celle procurant la note globale la plus forte de toutes.

L'ensemble des critères présenté est maintenant formalisé. Nous proposons dans la suite d'appliquer la démarche d'évaluation des solutions potentielles que nous avons développée à la problématique d'aide au choix sur la zone d'étude.

III. Evaluation des solutions potentielles sur la zone d'étude : aide au choix

1. Préambule

Dans un souci de clarté, nous raisonnerons sur le schéma type présenté figure 41.

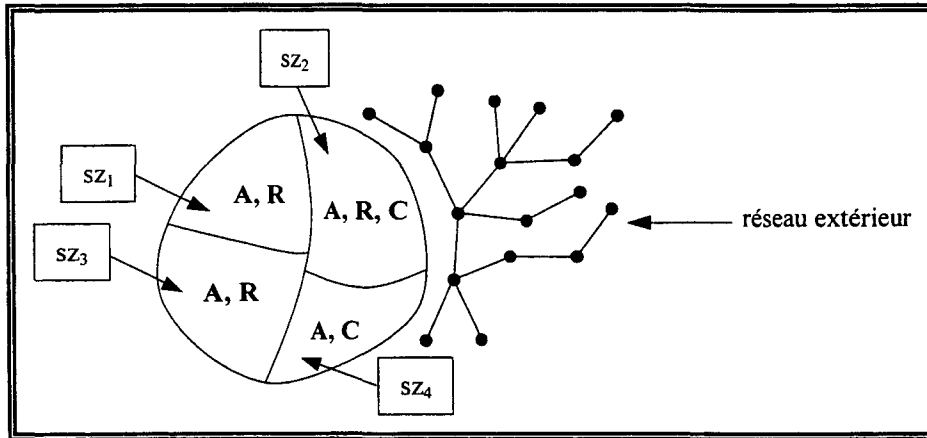


Figure 41 : schéma type pour l'aide au choix des solutions d'assainissement.

2. Choix des coefficients d'importance de chaque critère

La notion d'importance relative d'un critère par rapport à un autre est fondamentale en aide à la décision multicritère et va au delà du simple fait de traduire cette importance par un nombre. Chercher à caractériser l'importance relative d'un critère par un coefficient vise à distinguer le rôle de chacun d'entre eux dans l'élaboration des préférences globales du décideur [Mousseau (1), 92].

Sans cela, le problème de décision se réduit à une simple analyse de dominance entre les solutions évaluées. L'aide à la décision n'a alors plus la vocation de fournir des éléments d'analyse au décideur.

La littérature offre diverses méthodes d'attribution de coefficients d'importance. [Mousseau (2), 95] les a rassemblées en deux principaux groupes :

- ❖ *Les méthodes directes*, dans lesquelles l'évaluation des coefficients d'importance est demandée au décideur sans référence particulière à aucun outil d'analyse multicritère du

problème. Pour répondre, le décideur n'a pas d'autre moyen que celui de s'appuyer sur sa perception intuitive de l'importance relative des critères ;

- ❖ *Les méthodes indirectes*, dans lesquelles le décideur n'est pas directement questionné sur l'importance des critères. En relation avec l'outil d'analyse multicritère retenu pour l'évaluation des solutions, il lui est le plus souvent demandé de comparer des solutions spécifiques. Puis, les valeurs des coefficients d'importance sont déduites à partir de ces comparaisons par inférences sur la base de la règle d'agrégation utilisée.

Le recours aux méthodes directes d'assignation des coefficients pose parfois le problème de leur interprétation lorsque les solutions sont évaluées par un outil multicritère bien précis. En effet, la logique propre que chacun de ces outils utilise pour la résolution des conflits entre critères implique toujours une interprétation particulière des coefficients et donc, dans ce cas, une inconnue relative à leur choix.

Toutefois, il faut remarquer que si un décideur est interrogé au sujet de l'attribution de coefficients d'importance, très souvent les valeurs données sont formulées spontanément. Cela signifie que le système de préférences du décideur est suffisamment bien structuré pour déclarer (en le justifiant) qu'un critère est plus important qu'un autre.

Dans une procédure d'agrégation partielle des préférences de type ELECTRE, les coefficients d'importance (appelés poids) constituent l'expression la plus directe du système de valeurs du décideur. [Belton & Pictet, 97] considèrent que la stabilité de l'information que le décideur exprime par les valeurs attribuées aux poids est plus susceptible d'être remise en cause par le changement de décideur que vis à vis des évaluations des solutions elles-mêmes.

En d'autres termes, l'estimation des valeurs que le décideur fournit sans être auparavant instruit des principes de fonctionnement de la procédure multicritère utilisée, ni questionné sur ses préférences vis à vis des critères, peut être considérée comme valable pour une première évaluation des solutions. Mais cette étape devra être complétée par une analyse de sensibilité des résultats à une variation du jeu de poids (cf. chapitre II,-III, § 5.3.).

Nous retiendrons ce point de vue. Cependant, dans le cas où un décideur rencontre une difficulté pratique dans l'attribution des poids, ou a tendance à pratiquer la surpondération de

certaines critères, le recours à une méthode de pondération indirecte retrouve de l'intérêt. Le lecteur pourra trouver des exemples de méthodes en se reportant à [Belton & Pictet, 97], [Mousseau (2), 95], [Maystre & al, 94] et [Pomerol & Barba-Romero, 93].

3. Synthèse des évaluations sur chaque sous-zone

3.1. Forme générale de la matrice de jugements

De manière générale, à l'échelle d'une sous-zone, l'évaluation d'une solution d'assainissement potentielle (A), (R), ou (C) sur chaque critère g_j retenu doit conduire à formuler une note n_{ij} . L'ensemble de ces notes forme la matrice des évaluations (ou des jugements) des solutions sur les critères (tableau 21).

Critères →	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
↓ solutions potentielles					
(A)	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}
(R)	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{24}	n_{25}
(C)	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{34}	n_{35}

g_1 : critère "Adéquation avec le devenir de la sous-zone"

g_2 : critère "Préservation du milieu naturel"

g_3 : critère "Coût financier"

g_4 : critère "Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement"

g_5 : critère "Adéquation avec l'assainissement des autres sous-zones "

Tableau 21 : forme de la matrice des évaluations sous ELECTRE II - cas général des trois solutions potentielles et des cinq critères.

3.2. Forme particulière de la matrice des jugements

Si nous reprenons le schéma type exposé figure 41, à chaque sous-zone correspondra une matrice des évaluations particulière, car elle ne contiendra que les solutions d'assainissement potentiellement réalisables sur le plan technique.

Mais nous devons rappeler que si sur une sous-zone la solution (C) est présente parmi les solutions potentiellement réalisables, en vertu de la prise en compte d'interactions entre sous-zones, la question de l'existence d'un réseau collectif voisin de cette sous-zone doit être posée.

Remarque : le terme "voisin" se rapporte aux sous-zones adjacentes à la sous-zone considérée, ou à l'environnement de la zone d'étude.

Si la réponse à la question posée est oui, alors il existe une influence potentielle entre cette sous-zone et celle (ou l'environnement) contenant le réseau existant. La note attribuée à la solution (c) sur le critère g_5 doit alors être calculée en fonction de la topographie (cf. principe de calcul exposé chapitre III,-II, § 6.3.3.).

Si la réponse est non, alors la solution (C) pour la sous-zone considérée est retirée.

Exemple : supposons que sur la figure 41, le sous-ensemble de solutions potentielles de la sous-zone sz_1 est $\{A, R, C\}$. Comme il n'existe pas de réseau collectif sur sz_2, sz_3, sz_4 ou sur son environnement voisin, la solution potentielle (C) est retirée du sous-ensemble.

En revanche, si nous nous intéressons à la sous-zone sz_2 , du fait de l'existence d'un réseau voisin (le réseau extérieur à la zone d'étude), la note attribuée à (C) sur g_5 (n_{35}) est à calculer.

D'autre part, les interactions entre sous-zones n'exerçant pas de contrainte de raccordement sur les solutions (A) et (R), leur note respective sur le critère g_5 est maximale et égale à 10.

Pratiquement, chacune des quatre sous-zones sera caractérisée par une matrice de jugements, dont l'ensemble est résumé par la figure 42.

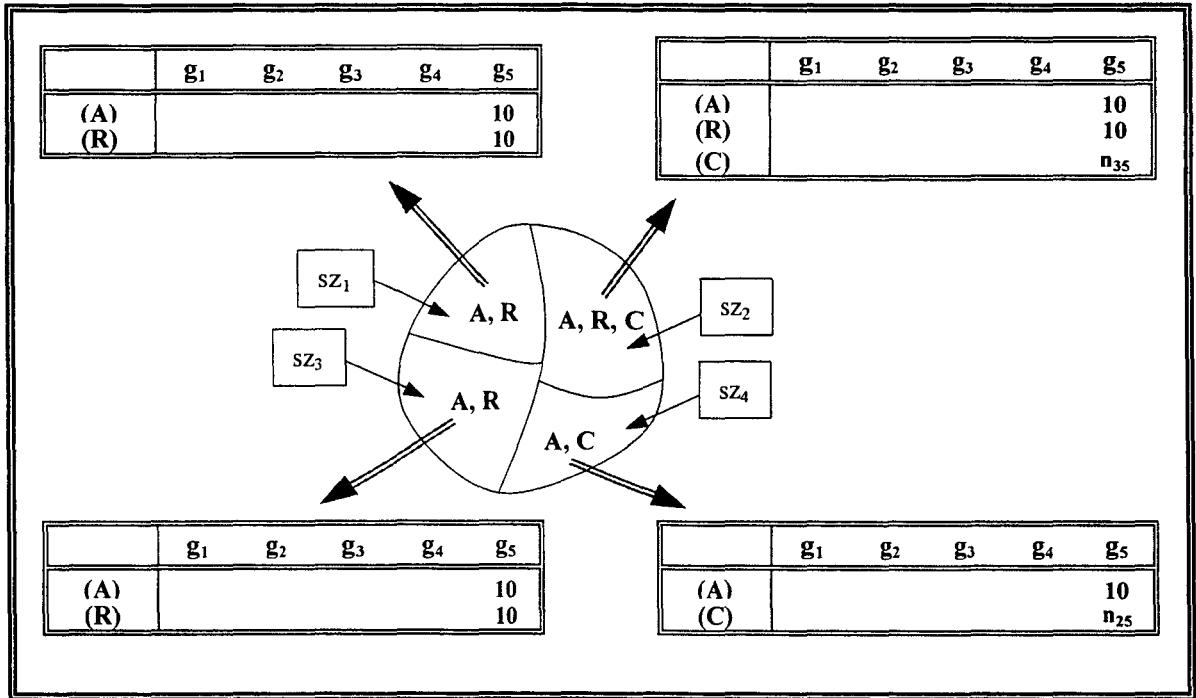


Figure 42 : synthèse des matrices des évaluations associées à chaque sous-zone.

4. Construction de la relation de surclassement sur chaque sous-zone

4.1. Test de concordance : quelles valeurs attribuer aux seuils ?

Dans la méthode multicritère ELECTRE II [Maystre & al, 94], le décideur doit fixer trois seuils c^- , c^0 et c^+ tels que $c^- < c^0 < c^+$, tous variants dans un intervalle compris entre 0 et 1.

La relation $C_{ik} \geq c^+$ (respectivement $C_{ik} \geq c^0$ et $C_{ik} \geq c^-$) correspond à la satisfaction du test de concordance avec une certitude forte (respectivement moyenne et faible).

La recherche de valeurs seuils c^- , c^0 et c^+ correspond pour le décideur au fait de savoir à partir de quelle valeur de l'indice C_{ik} , la concordance avec l'hypothèse de surclassement entre deux solutions "S_i surclasse S_k" paraît suffisamment forte pour admettre cette hypothèse comme vraie (cf. chapitre II,-III, § 5.2.1.).

Pratiquement, dans ELECTRE II, le décideur doit analyser la solidité des bases qui permettrait d'affirmer que le surclassement de S_i sur S_k est fort. Ces bases sont représentées par les poids des critères g_j sur lesquels S_i surclasse fortement S_k .

Il est difficile de décrire une démarche générale qui guiderait le décideur pour l'attribution de valeurs aux trois seuils de concordance. La littérature semble pauvre à ce sujet et ne nous a pas fournies d'indication probante. Seuls quelques exemples d'application de la méthode ELECTRE II ont été relevés dans [Maystre & al, 94] et [Pomerol & Barba-Romero, 93], mais sans jamais comporter de justification des valeurs de seuils fournies.

Cependant, ces exemples (tous basés sur des problèmes à caractère environnemental) ont retenu notre attention par le fait que l'important n'est pas précisément la valeur en elle-même, mais la nécessité de procéder à un examen des conséquences liées à la variation de cette valeur (pour l'ensemble des trois seuils) sur la stabilité des résultats obtenus (analyse de robustesse).

Les éléments guides que nous pouvons définir sont les suivants :

- ❖ la valeur du seuil c^- doit être supérieure à 0,5, car sinon la notion de seuil de concordance n'a plus de sens. En effet, vis à vis du test de concordance (cf. chapitre II,-III § 5.2.1.), la condition $c^- > 0,5$ implique que $P^+ + P^- > P$. Cette inégalité correspond à la condition à laquelle il y a concordance avec l'hypothèse de surclassement : la somme des poids des critères pour lesquels l'évaluation de S_i est meilleure ou équivalente à celle de S_k , doit être supérieure à la somme des poids des critères pour lesquels l'évaluation de S_i est moins bonne que celle de S_k . Les applications relevées dans la littérature montrent que très souvent $c^- = 0,55$;
- ❖ Les exemples de la littérature montrent aussi une tendance à rendre les valeurs de c^- , c^0 et c^+ symétriques. Généralement, il est trouvé que $(c^- + c^+) / 2 = c^0$;
- ❖ Toujours selon ces exemples, la valeur du seuil c^+ n'excède jamais 0.90, ce qui peut être interprété comme le fait que l'hypothèse "S_i surclasse S_k" concordera avec les évaluations de la matrice de jugements s'il y a au moins 90 % des poids des critères pour lesquels l'évaluation de S_i est meilleure ou équivalente à celle de S_k . Cependant, une valeur de 0,75 est souvent citée ;

❖ Notons enfin que certains logiciels proposent $c^- = 0,6$, $c^0 = 0,66$ et $c^+ = 0,75$.

4.2. Test de non-discordance : quelles valeurs attribuer aux seuils ?

Les limites que la discordance ne doit pas dépasser pour que l'hypothèse de surclassement puisse demeurer acceptable, sont désignées par les deux seuils de discordance D_1 et D_2 bâtis sur chaque critère et tels que $D_1 \geq D_2$.

Pour chaque critère, le travail du décideur consiste à attribuer des valeurs à ces deux seuils telles qu'il aura été décidé qu'il y a une certitude forte (respectivement faible) qu'un critère discordant g_j ne présente pas d'opposition majeure à l'hypothèse " S_i surclasse S_k ", si, sur ce critère, $g_j(S_k) - g_j(S_i) \leq D_2$ (respectivement $D_2 \leq g_j(S_k) - g_j(S_i) \leq D_1$).

Sur un critère g_j discordant, l'écart entre les évaluations de deux solutions S_i et S_k mesure la force d'opposition manifestée par ce critère à l'acceptation de l'hypothèse de surclassement entre ces solutions. Il s'agit donc pour le décideur de fixer D_1 et D_2 pour définir un intervalle "d'écarts" à l'intérieur duquel le critère g_j peut présenter une opposition majeure à l'hypothèse de surclassement (figure 43). La certitude sur l'hypothèse est alors considérée faible.

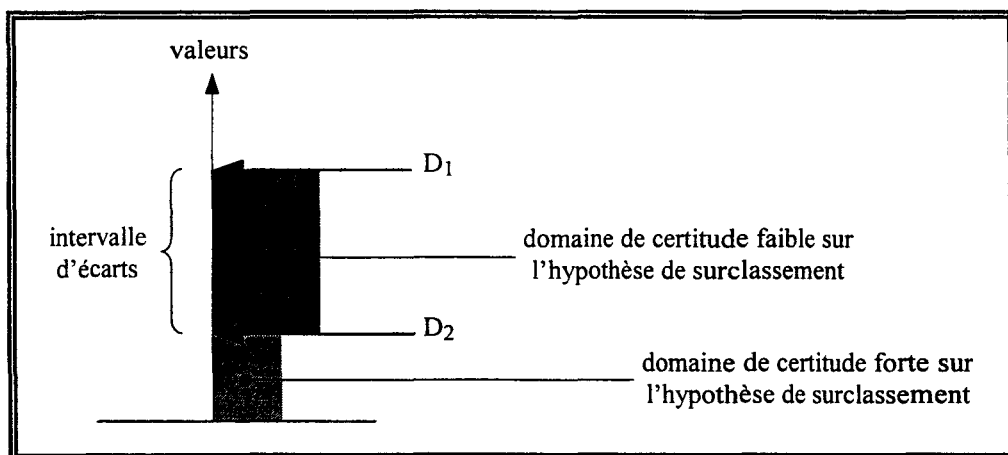


Figure 43 : représentation graphique des seuils de discordance D_1 et D_2 .

Si le décideur juge qu'un faible écart entre deux solutions S_i et S_k sur un critère g_j est important pour sa prise de décision, la valeur du seuil D_1 peut être fixée telle qu'elle soit proche de l'évaluation la plus élevée et la valeur du seuil D_2 telle qu'elle soit proche de l'évaluation la plus faible. En effet, un faible écart considéré important sur un critère signifie que plus l'écart sera grand dans les faits et plus le critère aura de chances de présenter une opposition majeure à l'hypothèse de surclassement. L'intervalle d'écarts doit par conséquent en tenir compte en définissant un large domaine de certitude faible.

Dans le cas contraire où un faible écart d'évaluation entre deux solutions sur un critère n'est pas jugé important pour la prise de décision, l'intervalle doit être plus restreint. Il faut alors savoir quel est le seuil à diminuer (D_1) ou à augmenter (D_2) :

- ❖ Si D_2 est augmenté, cela équivaut à venir renforcer la forte certitude sur l'hypothèse de surclassement puisque le domaine de certitude faible est amoindri conformément à la figure 43 ;
- ❖ Par contre, si D_1 est diminué, cela revient à diminuer le domaine de certitude faible, mais surtout à abaisser la limite de rejet de l'hypothèse de surclassement.

C'est un choix que le décideur devra effectuer, mais il semble logique qu'il devra plutôt agir sur D_2 , car le nombre de solutions d'assainissement potentielles à évaluer (trois au maximum par sous-zone) n'est pas très élevé. Être plus strict sur la limite de rejet de l'hypothèse de surclassement pourrait alors engendrer une absence de surclassement des solutions sur certaines sous-zones.

Par ailleurs, il n'est pas possible de donner (même à titre indicatif) d'ordres de grandeurs des valeurs de seuils puisque celles-ci sont implicitement liées à la signification d'un écart entre deux évaluations sur un critère (signification qui est différente d'un critère à un autre).

5. Exploitation de la relation de surclassement sur chaque sous-zone

5.1. Remarques préliminaires

Nous savons que l'objectif de la méthode ELECTRE II est de classer les solutions potentielles de la meilleure à la moins bonne. Pour parvenir à cet objectif, trois préordres sont établis :

deux totaux représentant les relations de surclassement fort et faible des solutions, ainsi qu'un préordre partiel qui est, au sens mathématique, l'intersection des deux précédents.

Traditionnellement, les préordres totaux sont illustrés graphiquement comme nous l'avons montré au chapitre II,-III § 5.2.3. Cependant, devant le petit nombre de solutions à évaluer, il ne nous semble pas fondé de reproduire cette forme graphique. De plus, le cadre de notre travail étant méthodologique, la possibilité de construire l'ensemble des préordres ne nous est pas donnée puisque nous ne disposons pas d'évaluation des solutions sur les critères.

5.2. Première proposition de surclassement

5.2.1. Forme pratique de la proposition

Sur chaque sous-zone, une première proposition de surclassement des solutions potentielles est construite par ELECTRE II sur la base des deux préordres totaux générés à partir de la matrice des évaluations (cf. figure 42).

Pratiquement, la représentation du préordre partiel final fourni sous-zone par sous-zone est illustré par la figure 44.

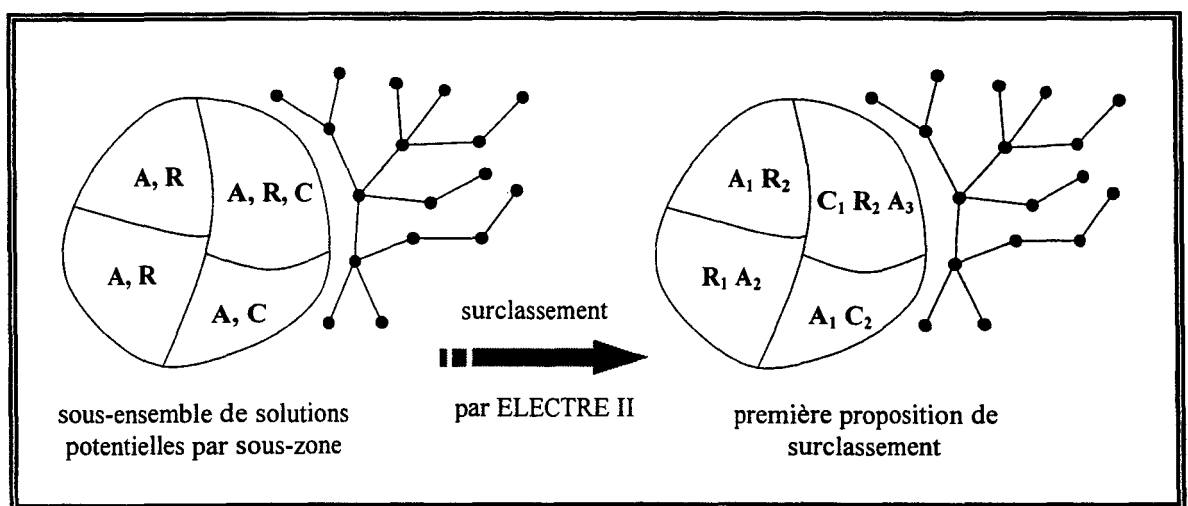


Figure 44 : exemple de surclassement des solutions de chaque sous-zone par ELECTRE II.

Rappels : parmi le sous-ensemble de solutions potentielles affecté à chaque sous-zone, la présence de (A) et (R) signifie que l'assainissement individuel et autonome regroupé sont possibles sous la forme d'au moins une des trois filières : Epanchage souterrain (ES), Tertre d'infiltration (T) ou Filtre à Sable (FS). De plus, les indices appliqués aux solutions rendent compte de leur classement. Par exemple, "A₁ C₂" signifie que la solution (A) est meilleure que la solution (C) sur la sous-zone correspondante.

5.2.2. *Choix du décideur*

La première **proposition** de surclassement effectuée par ELECTRE II est **présentée au décideur qui fait le choix de ne retenir qu'une solution par sous-zone**. Deux scénarii peuvent alors se présenter :

- ❖ Le décideur suit l'ordre établi et fait par conséquent le choix de retenir la meilleure solution (la solution classée première) ;

- ❖ Le décideur choisit de retenir une solution non classée première sur la base de préférences personnelles dont il n'est fait aucun compte dans la procédure de surclassement.

Mais quel que soit le raisonnement adopté, **la proposition de surclassement d'ELECTRE II sera substituée par la proposition de choix du décideur** (figure 45). Celle-ci en constituera **une forme restreinte** sur laquelle s'appuieront les étapes suivantes de la démarche d'aide au choix.

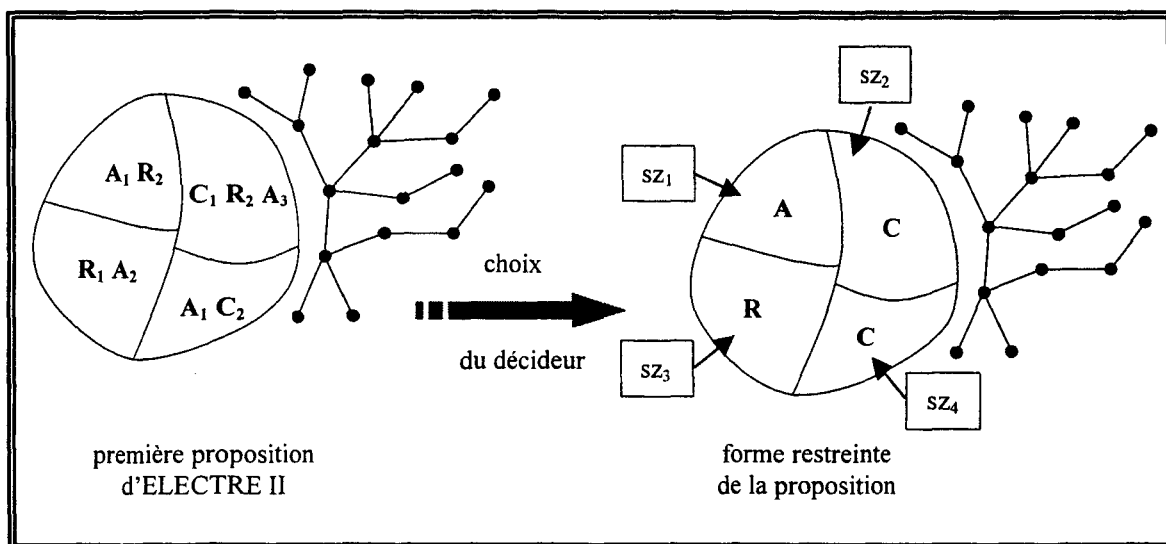


Figure 45 : exemple de choix de solutions par le décideur sur l'ensemble des sous-zones sz_p .

5.3. Etude des relations entre sous-zones dans le processus de surclassement

Nous savons que l'exercice d'une influence potentielle par une sous-zone est générée par la présence d'une solution d'assainissement collectif (C). Reprenons la configuration d'assainissement de la figure 45. Le choix effectué par le décideur sur chaque sous-zone sz_p engendre l'exercice d'une influence potentielle de sz_2 sur sz_1 et sz_3 et de sz_4 sur sz_1 et sz_3 . Chaque influence est illustrée figure 46.

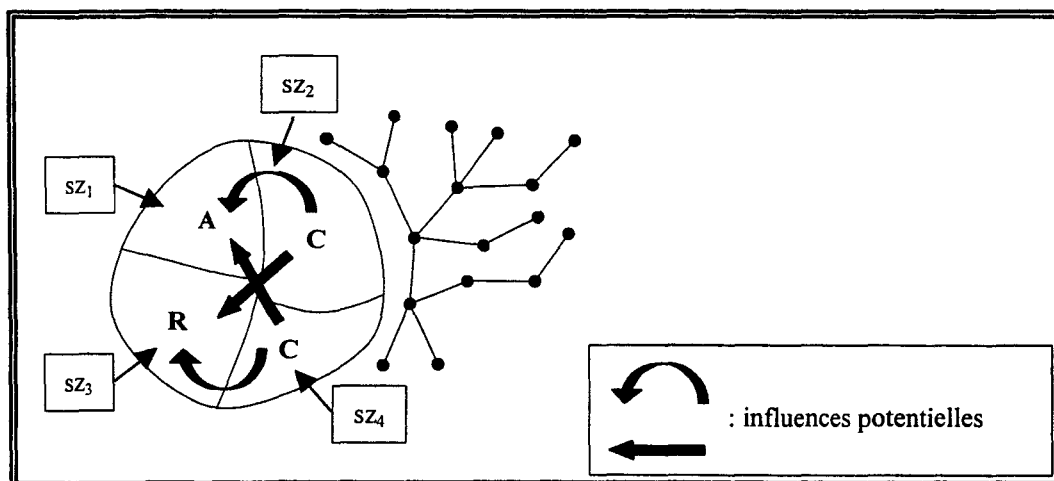


Figure 46 : illustration de l'influence potentielle exercée par la présence d'une solution (C) sur deux sous-zones.

Concrètement, cela signifie que sur sz_1 (respectivement sur sz_3) la solution (A) (respectivement (R)) retenue par le décideur, peut être potentiellement remise en cause vis à vis de l'organisation rationnelle de l'ensemble des choix à l'échelle de la zone d'étude.

Mais cette remise en cause n'est possible que si le changement de (A) en (C) et/ou de (R) en (C) est admissible par rapport à la capacité du réseau et de la STEP extérieurs. Il faut donc d'abord formaliser la condition d'admissibilité d'une influence potentielle. Puis, si celle-ci est satisfaite, le décideur devra déterminer quelle est de la sous-zone sz_2 ou sz_4 , celle qui exerce l'influence la plus forte sur sz_1 et sz_3 . Enfin, l'impact de l'influence retenue sur le classement des solutions de chaque sous-zone cible devra être évalué.

5.3.1. Condition d'admissibilité d'une influence potentielle

Par hypothèse, lorsqu'une solution (C) est présente sur une sous-zone, elle est nécessairement raccordée au réseau extérieur (celui-ci n'est supposé collecter que les eaux usées). Ceci signifie que si la capacité résiduelle de ce réseau et/ou de la STEP ne permet pas d'envisager le raccordement des habitations d'une sous-zone dont la solution (C) serait issue de l'influence exercée par une autre sous-zone, alors cette influence ne serait plus considérée comme potentielle, mais tout simplement nulle. Ce scénario et la condition d'admissibilité correspondante sont illustrés par la figure 47.

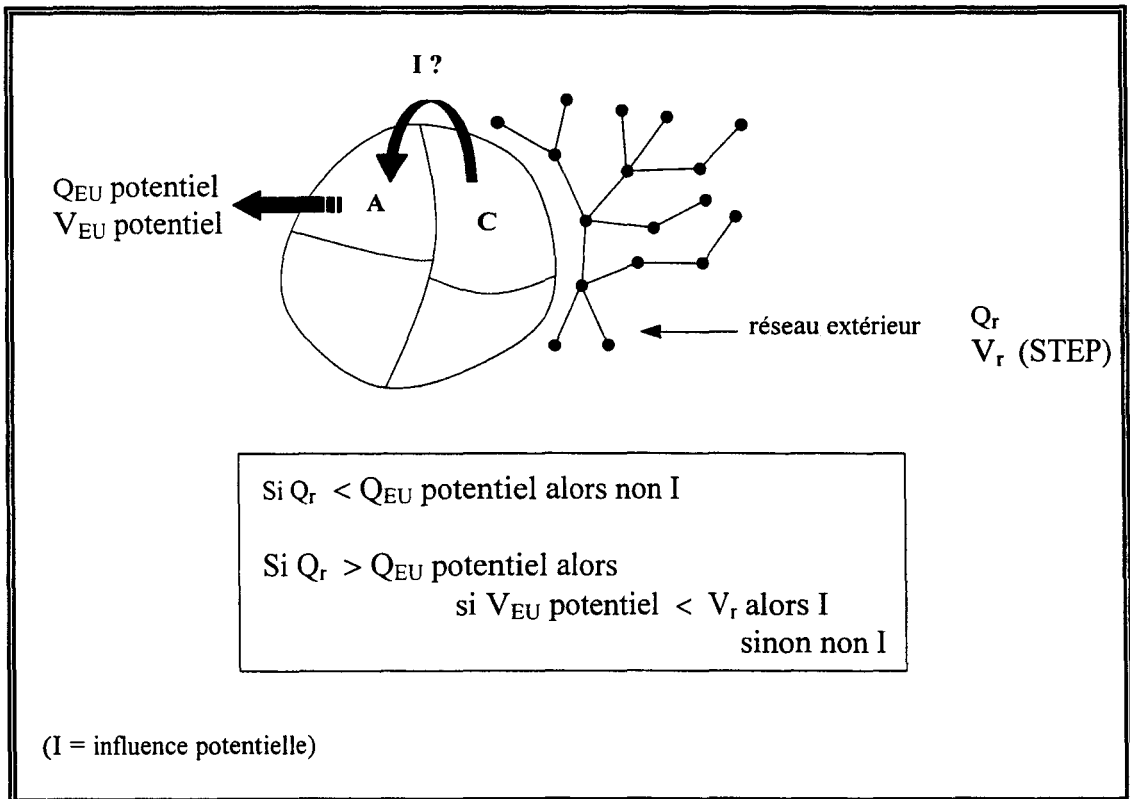


Figure 47 : formulation et illustration de la condition d'admissibilité d'une influence potentielle.

Remarque : le raccordement des habitations d'une sous-zone sur le réseau extérieur à la zone d'étude étant envisagé par l'intermédiaire du réseau exerçant l'influence potentielle, la capacité de celui-ci devra bien évidemment tenir compte des débits supplémentaires apportés.

Par ailleurs, dans le cas où la **condition d'admissibilité** doit être **appliquée à plusieurs sous-zones cibles**, ne sachant pas à priori dans quel ordre le décideur va les traiter, il sera par conséquent impératif qu'il **connaisse les capacités résiduelles** du réseau et de la STEP extérieurs afin de juger de l'admissibilité d'une influence à **chaque traitement d'une sous-zone cible**.

5.3.2. Choix de la sous-zone potentiellement influente

Le choix entre plusieurs influences potentielles admissibles sur une sous-zone cible se fonde sur la comparaison des compatibilités topographiques (cf. chapitre III,-II § 6.3.2.). Nous allons en exposer l'application en nous appuyant sur la figure 46.

En comparant les couples de notes globales relatifs à deux raccordements potentiels, c'est à dire ($SZ_1 \rightarrow SZ_2, SZ_1 \rightarrow SZ_4$) et ($SZ_3 \rightarrow SZ_4, SZ_3 \rightarrow SZ_2$), le choix sera dirigé vers celui imposant la contrainte topographique la plus faible, soit la note la plus faible pour chaque couple. Dans notre cas, les notes à évaluer sont rassemblées dans le tableau 22.

Influence exercée par	Influence reçue par	Note	Evaluation
SZ ₂	SZ ₁	n ₁₋₂ ←	?
SZ ₄		n ₁₋₄ ←	
SZ ₂	SZ ₃	n ₃₋₂ ←	?
SZ ₄		n ₃₋₄ ←	

Tableau 22 : exemple de notes à évaluer dans le cas de l'influence de plusieurs sous-zones sur une seule.

Si nous supposons que $n_{1-2} < n_{1-4}$ et $n_{3-4} < n_{3-2}$, alors seules les influences potentielles de sz_2 sur sz_1 et de sz_4 sur sz_3 sont envisagées (figure 48). Nous considérerons ce cas dans ce qui suit.

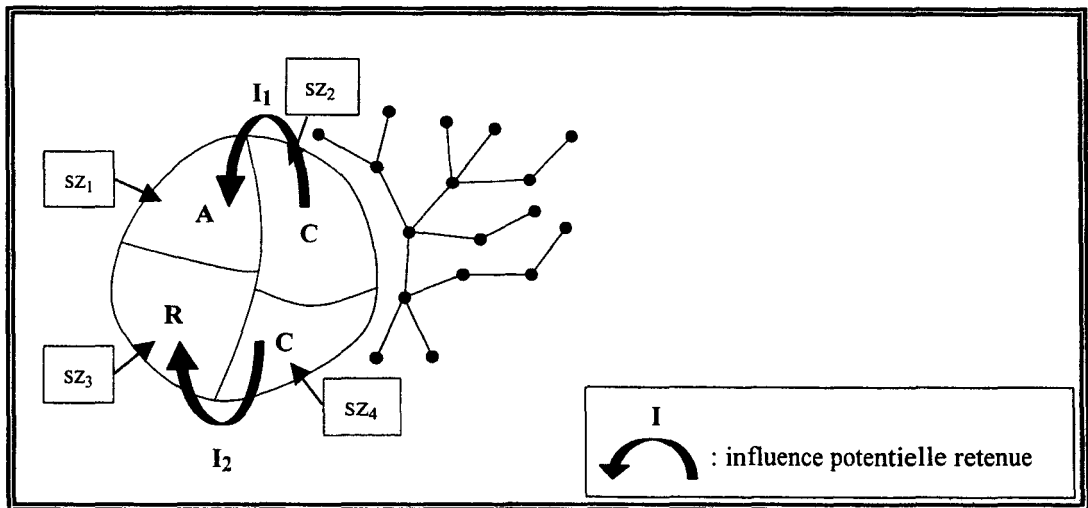


Figure 48 : exemple de choix d'influences potentielles.

5.3.3. Evaluation de l'impact d'une influence potentielle

La démarche d'évaluation méthodologique que nous allons exposer est la même vis à vis de l'influence potentielle I_1 et I_2 . Mais pour expliciter cette démarche, nous avons besoin de faire appel aux numéros de sous-zones. C'est pourquoi, dans un souci de clarté, la démarche sera présentée vis à vis de l'influence potentielle I_1 , puis transposée à I_2 .

Lorsque sur la sous-zone sz_1 la solution (A) est potentiellement remise en cause par l'exercice de I_1 , cela se traduit par le fait que (A) peut être modifiée en (C). **L'impact d'une influence potentielle agit par conséquent sur le choix du décideur.**

Ceci signifie alors que la solution (C) doit être introduite dans la matrice des évaluations sur la sous-zone sz_1 .

Pratiquement, deux cas peuvent se présenter :

- ❖ *Cas 1* : (A) reste (A). L'influence potentielle n'a aucune action sur le type de solution choisi par le décideur sur sz_1 . (A) est alors jugée adéquate avec les solutions des autres sous-zones ;

- ❖ *Cas 2* : (A) devient (C). L'influence potentielle a une action sur le type de solution choisie par le décideur sur sz_1 . Ceci signifie alors que (C) est jugée plus adéquate que (A) sur sz_1 vis à vis des solutions choisies sur les autres sous-zones.

Passer de (A) à (C) implique un raccordement de sz_1 sur sz_2 et donc la prise en compte d'une contrainte topographique entre ces deux sous-zones. D'où la nécessité de calculer une note n_{35} dans la matrice des évaluations, correspondante à l'évaluation de (C) sur le critère g_5 .

La nouvelle forme de la matrice est donnée par le tableau 23.

Critères →	g₁	g₂	g₃	g₄	g₅
↓ solutions potentielles					
(A)	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	10
(R)	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{24}	10
(C)	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{34}	n_{35}

Tableau 23 : illustration de l'impact d'une influence potentielle admissible sur la matrice des évaluations - application à la sous-zone sz_1 .

Transposée à l'influence potentielle I_2 de sz_4 sur sz_3 , la même démarche conduira également à reformuler partiellement la matrice des évaluations des solutions sur sz_3 qui devra aussi contenir la solution (C).

5.4. Remise en cause de la première proposition de surclassement

A l'échelle d'une sous-zone, la nouvelle matrice des évaluations (que nous appelons *matrice transformée*) peut remettre en cause la première proposition de surclassement des solutions effectuée par ELECTRE II par le fait même de la réintroduction de la solution (C) dans certaines matrices des évaluations.

ELECTRE II doit par conséquent procéder à un nouveau surclassement des solutions dont la matrice des jugements est transformée, afin que le décideur sache si le choix qu'il a effectué s'appuie sur un surclassement de solutions qui n'est pas évolutif au regard des influences entre sous-zones.

5.4.1. *Vers un processus de choix itératif des solutions*

Lors de l'élaboration d'un nouveau surclassement des solutions par ELECTRE II, les poids précédemment attribués aux critères ne sont pas modifiés.

Sur chaque sous-zone, le nouveau surclassement est réalisé à partir :

- ❖ Du sous-ensemble des solutions potentielles initial ou réajusté si la solution (C) est réintroduite ;
- ❖ De la matrice des évaluations :
 - qui est identique à la précédente s'il s'agit d'une sous-zone exerçant une influence potentielle ;
 - qui est transformée s'il s'agit d'une sous-zone subissant une influence potentielle .

Pour l'ensemble des sous-zones, la configuration support de la nouvelle opération de surclassement par ELECTRE II est illustrée par la figure 49.

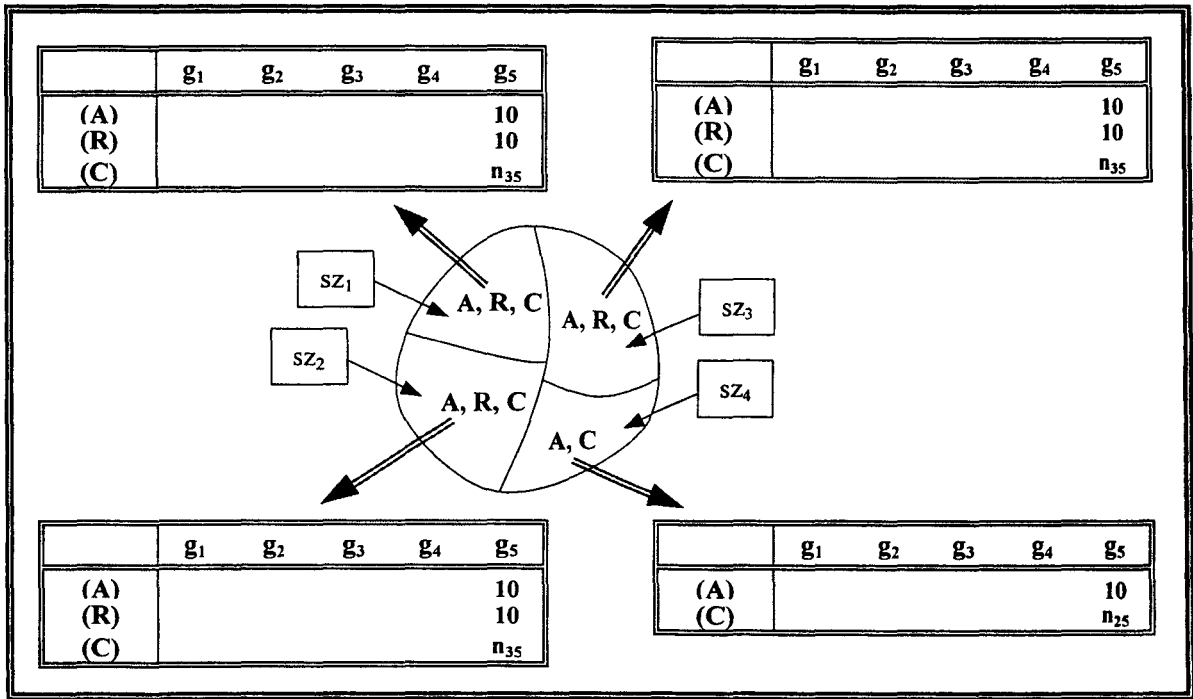


Figure 49 : configuration support pour une nouvelle opération de surclassement par ELECTRE II.

Lorsqu'un surclassement des solutions est réalisé sous-zone par sous-zone, une nouvelle proposition est soumise au décideur. Les caractéristiques de cette proposition sont les suivantes :

- ❖ le surclassement des solutions sur les sous-zones SZ_3 et SZ_4 doit être identique au précédent puisque les matrices des jugements n'ont pas été modifiées ;
- ❖ **le surclassement des solutions sur les sous-zones SZ_1 et SZ_2 peut être différent** de celui précédemment proposé au décideur en raison de la modification partielle du contenu des matrices des jugements.

Mais quelle que soit la forme de chaque surclassement, il doit encore être soumis au décideur parce qu'il doit de nouveau choisir la solution à retenir sur chaque sous-zone. Le décideur ayant fait ce choix, si celui-ci comporte une solution de type (C) sur certaines sous-zones, il engendre donc à nouveau une influence potentielle sur les autres sous-zones. Nous nous retrouvons alors face à **un nouveau cas de remise en cause possible du choix sur les sous-zones influencées.**

Le décideur devra par conséquent encore procéder :

- ❖ à l'analyse de la condition d'admissibilité de chaque influence potentielle ;
- ❖ au choix éventuel de la sous-zone potentiellement influente ;
- ❖ à l'évaluation de l'impact de (des) influence(s) potentielle(s) admissible(s).

Le processus de choix des solutions sur chaque sous-zone prenant en compte les influences potentielles est par conséquent un processus itératif. La question qui se pose alors est de savoir quand l'arrêt doit être prononcé. Une condition d'arrêt du processus doit donc être formulée.

5.4.2. Formulation de la condition d'arrêt

Postulant que notre démarche méthodologique d'élaboration de solutions d'assainissement est une aide au choix, la condition d'arrêt doit être formulée à partir du choix effectué par le décideur.

Nous dirons donc qu'il y aura stabilité du choix D du décideur (par conséquent du processus de surclassement) lorsque celui fourni à une itération (m) sera identique à celui fourni à l'itération précédente ($m-1$).

Nous proposons la formulation de la condition d'arrêt suivante :

Si [choix $D(m)$ = choix $D(m-1)$]

Alors [choix = stable]

Sinon [refaire surclassement]

Lorsque la condition d'arrêt est satisfaite, le processus de surclassement est stoppé et le choix du décideur est considéré comme stable et définitif.

5.5. Synthèse

5.5.1. *Synoptique général du processus de choix de solutions d'assainissement*

Le processus appliqué à chaque sous-zone est illustré par la figure 50.

L'étape $m=1$ correspondant à la première proposition de surclassement par ELECTRE II, le décideur n'a donc pas encore effectué son choix. Il est par conséquent nécessaire que le processus fasse au moins une itération pour que l'étape de jugement de la stabilité du choix soit appliquée.

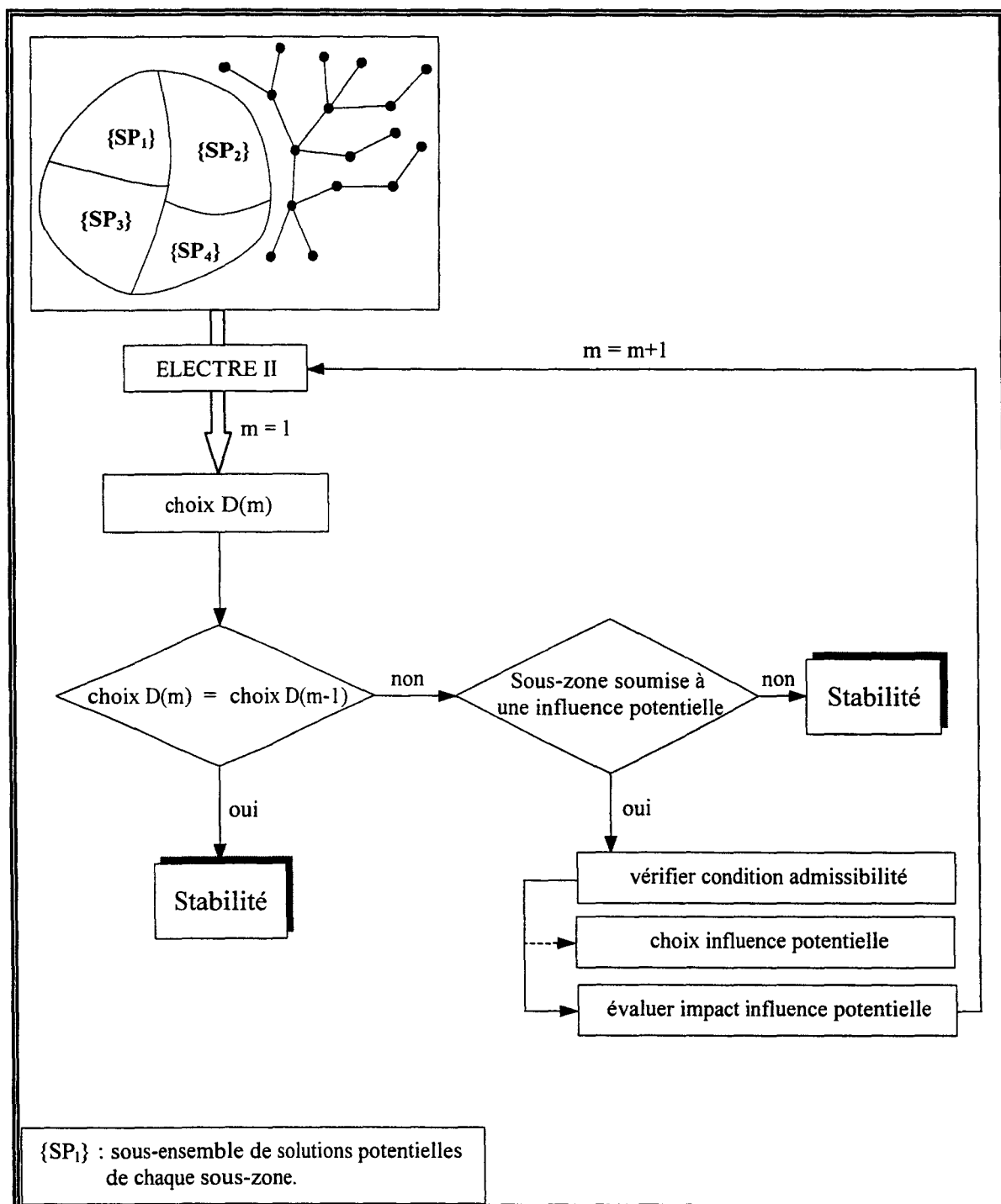


Figure 50 : synoptique du processus de choix de solutions d'assainissement et d'évaluation de leur cohérence sur la zone d'étude.

5.5.2. Cas où le décideur n'intervient pas pendant le processus

Le processus que nous venons d'exposer sous forme graphique constitue un outil d'aide au choix de solutions d'assainissement. Cependant, le décideur peut ne pas intervenir pendant son déroulement. Il peut attendre la fin des itérations pour exploiter les résultats fournis par le processus. Dans ce cas, sur chaque sous-zone, seules les solutions classées premières par ELECTRE II feront l'objet d'une étude d'influence(s) potentielle(s).

La satisfaction de la condition d'admissibilité, le choix de l'influence potentielle parmi plusieurs (s'il y a plus d'une sous-zone interagissant avec une autre), ainsi que l'évaluation de l'impact de chaque influence seront réalisées par le processus lui-même. **La condition de stabilité ne s'appliquera plus au choix du décideur, mais à la solution de plus haut rang du surclassement effectué sur chaque sous-zone.**

De plus, dans un souci de transparence et de compréhension du processus, chaque étape devra être accessible au décideur (y compris celles relatives à l'étude des influences entre sous-zones), soit directement (le processus marque des pauses à chaque étape), soit à la demande.

Sans intervention du décideur, le processus se présente alors comme illustré par la figure 51.

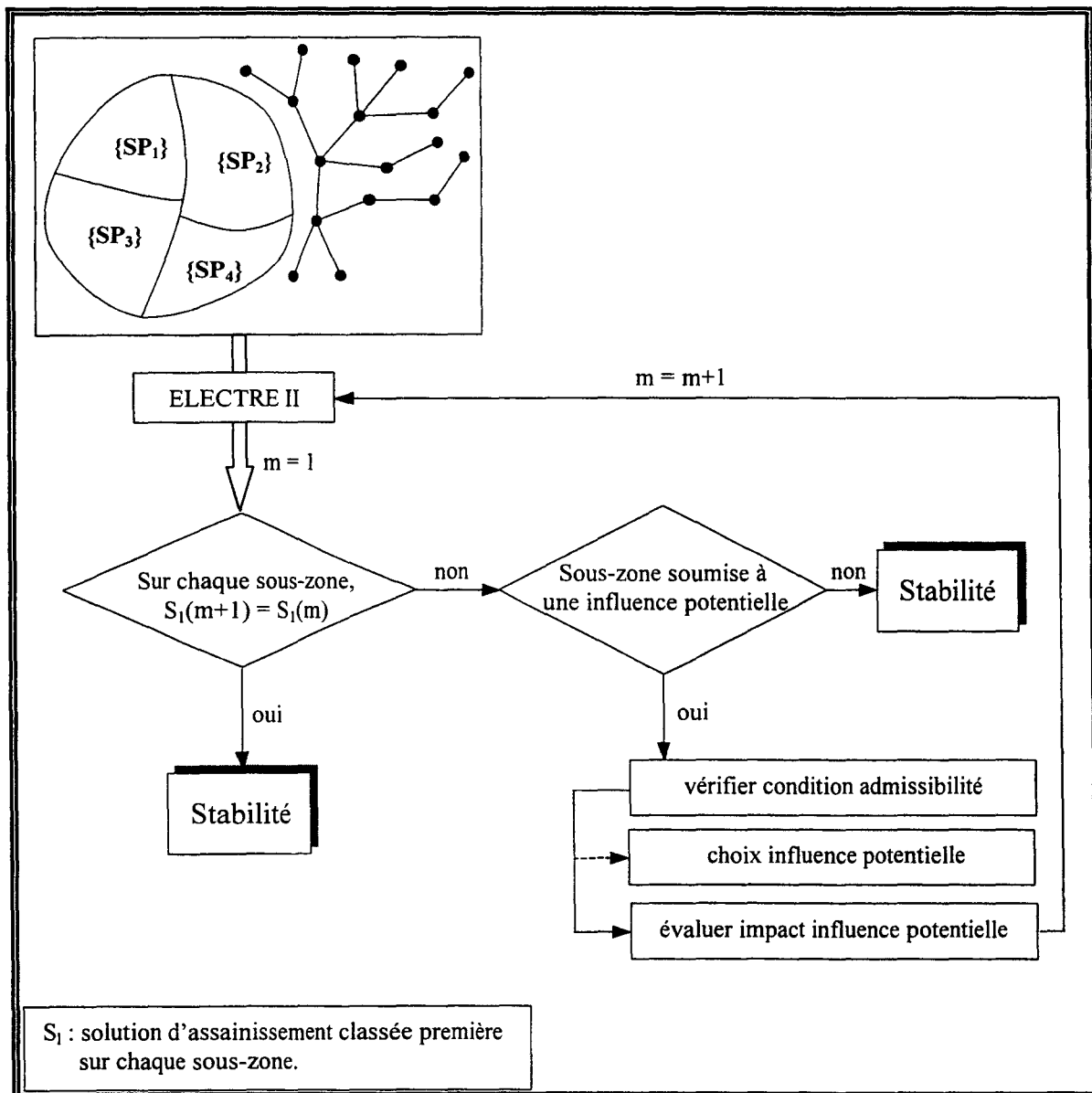


Figure 51 : synoptique du processus de choix de solutions d'assainissement et d'évaluation de leur cohérence sur la zone d'étude - cas où le décideur n'intervient pas.

Conclusions du chapitre III

Dans ce chapitre, nous avons présenté de façon détaillée l'ensemble des éléments nécessaires au fonctionnement de la méthodologie d'aide au choix de solutions d'assainissement, que nous avons ensuite appliquée au mode individuel, regroupé et collectif.

La mise en œuvre d'une solution apportant des contraintes spécifiques, il nous a paru plus judicieux d'élaborer un système à base de règles propre à chacune des solutions, plutôt que de chercher à construire un système global. De notre point de vue, celui-ci aurait été d'une utilisation trop lourde. De plus, la conception individuelle de systèmes autorise le décideur à éventuellement choisir de ne pas étudier la potentialité de réalisation d'une solution, évitant ainsi de collecter des informations inutiles au test des autres types d'assainissement.

Une fois les solutions potentielles déterminées pour chaque sous-zone, il est fait appel au décideur pour leur évaluation à partir de ses préférences.

Le travail d'évaluation a préalablement nécessité la formalisation de cinq critères que nous avons perçus comme caractéristiques de l'ensemble des conséquences que la mise en œuvre des solutions pouvait engendrer. La démarche d'évaluation que nous avons exposée sur chaque critère n'a pas été simple à concevoir. Les critères n'étant pas tous de même nature (quatre sont qualitatifs et le cinquième est quantitatif), une transformation d'échelle d'appréciation a donc été nécessaire. Certains d'entre eux ne pouvant pas être directement appliqués à une sous-zone par le fait du caractère global de leur définition, nous avons du recourir à des hypothèses simplificatrices, ou à l'évaluation des solutions en les envisageant de façon indirecte.

Le processus d'évaluation permettant d'aboutir à une relation de surclassement des solutions de chaque sous-zone, a été conduit par la méthode ELECTRE II. Mais dans la construction de chaque proposition de surclassement, nous avons dû intégrer l'influence potentielle de certaines sous-zones sur d'autres en raison de la conception systémique de la zone d'étude.

A l'échelle d'une sous-zone, la prise en compte d'une influence a montré qu'elle peut avoir une action sur la solution retenue par le décideur à l'issue du surclassement proposé par ELECTRE II. Si la solution choisie est (A) ou (R), elle peut être modifiée en (C). Si cette modification est effective, elle provoque alors une transformation partielle du contenu de la matrice des évaluations pour la sous-zone subissant l'influence. La matrice des évaluations n'étant plus identique à celle initialement élaborée, le surclassement proposé au décideur est alors potentiellement remis en cause. Nous avons donc du concevoir un processus de choix de solution itératif, dont l'arrêt est prononcé lorsque la solution retenue sur chaque sous-zone à une étape donnée est la même qu'à l'étape précédente.

Conclusions de la première partie : bilan et perspectives

A l'échelle d'un territoire communal, la réalisation d'un assainissement des eaux usées doit être conduite par une approche intégrée de l'ensemble des problèmes posés. Le cadre réglementaire défini par la loi sur l'eau de 1992 constitue un support pour cette approche, mais il n'est pas suffisant, parce les solutions d'assainissement doivent être adaptées au contexte local, en s'appuyant sur les propres spécificités de la commune.

L'analyse critique que conduisent aujourd'hui certaines collectivités sur les solutions mises en œuvre et en particulier les petites communes, révèle un décalage entre leurs besoins et la stratégie d'assainissement proposée. Ce décalage renforce la nécessité de mettre le contexte local au premier plan, mais contribue aussi à remettre en cause les études de zonage desquelles émanent ces solutions.

L'analyse de ces études montre qu'elles formulent très souvent la problématique d'assainissement de façon simplifiée. Le processus de résolution linéaire n'est pas en adéquation avec le raisonnement d'un décideur (vis à vis de notions comme l'indécidabilité, des points de vue rencontrés parfois conflictuels, ...). Il en ressort alors des propositions qui ne sont pas en accord avec le rôle d'aide à la décision que les études de zonage devraient fournir, par le fait de la non participation du décideur à la construction de ces propositions.

Afin de ramener ces études vers une véritable démarche d'aide à la décision, nous avons cherché à reformuler la problématique d'assainissement dans le cadre du choix de solutions à mettre en œuvre, ainsi que son processus de résolution.

A ce titre, la problématique a été considérée comme complexe et non plus compliquée. Sa simplification en sous-problèmes élémentaires n'étant alors plus rendue possible, sa résolution par l'analyse classique (cartésienne) n'est par conséquent plus envisageable. De

plus, le support de raisonnement constitué par la zone d'étude a été modélisé en recourant au concept de système.

La zone d'étude est alors définie par :

- ❖ Sa complexité, due à sa composition et aux interactions potentielles entre ses éléments, c'est à dire les sous-zones ;
- ❖ L'ouverture du système : la zone d'étude est située dans un environnement avec lequel elle entretient des relations ;
- ❖ Son fonctionnement plutôt que sa structure ;
- ❖ Son organisation à travers celle des interactions.

Sur ces bases, nous avons ensuite reformulé le processus de résolution en nous fondant sur le modèle canonique de décision - résolution, structuré en trois séquences (compréhension – conception - choix) liées par des boucles rétro - décisionnelles.

La phase de compréhension, consistant dans notre cas à identifier les équipements d'assainissement eaux usées non collectifs en dysfonctionnement, n'a pas été développée. Nous avons supposé ce travail déjà effectué.

La première étape de la phase de compréhension a consisté en la recherche d'un processus d'élaboration de solutions d'assainissement potentielles à mettre en œuvre sur chaque sous-zone pour pallier le dysfonctionnement des équipements existant. Nous avons travaillé sur trois types de solutions : l'assainissement individuel, regroupé et collectif.

En nous appuyant sur la démarche d'expertise utilisée par le bureau d'étude dans une telle situation, le choix a été fait de recourir à un raisonnement heuristique de construction de solutions, traduit par l'élaboration de systèmes à base de règles expertes pour chaque type de solution potentielle.

Le recours à ce type de système a été rendu possible parce que les principes sur lesquels se base la recherche de solutions potentielles peuvent être énoncés simplement. Chacune des règles a été établie à partir de contraintes techniques requises par la réglementation, ainsi qu'à partir de celles apportées par chaque solution.

La deuxième étape de la phase de compréhension a consisté à rechercher une démarche d'évaluation du sous-ensemble de solutions potentiellement réalisables sur chaque sous-zone. Leur évaluation devait être conduite vis à vis de deux types d'objectifs à atteindre :

- ❖ Ceux imposés par la zone d'étude et par son environnement ;
- ❖ Ceux définis par le décideur.

L'approche monocritère de l'évaluation des solutions ayant été rejetée, nous avons exprimé ces objectifs sous la forme de cinq critères :

- ❖ Adéquation avec le devenir de la sous-zone ;
- ❖ Préservation du milieu naturel ;
- ❖ Coût financier ;
- ❖ Adéquation avec la politique de gestion de l'assainissement ;
- ❖ Adéquation avec l'assainissement des autres sous-zones.

La formalisation de la démarche d'évaluation de chaque solution sur chacun d'entre eux a nécessité une large réflexion, du fait notamment de leur nature différente.

La phase de choix s'est révélée être une étape cruciale dans la construction de notre méthodologie. En effet, la démarche devant mener au choix devait tenir compte des préférences du décideur et revêtir la forme d'une aide à la décision. La méthode ELECTRE II a été retenue. Basée sur la notion de surclassement de solutions de la meilleure à la moins bonne, cette méthode effectue un raisonnement proche de celui du décideur.

Le recours à une telle méthode de comparaison de solutions est une approche intéressante de la décision. En effet, elle permet au décideur de connaître les forces et les faiblesses de chacun de ses choix, de pouvoir les justifier objectivement et d'être conscient de ses responsabilités quant aux conséquences d'un choix.

Enfin, l'ensemble de notre outil méthodologique a été appliqué à une zone d'étude fictive afin d'en expliciter le fonctionnement général. Nous avons alors montré que la phase de choix sur chaque sous-zone devait être un processus itératif en raison des instabilités engendrées par les interactions entre sous-zones sur le surclassement des solutions proposé par ELECTRE II. C'est un point intéressant dans la mesure où ces interactions, qui sont la garantie d'une rationalité des choix à l'échelle de la zone d'étude, constituent un facteur de "fragilité" de la proposition de surclassement.

Par ailleurs, le recours à une méthodologie d'aide au choix de solutions d'assainissement par un décideur, telle que nous l'avons conçue, ne doit pas lui faire abandonner tout sens critique à l'égard de la cohérence de l'ensemble de ces solutions sur la zone d'étude. Dans certains cas, notre système peut conduire à des aberrations comme l'exemple suivant le montre.

Considérons trois itérations correspondant à trois choix successifs du décideur (figure 52).

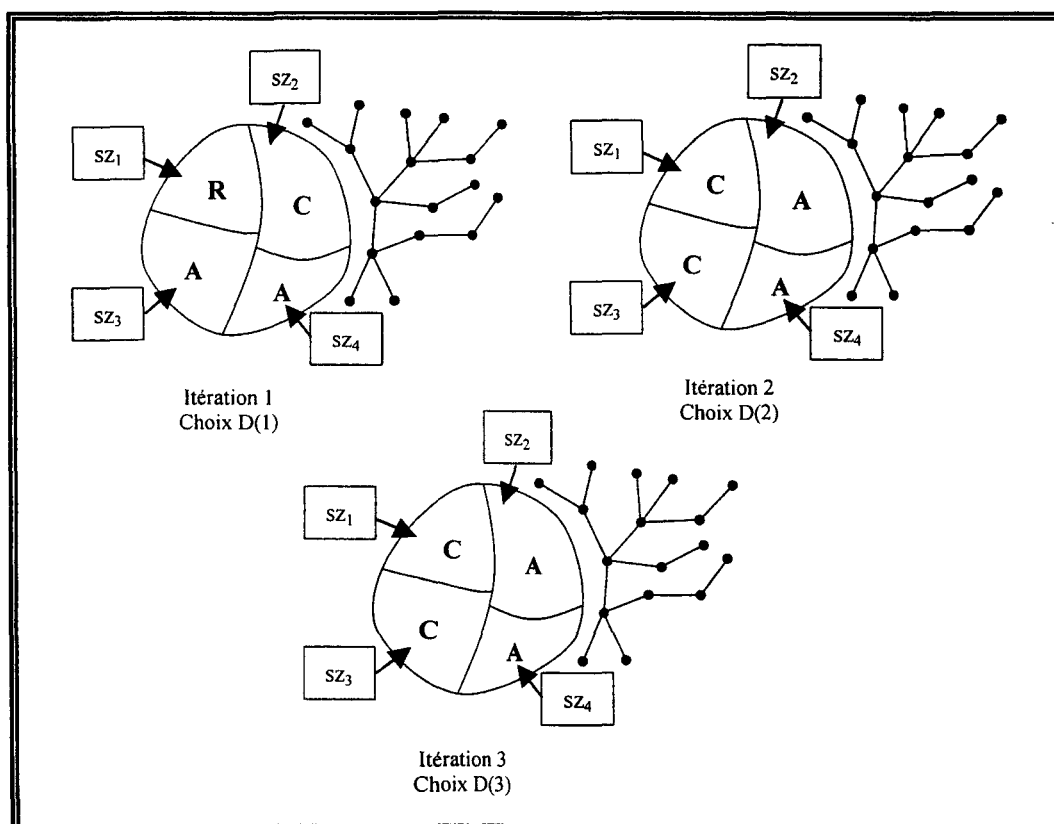


Figure 52 : exemple de résultat stable mais aberrant fourni par la méthodologie d'aide au choix de solutions.

Les choix du décideur étant identiques à la 3^{ème} et 2^{nde} itération, le processus est stable et il est stoppé.

Cependant, le choix D(3) est aberrant dans la mesure où par hypothèse tout réseau collectif réalisé sur une sous-zone étant raccordé au réseau existant, ce choix engendre alors la traversée des sous-zones sz₂ et sz₄ (assainies en individuel) par des collecteurs. Dans ce cas, une pression à l'urbanisation pourra être générée afin de parvenir à un amortissement du coût

engendré par la distance à parcourir. Ce raisonnement remet alors complètement en cause les solutions d'assainissement individuel.

Nous dirons donc que le décideur ne doit pas transférer tout son sens critique au système. Lorsque le résultat fourni est stable, l'analyse des conséquences de ses choix sur sa réalisation doit impérativement être effectué.

Les perspectives se trouvent d'une part dans la validation de la méthodologie sur des cas réels d'étude de zonage. Il s'agira de trouver des collectivités volontaires pour procéder à une phase de test en nous y associant au moment de l'utilisation de la méthode multicritère (un minimum de pédagogie sur cette méthode est nécessaire), ainsi que pour construire un retour d'expérience exploitable et pertinent en vue des corrections à apporter à l'outil.

D'autre part, nous rappelons que parmi les différents types d'assainissement mis en jeu dans notre travail, le chapitre I avait présenté les modes de transport d'effluents aidé sous vide et sous pression, qui n'ont pas été par la suite inclus dans le sous-ensemble de solutions potentielles envisagé sur chaque sous-zone. Nous avons justifié cette décision par le fait qu'actuellement peu de décideurs sont enclins à intégrer ce genre de solution dans un projet d'assainissement.

Pourtant, il est certainement intéressant de les intégrer dans notre outil méthodologique d'aide au choix de solutions. En effet, lors de l'étude de l'influence d'une sous-zone sur une autre sous-zone (la cible), la nature du relief peut remettre en cause la mise en œuvre d'un assainissement collectif sur la cible. Cela se traduit alors par l'absence de cette solution dans la proposition de surclassement fournie sur la sous-zone cible par ELECTRE II. Ce cas est rencontré lorsque la dénivelée entre deux sous-zones est négative, ou positive mais avec des contre-pentes.

Or, le relief ne constitue plus une contrainte pour un assainissement sous vide ou sous pression, ce qui signifie que la solution (C) pourrait être maintenue parmi les solutions à classer.

La question qui se pose alors est de savoir comment prendre en compte ces deux technologies d'assainissement dans notre outil méthodologique. Envisager cette prise en compte dans l'étape d'élaboration des solutions potentielles sur chaque sous-zone n'est pas problématique,

car leur système à base de règles pourrait être analogue à celui que nous avons construit pour le collectif gravitaire. En effet, quel que soit le mode de transport, les contraintes de capacité résiduelle du réseau et de la STEP extérieurs demeurent.

En revanche, l'étape d'évaluation du sous vide et du sous pression peut être rendue délicate sur le critère "Coût financier", en raison des inconnues qui subsistent encore sur la connaissance des coûts d'exploitation que ces technologies engendrent.

Ce constat repose sur une enquête que nous avons menée auprès de 15 communes équipées avec ces systèmes : 10 pour le sous vide et 5 pour le sous pression [Le Gouévec (b), 1999]. Les premiers résultats montrent que si généralement les coûts d'investissement sont assez bien maîtrisés, il n'en n'est pas de même pour ceux engendrés par les opérations d'entretien, de renouvellement et de réparation qui revêtent un caractère variable d'une commune à une autre.

Le coût financier d'un réseau sous vide ou sous pression étant souvent un critère discriminant, la connaissance des dépenses engagées pendant leur fonctionnement est par conséquent impérative en quantité suffisante. Tant que des données issues de retours d'expériences ne seront pas disponibles (hormis celles fournies par les constructeurs, qui ne correspondent pas toujours à ce qu'une collectivité devra supporter en réalité), il nous semble biaisé de comparer des solutions de type individuel ou collectif gravitaire avec des équipements sous vide ou sous pression. Par conséquent, l'intégration de ces deux technologies dans la méthodologie d'aide au choix de solutions ne nous paraît pas pour le moment pertinente.

Par contre, il est possible d'envisager la conception d'un outil complémentaire qui ne serait chargé d'évaluer que le sous vide et le sous pression, dès lors que la méthodologie ne permettrait pas d'aboutir à une proposition de surclassement dans laquelle se trouverait une solution de type collectif sur une sous-zone. C'est un axe de continuation des recherches qu'il paraît intéressant de suivre.

Deuxième partie

Mise en conformité de réseaux d'assainissement :

Aide au choix de priorités d'intervention

Introduction

L'action d'un élu local dans la recherche d'un assainissement performant ne se limite pas à la maîtrise des dispositifs non collectifs. La problématique générale de mise en conformité des équipements existants concerne aussi les infrastructures collectives.

Aujourd'hui, compte-tenu des enjeux que représentent la croissance rapide de leur population et la nécessité de préservation du milieu naturel, les communes de faible taille commencent à prendre conscience de l'importance du rôle joué par leur système d'assainissement collectif. Mais souvent, cette prise de conscience ne survient que lorsqu'un réseau et ses ouvrages ne rendent plus les services pour lesquels ils ont été conçus.

Lorsqu'une commune est confrontée à cette situation de crise, elle demande généralement un diagnostic de fonctionnement de son réseau d'assainissement. Confiée à un bureau d'études (les collectivités de faible taille sont rarement pourvues d'une structure technique compétente en la matière), l'étude de diagnostic doit permettre de dégager les orientations à adopter pour redonner au réseau (et plus généralement au système d'assainissement) un niveau de service compatible avec les besoins.

En prenant la forme d'interventions destinées à agir sur les causes de mauvais fonctionnement du système, ces orientations et les priorités d'intervention qui en ressortent, constituent alors une aide pour le décideur. En effet, ensemble, elles forment une base pour la programmation des actions à mettre en œuvre et donc pour leur planification financière.

Or, la diversité et la complexité des phénomènes mis en jeu lors du mauvais fonctionnement d'un réseau engendrent une difficulté à élaborer des solutions en adéquation avec les besoins (le réseau ne retrouve pas un fonctionnement en correspondance avec ceux-ci) et consécutivement, l'absence d'une stratégie d'interventions clairement définie. Outre des raisons propres au

contexte d'étude, il semble que dans ce cas, la méthodologie du diagnostic parait responsable de cet état de fait.

En nous basant sur l'analyse critique des principes régissant sa démarche, nous allons dans le premier chapitre chercher à savoir pourquoi la méthodologie du diagnostic achoppe sur ces deux points. Les réponses apportées nous permettront de reformuler la problématique de mauvais fonctionnement d'un réseau d'assainissement en recourant à la même approche que celle développée dans la 1^{ère} partie. La problématique sera abordée sous un angle complexe. Le réseau sera représenté par un système (au sens du paradigme systémique).

Puis, à partir de trois dysfonctionnements (débordements, surverses de déversoirs d'orages, intrusion d'eaux parasites) relatifs à trois niveaux de service (protection contre les inondations, protection du milieu naturel, optimisation du fonctionnement de la station d'épuration), nous construirons une démarche dont l'objectif est d'aider le décideur d'une collectivité de faible taille à définir ses priorités d'intervention.

Le second chapitre considérera une occurrence indépendante des dysfonctionnements. Pour chacun d'entre eux, nous développerons les principes méthodologiques permettant de définir les priorités sous la forme d'un classement des différents points du réseau soumis aux manifestations de chacun de ces dysfonctionnements.

Mais leur indépendance n'étant pas une situation la plus fréquemment rencontrée, chaque raisonnement mené constituera un fondement pour l'étude de leur dépendance dans le troisième chapitre. Nous reprendrons alors les éléments de méthode formalisés que nous chercherons à assembler pour quatre cas de couplages des dysfonctionnement considérés, après avoir mis en évidence les relations potentielles qui les caractérisent.

Chapitre I : Dysfonctionnements d'un réseau d'assainissement et définition d'interventions - Contexte général et méthodologie proposée.

Introduction

Un réseau d'assainissement en mauvais état de fonctionnement appelle une analyse qui n'est pas simple à conduire. En effet, elle doit d'une part permettre de déterminer les causes responsables de cet état de dégradation et d'autre part, proposer des solutions efficaces, dans l'objectif de redonner au réseau une performance conforme aux attentes et aux besoins de la collectivité.

Dans ce contexte, une démarche de diagnostic du réseau est souvent engagée pour l'aide qu'elle procure vis à vis de la formalisation de la réflexion et de l'élaboration des interventions à réaliser. Plusieurs approches du diagnostic existent, mais un certain nombre de critiques peuvent être formulées au regard de chaque raisonnement adopté.

Ce bref chapitre constitue une introduction à la démarche que nous construirons tout au long de cette seconde partie de la thèse. Il n'a pas pour ambition un développement détaillé et exhaustif de l'ensemble des approches du diagnostic d'un réseau d'assainissement. En revanche, l'exposé de leur démarche nous amènera à comprendre les raisons pour lesquelles elles ne permettent pas d'élaborer une stratégie d'interventions valide du point de vue du processus de raisonnement utilisé.

Ces raisons nous conduiront alors à proposer au décideur un raisonnement méthodologique alternatif, capable de fournir une aide adaptée à son contexte et à ses moyens. Cette démarche visera à établir des axes de priorités d'intervention en s'appuyant sur l'évaluation de la performance du réseau à partir de la notion de service.

I. Cadre d'étude et proposition méthodologique

1. Comment le mauvais fonctionnement d'un réseau peut-être révélé ?

Les circonstances révélatrices d'un mauvais fonctionnement d'un réseau sont nombreuses et variées. Cela dit, elles se manifestent très souvent par des plaintes de la part d'utilisateurs, ou par le biais de mesures issues d'appareillages en place.

Les plaintes rapportées à la commune par les utilisateurs (nées d'observations directes), ne contiennent pas toujours des explications très explicites au sujet des événements survenus. Mais elles ne sont pas à négliger, car elles constituent des indicateurs majeurs d'un ou plusieurs problèmes de fonctionnement du réseau. Généralement, ces plaintes concernent des événements de type :

- ❖ Débordements locaux sur voirie ;
- ❖ Inondations de caves ;
- ❖ Affaissements de terrain ou de chaussée ;
- ❖ Odeurs désagréables apparaissant à proximité de l'unité de traitement collective, ou au niveau des regards de visite du réseau ;
- ❖ Perturbation des usages du milieu naturel (pêche, baignade, ...) qui laissent supposer des surverses de déversoirs d'orages intempestives ou un apport de pollution au milieu naturel trop fort en temps de pluie.

Le contrôle des débits des postes de refoulement, l'analyse du temps de fonctionnement des pompes, ou l'analyse du flux d'entrée de la STEP, peuvent aussi révéler l'existence de dysfonctionnements sérieux [COM, 93].

2. Quelles peuvent être les causes d'un mauvais fonctionnement ?

Les anomalies de fonctionnement ont souvent des causes très diverses. [Aflak, 94] a répertorié ces causes en analysant les types de dégradations possibles sur un réseau. Deux familles en ressortent.

2.1. Causes de dégradations structurelles

Les dégradations des caractéristiques structurelles du réseau peuvent se situer à plusieurs niveaux. Elles se retrouvent sur :

- ❖ Les collecteurs, par :
 - ❑ des fissures longitudinales ou circulaires ;
 - ❑ des voûtes écrasées, effondrées ou corrodées ;
 - ❑ des radiers dégradés ou absents ;
 - ❑ des perforations ponctuelles ;
 - ❑ des fractures ;
 - ❑ des pénétrations de racines ;
 - ❑ des flaches ou des contres-pentes ;
 - ❑ des phénomènes de corrosion ;
 - ❑ ...

- ❖ Les joints, par :
 - ❑ leur absence ou leur faible étanchéité ;
 - ❑ le déboîtement de collecteurs ;
 - ❑ leur inexistence ;
 - ❑ ...

- ❖ les regards, par :
 - ❑ le déboîtement des cheminées de descente ;
 - ❑ de mauvaises jonctions regard - collecteur ;

- des branchements d'autres collecteurs non correctement réalisés ;
- l'absence de radier ou de cunette ;
- ...

Les causes peuvent être recherchées sur :

- ❖ Le réseau lui-même, à travers la nature des matériaux constitutifs des collecteurs et des joints, les conditions de mise en œuvre, l'âge de pose ;
- ❖ Le type d'effluent transporté, pouvant contenir des agents agressifs de nature à engendrer une attaque chimique et/ou corrosive du collecteur et/ou de ses armatures métalliques si elles existent [Rendell, 99] ;
- ❖ L'environnement urbain, à travers les sollicitations dynamiques de trafic ;
- ❖ Les mécanismes mis en jeu par le sous-sol environnant pendant et après la pose des collecteurs. Dans [LCPC, 88], nous trouvons :
 - les glissements de terrain par suite de remontée d'une nappe par exemple ;
 - la présence de vides souterrains ;
 - les phénomènes de dissolution de roches ;
 - l'entraînement hydrodynamique de matériaux fins ;
 - les phénomènes de compressibilité de certains types de sols ;
 - les tassements dus au rabattement d'une nappe ;
 - ...

Les situations de dégradations structurelles atteignent l'intégrité du réseau lui-même. Mais de plus, la combinaison de certaines de leurs causes, ces situations peuvent se répercuter sur la capacité du réseau à maintenir un fonctionnement hydraulique correct.

2.2. Causes de dégradations fonctionnelles

Dans le cas du mauvais fonctionnement d'un réseau, les dégradations sont exprimées par des phénomènes de mises en charge, de débordements, ou de surverses non voulues au milieu naturel par les déversoirs d'orages.



Quatre types de causes peuvent être énoncées :

- ❖ Les causes dues au sous-dimensionnement des collecteurs pour l'évacuation des effluents de temps de pluie (section ou pente trop faible) ;
- ❖ Les causes dues au milieu environnant des collecteurs. Elle concernent l'infiltration d'eaux souterraines dans le réseau par les dégradations structurelles, qui accroissent les débits transités et peuvent contribuer aux phénomènes de mise en charge et de surverses non voulues au milieu naturel ;

Remarque : nous n'aborderons pas les problèmes d'exfiltration qui, a priori, ne concourent pas au mauvais fonctionnement hydraulique d'un réseau.

- ❖ Les causes dues à une insuffisance de curage des collecteurs. L'accumulation de matières solides en période de temps sec engendrant une diminution de la débitance, augmente l'occurrence d'une mise en charge ;
- ❖ Les causes dues à un accroissement des flux en tête de réseau, conséquence directe d'une évolution urbaine que l'étude de conception initiale n'avait pas anticipée.

Les causes relatives à la dégradation du fonctionnement hydraulique d'un réseau d'assainissement montrent qu'elles se caractérisent par :

- ❖ Une variabilité spatiale (cas des causes de sous dimensionnement ou d'encrassement de collecteurs). Leur impact peut être localisé (sur quelques collecteurs), ou bien étendu sur l'ensemble du réseau avec une répartition sectorisée, ou plus ou moins aléatoire ;

- ❖ Une variabilité temporelle. C'est le cas des infiltrations par exemple, dont les caractéristiques et l'impact sont différents selon les conditions hydrologiques et hydrogéologiques ;
- ❖ Des combinaisons possibles vis à vis d'un dysfonctionnement. Par exemple, des collecteurs à pente faible peuvent subir une mise en charge dont l'impact sera accru par des infiltrations.

3. Quels sont les objectifs recherchés ?

3.1. Objectifs généraux

L'existence d'un réseau d'assainissement répond à des besoins émanant du contexte de société urbaine : protection de la santé publique contre les nuisances des eaux usées polluées, protection contre l'accumulation des eaux pluviales, ...

Pour satisfaire au mieux ces besoins, le réseau doit être performant dans l'activité de collecte, de transport et d'évacuation des effluents. Lorsqu'il ne satisfait plus à ces fonctions, il est dès lors nécessaire de définir des objectifs de retour vers une performance en adéquation avec le contexte dans lequel le réseau se trouve.

Ces objectifs sont formulés en rapport avec le type de dégradation occurring sur le réseau. Nous pouvons citer :

- ❖ Le rétablissement d'une structure intègre pour la pérennité du réseau ;
- ❖ Le rétablissement d'un bon écoulement des effluents, c'est à dire la suppression des mises en charge, des inondations, ou encore la limitation des phénomènes d'encrassement ;
- ❖ La suppression ou la réduction des infiltrations pour éliminer les surcharges de station de refoulement, améliorer le rendement épuratoire de la STEP ;

- ❖ La suppression des surverses de déversoirs d'orages non voulues pour réduire les rejets pollués au milieu naturel.

3.2. Difficultés attendues

A partir d'objectifs définis, la démarche qui permettra de les atteindre n'est pas simple pour plusieurs raisons :

- ❖ Certaines dégradations peuvent interagir. Par exemple, une mise en charge peut être consécutive à des infiltrations par des collecteurs fissurés. Si les mises en charge sont fortes ou répétées, elles peuvent à leur tour accroître la fissuration des collecteurs et ainsi provoquer des infiltrations plus conséquentes. Comment alors mettre en évidence ces interactions et comment savoir sur quelle(s) dégradation(s) agir ?
- ❖ Certaines causes peuvent aussi interagir, renforçant de ce fait la difficulté d'appréhension des phénomènes de dégradations ;
- ❖ Le comportement du réseau est intimement lié à son environnement géotechnique, hydrogéologique et urbain. Comment alors prendre en compte l'ensemble de ces facteurs pour la résolution des dysfonctionnements ?

Ainsi, une collectivité confrontée à des problèmes de fonctionnement de son réseau, est aussi souvent confrontée à la difficulté de formalisation d'un raisonnement capable d'expliquer l'origine des anomalies et de construire des solutions destinées à les réduire ou à les éliminer.

4. Aide apportée par l'étude de diagnostic pour la définition de solutions

4.1. Déroulement d'une étude de diagnostic

L'appel à l'étude de diagnostic est déclenché après le constat de dysfonctionnements avérés d'un système d'assainissement (réseau et/ou STEP).

Son objectif est de définir des solutions capables de pallier ces anomalies en agissant sur leurs causes. Elle se doit donc de les localiser et de les identifier. En ce sens, l'étude de diagnostic doit constituer une aide à la formalisation des problèmes et à l'élaboration d'une démarche de correction de la dégradation du fonctionnement du réseau.

Le processus d'une étude de diagnostic s'appuie sur une séquence d'activités élémentaires qui sont les suivantes :

- ❖ Prendre connaissance du réseau d'assainissement et acquérir les premières données disponibles. Ce sont des informations :
 - physiques : les relevés de terrain et les plans disponibles ;
 - contextuelles, qui rassemblent les données de type géotechnique, hydrologiques, hydrographiques et environnementales ;
 - d'exploitation, telles que les dates des derniers curages, des dernières interventions, ou encore des dernières réparations ;
- ❖ Puis définir une évaluation globale du fonctionnement du réseau et effectuer une localisation géographique des secteurs où se situent les dysfonctionnements (débordements, surverses, infiltrations). Cette étape constitue le pré-diagnostic du réseau d'assainissement ;
- ❖ Puis élaborer le diagnostic de fonctionnement du réseau, par :
 - une campagne de mesures pluviométriques, débitométriques (en continu et instantanées), de flux polluants, ainsi qu'une campagne d'estimation des fréquences et de durées des surverses de déversoirs d'orages ;
 - la simulation du fonctionnement du réseau (y compris les ouvrages spéciaux comme les

déversoirs d'orages) pour des événements pluviométriques mesurés ;

- l'analyse des résultats de la simulation afin de quantifier les dysfonctionnements hydrauliques, de localiser leurs causes et d'évaluer la performance du réseau vis à vis du milieu naturel ;
- ❖ Enfin, définir un plan d'interventions en élaborant différentes solutions et en évaluant leurs conséquences financières et vis à vis des dysfonctionnements.

De façon synthétique, la figure 53 résume les différentes étapes d'une étude de diagnostic.

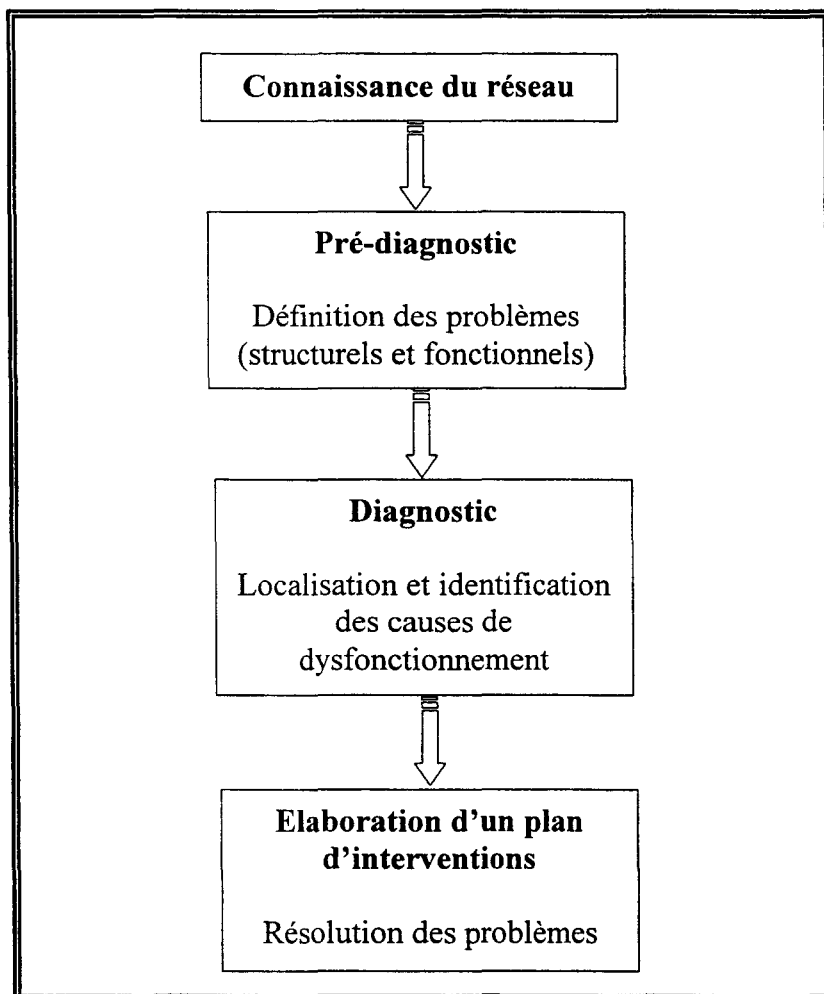


Figure 53 : synoptique d'une étude de diagnostic.

Les solutions contenues dans le plan d'interventions rassemble généralement des opérations de réhabilitation, de remplacement de tronçons, ou encore de restructuration (modification d'ouvrages spéciaux, nouveaux aménagements, ...).

4.2. Analyse critique de la démarche générale

La première critique porte sur l'attitude adoptée face aux informations à recueillir :

- ❖ Soit le budget alloué par l'étude n'est pas suffisant pour acquérir des informations suffisantes pour obtenir une vue complète du réseau et de son fonctionnement. Dans ce cas, des choix sont faits (notamment en ce qui concerne la métrologie en phase de diagnostic) sur la base de considérations subjectives. Les conséquences sont alors mesurées d'une part sur la cohérence des informations par rapport aux dysfonctionnements observés (faible qualité de l'analyse) et d'autre part, sur la pertinence des solutions proposées.

Pourtant, ce n'est pas l'étude qui mobilise le plus de moyens financiers, mais bien la réalisation des solutions apportées. Cette attitude est par conséquent à proscrire, car ce n'est pas le seul coût de l'étude qu'il faut minimiser, mais le coût total de réalisation [Chocat, 01] ;

- ❖ Soit les délais consacrés à l'étude sont volontairement limités en supposant que l'effort consacré à une modélisation performante du réseau viendra combler celui qui n'a pas été fait sur la durée de la campagne de mesures. Certes, les modèles sont indispensables pour compléter et extrapoler dans le temps et dans l'espace les mesures. Mais la capacité de prévision des modèles étant très limitée, ils nécessitent encore de disposer de mesures pour leur calage et leur validation [Chocat, 01] ;
- ❖ Soit le volume de connaissances recueilli est tel que la valorisation des informations est difficile à effectuer. Ceci peut être du à une mauvaise définition des objectifs à atteindre (voire parfois l'absence d'objectif particulier), ou encore à la présence d'un nombre élevé de problèmes différents qui fragilisent l'assurance donnée à la stratégie de recherche des causes. Afin d'assurer une appréhension de tous les problèmes, la maximisation et la multiplication des données à acquérir procure un faux sentiment de sécurité.

Ces attitudes sont très souvent relevées dans le cas de petites collectivités. En étant confrontées à des situations de crise en matière de fonctionnement de leurs réseaux, ainsi qu'à une réalité financière difficile à gérer (faibles ressources), elles demandent alors la réalisation d'une étude de diagnostic dans l'urgence afin de pouvoir rapidement mettre en œuvre les solutions préconisées. Mais dans ce contexte, la démarche d'une étude de diagnostic est-elle alors adaptée, notamment vis à vis de la qualité des solutions apportées ?

La deuxième critique porte sur la perception du réseau d'assainissement dans ce type d'étude. Il est très souvent implicitement représenté comme un ensemble d'éléments implantés au sein d'un environnement sans relation clairement explicitées avec lui. Les causes de dysfonctionnement sont alors recherchées sur sa structure. Mais si en réalité ces causes se situent dans son environnement (causes géotechniques ou liées à des surcharges dynamiques de surface par exemple), les actions menées peuvent alors s'avérer tout à fait infructueuses à plus ou moins long terme. Les mêmes causes produisant les mêmes effets, les dégradations structurelles supposées responsables des dysfonctionnements réapparaîtront inévitablement.

Troisièmement, la démarche analytique de l'étude (cf. figure 53) génère deux effets néfastes :

- ❖ Le traitement dissocié des problèmes ne prend pas toujours en compte les conséquences relatives à l'apparition de dysfonctionnements non désirés. Par exemple, dans le cas d'un débordement, certains tronçons effondrés étant identifiés comme la cause, un remplacement de ceux-ci sera alors préconisé. Mais si un déversoir d'orages est situé en aval des tronçons dégradés, leur remplacement risque de ce fait de générer des volumes d'effluents plus élevés au droit du seuil du déversoir et ainsi engendrer des surverses dont l'occurrence était auparavant nulle ou de fréquence plus faible. Si le milieu naturel est sensible au rejets d'effluents pollués, la résolution du problème de débordement aura par conséquent créé un problème de dégradation de qualité de ce milieu ;

- ❖ En séparant les problèmes, une démarche analytique isole parfois involontairement leurs causes. Considérons un réseau d'assainissement soumis à des infiltrations et dont le déversoir d'orages engendre des surverses non voulues. S'il a été décidé de résoudre le problème des surverses parce que le milieu récepteur est sensible à la pollution rejetée, une

action consistant à rehausser le seuil du déversoir peut être réalisée. Cependant, si la cause des surverses réside dans le phénomène d'infiltrations, le problème aura été résolu sur les effets et non pas sur la cause. De plus, s'il y a un accroissement des infiltrations alors le problème de surverses réapparaîtra potentiellement.

L'analyse et la résolution indépendante de dysfonctionnements d'un réseau ne font pas apparaître les relations qu'ils entretiennent (non nécessairement causales par ailleurs), ni celles qui relient leurs causes. Dans ce contexte, le processus de résolution d'une problématique générale de dysfonctionnement doit être reformulé par une autre approche. L'étude de diagnostic doit envisager la problématique sous une forme globale et autrement que compliquée.

Enfin, l'absence d'explicitation des relations entre les différents dysfonctionnements ne permet pas de les hiérarchiser. Pourtant, l'élaboration d'un plan d'interventions nécessite ce travail de hiérarchisation, car de celui-ci dépend l'efficacité et la cohérence de la stratégie d'action.

5. Autres approches possibles dans le cadre d'une aide à la définition d'interventions

D'autres approches du diagnostic ont été élaborées afin de pallier les critiques que nous avons énoncées. Elles reposent toutes sur la définition d'une stratégie de gestion du vieillissement du réseau et ne se placent plus dans un contexte de crise où des décisions doivent être prises après le constat de dysfonctionnements majeurs.

5.1. Gestion des infrastructures

Dans ce type d'approche, le diagnostic conduit à une hiérarchisation de chaque tronçon du réseau au moyen de l'évaluation de leur performance :

- ❖ Structurelle à partir de grilles de classement. Nous trouvons par exemple les méthodes développées par Chergui et Pawlowski citées dans [Laffrechine, 99] ;

- ❖ Structurelle et hydraulique. La performance structurelle est exprimée en tenant compte de facteurs intrinsèques (les défauts structurels de chaque tronçon) et extrinsèques (facteurs géotechniques, hydrogéologiques, ...). La performance hydraulique est définie en tenant compte de la responsabilité relative de chaque tronçon dans l'apparition d'une mise en charge, ainsi que dans un phénomène de refoulement des effluents. Ces deux performances sont agrégées sous forme d'une note de performance globale par un système expert à base de logique floue. Cette méthode est trouvée dans [Bennis & al, 98] ;
- ❖ Structurelle, hydraulique et d'étanchéité. Chaque performance est traduite en une note élémentaire, dont l'ensemble est agrégé par somme pondérée. Citons la méthode de Boinel exposée dans [Laffrechine, 99].

L'approche par hiérarchisation des tronçons rassemble aussi des méthodes basées sur la notion de risque. Pour chaque tronçon, ces méthodes cherchent à estimer le risque encouru par les tronçons par rapport à des facteurs appelés facteurs de risque. Ceux-ci peuvent être d'ordre structurel, hydraulique, ou bien liés aux impacts d'un dysfonctionnement. Ces méthodes se différencient par le processus de raisonnement utilisé pour représenter le risque encouru. Citons les méthodes développées par [Aflak, 94], [Bou Nader, 98] ou encore par le projet national RERAU1 [Bergue & Doan Van, 95].

5.2. Gestion par optimisation

Cette approche met en œuvre des méthodes chargées d'établir une stratégie de réhabilitation optimale de tronçons.

Nous trouvons des méthodes :

- ❖ Multi-objectifs, dans lesquelles il s'agit de minimiser les coûts de réhabilitation , les coûts sociaux et de maximiser la performance hydraulique (en cherchant à diminuer l'apparition de mises en charge), structurelle (en cherchant à anticiper une évolution vers un état très dégradé), ou bien environnementale (en cherchant à limiter les surverses d'effluents au milieu naturel). Citons par exemple les méthodes développées par [Reyna & al, 94] et par

[Jacobs & al, 97].

- ❖ Mono-objectif, dans lesquelles il s'agit de maximiser une fonction de coût. L'optimisation financière est recherchée en simulant l'évolution des conditions structurelles de chaque tronçon au moyen d'un modèle probabiliste de transition d'un état structurel à un autre. Citons la méthode développée par [Burgess , 94] ;
- ❖ Basée sur l'utilisation de lois de vieillissement des tronçons pour l'estimation de l'évolution de leur état structurel. Citons le modèle de vieillissement développé par [Laffrechine, 99].

5.3. Critiques dans le contexte d'une petite collectivité

De manière générale, les deux approches présentées se situent dans un contexte de gestion du réseau d'assainissement. Leur recours requiert une bonne connaissance de l'évolution des infrastructures par un suivi dans le temps et dans l'espace. Or, les petites collectivités ne maîtrisent pas cette notion de gestion, que ce soit sous la forme de celle du patrimoine ou de celle de l'information. Elles ont très souvent tendance à oublier l'existence de leur réseau jusqu'à l'apparition de dysfonctionnements visibles. Les données relatives au réseau qu'elles possèdent ne sont pas toujours actuelles, ou actualisées après la réalisation d'une intervention.

Certes, ces méthodes sont pertinentes dans la mesure où elles tiennent compte des relations entre le réseau et son environnement. Mais la connaissance détaillée de l'état structurel de chaque tronçon qu'elles nécessitent, les rend difficilement applicables aux collectivités de faible taille, en raison des dépenses à engager pour acquérir le niveau de précision requis.

Cette dernière critique est aussi formulée dans le cadre d'une approche par optimisation économique. Malgré le principe de répartition "intelligente" des ressources financières sur lequel se fondent les méthodes correspondantes, le recours à un outil probabiliste requière toujours un grand nombre d'études pour en permettre une utilisation fiable. Ceci se traduira alors par l'acquisition de beaucoup de données à traiter et par voie de conséquences la mobilisation d'un

budget non négligeable.

6. Démarche proposée

6.1. Hypothèses préliminaires

Nous ne nous situerons pas dans une approche préventive du diagnostic. Nous considérerons comme un état de fait l'approche curative dans laquelle se situe une petite collectivité lors de dysfonctionnements de son réseau.

Par ailleurs, tout au long de la construction de notre démarche, le réseau d'assainissement sera considéré équipé d'un ou plusieurs déversoirs d'orages.

En outre, le réseau sera supposé unitaire.

6.2. Objectif et principes de la démarche

Notre objectif consiste à procurer au décideur d'une commune de faible taille, les éléments d'aide à la décision nécessaires pour lui permettre d'élaborer une stratégie d'interventions efficace et adaptée à ses moyens face à un réseau en mauvais état de fonctionnement. Ces éléments prendront la forme d'une méthodologie d'aide au choix de priorités d'intervention.

Pour l'élaboration des axes de priorités, nous allons **considérer la problématique de mauvais fonctionnement** comme **complexe**. Les dysfonctionnements occurring sur le réseau sont alors supposés liés par des relations d'interactions potentielles qui ne sont dévoilées qu'à un niveau global de perception du réseau.

Ce niveau de perception sera atteint en représentant **le réseau** comme **un système** vis à vis de ses dysfonctionnements. Le système sera alors défini par les concepts :

- ❖ De *complexité*, dont l'origine provient de sa composition : les tronçons et les ouvrages sont en interactions potentielles au sein d'un environnement actif ;
- ❖ D'*ouverture* : le réseau entretient des relations avec son environnement ;
- ❖ De *globalité* : la description des interactions entre les éléments du réseau (tronçons et ouvrages) est préférée à la description de chacun de ces éléments. Ce concept implique alors de savoir sur quels éléments les interactions sont exercées, pour ensuite en décrire leur fonctionnement. Mais ce concept implique aussi d'effectuer cette recherche sans connaissance détaillée de l'état (de dégradation) structurel des tronçons et des ouvrages. Ceci signifie donc que la recherche de l'origine d'un dysfonctionnement ne sera effectuée qu'à l'échelle des secteurs du réseau. Ces secteurs contiendront la ou les causes premières (structurelles, géotechniques, hydrogéologiques, ...) de l'origine. Ces secteurs pourront être plus ou moins étendus selon le type de dysfonctionnement envisagé ;
- ❖ D'*organisation*, qui exprime l'organisation des interactions. Ce concept implique de rechercher le rôle d'un dysfonctionnement sur un autre dans la problématique générale de mauvais fonctionnement du réseau.

La connaissance de la performance structurelle du réseau n'étant pas recherchée, seules les performances hydrauliques et environnementales sont jugées.

Ces deux performances seront appréhendées à travers le service rendu par le réseau à la commune, service que le décideur peut aisément juger.

Trois niveaux de service sont définis :

- ❖ La protection contre les inondations ;
- ❖ La protection du milieu naturel ;
- ❖ L'optimisation du fonctionnement de la STEP.

A ces trois niveaux de service, nous ferons correspondre trois types de dysfonctionnement :

- ❖ Les débordements de tronçons sur voirie ;
- ❖ Les rejets de déversoirs d'orages non voulus au milieu naturel ;
- ❖ L'intrusion d'eaux parasites dans le réseau (par la dilution de la charge des effluents apportée).

La définition des axes de priorités d'intervention se basera donc sur l'occurrence de ces trois types de dysfonctionnement. Pour chaque axe défini, la méthodologie devra permettre de répondre à trois questions :

- ❖ Quelle est sa priorité ?
- ❖ Sur quel(s) dysfonctionnement(s) agir ?
- ❖ Où agir pour résoudre ce(s) dysfonctionnement(s), c'est à dire quel est le secteur du réseau à l'origine du (des) dysfonctionnement(s) à traiter ?

Les réponses apportées à ces questions constitueront la première étape de résolution de la problématique de mauvais fonctionnement du réseau d'assainissement. Selon le modèle canonique de décision - résolution exposé en première partie (cf. chapitre II,-I § 3.2.), notre méthodologie se situe donc au niveau de l'étape de compréhension de la situation de mauvais fonctionnement (figure 54). Notre démarche n'intégrera par conséquent pas l'étape de conception et d'évaluation de solutions possibles, ni celle de choix d'une solution à appliquer.

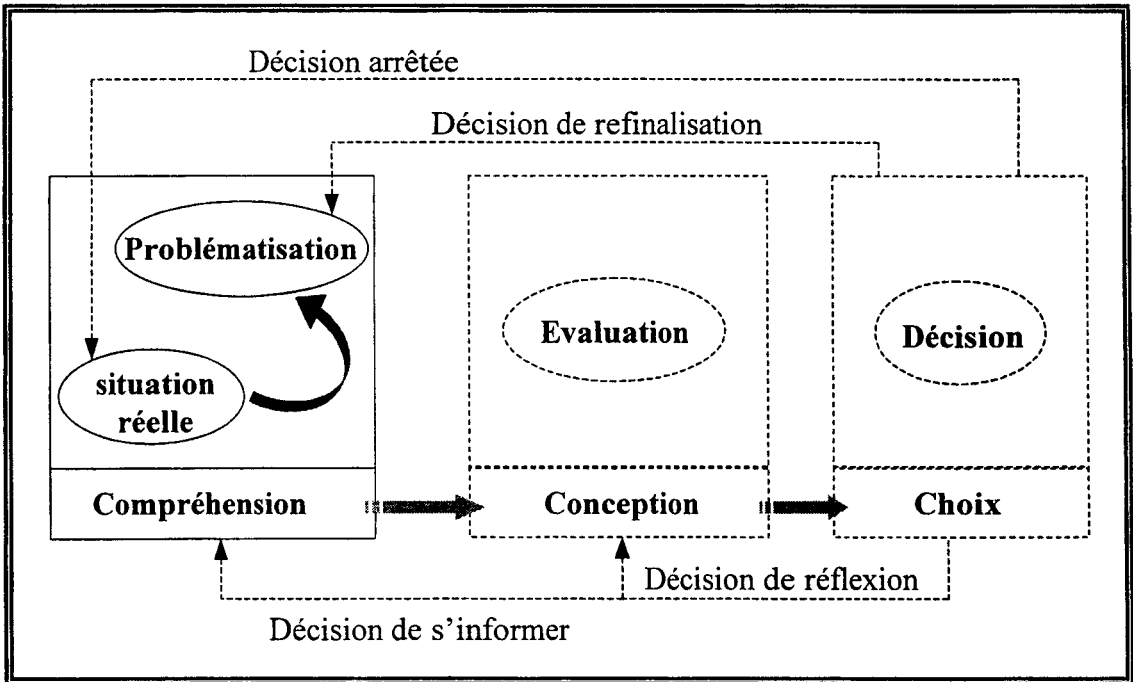


Figure 54: position de la méthodologie d'aide au choix de priorités d'intervention dans le modèle canonique de décision - résolution.

Conclusions du chapitre I

Le recours au diagnostic d'un réseau d'assainissement fait souvent suite au constat de son mauvais fonctionnement par diverses manifestations. Afin d'y remédier, le diagnostic se traduit alors par une étude chargée de formuler une problématique et de définir des solutions qui, une fois mises en oeuvre, permettront de redonner au réseau une performance en adéquation avec le contexte dans lequel il se situe.

Mais souvent, les relations entre les diverses manifestations d'un dysfonctionnement (i.e. les secteurs du réseau concerné par un même problème), ainsi qu'entre les différents dysfonctionnements, s'opposent au raisonnement analytique conduit par l'étude de diagnostic. Les solutions apportées pour résoudre le mauvais fonctionnement d'un réseau ne sont alors pas toujours pertinentes et efficaces.

Dans ce contexte, nous avons cherché à reformuler le processus de résolution d'une problématique de mauvais fonctionnement en nous appuyant sur le modèle canonique de décision - résolution.

Notre objectif n'est pas de proposer des solutions, mais d'aider le décideur à formuler sa problématique et à définir une stratégie d'interventions sous la forme d'un choix de priorités en concordance avec la réalité d'une situation de dysfonctionnement.

Premièrement, notre approche considère la problématique comme complexe et le réseau comme un système vis à vis de ses dysfonctionnements.

Deuxièmement, elle suppose l'existence d'interactions potentielles entre les diverses manifestations d'un dysfonctionnement et pour plusieurs d'entre eux, l'existence d'influences mutuelles.

Troisièmement, les dysfonctionnements sur lesquels nous allons travailler dans la suite de cette deuxième partie, sont définis à travers la notion de service que doit rendre un réseau d'assainissement. Trois niveaux de service ont été retenus, auxquels correspondent trois dysfonctionnements : les débordements, les surverses intempestives de déversoirs d'orages et l'intrusion d'eaux parasites.

Chapitre II : Aide au choix de priorités d'intervention dans le cas de dysfonctionnements indépendants.

Introduction

Le présent chapitre vise à élaborer une méthodologie d'aide au choix de priorités d'intervention dans le cas d'un réseau d'assainissement soumis de façon indépendante, à des débordements, à des surverses non voulues de déversoirs d'orages, ainsi qu'à des infiltrations d'eaux parasites.

Le contenu des priorités d'intervention pour chaque type de dysfonctionnement ne constitue pas le sujet de notre démarche. En revanche, il s'agit d'aider le décideur à définir ces priorités en lui proposant une hiérarchisation des secteurs du réseau ou de certains ouvrages spéciaux (i.e. les déversoirs d'orages) en fonction de leur performance vis à vis de chaque dysfonctionnement.

En ce qui concerne le problème des débordements locaux, nous chercherons à classer les tronçons concernés en évaluant leur non-performance hydraulique à travers l'assignation d'une note fonction de la période de retour de pluie pour laquelle le dysfonctionnement survient.

Pour les surverses, nous exposerons différentes approches relatives aux données disponibles. Pour des raisons particulières que nous développerons, nous retiendrons celle consistant à classer les déversoirs d'orages suivant les volumes rejetés par rapport à une période de retour de pluie de référence.

En matière d'intrusion d'eaux parasites, nous n'aborderons que celles de type permanent (les infiltrations de nappe). Nous chercherons à hiérarchiser les secteurs d'infiltrations au moyen de la quantification des apports et des linéaires de collecteurs qui y sont relatifs.

I. Elaboration de priorités d'intervention dans le cas de débordements

1. Que recherchons-nous ?

Face à un problème de débordement, la question soulevée est celle consistant à savoir comment fonctionne le réseau et pourquoi fonctionne-t-il de la sorte ?

Derrière cette question centrale, l'objectif est d'acquérir la connaissance de l'origine du dysfonctionnement à partir de la connaissance de la performance hydraulique du réseau. Dans l'idéal, nous recherchons donc un support sur lequel figurerait la représentation du fonctionnement général du réseau (la représentation de sa performance hydraulique) accompagnée pour chaque débordement, de l'explication de son origine comme l'illustre la figure 55 [Blanpain, 93].

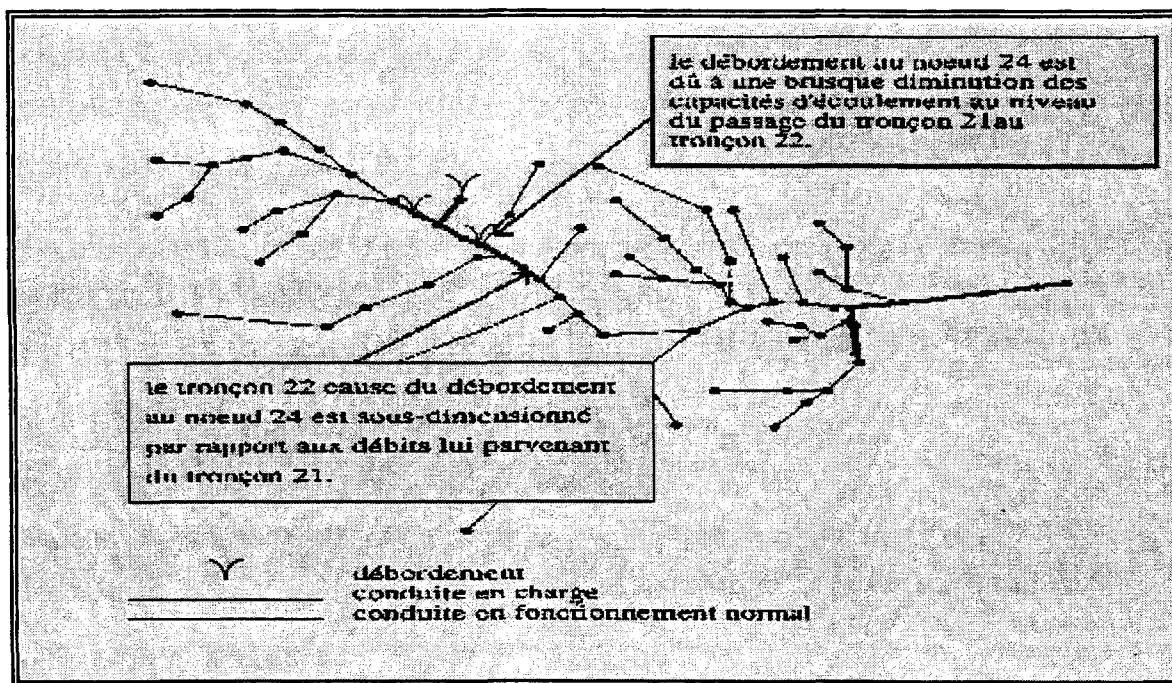


Figure 55 : exemple d'explication de l'origine de débordements à partir de l'analyse du fonctionnement général du réseau.

Cependant, l'obstacle majeur à l'obtention de ce type de représentation réside dans le fait qu'un débordement peut être engendré par la combinaison de plusieurs facteurs. L'explication du dysfonctionnement (donc sa connaissance) n'est donc parfois pas très simple à obtenir et nécessite alors une analyse du fonctionnement du réseau à l'échelle de chaque tronçon.

Il y a par conséquent un changement d'échelle à opérer. Ce passage d'un point de vue global (le fonctionnement du réseau) à un point de vue local (le fonctionnement de chaque tronçon) est possible en recourant à un modèle de simulation des écoulements en réseau, capable de prendre en compte une grande partie des conditions réelles de propagation. Ce modèle permettra la représentation de débordements (localisation, caractéristiques) et la détermination de leur origine.

Pour chaque débordement, la qualité de fonctionnement du ou des tronçons correspondants sera évaluée par la formulation d'une note de non-performance hydraulique (cf. § 3.). Les priorités d'intervention seront établies sur la base d'un classement de l'ensemble de ces notes (cf. § 4.).

2. Recours à l'outil de simulation numérique

2.1. Modélisation du réseau

Cette étape doit être conduite avec le plus grand soin. En effet, il est essentiel de bien garder à l'esprit le fait que la modélisation du réseau exerce une influence prépondérante sur la qualité des résultats qui seront obtenus à l'issue des simulations de fonctionnement.

Toutefois, il n'est pas toujours nécessaire de modéliser de façon très détaillée l'ensemble du réseau. C'est là une difficulté supplémentaire : réaliser un équilibre dans le niveau de détail accordé à sa représentation. En revanche, les secteurs du réseau ayant fait l'objet d'observations de débordements devront bénéficier d'une attention plus particulière qui pourra passer par l'acquisition d'informations complémentaires comme par exemple des relevés de terrain. De même, la présence de singularités ou d'ouvrages spéciaux (déversoirs d'orages, ...) à proximité des zones de débordement devront impérativement être correctement décrits .

[Chocat, 01] propose cinq étapes de construction d'un modèle de réseau. Elles restent générales, mais constituent néanmoins un guide intéressant :

- ❖ *Etape 1* : si possible décomposer le territoire en sous-réseaux indépendants, tout en s'attachant à ne pas séparer des débordements observés sur des secteurs proches. En effet, dans le cas contraire, le risque de "rupture" de relations d'interaction entre certaines origines de débordement serait dommageable pour la pertinence et la véracité de l'analyse ;
- ❖ *Etape 2* : rechercher l'information disponible en attachant une importance particulière aux ouvrages spéciaux et ne pas hésiter si besoin est, à effectuer des visites de terrain ;
- ❖ *Etape 3* : repérer les tronçons structurants de chaque sous-réseau, ainsi que les nœuds à conserver impérativement. Il pourra s'agir d'une confluence, d'un changement de forme de tronçon, d'un changement brutal de pente, de tronçons déboîtés, ou encore d'obstacles dans certains tronçons tels que des racines pénétrantes ;
- ❖ *Etape 4* : décomposer le territoire en sous-bassins versants homogènes et déterminer les caractéristiques de chacun d'entre eux (surface, pente, imperméabilisation, plus long parcours de l'eau, ...);
- ❖ *Etape 5* : décrire les ouvrages spéciaux.

2.2. Calage du modèle

Il s'agit ici d'utiliser une campagne de mesures afin de diminuer les incertitudes sur les résultats des simulations et donc sur le diagnostic [Blanpain, 93].

Deux types de mesures sont nécessaires :

- ❖ Les mesures pluviométriques, qui devront inclure les événements correspondants aux débordements observés ;

- ❖ Les mesures de débits en réseau. Le choix des points d'implantation doit faire suite à une réflexion pertinente (prise en compte de la morphologie du réseau, concentration de certaines mesures à proximité des secteurs de débordement, ...).

Chercher à caler le modèle revient à vouloir **obtenir un fonctionnement général analogue à celui du réseau en ce qui concerne les débordements**. Dans ce cas, cette étape visera à effectuer une localisation spatiale conforme à celle des dysfonctionnements ayant été observés, mais pas seulement. En effet, si les débordements ne sont caractérisés que par leur composante spatiale, alors leur importance relative peut différer si l'opération de calage est réitérée. Il faudra donc s'attacher à **caler le modèle en termes de localisation certes, mais aussi quantitativement** au moyen d'un variable d'état (le débit par exemple) **sur des tronçons amont et proches des zones de débordement**.

Lorsque ce travail aura été réalisé, il ne devra pas être ultérieurement remis en cause. Ceci souligne donc la nécessité de disposer de mesures de qualité et de suffisamment d'événements pluviométriques pour ajuster correctement les paramètres de calage. Mais cela implique aussi de mettre en place une réflexion sur la stratégie métrologique à adopter, qui doit débiter bien en amont de l'étape de calage. Trop de campagnes de mesures portent encore sur de courtes périodes de temps souvent non représentatives des conditions pluviométriques locales, ou comportent des données dont la qualité est variable en raison d'une négligence des contraintes apportées par les conditions climatiques (longues périodes de temps sec appauvrissant la quantité et la représentativité des mesures, ...).

2.3. Exploitation du modèle : identification et représentation d'un débordement

Pour simuler le fonctionnement hydraulique d'un réseau d'assainissement, nous avons retenu le modèle de Barré Saint Venant (modèle hydrodynamique) en raison de sa capacité à rendre compte des interactions entre tronçons vis à vis des phénomènes d'influences aval, ainsi que des mises en charge [Chocat & al, 97].

La variable caractéristique choisie pour l'identification d'un débordement est la hauteur de charge maximale H_{max_i} au nœud amont i d'un tronçon $(i, i+1)$ (figure 56). Nous dirons qu'il y a débordement au nœud n_i pour une période de retour de pluie P_j donnée, si :

$$H_{max_i} > \text{cote sol} \quad (13)$$

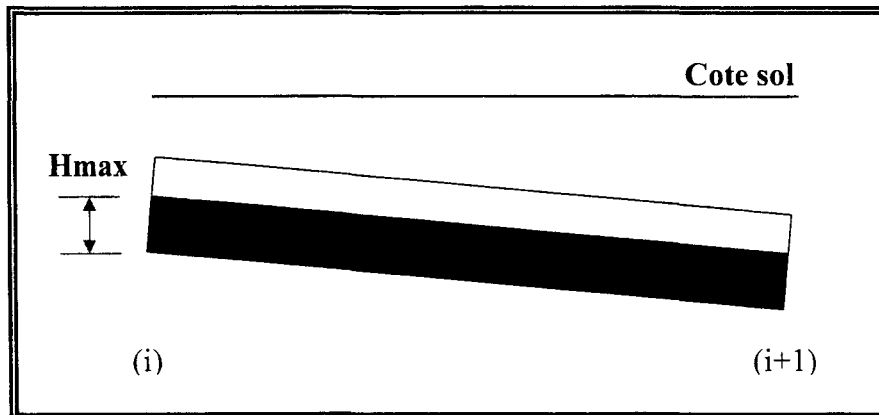


figure 56 : illustration de la condition de débordement sur un tronçon $(i, i+1)$.

3. Evaluation de la non-performance hydraulique des tronçons du réseau

3.1. Formulation de la non-performance hydraulique

3.1.1. *Détermination de la période de retour d'insuffisance d'un tronçon*

Lorsqu'un tronçon $(i, i+1)$ est caractérisé par la relation (1), il est dit non performant vis à vis du fonctionnement hydraulique général du réseau pour la période de retour de pluie P_j . P_j correspond alors à la période de retour d'insuffisance Pr_j du tronçon $(i, i+1)$.

Remarque : l'association de P_j à Pr_j peut être sujette à caution dans la mesure où deux événements pluviométriques de forme différente et sous certaines conditions, peuvent produire le même effet (un débordement). Affecter une période de retour d'insuffisance à un tronçon n'est

donc pas toujours fondé. S'il est possible de disposer d'une ou plusieurs séries de pluies historiques, nous ne parlerons alors plus de période de retour d'insuffisance, mais de fréquence de débordement. En revanche, si les seules pluies disponibles sont des pluies de projet (pluies synthétiques de type double triangle symétrique par exemple), l'hypothèse "période de retour d'insuffisance Pr_j égale à la période de retour P_j " sera considérée comme acceptable.

En supposant qu'aucune donnée pluviométrique n'est disponible (le recours à des pluies de projet est alors nécessaire), la période de retour d'insuffisance de chaque tronçon d'un réseau peut être déterminée à l'aide d'un algorithme construit par [Karnib, 96] et donné figure 57.

Le processus de détermination de la période de retour d'insuffisance de chaque tronçon d'un réseau est la suivante :

- ❖ Choix du type de pluie : par défaut il s'agit de pluie double triangle symétriques de périodes de retour P_j égales à 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 et 50 ans ;
- ❖ Simulation hydraulique du réseau par le modèle de Barré Saint Venant ;
- ❖ Détermination des tronçons $(i, i+1)$ (notés T_i^j figure 57) dépassant le seuil de dysfonctionnement retenu qui est illustré par la condition (1).

Ce processus est répété pour l'ensemble des périodes de retour P_j et stoppe lorsqu'à tout tronçon est associé une période de retour d'insuffisance Pr_j , ou bien lorsque toutes les pluies ont été simulées.

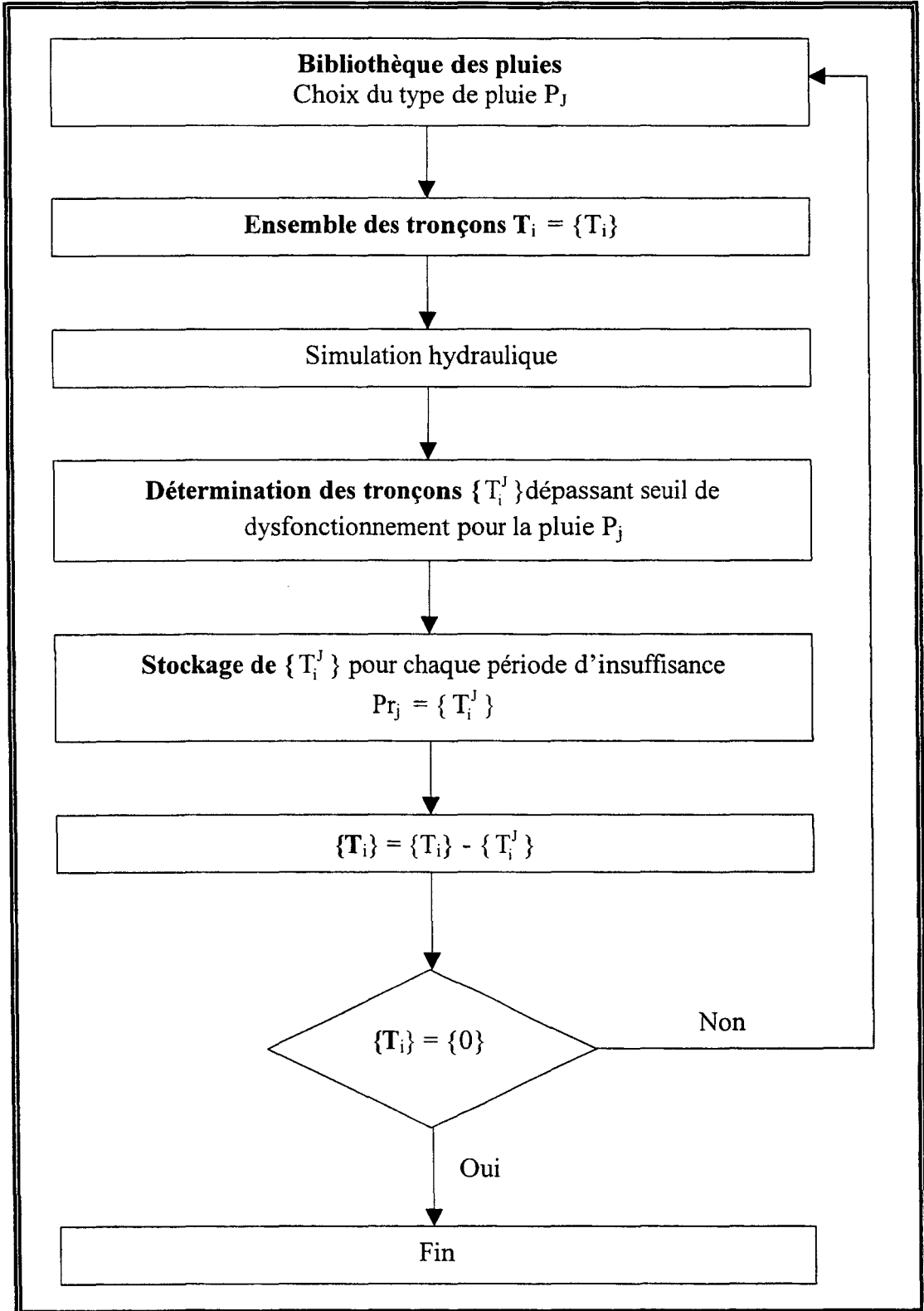


Figure 57 : algorithme de détermination des périodes de retour d'insuffisance Pr_j de tronçons d'un réseau d'assainissement.

3.1.2. Construction d'une note de non-performance

A partir de chaque période de retour d'insuffisance Pr_j , il est possible d'attribuer une note de non-performance N_i au tronçon $(i, i+1)$. Cette note est déterminée par une fonction dont l'allure et l'expression sont données par la figure 58.

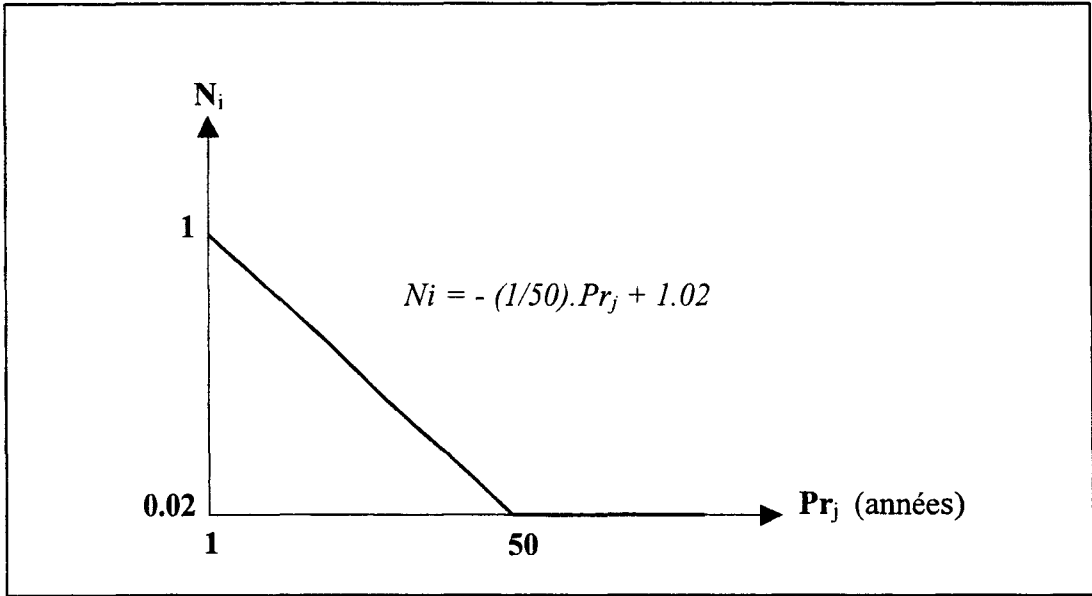


Figure 58 : expression de la note de non-performance N_i d'un tronçon en fonction de la période de retour d'insuffisance Pr_j .

Par hypothèse, si $Pr_j \geq 50$ ans, alors la non-performance hydraulique d'un tronçon est minimale et la note N_i est égale à 0.02. De même, si $Pr_j \leq 1$ an, la non-performance est maximale et la note N_i vaut 1.

Par conséquent, plus la période de retour Pr_j est petite, plus N_i est élevée et plus la non-performance hydraulique d'un tronçon est élevée.

3.2. Modération de l'impact d'un débordement

3.2.1. *Définition du coefficient de sensibilité*

L'environnement superficiel du ou des tronçons soumis à un débordement, que nous appelons tissu urbain, n'a pas la même vulnérabilité vis à vis des répercussions de ce type de dysfonctionnement.

La sensibilité du tissu urbain, qui exprime cette notion de vulnérabilité, peut être caractérisée par un certain nombre de paramètres relatifs à la morphologie urbaine. Nous pouvons citer la densité de population (un débordement dans un secteur faiblement urbanisé ne génère pas les mêmes conséquences sociales qu'en milieu très urbain), la densité du trafic, le type d'utilisation des sols, ou encore le type d'activité économique.

[Karnib, 96] a présenté une méthode d'estimation de la sensibilité du tissu urbain par un système d'inférence floue à l'aide des paramètres suivants :

- ❖ La densité de population ;
- ❖ La densité de trafic ;
- ❖ Le coefficient commercial d'occupation des sols ;
- ❖ Le coefficient industriel d'occupation des sols ;
- ❖ Le coefficient d'occupation des sols relatif aux équipements publics.

Mais cette méthode était limitée par des données non toujours disponibles ou fiables, ainsi que par une faible acceptation de la part des décideurs en raison d'une méconnaissance des mécanismes mathématiques utilisés [Blanpain & Karnib, 98].

C'est pourquoi, il nous a semblé plus pertinent de définir **un coefficient de sensibilité S_i** , chargé de traduire la sensibilité de la zone concernée par un débordement. Nous en proposons une expression simple, dont l'appréciation des paramètres de définition est laissée à la discrétion du décideur :

- ❖ $S_i = 0.1$ pour une zone peu sensible ;
- ❖ $S_i = 0.5$ pour une zone sensible ;

- ❖ $S_i = 1$ pour une zone très sensible.

3.2.2. Reformulation de la note de non-performance

En fonction de la sensibilité du tissu urbain où un débordement peut occurer, la note de non-performance hydraulique associée au tronçon correspondant sera pondérée par le coefficient de sensibilité S_i retenu. Nous pouvons alors formuler **une note finale NPH_i** telle que :

$$NPH_i = N_i \times S_i \quad (14)$$

3.3. Forme attendue du résultat

A l'échelle du réseau, le résultat peut être représenté par la figure 59. Chaque tronçon soumis à un débordement est caractérisé par une note de non-performance hydraulique NPH_i .

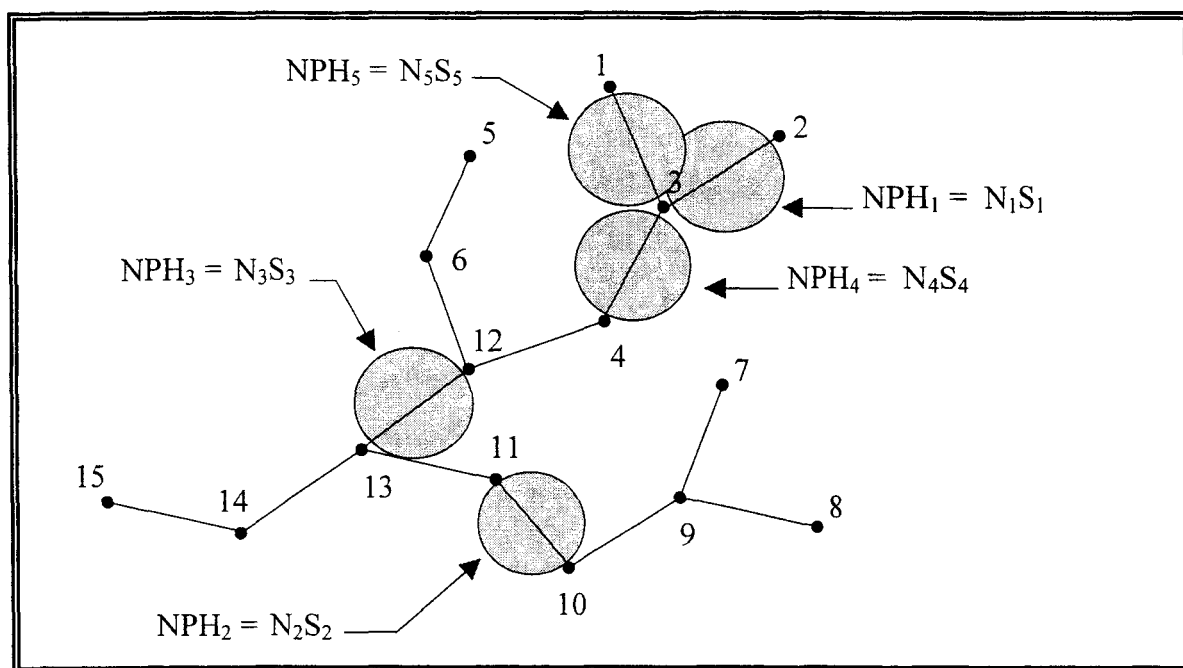


Figure 59 : exemple d'attribution de notes NPH_i à des tronçons de réseau soumis à un débordement.

4. Hiérarchisation des priorités d'intervention

4.1. Classement des évaluations

A chaque note NPH_i correspond un niveau de priorité d'intervention. Pour un tronçon (ou un ensemble le cas échéant), plus NPH_i est faible, plus sa non-performance est élevée et donc plus le niveau de priorité à accorder à ce tronçon est fort.

Ainsi, sur l'ensemble du réseau, le classement décroissant des **évaluations NPH_i de la plus forte à la plus faible** structure la stratégie d'interventions du **niveau de priorité le plus fort au plus faible**.

En reprenant la figure 59, si nous supposons que $NPH_3 > NPH_1 > NPH_2 > NPH_4 > NPH_5$, alors la stratégie consistera à d'abord préconiser une intervention sur le secteur de débordement n°3, puis n°1, puis n°2, puis n°4 et enfin n°5 (tableau 24).

Note	Classement	Tronçon	Priorité
NPH_1	2	(2, 3)	2
NPH_2	3	(10, 11)	3
NPH_3	1	(12, 13)	1
NPH_4	4	(3, 4)	4
NPH_5	5	(1, 3)	5

Tableau 24 : exemple de définition de priorités d'intervention à partir de cinq notes NPH_i .

4.2. Cas d'indécidabilité

Dans le cas où certaines notes seraient égales, la hiérarchisation des priorités pourrait être effectuée sur une variable supplémentaire telle que le volume débordé de chaque tronçon ($i, i+1$) (variable que les logiciels de simulation permettent de calculer aisément). Par exemple, si $NPH_3 > NPH_1 = NPH_2 > NPH_4 = NPH_5$, si le volume de débordement sur la zone n°2 est supérieur à celui du secteur n°1 et si celui du secteur n°5 est supérieur à celui du secteur n°4 la stratégie consistera cette fois à d'abord préconiser une intervention sur le secteur n°3, puis n°2, puis n°1, puis n°5 et enfin n°4.

4.3. Remise en cause de la hiérarchisation : cas d'une influence aval

4.3.1. *Définition d'une influence aval*

Un débordement sur un ou plusieurs tronçons est toujours consécutif à une mise en charge. Mais il se peut que ces tronçons ne soient pas responsables de ce phénomène (ils n'en sont pas toujours à l'origine). Des conditions hydrauliques particulières situées en aval des tronçons soumis au débordement, peuvent engendrer une variation de l'énergie spécifique E modifiant les écoulements. L'exemple de la figure 60 (simulation des écoulements sur une portion d'un réseau non fictif réalisée avec le modèle de Barré Saint Venant) nous montre un débordement sur les tronçons centraux, provoqué par une insuffisance hydraulique des tronçons aval.

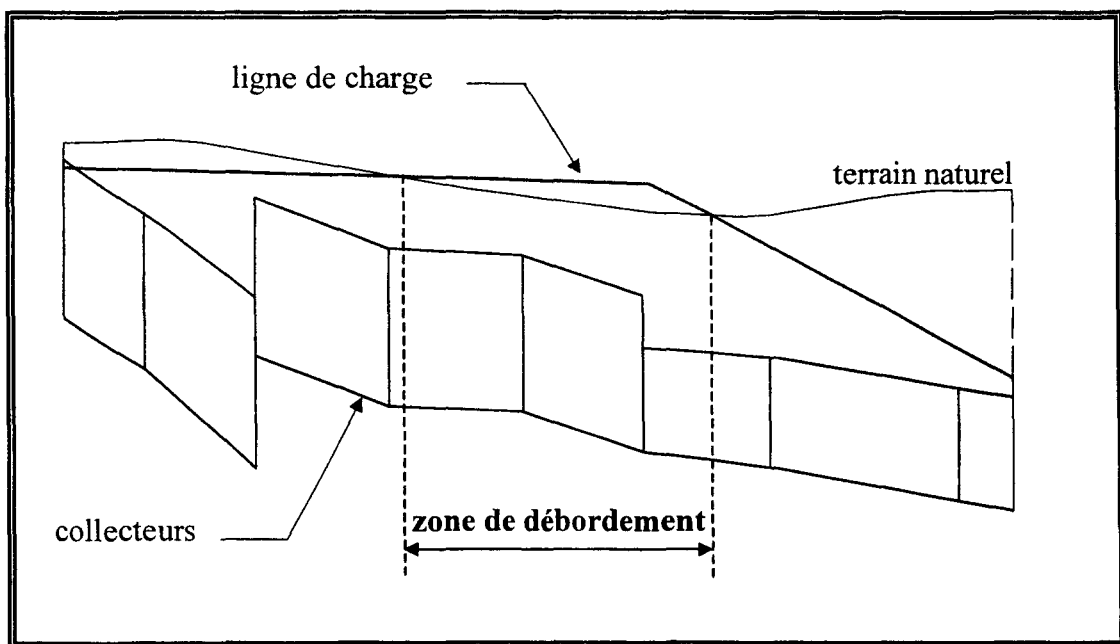


Figure 60 : exemple de débordement sur plusieurs tronçons consécutif à un phénomène de mise en charge exercé par influence aval.

4.3.2. *Comment la stratégie peut-elle être remise en cause ?*

Le classement des notes NPH_i permet d'élaborer une stratégie d'interventions sur des tronçons soumis à un débordement, dont l'établissement des priorités suit la même hiérarchie que le classement. Chaque intervention consistera à agir sur l'origine du débordement a priori situé sur le tronçon caractérisé par le dysfonctionnement.

Cependant, si sur un tronçon, un débordement est dû à une influence aval, son origine n'est par conséquent plus localisée à son niveau. De ce fait, la hiérarchisation des priorités d'intervention effectuée n'est plus pertinente.

La recherche de l'origine de chaque débordement doit donc être effectuée avant d'élaborer une hiérarchisation des interventions. Ce travail visera à déterminer si le couple (débordement,

origine) appartient au même tronçon.

5. Recherche de l'origine d'un débordement

5.1. Principe de localisation : utilisation du taux de remplissage

Du point de vue hydraulique, une mise en charge survient lorsque le débit capable d'un tronçon Q_{cap} est inférieur au débit maximal Q_{max} . Or, le taux de remplissage TR d'un tronçon est défini comme suit :

$$TR = \frac{Q_{max}}{Q_{cap}} \quad (15)$$

Par conséquent, un tronçon est en charge si son taux de remplissage TR est supérieur à 1. Ce qui implique donc que si un débordement est dû à une influence aval (c'est à dire à une mise en charge à l'aval du tronçon soumis à un débordement), alors le taux de remplissage du tronçon sur lequel survient le débordement est inférieur à 1.

Pour chaque nœud i d'un tronçon $(i, i+1)$ du réseau, nous dirons donc que :

Si $TR = \frac{Q_{max}}{Q_{cap}} \geq 1$ Alors l'origine du débordement appartient au tronçon $(i, i+1)$

Sinon l'origine est située en aval

[Bennis & al, 01] ont proposé une démarche similaire de définition de priorités d'intervention par quantification de la performance hydraulique de tronçons qui tient compte du phénomène d'influence aval.

Pour chaque tronçon d'un réseau, une note N_i est construite de la façon suivante :

$$N_i = N_{\min} + (N_{\max} - N_{\min}) \left[1 - \left(\frac{PR_i - H_i}{PR_i} \right)^n \right] \quad (16)$$

PR_i correspond à la cote radier du tronçon (i, i+1) au nœud i ;

H_i correspond à la hauteur de mise en charge au nœud i ;

n est un paramètre de modération de l'impact de la mise en charge ou du débordement.

Cette méthode d'évaluation de la performance d'un tronçon bénéficie de plus de finesse que la notre, dans la mesure où nous ne supposons pas de dysfonctionnement avant l'apparition d'un débordement (au contraire de (4) dont la note N_i varie en fonction du degré de mise en charge). De ce fait, la stratégie d'interventions élaborée à partir de notes définies par la relation (4) pourra être appliquée bien avant l'apparition de dysfonctionnements majeurs (les débordements) sur le réseau.

D'autre part, ce qui différencie aussi cette méthode de notre approche réside dans le fait de considérer comme potentiellement bénéfique l'occurrence de débordements (par assignation au paramètre n une valeur telle que la note attribuée à un ou plusieurs tronçons ne devienne plus préjudiciable dans l'ordre des priorités d'intervention à établir). En effet, l'auteur considère que dans certaines situations, il peut être préférable de soumettre certains tronçons à une mise en charge ou à un débordement lorsque le milieu naturel ne peut pas recevoir les volumes de débordement en raison de son état dégradé ou de la pollution éventuellement générée par le rejet de ces volumes.

Certes, cette approche, comme la notre, se situe dans un contexte de service rendu. Mais elle raisonne par rapport à un objectif d'équilibre de ce service, qui pour être atteint, doit parfois être dégradé sur un de ses aspects (celui de la protection contre les inondations) pour en satisfaire un autre (la préservation de la qualité du milieu récepteur). Ceci ne correspond plus tout à fait à la définition de la notion de service telle que nous l'entendons (notre définition n'est que "mono

aspect”).

5.2. Révision de la stratégie d'intervention

L'attribution des priorités d'intervention doit être révisée en tenant compte de l'origine de chaque débordement. Le travail de révision débutera par la modification partielle ou totale des notes de non-performance hydraulique initiales NPH_i de chaque tronçon suivant deux cas :

- ❖ *Cas 1* : si un débordement et son origine sont situés sur le même tronçon, l'ordre de priorité attribué sera le même que celui défini lors du 1^{er} classement, c'est à dire celui établi sur la seule base des NPH_i ;
- ❖ *Cas 2* : si un débordement et son origine ne sont pas situés sur le même tronçon (cas d'une influence aval), la note de non-performance hydraulique du tronçon origine sera la somme de celles de chaque tronçon concerné par l'exercice de l'influence aval.

Dans le cas 2, l'addition des notes est nécessaire de façon à effectuer une distinction dans le degré de conséquence de chaque tronçon origine d'une influence aval. Il paraît en effet évident que par exemple, une influence aval générant un débordement sur 5 tronçons de réseau devra se situer à un niveau plus élevé de priorité qu'une influence aval n'engendrant qu'un dysfonctionnement sur 2 tronçons.

Puis, les priorités d'intervention seront redéfinies en effectuant un nouveau classement des notes NPH_i .

A titre d'illustration, reprenons la figure 59. Si l'origine du débordement sur les tronçons (1, 3), (2, 3) et (3, 4) est localisée sur le tronçon (4, 12), la hiérarchisation des priorités d'intervention doit être reformulée comme indiqué par le tableau 25.

Tronçons	Note initiale NPH_i	Priorité initiale	Localisation de l'origine	Nouvelle note NPH_i	Priorité finale
(3, 4)	NPH_1	2	aval → tronçon (4, 12)		
(10, 11)	NPH_2	3	∈ tronçon	NPH_2	3
(12, 13)	NPH_3	1	∈ tronçon	NPH_3	2
(2, 3)	NPH_4	4	aval → tronçon (4, 12)		
(1, 3)	NPH_5	5	aval → tronçon (4, 12)		
(4, 12)				$NPH_1 + NPH_4 + NPH_5$	1

Tableau 25 : exemple de reformulation de priorités d'intervention sur plusieurs secteurs de débordement.

En résumé, le processus d'élaboration d'une hiérarchie de priorités d'intervention sur les tronçons d'un réseau est synthétisé par la figure 61.

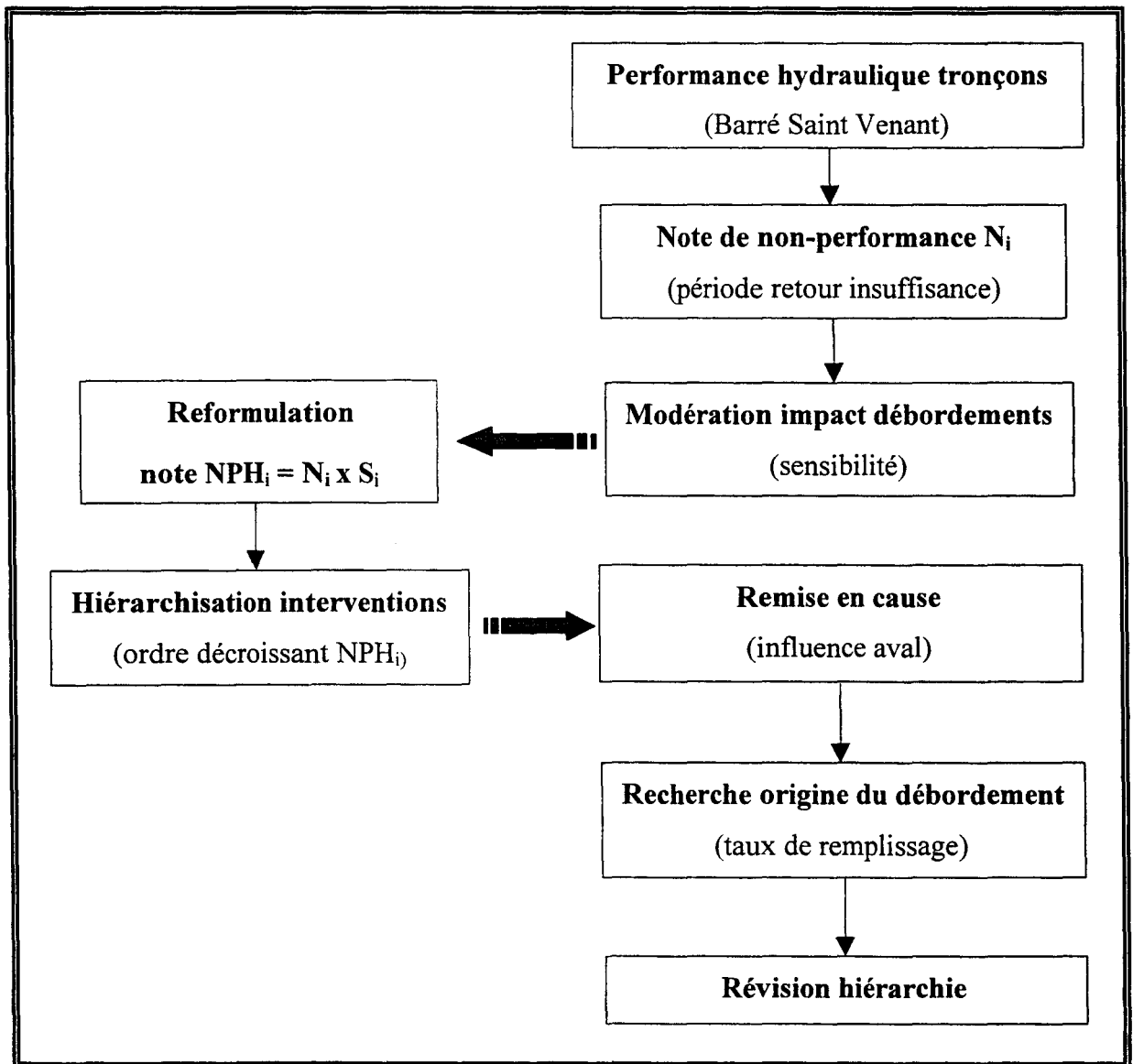


Figure 61 : synoptique de définition d'une hiérarchie d'intervention sur les tronçons d'un réseau d'assainissement soumis à des débordements.

5.4. Mise en garde en phase de conception

Lorsque l'origine d'un débordement aura été localisée, l'action à engager ne se situera pas nécessairement sur le ou les tronçons subissant le dysfonctionnement. En d'autres termes, l'augmentation du débit capable Q_{cap} d'un tronçon (par remplacement de l'existant) soumis à une mise en charge responsable de l'apparition d'un débordement, ne constitue pas la seule intervention possible. Il faut garder à l'esprit que cette solution peut contribuer à faire naître ou à aggraver une situation de dysfonctionnement plus du réseau en aval. D'autres alternatives comme la limitation des apports amont (diminution des flux, écrêtement des pointes de débits, ...) pourront aussi être étudiées.

Pour chaque débordement traité dans l'ordre établi des priorités d'intervention, il faudra donc systématiquement réaliser une simulation de contrôle du fonctionnement hydraulique du réseau après avoir décidé du type d'intervention à mettre en œuvre. Ce travail sera impératif, car il permettra de vérifier d'une part, la résolution du dysfonctionnement traité et d'autre part, l'absence de création ou d'aggravation d'autres problèmes, notamment sur les secteurs de débordement dont le niveau de priorité est inférieur à celui concerné par l'intervention.

II. Elaboration de priorités d'intervention dans le cas de surverses de déversoirs d'orages

1. Manifestations liées au dysfonctionnement d'un déversoir d'orages

1.1. A quel type de dysfonctionnement nous intéressons-nous ?

Implanté au sein d'un réseau d'assainissement unitaire, le déversoir d'orages a un rôle double en temps de pluie :

- ❖ Limiter les débits dans les tronçons aval ;
- ❖ Eviter les débordements à l'amont pour des événements pluvieux dépassant un seuil critique.

Un déversoir d'orage assure par conséquent une fonction de régulation hydraulique du réseau d'assainissement en temps de pluie. Elle est réalisée par le biais de surverses d'effluents bruts (non traités) au milieu naturel.

Lorsque le déversoir n'assure plus correctement la fonction de régulation, des volumes d'effluents trop élevés sont rejetés et la charge polluante apportée risque alors d'affecter la qualité du milieu de rejet.

Le dysfonctionnement auquel nous nous intéressons donc, est constitué par l'occurrence de surverses non voulues en temps de pluie.

1.2. Origines possibles

En période pluvieuse, le fonctionnement d'un déversoir d'orages n'est pas simple. Lorsqu'il déroge à sa fonction, l'origine des surverses n'est pas non plus toujours facile à expliciter, car elle n'est pas nécessairement unique, et dans ce cas les différentes origines peuvent être liées de manière non indépendante.

Toutefois, trois types d'origine peuvent être énoncés :

- ❖ Des apports amont d'effluents trop importants
- ❖ Une géométrie du déversoir non adaptée au contexte hydraulique du réseau ;
- ❖ Une influence aval provoquant un refoulement des effluents jusqu'au droit du seuil.

1.3. Conséquences attendues

Le risque de pollution du milieu naturel, engendré par le dysfonctionnement hydraulique d'un déversoir d'orages peut être apprécié de diverses façons. [Vasquez, 97] a exprimé ce risque par les impacts générés sur la qualité du milieu récepteur des rejets non traités et par celui sur les usages de ce milieu

1.3.1. Impacts sur la qualité du milieu récepteur

Trois types d'impacts peuvent être énoncés :

- ❖ L'impact physico-chimique qui est la conséquence première de l'apport d'une charge polluante au milieu naturel. Il se traduit par un accroissement de la concentration des paramètres suivants :
 - ❑ matières en suspension ;
 - ❑ matières organiques ;
 - ❑ bactéries ;
 - ❑ micropolluants dissous ;
 - ❑ hydrocarbures.
- ❖ L'impact biochimique, dont l'effet est traduit par une chute du taux d'oxygène, le développement de bactéries pathogènes et toxiques (coliformes fécaux, ...) ;
- ❖ L'impact biologique :
 - ❑ manifesté sur la flore par un développement alguaire et une diminution des activités de

photosynthèse ;

- sur la faune par la mortalité d'espèces du milieu aquatique.

Par ailleurs, ces impacts peuvent être gradués en fonction de la qualité et de l'occurrence des surverses. Plus un rejet de déversoir sera fréquent et plus un des impacts suscités pourra être durable.

De plus, chaque problème de pollution (physico-chimique, biochimique, ou biologique) est susceptible de se manifester avec des niveaux de gravité différents en fonction de la fréquence de dégradation du milieu.

1.3.2. *Impact sur les usages*

Cet impact concerne les usages des ressources en eau par l'homme. Le niveau de gravité associé à l'impact peut être défini selon l'usage considéré.

La production d'eau potable, les activités de loisirs (baignade, pêche, ...), ou encore certaines activités professionnelles (conchyliculture par exemple) ne requérant pas le même niveau de qualité de l'eau, l'impact d'un dysfonctionnement du déversoir sera par conséquent différent d'un usage à un autre.

2. Approches du fonctionnement d'un déversoir d'orages par une collectivité

2.1. Le contexte réglementaire

Dans le cadre réglementaire instauré par la loi sur l'eau de 1992 et par les arrêtés d'application de 1994, une collectivité locale a l'obligation de procéder à la quantification des débits et volumes, ainsi qu'à l'évaluation des charges polluantes rejetées au milieu naturel par l'ensemble des ouvrages d'assainissement au regard de l'objectif global de réduction des flux polluants.

En ce qui concerne le déversoir d'orages, la mission d'auto-surveillance que doit réaliser une collectivité, nécessite d'effectuer des bilans de synthèse relatifs à son fonctionnement, ainsi qu'à la quantification des surverses en temps de pluie (et parfois même par temps sec).

Pourtant à ce jour, les communes n'équipent pas encore systématiquement un déversoir d'orages d'un dispositif d'auto-surveillance [Viau & Fauchoux, 00]. Plusieurs raisons peuvent en être à l'origine. [Wolff, 94] a énoncé différents facteurs explicatifs :

- ❖ la définition plus ou moins standardisée du cahier des charges des études de diagnostic, qui ne savent pas toujours comment appréhender les problèmes engendrés par les surverses au milieu naturel dans le contexte d'évaluation du fonctionnement général du réseau et ce, malgré le fait qu'un dysfonctionnement de déversoir d'orages soit très souvent observé pendant le déroulement des études ;
- ❖ le coût et la quantité de mesures nécessaires à la quantification des rejets en temps de pluie, ainsi que l'évaluation des impacts engendrés sur le milieu naturel ;
- ❖ le manque d'éléments de méthode pour définir une stratégie de mesures efficace du fait des spécificités du réseau d'assainissement, de ses ouvrages spéciaux et du milieu de rejet.

Par ailleurs, il existe aussi une raison dont l'origine se situe dans le contexte des aides financières allouées par les Agences de l'eau aux collectivités. L'attribution de subventions incite à la réalisation d'un diagnostic du fonctionnement du réseau visant à orienter le décideur vers une gestion globale des problèmes d'assainissement. Ces subventions sont issues de la redevance perçue sur les volumes d'eau prélevés. Elle est fonction de la quantité de charge polluante déversée au milieu récepteur en sortie de STEP. Ce mécanisme doit en principe inciter une collectivité à réduire ces rejets afin de diminuer ses charges d'assainissement. Or, pour y parvenir, une commune peut ne pas réduire les surverses d'effluents non traités afin limiter les flux admis en entrée de station par temps de pluie. C'est un effet pervers qui peut constituer une raison suffisante pour ne pas équiper un déversoir d'orages d'un dispositif métrologique d'auto-surveillance.

2.2. Les différents objectifs

Nous l'avons vu, un déversoir d'orages ne bénéficie pas toujours d'une surveillance au moyen de mesures en continu. Cette situation introduit alors une variabilité dans la quantité des informations disponibles relative au fonctionnement de l'ouvrage. En cas de dysfonctionnement, la recherche d'une réduction des flux polluants au milieu naturel sera par conséquent ajustée en fonction de la richesse des données dont il est possible de disposer.

Dans ce cadre, divers objectifs peuvent être formulés :

- Réduire la fréquence des rejets ;
- Réduire les volumes surversés ;
- Minimiser la charge polluante rejetée.

3. **Approches possibles de réduction de la pollution apportée au milieu naturel**

3.1. Cas où il n'existe pas de mesure disponible

Cette situation est rencontrée lorsqu'aucune donnée relative à la pluviométrie locale ou aux débits surversés n'existe. Les seules informations disponibles sont alors constituées par la connaissance d'un apport de pollution trop conséquent au milieu naturel (connaissance apportée par l'Agence de l'eau), la connaissance de la sensibilité du milieu de rejet (par les cartes délimitant les zones sensibles) et la connaissance physique du réseau ayant fait l'objet d'une modélisation.

L'objectif de réduction des surverses au milieu récepteur (minimisation des rejets polluants) ne peut alors que se traduire par un objectif de **réduction des fréquences de surverse** à travers la simulation du fonctionnement du réseau (y compris le déversoir d'orages) en recourant à des pluies synthétiques (pluies de projet).

Remarque : préalablement à la simulation hydraulique, une opération de calage du réseau et du déversoir d'orages devra être réalisée. Elle visera à en reproduire le fonctionnement général. Mais

il faudra garder à l'esprit que l'opération de calage sera accompagnée d'un certain nombre d'incertitudes vis à vis des différents paramètres du modèle de réseau (coefficient de ruissellement, lag time, ...) et du déversoir d'orages.

L'absence de séries de pluies historiques et de mesures de débits ne permettant pas de raisonner sur la base de volumes ou de charges polluantes, **seule une réflexion visant à accroître la période de retour de déversement sera envisagée.**

3.2. Cas où il n'existe que des données pluviométriques

Cette situation est rencontrée lorsque les seules informations disponibles sont des mesures locales de pluies. Aucun suivi des débits en réseau ou des surverses du déversoir d'orages n'a été effectué.

Si les pluies mesurées sont représentatives d'au moins une année événementielle, il est alors possible d'effectuer une analyse des volumes annuels surversés au moyen de simulations hydrauliques.

Sans données sur la pollution, il est alors nécessaire de supposer que la concentration moyenne en charge polluante des effluents est constante. **L'objectif de réduction des flux polluants se traduira par conséquent par un objectif de minimisation des volumes annuels rejetés** au milieu naturel par le déversoir. Cette hypothèse est discutable. Selon [Ricard, 94], la réduction des volumes ne garantit pas la réduction des masses rejetées. En effet, les temps de stockage en conduites (longueur des périodes de temps sec), les conditions de remise en suspension et le mode de transport de la pollution contribuent fortement à la variabilité temporelle de la masse totale de pollution déversée pendant un épisode pluvieux.

Les volumes annuels à minimiser (ou les masses polluantes puisqu'elles sont proportionnelles aux volumes selon l'hypothèse de concentration constante) seront recherchés en prenant une valeur de concentration moyenne forfaitaire. Celle-ci pourra par exemple être tirée d'une autre

étude dans laquelle des mesures de pollution des effluents surversés auront été réalisées pour une collectivité dont les caractéristiques urbaines et du milieu naturel sont similaires à celles de la commune considérée.

Remarque : il faudra encore ici être vigilant quant à la valeur accordée aux résultats de l'étude (fraction de volume à ne pas surverser) dans la mesure où l'absence de mesures de débit n'aura pas permis d'effectuer un calage rigoureux ni du modèle de réseau ni du fonctionnement du déversoir d'orages.

3.3. Cas où le déversoir d'orages est instrumenté

Dans cette situation, les données disponibles correspondent à des mesures pluviométriques, à des mesures de débit, ainsi qu'à des mesures de flux polluant en réseau (MES, DCO, DBO₅, ...).

Les mesures pluviométriques et de débit permettront d'effectuer un calage des paramètres du modèle de réseau et de la loi de fonctionnement du déversoir d'orages (loi hauteur - débit). Quant aux mesures de flux polluants, elles seront utilisées pour le calage des paramètres du modèle de pollution à concentration variable. A ce titre, [Cabane, 01] a montré qu'une vingtaine de pluies représentatives de la pluviométrie locale permet de caler la fonction de production de la concentration avec 10 % d'imprécision.

De manière plus générale, il ne faudra pas occulter le fait que la part d'incertitude ou d'imprécision sur l'ensemble des mesures (hors erreur liée à l'appareillage) peut parfois être non négligeable malgré tout le soin apporté à la mise en œuvre des dispositifs. A titre d'exemple, [Gromaire & Chebbo, 00] ont montré que l'incertitude liée aux mesures de concentration ponctuelle pouvait atteindre 46 %.

Une fois le calage de chaque modèle effectué, **l'objectif de réduction des rejets directs au milieu naturel d'effluents bruts par le déversoir d'orages se traduira par la recherche d'une diminution des masses de polluants.**

Il est bien évident que ce cas de figure représente la meilleure situation dans laquelle une collectivité pourrait se trouver en matière de réduction des flux polluants rejetés par un déversoir d'orages. Cependant, il ne faut pas non plus oublier que cette approche a un coût constitué pour une part substantielle par les dépenses relatives à un équipement métrologique de qualité. Par là même, il existe alors une inégalité de situation entre les collectivités dont les moyens financiers sont parfois incomparables. De ce fait, les deux situations précédentes (aucune mesure ou uniquement des données pluviométriques) ne sont pas à condamner d'emblée, car elles sont encore répandues en pratique pour des communes de faible taille.

3.4. Approche retenue

Quel que soit le dysfonctionnement considéré, la démarche méthodologique de définition d'axes de priorités d'intervention que nous élaborons est dirigée vers le décideur d'une collectivité à population relativement peu importante. Les ressources financières de ce type de commune sont donc nécessairement limitées. Mais surtout, le raisonnement qui y est pratiqué relève presque systématiquement d'une approche du dysfonctionnement d'un déversoir d'orages en termes de fréquence. La question qui est très souvent posée est formulée de la façon suivante par le décideur : "je ne veux pas de surverses de déversoir pour une fréquence inférieure à x mois (ou années)".

Certes, la façon dont le problème est posé est discutable, car adopter un raisonnement en fréquences de rejet revient à vouloir limiter le fonctionnement du déversoir à des périodes de retour de pluies plus élevées, c'est à dire à ne pas vouloir de surverse pour de petites périodes de retour. Ce qui n'est pas nécessairement pertinent dans un objectif de réduction des flux polluants. En effet, dans son étude [Cabane, 01] a montré que 30 % des événements pluviométriques sont responsables de plus de 90 % des rejets surversés au milieu naturel par un déversoir (en quantité) et que parmi ces 30 %, 50 % des événements les plus forts provoquent 90 % des volumes surversés. Ainsi, chercher à augmenter la période de retour minimale des déversements ne sera donc pas obligatoirement d'une grande efficacité.

Par ailleurs, il faut noter que même si une approche par auto-surveillance constitue la solution “idéale”, la réduction des masses surversées ne serait représentative d’une amélioration de la qualité du milieu naturel que si sa réaction à cet effort (l’impact) était connue, ce que peu d’études de diagnostic intègrent actuellement [Ruan & Wiggers, 98].

Malgré ces remarques, l’approche de réduction des rejets d’effluents non traités par un déversoir d’orages que nous retiendrons sera celle d’une réduction de la fréquence des surverse. Nous nous situerons donc dans la situation où aucune donnée pluviométrique ou débitimétrique n’existe.

Toutefois, nous restons conscient du fait que cette approche ne saurait être une alternative définitive aux problèmes de pollution générés par un déversoir d’orages. Nous la considérons plutôt comme une première étape qui pourrait conduire, le cas échéant, à des études spécifiques et plus détaillées.

4. Cas de plusieurs déversoirs d’orages : définition des ordres de priorité

Dans une situation où le réseau d’assainissement est équipé de plusieurs déversoirs d’orages, en dysfonctionnement (surverses non voulues en temps de pluie), **l’élaboration des priorités d’intervention se basera sur l’acceptabilité des fréquences de surverse.**

En ce qui concerne l’approche que nous avons retenue, le décideur travaillera à partir de simulations du fonctionnement du modèle de réseau et des déversoirs d’orages. Les événements pluviométriques auxquels il aura recours seront des pluies de projet.

La première étape consistera à définir une période de retour de pluie de référence P_{ref} en deçà de laquelle chaque déversoir d’orages ne devra pas produire de surverse au milieu naturel.

L’analyse du fonctionnement des déversoirs à l’issue des simulations constitue la seconde étape :

- ❖ Les déversoirs n’ayant pas produit de surverse pour P_{ref} ne seront pas concernés par la définition des ordres de priorité. Leur fréquence de déversement étant alors inférieure à la fréquence de référence, elle sera considérée acceptable ;

- ❖ Chaque déversoir ayant généré une surverse pour P_{ref} fera l'objet d'un classement établi à partir du volume déversé V_i .

Les priorités d'intervention seront donc définies par ordre décroissant de volume débordé V_i . Pour chaque déversoir d'orages, plus V_i sera fort et plus sa priorité sera élevée.

Nous sommes parfaitement conscients de la fragilité de notre raisonnement en raison de l'absence de calage rigoureux du modèle de réseau et des ouvrages spéciaux. Cependant, nous tenons à le rappeler, l'élaboration d'ordres de priorités ne permet que d'aider le décideur à hiérarchiser les ouvrages sur lesquels des actions et/ou des études plus spécifiques seront à mener au regard des problèmes de surverses d'effluents non traités au milieu naturel. Ces priorités n'en définissent pas le contenu.

En résumé, la démarche de classement de déversoirs d'orages soumis à des surverses non voulues est synthétisée par la figure 62.

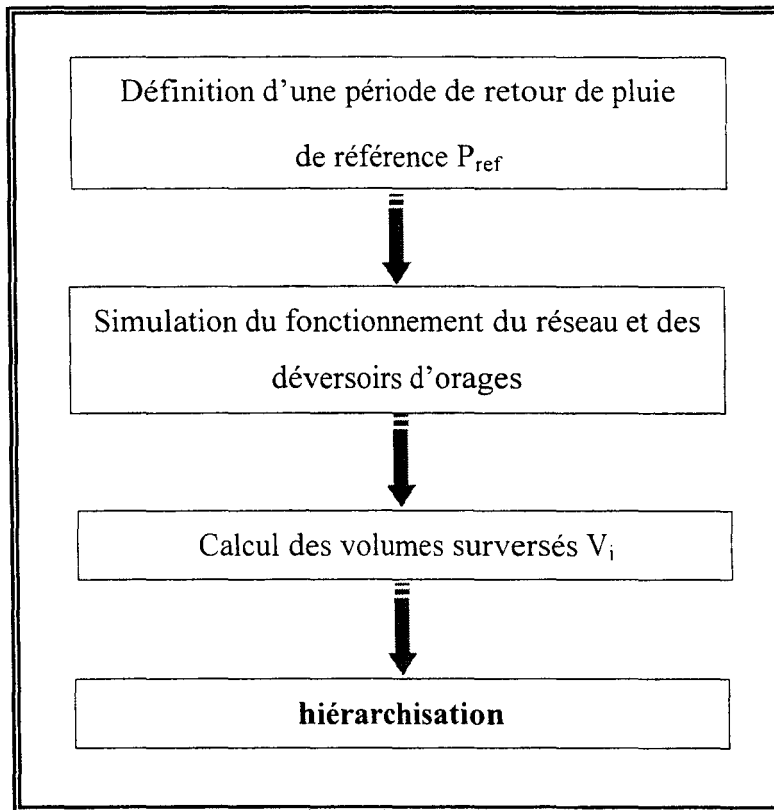


figure 62 : synoptique de classement de déversoirs d'orages pour une période de retour de pluie de référence.

III. Elaboration de priorités d'intervention dans le cas d'intrusion d'eaux parasites

1. Types d'eaux parasites

Lorsqu'un réseau d'assainissement collecte des effluents non prévus à cet effet, ils sont appelés eaux parasites. Ces eaux parasites sont souvent qualifiées de "claires" en raison de leur propreté au regard de celle des effluents transitant habituellement dans le réseau.

Cependant, lorsque les eaux parasites sont issues de rejets industriels illicites par exemple, nous ne pouvons plus vraiment parler d'eaux claires, car d'autres phénomènes que celui de dilution dans les collecteurs unitaires (réactions chimiques,) peuvent alors être mis en jeu lors du mélange avec les effluents domestiques et pluviaux. Mais nous ne considérerons pas cette situation.

De très nombreux réseaux d'assainissement collectent des eaux claires parasites, dont l'origine et la nature sont diverses. Différentes typologies permettent de les classer. Elles se fondent sur deux critères : la répartition spatiale et la répartition temporelle [Joannis (1), 93].

Selon [Dupasquier, 99], nous trouvons :

- ❖ *Les eaux claires parasites de captage*, ponctuelles dans l'espace et provenant de branchements d'eaux pluviales non conformes sur un réseau séparatif eaux usées. Ces apports sont soit temporaires (eaux pluviales issues des surfaces imperméabilisées), soit quasi-permanents (eaux de sources, ...) ;
- ❖ *Les eaux parasites d'infiltration* (notées EPI), dont les apports sont caractérisées par une diffusivité spatiale. Parmi ce type d'eaux parasites, nous pouvons citer :
 - Les eaux d'infiltration non permanentes, entrant dans le réseau pendant et juste après un événement pluviométrique. Elles sont caractérisées par un débit de pointe important (figure 63) et pénètrent par leurs défauts structurels après avoir rapidement transité dans le sol ;

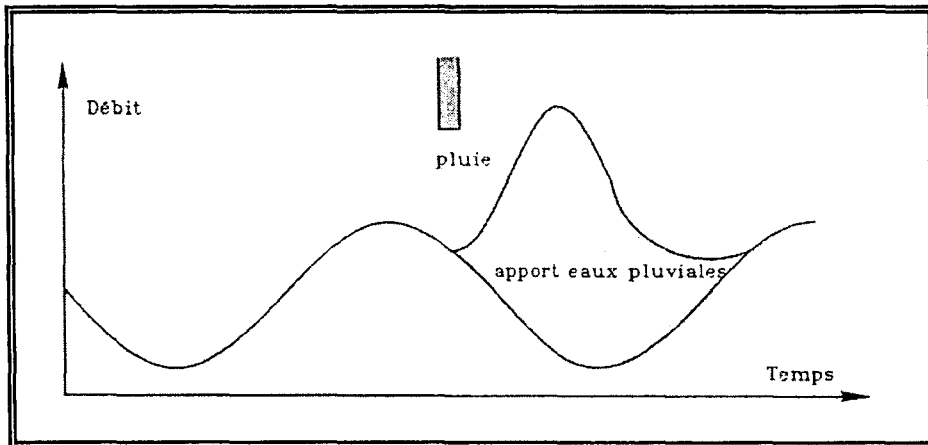


Figure 63 : illustration du phénomène d'infiltration d'eaux parasites non permanentes.

- Les eaux d'infiltration permanentes résultant d'intrusions de la nappe souterraine par les défauts de structure du réseau. Dans le cas d'un réseau noyé dans la nappe, les apports sont constants et ne sont généralement pas affectés de manière significative par la pluie (figure 64). Par contre, lorsque la nappe est proche des collecteurs et est soumise à un rechargement par l'infiltration dans le sol des eaux de pluie, les apports sont alors plus variables.

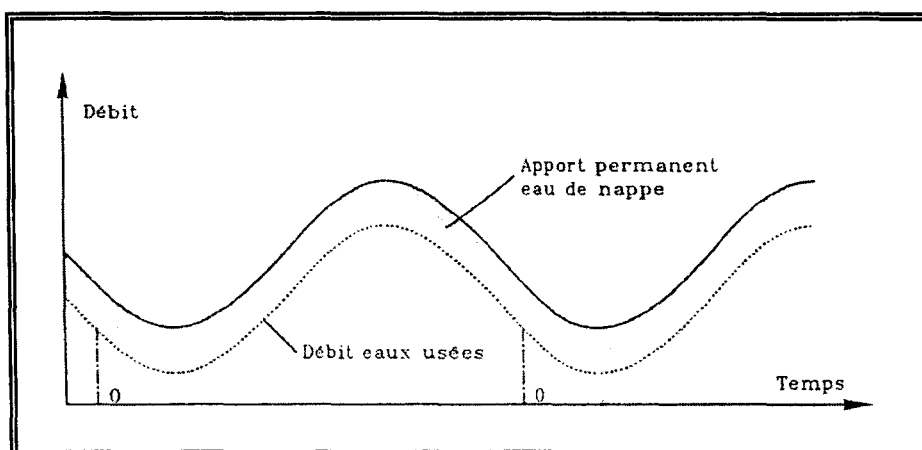


Figure 64 : illustration du phénomène d'infiltration d'eaux parasites permanentes.

Remarque : dans la suite du document, nous ne nous intéresserons pas aux problèmes de captages d'eaux de source ou de ruisseaux par les collecteurs d'un réseau. De plus, par hypothèse le réseau considéré est de type unitaire. Ce qui signifie donc que par définition, les eaux claires parasites de captage ne nous concernent pas. Seules les eaux parasites d'infiltration seront considérées.

2. Problèmes posés par les eaux parasites d'infiltration

Selon leur comportement temporel (permanent ou non permanent), les EPI ne posent pas le même problème et leurs impacts sur un système d'assainissement (réseau, ouvrages spéciaux, STEP) sont différents.

2.1. Sur les infrastructures de collecte et les déversoirs d'orages

Par temps sec, la constance des apports d'EPI permanentes provoque une surélévation du niveau des eaux usées dans les collecteurs. Lors d'une pluie, cette situation peut alors mener à l'apparition de mises en charges dans certains tronçons et pouvant même aller jusqu'à engendrer des débordements [EPA, 91], en raison de débits de pointes devenus supérieurs au débit capable de ces tronçons (figure 65).

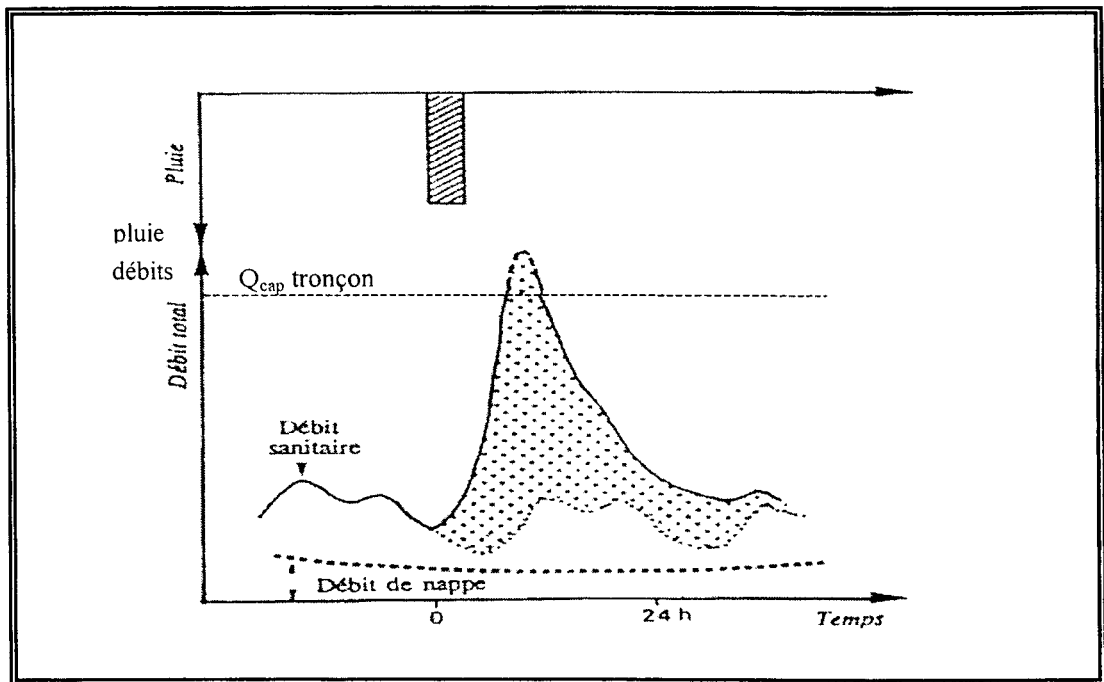


Figure 65 : exemple de mise en charge d'un tronçon en temps de pluie par surélévation du niveau des effluents (EPI permanentes) [Breil & al, 93].

S'ils sont récurrents ou sévères, ces dysfonctionnements hydrauliques peuvent conduire à un accroissement rapide des dégradations structurelles des tronçons et par conséquent augmenter les apports d'EPI de nappe.

De plus, la présence de ce type d'eaux parasites contribue aussi à occasionner en temps de pluie des surverses intempestives de déversoirs d'orages avec une fréquence supérieure à leur fréquence de conception [Renault, 83]. Ces surverses peuvent alors engendrer un impact persistant sur le milieu récepteur du fait de la récurrence des rejets d'effluents non traités.

En ce qui concerne les EPI non permanentes, deux types de problèmes peuvent survenir :

- ❖ La déformation de l'hydrogramme transitant dans les collecteurs du réseau, pouvant conduire à la génération ou à l'aggravation de mises en charge ou de débordements ;
- ❖ L'accroissement des volumes d'effluents bruts directement surversés au milieu naturel par un déversoir d'orages, en raison de pointes de débit élevées et par voie de conséquence

l'augmentation de la charge polluante rejetée, bien que la relation entre le volume et la charge ne soit pas linéaire (les conditions de remise en suspension ou les temps de séjour des polluants en période de temps sec ont une influence).

Par ailleurs, l'ensemble de ces EPI (permanentes et non permanentes) ont aussi un impact non négligeable sur les coûts de fonctionnement des stations de relèvement par l'importance des volumes supplémentaires à prendre en compte.

2.2. Sur l'unité de traitement des effluents

Certaines études d'impact économique sur le fonctionnement d'une STEP ont montré les nuisances apportées par l'infiltration d'eaux parasites dans un réseau [Dupasquier, 99].

Par temps sec, la présence d'EPI permanentes provoque la dilution des eaux usées et génère un préjudice au niveau de leur traitement biologique. Il s'en suit alors une baisse du rendement épuratoire de la STEP et le rejet d'effluents non correctement traités vis à vis de l'objectif de qualité requis à l'exutoire (notamment au regard de paramètres comme les MES, la DBO₅, la concentration en NH₄ ou encore en oxygène dissous).

Par temps de pluie, l'intrusion d'EPI non permanentes engendre parfois des pertes de boues par lessivage lors des fortes pointes de débit générées en entrée de STEP, ainsi que la saturation de sa capacité hydraulique provoquant des surverses d'effluents bruts au milieu naturel si l'unité de traitement n'est pas protégée contre ces flux.

3. La problématique du diagnostic des eaux parasites d'infiltration

3.1. Objectifs particuliers

L'état de dégradation d'un réseau d'assainissement est un facteur limitant de son bon fonctionnement, ainsi que de celui de la STEP. Au début des années 80, les services chargés de l'exploitation des stations d'épuration (les SATESE) ont attribué une large part de responsabilité au réseau sur les problèmes de fonctionnement de ces unités de traitement collectif et ont engagé dans ce contexte le lancement d'études spécifiques appelées études de diagnostic. Aujourd'hui, nous l'avons vu (cf. chapitre I, -I § 4.), les études de diagnostic ont élargi leur champ d'action à l'ensemble de la problématique d'assainissement collectif pour devenir un véritable outil d'aide à la décision relativement au choix des solutions à mettre en œuvre.

Néanmoins, un des volets majeurs demeure consacré à la résolution du problème d'intrusion d'eaux parasites qui constitue toujours un poste de dépenses relativement important en matière de conservation et d'amélioration des infrastructures d'assainissement et de traitement. Les objectifs particuliers sont :

- ❖ Quantifier, localiser et préciser l'origine des intrusions par divers moyens métrologiques ;
- ❖ Hiérarchiser les apports ;
- ❖ Fournir au décideur les éléments techniques et financiers nécessaires pour les éliminer ou les réduire, sous la forme d'un programme de travaux dans lequel, à chaque type d'intervention doit correspondre les effets attendus sur les dégradations causées par les infiltrations.

3.2. Présentation synthétique des étapes

L'étude de diagnostic peut être représentée par quatre étapes successives [Vachon, 84] :

- ❖ *Etape 1* : premier diagnostic par acquisition des données du problème. Cette étape doit conduire à :
 - recenser les points du système d'assainissement dont le fonctionnement est perturbé par les infiltrations ;
 - apprécier l'amplitude des phénomènes et leur(s) répercussion(s) sur la qualité du milieu naturel ;
 - fixer l'ordre de grandeur des volumes d'eaux parasites à supprimer en vue d'une amélioration du fonctionnement du réseau, des ouvrages spéciaux et de la STEP ;
- ❖ *Etape 2* : délimitation géographique des grands secteurs d'apport en eaux parasites par une approche globale sous la forme d'un examen visuel et de mesures de débits aux endroits clés du réseau. Cette étape doit permettre de quantifier les apports pour les secteurs les plus touchés et de définir leur importance relative pour différentes périodes représentatives ;
- ❖ *Etape 3* : localisation des sources d'apport par une approche plus détaillée des investigations réalisées à l'étape 2 ;
- ❖ *Etape 4* : étude des solutions à apporter et des travaux à réaliser en prenant appui sur le rapport "coût-efficacité" de chaque intervention programmée.

3.3. Commentaires

En pratique, la restriction des budgets alloués par beaucoup de communes de taille relativement faible, fait que le contenu de l'étude de diagnostic en matière d'infiltration d'eaux parasites se limite très souvent à l'étape 2 décrite précédemment.

Dans ce cadre, l'étude de diagnostic ne constitue alors qu'une opération de prélocalisation des

apports parasites, dont les objectifs sont restreints à :

- ❖ L'évaluation de la nature locale ou diffuse des infiltrations ;
- ❖ La quantification des apports afin de connaître la contribution de chaque secteur ;
- ❖ La hiérarchisation des secteurs d'apport pour établir leur importance relative.

Notons que les objectifs de l'étude de diagnostic ne s'orientent généralement pas vers l'élimination totale des infiltrations d'eaux parasites, mais vers leur réduction. Si tel était le cas, la hiérarchisation des secteurs d'apport n'aurait pas de sens puisque tous auraient le même niveau de préoccupation, sauf si l'établissement d'un classement était nécessaire à la programmation de travaux.

La définition d'une méthodologie de hiérarchisation utilisable en pratique (nous en définirons le cadre et les modalités au § 4.), doit donc se justifier par la connaissance que l'importance relative des secteurs d'apport donnera vis à vis :

- ❖ De l'effort d'investigation plus poussé qu'il faudra consacrer sur certains secteurs, suite à la définition préalable d'une fraction d'apports minimale à localiser. Cet effort se traduira par la réalisation d'une campagne d'inspection de la structure des collecteurs de ces secteurs pour déterminer les causes d'infiltrations. Cette campagne devra être mise en œuvre sur un linéaire de réseau le plus faible possible afin d'éviter toute inspection inutile de collecteurs ;
- ❖ Des interventions à préconiser au regard des conséquences des infiltrations sur le fonctionnement hydraulique du réseau. La hiérarchisation des secteurs d'apport d'eaux parasites permettra par conséquent de connaître ceux sur lesquels agir en priorité.

Mais il faut aussi souligner que chercher à réduire les apports ne constitue qu'un type de solution. Les infiltrations ayant aussi des conséquences sur les éléments du système d'assainissement (ouvrages spéciaux, STEP) et sur le milieu naturel, d'autres actions peuvent être menées.

Elles sont alors relatives à la prise en compte des apports [Joannis (1), 93] :

- ❖ L'adaptation des ouvrages à ces apports. Citons les bassins de retenue ou l'unité de traitement collectif des effluents unitaires ;
- ❖ La modification du fonctionnement des déversoirs d'orages, selon la variabilité des apports d'eaux parasites, ainsi que selon l'acceptabilité du milieu naturel.

Dans ce contexte, un classement des sous-bassins d'apport selon leur sensibilité aux eaux parasites pourra aussi aider à orienter le décideur vers les éléments du système d'assainissement sur lesquels il sera nécessaire d'agir en priorité.

4. Méthodologie pour la hiérarchisation des apports d'EPI

4.1. Définition du cadre d'étude

4.1.1. *Quel est notre objectif ?*

Dans le cadre d'une opération de prélocalisation, nous allons chercher à construire une démarche de classement des secteurs d'apport d'EPI, sur laquelle pourra s'appuyer la définition de priorités d'intervention à mettre en œuvre dans l'objectif de réduction global des infiltrations.

Les données utilisées seront des données descriptives hydrologiques qui devront permettre d'aboutir à des conclusions pratiques sur l'importance relative des différents apports.

Mais nous n'aurons pas d'approche explicative des phénomènes d'infiltration en ce qui concerne leurs causes physiques. Nous ne chercherons donc pas à en connaître l'origine. Ce travail devra impérativement faire suite à l'application de la démarche pour la réalisation d'actions à mener qui soient pertinentes et pérennes.

4.1.2. *Définition des limites systémiques de l'objet étudié*

Dans l'élaboration de notre démarche méthodologique, l'objet étudié est constitué par le réseau seul, c'est à dire l'ensemble des collecteurs par le biais desquels s'infiltrent et transitent les eaux parasites.

Bien évidemment, la problématique générale des infiltrations est plus complexe et ne saurait ne prendre en compte que l'objet réseau, ne serait-ce que pour l'évaluation des conséquences des eaux parasites sur le fonctionnement du système d'assainissement. Le sol, la tranchée et les défauts d'étanchéité ont aussi un rôle non négligeable (à travers les interactions qu'ils développent avec le réseau lui-même) d'une part pour la compréhension hydraulique des phénomènes d'infiltration et d'autre part, en relation avec à la pertinence des interventions qui devront être mises en œuvre. A ce titre, le lecteur intéressé par l'influence de ces facteurs dans la limitation potentielle des infiltrations, ainsi que par leur prise en compte dans la problématique de l'efficacité des travaux d'étanchéification, pourra se reporter à la thèse de [Dupasquier, 99].

Toutefois, la construction d'une hiérarchisation des apports ne reposant que sur leur quantification, la problématique des EPI n'est pas simplifiée, mais restreinte aux seuls éléments du réseau nécessaires à ce travail.

4.1.3. *A quel type d'EPI nous intéressons-nous ?*

Nous avons vu qu'il existe deux types d'eaux parasites d'infiltration (cf. § 1.) : les EPI temporaires engendrées par une averse et issues de la transition rapide des eaux de pluie dans le sol, ainsi que les EPI permanentes dues aux intrusions de nappe hors période pluvieuse.

En temps de pluie, les apports d'eaux parasites (temporaires) sont difficiles à mettre en évidence, car ils sont très variables et sensibles à l'événement pluviométrique, ainsi qu'aux conditions hydrogéologiques antérieures. C'est ainsi que deux averses "identiques" peuvent générer des infiltrations de caractéristiques différentes.

De plus, l'observation d'un phénomène d'infiltration temporaire sur un hydrogramme de mesures en réseau unitaire n'est pas aisé, car les apports interfèrent directement avec ceux liés à la pluie. Ce qui conduit alors les collectivités à ne pas se focaliser sur le problème d'apports parasites temporaires, malgré les pointes de débit importantes qu'ils peuvent provoquer.

Pour ces raisons, nous ne traiterons pas les apports d'EPI temporaires. **Dans le cadre de l'élaboration d'une hiérarchisation des secteurs d'infiltrations d'eaux parasites, nous ne nous intéresserons donc qu'à ceux de nature permanente (EPI issues du drainage de la nappe).**

4.2. Evaluation des apports d'EPI permanentes

4.2.1. *Hypothèses préliminaires*

Le nombre et la stratégie d'implantation des points de mesures de débit sur le réseau ne seront pas discutés.

De plus, il existe diverses méthodes d'estimation des EPI permanentes. Certaines se basent sur la mesure de débit nocturnes, d'autres sur les consommations d'eau potable et d'autres encore sur les taux de dilution. Mais toutes font des hypothèses plus ou moins arbitraires pour l'estimation de leurs paramètres de référence [Joannis (1), 93]. Nous n'en imposerons aucune, le choix sera laissé à la discrétion du bureau d'étude.

Cependant, en raison des erreurs ou des imprécisions apportées lors de l'estimation des débits d'eaux usées, la méthode retenue devra impérativement préciser et justifier les hypothèses utilisées afin de n'accorder aux résultats que la valeur qu'ils méritent dans le contexte de leur calcul.

4.2.2. Quantification des apports

Pour chaque sous-bassin versant (noté SBV_i) défini par chaque point de mesure en réseau, un débit d'EPI permanentes (noté Q_i) peut être calculé.

Toutefois, il nous a paru que ce type de représentation des résultats (i.e. la représentation directe des débits d'infiltration) n'est pas adaptée pour rendre compte de l'importance des apports vis à vis de l'objectif de réduction. En effet, savoir que par exemple, un sous-bassin collecte $80 \text{ m}^3/\text{jour}$ d'eaux parasites et un autre $120 \text{ m}^3/\text{jour}$, permet de dire que les apports du second sont plus importants que ceux du premier. Mais sont-ils pour autant élevés ? Et par rapport à quelle référence ?

Remarque : l'objectif de réduction est généralement exprimé sous la forme d'un pourcentage d'apports à limiter, ce qui renforce la nécessité de représenter autrement les quantités infiltrées de façon à raisonner par rapport à la même référence.

Nous avons donc choisi d'exprimer les apports de chaque SBV_i sous la forme d'un ratio R_{Q_i} tel que :

$$R_{Q_i} = \frac{Q_i}{\Sigma Q_i} \quad (17)$$

où ΣQ_i représente les apports de tous les sous-bassins versants d'infiltrations définis par l'ensemble des points de mesures.

Chaque ratio R_{Q_i} traduit alors une densité d'apports et permettra de savoir d'une part, si la quantité d'EPI est faible, moyenne ou forte en la comparant à celle des autres secteurs et d'autre part, quelle fraction du pourcentage total à réduire elle représente.

4.2.3. Quantification du linéaire concerné

Lors d'opérations d'inspection de la structure des collecteurs et plus généralement en phase de travaux (quand il s'agit de réduire les apports), il y a toujours l'espoir d'agir sur un linéaire de réseau limité, c'est à dire celui touché par les infiltrations.

Remarque : bien souvent, le linéaire dont il est question lors d'une campagne d'inspection est un linéaire défectueux qui est plus faible que celui dont nous parlons puisque ce dernier exprime la longueur totale de collecteurs incluse dans le sous-bassin relatif à un point de mesure. Notre démarche ne permet pas directement de cerner ce linéaire défectueux. Elle ne permet que de localiser un ensemble de collecteurs parmi lesquels figurent ceux présentant des défauts structurels causant les infiltrations.

Néanmoins, dans le but de compléter la caractérisation de chaque SBV_i , nous avons cherché à relier le ratio R_{Qi} au linéaire de réseau concerné (noté LT_i , exprimant le linéaire total contenu dans chacun des sous-bassins).

Le problème est alors de quantifier LT_i . Pratiquement, LT_i est constitué par le linéaire implanté sur le domaine public (noté LPU_i) et par celui existant sur le domaine privatif (noté LPR_i). Or, LPR_i est souvent inconnu (non répertorié) et dans beaucoup de cas supérieur au linéaire public [Joannis (2), 99].

Pouvons-nous alors déterminer une variable quantifiable à laquelle nous pouvons rattacher le paramètre LT_i ?

A l'échelle d'un bassin versant, nous connaissons :

- ❖ le % de surface active que l'on peut déduire de chaque SBV_i ;
- ❖ le % de débit Q_i apporté par les infiltrations ;
- ❖ le % de réseau public LPU_i par rapport au total modélisé.

LT_i ne peut pas être rattaché au % de surface active, car cette variable n'est pas un indicateur fiable. Par exemple, en lotissement, malgré une surface active généralement faible, le linéaire de réseau privé est non négligeable.

De plus, un débit élevé d'EPI mesuré n'entraîne pas nécessairement un linéaire total de réseau (incluant la partie privative) élevé et le contraire aussi.

Est-il alors possible de construire à priori une relation entre LT_i et LPU_i ? Pour les raisons évoquées ci-dessus, cela paraît difficile. Pourtant, il est impératif, dans notre démarche, de caractériser LT_i. Nous devons donc admettre dans un premier temps l'hypothèse consistant à supposer l'équivalence de LT_i et de LPU_i, c'est à dire négliger LPR_i.

Remarque : si la connaissance du linéaire privatif pour chaque SBV_i peut être obtenue, il est bien évident que l'hypothèse deviendra caduque et que LT_i sera alors égale à la somme de LPU_i et de LPR_i. D'autre part, la sous-estimation que nous effectuons ici, n'est pas préjudiciable pour la méthodologie, puisque tous les bassins versants hydrologiques seront affectés dans le même sens de variation. De ce fait, l'évaluation de l'importance de l'intrusion d'eaux parasites ne sera pas faussée au regard de la hiérarchisation des apports qui est recherchée.

L'hypothèse de calcul de LT_i étant faite, il est donc désormais possible de calculer de la même façon qu'avec les débits d'infiltration Q_i, un ratio R_{Li} tel que :

$$R_{Li} = \frac{LT_i}{\Sigma LT_i} \quad (18)$$

où ΣLT_i représente le linéaire total de réseau modélisé compte tenu de l'hypothèse. Dans le cas où le linéaire privatif pourrait être connu, ΣLT_i représenterait alors le linéaire de collecteurs modélisé et celui des parcelles privatives.

4.3. Hiérarchisation des secteurs d'apport

4.3.1. Principe

En nous fondant sur la règle générale des 20/80 (20% des causes produisent 80 % des effets), il est possible de raisonner de façon analogue pour l'élaboration d'un classement des sous-bassins d'apport.

Ainsi, nous dirons que le sous-bassin SBV_i est prioritaire dans la hiérarchie établie, s'il produit le % d'apports le plus élevé pour le linéaire de collecteurs le plus faible. De manière plus générale, **chaque SBV_i sera donc classé en appliquant la règle suivante :**

$$\text{Ratio } R_{Li} = \frac{LT_i}{\sum LT_i} \text{ le plus faible pour le ratio } R_{Qi} = \frac{Q_i}{\sum Q_i} \text{ le plus élevé}$$

4.3.2. Cas d'équivalence

Trois situations d'équivalence peuvent survenir :

- ❖ Dans le **cas où** les ratios $(LT_i / \sum LT_i)$ sont **équivalents** sur certains ou tous les sous-bassins d'apport, alors la **hiérarchisation** devra se faire **sur** les ratios $(Q_i / \sum Q_i)$.
- ❖ Dans le **cas où** les ratios $(Q_i / \sum Q_i)$ sont **équivalents** sur certains ou tous les sous-bassins d'apport, alors la **hiérarchisation** devra se faire **sur** les ratios $(LT_i / \sum LT_i)$.
- ❖ Dans le **cas où** il y a **équivalence des deux ratios** R_{Qi} et R_{Li} sur certains ou sur l'ensemble des sous-bassins d'apport, la **situation** devient alors **indécidable** et le recours à un (ou d'autres critères) de décision sera donc impératif pour effectuer un classement.

En résumé, la démarche de hiérarchisation des sous-bassins d'apport vis à vis des infiltrations d'eaux parasites permanentes est synthétisé par la figure 66.

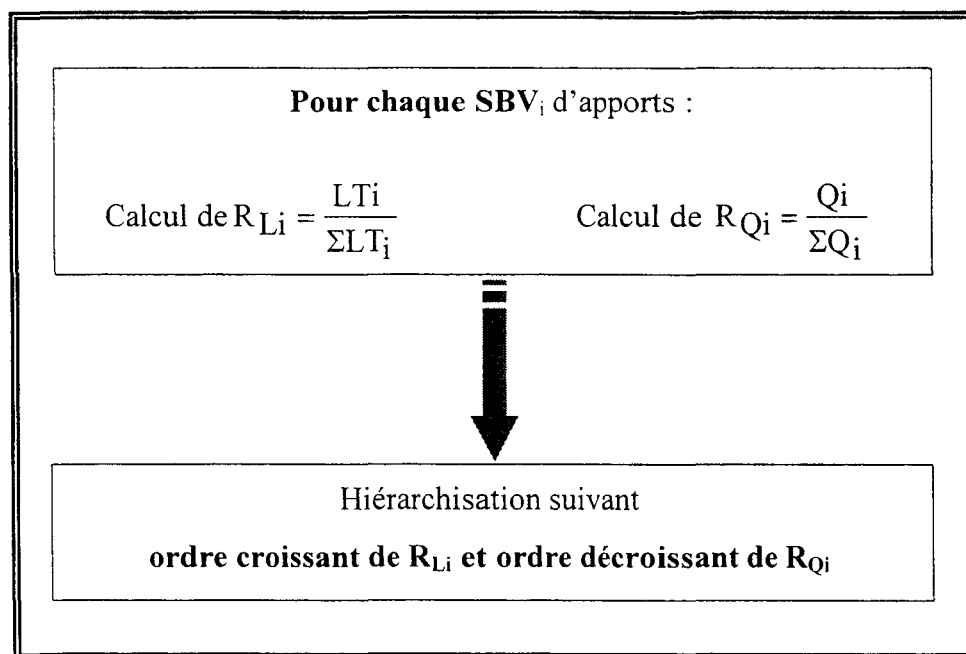


figure 66 : synoptique de classement des sous-bassins d'apport vis à vis d'EPI permanentes.

4.3.3. Conditions de remise en cause de la hiérarchisation

La construction d'un classement des sous-bassins d'apport d'EPI permanentes telle que nous l'avons envisagée, suppose implicitement que les contributions des divers SBV_i ne dépendent pas du contexte hydrologique. En d'autres termes, **la méthodologie de hiérarchisation est valable pour la période de mesures à laquelle elle fait référence.**

En effet, une autre campagne pourrait générer une hiérarchisation différente si, par exemple, les conditions de nappe avaient changées en raison d'antécédents pluviométriques différents de ceux ayant contribué à l'état de recharge de la nappe lors des mesures d'infiltrations. La question

de la fiabilité des campagnes de mesures est alors posée.

Par ailleurs, il est à noter que les actions sur chaque sous-bassin d'apport peuvent créer **un phénomène de report d'infiltration** sous certaines conditions particulières [Dupasquier & al, 98]. Un accroissement potentiel des apports sur certains secteurs peut alors survenir et par conséquent modifier leur classement dans la hiérarchie initialement établie par augmentation du ratio R_{Q_i} (valeur Q_i plus élevée).

Conclusions du chapitre II

Lorsqu'un dysfonctionnement survient sur un réseau d'assainissement, un programme d'action doit être élaboré afin d'y remédier. Quand les manifestations du dysfonctionnement ont une large répartition spatiale, il n'est pas possible d'agir sur leur ensemble en une seule fois. Les interventions doivent être hiérarchisées en fonction de l'importance du problème sur chaque secteur. Un choix des priorités doit par conséquent être effectué.

Or, ce travail de hiérarchisation est souvent rendu difficile, car d'une part, il faut pouvoir évaluer chacun des problèmes et d'autre part, l'origine de certains d'entre eux n'est pas toujours située là où ils se produisent.

Nous avons donc cherché à construire une démarche d'aide au choix de priorités dirigée vers le décideur. Notre objectif a été de lui proposer une méthode de classement des secteurs du réseau qui tienne compte des difficultés suscitées.

Trois dysfonctionnements ont été considérés : des débordements, des infiltrations d'eaux parasites et des surverses non voulues de déversoirs d'orages. Mais chacun d'eux n'étant pas appréhendé à la même échelle (le sous-bassin d'apport pour les infiltrations, le tronçon pour les débordements) ou ne se manifestant pas sur le même type d'élément du réseau (les collecteurs pour les eaux parasites et les débordements, les déversoirs d'orages pour les surverses), chaque démarche de classement a fait l'objet d'un raisonnement particulier.

Chaque tronçon soumis à un débordement a été classé en fonction de sa non-performance hydraulique et de l'origine du dysfonctionnement (existence ou non d'une influence aval). L'évaluation de la non-performance a été réalisée par le calcul d'une note (modérée par la sensibilité du tissu urbain), tenant compte de la valeur de période de retour de pluie correspondante à chaque débordement. Pour un tronçon, plus la note sera élevée, plus il sera

prioritaire sur les autres.

En ce qui concerne les déversoirs d'orages, les priorités d'intervention ont été définies sur la base de leur fréquence de surverse. En deça d'une période de retour de pluie de référence, tous les déversoirs ayant fonctionné font alors l'objet d'un classement. Celui-ci se fonde sur l'évaluation du volume surversé (obtenu par simulation de fonctionnement hydraulique du réseau). Pour un déversoir donné, plus le volume sera élevé, plus il occupera un rang élevé dans le classement.

Enfin, les tronçons soumis à des infiltrations d'eaux parasites permanentes ont été rassemblés par sous-bassins versants d'apport relatifs aux points de mesure. Nous avons défini deux ratios R_L et R_Q , exprimant respectivement la fraction de linéaire de tronçons et de débit parasite de chaque sous-bassin d'apport relativement au linéaire total et à la somme des débits mesurés. Considérant qu'une intervention est d'autant plus rentable qu'elle agit sur un faible linéaire et un fort débit, le classement des sous-bassins d'apport a suivi le même principe. Nous avons donc conclu qu'un sous-bassin sera prioritaire, s'il est caractérisé par le ratio R_L le plus faible pour le ratio R_Q le plus élevé. Trois cas d'équivalence ont été dégagés.

Chapitre III : Aide au choix de priorités d'intervention dans le cas de dysfonctionnements couplés.

Introduction

Dans certaines situations, un réseau d'assainissement peut être soumis à des dysfonctionnements survenant de façon indépendante, c'est à dire sans relation entre leurs origines ou leurs effets.

Mais bien souvent ces relations existent, même si elles n'apparaissent pas clairement lors du diagnostic de fonctionnement du réseau. Chercher à les caractériser est alors essentiel vis à vis de la pérennité des solutions à concevoir et de la pertinence des interventions à programmer. En effet, il sera infondé de vouloir résoudre un dysfonctionnement particulier s'il est engendré par un précédent, ou bien s'il en aggrave un autre. Une démarche de définition de priorités d'intervention doit en tenir compte.

A partir des trois types de dysfonctionnement considérés dans le précédent chapitre (débordements, surverses non voulues de déversoirs d'orages, infiltrations d'eaux parasites permanentes), nous allons à présent considérer différents couplages.

Pour chaque couplage, nous exposerons dans un premier temps la façon dont l'influence d'un dysfonctionnement peut s'exercer sur les autres.

Dans un second temps, nous chercherons à élaborer une méthodologie d'aide au choix de priorités d'intervention relative à chaque couplage. Pour chacun d'entre eux, la méthodologie s'appuiera sur la formalisation de règles et mènera à la construction d'un classement. Celui-ci tiendra compte de ceux établis dans le cas de l'occurrence indépendante de chaque dysfonctionnement, ainsi que de la relation qui caractérise chaque couplage.

I. Présentation des couplages de dysfonctionnements étudiés

1. Types de couplages

Par combinaison des trois dysfonctionnement considérés (débordements, infiltrations d'eaux parasites permanentes et surverses non voulues de déversoirs d'orages), quatre couplages possibles sont obtenus. Ils figurent dans le tableau 26.

Types de dysfonctionnement	Combinaisons			
Débordements				
Infiltrations d'eaux parasites permanentes				
Surverses non voulues de déversoirs d'orages				

Tableau 26 : couplages possibles à partir de trois dysfonctionnements.

2. Caractérisation des relations entre les couplages

2.1. Infiltrations d'eaux parasites permanentes et débordements

La présence dans un réseau d'assainissement d'eaux parasites permanentes a pour conséquence de diminuer le débit capable des tronçons par génération d'un débit résiduel.

Lors d'un événement pluviométrique, le débit résiduel peut être tel qu'il accroît de façon très sensible celui des effluents domestiques et pluviaux à évacuer, jusqu'à provoquer dans certains cas, un ou plusieurs débordements de tronçons.

La relation existante entre ces deux dysfonctionnements est par conséquent une relation de causalité (figure 67).

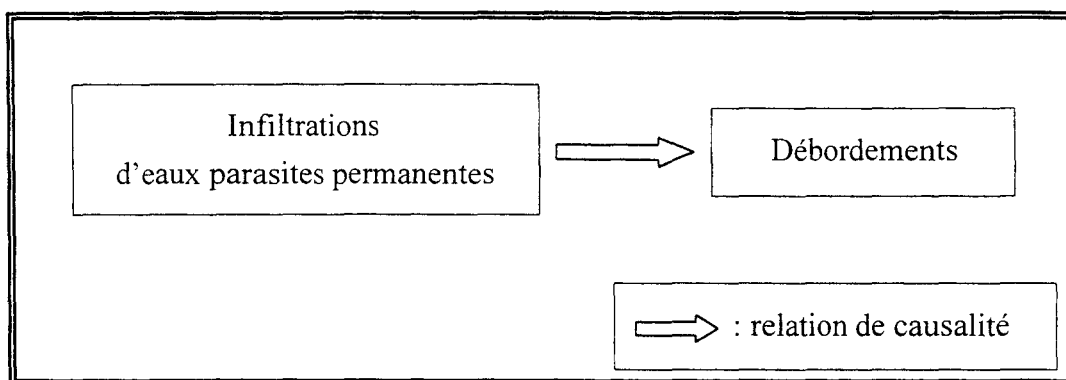


Figure 67 : caractérisation de la relation entre les infiltrations d'eaux parasites permanentes et les débordements.

Remarque : la relation décrite peut aussi être illustrée par l'aggravation de débordements, qui, sans infiltrations, auraient été moins importants. Il s'agit alors d'un effet de cumul.

2.2. Infiltrations d'eaux parasites permanentes et surverses de déversoirs d'orages

De façon analogue à l'occurrence couplée avec des débordements, la présence d'eaux parasites de ce type dans un réseau peut engendrer l'accroissement des fréquences de surverse de déversoirs d'orages.

Dans ce contexte, l'influence exercée par le phénomène d'infiltrations sur le fonctionnement de déversoirs d'orages est une relation de causalité (figure 68).

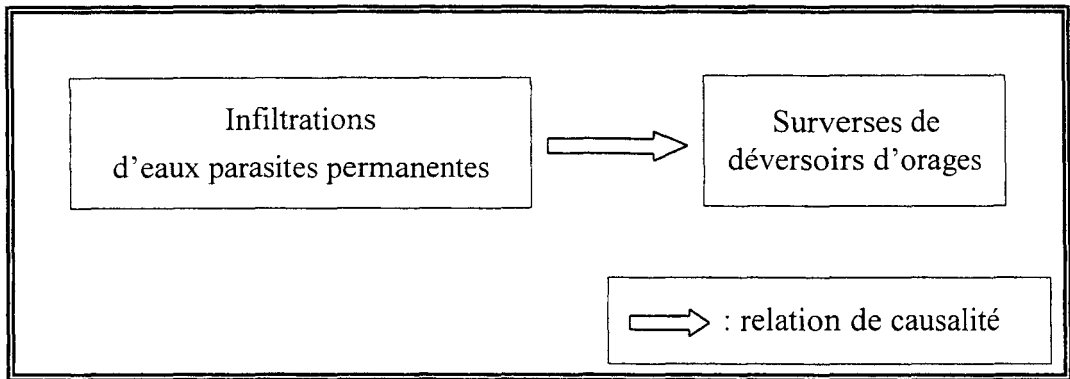


Figure 68 : caractérisation de la relation entre les infiltrations d'eaux parasites permanentes et les surverses de déversoirs d'orages.

2.3. Débordements et surverses de déversoirs d'orages

Afin de comprendre la relation potentiellement existante entre ces deux dysfonctionnements, trois situations peuvent être considérées par temps de pluie :

- ❖ Lorsqu'un déversoir se situe en aval d'un secteur de débordements, a priori aucune influence n'existe. Les débordements n'engendrent pas de surverses intempestives ;
- ❖ Lorsqu'un déversoir se situe dans un secteur de débordements (le tronçon situé au droit du seuil fait partie des tronçons soumis au dysfonctionnement), des surverses se produiront ;
- ❖ Lorsqu'un déversoir se situe en amont d'un secteur de débordements, sous certaines conditions hydrauliques, une inversion du sens d'écoulement peut survenir sous la forme d'un refoulement des effluents jusqu'au seuil du déversoir, engendrant de ce fait des surverses intempestives.

Par ailleurs, le fonctionnement d'un déversoir d'orages permettant par définition d'évacuer au milieu naturel un excédent de flux transitant dans le réseau, la génération de surverses non voulues ne peut pas créer ou aggraver un phénomène de débordements.

Ainsi, les problèmes de débordement et de surverse de déversoirs sont liés par une relation mono-directionnelle : seuls les débordements peuvent engendrer (ou accroître) les surverses par relation causale (figure 69).

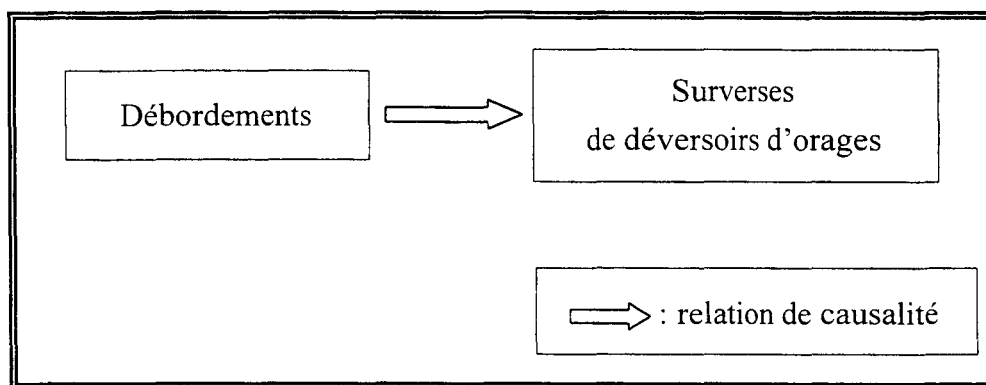


Figure 69 : caractérisation de la relation entre les débordements et les surverses de déversoirs d'orages.

2.4. Infiltrations d'eaux parasites permanentes, débordements et surverses

Les figures 67, 68 et 69 montrent que ni les débordements, ni les surverses de déversoirs d'orages n'exercent d'influence sur la génération ou sur l'accroissement d'infiltrations d'eaux parasites.

En compilant les relations précédents, nous pouvons établir une caractérisation des relations présentes dans le cas du couplage des trois dysfonctionnements. La figure 70 en donne la description.

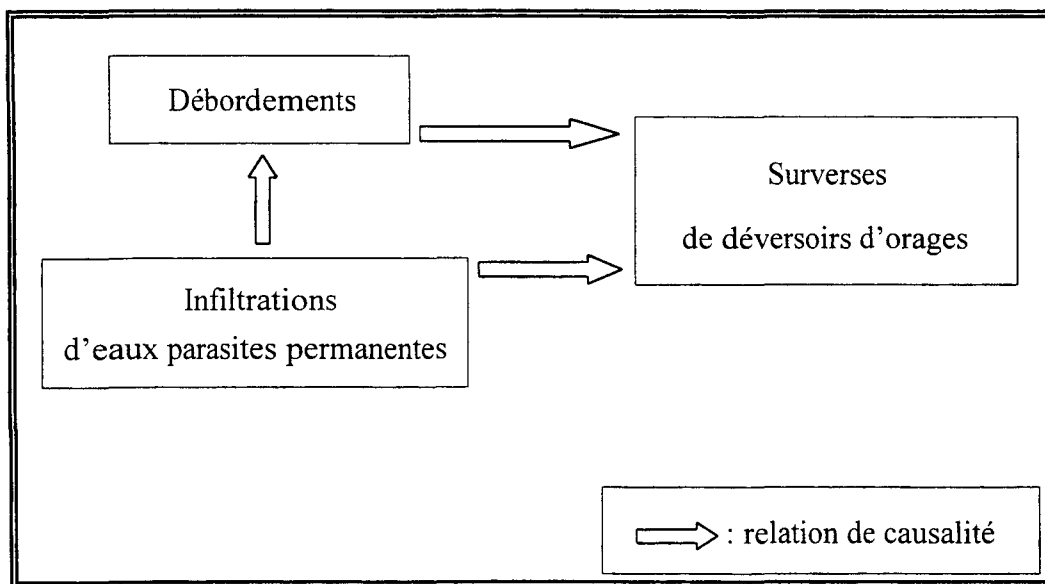


Figure 70 : caractérisation de la relation entre les infiltrations d'eaux parasites permanentes, les débordements et les surverses de déversoirs d'orages.

Cette compilation peut sembler triviale au premier abord. Cependant, elle montre que, quel que soit le dysfonctionnement considéré, la qualité du milieu naturel peut être remise en cause du fait d'un accroissement potentiel de la fréquence de fonctionnement des déversoirs d'orages.

De plus, la figure 70 sous-tend une relation d'ordre sur les priorités de traitement que nous développerons plus loin.

II. Méthodologie de définition des priorités d'intervention

1. Hypothèses préliminaires

L'élaboration de priorités d'intervention dans le cas de couplages des trois dysfonctionnements fera appel à leur méthodologie de hiérarchisation définie lors de leur occurrence indépendante (cf. chapitre II). Dans chaque couplage envisagé, nous supposerons effectué le classement des interventions relatif à chaque dysfonctionnement.

Par ailleurs, pour un couplage donné, l'ordre de traitement des dysfonctionnements ne se fera pas de façon arbitraire vis à vis de la définition des priorités d'intervention. En nous appuyant sur la figure 70, nous retiendrons l'ordre suivant :

- ❖ Le dysfonctionnement de déversoirs d'orages sera toujours à traiter en premier ; d'une part, en raison de l'impact d'un accroissement des fréquences de surverse sur le milieu naturel et d'autre part, parce que ce milieu demeure une préoccupation majeure pour un décideur ;
- ❖ Puis, viendront les débordements, en raison de l'ampleur des conséquences qu'ils sont susceptibles de provoquer en milieu urbain ;
- ❖ Enfin, seront traitées les infiltrations d'eaux parasites permanentes.

2. Couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements

2.1. Objectifs

Dans le cas d'un réseau d'assainissement caractérisé par différents secteurs d'infiltrations (les sous-bassins versants d'apport) et de débordements, il n'est plus question pour le décideur d'établir des priorités d'intervention fondées sur une hiérarchisation des secteurs de manière séparée. Compte-tenu de la priorité accordée au problème de débordements sur celui des infiltrations et compte-tenu de la relation existante entre ces deux dysfonctionnements, l'objectif est de substituer au traitement de certains débordements le traitement de sous-bassins d'apport si

leur influence est déterminante dans la génération de ces débordements.

Il va donc d'abord s'agir de déterminer chacune de ces influences. En d'autres termes, la méthodologie relative à ce couplage devra permettre au décideur de connaître la responsabilité de chaque sous-bassin d'apport sur chaque débordement.

Puis, de notre démarche devra ressortir une hiérarchisation de priorités d'intervention sous la forme d'un classement unique comportant à la fois des secteurs de débordements et des sous-bassins d'apport parasites.

2.2. Types de responsabilités des apports parasites sur les débordements

Soit un réseau d'assainissement soumis à m secteurs de débordements et n sous-bassins versants d'apports parasites permanents. Chaque dysfonctionnement a fait l'objet d'un classement initial. Ils figurent dans le tableau 27.

Débordements	Sous-bassins d'apport parasites
D_1^*	SBV_1^*
D_2	SBV_2
...	...
D_i	SBV_j
...	...
D_m	SBV_n

* les indices rendent compte des priorités

Tableau 27 : classements de base pour l'élaboration de priorités d'intervention dans le cas du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements.

Remarques : la hiérarchisation des priorités d'intervention des différents débordements aura été effectué à partir du modèle de réseau dans lequel il aura été tenu compte des débits d'infiltrations mesurés pour chaque sous-bassin versant d'apport.

De plus, chaque D_i rend compte d'un tronçon sur lequel se situe l'origine et le débordement, ou bien sur lequel ne se situe que l'origine dans le cas d'une influence aval (cf. chapitre II,-I, § 4.3.). Enfin, lorsque nous emploierons le terme "élimination" pour un sous-bassin d'apport d'eaux parasites, nous parlerons indifféremment de la réduction des infiltrations ou de leur suppression.

En matière de responsabilité d'un SBV_j sur l'apparition d'un D_i , deux situations peuvent se présenter :

- ❖ Soit l'élimination de SBV_j résout D_i : **la responsabilité de SBV_j est alors totale** ;

- ❖ Soit l'élimination de SBV_j ne résout pas D_i . Cela signifie que :
 - soit **SBV_j n'a aucune responsabilité** dans l'apparition de D_i ;
 - soit **soit SBV_j a une responsabilité**, mais qui n'est que **partielle**.

2.3. Détermination de la responsabilité des apports parasites

A partir du modèle de réseau et pour la période de retour correspondant à chaque débordement, il va s'agir de tester l'influence de tous les SBV_j pris un par un sur chaque D_i .

La démarche est énoncée en formulant le **groupe de règles GR_1** suivant :

- ❖ *Si pour chaque SBV_j retiré du modèle, un D_i est résolu, alors sa responsabilité est totale (notée RT) vis à vis de D_i ;*
- ❖ *Si pour chaque SBV_j retiré du modèle, l'intensité de D_i a diminué, alors sa responsabilité est partielle (notée RP) vis à vis de D_i ;*
- ❖ *Si pour chaque SBV_j retiré du modèle, l'intensité de D_i n'est pas modifiée, alors sa responsabilité est nulle (notée RN) vis à vis de D_i ;*

L'application de ces règles sur tous les SBV_j peut engendrer la rencontre de situations particulières. Afin de procurer au lecteur une compréhension totale de la démarche, nous les avons définies. Elles sont au nom de deux :

- ❖ *Situation n°1* : à chaque type de responsabilité (RT, RP et RN), peut correspondre un ensemble de sous-bassins versants d'apports (respectivement notés S_{RT} , S_{RP} et S_{RN}) ;
- ❖ *Situation n°2* : un même SBV_j peut être caractérisé par des responsabilités identiques ou différentes pour divers D_i . Lorsque tous les D_i d'un réseau auront été traités, leurs ensembles respectifs S_{RT} , S_{RP} et S_{RN} pourront contenir des sous-bassins d'apport communs.

2.4. Cas particulier de sous-bassins d'apport à responsabilité partielle

Lorsqu'à un D_i correspond un ensemble S_{RP} , les SBV_j qui y sont contenus ne sont peut être pas tous à éliminer pour résoudre le débordement. En d'autres termes, il existe peut-être dans S_{RP} un ou plusieurs n-uplets de SBV_j suffisants pour résoudre D_i . Parmi ces n-uplets, il s'agira de déterminer celui dont la taille est minimale.

Pour chaque D_i , la recherche du n-uplet minimal et suffisant (noté C_{up}) est formulée par le **groupe de règles GR_2** suivant :

- ❖ *Si en retirant l'ensemble S_{RP} , D_i est toujours présent, il n'existe pas de n-uplet tel que D_i soit résolu;*
- ❖ *Si en retirant l'ensemble S_{RP} , D_i est résolu, alors rechercher C_{up} :*
 - *s'il existe plusieurs n-uplets, alors choisir celui contenant le SBV_j de rang le plus élevé;*
 - *si plusieurs n-uplets comportent ce SBV_j , alors effectuer le choix sur le sous-bassin de rang inférieur.*

2.5. Elaboration des priorités d'intervention

Le classement initial des secteurs de débordement constituera la base de définition des priorités dans le cas du couplage avec des eaux parasites d'infiltration permanentes.

Sur un plan pratique, si un ou plusieurs sous-bassins versants d'apports sont responsables de l'apparition d'un ou plusieurs débordements, l'intervention sera alors portée sur ces sous-bassins et non pas sur les débordements.

Sur le plan de la méthode, ceci signifie par conséquent que dans le classement initial des secteurs de débordement, certains D_i devront être remplacés par les SBV_j qui en sont à l'origine. Un nouveau classement sera alors généré par application d'un groupe de règles, selon le type de responsabilité des SBV_j .

En ce qui concerne les **SBV_j dont la responsabilité est totale**, pour chaque D_i du classement initial, **le groupe de règles GR_3 suivant sera appliqué** :

- ❖ *S'il n'existe qu'un seul SBV_j , alors remplacer D_i par SBV_j dans le classement ;*
- ❖ *Si $\text{cardinal}(S_{RT}) > 1$, alors remplacer D_i par le SBV_j de rang le plus élevé.*

Remarque : la seconde règle de GR_3 traduit le fait que, lorsque plusieurs SBV_j ont une responsabilité totale sur la génération d'un débordement, seul celui dont le rang est le plus élevé dans le classement initial des sous-bassins d'apport sera retenu, puisqu'il était et demeure encore prioritaire sur les autres.

Mais l'application de GR_3 peut introduire un biais eu égard à ses conséquences pratiques. En effet, dans le cas où la responsabilité totale d'un même SBV_j pour différents D_i (cf. chapitre III, -II, § 2.3., situation n°2) serait déterminée, si le remplacement de chaque D_i par le SBV_j était

effectué selon les règles de GR_3 , cela conduirait alors à consacrer plusieurs fois une intervention sur le même sous-bassin d'apport. Ceci va évidemment à l'encontre de la logique d'une stratégie d'intervention.

Pour pallier ce biais, les règles du groupe GR_4 qui suivent, devront être appliquées simultanément à l'application de celles de GR_3 :

- ❖ *Si le SBV_j a déjà été classé, alors :*
 - *s'il n'existe pas d'autre sous-bassin d'apport dont la responsabilité est totale vis à vis de D_i , alors retirer D_i du nouveau classement ;*
 - *s'il existe d'autres sous-bassins d'apport dont la responsabilité est totale vis à vis de D_i , alors retirer le SBV_j de l'ensemble S_{RT} .*

En ce qui concerne les SBV_j **dont la responsabilité est partielle**, chaque D_i sera remplacé par la combinaison C_{up} correspondante dans le classement initial. Mais il est aussi possible que C_{up} contienne des sous-bassins d'apport déjà classés. Il sera donc encore pratiquement illogique de vouloir les classer à nouveau, puisqu'ils auront antérieurement fait l'objet d'un traitement.

Afin d'éviter ce biais, le **groupe de règles GR_5** qui suit, **devra être appliqué** dans le cas de chaque D_i subissant une responsabilité partielle de plusieurs sous-bassins d'infiltration :

- ❖ *Si pour C_{up} , il existe un ou plusieurs SBV_j déjà classés, alors les retirer et remplacer D_i par la combinaison réduite ;*
- ❖ *Si après le retrait des SBV_j , $C_{up} = \{\phi\}$, alors retirer D_i du nouveau classement.*

Enfin, tous les SBV_j appartenant à l'ensemble S_{RN} et tous ceux appartenant à S_{RT} et S_{RP} non classés seront intégrés à la fin du nouveau classement par ordre décroissant du rang qu'ils

occupaient dans leur classement initial. La règle R_6 suivante sera appliquée :

- ❖ *Classer par ordre décroissant de leur priorité initiale tous les SBV_j non déjà hiérarchisés ou ayant une responsabilité nulle.*

Pour résumer, la démarche de construction du nouveau classement est synthétisée par le synoptique de la figure 71.

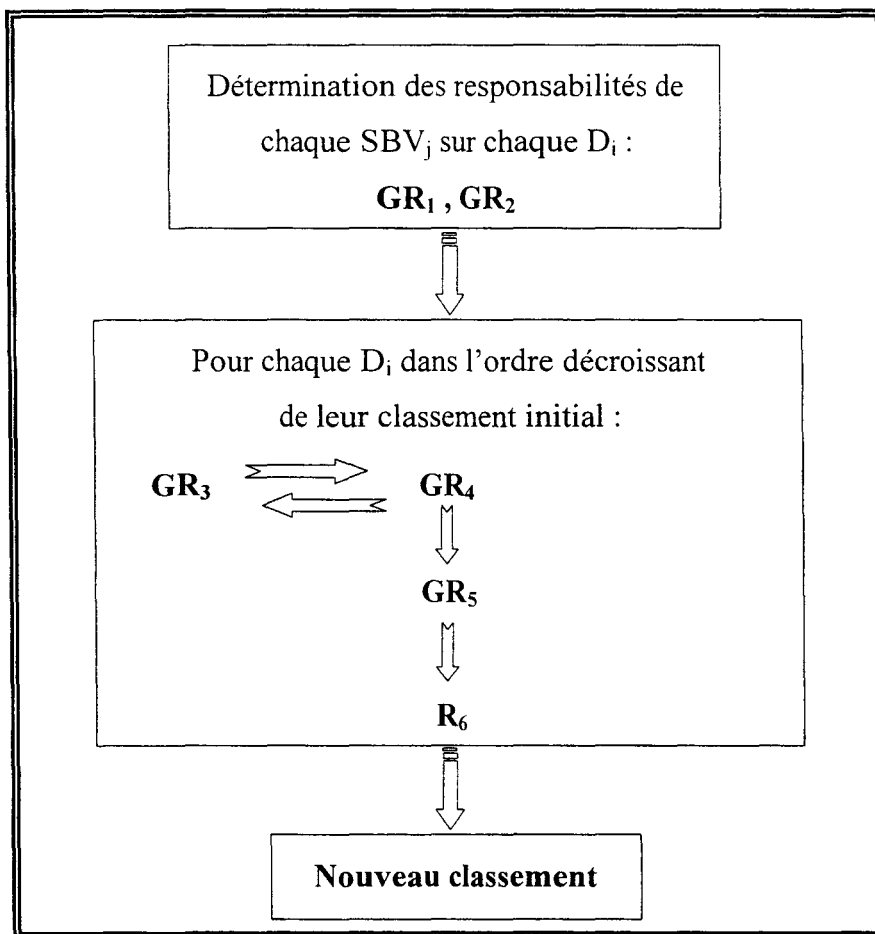


Figure 71 : synoptique d'élaboration des priorités d'intervention dans le cas du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements.

2.6. Exemple d'application

Nous allons à présent appliquer la méthodologie à un exemple fictif. L'intérêt réside dans la compréhension de la démarche, mais surtout dans le fait que les principes de raisonnement élaborés seront réutilisés lors de l'étude des autres couplages.

Soit un réseau d'assainissement pour lequel le classement de quatre secteurs de débordement et de cinq sous-bassins versants d'apport a été réalisé (tableau 28).

Débordements	Sous-bassins d'apport
D ₁	SBV ₁
D ₂	SBV ₂
D ₃	SBV ₃
D ₄	SBV ₄
D ₅	SBV ₅
	SBV ₆
	SBV ₇

Tableau 28 : exemple de classements initiaux de débordements et de sous-bassins d'apport parasites.

La recherche de la responsabilité de chaque SBV_j (application des groupes de règles GR₁ et GR₂) a conduit à déterminer les influences figurant dans le tableau 29.

Débordements	Responsabilité		Combinaison C_{up}
	Totale	partielle	
D_1	SBV_2, SBV_3, SBV_5		
D_2			
D_3		$SBV_1 + SBV_5 + SBV_7$	$SBV_1 + SBV_5$
D_4		$SBV_2 + SBV_3 +$ $SBV_4 + SBV_6$	$SBV_2 + SBV_3 + SBV_4$
D_5	SBV_2		

Tableau 29 : exemple de responsabilités de sous-bassins d'apport parasites vis à vis des débordements.

La construction du nouveau classement est réalisé dans l'ordre décroissant de chaque D_i :

- ❖ D_1 : trois SBV_j ont une responsabilité totale (GR_3 et GR_4 doivent donc être appliqués). Ils forment un $S_{RT} = \{ SBV_2, SBV_3, SBV_5 \}$. SBV_2 étant le sous-bassin de plus haut rang et n'ayant pas encore été classé, il vient donc remplacer D_1 dans le classement correspondant ;
- ❖ D_2 : aucun SBV_j n'a de responsabilité vis à vis de sa génération. Ce débordement est donc maintenu dans le classement ;
- ❖ D_3 : trois SBV_j exercent une responsabilité partielle (GR_5 doit donc être appliqué). Ils forment un $S_{RP} = \{ SBV_1, SBV_5, SBV_7 \}$. La combinaison C_{up} minimale et suffisante est composée du doublet $\{ SBV_1, SBV_5 \}$. Ni l'un ni l'autre n'a déjà été classé. D_3 doit donc être remplacé par SBV_1 et SBV_5 ;
- ❖ D_4 : quatre SBV_j exercent une responsabilité partielle (GR_5 doit donc être appliqué). Ils forment un $S_{RP} = \{ SBV_2, SBV_3, SBV_4, SBV_6 \}$. C_{up} est formée par le triplet $\{ SBV_2, SBV_3, SBV_4 \}$. SBV_2 possède le rang le plus élevé, mais a déjà été classé (cf. D_1). Il est donc retiré de C_{up} qui devient composé du doublet $\{ SBV_3, SBV_4 \}$. $C_{up} \neq \{ \phi \}$, donc D_4 est remplacé par SBV_3 et SBV_4 ;

- ❖ D_5 : SBV_2 est le seul sous-bassin d'apport à exercer une responsabilité. Celle-ci est totale (GR_3 et GR_4 doivent être appliqués). Or, SBV_2 a déjà été classé (cf. D_1). D_5 est donc retiré du classement ;
- ❖ Les sous-bassins SBV_6 et SBV_7 exercent tous une responsabilité, mais n'ont jamais été classés. Ils seront donc placés à la fin du nouveau classement par ordre décroissant.

Tous les D_i et SBV_j sont à présent traités. Le nouveau classement peut par conséquent être bâti. Il prendra la forme donnée par le tableau 30.

Classement initial des débordements	Nouveau classement (localisation des interventions)	Rang
D_1	SBV_2	1
D_2	D_2	2
D_3	SBV_1	3
D_4	SBV_5	4
D_5	SBV_3	5
	SBV_4	6
	SBV_6	7
	SBV_7	8

Tableau 30 : exemple de nouveau classement issu du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements.

3. Couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes –

surverses de déversoirs d'orages

3.1. Analogies avec le couplage précédent

Le fait que nous abordions le cas d'un couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - surverses de déversoirs d'orages consécutivement après avoir exposé en détail la démarche d'élaboration de priorités d'intervention du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - débordements, n'est pas un hasard.

En effet, il faut noter que d'une part, ces deux couplages sont caractérisés par la même relation (cf. figures 67 et 68 chapitre III,-I, § 2.1. et 2.2.) et que d'autre part, dans chacun de ces deux cas les infiltrations ne constituent pas un dysfonctionnement prioritaire vis à vis des interventions. Elles ne sont traitées que si elles exercent une responsabilité reconnue soit sur le problème des débordements, soit sur celui des surverses.

Il est par conséquent possible de chercher à appliquer les principes méthodologiques de définition des priorités d'intervention développés précédemment (cf. chapitre III,-II) pour la construction de celles relatives au couplage étudié.

3.2. Exposé des principes à appliquer

Dans le cadre du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - surverses de déversoirs d'orages, **le premier principe consistera à recourir à chaque classement initialement effectué.** Ils figurent dans le tableau 31.

Surverses de déversoirs	Sous-bassins d'apport
DO ₁ *	SBV ₁ *
DO ₂	SBV ₂
...	...
DO _j	SBV _j
...	...
DO _m	SBV _n

* les indices rendent compte des priorités

Tableau 31 : classements de base pour l'élaboration de priorités d'intervention dans le cas du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – surverses de déversoirs d'orages.

Le second principe consistera à rechercher si les présomptions de responsabilité accordées aux sous-bassins d'apport sur le dysfonctionnement des déversoirs d'orages sont fondées.

Si tel est le cas, il s'agira alors de connaître les SBV_j effectivement responsables et de définir le type de responsabilité incombant à chacun d'entre eux. Une responsabilité pourra être :

- ❖ *Totale* : une intervention sur un seul SBV_j sera suffisante pour éviter les surverses d'un ou plusieurs déversoirs ;
- ❖ *Partielle* : une intervention sur un seul SBV_j ne sera pas suffisante pour éviter les surverses d'un ou plusieurs déversoirs. Dans ce cas, l'ensemble des sous-bassins nécessaires à la résolution du dysfonctionnement du ou des déversoirs devra être déterminée. Puis, une combinaison minimale et suffisante de SBV_j sera recherchée.

Une responsabilité dite nulle qualifiera un ou plusieurs sous-bassins d'apport parasites n'ayant aucune influence sur l'apparition de surverses.

Enfin, le **troisième principe consistera à remplacer dans leur classement initial, certains déversoirs d'orages DO_i par des sous-bassins SBV_j** extraits du tableau 31 par l'application de règles bien établies.

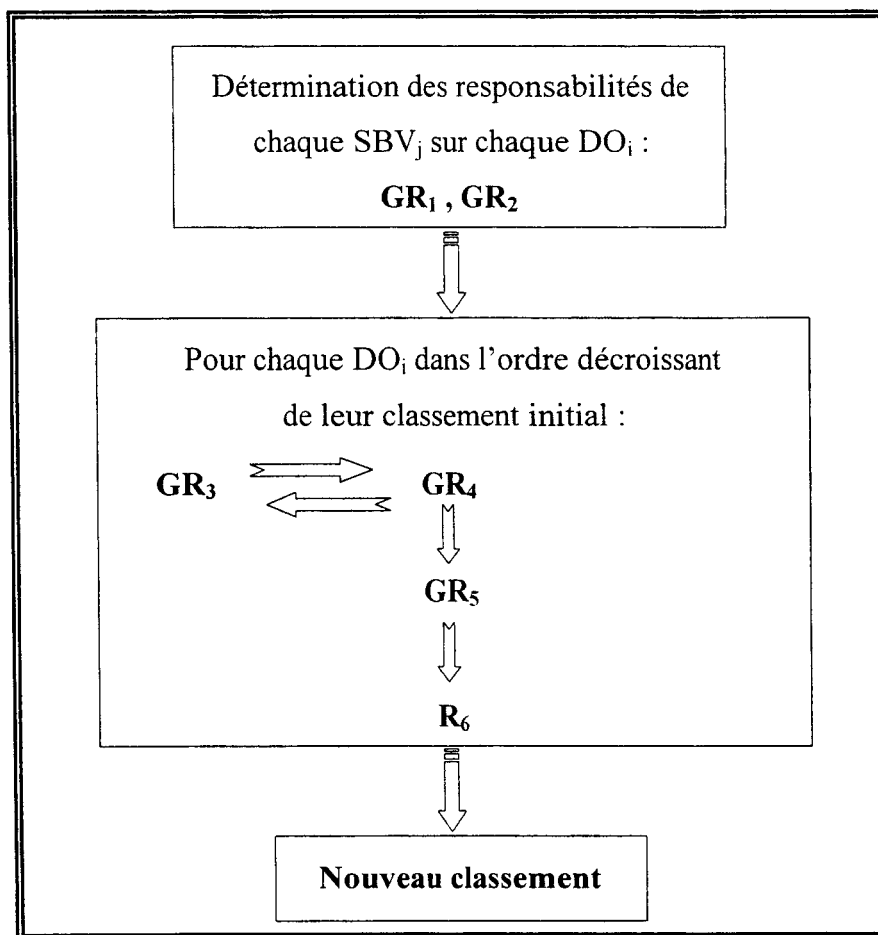


Figure 72 : synoptique d'élaboration des priorités d'intervention dans le cas du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – surverses de déversoirs d'orages.

3.3. Elaboration des priorités d'intervention

En raison des analogies présentées, le raisonnement mené ici sera le même que celui conduit pour le couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements. Le processus de construction des priorités d'intervention consistera par conséquent à adopter les règles définies par GR₁, GR₂, GR₃, GR₄, GR₅ et R₆ (cf. chapitre III,-II § 2.3., 2.4. et 2.5.) à notre cas d'étude.

Nous avons donc choisi de ne pas redévelopper, mais simplement d'exposer la démarche de construction du nouveau classement sous la forme du synoptique présenté par la figure 72.

4. Couplage débordements – surverses de déversoirs d’orages

4.1. Problème posé

Considérons un réseau d’assainissement soumis à plusieurs débordements et à un mauvais fonctionnement de déversoirs d’orages. Le couplage de ces deux dysfonctionnements met en jeu deux phénomènes ayant leur propre fréquence d’occurrence.

De plus, compte-tenu de l’hypothèse formulée (cf. chapitre III,-II §1.), le dysfonctionnement de déversoir est toujours considéré comme prioritaire. En appliquant la démarche de hiérarchisation que nous avons développée pour les couplages, le nouveau classement sera par conséquent élaboré en remplaçant certains DO_i par certains D_j dans le classement initial des déversoirs dès lors que la nature de la responsabilité de chaque débordement sur chaque surverse sera définie (totale, partielle ou nulle).

Or, toute responsabilité considérée est basée sur la relation “ $D_j \Rightarrow DO_i$ ”, qui, dans le couplage étudié peut évoluer : **un problème de stabilité et de pertinence du nouveau classement peut alors survenir.**

Supposons qu’à la configuration de dysfonctionnements sur le réseau présentée par la figure 73, corresponde le nouveau classement donné par le tableau 31.

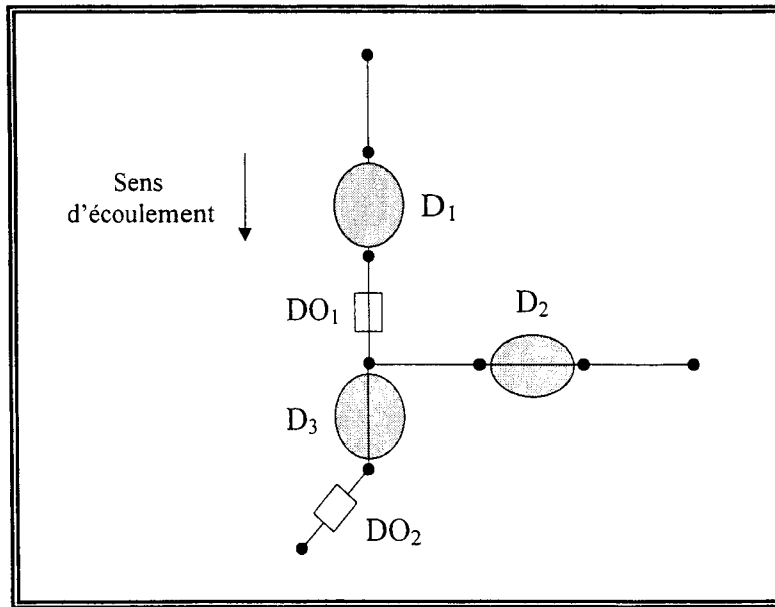


Figure 73 : configuration de dysfonctionnements sur un réseau illustrant le problème posé par le couplage débordements – surverses de déversoirs d’orages.

Nouveau Classement	Rang
DO ₁	1
D ₃	2
DO ₂	3
D ₁	4
D ₂	5

Tableau 31 : exemple de nouveau classement illustrant le problème posé par le couplage débordements – surverses de déversoirs d’orages.

Si pour résoudre DO₁, l’intervention consiste à augmenter la hauteur de seuil, cela correspondrait alors à diminuer sa fréquence de surverse et donc à accroître les flux transités à l’aval du réseau. En conséquence, DO₁ pourrait exercer une influence sur D₃. Cette influence ne correspond pas au type de relation envisagé pour l’étude des responsabilités qui s’en trouvent inversées (DO_i ⇒ D_j).

Si pour résoudre D_3 , l'intervention consiste à libérer les flux, alors la relation " $D_3 \Rightarrow DO_2$ " pourrait être renforcée et se traduire par une modification du rang de DO_2 dans le nouveau classement après sa construction, du fait d'un accroissement de sa fréquence de surverse. DO_2 pourrait alors devenir prioritaire sur DO_1 .

Ces deux situations (la figure 73 pourrait en fournir d'autres), montrent que **le problème de stabilité et de pertinence du nouveau classement est fortement lié à la nature de l'intervention** qui sera menée pour chaque dysfonctionnement.

Ceci nous conduit par conséquent à dire que **les solutions de conception chargées de résoudre les problèmes de débordements et de surverses non voulues devront être connues avant de mettre en œuvre une démarche d'élaboration des priorités d'intervention.**

4.2. Démarche de hiérarchisation proposée

Soit, pour chaque dysfonctionnement, les classement initiaux donnés par le tableau 32.

Surverses de déversoirs	Débordements
DO_1^*	D_1^*
DO_2	D_2
...	...
DO_j	D_j
...	...
DO_m	D_n

* les indices rendent compte des priorités

Tableau 32 : classements de base pour l'élaboration de priorités d'intervention dans le cas du couplage débordements – surverses de déversoirs d'orages.

Chaque intervention sur un dysfonctionnement étant susceptible de modifier la hiérarchisation définie par le nouveau classement, mais ne la connaissant pas a priori, nous proposons d'adopter la démarche suivante :

- ❖ Déterminer les solutions de conception relatives aux débordements et aux surverses de déversoirs d'orages ;

- ❖ Appliquer les règles définies par la méthodologie élaborée au couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes – débordements :
 - définir le type de responsabilité de chaque D_j sur chaque DO_i (GR_1 et GR_2) ;
 - remplacer dans le classement initial des déversoirs, les DO_i par les D_j dont la responsabilité est reconnue et caractérisée (GR_4 et GR_5) ;
 - ajouter en fin de classement tous les D_j non déjà classés ou sans responsabilité (R_6) par ordre décroissant du rang qu'ils occupaient dans leur classement initial.

Remarque : la recherche de solutions de conception avant la mise en œuvre de la démarche de hiérarchisation ne change pas la priorité accordée au problème des surverses. C'est pourquoi, la relation " $D_j \Rightarrow DO_i$ " constituera encore le principe de base du nouveau classement. Sa construction impliquera donc bien la modification du classement initial des DO_i par les D_j .

Sous forme synthétisée, la démarche peut être illustrée par le synoptique de la figure 74.

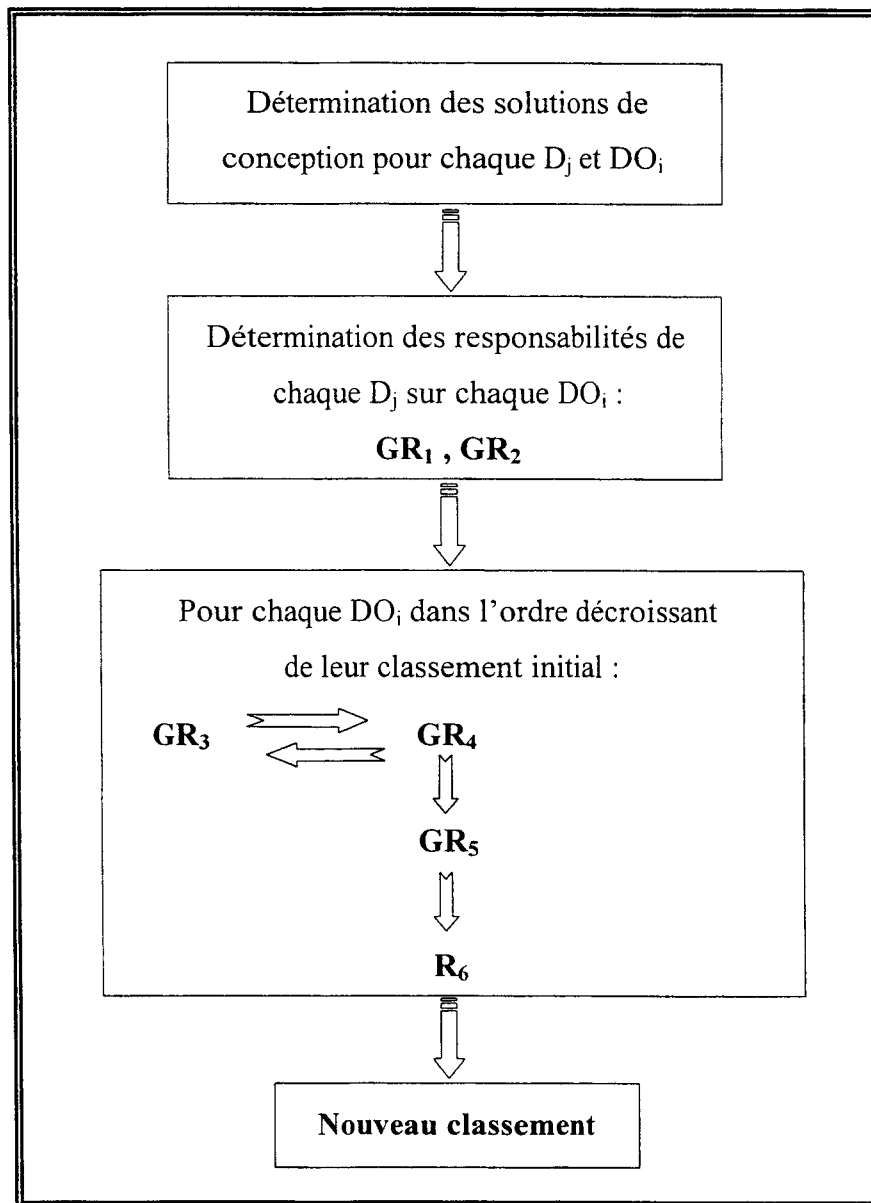


Figure 74 : synoptique d'élaboration des priorités d'intervention dans le cas du couplage débordements – surverses de déversoirs d'orages.

5. Couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - débordements - surverses

5.1. Rappels

Par hypothèse, nous avons formulé un ordre de traitement des dysfonctionnements lors de l'élaboration de priorités d'intervention les mettant en jeu :

- 1- le problème de surverses de déversoirs d'orages ;
- 2- le problème de débordements ;
- 3- le problème d'infiltrations d'eaux parasites permanentes.

Les surverses constituent le dysfonctionnement à traiter en premier lieu, en raison de la préoccupation majeure accordée à la préservation du milieu naturel. Puis, viennent les débordements, vis à vis de l'impact qu'ils sont susceptibles d'engendrer en milieu urbain. Enfin, nous trouvons les eaux parasites permanentes, dont la présence est souvent négligée jusqu'au moment où leurs conséquences deviennent préjudiciables.

De plus, lors de leurs différents couplages, ces dysfonctionnements établissent des relations que nous avons présentées et décrites (cf. chapitre III,-I, § 2.).

En regroupant les ordres de traitement et ces relations, nous obtenons une synthèse caractéristique du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - débordements – surverses illustrée par la figure 75.

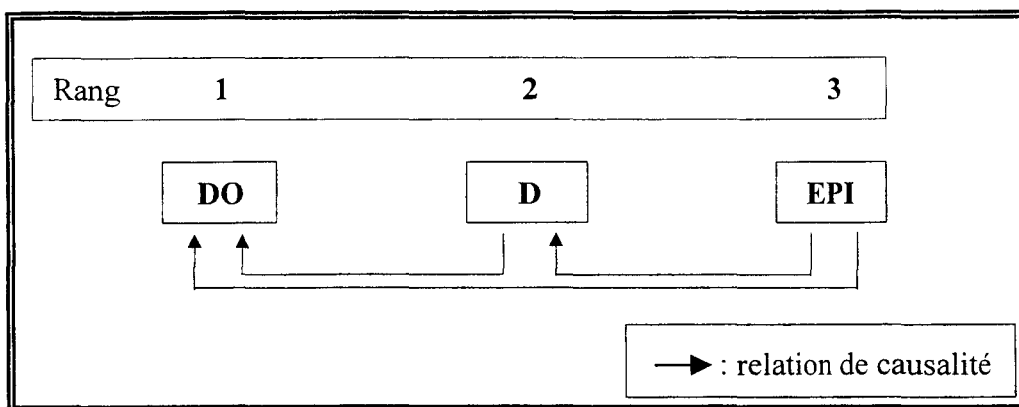


Figure 75 : ordres de traitement et relations entre les trois dysfonctionnements dans le cas de leur couplage.

Dans ce qui suit, nous allons tirer de cette synthèse les étapes de construction du classement.

5.2. Elaboration des priorités d'intervention

Soient les trois classements initiaux correspondants à chaque dysfonctionnement considéré indépendamment (tableau 33).

Surverses de déversoirs	Débordements	Sous-bassins d'apport
DO ₁ *	D ₁ *	SBV ₁ *
DO ₂	D ₂	SBV ₂
...
DO _i	D _j	SBV _k
...
DO _m	D _n	SBV _p

* les indices rendent compte des priorités

Tableau 33 : classements de base pour l'élaboration de priorités d'intervention dans le cas du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - débordements - surverses.

La démarche que nous proposons s'appuie sur les processus de classement relatifs aux couplages {infiltrations d'eaux parasites permanentes et débordements}, {infiltrations d'eaux parasites permanentes et surverses} et {débordements et surverses}.

Selon la figure 75, les étapes seront les suivantes :

- ❖ *Etape 1* : construire le classement relatif au couplage {débordements et surverses} en recourant au synoptique de la figure 74 ;
- ❖ *Etape 2* : appliquer le synoptique du couplage {infiltrations d'eaux parasites permanentes et surverses} (figure 72) et celui du couplage {infiltrations d'eaux parasites permanentes et débordements} (figure 71) sans procéder aux classements. Cette étape permettra de connaître pour chaque couplage, quels sont les DO_i et D_j à remplacer par des SBV_k ;
- ❖ *Etape 3* : remplacer dans le classement défini à l'étape 1 les DO_i et D_j communs à ceux de l'étape 2 par les SBV_k de cette même étape en appliquant le processus d'élimination des sous-bassins déjà classés ;
- ❖ *Etape 4* : ajouter à la fin du classement établi à l'étape 1 et dans l'ordre décroissant de leur rang initial l'ensemble des SBV_k ayant une responsabilité nulle ou ne remplaçant pas de DO_i et D_j à l'étape 2.

L'étape 4 constituera l'étape ultime de construction du classement final relatif au couplage des trois dysfonctionnements.

La démarche proposée est résumée par le synoptique de la figure 76.

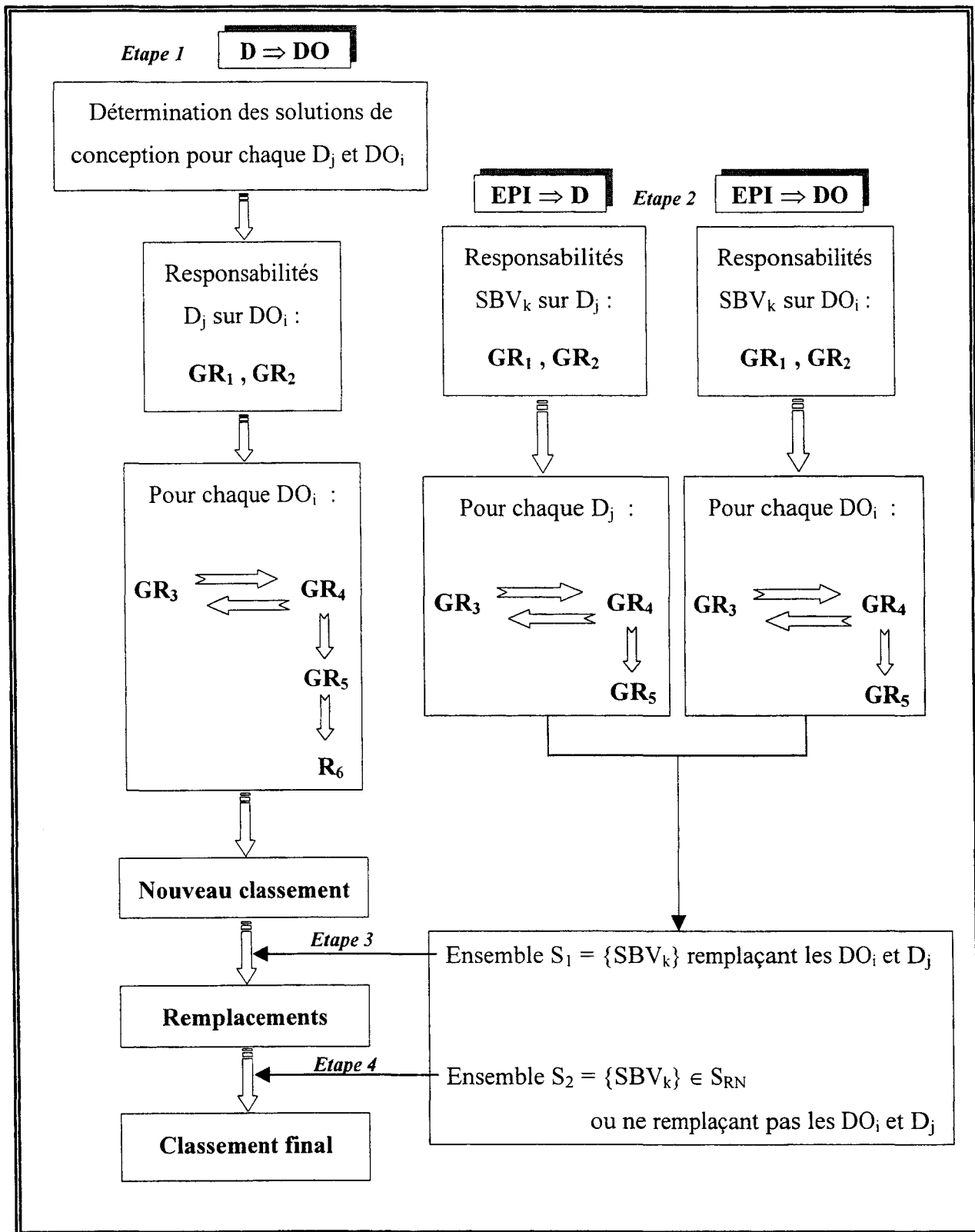


Figure 76 : synoptique d'élaboration des priorités d'intervention dans le cas du couplage infiltrations d'eaux parasites permanentes - débordements – surverses de déversoirs d'orages.

Conclusions du chapitre III

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'occurrence couplée de dysfonctionnements sur un réseau d'assainissement unitaire. Trois dysfonctionnements ont été considérés : des débordements (1), des infiltrations d'eaux parasites permanentes (2), des surverses de déversoirs d'orages (3) et quatre couplages ont été étudiés : {1, 2}, {2, 3}, {1, 3} et {1, 2, 3}.

Face à l'un de ces quatre scénarii, la prise de décision en matière d'interventions à programmer est souvent rendue difficile. En effet, pour un couplage donné, la définition d'une stratégie d'action efficace et pérenne doit à la fois connaître les relations existantes entre les divers dysfonctionnements, choisir quel sera celui à traiter en priorité, ainsi que connaître les conséquences de la résolution d'un dysfonctionnement sur le ou les autres afin d'élaborer la stratégie de façon optimale.

Dans le but d'aider à la prise de décision, nous avons construit une méthodologie de hiérarchisation de priorités d'intervention tenant compte de ces difficultés. Elle conduit à la définition d'un classement des secteurs des dysfonctionnements mis en jeu dans chaque couplage, selon une démarche structurée par des règles que nous avons formalisées.

Quel que soit le couplage étudié, l'approche développée pour la construction du classement est la même. En revanche, ce qui diffère d'un couplage à un autre, réside dans le choix du dysfonctionnement à traiter en premier lieu. Nous avons fait l'hypothèse de d'abord traiter les surverses de déversoirs d'orages, puis les débordements et enfin les infiltrations. Ceci signifie donc que, si un décideur ne définit pas le même ordre, une redéfinition partielle des algorithmes de classement sera alors nécessaire et plus particulièrement celui relatif au couplage des trois dysfonctionnements.

Par ailleurs, le cas du couplage débordements – surverses soulève un point important. En ce qui concerne la construction du classement, le champ de la conception est pour la première fois requis. Notre démarche d'aide à la décision fait explicitement appel à la nature des interventions envisagées pour la résolution de chaque dysfonctionnement. C'est un point essentiel, car il sous-tend qu'il ne sera pas possible de hiérarchiser les priorités d'intervention tant que le contenu des solutions à apporter ne sera pas défini. Dans le cas contraire, le décideur serait confronté à une instabilité du classement.

Conclusions de la deuxième partie : bilan et perspectives

Quelle que soit leur taille, les collectivités locales sont de plus en plus confrontées au mauvais fonctionnement de leur système d'assainissement, en raison de son vieillissement, de l'évolution des besoins et des sollicitations auxquelles il est soumis.

Dans ce cadre, le diagnostic est un moyen privilégié pour recenser les différentes anomalies, déterminer leur(s) origine(s) et apporter des solutions pour les résoudre ou pour prévenir d'une éventuelle aggravation d'un état donné.

En pratique, les études de diagnostic (sous leur forme curative) doivent faire face à des problèmes très divers (surverses de déversoirs d'orages, difficultés d'exploitation de la station d'épuration, ...) et d'une complexité parfois élevée. Mais presque systématiquement, les bureaux d'études ne se focalisent que sur l'aspect structurel de ces problèmes. L'aspect fonctionnel et les interactions entre les dysfonctionnements n'apparaissent que rarement dans le contenu des études.

Les conséquences sont alors celles de solutions non nécessairement adaptées aux besoins d'une collectivité, ainsi que la redondance de certains travaux (par exemple, le remplacement de collecteurs fissurés laissant pénétrer des eaux parasites et celui de collecteurs subissant des mises en charge dont l'origine se trouve dans l'intrusion de ces eaux parasites), pouvant parfois même être à l'origine de nouveaux dysfonctionnements.

Or, les collectivités de faible taille auxquelles nous nous intéressons abordent toujours les problèmes survenant sur leur réseau par la notion de service rendu, qu'elles jugent à travers son fonctionnement, et non pas à travers leur état (de dégradation) structurel qu'elles ignorent le plus souvent. Il y a donc un décalage entre le point de vue d'un bureau d'études et celui d'un décideur,

qu'il s'agit de corriger, afin qu'une étude de diagnostic puisse fournir à ce type de collectivité des solutions en adéquation avec leur approche et efficaces dans le temps.

Nous avons donc engagé une réflexion dans ce sens. Considérant le réseau sous un angle purement fonctionnel, notre réflexion a visé à développer une approche méthodologique d'optimisation de la programmation des interventions à mettre en œuvre. Notre approche poursuit deux objectifs : planifier en priorité les actions qui agiront sur l'origine d'un ou plusieurs dysfonctionnements et minimiser la somme totale des interventions sur le réseau, sans définition de leur contenu.

A partir de trois dysfonctionnements (des débordements {1}, des surverses de déversoirs d'orages {2} et des infiltrations d'eaux parasites permanentes {3}) tirés de trois niveaux de service (la protection contre les inondations, la protection du milieu naturel et l'optimisation du fonctionnement de la station d'épuration), notre approche a consisté à définir des priorités d'intervention sous la forme d'un classement des secteurs d'un réseau soumis à leurs manifestations.

Dans un premier temps, nous avons établi les principes de classement pour chacun des dysfonctionnements considérés indépendants les uns des autres. Ces principes permettent de comprendre comment hiérarchiser les secteurs par évaluation de leur importance relative.

Dans un second temps, afin de tenir compte des interactions potentielles entre les dysfonctionnements, nous avons définis quatre couplages : {1,2}, {1,3}, {2,3} et {1,2,3}. La préservation du milieu naturel figurant au centre des préoccupations d'un décideur et de la réglementation actuelle, il nous a alors paru nécessaire d'en tenir compte de la même façon dans l'élaboration de priorités relatives aux couplages. C'est pourquoi, nous avons préalablement établi un ordre de traitement des dysfonctionnements : d'abord les surverses, ensuite les débordements puisqu'ils correspondent à un défaut de service préjudiciable pour l'environnement urbain et enfin les apports parasites, car ils constituent souvent le dysfonctionnement le moins remarqué pour une petite collectivité.

Cet ordre de traitement étant défini, le classement des priorités d'intervention a été ensuite

effectué par la mise en œuvre d'algorithmes. Ceux-ci appliquent un ensemble de bases de règles dont le contenu est propre à chaque couplage étudié et à chaque relation de dépendance développée entre les dysfonctionnements considérés.

D'un point de vue plus général, notre méthodologie met en exergue trois points essentiels :

- ❖ Premièrement, nous avons initialement limité la définition initiale de nos objectifs d'aide à la décision pour l'élaboration d'une stratégie d'intervention à la première étape du modèle canonique de décision – résolution (cf. chapitre I,-I § 6.2.). Or, dans le cas du couplage entre débordements et surverses, il est en fait nécessaire d'intégrer l'étape de conception (seconde étape). En effet, les solutions relatives à chaque dysfonctionnement doivent être déterminées avant de procéder au classement des priorités ;
- ❖ Deuxièmement, pour chaque couplage, la responsabilité d'un dysfonctionnement sur un autre est systématiquement supposée, mais jamais admise d'emblée. Chaque raisonnement cherche toujours à évaluer si cette responsabilité existe réellement en recourant aux simulations de fonctionnement hydraulique du réseau. Si elle n'est pas démontrée, alors chaque dysfonctionnement est traité séparément pour l'élaboration des priorités d'intervention ;
- ❖ Troisièmement, l'ensemble de l'outil méthodologique n'est pas monolithique. Il n'est donc pas remis en cause en cas de non existence d'un dysfonctionnement pour une situation donnée, car il suffit alors de ne pas étudier le ou les couplages le faisant intervenir.

Enfin, l'approche d'optimisation de la programmation des interventions par définition de priorités étant formalisée, la suite immédiate du travail consistera à tester les algorithmes de classement sur des cas réels. Ceux-ci devront être issus de petites collectivités dont le système d'assainissement est soumis à un défaut de service suivant les trois niveaux que nous avons considérés.

L'application pratique de l'outil méthodologique permettra :

- ❖ De tester la validité de la démarche de classement initial des secteurs du réseau soumis à chaque dysfonctionnement. En d'autres termes, il s'agira de savoir si le jugement de l'importance relative des secteurs de dysfonctionnement par l'emploi des paramètres définis (notes pour les débordements, volumes pour les surverses, débits d'apports et linéaires de tronçons pour les eaux parasites) est aisément réalisable ;
- ❖ D'évaluer la fiabilité des données utilisées pour la construction des classements, ainsi que celle de leur traitement (modélisations et méthodes de calage) ;
- ❖ D'élaborer un "pré-cahier des charges" en ce qui concerne les données à acquérir, car souvent une étude de diagnostic se caractérise par un volume d'informations tel qu'il est parfois difficile d'en distinguer celles qui sont essentielles à la conduite de l'étude ;
- ❖ De rechercher à ce titre quels sont les problèmes pratiques posés aux petites collectivités pour acquérir ou estimer ces données ;
- ❖ De corriger, compléter ou simplifier le cas échéant certaines bases de règles et/ou certains algorithmes.

Conclusion générale



Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la problématique de décision en assainissement. Notre cadre d'étude a été constitué de collectivités de faible taille et s'est positionné à l'intérieur de deux problématiques (P_i) : le choix de solutions d'assainissement des eaux usées à partir de dispositifs autonomes non conformes aux exigences de qualité des rejets (P_1) et le choix des interventions à porter sur un réseau unitaire existant en situation de mauvais fonctionnement (P_2).

Le type de collectivités que nous avons considéré est presque toujours dépourvu d'une structure technique. Cela engendre, d'une part le fait que la recherche de solutions est souvent confiée à un bureau d'étude, et d'autre part le fait que le décideur doit être capable de juger seul les conclusions fournies par l'étude. Or, un bureau d'étude se fonde toujours sur la même approche quelle que soit la taille de la collectivité lorsqu'il s'agit de résoudre une problématique d'assainissement. Il tente plus d'apporter des solutions que des propositions. Dans ce contexte, la problématique de décision se traduit par une difficulté de jugement et de choix de la solution à mettre en œuvre par la collectivité. En d'autres termes, il manque une aide à la décision qu'une étude d'assainissement ne fournit pas.

Cette aide est nécessaire pour deux raisons majeures :

- ❖ D'abord, parce que le décideur n'ayant pas toujours les compétences requises pour engager une discussion contradictoire avec le bureau d'étude sur la pertinence des solutions, il devient alors passif face au choix ;
- ❖ Ensuite , parce que les solutions apportées apparaissent souvent trop standardisées vis à vis du contexte local, parce qu'elles n'intègrent pas tous les aspect de la problématique traitée,

ou bien parce que la complexité de la situation pousse à construire une démarche de résolution simplifiée qui génère des solutions inadéquates.

Ainsi, la problématique de décision n'est pas dissociable du processus de résolution de la problématique d'assainissement. La réflexion que nous avons engagée s'est donc dirigée vers l'analyse du processus actuellement utilisé par les bureaux d'études, afin de bâtir une démarche alternative intégrant explicitement la notion d'aide au choix sous forme d'une participation active du décideur à la construction des solutions.

Pour chaque problématique (P_1), compte-tenu de ses caractéristiques, nous avons recherché quelle démarche méthodologique de résolution il est possible d'élaborer. Mais toutes deux traitant aussi d'une problématique générale de mise en conformité de dispositifs d'assainissement, nous avons également cherché à examiner la potentialité d'un outil commun.

Sur le plan scientifique, chaque étude d'aide au choix de solutions a bénéficié de la même approche :

- ❖ Premièrement, nous avons considéré les **deux problématiques (P_1) et (P_2)** comme **complexes** par opposition à compliquées. Leur résolution n'est pas directement envisageable par une démarche analytique (celle des bureaux d'études) ;
- ❖ Deuxièmement, **chaque support d'étude a été représenté par un système** (au sens du paradigme systémique), qui est :
 - *complexe*, en raison de sa composition et des interactions potentielles entre ses éléments ;
 - *ouvert*, car il a des relations avec son environnement extérieur ;
 - *décrit par son fonctionnement* plutôt que par sa structure ;
 - *organisé* suivant les quatre premiers niveaux du modèle archétype développé par Le Moigne (cf. figure 22, p.67). L'organisation du système traduit sa capacité à s'informer sur ses changements d'état.

Le tableau 34 indique à quel aspect de chaque système les quatre concepts précités sont adressés.

Concept	Support d'étude (système)	
	P ₁ (zone à équiper)	P ₂ (réseau unitaire)
<i>Complexité</i> ⇒ éléments :	les sous-zones	Les tronçons du réseau et les déversoirs d'orages
<i>Ouverture</i> ⇒ environnement :	le réseau d'assainissement et la STEP existants	le milieu urbain (superficiel et sous-sol)
<i>Description</i> ⇒ fonctionnement :	de l'ensemble des sous-zones à travers les interactions entre les solutions d'assainissement projetées	hydraulique du réseau et des déversoirs d'orages à travers les interactions entre les dysfonctionnements étudiés
<i>Organisation</i> ⇒ modèle :	choix des solutions sur les sous-zones	ordonnancement des interventions

Tableau 34 : contenu des quatre concepts du paradigme systémique appliqués au support d'étude de chaque problématique.

- ❖ Troisièmement, le **processus de résolution** des deux problématiques a été **modélisé par le modèle canonique de Décision – Résolution** développé par Simon (cf. figure 23 p.70). Il se fonde sur trois séquences liées par des boucles rétro-décisionnelles :
 - *la compréhension* de la situation réelle *et la "problématisation"* ;
 - *la conception et l'évaluation* des solutions possibles ;
 - *le choix* de la solution à retenir *et la décision* qui en ressort.

Les interactions entre les différents éléments d'un système constituent une notion clé lorsqu'une problématique est abordée sous un angle complexe. L'analyse du contexte de chaque problématique d'étude montre que ces **interactions** sont :

- ❖ soit **créés par la démarche de traitement de (P₁)** . Appliquées entre les sous-zones, elles surviennent par influence d'une solution d'assainissement collectif sur un autre mode (dispositif individuel ou autonome regroupé). Elles sont donc a priori correctement appréhendées ;
- ❖ soit **imposées dans le cas de (P₂)**. En effet, elles s'appliquent aux dysfonctionnements étudiés (débordements, surverses de déversoirs d'orages, apports parasites permanents) pour lesquels nous avons supposé que les manifestations de l'un d'entre eux peuvent être générées par celles d'un ou plusieurs autres dysfonctionnements. Elles sont donc potentiellement moins bien appréhendées si le nombre de manifestations et de secteurs du réseau les subissant est élevé.

Le processus de résolution des problématiques par le modèle canonique de décision – résolution met en exergue plusieurs points :

1) La dimension et le contenu de l'ensemble de décision (i.e. les solutions du problème) sont différents selon la problématique considérée :

- ❖ Dans le cas de (P₁), à partir d'un ensemble de solutions d'assainissement disponible (autonome, autonome regroupé et collectif), il s'agit de déterminer celle, qui, sur chaque sous-zone, satisfera au mieux différents objectifs ;
- ❖ Dans le cas de (P₂), nous cherchons à hiérarchiser les interventions sur un réseau en fonction de la sévérité des dysfonctionnements. Leur contenu (i.e. les solutions à mettre en œuvre pour pallier ces dysfonctionnements) n'est pas recherché, car il n'est pas encore déterminé à notre niveau d'étude. En effet, il dépend de l'état de dégradation structurel des éléments du réseau (tronçons et déversoirs), que nous ne connaissons pas puisqu'il ne participe pas à la caractérisation d'un système complexe (cf. 3^{ème} concept du paradigme systémique).

Ainsi, au départ du processus **l'ensemble de décision de (P₁) est réduit** (de dimension 3) **et connu**, alors que **celui de (P₂) a une dimension a priori inconnue**, car il dépend du type de dégradation structurelle et de la méthode de mise en œuvre des solutions.

2) *La démarche générale du processus de résolution* consiste d'abord à restreindre l'ensemble de décision à un sous-ensemble contenant les solutions possibles, puis à les évaluer pour aboutir au choix de celle à appliquer. Nécessitant donc la connaissance de ces solutions, le processus ne peut pas être appliqué en totalité à (P₂). En d'autres termes, **la résolution d'une problématique de décision en assainissement selon notre approche, ne peut pas être achevée si l'ensemble de décision n'est pas connu dès le départ.**

3) *Telle qu'elle a été formulée, chaque problématique ne bénéficie pas du même type de raisonnement pour sa résolution* (qu'elle soit achevée ou non), malgré l'utilisation commune de règles expertes :

- ❖ **(P₁) est une problématique d'aide au choix de solutions d'assainissement.** Le **raisonnement** utilisé a été :
 - **d'abord heuristique**, pour la recherche des solutions techniquement possibles relatives à chaque sous-zone ;
 - **puis**, il a recouru à un **outil d'analyse multicritère** (ELECTRE II) appliqué sous forme itérative pour l'évaluation des solutions potentielles et le choix de celle à retenir sur chaque sous-zone ;

- ❖ **(P₂) est une problématique d'aide à l'optimisation d'interventions** sur un réseau en mauvais état de fonctionnement. Le **raisonnement** a été **entièrement algorithmique et monocritère.**

4) *L'aide à la décision apportée par chaque démarche n'a pas la même expression :*

- ❖ La démarche multicritère attribuée à (P₁) conduit à un surclassement des solutions d'assainissement sur l'ensemble des critères en acceptant les incomparabilités. **La procédure de surclassement nécessite l'intervention du décideur tout au long de son**

déroulement et le **choix de la solution** à retenir sur chaque sous-zone est effectué par lui-même **en tenant compte de ses préférences** ;

- ❖ La démarche monocritère attribuée à (P_2) conduit à un rangement des interventions (classement simple) dans le sens décroissant de leur priorité. **le décideur n'intervient jamais pendant le processus de classement**. Il ne peut intervenir qu'au début en réfutant l'ordre de traitement des dysfonctionnements (cas des couplages) et à la fin en n'acceptant pas les classements établis **Les résultats sont fournis indépendamment de ses préférences**.

5) *Selon la démarche considérée, les interactions n'ont pas la même action :*

- ❖ Dans le cas de (P_1), elles agissent sur **la stabilité du surclassement** des solutions potentielles. Leur **action** se situe **alors sur le choix de chaque solution** à retenir qui doit être itéré. La **procédure d'analyse multicritère** doit donc être appliquée sous forme **itérative** jusqu'à ce que le choix soit identique au précédent pour être considéré pertinent ;
- ❖ Dans le cas de (P_2), les interactions agissent sur **les algorithmes de classement en modifiant les ordres de priorité**. Mais elles ne génèrent **pas d'instabilité**. Le processus de rangement n'est pas itératif, car leur action est appliquée avant de le déclencher.

L'ensemble des points que nous venons d'exposer ne concourent pas à dégager des bases communes permettant d'envisager un outil unique d'aide à la décision applicable à une problématique de mise en conformité de systèmes d'assainissement.

En revanche, la formalisation d'un problème par une approche complexe trouve une application légitime en Hydrologie Urbaine. D'abord, ce champ scientifique travaille sur un objet (les infrastructures d'assainissement) dont le fonctionnement n'est pas simple. Ensuite, il est implanté au sein d'un environnement humain, urbain (le sous-sol et le milieu superficiel) et naturel, qui sont tous évolutifs et avec lesquels il entretient des relations d'interaction fortes et multiples.

Plus largement, cette approche peut-elle faire bénéficier d'autres domaines de sa richesse ? Nous sommes convaincu que oui, dans la mesure où ceux-ci impliquent un point de vue global du problème traité sur le plan de son fonctionnement. Nous pensons ici aux problématiques d'aménagement et plus généralement à celles du génie urbain.

Par contre, la résolution d'un problème d'aide à la décision en Hydrologie Urbaine par une approche "universelle" et complètement automatisée ne semble pas pouvoir être réalisée. Parce que l'homme demeure au centre du problème, les méthodes ne sont construites qu'autour de lui et ne peuvent pas le supplanter totalement (son intervention dans le processus est toujours nécessaire). Dans ce contexte, chaque cas est particulier et doit faire appel aux outils les plus adaptés.

Sur le plan des perspectives, les méthodes que nous avons élaborées ne constituent pas des outils opérationnels. Elles nécessitent par conséquent un besoin de validation externe sous la forme de retours d'expérience qui permettraient de les finaliser.

Par ailleurs, l'introduction de l'aide à la décision et de la systémique dans une problématique, permet de dégager deux axes de travail qu'il paraît essentiel d'approfondir :

- ❖ Premièrement, le lien entre la formulation du problème modélisé par un système et sa résolution par l'analyse multicritère nécessite un accompagnement impératif de l'utilisateur de la démarche, car elle implique d'acquérir un état d'esprit particulier. Il y a là un besoin de formation pédagogique à développer ;
- ❖ Deuxièmement, l'application de l'outil d'analyse multicritère a posé certaines difficultés, notamment en ce qui concerne la construction des critères et l'évaluation des solutions. En fait, ces difficultés traduisent celle du passage du concept à son utilisation. Il semble que des éléments généraux de méthode manquent. Nous ne les avons pas trouvés dans les ouvrages de référence consultés.

Enfin, nous avons souhaité aborder une perspective qui dépasse notre cadre d'étude, mais qui néanmoins apparaît comme fondamentale. Le contexte de travail d'un ingénieur scientifique l'amène aujourd'hui à être presque systématiquement confronté à des problématiques de développement durable. Celles-ci concernent souvent la gestion de systèmes qui intègrent des enjeux environnementaux, économiques, ou encore géographiques. La formation mécanicienne de l'ingénieur n'est alors plus suffisante pour développer un point de vue global par rapport à tous ces aspects et pour apporter des solutions efficaces à long terme. L'introduction des notions de complexité et d'interaction dans la formation d'un ingénieur nous semble par conséquent essentielle pour une formalisation des problèmes en correspondance avec l'ensemble de ces enjeux.

BIBLIOGRAPHIE

AEAP – *Guide d'assainissement pour les communes rurales* – Agence de l'Eau Artois Picardie, 1999, 89 p.

Aflak A. – *Elaboration d'un cadre méthodologique pour l'aide à la décision en matière de gestion de la maintenance du réseau technique urbain d'assainissement* – thèse de doctorat, INSA Lyon, 1994, 300 p.

Amphoux N. – *Guide juridique de l'assainissement* – Ed. STU, 1993, 228 p.

Belton V., Pictet J. – *A framework for Group Decision Using a MCDA Model : Sharing, Aggregating or Comparing Individual Information ?* – Revue des systèmes de décision, vol. 6, n°3, 1997, p. 283-303.

Benchimol G., Levine P., Pomerol J.C. – *Systèmes experts dans l'entreprise* – Ed. Hermès, Paris, 1986, 219 p.

Bennis S., Bengassem J., Khali O. – *Développement d'un système d'aide à la décision pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement* – 1st International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 11-13 Octobre 1998, Montreal, Canada, p. 1043-1051.

Bennis S., Bengassem J., Lamarre P. – *Méthodologie de partage des responsabilités de refoulement entre les tronçons d'un réseau de drainage urbain* – 4th International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, 25-27 Juin 2001, Lyon-Villeurbanne, France, p. 87-91.

Bergue J.M., Doan Van S. – *Méthodologie de programmation de travaux de réhabilitation (étapes 1 & 2) et son application à la communauté urbaine de Bordeaux* – Actes du colloque RERAU 95, 16 Mai 1995, Bordeaux, France.

Berland J. M. – *Normes : quelle influence sur les choix techniques dans les domaines de l'assainissement et de l'épuration ? Comparaison France/Allemagne* – Thèse de doctorat, ENPC, 1999, 441 p.

Berlandier P. – *Etude des mécanismes d'interprétation de contraintes et de leur intégration dans un système à base de connaissances* –Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 1992, 202 p.

Blanpain O. – *Intégration d'aides expertes dans un logiciel technique d'assainissement* – Thèse de doctorat, INSA Lyon, 1993, 239 p.

Blanpain O., Karnib A. – *Analyse critique d'un outil d'aide au choix de solutions d'extension ou de restructuration de réseaux d'assainissement* – 1st International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 11-13 Octobre 1998, Montreal, Canada, p. 1075-1082.

Bou Nader E. – *Conduite du diagnostic et évaluation des collecteurs des infrastructures urbaines et l'assainissement* – Thèse de doctorat, INSA Lyon, 1998, 198 p.

Boyer Ch. – *Méthodologie pour l'aide à la décision en projet d'assainissement urbain* – Rapport d'avancement, CERGRENE, 1993, 112 p.

Breil P., Joannis Cl., Raimbault G., Brissaud F., Desbrdes M. – *Drainage des eaux claires parasites par les réseaux sanitaires. De l'observation à l'élaboration d'un modèle prototype* – La Houille Blanche, n°1, 1993, p. 45-57.

Bremond B. – *Les nouvelles techniques de transport d'effluents* – Document Technique FNDAE, n°17, Juin 1995, 64 p.

Bremond B., Garnier Cl. – *L'assainissement sous vide, alternative au réseau gravitaire* – Génie Rural, Décembre 1986, p. 12-16.

Burgess E.H. – *Planning model for sewer system rehabilitation* - Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques – Ed. William A. Macaitis ASCE, New York, 1994, p.30-38.

Cabane P. – *Incertitudes associées à l'estimation des rejets de temps de pluie des réseaux d'assainissement unitaires* – thèse de doctorat, INSA Lyon, 2001, 362 p.

Carcich I.G., Hetling L.J., Farrell R.P. – *Pressure Sewer Demonstration* – Journal of Environmental Engineering Division, n° EE1, Février 1974, p. 25-40.

Chen H.W., Chang N.B. – *Water pollution control in the river basin by fuzzy genetic algorithm-based multiobjective programming modelling* – Water Science Technology, vol. 37, n°8, 1998, p. 55-63.

Chocat B. – *Modélisation en hydrologie urbaine, état de l'art et perspectives* - La modélisation en assainissement : remise en cause des pratiques – Séminaire ENGEES, 24 Janvier 2001, Strasbourg, France.

Chocat B. & al – *Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine* – Ed. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 1997, 1124 p.

Cift-cioglu Ö., Durmisevic S., Sariyildiz S. – *Artificial Intelligence and multi-resolutional knowledge modelling* – Advances in Design Sciences and Technology – Ed. Beheshti, Paris, 2001, p. 49-56.

Clergue G. – *L'apprentissage de la complexité* – Ed. Hermès, Paris, 1997, 159 p.

Clift M.A. – *Experience with pressure sewerage* – Journal of the Sanitary Engineering Division, vol. 94, n° SA5, Octobre 1968, p. 849-865.

COM – *Vos réseaux d'assainissement, une préoccupation? Un guide pour leur réhabilitation* – Réseau d'Ile de France, 1993, 44 p.

Davey I. – *Decision support systems in geotechnics using spreadsheet application* – 1st International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 11-13 Octobre 1998, Montreal, Canada, p. 659-670.

De Montgolfier J., Bertier P. – *Approche multicritère des problèmes de décision* – Ed. Hommes et Techniques, Suresnes, 1978, 248 p.

Deutsch J.Cl., Hubert G., Karnak Leite L.A. – *Le processus de décision de projets d'assainissement en milieu urbain* – Rapport CERGRENE, 1992, 81 p.

Dupasquier B. – *Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eaux parasites dans les réseaux séparatifs d'eaux usées* – Thèse de doctorat, ENGREF, 1999, 231 p.

Dupasquier B., Joannis Cl., Raimbault G., Zimmer D. – *Hydrological and hydraulic modelling of infiltration into separate sewerage* – 3rd International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, 4-6 Mai 1998, Lyon-Villeurbanne, France, p. 139-147.

Durand D. – *La systémique* – Que sais-je ? – Ed. PUF, Paris, n°1795, 1998, 125 p.

EN 1091 – *Réseaux d'assainissement sous vide à l'extérieur des bâtiments* – Norme, Juin 1997, 39 p.

EN 1671 – *Réseaux d'assainissement sous pression à l'extérieur des bâtiments* – Norme, Octobre 1997, 39 p.

ENV – *Les progrès importants de l'assainissement collectif depuis trente ans* – Les données de l'ENVironnement, n°20, Février-Mars 1996, 4 p.

EPA (1) – *Manual. Alternative wastewater collection systems* – 625/1-91/024, 1991, 204 p.

EPA (2) – *Handbook of Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation* – 625/6-91/030, 1991, 92 p.

Fantozzi M., Battisti M. – *Managing the discharge deriving from urban and industrial areas to water bodies through the integration of advanced decision making tools* – 4th International Conference on Hydroinformatics, 23-27 Juillet 2000, Cedar Rapids, IOWA, USA, p. 45 abstract volume, DS4 Cd Rom.

GRAIE – *L'assainissement des collectivités : la part possible du non collectif* – Journée d'information, Lyon, 25 Septembre 1997.

Gromaire M.C., Chebbo G. – *Evaluation des incertitudes de mesure des concentrations en polluants en réseau d'assainissement* – Actes du colloque d'Hydrotechnique, 165^{ème} session du Comité Scientifique et Technique, 5-6 Décembre 2000, Lyon, France, p. 95-101.

Hamburg I. – *Computer support for communication in engineering design work using knowledge-based soft methods* – Computer in civil Engineering, Balkema, 1995, p. 401-406.

Jacobs T.L., Medina M.A., Ho J.T. – *Chance constrained model for storm-water system design and rehabilitation* – Journal of Water Ressources Planning and Management, vol. 123, n°3, 1997, p. 163-168.

Jacquemin A., Tulkens H. – *Fondements d'économie politique* – Ed. Universitaires, Paris, 1987, 413 p.

Joannis Cl. (1) – *Les études diagnostic de réseaux d'assainissement : analyse rétrospective et propositions* – Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, EG 9, 1993, 131 p.

Joannis Cl. (2) – *Tentative de caractérisation du parc des branchements à l'assainissement* – GIS sol urbain, Nantes, 25-26 Mars 1999.

Karnib A. – *Approche multicritère pour l'aide au choix d'une solution de réseau technique urbain. Application au réseau d'assainissement pluvial* – Thèse de doctorat, Université d'Artois, 1996, 166 p.

Kukuric N., Hall M.J. – *Development of Hydrogeological Decision Support Systems : Comtemporary considerations and Concepts* – 4th International Conference on Hydroinformatics, 23-27 Juillet 2000, Cedar Rapids, IOWA, USA, p. 31 abstract volume, DS1 Cd Rom.

Laffrechine K. – *Base de données urbaine pour la gestion des réseaux d'assainissement non visitables* – Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 1999, 170 p.

Lakel A. – *Les filières classiques : un éventail de solutions* – CSTB magazine, n°131, Septembre-Octobre 2000, p. 21-22.

LCPC – *Prise en compte des conditions géotechniques dans les projets de canalisations d'assainissement* – Etude inter-Agences, 1988, 71 p.

Le Gouévec J. – *Synthèse de l'enquête relative aux nouvelles techniques de transport d'effluents aidé* – Rapport, LML-EUDIL, 1999, 75 p.

Le Gouévec J., Blanpain O. (1) – *Aide au choix de solutions technologiques d'assainissement eaux usées en phase préliminaire de conception* – 2nd International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 21-22 Novembre 2000, Lyon, France, p. 15-28.

Le Gouévec J., Blanpain O. (2) – *Choosing technological solutions of wastewater sewerage : A methodological tool based on expert systems and multi-criteria analysis* - Advances in Design Sciences and Technology – Ed. Beheshti, Paris, 2001, p. 147-158.

Le Moigne J.L. (1) – *La modélisation des systèmes complexes* – Ed. Dunod, Paris, 1999, 178 p.

Le Moigne J.L. (2) – *La théorie du système général* – Ed. PUF, Paris, 1984, 320 p.

Leon C., Martin S., Elena J.M., Luque J. – *Explore-hybrid system for water networks management* – Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 126, n°2, p. 65-74.

Levine P., Pomerol J.C. – *Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision et Systèmes Experts* – Ed. Hermès, Paris, 1989, 331 p.

Maeda S., Kawachi T., Okumura H. – *Decision model support for managing river water quality under uncertainty* – 4th International Conference on Hydroinformatics, 23-27 Juillet 2000, Cedar Rapids, IOWA, USA, p. 28 abstract volume, DS1 Cd Rom.

Mareschal B. – *A multicriteria approach to decision aid : new tools and applications* – 2nd International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 21-22 Novembre 2000, Lyon, France, p. 35-43.

Maskey S., Samuels P.G., Fischer K., Price R.K. – *Determination of river hydraulic status for eco-hydraulic predictions using a rule-based approach* – 4th International Conference on Hydroinformatics, 23-27 Juillet 2000, Cedar Rapids, IOWA, USA, p. 92 abstract volume, EW2 Cd Rom.

Maystre L.Y., Pictet J., Simos J. – *Méthodes multicritères ELECTRE* – Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1994, 319 p.

McIntyre N., Lees M., Wheeler H. – *Advances in Design sciences & Technology* – Ed. Beheshti, Paris, 2001, p. 183-196.

Mousseau V. (1) – *Analyse et classification de la littérature traitant de l'importance relative des critères en aide multicritère à la décision* – Recherches Opérationnelles, vol. 26, n°4, 1992, p. 367-389.

Mousseau V. (2) – *Eliciting information concerning the relative importance of criteria* – *Advances in Multicriteria Analysis* – Ed. Kluwer Academic, Pays-Bas, 1995, p. 17-43.

Nabet A. – *Etude des coûts d'investissement et d'exploitation des réseaux sous vide et sous pression* – Agence de l'Eau Seine Normandie, ISIM, Septembre 1998, 66 p.

Newell A., Simon H.A. – *Human Problem Solving* – Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1972, 889 p.

Paladini E.P. – *An expert system approach to quality control* – Expert systems with Applications, vol.18, n°2, 2000, p. 133-151.

Perny P. – *Modélisation, agrégation et exploitation de préférences floues dans une problématique de rangement. Bases axiomatiques, procédures et logiciels* – thèse de doctorat, Université de Paris-Dauphine, 1992, 323 p.

Pomerol J.C., Barba-Romero S. – *Choix multicritère dans l'entreprise* – Ed. Hermès, Paris, 1993, 391 p.

Ranch W., Alderink H., Krebs P., Schilling W., Vanrolleghem M. – *Requirements for integrated wastewater models driven by receiving water objectives* – Water Sciences Technology, vol. 38, n°11, 1998, p. 97-104.

Renault D. – Les eaux claires parasites dans l'assainissement (réseaux unitaires). Diagnostic et réhabilitation des réseaux, impact et économie dans le traitement – TSM l'eau, n°12, 1983, p. 577-582.

Rendell F. – *Le comportement des bétons dans les systèmes d'assainissement* – Thèse de doctorat, INSA Rennes, 1999, 182 p.

Reyna S.M., Delleur J.W., Vanegas J.A. – *Multi-attribute rehabilitation of storm or combined sewer systems* – Urban Drainage Rehabilitation Programs and Techniques – Ed. William A. Macaitis ASCE, New York, 1994, p.55-72.

Ricard B. – *Comment éviter de polluer et d'inonder à tort ? Apports de l'expérimentation numérique et intégration dans un processus d'apprentissage sur un réseau d'assainissement réel* – Thèse de doctorat, INSA Lyon, 1994, 320 p.

Roy B., Bouyssou D. – *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas* – Ed. Economica, Paris, 1993, 695 p.

Ruan M., Wiggers J.B.M. – *A new approach to CSO analysis* – 3rd International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, 4-6 Mai 1998, Lyon-Villeurbanne, France, p. 155-161.

Ruscassier G., Deutsch J.Cl. – *Rationalisation du processus de décision dans l'élaboration des systèmes d'assainissement* – 2nd International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 21-22 Novembre 2000, Lyon, France, p. 1107-1117.

Satin M., Selmi B. – *Guide technique de l'assainissement* – Ed. Le Moniteur, Paris, 1995, 663 p.

Schärling A. – *Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère* – Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1990, 302 p.

Smith I.G., Koutoulis L. – *A web-based knowledge-based system to assist decision-making in the selection of earth retaining walls* – 1st International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, 11-13 Octobre 1998, Montreal, Canada, p. 625-632.

STU (1) – *Assainissement Autonome eaux usées et eaux pluviales. Eléments pour un bilan technico-économique* – Ed. STU, 1985, 109 p.

STU (2) – *Contraintes d'assainissement individuel au niveau de la parcelle. L'architecte et l'assainissement autonome* – Ed. STU, 1985, 66 p.

STU (3) – *Assainissement autonome regroupé dans les opérations d'habitat de moyenne densité* – Ed. STU, 1987, 31 p.

Su K.W., Lin T.H., Hwang S.L. – *A developed model of expert interface (DMESI)* – Expert Systems with Applications, vol. 20, n°4, 2001, p. 337-346.

TSM – *Eléments de réflexion du groupe de travail "Assainissement Autonome"* – TSM n°1, 1996, p. 40-46.

Vachon A. – *Recherche des eaux parasites. Etudes diagnostics pour les réseaux d'assainissement des communes de taille petite et moyenne* – TSM l'eau, n°4, 1984, p. 183-186.

Valiron F., Tabuchi J.P. – *Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie. Etat de l'art* – Ed. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 1992, 561 p.

Van Gunsteren L.A. – *Uncertainty and risk in open design* - Advances in Design Sciences and Technology – Ed. Beheshti, 2001, Paris, p. 69-80.

Vanrolleghem M. – *Les outils de simulation dans la conception et la gestion des stations de traitement des eaux usées* – La modélisation en assainissement : remise en cause des pratiques – Séminaire ENGEES, 24 Janvier 2001, Strasbourg, France.

Vasquez J. – *Gestion en temps réel d'un réseau d'assainissement : minimisation des rejets urbains par temps de pluie* – Thèse de doctorat, ENGEES Strasbourg, 1997, 203 p.

Venet Cl. – *Assainissement autonome : point réglementaire* – CSTB magazine, n° 131, Septembre-Octobre 2000, p. 52-53.

Viau J.Y., Faucheux N. – *La maîtrise des déversoirs d'orages par analyse des niveaux d'eau et télésurveillance* – Actes du colloque d'Hydrotechnique, 165^{ème} session du Comité Scientifique et Technique, 5-6 Décembre 2000, Lyon, France, p. 177-180.

Willems P., Popa D., Berlamont J. – *Pollution impact modelling : case-study of Witte Nete catchment, belgium* – 4th International Conference on Hydroinformatics, 23-27 Juillet 2000, Cedar Rapids, IOWA, USA, p. 101 abstract volume, EW3 Cd Rom.

Wolff E. – *Eléments pour la prise en compte de l'impact des rejets urbains sur les milieux naturels dans la gestion des systèmes d'assainissement* – Thèse de doctorat, INSA Lyon, 1994, 320 p.

XP P 16-603 – *Mise en œuvre des dispositifs d'assainissement autonome* – Norme, Août 1998, 37 p.

