Faisabilité d'un système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau à partir du modèle de simulation MISE : Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau

Didier Graillot

▶ **To cite this version:**

Didier Graillot. Faisabilité d'un système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau à partir du modèle de simulation MISE : Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau. Web. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 1986. Français. NNT : 1986MON20207 . tel-00836096

HAL Id: tel-00836096

https://theses.hal.science/tel-00836096

Submitted on 21 Jun 2013

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

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

ACADEMIE DE MONTPELLIER

Université des Sciences et Techniques du Languedoc

THESE

Présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc

pour obtenir le grade de Docteur d'Etat

(mention Sciences)

Faisabilité d'un système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau à partir du modèle de simulation: MISE

(Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau)

TOME 1

par

Didier Graillot

Soutenue le 17 Décembre 1986 devant la commission d'examen.

Jury : MM. C. DROGUE : Président et Rapporteur
P. DAVOINE: Rapporteur
A. MATHON : Rapporteur
C. BOCQUILLON
P. BOIS
P. HUBERT

020878

ACADEMIE DE MONTPELLIER

Université des Sciences et Techniques du Languedoc

THESE

Présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc

pour obtenir le grade de Docteur d'Etat

(mention Sciences)

Faisabilité d'un système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau à partir du modèle de simulation: MISE

(Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau)

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES DE SAINT-ETIENNE
BIBLIOTHÈQUE DE GESTION

TOME 1

par

Didier Graillot

Soutenue le 17 Décembre 1986 devant la commission d'examen.

Jury : MM. C. DROGUE : Président et Rapporteur
P. DAVOINE: Rapporteur
A. MATHON : Rapporteur
C. BOCQUILLON
P. BOIS
P. HUBERT

AVANT-PROPOS

Je remercie ici,

Monsieur Claude Drogue, Directeur du laboratoire d'Hydrogéologie et Professeur à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc qui m'a fait confiance et conseillé pour la réalisation de ce travail,

Monsieur Albert Mathon, Directeur du département "Stratégie du Développement" et Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne qui m'a offert de travailler dans son équipe. Il a suivi et soutenu mon travail et il a en particulier, guidé mes reflexions pour le développement du système MISE vers l'aide à la décision. Je le remercie vivement pour l'attention particulière avec laquelle il a suivi la rédaction de ce mémoire de thèse,

Monsieur Claude Bocquillon, Professeur à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc et Directeur du laboratoire d'Hydrologie Mathématique qui a accepté de participer à ce jury,

Monsieur Pierre Hubert, Maître de recherche à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris pour sa participation à ce jury. Ses travaux ont eu une grande importance dans ma conception de "l'optimal",

Monsieur Philippe Bois, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble qui a participé à une session MISE, et fait partie de mon jury,

Monsieur Alexandre Coinde, Professeur d'économie à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne pour l'attention particulière qu'il a manifesté et les conseils importants qu'il m'a donnés pour l'insertion pratique des problèmes économiques dans le cadre du système MISE,

Messieurs G. Matheron, A. Bouteille, G. Doumenc et Le Barrois d'Orgeval H., Ingénieurs civils des Mines qui ont participé à la réalisation de ce travail,

Monsieur Didier, Ingénieur des travaux ruraux à la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de l'Isère, qui nous a beaucoup aidés à adapter le système MISE aux problèmes d'irrigation,

Messieurs S. Bouly et F. Noëlle, hydrogéologues à la Fondation Scientifique de la Géologie et de ses Applications (Nancy), qui ont accepté de tester le système MISE pendant une semaine de simulation pour la partie prospection des ressources en eau,

Monsieur P. Renault et Madame P. Marty-Mahe, Ingénieurs des travaux ruraux à l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts de Montpellier, qui ont participé en tant que spécialistes et enseignants aux sessions MISE-Irrigation pour tester la partie agronomique et génie -rural,

Messieurs Prudhomme et Girard, Présidents de syndicats d'irrigation avec lesquels de nombreux entretiens nous ont permis d'appréhender les problèmes de la gestion d'un réseau d'irrigation,

Monsieur Gonard, Sénateur, Conseiller général de l'Allier, Maire de Bert (Allier) et Président du Syndicat d'adduction d'eau intercommunal de la vallée de la Besbre, qui m'a permis de déterminer les problèmes auxquels sont confrontés les décideurs,

C. Héritier, chercheuse en informatique à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne pour avoir relu la partie "systèmes experts" de ce mémoire,

Les membres du département Stratégie du Développement qui m'ont permis de travailler dans une ambiance propice à l'élaboration de mon travail et en particulier M. Jean Roelens, Ingénieur civil des Mines qui a relu ce mémoire au point de vue de la forme mais aussi du fond,

Monsieur Dominique Sigaud, Docteur en médecine, pour avoir relu avec attention toutes les lignes des deux tomes de ce mémoire pour y déceler les fautes de frappe et d'orthographe,

Madame Avondo pour les clichés photographiques indispensables à la soutenance orale et Messieurs Velay, Darles et Loubet qui ont été chargés du tirage et de la reliure de ce document,

Madame Agnès Blachère-Graillot, Docteur en géologie appliquée et Ingénieur-conseil, qui m'a aidé à encadrer les sessions MISE. Je la remercie également d'avoir bien voulu me transmettre sa compétence scientifique dans le domaine de l'assainissement,

Je remercie particulièrement Monsieur Philippe Davoine, Professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne qui m'a conseillé scientifiquement tout au long de mon travail. Je le remercie pour avoir suivi l'élaboration de ce mémoire de thèse, mais aussi pour son soutien moral et la confiance qu'il m'a accordée.

.....Je remercie bien sûr LISA

TABLE DES MATIERES

Pages

-INTRODUCTION 16

PREMIERE PARTIE

Chapitre 1: LA VALEUR ECONOMIQUE ET LE PRIX DE L'EAU TRADUISENT UN MODE DE GESTION DE L'EAU.

1.1.La valeur de l'eau et la notion de décision..... 19
1.2.L'unanimité pour apprécier l'eau, fixer son prix et organiser les projets est loin d'être établie. 20
1.3.Propositions de solutions pour un prix de l'eau homogène. 23
1.4.Les nouveaux enjeux des projets d'aménagement en eau. 25

Chapitre 2: STRUCTURES ET FONCTIONS DE DECISION DANS LE CADRE DES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU, LA PLACE DU SYSTEME "MISE".

2.1.Pourquoi différentes institutions sont elles impliquées dans les projets ?... 28
2.2.Concept de niveau de décision. 28
2.3.Niveaux de décisions impliqués avant le lancement du projet. 30
2.4.Niveaux de décision impliqués avant et après le lancement du projet 33
2.5.Relations entre les différents niveaux de décision. 36
2.6.L'apport du système MISE pour l'analyse des décisions 38

Chapitre 3: COMMENT LE SYSTEME "MISE" PERMET DE SIMULER UN PROCESSUS EVOLUE DE DECISION.

3.1.Intérêt d'une analyse des décisions dans les projets d'aménagement en eau.... 40
3.2.Intérêt de la simulation. 41
3.3.Présentation du système MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau). 41
3.4.Caractéristiques d'un processus évolué de décisions, Spécificité de la décision dans les projets d'aménagement en eau. 46
3.5.La recherche de l'information. 52
3.6.L'identification des contraintes et des facteurs de risques. 53
3.7.La notion de risques. 55
3.8.L'évaluation d'impacts. 60
3.9.L'identification des moyens disponibles. 61

Chapitre 4: L'EMPLOI DE DIFFERENTES TECHNIQUES SCIENTIFIQUES DE LA DECISION POUR LES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU UTILISATION EVENTUELLE DANS LE CADRE DE MISE.

4.1.Présentation de différents outils scientifiques de décision..... 63
4.2.Modèle de simulation et modèle d'optimisation. 64
4.3.Outils scientifiques de la décision qu'il serait possible d'intégrer au MISE. 64
4.4.Autres outils utilisables pour l'évaluation des résultats de simulation MISE. 73
4.5.D'autres techniques existent mais ne sont pas intégrables. 81
4.6.Synthèse, utilisation de ces outils dans le cadre des sessions MISE ou dans celui de leur évaluation. 83
4.7.Intérêt général de ces outils. 84

DEUXIEME PARTIE
MISE AU POINT DE SOLUTIONS PAR SIMULATIONS DE CAS REELS

PARTIE 2A :PILOTAGE SIMULE D'UN PROJET D'IRRIGATION
(Plaine de Bièvre—Valloire, Bas dauphiné—Isère)

Chapitre 1: INTERET DE LA SIMULATION DE PROJETS D'IRRIGATION

Chapitre 2: CADRE DES SESSIONS MISE-IRRIGATION

2.1.Objectifs généraux..... 92
2.2.Déroulement de la session. 92
2.3.Définition du projet dont la réalisation est à simuler. 93
2.4.Etat actuel des différents projets d'irrigation dans la région. 94

Chapitre 3: PRESENTATION DES SITES MODELISES CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

3.1.Présentation générale..... 97
3.2.Géomorphologie. 97
3.3.Réseau hydrographique. 97
3.4.Formations géologiques 100
3.5.Caractéristiques des formations aquifères. 100
3.6.Modèlisation hydrodynamique du site d'étude. 103
3.7.Autres outils de simulation disponibles pour l'utilisateur du MISE. 107

Chapitre 4: LE DIALOGUE ENTRE MISE ET L'UTILISATEUR COMMENT L'ORDINATEUR ASSISTE LES DECISIONS

4.1.Exemple de session "Biva1"..... 109
4.2.Comment estimer la validité des résultats ? 121
4.3.Suite de la simulation. 121
4.4.Eléments de reflexion au sujet de la simulation de projets. 129

Chapitre 5: ANALYSE DES RESULTATS

5.1.Evaluation des besoins en eau..... 132
5.2.Détails des opérations de prospection. 135
5.3.Détermination des ressources en eau. 136
5.4.Conception et calcul des réseaux d'irrigation. 144
5.5.Détail des opérations de construction des réseaux d'irrigation. 155
5.6.Choix du matériel de pompage et consommation en énergie électrique. 164

Chapitre 6: CONTROLE BUDGETAIRE DES PROJETS SIMULES

6.1.Comparaison des courbes engagées et réalisées..... 166
6.2.Analyse des courbes réalisées lissées. 169
6.3.Evolution des projets en simulation. 170
6.4.Intérêt de cette analyse. 174

Chapitre 7: PRIX DE VENTE DE L'EAU, TARIFICATION GESTION ADMINISTRATIVE ET FINANCIERE DES RESEAUX

7.1.Généralités..... 178
7.2.Tarification de l'eau pour les projets Biva1 et Biva2. 181

PARTIE 2B : ADAPTATION DU SYSTEME "MISE" AUX PROBLEMES DE L'ASSAINISSEMENT POUR PETITES COLLECTIVITES

Chapitre 1: L'INTERET DE LA SIMULATION DES PROJETS D'ASSAINISSEMENT POUR PETITES COLLECTIVITES

1.1.Le problème de l'assainissement des petites collectivités..... 189
1.2.Sa résolution. 191
1.3.Le projet de référence: Saint Marcel de Félines (Loire). 191

Chapitre 2:LES DIFFERENTES PHASES DE LA RESOLUTION DU PROBLEME, STRUCTURE DU SYSTEME MISE DANS SA VERSION ASSAINISSEMENT

2.1.Modalités administratives juridiques et financières..... 199
2.2.Les données à acquérir et les moyens de les acquérir. 201
2.3.La résolution du problème 207
2.4.Les travaux. 223
2.5.La tarification. 225

Chapitre 3: STRUCTURE DE LA BANQUE DE DONNEES ET DEROULEMENT DES SESSIONS.....

228

Chapitre 4: RESOLUTION DU CAS DE REFERENCE. .....

234

TROISIEME PARTIE

Chapitre 1: SYNTHESE DES SESSIONS MISE INTERET ET UTILITE DES EXPERIENCES DE SIMULATION DES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU.

1.1.Présentation des différentes sessions..... 246
1.2.MISE outil d'ingénierie pédagogique assisté par ordinateur. 246
1.3.MISE et l'aide à la décision dans les domaines 248
—de l'alimentation en eau potable,
—de l'irrigation et de l'assainissement autonome.
1.4.Les connaissances obtenues avec les simulations MISE. 252
1.5.Représentativité des informations obtenues
par rapport au processus général de décision. 259
1.6.Réajustement et actualisation des objectifs des projets simulés
vis—à—vis de la complexité croissante des projets réels. 262
1.7.Ce que peut apporter l'observation du comportement des utilisateurs 264
du système MISE.

Chapitre 2: RESULTATS DES SIMULATIONS DESCRIPTION DE QUELQUES STRATEGIES D'AEP et D'IRRIGATION

2.1.Présentation des différentes simulations..... 268
2.2.Simulations de projets d'alimentation en eau potable: 268
— HYDE1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
2.3.Synthèse des résultats obtenus au cours des simulations de projets
d'alimentation en eau potable. 282
2.4.Résultats des sessions de simulation des projets d'irrigation: 295
— BIVA1,2,3,4,5,6
2.5.Synthèse des résultats. 310

Chapitre 3: SCHEMAS D'EVALUATION DES SESSIONS DE SIMULATION "MISE" DANS UN SYSTEME D'INGENIERIE

3.1.Intérêt d'une solution optimale..... 324
3.2.Utilisation d'un système d'ingénierie en fonction des besoins des utilisateurs.327
3.3.Schémas d'évaluation utilisables pour exploiter les résultats et les connaissances
issues des simulations. Exploitation pour des projets réels non simulés 330

Chapitre 4: UTILISATEURS POTENTIELS D'UN SYSTEME D'INGENIERIE POUR LA REALISATION DE PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU.....

343

QUATRIEME PARTIE: OPPORTUNITE ET FAISABILITE D'UN SYSTEME D'INGENIERIE ASSISTE PAR ORDINATEUR POUR LA REALISATION DES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU.

Chapitre 1: DEVELOPPEMENT DE CE SYSTEME A PARTIR DE MISE.

1.1. Les "pièges à connaissances classiques" 351
1.2. L'acquisition des connaissances grâce au système MISE. 353
1.3. Comment représenter l'ensemble de cette information? 361

Chapitre 2: OUTILS ACTUELS DE REPRESENTATION ET DE TRAITEMENT DES CONNAISSANCES.

2.1. Présentation des systèmes à base de connaissance 363
2.2. Analyse de quelques systèmes experts en sciences de la terre et de l'eau. 371
2.2.1. Litho: Détermination de la géologie du sous-sol. 371
2.2.2. Search: Localisation des contaminants d'aquifère. 375
2.2.3. Contrôle de la pollution d'une rivière. 377
2.2.4. Exploitation des données d'essais par pompage. 380
2.2.5. Sygripos: Gestion du plan d'occupation des sols 383
2.2.6. Conception d'un équipement d'irrigation à la parcelle. 385
2.3. Synthèse des systèmes experts présentés. 389
2.4. Place du système d'ingénierie par rapport aux systèmes experts. 389
2.5. Les qualités requises pour que le système soit intelligent. 390
2.6. Particularité fondamentale: le système d'ingénierie est doté de son propre "système d'apprentissage": le système de simulation MISE. 395

Chapitre 3: REPRESENTATION ET STRUCTURATION DES CONNAISSANCES DANS LE SYSTEME D'INGENIERIE

3.1. Structuration des connaissances dans une base d'information principale, interne au système d'ingénierie..... 401
3.2. Différents types de règles de connaissances. 415
3.3. Etapes de fonctionnement du système. 417
3.4. Connexion et interfaçage avec d'autres outils. 419
(algorithmes, bases de données, logiciels graphiques.)

Chapitre 4: VALORISATION DE CE SYSTEME D'INGENIERIE.

4.1. Contrat de recherche ANVAR..... 428
4.2. Première application: Assister les bureaux d'études pour leurs réponses aux appels d'offres. 429
4.3. Schémas directeurs d'exploitation du système. 432
4.4. Utilité croissante du système. 435
4.5. Répartition des compétences nécessaires pour perfectionner l'outil. 435
4.6. Difficultés et limites de réalisation. 436
4.7. Structures de contrôle de ce système. 438

Chapitre 5: LES RISQUES D'UNE INFORMATISATION TROP POUSSEE DE L'AIDE A LA DECISION POUR LES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU

5.1.Inconvénients et risques d'une informatisation trop poussée..... 444
5.2.Adaptation des utilisateurs à l'outil informatique et communication entre les acteurs de projets. 447

CINQUIEME PARTIE

Chapitre 1: MISE AU POINT D'UNE BASE DE CONNAISSANCES POUR LE CHOIX ET LE DIMENSIONNEMENT D'UN ORGANE D'EPURATION EN EPANDAGE SOUTERRAIN.

1.1.Aide à décision pour choisir les dispositifs d'assainissement autonome..... 449
1.2.Base de connaissances. 450
1.3.Interpréteur de règles utilisé. 451
1.4.Formalisme de représentation des connaissances. 456
1.5.Description fonctionnelle du système. 457
1.6.Sessions d'utilisation. 461

Chapitre 2: ESSAI DE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME A PARTIR D'UNE LOGIQUE DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES APPLIQUEE A LA PROSPECTION DES RESSOURCES EN EAU

2.1.Présentation du cas d'application..... 468
2.2.Réalisation d'un moteur d'inférences utilisant une logique floue. 468
2.3.Structure informatique générale. 469
2.4.Représentation des connaissances—logique des propositions. 471
2.5.Différentes étapes de l'analyse d'une règle. 474
2.6.Interfaces utilisateur—machine et expert—machine. 477
2.7.Exemple de session. 478
2.8.Algorithmes utilisables. 484

Chapitre 3: INTEGRATION DES MODULES D'EXPERTISE DANS UN ENVIRONNEMENT D'AIDE A LA DECISION.

3.1.Un exemple : le système GURU..... 486
3.2.Description fonctionnelle du système d'ingénierie. 490

CONCLUSIONS GENERALES 493

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 496

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Page

Première partie

Figure n°1—1: Schéma théorique pour une adéquation partielle du prix de l'eau 25
Figure n°1—2: Structures administratives dans le domaine de l'eau 29
Figure n°1—3: Schéma des relations pour un processus de prise de décision 37
Figure n°1—4: Eléments du système décisionnel pour la réalisation de projets d'aménagement en eau. 47
Figure n°1—5: Articulation des différents niveaux hiérarchiques de décision 49
Figure n°1—6: Graphe des décisions possibles pour réaliser un projet d'aménagement en eau (cas d'un projet d'assainissement). 50
Figure n°1—7: Décisions à prendre si la fréquence d'aléas est importante application de l'analyse coûts bénéfices à un projet d'irrigation. 75
Figure n°1—8: Courbe d'utilité d'un décideur. 79

Tableau n°1—1: Prix de l'eau par zone géographique. 21
Tableau n°1—2: Variations du prix de vente de l'eau potable en fonction de son mode de gestion. 22
Tableau n°1—3: Aides accordées par les agences de bassin dans le domainde l'eau exemple de l'agence Rhône—Méditerranée—Corse (1986). 34
Tableau n°1—4: Principales caractéristiques fonctionnelles du système MISE. 42
Tableau n°1—5: Logiciels et matériel informatique utilisés par le système MISE 44
Tableau n°1—6: Différents groupes de contraintes pour la prise de décision dans le domaine de la gestion de l'eau. 56
Tableau n°1—7: Valeurs de l'utilité multiattribut des solutions pour un projet d'alimentation en eau potable. 80
Tableau n°1—8: Outils scientifiques de la décision et exemples d'application. 85

Deuxième partie

Figure n°2—1: Localisation des sites d'études. 98
Figure n°2—2: Réseau hydrographique et pluviométrie de la plaine de Bièvre—Valloire. 99
Figure n°2—3: Schéma géologique de la plaine de Bièvre—Valloire. 101
Figure n°2—4: Coupes interprétatives des plaines du Liers et de la Bièvre. 102
Figure n°2—5: Etapes du système décisionnel MISE irrigation. 110
Figure n°2—6: Architecture informatique du fonctionnement du système MISE irrigation. 112
Figure n°2—7: Prospection des ressources en eau pour le périmètre d'irrigation de Pajay : utilisation des données géophysiques(schéma d'implantation des sondages électriques). 119
Figure n°2—8: Interprétation des résultats de sondages géophysiques. 120
Figure n°2—9: Simulation des sondages carottages. 122
Figure n°2—10: Recherche des débits d'exploitation des forages. 143
Figure n°2—11: Modélisation hydrodynamique de Bièvre—Valloire intégrant les pompages BIVA1. 145

Figure n°2—12: Modélisation hydrodynamique de Bièvre—Valloire intégrant les pompages BIVA2. 146
Figure n°2—13: Tracé des réseaux réel et simulé par B1—Plan parcellaire Pajay. 156
Figure n°2—14: Dimensionnement des réseaux BIVA1 et BIVA2 Pajay. 157
Figure n°2—15: Tracé du réseau Côte—Saint—André BIVA2 et plan parcellaire. 159
Figure n°2—16: Dimensionnement du réseau Côte—Saint—André BIVA1. 160
Figure n°2—17: Tracé du réseau simulé Faramans BIVA2 et plan parcellaire. 161
Figure n°2—18: Dimensionnement du réseau de Faramans BIVA2. 162
Figure n°2—19: Analyse des courbes lissées, réalisée et engagée BIVA1. 171
Figure n°2—20: Courbe polaire d'évolution du projet BIVA1. 173
Figure n°2—21: Analyse des courbes lissées, réalisée et engagée BIVA2. 175
Figure n°2—22: Courbe polaire d'évolution du projet BIVA2. 176
Figure n°2—23: Stratégie de prospection et planification des ressources en eau. 186
Figure n°2—24: Graphe des données à acquérir et des moyens disponibles pour définir le plan et les techniques d'assainissement des petites collectivités. 192
Figure n°2—25: Graphe des techniques disponibles pour l'assainissement des petites collectivités. 193
Figure n°2—26: Graphe des décisions possibles pour résoudre le problèmes d'assainissement des petites collectivités. 194
Figure n°2—27: Schéma géologique de la région de Saint—Marcel—de—Félines 197
Figure n°2—28: Schéma d'assainissement du secteur de Créonnet (Commune de Saint—Marcel—de—Félines). 238
Figure n°2—29: Structure de la banque de données "MISE assainissement des petites collectivités". 241

Tableau n°2—1: Fichiers de la banque de données MISE irrigation: SUBVENT, SYND. 115
Tableau n°2—2: Fichier TECHNIRRIG. 124
Tableau n°2—3: Fichiers REPRES, ENTRET, MAINT 126
Tableau n°2—4: Comparaison des stratégies adoptées par BIVA1 et BIVA2. 131
Tableau n°2—5: Résultats généraux des groupes utilisateurs du MISE—Mai 84, Comparaison avec le projet réel de Pajay. 133
Tableau n°2—6: Résultats généraux des groupes utilisateurs du MISE—Mai 84, Comparaison avec le projet réel de Pajay. 134
Tableau n°2—7: Essais de pompage à paliers de débit (cas réel de Pajay). 138
Tableau n°2—8: Résultats des essais de pompage simulés par BIVA1. 140
Tableau n°2—9: Résultats des essais de pompage simulés par BIVA2. 141
Tableau n°2—10:Fichier CLEMENT. 151
Tableau n°2—11:Calcul des débits de transit dans les tronçons par la formule de Clément (BIVA1 projet de Pajay). 152
Tableau n°2—12:Fichier DIAMDIM — calcul des diamètres des canalisations par la méthode approchée de Labye. 153
Tableau n°2—13:Evolution des coûts d'investissement à l'hectare équipé. 163
Tableau n°2—14:Comparaison stratégie—décisions BIVA1. 167
Tableau n°2—15:Comparaison stratégie—décisions BIVA2. 168
Tableau n°2—16:Calcul du prix de l'eau pour les projets BIVA1 et BIVA2. 182
Tableau n°2—17:Programme de calcul du coût des dispositifs d'assainissement. 226
Tableau n°2—18:Etapes du système décisionnel "MISE assainissement des petites collectivités". 242

Troisième partie

Figure n°3—1: Réseau de distribution d'eau potable (projet HYDE10). 283
Figure n°3—2: Prix de réalisation du réseau pour les différentes équipes. 290
Figure n°3—3: Longueur des réseaux et prix du Km des différentes équipes. 292
Figure n°3—4: Estimation des besoins en eau d'irrigation. 301
Figure n°3—5: Détermination de la dose d'arrosage et du débit fictif continu. 301
Figure n°3—6: Nouveau projet d'irrigation à La Côte—Saint—André tracé du réseau simulé par BIVA5. 321
Figure n°3—7: Différentes étapes de l'aide à la décision dans le cadre du système d'ingénierie (d'après Ibbrek, 1986). 331
Figure n°3—8: Démarche utilisée pour la conception d'un système d'aide à la décision. 341

Tableau n°3—1: Récapitulatif des différentes sessions MISE. 247
Tableau n°3—2: Comparaison stratégie—décisions, équipes HYDE1 et HYDE4. 285
Tableau n°3—3: Comparaison stratégie—décisions, équipes HYDE9 et HYDE10. 286
Tableau n°3—4: Comparaison de la marge de sécurité dans l'exhaure pour les différentes équipes HYDE1 à 10. 287
Tableau n°3—5: Comparaison entre les stratégies de distribution adoptées. 288
Tableau n°3—6: Comparaison entre les longueurs cumulées des réseaux et les diamètres utilisés, équipes HYDE1 à 10. 289
Tableau n°3—7: Décomposition et comparaison du prix de la distribution réalisé par les différentes équipes (HYDE1 à 10). 291
Tableau n°3—8: Eléments constitutifs du compte d'exploitation générale, HYDE1,2,3. 293
Tableau n°3—9: Eléments constitutifs du compte d'exploitation générale,HYDE8,9,10. 294
Tableau n°3—10:Coût de l'irrigation en fonction des besoins estimés. 303
Tableau n°3—11:MISE irrigation, résultats des équipes BIVA1,2,3. 315
Tableau n°3—12:MISE irrigation, résultats des équipes BIVA4,5,6. 316
Tableau n°3—13:MISE irrigation, prospection de la ressource. 317
Tableau n°3—14:Dimensionnement et coût des réseaux de distribution BIVA. 318
Tableau n°3—15:Plan de financement BIVA3 pour le projet de Pajay. 319
Tableau n°3—16:Plan de financement BIVA6 pour le projet Côte—Saint—André. 320
Tableau n°3—17:Adéquation projet simulé—projet—réel. 340

Quatrième partie

Figure n°4—1: Structure générale d'un système expert. 370
Figure n°4—2: Graphe de dépendance des règles de connaissance du système LITHO (d'après HARRY, BONNET, GANASCIA, 1982). 372
Figure n°4—3: Interprétation d'une diagraphie par le système LITHO. (d'après HARRY, BONNET, GANASCIA, 1982). 373
Figure n°4—4: Structure schématique du système SEARCH (d'après DELMAS, GAUDETTE, LECLERC, MARCHE, 1984). 376
Figure n°4—5: Adaptation de la structure du système SYGRIPOS à un problème de distribution d'eau (d'après ELMAKHOUCHNI, 1985). 384
Figure n°4—6: Combinaison entre système expert et simulation (d'après O'KEEFE, 1986). 393

Figure n°4—7: Relations entre le système d'ingénierie et la simulation. 396
Figure n°4—8: Schéma de conception générale du système d'ingénierie. 397
Figure n°4—9: Représentation du flux d'informations dans le système d'ingénierie. 404
Figure n°4—10: Exemple de pilotage d'un outil de simulation hydrodynamique. 421
Figure n°4—11: Exploitation de banques de données numérisées et spatialisées pour l'étude des projets d'aménagement en milieu rural (d'après MUSY, 1986). 424
Figure n°4—12: Schéma des communications pour l'exploitation du système. 434

Cinquième partie

Figure n°5—1: Graphe de dépendance des règles du système expert en assainissement autonome. 452
Figure n°5—2: Initialisation de la base de faits (expertise assainissement). 457
Figure n°5—3: Structure des propositions constituant les faits et les règles. 458
Figure n°5—4: Résultat d'une déduction dans le cadre d'une expertise en assainissement. 459
Figure n°5—5: Informations accompagnant les déductions. 459
Figure n°5—6: Structure informatique du module d'expertise dédié à la prospection des ressources en eau souterraine. 470
Figure n°5—7: Exemple d'attribution des coefficients de vraisemblance. 476
Figure n°5—8: Graphe de dépendance des règles du système expert prospection des ressources en eau souterraine. 479

Tableau n°5—1: Quelques règles de la base de connaissance ASS. AUTONOME. 453
Tableau n°5—2: Quelques règles de la base de connaissance ASS. AUTONOME. 454
Tableau n°5—3: Quelques règles de la base de connaissance ASS. AUTONOME. 455
Tableau n°5—4: Exemples de variables propositionnelles pour l'application "prospection des ressources en eau souterraine". 472
Tableau n°5—5: Session d'utilisation de l'application "prospection des ressources en eau souterraine". 481
Tableau n°5—6: Session d'utilisation de l'application "prospection des ressources en eau souterraine". 482
Tableau n°5—7: Session d'utilisation de l'application "prospection des ressources en eau souterraine". 483

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES

AEP: Alimentation en Eau Potable
ANVAR : Aide Nationale pour la Valorisation de la Recherche
ASA : Association Syndicale Autorisée
BDL : Banque de Données Locale
B1,2...,6: Nom abrégé des différents groupes utilisateurs du MISE irrigation.(BIVA1,2,...6)
CCAP : Cahier des clauses administratives particulières
CCTP : Cahier des clauses techniques partuculières
CEG : Compte d'Exploitation Générale
CEMAGREF: Centre d'études du machinisme agricole du génie rural des eaux et des forêts.
CF : Coût financier
CFC : Coût financier cumulé
CGE : Compagnie générale des eaux
CPGF : Compagnie de prospection géophysique Française.
CT : Coût temporel
CTC : Coût temporel cumulé
CTGREF : Centre technique du génie rural des eaux et des forêts.
DBO : Demande biologique en oxygène
DDAF : Direction départementale de l'agriculture et de la forêt
DDASS : Direction départementale de l'action sanitaire et sociale
DDE : Direction départementale de l'équipement
EDF : Electricité de France
EMSE : Ecole des mines de Saint—Etienne
EPALA : Etablissement public pour l'aménagement de la Loire et de ses affluents
ETP : Evapotranspiration potentielle
ETR : Evapotranspiration réelle
FSTE : Fosse septique toutes eaux
HMT : Hauteur manométrique totale
HT : Hors taxes
H1,2..,10 : Nom abrégé des groupes utilisateurs du MISE AEP (HYDE1,2,...10)
IASA : International institute of applied system analysis
IGN : Institut géographique national
INSEE : Institut national de statistiques et d'études économiques
MDBS : Management data base system
MI : Moteur d'inférences
MISE : Modèle intégré de stratégie de l'eau
PC : Personnal computer
PCV : Polychlorure de vinyl
POS : Plan d'occupation des sols
RFU : Réserve facilement utilisable
SGBD : Système de gestion de bases de données
SE : Système expert

SEITA : Service d'exploitation industrielle des tabacs et allumettes
SODETEG : Société d'études techniques et d'entreprises générales
SRAE : Service régional d'aménagement des eaux
TTC : Toutes taxes comprises

LISTE DES UNITES ET SYMBOLES UTILISES

Cts : Centimes
Frcs/m^3 : Francs par mètre cube
FS : Fosse septique eaux vannes
ha : Hectares
K : Perméabilité (ou P)
Kf : Kilo francs (10^3 francs), Kf(83): Kilofrancs en valeur 1983
Ko : Kilo octets (10^3 Octet)
KWH : Kilowatt.heure
l/s : Litres par seconde
m : mètres
mm : millimètres
m^3/h : Mètres cubes par heure
Max : Maximum
Min : Minimum
n° : Numéro
NGF : Niveau géographique Français.
Q : Débit
Qfc : Débit fictif continu
S : Coefficient d'emmagasinement
s : Rabattement
T : Transmissivité
% : Pour cent
Δ : Différence
Ø100 : Diamètre de canalisation de 100 millimètres

INTRODUCTION

Le début de notre travail de recherche était consacré à l'élaboration d'un outil de simulation de projets d'aménagement en eau, destiné à la formation des jeunes ingénieurs aux problèmes de la gestion et de la distribution des ressources en eau. Cet outil s'appelle MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau). Dans le cadre des premières expériences de simulation, il a été appliqué à un projet réel d'alimentation en eau potable, dont le site d'étude relativement limité, concernait trois agglomérations sises au Nord de Saint—Etienne dans le département de la Loire.

Ces premières expériences de simulation ont mis en évidence les améliorations à entreprendre pour que ce système soit définitivement opérationnel au niveau pédagogique mais puisse aussi être utilisé dans un objectif d'aide à la décision.

Les axes de travail que nous avions déterminés, concernaient l'augmentation du nombre de simulations et l'adaptation du modèle MISE à d'autres projets et à d'autres sites hydrogéologiques (extension à une échelle régionale, aquifère de nature différente). Cette adaptation était possible étant donnée la structure modulaire du système, mais il fallait choisir les projets qui feraient l'objet de nouvelles sessions de simulation. Ce choix devait être cohérent avec les objectifs que nous nous étions fixés.

Les ressources en eau qu'elles soient souterraines ou superficielles ont une valeur économique parce qu'elles sont un facteur de développement industriel et agricole.

—Le développement industriel est conditionné par l'alimentation en eau des agglomérations et justifie l'importance des projets d'assainissement qui lui sont associés.

—Le développement agricole dépend lui aussi des disponibilités en eau pour irriguer les parcelles des agriculteurs.

Ces types de projets d'aménagement en eau font partie intégrante de la planification des ressources en eau, c'est donc vers eux que s'est porté notre choix.

Ce mémoire de thèse développe le champ actuel d'application du système de simulation MISE pour des projets réels, qui sont destinés à l'équipement de plusieurs périmètres d'irrigation dans la plaine de Bièvre—Valloire (Bas—Dauphiné—Isère), et à l'assainissement de petites collectivités dans le département de la Loire sur un site géologique et hydrogéologique différent de ceux d'une plaine alluviale.

La répétition régulière d'expériences de simulation MISE depuis 1982, avait pour but de confirmer son intérêt pédagogique. L'analyse des résultats obtenus au cours de ces différentes expériences et la réflexion menée avec les divers spécialistes qui y ont participé, nous ont conduits à un développement du système davantage orienté vers l'aide à la décision, en exploitant les résultats et les connaissances acquises au cours de ces simulations.

Si jusque là le programme de travail était relativement bien établi, celui consistant à utiliser ce processus de formation pour construire un outil d'aide à la décision l'était moins.

En effet, l'application de MISE à d'autres types de projets et la multiplication des expériences de simulation ne suffisent pas pour que ce système soit un outil d'aide à la décision. On doit définir d'abord une structure capable d'enregistrer les expériences avant que celles—ci ne deviennent trop nombreuses, cette structure n'est pas a priori le système MISE lui—même, elle en dépend mais elle est différente. Il apparaît difficile de trouver à travers l'étude des outils scientifiques de la décision existants, un moyen d'optimiser les solutions élaborées par MISE à l'occasion des seize simulations réalisées. C'est pourquoi nous avons été amenés à étudier les possibilités offertes par les systèmes experts qui sont capables de gérer une information qualitative et qui existent déjà pour des applications des domaines des sciences de l'eau et de la terre. La démarche utilisée par ces techniques d'intelligence artificielle paraît actuellement encore limitée, mais constitue une voie d'avenir pour la résolution de problèmes mal structurés tels qu'ils peuvent se poser pour les projets d'aménagement en eau.

La démarche que nous adopterons, sera essentiellement basée sur l'analyse des décisions prises par les spécialistes participant aux sessions MISE. Elle consistera à exploiter dans un autre système, les connaissances qui leur ont permis d'élaborer ces décisions. Il est nécessaire de rechercher une méthode et une structure d'aide à la décision qui permettront d'exploiter ces connaissances pour répondre aux besoins d'utilisateurs ne simulant plus un projet, mais ayant des problèmes d'ingénierie bien particuliers et réels à résoudre.

Il s'agit donc d'étudier la faisabilité d'un système d'ingénierie assisté par ordinateur, capable de rassembler, d'organiser et d'exploiter l'information issue du système MISE. Il ne s'agit pas de construire un outil supplémentaire trop spécifique, mais plutôt de concevoir un environnement informatique pour assister les décideurs dans une approche pluridisciplinaire des problèmes de l'ingénierie en eau.

Notre travail ne s'effectue pas selon un axe unique de spécialité, mais correspond plutôt à la recherche d'une association des diverses disciplines et des diverses compétences du domaine de l'eau (Companie Générale des Eaux, DDAF de la Loire et de l'Isère, ENGREF de Montpellier, CEMAGREF d'Aix en Provence) selon un objectif finalisé : la conduite des projets d'aménagement en eau.

PREMIERE PARTIE

Le premier chapitre de cet ouvrage est destiné à introduire le concept de décision par rapport à la ressource en eau et par rapport à sa valeur économique. La disparité des prix de vente de l'eau montre que l'établissement de la facture d'eau correspond à une décision difficile qui dépend de la complexité des projets d'aménagement en eau et des décisions qui sont prises pour leur réalisation.

Après avoir défini l'intérêt des projets d'aménagement en eau pour petites et moyennes collectivités auxquels nous nous intéresserons plus particulièrement, le second chapitre tente d'identifier les différents décideurs qui interviennent dans ces projets et les niveaux institutionnels et professionnels auxquels ils appartiennent.

Le troisième chapitre présente une méthode qui permet de simuler les activités de décisions qui sont prises dans un projet d'aménagement. Il s'agit du système MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau) dont la vocation est essentiellement pédagogique mais à partir duquel, nous étudierons la faisabilité d'un système d'aide à la décision. Ce chapitre traite des différentes étapes de décision dans un projet, elles s'organisent selon un processus dont l'analyse doit être maîtrisée par le système MISE, avant qu'il soit utilisé pour construire un outil d'aide à la décision basé sur l'évaluation des simulations.

Avant de concevoir un outil d'aide à la décision, il est indispensable de connaître ceux qui existent déjà et qui pourraient être intégrés soit au système MISE, soit à l'outil permettant leur évaluation. Le chapitre 4 propose un panorama non exhaustif des outils scientifiques de la décision utilisés dans les projets d'aménagement en eau.

CHAPITRE 1: LA VALEUR ECONOMIQUE ET LE PRIX DE L'EAU TRADUISENT UN MODE DE GESTION DE L'EAU.

1.1 La valeur de l'eau et la notion de décision.

Les constatations au sujet du prix de l'eau reflètent les problèmes de décision en matière d'aménagement en eau. Elles permettent d'en montrer la complexité à partir d'une des conséquences les plus sensibles des processus de décision mis en jeu dans ces projets, à savoir le prix de vente de l'eau. Il dépend de la compétence et les préoccupations des décideurs vis—à—vis des usagers payeurs.

Avant de montrer en quoi consistent ces décisions, par qui elles sont prises et de quelle manière elles le sont, il est indispensable de restituer la valeur de l'eau dans le cadre de la décision. Le problème de la valeur de l'eau se pose en fait, dès que se manifeste un usager qui utilisera cette eau comme facteur de production (irrigation, énergie hydroélectrique), valeur d'échange (loisirs) ou support de service (alimentation en eau potable, assainissement). La valeur économique de l'eau apparaît donc liée aux notions de besoin, de rareté mais aussi à celle de responsabilités.

La rareté de l'eau dépend de la faculté de renouvellement de la ressource, ce qui d'un point de vue économique, implique des coûts d'exploitation. La valeur de l'eau est aussi due au besoin de qualité, en particulier pour les pays industrialisés où elle ne manque pas en quantité, du moins pour les besoins en eau potable des populations. Les problèmes de qualité concernent aussi bien l'alimentation en eau potable que l'évacuation des eaux usées, ils se traduisent par d'importants coûts de traitement et d'épuration. Dans le cadre d'un projet d'aménagement en eau, il est donc important de trouver une ressource de bonne qualité naturelle quitte à en augmenter les coûts de prospection.

La pression croissante des demandes en eau selon les critères définis ci—dessus, en fait une ressource rare dont le caractère public détermine la responsabilité des décideurs et une répartition de leurs compétences que nous tenterons d'analyser dans cet ouvrage.

1.1.1 La valeur de l'eau suscite une appréciation.

Pour les décideurs, cette appréciation est de nature technico—économique, c'est—à—dire qu'elle prend en compte les moyens techniques (pompages en rivière, forages, barrages, réseaux,..) de mise en valeur de l'eau et leurs coûts de mise en oeuvre.

Pour l'usager, elle est de nature budgétaire et prend en compte essentiellement le prix de l'eau qu'il devra payer.

Dans les deux cas, cette appréciation se réfère aux différents usages de l'eau dont la collectivité peut bénéficier; elle fait donc apparaître une notion d'utilité et de valeur sociale pour le décideur et pour l'usager.

1.1.2 Cette appréciation se solde par une tarification de l'eau.

La tarification de l'eau n'est pas une opération facile à établir, puisqu'elle est soumise à la dualité constante entre la satisfaction maximale du consommateur et le "bénéfice maximal" du distributeur. A notre connaissance, il n'existe pas encore d'outil permettant d'optimiser le prix de l'eau. La tarification de l'eau au coût marginal, c'est-à-dire au coût supporté par la satisfaction de la dernière unité de demande, est celle qui serait à retenir si la concurrence régnait sur le marché de la production d'eau. Une conception élargie de la valeur de l'eau pourrait permettre de concevoir ce type de tarification, s'il existait une réelle concurrence entre sociétés productrices et distributrices d'eau.

1.1.3 La valeur de l'eau suggère une organisation.

Si l'économiste a pour charge et compétence l'évaluation des coûts , ce sont les instances de décision qui allouent les ressources financières. Les distributeurs d'eau, les communes ou les syndicats des eaux déterminent en dernier ressort le prix de vente de l'eau et la taxe assainissement. L'économiste a donc un rôle consultatif, mais les décisions finales s'écartent souvent de ses prévisions car elles dépendent des niveaux auxquels elles sont prises et surtout de ceux qui interviennent dans la réalisation des projets d'aménagement en eau.

L'organisation, au sens de la gestion, est nécessaire dans ces projets tant au niveau des décisions de prélèvement de l'eau qui doivent préserver la perrenité des ressources, qu'au niveau des décisions qui fixent son prix. Nous verrons quels sont ces différents niveaux de décision et comment leurs interventions s'articulent et influencent le déroulement des projets. Toutefois les décideurs principaux restent, dans le cadre de ces projets, ceux qui en sont les concepteurs et les réalisateurs à savoir, les ingénieurs, les hydrogéologues, les hydrauliciens, les agronomes ainsi que les autres spécialistes.

1.2.L'unanimité pour apprécier l'eau, fixer son prix et organiser les projets est loin d'être établie.

1.2.1.Polémiques et constatations sur la disparité des prix de l'eau.

Bien que la facture d'eau ne représente qu'une faible partie des dépenses des ménages, le thème de la tarification et du prix de l'eau mobilise l'attention du grand public.

Cette attitude peut s'expliquer par le fait que l'eau apparaît comme "quelque chose de vital et de normal" dont les coûts de traitement et de distribution sont mal perçus.

Cependant les sentiments d'inéquité se nourrissent de comparaisons rarement fondées, même si elles s'effectuent entre communes ou syndicats voisins où pour un service identique, l'eau peut se vendre bon marché ou bien atteindre 10 à 12 francs le mètre cube.

En ce qui concerne l'assainissement, les usagers sont très peu sensibilisés au problème et oublient que ce service est souvent facturé en même temps que l'eau potable et peut participer à l'inéquité constatée.

Avant de présenter des exemples de prix de l'eau, il faut rappeler que les études et les enquêtes à ce sujet sont peu nombreuses. Celles effectuées par la SODETEG en 1976 et le "rapport Jousseaume" de 1981 à l'initiative du gouvernement, font état de ces disparités de prix. L'évaluation de ces disparités est délicate. Certains auteurs préconisent de se référer à des conditions de consommation identiques plutôt que de se baser sur les prix moyens pratiqués dans chaque collectivité (Hay 1983). Ces prix moyens reflètent effectivement davantage les spécificités locales de la distribution d'eau, mais ne permettent pas très bien les comparaisons intercommunales. D'autres auteurs (Ballay 1986), d'après leurs résultats sur un échantillon de communes représentatif, affirment qu'il n'apparaît pas de relation entre le prix de l'eau et les consommations.

tableau n°1—1: Prix de l'eau par zone géographique pour l'année 1980 en distinguant les communes urbaines des centres urbains (d'après Ballay 1986).

zone géographique	milieu rural	milieu urbain
. Nord	2,97	2,57
. Ouest	4,38	2,45
. Bassin Parisien	3,65	2,45
. Est	2,19	2,73
. Centre	2,66	2,04
. Lyonnais—Alpes	2,67	1,83
. Sud—Ouest	3,10	2,37
. Méditerranée	2,67	2,70
. France entière	3,23	2,45
. Incertitude	0,06	0,07

Les prix présentés au tableau n°1—1 sont en francs par mètre cube (F/m3) d'eau potable payé par un usager, hors—taxes et hors redevances. Le prix moyen de vente de l'eau pour les grandes villes en 1983 était de 2,50F/m3.

Il existe une autre source d'information relative à ce problème, elle est issue des media et des unions de consommateurs. N'oublions pas que si elle a moins de valeur scientifique, elle intéresse tout de même les décideurs et les élus locaux soucieux de l'opinion publique.

1.2.2.Existe—t—il une méthode pour établir le prix de l'eau ?.

Quels que soient les critères d'évaluation, il ressort que le prix de l'eau est en général nettement plus élevé pour les communes rurales que pour les centres urbains (de 10 à 25%), sans doute à cause de la longueur des réseaux en milieu rural. La disparité observée est souvent due à la coexistence d'une gestion privée et d'une gestion publique sans pouvoir dire laquelle est plus onéreuse. Le service public parvient souvent à fiscaliser une partie des charges ce qui, soit dit en passant, est rigoureusement interdit par le code des communes. En revanche, le recours à une gestion privée au tarif plus élevé permet de résoudre des problèmes techniques parfois au—delà des compétences d'un service public.

tableau n°1—2: Variation du prix de vente (F/m3) de l'eau potable en fonction de son mode de gestion (année 1980).

Mode de gestion.	prix moyen	incertitude
. Règies.	2,14	0,04
. Concessions et affermage.	3,14	0,06
. Gérance et autres.	3,81	0,13

L'eau de surface revient plus chère que l'eau souterraine à cause de son coût de traitement, en 1980, la différence atteint 12%. Le coût de revient de l'eau chez le consommateur, dépend des conditions physiques locales comme la profondeur de la nappe, le degré de pollution des rivières, la dispersion de l'habitat, la topographie qui sont à l'origine de la difficulté des projets.

La tarification est une opération complexe mais elle doit s'adapter aux conditions humaines et locales puisqu'elle représente la relation entre le service et le consommateur. Elle doit donc tenir compte des mentalités et se baser sur une bonne connaissance des utilisateurs, de leurs habitudes d'hygiène, de leurs possibilités financières (Lapeyre 1986).

Il existe plusieurs types de tarification qui parfois traduisent plus un objectif qu'un coût de projet. Ainsi la tarification binôme comporte une partie fixe payée obligatoirement en tant qu'abonnement par le consommateur et une partie variable proportionnelle à la consommation. Ce principe de tarification peut se formaliser par une relation linéaire du type : $Y=aX+b$, où Y représente le prix de vente de l'eau, aX la partie variable et b l'abonnement. Le choix de a et de b correspond à plusieurs objectifs. Par exemple, si l'on veut éviter le gaspillage, il y aura intérêt à ce que "a" ne soit pas trop faible.

Si l'on veut s'assurer des recettes pour couvrir les charges fixes (amortissement du matériel, intérêts des emprunts, assurances, abonnement EDF) "b" devra être assez fort. Le principe du forfait unique peut refléter une volonté politique de distribution des revenus.

La tarification proportionnelle à la consommation souvent utilisée dans les grandes villes, peut inciter les gros consommateurs à investir dans des captages indépendants ou peut être utilisée pour ne pas pénaliser le développement agricole ou touristique. La tarification dégressive si elle est adoptée, suppose la manifestation d'économies d'échelle au niveau de la gestion et de la production des services, mais aussi une ressource en eau suffisante. La tarification progressive favorise la souscription des petits consommateurs, elle évite le gaspillage, redistribue les revenus et oblige les gros consommateurs à choisir des solutions indépendantes. Elle se réfère généralement à une relative rareté de la ressource et à un coût marginal de la production d'eau de plus en plus élevé.

On remarquera la complexité de cet ensemble de règles informelles destinées à trouver un mode de tarification adéquat, elles peuvent parfois avoir des conclusions contradictoires et ne sont utilisables que dans des contextes bien particuliers. L'adéquation de la tarification ne dépend pas que des coûts de revient, elle dépend aussi d'objectifs "politiques", et le compromis n'est pas toujours facile à réaliser. Dans ce but, des solutions plus ou moins générales ont été proposées.

1.3.Propositions de solutions pour un prix de l'eau homogène.

C'est le conseil municipal ou le conseil d'administration du syndicat des eaux qui fixe localement le prix de l'eau. Ce prix peut être fixé chaque année ou pour plusieurs années moyennant une formule d'actualisation aux conditions économiques, conformément au cahier des charges type qui lie la collectivité à la société fermière, dans le cas d'une gestion déléguée.

A l'échelle intersyndicale, une péréquation des tarifs peut se concevoir, comme par exemple, dans les départements de l'Isère, de la Vendée et de la Haute Garonne. Le rôle du Fonds d'Investissements Départemental est de moduler les taux de subventions en fonction de ratios tels que les charges d'investissement par habitants ou le prix de l'eau, ce qui faciliterait la péréquation des investissements. Dans le même sens, "le rapport Jousseaume", précédemment cité, propose un système d'égalisation des charges à payer par chaque usager d'un département où le développement des réseaux serait relativement équilibré.

Ce même rapport sans reprendre des solutions déjà émises (Eau de France) conclut pourtant que la péréquation généralisée du prix de l'eau ne serait pas sans inconvénients. Le mécanisme engendré serait très bureaucratique, les responsabilités et les décisions, concernant le rythme de développement des réseaux de distribution, seraient trop centralisées pour pouvoir prendre en compte des spécificités locales.

L'adoption généralisée de la tarification binôme qui semble représenter le mieux la réalité économique de la distribution de l'eau, pourrait constituer une solution. Elle aurait au moins l'avantage de se concrétiser par une facture standard permettant mieux les comparaisons.

L'homogénéïté de la tarification de l'eau soulève le problème de la connexion des réseaux de distribution. Cela permettrait d'éviter des disparités parfois importantes du prix de l'eau payé par des consommateurs voisins mais reliés à des réseaux différents. Ce sont les conditions naturelles hydrologiques et techniques (état des ouvrages hydrauliques existants) qui doivent guider le regroupement de ces réseaux et non des limites administratives, les agences de bassin ont été créées dans ce but.

Le recours aux données hydrologiques serait nécessaire, leur acquisition est de nos jours, suffisamment systématisée pour pouvoir déterminer les différentes unités hydrologiques. Par contre, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'acquisition des données techniques également indispensables. Dans la majorité des cas, la jonction de deux réseaux implique des investissements colossaux et qui ne sont pas toujours envisageables à l'échelle communale.

La décision de fixer le prix de l'eau selon des découpages naturels se rapprochant de l'unité de sous—bassins hydrologiques serait du ressort d'une association intersyndicale interdépendante des circonscriptions administratives. La définition d'un règlement sur la façon de regrouper les unités distributrices et sur la tarification commune des différents syndicats de l'association s'avérerait nécessaire.

L'ensemble devrait être cohérent et revêtir une structure "emboitée" (figure n°1—1), relativement souple permettant d'intégrer les ouvrages existants et futurs et de rendre compatibles les objectifs des distributeurs d'eau privés et ceux des services publics. Les agences de bassin pourraient avoir un rôle d'incitation important par leurs décisions de financer le raccordement des réseaux, opération pour laquelle les syndicats doivent se montrer assez motivés.

Les prix de l'eau établis seraient dépendants, mais pourraient être différents et calculés à partir des coûts de production et de distribution et aussi à partir du coût des projets de connexion des réseaux. Ces prix de l'eau ne doivent pas être trop élevés, il serait dommage de provoquer un retour aux installations individuelles qui rendrait plus difficile le contrôle de la qualité de la ressource.

SCHEMA THEORIQUE POUR UNE ADEQUATION PARTIELLE DU PRIX DE L'EAU

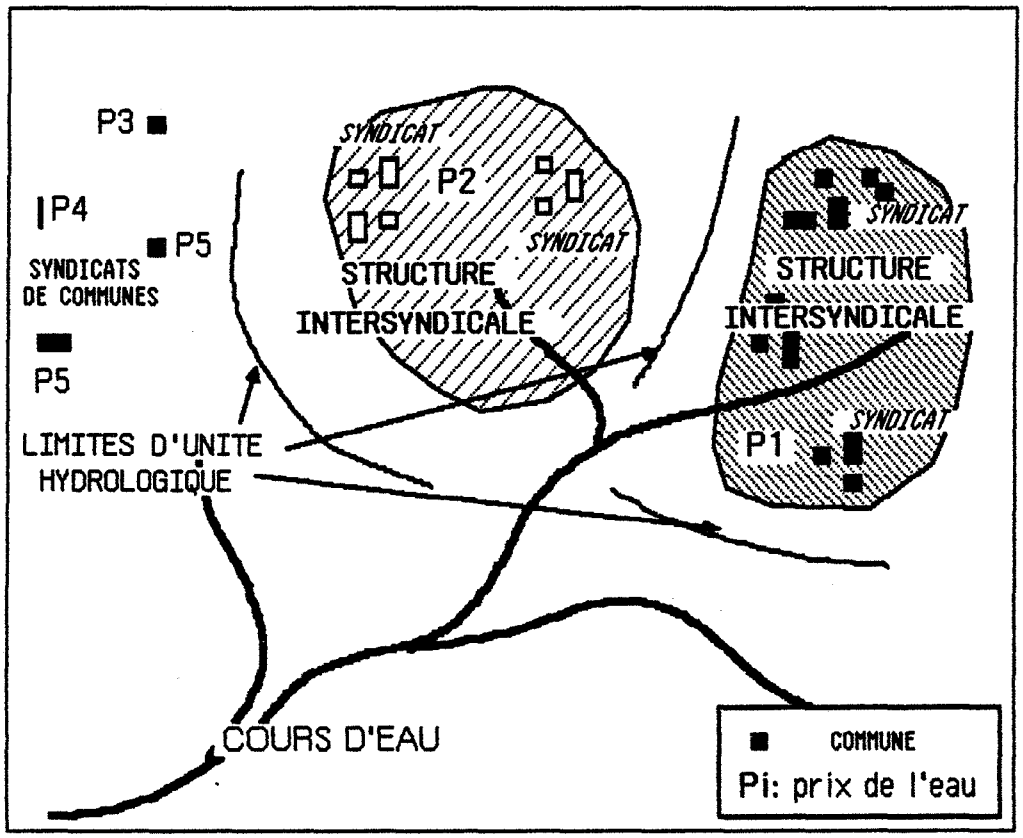


Figure n°1—1

1.4.Les nouveaux enjeux des projets d'aménagement en eau.

Les diverses causes de disparité du prix de l'eau sont difficiles à analyser séparément, elles se cumulent pour contribuer à la complexité du phénomène. Les exemples cités par différents auteurs (Piquet 1986, Hay 1983) montrent que pour l'instant, il n'existe pas de consensus pour une détermination rationnelle du prix de l'eau. Les techniques économiques sont visiblement inopérantes pour fixer une valeur monétaire de la ressource en eau qui puisse refléter son coût de mobilisation et qui puisse en même temps être équitable pour chaque consommateur. Les difficultés ne sont pas de nature uniquement économique, elles peuvent être de nature technique, législative, politique et parfois psychologique.

En résumé, la complexité du phénomène "prix de l'eau" illustre bien celle des problèmes de décision et fait ressortir leur importance dans le cadre des projets d'aménagement en eau qui aboutissent toujours à un prix de l'eau. C'est donc l'étude de la complexité des projets d'aménagement en eau (alimentation en eau , irrigation, assainissement) et des différentes phases de décision qui les composent, qui constituera l'essentiel de ce travail.

Longtemps les projets en eau n'étaient pris en compte qu'à travers les problèmes techniques de réalisation de captages et de réseaux qui dépendaient des domaines de l'hydraulique et du génie civil. L'analyse de la situation actuelle montre qu'en France l'alimentation en eau potable des agglomérations urbaines ne souffre pas d'insuffisance grave, cependant en ce qui concerne le milieu rural et le domaine de l'assainissement la situation est moins claire.

Pour améliorer ce bilan, les nouveaux enjeux des projets ne peuvent plus se réduire au seul objectif technique. La planification de l'occupation des sols, le comportement et la sensibilisation des usagers, l'évolution de la réglementation, la réhabilitation des systèmes de distribution et d'assainissement, la qualité des ressources, les interconnexions entre réseaux, se sont révélés aussi importants que l'évolution technologique qui doit d'ailleurs intégrer cet ensemble de phénomènes pour être parfaitement maîtrisable.

Le coût des projets en eau pèse de plus en plus lourd dans le budget des collectivités. Les financements pour l'année 1984 pour l'eau potable et l'assainissement s'évaluent respectivement à 5,8 milliards de francs et à 10 Milliards de francs (84) (Chambre Syndicale d'Hygiène Publique, 1984), sans tenir compte des projets d'irrigation. Quelle que soit l'incertitude de ces données, un projet d'aménagement en eau implique des investissements importants même à l'échelle d'une collectivité. La maîtrise de ces projets se justifie donc, elle nécessite des choix techniques articulant impératifs financiers, politiques et satisfaction des besoins. Elle place les décideurs chargés de ces projets à un haut niveau de responsabilité qui doit les conduire à organiser et à préparer leurs décisions.

CHAPITRE 2: STRUCTURES ET FONCTIONS DE DECISION DANS LE CADRE DES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU. LA PLACE DU SYSTEME "MISE"

Il existe deux catégories de projets qui se distinguent par rapport à leurs volumes d'investissements et de leur durée d'exécution. On peut distinguer les grands projets comme par exemple, la mesure de la pollution des eaux de ruissellement sur le cours de la Loire menée par l'EPALA (Etablissement Public pour l'Aménagement de la Loire et de ses Affluents) ou la construction d'un barrage. Bien que le nombre de ces grands projets tende à diminuer par manque de crédits, les exemples restent nombreux.

Ces projets sont généralement à l'initiative de l'état ou d'une région qui décide d'allouer une ressource financière pour un objectif précis. L'étude des projets d'aménagement en eau constitue un domaine bien trop vaste pour que nous puissions traiter intégralement cette catégorie de projets. C'est pourquoi, nous nous bornerons à nous y référer en cas de besoin et nous nous limiterons volontairement dans le cadre de ce travail, au cas de projets d'aménagement en eau pour de petites et moyennes collectivités.

C'est pour l'étude et l'analyse de ce type de projets (alimentation en eau potable, équipement de périmètres d'irrigation, assainissement), que nous avons développé un outil permettant d'en simuler toutes les phases de décision et de réalisation et qui s'appelle MISE, c'est-à-dire Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau (Graillot, 1983). Avant de montrer l'apport de cet outil dans le contexte des projets que nous venons de définir, il est d'abord nécessaire de rappeler les structures et les fonctions de décision qui interviennent dans ces projets.

Les cas traités par le système MISE, correspondent à des projets qui sont à l'initiative des collectivités (mairies et syndicats). Celles-ci sont demanderesses de subventions qui seront issues de fonds débloqués par l'état, la région, le département ou la commune. Ces organismes interviennent donc dans les décisions du projet. De tels projets sont de plus en plus courants et mettent en jeu des niveaux de décision aussi variés que pour les grands projets. Les microcosmes de décision associés aux projets d'aménagement en eau pour une ou quelques collectivités, permettent une analyse des décisions qui sont prises pour prospecter les ressources en eau, conduire leur exploitation, construire les réseaux et les réservoirs et gérer le service de distribution. A cette échelle, ces décisions font aussi l'objet de négociations entre des objectifs qui peuvent être conflictuels.

La décentralisation qui modifie la répartition des responsabilités et participe à l'autonomie des collectivités, accentue le rôle des décideurs locaux dans ces projets.

2.1. Pourquoi différentes institutions sont elles impliquées dans les projets ?.

A chaque niveau de décision qui sera évoqué (figure n°1—2), l'ensemble des décisions prises peut refléter ce qu'on appellera une politique de l'eau différente de la notion de "politique" relative à l'organisation et au gouvernement de l'état, que nous nous permettrons de placer entre guillemets pour éviter toute confusion.

La politique de l'eau se définit pour chaque niveau de décision par les actions entreprises en fonction des objectifs fixés et par rapport auxquels sont évalués les résultats.

Nous ne traiterons pas de la "politique" de l'état en matière d'eau qui se matérialise par l'existence des institutions, elle fait bien sûr aussi l'objet de décisions (décentralisation) mais que nous ne discuterons pas, cela n'étant pas du ressort de nos compétences .

La condition nécessaire pour un décideur "politique", à l'échelle locale ou régionale, est de satisfaire à l'intérêt immédiat de la collectivité pour rester au pouvoir ou y accéder. Ce but le rend sensible à l'opinion de ses électeurs, et à l'importance des projets d'aménagement en eau qui ont un intérêt collectif.

Ce n'est pas notre propos, mais ceci intervient en tant que contrainte (blocage, déblocage de subventions) pour la préparation d'un projet. Cette prise en compte de contraintes d'ordre "politique" s'impose même dans le cas des projets d'aménagement en eau pour petites et moyennes collectivités. La quasi totalité de ces projets est subventionnée, cela est indispensable car le prix de vente de l'eau ne couvre pour ainsi dire jamais la totalité des investissements.

2.2.Concept de niveau de décision.

La prise de décision dans ces projets est un processus complexe et dynamique, c'est—à—dire pouvant évoluer même au cours du projet. On peut y distinguer deux niveaux de décision: celui de la gestion (au sens de la décision) et celui de l'ingénierie (Duckstein, Opricovic, 1980).

C'est au niveau de la gestion et de la planification des ressources en eau, que l'on trouve les institutions (ministères, agences de bassin, conseils généraux,..) mais aussi parfois les collectivités. Les financements y sont élaborés, les projets y sont adoptés ou rejetés, ces institutions sont le siège de décisions de nature multiobjectifs.

Le niveau d'ingénierie occupé par les ingénieurs, les bureaux d'études, les sociétés distributrices et parfois par les syndicats d'eau et les administrations (DDAF, DDE). Ils sont chargés de préparer la réalisation du projet s'il est décidé et de définir les solutions possibles.

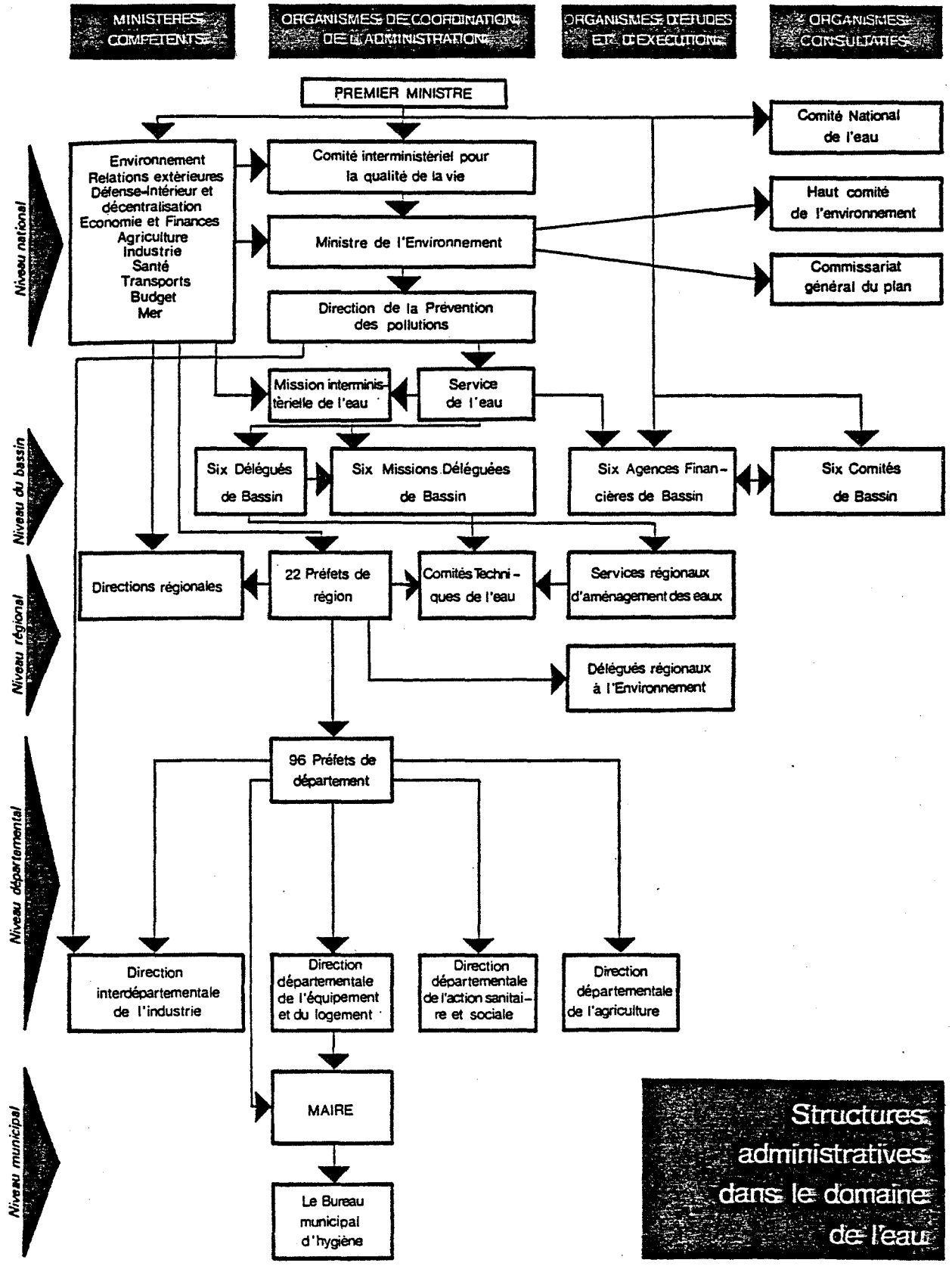


figure n°1-2

(d'après le Guide de l'Eau 1984-1985)

D'une part, les décisions prises par les gestionnaires dépendent du travail effectué par les ingénieurs (évaluation d'impacts) et d'autre part, les décisions de ces derniers pour la réalisation technique du projet dépendent de celles des gestionnaires. Il existe donc une imbrication entre ces deux niveaux, sa cohérence guide le succès du projet.

Nous nous intéresserons d'abord aux structures et aux fonctions de décision intervenant avant le lancement du projet. Elles représentent des contraintes pour les décisions prises au niveau des différentes spécialités de l'ingénierie des projets d'aménagement en eau.

2.3. Niveaux de décisions impliqués avant le lancement du projet.

2.3.1.Décision au niveau de l'Etat.

La "politique" de décentralisation conduit à s'interroger sur le rôle qui incombe désormais à l'état dans ces projets qui relèvent surtout des collectivités locales. La politique de l'eau de l'état se définit par l'intermédiaire des administrations. Les critères de décision à ce sujet ne sont pas électoralistes car au niveau national, les problèmes de l'eau sont moins importants que ceux de l'emploi ou du commerce extérieur par exemple. Si les décisions de financement des projets se prennent essentiellement par les administrations, les ministères de tutelle conservent l'initiative d'opérations de sensibilisation de la population et des entreprises concernées par les problèmes de l'eau.

Toute politique de l'eau suppose une préparation, une sensibilisation de l'opinion publique et des pouvoirs publics. Cette phase de sensibilisation se manifeste par l'organisation de séminaires, colloques et autres congrès organisés souvent sous l'égide des ministères. Ces réunions favorisent le dialogue entre pouvoirs publics, industriels et chercheurs du domaine de l'eau. Dans la mesure où elles laissent s'exprimer les expériences de terrain, elles permettent l'évaluation et le transfert des connaissances.

Face aux nouveaux enjeux des projets d'aménagement en eau, l'initiative de l'état était jusqu'à présent principalement organisée autour de la protection de l'environnement naturel et de la gestion des ressources.

Par exemple, en 1977, le service central du ministère de l'équipement décida de créer une structure institutionnelle et financière pour acquérir les données des problèmes de pollution des eaux de ruissellement.

L'étude qui fit l'objet du financement, avait pour but de déterminer une méthodologie d'approche de ces problèmes concernant la définition des objectifs (modèlisation du phénomène, évaluation de la pollution, recherche hydrologique et analyse bibliographique) et la recherche de l'information (enquêtes, choix des bassins versants, méthodes et localisation des mesures). Les conclusions de cette étude ont permis de préciser la nature des variables explicatives du phénomène (concentrations des stations d'épuration, régime pluviométrique, nutriments).

Mais cette étude ou recherche n'a pas débouché sur des actions précises à mener contre la pollution (Deutsch, 1986), alors qu'elle aurait pu entrainer des projets de décontamination ou de traitement.

Citons un autre exemple d'opération de sensibilisation: en 1984, les ministères de la recherche et de l'industrie, de l'urbanisme et du logement, ont créé le "Plan Urbain", programme finalisé d'expérimentation et de recherche. Ses objectifs thèmatiques prioritaires sont de pouvoir mieux apprécier les intéractions existantes entre l'hydrologie et l'habitat, de progresser techniquement dans la conception, la connaissance et la gestion des réseaux d'assainissement et d'optimiser la gestion des ressources en eau. Des actions ont déjà été engagées par rapport aux préoccupations des décideurs locaux pour développer les techniques d'assainissement (individuel et collectif, séparation des eaux pluviales et usées), pour exploiter et gérer de manière plus moderne les réseaux (automatisation) et pour développer des outils d'analyse (modèles hydrologiques et outils d'analyse).

Il faut signaler également une autre initiative de l'état à travers la création de centres de formation des décideurs spécialisés dans les domaines de la gestion des ressources en eau, de l'assainissement et du traitement (Centre d'Etudes et de Formation International à la Gestion des Ressources en Eau, Fondation de l'Eau,...). Ces formations s'adressent essentiellement aux ingénieurs responsables de projets. A un niveau plus technique, la SEITA a son propre organisme de formation: le Centre de Formation et de Perfectionnement des Planteurs de Tabac destiné à informer les agriculteurs des techniques de l'irrigation par aspersion.

Si ces initiatives ne concernent pas directement les projets d'aménagement en eau que nous traitons, elles dénotent toutefois un souci des autorités publiques pour les problèmes de l'eau en particulier en milieu urbain.

Un autre exemple de décision prise à ce niveau et qui signifie un désengagement de l'état pour ce genre de projets : le financement des grands barrages qui était assuré à 50% par l'état n'est plus assuré qu'à 40%. Cette décision est effectivement cohérente avec la décentralisation dont l'objectif est de responsabiliser les régions.

L'état a donc essentiellement un rôle de soutien mais aussi d'incitation et de motivation. Au—delà, son rôle pourrait être mal perçu par les collectivités locales qui financent sur leur budget, une grande partie de leurs projets. Mis à part ce rôle, les décisions de l'état dans des domaines différents de celui de l'eau comme par exemple, ceux de l'économie ou de l'agriculture (fixation des taux d'intérêt de base des prêts bancaires, fixation des prix agricoles..) peuvent avoir une influence. Ces décisions sont donc à considérer en tant que contraintes ou incertitudes pour les projets d'aménagement en eau.

2.3.2.Décisions au niveau régional et départemental.

Les décisions de projets d'aménagement en eau peuvent y être regroupées au sein d'un syndicat interdépartemental créé à l'initiative des préfets et des conseillers généraux. De telles structures existent dans les départements de la Vendée, du Morbihan et de la Loire Atlantique, elles sont subventionnées par l'état, la région, le département et les agences de bassin. Les communes et syndicats intercommunaux qui y adhèrent et qui y sont représentés, conservent une relative autonomie vis—à—vis de la réalisation des projets. Leurs bénéfices sont versés au syndicat départemental qui en contrepartie peut aussi couvrir leurs éventuels déficits. Cependant en ce qui concerne le financement des projets, celui—ci décide de la répartition des budgets alloués à chaque collectivité en fonction du programme qu'il s'est fixé pour l'année en cours.

C'est la politique de l'eau menée au sein du conseil général qui permettra au niveau du département et de la région de développer des projets de construction de barrages ou des projets d'irrigation. L'une des commissions qui constituent le conseil général peut être consacrée à l'eau et à l'agriculture. Le rôle de conseiller général est important pour amorcer les tendances et favoriser par exemple, les zones rurales plutôt qu'urbaines pour l'allocation des crédits d'assainissement. Sa fonction si elle est surtout de nature "politique", peut aider à obtenir des subventions pour certains travaux et l'un des atouts majeurs pour cela, est la présence d'un ministre parmi les membres du conseil général. C'est à ce niveau que se créent les priorités financières pour des projets en compétition, mais leur choix peut dépendre ici, de critères électoralistes.

Prenons le cas réel d'un choix qui s'est imposé entre deux projets d'irrigation par réseau d'aspersion dans la même région. Le financement de ces deux projets ne pouvait avoir lieu la même année. Le premier projet se situe en zone non remembrée, ce qui d'un point de vue technique implique une configuration de réseau plus compliquée et donc un surcoût qu'il est possible d'éviter en minimisant le diamètre des conduites et en choisissant des matériaux moins onéreux que la fonte. Le second projet se situe en zone remembrée avec un parcellaire permettant pour un coût identique au premier projet, d'installer un réseau en fonte et de le dimensionner de manière à pourvoir à son extension ultérieure. Ce n'est pourtant pas sur la base de cette comparaison technique et économique des projets que la décision de financement a été prise, c'est la présence d'un membre du syndicat d'irrigation défendant le premier projet au sein du conseil général qui l'a orientée.

La politique de l'eau menée par la région ou le département, peut aussi prendre le relais de celle menée par l'état, à savoir diminuer la part de subventions allouées pour les syndicats ou les communes, afin de les responsabiliser davantage. C'est également à ce niveau que peut être prise la décision d'uniformiser le prix de l'eau, elle peut faire l'objet d'une commission chargée d'obtenir un consensus entre les différents syndicats des eaux.

2.3.3.Décisions au niveau des agences de bassin,

des administrations départementales et des agences de bassin.

La politique de l'eau conduite à ce niveau contribue au financement des projets mais revêt un caractère plus technique, c'est une politique d'appui, de conseil et de contrôle.

Les directions départementales impliquées sont celles de l'agriculture et des forêts (DDAF), de l'équipement (DDE), des mines, de la santé (DDASS), elles ont essentiellement un rôle de conseil technique dont les services ne sont pas obligatoirement requis pour chaque projet. On note même une certaine réticence au niveau des conseils généraux à les faire intervenir à cause de la commission retenue pour leurs interventions. Lorsqu'ils interviennent, les ingénieurs de ces services ont alors des décisions importantes à prendre et rejoignent celles qui peuvent être prises par un syndicat ou un bureau d'études pour préparer, lancer et réaliser les projets décidés selon un processus que nous analyserons plus en détail.

Les agences de bassin qui sont au nombre de six sont des établissements publics sous la tutelle du ministère de l'environnement, leur mission est essentiellement financière (tableau n°1—3), les sommes recueillies par prélèvement des redevances intégrées à la facture d'eau sont destinées aux financement de projets sous forme de subventions ou de prêts, en fonction des objectifs d'un programme qu'elle se fixe en général pour cinq ans. Elles bénéficient d'une autonomie financière très importante pour qu'elles puissent prendre leurs décisions.

Les décideurs sont des représentants de l'état, des collectivités locales et des usagers de l'eau. Les décisions des agences de bassin doivent être approuvées par le comité de bassin souvent défini comme un "parlement" de l'eau (Hubert 1984). Les missions déléguées de bassin qui regroupent à l'échelle d'un bassin les différentes administrations citées précedemment ont pour rôle de coordonner les décisions prises et les actions menées par ces divers organismes.

Le conseil départemental d'hygiène est chargé en particulier, de résoudre les problèmes de protection des captages d'alimentation en eau potable. Il joue essentiellement un rôle de conseil auprès du préfet qui reste maître de la décision finale.

2.4. Niveaux de décision impliqués avant et après le lancement du projet

2.4.1. Décisions de la commune ou d'un syndicat des eaux.

La commune et son maire, le syndicat et son président, sont concernés davantage par les réalisations techniques et la gestion comptable du projet (captages, réseaux, prix de l'eau). Leurs décisions peuvent dépendre aussi de critères électoralistes, dans ce cas elles ne présentent pas nécessairement un caractère de rationalité technique et économique et elles peuvent manquer d'objectivité.

tableau n°1-3 : AIDES ACCORDEES PAR LES AGENCES DE BASSIN DANS LE DOMAINE DE L'EAU
- EXEMPLE DE L'AGENCE RHONE-MEDITERRANEE-CORSE 1986-

AIDES POLLUTION pour les Collectivités locales			
ETUDES PREALABLES	Création, extension, amélioration des stations d'épuration		80% A
	Valorisation agricole des boues de stations existantes		50% S
	Diagnostic de réseau		50% S
	Schéma d'assainissement		50%S 50%A
	Faisabilité. assainissement individuel		50% S
STATIONS D'EPURATION	> 400 habitants	élimination des pollutions oxydables et décantables	25%S 15%A
RESEAUX	Transport	collecteurs de regroupement et de transport interurbain	10%S 30%A
	Amélioration et restructuration de l'existant	Suppressions anomalies élimination des eaux parasites	20%S 40%A
	Aides	**Ressources**	
MOBILISATION PROTECTION DES RESSOURCES	Grands ouvrages hydrauliques	Etudes acquisitions foncières Réalisation de l'ouvrage	50% A 10%A à 30%S
	ouvrages pour augmentation. ressource	Etudes et réalisation	10 à 40% A
	protection quantitative aquifère	acquisition périmètre de protection	50%A
ECONOMIES D'EAU	Irrigation par ruissellement	travaux économie d'eau	25% S
		études préalables	50% S
	Etablissements industriels et assimilés	alimentation autonome	45%A
		alimentation. publique.	25%A 20%P
	Distribution publique et gaspillage	diagnostic. fuites- études techniques et économiques réparation-investissements	80% A 50% P
ALIMENTATION EN EAU POTABLE	Protection règlementaire des captages	étude hydrogéologique	70% S
		procédure administrative	21000F S
		acquisition+clôture périmètre immédiat	70% S
		mise en conformité DUP	50% S
		indemnisation servitudes	Examen
	sécurité qualitative	divers	40% A
AMENAGEMENT RESTAURATION	(cours d'eau, lacs, étangs)	études	50% S
		travaux	20% S

S = subvention A = Avance P = Prêt

Les agences de bassin peuvent être présentées comme des mutuelles décentralisées car tout le monde verse à l'agence sa quote-part (sous forme de redevance proportionnelle aux prélèvements et aux rejets) et chacun profite des possibilités de financement ainsi disponibles.

Une des décisions que peuvent d'abord prendre les communes est de se regrouper en syndicat intercommunal: cela reflète souvent la décision de ne pas avoir recours à l'affermage et donc un souci d'indépendance dont la contrepartie est la nécessité de disposer d'une certaine compétence technique. Cette compétence devra être complétée si besoin est, par celle des ingénieurs des services administratifs ou bien celle d'un bureau d'études spécialisé dans le domaine de l'eau.

La fonction de président de syndicat peut revêtir une importance particulière car elle est directement rattachée à la notion de projet. Sans projet d'assainissement, d'irrigation ou d'alimentation en eau potable, ses décisions n'existent pas sauf celle de ne rien faire. C'est aussi une fonction délicate parce qu'elle requiert l'unanimité, l'échelle de la structure implique souvent que le président du syndicat soit une personnalité incontestable. Avec sa propre compétence technique, il doit prévoir le programme des travaux, les nouveaux ouvrages de structure en fonction des crédits. Il doit faire des propositions, choisir son personnel et les bureaux d'études, c'est lui qui signe les marchés, les agréments des entreprises sous-traitantes, renouvelle les adjudications et signe les appels d'offres. Il est également chargé de gérer son syndicat et d'en rendre compte devant le conseil d'administration où siègent les délégués des communes et parfois des membres du conseil général en tant qu'invités.

Le maire dont la fonction de décision est plus étendue, doit réaliser le consensus autour du projet d'aménagement en eau. Comme il doit règler les litiges du plan d'occupation des sols (POS), il n'a pas forcément l'unanimité et ses décisions seront peut être un peu moins fermes. Une bonne entente avec le président du syndicat des eaux est indispensable. Il dirige le conseil municipal qui reste souverain pour décider par exemple des projets d'assainissement.

Au niveau des mairies, il peut donc y avoir des décisions qui sont d'ordre plus général et qui ne concernent qu'indirectement les projets d'aménagement en eau. Si le POS est établi pour concilier les différents problèmes techniques des aménagements communaux avant de déterminer les parcelles à bâtir (alimentation en eau potable, équipement en électricité, assainissement), il ne représente plus une contrainte pour les projets d'alimentation en eau et d'assainissement puisque ces derniers y sont intégrés.

2.4.2.L'usager peut parfois prendre la "casquette du décideur"...

Les usagers peuvent prendre des décisions dans le cadre des unions de consommateurs que nous avons déjà mentionnées à propos du prix de l'eau. Ont ils un pouvoir de décision réel ? Il est difficile de l'affirmer. Néanmoins, ils participent au comité de bassin en nombre égal à celui des administratifs et des responsables locaux où la politique de l'eau à l'échelle d'un bassin est discutée (Gaillard, 1986). Mais tous les groupes d'intérêts (agriculteurs, associations de loisirs, industriels, écologistes,..) y sont ils représentés ? la question reste posée.

A l'heure actuelle quelques travaux tentent d'éclaircir les phénomènes de participation publique à la prise de décision dans les projets d'aménagement en eau (Macgilchrist, Olivry, 1986).

2.4.3.Le spécialiste est aussi un décideur.

On regroupera ici les sociétés distributrices d'eau, les bureaux d'études, les ingénieurs conseils qui, s'ils ne participent pratiquement pas au financement des projets, doivent cependant prendre des décisions de la plus haute importance pour les réaliser. Ces décisions font l'objet de choix techniques et doivent être prises en fonction des contraintes économiques, "politiques" et sociales qui sont induites par les niveaux de décision présentés ci—dessus.

Les décisions des différents spécialistes intervenant dans la conception, la réalisation et l'évaluation des impacts de ces projets, seront analysées dans la suite de cet ouvrage.

2.5.Relations entre les différents niveaux de décision.

2.5.1.Importance et nature de ces relations.

La nature des interactions et des interférences existant entre les différents niveaux de décision est à l'origine de la complexité du phénomène, elles sont le siège de compromis et de négociations difficiles à formaliser.

Les relations qui lient les bureaux d'études, aux maîtres d'ouvrages (mairies, services administratifs) se font par l'intermédiaire d'un contrat signé à l'issue d'une réponse à un appel d'offre. Les relations entre les bureaux d'études, les cabinets d'ingénieurs conseils et parfois les organismes publics se font dans un contexte concurrentiel face à un appel d'offre.

Dans d'autres cas, il peut y avoir un regroupement des points de vue lorsqu'un président de syndicat est à la fois maire et conseiller général.

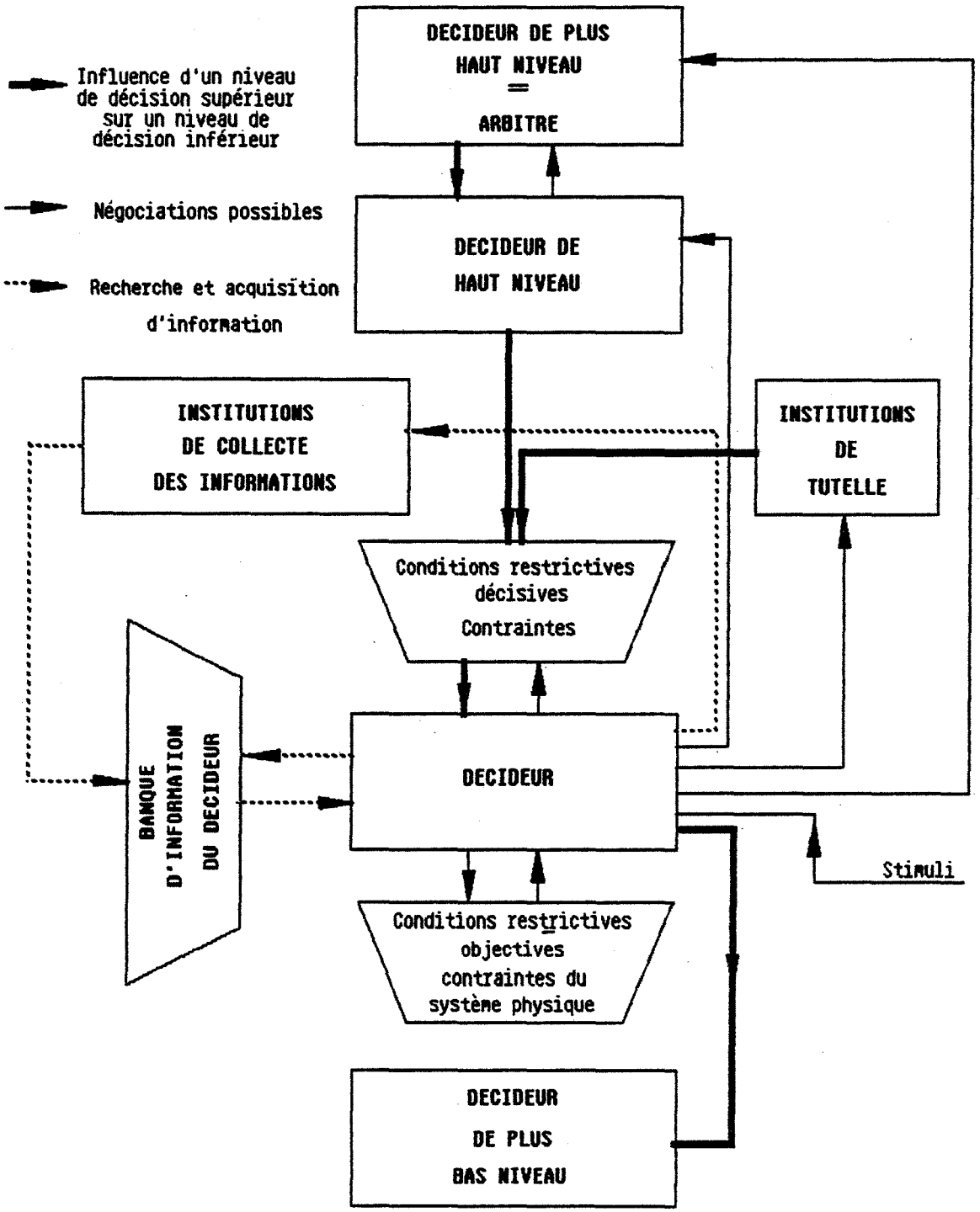
Le rôle d'une agence de bassin n'est pas de se substituer aux différentes administrations qui conservent leur pouvoir de décision, il n'est pas non plus de se substituer aux maîtres d'ouvrages publics ou privés dans la réalisation des projets.

Certains auteurs (Indyk et al. 1986), s'accordent sur le fait que seules les interactions entre des niveaux de décision voisins sont possibles, une décision prise à un haut niveau peut constituer un ordre irréversible, alors qu'à un niveau de décision inférieur, une suggestion peut être rejetée ou être négociée. Cet auteur propose un schéma des relations existant dans un processus de décision (Figure n°1—3).

figure n°1-3

SCHEMA DES RELATIONS DANS UN PROCESSUS DE PRISE DE DECISION

(d'après Indyk & al. 1986)



2.5.2. Rôle de la législation.

Sans vouloir traiter de la législation de l'eau, celle—ci permet de comprendre les relations d'obligation et de contrôle qui lient les différentes instances de décision en les formalisant par des textes législatifs ou des décrets. Les responsables de projets ont recours, le cas échéant, aux textes du code civil relatifs à la propriété des eaux courantes, souterraines ou de pluie. Ces textes définissent également les rôles et devoirs des différentes administrations. Avant tous travaux de captage, les administrations compétentes doivent délivrer les autorisations de prélèvement des ressources en eau souterraine ou superficielle (déviation de cours d'eau, implantation d'un captage). Dès que les travaux affectent la nature du sol, pour procéder à un sondage mécanique ou pour poser des canalisations de distribution d'eau, des déclarations d'intention de commencement des travaux doivent être effectuées suffisamment longtemps à l'avance. La décision de prélever les ressources en eau est suivant leur provenance et leur usage, subordonnée à la police des trois administrations techniques, celles de l'industrie, de l'équipement et de l'agriculture. Selon que ces prélèvements s'effectuent dans une nappe d'eau souterraine, dans un cours d'eau domanial ou rural, les responsables du projet auront pour interlocuteur les ingénieurs des mines, des ponts ou du génie rural. Pour les projets d'assainissement, les textes du code rural règlementent les rejets d'eaux résiduaires.

2.5.3.Autres organismes prenant part aux décisions,

D'autres organismes publics sont concernés par les projets d'aménagement en eau:

-le Ministère de l'intérieur et de la décentralisation,

-le Ministère de la Santé,

-FNDAE: Fonds National pour le Développpement des Adductions d'Eau. Son rôle est d'aider financièrement les collectivités rurales à se doter de services de distribution d'eau potable et d'assainissement.

-l'Association des Maires de France,

-la Fédération Nationale des collectivités concédantes et des régies,

-le Syndicat professionnel des distributeurs d'eau,

-la Commission "Eau et Assainissement du comité des techniques locales,

Aucun de ces organismes et de ceux cités précedemment, pour diverses raisons, ne consent à abandonner ses prérogatives au profit d'un éventuel Ministère de l'Eau.

2.6.L'apport du système MISE pour l'analyse des décisions.

Les décisions qui nous intéressent dans le cadre de ce travail, sont celles qui permettent de construire les projets. La méthode de simulation MISE que nous proposons est destinée à analyser ces différentes décisions dans le cadre de projets réels dont le financement est considéré comme décidé.

Il s'agira d'étudier, en évaluant les projets simulés, les décisions que doivent prendre les ingénieurs ou les responsables de syndicats devant un problème technique et économique et de déterminer celles qui sont les plus importantes. A partir du système MISE dont la vocation est à l'heure actuelle essentiellement pédagogique, nous essaierons de bâtir un outil d'aide à la décision plus général. Ce nouvel outil sera destiné dans un premier temps, aux professionels de l'ingénierie des projets d'aménagement en eau, sa réalisation sera basée sur la conception d'un environnement informatique pour assister les décideurs dans une approche pluridisciplinaire.

Pour optimiser les choix qu'ils doivent effectuer, les décideurs ne disposent pas toujours d'outils efficaces et opérationnels pour évaluer les différentes solutions de projet. On assiste rarement à une évaluation des choix possibles, la décision finale est souvent "politique". C'est pourquoi il était nécessaire de replacer les décisions qui permettent de réaliser les projets dans un contexte aussi proche que possible de la réalité, c'est à dire en prenant en compte les contraintes que peuvent représenter les autres instances de décision.

Nous ne pouvons pas prétendre avoir été exhaustif, dans la présentation des différents niveaux de décisions intervenant dans les projets d'aménagement en eau. D'autres décideurs tels que les assureurs, les banques et autres organismes de crédit et de financement ont leur part de décision dans ces projets. Nous avons voulu simplement exposer ici, la complexité des structures de décision en présentant succinctement les niveaux qui nous semblaient les plus importants.

CHAPITRE3: COMMENT LE SYSTEME MISE PERMET DE SIMULER UN PROCESSUS EVOLUE DE DECISION ?

Le but de ce chapitre est de montrer que la théorie de la décision combinée avec la simulation, permet d'intégrer les décisions prises dans les diverses disciplines qui interviennent dans les projets d'aménagement en eau, d'en déduire les mécanismes et les justifications.

3.1.Intérêt d'une analyse des décisions dans les projets d'aménagement en eau.

La théorie de la décision doit se concevoir en tant que science d'aide à la décision; avec la recherche opérationnelle, le calcul économique, elle s'est développée à partir de postulats qui ne sont pas toujours bien adaptés. Le postulat du décideur qui le définit comme un acteur doté de pleins pouvoirs, agissant selon un système de préférences complètement défini, le postulat de l'optimum affirmant qu'il existe une décision optimale pour toute situation devant entraîner une décision, ne pourraient être qu'à la base d'une analyse limitée, en particulier dans le domaine de la réalisation des projets d'aménagement en eau.

Nous ne développerons pas ici, les axiomes sur lesquels reposent cette théorie qui doit permettre une analyse rationnelle des problèmes de décision complexes (Keeney, 1986). Ces axiomes sont formulés de manière plus ou moins différente par divers auteurs: Von Neuman et Morgenstern (1947), Pratt, Raiffa et Schlaifer (1964).

L'un de ces axiomes s'adapte particulièrement bien au cas des projets d'aménagement en eau dont l'étude comporte souvent la mise au point de plusieurs variantes. L'analyse des décisions qui consistent à choisir l'une de ces variantes est basée sur la vraisemblance et la nature de ses conséquences.

La construction de chaque variante de projet est basée sur l'information existante et sur les jugements professionels. Elle entraîne un processus de décisions qui sont destinées à collecter les données complémentaires et à sélectionner les outils nécessaires (méthodes de prospection, programmes informatiques de calcul ou de modèlisation).

La simulation intégrée d'un projet consiste à prendre en compte les différentes étapes de décision qui permettent de construire une solution de projet. C'est dans ce cadre que nous analyserons les décisions prises par ceux chargés de leur mise au point.

3.2. Intérêt de la simulation.

La simulation de projets, en particulier à l'aide du système MISE qui est assisté par ordinateur, revêt un intérêt pédagogique pour les futurs responsables des projets d'aménagement en eau (Davoine et Graillot, 1985). Pour les professionels et les élus (maires et présidents de syndicats), il permet en tant qu'outil de simulation, l'évaluation de variantes puisque tous les projets simulés sont réels. Il permet aussi de prévoir le déroulement de ceux qui sont prévus, mais pour lesquels un choix final ne s'est pas encore opéré. L'avantage de la simulation est de pouvoir tester des solutions de projets qui ne le seraient jamais dans la réalité car trop risquées ou trop coûteuses. Lorsque le problème à résoudre est mal structuré et difficile à traiter, la simulation permet d'établir à partir de différentes hypothèses probables, un jeu de solutions dont la convergence éventuelle peut permettre une définition plus précise de ce même problème.

Face à la dérive des coûts de développement, il devient nécessaire de gérer les projets d'aménagement en eau de plus en plus efficacement. Pour y parvenir, les responsables de projets doivent connaître rapidement non seulement les données et les moyens dont ils disposent avant le lancement du projet. Pendant sa réalisation, ils ont besoin de connaître les moyens de parer aux éventuels incidents de parcours, l'état d'avancement des études et des travaux, les dépenses réalisées et leurs écarts par rapport à celles engagées.

Mais les avantages de la simulation dépendent pour une grande partie du simulateur utilisé, de la facilité de compréhension des modèles pour l'utilisateur, de sa représentativité par rapport à la réalité et de la possibilité d'observer ses réactions par rapport aux stimuli exercés sur ces modèles. L'inconvénient majeur de la simulation consiste dans la particularité des cas traités, les simulateurs qui permettent de traiter des cas généraux demandent un effort important de conceptualisation et de programmation pour l'utilisateur (introduction de variables supplémentaires pour définir un site, un type de projet,..). Le système MISE est un simulateur dédié à la conduite des projets d'aménagement en eau, il ne peut traiter n'importe quel site. Par contre, il est assez flexible pour qu'à chaque type d'application (Alimentation en Eau potable, Irrigation, Assainissement), sa structure principale ne soit pas à reconstruire.

3.3.Présentation du système MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau).

3.3.1 Buts et stratégies du système MISE.

Le MISE est un outil pédagogique, conçu pour la conduite des projets d'aménagement en eau en intégrant la gestion des ressources en eau et de leur distribution.

tableau n°1-4: Principales caractéristiques fonctionnelles du MISE

Objectifs décrits	Pédagogie-simulation-aide à la décision
Date de création	1982
Documents permettant d'évaluer les objectifs	Comptes rendus des sessions
Références internes principales	Notice d'utilisation générale de MISE Notices d'utilisation des modèles informatiques

Aspects dominants du logiciel				
Découverte **Acquisition** **Contrôle** **Renforcement** **Application** **Pratique**	*de*	**Raisonnement** **Faits** **Méthode(s)** **Savoir-faire**	*par*	**Dialogue** **Simulation** **Jeu** **Modélisation**

Présentation	Interactivité-Animation-Négociations-Pauses	
Durée	5 jours (durée moyenne totale)	
Document d'accompagnement indispensable	Notice d'utilisation MISE	
Utilisation prévue	par l'enseignant (au cours de la préparation) par l'apprenant en libre service ou plus généralement sous forme de séminaires	
Nombre de participants	6 à 8 par session, en équipes de3 ou 4 ou utilisation individuelle en libre service	
Utilisateurs	Elèves (EMSE...), Etudiants (universités) Chercheurs, enseignants Hydrogéologues Ingénieurs en formation	
Activité de l'enseignant	**Avant**	Préparation-organisation
	Pendant	Coordination entre utilisateurs
	Après	Interprétation des résultats Révisions et modifications du système

Le fonctionnement de ce modèle est essentiellement basé sur l'utilisation du dialogue informatique pour:

—la modélisation des ressources en eau,
—le calcul de leur distribution,
—la décision économique,

Il a pour but de former des décideurs ou des jeunes ingénieurs à la gestion des ressources en eau, en y intégrant les aspects techniques et économiques du problème. La vue synthétique de ces différents aspects peut permettre aussi au spécialiste, d'envisager les conséquences de plusieurs scénarios de consommation ou d'exploitation de la ressource, grâce à la simulation.

L'objectif de l'utilisateur est de répondre à un appel d'offre simulé concernant un projet d'aménagement en eau réel, déja éxécuté, en cours d'éxécution ou bien prévu. La réalisation de ce projet s'effectue selon les caractéristiques décrites dans le tableau n°1—4.

Divers outils (logiciels, méthodes d'interprétation, banques de données) sont intégrés dans la structure générale de MISE. Cela permet une meilleure utilisation et la comparaison de leur efficacité.

Cette utilisation se fait dans un contexte de projet réel, ce n'est pas le cas des méthodes de modèlisation mathématiques qui sont utilisées isolément, pour des configurations de problèmes et dans des conditions théoriques souvent éloignées de la réalité.

3.3.2.Spécificité de l'outil informatique:

Le système MISE est aujourd'hui un ensemble de logiciels (tableau n°1—5). Il permet l'étude d'une variété de problèmes dans le domaine des ressources en eau.

Nos travaux de recherche sont consacrés depuis quatre ans à la conception et à l'élaboration de modèles de simulation assistés par ordinateur qui sont intégrés dans le système MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau). Les secteurs étudiés sont les suivants:

—Gestion des ressources en eau,
—Calcul scientifique (modélisation),
—Enseignement Assisté par Ordinateur (simulation),
—Intelligence Artificielle (systèmes experts).

Les projets simulés à l'aide du système MISE représentent une gamme de scénarios d'aménagement différents. A l'heure actuelle, ce sont les suivants:

—Alimentation en eau potable
—Equipement de périmètres d'irrigation
—Assainissement des petites collectivités

tableau n°1-5: Logiciels et matériel Informatique utilisés

Logiciel de base		Programmes M.I.S.E.	
Matériel au 30 juin 1986			
Machine	Système d'exploitation & Capacité	Fonction	langage de programmation
MINI 6 (CII HB)	G COS MOD600 1024 Ko	simulation hydrodynamique	fortran
		tirages aléatoires	pascal
		Optimisation technico-econom résaux	fortran
		Banques de données irrigation et eau potable	
VICTOR s1 & VICTOR vi compat. IBM	MS DOS 512 Ko	simulation hydrodynamique	fortran
		Calcul débits de pointe-réseaux d'irrigation	fortran
		tirages aléatoires	basic
		Optimisation technico-econom résaux	basic
		Banques de données irrigation et eau potable	
TEKTRONIX 405464611	Tektronix 32 Ko	Interprétation sondages électriques	basic
		Interprétation essais par pompage	basic
		Calcul et tracé de réseaux AEP	basic

Une des phases de développement du système prévoit la simulation de projets de construction de barrages ainsi que la simulation de projets adaptée aux pays en développement.

La réalisation simulée de ces projets s'exécute sous les mêmes contraintes que celles affectant un projet réel, c'est—à—dire dans le cadre d'un budget et de délais fixés. Après avoir établi une stratégie initiale (étude prévisionnelle), les utilisateurs du MISE sont amenés à prendre une suite de décisions permettant non seulement de réaliser les équipements nécessaires, mais aussi de gérer financièrement la distribution des ressources en eau. Pour cela, le système MISE contient:

—diverses banques de données décrivant les caractéristiques hydrogéologiques, géographiques et administratives du site d'étude, les coûts et temps engendrés par chaque décision ou chaque action, la liste des évènements appelés incidents qu'il est probable de rencontrer lors de la réalisation des études ou des travaux.

—un outil de gestion de ces incidents (programme de tirage réglant leur apparition au cours des prises de décisions selon une probabilité déterminée par l'expérience).

—divers modèles mathématiques utilisés pour la prévision du comportement hydrodynamique des nappes aquifères exploitées (différences finies) et pour le calcul des réseaux de distribution (méthode Hardy—Cross pour les réseaux d'eau potable et méthode simplifiée de Labye pour les réseaux d'irrigation). Les programmes de recherche opérationnelle (problème de transport) sont utilisés pour l'optimisation technico—économique du tracé des réseaux.

—d'autres logiciels destinés à l'interprétation des données géophysiques, des résultats d'essais par pompage et ceux permettant un tracé automatique des réseaux de distribution.

Les modèles hydrodynamiques fonctionnant en régime permanent et transitoire permettent de mesurer les impacts d'un scénario d'aménagement comme l'implantation de forages et d'essais par pompage dans une nappe aquifère, la construction d'une digue ou d'un plan d'eau.

Un contrôle de gestion du projet permet d'apprécier à tous moments la validité de la stratégie adoptée, en fonction des dépenses engagées et réalisées et en fonction des délais prévus et de la durée effective du projet (Graillot, 1983).

Le système MISE donne lieu à une activité de formation permanente. Le fonctionnement régulier des sessions de formation, nous a permis de constituer une base de connaissances s'enrichissant à chaque session et synthétisant le savoir—faire des professionnels participant à ces sessions.

3.4. Caractéristiques d'un processus évolué de décisions.

Spécificité de la décision dans les projets d'aménagement en eau.

Dans le cadre général d'un projet, la "décision" est en fait un "processus qui conduit au choix". L'analyse de ce processus dans le cas d'un problème complexe permet de déterminer un ensemble de solutions concurrentes dont le processus peut être différent.

Les décisions dans le domaine des projets d'aménagement en eau sont assujetties à un découpage hiérarchisé des différents niveaux de décision. Les décideurs et acteurs y sont nombreux. Un projet d'aménagement en eau peut être comparé à un ensemble d'activités différenciées qui doivent être coordonnées dans le temps, par des choix successifs Ceci explique un processus de décision parfois très fragmenté ou évolué. Au niveau de la technicité d'un projet d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement, l'interdisciplinarité des professions requises le rend particulièrement complexe.

En observant le déroulement des projets, on remarque que les responsables ne se dirigent pas d'une allure décidée vers l'aboutissement prévu de l'ensemble de leurs décisions c'est—à—dire l'action proprement dite. Avant d'ordonner l'exécution des travaux sur le terrain, ils ont en fait pris un ensemble de décisions successives:

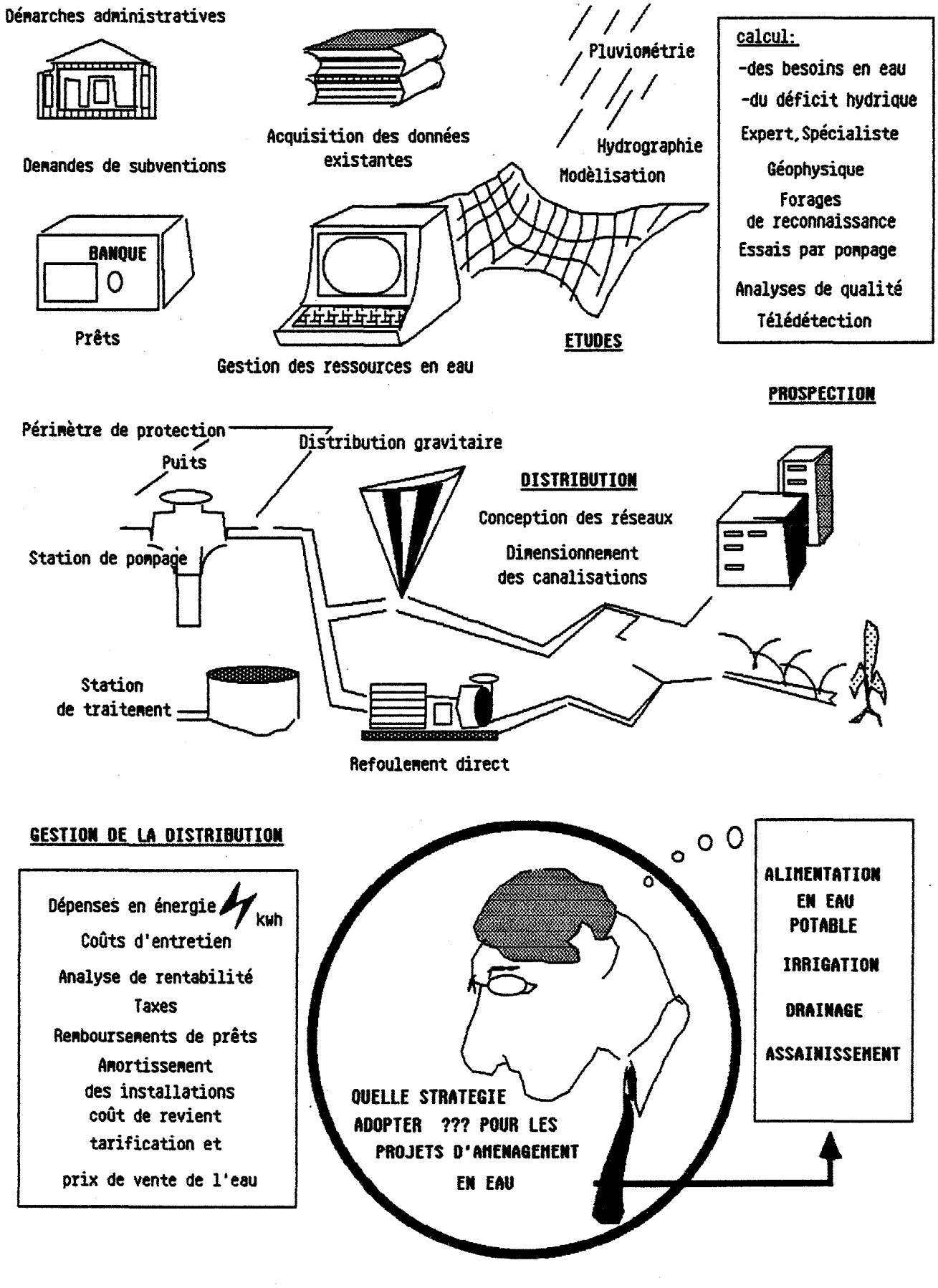
—définition du problème et analyse des besoins en eau,
—recherche des données,
—études complémentaires pour évaluer les ressources en eau,
—étude de rentabilité.

Les conséquences de certaines de ces décisions influencent les décisions suivantes et seule l'expertise permet d'anticiper une ligne directrice du projet. C'est en ce sens que ce processus de décision est rarement linéaire, il s'agit plutôt d'une riche succession itérative de situations exigeant des décisions intermédiaires, après une étude préalable ou prévisionnelle plus ou moins approfondie. Ces décisions intermédiaires que l'on qualifie aussi d'élémentaires (en tant qu'éléments indispensables de la décision finale) se prennent à un niveau dit tactique, l'ensemble des décisions tactiques bâtissant une décision de niveau stratégique.

Le problème de stratégie à résoudre tel qu'il apparaît à la figure n°1—4, consiste donc à trouver un enchaînement de décisions tactiques (un chemin) assurant la réussite du projet. Une décision qu'elle soit tactique ou stratégique, se décompose d'une phase préliminaire de préparation et d'une phase de mise en oeuvre dont l'importance respective conduit à distinguer d'une part, ce qu'on apppelle les décisions programmées pour lesquelles la phase de préparation est courte par rapport à celle de mise en oeuvre, et d'autre part, les décisions qu'il qualifie de peu structurées et pour lesquelles c'est la phase de préparation qui est la plus longue (Cuendet 1982, Lemoigne 1974, Simon 1962).

figure n°1—4

ELEMENTS DU SYSTEME DECISIONNEL POUR LA REALISATION DE PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU



Les décisions programmées sont des décisions dites de "niveau inférieur" et les décisions peu structurées sont dites de "premier niveau ou globales", la complexité de l'analyse de ce genre de décision augmentant avec son niveau.

Dans les projets qui nous intéressent (figure n°1—5), les décisions tactiques ou programmées sont prises pour résoudre des problèmes bien définis et pour lesquels on dispose de moyens suffisamment fiables : faire un sondage géophysique, interpréter un essai par pompage, construire une station de pompage, calculer un réseau. Les décisions stratégiques, peu programmées ou globales, se rapportent davantage à des choix comme par exemple celui de la ressource en eau (eau superficielle ou souterraine) qui exprime une stratégie de gestion de la ressource, ou bien le choix du débit fictif continu pour déterminer les besoins en eau d'irrigation (calcul, valeur régionale), qui peut reflèter une stratégie de développement des cultures irriguées. L'articulation de ces différentes décisions fait donc apparaître la notion de niveaux hiérarchiques de décisions. Elle peut se représenter par un graphe de décisions (figure n°1—6) qui se succèdent jusqu'à un niveau de plus en plus élémentaire concernant par exemple, le choix du pas de temps d'un palier de débit pour un essai par pompage, ou le choix de la longueur de ligne pour un profil géophysique. Une stratégie est un des chemins possibles dans ce graphe, elle se définit par rapport aux objectifs du problème

3.4.1.Dynamique d'un processus de décision:

Les projets d'aménagement en eau mettent toujours un certain temps à se réaliser. Les décisions sont donc sensibles aux conséquences des variations temporelles de l'environnement physique, technique, économique et social. Au fur et à mesure de leur avancement, les projets en développement rencontrent des conditions non prévisibles, au contraire les contraintes que l'on redoutait peuvent disparaître. Cela constitue une des spécificité de la décision dans les projets d'aménagement en eau. Les informations doivent être renouvelées, les moyens réadaptés, les décideurs eux—mêmes sont sujets à une certaine mouvance politique.

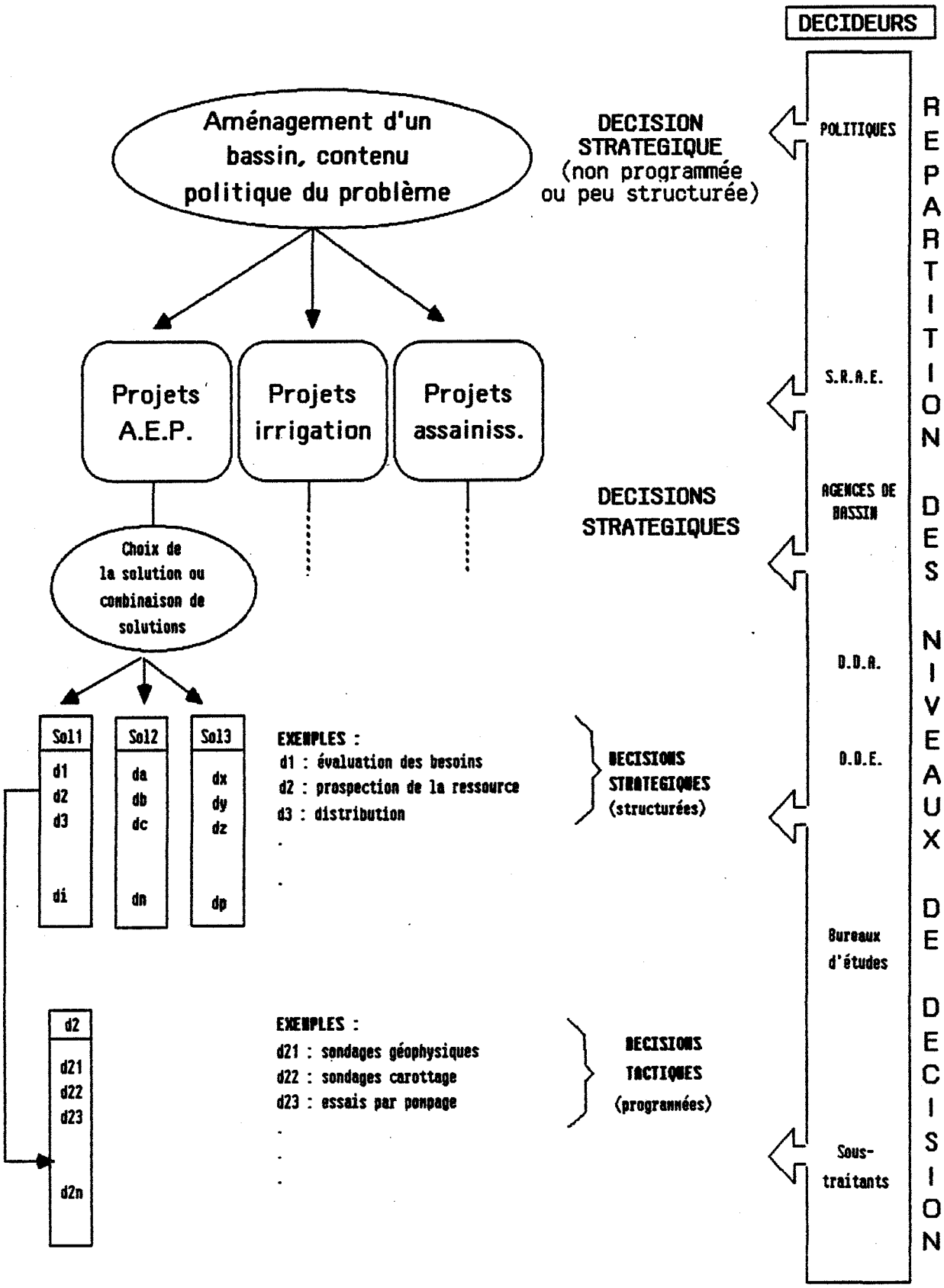
Il est donc nécessaire que MISE puisse supporter l'apparition de ces variations pendant la simulation des projets. Ses possibilités de "bifurcation" par rapport aux objectifs initiaux, lui permettent de s'adapter à leur changement. La génération automatique d'aléas, calée sur la réalité, permet de simuler la variation des contraintes.

3.4.2.Les schémas de décisions doivent être reconstitués à partir de cas réels.

Un projet d'aménagement en eau ne s'évalue pas par un volume, un débit, un coût financier ou temporel mais plutôt par un schéma traduisant l'organisation des décisions prises pour évaluer les besoins en eau, les ressources exploitables et distribuer la ressource prélevée.

figure n°1—5

ARTICULATION DES DIFFERENTS NIVEAUX HIERARCHIQUES DE DECISION



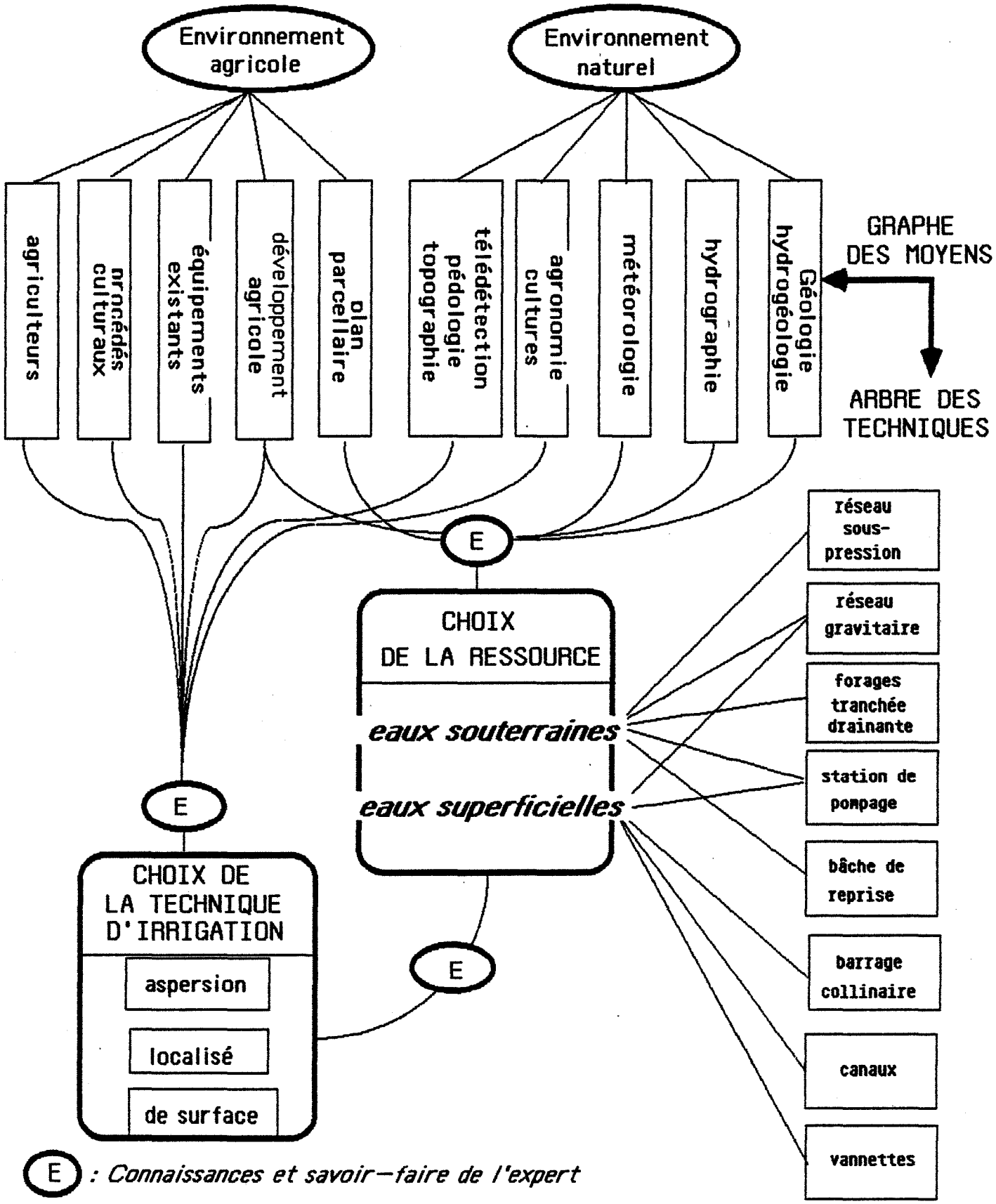


figure n°1-6

GRAPHE DES DECISIONS POSSIBLES POUR RESOUDRE UN PROBLEME D'IRRIGATION

Il n'y a cependant aucune raison pour qu'un tel schéma soit unique, ce qui permettrait de croire à la suprématie des techniques optimisatrices. C'est plutôt dans le cadre de l'élaboration du système de simulation MISE que nous proposerons une reconstitution des schémas de décision dont l'authenticité a été validée et contrôlée pour chaque type de projet à partir d'expériences réelles.

3.4.3.La définition des projets doit prendre en compte la complexité du problème.

Les sites sur lesquels les projets d'alimentation en eau potable et d'irrigation sont simulés concernent des nappes aquifères alluviales à grande ou à petite échelle avec ou sans réseau hydrographique. En revanche, la géologie du site d'étude lié au projet d'assainissement est de type cristallin. Prenons pour exemple le projet d'irrigation dont la simulation fera l'objet de la seconde partie de ce mémoire. Le problème est de développer l'irrigation par aspersion dans le plaine de Bièvre—Valloire (Bas Dauphiné—Isère) pour y maintenir le revenu agricole des exploitants , face aux problèmes de la sécheresse. Pour simuler ce problème, le système contient les données météorologiques, économiques, agronomiques et des techniques de base qui permettent de vérifier si le problème se pose en termes de sécheresse, de revenu agricole, de matériel d'irrigation ou de cultures irrigables.

Le système oblige ainsi l'utilisateur à définir les objectifs du projet pour trois périmètres d'irrigation de cette région. Il s'agit de trouver une ressource en eau durable et à proximité, de choisir la culture rentabilisant les investissements, de réaliser un système de distribution de l'eau et de pratiquer un prix de l'eau qui soit supportable par les agriculteurs et qui puisse couvrir les investissements et l'exploitation du service. Il conduit l'utilisateur à prendre conscience de la complexité du projet en l'obligeant à prendre en compte non seulement la proximité de captages pour l'eau potable, mais aussi l'opinion publique face à ce projet, le dynamisme du président du syndicat d'irrigation, le contentieux dû à l'organisation parcellaire (droits de passages,..etc), les problèmes de financement. Ceci peut le conduire à se forger de nouvelles hypothèses concernant par exemple le nombre de souscripteurs potentiels au syndicat d'irrigation qui guide l'évaluation des besoins, la surface à équiper et donc le dimensionnement du système de distribution.

Il y a quarante ou cinquante ans, le système économique et social dans lesquels était impliqué un projet de prélèvement d'eau était relativement limité, la création de captages n'interférait pas trop sur les nappes, la nature, les hommes et leurs activités. Actuellement et pour des pays industrialisés, il n'en est plus ainsi, le rôle des responsables de projets doit s'accommoder de cette complexité.

Après avoir défini les objectifs, il faut définir les responsabilités. Pour cela, le système MISE s'utilise par groupes qui, dans le cas du projet cité, représentent une structure peut être un peu fictive mais leur permettant de mieux percevoir les rôles et les pouvoirs des maîtres d'ouvrages, des maîtres d'oeuvres, des présidents de syndicats et des administrations de l'état. Au sein de chaque groupe et en fonction des compétences de chacun qui varient du niveau de l'apprenant à celui de l'expert, les participants aux sessions de simulation se répartissent les différentes tâches du projet. Si éventuellement, ils ne sont pas compétents dans un des domaines traités, le système leur fournit l'assistance souhaitée, mais cela évidemment est imputable au budget qui leur est alloué pour réaliser le projet. A ce niveau, le système MISE s'apparente à un jeu de rôles socio—professionnel que l'on retrouve dans les jeux d'entreprise.

3.5.La recherche de l'information.

La sélection des données contenues dans les banques de données MISE fournit à l'utilisateur des informations sur lesquelles seront basées ses décisions. Comme dans la réalité, la qualité des données disponibles est très différente, on distingue:

—les données contradictoires,
—les données qualitatives,
—les données quantifiables,
—celles qui sont sûres, vraisemblables ou erronées,
—les données générales ou permanentes et celles qui sont instantanées,
—les données complexes organisées dans un modèle,
—les données élémentaires.

Leur nombre, leur validité et leur pertinence s'améliorent avec la répétition des expériences de simulation. L'ensemble de ces données évolue en fonction de l'évolution naturelle du système physique, mais s'enrichit aussi à chaque session MISE au cours desquelles sont effectués les tests de décisions.

L'utilisateur du système est mis dans la situation du décideur, il se constitue une banque de données avec une stratégie de recherche qui lui est propre. Il est amené à se poser les mêmes questions qu'un décideur : comment sait—il s'il a réussi à réunir toutes les informations utiles et nécessaires?

Les relations concernant les éléments du système physique sont exprimées dans les calcul de besoins en eau, dans les modèles hydrodynamiques ou les modèles de réseaux, elles en constituent les données. D'autres interactions sont prises en compte par le système MISE, puisqu'à chaque prise de décision est généré soit un aléa, soit un conseil dont les conséquences dépendent des décisions déjà prises ou influencent celles qui le seront ultérieurement.

Par exemple, à plusieurs époques du projet, il peut y avoir remise en question de la connaissance sur la ressource en eau ou sur les besoins. Pour un projet d'irrigation, l'évolution du prix de l'énergie électrique par rapport au prix de l'eau et au revenu agricole représente une interaction de nature économique, celle existant entre la modernisation de l'agriculture et la reprise des exploitations par les jeunes agriculteurs est de nature sociale.

Prévoir ou prendre en compte les modifications futures des situations consiste aussi à rechercher l'information: le montant des tranches de subventions peut diminuer, les taux d'intérêt peuvent évoluer, les parcelles de terrain peuvent être soumises à un remembrement. Il faut donc réactualiser l'information en fonction des contraintes et des facteurs d'influence pour évaluer les risques liés au projet.

3.6.L'identification des contraintes et des facteurs d'influence.

Pour les projets d'aménagement en eau, le temps consacré à résoudre les compromis est très important et les facteurs adverses au déroulement du projet peuvent remettre en question les décisions prévues. Le système MISE intègre ces facteurs d'influence ou contraintes. Il y a des obstacles de nature matérielle par exemple, pour un projet de distribution en eau potable, la présence de dépôts d'ordures ménagères ou d'une stabulation libre de bétail à proximité des captages, l'encombrement du sous—sol par les conduites de gaz et d'électricité.

Ces facteurs peuvent aussi relever de personnes et d'activité ayant des intérêts opposés au projet en question. Le système peut simuler alors l'intérêt des exploitants de matériaux graveleux qui se situent le long des berges d'un cours d'eau ou le comportement récalcitrant de certains agriculteurs par rapport à un projet d'irrigation englobant leurs parcelles. Une liste aussi complète que possible de ces facteurs s'impose car il peuvent orienter par la suite le choix des projets, on distinguera:

—les contraintes d'actualité:

Les décisions peuvent dépendre de catastrophes d'actualité comme la sécheresse, la pollution d'un cours d'eau (eutrophisation), la pollution de captages par des hydrocarbures, les crues ou les ruptures de barrages, celles des canalisations d'un réseau à l'échelle d'une agglomération.

—les contraintes d'"historique":

On entendra par là, la référence aux décisions déjà prises dans le cadre de projets déjà réalisés c'est—à—dire à l'expérience des décideurs. Ces contraintes peuvent engendrer des "habitudes" ou façons de faire auxquelles il faut se référer ou bien qu'il faut critiquer mais qui sont à prendre en compte.

—les contraintes de nature "politique".

Certains facteurs d'influence auxquels nous avons fait déjà allusion au chapitre précédent, doivent également être pris en compte. Ce sont des facteurs plus ou moins "politiques" qui reflètent les préoccupations de nature sociale ou personnelle des décideurs. Les préoccupations sociales sont pratiquement liées au tempérament et plus exactement à l'honnêteté des décideurs vis—à—vis de l'impact social de leur décision (amélioration de la qualité de la vie) qui n'est pas pour eux une source de profit immédiat. En matière d'aménagement en eau, les ouvrages sont souvent discrets et l'amélioration de la qualité de l'eau d'une nappe, par exemple a un temps de retour trop long pour que le mérite de cette opération soit attribué à celui qui en a pris la décision. Par contre, pour répondre à une préoccupation personnelle de nature électoraliste, l'impact de la décision doit se manifester avec suffisamment d'intensité pour être gratifiant pour le décideur.

exemple:

Si un réservoir d'eau potable de 30 mètres de haut est érigé en quelques mois, alors cela peut constituer une manifestation rapide et visible d'un progrès social qui peut alors renforcer l'électorat d'un ou de plusieurs décideurs et contribuer au renouvellement d'un autre mandat de maire ou de président de syndicat.

Mais s'il existe une tendance "politique" écologiste dans la région, il est vraisemblable que cela peut renforcer aussi un électorat adverse. Cet exemple, est destiné à montrer que le choix entre la construction d'un réservoir et l'adoption d'un système de distribution par refoulement direct à partir d'un réservoir enterré, ne dépend pas toujours que de considérations techniques ou économiques.

—les contraintes de nature technique:

exemple:

La décision d'Electricité de France d'implanter un transformateur de ligne à haute tension est généralement totalement indépendante du choix de l'emplacement d'une station de pompage. La position du transformateur représente donc une contrainte puisque son éloignement par rapport à la station influe sur le coût du projet .

contraintes de formation:

Dans le cas où un syndicat intercommunal décide de gérer lui même la distribution de l'eau potable, il doit effectivement pourvoir à la formation des personnels du syndicat de distributeurs d'eau. Ce souci de formation existe aussi pour les ingénieurs et les spécialistes en fonction de l'évolution technologique. Ces contraintes se traduisent au niveau d'un syndicat par un coût de gestion; pour un ingénieur de l'administration ou d'un bureau d'études, par l'économie ou la dépense supplémentaire liée au recours à un expert.

—D'autres contraintes doivent être également prises en compte.

Elles concernent les personnes et les institutions d'intérêts opposés qui peuvent appartenir à des niveaux de décisions différents. L'importance économique directe ou indirecte des ressources en eau provoque pour tout projet d'aménagement en eau, la mise en jeu d'intérêts particuliers ou collectifs impliquant des plus—values pour les uns et des moins values (ou coût d'opportunité) pour les autres. Ces intérêts ou ces groupes d'intérêts, se transforment en groupes de pression avec lesquels les projeteurs doivent compter (Avias, 1982). Malheureusement la législation actuelle ne permet pas d'équilibrer les conflits qui en résultent, ce qui implique des retards importants dans la réalisation des projets. Le processus permettant d'aboutir à un décision doit donc comporter une étape destinée à régler les compromis. Pour y parvenir, le décideur doit posséder une certaine expérience, une certaine diplomatie et une certaine objectivité afin de pouvoir lutter contre ces groupes de pression et dégager les avantages et préjudices réels qu'entraîne un projet d'aménagement en eau. L'analyse de ces différents groupes de pression montre qu'il en existe de légitimes, ce sont les institutions en place. D'autres sont de nature "socio—politique" ce sont les conseils régionaux et généraux, les partis politiques. Les usagers, les propiétaires des terrains concernés par le projet et les distributeurs d'eau constituent un autre groupe d'intérêt. Les groupes d'intérêts concernés plus directement par la conception du projet et l'exécution des travaux, rassemblent les industriels et les commerciaux, les entreprises sous—traitantes en génie civil et en hydraulique, les bureaux d'études et les scientifiques. Le tableau n°1—6 synthétise ces différents groupes de pression.

3.7.La notion de risques.

La plus ou moins bonne perception de ces facteurs d'influence et de leurs conséquences conduit le décideur à prendre des risques qu'il doit évaluer. Cette évaluation se fait en continu tout au long des projets simulés par le système MISE (étape facteurs de risques, commune à tous les projets).

3.7.1.Généralités sur la notion de risques.

En général, l'approche du risque peut être envisagée selon trois aspects : l'aspect juridique qui déplace les responsabilités, l'aspect financier qui suppose le recours aux assurances et l'aspect technologique qui consiste à minimiser les dangers en concevant de manière optimale les ouvrages de captage ou de distribution (Guyonnet, 1986). C'est essentiellement ce dernier aspect qui englobe les problèmes de sécurité, de fiabilité de la ressource en eau et des ouvrages de distribution (risque de colmatage des forages ou d'entartrage des canalisations).

Dans le cas des réseaux d'assainissement, l'évaluation des risques est basée sur une démarche plus juridique et financière (Desbordes, 1986), puisqu'elle s'appuie sur la classique protection decennale.

tableau n°1-6: DIFFERENTS GROUPES DE CONTRAINTES POUR LA PRISE DE DECISION DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DE L'EAU.

(d'après Avias, 1982)

1 G.I. OU G.P. D'ORDRE LEGISLATIF, RÈGLEMENTAIRE OU ADMINISTRATIF

Autorités centrales et autorités régionales - Service du Plan - Missions interministérielles - D.A.T.A.R., etc...

Intérêts et Pressions : d'application de la loi et des règlements : d'intérêt professionnel (Ingénieur de vocation) ; de création d'emploi ou d'avancements ; financiers (indemnités en tant que conseils) - d'où rivalités entre certaines grandes administrations.

- REPRESENTANTS DU GOUVERNEMENT - PREFET ou "COMMISSAIRE DE LA REPUBLIQUE" - Services Préfectoraux - Missions Régionales déléguées, etc....
- GRANDES ADMINISTRATIONS DE GESTION

1) AGRICULTURE (D.D.A., S.R.A.E., etc...)
2) EQUIPEMENT (D.D.E., Service de la Navigation, etc...)
3) INDUSTRIE (Service des Mines -Forages profonds- etc...)
4) SANTE (D.D.A.S.S. -qualité des eaux potables-)
5) ENVIRONNEMENT devant dans le futur coordonner l'ensemble des problèmes de l'eau (contrôle impacts, pêche...)
6) AGENCES DE BASSIN (Pollution)
7) CIRCONSCRIPTIONS ELECTRIQUES (E.D.F., barrages hydroélectriques)
8) Compagnies Nationales d'Aménagement Régional et Sociétés d'Economie Mixte d'Aménagement régionales ou départementales

2 GROUPES D'INTÉRETS OU GROUPES DE PRESSIONS SOCIO-POLITIQUES

- Conseil Régional ; Conseils Généraux ; partis politiques ;
- Syndicats et associations professionnelles (ex. FDSA, Chambre d'Agriculture)
- Journaux et autres médias (Télévision)
  . "intérêts" (réels ou supposés" des électeurs ou membres
  . harmonisation avec les idéologies défendues
  . conservation ou conquête du pouvoir (appropriation du mérite des aménagements et maximisation de ce mérite - minimisation du mérite des aménageurs voire torpillage intégral des projets -
  . conservation ou conquête de lecteurs
  . couleur politique des journalistes ou des directeurs, etc...

3 GROUPES D'INTÉRETS LIÉS À L'EAU ELLE-MÊME

a NOUVEAUX UTILISATEURS - NOUVEAUX PROPRIETAIRES

(Eau potable - eau agricole - eau industrielle - eau pour la navigation - eau pour les loisirs - protection des eaux)

- valeur de l'eau - coût des investissement -

b ANCIENS UTILISATEURS - ANCIENS PROPRIETAIRES

(idem)

- valeur de l'eau
- contraintes quantitatives et qualitatives (périmètres de protection)

- plus values
- moins values
- préjudices

c FOURNISSEURS ET MARCHANDS D'EAU CONCURRENTS

- fournisseur d'eau de surface
- fournisseur d'eau souterraine
- fournisseur d'eau embouteillée

. augmentation des ventes
. diminution des ventes
. investissements de concurrence

4 GROUPES D'INTÉRETS LIÉS À LA RÉALISATION PROPREMENT DITE OU AU FONCTIONNEMENT DES AMÉNAGEMENTS

a INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

- ENTREPRISES { de réalisation initiale / de maintenance du matériel / de fonctionnement d'exploitation / de contrôle

(Sociétés d'Engineering, de Génie Civil, d'Hydraulique, de matériel, de captage, de canalisation, d'exploitation, d'analyse, de traitement des eaux, de gestion (informatique), etc...

- BANQUES (nombre de clients, prêts, etc...)

b FONCIERS

Collectivités, organismes ou personnes propriétaires de terrains agricoles ou urbanisables - Promoteurs immobiliers
(Plus values et moins values des terrains)

c SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Cabinets d'Etudes Privés, semi publics ou publics, Associations de Recherche ou Groupes d'Intérêt scientifiques, Laboratoires universitaires spécialisés (enseignement et recherche)
(Etudes)

Cette évaluation devrait plutôt faire l'objet d'une analyse technico—économique destinée à dimensionner les déversoirs d'orages de façon à minimiser l'engorgement du réseau. L'évaluation des risques est parfois déterminante pour la décision, une solution peut être choisie parce qu'on sait évaluer les risques qui y sont liés.

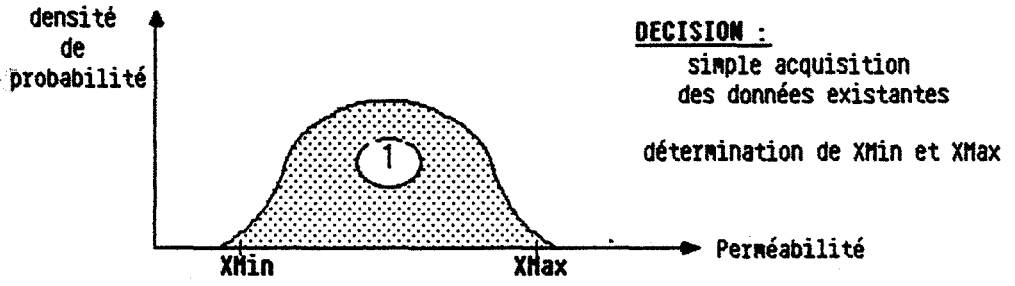
La notion de risques est également rattachée à celle d'ignorance caractérisée par le manque d'informations sur le système actuel (données climatiques, besoins en eau), et sur le manque de connaissances de ses états futurs (perturbations climatiques, développement démographique). On peut se demander si le risque ne représente pas parfois une mesure de l'ignorance.

3.7.2.Première cause d'ignorance: le manque d'information.

L'incertitude issue du manque d'information peut se traduire en terme statistique.

Soit la variable X représentant la valeur de la perméabilité d'un terrain aquifère, l'ensemble des valeurs qu'elle peut prendre est borné inférieurement et supérieurement par Xmin et Xmax. On recherche la probabilité que X ait la valeur K, P(X=K).

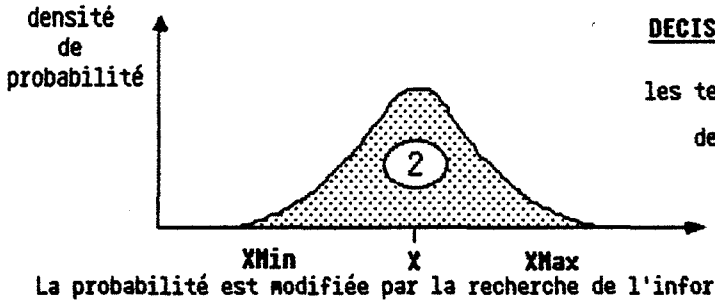
Si l'on décide de n'acquérir aucune information, la distribution des valeurs de X entre Xmin et Xmax est à peu près équiprobable (la connaissance de Xmin et de Xmax suppose l'existence de valeurs régionales, la quantité d'information initiale n'est pas nulle). Les coûts financiers et temporels d'acquisition des données sont nuls (cf0 et ct0 = 0).



Dans un cas sans information, la distribution de la valeur de la perméabilité est à peu près équiprobable

Coût = 0

Si l'on décide de rechercher l'information en décidant d'effectuer quelques sondages de reconnaissance, on peut en déduire d'après les terrains rencontrés que la probabilité des valeurs de perméabilité X va être modifiée par cette décision. Mais les coûts financiers et temporels de l'opération ne sont plus nuls (cf1 et ct1 > 0).



DECISIONS : sondage géophysique

les terrains sondés sont composés

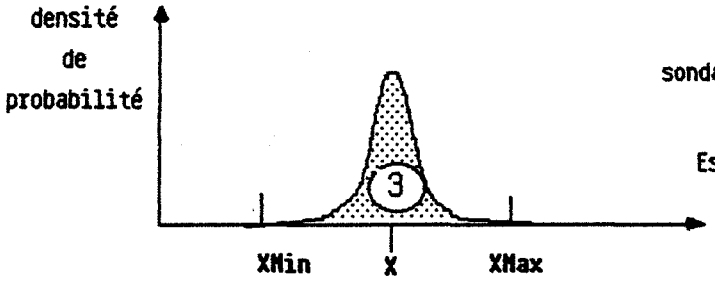
de sables et de graviers

La probabilité est modifiée par la recherche de l'information

coût: C1=(cf1+ct1)

(cf: coût financier, ct: coût temporel. de l'opération)

Si ensuite, en fonction de l'observation des coupes de terrain pour déterminer l'épaisseur maximale de l'aquifère, on décide d'implanter un piézomètre et d'y effectuer un essai par pompage, la distribution des valeurs de X se resserre autour de la valeur de K avec une forte probabilité. On peut en déduire la probabilité de s'écarter de cette valeur. Entre temps les coûts financiers et temporels du projet augmentent (cf2>cf1 et ct2>ct1).



DECISIONS :

sondages géophysiques

+

Essais par pompage

coût: C2=(cf2+ct2)

On peut donc apprécier le coût entraîné par la stratégie de recherche d'information. Cependant, dans cet exemple, si la valeur de ce paramètre hydrogéologique se précise, le risque d'apparition d'aléas liés à la recherche d'informations complémentaires augmente, puisque l'activité du projet croît.

3.7.3.Deuxième cause d'ignorance, celle des états futurs.

Il s'agit de l'évolution incertaine de l'état du système physique, mais aussi du contexte général, économique, technologique et politique. En simulation, il est possible de gérer des scénarios basés sur des hypothèses plus ou moins vraisemblables mais possibles. Dans le cas où le projet doit être réalisé dans un cadre concurrentiel (simulation d'une réponse à un appel d'offre), le manque d'information peut concerner "l'adversaire" et en particulier le prix de projet qu'il proposera.

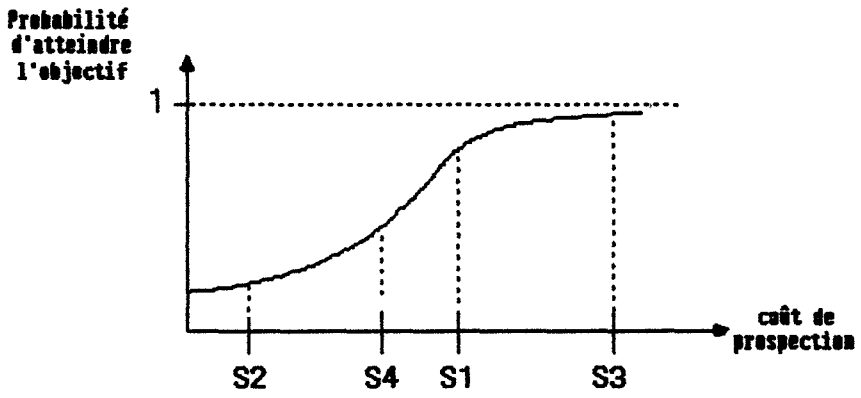
Certaines techniques statistiques contribuent à la quantification économique du risque, le critère minimax regret (Savage,1954) s'applique à ce genre de problème de décision. Au lieu de considérer les gains obtenus par rapport aux prix que peut pratiquer la compagnie distributrice adverse, cette méthode recherche pour chaque cas les pertes maximales possibles parmi lesquelles on retiendra la plus faible. Elle reflète un comportement du décideur ni trop risqué, ni trop prudent.

D'autres classifications de risques sont proposées par d'autres auteurs. On peut distinguer les risques dits internes et dus à la stochasticité des phénomènes naturels (météorologiques, hydrogéologiques) que les techniques géostatistiques permettent de quantifier et ceux dus aux changements économiques (Burger, 1986). Ils sont moins facilement quantifiables car les critères d'évaluation sont difficiles à déterminer. Si une telle classification reste quelque peu rigide, elle permet de faire le point sur la distribution des risques et le partage des responsabilités. Dans le système MISE, les risques pris par les acteurs des projets simulés, sont représentés par la possibilité de voir apparaître au cours du projet un certain nombre de messages et d'incidents. Les messages sont destinés à prévenir le responsable de projet sur les conséquences éventuelles de la décision qu'il est en train de prendre. Il a donc la possibilité d'évaluer les risques d'incidents dont la probabilité d'apparition est déterminée en fonction de données statistiques pour les incidents de nature technique, et en fonction d'expériences vécues pour ceux dont la fréquence d'apparition est moins formellement quantifiable. Ces incidents ou risques nous amènent à distinguer ceux qui se répètent tout au long du projet (délais, mauvais réglage du matériel, mauvaise sous—traitance), et ceux qui sont inattendus et spécifiques à la décision en cours. On rejoint ici d'autres classifications qui distinguent des risques ou aléas de "bruit de fond " et ceux qui constituent de bonnes ou mauvaises surprises (Hilborn, 1982)

3.7.4.Approfondissement de la notion de risques.

Dans les projets d'aménagement en eau comme dans d'autres projets d'ailleurs, les coûts de réalisation peuvent diminuer si l'on accepte de prendre certains risques dans la manière d'atteindre les objectifs. On peut même introduire une notion de "degré de confiance" dans le risque, c'est l'incertitude (Brauers, 1976).

Pour un projet donné, si on représente graphiquement les coûts de prospection de la ressource en eau, en fonction des différentes solutions possibles, la plus coûteuse étant celle qui prévoit de nombreux sondages mécaniques et géophysiques, rien ne garantit que cette fonction soit linéaire. Cette courbe peut être tracée à partir des résultats des simulations MISE pour un même projet. Par rapport à l'objectif: trouver une ressource en eau souterraine exploitable, les simulations représentent des stratégies constituées chacune d'un ensemble de décisions différent (acquisition de données existantes et/ou essais par pompage et/ou sondages et/ou mesures géophysiques). Chaque stratégie peut être valuée par la probabilité de pouvoir atteindre l'objectif.



S2 : Acquisition de données existantes
S4 : Essai par pompage dans un piézomètre existant
S1 : Sondages + essais par pompage (ou modélisation)
S3 : Mesures géophysiques + sondages + essais par pompage

La difficulté réside dans l'affectation d'un pourcentage d'échec associé à chaque décision. Les coûts reportés sur la courbe ci—dessus, sont en fait les coûts de la recherche des informations réalisée au cours de la phase d'études du projet.

3.8.L'évaluation d'impacts.

On définira l'impact comme la conséquence ou le "risque" d'une décision sur l'environnement.

La définition des impacts liés à une solution de projet ne peut se réduire à l'énoncé d'une seule conséquence. L'incertitude concernant tel ou tel impact peut constituer un critère pour déterminer son importance, on rejoint la notion de risques liée au manque d'information sur l'évolution de l'environnement physique, économique et social du projet.

Comme il est important de déterminer une échelle de risques, il est également important de déterminer une échelle d'impacts. Cette échelle peut être destinée à classer les impacts en fonction de leur plus ou moins long terme. Pour un projet d'aménagement en eau, la pollution ou l'utilisation d'un plan d'eau à des fins récréatives sont des impacts qui se prolongent au delà des projets qui en sont à l'origine, par contre l'interruption de la circulation routière nécessaire à la pose de conduites d'amenée d'eau n'est que momentanée.

Pour plusieurs simulations MISE, on peut également établir un inventaire des impacts produits et essayer d'en évaluer le degré. Il faut pour cela que le nombre de projets simulés soit suffisamment important. Dans le système MISE, ces impacts se situent à plusieurs niveaux.

Au cours de la simulation du projet, ce sont essentiellement les conséquences d'incidents (révisions de stratégies).

Pour un projet dont la simulation est terminée, ce sont les impacts hydrodynamiques dus à l'exploitation de captages (rabattement dans la nappe), ceux dus à la création d'un plan d'eau ou d'une digue en relation avec une nappe ou un cours d'eau (alimentation et exutoire, travaux d'étanchéité, colmatage des berges) et enfin ceux dus aux éventuelles crues d'un cours d'eau sur le site du projet (inondation des captages).

Pour un projet d'alimentation en eau potable la satisfaction ou le mécontentement des consommateurs sont les impacts du choix du système de ditribution (pression au robinet de l'usager) et de la facture d'eau.

Pour un projet d'irrigation, il s'agira de l'introduction de nouvelles cultures, de l'augmentation du revenu agricole, ou de la reprise des exploitations par les jeunes. La disparition du bocage peut constituer l'un des impacts d'un remembrement d'irrigation.

Pour un projet d'assainissement, le développement des parcelles constructibles constitue une conséquence du tracé du réseau collectif ou de l'emplacement des organes de traitement. La simulation peut donc éventuellement constituer un outil d'évaluation d'impacts, dans la mesure où elle met en jeu des modèles de prévision (modèles hydrodynamiques et hydrauliques). Une fois que la nature de ces impacts est déterminée grâce aux simulations, il est intéressant d'en analyser les causes multiples.

Les projets d'aménagement en eau concernent plusieurs disciplines, dans chacune desquelles les méthodes de recherche et d'évaluation d'impacts abondent (Schlaifer, 1969—Spetzler et Holstein, 1975), mais cette recherche et cette évaluation devraient se faire dans un contexte interdisciplinaire.

9.L'identification des moyens disponibles.

Les moyens disponibles pour réaliser les projets peuvent être des personnes, des biens, des moyens financiers et des moyens techniques. Les personnes sont représentées dans le système MISE, par les experts dans les différents domaines, qui utilisent, encadrent les sessions de simulations ou participent à leur évaluation. L'intervention des services administratifs (DDAF et DDE) en tant que conseil est aussi intégrée au système sous forme de rapports d'enquêtes que peuvent consulter les utilisateurs. Pour la réalisation du projet, l'utilisateur peut avoir recours à différents moyens financiers: aux subventions issues de chaque niveau de décision (état, agence de bassin, région, département), aux différents organismes de crédit qui peuvent consentir à des prêts à taux plus ou moins avantageux. Les moyens techniques sont représentés dans le système par les différents outils informatiques intégrés au système (programmes de calcul, modèles de simulation, modèles d'optimisation technico—économiques), vers lesquels sont guidés les utilisateurs à chaque phase du projet.

D'autres outils non informatiques sont inclus dans les banques de données: les photographies aériennes, les images satellites, des cartes de qualité des cours d'eau et des cartes piézométriques, que les utilisateurs peuvent décider d'acquérir. L'existence de ces données, leur localisation et leur coûts d'acquisition font partie de l'information mise à disposition de l'utilisateur.

Conclusion.

Le choix d'une solution pour un projet d'aménagement en eau résulte d'un processus séquentiel de décision que le système MISE permet de simuler (recherche de l'information, identification des contraintes, évaluation des risques...).

Ce processus s'individualise en fonction des décisions stratégiques et tactiques qui composent les solutions de projet concurentes simulées par MISE.

Celui—ci met en situation réelle l'utilisateur, face au problème complexe qui se pose en réalité à un décideur dans chacune des phases de ce processus de décision. L'analyse du processus de décision qui guide les responsables de projets, est donc possible à travers une simulation de projet intégrant les différents aspects techniques, économiques et sociaux.

Cela doit contribuer à l'élaboration d'un système d'aide à la décision qui pourrait bénéficier de l'amélioration des banques de données MISE qui évoluent au fur et à mesure de leur utilisation.

Avant de présenter le déroulement d'une session de simulation MISE, nous devons identifier les moyens déjà existants pour assister les responsables de projets dans leurs décisions, ce sont les outils scientifiques de la décision.

CHAPITRE 4: L'EMPLOI DE DIFFERENTES TECHNIQUES SCIENTIFIQUES DE LA DECISION POUR LES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU. UTILISATION EVENTUELLE DANS LE CADRE DE MISE.

L'incertitude des données actuelles, avec laquelle se décident les projets renforce la complexité des problèmes. Ceci explique le développement d'outils statistiques et probabilistes, d'outils de calcul et de simulation tels qu'ils existent dans le système MISE, mais aussi de méthodes mathématiques appliquées au choix des décisions et que l'on appelle outils scientifiques de la décision.

La prise en compte de ces outils, en tant que moyens existants et utilisables dans un processus de décision, a pour but de les intégrer éventuellement dans un cadre de simulation tel que MISE, ou bien dans le système d'aide à la décision qui sera basé sur l'évaluation des solutions de projets simulés par MISE.

Avant de proposer un outil d'aide à la décision, il est bien sûr indispensable de présenter ceux qui existent déjà. Le domaine de l'eau a pu profiter des avantages liés au progrès de l'informatique et des mathématiques, nous devons tenter de les intégrer dans le système MISE.

Les outils mathématiques qu'utilise cet outil pour simuler un projet d'alimentation en eau potable ont largement été décrits dans notre thèse précédente déjà citée. Pour éviter les querelles d'auteurs, cette étude, non exhaustive, se fera de la manière la plus objective possible sans vouloir remettre en cause les performances des différents outils, en analysant seulement leur adaptation possible aux projets que nous traitons et ceci dans le cadre de leur simulation et de leur évaluation. On distinguera donc d'une part, les outils qu'il serait possible d'intégrer dans MISE et d'autre part ceux qui seraient utilisables pour évaluer les résultats qui en découlent.

Seuls les outils qui semblent pouvoir s'adapter aux niveaux de décisions où opèrent les responsables de projets d'aménagement en eau pour petites et moyennes collectivités, seront décrits.

4.1.Présentation de différents outils scientifiques de décision.

Dans ce chapitre, nous présenterons essentiellement les critères d'adaptation de ces outils aux simulations MISE ou à leur évaluation.

Ces critères concernent la pertinence de l'outil, l'applicabilité aux projets traités par MISE, sa facilité de mise en oeuvre, les contraintes informatiques associées (matériel, temps d'exécution, interactivité), les capacités d'interfaçage avec les autres modules MISE et aussi le type de données à acquérir. Leurs buts, le type de projets auxquels ils ont été appliqués, leurs intérêts ou avantages particuliers, leurs inconvénients éventuels seront indiqués et on appréciera leur degré d'utilisation (tableau n°1—8).

4.2.Modèle de simulation et modèle d'optimisation.

Les outils scientifiques de la décision ont surtout un but d'optimisation. L'utilisation d'un modèle de simulation dans un modèle d'optimisation, par exemple un modèle de nappe combiné à un problème résolu par programmation linéaire, est fréquemment utilisé. Ces deux catégories de modèles se distinguent de par la nature de leurs variables de décision et les données qu'ils utilisent. Elles sont à la fois quantitatives et qualitatives dans un modèle de simulation, alors qu'elles sont obligatoirement quantitatives pour un modèle d'optimisation.

Un modèle de simulation est effectivement moins performant dans la mesure où il ne guide pas le décideur vers un choix de solutions mais lui indique seulement les conséquences d'un certain enchainement de décisions. Par contre, si les modèles d'optimisation permettent au décideur d'effectuer un choix entre plusieurs solutions, ils prennent en compte un nombre bien moins important d'informations, de décisions possibles, de phénomènes, d'aléas et d'éléments d'expertise. Il est très difficile d'y définir une fonction objectif et un ensemble de contraintes suffisamment représentatifs de la complexité d'un projet d'aménagement en eau même à l'échelle où nous les traitons. Un modèle d'optimisation reste dans le cadre de l'aide à la décision pour la réalisation de projets d'aménagement en eau, d'une utilité souvent ponctuelle en optimisant un des problèmes de ces projets.

Dans le cas du système MISE, outils de calcul, d'optimisation et de simulation sont utilisés en alternance. Le concept de simulation s'étend au—delà d'un outil de simulation unique (simulation hydrodynamique), la simulation répétée de plusieurs projets peut conduire à une optimisation.

4.3.Outils scientifiques de la décision qu'il serait possible d'intégrer au MISE.

La recherche opérationnelle est un outil de gestion industrielle utilisé depuis longtemps dans le domaine de l'eau. L'emploi de cette technique se fait suivant plusieurs étapes :

— la formulation du problème qui comprend la détermination des objectifs, l'étude des contraintes, la construction d'un modèle mathématique formalisant les relations de cause à effet,

— l'élaboration d'une solution optimale (par rapport au modèle) en calculant la valeur d'une fonction—objectif,

— la mise en oeuvre informatique,

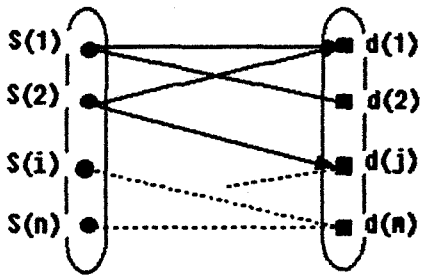
—le contrôle de la validité des solutions par rapport à la réalité (Kaufmann 1972, Muller 1969, Kelaba 1974).

La recherche des solutions optimales à l'aide des techniques de programmation issues de la recherche opérationnelle, consiste à déterminer un ensemble de valeurs de variables inconnues, qui permettent de répondre au critère d'optimisation retenu. Ce dernier est en général représenté par une fonction économique qu'il s'agit de minimiser en fonction de contraintes imposées. Dans le cas où les contraintes et la fonction—objectif sont linéaires, il sagit d'un problème de programmation linéaire. Un modèle d'optimisation basé sur ce principe et dérivé de la programmation linéaire est déjà intégré au système MISE.

4.3.1.La programmation linéaire pour l'optimisation technico—économique d'un réseau de distribution d'eau.

Ce programme, permet à partir d'un certain nombre de configurations de réseaux possibles d'un projet simulé au cours d'une session MISE, d'établir la répartition optimale, c'est—à—dire à moindre coût, des débits disponibles aux captages d'eau en fonction de la localisation des besoins et des contraintes d'approvisionnement.

Sous une forme plus abstraite, un réseau est un graphe dont les sommets i et j représentent les disponibilités en eau S(i) et les demandes d(j). Les coûts unitaires de transport de i vers j sont notés Cij. Le problème consiste à satisfaire la demande à l'aide d'un programme de transport optimal, il n'est soluble que si $S(i) > d(j)$.



Soit m le nombre de points à alimenter et n le nombre de points où il existe une disponibilité, si l'on désigne par Xij la quantité transportée de i à j, le problème d'optimisation consiste à minimiser la fonction:

$$F = \sum_{j=1}^{m} Cij.Xij \text{ avec les contraintes suivantes:}$$

-contraintes d'inégalité par rapport aux puits:

$$\sum_{J} Xij \leqslant S(i), \quad i = 1,2,....n$$

-contraintes d'égalité par rapport à la demande:

$$\sum_{I} Xij = d(j) \quad j = 1,2,....m$$

$$\text{et} \quad Xij \geqslant 0$$

En fonction des paramètres choisis pour fixer les contraintes d'approvisionnement, la fonction économique à minimiser représente un coût total d'installation du réseau ou bien un coût de fonctionnement ou d'exploitation.

Dans le cadre d'une session MISE, cette méthode fait l'objet d'un programme informatique dont l'utilisation est interactive, il est destiné à ceux chargés du tracé des réseaux de distribution d'eau. Le recours à ce module s'articule entre la phase d'évaluation de la ressource en eau et celle du dimensionnement technique des réseaux (diamètre des conduites). Il pourrait également être adapté à un projet d'assainissement. Il s'agit alors de minimiser une fonction économique de même type, pour définir un tracé optimal de réseau d'assainissement parmi un ensemble de chemins possibles depuis les habitations jusqu'aux dispositifs de traitement (plans de lagunage, station d'épuration).

L'utilisateur n'est pas guidé systématiquement vers cet outil, son utilisation lui est spécifiée dans le temps, c'est—à—dire par rapport à l'état d'avancement du projet et eu égard à la configuration du système de distribution ou d'assainissement qu'il envisage d'optimiser. En effet, des configurations de réseaux de distribution trop linéaires ne justifient pas l'emploi de cet outil, puisque leur tracé dans ce cas, ne pose pas de problème de choix. Ce tracé dépend directement du regroupement des points qu'il faut desservir en eau ou qu'il faut assainir. Les données à introduire sont:

—le nombre de points de disponibilité de la ressource (ou les zones d'épuration des effluents),

—le nombre de points de demande (ou de groupes d'habitations),

—la valeur des débits disponibles (ou les capacités de traitement) et de ceux demandés (débits d'eaux usées à évacuer),

—les contraintes économiques sur chaque tronçon possible du réseau, c'est—à—dire le coût unitaire des canalisations, celui des plus—values (surprofondeurs, traversées de routes de cours d'eau ou de voie ferrée, stations de relevage, surpresseurs) ou les coûts d'exploitation correspondant au dimensionnement de l'ouvrage et aux pertes de charges qui y sont liées.

Ces données se trouvent déjà dans les banques de données du système MISE que l'utilisateur peut consulter. La solution indique le parcours d'approvisionnement en eau ou celui du réseau d'asssainissement retenu, les débits transportés sur les tronçons correspondants, la valeur de la fonction économique et les débits non utilisés (ou les capacités de traitement excédentaires). Le temps d'exécution du programme écrit en fortran dépend surtout du nombre de tronçons introduit qui est limité à 900.

D'autres méthodes sont applicables si les contraintes ne sont pas linéaires, c'est le cas par exemple, de la programmation quadratique.

4.3.2.La programmation quadratique pour l'optimisation de l'emplacement des captages d'eau sur rivières.

Cette méthode a été appliquée pour l'alimentation en eau d'une agglomération centrée dans un réseau de cours d'eau (Chmielowsky, 1986).

Il s'agit d'optimiser l'emplacement de captages d'eau situés sur les rivières ainsi que les débits à prélever, en fonction de la demande en eau, en fonction du débit des cours d'eau et de leur tracé par rapport à la localisation des usagers. Certains captages, comme les réservoirs sont fixés car déjà construits, par contre ceux des rivières ne sont pas encore connus. La fonction économique à minimiser représente les coûts de captage et de transport des ressources en eau depuis les rivières jusqu'aux usagers, elle prend en compte également les coûts de traitement de l'eau. Pour un captage qui n'est pas un réservoir déjà en place, la fonction économique à minimiser a la forme analytique suivante:

soit $j = 1,n$ (n = nombre de cours d'eau),
soit $i = 1,nj$ (n = nombre de prélèvements pour un cours d'eau j),
soit Sij le lieu de prélèvement correspondant au captage i et à la rivière j,
soit S l'ensemble des Sij avec $j = 1,n$ et $i = 1,nj$

$$Fij = (Aij + Tij)Qij^2 + Bij.Qij + Cij$$

où Qij est le débit produit au captage i de la rivière j

Ai,Bi,Ci: coefficients décrivant les coûts de production de l'eau (captage, pompage, traitement)

Tij est le coût de transport de l'eau depuis le point Sij au consommateur $j=1,mi$, pour les réservoirs déjà en place, ces coûts de transport sont considérés comme constants.

Si AD est la demande en eau totale, la contrainte est: $AD - \sum Qij = 0$.

On cherche un ensemble de lieux de prélèvements S^* et l'ensemble des valeurs de débits correspondants Q^* tel que la fonction $F(S^*, Q^*)$ soit minimum, avec:

$$F = \sum_{ij} Fij$$

avec à chaque point de prélèvement la contrainte: $\sum_i Qij - \leqslant ZDj$

ZDj étant la ressource disponible pour chaque cours d'eau.

Les données introduites sont la longueur des réseaux hydrographiques, les débits des cours d'eau, les débits de consommation, les éventuels rejets d'effluents. En tout point des rivières, la disponibilité des ressources peut se formuler en fonction de la position (km), du débit au point considéré, en fonction des débits des affluents et de l'eau prélevée en ce point pour d'autres usages. On établit un diagramme montrant la disponibilité des ressources pour chaque prélèvement possible. Pour les vecteurs de connexion établis entre ces points de prélèvement et les usagers, le coût minimum Min(F) est trouvé à l'aide des conditions de Kuhn et Tucker. On obtient une fonction s'exprimant par la production d'eau liée à chaque connexion, les matrices des coûts de captage, de pompage et de traitement correspondantes, la demande en eau (et les paramètres de Kuhn et Tucker). En différenciant cette fonction par rapport aux diverses variables, on obtient un système d'équations linéaires dont la résolution permet de trouver le coût global minimum associé aux connexions optimales des captages sur les rivières. Cette méthode fait l'objet d'un programme écrit en fortran.

L'approximation du problème à une fonction quadratique, d'après l'auteur du modèle, n'est cependant pas tout à fait satisfaisante, le choix des emplacements possibles pour les captages ne prend pas en compte les infrastructures au sol (routes, ponts,...etc).

Dans la mesure où le système MISE est susceptible dé traiter et de simuler des projets d'alimentation en eau à partir de ressources en eaux superficielles, ce programme pourrait s'y intégrer en tant que module d'optimisation. Son utilisation pourrait s'enchaîner à la suite de la phase d'acquisition des données concernant le réseau hydrographique, s'il est suffisamment important et si sa configuration est relativement dispersée par rapport à la position du site à alimenter. L'acquisition des données indispensables pour évaluer les besoins en eau est une des phases simulées par MISE. Le calcul des coûts de production de l'eau (pompage, refoulement) en fonction du système de distribution choisi à partir des points de captages sur les rivières (canaux, réseaux sous pression), est effectué durant les sessions de simulation. Le relevé des coordonnées des points décrivant le tracé des cours d'eau resterait la tâche la plus lourde à effectuer.

4.3.3.La programmation dynamique pour optimiser le coût global de production d'eau souterraine ou le coût d'installation d'un réseau d'irrigation.

Pour certains projets d'aménagement en eau la nature particulièrement séquentielle des processus de décision mis en jeu permet d'utiliser les méthodes de la programmation dynamique. Elle consiste d'abord à effectuer un inventaire des différentes variables d'état du système concerné par le projet (niveaux piézométriques, besoins en eau,...etc) et à déterminer les interactions qui les relient les unes aux autres. Cette représentation qualitative du système s'appuie sur la quantification des relations qui relient chaque niveau de variables en terme d'équations de flux. Pour un système aquifère, le bilan des ressources en eau constitue un exemple d'équation de flux, elle comporte des variables de décision qui sont par exemple, représentées par la valeur des prélèvements d'eau à effectuer. Cette méthode plus couramment adoptée pour déterminer les règles de gestion des réservoirs ou de lutte contre les phénomènes d'eutrophisation dans les retenues d'eau (Anderson, 1969), a été appliquée à l'exploitation des aquifères (Hubert, 1986).

Le but de ce travail était de déterminer les valeurs des variables de décision telles que : débit, lieu et temps de pompage en fonction d'autres variables qui sont le débit expoitable du sytème aquifère, le débit d'une rivière en relation avec la nappe et la capacité d'une usine de traitement, elles représentent les contraintes du système. Les coûts de production d'eau sont linéaires, mais varient selon les saisons. A priori, ils sont plus élevés pendant l'été puisque la mobilisation des eaux souterraines profondes est nécessaire, ces coûts sont inférieurs l'hiver, puisque ce sont les eaux superficielles qui sont prélevées. Le but étant de satisfaire les besoins totaux, considérés comme constants dans cet exemple, l'objectif est de mobiliser à moindre coût les différentes ressources. En fonction des coûts de chacune des ressources sollicitée, il est calculé un coût total de satisfaction des besoins et cela, pour chaque étape c'est—à—dire pour chaque mois. L'évolution du niveau piézométrique moyen mensuel de l'aquifère indique les débits totaux à prélever.

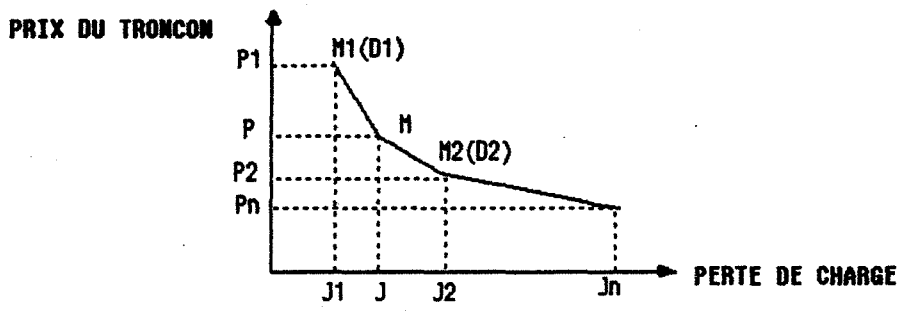
Le problème d'optimisation consiste donc à rechercher la politique optimale de prélèvement parmi les différentes ressources afin de minimiser le coût total de satisfaction des besoins tous les mois, c'est-à-dire la somme des coûts associés à chaque décision. Pour cela, tous les états initiaux sont considérés comme possibles au début de chaque mois, à tous ces états initiaux sont appliquées toutes les décisions possibles affectées des coûts correspondants. En état final, on obtient différentes solutions de coûts différents, parmi lesquelles sera sélectionnée celle qui sera financièrement la plus avantageuse. Pour connaître la politique de prélèvement optimale, il suffit de repérer les décisions successives ayant abouti à cet état final.

Les données disponibles dans le cadre des simulations MISE permettent l'évaluation des besoins en eau qui sont basés sur des scénarios d'évolution de la consommation. Après avoir déterminé d'éventuelles stabilisations de la consommation sur plusieurs années, et procédé à l'évaluation des ressources en eau superficielle et souterraine, les utilisateurs du MISE pourraient trouver dans un outil de programmation dynamique un moyen fort intéressant d'optimiser leur exploitation à long terme sur des périodes mensuelles. Cette méthode serait donc susceptible de rejoindre la panoplie des outils qu'utilise MISE, en tant qu'élément du système décisionnel d'un projet d'aménagement en eau, mettant en jeu des ressources en eau superficielles et souterraines. Cela permettrait peut être de la replacer dans une structure de décision pour pouvoir en tirer des règles d'exploitation de la ressource.

—Autre application de la programmation dynamique:

Parmi les différentes méthodes de calcul proposées pour optimiser un réseau d'eau sous pression ramifié (cas des réseaux d'irrigation), la méthode discontinue (Labye, 1966) fait l'objet d'une procédure de programmation dynamique.

Pour chaque tronçon i d'un réseau, on construit sa courbe caractéristique Pi(Ji) donnant son prix minimum en fonction de la perte de charge admise.



Le problème d'optimisation se formule ainsi, on cherche la répartition des Ji telle que: $F = \text{Min} \sum_{I} Pi(Ji)$,

F est la fonction économique à minimiser, elle représente le coût du réseau sous des contraintes de la forme:

$$\sum Ji \leqslant Z0 - Zk$$

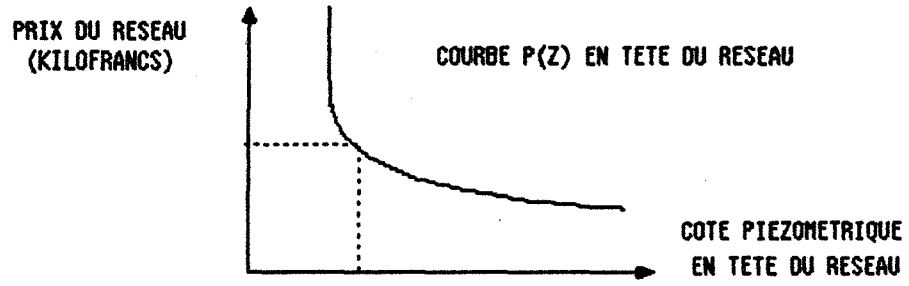
Z0 étant la cote piézométrique en tête du réseau,

Zk étant la cote piézométrique des noeuds du réseau.

De la répartition optimale des pertes de charge sur chaque tronçon du réseau, on déduira les diamètres des canalisations (D1, D2,...) qui représentent les variables de décision du problème. Les données à introduire sont:

- le tracé du réseau et la longueur des canalisations,
- le débit à faire transiter dans chaque tronçon,
- les conditions aux limites aval qui sont représentées par les cotes piézométriques minimum à assurer aux bornes d'irrigation,
- les conditions aux limites amont qui sont représentées par la cote piézométrique disponible en tête du réseau,
- le bordereau des prix des canalisations en fonction de leur diamètre.

Cette méthode permet d'obtenir un algorithme performant de résolution du problème. La première étape consiste à "remonter" le réseau depuis les bornes d'irrigation en calculant les courbes P(J) de chaque sous réseau, pour déterminer la courbe P(Z0) en tête du réseau.



A partir d'une cote piézométrique fixée en tête de ce réseau, la seconde étape consiste à le parcourir en sens inverse, en déterminant à chaque pas du calcul, le diamètre optimal des canalisations. Les programmes informatiques associés à cette méthode sont essentiellement utilisés pour des réseaux importants et permettent de réaliser des économies de 10% environ par rapport à un calcul manuel (Clément, Galand, 1979).

Dans le cadre des sessions MISE, cette méthode est utilisée sous la forme d'une version simplifiée (Partie 2-A), la longueur des réseaux traités ne dépassant pas en général la dizaine de kilomètres.

4.3.4.L'analyse économétrique pour la prévision de la demande en eau potable.

Cette technique statistique, permet de répondre aux questions que se pose tout distributeur d'eau quant aux prévisions des consommations, elle a fait l'objet d'un modèle (Hanke, 1985). Les données introduites dans ce modèle sont la quantité d'eau consommée par les habitants au cours d'une période semestrielle, leur revenu brut, le nombre d'adultes et d'enfants par habitation, la pluviosité moyenne mensuelle de chaque semestre, l'âge ou la vétusté des maisons d'habitation, le prix du mètre cube d'eau consommé ainsi que les différentes charges de service et d'assainissement. Ce modèle se traduit par une relation de régression multiple statistiquement significative, si les données sont assez nombreuses, entre les consommations semestrielles et les facteurs explicatifs indiqués ci-dessus.

L'existence de relations entre les volumes d'eau consommés et le prix de l'eau revêt un intérêt particulier pour le distributeur. Le but de ce modèle est d'obtenir une équation de la demande en eau qui permet de calculer des coefficients d'élasticité de cette demande par rapport à chaque facteur explicatif. Cette équation de la demande obtenue par la méthode des moindres carrés est linéaire, elle comporte des coefficients d'ajustement qui doivent être déterminés pour chaque cas d'application.

$Q = a + bR + cAd + dE - ePl + fA - gP$

Q: demande en eau domestique,

R: revenu brut annuel des habitants,

Ad: nombre d'adultes,

E: nombre d'enfants,

Pl: pluviosié moyenne mensuelle,

A: âge ou vétusté des maisons d'habitation,

p: prix de vente de l'eau,

a,b,c,d,e,f,g: coefficients d'ajustement.

Appliqué à un cas urbain, ce modèle a permis de constater qu'une majoration du prix de l'eau pour les habitants de ce site, entrainerait une diminution peu sensible de la consommation et donc une augmentation des recettes du distributeur. Cette méthode a l'avantage d'intégrer des paramètres qui le sont rarement pour la prévision de la consommation, malheureusement cette prise en compte basée sur une évaluation quantitative de ces paramètres, implique une phase d'acquisition de données très importante, nécessitant l'existence de compteurs d'eau et de nombreuses enquêtes.

Pour une session MISE simulant la réalisation d'un projet d'aménagement en eau potable, les utilisateurs sont amenés à choisir un type de structure distributrice de l'eau (régie, société, affermage) en fonction de laquelle, ils doivent calculer un prix de vente de l'eau. Les données pluviométriques sont disponibles en banque de données, mais celles concernant les habitants et les habitations seraient difficiles à obtenir, surtout en milieu rural, malgré l'accès possible au Plan d'Occupation des Sols correspondant au projet en question.

Si ces données étaient disponibles, ce modèle permettrait aux décideurs d'un projet de réajuster les schémas de consommation prévus initialement, en fonction du prix de l'eau calculé après avoir simulé la réalisation du projet. L'écart entre les consommations prévues en simulation et celles calculées par ce modèle, pourraient ainsi constituer un indicateur reflètant un des impacts du prix de l'eau.

4.3.5.Les études de rentabilité.

Les études de rentabilité en ce qui concerne les projets d'aménagement en eau sont relativement nombreuses, elles sont souvent effectuées après la réalisation de grands projets pour lesquels des mesures correctives ne sont plus applicables. En simulation, les projets ne sont pas encore réalisés (exceptés les projets utilisés pour valider la démarche du système de simulation) et à ce stade, l'évaluation de critères de rentabilité d'un projet d'aménagement en eau peut permettre une éventuelle révision de la stratégie de réalisation.

L'analyse de rentabilité des investissements pour les projets d'hydraulique agricole (Programme "Mécene", CEMAGREF—Toulouse, 1982), constitue un outil directement intégrable au système MISE dans sa version adaptée aux projets d'équipement de petits périmètres d'irrigation. Les données nécessaires au fonctionnement de ce programme sont obtenues au cours de ces simulations (caractéristiques de la station de pompage, volumes d'eau et énergie électrique consommés par an par le périmètre irrigué, coûts d'investissemnts, emprunts et subventions, charges annuelles d'exploitation). Les données supplémentaires à acquérir sont relatives à l'évolution des prix sur le marché des différentes cultures.

Cette analyse utilisable sous forme de programme informatique, permet de savoir si l'introduction de cultures irriguées fournit aux agriculteurs des bénéfices qui permettent de rentabiliser les investissements collectifs et individuels et de couvrir les dépenses de fonctionnement. Les données introduites sont utilisées pour le calcul du taux de rentabilité interne qui indique que le projet est rentable s'il est supérieur ou égal au taux d'actualisation. Le taux de rentabilité financière indique aux agriculteurs s'il est préférable de placer leur argent en banque plutôt que de l'investir dans un réseau d'irrigation. Ce que ne prend pas en compte ce modèle, c'est le temps de travail supplémentaire, le changement des habitudes culturales nécessaires pour ces nouvelles cultures, ce sont des critères importants pour les agriculteurs mais difficilement appréciables. L'intérêt de cette méthode utilisable par le décideur de facon interactive à partir d'une console de micro—ordinateur relié par réseau de télécommunication à un ordinateur central, est de pouvoir déterminer les facteurs de sensibilité de cette rentabilité (augmentation du coût de l'énergie, rendement d'une culture). Elle est destinée à établir un seuil minimum de rentabilité du projet

Il existe d'autres outils destinés à étudier la faisabilité économique des projets d'alimentation en eau d'irrigation. Un modèle de simulation a été développé pour évaluer l'influence de la pédologie et de l'hydrologie sur l'évapotranspiration des plantes cultivées (Bakel, 1986).

Selon plusieurs cas d'alimentation en eau à partir de différents types de ressources en eau, les écoulements de l'eau dans le sol, des eaux souterraines et ceux des eaux superficielles sont modélisés. L'évapotranspiration de la plante étudiée est ensuite simulée, pour évaluer l'influence des changements du système eau sur le rendement des cultures. En considérant les prix du marché, les coûts de récolte et de commercialisation de la culture considérée, les rendements obtenus sont convertis en bénéfices pour calculer l'augmentation du revenu des agriculteurs. La mise en oeuvre de cette méthode se justifie dans le cas du site étudié par l'auteur (8000 hectares), elle doit prendre en compte les dépenses d'investissement et de fonctionnement des installations d'irrigation collectives et individuelles. De ce modèle, nous retiendrons la démarche qui montre bien l'importance des interactions entre la pédologie, l'hydrologie et l'hydrogéologie dans un projet d'irrigation même si le périmètre est de petite taille. Il pourrait permettre de valoriser les données concernant les analyses de sol et contenues dans les banques de données MISE. L'absence d'information au sujet de sa facilité de mise en oeuvre, ne permet pas de juger si cette méthode, s'appuyant sur plus de paramètres que celle présentée précédemment, est utilisable dans le cadre des simulations MISE—irrigation.

Le système MISE utilise un modèle PERT (Program Evaluation and Review Technique) et des techniques de contrôle de gestion (Morel, 1972), qui permettent aux responsables de projets de contrôler précisément le déroulement et le budget du programme. Ces méthodes ont l'avantage de pouvoir prendre en compte les problèmes et les écarts entre les études prévisionnelles et la réalisation effective d'un projet d'aménagement en eau, leur utilisation sera illustrée au cours de la présentation de solutions de projets simulés.

4.4.Autres outils utilisables pour l'évaluation des résultats de simulation MISE.

4.4.1.L'intérêt de l'analyse des systèmes.

L'outil et la méthodologie que représente l'analyse des systèmes, ont surtout été appliqués pour de grands projets d'aménagement en eau (étude des impacts socio—économiques de grands barrages, grands projets d'hydraulique agricole). L'analyse des systèmes examine systématiquement les objectifs des projets et les solutions envisageables. Elle compare lorsque cela est possible, les coûts économiques, les bénéfices et les risques de chaque solution. Elle permet donc de raisonner en termes quantifiables de coûts—avantages et en termes repérables d'efficacité—risques. Elle prévoit la détermination des microcoûts et des coûts sociaux liés au projet.

Les microcoûts sont les coûts engagés par les décideurs du projet pour les études et les travaux, ils sont directement liés aux coûts des opérations. Les coûts sociaux ou macrocoûts représentent tous les avantages en termes monétaires pour la commune ou la région. Ils peuvent être très importants, mais ils sont toujours difficiles à apprécier.

Les macrocoûts sont, par exemple, représentés par des coûts de drainage ou de remembrement associés à plusieurs projets d'irrigation, par la dévalorisation des parcelles adjacentes à un dispositif de lagunage à la suite d'un projet d'assainissement en milieu rural. L'analyse des systèmes constitue une extension de l'analyse coûts—bénéfices qui reste essentiellement quantitative, elle est utilisée pour étudier les problèmes complexes de choix, non traduisibles en termes monétaires. Le risque ou l'efficacité qui se situent au niveau des décisions tactiques, c'est—à—dire au niveau technique et opérationnel des projets sont davantage quantifiables, cela est plus difficile pour les décisions stratégiques destinées à évaluer et à choisir des solutions de projets. C'est pour cette raison qu'il est difficile de conclure sur l'évaluation d'une meilleure solution, c'est le problème que nous aborderons au sujet de l'évaluation des résultats de sessions MISE. Cependant, l'analyse du système pour évaluer par exemple, l'efficacité ou le risque lié à la création de plusieurs périmètres d'irrigation dans la même région, doit éviter de traiter des problèmes s'éloignant des objectifs du projet (c'est l'un des dangers de l'analyse des systèmes). Chaque session MISE, ne constitue qu'une analyse particulière de l'environnement de chaque projet simulé et l'échelle à laquelle ils sont traités, permet de limiter raisonnablement le nombre de facteurs à considérer.

4.4.2.L'analyse coûts—avantages.

A toute décision d'aménagement en eau sont liés des avantages que l'on cherchera à maximiser et des inconvénients qu'il est souhaitable de minimiser. Il y a donc deux fonctions—objectifs qui traduisent chacune en termes de coûts et d'avantages, les préférences des décideurs. Pour chacun d'eux, la définition des coûts et surtout des avantages n'est pas forcément la même, cet outil doit donc être manié avec précautions.

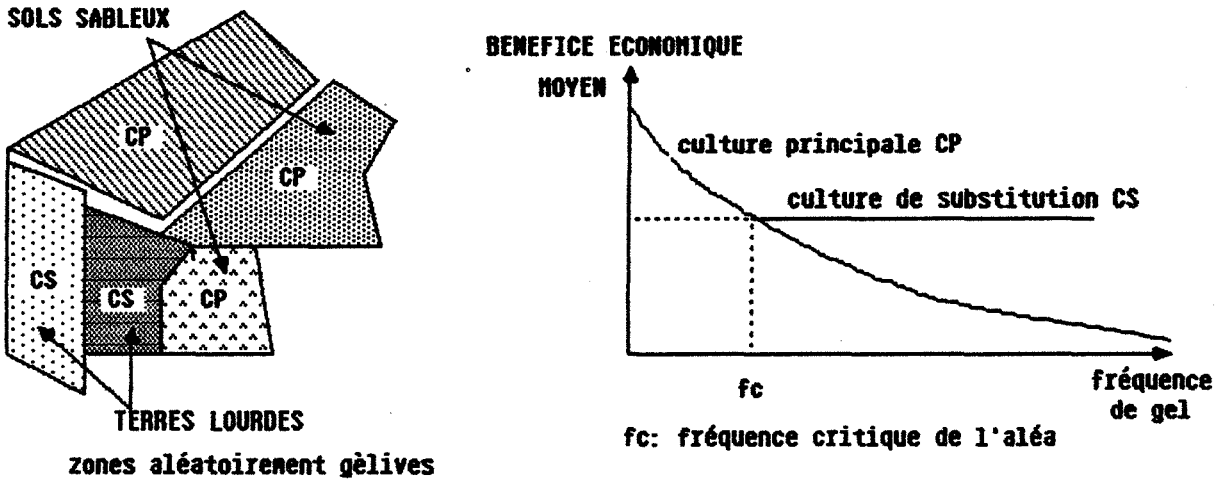
Exemple d'application à un projet d'irrigation:

Les projets d'irrigation posent en général un problème de choix des cultures: quelle est la culture irriguée à développer, le tabac, les céréales, les cultures maraîchères ou les petits fruits ? En effet, dans le cas d'une exploitation limitée à une trentaine d'hectares, l'agriculteur ne peut envisager toutes les cultures, il est obligé de faire un choix. Une méthode d'analyse micro—économique permet de choisir pour l'aménagement à terme d'un périmètre irrigué, entre plusieurs cultures concurrentes. L'intérêt de cette méthode (Ettori, 1978) est de considérer un certain nombre de phénomènes aléatoires de nature climatique ou économique (pluie, gel, marché des prix agricoles) inhérents à ces cultures. L'objectif est de savoir dans quelles conditions et dans quelle zone, il est rentable d'implanter les cultures choisies. Cette méthode s'adapte mieux à des périmètres d'irrigation plus étendus que ceux qui sont simulés par MISE pour l'instant, et pour lesquels les variations pédologiques des parcelles sont plus importantes. Elle pourrait par contre trouver sa place pour évaluer plusieurs simulations dont l'objectif est d'équiper le même parcellaire, chaque simulation s'effectuant avec une culture irriguée différente.

En fonction des contraintes pédologiques, des besoins agricoles il s'agit d'étudier d'abord les cultures privilégiées et les fréquences maximales des aléas affectant ces cultures ainsi que leurs coûts de production. Pour citer un exemple, la culture de la fraise, dont les revenus intéressent les agriculteurs de Revel—Tourdan dans le département de l'Isère, est soumise à l'aléa climatique du gel et l'irrigation antigel augmente considérablement ses coûts de production. La culture du tabac dans la même région, elle aussi très intéressante, est soumise à un aléa économique: son cours guide le contingentement des pieds de tabac cultivés. La prise en compte de ce genre d'aléas par l'intermédiaire d'un modèle probabiliste, permet d'exprimer analytiquement l'espérance ou la valeur moyenne des rendements des cultures qui y sont sensibles et donc des revenus correspondants. Le choix de la culture principale peut alors s'effectuer. La connaissance des facteurs spatio—temporels responsables des aléas (eau, gel, sol), permet alors de délimiter les zones du périmètre d'irrigation à affecter à cette culture. Dans la mesure où la fréquence des aléas, pour les autres zones du périmètre, est supérieure à une fréquence critique définie à partir d'un seuil de rentabilité minimum admissible, il est préférable de substituer à la culture principale une culture peut être moins rentable mais moins sensible à cet aléa.

Figure n°1—7.

DECISIONS A PRENDRE SI LA FREQUENCE DE L'ALEA EST IMPORTANTE



Bénéfice = produit brut- coût de production et d'aménagement

Le choix de la culture de substitution peut être effectué selon le même principe. Les principales phases de la méthode sont les suivantes:

1-Détermination du périmètre à irriguer et de ses conditions naturelles:
-ressources en eau, pédologie, météorologie.

2-Détermination des coûts d'investissement et d'exploitation dus à l'irrigation, prix de l'eau.

3-Détermination des phénomènes aléatoires (nature et conséquences) et des zones à risques.

4-Détermination des cultures envisagées (besoins en eau, rendements annuels moyens).

5-Evaluation des pertes de rendement et des surcoûts dus à aux aléas.

6-Choix d'une fréquence critique des aléas et choix des cultures de substitution.

Les phases 1 à 4 font partie des activités du système MISE puisqu'il suffirait d'ajuster l'apparition des aléas pour les cultures à l'aide du modèle de gestion des aléas qui lui est propre. Ces phases peuvent être réalisées pour plusieurs périmètres d'irrigation et plusieurs cultures privilégiées. Le calcul des pertes de rendement et des surcoûts dus aux aléas serait à préparer et la détermination d'un indicateur de rentabilité et d'une fréquence critique d'aléas pour chacune de ces cultures demanderait une consultation d'experts (agronomes et pédologues). A travers cette méthode, il serait possible de préciser le caractère agronomique des aléas générés par le système MISE dans sa version irrigation.

4.4.3.L'analyse multicritère pour une évaluation des projets sur des citères autres que ceux des coûts et des bénéfices.

L'évaluation des avantages et des inconvénients des décisions intervenant dans un projet d'aménagement en eau, pouvant conduire très loin dans la prise en compte du système physique et social lié à ce projet, certains chercheurs ont élaboré des méthodes dites multicritères. Elles ont été utilisées, par exemple, pour modéliser la gestion intégrée de l'exploitation d'une nappe aquifère et celle d'un gisement de minerai situé au dessous du niveau de la nappe. (Duckstein, Bogardi, Bardossy, 1983). Ces méthodes sont performantes, mais nécessitent la présence quasi permanente de l'analyste auprès du décideur pour pouvoir introduire les critères de décision pertinents et pondérer les avantages et les inconvénients des décisions.

Les modèles d'analyse multicritère ne peuvent donc être, en général, utilisés de manière autonome par les décideurs. Combinée à un modèle d'optimisation multiobjectif, la méthode d'analyse multicritère électre II (Simonovic, Jakovljevic, 1986), a été appliquée à un problème de gestion des ressources en eau à long terme pour plusieurs bassins versants. Après avoir analysé les besoins en eau et évalué la disponibilité de la ressource, cette méthode permet de générer différentes solutions de projets. La derniére étape nous intéresse particulièrement, puisqu'elle procède à leur classement sur la base de critères prédéfinis. C'est pour cette dernière phase qui demande une collaboration intense entre concepteurs de modèles et décideurs, que les auteurs ont développé un module informatique qui facilite l'exploitation de la méthode par les décideurs. La méthode et l'outil restent cependant applicables à des projets bien définis, où l'acquisition des données et les critères de décision sont également bien définis.

Même en ce qui concerne les projets d'aménagement en eau à l'échelle d'une agglomération, différents critères non monétairement quantifiables sont à prendre en compte.

L'analyse multicritère a été utilisée pour un projet intégrant la distribution d'eau potable et le traitement des eaux usées (Urbaniak, 1986). Les différents éléments du système étudié sont les captages d'eau, les ouvrages de distribution et de traitement, les consommateurs. Les contraintes sont la disponibilité maximale des resources en eau, la demande en eau, la capacité maximum du réseau de distribution et des ouvrages de traitement. Certaines de ces contraintes tel le nombre de consommateurs ou la disponibilité des ressources, ne peuvent être évaluées à long terme (20 ans). Ce projet se formule donc en tant que problème de décision multicritère stochastique. Les critères de décision retenus sont les coûts d'extension et d'exploitation du système de distribution et d'épuration (F1 et F2), la fiabilité des installations (fuites du réseau, F3) et l'augmentation de la pollution (F4).

La détermination des paramètres incertains, selon une densité de probabilité connue, permet de constituer des scénarios et de ramener le problème à traiter à un problème de décision multicritère déterministe. Les variables de décision sont les débits à faire transiter depuis les captages jusqu'aux consommateurs. La formulation mathématique du problème, que nous n'exposerons pas ici, revient à minimiser en fonction des contraintes énumérées ci-dessus la fonction économique F=(F1, F2, F3, F4). Le caractère aléatoire des contraintes associées à cette fonction-objectif, implique une nouvelle expression de F qui peut être alors définie comme une somme pondérée de plusieurs fonctions particulières pour un scénario de contraintes données. Elle est résolue par l'auteur, en utilisant une méthode de programmation linéaire paramétrée. Cette méthode fait l'objet d'un programme informatique (implanté sur MERA 400) un peu compliqué pour s'intégrer dans l'environnement de simulation MISE.

Au cours de l'exploitation des résultats de simulation de projets en eau potable, les valeurs des paramètres liés à chaque scénario traité (nombre de captages et de réservoirs, nombre de consommateurs), pourraient être traitées par une telle méthode, pour prévoir les débits à distribuer. Ce type d'analyse nécessite la pertinence des critères utilisés, c'est le problème que se proposent de résoudre des outils qui ont été développés à partir de la théorie de l'utilité.

4.4.4. Théorie de l'utilité pour évaluer les solutions de projets selon les préférences des décideurs.

Cette méthode est basée sur des procédures permettant d'évaluer et de quantifier les conséquences d'une solution de projet composée de plusieurs décisions. Les préférences des décideurs pour les conséquences des différentes solutions sont exprimées numériquement en termes d'utilité, et l'incertitude sur ces conséquences est estimée numériquement en terme de probabilités. Les concepts d'utilité et de probabilité subjective sont des notions introduites à la suite de quelques hypothèses fondamentales sur le comportement des décideurs et font appel à des références individuelles ou collectives (Raiffa, 1973).

Cette méthode s'intégrerait donc dans le cadre d'un jeu de rôles pour évaluer plusieurs variantes possibles d'un même projet. Chaque décideur ou expert pourrait émettre ses préférences pour chaque solution et ses conséquences dont l'apparition est alors subjectivement déterminée. Chaque solution de projet s'évalue par son utilité attendue, son calcul est une combinaison mathématique de la probabilité P d'apparition de ses conséquences (impact, coûts, temps,...etc) et de leur fonction d'utilité U.

En général, cette combinaison est l'intégration de la probabilité de chaque conséquence possible, multipliée par son utilité, c'est une manière formelle de combiner les vraisemblances des évènements et les préférences de décideurs. Si on appelle Ei(U) l'utilité attendue d'une solution i,

$$Ei(U) = \sum_{j} Pj \,.\, Uij$$

i décrit le nombre de variantes et j le nombre de conséquences ou attributs qui sont retenus et analysés pour chacune d'elles. La valeur de E(u) la plus élévée désigne la variante ou la solution la meilleure.

Cette méthode a été utilisée pour un projet de développement des ressources en eau caractérisé par plusieurs objectifs et de nombreuses considérations qualitatives (Keeney, Wood, 1977). Le but de cette application était d'illustrer une utilisation de la théorie de l'utilité multiattribut et d'être plus complète qu'une analyse multiobjectif ou qu'une méthode multicritère, dont l'application sur ce même projet ne pouvait prendre en compte ni la totalité des contraintes et des variables de décision, ni les incertitudes liées aux conséquences des solutions de projet proposées (David, Duckstein, 1975).

Supposons maintenant, plusieurs solutions pour le même projet d'alimentation en eau potable d'une agglomération. Les solutions simulées par MISE sont les suivantes:

-ressources en eaux superficielles et distribution par réseau gravitaire avec réservoirs et station de traitement.

-ressources en eaux souterraines avec réseau de distribution sous pression.

-raccordement à un réseau existant susceptible de fournir l'alimentation en eau.

Les objectifs du problème pour lequel il faut choisir l'une de ces solutions sont:

-le développement de l'agglomération pour laquelle s'effectue le projet,

-l'alimentation en eau potable des consommateurs pour l'an 2000,

-un prix de l'eau peu élevé (forfait faible),

-la qualité de l'eau.

A partir de ces solutions, un certain nombre de conséquences sont sélectionnées, un classement par ordre d'importance leur est donné en fonction des objectifs précédemment cités. La sélection de ces conséquences est une des activités de la simulation.

A chacune de ces conséquences, on cherche à attribuer une valeur d'utilité pour chaque solution du projet simulé. Pour les conséquences de nature qualitative on adoptera une échelle variant de 0 à 100.

Cette évaluation s'effectue en recherchant les fonctions d'utilité des décideurs pour chacune des conséquences. Il faut donc absolument consulter les décideurs et les experts pour obtenir, pour chaque conséquence, la valeur qu'ils attribueraient à une utilité de 50% (recherche du maximum de l'utilité moyenne). Pour cela , la méthode consiste à leur poser la question suivante: "par exemple, si le coût du projet pour les différentes simulations varie de 1500 kf à 3000kf, quel est le coût qui vous paraît raisonnable, pour ce genre de projet ?" La réponse ne sera pas obligatoirement 2250kf, ce sera par exemple, 2000kf ou 2500kf. Cette valeur qu'on appelle aussi équivalent certain, permettra de construire à partir des préférences du décideur, la fonction d'utilité liée au coût du projet.

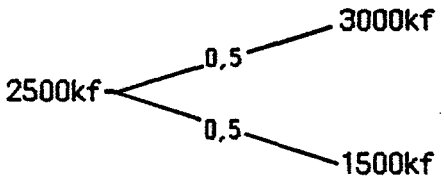
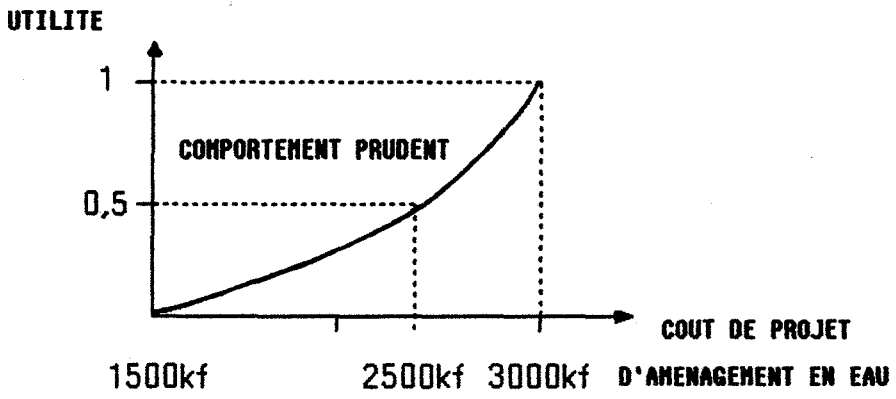


figure n°1-8

COURBE D'UTILITE D'UN DECIDEUR



L'allure des différentes courbes obtenues pour chaque conséquence, reflète des comportements prudents (concavité dirigée vers le haut) ou des comportements risqués (concavité dirigée vers le bas), de la part des décideurs. L'opinion subjective de ces derniers s'exprime donc par l'utilité attendue pour chaque conséquence, elle est calculée (tableau n°1—7) en évaluant leur comportement pour un ensemble de conséquences liées à une solution par rapport aux autres conséquences d'une autre solution.

tableau n°1—7

VALEURS DE L'UTILITE MULTIATTRIBUT DES SOLUTIONS POUR UN PROJET D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Conséquences ou attributs	mesures	Simul.1	Simul.2	Simul.3	Simul.4	Min.	Max.
couverture des zones constructibles	km2	valeurs des différentes solutions pour chaque attribut: Uij					
habitants desservis	Nb.						
volumes distribués	m3						
coût de projet minimum	kf.						
Eau souterraine	forages						

Simul.i: résultats des simulations MISE

SOLUTIONS	VALEURS D'UTILITE
SIMUL. 3 SIMUL. 4 SIMUL. 1 SIMUL. 2	0,8 ↓ 0,5
UTILITE TOTALE pour chaque simulation $=\sum_j Uij$	

Le calcul de l'utilité totale pour chaque simulation permet de les classer, de sélectionner la meilleure et de mesurer les écarts entre les solutions. Le problème principal de cette méthode réside dans l'évaluation d'une utilité à partir de l'avis d'un seul décideur ou spécialiste. En effet, cette utilité peut comporter non seulement des éléments d'expertise mais aussi des intérêts personnels, son évaluation devrait se baser sur l'unanimité ou tout au moins sur un consensus établi entre décideurs ou experts. Cela n'est souvent guère possible, les points de vue n'étant pas toujours les mêmes. Il est intéressant de mener alors ce qu'on appelle une analyse de sensibilité des points de vue (Keeney, 1986) en individualisant des groupes d'intérêts opposés.

Pour un projet d'assainissement en milieu rural, on distinguera au sein d'un conseil municipal, les propriétaires de terrains sur lesquels les organes de traitement seront implantés, ceux recevant les eaux usées, ceux les rejetant. Pour ces trois groupes le projet d'assainissement en question n'a pas la même utilité, les uns veulent un assainissement convenable, d'autres ne veulent pas du projet, certains sont indifférents. Une fonction d'utilité globale permettra en pondérant de plusieurs façons chacun de ces points de vue, de compléter l'analyse.

Le cadre des sessions de simulation MISE favorise le travail en groupe de plusieurs spécialistes des projets d'aménagement en eau et leur mise en situation réelle; cela pourrait permettre d'exprimer une part de leur savoir—faire (prévision des coûts) et de leurs réactions (en fonction de l'apparition des aléas), sous forme de fonctions d'utilités. On retrouve ici, un des buts du jeu de rôles auquel s'apparente le système MISE. Mais là encore, toute l'expertise de nature qualitative que représentent les probabilités subjectives est convertie numériquement et se réduit à un facteur d'appréciation. Par ailleurs, cette méthode ne prend pas en compte le caractère dynamique du processus de décision lié à l'évolution dans le temps des objectifs du projet.

4.5.D'autres techniques existent mais ne sont pas a priori intégrables.

Les modèles de simulation et d'optimisation ont été largement développés ces dernières années, il peut être intéressant d'en citer quelques uns qui ne s'intègrent pas à la démarche que nous avons, pour notre part, adoptée mais dont les performances d'aide à la décision permettent de résoudre des projets d'aménagement en eau d'un autre type ou à une autre échelle. Parmi les outils concernant des niveaux techniques de la décision dans ce domaine, on trouve tout d'abord les modèles hydrologiques décrivant un système d'eau de surface en rapport avec les données météorologiques simulants les écoulements dans les canaux et les rivières ou par dessus des barrages. Certains de ces modèles sont développés intégrés à des modèles de nappe et appliqués à des problèmes d'optimisation, comme la minimisation des dommages causés aux récoltes par la sécheresse (Van der Kloet, Lumadjeng, 1986), bien que la formulation d'une fonction économique à partir de données hydrologiques ne semble pas évidente.

La théorie des jeux resoud un problème de décision à un autre niveau pour arbitrer une compétition entre différents acteurs sociaux. Cette méthode permettrait de régler les conflits animant deux compagnies distributrices d'eau concurrentes pour acquérir un marché à l'échelon local ou régional, et de faire des hypothèses sur le comportement du concurrent, en particulier au sujet du prix de vente de l'eau. Mais en réalité les intérêts des compagnies distributrices d'eau sont ils vraiment opposés?, condition indispensable pour utiliser la méthode, dans la mesure où ces sociétés se sont déjà plus ou moins délimité leur marché.

La sûreté des systèmes est une discipline qui, appliquée au domaine de l'eau permet d'évaluer la sûreté des installations de production d'eau. Elle utilise des techniques mathématiques particulières et le traitement automatique des arbres de défaillance. L'importance des données statistiques à acquérir et les compétences requises justifient la mise en oeuvre de cet outil dans un cadre de gestion de systèmes de distribution d'eau urbains qui sont de plus en plus automatisés (Guyonnet, Limnios, Allain, 1986).

La configuration actuelle du système MISE ne permet pas encore de simuler des projets d'aménagement en eau à objectifs multiples (construction d'un barrage pour soutenir les étiages, créer un plan d'eau, produire de l'énergie hydroélectrique, réguler le débit d'un fleuve). Pour ces projets qui rejoignent la catégorie des grands projets que nous avons écartés de notre travail, l'affectation optimale des ressources en eau a bien trop d'objectifs précis et conflictuels pour avoir un sens. Dans bien des cas, sa recherche est sans succès, dans d'autres elle n'est même pas souhaitable.

L'analyse multiobjectif plus performante que l'analyse coûts—bénéfices, intègre des considérations autres que la pure efficacité économique (Kindler, 1982). Dans un premier temps, les fonctions—objectifs et les variables de décision associées sont définies, les critères d'affectation de la ressource en eau et les contraintes sont déterminés. L'application des techniques mathématiques liées à la méthode, permet ensuite de déterminer un ensemble de solutions qui sont dites "non inférieures", car elles ne peuvent augmenter la satisfaction d'un objectif sans diminuer celle d'un ou de plusieurs autres. Les décideurs imposent alors eux mêmes la priorité des objectifs pour déterminer la meilleure de ces solutions. Dans le but de rendre cette méthode interactive un programme calcule la valeur des différentes fonctions pour chaque objectif et le décideur améliore celui qu'il désire en imposant des contraintes supplémentaires sur les autres objectifs. Au bout d'un certain nombre d'itérations, il parvient à combiner la solution la meilleure.

Nous retiendrons donc la démarche dans la mesure où l'objectif d'un projet simulé par MISE se décompose souvent en sous—objectifs qui peuvent être contradictoires. Un projet d'irrigation dont l'objectif principal est d'aboutir à un équipement du périmètre en canons à arrosage, peut se décomposer en plusieurs sous—objectifs qui peuvent être contradictoires: minimiser les prélèvements d'eau, établir un prix de revient de l'eau et calculer un investissement à l'hectare minimum pour les agriculteurs, garantir un confort de distribution, la sûreté contre de la sécheresse.

Enfin, il existe bien d'autres techniques modernes de planification et de contrôle des projets, mais les systèmes informatiques dont ils font l'objet sont souvent dépassés et inadaptés pour la simulation complète des projets qui nous intéressent, leurs temps de réponse étant beaucoup trop longs.

4.6.Synthèse, Utilisation de ces outils dans le cadre des sessions MISE ou dans celui de leur évaluation

4.6.1.Acquisition des données

Pour chacune des méthodes présentées, les données à acquérir sont très nombreuses ce qui constitue effectivement un frein à leur utilisation. Leur mise en oeuvre est souvent basée sur des cas particuliers pour lesquels les données nécessaires ont été préalablement rassemblées. Dans le cadre des sessions MISE la plupart des données de base (coûts unitaires) sont déjà disponibles, les autres y sont obtenues pendant la simulation (coûts des différentes solutions). L'architecture de la banque de données du système et l'échelle des projets traités par la simulation limitent la masse des données à acquérir.

4.6.2.Prise en compte des aléas.

Les aléas qui surviennent au cours d'un projet ne sont que rarement pris en compte par ces méthodes, leur intégration dans un cadre de simulation permettrait de mesurer la sensibilité de ces outils par rapport à ces aléas.

4.6.3.Un problème de choix des outils.

Les exemples de combinaison de modèles hydrologiques et de modèles d'optimisation ne manquent pas, la justification de telle ou telle combinaison par rapport à une autre n'apparait pas toujours. Ces outils sont généralement maîtrisés par les spécialistes qui ont réussi à les adapter à un problème particulier de gestion des ressources en eau.

L'adaptation de l'outil en fonction du projet traité et des décideurs concernés.

Face aux nombreuses méthodes de quantification économique recensées, un problème de choix s'impose parmi celles qu'il est possible d'intégrer au niveau du MISE, et parmi celles qu'il est possible d'utiliser pour évaluer les différentes simulations de projet d'irrigation, d'AEP ou d'assainissement. L'outil doit être adapté à la réalité du projet, c'est pourquoi sans prétendre à la totale maîtrise des techniques mathématiques liées à ces outils, nous devons nous interroger sur leurs conditions d'utilisation et servir d'intermédiaire entre les concepteurs de ces outils et les décideurs. Les critères d'adaptation des outils aux problèmes traités par MISE, ne pourront être définis que par leur utilisation répétée dans le contexte de la simulation ou de l'évaluation de différentes expériences.

L'adaptation directe de ces outils à la prise de décision dépend surtout de leur facilité ou de leur difficulté de mise en oeuvre qui favorise ou empêche les communications entre analystes et décideurs. Certains de ces outils sont trop sophistiqués et devraient s'appuyer sur des moyens d'utilisation plus interactifs et plus conviviaux.

Le guidage du choix n'existe pas.

Si on se pose la question de savoir comment ces outils sont proposés, on s'apercoit qu'en réalité il n'existe pas de "thésaurus" des outils d'aide à la décision indiquant leur nom, leur utilité, le nom des concepteurs que l'on ne retrouvera peut être jamais. Il existe encore moins un système "intelligent" permettant de guider les décideurs des projets d'aménagement en eau pour l'utilisation de ces outils. La prise de conscience de ce problème stratégique apparait à l'heure actuelle. Les communications présentées au symposium international de l'UNESCO à Oslo en Mai1986, auxquels nous faisons référence ici, étaient consacrées en particulier à la présentation des outils de décisions dans le domaine de la gestion de l'eau. De nombreuses méthodes ont été présentées mais il n'apparait pas de consensus permettant de dicter quelques règles donnant les moyens de savoir, sans généraliser, dans quelles conditions il est possible d'adapter tel ou tel outil à un projet d'aménagement en eau. Au cours de la dernière séance d'évaluation les différents degrés d'utilisation de ces outils ont été discutés. Le tableau n°1—8 utilise les publications effectuées à l'occasion de ce symposium qui réunissait environ 130 spécialistes du domaine de l'eau. Il faut éviter que ce soit la nature des outils qui influence leur choix, bien que l'aspect pratique de la mise en oeuvre d'une méthode puisse constituer un choix rationnel. C'est parfois le cas de la programmation linéaire qui peut toujours permettre de formaliser un problème même s'il ne prète pas en réalité, à une optimisation.

4.6.4.Degré d'utilisation actuelle et future.

De toutes ces méthodes, la théorie de l'utilité est peut être la moins utilisée, elle est difficile à mettre en oeuvre car il parait difficile pour des décideurs, d'exprimer leurs fonctions d'utilité pour les impacts d'un projet.

L'utilisation des différentes méthodes est estimée par rapport à une échelle variant de 0(non utilisé) à 10 (très utilisé) en fonction de la nature de l'ensemble des références bibliographiques réunies pour ce thème, dans ce travail (environ 40). L'utilisation souhaitée est déterminée en fonction du nombre de publications faisant état de la méthode sans cas d'application réels (non cités en bibliographie). L'utilisation actuelle est déterminée en fonction des cas réels d'application.

4.7.Intérêt général de ces outils dans la cadre de notre travail.

Proposer certains de ces outils dans le cadre de la simulation MISE aux différents spécialistes qui y participent permettra donc de déterminer des règles d'utilisation de ces outils. Intégrer ceux qui semblent plus spécialement destinés à l'évaluation des sessions MISE, permettra de disposer de plusieurs schémas d'évaluation adaptés aux différents types de projets et aux préoccupations des décideurs.

tableau n°1-8

OUTILS SCIENTIFIQUES DE LA DECISION ET QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATION

(DEGRE D'UTILISATION)

METHODE	TYPE DE PROJET D'AMENAGEMENT EN EAU	DECIDEUR CONCERNE	PHASE DU PROCESSUS DE DECISION CONCERNE	UTILISATION ACTUELLE	UTILISATION DESIREE
OPTIMISATION					
PROGRAMMATION LINEAIRE	tracé de réseaux de distribution d'eau	hydraulicien maître d'oeuvre	conception des ouvrages de distribution	5	4,5
PROGRAMMATION NON LINEAIRE (quadratique,...)	périmètres d'irrigation eaux de surface	ingénieur DDAF agriculteur ?	emplacement de captages d'eaux de surface	2	4
PROGRAMMATION DYNAMIQUE	captages d'eau souterraine	ingénieur DDAF	gestion de la ressource en eau	4	4,5
	irrigation	ingénieur DDAF	dimensionnement d'un réseau ramifié		
ANALYSE ECONOMIQUE					
ANALYSE ECONOMETRIQUE	alimentation en eau potable en zone urbaine	distributeur d'eau économiste élus	évaluation des besoins en eau	4	4,5
ETUDE DE RENTABILITE	irrigation	agriculteur DDAF	rentabilité des investissements		
ANALYSE COUTS-AVANTAGES	irrigation	agriculteur	choix des cultures en fonction des aléas		
ANALYSE MULTICRITERE	projets d'aménagement en eau	élu agence de bassin maître d'ouvrage	évaluation des alternatives de projets	2	3
THEORIE DE L''UTILITE	Gestion d'un bassin hydrographique	élu agence de bassin maître d'ouvrage	évaluation des SOLUTIONS de projets	1	1
SIMULATION					
MODELISATION HYDRODYNAMIQUE	projets d'aménagement en eau	DDAF SRAE Agence de Bassin	évaluation, qualité des ressources	4	4
MODELISATION RESEAU		distributeurs d'eau	distribution des ressources en eau		
OPTIMISATION + SIMULATION	projets d'aménagement en eau	distributeurs d'eau	optimisation technico-économique	2	4

C'est une manière de prendre en compte les outils scientifiques de la décision existants, mais dans les deux cas où nous voulons les utiliser, ils ne sont plus suffisants. L'action des responsables de projets est davantage guidée par la pratique, la règlementation et bien d'autres contraintes informelles, elle ne peut se contenter de techniques optimisatrices. Ce sont des méthodes un peu rigides qui se prêtent bien aux objectifs bien définis des niveaux de décision opérationnel, tactique ou technique d'un projet. L'intégration de considérations socio—économiques et "politiques" rend leur utilisation plus difficile. Pour simuler une variante de projet, ce seront donc des outils tactiques utilisés pour des objectifs partiels du projet au même titre qu'un modèle de nappe ou d'interprétation de sondages géophysiques. Pour évaluer une série de simulations, chacun d'eux n'a qu'une utilité et qu'une efficacité partielle. La complexité du processus de décision dans le cadre d'un projet, nécessite des connaissances qui ne sont pas toujours quantifiables et que ces instruments traditionnels de l'aide à la décision ne peuvent prendre en compte.

Avenir des outils de quantification.

Si les outils de gestion d'hier ne sont plus adaptés pour traiter les problèmes d'aujourd'hui, ils ne sont pas à rejeter pour autant, il faut leur trouver une structure d'intervention plus appropriée. Les problèmes réels ne sont pas nécessairement représentés par l'algèbre linéaire ou la programmation dynamique, et toute l'information ne peut être organisée en fichiers informatiques. C'est pourquoi, les projets qui satisfont aux traditionnels critères techniques et économiques sont de plus en plus modifiés, et même parfois rejetés au niveau de décision "politique" (Hjorth, 1986). Le réalisme des modèles formels, avec la théorie de l'utilité en particulier, est cependant en train de croître puisque cette méthode a recours à la consultation des décideurs pour déterminer leurs préférences, qui sont finalement quantifiées en terme d'utilité.

C'est au niveau de la prise en compte de l'ensemble des connaissances mises en jeu dans chaque type de projets d'aménagement en eau que nous traitons, que prend place un nouveau concept d'optimisation. Cet ensemble de connaissances regroupe les jugements de valeur, l'expérience et les heuristiques utilisées par les spécialistes des projets.

Conclusion.

Les modèles d'optimisation et de simulation sont des outils importants dans leur rôle d'aide à la décision pour les projets d'aménagement en eau. Leur utilisation deviendra d'autant plus efficace s'ils sont intégrés à un environnement permettant une meilleure communication entre l'outil, son concepteur et son utilisateur, et impliquant davantage les décideurs.

Bien que la plupart de ces outils n'aient pas besoin d'un environnement de simulation pour être valorisés, leur prise en compte, pourrait améliorer leur utilisation dans un contexte de simulation qui offre l'avantage d'une mise en situation réelle (travail en groupe, apparition d'aléas divers et expression de l'expertise). En retour, l'utilisation de l'ensemble de ces outils, enrichirait le système de simulation MISE, en développant encore davantage son aspect intégré, cela évidemment sous certaines conditions d'adaptation.

Réaliser une structure et une méthode de communication permettant aux décideurs d'utiliser des outils scientifiques, économiques et mathématiques et surtout leur permettant de tester leur utilisation pour résoudre leurs problèmes, constitue l'un des objectif que nous nous sommes fixé en créant le système de simulation MISE.

Finalement, les objectifs possibles de ce système de simulation sont les suivants:

—Tester l'utilisation de différents outils scientifiques de la décision en constituant un "chantier" de validation de ces outils,

—Réaliser un outil pédagogique,

—Elaborer à partir des simulations, un outil d'ingénierie.

Nous montrerons dans les parties suivantes de ce mémoire de thèse que ces objectifs sont intimement liés entre eux.

Avec ce chapitre, s'achève une analyse parfois un peu théorique de la décision dans le domaine des projets d'aménagement en eau, sur laquelle s'appuie l'utilisation concrète du système MISE.

DEUXIEME PARTIE

Après avoir décrit les activités de décision nécessaires pour réaliser les projet d'aménagement en eau, nous allons montrer comment la simulation peut permettre leur analyse dans le cadre plus concret des projets. Les schémas de décisions basés sur l'archétype proposé en première partie, s'individualisent en fonction de la spécificité de ces projets et en fonction de ceux qui en sont responsables, aussi bien au niveau technique que financier.

L'un des objectifs du système MISE est de dégager ces différents schémas de décisions, en fonction des types de projets qu'il peut simuler. L'utilisation de ce système pour des projets d'alimentation en eau potable, d'irrigation et d'assainissement permet la mise au point de solutions possibles ou de variantes de projets.

La partie 2A décrit une expérience de simulation d'un projet d'équipement de plusieurs petits périmètres d'irrigation dans la plaine de Bièvre—Valloire (Bas—Dauphiné, Isère) pour lequel apparait un problème de ressources en eau, elle se termine par une analyse les résultats.

La partie 2B décrit les modalités d'adaptation du système MISE aux projets d'assainissement pour petites collectivités.

PARTIE 2A

PILOTAGE SIMULE D'UN PROJET D'EQUIPEMENT POUR PETITS PERIMETRES D'IRRIGATION

CHAPITRE 1: INTERET DE LA SIMULATION DE PROJETS D'IRRIGATION.

Une expérience de pilotage simulé d'un projet d'irrigation réel a été organisée et réalisée dans le cadre des sessions de formation MISE, à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint—Etienne. Deux groupes de travail de quatre personnes ont été constituées, elles étaient chargées d'équiper trois périmètres d'irrigation dans la plaine de Bièvre—Valloire (Bas—Dauphiné, Isère).

Cette session MISE était la première dans sa version "Irrigation", ce modèle avait déjà été testé depuis 1982 pour simuler la réalisation d'un projet d'alimentation en eau potable (plaine du Forez, loire). Ce chapitre a donc pour objet de montrer comment la simulation participe à un processus évolué de décision et permet de construire une solution de projet d'équipement de petits périmètres d'irrigation. A travers ce type de projet, il s'agit d'exposer la méthode mise en oeuvre pour que le système MISE permette d'accéder aux connaissances et aux domaines d'activité qu'impliquent les projets d'irrigation et qui ne sont pas tout—à—fait les mêmes que pour réaliser un projet d'alimentation en eau potable.

Les décideurs concernés par ces projets sont des élus locaux, les présidents d'association syndicale d'agriculteurs mais aussi les services administratifs de l'état pour qui la réalisation de plusieurs périmètres d'irrigation dans la plaine de Bièvre—Valloire, soulève un problème de gestion des ressources en eau. Il s'agit donc non seulement de déterminer les différents moyens financiers et techniques nécessaires à la réalisation de ces projets, mais aussi d'analyser les outils scientifiques de décision disponibles pour gérer la ressource et estimer la rentabilité de ces projets en fonction du contexte de développement agricole.

Les participants à cette session étaient soit des apprenants, soit des spécialistes du domaine de l'eau qui ont pu se libérer de leurs activités professionnelles et dont il était intéressant d'observer le comportement et les réactions face à cette méthode originale de travail. Comme pour les autres expériences de simulation, la présence des spécialistes était initialement destinée à contrôler la validité du système.

L'expérience des quinze dernières années montre que l'irrigation progresse lentement et que son adoption est loin de provoquer un enthousiasme durable dans le milieu agricole (Gittinger, 1985). Pour que l'agriculture irriguée soit rentable, les agriculteurs doivent être motivés et développer des cultures intensives. Ils doivent également accepter l'introduction de cultures plus exigeantes en eau mais que l'irrigation valorisera (tabac, petits fruits). La rentabilité de ces cultures doit permettre à l'agriculteur de couvrir sa part d'investissement dans les ouvrages d'irrigation, les charges d'exploitation du système de distribution et d'augmenter ses revenus.

Les questions d'actualité concernant l'irrigation ont été développées au cours des rencontres internationales de Montpellier (Mai 1985) dans le cadre du thème "Eau et Agriculture. Ces questions sont les suivantes:

—Quels sont les facteurs de nature socio—économique qui expliquent la tendance des agriculteurs à ne pas irriguer ?

—Comment les associer à la conception, à la réalisation et à la gestion des projets d'irrigation ?

—Quelles sont les informations ou la formation à apporter aux agriculteurs pour qu'ils puissent mettre en valeur les ouvrages réalisés ?

—Quelles sont les décisions à prendre pour aboutir à un prix de l'eau d'irrigation permettant aux exploitants agricoles de bénéficier des avantages d'un projet d'irrigation ?

—Enfin, quelles sont les bases d'une évaluation socio—économique de ces projets ?

Ces questions ne se posent pas uniquement pour les grands projets d'irrigation, elles sont aussi valables pour des projets destinés à regrouper des exploitations agricoles à l'échelle d'une association syndicale. Les projets simulés par le système MISE sont des projets regroupant 150 à 200 hectares et 8 à 12 exploitants. La simulation de ces projets ne prétend pas répondre à toutes ces questions d'ordre général, elle permet d'aborder les problèmes de manière suffisamment complète pour guider l'utilisateur vers des éléments de réponse dans le cas de projets particuliers.

CHAPITRE 2: CADRE DU MISE MAI-84.

2.1.Objectifs généraux.

Le système MISE jusqu'alors opérationnel pour un projet d'alimentation en eau potable sur des communes en agglomération rurale, ne couvrait que quelques km² de la plaine du Forez (Loire). Il était alors indispensable d'envisager un projet de ressources en eau non plus à l'échelle locale, mais à l'échelle régionale.

L'élargissement de l'ensemble des problèmes traités imposait donc un changement de site, mais aussi une cible différente de celle de l'eau potable. L'adduction d'eau d'irrigation pour de petits périmètres (200 hectares maximum), constitue cette nouvelle cible.

La structure du système telle qu'elle a été conçue doit permettre de simuler ultérieurement d'autres types de projets (assainissement, barrages...) et dans d'autres contextes institutionnels (pays en développement...).

Pour un projet d'irrigation, le système MISE permet de traiter les différents aspects de la gestion des ressources en eau:

- Aspect quantitatif..... Prospection,
  Distribution,
  Exploitation.
- Aspect qualitatif..... Les contraintes de qualité sont moins importantes que pour l'AEP (réutilisation des eaux usées).
- Aspect économique..... Prix de l'eau d'irrigation
  Gestion du projet et d'une Association Syndicale Autorisé regroupant les agriculteurs adhérents au projet.

2.2.Déroulement de la session.

L'encadrement pour cette session était composé d'un coordinateur principal, d'un spécialiste des problèmes économiques et de gestion, d'un hydrogéologue et de deux informaticiens Il est à souligné le rôle de formateur éxerçé par un hydrogéologue qui participait à cette session dans le groupe Biva2, ce dernier étant donc avantagé pour la phase de prospection des ressources.

1ère journée:

Cette première journée est consacrée à une prise de contacts, sur le terrain, avec les problèmes d'irrigation dans la région. Les participants ont l'occasion d'y relever leur observations de terrain.

Les thèmes développés au cours de la discussion avec le président de l'ASA de Pajay, M. Prudhomme, ont porté sur la détermination des besoins en eau d'irrigation, la culture du tabac (argument principal de la rentabilité des investissements), le fonctionnement et la gestion du syndicat.

Cette entrevue s'est terminée par la visite des installations en cours d'achèvement.

Les aspects développés ont été essentiellement techniques au cours de la visite d'une station de pompage pour l'irrigation (ASA de Revel—Tourdan), présentée par M. Girard, président:

—Installation du réseau opérationnel depuis cette année,
—Equipement (anti—béliers, Vannes, bornes d'irrigation..),
—Plus—values, incidents.....
(forage horizontal pour traversée de route),
—Optimisation du démarrage des pompes,
—Contraintes d'implantation du captage.

Le repérage des formations géologiques caractéristiques du site, fait aussi partie des activités de la première journée: affleurement de molasse miocène, faciès des alluvions fluvio—glaciaires.

2ème , 3ème et 4ème journées:

—Organisation et répartition du travail dans les groupes Biva1 et Biva2.

—Elaboration d'une stratégie

—Utilisation du MISE et réalisation du projet.

5ème journée:

La dernière journée est destinée à l'exposé des résultats devant différents spécialistes représentant les responsables de projets d'irrigation

2.3.Définition du projet dont la réalisation est à simuler.

La nouvelle cible du MISE correspondait à un projet réel qui était le suivant:

Equipement des périmètres d'irrigation de Pajay, La Côte Saint—André et Faramans (Bas Dauphiné—Isère).

Afin de " caler" le système, l'équipement d'un des périmètres en fin de réalisation (celui de Pajay), a été imposé à chaque groupe. En effet, la cohérence de la démarche et des décisions prises par chaque équipe vis—à—vis de la réalité, pour l'équipement de ce périmètre, devait permettre d'apprécier les résultats obtenus pour les sites où les projets d'irrigation ne sont encore que des hypothèses. L'objectif du projet se décompose de la manière suivante:

Objectif n°1: Pour chacun des sites, trouver une ressource en eau à proximité d'un réseau de distribution permettant d'irriguer les parcelles souscrites.

Gérer globalement les ressources en eau obtenues en y intégrant les solutions retenues pour chaque site.

Objectif n°2: Réaliser un réseau de distribution (plan de bornage, réseau d'irrigation).

Objectif n°3: Réaliser le projet à moindre coût et dans des délais raisonnables en fonction de bases budgétaires et temporelles identiques pour les deux groupes: 9000kf—3ans.

Rappelons que les décisions d'une équipe n'influencent pas celles de l'autre.

2.4.Etat actuel des différents projets d'irrigation dans la région.

2.4.1.Revel—Tourdan, un périmètre déjà réalisé.

Ce périmètre qui se trouve à 5 km environ au Nord—Ouest de la commune de Beaurepaire et à l'Ouest des périmètres faisant partie du projet à réaliser, se situe en zone non remembrée, ce qui conduit en général à un coût d'investissement à l'hectare plus élevé (>40 kilofrancsf/ha).

Les travaux ont débuté fin 83 et ont été achevés en Mai 84. L'investissement sur le réseau a été plus important que celui sur la production d'eau. La surface des parcelles à irriguer est de 70 hectares environ et 20% de cette surface doit être irriguée en plus dans 10 ans. L'extension de ce périmètre doit être réalisée le plus tôt possible pour éviter que le décalage de plus en plus important entre les prix agricoles et les prix industriels ne rende prohibitif le coût d'extension du réseau en 1990.

2.4.2.Périmètre d'irrigation de Pajay.

Les travaux ont commencé début 83, mais la présence de niveaux sableux a diminué de 50% l'exhaure prévue de l'un des forages, ce qui a repoussé la mise en production du réseau pour la saison d'irrigation 84, le temps de réaliser un deuxième forage. Les agriculteurs ont du payer les premières charges avant de bénéficier de l'augmentation du rendement de leurs cultures et notamment de celle du tabac; ce qui, pour eux, est psychologiquement difficile à accepter.

Les investissements ont été importants à la fois pour la recherche des ressources en eau et pour le réseau de distribution.

Les participants à la session MISE auront donc à reconcevoir ce périmètre d'irrigation en se replaçant dans les conditions réelles de départ. Cet exercice, au risque d'être d'un intérêt moindre par rapport aux périmètres non réalisés de Faramans et de La Côte Saint—André, est néammoins indispensable pour s'assurer que les projeteurs maitrisent suffisamment le problème, en comparant les résultats qu'ils obtiennent à ceux obtenus en réalité, sur ce périmètre de Pajay. Ceci, afin de pouvoir tenir compte des résultats obtenus pour des projets qui ne sont , en réalité, qu'au stade de la pré—étude. La surface à équiper est de 130 à 140 hectares.

2.4.3.Irrigation des parcelles de la commune de La Côte Saint—André.

Ce périmètre se trouve en zone remembrée, il couvre un secteur situé au Sud de deux communes: La Côte Saint—André et Gillonay. La surface totale des parcelles à équiper est de 150 à 160 hectares répartis dans ce projet, sur huit exploitations. La culture principale est la maïs mais sa production a très sensiblement chuté ces deux dernières années à cause du manque d'eau. Le projet n'en est qu'au satde de la pré—étude et l'existence d'installations individuelles d'irrigation ne permet pas de penser que les souscriptions à des contrats d'irrigation augmenteront rapidement, avant l'échéance d'amortissement de ce matériel. Pour la simulation de ce projet, on prendra en compte un bilan provisoire des parcelles à irriguer, il n'y a pas encore d'étude de réseau qui ait été effectuée.

Pour le projet d'irrigation sur la commune de Faramans, il existe une demande potentielle qui ne s'est jamais concrétisée. Ce périmètre couvrirait environ 100 hectares de surface. En réalité, il n'existe pas de plan parcellaire d'irrigation.

2.4.4.Remarques communes aux quatres périmètres d'irrigation.

Les cultures sont donc principalement le maïs et le tabac et les arbres fruitiers. L'intérêt de l'irrigation se mesure par l'amélioration de la qualité de ces produits agricoles et en particulier de celle du tabac blond, la SEITA garantissant d'acheter plus cher une meilleure qualité. Pour la culture du maïs, il s'agit plutôt d'en améliorer le rendement.

Les quatre périmètres d'irrigation cités sont totalement indépendants, on ne peut traiter l'un sur les résultats de l'autre.

En guise de conclusion à la définition des objectifs.....

Les enquêtes préliminaires menées sur le terrain auprès des structures concernées et compétentes (Associations d'agriculteurs et DDAF), nous ont permis de définir le projet d'irrigation et d'en préparer la simulation en y intégrant le maximum de faits, de connaissance et de facteurs; ce qui rend le système mis en jeu très complexe, mais plus proche de la réalité.

La présentation de ces projets montre qu'il existe un certain nombre de problèmes communs et spécifiques à chaque périmètre d'irrigation. Les décisions prises peuvent être différentes selon les cas.

L'outil de simulation que constitue le système MISE restitue cette complexité et tient compte aussi bien des contraintes économiques et sociales liées à l'activité agricole que du contexte géologique.

CHAPITRE 3: PRESENTATION DES SITES MODELISES CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.

3.1.Présentation générale du site d'étude.

Les sites sur lesquels le projet d'irrigation est défini appartiennent à la région du Bas—Dauphiné à mi—distance entre Lyon et Valence (figure n°2—1). Le bassin de Bièvre—Valloire y constitue une vaste dépression orientée Est—Ouest, entre la cluse de l'Isère et le Rhône.

Les trois périmètres d'irrigation étudiés: Pajay, Faramans et La Côte Saint—André, se situent plus exactement dans les vallées du Liers et de la Bièvre qui se réunissent à la hauteur de Beaurepaire pour former la Valloire qui rejoint le Rhône.

La description des caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques de ce bassin, où les écoulements superficiels et souterrains sont souvent liés, a déjà fait l'objet d'études approfondies (SRAE Rhone—Alpes et DDA Drome—Isère 1981, BURGEAP 1981). Ces études ont permis de déterminer le fonctionnement du réseau hydrographique et l'importance des ressources en eau souterraine dans le but d'aménagements hydrauliques, pour le développement de l'irrigation dans la région.

3.2.Géomorphologie.

La topographie de ces anciennes vallées glaciaires indique la présence de terrasses emboitées, la plus ancienne étant la plus élevée et la plus basse la plus récente.

En Bièvre, on distingue quatre niveaux étagés d'alluvions fluvio—glaciaires, correspondant à une succession de phases de ravinement et de dépots, liées à l'avancèe et au retrait des glaciers.

3.3.Réseau hydrographique.

L'absence de cours d'eau important indique que le réseau hydrographique est sous dimensionné. Les eaux superficielles s'infiltrent et alimentent un aquifère important qui affleure en émergences (résurgences de Manthes et Beaurepaire), à l'amont desquelles se situent les trois zones à irriguer (figure n°2—2).

Pour les sites à irriguer, la solution d'un pompage dans des cours d'eau ne peut être retenue étant donnée la faiblesse et la variabilité

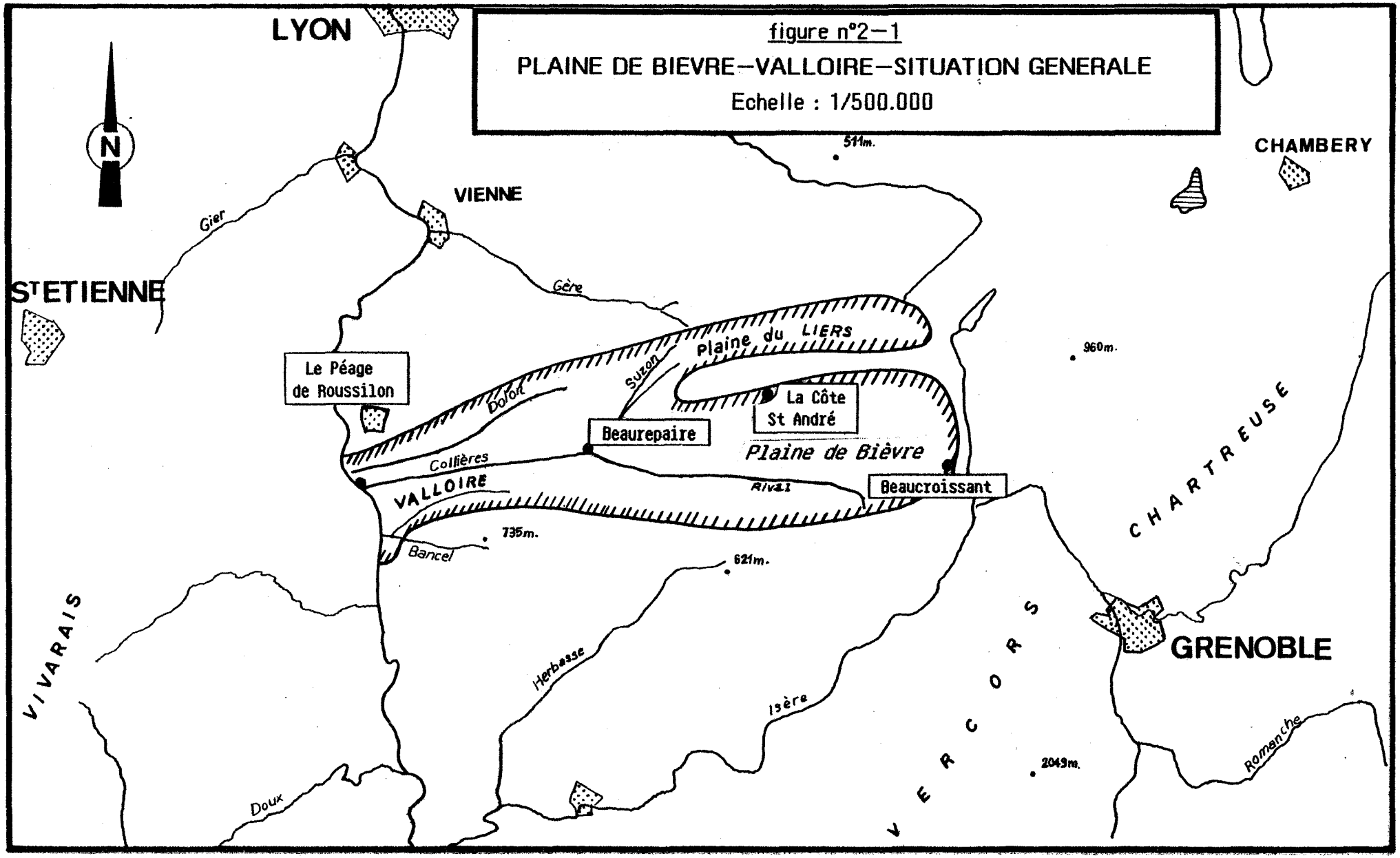


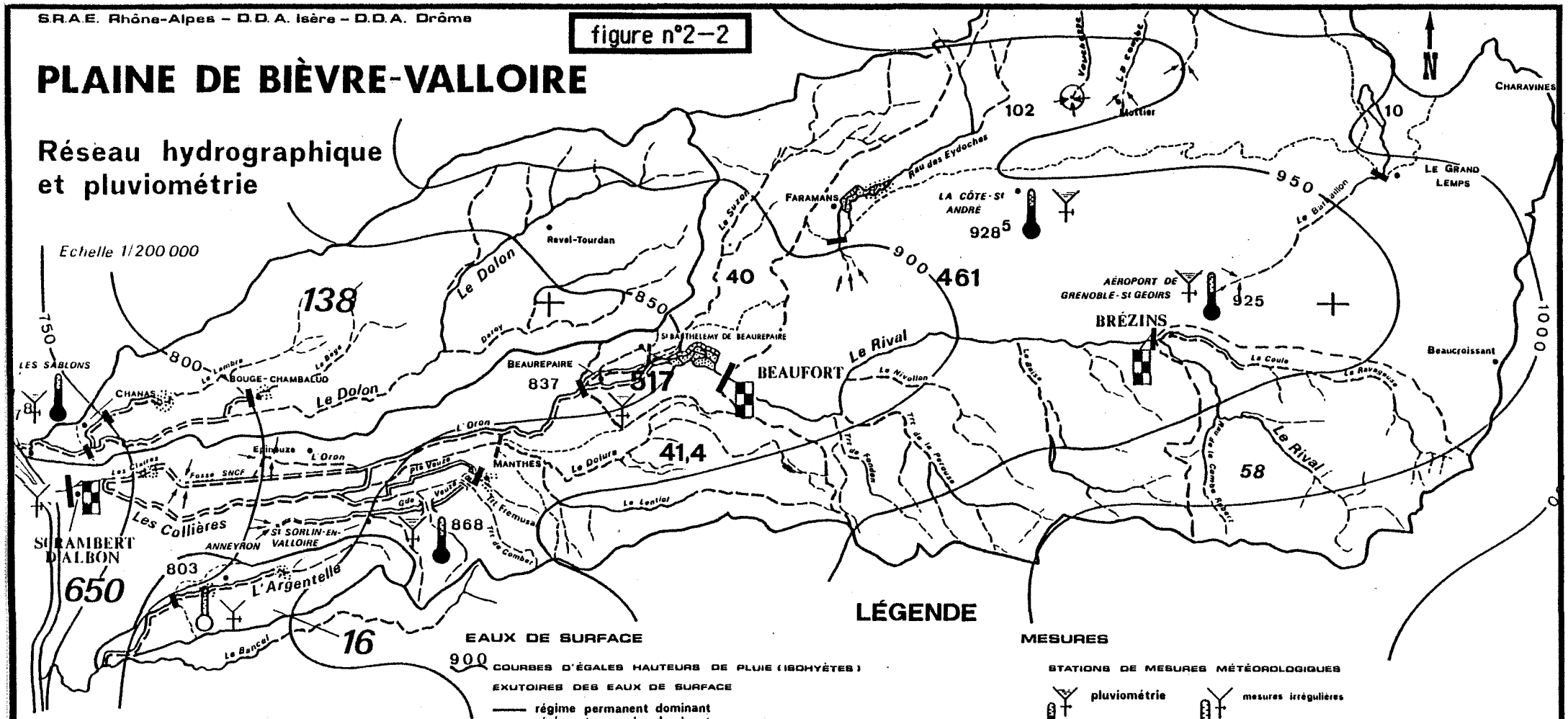
figure n°2-1
PLAINE DE BIEVRE-VALLOIRE-SITUATION GENERALE
Echelle : 1/500.000
LYON
VIENNE
CHAMBERY
STETIENNE
GRENOBLE
N
Gier
Gère
Le Péage de Roussilon
Dolon
Suzon
Plaine du LIERS
La Côte St André
Beaurepaire
Plaine de Bièvre
Collières
VALLOIRE
Rival
Beaucroissant
735m.
Bancel
621m.
960m.
511m.
2049m.
CHARTREUSE
VERCORS
VIVARAIS
Herbasse
Isère
Doux
Romanche

S.R.A.E. Rhône-Alpes – D.D.A. Isère – D.D.A. Drôme

figure n°2–2

PLAINE DE BIÈVRE-VALLOIRE

Réseau hydrographique et pluviométrie



LÉGENDE

EAUX DE SURFACE

900 COURBES D'ÉGALES HAUTEURS DE PLUIE (ISOHYÈTES)

EXUTOIRES DES EAUX DE SURFACE

—— régime permanent dominant
– – – régime temporaire dominant

EAUX SOUTERRAINES

EXUTOIRES DES EAUX SOUTERRAINES ET DES EAUX DE SURFACE

=== régime permanent dominant
=== régime temporaire dominant

PRINCIPALES ZONES D'ÉMERGENCE DES EAUX SOUTERRAINES

MESURES

STATIONS DE MESURES MÉTÉOROLOGIQUES

pluviométrie — mesures irrégulières
thermométrie — mesures irrégulières

LA CÔTE-St ANDRÉ (928⁵) station de mesure des hauteurs de pluie et des températures (*écriture inclinée*)

BEAUREPAIRE (837) station de mesure des hauteurs de pluie seules

STATIONS DE JAUGEAGES DES DÉBITS (avec tracés de l'impluvium contrôlé)

complète avec limnigraphe
section de mesures des débits
section de contrôles des crues

ZONES D'INFILTRATIONS

NATURELLES BIEN LOCALISÉES
AMÉNAGÉES

650; 517; 40... sont les surfaces en Km² des impluviums (bassins versants) au droit des sections de jaugeages de St Rambert d'A., Beaurepaire et St Barthélémy...

Les isohyètes sont tracées en tenant compte des pluviométries relevées aux stations de Vienne au Nord et de Montrigaud au Sud.

Cabinet R Duplouy
cartographie : JP Jouhaud

de leur débit à l'amont des émergences. La construction de barrages collinaires qui pourrait se justifier par l'importance de l'infiltration des cours d'eau issus des collines de bordure, est difficile à envisager à cause de l'éloignement des périmètres à irriguer. Par contre, l'étude des formations aquifères permettra de statuer sur les possibilités de ressources en eau souterraine.

3.4.Formations géologiques.

La géologie du bassin est très complexe, nous étudierons principalement les formations superficielles.

La lithologie montre, du bas vers le haut, des dépôts d'âge miocène constituant le substratum imperméable (sables et molasse), sur lesquels, à la suite d'une phase d'érosion pliocène, des sédiments lacustres et fluviatiles (sables, cailloutis et argiles) ont été déposés (figure n°2—3).

Les dépôts quaternaires constituent l'essentiel du système hydrogéologique, on y distingue les alluvions fluvio—glaciaires (sables, graviers, galets) et les dépots morainiques.

3.5.Caractéristiques des formations aquifères.

Ce sont les dépôts fluvio—glaciaires qui constituent le principal magasin aquifère exploitable. Il s'agit d'un aquifère en général à surface libre, constitué de terrains à porosité d'interstice (Gougoussis, 1982). Dans la plaine de Bièvre, la terrasse la plus basse et la plus récente est largement développée. Elle est topographiquement plus élévée dans la plaine du Liers, ce qui laisse supposer un fort gradient de la nappe dans la zone de raccordement de ces deux vallées: (16,6%).

Les alluvions fluvio—glaciaires sont constituées de sables, de graviers et de galets, dont la granulométrie permet l'infiltration, l'accumulation et la circulation des eaux. On note cependant la présence de niveaux argileux.

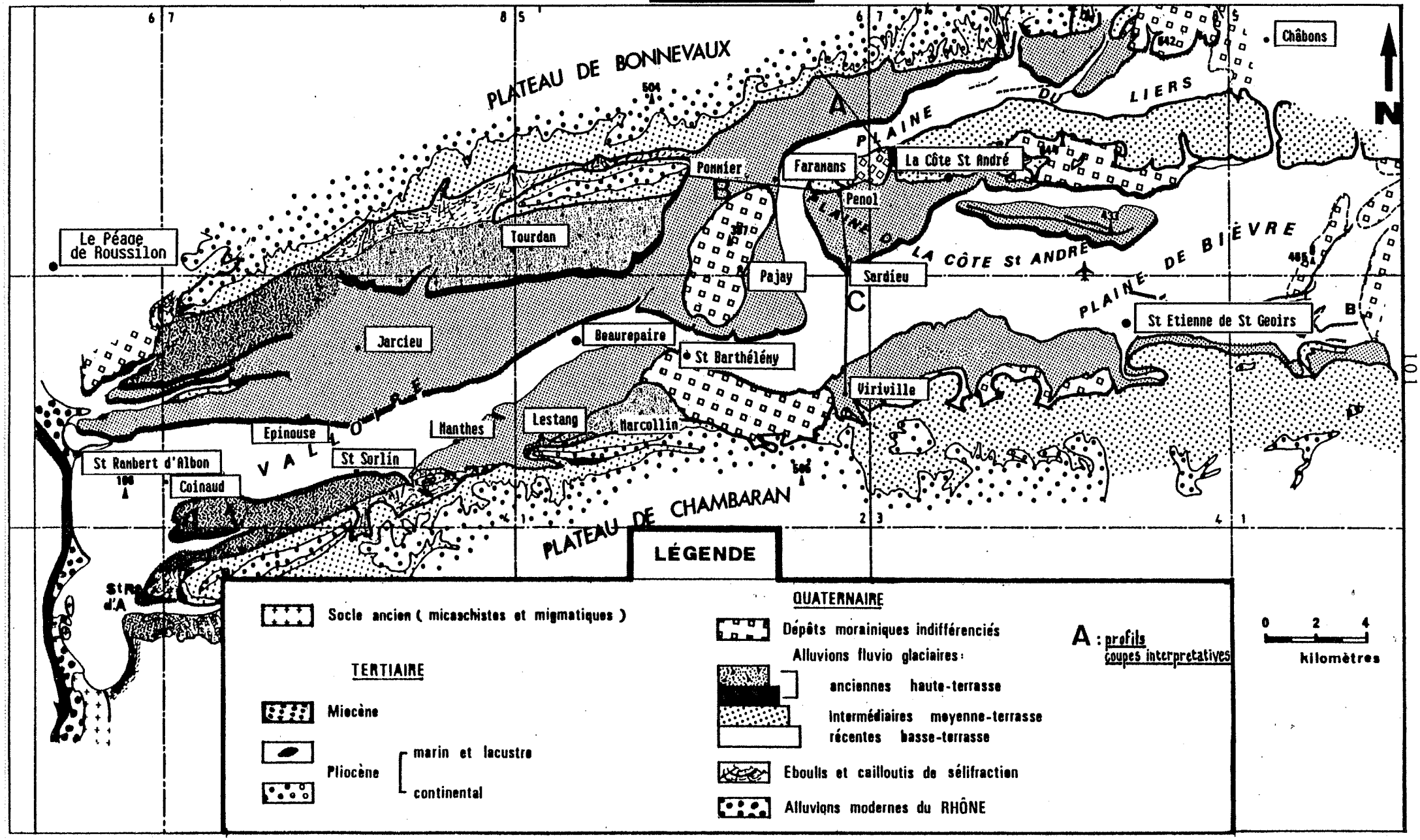
3.5.1.Variations de l'épaisseur de l'aquifère.

Dans la région qui nous intéresse, le relief du substratum est très irrégulier et indique la présence d'anciens chenaux comblés par les alluvions fluvio—glaciaires. De tels axes de drainage de la nappe existent sous la haute terrasse de la plaine du Liers, au niveau de Beaurepaire; et entre Pajay et la Côte Saint—André (figures n°2—4A et 4B).

Les zones de remontée du substratum imperméable, notamment dans la plaine du Liers, peuvent constituer des barrières étanches et délimiter de petites unités aquifères, provoquant ainsi des irrégularités piézométriques. Ce sont donc des zones à éviter pour l'implantation de futurs captages.

Schéma géologique

figure n°2–3

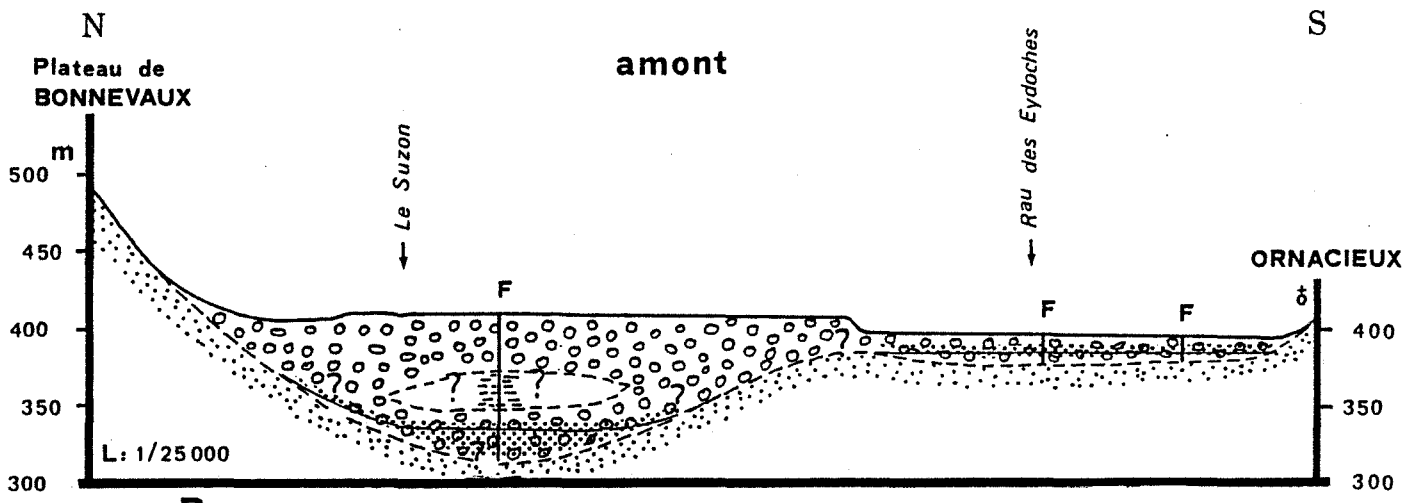


Coupes interprètatives

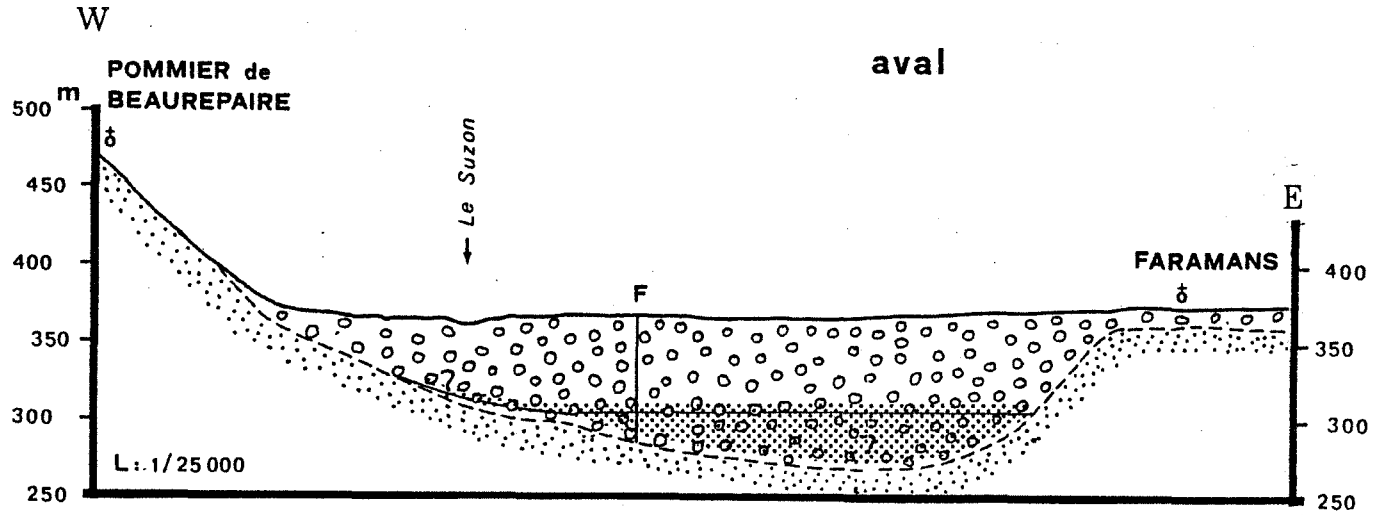
figure n°2—4
(d'après SRAE Rhône-Alpes 1980)

Plaine du LIÈRS

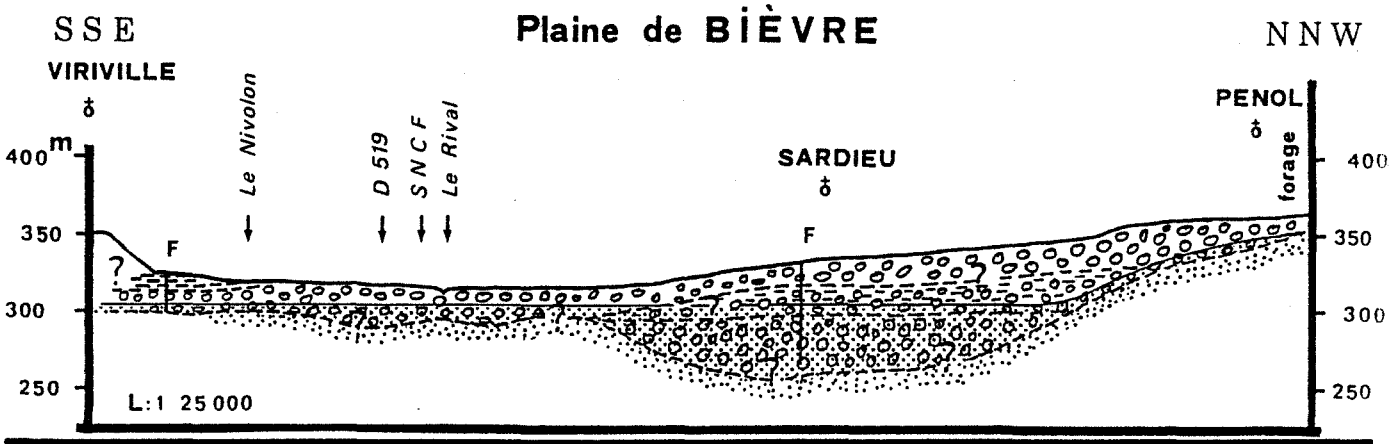
Profil : A



Profil : B



Profil : C



L'épaisseur de la nappe profonde située sous la haute terrasse de la plaine du Liers varie entre 20 et 30 mètres; celle de la nappe de la Bièvre est d'environ 40 mètres.

3.5.2.Piézométrie, Gradient hydraulique, Perméabilités.

D'après la campagne piézométrique réalisée par le SRAE Rhône—Alpes en septembre—octobre 1979, l'écoulement de la nappe s'effectue d'Est en Ouest, suivant un gradient moyen de 5,6%. En fait, l'irrégularité topographique du substratum provoque une nette diversification des écoulements (5,2% en Bièvre, 6,8% pour le Liers).

La valeur de perméabilité des alluvions les plus récentes et à granulométrie grossière est de l'ordre de 10^{-2} m/s . La rareté des essais par pompage, ne permet pas de préciser localement ce paramètre susceptible de diminuer en fonction de l'âge et de la teneur en argile de ces formations. En bordure des principaux axes de drainage, la valeur des perméabilités peut diminuer jusqu'à 10^{-3}m/s; elle peut atteindre 10^{-4} voire même 10^{-5} m/s pour les alluvions anciennes, plus souvent colmatées.

3.6.Modélisation hydrodynamique du site d'étude.

3.6.1.Généralités, Historique.

L'acquisition des données piézométriques et les études hydrogéologiques précitées ont permis la modélisation hydrodynamique du bassin de Bièvre—Valloire. Cette opération a été réalisée à l'EMSE et un premier modèle général fonctionnant en régime permanent a été calé sur les diverses altitudes du toît de la nappe en période d'étiage (septembre—octobre 1979).

A partir de ce modèle, le calage en régime transitoire a été effectué sur les valeurs piézométriques de la nappe depuis l'étiage de 1974 jusqu'à celui de 1979. Ce modèle permet de simuler le comportement hydrodynamique de la nappe vis—à—vis de certains stimuli (pompages, infiltrations, etc...).

Les données introduites sont les cotes piézométriques imposées sur les mailles périphériques (H), la cote du substratum (Z), la perméabilité de l'aquifère (K) et les débits d'échange entre la nappe et les cours d'eau. Après avoir calculé l'état d'équilibre du système, la prise en compte d'autres données est nécessaire à la simulation (coefficient d'emmagasinement de l'aquifère (S), pluie infiltrée (R), prélèvements pour l'alimentation en eau potable).

Toutes ces données sont traitées par des programmes aux différences finies résolvant l'équation de diffusivité de manière discrète et itérative, (Davoine, 1982).

3.6.2.Discrétisation du site d'étude.

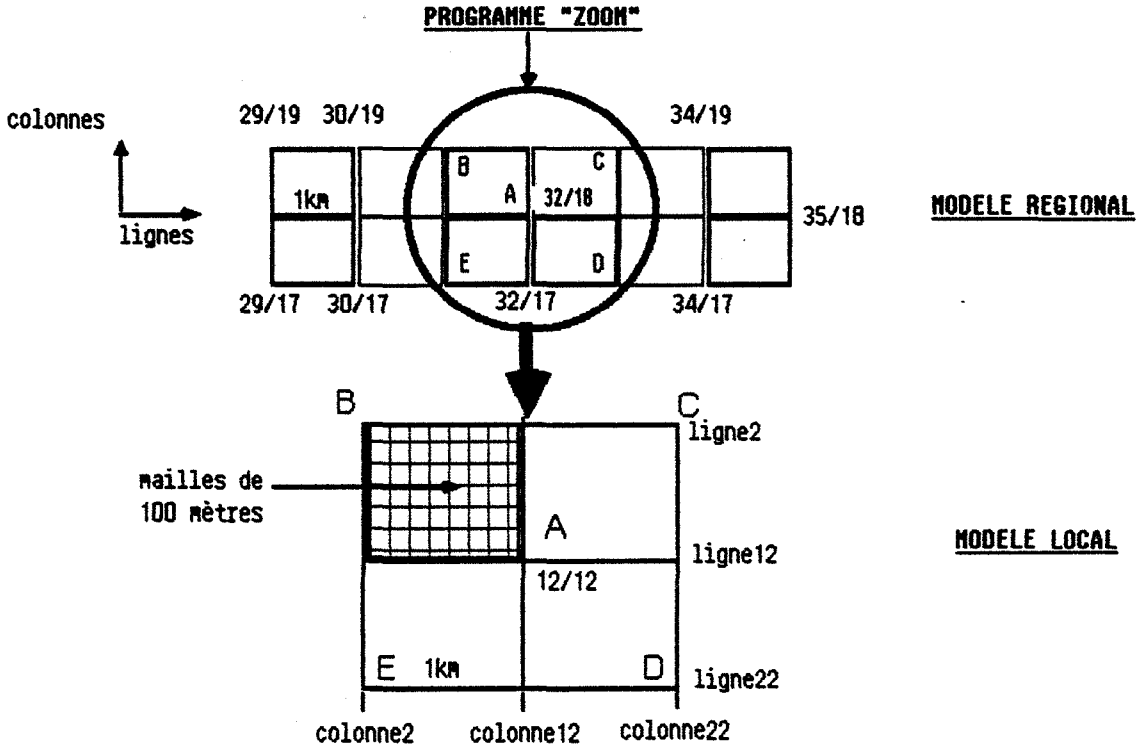
La faible densité moyenne des informations disponibles nécessite, dans un premier temps, une discrétisation du domaine selon des mailles carrées de 1km de côté. Il n'est donc pas possible de prendre en compte les éventuelles irrégularités topographiques du substratum dans un rayon de moins d'1km autour des centres des mailles sur lesquels est reporté l'ensemble des informations. Pour les mailles concernées par ces problèmes, les résultats donnés par le modèle ne sont donc qu'approchés.

Pour la simulation des essais par pompage, les valeurs calculées permettent d'estimer la zone d'influence liée à ces pompages, et non le rabattement exact au droit de leur implantation, les débits de prélèvement étant répartis sur l'ensemble de la maille.

Pour obtenir une meilleure approximation du rabattement obtenu à la suite des pompages, un fenêtrage des mailles influencées par ceux—ci a été effectué. La simulation hydrodynamique s'effectue sur un modèle de 2km de côté discrétisé en 20 mailles de 100m.

Les valeurs de K, H et Z sont interpolées en fonction des valeurs connues aux noeuds délimitant ce nouveau modèle "Zoom", et en fonction également des variations plus locales de ces paramètres non prises en compte par le modèle "régional". Ce type d'interpolation n'est pas linéaire et utilise la méthode des carrés de Serendip (Zienkiewicz, 1973).

3.6.3.Modèle "LOCAL" et programme "ZOOM": outils de réponse.



Ce programme crée un modèle à mailles de 100m sur 100m, à partir du modèle général (mailles de 1km sur 1km) calé en régime permanent sur les données piézométriques de l'étiage de 1979. Ce modèle local est carré et sa taille est de 2km sur 2 km en 20 mailles de 100m de côté.

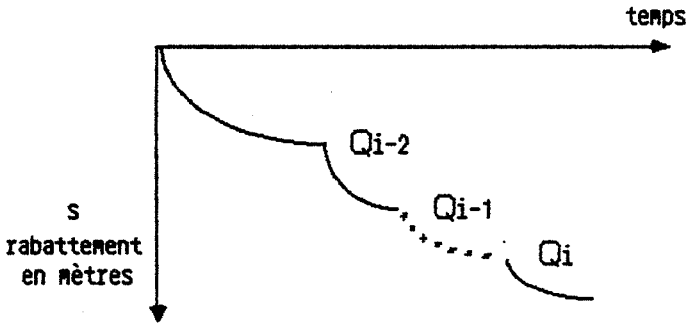
Le point A est centré sur le noeud 12/12 du modèle local. Par exemple, pour un pompage aux coordonnées exactes de 31,8/18,1 et pour un centrage en 32/18 sur le modèle régional, les coordonnées du point exact du pompage sur le modèle local seront 10/13.

Les débits sont annulés partout puisque d'éventuels pompages en B, C, D ou E devenus des conditions aux limites sont sans signification. Le pompage au centre est également annulé. La valeur de la perméabilité est aussi interpolée en s'assurant qu'elle ne s'annule pas, car l'interpolation n'est pas linéaire.

A partir d'un nouveau calcul de ces paramètres en régime permanent, le programme propose de replacer une nouvelle valeur du débit Q.

3.6.4.Simulation d'essais de pompages à paliers de débits constants.

Il est possible de simuler une série de pompages car le calcul peut être repris à partir des valeurs de rabattement du dernier palier de débit. On peut obtenir des résultats du type:



Le temps porté ici n'a pas la même signification qu'en régime transitoire, c'est le temps au bout duquel les valeurs de rabattement se stabilisent. L'intéret de ce calcul est le même qu'en réalité. Le calcul en régime permanent converge plus vite à partir des résultats d'un pompage précédent. Dans la réalité, pour tester la réponse de la nappe à un pompage Q2 on préfère ne pas avoir à attendre que la nappe remonte après l'arrêt du débit Q1. Le calcul s'effectuera donc par une séquence de régime permanents à partir des résultats d'un pompage précédent.

Le modèle régional est calculé avec une valeur du pompage au centre du futur "ZOOM" qui soit une moyenne de la série de pompages à réaliser; ceci dans un but de déterminer la zone d'influence de ces pompages.

Pour être plus rigoureux, il est toutefois possible de changer les conditions aux limites pour un pompage que l'on juge trop different de celui avec lequel on a calculé les conditions aux limites.

Ensuite, sur le modèle local, on fait varier les débits de pompage (programme "POMPAGE"), et l'on calcule ainsi pour chaque débit la piézométrie.

L'ensemble des problèmes de modélisation ainsi que les procédures informatiques de la simulation constituent une partie de la "boite noire " du système MISE vis—à—vis de l'utilisateur et ne le concernent donc pas , surtout s'il a choisi d'aller faire des essais par pompage sur le terrain. En revanche, s'il désire s'intéresser à l'outil de simulation qui lui procure les résultats, il peut travailler avec l'opérateur responsable du fonctionnement de la simulation.

Par exemple, une des remarques suivantes est alors suceptible de l'intéresser:

Le modèle hydrodynamique régional de Bièvre Valloire utilise un programme aux différences finies pour lequel la transmissivité équivalente de deux mailles voisines est calculée selon une moyenne arithmétique. Ce calcul est différent de celui utilisé couramment qui considère la moyenne harmonique. La différence se fait ressentir aux limites entre des zones de transmissivités trés différentes; par contre en zone homogène, cela revient sensiblement au même.

La taille des mailles sur le modèle régional étant de 1 km sur 1 km, l'erreur entraînée, qui vise à rendre les résultats du modèle plus optimiste (meilleur écoulement aux frontières), est assez importante en valeur absolue, mais faible par rapport à l'échelle du modèle.

Pour le calcul des piézométries sur le modèle local, il est donc préférable d'utiliser une moyenne harmonique des valeurs de transmissivité voisines du noeud sur lequel s'effectue ce calcul.

On observe pour certaines courbes piézométriques calculées en régime permanent sans pompage, un décalage systématique par rapport à celles de la carte piézométrique établie par le SRAE Rhône—Alpes en février 1981 qui a servi de base au calage du modèle. Ce décalage systématique non négligeable toujours localisé en "queue de courbe" ne résulte pas de l'introduction de mauvaises données mais est une conséquence de la taille des mailles. Le calcul "barycentrique" de la piézométrie sur un noeud introduit un léger décalage de la courbe à chaque itération , se répercute sur les noeuds voisins et s'amplifie aux itérations suivantes. Heureusement, cet "artéfact" de calcul ne perturbe pas le comportement général du modèle.

3.7. Autres outils de simulation disponibles pour l'utilisateur du MISE.

La simulation de l'exploitation des ressources en eau souterraine est donc possible, elle permet de prévoir les réactions de la nappe en fonction de certains scénarios d'exploitation et en fonction de phénomènes éventuels: inondations, colmatage de certains cours d'eau , extension de carrières destinées à l'exploitation de matériaux graveleux.

D'autres outils de simulation sont mis en oeuvre et mis à la disposition des utilisateurs:

—Simulation des sondages—carottages.

L'existence de sondages de reconnaissance et de résultats de prospection géophysique a permis l'introduction , dans l'ordinateur, des informations géologiques sur chaque noeud du maillage. Ces données synthétisées avec celles du modèle hydrodynamique sont schématisées par une carotte, de telle sorte que la nature, la profondeur et l'épaisseur des formations alluvionnaires soient accessibles, en fonction de la profondeur de forage désirée.

—Prospection géophysique:

Un certain nombre de courbes de sondages géophysiques peuvent être demandées par les prospecteurs. Ces derniers, selon leur compétence, ont la possibilité d'en effectuer l'interprétation eux—même ou bien de la sous—traiter.

Dans chacun des cas , le coût de l'opération est différent et détermine l'accès soit à un outil d'interprétation semi—automatique, soit à une coupe interprétative.

—Calcul du réseau d'irrigation:

D'autres outils informatiques sont destinés à calculer les débits des différents tronçons du réseau (Clément, Galand 1978). Ces programmes qui utilisent la méthode de M.Clément ont été adaptés à notre projet de simulation, c'est—à—dire pour des réseaux équipant de petits ou moyens périmètres d'irrigation. Leur version plus simplifiée et leur utilisation séquentielle (calcul des débits et calcul des diamètres et des coûts selon la méthode approchée de M.Labye), permettent une présentation plus pédagogique et mieux adaptée au cadre de la simulation.

L'utilisation interactive d'un algorithme de recherche opérationnelle (programme "OTER") contribue à l'optimisation du tracé du réseau en fonction du coût des canalisations et des plus—values techniques qu'entraîne leur installation (taversée de routes, de rivières, d'oléoduques, etc...).

Pour certains ensembles de décisions: (forage, géophysique), (essai par pompage, relevé piézométrique, modélisation hydrodynamique), les outils de simulation mis en jeu sont les mêmes. Par contre, les coûts temporels et financiers ne sont pas identiques.

Comme dans la réalité, des évènements aléatoires ou imprévisibles, spécifiques à la technique utilisée ou dépendants de la compétence des décideurs du projet, peuvent se produire.

—Simulation d'évènements aléatoires:

L'apparition de ces évènements est provoquée et régulée par un tirage automatique aléatoire. La pondération de la probabilité de leur apparition permet d'introduire des faits réels issus d'enquètes et de statistiques se rapportant aux différentes phases de ce type de projet (incidents de forages, sur le réseau.....).

Ces évènements peuvent être favorables ou défavorables, c'est—à—dire entraîner des bénéfices ou des surcoûts. Leur présentation sur l'écran, souvent sous forme de conseil ou d'avertissement, prépare le projeteur à la confrontation aux problèmes à la fois techniques, administratifs et humains. Les pilotes du projet sont, par conséquence, incités à moduler leur approche tactique du projet, c'est—à—dire à réagir en fonction des décisions prises et de celles à prendre ultérieurement.

Certains de ces évènements peuvent avoir une ou plusieurs conséquences aléatoires, un second tirage est alors automatiquement déclenché.

La capacité actuelle maximum de tirage est de 99 évènements équiprobables rattachés à une décision. Ces évènements sont édités, archivés et actualisés; ils sont vérifiés par un programme de contrôle du tirage aléatoire (programmes ESPI1, 2, . .).

Un exemple de session, celle du groupe Biva1, illustrera les procédures de fonctionnement de quelques uns de ces outils de simulation.

CHAPITRE 4: LE DIALOGUE ENTRE MISE ET L'UTILISATEUR ou COMMENT L'ORDINATEUR ASSISTE LES DECISIONS ?

Rythme de la simulation.

C'est l'ensemble des solutions possibles pour réaliser le projet qui guidera le choix et l'enchaînement des décisions qui composent la stratégie adoptée par les projeteurs (figure n°2—5). Ces décisions possibles sont répertoriées dans ce que nous appellerons l'ensemble des éléments du système décisionnel, elles sont numérotées selon une liste non ordonnée et non exhaustive pour laisser à l'utilisateur toute liberté de choix. Un commentaire synthétique accompagne les décisions se rapportant à des solutions techniques plus spécialisées comme, par exemple, la géophysique ou la télédétection.

4.1.Exemple de session Biva1.

Il ne s'agit pas de reconstituer, ici, toutes les phases du projet simulé par le groupe Biva1, mais d'en exposer quelques étapes qui relatent les moments les plus intéressants de la simulation : Démarches, Etudes, Prospection et Distribution.

Biva1 établit un programme prévisionnel, constituant en quelque sorte le cahier des charges du projet, et se renseigne sur les modalités de subventions.

Le groupe de travail utilise l'ordinateur MINI 6 (figure n°2—6), s'est connecté, a changé de "password" (mot de passe) et s'introduit dans le répertoire de travail destiné à effectuer l'opération; tout cela après démonstration et à l'aide d'une notice explicant les procédures de déclenchement des opérations, d'acquisition des données et d'utilisation des programmes de simulation.

Décision n°1 : *DEMANDE DE SUBVENTIONS*

Biva1 : *ec étape*
Mise : numéro d'étape ?
Biva1 : *1*
Mise : numéro de sous—étape ?
Biva1 : *02*
Mise : Pas d'incident, consultez le fichier SUBVENT
Avez vous besoin d'un autre tirage ?
Biva1 : *Non*

figure n°2—5

ETAPES DU SYSTEME DECISIONNEL DU SYSTEME MISE DANS SA VERSION IRRIGATION

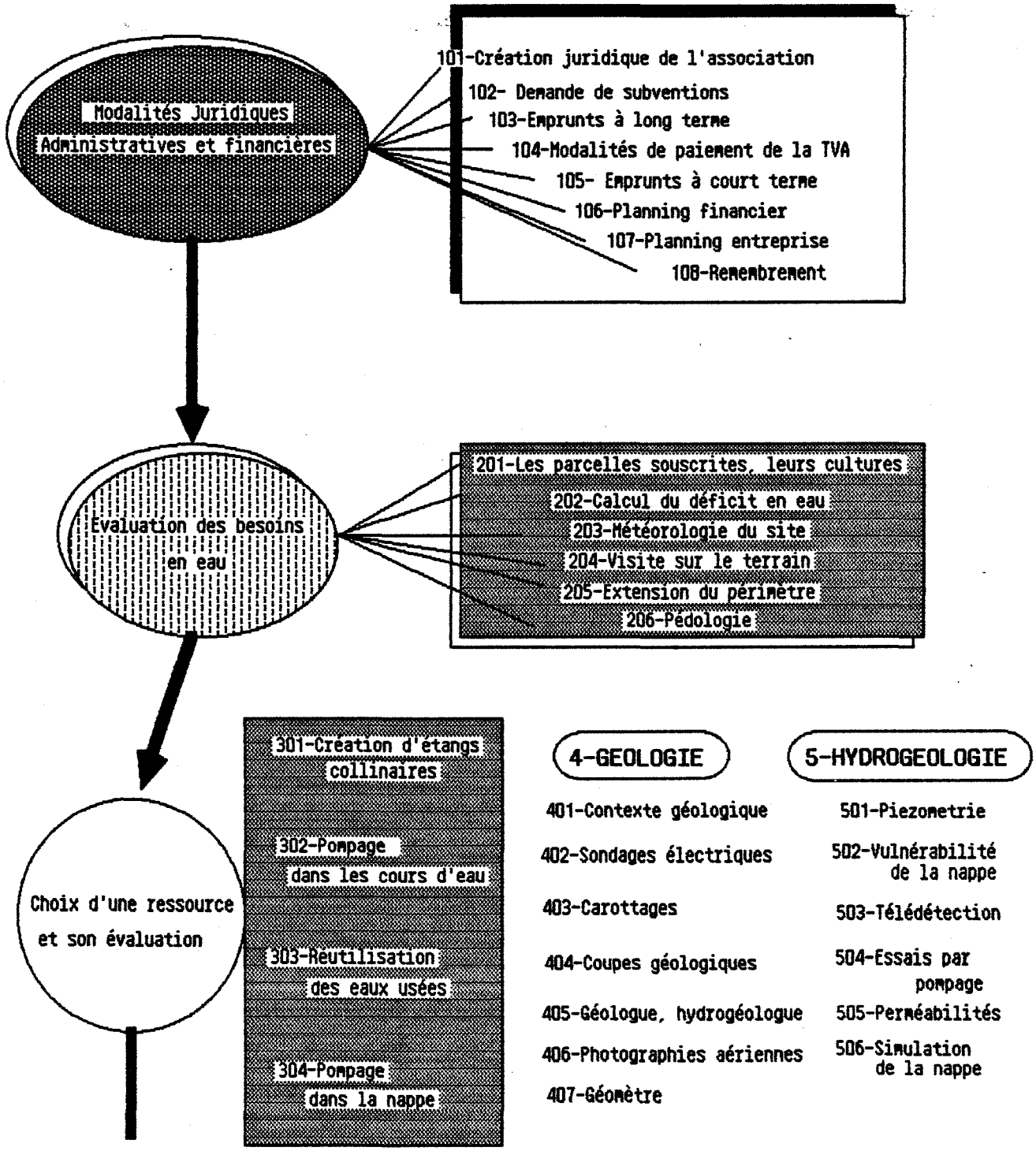


figure n°2—5

ETAPES DU SYSTEME DECISIONNEL DU SYSTEME MISE DANS SA VERSION IRRIGATION

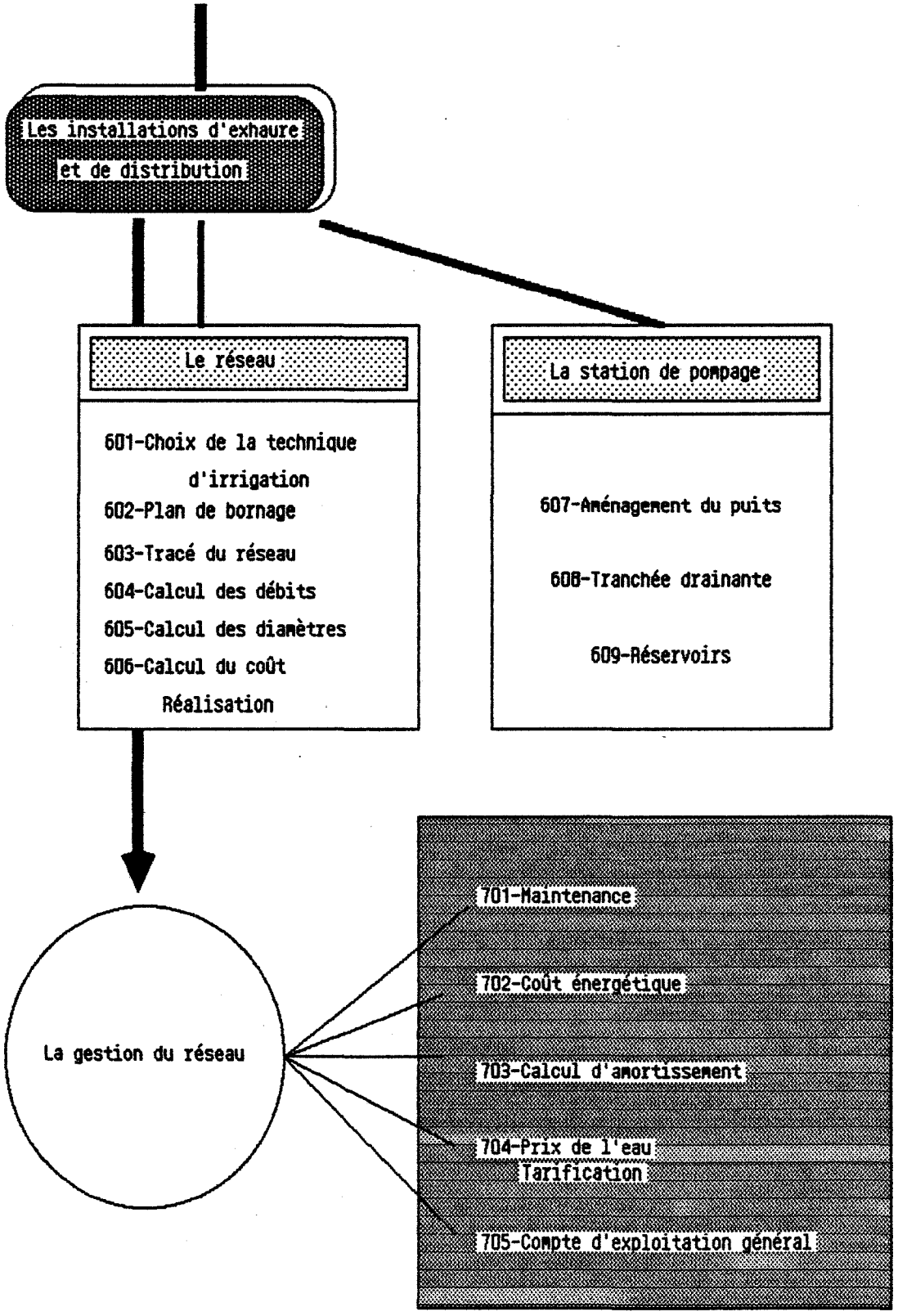
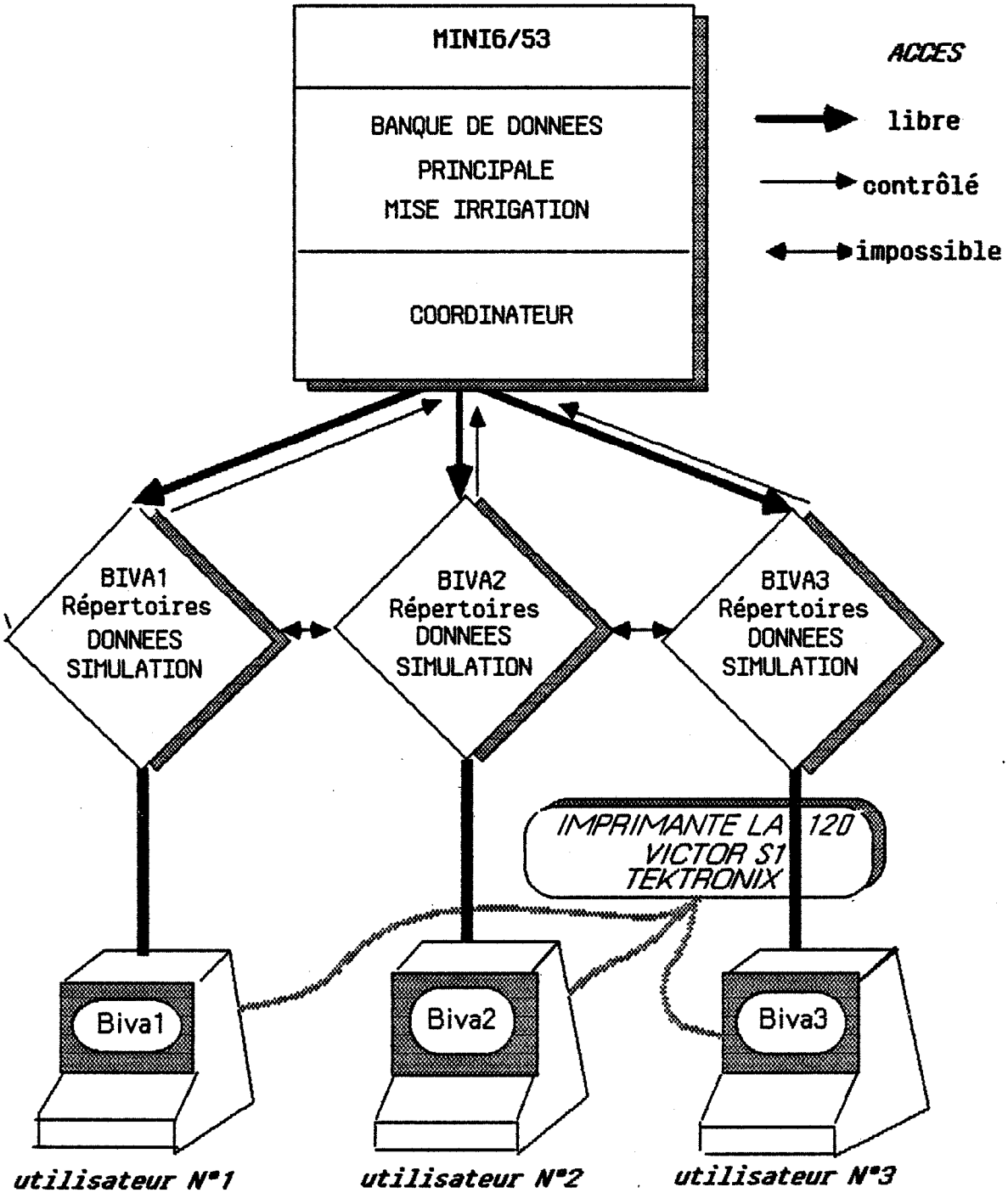


figure n°2—6

ARCHITECTURE INFORMATIQUE DE FONCTIONNEMENT DU MISE DANS SA VERSION IRRIGATION



Les instructions: ec, cwd, pr, dpla sont des procédures de commande liées au système d'exploitation de l'ordinateur Mini 6, leurs significations sont les suivantes:

ec: exécution d'un programme,
cwd: changement de répertoire,
pr: impression à l'écran,
dpla: impression sur imprimante.

Pas d'inconvénient pour se voir accorder la première tranche de subventions. Le fichier SUBVENT déja contenu dans les informations de base disponibles chez l'utilisateur (répertoire DONNEES), donne les précisions nécessaires.

Biva1 : *cwd DONNEES*
Biva1 : *pr (ou) dpla SUBVENT*

En fait certains évènements auraient pu se produire :

Mise : Vous n'obtenez que 75% des subventions normalement accordées par le département.

Il est donc décidé de créer juridiquement l'association pour pouvoir toucher ces subventions.

Décision n°2 : *CREATION JURIDIQUE DE L'ASSOCIATION*

Biva1 : *ec étape 101*
Mise : Une importante grève des PTT a retardé votre dossier de demande, les délais sont donc augmentés de N mois.
Effectuez un nouveau tirage pour connaitre la valeur de N
N=3 si X=1,2,3,4
N=6 si X=5,6,7,8
X est la valeur affichée
Avez vous besoin d'un autre tirage ?
Biva1 : *oui*
Mise : bornes min et max ?
Biva1 : *1, 8*
Mise : X=6

Il y aura donc un délai de 6 mois pour recevoir l'acte d'association syndicale qui se trouve dans la banque de données documentaires et non informatisées. Il sera délivré par le coordinateur de la session.

Ce délai est donc comptabilisé dans la réalisation du projet, il n'avait pas été prévu. D'autres évènements auraient pu se produire :

—perte du dossier dans les méandres de l'administration
—obligation d'engager les parcelles des agriculteurs pour garantir le remboursement des emprunts complémentaires aux subventions.

Le fichier SYND de la banque de données informatisées (tableau n°2—1) est accessible.

En attendant ces 6 mois de délais, il est toujours possible de prendre rendez—vous avec les responsables locaux (Décision n°3), mais même dans ces petites communes, le maire ou le futur président de l'ASA ne peuvent se libérer facilement de leur activité agricoles et il faut bien 3 semaines pour les rencontrer.

Décision n°4 : *VISITE SUR LE TERRAIN*

Biva1 : *ec étape 204*

Mise : Pas de problème le coordinateur se charge de cette visite.

Les utilisateurs quittent leur console et assistent à la projection d'un montage de diapositives présentant le site d'étude. Pour connaître les souscripteurs potentiels, ils ont la possibilité de consulter des rapports d'enquêtes effectuées sur le terrain.

Interrompons momentanément le cours de cette simulation et reprenons le déroulement de cette session à un stade de réalisation plus technique de ce projet.

Les opérations suivantes se sont déroulées selon une procédure identique:

Décisions
- n°5 (201) : Détermination des parcelles souscrites
- n°6 (203) : Météorologie du site
- n°7 (202) : Calcul du déficit en eau
- n°8 (204) : Visite sur le terrain (2ème fois)
- n°9 (205) : Extension du périmètre d'irrigation

A la suite de cette phase d'études, Biva1 décide de s'intéresser aux techniques de réutilisation des eaux usées qui pourraient éventuellement éviter de créer de nouveaux captages.

Décision n° 10 : *REUTILISATION DES EAUX USEES*

Biva1 : *ec étape 303*

Mise : La zone concernée par votre étude n'est pas touristique:
la population est donc essentiellement la même en hiver qu'en été;
or le réseau d'irrigation nécessite beaucoup plus d'eaux usées en été;
le projet n'est donc pas appliquable.
Vous avez perdu 1 mois à étudier ce projet.

Biva1 : Merci Laurence !!!!!!!

Laurence qui est sans doute le membre du groupe Biva1 qui avait préconisé cette solution est ainsi remerciée par ses collègues.

tableau n°2-1

SUBVENT

LES SUBVENTIONS

LES SUBVENTIONS SONT ACCORDEES PAR L'ETABLISSEMENT PUBLIC REGIONAL ET DEPARTEMENTAL (SRAE, DDA). ELLES SONT GLOBALES ET FORFAITAIRES.
CES SUBVENTIONS SONT UN POURCENTAGE FIXE (ENTRE 65 ET 70%) DU MONTANT TOTAL DU PROJET. LE SYNDICAT EN TOUCHE 30% AU LANCEMENT DES TRAVAUX, 30% A MI-PARCOURS ET 40% A LA RECEPTION DES TRAVAUX.

SYND

CREATION JURIDIQUE DE L'ASSOCIATION

L'ASSOCIATION SPONTANEE DES AGRICULTEURS DOIT ENTRER DANS DES NORMES JURIDIQUES POUR POUVOIR TOUCHER DES SUBVENTIONS. LA SEULE FORME POSSIBLE EST "L'ASSOCIATION SYNDICALE AUTORISEE" LES MEMBRES DOIVENT ELIRE UN PRESIDENT QUI S'OCCUPE DE LA GESTION ET DES FACTURES, ET UNE ASSEMBLEE POUR PRENDRE LES DECISIONS.
ELLE EST SOUMISE A BUDGET, COMPTES, BILAN ET REPARTITION DES CHARGES.

En revanche, cette étude n'est pas complètement inutile, puiqu'elle a permis de déterminer les diverses utilisations des eaux souterraines dans la région: fichier "UTILRESS".

—Eau potable: Nous sommes en zone rurale, l'utilisation d'eau souterraine est peu importante:
0,17 à 5,5 10^6 m3/s.

—Usage industriel: Faible industrialisation:
8,2 10^6 m3 pour l'ensemble du bassin

—Usage agricole: Irrigation de 1250 hectares sur les plaines de Bièvre et du Liers.
0,35 m^3/s sur 90 jours.

Cette information est importante, car les points de prélèvement d'eau potable sont intouchables et l'implantation de nouveaux captages doit s'effectuer au delà des périmètres de protection.

Décision n° 11 : *TELEDETECTION AERIENNE*

Biva1 : *ec étape 406*

Mise : Vous obtenez les photographies aériennes voulues.

Les photos aériennes sur le site d'étude peuvent être éxaminées au stéréoscope, ce qui autorise à authentifier, en fonction de la date de la mission, l'existence des routes et chemins d'accès aux parcelles à irriguer. La photo—interprétation laisse apparaître un certains nombre de critères morphologiques et d'indices de végétation.

La couverture aérienne ayant déjà été réalisée, seuls les prix des photos et du matériel d'interprétation seront facturés, les délais sont d'environ 2 semaines pour acquérir ces données.

Il existe également des photos aériennes en infra—rouge noir et blanc et en infra—rouge couleur. Ces documents, plus coûteux, permettent de déceler les zones les plus humides en surface (résurgences de Manthes,...). Ils procurent une information à correler évidemment avec la date de prise de vue et en fonction d'un certain nombre de conditions (météo, saison, état des cultures, labours, etc...).

L'interprétation de ces données est plus délicate, c'est pourquoi, Biva1 fait appel à un expert.

Décision n° 12 : *GEOLOGUE, HYDROGEOLOGUE, EXPERT.*

Biva1 : *ec étape 406*
Mise : Vous pouvez consulter s'ils sont libres:

—Mr X.... pendant 20 minutes maximum, pour une majoration de 40% du coût de l'étape

—Le cabinet d'étude Y..... pendant 20 minutes maximum, pour une majoration de 20% du coût de l'étape.

"Les temps sont durs" et chacun fait ses prix. Certains conseils sont à retenir: la géophysique électrique reste une bonne méthode de prospection des niveaux aquifères à condition, bien sûr, de ne pas oublier les forages qui étalonneront les résultats des sondages électriques.

Au sujet des photographies aériennes, le faible coût de leur acquisition justifie leur examen. En fonction du budget, il peut être intéressant de se procurer aussi les images—satellites de la zone d'étude, si la bande magnétique sur laquelle elles sont enregistrées existe déjà. Certains traitements (calculs de ratios de végétation, d'indices d'humidité), précisent les zones cultivées dont les besoins en eau sont les plus importants. L'étude multi—dates de ces images peut également permettre d'apprécier l'efficacité de l'irrigation.

L'application de ces techniques est plus répandue aux Etats Unis et en particulier pour l'étude de grands périmètres d'irrigation, mais elle est encore peu couramment envisagée en France. En effet, l'échelle des parcelles des trois périmètres d'irrigation observées à partir des images—satellite ne se prête pas, actuellement, à une interprétation précise. En fin de compte, les projeteurs du groupe Biva1 n'exploiteront les conseils de l'expert que pour l'emplacement des sondages électriques dont ils sous—traiteront l'exécution.

Biva1 en a terminé pour la phase d'études préliminaires, la campagne de prospection des ressources en eau pour le périmètre d'irrigation de Pajay débute.

Décision n° 13 : *SONDAGES ELECTRIQUES*

Biva1 : *ec étape 402*

Mise : Comble de malchance, les résultats que vous avez obtenus ont été volés sur la banquette arrière de votre voiture. La prochaine fois, fermez vos portes à clé.

Biva1 : *Il s'agissait de données de sondages déjà existantes.*

Heureusement, les archives ont été photocopiées, mais un délai d'une semaine sera nécessaire pour les retrouver. Cet incident est toutefois très rare; sont plus fréquents d'autres incidents techniques relatifs à l'exécution de nouveaux sondages électriques (mauvais réglage du matériel, présence de courants parasites dans le sol et perturbateurs des mesures , etc....). Parfois l'accès au terrain est rendu difficile et les négociations avec les propriétaires font perdre du temps.

L'interprétation des mesures relevées pendant l'exécution de ces profils de sondages peut être sous—traitée à l'Ecole des Mines en l'occurrence, puisqu'on y dispose des programmes d'interprétation. (programme "SONDEL" sur micro—ordinateur Tektronix).

Les sondages effectués sont répartis suivant un profil de direction Nord—Ouest, Sud—Est qui se situe au Sud—Est de la commune de Pajay (figure n°2—7 et 2—8).

Les étapes suivantes (décisions n°14 et 15) sont également des opérations de prospection géophysique pour les autres périmètres d'irrigation.

Décision n°16 : *SONDAGES CAROTTAGES*

Biva1 : *ec étape 403*

Mise : Utiliser le programme "SOND".

Il est disponible dans votre répertoire "ZONE".

Biva1 : *ec SOND C. 28-16*

Il s'agit ici, de déterminer les caractéritiques lithologiques du terrain par un forage au noeud correpondant à la 28ème ligne et à la 16ème colonne du maillage discrétisant la zone à prospecter.

Les carottes C.28-16 et C.28-17 sont ainsi déterminées par forages sous—traités aux entreprises régionales.

Quelques difficultés d'accès au terrain apparaissent (immobilisation de la foreuse dans le chemin d'accès en mauvais état) . Cela coûte 2000F/jours car c'est aux responsables du projet de prévoir la viabilité des voies d'accès du matériel.

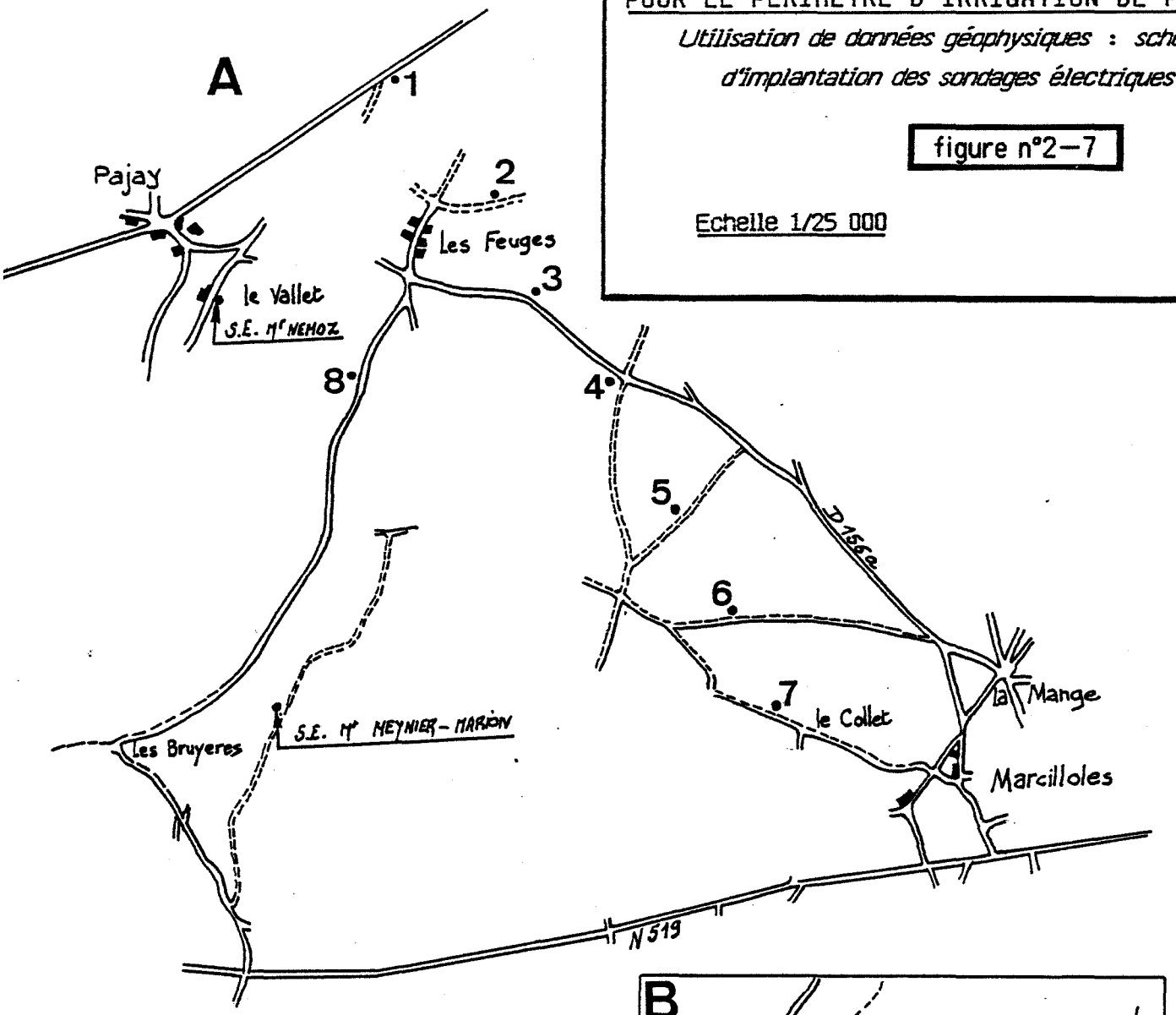
Les carottes C.28-16 et C.28-17, apparaissent à l'écran et peuvent être imprimées (figure n°2—9). A l'aide des données de forages déjà existants, le prospecteur peut essayer de localiser l'aquifère ailleurs que sur des noeuds du maillage.

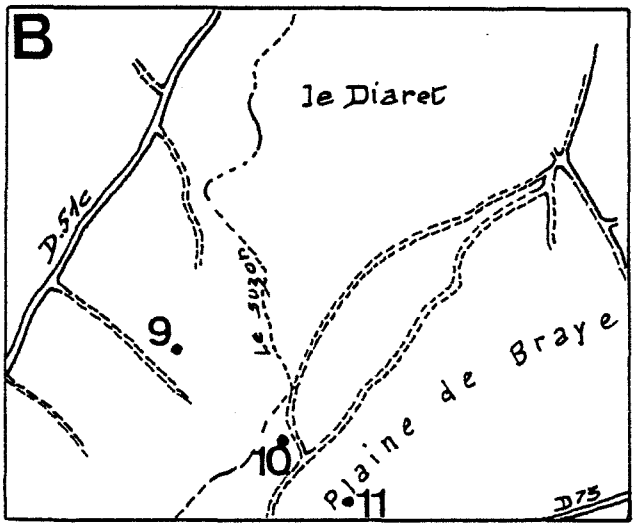
PROSPECTION DES RESSOURCES EN EAU
POUR LE PERIMETRE D'IRRIGATION DE PAJAY

Utilisation de données géophysiques : schéma d'implantation des sondages électriques

figure n°2–7

Echelle 1/25 000





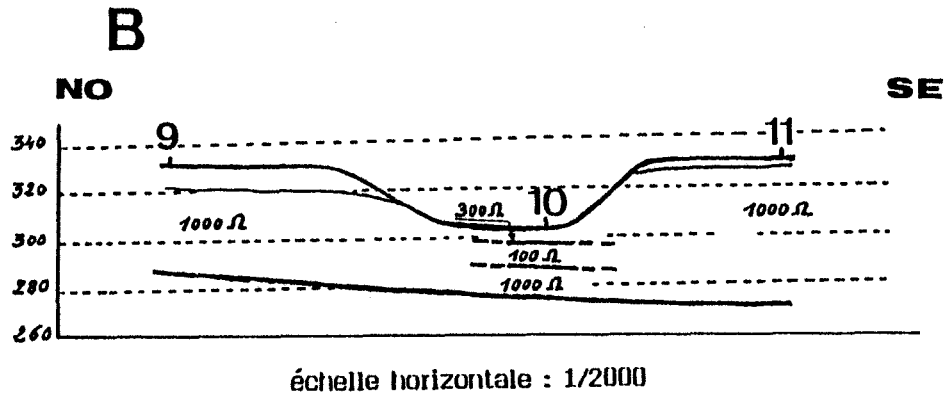
N

LEGENDE

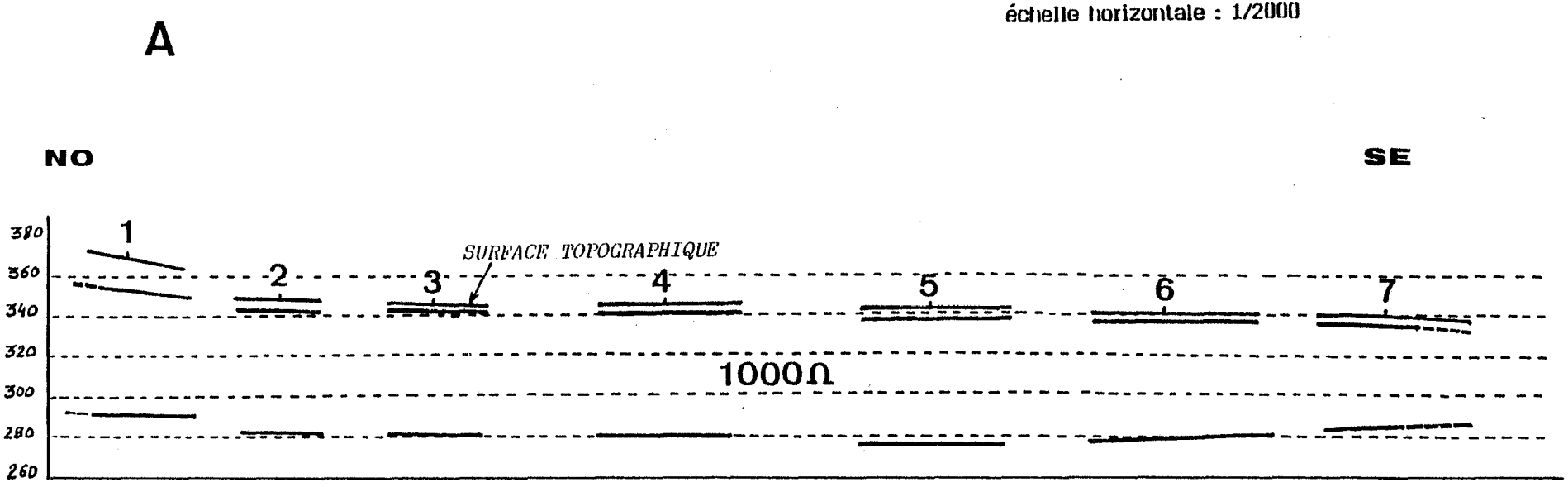
- • 1 : Numéro du sondage électrique
- ------ : Cours d'eau
- ═══ Routes nationales ou chemins départementaux
- ====== Voies secondaires

figure n°2–8

INTERPRETATION DES RESULTATS
DES SONDAGES GEOPHYSIQUES
(PAJAY)



échelle horizontale : 1/2000



4.2.Comment estimer la validité des résultats ?

C'est la question que tout utilisateur du Mise doit se poser le plus souvent possible. Pour lui répondre, il ne s'agit pas d'écarter le problème sous prétexte de simulation, ni de décrire chacun des outils pour en prouver la validité de fonctionnement et des résultats, ce qui serait trop long. Il est cependant nécessaire , de lui fournir quelques indications pour estimer l'incertitude des résultats.

Comment les carottes espacées de 100m représentent-t-elles l'information géologique?

Une carte géologique utilisant les informations issues des études de prospection géophysique et des forages, étayées par celles des essais par pompages et des études de modélisation, a été établie à différentes profondeurs depuis la surface topographique.

Des secteurs de lithologie identique ont été déterminés et répertoriés dans des fichiers informatiques contenant des coupes lithologiques verticales, typiques des zones suceptibles d'être prospectées

Les quatres chiffres précédés de " C. ", constituent ce que nous appellerons "l'argument" de la carotte. En fonction de la valeur de cet argument, c'est-à-dire de la position du forage, une copie du fichier correspondant et contenant la carotte en question, s'effectue automatiquement depuis la banque de données principale à accès contrôlé (répertoire CAROTTE), dans celle de l'utilisateur du système.

Cette manière très simple de gérer et de répartir l'information hydrogéologique ne convient plus lorsque le modéle géologique ainsi créé est plus réduit et surtout plus compliqué. L'utilisation de la géostatistique devient alors nécessaire.

4.3.Suite de la simulation.....

C'est donc l'ensemble des opérations effectuées jusqu'ici qui aideront le groupe Biva1 à choisir les lieux d'implantation des differents captages pour les trois périmètres d'irrigation prévus. Après avoir effectué des relevés de niveaux piézométriques (étape 501), des essais par pompage (504), le régime d'exploitation des ressources ainsi obtenues sera déterminé.

La présence d'un niveau de roche dure dans les premiers mètres de creusement du forage d'exploitation de Pajay, aurait pu posé un problème au groupe Biva1. Cependant le spécialiste chargé de l'opération, a décidé d'équiper les premiers mètres du forage en diamètre 1000, ce qui permet l'accès à ce niveau de roche dure pour pouvoir le perforer.

Si l'incident s'était produit à plus grande profondeur, il aurait été indispensable de changer l'outil de forage.

figure n°2—9 :SIMULATION DE SONDAGES CAROTTAGES

```
PATH:  ^MIN01>ECOLE>HYDRO>GRAILLOT>JEUBIVA>CAROTTE>C.27-21
TIME:  1984/05/21 1920:23.9
    |     |  nsf
    |     |     limons non calcaires
    |-----|     alluvions,graviers,sable,limons
    |_____|  302
    |.....|     alluvions grossieres,cailloutis,graviers,sable
    |.....|
    |-----|  280
    |//////|     molasse sablo-greseuse
    |//////|
EOF
R 1920 .709
PR C.27€22 -SP


PATH:  ^MIN01>ECOLE>HYDRO>GRAILLOT>JEUBIVA>CAROTTE>C.27-22
TIME:  1984/05/21 1920:40.2
   |     |  nsf
   |_____|     cailloutis et sables
   |-----|  323 fluvio-glaciaire aquifere
   |-----|  322
   |//////|     substratum impermeable (miocene)
   |//////|
EOF
R 1920 .506
PR C.28-16 -SP


PATH:  ^MIN01>ECOLE>HYDRO>GRAILLOT>JEUBIVA>CAROTTE>C.28-16
TIME:  1984/05/21 1920:54.8
    |     |  nsf
    |     |
    |-----|  287
    |.....|           fluvio-glaciaire aquifere
    |.....|
    |.....|
    |.....|
    |-----|  243
    |//////|           molasse caillouteuse
    |//////|
EOF
R 1920 .745
PR C.28-17 -SP


PATH:  ^MIN01>ECOLE>HYDRO>GRAILLOT>JEUBIVA>CAROTTE>C.28-17
TIME:  1984/05/21 1921:08.3
    |     |  nsf
    |     |     cailloutis et blocs a matrice sablo-argileuse
    |     |
    |-----|  299
    |.....|
    |.....|      fluvio-glaciaire aquifere
    |.....|
    |-----|  270
    |//////|      molasse
    |//////|
EOF
R 1921 .709
PR C.28-18 -SP


PATH:  ^MIN01>ECOLE>HYDRO>GRAILLOT>JEUBIVA>CAROTTE>C.28-18
TIME:  1984/05/21 1921:25.2
    |     |  nsf
    |     |     cailloutis et blocs a matrice sablo-argileuse
    |_____|  337
    |.....|     fluvio-glaciaire aquifere
    |-----|  327
    |//////|     molasse caillouteuse
    |//////|
EOF
R 1921 .659
PR C.28-19 -SP
```

Les résultats de ces différentes étapes seront présentés dans un autre chapitre , ils sont comparés à ceux de l'autre groupe Biva2, et à ceux de la réalité en ce qui concerne le périmètre de Pajay.

Pour illustrer la simulation de la distribution des ressources en eau d'irrigation, reprenons la session Biva1 au troisième jour du stage. Les phases d'études, d'évaluation des besoins et de prospection sont théoriquement terminées, les responsables du projet s'intéressent maintenant aux techniques d'irrigation, à la construction du réseau de distribution et aux coûts de son exploitation (pompage, maintenance,...).

Signalons, qu'à ce stade du projet et même ultérieurement, les ressources en eau peuvent être remises en question. Quelle qualité de distribution peut on garantir face à la sécheresse, à l'implantation d'autres captages, à des problèmes de colmatage ou de pollution dans les forages ?. C'est une question qui peut réapparaître à tout moment.

L'étude des ressources en eau s'est effectuée de manière globale, c'est—à—dire en intégrant une sollicitation simultanée de l'aquifère pour les trois périmètres d'irrigation. Les essais par pompage sur le terrain ont eu lieu en même temps et une modélisation régionale a montré que les zones d'influence de ces captages n'interfèrent pas entre elles. Les rabattements provoqués restent faibles et sans conséquence pour la gestion des nappes de la Bièvre et du Liers.

L'exécution effective des réseaux de distribution n'est réalisée que pour les périmètre de Pajay et de la Côte Saint—André. Chacun des réseaux est traité indépendamment, les décisions sont donc prises plusieurs fois et les aléas différents selon les cas.

Décision n° 19 : *CHOIX DE LA TECHNIQUE D'IRRIGATION*

Biva1 : *ec étape 601*

Mise : Si vous avez choisi une méthode d'irrigation de surface, votre ressource en eau n'est pas suffisante car la méthode présente un grand pourcentage de pertes. Que faites vous ?.
Consultez les informations contenues dans le fichier "TECHNIRRIG".

Biva1 avait déjà prévu un système d'irrigation par aspersion, à la suite de la phase d'évaluation des besoins. Des essais du réseau sous pression avant sa mise en service permettront de tester son étanchéïté et de limiter les fuites.

Les informations sont contenues dans le fichier TECHNIRRIG du répertoire R (données et informations relatives à la distribution d'eau d'irrigation) de la banque de données principale, elles confirmeront ce fait (tableau n°2—2). A moins que ce fichier n'ait dèjà été acquis, il est transféré chez l'utilisateur, pour y être imprimé et édité.

Biva1 : *ec copy R TECHNIRRIG*

tableau n°2-2

TECHNIRRIG

LES TECHNIQUES D'IRRIGATION

On peut classer les techniques en 3 grandes familles:

1- LES IRRIGATIONS DE SURFACE

Amenee d'eau par canaux, ruissellement sur la surface, et evacuation si necessaire.
Ces techniques demandent des terrains plats, des sols pouvant etre nivelles (donc, de forte epaisseur), des sols tres peu permeables (pour eviter les trop grandes pertes d'eau), ainsi que de grandes quantites d'eau.

2- LES IRRIGATIONS PAR ASPERSION

Amenee d'eau sous pression dans des canalisations, puis aspersion par des appareils tentant d'imiter au mieux la pluie.
Ces techniques s'imposent pour les terrains de faible epaisseur, trop permeables, a micro-relief accidente.
Elles sont a ecarter dans les regions ventees (vitesse du vent > 4 ou 5 m3/s), avec des eaux salines (brulure des plantes).
Elles permettent d'economiser environ 60% d'eau ; elles demandent moins de main d'oeuvre
La consommation reelle peut etre connue (compteurs); la formation des exploitants est plus rapide ; l'eau peut etre servie a la demande ; elles necessitent un investissement superieur de 20% .

3- LES IRRIGATIONS LOCALISEES

Amenee d'eau sous pression, puis repartition grace a des tuyaux perfores qui gouttent aux pieds des plantes.
Elles ne sont adaptees qu'aux cultures a faible densite de pieds (vergers, vignes) ou a haute productivite (cultures intensives), ou encore lorsque l'eau est trop salee.

Décision n° 20 : *PLAN DE BORNAGE*

Biva1 : *ec étape 602*

Mise : Un agriculteur supplémentaire est prêt à souscrire dans l'année à venir si vous prévoyez une borne proche de ses parcelles.
Renseignez vous pour connaitre la localisation de ces parcelles.

Etant données les surfaces mises en jeu , une révision du tracé du réseau sur le plan parcellaire s'impose.

Décision n° 21 : *TRACE DU RESEAU*

Biva1 : *ec étape 603*

Mise : Lors du tracé de votre réseau, prévoyez l'indemnité nécessaire au remboursement des récoltes pour les travaux effectués chez les agriculteurs non souscripteurs.

Le tracé du réseau peut parfois être complètement provisoire car il dépend des opérations de remembrement qui sur la commune de Faramans ne sont pas terminées.

Parmi les principaux produits commerciaux disponibles sur le marché, Biva1 a choisi des bornes d'irrigation à 2 prises de type Flonic—Schlumberger et des bornes à 4 prises de type Bayard, le débit de toutes ces bornes variant de 5 à 35 l/s.

Si l'un des fournisseurs avait obtenu la totalité du marché, il aurait sans doute consenti des prix avantageux. Ainsi l'hétérogénéité du matériel procure un certain confort de distribution mais les réductions sur les tarifs en vigueur sont compromises.

Au tracé du réseau succède le calcul des débits transitant dans les tronçons (utilisation du programme CLEMEN, étape n°604). Le diamètre de ces derniers est définitivement dimensionné en fonction des contraintes techniques (rugosité des matériaux, profil topographique, pertes de charge, traversées de routes) et économiques (coût des matériaux et coût énergétique). Pour cela une méthode approchée de la méthode discontinue de M.Labye est utilisée (étape n°605).

Avant de procéder à l'exécution des travaux, ce qui laisse le temps aux démarches administratives de s'accomplir (déclaration de commencement des travaux), il convient d'en calculer le coût.

tableau n°2-3

REPRES

******* REPARATIONS DU RESEAU *******

Societe specialisee STETA Terrestic

* changement de portions de canalisations pour des incidents locaux

* mise en place d une gaine interieure (100 a 2500mm de diametre sur une longueur qui peut atteindre 200m)

COUTS :
EN MOYENNE ET EN FONCTION DU MATERIAU
200 FRS / M + 50 FRS EN TOUT TERRAIN + 100 FRS SUR ROUTE
+ 200 FRS EN CAS D'ENCOMBREMENTS
+ 100 % ENVIRONNEMENT URBAIN

ENTRET

ENTRETIEN

POUR LA REGION, ON ESTIME QUE LA MAINTENANCE S'ELEVE A 1/1000EME DES INVESTISSEMENTS PAR AN.(REF D.D.A.)
ELLE SE DECOMPOSE EN:
- ENTRETIEN DES LIGNES A HAUTE TENSION
- ENTRETIEN DU RESEAU
- ENTRETIEN DU MATERIEL ELECTROMECANIQUE
- DEDOMMAGEMENT DU PRESIDENT
- PETITS FRAIS DU SYNDICAT (TIMBRES, ETC...)

L'INSTALLATEUR GARANTIT LE MATERIEL ELECTROMECANIQUE SUR UNE DUREE DE 1 AN. POUR LES ANNEES ULTERIEURES, IL ASSURE:
. LA MAINTENANCE, SAUF EN CAS DE GROSSES AVARIES.
. LA REMISE EN ROUTE AU DEBUT DE CHAQUE SAISON.

MAINT

FRAIS DE MAINTENANCE
(ENTRETIEN ET RENOUVELLEMENT)

RUBRIQUE	DUREE DE VIE	%RENOUV. ANNUEL	%ENTRET. ANNUEL	%MAINT. ANNUEL
GENIE CIVIL	50 ANS	0	1	1
BATIMENTS	50	0	2	2
CANAUX EN TERRE	50	0	5	5
CANALISATIONS	50	0	1	1
APPAREILLAGE				
GROS	50	0	2	2
PETIT	20	5	5	10
APPAREILLAGE ELECTRIQUE	10	10	5	15

Décision n°22 : *CALCUL DU COUT DES TRAVAUX— REALISATION*

Biva1 : *ec étape 606*

Mise : pour le réseau de Pajay:

Vos fournisseurs sont en retard pour le matériel que vous avez commandé. Ce retard est égal à X semaines avec X valeur affichée. Effectuer un nouveau tirage aléatoire (bornes 2—6).

pour le réseau de La Côte Saint—André:

Réajustement du prix des métaux, fonte et acier.
Augmentation de 10%.

Ces diverses informations devront être prises en compte pour calculer les coûts temporels et financiers de la construction du réseau. (programme "CINST").

La construction du réseau comporte aussi l'aménagement du puits et la construction de la station de pompage.

Décision n°23 : *AMENAGEMENT DU PUITS*

Biva1 : *ec étape 607*

Mise : Si vous avez sous—traité la mise en place des tubages du forage, la granulométrie du terrain n'a pas été prise en compte. Le dimensionnement des crépines est mauvais, et par conséquent les fines pénètrent dans le forage.
Vous devez effectuer un nettoyage du forage à l'air comprimé ou extraire mécaniquement ce sable.

Extraction : +2 kf(10^3francs)/forage
Air comprimé : +4 kf/forage

Les alluvions qui se situent au droit du captage contiennent effectivement des éléments sableux.

Pour limiter les dépenses en énergie électrique, l'exhaure se fera essentiellement durant la nuit. L'alimentation du réseau de Pajay, s'effectue à partir d'une bâche de reprise de 500m3 environ; le réseau de La Côte Saint—André, est séparé en deux sous—réseaux pour chacun desquels seront construits un réservoir.

Décision n°24 : *coût ENERGETIQUE*

Biva1 : *ec étape 702*

Mise : EDF pratique un tarif préférentiel : le tarif vert.
Le prix du kwh est réduit de 25% entre le 1er avril et le 30 septembre.

Le calcul des dépenses en énergie électrique constitue ici, un bon entraînement pour celui du prix l'eau. On distingue une partie fixe (abonnements EDF, souscriptions de puissance) et une partie variable correspondant aux kwh consommés.

Décision n°25 : *L'AMORTISSEMENT*

Biva1 : *ec étape 703*
Mise : Pour calculer votre amortissement, deux solutions selon la taille de votre
entreprise.
—un calcul d' amortissement linéaire
—utilisation des tables donnant les annuités d'amortissement.

L'amortissement des installations de distribution (pompes, station de pompage, canalisations,...), sera calculé linéairement en fonction du temps au bout duquel ce matériel devra être renouvelé.

Tous les éléments nécessaires au calcul du prix de l'eau sont acquis, les résultats exposés au chapitre 7 indiqueront le mode de tarification adopté par Biva1.

Décision n° 27 : *LE PRIX DE L'EAU REEL*

Biva1 : *ec étape 704*

Mise : Panne d'électricité:

Un arrêt brutal des groupes alimentant les conduites, ou la fermeture rapide d'une vanne se sont produits sur votre réseau.

Si vous n'avez pas placé de dispositif antibélier, effectuez un nouveau tirage :

```
bornes : min 01,  max 11
de 01 à 05: destruction des joints
de 06 à 08: déboîtement des conduites
de 09 à 10: 40% de perte d'eau
11        : destruction d'une pompe
```

Consultez la documentation et les fichiers REPRES, ENTRET, MAINT, (répertoire E)...pour les coûts de réparation (tableau n°2—3).

Biva1 : *Dispositif anti—bélier existant sur le réseau, cet incident ne nous concerne pas.*

Effectivement l'équipement du réseau comporte l'installation d'un réservoir du type Hydrofort ou Hydrochoc à l'aval de la bâche de reprise, ce qui permet l'absorption des coups de béliers. L'investissement dans les dispositifs de protection et l'équipement du réseau (vannes, ventouses, tampons de regard,..), est indispensable.

4.4.Eléments de réflexion au sujet de la simulation de projets.

Cet exemple de session Biva1 avait pour but de montrer comment un système de simulation peut éclairer les choix stratégiques puis techniques auxquels les utilisateurs du Mise sont confrontés face à des problèmes complexes et mal formulés à une évolution parfois incertaine des projets d'irrigation.

Dans le cadre de cette expérience de simulation, les utilisateurs du MISE, ont la possibilité de parcourir un panorama critique des principales techniques disponibles, avec leurs faiblesses, leurs performances et leur coût de mise en oeuvre.

Que les procédures dialoguées utilisées soient relativement astreignantes, cela est fort possible, mais la présentation de l'information sur l'écran ne fait pas l'objet de messages ésotériques et ne requiert en aucun cas une formation en informatique. Le déclenchement successif des décisions régule le rythme de la simulation. S'il s'estompe par moments, c'est généralement au profit d'un développement plus rigoureux de certaines phases du projet en question.

Le système Mise n'a pas pour vocation la communication interactive homme—machine, mais il active les processus de décision dans un but essentiellement pédagogique, pour provoquer le dialogue entre les différents acteurs d'un projet, parmi lesquels peut d'ailleurs se "glisser" l'enseignant.

Les chapitres suivants de cette partie seront consacrés à la présentation des résultats des groupes Biva1 et Biva2 .

CHAPITRE 5: ANALYSE DES RESULTATS

Le tableau n°2—4 montre les différences existantes dans la stratégie de résolution du problème posé, pour chacun des groupes chargé de la réalisation du projet d'irrigation. Ces différences concernent les phases les plus importantes du projet, mais aussi les diverses décisions qui permettent leur réalisation.

La correspondance entre les stratégies adoptées montre que leur nature est sensiblement identique d'un projet à l'autre, mais que la chronologie ou l'enchaînement des diverses décisions tactiques qui les composent est différent.

Pour Biva1, les grandes étapes du projet s'appliquent suivant une chronologie qui ne semble à aucun moment remettre la stratégie initiale en question. Les études s'effectuent en bloc au début pour les trois sites à équiper, la prospection des ressources s'appuie totalement sur les conseils de l'expert. Les réseaux construits en priorité sont ceux de Pajay et de La Côte Saint—André, leur configuration n'ayant été envisagée qu'après l'obtention des ressources en eau.

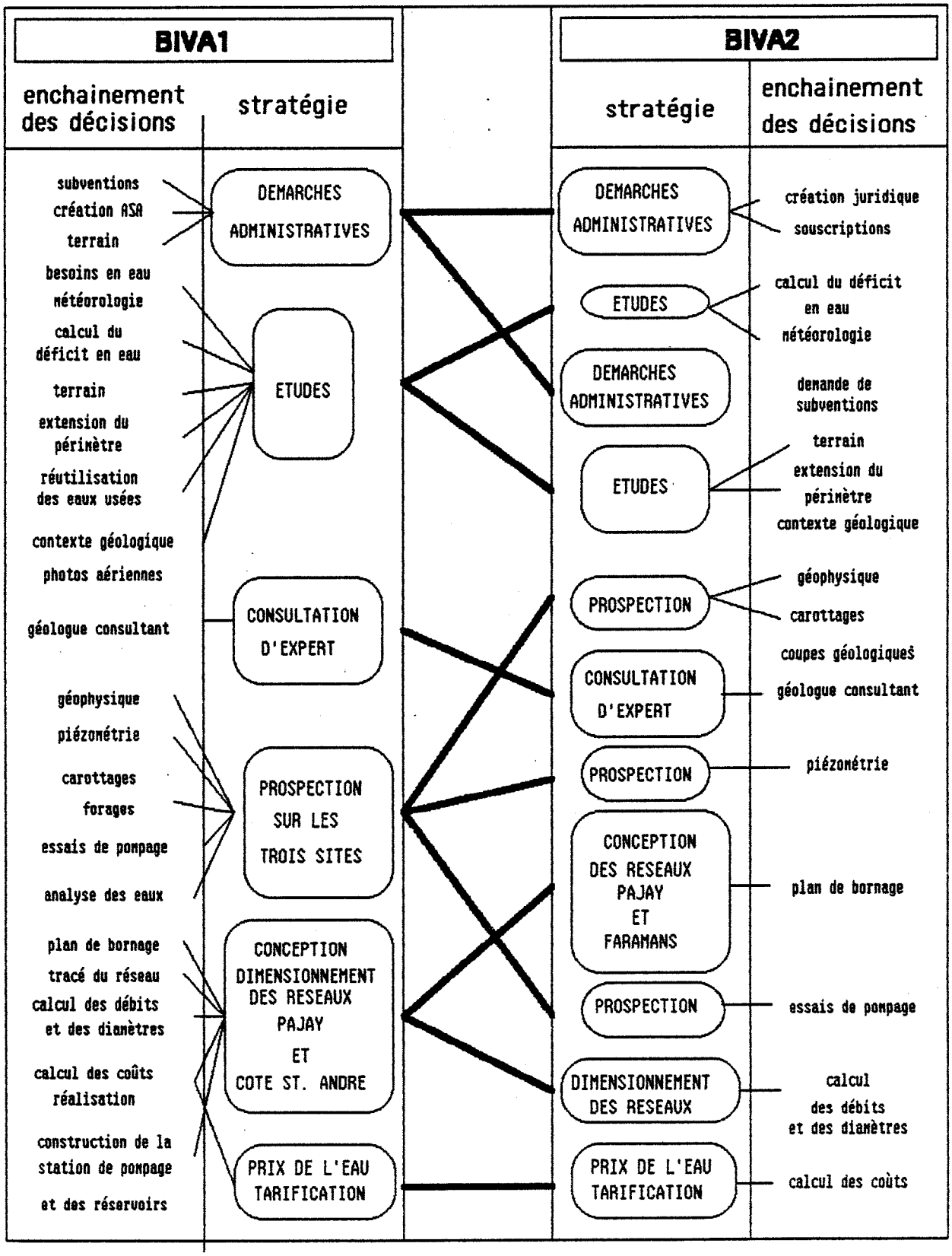
Pour le groupe Biva2, la stratégie adoptée est plus séquentielle et répétitive, études et prospection sont réparties au cours du projet. L'implantation des captages, en particulier, se décide définitivement après une étude préliminaire du tracé des réseaux de Pajay et de Faramans. La démarche de ce groupe de travail semble plus prudente (demande de subventions après une étude d'opportunité, consultation de l'expert pour confirmer les premières hypothèses de ressources...) et peut être plus hésitante mais plus critique par rapport à la stratégie prévue.

Certaines solutions techniques ont été abordées par une équipe et non par l'autre : La réutilisation des eaux usées, péconisée par Biva1, s'est avérée infructueuse, l'utilisation des photographies aériennes a permis de préciser les informations disponibles sur les cartes topographiques. Enfin, l'analyse des prélèvements d'eau effectués aux captages n' a pas permis de conclure quant à la vitesse de circulation des eaux souterraines, étant données les fortes valeurs de perméabilité des alluvions prospectées (secteur de La Côte Saint—André).

La suite de l'interprétation des résultats de chaque équipe (tableaux n°2—5 et 2—6) permettra de savoir si la comparaison des stratégies exposées est utile. Les différences de stratégies sont—elles dues au savoir—faire des responsables, ou bien aux aléas survenus en cours de réalisation (délais et contraintes techniques) ?

tableau n°2—4

COMPARAISON DES STRATEGIES ADOPTEES PAR BIVA1 ET BIVA2



Dans tous les cas, il est intéressant d'examiner si ces dernières ont des répercussions significatives sur les résultats obtenus c'est à dire une incidence sur les coûts du projet et sur le prix de l'eau.

5.1.Evaluation des besoins en eau.

Les cultures implantées sur les parcelles qu'il est prévu d'irriguer sont :

- le tabac 11%
- le maïs 50à 60%
- le blé, l'orge, les légumes et les cultures en serres.

Il est important de souligner que la culture du tabac rentabilise les investissements d'irrigation. Elle rapporte 3000 francs par tonne et la production est en moyenne de 4,5 tonnes par hectare irrigué. L'organisme SEITA est très intéressé par cette culture dont la production est minutieusement et régulièrement contrôlée. Les pieds de tabac sont contingentés et placés sous serres l'hiver; cette culture demande beaucoup de travail aux agriculteurs.

Sur le périmètre de Pajay, la culture du tabac est déjà pratiquée, mais sur ceux de Faramans et de La Côte Saint—André, les besoins potentiels en eau d'irrigation ne sont pas encore attribués définitivement à ce genre de culture. Les débits de base pour l'irrigation sont de l'ordre de 300 m3/h pour 60 hectares ce qui représente un apport de 1,4 l/s/ha. Cette valeur est trop élevée et les besoins en eau d'irrigation sont habituellement estimés dans la région, à 50mm (c'est à dire 500 m^3/ha), avec un renouvellement tous les 10 jours.

L'ensemble des parcelles étudiées présente parfois des terres un peu lourdes. Par conséquent, la densité d'aspersion ne devra pas excéder 4 à 5mm/heure. Si l'on considère que la durée d'arrosage en période de pointe peut être de 18 heures par jour soit 180 heures en dix jours, on obtient le débit continu par hectare de 0,8l/s/ha. Cette valeur qui est largement compatible avec la densité d'aspersion ainsi imposée, permet de couvrir l'évapotranspiration réelle la plus forte (évaluée dans la région à 88mm, en juin 1976).

L'ordre de grandeur des débits recherchés sera :

—Pour Pajay:	140ha.....110 l/s
—Pour Faramans:	100ha..... 80 l/s
—Pour La Côte Saint—André:	160ha.....130 l/s

Cette première estimation des débits devra bien entendu, être étudiée en détail au cours de la conception du réseau d'irrigation et du plan de bornage. Les débits a apporter sont aussi fonction de la qualité de distribution souhaitée par les irriguants. En l'occurrence, c'est un système de distribution à la demande qui a été adopté pour réaliser ces périmètres d'irrigation, la solution du tour d'eau moins gourmande en eau, mais moins pratique, a été écartée.

tableau n°2—5

RESULTATS DES GROUPES UTILISATEURS DU MISE MAI-84

(prix en kilo-francs 84, hors taxes)

CRITERES RESULTATS	PROJET BIVA1	PROJET BIVA2	PROJET REEL PAJAY
TYPE DE STRUCTURE JURIDIQUE	Association Syndicale Autorisée	Association Syndicale Autorisée	Association Syndicale Autorisée
coût financier total du projet	prospection / distribution — total	prospection / distribution — total	12 exploitants
Pajay	572,5 / 2466 — 3038,5	332,5 / 3090 — 3422,5	prospection : 600
Faramans	992 — 992	221 / 2393 — 2614	
La Côte St. André	727 / 2968 — 3695	353 — 353	distribution : 2900
	2291,5 / 5434 — 7725,5	906,5 / 5483 — 6389,5	total : 3500
plan de financement			
subventions	60 à 65%	60 à 65%	60%.....2100 KF
emprunts (kf)	3 fois 1200	3 fois 1200	1400
taux	11%	10%	10,5%
amortissement	long terme	20 ans	20 ans
annuité (kf)	140	141	160
coût temporel total approximatif	163 semaines. soit 2 ans 3/4 environ	114 semaines soit 2 ans environ	2 ans
	surface équipée	surface équipée	irriguée / équipée
Pajay	130ha	130ha	100 / 140
Faramans		100ha	
La Côte St. André	160ha	150ha	

tableau n°2—6

RESULTATS DES GROUPES UTILISATEURS DU MISE MAI-84

CRITERES / RESULTATS	PROJET BIVA1			PROJET BIVA2			PROJET REEL	
sites distribués	Pajay, La Côte St.André			Pajay, Faramans			PAJAY	
Ressources en eau	ligne	col.	débit l/s	ligne	col.	débit l/s		
Pajay	28,2	16,2	90	25,7	18	55	2 forages	
	29,5	17	75	28,7	16,8	70		
				31,8	18,1	85	n°1: 28,8/16,8 à 41,6 l/s	
total :			165			125		
Faramans	27,5	21,4	60	27,4	21,3	75	n°2: 28,6/16,6 à 69,4 l/s	
La Côte St.André	36,9	18,1	90	37,1	19,7	60		
	38,2	20,2	90	39	18	60		
. total :			180			120		111
Base des besoins en eau	0,6 l/s/ha						0,65l/s/ha	
investissement à l'hectare								
Pajay	23,3			26,3			25-25,5	
Faramans				26,1				
La Côte St.André	23							
% distribution								
Pajay	81%			90%			83%	
Faramans				91,5%				
La Côte St.André	80%							
prix de vente de l'eau (Pajay) la première année Cts: centimes	frais fixes	2150f/an/ha		frais fixes	1100f/an/ha		frais fixes	1700f/an/ha
	variables	26 cts/m3		variables	31 cts/m3		variables	20-25cts/m3

5.2.Détail des opérations de prospection.

5.2.1.Sondages—carottages.

Au total, 10 carottages de reconnaissance ont été effectués par Biva2.

Puits	Noeud prospecté ligne	colonne	profondeur forée mètres
Pajay			
P 201	25,7	18	51
P 202	29	17	54
	30	18	69
	31	19	70
	31	20	50
P 203	31,8	18,1	66
Faramans			
	26	19	70
	27	20	55
P 206	27	21	72
	28	22	75
La Côte Saint-André			
P 205	37	20	45
P 204	39	18	54

Six de ces sondages de reconnaissance (P201 à 206) ont été transformés en forage d'exploitation, deux d'entre eux seront exploités ultérieurement.

Biva1 a effectué également plusieurs carottages de contrôle sur les trois zones étudiées. Le nombre de forages exécutés est à peu près équivalent : 3 pour Pajay, 5 pour Faramans et 2 pour La Côte Saint—André.

5.2.2.Sondages géophysiques.

Les études de prospection ne comportent que peu d'exécution de nouveaux sondages électriques. Le groupe Biva2 a pu consulter les données géophysiques existantes sans problème, puisque l'hydrogéologue responsable de la prospection a profité de ses relations professionnelles pour acquérir certains documents, alors qu'un incident de dernière minute lui en interdisait l'accès.

5.3.Détermination des ressources en eau .

5.3.1.Autres pompages prévus dans la région.

L'exploitation des eaux souterraines est donc la solution retenue par les deux groupes Biva1 et Biva2. Comme nous l'avons montré au cours de la présentation du contexte hydrogéologique, c'est effectivement vers cette solution que sont guidés les utilisateurs du MISE, tout en ayant la possibilité de choisir une autre solution.

Cette solution doit tenir compte des autres projets d'exploitation de l'eau de la nappe en cours (eau potable et irrigation). Que les utilisateurs prennent ou non en compte ces informations disponibles, les résultats quantitatifs de la prospection simulée par le modèle hydrodynamique intégrent ces prélèvements d'eau prévus par le SRAE.

Pompages prévus par le SRAE:

nom	coordonnées ligne	colonne	débit en l/s
Coinaud	05	10	111
Rosay	04	12	111
F1	11	16	056
F2	07	15	056
Bel air	10	16	028
Herpieux	05	13	074
B	20	17	110
C	26	20	056
A	39	19	150
D	29	17	130

Seuls les pompages A, B, C et D interviennent pour le secteur étudié. A partir du modèle calé en régime permanent à l'étiage, ces pompages ont fait l'objet d'un travail préalable de simulation hydrodynamique.

5.3.2.Moyens disponibles

Deux types de moyens peuvent être mis en oeuvre pour déterminer les débits d'exploitation possibles de la nappe. Ce sont les essais par pompage sur le terrain (étape 504) et la modélisation (étape 506). Dans les deux cas, c'est le modèle qui donnera la réponse, dans le premier cas, elle concernera le lieu exact du pompage tout comme dans la réalité. Dans le second, les résultats (hauteurs piézométriques) concerneront tous les noeuds de la zone modélisée.

Il va sans dire que les coûts de ces deux opérations qui devraient être complémentaires sont très différents.

Dans un premier temps, les deux projets s'en tiennent aux classiques essais par pompage, la foration des piézomètres est échelonnée afin d'éviter de déplacer plusieurs machines. Les essais de débits seront également sous—traités à une seule entreprise, la distance entre les forages permettant, pour chacun des deux projets, d'effectuer ces essais indépendamment les uns des autres.

5.3.3. Résultats des simulations d'essais par pompage.

Les essais par pompage ont été réalisés pour des périodes de temps de 24h supérieures en principe à la durée de pompage pour l'irrigation. La marge de sécurité imposée pour l'exploitation de la ressource en eau était fixée aux 2/3 de la hauteur mouillée (HM), pour les rabattements obtenus. Si la valeur piézométrique calculée (Hc) sur un noeud après pompage est inférieure ou égale à la côte du substratum (Z) sur ce même noeud, il y a dénoyage de la maille concernée par ce pompage et à défaut d'en réduire très sensiblement le débit, le prospecteur est obligé d'aller forer ailleurs.

Les valeurs de rabattements sont calculées pour des mailles de 100 mètres de côté, mais la comparaison de ces résultats avec ceux de la réalité montre que cette approximation, rançon de la simulation, reste acceptable.

5.3.4.Comparaison avec les essais par pompage réels.

Ecarts simulation—réalité.

Les seuls essais par pompage disponibles à l'heure actuelle sont ceux effectués pour l'équipement du périmètre de Pajay. Dans la réalité, deux forages espacés de 240 mètres ont été exécutés au lieu—dit de la Combe Martin, thalweg au fond duquel subsiste la trace d'un ancien ruisseau maintenant asséché.

L'étude géophysique et les forages réels ont mis en évidence pour la zone de Pajay, un chenal fluviatile profond dont l'axe correspond à celui de La Combe Martin et dans lequel se sont déposées des alluvions wurmiennes. La puissance de l'aquifère y est de 35 mètres environ. Entre —40 et—66 mètres les caractéristiques de l'aquifère constitué d' alluvions grossières cristallines propres, devraient être excellentes.

Dans la réalité, un premier forage (forage n°1) a été exécuté directement en forage d'exploitation. Les essais par pompage effectués dans ce premier forage à paliers de débits et pendant 52heures, ont provoqué des rabattements importants (13,3m pour un débit maximum de 220m^3/h). Un seul forage s'est donc avéré inssuffisant pour pourvoir aux besoins en eau d'irrigation (370 m^3/h).

Localisation sur le maillage du modèle des forages réels de Pajay:

Forage n°1 — ligne: 28,8.....colonne: 16,8

Forage n°2 — ligne: 28,6.....colonne 16,6

tableau n°2—7 : Essais à paliers de débits (cas réel PAJAY):

Forage N°1

N° essai	Débit Q m3/h	rabattement s mètres	Durée t heures
1	160	8	1
	140	7	2
	155	7,58	6
	170	8,3	6
	180	8,8	7
	185	9,2	11
	190	10,9	1
	200	11,7	16
	220	13,25	9

Forage N°2

N° essai	Débit Q	s	t
1	160	1,1	4
	200	1,1	3
2	200	1,51	5,30
	250	3,84	11
	270	4,08	7,30
3	290	4,21	0,30
	300	5,57	25,30

Le rabattement maximum relevé au cours des essais par pompage dans le forage n°2, est de 5,6m à un débit de 300m^3/h pendant 26heures, la remontée jusqu'au niveau piézométrique initial s'est effectuée en 2 heures.

L'ouvrage principal de production d'eau est donc constitué de deux forages de 67 mètres de profondeur, en tubes crépinés de diamètre 450mm sur la hauteur de l'aquifère.

Les valeurs des rabattements obtenues en réalité (tableau n°2—7) sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par simulation hydrodynamique sur les noeuds du modèle les plus proches des forages réels (tableau suivant).

La valeur du rabattement observé dans le forage n°2 à 300 m3/h est inférieure à celle de celui simulé au noeud 28,6/16,6 (11m) et celle relevée dans le forage n°1 à 220m3/h est supérieure à la valeur obtenue au noeud 28,8/16,8 (13,3m contre 8,3m).

nom du forage	localisation coordonnées		piézométrie initiale (mètres)	débit de pompage		piézométrie calculée (mètres)	rabattement (mètres)	cote du substratum (mètres)
	ligne	col.		l/s	m^3/h			
F1	28,8	16,8	293,5	61	220	285,2	8,3	256,5
F2	28,6	16,6	290,7	83	300	279,6	11	253

*<u>*Détermination des perméabilités,*</u>
<u>*Utilisation des programmes d'interprétation des essais par pompage.*</u>

L'interprétation des essais réels ne nous est pas connue, par contre, les responsables des projets simulés ont la possibilité d'interpréter eux—mêmes les résultats des essais exécutés dans la région en utilisant pour cela un programme d'interprétation semi—automatique. L'utilisation de ce programme (Graillot, 1983) permet dans le cadre de la simulation, de traiter rapidement un grand nombre de données.

L'interprétation des résultats des essais par pompage réels effectués sur le forage n°2, par la méthodes de Theis—Jacob appliquées aux nappes libres (dans la mesure où la valeur du rabattement maximum est inférieur au dixième de l'épaisseur de l'aquifère: 35m), donne les résultats suivants :

Transmissivité $T = 9,8\ 10^{-3}$ m2/s
Perméabilité $P = 2,6\ 10^{-4}$ m/s

La modélisation donne des valeurs de perméabilité pour les noeuds les plus proches du forage de:

noeud : 28,8/16,8.....$P = 1,9\ 10^{-4}$ m/s
noeud : 28,6/16,6.....$P = 1,6\ 10^{-4}$ m/s

Ces valeurs sont donc bien du même ordre de grandeur que celles obtenues à partir des données réelles, la perméabilité des alluvions traversées n'est pas excellente si on les compare aux valeurs régionales qui sont de 10^{-2} m/s pour les alluvions grossières non colmatées.

Dans la réalité, les essais par pompage n'ont pas été interprétés par les décideurs. Le palier de rabattement obtenu pour les débits de pompage les plus élevés a été retenu comme un critère suffisant, pour juger de la fiabilité de la ressource. En effet, l'interprétation des courbes est peut—être illusoire pour un responsable de projet guidé par un

tableau n°2–8

RESULTATS DES ESSAIS PAR POMPAGE (Biva1)

zone	N° essai	débit m3/h	coordonnées modèle régional exactes lig	régional exactes col	régional centrage lig	régional centrage col	LOCAL lig	LOCAL col	Hi "local" m	Hc m	s HO-Hc m
PAJAy	1	400	28,2	16,2	28	16	14	14	283,2	280,7	2,5
		250	29,5	17	29	17	17	12	298,8	289,9	8,8
	2	400	28,2	16,2						279,4	3,7
		300	29,5	17						287,8	10,9
	(3)	300	28,2	16,2						280,9	2,2
		250	29,5	17						294,9	3,8
COTE St. ANDRE	1	250	38,2	20,2	38	20	14	14	338,8	335,7	3,1
	(2)	300	38,2	20,2						335,1	3,7
	1	250	36,9	18,1	37	18	11	13	330,5	328,4	2,1
	(2)	300	36,9	18,1						328,1	2,4
FARAMANS	(1)	200	27,5	21,4	27	21	17	16	309,4	303,8	6
	2	300	27,4	21,3			16	15		303,8	6
	3	400								302,8	7

tableau n°2—9

RESULTATS DES ESSAIS PAR POMPAGE (Biva2)

zone	N° essai	débit m3/h	coordonnées modèle exactes lig	coordonnées modèle exactes col	coordonnées régional noeud lig	coordonnées régional noeud col	coordonnées LOCAL lig	coordonnées LOCAL col	Hi "local" m	Hc m	s HO-Hc m
P	1	200	25,7	18	26	18	12	09	284,8	278,8 >Z local=256	6
A	2	100	28,7	16,8	29	17	09	10	292		
J	3	165	28,7	16,8						287,6 >Zlocal=268	4,4
A	4	250	28,7	16,8						279,7	12,3
Y	5	130	31,8	18,1	32	18	10	13	312,5	312,1 > Zlocal=262	0,4
	6	200	31,8	18,1						312	0,5
	7	300	31,8	18,1						311,8	0,7
C	1	100	39	18			12	12	343,5	342,6 > Zlocal=307	0,9
O	2	130								342,5	1
T E St.	3	220								342,3	1,2
A	4	100	37,1	19,7	37	20	13	09	334,3	333,3	1
N D	5	130								> Zlocal=303 333,1	1,2
R E	6	220								331,9	2,4
F	1	65	27,4	21,3						305,3 > Zlocal=280	4,1
A R	2	130			27	21	16	15	309,4	303,8	5,6
A M A N S	3	220								303,8	5,6

savoir—faire issu d'une longue expérience des pompages d'eau souterraine dans la région. En revanche, l'interprétation des courbes s=f(Logt), peut être utile au néophyte pour déterminer les caractéristiques de l'aquifère.

Débits d'exploitation retenus :

Les essais de pompage effectués permettent de retenir un débit "optimal" d'exploitation des puits. L'examen des courbes s=f(Q) permet de déduire les débits maximum d'exploitation au delà desquels le rabattement augmente trop (figure n°2—10).

5.3.5. Interprétation des résultats de la simulation, Stratégie d'implantation des puits.

En général, ces résultats ne sont pas encore assez nombreux pour permettre une interprétation rigoureuse.

Les courbes s = f(Q) montrent que pour les puits de Pajay, les débits d'exploitation réels ne devraient pas dépasser 200 m3/h pour le forage n°1 (28,8/16,8) et 300 m3/h pour le forage n°2 (28,6/16,6). En réalité, le fonctionnement moyen de l'exhaure n'a pas dépassé pour la saison d'irrigation de l'été 84, 200 à 250 m3/h.

Pour Biva1, les débits d'exploitation retenus sur les forages de Pajay en 28,2/16,2 et en 29,5/17 sont respectivement de 290 m3/h et de 250 m3/h, ceux de Biva2 aux noeuds 28,7/16,8 et 31,8/18,1 sont respectivement de 250m3/h et de 300 m3/h. Les débits d'exploitation des puits sont donc à peu près les mêmes qu'en réalité.

Il est toutefois très intéressant de signaler que le projet Biva2 conseille l'utilisation d'un ouvrage de production d'eau à l'Est de la combe Martin car les valeurs de rabattement obtenues après essais par pompages y sont des plus faibles (0,4 à 0,7 mètres). Si la connexion de cet ouvrage au réseau d'irrigation nécessite l'installation d'une canalisation de refoulement longue de près de 2 km et "risque" ainsi d'augmenter les coûts de distribution, cela permettra d'établir à long terme un "service en route" pour l'irrigation des parcelles à l'Est de Pajay.

A la Côte Saint—André, les forages simulés situés le plus au Nord donnent les rabattements les plus importants; ce qui parait normal puisque la cote du substratum de l'aquifère y est plus élevée. C'est cependant sur le secteur de La Côte Saint—André que les rabattements obtenus sont les plus faibles par rapport à ceux simulés et obtenus sur Pajay et Faramans.

La simulation des pompages dans la nappe sur le périmètre de Faramans semble indiquer des valeurs de rabattements comprises entre 4 et 5 mètres pour des débits inférieurs à 50 m3/h, pouvant atteindre 7 mètres pour des débits de 250 à 400 m3/h.

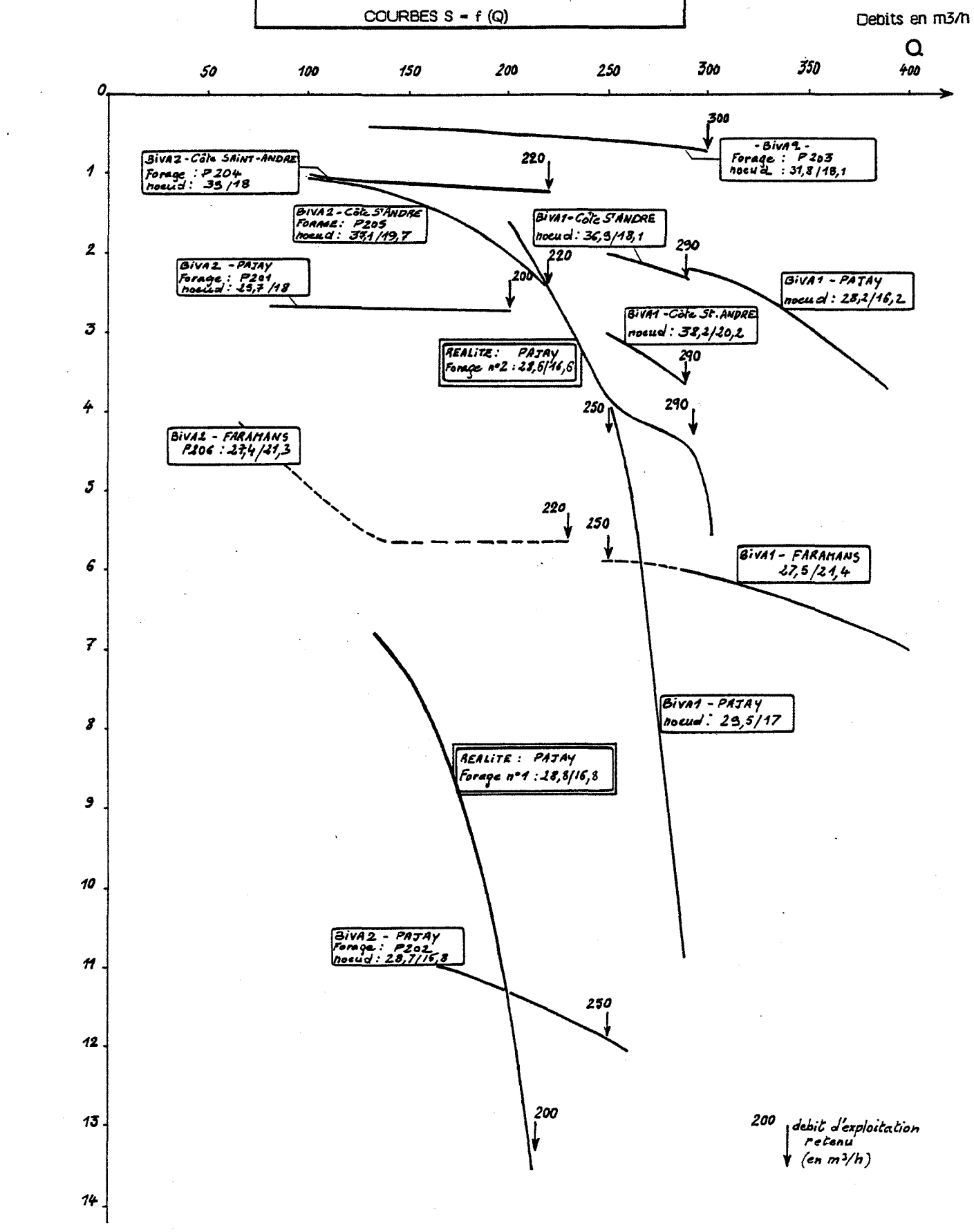
figure n°2—10

RECHERCHE DES DEBITS D'EXPLOITATION DES FORAGES

RESULTATS ISSUS DES SIMULATIONS

RESULTATS ISSUS DES ESSAIS PAR POMPAGE REELS

COURBES S = f (Q)



Modèlisation du système aquifère à l'échelle régionale.

A l'échelle de la plaine de Bièvre Valloire, les scénarios de pompages mis en jeu par les projets Biva1 et Biva2 ne remettent pas en cause les ressources aquifères (figures n°2—11 et 2—12). La modèlisation hydrodynamique intégrant les trois zones de prélèvement nécessaires à l'irrigation montre que les débits actuels et ceux qu'il est prévu de prélever à l'aval de cette zone, à des fins agricoles ou pour l'eau potable, ne seront pas remis en question.

Cette modélisation confirme les simulations précédemment effectuées et concernant les prélèvements d'eau dans la nappe prévus par le SRAE, notamment pour le pompage D situé en 27/17.

C'est en effet à l'Ouest du secteur de Pajay, que les irrégularités topographiques du substratum risquent de limiter les pompages dans la nappe. Le modèle y indique un "dénoyage" de certaines mailles, mais la représentativité de ce site peut être remise en cause car il est implanté sur des seuils de substratum dont la largeur est nécessairement erronée, par suite de contraintes géométriques induites par la dimension des mailles.

Au Nord de Pajay, au niveau du Bois d'Autimont, les valeurs de perméabilité sont très faibles (10^{-5} m/s) et semblent écarter toute possibilité de pompage.

5.4.Conception et Calcul des réseaux d'irrigation.

Après avoir déterminé le plan de bornage des périmètres à irriguer et les points productifs de l'aquifère, comment réaliser le réseau de distribution, connexion indispensable entre les puits et les bornes d'irrigation ?

Le groupe Biva1 a adopté une stratégie qui consistait à concevoir le réseau en fonction de la position des forages, alors que la stratégie du projet Biva2 se rapproche davantage de celle adoptée par les experts dans la région.

En réalité et dans la région, c'est effevtivement le plan de bornage qui détermine une première configuration du réseau économiquement réalisable. Les points de forage sont ensuite choisis en fonction de leur productivité mais aussi en fonction de leur proximité par rapport au réseau.

Biva1 et Biva2 ont réalisé 2 puits pour les périmètres de Pajay et de La Côte Saint—André et un seul pour celui de Faramans. La sécurité d'approvisionnement sur ce dernier périmètre n'est donc pas respectée en cas de mauvais fonctionnement de l'unique forage implanté (ensablement, panne de la pompe immergée,...).

figure n°2—11

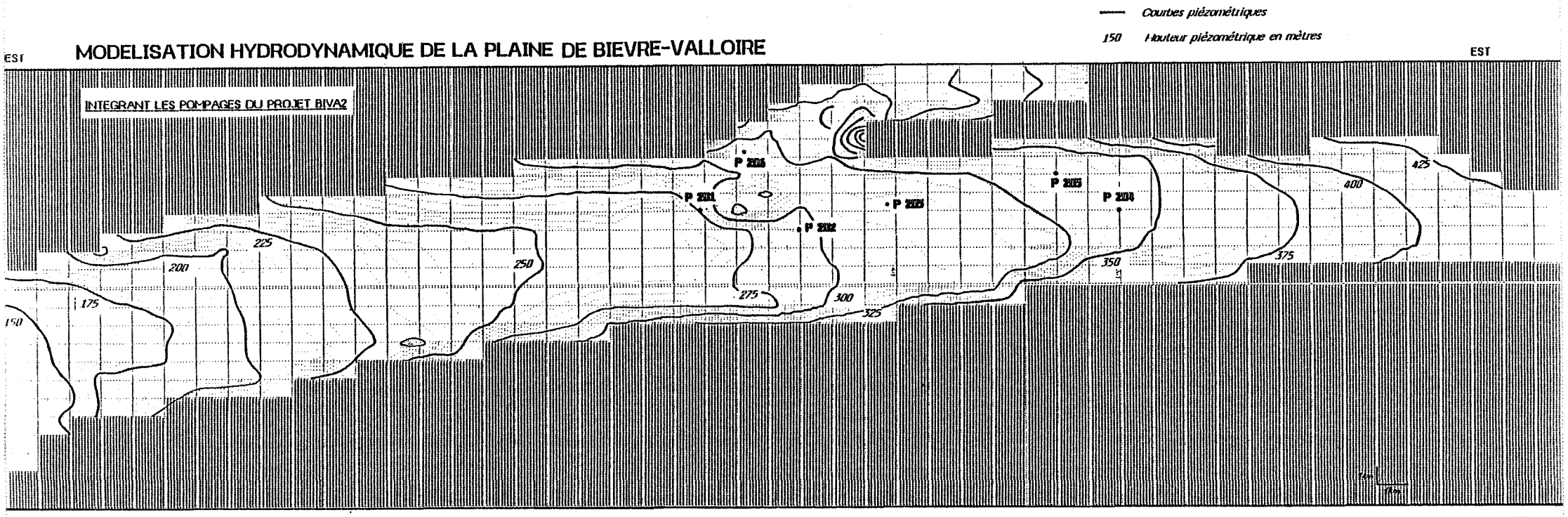
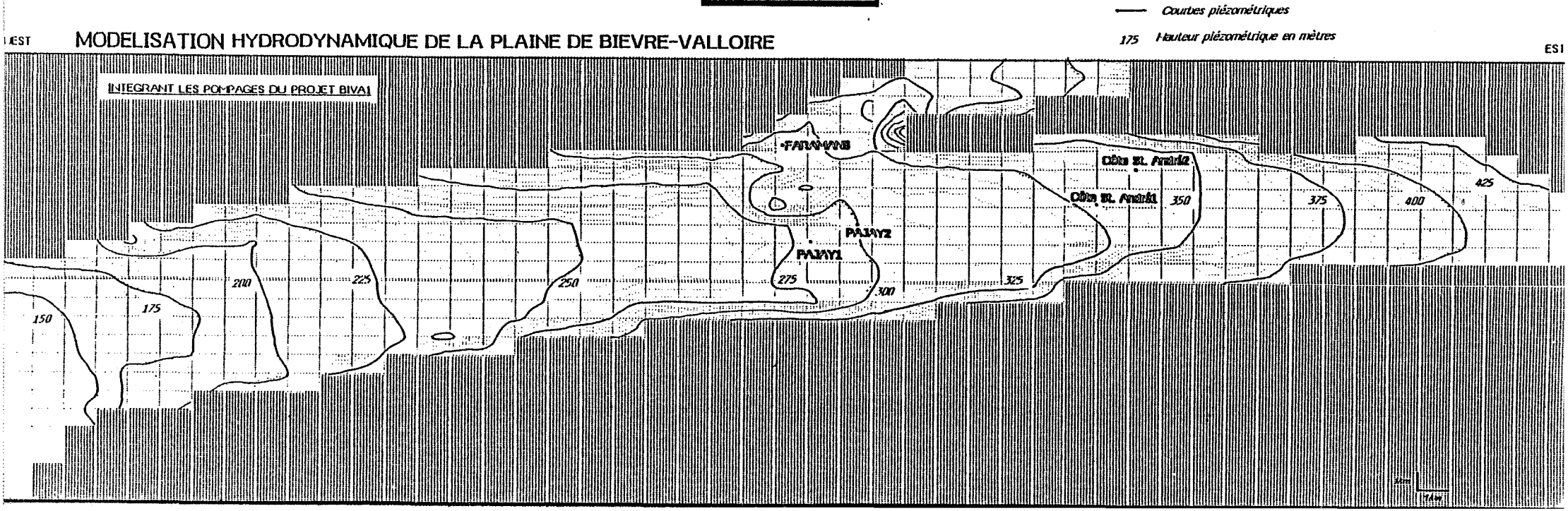

Courbes piézométriques
150 Hauteur piézométrique en mètres
EST
MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DE LA PLAINE DE BIEVRE-VALLOIRE
EST
INTEGRANT LES POMPAGES DU PROJET BIVA2
P 2006
P 2001
P 2005
P 2002
P 2003
P 2004
150
175
200
225
250
275
300
325
350
375
400
425
1km

figure n°2—12


Courbes piézométriques
175 Hauteur piézométrique en mètres
EST
MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DE LA PLAINE DE BIEVRE-VALLOIRE
ESI
INTEGRANT LES POMPAGES DU PROJET BIVA1
FARAVAN
Côte St. André
Côte St. André
PA1AY2
PA1AY1
150
175
200
225
250
275
300
325
350
375
400
425

Les objectifs guidant la conception des réseaux de distribution sont les suivants :

—satisfaire chaque souscripteur,
—prévoir une extension des réseaux aux parcelles voisines,
—garantir une qualité de fonctionnement satisfaisante (pression et horaires d'utilisation),
—limiter l'utilisation du matériel mobile d'irrigation.

Des objectifs et des contraintes particulières distinguent les différents périmètres. Pour celui de La Côte Saint—André, aucun adhérent supplémentaire n'est admis, la pression obtenue aux bornes d'irrigation doit permettre le fonctionnement simultané de 8 enrouleurs.

En général, le système de distribution comporte un dispositif de refoulement direct depuis les forages jusqu'à un réservoir situé juste à l'amont de la station de pompage où des groupes de reprise à débit variable injectent l'eau dans les canalisations.

5.4.1.Echelonnement de réalisation.

La plupart des projets simulés ne fait pas l'objet d'un scénario précis de l'évolution dans le temps de la consommation en eau d'irrigation, faisant intervenir par exemple un taux de croissance des volumes d'eau à fournir. Ce taux aurait pu être appliqué aux zones de développement agricole prévues par le plan d'occupation des sols ou par les plans agricoles (développement des cultures, évolution de leurs cours). Malheureusement, les données nécessaires pour traiter ce problème, plus souvent envisagé pour de grands périmètres d'irrigation, sont trop peu nombreuses. Bien que le projeteur n'ait donc pas à l'heure actuelle, les moyens de traiter cet aspect du projet dans le cadre de la simulation, un certain nombre d'informations le conduisent à critiquer le caractère "figé" du scénario de consommation qu'il s'est imposé .

Le décalage grandissant entre les prix agricoles et les prix industriels doit inciter le projeteur à construire les réseaux d'irrigation selon leur configuration finale. Il n'aura pas à subir la hausse des prix des matériaux; par contre, le prix de revient et de vente de l'eau seront difficiles à supporter à la mise en service.

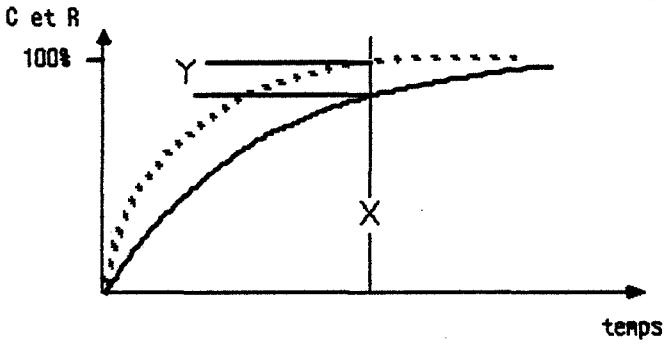
Le problème est de prévoir un échelonnement de la réalisation des réseaux d'irrigation qui soit cohérent avec celui de l'échelonnement réel de la croissance de la consommation. La surcapacité des réseaux risque d'entraîner des coûts d'exploitation trop élevés les premières années. L'augmentation des volumes d'eau distribués n'est pas forcément linéaire mais varie en fonction du développement des cultures irriguées (tabac, arbres fruitiers). Ces cultures sont plus exigeantes en eau mais assurent une augmentation du revenu agricole.

Deux hypothèses relatives aux échéances de croissance de la consommation se dégagent.

Evolution en fonction du temps:

—1° hypothèse:

Augmentation des volumes d'eau distribués pour le développement de la culture du tabac ou des arbres fruitiers, en quantité (augmentation des surfaces) ou en qualité (augmentation des volumes), puis stabilisation.

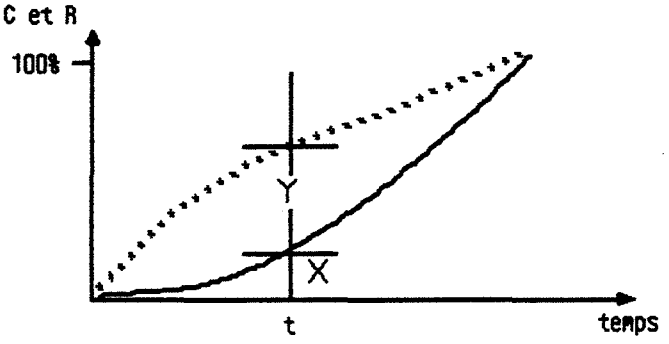


___ C : évolution de la consommation en eau d'irrigation en pourcentage de l'augmentation prévue

.... R : échelonnement de la construction des réseaux

—2° hypothèse:

Le supplément de travail que demandent ces cultures, ne provoque pas de souscriptions importantes les premières années. Après quelques saisons d'irrigation favorables, les agriculteurs adhèrent au syndicat.



Au temps t, le segment X représente la partie du réseau prioritaire et obligatoire qui doit être construite pour satisfaire la demande. Le segment Y représente la partie du réseau qui sera mise en service ultérieurement en fonction de l'augmentation de la consommation.

Dans le cas de la deuxième hypothèse, les courbes d'évolution de la consommation et de la réalisation du réseau sont de concavité opposée. En effet, si le réseau ne doit pas être "surdimensionné", sa construction doit toutefois être assez avancée pour éviter l'augmentation des coûts des matériaux et de construction.

Chacune de ces hypothèses peut se concevoir pour chacun des trois périmètres d'irrigation qui, à ce point de vue, sont totalement indépendants.

Echelonnement des investissements

Construction fractionnée du réseau d'irrigation.

En fonction des hypothèses de développement des débits demandés, quel est le réseau a mettre en place et quel est l'échéancier prévisionnel de ses renforcements ?

Ce problème concerne le cas de la construction de l'ossature d'un réseau(canalisations de gros diamètre) pour lequel l'emplacement des bornes n'est pas encore déterminé. il s'gît de calculer l'intérêt du fractionnement pour un développement des débits à faire transiter.

Le prix P d'une canalisation en fonction du débit Q pour une perte de charge unitaire fixée J0 est donéé par la formule:

$$P(Q) = 169 + 2373/J0^{0.35}.Q^{0.7} \text{ avec } J0=(Z-Z0)/L \text{ (en mm/m)}$$

Z: cote piezométrique en bout de réseau,
Z0: cote piezométrique en tête de réseau,
L: longueur du réseau.

Le fractionnement en deux tranches de réalisation pour faire transiter le débit Q/2 est intéressant si:

$$P(Q/2) + 1/(1+i)^n.P(Q/2) \leqslant P(Q)$$

i: taux d'actualisation
n: nombre d'années de décalage entre les deux tranches de travaux

Il faut évidemment tenir compte de l'évolution du cours de la fonte, ce calcul présente un intérêt pour les gros diamètres (300mm), les forts débits et les faibles pertes de charge. Le coût de la deuxième intervention sera d'autant moins élevé que n sera petit.

Cette méthode n'a pas été utilisée dans les simulations Biva1 et Biva2. Elle le sera dans la simulation Biva4 (3°partie, chapitre2) pour déterminer l'intéret d'une construction fractionnée du réseau. La première tranche de travaux assure uniquement les besoins en eau d'irrigation à la mise en service du réseau et la deuxième tranche, dix ans plus tard, est destinée à couvrir l'augmentation de ces besoins.

A ce stade du projet, les arguments déterminants de l'évolution de la demande en eau d'irrigation relèvent plus de facteurs sociologiques, du dynamisme des agriculteurs, de leur désir d'augmenter leurs revenus, de la succession et de la reprise de l'exploitation.

5.4.2.Calcul des réseaux.

Les procédures de calcul des débits transitant dans les troncons du réseau ainsi que celles des diamètres des canalisations, sont indiquées dans les fichiers "CLEMENT" (tableau n°2—10) et "DIAMDIM".

Utilisation du programme "CLEMEN"
Résultats du projet Biva1 pour le réseau de Pajay.

Ce programme a été utilisé par Biva1 pour calculer le débit nécessaire en tête du réseau pour pourvoir à une augmentation éventuelle de la surface à équiper de 30% environ, sur le périmètre de Pajay.

Les débits de pointe calculés dans chaque tronçon par la méthode de Clément sont inférieurs aux débits nécessaires à une utilisation simultanée du réseau de la part des agriculteurs. Ces débits nécessiteraient des diamètres trop importants rendant prohibitif le coût des réseaux. Il est à signaler que dans la pratique, le calcul des débits de Clément est considéré comme pessimiste et qu'il conduit tout de même à des diamètres trop élevés.

Le débit calculé à fournir en tête de réseau est pour ce cas de 175l/s (tableau n°2—11). Les débits d'exploitation pour les deux forages réalisés pour ce projet, peuvent atteindre 90 et 75l/s, ils pourraient donc alimenter le périmètre dont la surface s'étendrait à 170 hectares.

Il est à signaler que le groupe Biva1 a effectué le calcul de Clément pour ce scénario, à partir des surfaces à équiper au lieu des surfaces à irriguer, ce qui contribue à l'augmentation du nombre de bornes d'irrigation installées et du débit en tête du réseau.

Dimensionnement des réseaux.

La méthode proposée permet de calculer les diamètres des canalisations pour que les pertes de charge provoquées soient compatibles avec les débits et les pressions nécessaires aux bornes d'irrigation en tout point du réseau (tableau n°2—12). Cela est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du matériel mobile d'irrigation (5 à 7 bars pour les asperseurs, 9 bars pour les canons à arrosage).

Pour une cote NGF de 332m en tête du réseau et une hauteur manométrique totale de 120 m pour les pompes de reprise, il a été vérifié pour les bornes les plus défavorablement situées (par exemple, celle située au bout du trajet "BDEIJKLM"), que la cote piézométrique de 455m en tête du réseau (noeud A) était suffisante.

La pression imposée en M est respectée, les 7 bars de pression doivent théoriquement permettre d'utiliser des asperseurs. Cependant, toute extension du réseau vers des points plus défavorables ainsi que l'utilisation de canons à arrosage qui demandent une pression plus élevée sont compromises, la marge de pression excédentaire n'étant que de 0,5 bars.

CLEMENT

tableau n°2-10: LA FORMULE DE CLEMENT

En irrigation, le debit a fournir a l'entree d'un reseau n'est pas la somme des debits souscrits par les exploitants. En effet, on constate qu'il n'ouvrent pas tous leur prise au meme moment. En supposant qu'il ont un comportement aleatoire, on reduit notablement le debit a fournir a l'entree du reseau, grace a LA FORMULE DE CLEMENT. Mais ce debit total ne depend pas seulement du PLAN DE BORNAGE (C'est-a dire, pas seulement du triplet : surface irriguee-debit fictif continu de pointe-debit souscrit) mais aussi du TRACE du reseau. En effet 7 prises reliees directement au meme noeud C ne donne pas le meme resultat que si on a : les 2 premieres bornes reliees entre elles au noeud A, les 5 autres au noeud B, puis A et B relies a C.

- CALCUL ELEMENTAIRE

Soit un groupe de N prises reliees DIRECTEMENT a un meme noeud (sans preregroupement)
Pour chacun des troncons traites depuis une extremite aval on a :
- la surface irriguee Si, en ha
- le debit fictif continu a delivrer D, en l/s

$$D = 0,6\ Si$$

- le debit souscrit di, en l/s (parmi environ 6 valeurs fournies par le constructeur)

LE DEBIT TRANSITANT DANS LE TRONCON JUSTE EN AMONT DU NOEUD EST
* SI LE NOMBRE DE PRISES EST < 5

$$Q = SOM(Nidi)$$

* SI LE NOMBRE DE PRISES EST >= 5

$$Q = D / 0,75 + 1,645 \ (p \ q \ SOM(Nidi2))E1/2$$

0,75 : rendement
p : qualite de fonctionnement
ou $p = D / 0,75\ (SOM(Nidi))$ et $q = 1 - p$

- CALCUL D'UN RESEAU

Un reseau d'irrigation est toujours ramifie. Pour calculer les debits transitants dans les troncons, on remonte de l'aval (prises) vers l'amont (station de pompage). Pour cela on choisit une prise. A chaque noeud n rencontre en remontant, on repart de l'aval des branches jointes a ce noeud N et on en remonte, jusqu'au noeud N.
On ne peut pas remplacer le troncon par une prise qui aurait:
- une parcelle de surface SOM(Si)

En effet on doit GARDER EN MEMOIRE, pour le troncon, TOUS LES DEBITS SOUSCRITS DE TOUTES LES PRISES AVAL AU TRONCON. A chaque jonction de branches, on appliquera Clement avec les Si, Di, di de TOUTES les prises alimentees par le troncon.
C'est pourquoi il est pratique de presenter les calcul dans un tableau du type:

numero du noeud ou prise	surface irriguee ha	debit f. c. de p. D	nombre de prises de la classe : 1	2	3	4	5	6	debit souscrit S(Nidi)	debit de pointe Q
u										

Chaque ligne du tableau est donc soit:
- une prise et ses caracteristiques
- un troncon (= canalisation juste amont au noeud) et ses caracteristiques.

Si a un noeud, la valeur obtenue par Clement est inferieure a celle calculee pour une des branches, on prendra cette derniere. Ceci peut se produire lorsque la valeur d'une des branches a ete obtenue par simple somme des debits souscrits.

tableau n°2—11

CALCUL DES DEBITS DE TRANSIT DANS LES TRONCONS DU RESEAU DE PAJAY (BIVA1) par la formule de CLEMENT

numéro du tronçon	surface irriguée en hectares	débit fictif en l/s	bornes en l/s					nombre de bornes	débit total intallé l/s	probabilité	debit réel l/s
			5	10	15	20	25				
U	6,00	3,60		1				1	10		10
S	6,00	3,60		1				1	10		10
R	12,00	7,20		2				2	20		20
P	8,20	4,92		1				1	10		10
Q	20,20	12,12		3				3	30		30
O	8,00	4,8		1				1	10		10
N	28,20	16,92		4				4	40		40
M	10,00	6,00		1				1	10		10
L	38,20	22,92		5				5	50	0,611	48,49
K'	13,00	7,8			1			1	15		
K	51,20	30,72		5	1			6	65	0,630	62,34
J	56,20	33,72		6	1			7	75	0,599	68,11
H	8,00	4,8		1				1	10		10
F	5,00	3,00		1				1	10		10
G	13,00	7,8		2				2	20		20
I	78,20	46,92		9	1			10	105	0,596	89,64
E	88,20	52,92		9	2			11	120	0,588	100,31
PP	6,00	3,6		1				1	10		10
OO	8,00	4,8		1				1	10		10
NN	6,00	3,6		1				1	10		10
MM	20,00	3,6		3				3	30		30
LL	31,00	18,60		3	1			4	45		45
KK	11,00	6,60			1			1	15		15
II	6,00	3,60		1				1	10		10
HH	48,00	28,80		4	2			6	70	0,549	62,27
GG	55,00	33,00		5	2			7	80	0,550	69,22
FF	10,00	6,00			1			1	15		15
EE	65,00	39,00		6	2			8	90	0,578	78,33
D	157,20	94,32		16	4			20	220	0,572	166,46
C	10,00	6,00		1				1	10		10
B	167,20	100,32		17	4			21	230	0,582	175,14

tableau n°2-12

CALCUL DES DIAMETRES DES CANALISATIONS PAR LA METHODE APPROCHEE DE LA METHODE DISCONTINUE DE LABYE

Pour effectuer cette opération il est nécessaire de se procurer l'abaque des pertes de charge J(mm/m)=F(Q(l/s).D(m))

.PRINCIPE DE LA METHODE :

On considère le parcours du réseau dont l'origine est la tête du réseau et l'extrémité la borne à desservir occupant la position la plus défavorable.

Calcul de la perte de charge sur l'ensemble du parcours
Détermination du diamètre du premier tronçon en fonction du débit y transitant
Report de la perte de charge correspondant au diamètre normalisé choisi
Calcul de la cote piézométrique au noeud aval du premier tronçon
On procède de même pour les différents tronçons du même parcours
On vérifie les cote piézométriques imposées aux noeuds où sont placées les bornes
Réajustement des diamètres si nécessaire
Les itérations suivantes concernent les autres trajets.

TRONCON N° AVAL	Longueurs m	Diamètres mm	Débit l/s	PDCU mm/m	PDCT m	cote piézo. imposée	Piézo. calculée
B	50	350	175,1	13	0,65		454,35
D	200	350	166,5	10	2,0	402	452,35
E	250	300	100,3	10	2,5	406	449,85
I	775	300	89,6	7,8	6,05	410	443,80
J	250	250	68,1	13,0	3,25	410	440,55
	200	250	48,5	6,0	1,2		439,35
	150	200	48,5	20,0	3,0		436,35
M	350	150	10,0	4,0	1,4	430	434,95

Cette méthode approchée et manuelle est suffisante pour traiter le cas de petits réseaux d'irrigation, elle permet de calculer d'éventuels panachages de diamètres sur un même troncon et de réduire ainsi les coûts.

*Remarque.

Pour le projet Biva2, les diamètres ont été adoptés de manière plus intuitive en fonction de l'expérience professionnelle de l'un des membres ce groupe. Il est d'ailleurs intéressant de noter que le dimensionnement du réseau Biva2 se rapproche davantage de celui du réseau réel. Les responables du projet réel de Pajay n'ont pas utilisé les méthodes de Clément et de Labye. Ces méthodes sont plus souvent utilisées pour des réseaux dont la taille est plus importante que celle des réseaux traités en simulation.

* *Optimisation des canalisations de refoulement depuis les forages jusqu'aux réservoirs.*

Pour palier au manque d'expérience dans ce domaine, la formule de Vibert constitue un outil d'optimisation satisfaisant, car elle prend en compte le coût de l'énergie et celui des matériaux des canalisations.

$$D = 1{,}547\ (n.e/f)^{0{,}154}\ Q^{0{,}46}$$

n : temps de fonctionnement de la pompe sur 24 heures

e : coût de l'énergie, prix du kwh

f : coût de la fonte en francs par kg

Q: débit de la pompe en m3/s

Le problème est de réaliser un compromis optimal entre les frais d'amortissement de la canalisation qui augmentent avec son diamètre D, et les frais d'exploitation (pompage) qui augmentent avec les pertes de charge dues à la réduction du diamètre de la canalisation.

Cette méthode a été utilisée pour le projet Biva2 au cours de l'étude prévisionnelle afin de dimensionner la canalisation de raccordement depuis l'un des puits jusqu'au réseau sur une longueur de 2,3 km. Si l'on décide de pomper pendant 10 heures sur 24 heures en utilisant du courant électrique aux heures creuses (pendant la nuit, de 20h à 6h), le prix du kwh sera de 0,115 frcs (prix soumis à révision en fonction du contrat EDF— tarif vert). Le prix de la fonte atteignant 6 frcs le kg, le rapport e/f est de 0,019. Le débit de la pompe étant de 220 m3/h soit 0,06 m3/s, le diamètre exact calculé est de :

$$1{,}27.(0{,}019)^{0{,}154}.(0{,}06)^{0{,}46} = 0{,}189\text{m}.$$

Le choix s'impose donc entre les diamètres normalisés de 150 mm et de 200 mm. Le niveau de la pompe immergée est à 60 mètres de profondeur, et son rendement est de 70%.

diamètres mm	perte de charge unitaire m	longueur m	perte de charge totale m	H.M.T m	puissance kw	kwh par an	coût kf
200	0,035	2300	80,5	150	126	153700	17,7
150	0,173	2300	397,9	465	391	477000	54,9

diamètres mm	prix au mètre linéaire pose comprise F.	prix total kf
200	164	377,2
150	136	313,7

*Bilan:

	diamètre 200mm	diamètre 150mm
Amortissement 50 ans , 8%	30,8 kf	25,6 kf
frais d'exploitation	17,7 kf	54,9 kf
total par an	48,5 kf	80,5 kf

C'est le diamètre de 200 mm qui sera retenu pour la canalisation de refoulement en question. Des méthodes graphiques plus rapides d'utilisation permettent d'aboutir aux mêmes résultats (formulaires Pont à Mousson).

5.5.Détail des opérations de construction des réseaux d'irrigation.

5.5.1.Réseau de Pajay—Projet Biva1 (figure n°2—13).

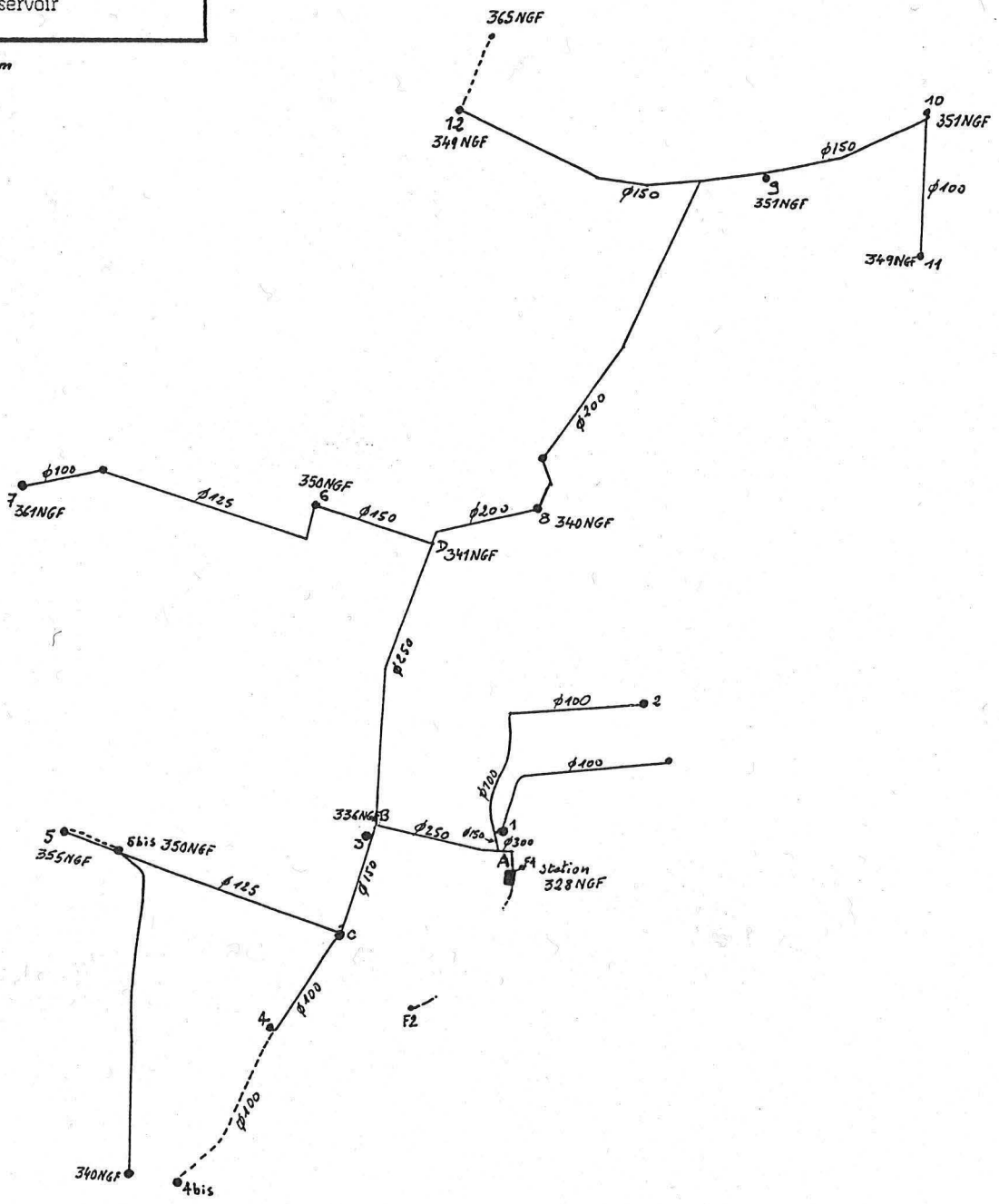
Le réseau est exécuté entièrement avant sa mise en service pour ne privilégier aucun agriculteur, avec comme contrainte principale l'achèvement des travaux avant la période sèche. Cette contrainte ne sera pas respectée pour la commune de La Côte Saint—André.

TRACE REEL DU RESEAU D'IRRIGATION DE PAJAY

Légendes

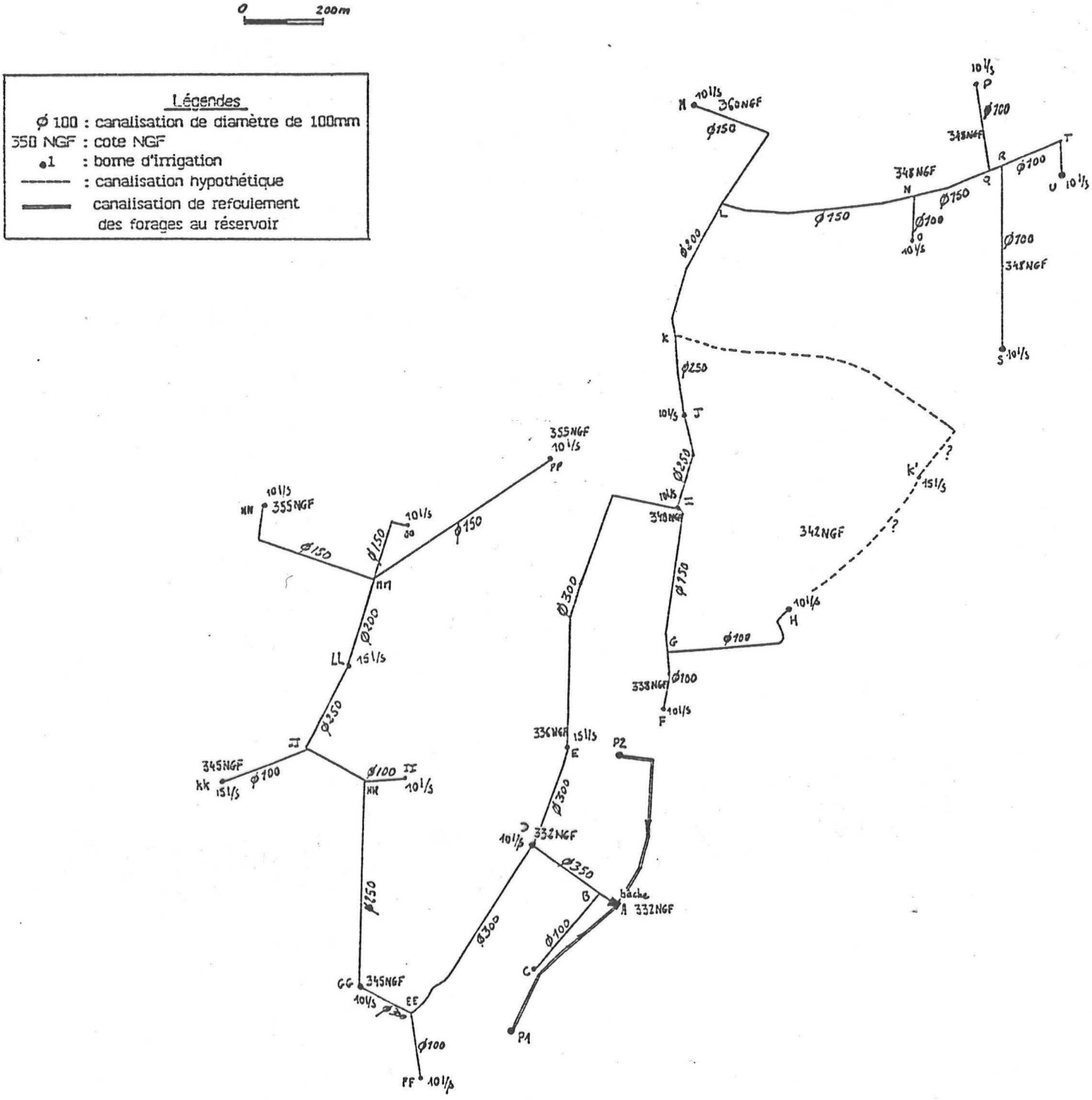
- ϕ 100 : canalisation de diamètre de 100mm
- 350 NGF : cote NGF
- •1 : borne d'irrigation
- ------ : canalisation hypothétique
- —·—·— : canalisation de refoulement des forages au réservoir

0 200m



TRACE DE RESEAU SIMULE- PROJET BIVA1

PAJAY



PLAN PARCELLAIRE D'IRRIGATION

PAJAY

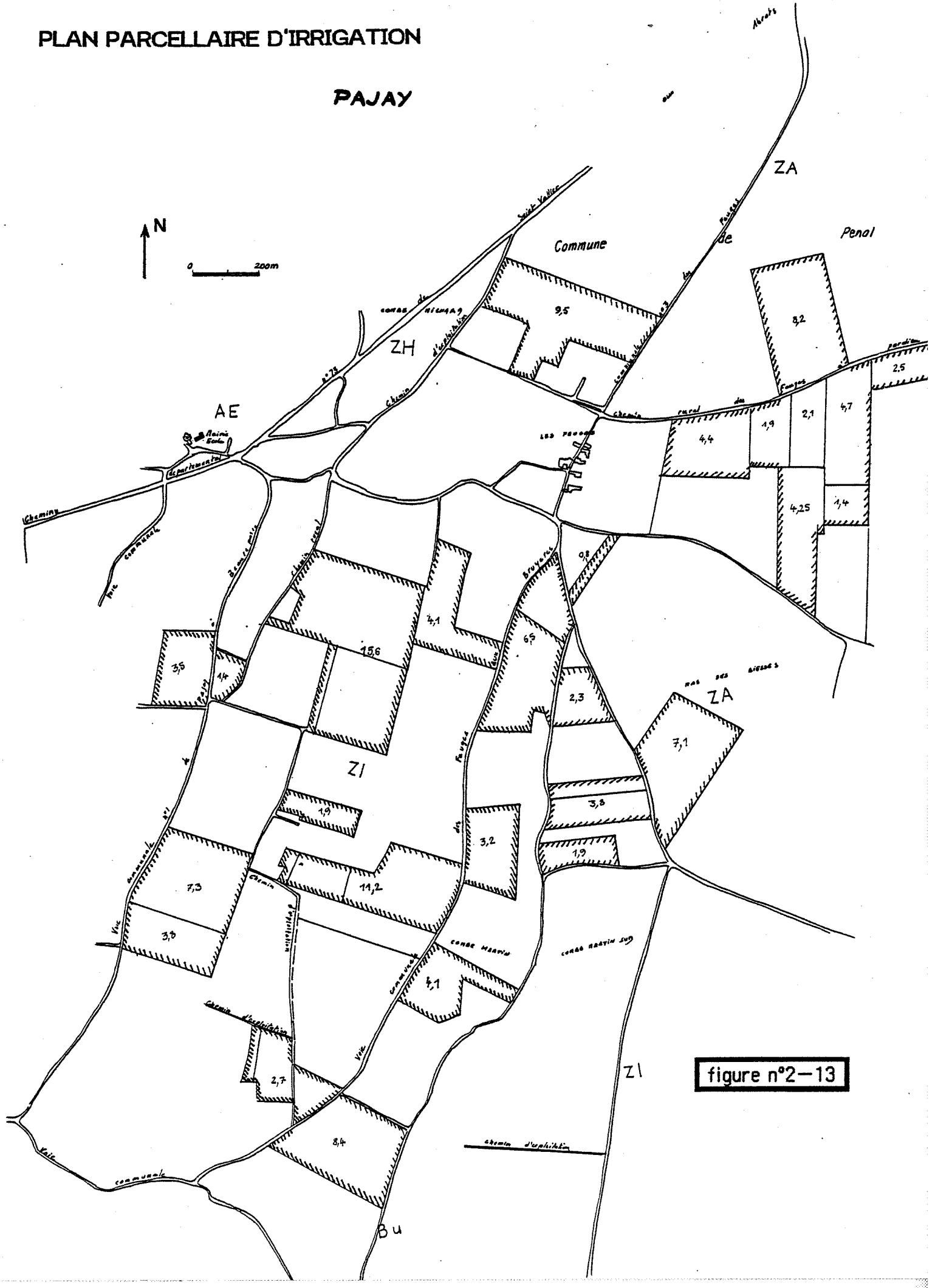


figure n°2—13

DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE PAJAY
BIVA1

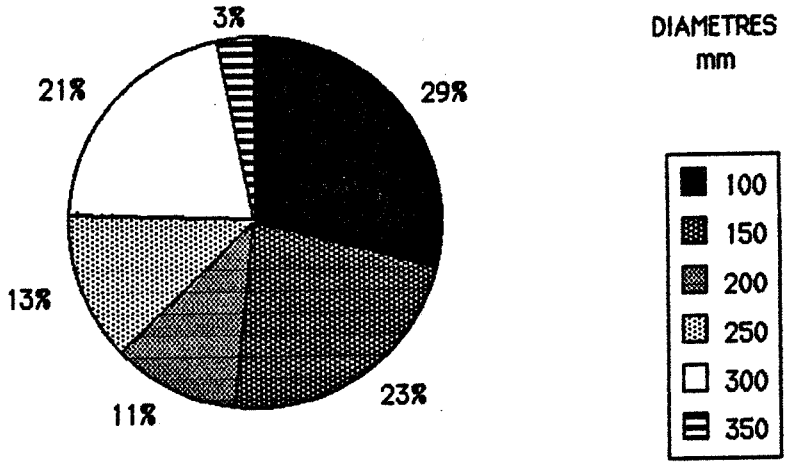
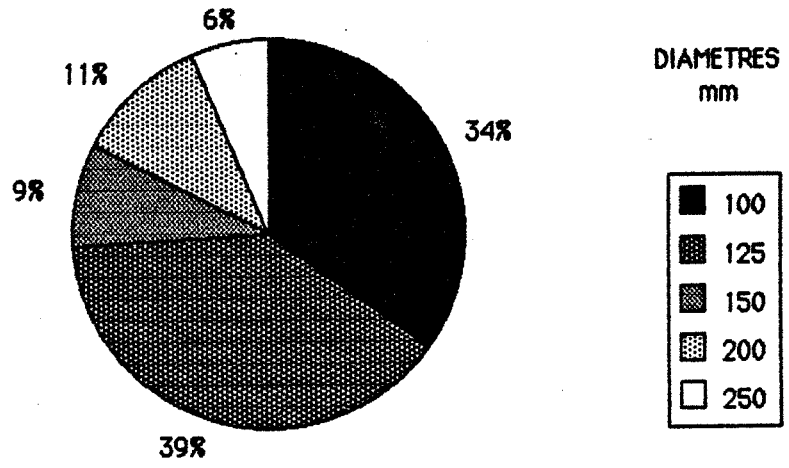


figure n°2—14

DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE PAJAY
BIVA2



Le recours à des canalisations de 300 mm de diamètre est assez fréquent (21%). Ceci augmente le coût du réseau mais assure la possibilité technique de l'étendre ultérieurement (figure n°2—14).

Dix sept bornes de 10 l/s et quatre de 15 l/s sont installées. La longueur totale du réseau est de 9,5 km et le prix moyen par km de réseau, se monte à 180 kf.

5.5.2.Réseau de Pajay— Projet Biva2.

La mise en place du système de distribution s'effectue également en une seule phase. Les diamètres utilisés sont plus faibles, le diamètre le plus fort de 250 mm ne représente que 6% des canalisations installées (figure n°2—14). Ce réseau est relativement identique au réseau réel.

Vingt bornes de 10l/s et deux de 15l/s équiperont les parcelles, la longueur totale du réseau est de 9,55 km, et le coût moyen par km équipé est de 172 kf .

5.5.3.Réseau de la Côte Saint—André— Projet Biva1 (figure n°2—15).

La position éloignée des deux stations de pompage l'une par rapport à l'autre à nécessité la création de deux sous—réseaux. Les diamètres utilisés ont une fois de plus tendance à être élevés, ceux de 250 mm représentent 13% de la longueur totale installée (figure n°2—16).

Par rapport au réseau de Pajay, le coût plus élevé de ce réseau s'explique d'une part, par le fait qu'il soit plus long, mais aussi par le fait que de nombreuses plus—values ont été entrainées par le franchissement à trois reprises de routes nationales et de chemins.

Les bornes d'irrigation installées sont de marques différentes :

-Schlumberger, type A : 5 à 10 l/s.
-Bayard : 15 l/s

La longueur totale du réseau est de 12,57 km, le coût moyen au kilomètre du réseau équipé est de 175 kf.

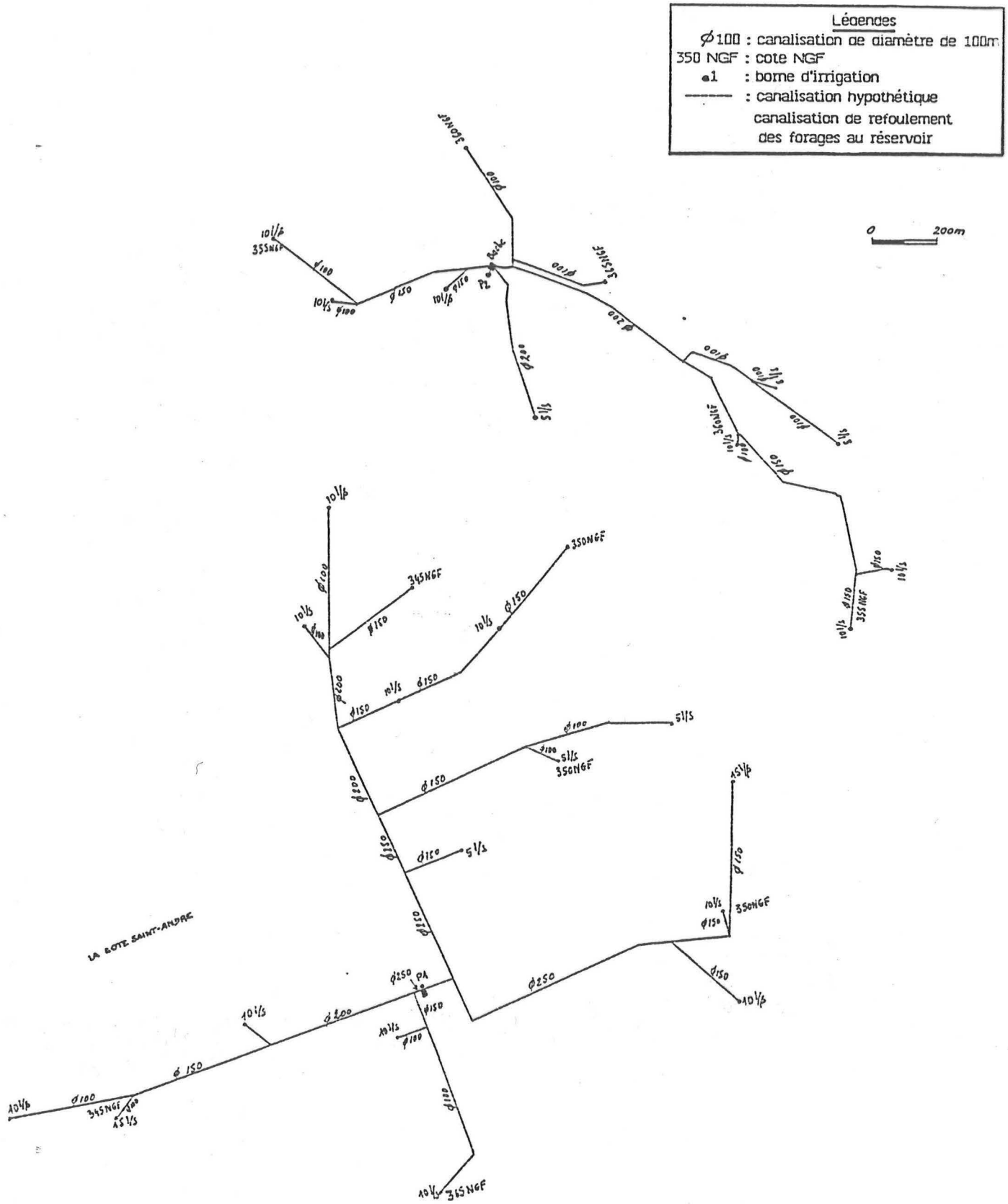
L'examen des simulations ultérieures (Biva3,4,..) montre que le coût de ce réseau comme celui des deux précédents est trop faible. Pour ces autres simulations, il est toujours supérieur à 200Kf/km.

5.5.4.Réseau de Faramans—Projet Biva2.

Le plan parcellaire de la commune de Faramans montre que cette zone n'est pas remembrée. Le plan de bornage est donc plus délicat à concevoir car il se complique, étant donnée la dispersion des parcelles des agriculteurs susceptibles de souscrire à un contrat d'irrigation.

TRACE DU RESEAU SIMULE DE LA COTE SAINT-ANDRE

PROJET BIVA1



PLAN PARCELLAIRE D'IRRIGATION DE LA COTE SAINT-ANDRE

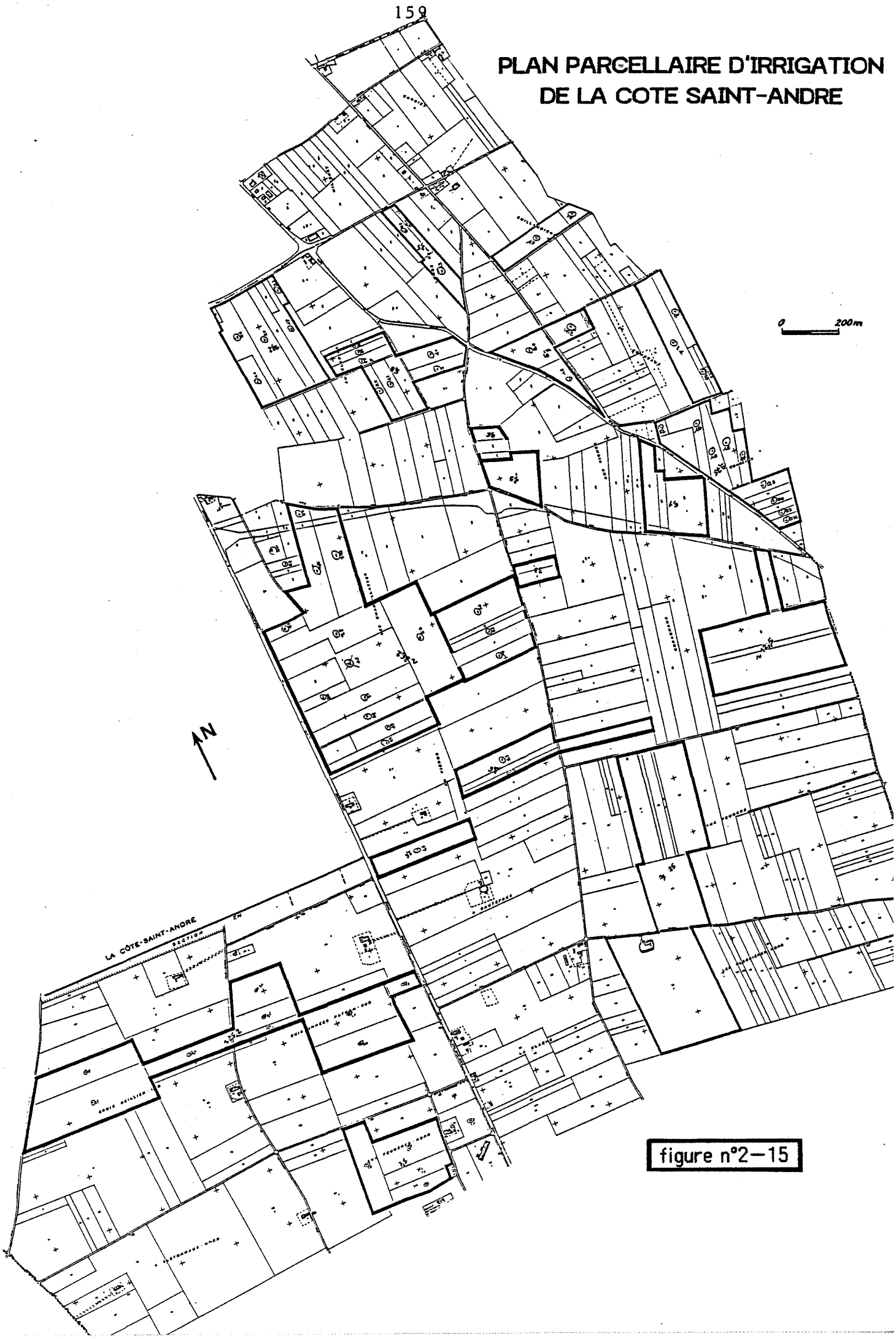


figure n°2—15

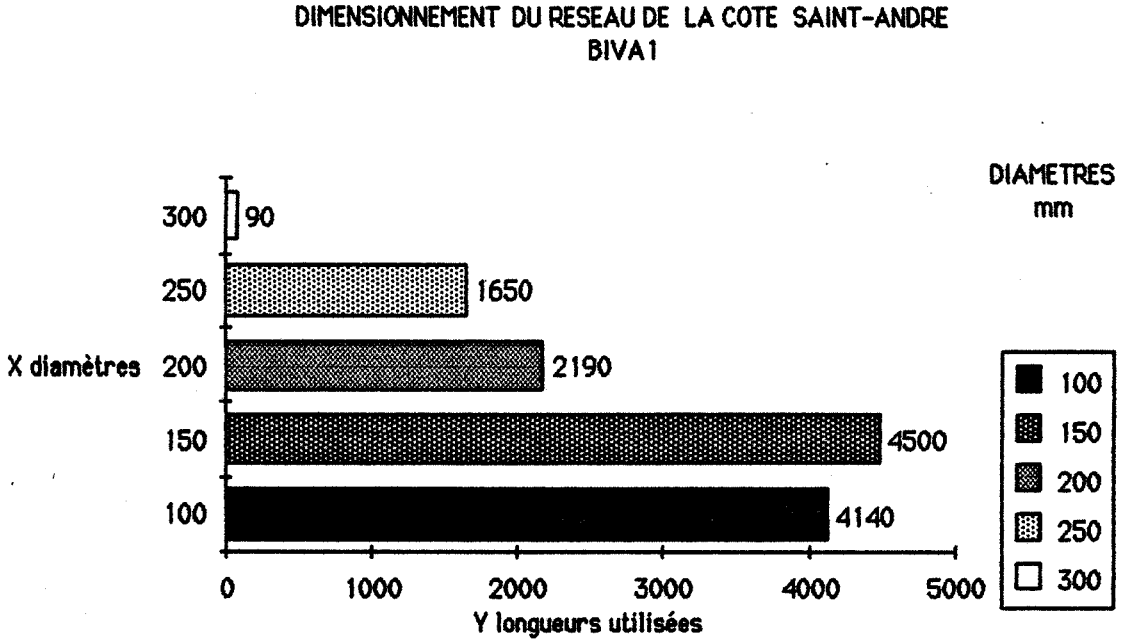
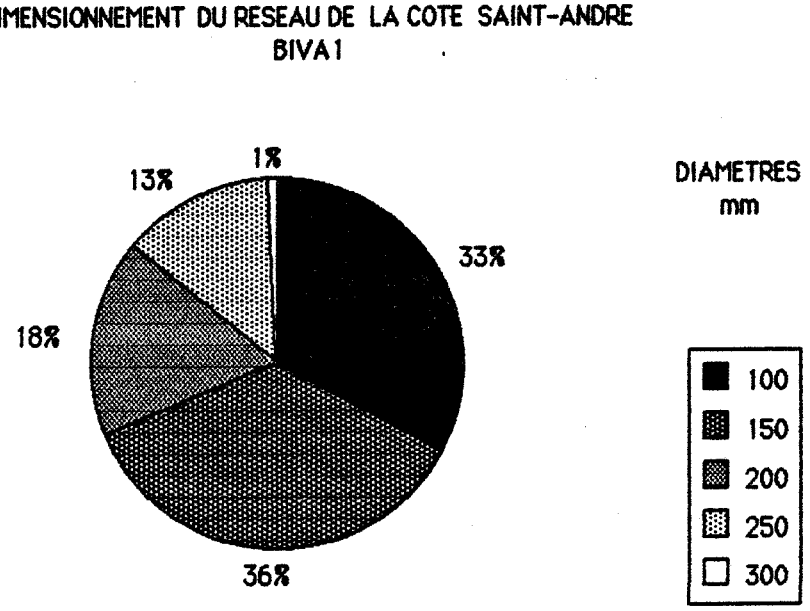

DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE LA COTE SAINT-ANDRE
BIVA1
DIAMETRES
mm
X diamètres
300
250
200
150
100
90
1650
2190
4500
4140
0
1000
2000
3000
4000
5000
Y longueurs utilisées
100
150
200
250
300

figure n°2—16


DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE LA COTE SAINT-ANDRE
BIVA1
1%
13%
33%
18%
36%
DIAMETRES
mm
100
150
200
250
300

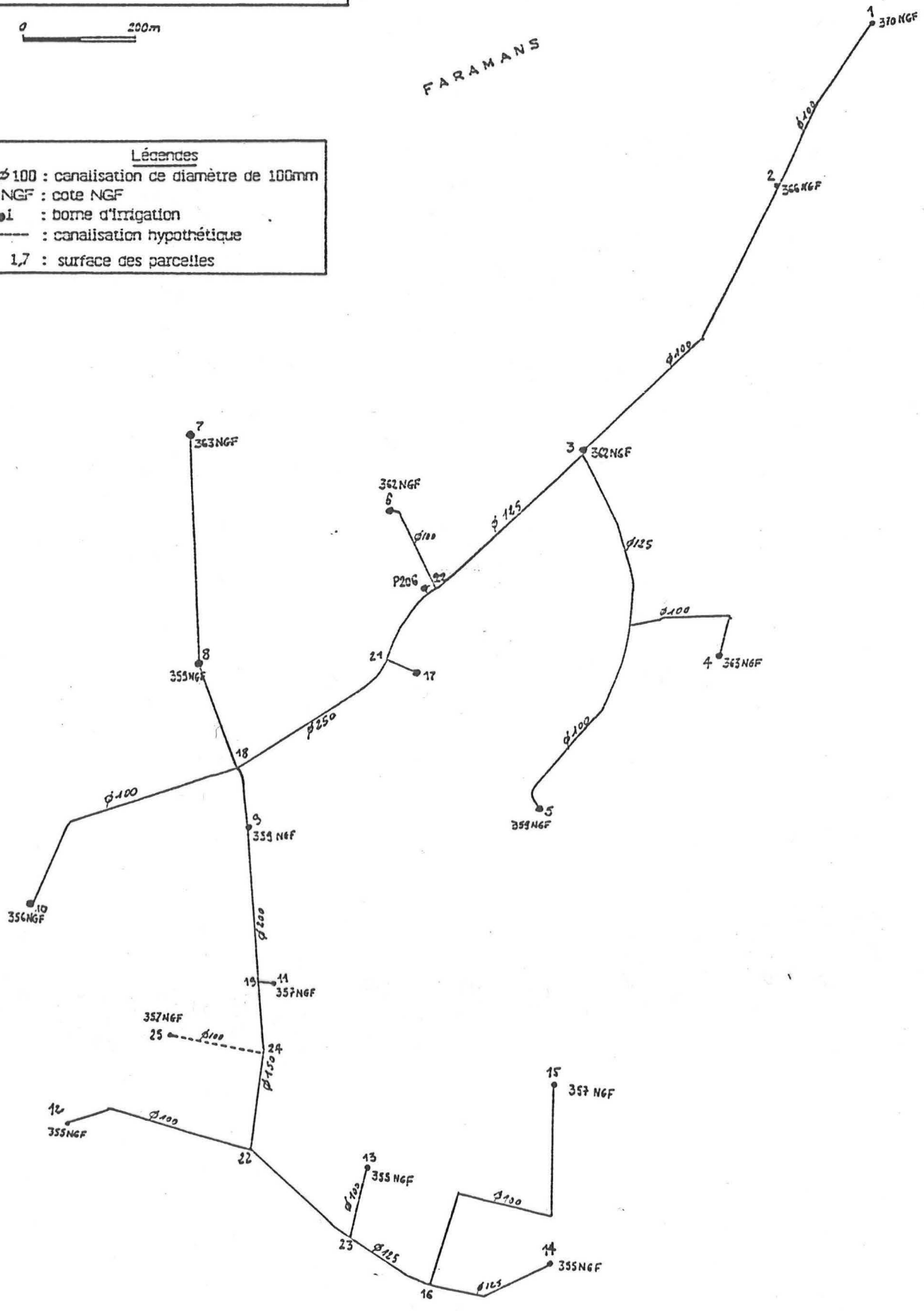
TRACE DU RESEAU SIMULE DE FARAMANS

PROJET BIVA2

0 200m

FARAMANS

Légendes
- ϕ100 : canalisation de diamètre de 100mm
- 350 NGF : cote NGF
- ●i : borne d'irrigation
- ------ : canalisation hypothétique
- 1,7 : surface des parcelles



PLAN PARCELLAIRE D'IRRIGATION DE FARAMANS

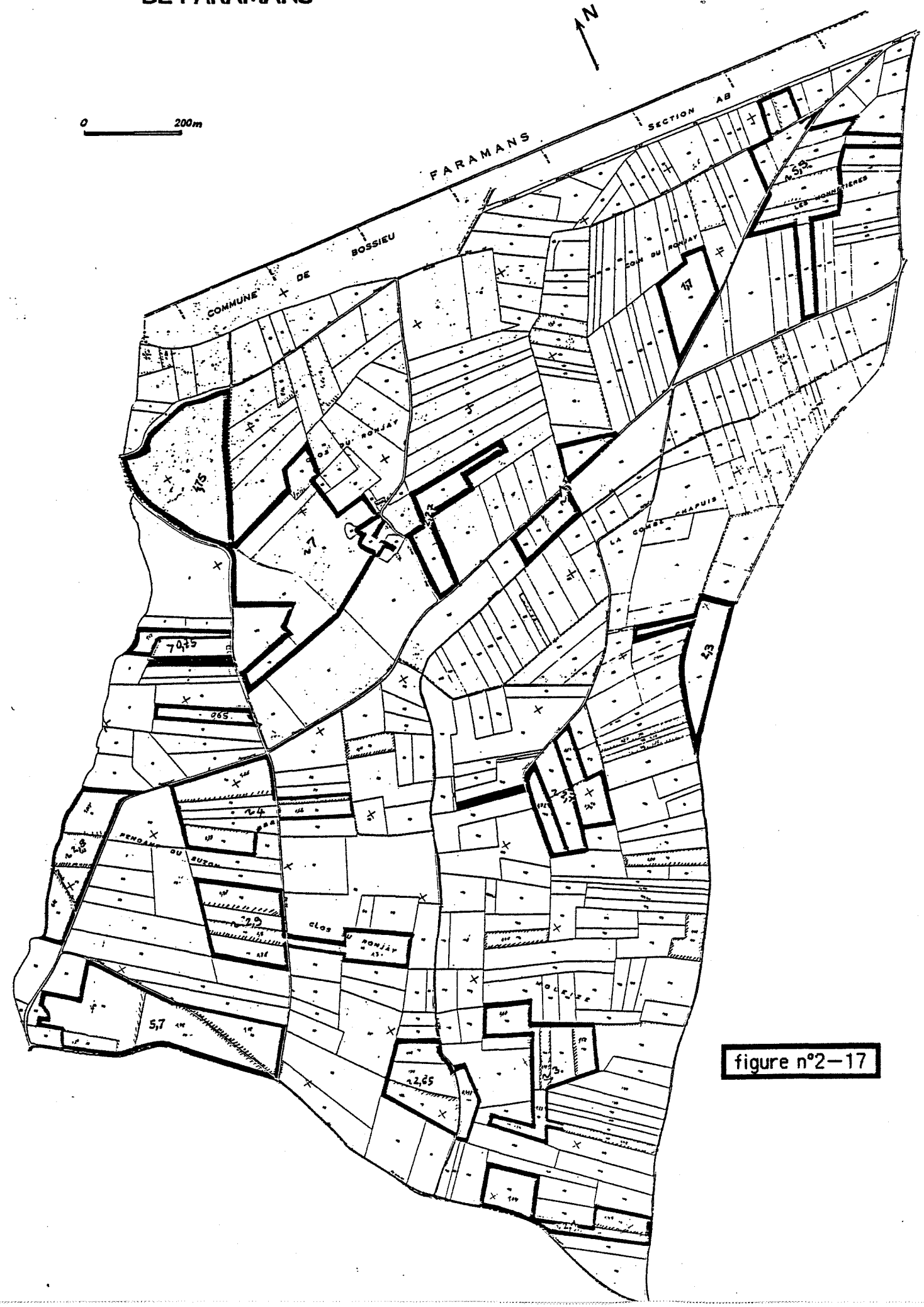


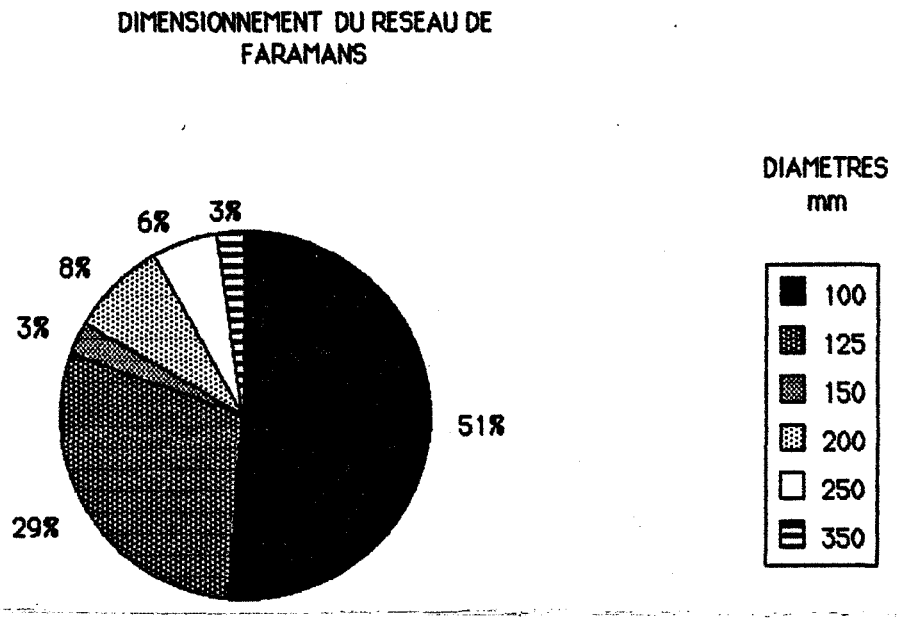
figure n°2—17

Pour rester dans une marge d'augmentation de coût raisonnable et rendre le projet d'irrigation cohérent, les projeteurs ont été amenés à procéder à un regroupement hypothétique de certaines parcelles.

En Mai 84, aucune opération de remembrement n'était prévue (information du Cadastre de Vienne). C'est pourquoi, ce projet était proposé. A l'heure actuelle, il semble que le remembrement soit en cours. Les résultats de cette simulation ne correspondent donc plus à une demande réelle puisque les plans parcellaires de cette commune seront modifiés.

Les diamètres des canalisations sont faibles (51% des canalisations ont un diamètre de 100 mm). Les bornes qui équiperont ce périmètre ont un débit de 10l/s, elles sont au nombre de 18, comme elles sont toutes de la même marque une remise de 5% a été effectuée.

figure n°2—18



5.5.5. Evolution des coûts d'investissement à l'hectare équipé.

Nous avons examiné jusqu'à présent, le coût d'investissement au km de réseau construit, pour les différents projets, pour le tracé et la mise en place des canalisations. Il est plus intéressant de suivre l'évolution des coûts d'investissement à l'hectare équipé, en y intégrant la réalisation des autres phases des projets c'est—à—dire l'aménagement des puits, la construction de la station de pompage et des éventuels réservoirs, et l'installation des bornes d'irrigation (tableau n°2—13).

L'examen de l'évolution de ce paramètre peut alors être significative des phases les plus coûteuses financièrement, pour chacun des projets simulés. Les coûts réalisés dépendent du savoir—faire du projeteur qui doit règler les problèmes rencontrés au cours des différentes opérations.

tableau n°2-13

EVOULTION DES COUTS D'INVESTISSEMENT A L'HECTARE EQUIPE

PERIMETRES	OPERATIONS	PROJETS					
		BIVA 1			BIVA 2		
		coût kf	*coût cumulé*	*coût par ha*	*coût kf*	*coût cumulé*	*coût par ha*
PAJAY Biva1: 130ha Biva2: 130ha	prospection	572,5		4,4	332,5		2,6
	canalisations achat , pose	1351,96	1924,5	14,8	1298,2	1630,7	12,5
	plus-values	13,2	1937,7	14,9	20	1650,7	9
	bornes	157	2094,7	16,1	171	1821,7	12,7
	exhaure réservoirs	944	3038,5	23,4	1610	3431,4	26,4
FARAMANS Biva2: 100ha	prospection	991,8		9,9	221		2,2
	canalisations achat, pose				738,2	959,2	9,6
	plus-values				10	969,2	9,7
	bornes				105	1074,2	10,7
	station réservoirs				1540	2614,2	26,1
LA COTE ST. ANDRE Biva1: 160ha	prospection	727		4,5	353		2,2
	canalisations achat, pose	1675,5	2402,5	15			
	plus-values	101,1	2503,6	15,6			
	bornes	182	2685,6	16,7			
	pompes station	879,4	3565	22,2			
	réservoirs	130	3695	23			

Ces coûts d'investissement à l'hectare équipé varient entre 23kf/ha et 26kf/ha pour l'équipement du périmètre de Pajay, et sont voisins de la valeur obtenue pour le projet réel (25kf/ha). Cependant la longueur de réseau installé par Biva1 pour le périmètre de La Côte Saint—André devrait entraîner un coût d'investissement à l'hectare plus élevé, cela est peut être dû à la non prise en compte de certaines dépenses liées à l'équipement des réseaux.

5.6. Choix du matériel de pompage et consommation en énergie électrique.

5.6.1.Choix du matériel de pompage.

La consommation en énergie électrique est liée directement au choix des pompes pour l'exhaure dans les forages et l'injection dans les réseaux de distribution. La banque de données du système MISE contient des indications techniques qui concernent les divers matériels de pompage.

La liste du matériel présentée à l'utilisateur n'est évidemment pas exhaustive et n'a pas de but publicitaire. Cependant, toute coïncidence avec la réalité n'est pas fortuite; il est préférable que la simulation d'un projet réel se réfère à des techniques et des matériels réels.

La hauteur manométrique totale (HMT), le débit maximum à assurer sont les premiers critères de choix du matériel de pompage. Ces indications de matériel sont valables pour une fourchette de valeurs de HMT comprises entre 100 et 150 mètres et pour des débits de pompage de 150 à 300 m3/h. Le matériel proposé à l'utilisateur lui permet de choisir les pompes immergées destinées à l'exhaure (essais par pompage et exploitation).

D'autres organes sont indispensables au bon fonctionnement de la distribution:

**au niveau du réseau*:

- —les accessoires de robinetterie (robinets—vannes pour vidange)
- —bouche à clé
- —réducteurs de pression
- —ventouses automatiques
- —dispositifs anti—bêlier

**au niveau de la station de pompage*:

- —Stabilisateur de pression assurant l'augmentation de la pression en fonction du débit (Lézier)
- —débimètre électromagnétique
- —Vannes de refoulement, d'aspiration, d'isolement anti—bêlier, de vidange
- —clapets anti—retour
- —clapets de pied de crépine pour le pompage dans le réservoir
- —résevoir de régulation

D'autres dépenses encore sont à prendre en compte comme l'équipement électrique :

—poste de transformation
—ligne moyenne tension
—armoire de commande

Toutes ces dépenses supplémentaires sont sensées être prises en compte dans les différents projets simulés, mais n'apparaissent pas explicitement dans les résultats, faute de temps ou d'organisation. Pour le projet Biva2, le coût total de la station de pompage (1610kf) se rapproche de celui du projet réel (1650kf). Il est donc raisonnable de penser que ces dépenses aient été prises en compte par Biva2. Par contre ce coût est nettement inférieur pour le projet Biva1 (944 kf), cela représente une différence de l'ordre de 20% pour le coût total du projet.

5.6.2.Calcul de la consommation en énergie électrique.

Le calcul des coûts de consommation en énergie électrique, tient compte des débits des pompes d'exhaure et de ceux des pompes de reprise puisque la construction d'un réservoir est une solution retenue dans chaque cas. Ce réservoir qui a une capacité de 100 m3 dans la réalité, a été dimensionné à 200m3 pour les projets simulés.

L'exhaure est répartie sur les deux forages, mais les pompes de reprise sollicitées en priorité sont celles à débit variable. La durée de fonctionnement de ces différents organes de pompage est répartie tout au long des quatres mois d'été. Le pompage s'effectue fréquemment pendant la nuit, pour pouvoir bénéficier des tarifs EDF en heures creuses. Cependant en période de pointe (15 jours maximum), les pompes peuvent être amenées à fonctionner à des heures différentes.

Ce schéma de fonctionnement retenu pour le calcul du coût de l'énergie peut évidemment varier d'une saison d'irrigation à l'autre, en fonction des programmes de pompage liés aux conditions météorologiques, et du type de contrat établi avec EDF (réductions, économie d'énergie, tarif vert,...).

CHAPITRE 6: CONTROLE BUDGETAIRE DES PROJETS SIMULES

Au cours de la simulation du projet d'irrigation, l'évolution des dépenses financières et des délais prévus doit pouvoir être contrôlée. Un procédé comptable enregistrant les coûts de réalisation du projet permet ce contrôle par comparaison avec ceux des opérations prévues.

6.1.Comparaison des courbes engagées et réalisées.

—Tracé de la courbe engagée.

La courbe engagée montre l'évolution des dépenses prévues au cours de l'avancement du projet qui est aussi programmé en temps.

On appellera planning la prévision du temps d'exécution des différentes phases du projet et estimation, la prévision des dépenses.

A chaque révision de planning ou d'estimation, ou pendant l'exécution des tâches, la courbe engagée doît être réactualisée. Cette courbe est tracée lors de l'enregistrement de l'étude prévisionnelle, pour l'ensemble du projet regroupant les trois périmètres d'irrigation et séquentiellement par tranches de travaux (études, prospection, etc...).

—Tracé de la courbe réalisée.

C'est la courbe représentant l'évolution des dépenses réalisées en pourcentage cumulé du budget initial, en fonction du temps. Ce budget initial est le même pour chaque projet simulé , sa valeur (9000 kf), sert de point de comparaison pour les projets simulés au cours d'une même session de simulation.

La répétition de ces sessions pour des projets identiques, permettra de déterminer une valeur plus exacte de cette variable qui en fait, constitue l'une des inconnues du système c'est à dire le coût optimal du projet.

Cette courbe est tracée au fur et à mesure des opérations consécutives à chaque décision, elle prend en compte les plus—values ou les bonifications entrainées par ces décisions, et non prévues en stratégie initiale (tableaux n°2—14 et 2—15).

tableau n°2—14

COMPARAISON STRATEGIE - DECISIONS BIVA1

(coûts en kilo-francs, temps en semaines)

dépenses réalisées					*dépenses prévues*				
opérations	cf	cfc	ct	ctc	opérations	cf	cfc	ct	ctc
102 subventions	0	0	2	2	101 création	0	0	24	
101 création ASA	0	0	26	2	204 terrain	1,5	1,5	0,5	0,5
204 terrain	0,5	0,5	3	3	201 souscriptions	0	1,5	2	2,5
201 souscriptions	0	0,5	2	5	203 météo	1	2,5	1	3,5
203 météorologie	1	1,5	1	6	202 besoins en eau	0	2,5	1	4,5
202 besoins en eau	0	1,5	1	7	204 terrain	1,5	4	0,5	5
204 terrain	0,5	2	1	8	205 extension	0	4	7	12
205 extension	0	2	2	10	303 eaux usées	0	4	2	14
303 eaux usées	0	2	2	12	401 géologie	0	4	2	16
401 géologie	0	2	2	14	406 photos aérien.	4	8	7	23+8
406 photos aérièn.	4	6	7	21+12	405 expert	2	10	1	32
405 expert	2,4	8,4	1	34	402 géophysique	50	60	7	39
402 géophysique existante	0	8,4	4	38	501 piézométrie	103	163	18	57
402 géophysique éxistante	0	8,4	2	40	607 puits	2800	2963	22	79
402 sondages . électriques	2,4	10,8	0,5	40,5	504 essais pompage				
501 piézométrie	96	106,8	2	42,5	502 analyses	14	2977	2	81
403 carottages	189	295,8	5	47,5	607 exhaure	6000	8977	23	104
501 piézométrie	20	315,8	1	48,5	606 réseaux (3)	3000	11977	56	160
607 puits	1930	2245,8	39	87,5					
504 essais pompage									
602 plan de bornage	0	2245,8	5	92,5					
603 tracé réseaux	15	2260,8	4	96,5					
604,605 calcul	0	2260,8	2	98,5	coût financier	cf			
606 réalisation (2)	3040	5300,8	65	163,5	coût financ. cumulé	cfc			
607 station pompage	2264	7564,8			coût temporel	ct			
609 réservoirs	160	7724,8			coût temp. cumulé	ctc			

tableau n°2—15

COMPARAISON STRATEGIE -DECISIONS BIVA2

(coûts en kilo-francs, temps en semaines)

dépenses réalisées					dépenses prévues				
opérations	cf	cfc	ct	ctc	opérations	cf	cfc	ct	ctc
101 création ASA	0	0	22		101 création ASA	0	0	18	
201 souscriptions	0	0	2	2	201 souscriptions	0	0	3	
202 besoins en eau	0	0	9	11	202 203 besoins, météo	0	0	2	5
203 météorologie	0	0	1	12	204 terrain	0,8	0,8	1	6
102 subventions	0	0			205 extension	0	0,8	3	9
204 terrain	1	1	1	13	401 géologie	0	0,8	3	12
205 extension	0	1	3	16	402 géophysique	6,8	7,6	6,5	18,5
401 géologie	0	1	1	17	403 carottages	200	207,6	6	24,5
402 géophysique	0	1	1	18+4-2	404 coupes géol.	0	207,6	3	27,5
403 carottages	111	112	4	24	405 expert	10	217,6	3	30,5
404 coupes géol..	0	112	2	26	501 piézométrie	0	217,6	1	31,5
405 expert	6	118	2	28	504 essais pompage	240	457,6	9	40,5
501 piézométrie	0	118	1	29	601 choix irrigation	10	467,6	3	43,5
602 bornage réseau	0	118	2	31	602 plan bornage	0	467,6	3	46,5
504 forages essais	739	857	9	40	603 tracé réseau	20	487,6	4,5	51
605 calcul réseau	0	857	1	41	606 réalisation	5000	5487,6		
607 stat. pompage	3050	3907			607 stat. pompage	3000	8487,6	60	
606 réseaux	2342,4	6249,4	73	114	609 réservoirs	50	8537,6		111

Remarque :

Pour leur analyse, ces deux catégories de courbes sont représentées lissées, alors qu'en réalité les variations de budget s'effectuent par paliers au moment du règlement des factures ou de l'arrivée des subventions.

Ces courbes sont plus significatives des dépenses et des investissements en cours que de la trésorerie comptable de la structure responsable du projet qui intervient surtout pour l'exploitation des réseaux d'irrigation.

6.2.Analyse des courbes réalisées, lissées.

Ces techniques comptables et financières sont utilisées pour la gestion de projets (Morel,1972).

L'analyse s'effectue à l'aide d'une méthode de visualisation vectorielle des écarts entre ce qui est engagé et ce qui est réalisé, permettant un contrôle polaire de l'évolution du projet.

Il s'agit de déterminer des vecteurs de situation coût—délai à des dates fixées, (tous les trimestres par exemple ou après chaque tranche de travaux).

Ces vecteurs se tracent sur un système d'axes orthogonaux et sont repérés par leurs coordonnées : l'avance ou le retard sur le planning, et le gain ou le dépassement par rapport à l'estimation du budget.

La courbe décrite par l'extrémité de ces vecteurs de situation permet donc d'apprécier l'évolution synthétique du projet, en fonction des critères définis ci—dessus.

—Tracé des vecteurs de situation.

Soit P la courbe prévisionnelle ou engagée et R la courbe réalisée, la seule considération de ces deux courbes ne permet pas de discerner l'écart sur le budget et le décalage sur le planning (figures n°2—19 et 2—21).

L'examen de la courbe Q représentant l'évolution du budget prévue en fonction de celle du temps réalisé pour les différentes tranches de travaux, rend possible cette analyse en fixant la variable budget par rapport à la variable temps.

Pour une date précise, la position de la courbe Q permet de déterminer l'écart sur le budget en prolongeant la parallèle à l'ordonnée juqu'à la courbe R.

Le décalage sur le planning s'obtient en prolongeant la parallèle à l'abscisse jusqu'à la courbe P. Les vecteurs de situation sont tracés à partir de ces composantes.

—Tracé des courbes polaires d'évolution.

Ces courbes sont décrites par les extrémités des vecteurs de situation du projet à différentes dates dans un repère dont l'origine représente la situation d'équilibre (ni perte, ni gain, ni retard, ni avance).

6.3.Evolution des projets Biva1 et Biva2.

— Biva1 :

Les tableaux n°2—14 et 2—15 permettent de tracer une courbe Q lissée, à partir des coordonnées suivantes:

phase du projet	temps réalisé semaines	budget prévu % cumulé
démarches	5	1,6 10—2
études	40	1,1 10—1
géophysique, piézométrie	48,5	1,8
puits	78,5	26,8
	87,5	33
étude des réseaux	96,5	33
station de pompage	122	99,7
réalisation du réseau	163,5	133

La courbe Q correspond essentiellement à un artifice de calcul, si l'on voulait lui donner une signification réelle, on pourrait raisonner de la manière suivante : A un certain stade du projet, on ne doit pas dépasser un certain pourcentage du budget initial prévu, quel que soit le temps réalisé.

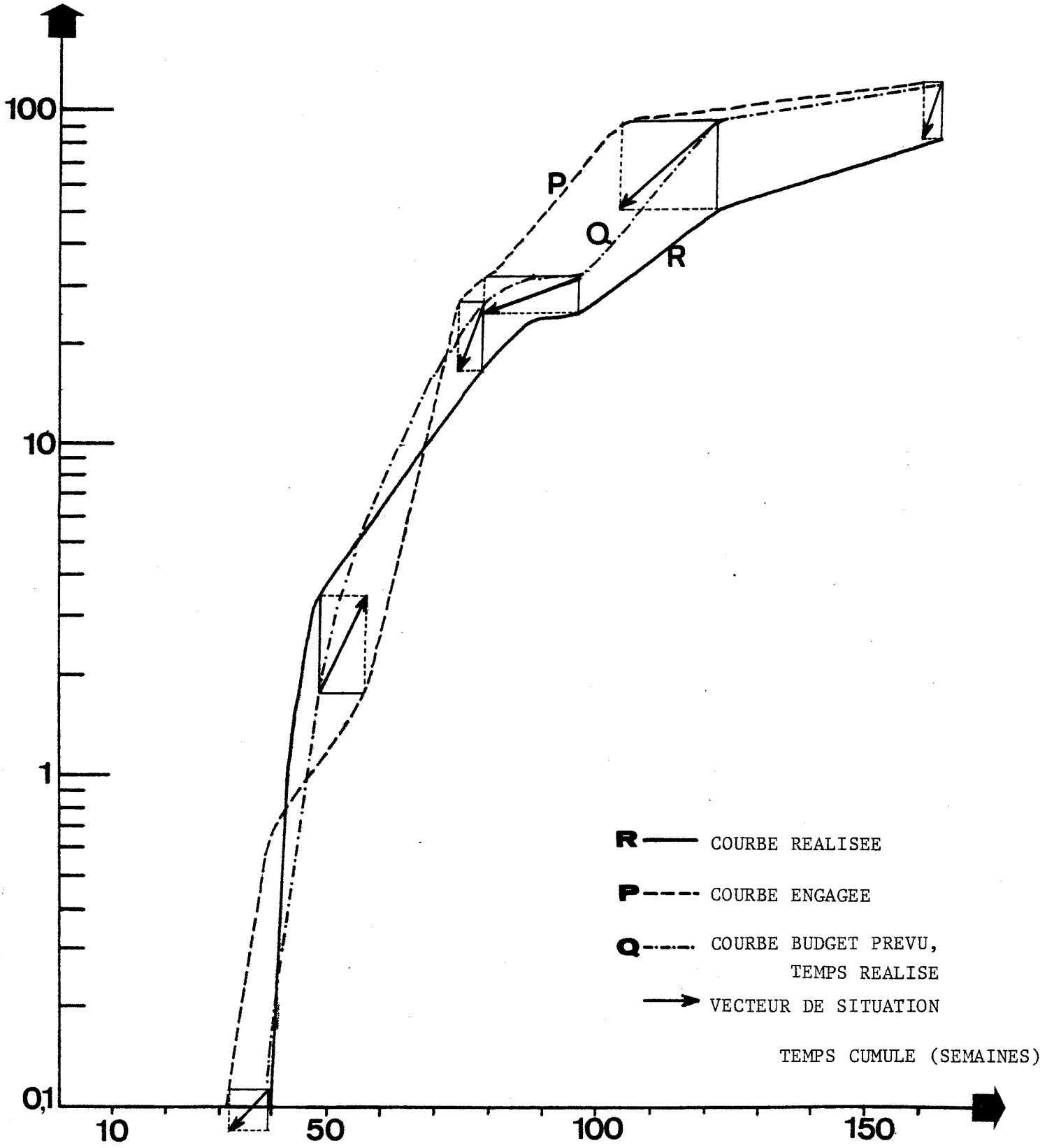
Le même raisonnement pourrait être tenu avec la courbe du budget réalisé en fonction du temps prévu: quelle que soit la somme dépensée, les délais doivent être respectés.

figure n°2—19

ANALYSE DES COURBES LISSEES, REALISEE ET ENGAGEE

BIVA 1

DEPENSES EN % CUMULE
DU BUDGET INITIAL : 9000 KF



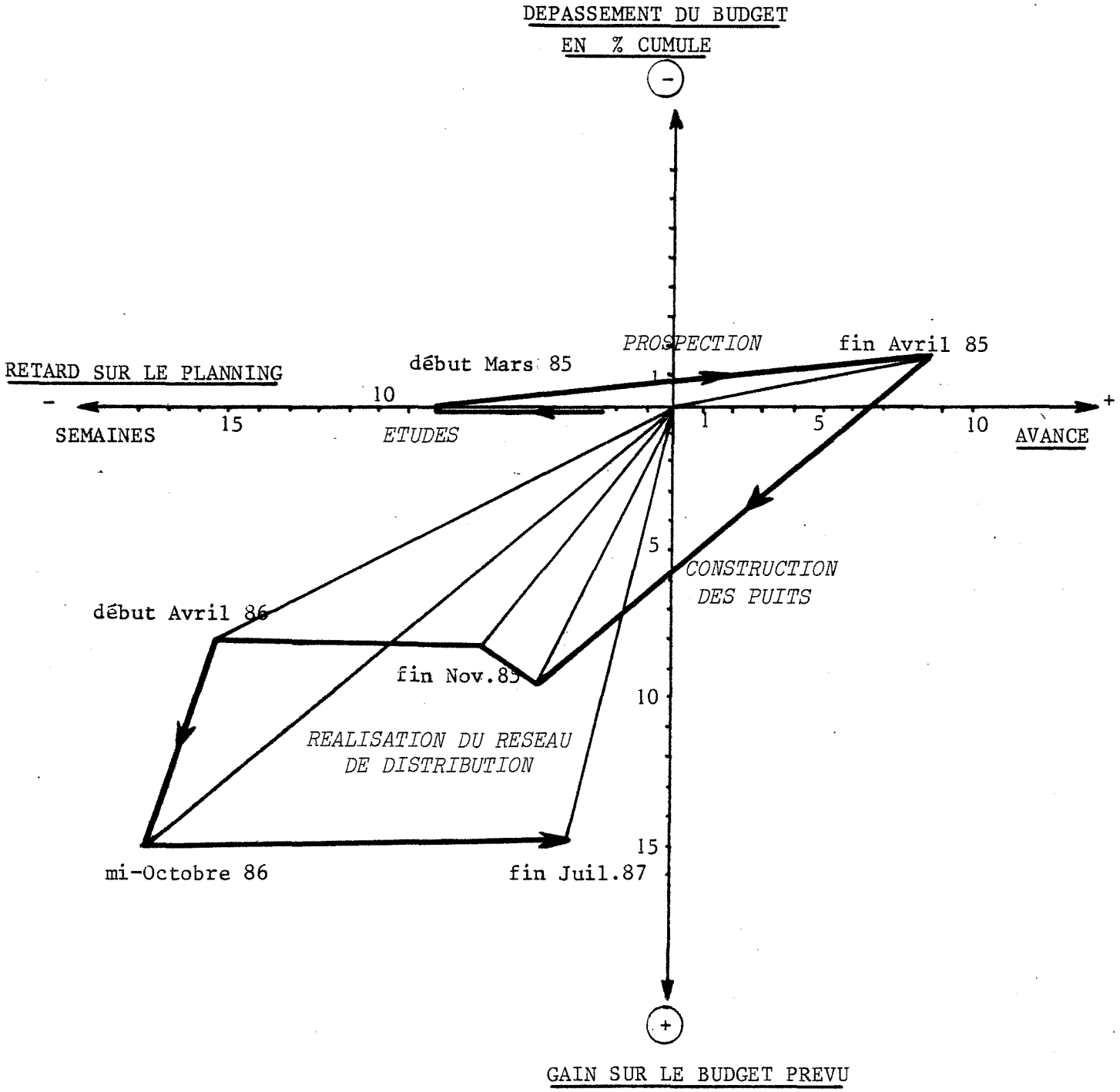
date de situation	planning semaines		budget % cumulé	
	avance	retard	gain	dépassement
20 mai 84				
2,5 semaines mi-juin 84		2,5	$10,5\ 10^{-3}$	
40 semaines début Mars 85		8	$2,6\ 10^{-2}$	
48,5 semaines fin Avril 85	8,5			1,7
78,5 semaines fin Novembre85		4,5	9,5	
87,5 semaines fin Janvier 86		6,5	8,1	
96,5 semaines début Avril 86		15,5	7,9	
122 semaines mi-Octobre 86		18	15	
163,5 semaines fin Juillet 87		3,5	14,6	

La situation du projet est plutôt défavorable au départ, pour les phases d'études et de prospection (figure n°2—20). Elle se redresse ensuite au cours de la réalisation des ouvrages de distribution (puits et réseaux), puisqu'un gain d'environ 15 % est réalisé par rapport au budget initialement prévu (11977 kf), ce dernier étant supérieur au budget attribué en début de session (9000 kf). Le réseau d'irrigation de Faramans n'ayant pas été construit, les gains réalisés suffiront—ils à réaliser cette dernière phase du projet et à payer les 3,5 semaines de retard ?

Le projet se termine fin juillet 86, ce qui est une mauvaise date car la saison sèche a déjà débuté et les délais de mise en service (mise sous pression, essais,..) risquent de retarder l'irrigation en aout.

figure n°2—20

COURBE POLAIRE D'EVOLUTION
DU PROJET BIVA 1



—Projet Biva2 :

Contrairement au projet Biva1, les phases d'études et de prospection mettent le projet Biva2 en bonne situation jusqu'au début de l'année 85. La courbe polaire traverse le cadran favorable du diagramme (avance sur le planning et gain sur le budget).

Cela peut paraître normal, étant donné la présence d'un professionnel (hydrogéologue), au sein du groupe d'individus responsables du projet. La création d'un troisième puits situé à l'Est de la commune de Pajay (P 203), permise par une avance sur le planning qui sera conservée d'ailleurs jusqu'en aout 85 (10 semaines), provoque cependant un dépassement du budget prévu (4,1%).

Ce dépassement temporaire du budget sera compensé au cours des phases suivantes (réalisation des ouvrages de distribution), par un gain sur le budget prévu qui atteint 25% à la fin du projet, c'est—à—dire en mi—aout 86. Mais le réseau d'irrigation sur le périmètre de La Côte Saint—André n'a pas été réalisé. En situation finale le retard est de trois semaines (figure n°2—22) et là aussi la saison d'irrigation 86 est manquée.

A 1000 kf près, les 25 % de gain sur le budget initial (9000 kf) permettraient peut—être, dans ces conditions la réalisation du troisième périmètre d'irrigation.

6.4.Intéret de cette analyse?

Le but de cette analyse n'est pas de vouloir comparer les performances des différents projeteurs car non seulement les projets d'irrigation traités ne sont pas tous identiques, mais de surcroît leur évolution est basée sur des programmes prévisionnels différents.

Il sera donc impossible de dire si Biva2 est meilleure que Biva1. L'intérêt se situe donc d'abord au niveau pédagogique. La présence d'un spécialiste compétent qui accepte de "jouer le jeu" au sein d'un groupe de projeteurs est nettement profitable. Son expérience et sa connaissance ont laissé leur trace au niveau des résultats du projet Biva2 (phases d'études et de prospection), elles ont aussi permis de rectifier instantanément quelques données de coûts erronées dont disposaient les projeteurs.

La même erreur a été commise pour les projets Biva1 et Biva2, les dates de fin de projet se situent en pleine saison d'irrigation. Sur les deux réseaux exécutés par chaque groupe, il y en a au moins un inutilisable durant l'été 86. Sans les délais (3 à 3,5 semaines), cela aurait été possible, au moins pour Biva1. Ces délais n'ont donc pas été prévus au cours de l'étude prévisionnelle.

Un autre intérêt de l'analyse des courbes réalisées et relevant plus de l'aide à la décision est de pouvoir mieux déterminer le coût du projet dans son ensemble en tenant compte des écarts produits par des évènements aléatoires plus ou moins bien résolus par les projeteurs selon leur niveau de compétence.

figure n°2-21 ANALYSE DES COURBES LISSEES, REALISEE ET ENGAGEE

BIVA 2

DEPENSES EN % CUMULE

DU BUDGET INITIAL : 9000 KF.

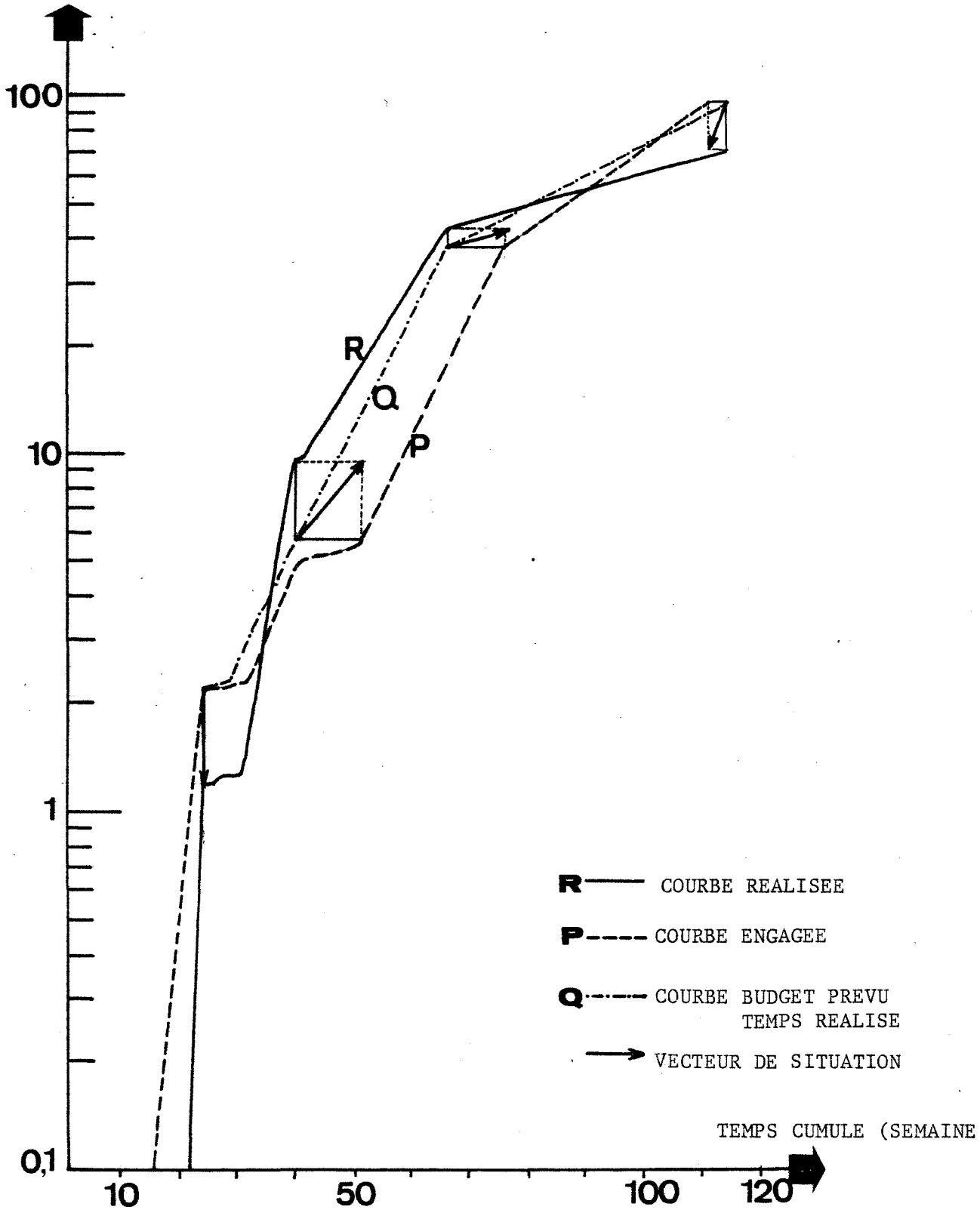
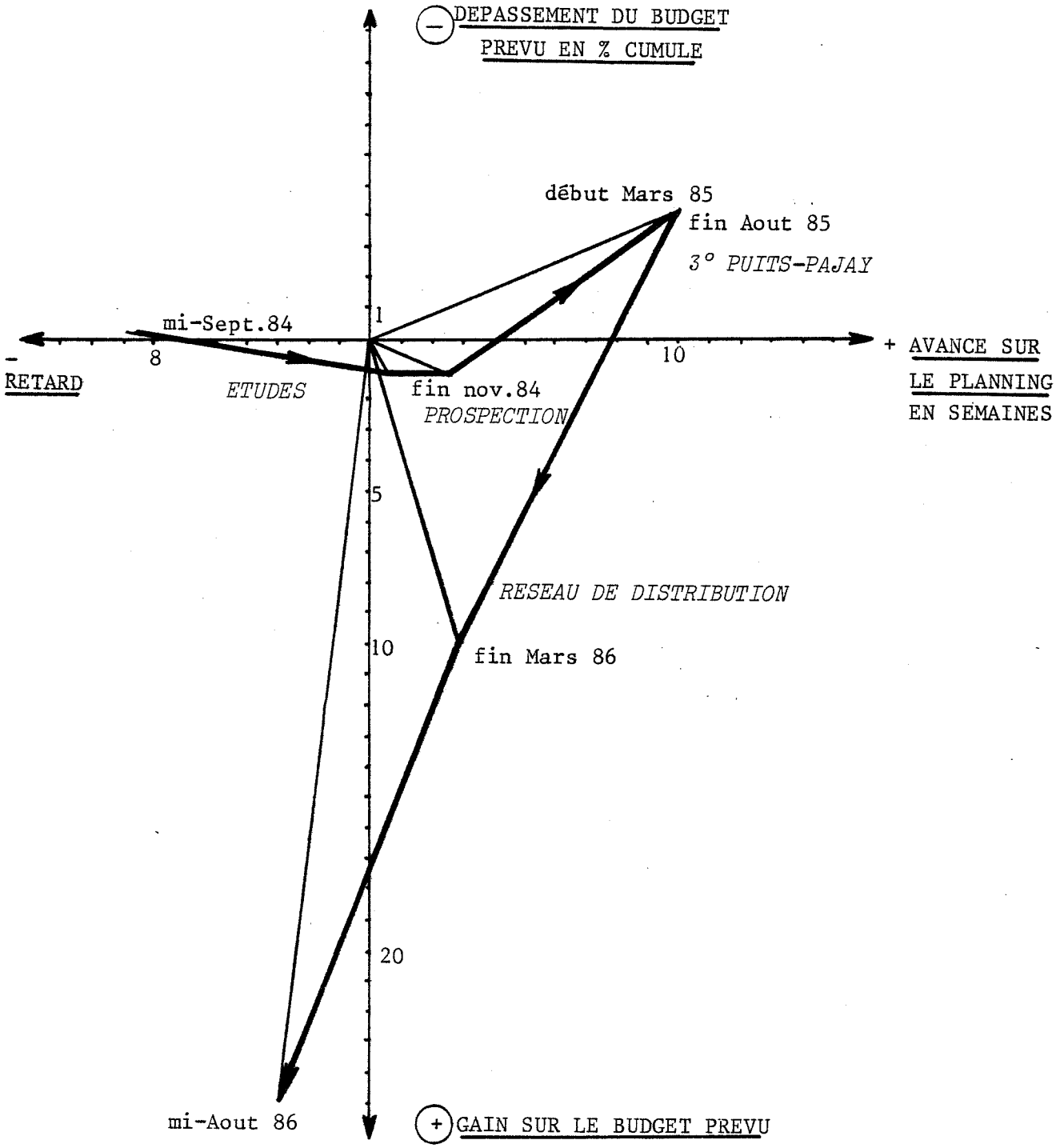


figure n°2—22

COURBE POLAIRE D'EVOLUTION
DU PROJET BIVA 2



En l'occurrence, ce niveau de compétence correspond à celui de jeunes ingénieurs généralistes aidés par un ou deux spécialistes en hydrogéologie et en économie.

Si l'on considère que chaque périmètre d'irrigation constitue une entité indépendante mais que la stratégie globale de réalisation des projets simulés est relativement identique, il est alors possible, à partir des résultats obtenus, d'envisager un budget nécessaire plus élevé (11000 kf) correspondant au coût présumé de l'ensemble du projet.

CHAPITRE 7: PRIX ET TARIFICATION DE L'EAU GESTION ADMINISTRATIVE ET FINANCIERE des réseaux d'irrigation

7.1.Généralités.

La gestion administrative et financière d'un réseau d'irrigation pourrait être tout à fait comparable à celle de tout autre réseau de distribution d'eau, on y trouve toujours en dehors des problèmes de gestion technique les problèmes liés à l'équilibre financier.

Un réseau d'irrigation se distingue des autres réseaux, par l'irrégularité des besoins en eau qui se situent surtout pendant la période sèche de l'année. Pendant le reste de l'année, le réseau ne fonctionne pas. Les volumes d'eau mis en jeu sont variables, ils sont liés étroitement aux circonstances météorologiques mais aussi à l'utilisation qui en est faite (évolution des cultures).

La gestion financière doit donc être très stricte, nous avons vu que les tendances à long terme sont très difficiles à dégager compte tenu de l'économie agricole, ainsi que les tendances à court terme, compte tenu de la pluviométrie.

Pour tous les projets traités au cours de cette expérience de simulation, les réseaux sont gérés par la structure administrative que représente le groupement d'agriculteurs concernés (ASA: Association Syndicale Autorisée), parfois conseillée par les instances administratives locales (DDAF).

Gestion financière

Les dépenses sont généralement classées en deux catégories: les dépenses d'investissement qui servent à construire et à renforcer ultérieurement l'ensemble du réseau, et les dépenses de fonctionnement (entretien, réparations, remplacement à l'identique).

Le prix de vente de l'eau doit d'abord prendre en compte deux points fondamentaux:

—L'adhérent veut savoir avant d'irriguer, ce qu'il va payer.

—Les redevances perçues auprès des adhérents ne doivent pas être trop élevées pour ne pas décourager les adhérents potentiels, elle ne doivent pas être trop basses non plus ce qui provoquerait un déficit devant être résorbé l'année suivante.

*Etablissement de la tarification

La tarification doit être conçue de manière à couvrir les dépenses pour lesquelles il est indispensable d'établir un budget prévisionnel. La campagne d'arrosage se situant en cours d'année, on raisonnera par année.

Les procédés de tarification sont multiples:

— *tarification au forfait unique* par adhérent, par borne ou par prise. Ce système a pour inconvénient de ne pas pouvoir contrôler d'éventuels gaspillages d'eau.

— *tarification au mètre cube d'eau consommé*: l'adhérent paie en fonction de sa consommation, mais si les hypothèses de consommation qui ont servi de base à cette tarification sont plus optimistes que la réalité, il y aura un déficit important. De plus, les investissements nécessaires à l'amont d'une borne de 5 l/s ne sont pas les mêmes pour une borne de 35 l/s, la notion de *débit instantané* n'intervient donc pas.

Il est donc souhaitable d'adopter un système de tarification qui réunisse les avantages des deux précités, c'est à dire une tarification dite binôme basée sur les mètres cubes d'eau réellement consommés et sur le débit instantané de la borne. Pour cela une unité a été définie : l'unité de débit, est un débit de 2,8 l/s soit 10 m3/h (main d'eau). Cette tarification reflète bien le fonctionnement et la construction du réseau.

Sans faire intervenir à proprement parler cette notion de débit instantané, le type de tarification retenu par les projets Biva1 et Biva2 pour le périmètre de Pajay comporte aussi deux termes. Il distingue une part fixe à payer par l'agriculteur en fonction du nombre d'hectares souscrits et une part variable, fonction des mètres cubes d'eau consommés.

Mais il faut spécifier que les charges ne doivent pas être seulement réparties au prorata des surfaces irriguées, elles doivent être également calculées à partir des surfaces équipées des exploitants desservis.

En fait, le système de tarification idéal, s'il existe, doit faire intervenir un terme supplémentaire destiné à couvrir les hypothèses de consommation établies pour l'exercice en cours, c'est à dire un forfait de consommation souscrit par chaque adhérent, au début de la saison d'irrigation (mètres cubes par unité de débit ou par hectare).

Calcul de la tarification

Parmi les dépenses de la collectivité doivent apparaître:

—les annuités d'emprunt,

—les frais de personnel administratif (secrétariat, surveillance, relations avec les adhérents), qui seront ici, relativement réduits.

—les frais de personnel technique (entretien, réparations, relevés des compteurs), inférieurs à ceux qu'impose une irrigation de surface.

—les frais d'énergie électrique

—dépenses fixes :abonnements

—dépenses variables : kwh facturés

—pénalités: dépassement de puissance souscrite

—des dépenses diverses (véhicules, PTT, redevances assurances, etc...)

On distingue les dépenses obligatoires qui, apparaissent avant même que le réseau ne soit mis en service:

—les annuités d'emprunt, la redevance à l'agence de bassin, les autres taxes et impôts étant versés à titre individuel.

Certaines dépenses fixes apparaissent sans que le réseau ne fonctionne:

—les frais du personnel chargé de l'entretien

—l'abonnement à EDF.

Dès que le réseau fonctionne, il y a des dépenses variables:

—consommation d'énergie électrique,...

On peut alors instaurer une prime fixe couvrant les dépenses obligées en francs par hectare souscrit ou par unité de débit souscrite, un forfait de consommation en mètres cubes par unité de débit pour couvrir les hypothèses de consommation et couvrant les dépenses fixes et la majeure partie des dépenses variables et enfin, facturer les mètres cubes supplémentaires consommés.

Pour l'adhérent, la prime fixe représente la part qu'il devra verser même s'il n'est plus utilisateur. En effet dans le cadre d'une association d'agriculteurs, ce sont les adhérents qui sont garants du remboursement des emprunts.

Si les trois projets d'irrigation de Pajay, de Faramans et de La Côte Saint—André étaient regroupés en un syndicat de commune, ce sont les communes qui pourraient être garantes de ces remboursements.

Echéanciers, Fonds de roulement.

Une fois la tarification établie, la collectivité doit s'interroger pour savoir quand il faut facturer :

L'adhérent ne doit recevoir de facture que s'il est en mesure de les payer. S'il utilise l'eau pour irriguer ses cultures de tabac, il serait inopportun de la lui facturer avant qu'il ait pu vendre son tabac.

La prime fixe peut être facturée avant le relevé des compteurs, par contre la consommation ne peut l'être qu'après.

La collectivité a un échéancier des dépenses, certaines sont à payer en une seule fois, d'autres sont réglées trimestriellement ou mensuellement, par contre la facturation de l'eau ne peut être mensuelle. Il ya donc toujours un certain délai entre l'émission des factures et leur recouvrement. A ce sujet, la chasse aux impayés doit être systématique, plus les impayés sont anciens, plus ils sont difficiles à recouvrer.

Pour satisfaire ces différentes préoccupations, trois facturations par an seraient envisageables :

—Les primes fixes en début de saison d'irrigation
—Les forfaits trois mois plus tard
—Les excédents après le relevé des compteurs.

En fonction du recouvrement de ces factures qui devraient être payées intégralement deux mois après leur émission, le fonds de roulement de la collectivité peut être déterminé.

La gestion financière doit donc être continue pour ajuster le prix de l'eau au fil des saisons d'irrigation, en fonction de l'évolution des consommations et de l'état du système de distribution. Le prix de vente de l'eau doit être envisagé de manière transitoire, les résultats que proposent les projets Biva1 et Biva2 concernent la première année de service du réseau de Pajay.

7.2.Tarification de l'eau pour les projets Biva1 et Biva2.

Bien que la comparaison avec la réalité soit difficile puisque les périmètres équipés et les emprunts ne sont pas tout—à—fait identiques, le système de tarification adopté pour les deux projets propose des cotisations et des prix de l'eau voisins de ceux pratiqués dans la réalité et prévus sur le périmètre d'irrigation de Pajay. Ces prix, hors—taxes et non actualisés (francs 84), ont été établis pour la première année d'irrigation (86 pour Biva2 et 87 pour Biva1) . Pour le projet Biva1, si le nombre d'abonnés augmente de 40 % au bout de deux ans, la cotisation annuelle pourra s'abaisser jusqu'à 1320 frcs/ha et le prix de l'eau sera de 23 cts/m3.

Cependant, ce système de tarification ne prévoit pas de part forfaitaire relative aux volumes souscrits par les agriculteurs, ce qui garantirait les hypothèses de consommation.

tableau n°2—16

CALCUL DU PRIX DE L'EAU POUR LES PROJETS SIMULES

	BIVA 1	BIVA 2
FRAIS FIXES		
Amortissement des istallations de distribution		
-puits	508 sur 50 ans	332,5 sur 20 ans
-réseau	1366 sur 50 ans	1318,2 sur 50 ans
-station de pompage	944 sur 50 ans	1600,0 sur 30 ans
-bornes d'irrigation	157 sur 50 ans	171,0 sur 50 ans
Amortissement annuel	59,5 Kf/an	99,8 Kf//an
Intéret des emprunts	1200 Kf à 11% sur 25 ans = 140 Kf/an	1200 Kf à 10% sur 20 ans couverts par le placement des subventions (2780 Kf à 12%)
Personnel Entretien Provisions EDF part fixe	80 Kf/an	40 Kf/an
Total annuel par ha pour 130 ha	2150 Kf/ha.an	1100 Kf/ha.an
FRAIS VARIABLES		
Volume distribué	253000 m^3	250000 m^3
Consommation électrique	16 cts/m^3	26 cts/m^3
Frais et taxes divers	10 cts/m^3	5 cts/m^3
Prix de l'eau	26 cts/m^3	31 cts/m^3

Remarque: *Les problème de récupération de la TVA n'ont pas été abordés, toutefois le mécanisme de récupération de cette taxe est important (délai de deux à trois mois), puisque cela conditionne, compte tenu de ces délais, l'engagement de nouvelles dépenses au cours de la réalisation du projet.*

Pour chacune des deux solutions proposées, le coût d'achat des compteurs indispensables à la mesure des volumes consommés n'apparaît pas clairement.

Pour le projet Biva1, l'ensemble de l'équipement est amorti sur 50 ans, alors que certains matériels (pompes variables, régulateur de pression,..), dont le coût détaillé est rarement mentionné, doivent être renouvelés plus tôt.

Pour le projet Biva2, le placement des subventions a soulevé de vives critiques au cours de la présentation des résultats, mais le problème reste toutefois posé car la législation ne fait pas état d'interdits dans ce domaine....

Ce projet pour lequel l'investissement par hectare est le plus élevé, propose une cotisation annuelle nettement plus avantageuse; ceci en retirant les revenus du placement "illicite" des subventions. Par contre, le prix de l'eau au mètre cube consommé est supérieur de 5 centimes. Les dépenses fixes sont réduites au minimum, aucune provision pour parer aux incidents n'est prévue et l'entretien du réseau devra être assuré par l'un des adhérents.

Cette politique du prix de l'eau doit inciter les agriculteurs à adhérer à l'association d'irrigation. Le montant relativement bas de la cotisation, doit provoquer l'augmentation des mètres cubes distribués après la première année, tout en couvrant les dépenses annuelles obligatoires et fixes (intérêts d'emprunts et amortissement). Cela est techniquement possible puisque la surface qu'il est prévu d'équiper est de 184 hectares.

La politique menée par Biva1 est différente et le coût élevé de la prime fixe peut constituer un obstacle à de nouvelles souscriptions. Le réseau risque de rester "surdimensionné" puisqu'il est prévu pour équiper 167 hectares. En revanche, si le dynamisme de l'agriculteur est plus sensible à l'augmentation de revenu agricole que peut lui procurer le développement de cultures irriguées plus rentables, il adhèrera au syndicat. Les recettes plus élevées de la prime fixe permettront d'étendre encore le réseau ou de développer le confort de la distribution.

Conclusion sur la simulation de projets d'irrigation

Intérêt pédagogique

En fonction des avis émis au cours de la dernière journée d'évaluation de ce séminaire, le bilan pédagogique d'une telle expérience de simulation s'avère positif. Le premier objectif à atteindre est effectivement d'apporter aux futurs ingénieurs responsables de ce genre de projet, une maîtrise des problèmes qu'il devront résoudre, face à un système aussi complexe que celui du domaine de l'eau, à travers des projets d'irrigation ou d'alimentation en eau potable.

A la suite de ces premières simulations de projets d'irrigation, quelques points restaient à améliorer et notamment la prise en compte de données agronomiques et pédologiques pour un meilleur calcul des besoins en eau d'irrigation.

D'autres données sur les forages existants devaient être acquises, celles relatives aux coûts des forages devaient être actualisées. Ces améliorations ont été effectuées pour les simulations ultérieures, mais il reste encore à améliorer le tracé automatique des plans parcellaires (sur traceur de type Benson) intégrant la conversion d'échelle et le calcul des surfaces. A l'heure actuelle, l'homogénéïsation du support informatique est réalisée sur micro—ordinateur Victor VI compatible IBM PC sur lequel pourront fonctionner dorénavant, tous les algorithmes nécessaires aux simulations.

Intérêt du système pour l'aide à la décision.

Le système MISE à ce stade de développement n'est pas un outil d'aide à la décision, il participe à un processus évolué de décision en simulant **une ou plusieurs** solutions de projet. Pour les construire, le système propose à l'utilisateur des informations relatives aux différents domaines de spécialité intervenant dans ces projets et parmi lesquels certains sont utilisés aussi pour les projets d'alimentation en eau potable (hydrogéologie, géophysique). D'autres domaines d'activité plus spécifiques à l'irrigation, sont abordés par le système MISE. Il s'agit de l'agronomie, de la pédologie, de la conception et du calcul des réseaux d'irrigation. Il était donc intéressant d'analyser le comportement du système par rapport à l'emploi de nouveaux outils, les résultats de cette expérience montrent qu'il peut s'adapter à la simulation de ce type de projet.

La simulation du projet réel de La Côte Saint—André dont la réalisation doit permettre une première saison d'irrigation en 1987, favorise une utilisation motivée du système MISE et revêt un intérêt particulièrement marqué pour les agriculteurs qui assistent aux sessions d'évaluation. La simulation qui intègre l'ensemble des autres périmètres, a permis d'affiner l'étude de certains secteurs des plaines du Liers et de la Bièvre pour une gestion des ressources en eau à l'échelle de la région de la plaine de Bièvre—Valloire.

Les prélèvements d'eu souterraine par pompage pour la réalisation des périmètres d'irrigation de La Côte Saint—André et de Pajay, ne remettent pas en cause les ressources de l'aquifère dans ce secteur cependant les possibilités d'exploitation de la nappe sont plus limitées à l'Ouest et au Nord de Pajay. Ces résultats qui devraient être confirmés par d'autres simulations, intéressent plus particulièrement les autres décideurs responsables de ces projets (SRAE Rhône—Alpes, DDAF de l'Isère et de la Drôme).

Pour évaluer les résultats relatifs à chaque projet, en distinguant différentes stratégies de réalisation et pour mesurer leurs conséquences sur la réussite et le coût des projets, il faut procéder à d'autres expériences de simulation. Quatre autres expériences ont été réalisées à la suite de celle ci, l'analyse des résultats permet d'en déduire des règles de décision tactiques et stratégiques pour réaliser ces projets, elles font l'objet du chapitre 3 de la troisième partie. Depuis 1984, les objectifs de ces projets d'irrigation ont été modifiés, l'évolution du plan parcellaire a été prise en compte pour les expériences de simulation ultérieures.

La participation de professionnels du domaine de l'eau intervenant dans ces projets, aussi bien au stade de la préparation que pendant le déroulement de la simulation assure la crédibilité des résultats mais ne se limite pas à une fonction de contrôle. Chacune de leurs interventions permet à l'apprenant et au système lui même, de conserver des éléments de leurs connaissances et de leur savoir—faire. Leur présence avec celle des apprenants, reste indispensable pour enrichir et améliorer le modèle MISE.

Aprés avoir montré comment le système MISE permet de simuler des projets d'alimentation en eau potable (Graillot, 1983) et d'irrigation nous étudierons la phase de préparation nécessaire à l'adaptation de ce système aux projets d'assainissement pour petites collectivités.

L'adaptation du système MISE à ce type de problème, complètera la gamme de projets qu'il lui est possible de traiter pour des objectifs d'aménagement en eau des petites et moyennes collectivités.

PARTIE 2B

ADAPTATION DU SYSTEME MISE A UN PROJET D'ASSAINISSEMENT POUR PETITES COLLECTIVITES

figure n°2–23

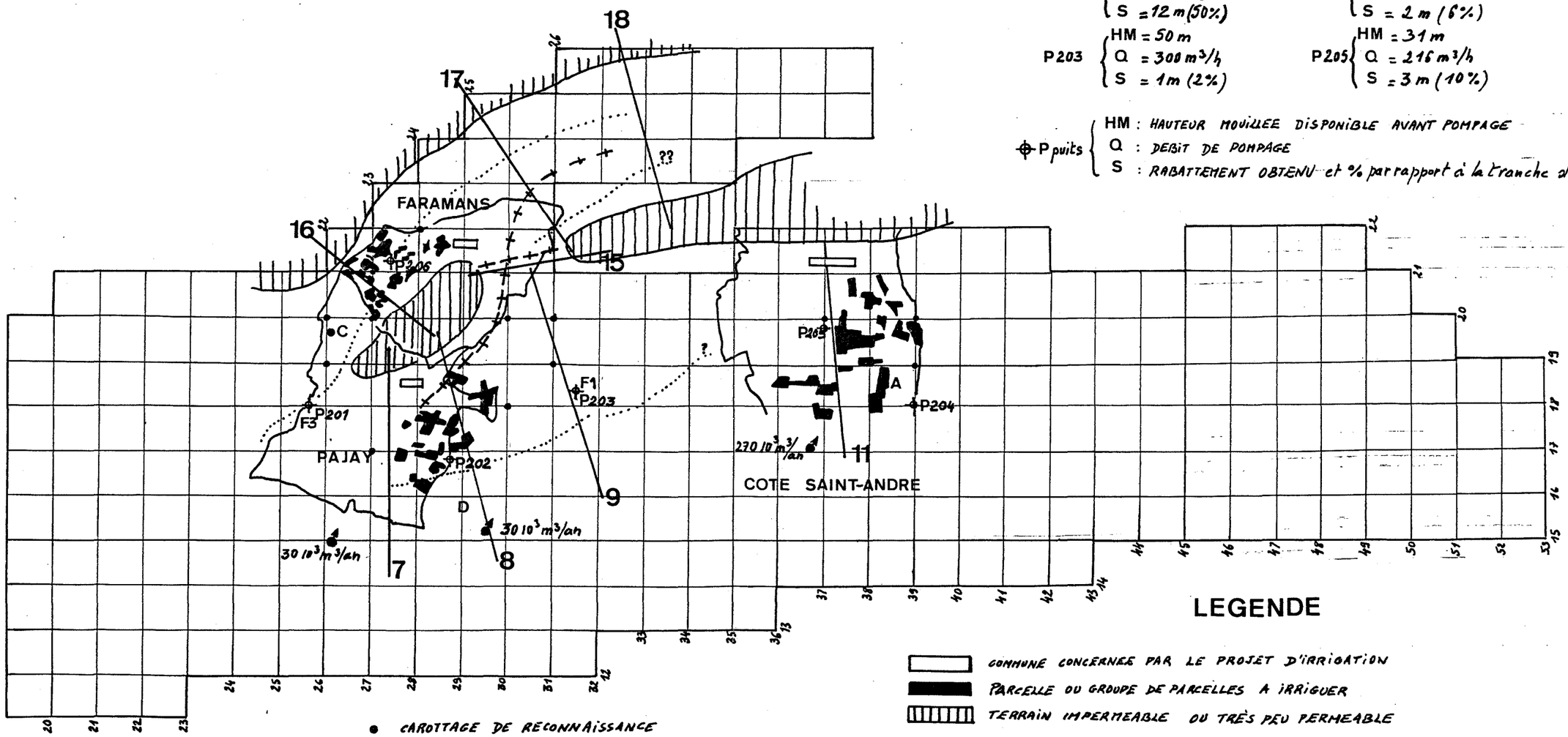
STRATEGIE DE PROSPECTION ET PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU

BIVA2 MAI-84

ECHELLE : 0 1KM

P201 { HM = 29 m ; Q = 200 m³/h ; S = 6 m (21%) }
P202 { HM = 24 m ; Q = 250 m³/h ; S = 12 m (50%) }
P203 { HM = 50 m ; Q = 300 m³/h ; S = 1 m (2%) }
P204 { HM = 37 m ; Q = 216 m³/h ; S = 2 m (6%) }
P205 { HM = 31 m ; Q = 216 m³/h ; S = 3 m (10%) }
P206 { HM = 29 m ; Q = 216 m³/h ; S = 6 m (21%) }

⊕ Ppuits { HM : HAUTEUR MOUILLEE DISPONIBLE AVANT POMPAGE ; Q : DEBIT DE POMPAGE ; S : RABATTEMENT OBTENU et % par rapport à la tranche d'eau disponible. }



• CAROTTAGE DE RECONNAISSANCE

F1,F3 FORAGES DE RECONNAISSANCE EXISTANT

A,D POMPAGES S.R.A.E. NON INTEGRES A LA SIMULATION, REMPLACES PAR P202, P204, P205.

LEGENDE

- COMMUNE CONCERNEE PAR LE PROJET D'IRRIGATION
- PARCELLE OU GROUPE DE PARCELLES A IRRIGUER
- TERRAIN IMPERMEABLE OU TRÈS PEU PERMEABLE
- +++++ BOMBEMENT, REMONTEE PROBABLE DU SUBSTRATUM
- ..... VALLEE FOSSILE, CHENAL D'ECOULEMENT PRIVILEGIE, SUBSTRATUM PROFOND
- ——7 PROFIL DE SONDAGES ELECTRIQUES, RECONNAISSANCE GEOPHYSIQUE
- •C POMPAGE S.R.A.E. prévu et intégré à la SIMULATION
- EXHAURES AEP DU SECTEUR D'ETUDE.

CHAPITRE 1: L'INTERET DE LA SIMULATION DES PROJETS D'ASSAINISSEMENT POUR PETITES COLLECTIVITES.

Après avoir traité des problèmes d'alimentation en eau potable et d'irrigation, le développement d'un MISE assainissement s'inscrit dans la politique actuelle pour répondre aux soucis des responsables de nombreuses petites collectivités.

En effet, jusqu'à présent priorité avait été accordée, en raison de son importance pour la santé publique, à l'alimentation en eau potable des populations par une distribution publique surveillée par la collectivité. Aujourd'hui, ce problème étant en général résolu, les responsables des petites collectivités sont confrontés au problème de l'assainissement, trop souvent considéré auparavant comme le "parent pauvre" des équipements communaux. Il prend aujourd'hui toute sa valeur en raison de la prise de conscience de l'importance de l'hygiène publique et de la protection de l'environnement.

L'une des conclusions du colloque sur la formation continue des techniciens de l'assainissement organisé par l'O.M.S du 22 au 25 Avril 1986 à Nancy, est que la collectivité internationale doit mettre en oeuvre une coopération permettant d'améliorer la conception et la gestion des installations notamment dans les zones rurales des pays industrialisés et dans les pays en développement.

Les solutions à apporter aujourd'hui aux responsables des petites collectivités sont de deux ordres :

— répondre au développement d'un habitat diffus qui caractérise souvent le besoin de posséder une maison individuelle.

— pallier la déception engendrée par le résultat décevant de l'effort consenti il y a quelques années, pour réaliser à grand frais un réseau d'égouts et une station d'épuration.

Dans le premier cas, le terrain est vierge et tout reste encore possible. Dans le second, il faut tenir compte des installations existantes qui ont souvent déçu à cause de la difficulté d'une exploitation correcte des stations d'épuration. Les réseaux (souvent unitaires) ont une extension qui n'est pas liée à un choix technique mais bien souvent aux possibilité financières du moment de la commune.

Depuis cette époque où l'assainissement individuel était considéré comme une solution insatisfaisante mais provisoirement acceptable dans l'attente d'un "tout—à—l'égout" et où l'assainissement collectif n'était concevable qu'avec une station d'épuration, la recherche à évolué et des techniques nouvelles et plus rustiques. Elles sont actuellement préconisées par le ministère de l'agriculture pour l'assainissement collectif des communes rurales.

Le MISE **assainissement des petites collectivité** se propose de traiter le problème à l'aide de ces techniques (lagunage, bassins d'infiltration, épandage souterrain...) qui permettent d'élaborer des projets d'assainissement pas uniquement basés sur les procédés couteux d'assainissement collectif mais en faisant la part de l'individuel et du collectif, dans un souci d'optimum technique et économique. De tels projets apportent une réponse satisfaisante à l'assainissement des très petits groupements d'habitations (<200 équivalents habitants) jusqu'alors difficiles à traiter autrement qu'en assainissement individuel.

Bien entendu, ici comme dans tous les autres sujets abordés par le système MISE, le problème est étudié de façon intégrée et prend en compte les différents niveaux de décisions intervenant dans le projet (financement, urbanisme, essais de perméabilité, qualité des eaux de surface, eutrophisation, satisfaction des usagers ...etc).

Pour démontrer l'intérêt de la démarche adoptée dans le système MISE pour résoudre le problème de l'assainissement, il est indispensable de présenter dans ses grandes lignes ce que sont l'étude et la réalisation d'un projet d'assainissement pour les petites collectivités. Nous analyserons dans le cadre de la structure du système de simulation adapté à ces problèmes, chacune des phases de ce type de projet. Puis nous examinerons les différentes étapes du système décisionnel choisi pour le projet de référence des premières simulations.

1.1.Le problème de l'assainissement des petites collectivités.

Il ne s'agit pas de traiter ici de l'assainissement au sens large du terme, c'est—à—dire d'aborder des problèmes tel que les bactéries anaérobies des fosses septiques, l'adsorption des particules sur les flocs de sulfate d'alumine dans un traitement physico—chimique, les techniques de pointe de la dépollution industrielle ou de l'assainissement des grandes cités avec réseau unitaire.

Le sujet abordé se limite à l'assainissement de petites collectivités, en particulier à l'aide de techniques rustiques telles que le lagunage, les bassins d'infiltration, l'assainissement autonome groupé.

Nous venons d'utiliser le terme d'assainissement "autonome groupé", il est indispensable que nous donnions dès à présent une définition de ce terme:

L'assainissement autonome groupé consiste à regrouper par l'intermédiaire d'un réseau d'égout de type séparatif, les effluents de plusieurs habitations pour les diriger vers un dispositif d'épuration du même type que ceux utilisés jusqu'à présent, pour l'assainissement de maisons individuelles (fosse septique + épandage souterrain).

Cette méthode parfois utilisée jusqu'à présent pour l'assainissement de quelques lotissements, campings, ensembles d'immeubles, hotels isolés (circulaire ministérielle du 17—07—84), tend à présent à se développer (en tout cas dans le bassin Loire—Bretagne) sous l'influence des agences de bassin. Elle apporte en effet une solution très satisfaisante en particulier pour l'assainissement d'un habitat diffus car :

—les regroupements qu'elle autorise peuvent aller de 2 à 200 équivalents habitants (Garancher, 1986)

—suivant les regroupements effectués, le rejet de la totalité des effluents est morcelé et assure une dispersion de la pollution qui ne se fait plus en un point unique comme dans le cas d'une station d'épuration

—de telles techniques peuvent quand le cas est favorable assurer le traitement et l'évacuation de l'effluent.

Ce troisième avantage permet donc de s'affranchir de la contrainte importante que représente la proximité d'un émissaire du réseau hydrographique de débit et de qualité permettant le rejet.

L'utilisation de cette technique ouvre donc des possibilités d'aménagement très divers tout en restant souvent moins onéreuses que le "tout collectif avec station" surtout au niveau de l'entretien des installations d'épuration qui se résume à une vidange régulière des fosses septiques (Godfroy, Lavarde 1986). Elle permet en effet une optimisation des coûts d'investissements en opérant des regroupements là où ils sont indispensables et en laissant les autres habitations en assainissement individuel.

L'assainissement autonome groupé n'est toutefois pas la seule technique permettant la combinaison des assainissements collectifs et individuels dans une même commune, on peut en effet envisager de traiter les effluents de certains regroupements d'habitations avec des techniques plus classiques telles que le lagunage ou les stations d'épuration. La liberté dans le choix des regroupements reste cependant moins grande dans ce cas, car de telles techniques ne sont fiables qu'à partir d'un minimum d'équivalents habitants et sont affligées de contraintes parfois gênantes telles que l'espace disponible pour un lagunage ou la présence d'un ruisseau pour une station d'épuration.

L'assainissement des petites collectivités se pose donc à la fois en problème simple et complexe.

Il est simple parce que le nombre d'habitations prises en compte est peu important et parce que l'inventaire de la nature des différents influents est relativement facile à faire.

Il est complexe parce que l'éventail des techniques disponibles est grand, parce que le décideur dispose de beaucoup de liberté pour "panacher" ces différentes techniques et parce que le problème n'est pas abordé uniquement sous son angle technique mais aussi sous ses angles politiques, financiers et sociaux.

1.2. Sa résolution.

La résolution du problème de l'assainissement des petites collectivités consiste à définir à partir de connaissances acquises, de savoir—faire et d'expertise quelles sont éventuellement les zones aptes à l'assainissement individuel, quels sont les différents groupements d'habitations à envisager et quelle technique d'épuration leur attribuer.

L'organisme chargé de l'étude doit donc acquérir un certain nombre de connaissances tant sur l'environnement humain que sur l'environnement naturel. Pour cela il dispose d'un certain nombre de moyens qui sont répertoriés sur la figure n°2—24. Bien entendu l'utilisation de ces moyens est modulaire et l'acquisition des données se fera au fur et à mesure de l'étude en fonction de la stratégie choisie par le décideur pour résoudre son problème.

La résolution de ce problème passe par le choix de la technique d'assainissement à attribuer à chaque habitation ou groupe d'habitations. Les techniques qui sont à la disposition du décideur sont répertoriées sur la figure n° 2—25. Ce graphe montre la complexité du problème qui se pose encore au décideur pour effectuer ce choix.

C'est ensuite grâce à son savoir faire et à son expertise, qu'il opte pour les solutions techniques qui correspondent le mieux aux données du problème. Ce niveau d'expertise se situe donc à la charnière (figure n°2—26) entre la recherche de l'information ("graphe des moyens") et le choix d'une technique ("l'arbre des techniques"), il permet de déterminer une solution de projet d'assainissement.

Les documents indispensables à la résolution définitive du problème et à la réalisation du projet sont :

—éventuellement:
- la carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel,
- un projet de valorisation des effluents et des boues.

—dans tous les cas:
- le plan d'assainissement,
- le dimensionnement du réseau et des organes d'épuration.

1.3.Le projet de référence.

Le MISE assainissement des petites collectivités comme les autres versions MISE, s'appuie, se base et se "cale" sur un projet réel déjà réalisé.

Pour l'instant, le projet de référence que nous avons choisi est en cours de réalisation, nous l'avons cependant choisi parce que nous avons pu assister à la définition de ses objectifs.

figure n°2-24

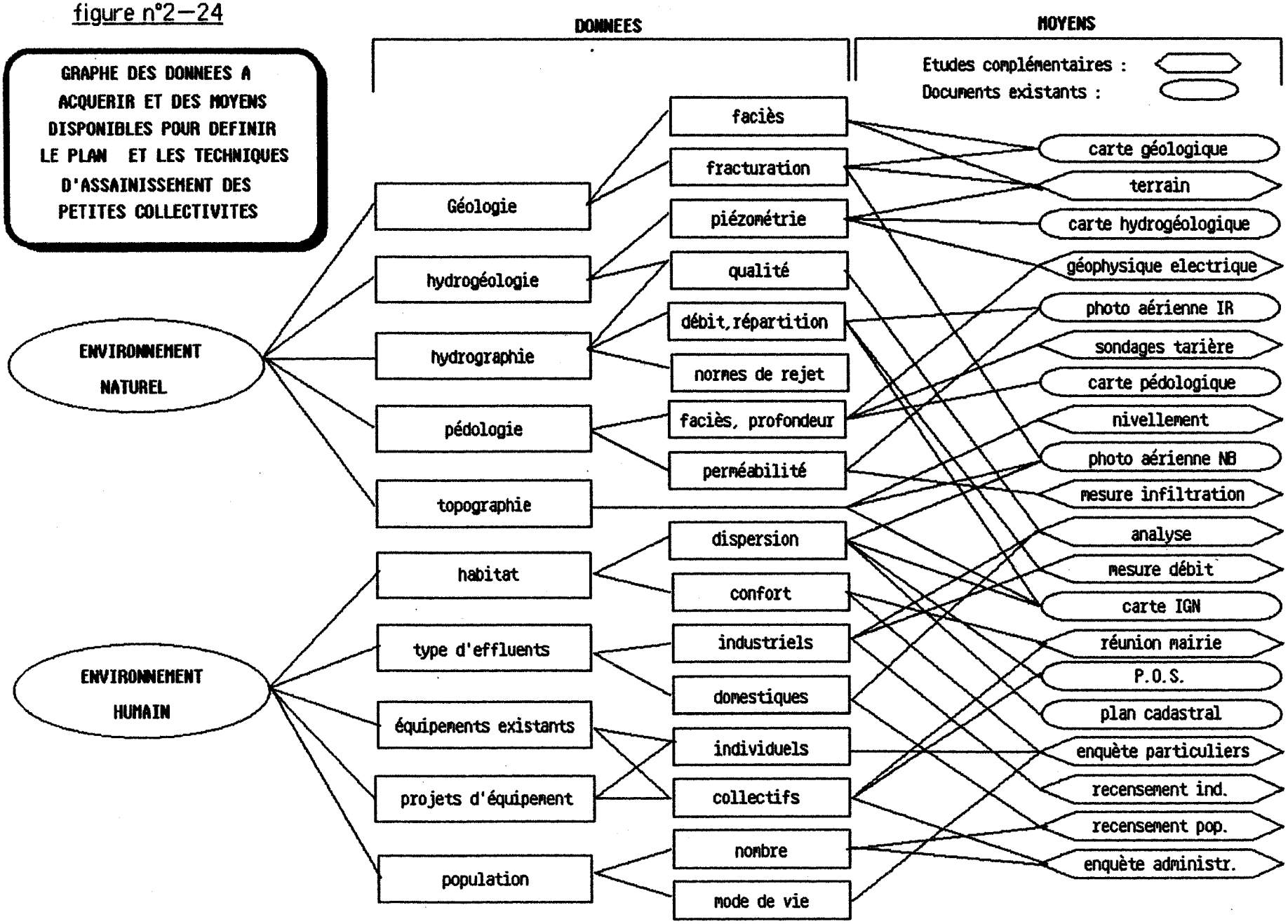

GRAPHE DES DONNEES A ACQUERIR ET DES MOYENS DISPONIBLES POUR DEFINIR LE PLAN ET LES TECHNIQUES D'ASSAINISSEMENT DES PETITES COLLECTIVITES
DONNEES
MOYENS
Etudes complémentaires :
Documents existants :
ENVIRONNEMENT NATUREL
ENVIRONNEMENT HUMAIN
Géologie
hydrogéologie
hydrographie
pédologie
topographie
habitat
type d'effluents
équipements existants
projets d'équipement
population
faciès
fracturation
piézométrie
qualité
débit,répartition
normes de rejet
faciès, profondeur
perméabilité
dispersion
confort
industriels
domestiques
individuels
collectifs
nombre
mode de vie
carte géologique
terrain
carte hydrogéologique
géophysique electrique
photo aérienne IR
sondages tarière
carte pédologique
nivellement
photo aérienne NB
mesure infiltration
analyse
mesure débit
carte IGN
réunion mairie
P.O.S.
plan cadastral
enquête particuliers
recensement ind.
recensement pop.
enquête administr.

figure n°2—25

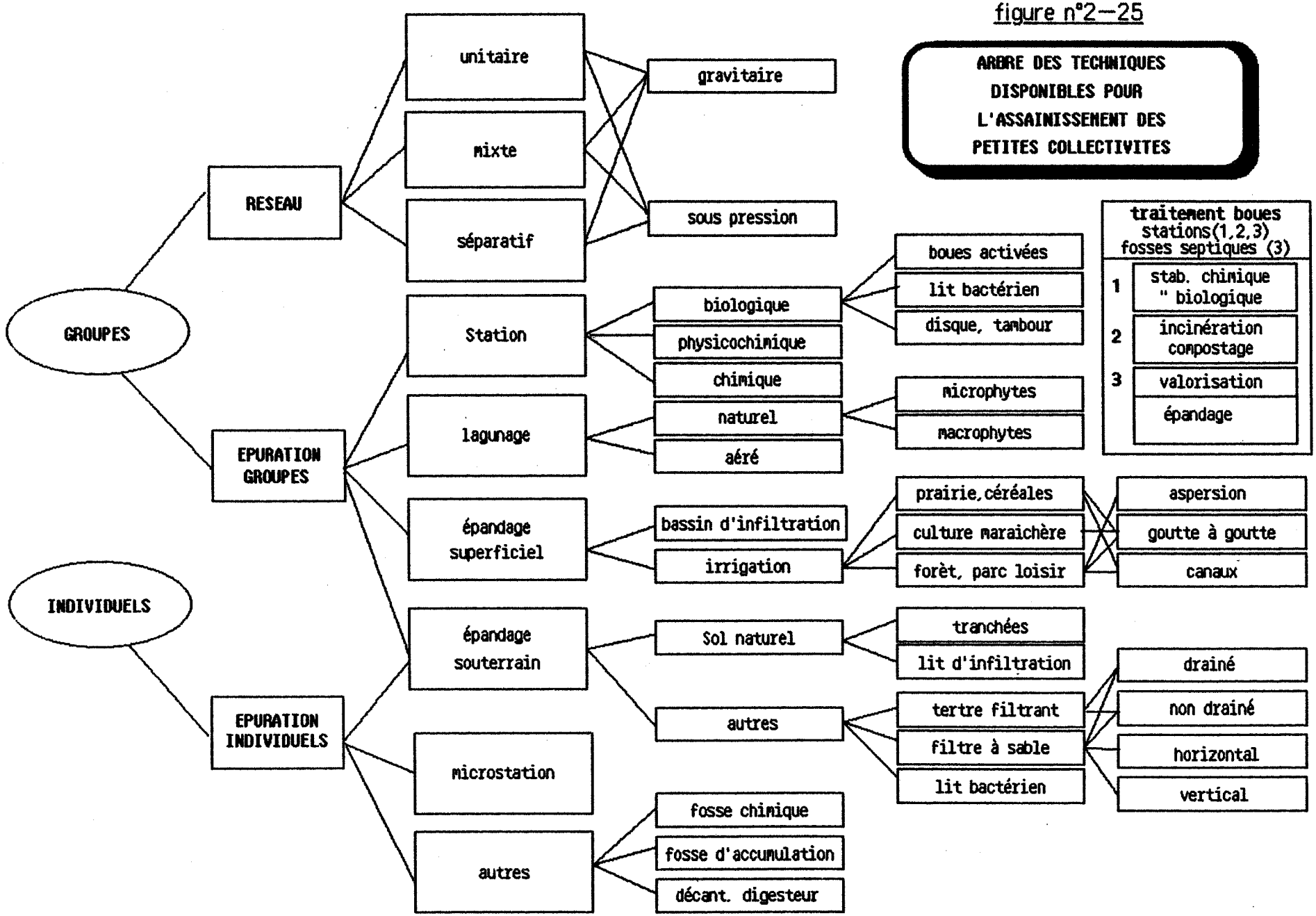
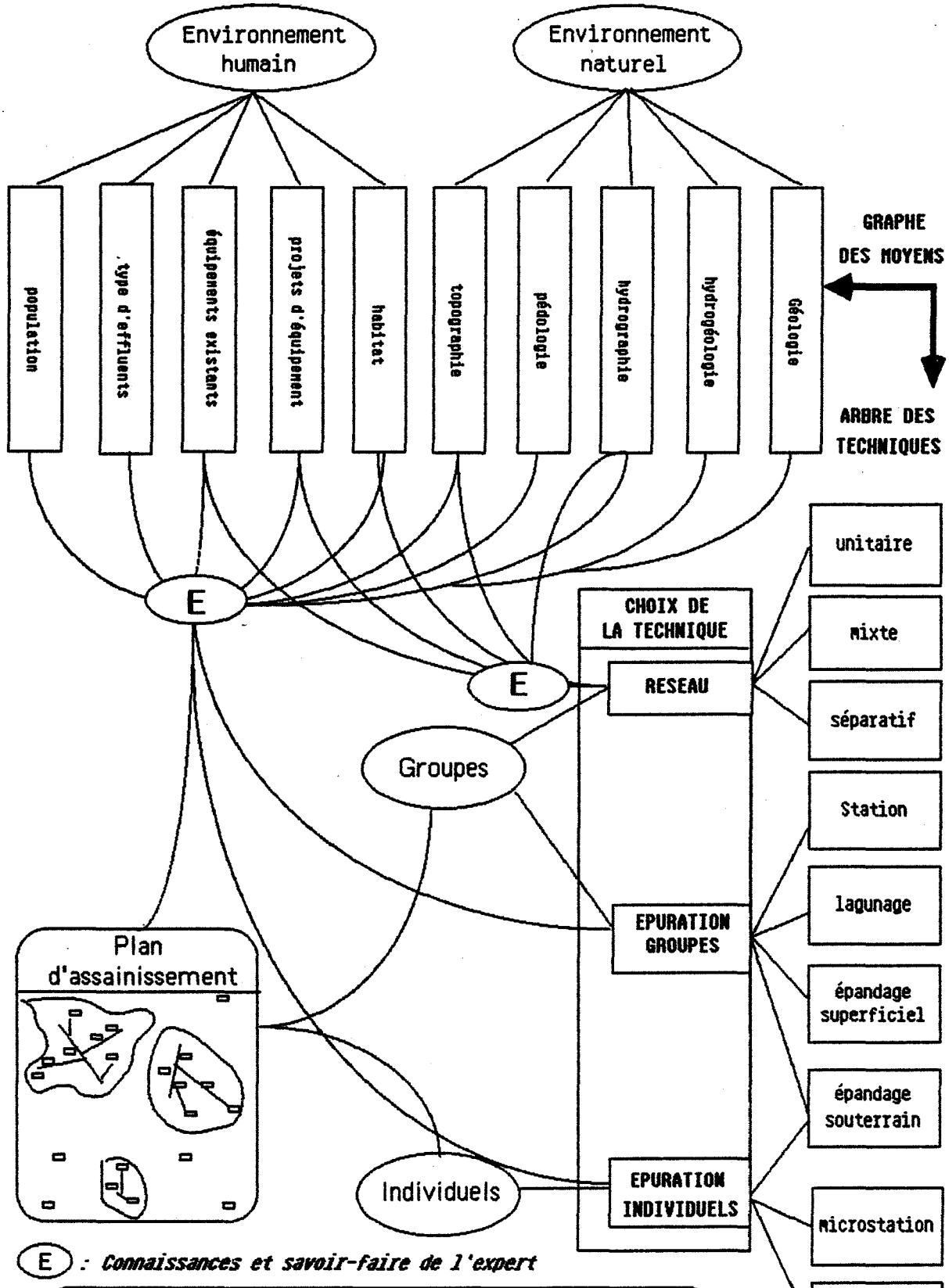

ARBRE DES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR L'ASSAINISSEMENT DES PETITES COLLECTIVITES
GROUPES
INDIVIDUELS
RESEAU
EPURATION GROUPES
EPURATION INDIVIDUELS
unitaire
mixte
séparatif
gravitaire
sous pression
Station
lagunage
épandage superficiel
épandage souterrain
microstation
autres
biologique
physicochimique
chimique
naturel
aéré
bassin d'infiltration
irrigation
Sol naturel
autres
fosse chimique
fosse d'accumulation
décant. digesteur
boues activées
lit bactérien
disque, tambour
microphytes
macrophytes
prairie,céréales
culture maraichère
forèt, parc loisir
tranchées
lit d'infiltration
tertre filtrant
filtre à sable
lit bactérien
aspersion
goutte à goutte
canaux
drainé
non drainé
horizontal
vertical
traitement boues stations(1,2,3) fosses septiques (3)
1 stab. chimique " biologique
2 incinération compostage
3 valorisation
épandage

figure n°2-26



Graphes des décisions possibles pour résoudre le problème de l'assainissement des petites collectivités

Il s'agit d'un projet de petite envergure dans la mesure où il concerne moins de 400 équivalents habitants (eq.ha), ce qui constitue pour nous un avantage puisque dans un tel contexte, il est assez aisé d'appréhender et de connaître les interactions entre les différents acteurs de la décision.

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une "opération pilote" menée dans le département de la Loire en 1986, à l'initiative de l'Agence de Bassin Loire—Bretagne et de la DDAF de la Loire, et dont l'étude a été confiée à un cabinet d'études stéphanois avec lequel nous avons travaillé en étroite collaboration. Il s'agit de l'étude de l'assainissement du bourg et de trois hameaux de la commune de Saint—Marcel de Félines située à 30Km de Roanne dans le Massif Central (Blachère—Graillot, Avenue, 1986).

1.3.1.Contexte humain, répartition de l'habitat.

La commune de Saint—Marcel de Félines présente une population essentiellement agricole répartie en une dizaine de hameaux dispersés et dont la population totale représente plus du double (419 habitants) de celle du bourg lui—même (189 habitants). Ces dernières années une bonne partie de la population s'est convertie pour aller travailler à la boyauderie du village qui a attiré des travailleurs venant d'autre communes.

Ces nouveaux arrivants ainsi que quelques citadins ayant choisi d'avoir ici une maison de campagne, ont contribué à l'extension de l'habitat de la commune. Toutefois, aucun des terrains proches du bourg n'ayant pu être acheté (ils appartiennent tous au même propriétaire qui refuse de vendre ses terrains), ce sont les hameaux les plus voisins qui ont accueilli les nouvelles constructions.

La population concernée par le projet est donc très diversifiée:

— la population agricole est présente à plein temps dans des habitations dont le confort est souvent sommaire,

—la population ouvrière est soumise à des horaires limitant son temps de présence à la maison, les habitations présentent un bon niveau de confort.

—la population citadine n'est présente que quelques jours de l'année dans des habitations au confort souvent rudimentaire.

Les trois hameaux à étudier sont ceux de Créonet (le plus proche du bourg et le plus important), de La Philipponière et de Félines.

L'habitat du secteur de Créonet est relativement dispersé, ce caractère accentué par le nombre important de constructions récentes. La surface et la pente de la majorité des parcelles sont à priori compatibles avec un assainissement de type autonome, abstraction faite des autres paramètres qui seront étudiés ultérieurement.

A Philipponière, les habitations sont très dispersées et le facteur topographique est primordial : la plupart des maisons est située au bord et au dessus d'une route, alors que tous les terrains qui sont situés en contrebas de cette route et qui peuvent recevoir les effluents appartiennent à un seul propriétaire.

En ce qui concerne Félines, les habitations sont beaucoup plus regroupées et constituent un hameau "serré". Le centre de ce hameau se situe sur une ligne de crête et les habitations situées de part et d'autre de la route, se répartissent sur deux bassins versants différents.

1.3.2.Environnement naturel.

Le bourg de Saint—Marcel de Félines et les hameaux étudiés se situent sur le "seuil de Neulise", relief cristallin qui constitue la limite Nord de la plaine du Forez (figure n°2—27).

Le relief est valloné et parcouru de nombreux petits ruisseaux de faible débit et de régime torrentiel. Les pentes fortes sont rares et sont localisées en fonds de vallées.

Les formations géologiques présentent des faciès volcano—sédimentaires du Viséen (tufs orthophyriques), recoupés localement par des filons ou des massifs intrusifs de microgranite et de porphyre. A quelques kilomètres au sud du secteur étudié, certains reliefs présentent des reliquats des alluvions anciennes de la Loire (cailloutis des hautes terrasses, à galets de quartz).

Tous les faciès volcano—sédimentaires et filoniens rencontrés, ont une composition chimique très voisine. Les roches sont acides, leur structure est microgrenue et elles sont peu altérables.

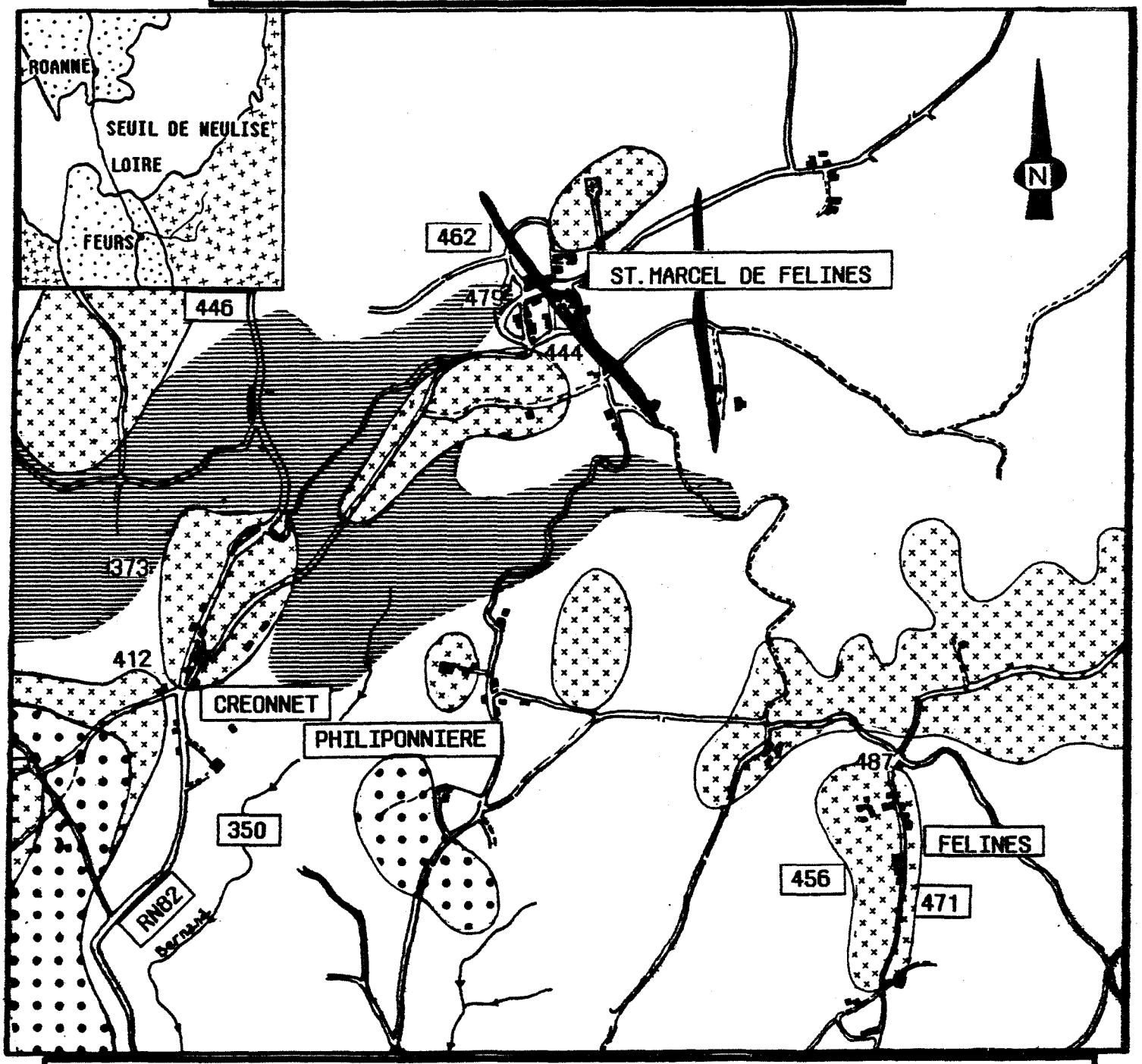
Le faciès et l'épaisseur de la couche d'altération qui les recouvre et qui sera le siège des éventuels épandages souterrains, permettent de distinguer très nettement les zones de tufs orthophyriques des zones de microgranite intrusif. En effet la roche mère est souvent très proche de l'affleurement dans les zones granitiques et le faciès d'altération est sableux alors qu'il est beaucoup plus argileux sur les tufs et souvent plus épais.

Le site abordé dans ce problème d'assainissement de Saint—Marcel de Félines est donc très différent de ceux abordés jusqu'à présent dans le MISE et qui se situaient dans des plaines alluviales.

La géologie et l'hydrogéologie y sont intimement liées: à la roche saine imperméable (hormis les zones de failles) se superpose une frange superficielle altérée peu épaisse (0,5 à 3m) dans laquelle existe, quand la topographie le permet, une petite nappe aquifère superficielle exploitée par quelques puits fermiers. L'alimentation en eau des villages se fait à partir d'une retenue située sur la Loire.

SCHEMA GEOLOGIQUE DE LA REGION DE SAINT-MARCEL-DE-FELINES (LOIRE)

échelle: 1/25000



Légende

- micrograniulite rose
- tufs orthophyriques viséens
- faciès volcanique des tufs
- cailloutis des hautes terrasses (lVaire)
- filons de microgranite

446: COTE NGF

figure n°2-27

1.3.3.Installations existantes, origine du problème.

Le bourg de Saint—Marcel est équipé actuellement, d'un réseau d'assainissement unitaire relié à une station d'épuration par lit bactérien n'ayant semble—t—il, jamais fonctionné et n'ayant jamais été entretenue!

Dans les hameaux, aucun équipement collectif n'existe, l'assainissement est donc officiellement de type autonome, dans les faits, il est inexistant dans les habitations anciennes. Il est en général constitué uniquement d'une fosse septique (eaux vannes) avec rejet des effluents dans des champs ou des fossés routiers. Les quelques épandages souterrains existants (maisons les plus récentes) fonctionnent très mal à cause d'une absence d'étude géologique préliminaire ou d'un mauvais entretien des organes de prétraitement (colmatage, débordements, résurgences...).

Cet état de fait, a provoqué il y a quelques années, des problèmes de voisinage qui se sont exacerbés avec le temps. Ils concernent aussi bien les eaux ménagères et les eaux vannes que les effluents agricoles (purin, jus d'ensilage).

Pour pallier cet inconvénient dans le plus important des hameaux, une étude avait été lancée en 1983 visant à y aménager un assainissement collectif avec à l'aval, une station d'épuration biologique. Le coût total de l'opération prévue (800kf 1983) avait fait reculer la mairie.

C'est finalement en 1986, avec le développement des techniques d'assainissement autonome groupé et sous les conseils de l'Agence de Bassin et de la DDAF qu'une nouvelle étude a été lancée pour tenter de résoudre le problème à l'aide de techniques plus rustiques et dans l'optique de conserver pour certaines habitations, un assainissement de type autonome compatible avec l'environnement naturel.

CHAPITRE 2:
LES DIFFERENTES PHASES DE LA RESOLUTION DU PROBLEME, STRUCTURE DU SYSTEME MISE DANS SA VERSION ASSAINISSEMENT.

2.1.Modalités juridiques, administratives et financières.

Avant le lancement de toute opération d'aménagement, se pose pour la commune le problème du financement des investissements qui vont être réalisés.

Très souvent le budget assainissement des petites collectivités est très faible, soit qu'il n'y ait pas de réseau existant donc pas de taxe d'assainissement payable par les administrés, soit que ce réseau soit restreint et que les taxes d'assainissement prélevées ne suffisent qu'à son entretien.

Les fonds propres sont donc insuffisants pour l'étude et la réalisation d'un projet d'assainissement qui intéresse un pourcentage non négligeable de la population.

Pour ce type de projet, des subventions peuvent être accordées par différents niveaux de l'appareil administratif; l'état, la région, le département peuvent en effet financer individuellement ou conjointement un projet. L'agence de bassin qui prélève auprès des différents pollueurs une taxe d'assainissement, distribue aussi des subventions qui peuvent élever le total des aides obtenues à plus de 80% du coût prévisionnel du projet.

La somme restante doit être débloquée par la mairie soit sur ses fonds propres, soit grâce à des emprunts à taux privilégié (Plaquette du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie,1978) consenti par divers organismes, quand il y a aide de l'état sur de tels projets (caisse des dépots et consignations, caisses d'épargne ou du crédit agricole, caisse d'aide à l'équipement des collectivités locales).

Une restriction apparaît toutefois quand le schéma d'assainissement défini relève à la fois de l'assainissement collectif et de l'assainissement individuel. Certaines de ces aides sont en général accordées uniquement dans le cas où les travaux sont demandés et réalisés par la mairie, alors que l'assainissement individuel est en général à la charge du propriétaire de l'habitation.

On aborde là l'un des problèmes psychologiques et sociaux liés à ce type de projet. On risque d'assister à un mécontentement et à une jalousie de la population non reliée au collectif et à qui revient la charge d'investissement et d'entretien d'un dispositif qui, de plus, a mauvaise presse à l'heure actuelle chez nos concitoyens.

Les expériences en ce domaine sont peu nombreuses, on peut citer deux exemples de résolution un peu différente de ce problème par l'intermédiaire de conventions passées entre les particuliers et les mairies ou maîtres d'ouvrages et qui permettent aux individuels de bénéficier des aides financières accordées au projet.

Dans ces deux exemples la convention passée autorise le maître d'ouvrage à pénétrer dans le domaine privé pour y réaliser les travaux puis, par la suite, l'entretien des organes individuels d'épuration. Dans le premier cas (Ville de Toulouse), la mairie se charge de la totalité des investissements nécessaires et en contrepartie des services rendus, assujettit l'habitation à une taxe d'assainissement proportionnelle au volume d'eau potable facturé, au même titre qu'une habitation reliée à un réseau publique d'assainissement. Dans le deuxième cas (Godfroy, Lavarde, 1986), le pourcentage des travaux correspondant aux subventions, est financé par le maître d'ouvrage et la somme restant à payer est versée par le propriétaire qui sera de plus, redevable d'une somme forfaitaire annuelle, pour l'entretien de son assainissement. Ce forfait est révisé chaque année au moyen d'une formule tenant compte de l'évolution annuelle des produits et services divers.

Une fois que le problème de financement de l'opération est résolu par la mairie, il s'agit de lancer la phase d'étude qui aboutira à la définition du schéma d'assainissement et au dimensionnement des divers ouvrages prévus.

Les étapes proposées par le système MISE pour prendre en compte les problèmes administratifs, juridiques et financiers qui se posent au décideur, sont les suivantes :

1 — Modalités administratives, juridiques et financières

101 : Création syndicat de communes
102 : Subventions état, région, département
103 : Subventions agence de bassin
104 : Emprunts à long terme
105 : Emprunts à court terme
106 : Planning financier

Les **événements aléatoires** affectant ces étapes sont par exemple :

—Les délais administratifs,

exemple : le budget du conseil général est bouclé pour l'année en cours, l'étude du dossier de subvention est repoussée à l'année suivante.

exemple : le budget du conseil général est bouclé pour l'année en cours, l'étude du dossier de subvention est repoussée à l'année suivante mais vous avez la certitude d'obtenir 40% minimum de la somme demandée.

La résolution de ces deux problèmes est totalement différente, en effet dans le deuxième exemple la mairie pourra se permettre, pour faire avancer le projet, de lancer les études en utilisant ses fonds propres ou un emprunt à court terme. Dans le premier exemple, le risque est plus grand et le projet peut être bloqué jusqu'à l'année suivante ou bien devra se réaliser sans subventions.

On peut donc tout de suite constater l'influence de ces événements sur la tarification finale de l'assainissement et sur le planning financier du projet.

—L'influence des relations politiques du maire en place,

exemple : le maire de la commune fait partie du conseil régional et fait voter un budget exceptionnel pour les projets d'assainissement. Vous obtenez 60% de la somme nécessaire aux investissements.

—Les fluctuations des taux d'emprunts.

2.2.Les données à acquérir et les moyens de les acquérir.

2.2.1.Les données existantes.

Les études à entreprendre seront réalisées soit par des administrations compétentes (DDE, DDAF) soit par des bureaux d'études privés, le déroulement préconisé est les suivant :

1—Etude préliminaire de l'environnement et de l'aptitude des sols et étude de la structure de l'habitat,
2—Inventaire des logements et définition d'un avant—projet proposant plusieurs solutions,
3—Choix du projet définitif et étude finale de ce projet.

Dès le stade de l'étude préliminaire, une opération pour informer les particuliers s'avère nécessaire : réunions d'information, tracts, articles dans le journal local, permanence des organismes opérateurs, afin de préparer les phases suivantes de l'étude.

Deux stratégies différentes sont possibles. L'une consiste à prévoir le schéma d'assainissement de toute la commune, l'autre consiste à agir par phases successives, en étudiant l'assainissement quartier par quartier en fonction des possibilités financières qui guideront le rythme de réalisation des travaux.

La première option engage la mairie vers des frais d'études immédiats qui peuvent être importants, mais elle lui permet de planifier à long terme ses dépenses en assainissement et de disposer d'un schéma d'assainissement homogène pour toute la commune.

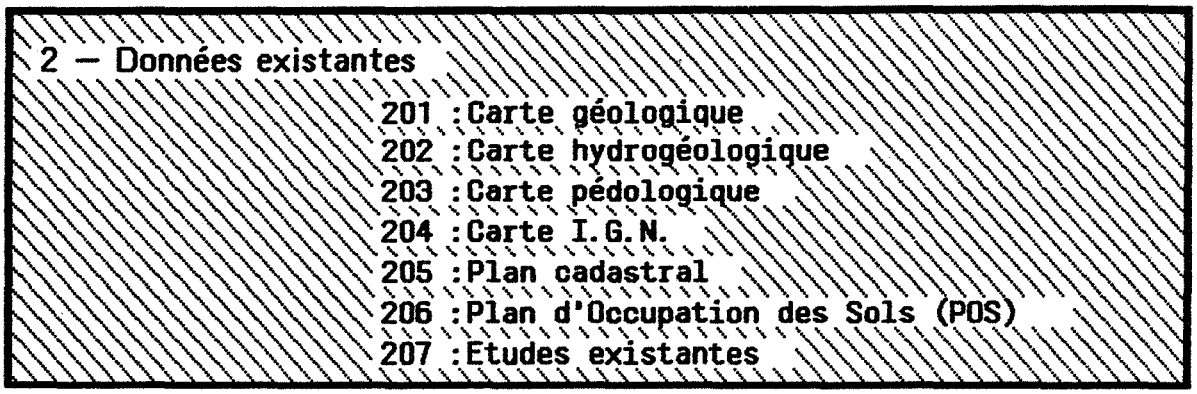
La seconde option présente l'avantage de n'engager que des frais minimes pour l'étude des premiers quartiers à assainir (3 à 10% des travaux prévus). Elle permet également de profiter des éventuelles erreurs réalisées dans les premières phases pour améliorer le résultat des suivantes, mais elle risque d'aboutir à un schéma global d'assainissement qui ne sera pas optimal, et qui pourra présenter des équipements disparates voire incompatibles dans certaines zones contiguës.

Dans le dossier d'appel d'offre pour l'étude préliminaire, un certain nombre de données de base doivent déjà être rassemblées : plan de situation, quartiers concernés par l'étude, population concernée, but de l'étude. La réalisation de l'étude nécessite des données plus précises telles que le plan cadastral, le plan d'occupation des sols, les cartes géologique, hydrogéologique et pédologique quand elles existent, le niveau de qualité requis par les effluents en cas de rejet superficiel, les projets de développement, les études existantes ...etc.

L'acquisition de ces premières données auprès des différentes administrations locales ou de la mairie permettra au chargé d'étude de définir au moins quelles sont les options inacceptables et de disposer de la documentation de base lui permettant de préciser un peu les solutions envisageables.

Les moyens disponibles pour acquérir une connaissance suffisante du milieu permettant de réaliser dans un premier temps, un avant projet puis le projet définitif, sont mis à la disposition de l'utilisateur MISE en trois groupes d'étapes qui concernent les données existantes, les moyens d'acquérir des données sur l'environnement humain et sur l'environnement naturel.

Certains utilisateurs réaliseront la plupart de ces sous—étapes avant de définir l'avant projet, d'autres ne s'en réfèreront qu'aux données existantes pour le définir et n'entreprendront des études complémentaires que pour la définition du projet définitif.



Les **événements aléatoires** affectant ce type de sous—étapes sont peu nombreux, ils concernent l'existence ou la non—existence de ces documents, leur validité et les problèmes qui peuvent être rencontrés pour les acquérir.

exemple : Le plan cadastral de la commune est en révision, la mairie ne peut vous fournir que l'ancien plan sur lequel toutes les maisons neuves sont absentes.

exemple : Une carte pédologique à vocation agricole est en cours d'étude et la société chargée de sa réalisation vous propose son document "minute" pour une somme de 3000 F. Que faites vous?

ex : Une route nationale a été étudiée il y a quelques années dans les environs, la DDE vous fournit l'étude géologique préliminaire.

2.2.2.Les études complémentaires.

Les données complémentaires devront être acquises par l'étude de "terrain" proprement dite, "terrain" signifiant dans ce cas environnement social, urbain, technique, géologique, hydrologique, pédologique, biologique...etc.

L'environnement social, urbain et technique sera appréhendé par une enquête auprès des administrés pour déterminer précisément les besoins auxquels il faut répondre. L'environnement naturel fera l'objet d'études de terrain proprement dites et permettra de définir la technique d'assainissement appropriée. Pour chacune des habitations les données à acquérir sont les suivantes :

— mode de vie des habitants : résidence secondaire, résidence principale, métier (permettant de définir le temps de présence des habitants à la maison),
— nombre d'habitants,
— volume d'eau potable consommé chaque année,
— confort intérieur (équipement sanitaire),
— surface de la parcelle,
— pente moyenne,
— type d'occupation du sol (potager, pelouse ...),
— présence de puits,

— points d'exutoire des eaux usées,
— installations d'assainissement existantes,
—...etc

```
3 — Etudes complémentaires
  — Environnement naturel
                    301 :Terrain
                    302 :Mesures géophysiques
                    303 :Photointerprétation
                    304 :Sondages tarière
                    305 :Mesures topographiques
                    306 :Mesures de perméabilité
                    307 :Analyses chimiques
                    308 :Mesures de débit
  —Environnement humain
                    401 :Réunion Mairie
                    402 :Enquête particuliers
                    403 :Recensement des industries
                    404 :Recensement population
                    405 :Enquête administrations
```

Les **événements aléatoires** susceptibles d'intervenir au cours des phases d'acquisition de données relatives à l'environnement naturel, concernent d'une part, les problèmes de terrain proprement dits (aléas météorologiques, présence de bétail, appareils déréglés) et d'autre part, les résultats obtenus par ces études.

exemple : Le nivellement réalisé juste avant les travaux de construction du réseau, montre que le branchement de l'une des habitations prévues nécessite une tranchée de 4 m de profondeur.

Que faites vous?

Si le chargé d'étude a pris soin de réaliser des mesures topographiques avant d'arrêter le projet définitif, cet incident ne le concerne pas. Dans le cas contraire trois solutions se présentent à lui :

— décision de réaliser malgré tout la tranchée,
— décision de prévoir un poste de relèvement,
— décision de réaliser pour cette habitation un assainissement individuel.

Les calculs qui permettront d'aboutir à l'une de ces décisions et les arguments fournis par le décideur constitueront une expertise qui peut donc s'exprimer et être enregistrée par le système de simulation MISE.

exemple : Vous venez sur le terrain faire des mesures de perméabilité mais il a plu sans interruption depuis une semaine et le sol est saturé en eau. Que faites vous?

Cet événement est finalement positif puisqu'il montre au chargé d'étude que le sol en place ne peut évacuer une trop forte venue d'eau. L'épandage souterrain prévu sur les sols présentant des signes de saturation devra donc être drainé pour bien fonctionner.

Les événements aléatoires qui peuvent intervenir au cours de l'acquisition de données relatives à l'environnement humain, sont de nature technique (nature, dimensionnement, emplacement des installations existantes) ou de nature psychologique.

Il est bien évident que le particulier possèdant un équipement non conforme ne sera pas enclin à s'en vanter surtout s'il pollue son voisin. A l'inverse, le voisin sera très enclin à amplifier l'importance des nuisances dont il est victime en minimisant les éventuels problèmes liés à son propre assainissement.

—événements aléatoires d'ordre technique:

exemple : La fosse septique de monsieur X n'a jamais été vidangée de puis 5 ans. Effectuez un nouveau tirage aléatoire pour connaître la conséquence de ce fait.(consulter le fichier "REHABIND")

Résultat : 01—05 : heureusement la fosse septique avait été surdimensionnée : pas de dégat sur l'épandage

06—09 : visiblement l'épandage a été affecté mais ne semble pas totalement colmaté, que faites vous?

10—12 : l'épandage est totalement colmaté

Le fichier "REHABIND" fournit des indications sur les méthodes et les difficultés de réhabilitation d'assainissements individuels existants.

—événements aléatoires d'ordre psychologique.

exemple : Un habitant refuse catégoriquement de vous recevoir prétextant qu'il ne vous connait pas. Que faites vous ?

Le professionnel habitué à ce genre d'enquête sait qu'il doit toujours se présenter chez les particuliers avec un ordre de mission émanant de la mairie et expliquant les raisons de sa présence. Si ce n'est pas le cas il peut avoir fait envoyer une lettre à tous les particuliers concernés par la mairie. Mais il peut aussi envisager d'autres solutions qu'il sera intéressant de retenir.

exemple : Une réunion organisée en mairie avec toute la population concernée met en présence tous les antagonistes et vous permet de connaître toutes les zones à problème du secteur (vous obtenez le fichier "ANTAG").

exemple : à l'aval du ruisseau dans lequel vous prévoyez le rejet des effluents il existe une retenue utilisée pour l'alimentation en eau potable d'une agglomération, les effluents rejetés devront donc être de niveau "e" (consulter les fichiers "NORMREJ", "AUTOEP" et "EUTROPH").

Le fichier "NORMREJ" donne les normes de rejet des effluents, le fichier "AUTOEP" définit quels sont les paramètres influant sur la capacité d'autoépuration d'un cours d'eau, le fichier "EUTROPH" décrit le phénomène d'eutrophisation et ses facteurs limitants. A l'aide de ces trois fichiers, le décideur pourra définir quel est le type d' organe d'épuration adapté à son problème.

Les **outils et les techniques** qu'il est prévu de mettre à la disposition des utilisateurs du système sont les suivants :

—stéréoscope pour la photointerprétation (**sous—étape 303**)

—Programme d'interprétation des sondages géophysiques "SONDEL" (programme existant) (**sous—étape 302**)

—Programme "SOND" donnant le résultat d'un sondage à la tarière en fonction de son emplacement (programme existant) (**sous—étape 304**)

—Programme "PERMESS" permettant de déterminer la perméabilité d'un terrain en fonction de la vitesse de descente de l'eau dans la cellule de mesure (en fonction du diamètre de la cellule et de celui du trou). Ce programme permet de déduire la surface d'épandage ou bien le linéaire de tranchées nécessaires en fonction de leur largeur, de K et du volume journalier à épurer. (programme en cours de réalisation) (**sous—étape 306**).

2.3.La résolution du projet.

Toutes les données précédemment énumérées, qu'il s'agisse des données existantes ou de celles qui nécessitent une intervention spécifique, vont permettre au chargé d'étude d'élaborer les éléments du dossier définitif décrivant le projet.

Si l'assainissement prévu est essentiellement axé sur une épuration par épandage souterrain, le document principal pourra être une "carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel" ou, si l'on veut être plus précis et pour ne pas utiliser un terme consacré, une carte des techniques d'épuration par épandage souterrain compatibles avec les sols en place.

Si le projet doit comporter des habitations assainies individuellement et d'autres collectivement, il faudra définir le "plan d'assainissement" précisant l'emplacement des organes d'épuration et le tracé du (des) réseau(x). C'est en général ce qui constitue la base des avant—projets proposés aux décideurs avant d'arrêter le projet définitif. C'est donc une sous—étape sur laquelle le chargé d'étude doit revenir plusieur fois avant de trouver le compromis le plus satisfaisant entre la technique d'assainissement à employer et les exigences des décideurs.

Viennent ensuite des opérations qui sont plus techniques, il s'agit du dimensionnement des organes de collecte (réseaux) et d'épuration (station, lagune...). La réalisation de chacune de ces sous—étapes entraînera l'utilisation ou la réutilisation des étapes précédentes autant de fois qu'il sera nécessaire pour arrêter le document définitif.

Récapitulation des sous—étapes concernant la résolution du projet :

```
4 — Résolution du projet

501 :Carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel
502 :Tracé plan d'assainissement
503 :Dimensionnement réseau
504 :Dimensionnement station
505 :Dimensionnement lagune
506 :Dimensionnement épandage superficiel
507 :Dimensionnement épandage souterrain
508 :Valorisation effluents, boues
```

Chacune de ces sous—étapes, constituant les phases les plus spécifiques d'un projet d'assainissement de petites collectivités, sera étudiée individuellement, non seulement pour exposer la variété des techniques disponibles mais aussi pour montrer la complexité de ce type de projet et l'importance des choix stratégiques qui peuvent être faits au cours d'une étude.

501 :Carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel

La réalisation d'une "carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel" consiste à prendre en compte le complexe "géo—hydro—pédologique" (Bize, Guerin, 1979), au regard des possibilités d'infiltration de l'effluent et des risques de pollution de l'environnement, puis à utiliser ces critères pour en déduire une carte d'aptitude au sens règlementaire technique et administratif du terme.

Le document ainsi réalisé peut servir d'outil de travail, pour les organismes responsables de la définition des orientations d'aménagement et de la sauvegarde de l'hygiène publique au niveau du département et de la commune. Une telle démarche répond au besoin immédiat de la commune pour l'assainissement du quartier à traiter, mais elle répond aussi à un besoin à plus long terme qui est celui de la définition du schéma d'assainissement global et du plan d'occupation des sols.

Dans un premier temps la définition des unités naturelles s'appuie sur l'utilisation d'outils et de techniques répertoriés dans le tableau suivant :

	outil ou technique	*résultat, donnée*
outil	carte géologique 1/50000	Nature du sous-sol
	carte hydrogéologique	Profondeur de la nappe
	carte topographique IGN	Pente des terrains
	photographies aeriennes - NB	Géologie, occupation des sols
	- IR	Zones Hydromorphes, zones inondables
technique	Sondages tarière	Profondeur, nature du sol
	Profils pédologiques	Nature du sol, faciès
	Essais d'eau	Perméabilité du sol
	Mesures piézométriques	Profondeur de la nappe
	Mesures géophysiques(electrique)	Profondeur de la nappe, variations latérales de faciès du sol

NB = Noir et Blanc
IR = Infra Rouge

OUTILS ET TECHNIQUES UTILISABLES POUR LA REALISATION D'UNE CARTE D'APTITUDE DES SOLS à L'ASSAINISSEMENT INDIVIDUEL

La connaissance de ces unités naturelles permet de définir les zones présentant des caractéristiques considérées comme des facteurs limitants absolus (zones inondables par exemple) ou des facteurs limitants relatifs (Donville, 1979).

Ces derniers indiquent que l'une ou l'autre des conditions d'épandage par tranchées dans le sol n'est pas respectée (perméabilité légèrement trop faible par exemple ou traces d'hydromorphie à faible profondeur) et qu'il faudra utiliser un dispositif de remplacement. La phase technique consiste ensuite à définir quels sont les dispositifs de remplacement admissibles dans les zones à facteur limitant relatif (tertre d'infiltration, filtre à sable...).

La démarche utilisée pour la réalisation de la carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel, à l'échelle communale, est en grande partie initiée lors de l'étude spécifique d'un quartier pour laquelle le spécialiste, s'il est sérieux, se souciera de l'environnement général du secteur à assainir avant d'en définir les caractéristiques spécifiques.

Toutefois, si le travail qu'il réalise à cette occasion pour appréhender le complexe S.E.R.P. (Sol, Eau, Roche, Pente : appellation adoptée par le cabinet Organisation et Environnement à l'occasion de l'étude de l'assainissement de l'opération pilote d'Amfreville la Campagne) ne fait pas l'objet d'une généralisation, il sera perdu et devra être renouvelé pour chaque nouveau quartier. La réalisation d'un tel document s'inscrit donc bien dans une procédure d'études permettant de définir un schéma d'assainissement général pour un commune, mais elle convient moins si les reponsables locaux décident d'entreprendre l'étude de l'assainissement quartier par quartier.

Les **événements aléatoires** qui caractérisent cette sous—étape du système décisionnel sont relatifs à la nature des opérations à entreprendre pour pouvoir réaliser ce document, ils renvoient donc à des sous—étapes des phases "acquisition des données existantes" et "études complémentaires". Ils concernent aussi la précision et la validité du document élaboré.

exemple : Pour réaliser la carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel, vous commandez à l'IGN des photographies infra—rouge afin de déterminer les zones d'hydromorphie. Mais aucune campagne n'a été réalisée sur le secteur jusqu'à présent.

L'IGN vous propose de réaliser une campagne pour votre service moyennant 5000F par km² couvert. Que faites vous?

exemple : Vous effectuez des mesures piézométriques dans tous les puits fermiers de la commune pour connaître la profondeur de la nappe aquifère. Cependant toute une zone ne présente pas de puits: que faites vous?

L'absence de puits sur tout un secteur peut en fait être révélatrice de l'absence de nappe peu profonde. Il peut aussi s'agir d'un concours de circonstances, c'est la connaissance qu'aura l'expert du contexte géologique local qui peut lui permettre de conclure. Les décisions qu'il prendra en fonction de ce renseignement, auront une influence sur le coût total de l'étude (campagne géophysique, implantation de piézomètres, sondages à la tarière...).

Les outils proposés par MISE sont les suivants :

—Programme "SONDEL"
—Programme "SOND"
—Programme "PERMESS"
—Système Expert en Assainissement Autonome : système expert permettant de définir la technique d'assainissement autonome à adopter en fonction du contexte naturel (Sol, Eau, Roche, Pente). (Existant)

502 : Tracé plan d'assainissement

C'est, une connaissance conjointe de l'environnement naturel (bassins—versants, zones inondables, perméabilité des sols...), de l'environnement humain, technique et financier qui va permettre de définir précisément le **plan d'assainissement** (nous entendons par ce terme la répartition des habitations en sous—ensembles reliés individuellement ou collectivement à un organe d'épuration). Les trois cas suivants en montrent l'intéret :

1 — Une habitation H1 est située sur une parcelle de taille suffisante dont le sol est d'excellente qualité pour réaliser un épandage souterrain des effluents. Cette habitation se situe en limite d'un groupe de 10 habitations dont aucune ne possède suffisamment de terrain pour un assainissement individuel.

L'habitation H1 sera donc regroupée avec les dix autres sur un réseau d'assainissement collectif.

2 — Une habitation H2 qui se trouve isolée à 300m. du bourg, est située sur une parcelle de taille suffisante dont le sol est de bonne qualité pour réaliser un épandage mais où la nappe se trouve en hautes eaux à moins de 1,5m de la surface. La réalisation d'un tertre d'infiltration est donc indispensable et le coût de l'assainissement en sera d'autant plus élevé.

On choisira cependant cette option car le coût d'extension du réseau d'assainissement jusqu'à H2 serait encore plus élevé.

3 — Ce troisième exemple montre que dans ce type de projet, les décisions peuvent dépendre de connaissances techniques à un niveau de détail très poussé. Prenons le cas de cette même habitation H2 mais qui serait située à une distance telle, que le coût d'extension du réseau soit le même que le coût de l'assainissement individuel.

Si aucun autre critère ne permet de prendre une décision, le choix pourrait se baser sur le coût des branchements : si les exutoires d'eaux usées de l'habitation se font par la façade opposée au bourg; le branchement au réseau nécessite de reprendre tous ces exutoires pour les ramener vers l'autre façade, soit par des tranchées extérieures faisant le pourtour de l'habitation (si la topographie le permet), soit par des travaux intérieurs.

Le surcoût entraîné par ces travaux et le mécontentement de l'usager qui se verra obligé de détruire soit sa maison, soit son jardin orienteront probablement le choix final du responsable de projet...

Bien entendu ces trois exemples restent simplistes car la décision prise ne tient souvent compte que du facteur financier même si la prise de décision doit se faire à un niveau plus stratégique. En effet, l'extension d'un réseau peut permettre consécutivement l'extension d'une zone constructible et le choix des solutions appartient alors à la mairie qui doit déterminer dans quelle mesure l'extension de l'habitat dans cette zone est souhaitable, au regard des problèmes d'alimentation en eau potable par exemple.

A ce titre, il serait intéressant de pouvoir développer ultérieurement, une version du système MISE intégrant des objectifs d'alimentation en eau potable et d'assainissement, dans un cas d'extension de l'habitat d'une zone rurale. La prise en compte simultanée de ces deux équipements de base contribue au choix optimal des zones constructibles au cours de la phase de définition des plans d'urbanisme futurs.

Les <u>événements aléatoires</u> qui caractérisent cette sous—étape du système décisionnel, sont propres aux opérations destinées à réaliser le document, ils renvoient donc à des sous—étapes des groupes "consultation de données existantes" et "études complémentaires". Ils reflètent aussi l'opposition qui peut parfois exister entre la volonté politique d'un élu et la technique.

<u>exemple</u> : Vous avez choisi un terrain appartenant à la mairie pour y réaliser un épandage collectif, toutefois ce terrain était prévu pour la construction d'un tennis municipal.

Ces deux décisions ne sont pas incompatibles à la condition que l'épandage réalisé soit un épandage souterrain et que le tennis soit en terre battue (tout autre revètement imperméabiliserait le terrain et limiterait l'efficacité d'une épuration aérobie des effluents). La décision qui sera finalement prise dépendra de l'opiniâtreté et de la persuasion des chargés d'études.

Les <u>outils MISE</u> qui peuvent être mis à la disposition des utilisateurs pour réaliser cette sous étape sont ceux relatifs aux études complémentaires (déjà cités précédemment). Les méthodes d'optimisation de tracé des réseaux adaptés aux problèmes d'assainissement doivent être utilisées.

A chaque habitation ou groupe d'habitations défini par le plan d'assainissement, devra être éventuellement attribué un **réseau** et, dans tous les cas, un **organe d'épuration** choisi en fonction des contraintes liées à ce groupe d'habitations. Il peut s'agir de contraintes "amont" (nombre d'habitants concernés, présence d'une industrie agroalimentaire...), de contraintes "aval" (rivière piscicole, absence de rivière...) ou de contraintes inhérentes à la technique choisie (sol perméable pour épandage par tranchées, terrain assez vaste pour un lagunage, électricité pour une station d'épuration ...).

La définition de ces contraintes et leur influence sur le dimensionnement des ouvrages peut faire l'objet d'une phase d'étude complémentaire ou bien s'inscrire dans les études faites au cours de la phase précédente. Dans tous les cas il faudra tenir compte des installations existantes tant au niveau collectif (réseau, station) qu'au niveau individuel (fosses septiques, bacs dégraisseurs).

—le réseau (Bourrier, 1985; Guerrée, Gomela,1978)

503 :Dimensionnement réseau

Le réseau peut déjà exister pour certains groupes d'habitations, il faudra alors envisager de le remplacer ou de le réhabiliter. La décision prise dépendra de sa vétusté mais aussi de sa conception. En effet, un réseau de type unitaire ne peut être conservé si l'organe d'épuration prévu à l'aval est un épandage souterrain. On pourra alors envisager de conserver le réseau existant pour les eaux pluviales et de lui adjoindre un réseau neuf pour les eaux usées.

Dans les autres cas, une étude menée par M. Biseau (1986) montre que la réhabilitation d'un réseau existant, malgré les problèmes techniques que cela suppose, reste souvent moins coûteuse que la mise en place d'un réseau neuf.

Si la construction d'un réseau doit être envisagée, les auteurs sont unanimes (Roche,1975; Coste, Loubet 1980) pour préconiser dans le cas des petites collectivités rurales un réseau de type séparatif.

Les avantages en sont les suivants :

—le fonctionnement de l'organe d'épuration est plus régulier,

—le coût de premier établissement est économique en raison de la petitesse des diamètres nécessaires par rapport à un réseau de type unitaire,

— les stations de relèvement des eaux sont conçues en fonction de la pointe des débits d'eaux usées alors que dans les réseaux unitaires, elles doivent pouvoir faire face à des débits très variables.

— il n'y a pas besoin de déversoirs d'orage dont les premières surverses sont très polluantes car elles entraînent les dépots accumulés dans les collecteurs.

Les eaux pluviales peuvent être rejetées directement dans le milieu naturel car elles sont souvent peu polluées. Quand ce n'est pas le cas, un réseau séparé pourra les conduire vers des organes d'épuration simples tels que des bassins de décantation ou des dispositifs de dessablement.

La conception d'un réseau d'égouts (qu'il soit unitaire ou séparatif) comporte trois phases essentielles :

— Calcul des débits de projet,

— Calcul des diamètres des ouvrages,

— Résolution proprement dite.

Dans le cas d'un réseau séparatif pour petite collectivité, les débits de projets sont extrêmement faciles à prévoir dans la mesure où l'on peut pratiquement se permettre de les évaluer habitation par habitation.

Le calcul des diamètres est aussi souvent très simple puisque le diamètre minimum conseillé (200 mm) est presque toujours suffisant. Il reste à vérifier la capacité d'autocurage du réseau qui peut poser des problèmes dans le cas de débits très faibles ou de pentes insuffisantes.

C'est au cours de la phase de résolution proprement dite, qu'on pourra pallier certaines insuffisances en jouant sur la pente des collecteurs ou en prévoyant la mise en place de postes de relevage des eaux aux points critiques. On pourra aussi envisager dans certains cas de réaliser un réseau pseudo—séparatif admettant certains rejets de chenaux permettant le curage du réseau à chaque épisode pluvieux.

Notons que ce n'est pas dans les branches les plus en amont du réseau que le problème est le plus crucial puisque le coefficient de pointe y est très élevé et que la simultanéïté de fonctionnement des appareils et des postes d'eau peut y créer des effets de chasse très importants.

La capacité d'autocurage d'un réseau apparaît comme un paramètre important, puisqu'elle intervient sur le coût d'entretien du réseau : si le curage ne se fait pas naturellement, des interventions seront nécessaires à des intervalles de temps qu'il faudra déterminer. Au cours du vieillissement du réseau, l'augmentation des débits de transit, permettra d'éviter ce problème mais dans le même temps la rugosité croissante des parois influera sur le coefficient de Bazin intervenant lui—même dans le calcul de la capacité d'autocurage. Tous ces paramètres seront donc à prendre en compte au moment du dimensionnement initial du réseau.

Si la technique d'épuration choisie est un assainissement par épandage souterrain, on pourra résoudre en partie ce problème en plaçant des organes de prétraitement au niveau de chaque habitation plutôt qu'un organe de prétraitement commun à l'aval du réseau. La charge des effluents transités sera donc moins grande, on pourra alors réduire les diamètres à 150 mm et augmenter ainsi les vitesses de transit dans le réseau.

Dans tous les cas, la conception et la surveillance des branchements sur le réseau devront êtres faits de façon minutieuse. L'étude menée par E. Kablitz (1986) montre que le mauvais fonctionnement des stations d'épuration en milieu rural est souvent dû à des défauts au niveau de la collecte des eaux :

— Présence d'eaux claires parasites,

— Défaut de conception du déversoir d'orage (réseau unitaire),

— Arrivée de rejets indésirables de purin, de sang, de gazole.

Si la résolution de tels problèmes s'avère difficile au niveau de réseaux existants anciens, il faudra alors en tenir compte dans le choix de la technique d'épuration, on pourra par exemple s'orienter vers l'implantation d'un lagunage, cette technique admettant des variations de charge beaucoup plus importantes qu'une station d'épuration classique.

Les **événements aléatoires** qui affectent cette sous—étape tiennent compte de l'état des installations existantes et des difficultés de reconnaissance de celles—ci. Ils sont aussi dépendants de sous—étapes antérieures (topographie ou mesures de débit par exemple).

exemple: *Il existe dans un quartier, un réseau d'assainissement unitaire construit il y a quelques années , or vous prévoyez de brancher ce quartier, sur le réseau séparatif que vous allez construire. Comment pensez vous vous y prendre?*

C'est le savoir—faire de l'expert qui lui permettra de prendre une décision "optimale" pour résoudre ce problème, il peut doubler le réseau existant en un réseau séparatif et ne plus utiliser l'ancien que pour les eaux pluviales, il peut prévoir un déversoir d'orage à l'aval du réseau existant qu'il connectera malgré tout au nouveau réseau. Il peut aussi brancher ce réseau existant directement sur le réseau neuf pour profiter des effets de chasse liés aux épisodes pluvieux qui assureront le curage de l'ensemble. La décision prise dépend de l'agencement géographique des deux parties de réseau (ancien réseau à l'amont, à l'aval ou latéralement par rapport au nouveau, importance de l'ancien réseau par rapport au nouveau etc...). En tout état de cause cette décision technique aura une influence non négligeable sur la suite des opérations, tant en ce qui concerne le déroulement des travaux, le dimensionnement de l'organe d'épuration, que le coût total du projet et donc le prix de l'eau assainie.

Les **outils** mis à la disposition de l'utilisateur pour la réalisation de cette phase sont des abaques permettant le dimensionnement du réseau en fonction du débit à faire transiter, de la pente... Un programme informatique permettra à l'utilisateur de calculer le débit de pointe qui transite dans chacun des émissaires du réseau en fonction de la configuration de celui—ci.

504 :Dimensionnement station

La solution de la "station d'épuration" est en général celle que l'on tente d'éviter à l'heure actuelle pour règler le problème de l'assainissement des petites collectivités, essentiellement pour des raisons d'entretien et de maintenance.

C'est toutefois une technique qu'il ne faut pas exclure et qui peut être mise en oeuvre si:

— il s'agit de remettre en état une installation existante ou de lui adjoindre un organe d'épuration complémentaire (décanteur secondaire, stabilisateur de boues),

— la population de l'un des groupes définis par le plan d'assainissement est suffisante pour justifier une telle technique

— aucune autre solution n'est envisageable pour des problèmes de place, d'effluents industriels ou de nappe aquifère.

Là encore un problème de choix important et difficile se pose au décideur car si les techniques de base pour l'épuration des eaux usées urbaines restent peu nombreuses, les techniques de traitement complémentaires sont variées (Thomazeau 1981):

— traitement biologique

  — culture fixée
  — culture libre

— traitement physico—chimique

  — $FeCl_3$ + chaux
  — sulfate d'alumine
  — autres floculants

— traitement chimique

  — electrocoagulation
  — electroflottation

Ces différentes techniques peuvent s'adjoindre les unes aux autre dans des ordres divers et s'accompagnent dans tous les cas de prétraitements (dégrillage, dessablage, deshuilage, décantation primaire) et de traitements des boues (digestion aérobie, anaérobie, stabilisation) qui peuvent s'agencer suivant des combinaisons extrêmement diverses.

Le choix de la combinaison finale est souvent confié à des sociétés spécialisées qui peuvent être les constructeurs, il dépend:

— des variations saisonnières qui la caractérisent (à une station biologique peut s'adjoindre un traitement physicochimique, permettant d'absorber les pointes dues à l'arrivée brutale et sporadique des touristes),

— du type d'effluents industriels admis (les industries agroalimentaires traitant de la pomme de terre peuvent engendrer dans les cultures libres des "bulking" filamenteux rendant impossible la décantation),

— du type de réseau choisi.

La taille de la population concernée demeure le facteur primordial dans la mesure où il limite l'éventail des techniques utilisables soit pour des questions d'inadaptation (boues activées) soit pour des questions de coût et d'entretien prohibitifs (traitements chimiques et physicochimiques). Il existe des stations préfabriquées spécialement conçues pour les petites collectivité dont le réseau d'égouts n'admet que des effluents domestiques types. Dans ce cas, les études complémentaires sont inutiles puisqu'il suffit de passer commande à l'industriel en spécifiant les caractéristiques de la population concernée.

Les **événements aléatoires** qui interviennent au cours de cette phase, dépendent des caractéristiques du réseau alimentant la station et de la population qui l'utilise (ces évènements apparaissent pour les sous—étapes "recensement des industries", "recensement de la population", "analyses chimiques", "mesures de débit").

Doivent aussi intervenir les normes de rejet dans les eaux supêrficielles et en particulier, les problèmes d'eutrophisation et les problèmes bactériologiques pour lesquels les station d'épuration classiques apportent des réponses insatisfaisantes.

505 :Dimensionnement lagune

Le procédé de lagunage, connu depuis longtemps, consiste à envoyer l'effluent à traiter dans des bassins à ciel ouvert où il est épuré sous l'action de phénomènes biologiques (lagunage aéré).

La technique du lagunage naturel répond parfaitement au besoin des petites collectivités (étude inter—agences 1979) puisqu'elle assure :

— une bonne tolérance à des variations qualitatives et quantitatives des effluents,

— une robustesse et une rusticité rendant compatible une bonne fiabilité avec une exploitation facile,

— une intégration harmonieuse aux sites naturels,

— des coûts d'investissement et d'exploitation raisonnables.

C'est la seule technique d'épuration qui rend au milieu naturel un effluent possédant des caractéristiques compatibles avec une eau de baignade (Bailly, Bondon, Pietrasanta, 1986), elle procure à l'effluent une excellente qualité sur le plan bactériologique (temps de séjour de l'effluent très long). L'assainissement par lagunage pourra donc être choisi dans des cas où les normes de rejet dans le milieu superficiel sont très sévères (bord de mer, étangs conchycoles, rivières piscicoles, zones de baignade) mais aussi quand les effluents à traiter montrent des variations qualitatives et quantitatives importantes (réseau unitaire existant, variations saisonnières de la population).

Le lagunage naturel recquiert une surface importante par habitant (10 m^2), ce qui peut être un facteur limitant pour son implantation (surtout pour des populations importantes), en particulier si l'espace disponible est limité et si le coût du terrain est élevé. On pourra alors avoir recours au lagunage aéré pour s'affranchir de cette contrainte. En effet, la technique du lagunage aéré limite la surface nécessaire par habitant à 3 m^2, elle relève cependant davantage, malgré sa dénomination, d'une épuration par boues activées (Garancher, 1986) et si elle permet de s'affranchir de la contrainte "surface" elle est dépendante de contraintes telles que la présence d'une ligne électrique et l'entretien régulier de l'aérateur qui rendent son coût de fonctionnement plus élevé que celui d'un lagunage naturel.

Le choix de la technique du lagunage naturel est étroitement dépendant de la géologie du site choisi pour son implantation. En effet, les bassins de lagunage doivent être imperméables et une étude menée par F. Guerrin (1982) montre que si le site choisi n'est pas naturellement imperméable (ou imperméabilisable par un simple corroi d'argile), le coût total nécessaire à la réalisation de l'ouvrage, peut être doublé et devenir ainsi plus élevé que celui d'une station d'épuration classique. Si le sous-sol est rocheux le prix des terrassements est nettement plus élevé et accroît le prix des installations jusqu'à le rendre éventuellement prohibitif. Une étude géologique préliminaire consciencieuse (Simon, 1986) est donc indispensable pour pouvoir juger de l'opportunité de l'implantation d'une lagune.

L'expérience montre que les stations de lagunage ont souvent un mauvais fonctionnement pour des populations <200 eq.ha. et dans les régions d'altitude élevée (>1000m) à cause des phénomènes de gel fréquents qui limitent la survie des microorganismes.

Les <u>événements aléatoires</u> qui interviennent pour cette phase de réalisation dépendent comme précédemment, des caractéristiques du réseau alimentant la station et de la population pour laquelle il est mis en service. Doivent aussi intervenir, les normes de rejet dans les eaux superficielles et les facteurs relatifs à la géologie du site (imperméabilité, proximité de la roche mère (sous-étapes 304,306)) et à sa topographie qui interviendra dans la disposition et les dimensions des différents bassins.

—Epandage souterrain, épandage superficiel, bassins d'infiltration

506 : Dimensionnement épandage superficiel

507 : Dimensionnement épandage souterrain

Ces trois techniques ont été réunies car elles dépendent étroitement des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et pédologiques du site choisi pour leur mise en place. La première relève à la fois de l'assainissement individuel et de l'assainissement collectif, les deux autres ne seront envisagées que dans le cas d'un assainissement collectif. Il s'agit dans tous les cas, d'une épuration de l'effluent à travers une couche suffisante de sol contenant naturellement une flore bactérienne abondante qui assure une épuration aérobie de l'effluent grâce à l'oxygène contenu dans le sol (naturel ou reconstitué).

Ces dispositifs fournissent une réponse satisfaisante à l'assainissement de zones ne possédant pas d'exutoire dans le réseau hydrographique superficiel (absence de ruisseaux, débits insuffisants pour assurer l'autoépuration). En effet, quand le terrain est perméable, ces dispositifs assurent à la fois le traitement et l'élimination de l'effluent par infiltration. Les dispositifs d'épandage superficiel ou de bassins d'infiltration peuvent être conçus uniquement pour un traitement de l'effluent mais aussi, dans un but de valorisation de celui—ci.

Nous ne nous étendrons pas ici sur la variété des dispositifs d'épandage souterrain disponibles, notons seulement qu'une réponse technique acceptable peut être trouvée à pratiquement tous les problèmes auxquels peut se heurter la mise en oeuvre d'un assainissement individuel, à l'exception des zones inondables qui ne devraient pas être constructibles (étude interagences 1980).

L'épuration des effluents par épandage souterrain pourra être choisie pour les habitations individuelles, mais aussi pour les plus petits groupements d'habitations (<200 eq.ha.) pour lesquels les autres techniques ne sont pas envisageables. C'est également une technique qui permet dle traiter de la pollution domestique en effectuant progressivement les investissements car elle est immédiatement opérationnelle par groupes d'habitations. Cette technique nécessite peu ou pas de matériel électromécanique, un entretien très réduit et des moyens techniques modestes. Une pompe est parfois nécessaire pour l'envoi des effluents dans le dispositif d'épandage pour assurer un fonctionnement intermitent qui évitera les phénomènes de colmatage. Cette pompe peut être remplacée par un système de siphon quand la topographie le permet. L'épuration des effluents par épandage souterrain assure un traitement bactériologique fiable.

Cette méthode nécessite toutefois des études préliminaires poussées et un certain savoir—faire au moment de la mise en oeuvre.

Un problème tactique se pose d'ailleurs au décideur pour effectuer les études de sol nécessaires (mesures de perméabilité, de profondeur, observation des faciès).

En effet, les mesures de perméabilité sont des opérations simples qui ne nécessitent pas un matériel très sophistiqué mais qui prennent du temps (chaque mesure nécessite une saturation préalable du sol durant 4 heures) et qui sont facturées en conséquence.

— faut—il faire systématiquement une mesure de perméabilité par habitation, afin de pouvoir inclure ce paramètre dans le processus de définition du plan d'assainissement?

— ou bien faut—il définir un plan d'assainissement s'appuyant sur les autres paramètres (dispersion de l'habitat, taille des parcelles, topographie, aménagements existants, bassins versants...) et ne réaliser ces mesures de perméabilité que pour les habitations non reliées à un réseau (au risque de rencontrer des terrains nécessitant des dispositifs d'assainissement sophistiqués et de coût élevé)?

Il existe une troisième solution envisageable pour accéder à l'environnement naturel des parcelles, c'est celle qui consiste à mener une étude généralisée sur toute une commune ou tout un canton pour réaliser une "carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel".

En plus d'une étude du complexe naturel, le choix d'une épuration par épandage souterrain des effluents nécessite la définition de l'emplacement et du dimensionnement des organes de prétraitement. En fonction des installations existantes.

Le choix pourra se porter sur l'implantation d'une fosse septique collective plutôt que sur la mise en place de fosses individuelles pour chaque habitation (choix ayant une influence, nous l'avons vu, sur le dimensionnement et l'entretien du réseau).

Parmi les <u>événements aléatoires</u> spécifiques qui peuvent intervenir lors de la réalisation de ces sous—étapes, on retrouve les facteurs relatifs à la géologie du site (perméabilité, proximité de la roche mère, profondeur de la nappe) et à sa topographie.

Ces événements apparaîtront aussi bien pour un problème d'assainissement collectif que pour un problème d'assainissement individuel, puisque les techniques d'épandage souterrain s'appliquent plus particulièrement aux assainissements autonomes.

L'utilisation du programme "PERMESS" pour ces opérations permet de déduire la surface d'épandage ou bien le linéaire de tranchées nécessaires en fonction de leur largeur, de la perméabilité du sol et du volume journalier à épurer.

508 :Valorisation effluents, boues

L'épuration d'un effluent domestique se solde toujours par la production d'une eau épurée et de boues. L'étude de l'assainissement d'une collectivité peut se limiter à la définition d'une technique d'épuration avec rejet de l'effluent dans le milieu naturel et élimination des boues dans une décharge d'ordure ménagère, mais elle peut aussi prévoir un procédé de valorisation des ces sous—produits à des fin d'irrigation, d'élevage ou de recharge de nappes aquifères.

La volonté de valoriser les sous—produits peut d'ailleurs être à l'origine du choix de l'une ou l'autre des techniques d'épuration, il s'agit donc encore d'un choix stratégique important dans le déroulement de l'étude.

—Valorisation de l'eau épurée.

L'eau épurée issue d'un dispositif d'épuration peut être utilisée pour la recharge des nappes aquifères (on utilisera alors la technique des bassins d'infiltration) ou pour l'irrigation des cultures (par aspersion, par rigoles ou au "goutte à goutte") voire même pour l'alimentation en eau potable (quand le manque d'eau permet de justifier des investissements importants dans des procédés de potabilisation par microfiltration tangentielle sur membrane minérale par exemple).

—réalimentation des nappes par bassins d'infiltration.

La technique du bassin d'infiltration peut être conçue, nous l'avons vu précédemment, en tant qu'épuration principale des effluents après un simple prétraitement, elle est alors applicable (grâce à sa rusticité) aux petites collectivités et nécessite une surface variant entre 0,5 et 2 m^2/habitant en fonction de la lame d'eau journalière admise par le sol en place ou reconstitué.

Elle requiert la mise en place de deux bassins d'infiltration parallèles afin de pouvoir mettre alternativement en repos l'un ou l'autre et permettre ainsi le sèchage de la couche colmatante qui est ensuite enlevée par simple ratissage.

On peut aussi mettre en place des bassins d'infiltration dans une optique principale de réalimentation des nappes (Fildier, 1983), ils sont alors en principe mis en place derrière un traitement primaire de type lagunage ou station d'épuration.

Leur rôle est alors de réaliser une épuration complémentaire mais surtout de permettre l'évacuation des effluents vers le sous—sol. Dans ce cas, les phénomènes de colmatage sont beaucoup moins importants et le nettoyage des bassins beaucoup moins fréquent.

—Irrigation.

L'irrigation des cultures par des eaux usées épurées était jusqu'en 1985 soumise à des normes draconniennes de qualité, le rapport d'Engelberg (1985, World Bank, World Healther Organization) a revu ces normes et permet d'envisager une telle stratégie dans des cas beaucoup plus nombreux à présent.

De la même façon que pour les bassins d'infiltration, on peut concevoir l'épandage d'effluents prétraités sur terrain enherbé comme mode d'épuration principal d'une petite collectivité (Chossat, Maresca, 1985), le terrain choisi doit alors être uniquement réservé à cet usage et servir à une production fourragère. Dans d'autres cas, quand l'effluent est issu d'un dispositif d'épuration préalable et moyennant des normes bactériologiques définies (Boutin, 1986), il pourra être utilisé pour l'irrigation de zones de loisirs (terrains de sport, parcs publics), d'arbres fruitier, de cultures industrielles ...etc

Pour l'irrigation de légumes ou de fruits devant être consommés crus, les normes de qualité restent très sévères et imposent en particulier qu'il n'y ait aucun contact possible entre l'effluent et le légume. Moyennant certaines précautions particulières, l'irrigation de tomates en plein champ est envisageable (Brissaud, Morel, Simon et Riou, 1986). Les effluents utilisés à cet effet et issus d'une station d'épuration biologique sont ensuite épandus dans des bassins d'infiltration en sol artificiel drainé.

Evidemment, l'utilisation d'une telle technique, compte tenu des investissements importants qu'elle nécessite, ne peut être retenue dans le cas d'une petite collectivité ne disposant pas d'un dispositif d'assainissement. Elle est cependant possible dans le cas de la réhabilitation d'une station pour laquelle on envisagerait de conserver la station en place et de lui adjoindre un traitement complémentaire par lits d'infiltration.

—valorisation des boues.

Qu'elles soient issues d'une fosse septique, d'une lagune, d'une station d'épuration biologique ou du nettoyage de bassins d'infiltration, les boues produites possèdent des qualités nutritives (azote et phosphore en quantités importantes) que l'on peut envisager d'utiliser à des fins agricoles.

Si la valorisation de ces boues est prévue, l'étude de l'assainissement devra donc organiser la collecte de ces boues et programmer le calendrier de leur épandage, au même titre que celui des purins et fumiers issus des installations fermières. Cette option est d'ailleurs très importante dans le cas d'un bassin versant s'écoulant vers un lac ou une retenue présentant des phénomènes d'eutrophisation.

—cas du lagunage, valorisation de la biomasse.

Pour la valorisation des sous—produits, le lagunage présente un cas tout—à—fait particulier. En effet, s'il ne peut être recommandé pour la réutilisation des eaux usées à cause de l'importance des pertes par évaporation, la production de biomasse importante qui le caractérise et les sources de développement qui en découlent peuvent devenir dans certains cas un critère de choix prépondérant pour cette technique (Bailly, Bondon, Pietrasanta, 1986).

Nous ne rentrerons pas dans le détail des techniques de récupérations, de valorisation et de vente des sous—produits du lagunage, leur réutilisation peut être envisagée comme suit :

— Biomasse zooplanctonique : nourriture coquillages

— Biomasse phytoplanctonique : nourriture poissons

— Biomasse macrophytique : production de biogaz.

Les **événements aléatoires** qui peuvent affecter cette sous—étape sont les mêmes que ceux concernant les épandages superficiels d'effluents puisque la valorisation de l'eau épurée pour la réalimentation des nappes ou pour l'irrigation passe par la mise en place de dispositifs d'infiltration (bassins) ou d'épandage (arroseurs). Interviennent aussi les normes d'utilisation d'une eau usée pour l'irrigation de différents types de productions végétales et les positionnements relatifs des organes d'épuration et des lieux d'épandage (aussi bien pour les boues que pour les effluents).

Conclusion sur les études:

Les pages précédentes montrent la complexité des études à entreprendre pour définir le schéma d'assainissement d'une collectivité.

Des choix tactiques s'imposent au niveau de l'acquisition des données et des choix stratégiques importants se dessinent quand il s'agit de choisir la technique d'épuration à attribuer à chaque sous—groupe du plan d'assainissement et lorqu'il est décidé de valoriser les effluents et les boues produits.

La phase suivante du déroulement d'un projet d'assainissement est celle des travaux. Nous tenterons de définir les sous—étapes qui la composent et la spécificité des différents travaux de réhabilitation ou d'assainissement individuel.

2.4.Les travaux.

Les travaux qui sont entrepris pour la réalisation d'un projet d'assainissement de petites collectivités sont de deux ordres. Ce sont d'abord les travaux "classiques" de l'assainissement collectif (réseau, organes de traitement), mais ce sont aussi des travaux visant à la réalisation ou à la rénovation d'équipements individuels pour lesquels les contraintes sont totalement différentes et dont la mise en oeuvre requiert un certain savoir—faire.

Ces travaux seront dans de nombreux cas, effectués par un artisanat local, c'est pourquoi l'appel d'offre se fera sur bordereau des prix, le CCTP (cahier des clauses techniques particulières) doit être particulièrement soigné pour préciser les travaux qui seront effectués. Le contrôle et le suivi de chantier doivent être précis et permanents, ils nécessitent une complémentarité indispensable entre prestation intellectuelle et travaux.

—Travaux du réseau:

Les travaux entrepris sur un réseau peuvent être destinés à la réhabilitation d'un ancien réseau ou à la construction d'un réseau neuf. Ces deux types de travaux sont soumis à des contraintes et à des aléas très différents, c'est la raison pour laquelle MISE propose deux sous—étapes différentes pour ces deux opérations.

La réhabilitation des réseaux d'assainissement constitue un problème actuel important, il s'agit d'abord de repérer les ouvrages dont on ne connait pas l'emplacement exact, de détecter d'éventuelles fuites puis de faire les interventions nécessaires pour y remèdier (étanchement, chemisage, tubages).

Des essais de réception du réseau (tests d'étanchéïté par injection de fumées, visite par caméra) qui doivent être réalisés par une entreprise spécialisée qui à l'issue de ceux—ci, remet au maître d'ouvrage un certificat d'étanchéïté (Bourrier, 1985). Un technicien doit d'autre part contrôler les raccordements avant la fin des travaux.

—Travaux sur les organes d'épuration:

Les travaux relatifs à des assainissements autonomes sont soumis à autorisation de la part des particuliers chez lesquels l'entrepreneur devra pénétrer. Il est de plus conseillé de faire pratiquer un constat d'huissier avant et après les travaux pour éviter tout contentieux avec les particuliers.

Les travaux dans le domaine privé peuvent être soumis à des aléas spécifiques tels que l'impossibilité de pénétrer dans un jardin pour les engins de terrassement normaux. Il faut tenir compte de ces aléas car, si les travaux doivent être réalisés à la main, ils seront facturés en conséquence et il peut parfois être plus intéressant de détruire une clôture et de la reconstruire.

La réalisation d'épandages souterrains individuels ou collectifs nécessite une certain savoir—faire de la part de l'équipe et du chef de chantier chargés des travaux. En effet, la répartition des effluents sur le massif filtrant doit être homogène, il est donc indispensable de vérifier que les regards de répartition sur les drains soient bien exécutés.

Ces travaux nécessitent aussi une bonne organisation générale du chantier : après l'amenée du matériel, s'effectue le creusement de la fouille puis la pose des drains, en prenant garde que ceux—ci n'empèchent pas le passage des engins qui doivent réaliser d'autres tâches.

La qualité des granulats est importante, ils doivent être constitués de sable bien lavé ou mieux de pierre concassée. Le relevé topographique doit être précis, il intervient dans le dimensionnement du tertre filtrant. Il est préférable de réaliser les filtres à sable hors période pluvieuse, cet ouvrage devant être réalisé en dernier lieu.

Dans les chantiers de réalisation d'un lagunage ou de bassins d'infiltration, la qualité des terrassements est très liée aux conditions météorologiques, on veillera donc à ce qu'ils soient exécutés à une période favorable de l'année. Dans le cas d'un lagunage, les matériaux utilisés en remblai doivent être homogènes et suffisamment imperméables. Les opérations de compactage des digues par des engins spécialisés sont nécessaires, pour que ces opérations soient efficaces et que la circulation des engins ne soit pas gênée, un assainissement du chantier par drainage ou pompage doit être réalisé dès le début des travaux.

En ce qui concerne les stations d'épuration, les travaux à réaliser relèvent d'une part, du génie civil et d'autre part, de l'électromécanique. La réalisation de ces ouvrages, ou leur réhabilitation nécessite des interventions totalement différentes des précédentes. Ces travaux sont en général réalisés par des entreprises spécialisées, qui portent une attention particulière à l'étanchement des bassins, au dimensionnement des canalisations de transfert et de tous les organes hydrauliques et à la robustesse du matériel électromécanique.

Pour tous les travaux (réseau, organes d'épuration), un plan de récolement est indispensable en fin de chantier.

5 — Travaux

601 :Réseau neuf
602 :Réhabilitation réseau
603 :Organe d'épuration collectif neuf
604 :Réhabilitation organe d'épuration collectif
605 :Organes d'épuration individuels neufs
606 :Réhabilitation organes d'épuration individuels

Les **événements aléatoires** qui peuvent intervenir lors des travaux sont nombreux. Ce sont d'abord les incidents de chantier liés à la météorologie, à des pannes d'engins, à des retards de livraison du matériel...(incidents classiques déjà rencontrés dans les autres versions du système MISE). D'autres incidents sont plus spécifiques aux travaux d'assainissement (rupture d'organes de traitement, pluie sur terrassement réalisé pour épandage). Ces évènements contiennent aussi des conseils de réalisation des travaux.

exemple : Le remblayage des tranchées doit se faire en deux temps : -0,15 m au dessus de la canalisation à la main avec terre des déblais expurgée de tous éléments grossiers (ou sable ou graviers fins) en particulier si les canalisations sont en PVC + damage à la main ; puis le reste peut être effectué avec des engins (Guerrée, Gomela, 1978)

exemple : La pose de fosses septiques collectives nécessite la mise en place systématique de dalles de protection sur toutes les fosses car elles remontent et peuvent être écrasées par des engins.

exemple : dans le cas des assainissements autonomes les odeurs à l'extérieur sont souvent dues à un manque d'étanchéité des tampons, il faut donc bien surveiller le scellement de ces tampons au cours des travaux

exemple : dans le cas des assainissements autonomes, les odeurs à l'intérieur sont dues à la communication du circuit des eaux vannes et des eaux ménagères par l'intermédiaire de la fosse septique toutes eaux, il y a donc donc nécessité d'un siphonnage général en entrée de fosse septique toutes eaux et d'une prise d'air sur les canalisations en sortie de maison pour éviter les phénomènes de pompe à vide qui peuvent vidanger les siphons à l'occasion de la vidange d'une baignoire par exemple.

Les outils qui sont proposés aux utilisateurs dans le cadre de la simulation sont deux programmes de calcul (tableurs) du coût de revient des travaux de réseau et d'assainissement (tableau n°2-17).

2.5.Gestion des installations et tarification.

La dernière phase de déroulement des séminaires MISE est dédiée à la gestion des installations et la tarification de l'assainissement aux usagers. C'est aussi pour les décideurs une étape indispensable qui doit être étudiée de façon détaillée car c'est d'elle que dépendra la rentabilité des investissements et la satisfaction des usagers.

Il faudra prévoir l'entretien des installations et son coût, calculer l'amortissement du matériel en fonction de sa durée de vie et du terme des emprunts réalisés, intégrer les dépenses en énergie électrique liées aux postes de relevage, aux aérateurs et à tout le matériel électromécanique.

Intitulé des travaux	Code	Prix unit.	Unités	Prix partiels	Totaux
JACQUET Antoine					
caisse siphoïde	62	400,00	1	400	
bac à graisses 500 l	5	1350,00	1	1350	
préfiltre	7	800,00	1	800	
terrassement	30	45,00	25	1125	
graviers 15/25	11	125,00	2,2	275	
sables 3/6	12	145,00	8,1	1175	
tout-venant 0/100	17	125,00	3,3	413	
drain PVC Ø 104/110	16	45,00	12	540	
répartiteur	8	400,00	2	800	
bidim	9	12,00	30	360	
divers raccordements		500,00	1	500	
total JACQUET Antoine					7737
FARGE jean-Guy					
bac à graisses 500 l	5	1350,00	1	1350	
siphon	63	1000,00	1	1000	
préfiltre	7	800,00	1	800	
divers raccordements		500,00	1	500	
total FARGE Jean-Guy					3650
DARMET René					
préfiltre	7	800,00	1	800	
terrassement	30	45,00	20	900	
terrass. PV ter n°2	32	25,00	10	250	
sables 3/6	12	145,00	25	3625	
graviers 15/25	11	125,00	10	1250	
bidim	9	12,00	62	744	
répartiteur	8	400,00	2	800	
drain PVC Ø 104/110	16	45,00	28	1260	
divers raccordements		500,00	1	500	
total DARMET René					10129
JACQUET Antonin et JACQUET Paulette					
tranchées réalisées à la main		115,00	70	8050	
tranchée < Ø 250	41	26,50	10	265	
tranchée P.V. ter. n°2	42	1,30	30	39	
canalisation PVC Ø 100	29	45,00	80	3600	

tableau n°2—17

PROGRAMME DE CALCUL DU COUT DES DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT

Le coût total d'un projet d'assainissement pour petite collectivité se répartit en général comme suit :

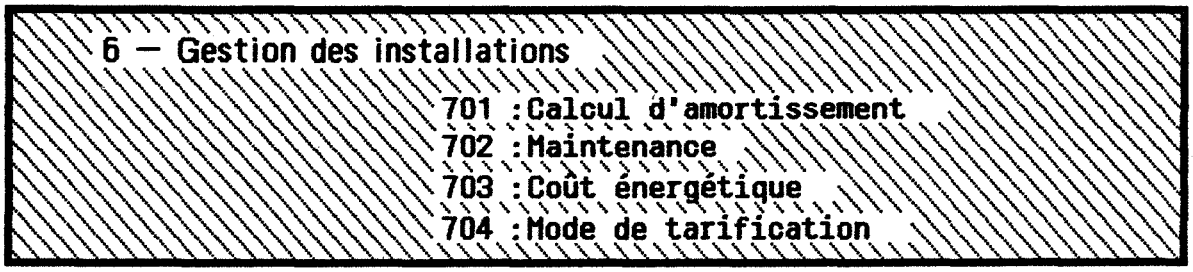
—Etudes 10%

—Travaux 90% dont :

—main d'oeuvre 55%
—fournitures 35%
—engins 10%

C'est à partir de ces éléments que la tarification de l'eau assainie doit être prévue. Elle pourra se faire forfaitairement ou bien en tenant compte du volume d'eau consommé par les utilisateurs. Dans ce cas, la taxe d'assainissement sera intégrée à la facture d'eau et le mode de tarification (monôme, binôme) de l'eau pourra être appliqué à l'assainissement.

Le problème de la tarification des assainissements individuels a déjà été soulevé dans le paragraphe "modalités administratives". Pour eux, la tarification pourra être différente si le propriétaire a participé pour une part, au coût des travaux réalisés sur son terrain.



CHAPITRE 3: STRUCTURE DE LA BANQUE DE DONNEES ET DEROULEMENT DES SESSIONS

3.1.La banque de données MISE—Assainissement.

Dans les développements précédents, ont été cités les événements aléatoires jalonnant le déroulement du projet ainsi que les outils que MISE met à la disposition de ses utilisateurs. L'architecture du MISE s'appuie aussi sur l'existence d'une banque de données structurée contenant tous les éléments nécessaires au déroulement de l'opération. Celle adaptée à la version assainissement du système de simulation MISE a été directement structurée pour être compatible avec une application plus orientée vers l'aide à la décision.

Les données et les outils proposés à l'utilisateurs sont classés dans des rubriques ou cheminons constitués de mots clés qui permettent de connaître le contenu de la rubrique. Les cheminons retenus pour les projets d'assainissement des petites collectivités sont les suivants:

Banque de données de l'utilisateur.

Elle est constituée de données non spécifiques au projet traité qui représentent la connaissance de base indispensable à l'utilisateur pour résoudre son problème. Ce sont des connaissances générales sur le contexte naturel ou sur le contexte humain qui influent sur l'assainissement, ce sont aussi des techniques d'investigation du sous—sol ou bien des données sur les dispositifs de prétraitement qui existent sur le marché.

-ALLUV

Caractères géologiques, hydrogéologiques, topographiques, pédologiques d'un milieu alluvial (alluvions fluviales et fluvioglaciaires)

-FISSUR

Caractères géologiques, hydrogéologiques, topographiques d'un milieu fissuré (socle cristallin, calcaire).

-RES

Connaissances générales d'hydraulique pour l'équipement le tracé et le dimensionnement de réseaux. Détection des fuites dans les réseaux.

-RES>GRAV

Informations spécifiques à la conception de réseaux gravitaires.

-RES>PRESS

Informations spécifiques à la conception de réseaux sous pression et au dimensionnement de postes et de canalisations de refoulement.

-RES>COUT

Données de coût concernant les canalisations, les tranchées, les accessoires de réseau...etc. Programme de calcul du coût d'installation des réseaux (programme "CINST", Graillot 1983).

-BES>SOL

Méthodes d'étude des sols, mesures de perméabilités, analyses de sols, sondages à la tarière, profils de sols. Localisation et existence des cartes pédologiques.

-FINANC

Possibilités de financement (subventions, emprunts) mises à la disposition des décideurs.

Organismes susceptibles de financer les projets d'aménagement en eau et modalités d'acquisition des subventions.

-ASSPC>FINANC

Problème particulier du financement des assainissements individuels et des relations entre la collectivité et les particuliers.

-ASSPC>CONTNAT

Ce sont les connaissances qu'il faut acquérir sur le contexte naturel pour pouvoir étudier et définir un projet d'assainissement de petites collectivités.

-ASSPC>CONTHUM

Connaissances du contexte humain. Annexes sanitaires du Plan d'Occupation des Sols. Règles d'urbanisme.

-ASSPC>GROUPE

Ce cheminon ainsi que tous les cheminons contenant le mot clef **GROUPE** contiendront des données qui ne sont pas utiles à l'assainissement des habitations unifamiliales (quand les mots clefs **GROUPE ou AUTON** ne sont pas spécifiés c'est que la rubrique peut concerner l'un ou l'autre de ces thèmes).

-ASSPC>GROUPE contiendra des données générales sur l'assainissement collectif, les raisons qui peuvent pousser à choisir cette solution et les contraintes qui y sont liées.

-ASSPC>GROUPE>RES

Connaissances générales relatives aux réseaux d'assainissement .

-ASSPC>GROUPE>RES>UNITAIRE

Connaissances spécifiques à l'assainissement avec réseau unitaire (dimensionnement, déversoir d'orages).

-ASSPC>GROUPE>RES>SEPARATIF

Connaissances spécifiques à l'assainissement avec réseau séparatif (eaux pluviales, eaux usées).

-ASSPC>GROUPE>RES>MIXTE

Connaissances spécifiques à l'assainissement avec réseau mixte (eaux usées et eaux pluviales).

-ASSPC>GROUPE>EPUR>RUSTIC>LAG

Méthodes de réalisation d'un dispositif de lagunage en assainissement collectif.

-ASSPC>GROUPE>EPUR>RUSTIC>EPSUP

Informations générales pour la réalisation d'un épandage superficiel en assainissement collectif (bassins d'infiltration, épandage sur prairies).

-ASSPC>GROUPE>EPUR>STATION

Informations sur la réalisation une station d'épuration pour une petite collectivité.

-ASSPC>GROUPE>EPUR>STATION>COUT

Calcul du coût des stations d'épuration pour l'assainissement des petites collectivités.

-ASSPC>EPUR>RUSTIC>SOL

Ce sont les données et les outils relatifs à la connaissance du sol dont les caractéristiques doivent être connues pour tous projets d'épuration de type rustique (lagune, épandage souterrain, épandage superficiel). On peut y trouver par exemple, des renseignements sur l'aptitude des sols à l'assainissement individuel (Gougoussis, 1978).

Les fichiers contenus dans cette rubrique ne concernent pas les techniques d'investigation du sol, les valeurs de perméabilité mesurées et les faciès rencontrés à Saint-Marcel de Félines seront respectivement placés dans **BES>SOL et ASSPC>SITE**.

-ASSPC>EPUR>RUSTIC>EPSOUT

Connaissances nécessaires pour l'épandage souterrain des effluents (longueur maximales des drains, dimensionnement des fosses septiques...etc).

-ASSPC>EPUR>RUSTIC>COUT

Données de coûts des méthodes d'épuration rustiques en assainissement autonome ou groupé (terrassements, granulats...)

-ASSPC>AUTON

Connaissances générales sur les procédés d'assainissement autonome par opposition au groupé. Ne seront pas placées ici les connaissances sur l'épuration par épandage souterrain communes avec l'assainissement groupé et placée dans les cheminons contenant **EPUR>RUSTIC**. Dans cette rubrique ne seront rangées que les données spécifiques à l'assainissement unifamilial pour les microstations, les décanteurs digesteurs, les fosses d'accumulation.

-ASSPC>UTIL

Informations sur la réutilisation des eaux usées (normes de qualité) et la valorisation de boues.

-ASSPC>TARIF

Calcul de la redevance assainissement qui pourra être perçue individuellement ou par l'intermédiaire de la facture d'eau.

Banque de données du coordonateur

Elle est constituée des cheminons qui contiennent les variables géographiques (**SITE et DEPART**) qui dans le cas du premier projet de référence prendront les valeurs : Saint—Marcel de Féline et Loire.

Les données contenues dans cette banque sont celles qui nécessitent la réalisation de l'une des sous—étapes du système décisionnel pour être obtenues.

Par exemple si l'utilisateur réalise la sous—étape 204 il obtiendra la carte IGN au 1/25.000° de Feurs n°3—4 contenue dans le cheminon **TOPO>DEPART**.

-EAUSUR>DEPART(Loire)

Données relatives aux eaux superficielles (fleuves, cours d'eau, bassins versants, cartes de pollution), pour chaque département. Bases de données du ministère de l'environnement.

-EAUSOUT>DEPART(Loire)

Données sur les eaux souterraines de chaque département (cartes hydrogéologiques, relevés piezométriques, banques de données du BRGM, données de forages et de sondages).

-PHOTO>DEPART

Documents de télédétection aérienne ou spatiale et méthodes d'interprétation.

-TOPO>DEPART

Données topographiques (cartes topographiques IGN, plans cadastraux numérisés).

Dans ces derniers cheminons, DEPART est une variable qui prendra une valeur pour chaque site de projet simulé.

-ASSPC>SITE(SAINT-MARCEL DE FELINES)

Résultats des expériences de simulation MISE version assainissement, Saint—Marcel des Félines (Loire).

-ASSPC>SITE(SAINT-MARCEL DE FELINES)>CONTNAT

Données concernant spécifiquement le contexte naturel à Saint—Marcel de Félines et qui seront fournies aux utilisateurs au fur et à mesure du déroulement de la session pour résoudre son problème.

-ASSPC>SITE(SAINT-MARCEL DE FELINES)>CONTHUM

Données concernant spécifiquement le contexte humain à Saint—Marcel de Félines et qui seront fournies aux utilisateurs au fur et à mesure du déroulement de la session pour résoudre son problème.

La structuration ou plutôt l'organisation des banques de données utilisées dans les autres versions MISE était jusqu'à présent, basée sur la distinction entre les outils (algorithmes de calcul, de simulation et d'optimisation) et les donnnées (informations sur les méthodes, données quantitatives). Pour des raisons qui sont à la base des réflexions que nous proposons dans le cadre de la quatrième partie (chapitre 3) de cet ouvrage, le regroupement des outils et des informations qui sont susceptibles d'être sollicités pour des crénaux d'activité et des problèmes bien ciblés est préférable, qu'il s'agisse de projets d'assainissement, d'alimentation en eau potable ou d'irrigation.

3.2.Déroulement des sessions MISE—Assainissement.

Les sessions du MISE dans sa version assainissement des petites collectivités débuteront comme toutes les sessions MISE, par une visite sur le terrain permettant aux participants de prendre contact avec le milieu sur lequel ils travailleront pendant une semaine. Cette visite sur le terrain nous a paru indispensable dans notre volonté de provoquer un passage progressif depuis un projet réel jusqu'au domaine de la simulation.

La deuxième journée de travail sera consacrée au plan prévisionnel de travail et aux premières étapes de l'étude permettant de définir une ou plusieurs hypothèses d'assainissement, parmi lesquelles un choix pourra se faire en fonction des contraintes administratives ou financières (subventions).

La troisième journée, les participants devront définir le projet définitif à l'aide des études complémentaires, dresser le "plan d'assainissement" et commencer le dimensionnement de certains équipements.

C'est aux environs de la quatrième journée que seront dimensionnées toutes les installations (réseau, organes d'épuration) et que se dérouleront les travaux.

La matinée du cinquième jour sera consacrée à la gestion des installations et au choix du mode de tarification, l'après-midi de ce cinquième jour constituera la séance d'évaluation du séminaire, auxquels participeront en fonction de leur disponibilité, les intéressés du projet ainsi que d'autres spécialistes des problèmes d'assainissement. Cette dernière journée aura pour but essentiel de valider la démarche adoptée par les utilisateurs du système, elle clôturera la semaine de travail, durée qui semble suffisante pour simuler ce style de projet.

L'accent sera porté sur la participation ponctuelle ou en continu des décideurs (spécialistes et élus) à ces sessions. La présence d'apprenants (élèves-ingénieurs, étudiants) reste indispensable pour des motifs que nous exposerons plus en détail au chapitre 1 de la quatrième partie de ce mémoire.

CHAPITRE 4 : RESOLUTION DU CAS DE REFERENCE
(St Marcel de Félines)
VUE A TRAVERS LES ELEMENTS DU SYSTEME DECISIONNEL MISE.

La meilleure façon de juger de la validité des sous—étapes prévues pour le système MISE assainissement des petites collectivités, est d'utiliser l'ensemble des éléments du système décisionnel pour le problème qui a été étudié à Saint—Marcel de Félines. Le contrôle de sa cohérence par rapport au déroulement réel de ce projet, est indispensable avant d'envisager toute expérience de simulation.

Le projet réel de Saint—Marcel des Félines est en cours de réalisation, et certaines données manqueront pour les phases de réalisation des travaux et de tarification. Si le projet réel n'est effectivement pas tout—à—fait terminé, cela ne fait qu'en renforcer l'intérêt.

1 — Modalités administratives, juridiques et financières.

101 : Création syndicat de communes

Etape non réalisée dans le cadre du projet de Saint-Marcel de Félines puisqu'il s'agit d'une commune unique.

102 : Subventions état, région, département

La mairie de Saint-Marcel de Félines a obtenu pour l'année 1986 une subvention s'élevant à 40% d'une assiette maximale de 300.000F

103 : Subventions agence de bassin

L'agence de bassin subventionnera les réseaux à 40%, les organes de traitement à 20% et les installations individuelles à 0%.

104 : Emprunts à long terme

105 : Emprunts à court terme

L'ensemble des subventions obtenues couvrant environ 75% de la totalité des travaux, la mairie a réalisé des emprunts pour couvrir les 25% manquant.

106 : Planning financier

En 1986 les investissements s'élèveront à 300.000F et seront réalisés pour l'assainissement du hameau de Philipponière et le réseau de Créonet.

En 1987, les investissements s'élèveront aussi à 300.000F pour terminer les travaux de Créonet et éventuellement commencer les travaux à Félines.

Les investissements en 1988 devront permettre de terminer l'assainissement du hameau de Félines et de réaliser l'organe d'épuration du bourg (la décision entre un lagunage et une réhabilitation de la station d'épuration n'est pas encore prise).

2 — Données existantes

201 : Carte géologique

La carte géologique de la région (Montbrison, 1/80.000°) a été consultée.

202 : Carte hydrogéologique

203 : Carte pédologique

Ces documents n'existent pas

204 : Carte I.G.N.

La carte IGN au 1/25.000° (Feurs n°3-4) a été fournie au cabinet chargé de l'étude.

205 : Plan cadastral

Le plan cadastral fourni au cabinet n'était pas à jour : il manquait de nombreuses habitations récentes. Consultation d'une étude antérieure.

206 : Plan d'Occupation des Sols (POS)

N'existe pas

207 : Etudes existantes

Une étude de l'assainissement de Créonet en "tout collectif" avec station avait été entreprise en 1983, les plans du projet ont été fournis au cabinet d'étude.

3 — Etudes complémentaires

Environnement naturel

301 : Terrain

Les visites de terrain ont été nombreuses, elles ont permis d'affiner les connaissances géologiques, de repérer les puits d'exploitation de la nappe et d'en connaître la profondeur (mesures de niveaux piézométriques), de constater les problèmes liés aux assainissements ne fonctionnant pas.

302 : Mesures géophysiques

Aucune mesure géophysique n'a été entreprise. La nappe étant superficielle et les puits étant accessibles, la détermination du niveau du toît de la nappe n'a pas nécessité la mise en oeuvre d'une telle méthode par ailleurs trop onéreuse.

303 : Photointerprétation

Pas de consultation de photographies aériennes. Les plans topographiques étaient suffisants pour une étude qui ne prévoyait pas l'établissement d'une carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel.

304 : Sondages à la tarière

Des sondages à la tarière ont été réalisés (40 environ) sur tous les sites susceptibles de recevoir un épandage souterrain et sur le site prévu pour un lagunage. (repérage des faciès, profondeur de la roche mère, traces d'hydromorphie)

305 : Mesures topographiques

Des mesures topographiques ne seront entreprises qu'au moment des travaux.

306 : Mesures de perméabilité

Une quinzaine de mesures de perméabilité ont été réalisées, uniquement sur les sites retenus dans le projet définitif pour recevoir un épandage.

307 : Analyses chimiques

Aucune analyse chimique n'a été effectuée sur les effluents, ils sont tous d'origine domestique exceptés ceux de la boyauderie dont la qualité était déjà connue.

308 : Mesures de débit

Ces mesures n'ont pas été réalisées, les volumes journaliers d'effluents ont été estimés à partir d'une valeur de 150 litres par jour et par habitant.

Environnement humain

401 : Réunion avec la Mairie

Une réunion en mairie a été organisée pour informer la population concernée et pour pouvoir appréhender les antagonismes existants.

Par la suite les réunions en mairie se sont faites avec quelques élus locaux, l'agence de bassin et la DDAF, pour la présentation et la discussion des différentes étapes de l'avant-projet. Cette démarche a été très utile pour assurer le bon déroulement du projet.

402 : Enquête auprès des particuliers

Chaque particulier a été invité à répondre à un questionnaire type concernant leur mode de vie, leur nombre par habitation, le confort de l'habitat et les installations d'assainissement. Il est fondamental de ne pas séparer cette enquête de l'étude technique.

403 : Recensement des industries

Il existe une boyauderie dans le bourg, elle conditionne le dimensionnement du futur organe d'épuration.

404 : Recensement de la population

Le recensement de la population des hameaux a été fait lors de l'enquête auprès des particuliers, celui du bourg n'a pas été fait. La mairie prévoit la construction d'un lotissement en 1988 dans le bourg. Actuellement les hameaux concernés par le projet d'assainissement représentent 140 équivalents habitants.

405 : Enquête auprès des administrations

Rapport régulier avec la DDAF maître d'oeuvre et avec l'agence de bassin qui participe au financement.

4 — Résolution du projet

501 : Carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel

Malgré un regret de dernière minute de la part de la mairie, elle ne faisait pas partie du travail à réaliser compte tenu du budget imparti à la phase d'études.

502 : Tracé du plan d'assainissement

Plusieurs options de regroupement ont été proposées au maire de Saint-Marcel de Félines qui a toujours opté pour les regroupements les plus importants, dans le souci de laisser un minimum d'habitations en assainissement individuel. Certains secteurs sont équipés en réseau collectif et d'autres en assainissement individuel (figure n°2-28).

503 : Dimensionnement du réseau

Toutes les canalisations prévues sont en diamètre 200mm (minimum admissible pour un réseau d'assainissement). Aucun calcul de dimensionnement n'a été réalisé. Etant donnée la faible valeur des débits d'effluents, la catégorie de diamètre 200mm était largement suffisante (expérience).

504 : Dimensionnement d'une station

Il sera peut être entrepris si les décideurs décident de réhabiliter la station existante pour le bourg.

505 : Dimensionnement d'une lagune

Il sera peut être entrepris si les décideurs décident de réaliser une lagune pour le bourg.

506 : Dimensionnement d'un épandage superficiel

Pas d'épandage superficiel prévu. C'est au départ une décision de l'agence de bassin, elle peut se justifier par la faible importance de la population.

507 : Dimensionnement d'un épandage souterrain

Tous les organes d'épuration prévus aussi bien en individuel qu'en collectif sont des épandages souterrains.

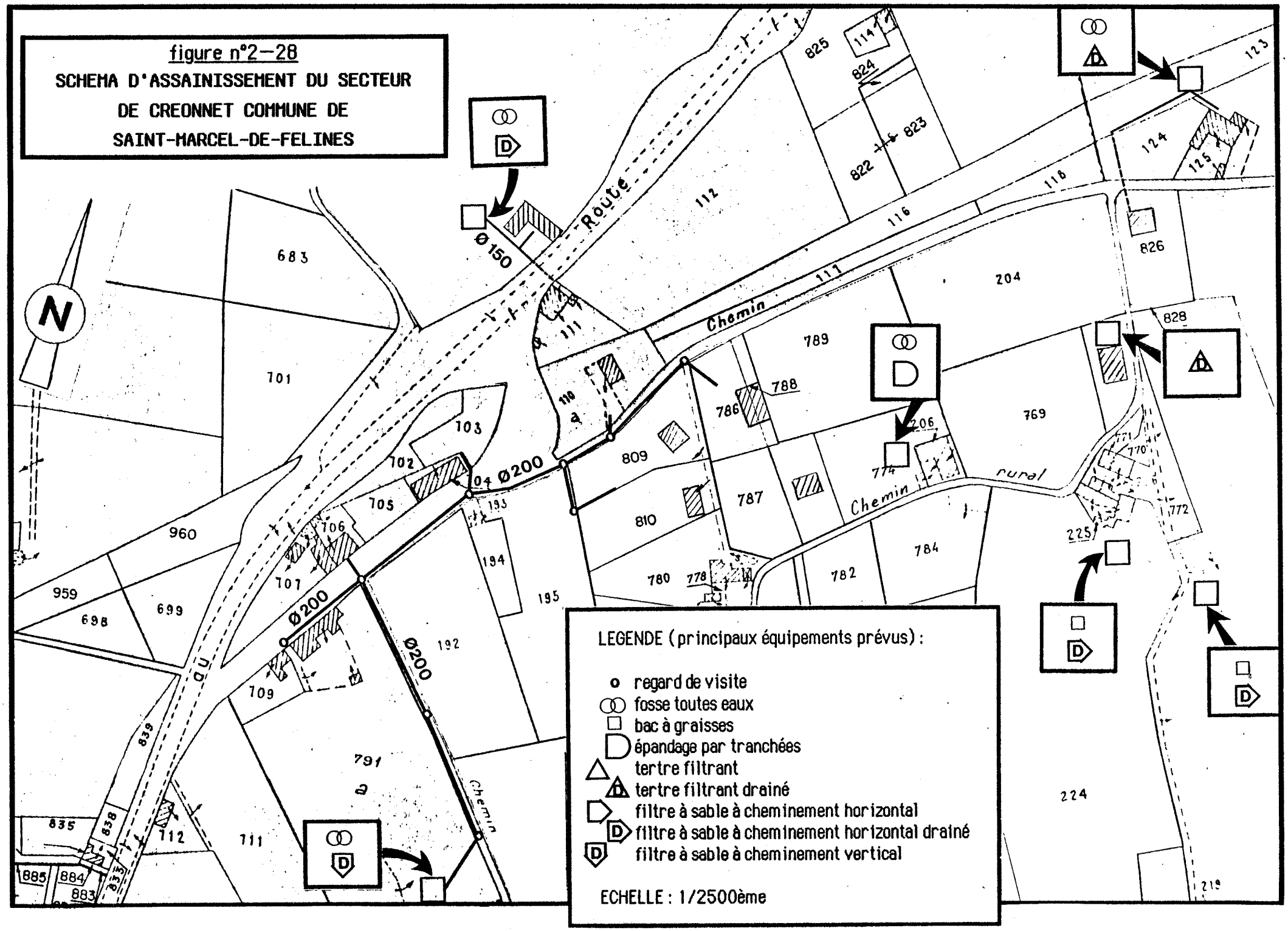


figure n°2-28
SCHEMA D'ASSAINISSEMENT DU SECTEUR DE CREONNET COMMUNE DE SAINT-MARCEL-DE-FELINES
N
Route
Chemin
Chemin rural
Ø150
Ø200
Ø200
Ø200
683
701
960
959
698
699
707
709
839
835
838
885
884
883
712
711
791
792
195
194
705
706
702
103
111
112
825
824
822
823
114
123
124
125
116
826
204
828
789
788
786
769
809
810
787
774
206
784
782
780
778
772
771
770
225
224
219
LEGENDE (principaux équipements prévus) :
regard de visite
fosse toutes eaux
bac à graisses
épandage par tranchées
tertre filtrant
tertre filtrant drainé
filtre à sable à cheminement horizontal
filtre à sable à cheminement horizontal drainé
filtre à sable à cheminement vertical
ECHELLE : 1/2500ème

508 : Valorisation des effluents, des boues

Un habitant du hameau de Philipponière est pépiniériste et récupérera ses eaux usées traitées pour l'arrosage de ses arbres.

Les boues de fosses septiques seront proposées aux agriculteurs comme amendement. Des fosses à purin et des fosses à ensilage ont été prévues dans les fermes dans le but d'un épandage, l'assainissement des hameaux intégrant la mise en conformité de ces installations.

5 — Travaux

Les travaux ne sont pas encore réalisés

601 : Réseau neuf

Dans les hameaux où il n'existait aucun équipement collectif jusqu'à présent un réseau neuf sera installé.

602 : Réhabilitation de réseau

Elle devra peut-être être entreprise dans le bourg.

603 : Organes d'épuration collectifs neufs

Ces organes consisteront en épandages souterrains pour les hameau.

604 : Réhabilitation d'un organe d'épuration collectif

Pour le bourg c'est une opération envisageable mais qui reste encore à définir, il faudra choisir entre la réhabilitation de la station d'épuration existante et inutilisée ou bien la création d'une lagune.

605 : Organes d'épuration individuels neufs

Ils seront installés dans les hameaux où certaines habitations ne possédent aucun assainissement.

606 : Réhabilitation d'organes d'épuration individuels

Dans les hameaux, cette réhabilitation se fera par l'équipement en bacs dégraisseurs et par la création d'épandage derrière fosse septique existante.

6 — Gestion des installations

701 : Calcul d'amortissement

702 : Maintenance

703 : Coût énergétique

704 : Mode de tarification

Ces opérations ne sont pas encore réalisées, on sait toutefois que la mairie prendra en charge la totalité des investissements (même ceux afférents aux installations individuelles). Un contrat sera établi entre les individuels et la mairie. Le prix de l'assainissement sera proportionnel au volume d'eau consommé, il sera intégré à la facture d'eau comme c'est déjà le cas pour les habitants du bourg.

Le coût total de l'assainissement pour les trois hameaux s'élève à 727kf pour les travaux et 40kf pour les études.

Conclusion concernant le MISE—Assainissement des petites collectivités.

Le MISE—Assainissement des petites collectivités est en cours de réalisation. Certains auraient pu douter de l'utilité de réaliser un tel système pour des projets qui au premier abord peuvent sembler simplistes. Le développement précédent montre la complexité du problème de l'assainissement des petites collectivités étant donnée la variété de choix possibles qui s'offrent au décideur entre un assainissement "tout collectif avec station" et un assainissement "tout autonome".

L'architecture qui a été donnée au MISE—Assainissement des petites collectivités s'appuie sur les différentes étapes du déroulement d'un projet réel et doit permettre à l'utilisateur de définir comme il l'entend, le projet qu'il étudie. Pour vérifier cette hypothèse de travail, les différentes sous—étapes du système décisionnel ont été appliquées au projet réel de Saint—Marcel de Félines, il apparaît que l'ensemble de ces sous—étapes permet une bonne description du projet tel qu'il a été défini.

En tout état de cause, cet ensemble n'est pas "figé" ou "fermé", il est évolutif et on peut imaginer que certaines sous—étapes disparaîtront à l'usage alors que d'autres seront créées.

La structure de la banque de données a été ici, directement conçue pour être compatible avec celle de la base de connaissances du système d'ingéniérie qui est à l'étude. Elle s'appuie sur une répartition des connaissances dans des sous—ensembles matérialisés par des cheminons comme le montre le schéma n° 2—29.

Après avoir traité les projets d'alimentation en eau potable et d'irrigation, le système MISE se propose de traiter des projets d'assainissement pour des petites collectivités. Compte tenu des interactions qui peuvent exister entre ces trois thèmes de l'aménagement en eau, en particulier dans les pays en développement, il serait peut être bon de concevoir un outil pouvant intégrer ces trois aspects et qui serait le MISE—Aménagement en Eau des Petites Collectivités. En effet, 2% environ du volume d'eau potable distribué aux habitations, est réellement consommé pour la boisson. Les habitations ne constituent qu'un lieu de transfert et de pollution de l'eau qui par la suite, moyennant un système d'épuration fiable, peut être réutilisée pour l'irrigation.

figure n°2—29

PRINCIPE DE LA STRUCTURATION DE LA BANQUE DE DONNEES
MISE-Assainissement des Petites Collecticités

ASSPC>GROUPE

ASSPC>EPUR>RUSTIC

ASSPC>GROUPE>EPUR>RUSTIC>LAGUNE
ASSPC>GROUPE>EPUR>RUSTIC>EPSUP

ASSPC>EPUR>RUSTIC>EPSOUT

ASSPC>EPUR>RUSTIC>SOL

ASSPC>EPUR>RUSTIC>COUT

ASSPC>GROUPE>EPUR>STATION

ASSPC>GROUPE>EPUR>STATION>COUT

RES

ASSPC>RES

ASSPC>RES>UNITAIRE

ASSPC>RES>MIXTE

ASSPC>RES>SEPARATIF

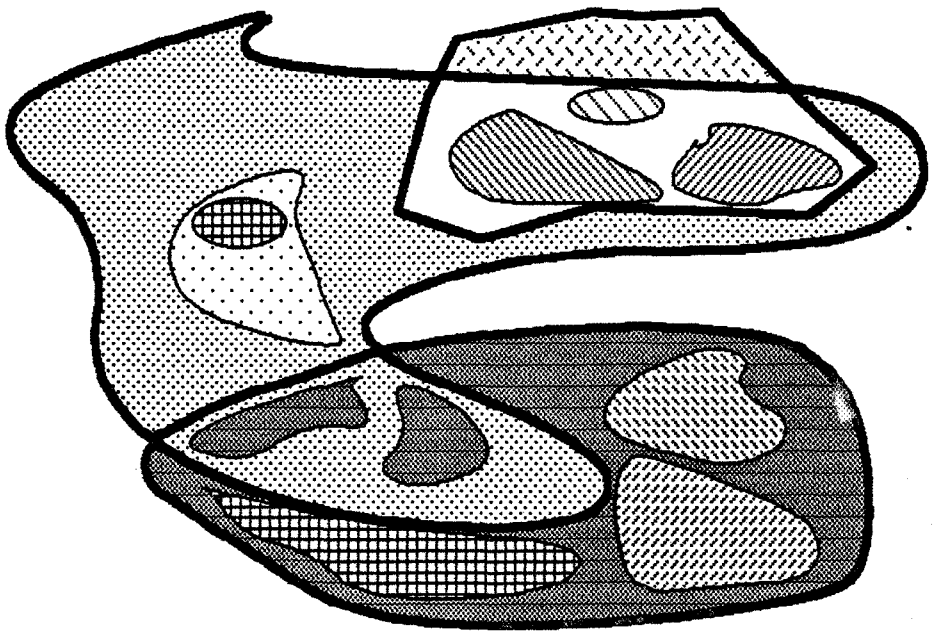


tableau n°2—18

MISE—Assainissement des petites collectivités
Etapes du système décisionnel

1—Modalités administratives, juridiques et financières

101 : Création syndicat de communes
102 : Subventions état, région, département
103 : Subventions agence de bassin
104 : Emprunts à long terme
105 : Emprunts à court terme
106 : Planning financier

2—Données existantes

201 : Carte géologique
202 : Carte hydrogéologique
203 : Carte pédologique
204 : Carte I.G.N.
205 : Plan cadastral
206 : Plan d'Occupation des Sols (POS)
207 : Etudes existantes

3—Etudes complémentaires

—Environnement naturel

301 : Terrain
302 : Mesures géophysiques
303 : Photointerprétation
304 : Sondages tarière
305 : Mesures topographiques
306 : Mesures de perméabilité
307 : Analyses chimiques
308 : Mesures de débit

—Environnement humain

401 : Réunion Mairie
402 : Enquête particuliers
403 : Recensement des industries
404 : Recensement population
405 : Enquête administrations

4—Résolution du projet

501 :Carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel
502 :Tracé plan d'assainissement
503 :Dimensionnement réseau
504 :Dimensionnement station
505 :Dimensionnement lagune
506 :Dimensionnement épandage superficiel
507 :Dimensionnement épandage souterrain
508 :Valorisation effluents, boues

5—Travaux

601 :Réseau neuf
602 :Réhabilitation réseau
603 :Organe d'épuration collectif neuf
604 :Réhabilitation organe d'épuration collectif
605 :Organes d'épuration individuels neufs
606 :Réhabilitation organes d'épuration individuels

6—Gestion des installations

701 :Calcul d'amortissement
702 :Maintenance
703 :Coût énergétique
704 :Mode de tarification

ANNEE: 1986

AUTEUR: GRAILLOT Didier

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC (MONTPELLIER II)

RESUME:

Il s'agit de constituer un système capable d'assister les responsables de projets d'aménagement en eau (décideurs, bureaux d'études) à partir des informations obtenues au cours d'expériences de simulation effectuées à l'aide du modèle MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau). La variété de ces informations qui peuvent être descriptives, quantitatives ou provenir du savoir-faire des spécialistes nous a amenés à donner à ce système un environnement informatique rappelant celui des systèmes experts. Quelques exemples d'application de modules d'expertise sont présentés, ils concernent en particulier le dimensionnement des dispositifs d'assainissement autonome et la prospection des ressources en eau.

MOTS-CLES:

-PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU
-HYDROGEOLOGIE
-ALIMENTATION EN EAU POTABLE
-IRRIGATION
-ASSAINISSEMENT
-AIDE A LA DECISION
-SIMULATION
-SYSTEME EXPERT

ACADEMIE DE MONTPELLIER

Université des Sciences et Techniques du Languedoc

THESE

Présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc

pour obtenir le grade de Docteur d'Etat

(mention Sciences)

Faisabilité d'un système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau à partir du modèle de simulation: MISE

(Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau)

TOME 2

par

Didier Graillot

Soutenue le 17 Décembre 1986 devant la commission d'examen.

Jury : MM. C. DROGUE : Président et Rapporteur
P. DAVOINE: Rapporteur
A. MATHON : Rapporteur
C. BOCQUILLON
P. BOIS
P. HUBERT

TROISIEME PARTIE

Le contenu du premier chapitre dresse le bilan des expériences de simulation MISE. Il confirme leur intérêt pédagogique, car elles permettent de s'entraîner à la prise de décisions pour réaliser des projets d'aménagement en eau. Cependant l'intérêt manifesté par les acteurs réels des projets simulés ayant participé à l'évaluation des sessions, montre que le système MISE peut contribuer à leur prise de décisions.

Le second chapitre de cette troisième partie analyse les résultats des expériences de simulation effectuées pour des projets d'alimentation en eau potable et pour les projets d'irrigation.

Le troisième chapitre soulève le problème de l'utilisation des résultats de ces simulations qui sont encore trop peu nombreuses pour que MISE puisse constituer un outil d'optimisation. L'intérêt d'une structure pour enregistrer les résultats et les éléments de connaissance pertinents obtenus au cours des simulations apparait d'ores et déjà indispensable avant que le nombre de ces simulations croisse.

Plutôt que de déterminer une solution optimale parmi les différentes solutions pour un projet simulé, il s'agit d'adopter une démarche permettant d'exploiter le contenu des simulations pour assister les décideurs dans d'autres projets.

L'exploitation de l'information obtenue à partir des simulations s'effectuera dans le cadre d'un système d'ingénierie pour assister les professionnels concernés par la réalisation des projets d'aménagement en eau. Le quatrième chapitre indique quels sont les différents utilisateurs potentiels de ce système.

CHAPITRE 1: SYNTHESE DES SESSIONS MISE INTERET ET UTILITE DES EXPERIENCES DE SIMULATION DES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU.

1.1.Présentation des différentes sessions.

Le tableau n°3—1, présente les différentes sessions MISE qui se sont déroulées depuis 1982 (thème traité, apprenants, experts, encadrement, participants à la dernière journée d'évaluation).

1.2.MISE outil d'ingénierie pédagogique assisté par ordinateur.

1.2.1.Intérêt pédagogique pour l'apprenant.

Le premier objectif du système MISE était d'être un outil à vocation essentiellement pédagogique. Après près de cinq années d'expérimentation de son déroulement, on peut constater qu'il apprend à ses utilisateurs les règles générales de conduite d'un projet d'alimentation en eau potable ou d'irrigation. Il leur fournit les connaissances de base nécessaires pour bien maîtriser toutes les phases du processus de décision impliqué dans de tels projets, de la conception à la réalisation (Graillot, Davoine, 1986).

Par rapport aux méthodes traditionnelles, le modèle MISE permet une meilleure approche du réel grâce à:

—la maturation sociale de l'apprenant (émulation de groupe, apprentissage au travail collectif, appréciation de la responsabilité personnelle, relativisation des jugements, évaluation des décisions prises).

—la prise en compte d'une situation à la fois globale et évolutive par une approche systémique intégrant une multitude d'éléments très divers non figés par opposition à la plupart des énoncés traditionnels.

En outre, comme toutes les méthodes pédagogiques actives, le modèle MISE met en oeuvre l'activité des utilisateurs en provoquant chez eux un engagement qui implique des initiatives. Il utilise les réactions propres des participants dont le psychisme est infiniment plus complexe que celui de la motivation, contrôlée par le système simpliste de la "carotte et du bâton". Il permet de faire apparaître des comportements de groupe et met en place un contrôle des connaissances faisant appel à l'auto—évaluation des sujets, et/ou des groupes, face aux objectifs fixés et à l'expérience des spécialistes.

tableau n°3—1

RECAPITULATIF DES DIFFERENTES SESSIONS M.I.S.E.

EVALUATION	DATE DES SESSIONS	THEME	APPRENANTS	EXPERTS	SPECIALITE	ENCADREMENT
E.M.S.E.	MAI 82	A.E.P. sans réseau	E.M.S.E.		Sc. de l'eau Sc. de l'eau Informat.	LEVASSOR (E.M.P.) DAVOINE GIRARD (E.M.S.E.)
E.M.S.E. CGE-DDA-DDE-DDASS-MAIRIES SYNDICATS	JANVIER 83	A.E.P.	E.M.S.E.	DECHOMETS BLACHERE DONGO (E.M.S.E.)	Géologie Hydrogéol. Hydraulique Econonie	DAVOINE GIRARD (E.M.S.E.) COINDE
E.S.R. E.M.S.E. CGE-DDA-DDE-DDASS-MAIRIES SYNDICATS	MAI 83	A.E.P.	E.M.S.E.		Hydraulique	DAVOINE COINDE GIRARD RIGAUD (D.D.A.)
D.D.A. E.M.S.E. E.M.A.	MAI 84	IRRIGATION	E.M.S.E.	BOULY (E.G.N.)	Hydrogéol.	DAVOINE COINDE GIRARD BLACHERE (E.M.S.E.)
E.M.A. CEMAGREF E.M.S.E.	MAI 85	IRRIGATION	E.M.N. E.M.A. E.M.S.E.	NOELLE (E.G.N.) MARTY MAE (ENGREF)	Hydrogéol. Génie rural	DAVOINE COINDE BLACHERE (E.M.S.E.)
GEOHYDRO-LOIRE SYNDICATS E.M.S.E.	SEPT. 85	IRRIGATION	ENGREF	DAVOINE (E.M.S.E.) DELACOURT (ENGREF)	Génie rural Pédologie Projets	COENAGA (ENGREF) BLACHERE géohydrologue DIDIER (D.D.A.)
C.G.E. LYONNAISE des Eaux B.R.G.M. E.M.S.E.	JANVIER 86	A.E.P.	E.M.P. D.E.A. hydrologie quantitat.	BOIS (E.N.H.G.)	Hydrogéol. Hydraulique Hydrologie	HUBERT (E.M.P.) DAVOINE (E.M.S.E.) DE MARSILY (E.M.P.)

E.M.S.E. : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne
E.M.P. : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris
E.M.N. : Ecole des Mines de Nancy
E.M.A. : Ecole des Mines d'Alès
E.N.H.G. : Ecole Nationale d'Hydraulique de Grenoble
D.E.A. : Diplôme d'études Approfondies (Université)
CEMAGREF : Centre d'Etude du machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts
C.G.E. : Compagnie Générale des eaux
D.D.A. : Direction Départementale de l'agriculture
D.D.E. : Direction Départementale de l'equipement
D.D.A.S.S. : Dir. Dép. Affaires sanitaires et sociales
ENGREF : Ecole Nationale Génie Rural Eaux et Forêts
B.R.G.M. : Bureau de Recherche Géologique et Minière

1.2.2.Intérêt pour le spécialiste: enseignant ou professionnel.

Ce système de simulation qui est un modèle pédagogique adapté à la formation des jeunes ingénieurs et des décideurs (hydrogéologues, ingénieurs du génie rural, responsables de projets d'hydraulique) s'intéressant à la gestion des ressources en eau. Il fait de l'enseignant un véritable "vecteur de formation", tantôt animateur, tantôt théoricien, tantôt conseiller, tantôt vérificateur, son rôle ne se limite donc plus à la simple instruction. Celui-ci s'enrichit même personnellement et inconsciemment, à l'usage du modèle.

Le vécu des différentes sessions de simulation MISE, montre qu'il y a beaucoup à apprendre autant pour les apprenants que pour les organisateurs et les coordonateurs des sessions. L'intensité de la simulation conduit fréquemment à des démarches innattendues, ne pouvant d'ailleurs être contrôlées sur le champ, elles le sont à postériori pour être intégrées dans les expériences suivantes. Cela est dû à une utilisation des données qui incite parfois l'utilisateur à prolonger certaines phases du projet simulé au delà de ce que nous attendions. On citera par exemple le calcul de la puissance à installer en électricité à haute tension pour alimenter une station de pompage, calcul dont à vrai dire, nous n'avions pas la compétence.

Pour le spécialiste qui participe aux sessions MISE, la répartition des tâches et des responsabilités au sein de chaque groupe responsable d'un projet lui attribue souvent son rôle de spécialiste. L'intégration de son domaine de compétence dans un projet global le sensibilise toutefois aux problèmes relatifs aux domaines de compétence voisins. Par exemple, l'hydrogéologue responsable de la recherche et de l'exploitation des ressources en eau est amené à participer au raccordement du système de distribution (réseau ou canaux) et de la station de pompage.

1.3.MISE et l'aide à la décision dans les domaines de l'alimentation en eau potable, de l'irrigation et de l'assainissement.

Avant de présenter la démarche suivie dans les prochains chapitres, il est intéressant de rappeler quelques consatations qui en sont à l'origine. Pour les projets réels qui sont simulés mais qui ne sont pas encore réalisés, la première journée de contacts sur le terrain avec les intéressés du projet en question, laisse entrevoir aux participants des sessions le réel interêt des résultats auxquels ils aboutiront. Cet intérêt se manifeste davantage lorqu'au cours de la dernière demi-journée consacrée à la présentation des résultats, les futurs présidents de syndicats accompagnés de ceux qui ont déjà l'expérience d'un projet, viennent assister à cette présentation, prêts à noter les informations et éléments intéressants, toute mise en scène exclue. Les remarques qu'ils émettent par rapport aux résultats annoncés (coût du projet, tracé de réseau, prix de l'eau) sont très enrichissantes pour les simulations ultérieures des projets qui, entre-temps, se réaliseront peut-être.

Pour les responsables du projet d'irrigation de la Côte Saint—André par exemple, il s'agit essentiellement d'agriculteurs, leur présence à cette évaluation au mois de Mai n'avait pas pour but la validation d'une expérience pédagogique, mais plutôt une comparaison des coûts de projets par rapport à ceux qui leur avaient été proposés jusqu'à présent. Les remarques de représentants des services administratifs responsables de plusieurs projets d'irrigation en prévision sur l'ensemble de la région, étaient encore plus pertinentes puisqu'elles soulevaient le problème d'une éventuelle, mais non moins possible, connexion des différents réseaux d'irrigation. L'aide à la décision se situe ici à un niveau supérieur: quels seraient les périmètres à irriguer, quels en seraient les impacts sur les ressouces en eaux souterraines ?

Ces quelques constatations nous conduisent à poser le problème de la décision dans le domaines de l'irrigation, ceux de l'alimentation en eau potable des agglomérations et de l'assainissement en milieu rural. Quel est l'intérêt d'une aide à la décision pour les projets de ces différents domaines ?

1.3.1.Cas de l'alimentation en eau potable:

En France, les projets d'alimentation en eau potable ne constituent plus un problème crucial, dans la mesure ou la grande majorité des communes françaises sont suffisamment alimentées en eau potable. Les projets à l'heure actuelle sont essentiellement des compléments d'alimentation en eau pour des centres urbains qui se développent au delà de leur périphérie. Cependant les problèmes de ressources en eau potable sont liés à une pénurie de qualité des eaux superficielles, qui oriente les projets vers la recherche des eaux souterraines. Elles sont généralement de meilleure qualité et permettent aux communes d'épargner des coûts de traitement élevés.

Prenons l'exemple du projet d'alimentation complémentaire en eau potable simulé par MISE (Davoine, Graillot, 1986). Le problème posé est le suivant: il se situe en bordure de la Loire, à son confluent avec la rivière Furan, à une vingtaine de kilomètres au Nord de Saint—Etienne, dans la zone Sud d'une plaine alluviale dénommée la plaine du Forez. Dans cette zone, il s'agit de trouver un complément d'alimentation en eau potable, horizon 2000, pour trois communes (Saint—Just, Saint Rambert sur Loire, Saint Cyprien et Bonson) étant entendu que l'on y observe à l'heure actuelle un développement démographique important. A l'amont de ces trois communes se situe le barrage de Grangent dont la retenue reçoit une autre rivière: l'Ondaine. Si le problème est épineux au niveau de la quantité, il l'est surtout au niveau de la qualité. On observe en effet dans ce secteur, l'arrivée directe de la rivière Furan qui n'est rien d'autre que l'exutoire du réseau d'assainissement de l'agglomération stéphanoise. A l'amont de celui—ci, par le biais du barrage de Grangent, on observe également le débouché de la rivière Ondaine représentant le transit d'assainissement de toute une vallée industrielle, sise au Sud—Ouest de la ville de Saint—Etienne.

Les eaux qui y arrivent ainsi sont fortement polluées, que ce soit:

—par les traitements de surface (on y rencontre des éléments comme le cyanure et le chrome hexavalent),

—par la mine (on y trouvera des schlamms en grande quantité),

—par l'industrie métallurgique (on y constate des teneurs en fer et manganèse parfois élevées),

—par la pollution domestique.

Ajoutons à cela que la nappe phréatique est elle—même atteinte car le secteur d'étude est un secteur "maraîcher", ce qui implique une utilisation des engrais ammonitrates et provoque une pollution azotée des eaux souterraines. C'est dans un tel contexte qu'il faut trouver de l'eau, et le pompage direct dans la Loire imposerait des coûts de traitement prohibitifs. Le recours aux ressources en eaux souterraines constitue une solution toutefois délicate, la nappe alluviale de la Loire étant d'extension très limitée et l'aquifère y étant fortement colmaté. Il s'agit donc d'un problème complexe dont l'approche systèmique est évidemment indispensable et dont la résolution dépend du bien fondé des décisions du projet.

1.3.2.Cas des projets d'équipement de petits périmètres d'irrigation.

Les projets d'irrigation réalisés dans la région Rhône—Alpes montrent que l'aspersion se pratique fréquemment à partir de pompages dans la nappe, dans les rivières ou dans les barrages collinaires. L'arrosage localisé commence à se développer. En effet le développement des cultures maraîchères et légumières s'y accroît, puisqu'elles sont plus rentables que les cultures traditionnelles (céréales). Cependant la réserve en eau du sol est plus sollicitée, ce qui nécessite des compléments d'arrosage suffisants. L'intensification de ces cultures qui permettent à l'agriculteur d'augmenter ses revenus, nécessite donc une maîtrise de l'eau.

Dans la région Rhône —Alpes, le schéma régional d'hydraulique agricole à court terme prévoit des coûts de réseaux d'irrigation s'élevant à environ 230.000kf(79) pour une superficie équipée de 31.000ha. Les subventions de l'Etat se montent à 177.500kf(79) soit plus de 70%. Le coût du matériel mobile d'irrigation s'évalue à 64.500kf(79). Les enjeux financiers sont donc importants, à long terme la surface à équiper sera de 80.500ha et les coûts de réseaux aumenteront jusqu'à 945.000kf, les subventions restant dans le même ordre de grandeur (61%) (SRAE Rhône—Alpes, 1979).

La décision de développer la pratique de nouvelles cultures n'est pas simple. Pour atteindre cet objectif, le premier sous—objectif à atteindre est l'irrigation là où elle est souhaitable.

A partir de ce sous—objectif, les choix sont multiples et c'est l'examen des contraintes météorologiques, pédologiques, hydrogéologiques et financières qui doit guider les décisions des responsables du projet ainsi que le comportement des agriculteurs dans le choix et l'exploitation des installations d'irrigation collectives et individuelles.

Les objectifs essentiels d'un projet d'irrigation sont d'assurer le service prévu en quantité, en durée et en pression, d'assurer une bonne utilisation de l'eau puisque c'est un facteur de production agricole, d'assurer la fiabilité et la durabilité d'un ouvrage et enfin d'assurer l'équilibre financier de l'ensemble (Chirouze, 1985). Ces objectifs restent valables pour de périmètres irrigués à l'échelle de quelques centaines d'hectares que nous avons traités dans le cadre des simulations MISE. Ils sont particulièrement intéressants car ils ne sont l'objet ni de réseaux individuels qui coûtent très cher (IGER, BCME, 1975) ni de grands réseaux collectifs qui nécessitent de nombreux adhérents et un organisme de tutelle comme les sociétés d'aménagement régional du sud de la France (Canal de Provence). Ce type de projet est donc appelé à se concrétiser plus souvent; le syndicat d'irrigation représente pour l'agriculteur un moyen raisonnable d'accéder à une structure d'irrigation. La mise en oeuvre de ces projets implique des investissemnts très lourds pour l'agriculteur et la collectivité car l'adéquation besoins en eau des cultures—ressources en eau nécessite la création d'ouvrages collectifs, et l'acquisition de matériel d'irrigation individuel. Une organisation des décisions autour de ces objectifs et de ces investissements, est donc nécessaire afin d'éviter des échecs dus à des surinvestissements (surdimensionnement des réseaux) et qui peuvent se traduire par le disfonctionnement des installations (surexploitation des ressources en eau) ou leur sous—utilisation ou encore par une mauvaise gestion technique des ouvrages .

La réalisation de plusieurs petits projets d'irrigation à l'échelle de la région peut favoriser l'introduction de nouvelles cultures. Elles sont plus sensibles au manque d'eau mais contribuent au développement agricole de la région.

1.3.3.Cas des projets d'assainissement.

La mise en oeuvre des différentes solutions d'assainissement pour petites collectivités dépasse le cadre des problèmes purement techniques, il s'agit d'un problème complexe. L'amélioration ou la création des systèmes d'assainissement comporte deux sous—objectifs illustrant cette complexité: il faut améliorer les conditions d'utilisation du sol en tant qu'élément de dispersion et d'épuration des effluents, mais il faut aussi intégrer dans ces projets, des contraintes règlementaires, institutionnelles et socio—culturelles.

Le choix des organes d'épuration doit être adapté aux contextes économiques et sociaux, la perception de l'assainissement par les usagers, ainsi que leur comportement est un facteur déterminant pour assurer son efficacité. Dans les collectivités rurales, il existe un décalage quasi permanent entre la réalisation d'un système de distribution d'eau et celle du sytème d'assainissement. Pour les communes n'ayant pas réglé ce problème, il devient intéressant d'élaborer des projets non plus basés sur les procédés coûteux de l'assainissement collectif mais sur un optimum technique et économique, en faisant la part de l'individuel et du collectif. L'aide à la décision se justifie donc par la recherche de cet optimum qui consiste à choisir des techniques plus rudimentaires mais plus économiques pour assurer l'assainissement individuel (lits bactériens, traitement par le sol), et à choisir celles qui sont plus sophistiquées pour l'assainissement collectif (stations d'épuration, réseau d'assainissement, postes de relevage des effluents, déversoirs d'orages). Dans un projet d'assainissement bien conçu, l'enchaînement des décisions doit être cohérent avec celui des investissements, pour que le système d'assainissement prévu devienne rapidement opérationnel (par groupes d'habitations). Lorsque les dispositifs d'assainissement individuels existent, un problème de choix se pose entre leur réhabilitation et leur intégration partielle ou totale à un dispositif collectif (branchement sur un réseau avec fosse septique collective ou branchement à partir de fosses septiques individuelles sur un réseau avec épandage à la sortie). De nombreuses solutions intermédiaires sont envisageables.

1.4.Les connaissances obtenues avec les simulations MISE, pour poser les problèmes de décision et les résoudre.

1.4.1.Connaissances acquises avant la simulation. Le choix d'un projet de référence.

Les connaissances acquises avant le déclenchement d'une simulation de projet d'un nouveau type sont celles qu'il faut acquérir auprès des distributeurs d'eau, des services administratifs de l'Etat, des présidents de syndicats et des autres décideurs et acteurs des projets.

Nous ne détaillerons pas ici les données introduites initialement dans les diverses banques de données MISE dédiées à chaque type de projet (Graillot, 1983—1985), celles que nous avons sélectionnées pour la simulation de projets d'assainissement sont réparties dans des répertoires informatiques. La banque de données initiales n'est pas identique pour chaque type de projets. Si elle demeure assez banale pour inciter l'utilisateur à l'organiser lui—même, elle est toutefois conçue pour être enrichie par les informations et les connaissances utilisées au cours de chaque expérience.

Généralement l'organisation de l'information au sein des groupes responsables d'un projet, est très dépendante de leur mode de fonctionnement et de leur organisation. Il est en tout cas intéressant de remarquer que pour synthétiser les données et informations nécessaires pour amorcer la simulation d'une nouvelle série de projets, la systématisation de la recherche des informations diminue les temps de préparation des divers jeux de simulation. C'est la structure propre à MISE qui guide en fait la première étape de cette recherche, c'est à dire l'identification du projet sur lequel se "calera" la démarche.

Les références les plus importantes à acquérir ne sont pas d'ordre documentaire, elles concernent les responsables et les bénéficiaires du projet. L'analyste, c'est—à—dire celui qui pilotera la simulation du projet avant que le système ne se substitue à lui, doit pour rester objectif, s'identifier tour à tour à chacun des principaux acteurs adverses ou associés au projet. Cette recherche d'objectivité qui pourrait consister à rester étranger aux conflits éventuels qui animent encore le projet, permet au contraire d'adhérer aux différentes motivations, de saisir les préférences des décideurs et d'apprécier leur subjectivité. La procédure est délicate, il est prudent de bien signaler aux décideurs et aux acteurs du projet l'intérêt d'une telle démarche et de leur participation. Pour être encore plus objectif on pourrait être tenté de se référer à un projet réalisé depuis longtemps où les passions se sont éteintes. Au contraire, pour percevoir les risques, l'incertitude ainsi que les différentes contraintes qui s'exercent sur les prises de décision, il est préférable de se référer à un projet qui est en train de s'achever. Si le schéma des décisions qui a guidé le projet est assez structuré et argumenté, ce projet laisse une trace idéale pour pouvoir constituer le fil directeur permettant d'adaptater le type de projets qu'il représente au cadre de la simulation. Ce schéma de décisions reflète souvent les compétences des décideurs et sa trace se concrétise par un rapport de projet pertinent qu'il est alors possible d'exploiter. Il n'est pas primordial que ce schéma de décisions qui constitue le projet de référence soit optimal. Ce qui importe, c'est que l'archétype du processus de décision lié à tout projet d'aménagement en eau soit respecté.

1.4.2.Connaissances acquises pendant la simulation.

L'analyse séquentielle de la réalisation de chaque projet simulé, montre la variété des décisions tactiques susceptibles d'être prises au cours des différentes phases: financements, études, travaux, et ce jusqu'à un niveau de détail relativement précis. Cela est dû à la participation de plus en plus fréquente de différents spécialistes, à leur mise en situation réelle (journée de terrain, apparition d'incidents à résoudre, confrontation à d'autres confrères), à la réaction du système face à leurs décisions et à leurs réactions face à celles du système. L'expérience de simulation comporte une prise de contacts réelle avec ceux effectivement concernés par le projet. Cela entraîne parfois une confusion entre la réalité et la simulation lorsque les intéressés au projet livrent des informations en temps réel (pendant la simulation).

La prise en compte raisonnable de considérations économiques et sociales voire politiques, c'est à dire cohérentes avec l'échelle du projet renforce son authenticité. Ce contexte de simulation permet aux utilisateurs de prendre des décisions tactiques qu'ils peuvent justifier ou argumenter en exprimant leur part de connaissances plus ou moins formelles, constituée de jugements subjectifs et d'heuristiques, c'est à dire de connaissances qui sont issues de leur formation scientifique mais aussi de leur expérience de terrain. La présence d'apprenants renforce l'expression de cette expérience dans la mesure où le spécialiste est obligé d'expliquer sa façon de procéder pour chaque phase de décision, en se livrant à des démonstrations plus ou moins raccourcies. Dans un cadre totalement professionnel, il ne serait sans doute pas tenu de se livrer à cette opération.

Le rôle des incidents:

Après avoir procédé à une évaluation prévisionnelle du projet dont ils ont à simuler la réalisation, les utilisateurs décident et agissent. Pour chaque décision prise, le système génère un certain nombre d'informations ayant une incidence sur le projet et sur le comportement de l'utilisateur. Ces informations sont de différentes natures. Certaines sont destinées à guider les utilisateurs vers des informations de base, rattachées à cette décision (coûts financiers et temporels, moyens techniques et algorithmes disponibles, documentation technique, législation). Ces données sont plus ou moins consultées en fonction de la compétence des utilisateurs. Les autres informations qui sont rattachées à la prise de décision sont des messages qui ont valeur de conseils ou d'incidents techniques, économiques ou sociaux. L'appréciation de leur caractère aléatoire et leur anticipation, peut refléter le comportement incertain, risqué, prudent ou ignorant des responsables du projet. Ces informations sont forcément interprétées en tant que conseils ou avertissements, si elles concernent des décisions ultérieures à celle en cours.

Il est donc intéressant d'observer le comportement des utilisateurs et de relever les critères les amenant à poursuivre ou à réviser leur tactique. Leur réaction est enregistrée sous forme de trace écrite, avant qu'ils puissent prendre une nouvelle décision. Dans le cas où ces informations dépendent des décisions déjà prises ou de celle en cours, elles seront obligatoirement considérées comme des faits intangibles. Il peut s'agir de difficultés qu'il est possible de résoudre en modifiant, le cas échéant, les décisions prévues ultérieurement. S'il s'agit de faits irréversibles, il faudra les intégrer et en déduire les conséquences après en avoir vérifié la cohérence avec les hypothèses du scénario simulé. Dans ces deux derniers cas, des surcôuts ou des délais sont induits ainsi que des changements dans la tactique et peut—être même dans la stratégie initialement prévues. Pour les évènements non rédhibitoires, les discussions et les négociations sont possibles.

Si le montant du surcoût et la valeur des délais induits constituent une quantification économique de son savoir—faire, le plus intéressant reste bien de savoir comment le décideur s'y est pris pour résoudre un problème lié à une phase de décision.

Un contrôle s'effectue pendant la simulation pour vérifier que les utilisateurs ne génèrent pas, pour chaque décision, un nombre d'aléas tel qu'ils puissent ne prendre en compte que ceux qui sont positifs.

Le travail en groupe permet de tirer quelques conclusions quant à l'affectation des responsabilités dans un projet.

Pour tous les projets simulés, la répartition des tâches et des rôles parmi les utilisateurs n'est pas la même. Cela est dû d'une part à la spécificité des projets et d'autre part à l'organisation du travail au sein de chaque groupe. Pour un projet d'irrigation, les décideurs ne sont pas les mêmes que pour un projet d'assainissement ou d'alimentation en eau potable. Cependant on retrouve un certain nombre de fonctions communes destinées à la recherche et à l'évaluation des ressources en eau (hydrogéologue, hydrologue), à la conception des ouvrages de captage et de distribution (hydraulicien). D'autres fonctions sont plus spécifiques aux projets d'irrigation (agronome, pédologue) et aux projets d'assainissement (ingénieur sanitaire). A cet ensemble de fonctions techniques se joignent des qualités de gestionnaire destinées à évaluer les besoins, à obtenir les financements et les prêts, à organiser les sous—traitances et à gérer financièrement le projet. Le groupe chargé de la réalisation simulée du projet représente une structure qui ne correspond pas obligatoirement à celle de la réalité. Elle lui permet plutôt de se substituer tantôt à un syndicat des eaux, tantôt aux services administratifs, tantôt à un bureau d'études ou à une compagnie distributrice, en adoptant les structures juridiques correspondantes. Ce type de structure se situe au croisement des fonctions et des différents niveaux de décision et favorise la prise en compte des différentes responsabilités du projet. La première demi—journée théoriquement consacrée à l'étude prévisionnelle du projet simulé est en fait plutôt dédiée à l'organisation du travail dans chaque groupe. Les schémas de partage des responsabilités sont différents selon les simulations en fonction du profil initial de chaque utilisateur.

Différents schémas de partage des responsabilités.

Exemple: session d'irrigation1985

1°groupe:

1-hydrogéologie, prospection des ressources (hydrogéologue)

2-besoins en eau et financements (ingénieur des travaux ruraux)

3-étude des réseaux (ingénieur des mines-Alès)

4-gestion, déclenchement des opérations, coordination (ingénieur des mines-Nancy)

2° groupe:

1-irrigation et besoins en eau (ingénieur des travaux ruraux)

2-prospection des ressources en eau (ingénieur des mines-Alès)

3-plans de financement, gestion, étude des réseaux (ingénieur des mines-Nancy)

4-déclenchement des opérations, coordination (ingénieur des mines Nancy)

Pour un objectif purement pédagogique, on oriente l'utilisateur vers un domaine de compétences différent du sien, le système MISE s'apparente à ce niveau à un jeu de rôles. Pour un objectif plus destiné à élaborer une solution de projet, chaque utilisateur se servira de ses propres compétences. Dans ce dernier cas, l'influence de la collaboration entre professionnels de domaines d'activité différents sur l'enchaînement des décisions est primordial. Ce sont à la fois des éléments humains et techniques qui caractérisent les "ponts décisionnels" indispensables à la réussite d'un projet. Le transfert des informations nécessaires aux responsables des différentes phases successives d'un projet, la coordination des tâches, le suivi de la gestion comptable et financière appartiennent à l'ensemble de ces éléments. On observe en réalité trop de projets mal coordonnés qui font l'objet d'études parallèlles, jusqu'au jour où sur le terrain, les engins de travaux publics de deux sociétés différentes et commandités par des services différents, s'apprêtent a effectuer des travaux tout aussi différents. Les travaux d'extension des réseaux de distribution montrent l'importance de ce transfert de connaissances qui s'opère souvent difficilement entre les décideurs responsables de phases de projets trop éloignées dans le temps l'une de l'autre.

1.4.3.Connaissances acquises au cours du bilan des sessions.

Au cours de la dernière journée d'évaluation, les projets simulés doivent être défendus devant des professionnels de l'eau (distributeurs, responsables des services administratifs), des élus locaux, des présidents de syndicat, des industriels représentant les fournisseurs de matériel ou s'occupant de la sous-traitance des travaux. La présentation des résultats provoque leurs réactions qui permettront une meilleure évaluation des dossiers remis et un réajustement des objectifs et des contraintes des différents projets. La présence d'un responsable de projet du même type que ceux qui sont traités est particulièrement importante puisque la présentation des résultats est orientée de manière à ce qu'il puisse valider la démarche des utilisateurs et donc les sessions de simulation. C'est à ce moment qu'il est important de relever les critères principaux de contrôle des projets utilisés par l'expert, pour les utiliser ensuite au cours d'une évaluation plus détaillée. C'est également au cours de cette séance que sont confrontés différents points de vue vis-à-vis du projet traité, ils peuvent s'exprimer alors qu'en réalité, il n'existe pas toujours une telle structure de communication.

Cela permet de vérifier l'authenticité des aléas et des contraintes imposées et simulées par le système. Le bilan de ces sessions est indispensable, il permet de les corriger dans le but d'une évaluation rationnelle qui déterminera la pertinence de chaque résultat. Le choix par une équipe d'une stratégie un peu douteuse d'après les experts ne sera pas pour autant rejetée (rechercher les point non productifs en eau, par exemple) du moment que les calculs sont justes et que tous les autres éléments du projet sont pris en compte. L'évaluation des sessions permet aux experts d'indiquer leurs préférences pour tel ou tel projet, mais la pertinence d'un projet simulé dépend aussi du processus de décisions qui le compose et des connaissances qu'il met en oeuvre. Ce sont deux critères à distinguer.

L'évaluation des sessions tend à se systématiser dans la mesure où un contrôle préliminaire s'effectue sur les justifications des résultats, sur les modes de calcul utilisés, et dans la mesure où l'étape facteurs de risques est suffisamment alimentée pour percevoir les incertitudes des résultats et de la solution proposée. Des erreurs dans les calculs ou dans des phases techniques du projet qui seraient très ponctuelles et qui ne remettent pas en cause la stratégie principale du projet ne sont pas rédhibitoires, les corrections de coûts ou de planning sont possibles et la simulation est conservée.

Après évaluation, la meilleure manière de représenter les connaissances qui se sont manifestées durant la simulation d'un projet, est de les transcrire sous forme de règles plus ou moins générales mais soumises aux conditions particulières de ce projet. La même méthode semble également la plus appropriée en ce qui concerne la manière dont les difficultés, les incidents et les aléas ont été pris en compte, acceptés, refusés ou résolus par les utilisateurs.

Ces règles s'exprimeront selon les conditions particulières du projet, c'est à dire en fonction de l'état du système physique (hydrogéologie, hydrologie, géographie) mais aussi en fonction des évènements apparus et des décisions déjà prises. Ce savoir faire est également soumis à d'autres conditions qui concernent les "décideurs" eux—mêmes, et qui décrivent leur niveau de spécialité, leur niveau de décision par rapport au projet. Les stratégies de projet simulés peuvent s'individualiser par des enchaînements de décisions tactiques différents et spécifiques aux utilisateurs et au contexte du projet. Ces stratégies se distinguent donc aussi par une utilisation différente des outils que MISE met à la disposition des utilisateurs.

Ces outils qui sont les modèles informatiques de simulation des écoulements dans les nappes ou dans les réseaux, les différents modèles d'interprétation et autres outils de calcul, interviennent dans un ordre différent.

Leur utilisation s'effectue et s'enchaîne selon une certaine hiérarchie qui correspond à celles des décisions prises pour chaque projet. C'est aussi ce savoir—faire dans l'utilisation des outils qu'il est important de pouvoir exploiter.

Dans le cadre de la simulation, il peut être explicite si les utilisateurs sont familiarisés à l'emploi de ces outils qui peuvent être alors remis en question ou laissés de côté, et être remplacés par l'expérience (refus du modèle de Clément car il ne prend pas en compte l'équipement à la parcelle, adoption de valeurs régionales pour calculer un débit fictif continu). Dans le cas où les utilisateurs ne sont pas habitués à ces méthodes, leur utilisation permet d'aboutir au projet. L'enchaînement de leur utilisation est moins explicite mais peut révéler une stratégie intéressante.

La connaissance engrangée après la simulation des projets n'est pas uniquement constituée que de règles d'expertise plus ou moins formelles, elle concerne aussi l'utilisation d'algorithmes, de techniques de prospection, d'exploitation et de distribution dans lesquels on retrouve également un haut degré d'expertise. Si pendant la simulation, l'acquisition des connaissances s'effectue principalement autour des projets, au cours de l'évaluation de plusieurs simulations elle s'effectue aussi autour des métiers de l'eau. Pour des projets différents, les connaissances relatives à l'expérience des hydrogéologues, des agronomes, des spécialistes du génie civil et des gestionnaires doivent évidemment être cohérentes. C'est un moyen de vérifier la validité des connaissances déduites qui pourraient avoir valeur générale. On rejoint par là un certain concept d'unanimité qui en toute rigueur devrait être respecté, avec un nombre de simulations assez élevé et un nombre d'experts y participant également élevé. Cependant, les querelles de spécialistes existent et rendent la tâche bien compliquée. Le système MISE fournit donc les avantages d'une organisation structurée autour des projets et autour des fonctions, ce qui permet de regrouper et de rassembler les opinions d'experts. Ceci guidera la structuration des connaissances issues des simulations MISE

1.4.4.MISE: Instrument d'extension des données.

A partir des informations de base considérées comme acquises et mises à la disposition de l'utilisateur, nous avons vu que ce dernier recherche lui-même les informations complémentaires et que le coût d'acquisition des données l'oriente dans cette recherche. Pour chaque simulation, des informations issues des sessions précédentes sont introduites dans la banque de données MISE, elles permettent d'actualiser les données existantes ou d'accroître leur validité. Pour l'utilisateur, cela ne facilite en rien la recherche des données complémentaires dont le nombre a tendance à augmenter à chaque session, cela ne compromet pas un objectif pédagogique qui serait destiné à sensibiliser l'apprenant à cette recherche.

C'est après l'évaluation de plusieurs simulations, que l'information retenue sera considérée comme "optimale" pour le projet réel à réaliser, elle peut contenir éventuellement des éléments contradictoires pourvu qu'elle satisfasse aux critères de non redondance, d'actualisation et de validité.

L'évaluation des différentes simulations permet de déterminer les points faibles du système en ce qui concerne les outils d'analyse et les données. Il peut s'agir d'une rectification à apporter à un modèle hydrodynamique, d'un élément du système décisionnel à ajouter (télédétection, pédologie, géomètre pour les projets d'hydraulique agricole, estimation des fuites dans les réseaux de distribution d'eau,...), d'un outil d'analyse à inclure (outil géostatistique pour l'estimation des ressources, outil d'analyse de rentabilité pour l'irrigation par aspersion). Tous ces éléments sont introduits dans les banques de données pour les simulations suivantes, dans la mesure où leur structure permet une extension de données et d'outils qui n'entraîne pas leur redondance.

Chaque groupe utilisateur du MISE doit donc, comme tout bureau d'études ou toute collectivité responsable, rendre des comptes, argumenter ses choix et les coûts de projets qu'il propose. Pour chaque simulation on dispose donc d'un dossier dont l'organisation générale reflète en quelque sorte la stratégie adoptée. A partir de ces constatations on peut se poser le problème suivant: Que faire des comptes—rendus de chaque simulation? Diverses réponses sont possibles:

—on se débarasse des résultats,

—on cherche la solution optimale parmi les différentes simulations pour un même projet,

—on essaie d'exploiter les résultats de manière plus méthodique.

La multiplicité et la nature des informations collectées nous guident vers une structuration et une organisation des résultats. Les données numériques et les résultats quantitatifs sont nombreux, les jugements personnels aussi; l'expérience, les réactions face aux problèmes et aux aléas font partie des connaissances acquises.

1.5.Représentativité des informations obtenues par rapport au processus général de décisions.

Les groupes chargés de la simulation d'un projet sont placés, un peu artificiellement, dans un contexte concurrentiel, ceci pour évidemment motiver une présentation correcte et persuasive des résultats. Ce contexte n'est d'ailleurs pas dénué d'intérêt dans la mesure où il s'agit de faire accepter son projet au maître d'ouvrage ou de faire accepter son prix de vente de l'eau aux usagers. Les décisions les plus structurées et les mieux argumentées sont les meilleures. Lorsque ces critères apparaissent dans la recherche de l'information—présentation des moyens et des outils utilisés—prise en compte des diverses interactions, des risques et des incertitudes, des contraintes et des éventuels impacts, il s'agit d'un processus de décision presque parfait, calqué sur la théorie, mais qui nécessite en plus un indispensable souci de diplomatie.

Pourtant MISE ne peut constituer à lui seul un système d'aide à la décision.....

En effet un système de simulation n'est pas un système de décision (Gablinger, 1978) et le système MISE ne peut constituer à lui seul, un outil d'aide à la décision au sens où nous l'avons défini plus haut. Le fonctionnement et l'intégration de plusieurs modèles informatiques tels que nous les avons décrits (Davoine, Graillot, 1984), permettent de simuler une variante de projet réel, mais pas de l'évaluer pour proposer une solution optimale. Le système de simulation MISE permet l'expression des connaissances des spécialistes, étant donnés la durée de la simulation et le travail en groupe, mais ne les intègre pas au moment de la simulation. Ces connaissances qui permettent d'élaborer des enchaînements de décisions, des schémas d'utilisation d'informations pertinentes ou de programmes informatiques, doivent être intégrés et exploités au niveau d'un outil plus général d'aide à la décison dans le cadre de projets d'aménagement en eau s'appliquant à d'autres sites que ceux des projets simulés à l'aide du modèle MISE.

1.5.1.Le concept d'outil d'aide à la décision.

Il n'existe pas de définition universellement acceptée d'un système d'aide à la décision. A peu près n'importe quel système assisté par ordinateur depuis les bases de données en passant par les systèmes d'information, les modèles de simulation et autres techniques de programmation et d'optimisation, sont des aides à la décision possibles. Le label d'outil d'aide à la décision peut être synthétisé de la manière suivante:

- C'est un système **interactif**, assisté par ordinateur, qui **aide** les décideurs à utiliser **données** et **outils** pour résoudre des problèmes à priori **mal structurés** (Sprague et Carlson, 1982).

Un tel système se caractérise différemment du point de vue du développeur ou de l'utilisateur. Pour l'utilisateur un tel outil doit assister les décisions pour des problèmes mal structurés, il ne doit pas aider les décideurs pour une décision unique mais pour une séquence de décisions interdépendantes. Il doit apporter une aide à plusieurs niveaux de décisions en assurant leur coordination, il doit être capable de générer plusieurs variantes et de proposer des choix. Il ne doit pas dépendre d'un modèle spécifique c'est—à—dire être appliqué à un seul domaine de compétences; il doit pouvoir s'adapter aux autres. Enfin, il doit être facile à utiliser, agréable, interactif et souple, c'est—à—dire pouvoir s'adapter à une éventuelle "bifurcation" des objectifs.

Un outil d'aide à la décision doit assister le décideur dans les différentes phases du processus de décision telles que nous les avons décrites tout au long de cet ouvrage. Il assiste donc le décideur pour la définition des objectifs, dans la phase de recherche pour préparer la décision, pour la phase de planification préalable qui est une phase de jugement et d'évaluation et pour l'acceptation des solutions avant la phase de réalisation. Il l'assiste également pour la mise en place des bases de l'action qui constitue la prise de décision proprement dite. Il l'assiste enfin pour la constatation des résultats et le contrôle de l'exécution par rapport à la décision.

1.5.2.Position de MISE par rapport à l'aide à la décision.

Ce qui manque à MISE pour être un outil d'aide à la décision à lui seul, c'est d'une part son manque d'interactivité homme—machine et d'autre part la possibilité d'évaluer les alternatives simulées pour proposer des solutions.

L'outil de simulation qu'est MISE retarde en fait l'échéance de la phase de décision proprement dite qui représente la frontière entre la préparation et l'action réelle (dans MISE, les actions et les décisions ne sont que simulées). Il améliore cependant la phase de préparation par la multiplicité des variantes de projets auxquelles il permet d'aboutir.

La séquence décisionnelle pour un projet simulé est la suivante:

-1: définition des objectifs réels

-2: choix d'une hypothèse, cible du projet simulé

-3: simulation *phase de préparation*

-4: contrôle des simulations *n simulations*

comparaison avec les projets de référence

-5: détermination d'une variante

-6: evaluation des varaiantes

choix de la décision finale

-7: réalisation, action réelle

-8: contrôle par rapport à la décision finale

et par rapport aux objectifs

Le système MISE contribue à l'aide à la décision dans la mesure où il assure les phases 2 à 5. La phase 3 comprend cependant toutes les phases préparatoires d'un processus évolué de décisions (recherche de l'information, des moyens disponibles, des risques, des incertitudes, des contraintes et des impacts) liées au projet simulé.

Selon différents auteurs, la conception de l'aide à la décision n'est pas la même que celle de l'analyse des systèmes (Kindler, 1986). Nous pensons que ces deux approches se complètent, puisque MISE analyse les systèmes autour des projets et que l'outil de décision qui serait élaboré à partir de MISE, l'exploiterait pour aider les décideurs.

L'analyse du projet en tant que système s'effectue durant les cinq journées de simulation alors que l'utilisation d'un système d'aide à la décision s'effectuerait selon une période de temps plus courte.

Le terme d'outil d'aide à la décision, en tant que label, a tendance à être mal ou abusivement utilisé C'est pourquoi, il est bon de spécifier l'aide en question et les niveaux de décisions auxquels elle s'adresse.

La première application de l'outil de décision dont nous examinerons la faisabilité, sera principalement destinée aux décideurs intervenant dans la préparation et la réalisation de projets d'aménagement en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement. Il s'agit essentiellement d'ingénieurs du secteur industriel tertaire appartenant à des bureaux d'études, à des sociétés de distribution, aux services administratifs de l'état. C'est pour cette raison que nous le qualifierons à partir de maintenant de système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau.

1.6.Réajustement et actualisation des objectifs des projets simulés vis à vis de la complexité croissante des projets réels.

Les objectifs qui constituent la cible de chaque projet, au fur et à mesure des sessions de simulation, sont réactualisés en fonction de la réalité. Les objectifs des projets sont modifiés dans le cas où l'on souhaite tester une nouvelle hypothèse (augmentation des débits d'exhaure, équipement de parcelles supplémentaires, extension de réseau); cela dans le but de modifier ou d'évaluer a postériori un projet déjà réalisé. Si le projet n'est pas encore réalisé, les conditions dictées par la réalité ne sont certainement plus les mêmes que pour les premières simulations.

1.6.1.Cas des projets d'irrigation.

Les deuxième et troisième séries de simulation (BIVA3 à 6) de projets d'irrigation ont éte modifiées parce que les parcelles à équiper sur les projets toujours d'actualité n'étaient plus les mêmes. L'analyse du projet d'irrigation de Faramans simulé par Biva1 et Biva2 a d'ailleurs montré que si le plan parcellaire étudié n'était pas remembré, le coût d'un projet d'irrigation resterait trop élevé; ce projet a d'ailleurs été reporté à plus tard. Au cours de l'hiver 1984—1985, les agriculteurs de la Côte Saint—André ont rectifié le plan des parcelles à irriguer. Ceux de Pajay ont prévu une extension du réseau d'irrigation; il s'agissait donc de savoir si le dimensionnement du réseau sous pression permettait l'implantation de bornes d'irrigation supplémentaires.

Ces modifications ont été prises en compte dans les dernières simulations. A l'heure actuelle, d'autres projets d'irrigation sont prévus à Ornacieux, non loin de Faramans et de Pajay, ce qui risque de poser un problème de ressources en eaux. D'autres projets d'irrigation sont prévus à Beaurepaire, Marcollin et Beaufort où apparaît un problème de connexion des installations à un réseau déjà existant implanté en zone non remembrée, ce qui implique un tracé existant déjà relativement compliqué. Les cibles des versions irrigation du système MISE évoluent donc par rapport à la politique d'irrigation menée dans la région Rhône—Alpes. Les projets se compliquent et leur simulation dans un contexte réel doit permettre d'accroître notre connaissance et celle du MISE dans ce domaine, dans un objectif d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eau au niveau régional et pour la conception des systèmes de distribution à un niveau pour l'instant plus local.

Dans une optique plus stratégique, la simulation de ces projets pourrait orienter dans cette région, la politique de remembrement dans le but d'une irrigation des parcelles (définition de la parcelle de référence en fonction de la valeur pédologique mais aussi par rapport à la proximité des point productifs en eau). Ces projets d'irrigation sont, au niveau régional, à la recherche d'un équilibre entre la gestion des ressources en eau, le développement des cultures et celui du remembrement des parcelles.

1.6.2.Cas des projets d'alimentation en eau potable.

Les simulations de 1982 avaient pour cible la recherche d'une alimentation complémentaire en eau pour deux agglomérations sises au Nord de Saint—Etienne dans la Loire. Le projet a été étendu en 1983 et 1984 à une troisième commune voisine et à la modification du système de distribution, insuffisant pour assurer cette alimentation complémentaire jusque chez les usagers. Il a été étendu également jusqu'au stade de l'évaluation du coût du projet. Ceci dans le but d'en examiner les impacts au niveau d'une éventuelle augmentation du prix de revient de l'eau pour les collectivités concernées et donc du prix de vente aux abonnés du réseau de distribution. Il s'agissait donc de pourvoir soit à la réhabilitation du réseau existant, soit à la conception de nouvelles installations de distribution (Graillot, 1983). Au cours de ces simulations, des projets étudiés par les services de la Direction Départementale de l'Equipement ont été intégrés. L'un de ces projets concernait l'aménagement d'un plan d'eau en rive droite de la Loire sur l'emplacement actuel des sites destinés à l'exploitation de sables et de graviers. La simulation a montré que la situation de ce plan d'eau, par rapport aux captages existants et par rapport à un affluent de la Loire, nécessiterait certains travaux pour assurer son alimentation à partir de cet affluent et pour assurer son étanchéïté. Cette étancheïté devrait permettre d'éviter la contamination des captages en cas de d'élévation de la cote du plan d'eau à la suite d'une crue de la Loire. Depuis, de nouvelles possibilités de distribution sont à prendre en compte: celle d'un raccordement éventuel à l'important réseau de la ville de Saint—Etienne et celle d'un pompage dans le canal du Forez issu du barrage de Grangent.

Par rapport aux premières séries de simulations, des contraintes d'actualité ont donc dévié les cibles initiales. MISE, il a été conçu pour s'adapter à cette évolution.

1.6.3.Cas des projets d'assainissement.

La cible actuelle du projet que nous avons présenté dans la partie précédente, constitue le projet de référence avec lequel nous validerons la démarche de MISE pour simuler les projets d'assainissement qui tendent à se développer de plus en plus en milieu rural. Sans anticiper sur les modifications futures de ce projet, on peut prévoir que le cas d'assainissement étudié pour les trois hameaux de Saint—Marcel de Félines s'intégrera à plus ou moins long terme au niveau de la commune pour homogénéiser et rendre conforme ses installations d'assainissement. Les études sont déjà en cours en ce qui concerne le bourg pour l'assainissement duquel les solutions sont diverses.

Elles sont liées soit à la rénovation d'un lit bactérien n'ayant jamais fonctionné, soit à la réfection d'une nouvelle station d'épuration sur le même site, soit à l'implantation d'un site de lagunage ou d'un site d'épandage (épuration par le sol). Cette dernière solution nécessiterait une intervention sur le réseau d'assainissement qui, actuellement unitaire, devrait alors être séparatif. Il est donc intéressant de prévoir d'ores et déjà la structure de cette nouvelle version du système MISE à partir d'un projet réduit d'assainissement, avant d'avoir toutes les données relatives à son développement complexe.

1.7.Ce que peut apporter l'observation du comportement des utilisateurs du système MISE.

L'observation du comportement des utilisateurs permet d'apprécier l'efficacité du système; pour l'instant aucune simulation n'a totalement échoué; quelques unes ont même réussi à générer plusieurs alternatives de projet. C'est le cas de la session d'irrigation Biva4 (1985), où la simulation de différents besoins en eau des cultures a permis de mesurer l'influence du choix du débit fictif continu sur le développement de ces cultures et sur le coût du projet. Un spécialiste des calculs des besoins en eau était intégré au groupe de travail et a permis cette étude. Le comportement des utilisateurs peut se synthétiser aussi par les écarts observés entre les décisions qu'ils avaient envisagées au début du projet et celles qu'ils ont en définitive adoptées. Il s'exprime également, en fonction des critiques qu'ils doivent émettre à la fin de chaque session.

1.7.1.Les écarts entre le "prévu" et le "réalisé" et l'influence du spécialiste.

Lorsqu'on tente d'évaluer le comportement des utilisateurs à travers les critères assez limités que représentent les coûts des projets simulés et leur temps de réalisation, il est toujours intéressant de pouvoir reconnaître l'influence des experts présents dans chaque équipe. Les ingénieurs généralistes peuvent-ils se passer des spécialistes? C'est une question qui demeure d'actualité dans les projets réels.

Prenons le cas, par exemple, de "l'hydrogéologue" type de spécialiste qui a le plus souvent participé à ces sessions. Deux cas sont possibles. Soit il est intégré au groupe responsable de la réalisation simulée des projets, soit il fait partie de l'encadrement des sessions et interviendra en tant qu'expert sur la demande des groupes utilisateurs, moyennant le coût de ses consultations.

Les vecteurs de situation représentant l'avance ou le retard de l'équipe par rapport au planning et leur gain ou dépassement du budget prévu, permet de comparer ces deux situations différentes (figures n°2-20 et 2-22). A priori les constatations n'ont rien d'étonnant, si l'expert n'est pas consulté par un groupe qui ne possède pas d'hydrogéologue, l'opération de prospection des ressources ne s'effectue pas rationnellement et la situation du projet tend plutôt à se détériorer.

L'influence de la consultation du spécialiste, à laquelle les participants finissent par recourir, dépend de la manière dont les informations qu'il fournit sont exploitées et surtout de la période à laquelle le spécialiste est consulté: après ou avant l'évaluation des besoins, ou au moment d'un incident technique.

Si cet hydrogéologue fait partie de la structure responsable du projet, son influence se fait sentir au moment où il prend les décisions destinées à localiser les sondages de reconnaissance, à acquérir les données géologiques, à évaluer les ressources et à en dresser un schéma d'exploitation. Elle se manifeste surtout en ce qui concerne la limitation des plus values dues aux difficultés techniques qu'il a su éviter ou prévoir.

Une analyse un peu plus poussée peut permettre de constater que la situation générale du projet évolue encore plus favorablement s'il participe à l'évaluation des besoins, en s'intéressant au Plan d'Occupation des Sols ou aux cultures à irriguer. Son influence sur l'ensemble du projet est également bénéfique, lorsqu'il intervient pour la conception des installations de distribution en cherchant par exemple, à optimiser l'emplacement des captages pour minimiser les longueurs de canalisation du réseau de distribution. Dans ce cas l'analyse des vecteurs de situation du projet doit se faire avec le schéma de répartition des tâches à l'intérieur du groupe de travail. L'estimation de l'influence du rôle de l'expert à partir de ces constatations, permettra de guider la recherche des connaissances intéressantes à formaliser dans un outil d'aide à la décision.

Les expériences de simulation MISE, d'une manière générale, montrent que la gestion d'un projet intégrant la complexité du système eau ouvre certaines perspectives d'innovation tant au plan organisationnel (définition et rôles de la maîtrise d'ouvrage, répartition des prérogatives liées à chaque domaine de spécialité), que technique (choix des méthodes de prospection, d'exploitation, de traitement et de distribution des eaux). Ces perspectives concernent l'analyse des interactions entre les différentes sciences de l'eau et les connaissances que l'on peut en retirer. Dans le cadre des projets d'aménagement en eau, on peut parler d'innovation dans la mesure où ces interactions sont rarement prises en compte.

1.7.2.L'exploitation des critiques des utilisateurs.

Les critiques des utilisateurs sont nombreuses et très enrichissantes. Nous ne retiendrons ici que les plus négatives.

Au sujet de l'interactivité, il est évident que le système n'est pas parfait. Les utilisateurs ne peuvent interroger la machine, ils lui soumettent leurs décisions et c'est l'ordinateur qui les guide vers les données et les outils correspondants, génère les aléas associés à ces décisions.

La résolution des difficultés du projet qui sont simulées par la machine ne fait pas l'objet d'une réponse intégrée à la machine. Le coordonnateur de la session reste indispensable.

Nous avons demandé aux utilisateurs ce qu'ils pensaient d'une interactivité totale, de la disparition du pilote de la session et donc d'une informatisation complète à l'aide de procédures permettant une prise en charge totale des négociations dont fait l'objet chaque prise de décision.

Leurs réponses sont les suivantes: si l'interactivité est indispensable pour un outil directement utilisable par les décideurs, au niveau des simulations MISE, cette exigence tend à s'estomper car la rigidité d'un système qui serait plus interactif provoquerait à coup sûr une rupture dans les dialogues des négociations à travers lesquels se manifeste le savoir—faire des utilisateurs.

Quelques critiques plus techniques concernant: l'utilisation d'un appui graphique pour le tracé des réseaux d'irrigation, l'intégration des études de sécurité et de sureté en matière de fiabilité des installations de distribution de l'eau (simulation de pannes d'exhaure), l'emploi de la géostatistique, la prise en compte des perméabilités verticales, la simulation des précipitations pour l'évaluation des ressources en eau, une présentation plus critique de la formule de Clément destinée à calculer les débits de pointe dans un réseau d'irrigation,... contribueront à l'amélioration du système MISE.

D'autres critiques insistent sur les données supplémentaires à prendre en compte pour les prochaines simulations. Ce sont en particulier des informations plus détaillées sur les accessoires hydrauliques destinés à équiper un réseau (ventouses, anti—béliers, vannes et clapets,...etc), les caractéristiques des conduites en polychlorure de vinyl (rugosité, abaques de perte de charge) permettant de simuler des réseaux moins coûteux que s'ils étaient constitués de canalisations en fonte , quelques coefficients culturaux pour simuler l'implantation de nouvelles cultures.

Si la structure du sytème MISE rend aisée l'introduction et la validation de ces outils et de ces données complémentaires, l'adaptation de nouveaux outils tactiques au cadre de la simulation justifie un travail d'équipe pluridisciplinaire.

Conclusion.

L'utilisation du système MISE a donc pour principal intérêt, du point de vue de l'aide à la décision, de récupérer une certaine masse de connaissances ou d'informations que l'on peut définir de la manière suivante:

Sans redéfinir ce qu'est l'information, on peut distinguer deux types de connaissances ou d'informations, les **connaissances factuelles** constituées d'états de faits concernant:

— le champ des décisions possibles (éléments du système décisionnel),

— les systèmes physique, économique et social du projet; ce sont les données hydrologiques, hydrogéologiques, les données de coût,...etc.

— l'existence des outils ou moyens techniques permettant de les exploiter,

— les événements qui décrivent la dynamique du système mis en jeu et qui comportent des aléas ou des incidents.

Le deuxième type de connaissances ou d'information est représenté par les **connaissances opératoires,** c'est à dire celles qui sont relatives au savoir—faire des spécialistes pour:

— l'utilisation des outils , la prise des décisions, la résolution des problèmes techniques et des conflits liés au projet,

Elles sont représentées par:

— l'expérience, l'intuition, les connaissances empiriques entrainant l'utilisation d'heuristiques, les raisonnements.

Sans prétendre que les quelques projets simulés par MISE permettent une manifestation exhaustive de toutes ces connaissances qui représentent l'information, nous pensons qu'à partir des quelques éléments obtenus, il est d'ores et déjà indispensable de concevoir la structure permettant de gérer et d'exploiter cette information pour l'aide à la décision, avant même d'être débordés par la masse de cette information. La poursuite des simulations MISE, indispensables pour acquérir une information optimale c'est—à—dire pertinente, représentative et non redondante, permettra sa formalisation, sa structuration et son exploitation progressive, dans le cadre d'un système d'ingénierie dont nous nous proposons d'étudier la faisabilité. Ce système d'ingénierie qui devrait être utilisable pour des projets différents de ceux simulés par MISE, constitue une première application d'un système d'information dans le domaine de l'eau.

Le système MISE remplit pleinement son rôle en ce qui concerne la délimitation du champ des décisions possibles pour réaliser un projet d'aménagement en eau. Il les organise selon plusieurs variantes en respectant un processus évolué de décision et permet d'analyser les conséquences des différents jeux de décisions.

La répétition et l'évaluation des expériences de simulation dédiées à un certain type de projets, permet en définitive une utilisation de plus en plus rationnelle des outils et des données.

L'évaluation des variantes de projets simulés par MISE permet, dans le cadre de ce système d'ingénierie, d'analyser la stratégie d'un projet d'aménagement en eau, et donc de transcender un niveau purement pédagogique pour atteindre celui des outils professionels d'aide à la décision. La méthodologie à mettre en oeuvre n'est pas forcément basée sur la recherche de la solution optimale, elle entend concilier à la fois une démarche technique et une réflexion plus large sur l'évolution des méthodes et des pratiques intervenant dans les projets d'aménagement en eau.

CHAPITRE 2: RESULTATS DES SIMULATIONS DESCRIPTION DE QUELQUES STRATEGIES D'AEP et D'IRRIGATION.

La présentation exhaustive de tous les résultats de chaque simulation, comme nous l'avons effectuée pour la session de simulation MISE dans sa version Irrigation de 1984, n'a pas un intérêt primordial, puisque le nombre trop restreint de cas simulés ne peut se prêter pour l'instant à une évaluation finale. Nous présenterons donc dans ce chapitre un résumé des différentes variantes de projets simulés, pour appuyer les constatations faites au sujet des connaissances qu'il est possible d'exploiter à partir des simulations MISE. Cette présentation permettra dans le chapitre suivant, d'envisager quelques schémas d'évaluation possibles avant d'examiner les modalités de mise en oeuvre du système d'ingénierie dont nous étudierons la faisabilité à partir de MISE.

2.1.Présentation des différentes simulations.

C'est à partir de la description des principales options tactiques et stratégiques choisies par les différentes équipes qui ont suivi les stages de simulation M.I.S.E., que se dégageront les premiers enseignements.

Cette description permettra de caractériser chacun de ces projets et de mettre en valeur la diversité qui peut exister dans la résolution d'un problème complexe afin de l'exploiter dans le cadre du système d'ingéniérie que nous nous proposons de réaliser.

2.2.Simulations de projets d'alimentation en eau potable.

Pour les quatre premières simulations du projet d'alimentation en eau potable des communes de Bonson et de Saint—Rambert—sur—Loire (Hyde1 à Hyde4), ce descriptif sera succinct dans la mesure où ces simulations ont été largement développées dans notre précédente thèse (Graillot, 1983). Les simulations suivantes prévoient en plus de l'alimentation en eau potable de ces deux communes, celle de la commune de Saint—Cyprien.

Hyde1 et Hyde2

Pour ces deux groupes, la simulation de la distribution des ressources en eau ne constituait qu'une première ébauche, les phases d'étude et de prospection de la ressource, constituaient à l'époque de ces premières simulations l'ossature de base du système.

La prospection pour l'équipe Hyde2 s'est faite, de façon relativement classique, par des mesures géophysiques qui ont été suivies d'essais de débit dans des forages réalisés à cet effet. L'équipe Hyde 1 a suivi le même schéma mais a éprouvé le besoin d'appuyer sa démarche sur une simulation hydrodynamique de la nappe parce que cette équipe ne possédait aucun spécialiste hydrogéologue. Cette phase de simulation a permis de déterminer les zones les plus productives de la nappe mais n'a pas évité à l'équipe l'étape essai de débit (avec sous-traitance à un hydrogéologue) car la discrétisation de la nappe en mailles de 100 mètres de côté ne permet pas de situer précisément l'implantation d'un forage et laisse un facteur de risque important s'il s'agit d'implanter directement les forages de production à l'aide de résultats de simulation hydrodynamique.

Ces deux équipes distribuent de l'eau dans les secteurs de Bonson et St. Rambert mais ne traitent pas le problème de St. Cyprien. Les deux réseaux réalisés par chacune d'elle sont de type gravitaire avec réutilisation partielle de certaines parties du réseau existant, et même pour l'équipe Hyde2, de la station de traitement de l'eau de Varenne.

La politique suivie par ces deux équipes est donc globalement une politique d'économie s'appuyant sur la récupération d'infrastructures existantes avec tous les risques de fuites ou de défaillance que cela comporte, ce qui explique l'importance qui est donnée dans leur compte d'exploitation à la part des provisions pour réparations.

Le temps de réalisation de ces deux projets est très inférieur à tous les autres, ce qui s'explique par la non prise en compte de délais tel que le délai d'autorisation de commencer les travaux et la trop faible importance qui était alors donnée dans le système à des incidents entraînant des délais. De même, le temps de réalisation de chacune des sous-étapes était alors sous-estimé dans la mesure où il n'incluait que le temps réel de travail, sans tenir compte des autres contingences telles que la disponibilité des machines ou du personnel, les intempéries, les délais administratifs inhérents à chacune de ces phases et inévitables.

La prise en compte de ces éléments a permis d'améliorer le système pour les simulations suivantes et montre qu'en moyenne le temps réel nécessaire à la réalisation d'une étape est environ trois fois plus long que le temps de travail lui-même. On peut donc par exemple tirer de cette expérience une règle d'ailleurs bien connue des cabinets d'études et de service :

R1 : ***Dans la mesure où*** **le temps prévu à la réalisation d'un travail T est t(T),**

Alors **le délai pour le réaliser est $t_e(T) = 3 . t(T)$**

et **il faut tenir compte des aléas rattachés à ce travail.**

Remarque: une telle règle pourrait être complétée par la prise en compte de la probabilité d'apparition inhérente à chacun des aléas associé aux différents travaux.

Les résultats globaux chiffrés de l'équipe Hyde1 sont les suivants:

	CF kF(83)	CT Semaines
Total	5152.0	83
Etudes	0	12
Prospection	188	30
Exploitation	255	15
Distribution	4629	27

Prix de vente de l'eau 2,20 F/m^3
prix unique proportionnel au cubage vendu.

Les résultats globaux chiffrés de l'équipe Hyde2 sont les suivants:

	CF kF(83)	CT Semaines
Total	4280	108
Etudes	20	15
Prospection	84,6	22
Exploitation	174,1	12
Distribution	3448	29

Prix de vente de l'eau 2,0 F/m^3
prix unique proportionnel au cubage vendu.

Hyde3 et Hyde4

Les améliorations apportées au système entre les simulations précédentes et celles—ci ont permis aux équipes Hyde3 et Hyde4 d'aborder plus précisément le problème des réseaux et d'avoir un temps de réalisation total du projet beaucoup plus proche du réel.

Les techniques de prospection sont les mêmes que pour les équipes précédentes :

—géophysique et essais de pompage pour Hyde4 (voir Hyde2)

—géophysique modélisation, hydrogéologue et essais de pompage pour Hyde3 (voir Hyde1)

La population à desservir est plus importante: 12000 et 13500 personnes contre 9000 pour les premières équipes, les hypothèses d'extension sont donc plus importantes et influent sur le prix total d'investissement et donc sur le prix de l'eau. Il est difficile de juger ici de la validité de ces prévisions mais leur influence est grande sur le développement futur des communes, car la définition du Plan d'Occuption des Sols (POS) peut, à l'avenir, s'appuyer sur la suffisance de l'alimentation en eau pour autoriser la construction dans un quartier. Si l'eau manque et si la mairie ne veut plus investir dans ce domaine, alors la construction ne sera pas autorisée.

On voit là apparaître un phénomène d'aller—retour entre une cause et un effet :

— la surface des zones constructibles dans le POS actuel a entraîné une prévision de l'augmentation de la population

— la prévision de l'augmentation de la population a entrainé le calcul des débits d'alimentation en eau potable

— l'existence de forages et de réseaux d'alimentation en eau potable influera à l'avenir sur des modifications éventuelles du POS.

En ce qui concerne les réseaux, pour ces deux équipes comme pour les précédentes, le secteur de Saint—Cyprien n'est pas pris en compte.

Le secteur de Saint—Rambert est toujours desservi en réseau gravitaire, mais on voit apparaître la technique du refoulement direct pour le secteur de Bonson dans les parties neuves du réseau (le réseau ancien reste alimenté par gravité).

Notons, pour ces deux équipes, la prise en compte et la réduction d'un facteur de risque important puisque c'est un traitement léger qui est effectué ici, il s'agit de la désinfection des anciens réseaux réhabilités.

Les résultats globaux chiffrés de l'équipe Hyde3 sont les suivants:

	CF kF(83)	CT Semaines
Total	6990	110
Etudes	22	13
Prospection	124	19
Exploitation	342	2
Distribution	6447	70

Prix de vente de l'eau 2,5 F/m^3
prix unique proportionnel au cubage vendu.

Les résultats globaux chiffrés de l'équipe Hyde4 sont les suivants:

	CF kF(83)	CT Semaines
Total	6759	103
Etudes	40	9
Prospection	90	9
Exploitation	379	9
Distribution	6310	78

Prix de vente de l'eau 3,13 F/m^3 les 17 premières années puis 1,10 F/m^3 pendant 17 ans puis 0,74 F/m^3 par la suite. Prix unique proportionnel au cubage vendu.

Cette tactique d'évolution du prix de vente de l'eau présente un risque important dans la mesure où ce prix devient très faible au bout de 34 ans, à une époque où les infrastructures commencent à être vieilles et risquent de nécessiter des réparations beaucoup plus fréquemment qu'auparavant.

Hyde5

La première constatation qui peut être faite sur le projet étudié par cette équipe est que le calcul des besoins en eau s'appuie sur des valeurs très élevées qui sont de 200 l/j/habitant plus 35 m^3 par hectare de zone industrielle/jour ; soit un besoin journalier de 4440 m^3/j alors que pour la majorité des autres simulations le besoin journalier se situe aux environ de 3000 m^3/j.

Cette hypothèse explique sans doute le nombre impressionnant de forages de prospection qui ont été réalisés (qui s'élève à 16) sur une zone de prospection située dans le secteur de Bonson et une autre dans le secteur de Saint—Rambert. En effet dans un premier temps, l'équipe pensait pouvoir exploiter la nappe dans un secteur proche de Saint—Rambert afin de limiter le métré de canalisation nécessaire à la distribution de l'eau. Ainsi 12 des 16 forages réalisés sont implantés dans le secteur de Saint—Rambert. Malheureusement, les essais de pompage réalisés dans ces ouvrages ont montré que la nappe est d'une qualité très médiocre dans ce secteur et qu'elle ne permet pas l'alimentation de cette ville.

Le choix s'est donc porté sur les ouvrages situés dans le secteur de Bonson qui seront utilisés pour alimenter les trois communes.

L'option de prospection qui avait été choisie au départ par cette équipe est intéressante et nouvelle, on peut toutefois se demander ce qui justifie la foration de tant d'ouvrages dans une zone où dès les premiers résultats on pouvait douter de la qualité de la nappe. Cet entêtement constitue pourtant une tactique qui aurait pu porter ses fruits si la chance avait voulu qu'il existe une zone suffisamment productive dans ce secteur, ce qui aurait permis des économies considérables au niveau du réseau. Ceci reste toutefois révélateur de l'absence d'expert hydrogéologue dans cette équipe.

En ce qui concerne la distribution elle s'effectue selon deux réseaux, l'un dessert le secteur de Saint—Rambert et l'autre alimente Bonson et Saint—Cyprien. Ces deux réseaux sont de type gravitaire et sont reliés aux forages par des canalisations de gros diamètre, les puits sont eux—mêmes reliés entre eux afin d'assurer une sécurité d'approvisionnement (bonne prise en compte des facteurs de risques).

Une remarque doit toutefois être faite concernant le prix total de réalisation du réseau de cette équipe dont le linéaire de tranchée reste de grandeur comparable à celui des autres, mais dont le prix de revient total est très supérieur. Cet écart réside dans l'hypothèse choisie pour le calcul du coût des accessoires dans le coût total du réseau : en général, le coût des accessoires est considéré comme s'élevant à 15% du coût des canalisations et des tranchées alors que cette équipe a choisi de calculer le prix de ces accessoires comme étant de 10 KF par Km de réseau et par l/s de débit de transit dans le réseau, ce qui élève leur coût à 45% du coût des canalisations et des tranchées.

Cette différence est non négligeable et influence notablement le coût total du projet, il s'agit pourtant là de deux valeurs qui résultent d'une expertise puisqu'elles s'appuient sur l'expérience de nombreux aménageurs. Il faut toutefois les replacer dans leur contexte géographique, urbanistique et surtout topographique pour expliquer une telle différence.

En connaissant l'origine et le contexte de ces deux évaluations, le système pourra alors s'enrichir d'une série de règles supplémentaires du type :

R2 : *Pour un* réseau qui se situe en zone urbaine,
le coût accessoires C(a) = 10 kF/Km/l/s(85)

Les résultats globaux chiffrés de cette équipe sont les suivants:

	CF KF(86)	CT Semaines
Total	21023,3	?
Etudes	1,8	4
Prospection	118,9	5
Exploitation	331,4	>8
Distribution	20573,0	?

Prix de vente de l'eau 2,35 F/m^3

Ce prix s'appuie sur l'hypothèse d'une consommation immédiate de 1,6 millions de m^3, ce qui entraîne que la structure distributrice sera déficitaire les premières années, ce prix est un prix unique proportionnel au cubage vendu.

Hyde6

Le besoin en eau calculé par cette équipe est de 2650 m^3/j et correspond bien à la valeur moyenne généralement retenue.

Le schéma de prospection, précis et bien défini trahit la présence d'un expert hydrogéologue dans l'équipe.

La caractéristique principale du projet étudié par cette équipe réside dans le choix qui a été fait au niveau de la distribution.

En effet cette équipe a choisi de réaliser un réseau unique désservant les trois communes demanderesses (Bonson, Saint—Cyprien et Saint—Rambert). La longueur totale des canalisations posées est importante; cette option permet de ne construire qu'un château d'eau unique desservant tout le réseau. Son positionnement a d'ailleurs été délicat, plusieurs simulations ont été nécessaires pour trouver un emplacement suffisamment élevé pour compenser les pertes de charges.

Cette option est envisageable car le site étudié est un site de plaine. Si la topographie avait été plus marquée, cela n'aurait pas été possible. On peut donc là aussi édifier une règle du type :

R3 : *Si* le réseau se situe dans une zone où la topographie est accidentée
***Alors* la distribution de deux zones éloignées doit se faire par deux réseaux différents**

Un problème de sécurité se pose toutefois dans le cas d'une telle disposition car si le chateau d'eau est alimenté par deux puits distincts mais par une canalisation unique et qu'il y a rupture de cette canalisation, alors il y a rupture totale de l'alimentation. Pour éliminer ce risque, l'équipe a donc été contrainte d'alimenter le château d'eau par une canalisation individuelle à partir de chaque puits. Ainsi, en cas de rupture de l'une des deux conduites, l'approvisionnement peut être assuré par l'autre puits. Mais le coût de cette double canalisation d'alimentation augmente notablement le coût total du réseau.

Ainsi, avec ces deux canalisations d'alimentation et le maillage total du réseau de distribution, l'équipe Hyde6 réalise le projet présentant le moins de risque de rupture de l'alimentation.

Pourtant le coût total du projet reste moyen car un seul château d'eau est construit et car le réseau prévu ne distribue l'eau qu'aux points stratégiques sans alimenter les quartiers eux—mêmes.

Là aussi la stratégie est intéressante : elle limite les investissements immédiats en permettant de réaliser un projet de plus grande envergure, mais nécessite des investissements futurs qui se feront au fur et à mesure de la demande. Ces investissements resteront toutefois faibles et peuvent être prévus dans le prix de vente de l'eau.

Les résultats globaux chiffrés de cette équipe sont les suivants:

	CF kF(86)	CT Semaines
Total	15800	71
Etudes + Prospection	265,4	25
Exploitation	231,9	} 46
Traitement	2068	
Distribution	13234,7	}

Prix de vente de l'eau 6,4 F/m^3 s'appuyant sur l'hypothèse d'une consommation de 365000 m^3 la première année. La tarification adoptée est unique et le prix de vente de l'eau est proportionnel au cubage vendu. Il est payé en deux fois avec une avance sur consommation de 600F par abonné.

Hyde7

Comme pour l'équipe Hyde5, le besoin en eau journalier prévu par cette équipe est très élevé (#5000 m^3/j) et se répercute sur le coût du réseau réalisé.

Pour la phase de prospection, cette équipe avait prévu dans un premier temps un recensement des données existantes puis des phases plus spécifiques telles que la consultation d'un expert hydrogéologue, des sondages géophysiques, des mesures de perméabilité et des analyses d'eau superficielle. Au cours de la réalisation, une bonne recherche des données existantes et des prises de contacts nombreuses et efficaces leur ont permis d'obtenir des données suffisamment précises, pour éviter la campagne géophysique prévue et passer directement à des forages réalisant ainsi un gain d'argent précieux pour cette phase de prospection.

Bien entendu le temps d'acquisition des données nécessaires a peut-être été relativement long mais cela peut se justifier dans le cas d'un projet à petit budget d'étude mais sans temps limité. En effet, si la recherche des données existantes n'est pas onéreuse, en revanche son coût temporel est élevé et nécessite un travail commercial et psychologique considérable. A partir d'une telle constatation, on peut rédiger une règle d'ordre général, de bon sens voire pédagogique, du type :

R4 : *Dans la mesure où* le temps imparti à la phase d'étude t(e) n'est pas limité, *il faut* en profiter pour acquérir les données existantes

R5 : *Si* les données existantes sont accessibles *et bien exploitées* *cela peut entrainer* une diminution des coûts de prospection c(p)

Il ne s'agit pas ici d'une règle d'expertise technique.

Notons que tout au long de la phase prospection, cette équipe met l'accent sur les problèmes de qualité de l'eau et utilise ce critère pour limiter sa zone de prospection et éviter ainsi d'avoir à mettre en place une station de traitement lourd.

En ce qui concerne l'alimentation en eau, cette équipe a choisi de relier les trois forages d'exploitation retenus à une bâche de reprise unique alimentant les deux châteaux d'eau construits : l'un pour le réseau (unique) de Bonson et de Saint—Cyprien, l'autre pour celui de Saint—Rambert, les trois communes sont donc alimentées gravitairement.

Comme pour l'équipe Hyde5,

— la distribution se fait en deux réseaux de canalisations dont les diamètres sont importants (en particulier pour le secteur de Bonson—Saint—Cyprien) en réponse à un calcul du besoin en eau journalier très élevé.

— le calcul du prix des accessoires du réseau se fait suivant une formule tenant compte du débit de transit du réseau et de sa longueur et non pas d'un pourcentage du prix des canalisations posées.

En définitive, le prix des accessoires s'élève à 40% du prix des canalisations, soit un pourcentage trop élevé pour une zone de plaine faiblement urbanisée.

Ainsi, si le système d'ingénierie dans lequel seront enregistrés les résultats des simulations MISE, possède des règles du type de la règle R2 définie pour Hyde5, de telles erreurs pourront être corrigées pour permettre la comparaison des projets. De tels types de règles peuvent d'ailleurs apparaître aussi dans le système MISE lui—même et limiter ainsi le risque d'erreur en se comportant un peu comme un "préfiltre" assurant la validité du résultat définitif.

Là encore on constate que chacune des simulations effectuées apporte une connaissance supplémentaire qui doit être immédiatement exploitée pour améliorer la structure de contrôle du système de simulation.

Les résultats globaux chiffrés de cette équipe sont les suivants:

	CF kF(86)	CT Semaines
Total	18465	78
Etudes + Prospection	121	21
Exploitation	274	(E+D)
Distribution	18070	=57

Prix de vente de l'eau 4,45 F/m^3 s'appuyant sur l'hypothèse d'une consommation de 1,5 millions de m^3 la première année, puis en régime de croisière 3,8 F/m^3. Prix unique proportionnel au volume d'eau vendue.

Hyde8

La première constatation qui peut être faite sur le projet de cette équipe est que tout a été entrepris pour réduire au minimum le coût total du projet. Si cette stratégie, souvent chère aux élus locaux, n'a pas posé de problème dans les phases d'étude et de prospection nous verrons plus loin qu'elle pose des problèmes au niveau de la distribution.

Hyde8 réalise un réseau unique du même type que Hyde6, mais la répartition des besoins est différente et l'extension du réseau est très nettement inférieure en particulier à l'Ouest du secteur de Bonson et de Saint—Cyprien. Là aussi, seuls quelques points principaux sont desservis, ce ne sont pas des points stratégiques car on peut se demander ce qui justifie la non—distribution à l'Ouest de Bonson et de Saint—Cyprien (zones constructibles du POS) si ce ne sont des raisons d'économies. Cette simulation peut toutefois faire l'objet d'un scénario intéressant, il permet aux élus d'estimer l'écart de coût de projet qu'entraînerait la suppression de certaines parcelles constructibles sur la commune.

Dans ce domaine, le but initial est en effet atteint car le prix total du projet est au moins de moitié inférieur aux précédents.

Cette différence (en particulier avec le projet le plus proche qui est celui simulé par l'équipe Hyde6) s'explique d'une part par la longueur de canalisations posées, d'autre part par l'absence de construction d'un château d'eau puisque l'alimentation se fait par **refoulement direct**.

C'est cette même raison qui explique la différence des diamètres retenus et par conséquent, l'écart de prix qui en résulte. En effet, environ deux tiers du débit total nécessaire doit être distribué sur Bonson et sur Saint—Cyprien.

Ainsi, l'équipe Hyde6 ayant placé son château d'eau à mi—distance de Bonson et de Saint—Rambert s'est vue contrainte de placer des canalisations de 250 mm de diamètre pour alimenter le secteur Nord demandeur des 2/3 du débit total (répartition des débits à partir du chateau d'eau 65%/35%). Pour l'équipe Hyde8, les points d'alimentation se trouvent proches de Bonson—Saint—Cyprien et l'alimentation est divisée en deux parties (2 forages avec chacun une bâche de reprise). Les diamètres nécessaires en tête de réseau ont pu être réduits à 150 et 200mm (un puits alimentant Saint—Cyprien et Bonson—Nord et l'autre Saint—Rambert et Bonson—Sud) soit une répartition équivalente des débits à partir des forages.

C'est la première fois qu'apparaît une comparaison intéressante en ce qui concerne deux stratégies de distribution voisines. De cette constatation on pourrait tirer une recommandation très spécifique au projet étudié du type :

R6: ***Si*** **le projet étudié est le complément d'alimentation en eau potable de Bonson, St Cyprien, St Rambert**

et **qu'il est décidé de faire un réseau unique de distribution**

Alors **le débit au point d'alimentation doit se répartir à 50%/50% dans les canalisations de tête du réseau**

et **le point d'alimentation doit se situer près de Bonson**

On peut se demander l'intérêt d'une règle si spécifique, bien qu'elle représente un résultat fort intéressant et non prévisible a priori. Mais une telle constatation peut peut—être s'étendre à d'autres projets et il est indispensable de la garder en mémoire pour pouvoir éventuellement à l'avenir l'utiliser sous forme d'une règle plus intéressante.

Ce processus de généralisation n'est pas simple à résoudre, il faudrait pour cela de nombreux résultats de projets.

Le réseau réalisé par cette équipe Hyde8 est le plus petit de toutes les simulations malgré le maillage intégral sur la zone distribuée. Les points de développement futur et les zone constructibles à l'Ouest de Bonson ne sont pas alimentés.

Ce réseau ne répond donc absolument pas à la demande telle qu'elle a été formulée. Même si l'investissement total reste très faible, un tel projet ne satisferait pas les décideurs et ne devrait pas être retenu.

N'aurait-il pas été plus judicieux, avec le même budget, de supprimer le maillage avec Saint-Rambert (assurant une sécurité supplémentaire peut-être injustifiée) et d'utiliser les 5km de réseau ainsi récupérés pour alimenter les zones Ouest de Bonson et Saint-Cyprien.

En effet, dans un projet à petit budget comme celui-ci, seuls les maillages **indispensables** à la sécurité d'approvisionnement de toute une zone doivent être réalisés surtout quand les deux puits d'alimentation sont suffisamment proches l'un de l'autre pour être reliés par une canalisation de sécurité comme c'est le cas ici.

Le type de règle qui pourrait être tiré d'une telle constatation est le suivant :

R7 : *Quand* le budget total alloué au projet est faible,

la réalisation du maillage pour des branches de longueur supérieure à X% de la longueur totale du réseau *doit être évitée*.

La valeur de X pouvant être ajustée au cours des simulations, elle serait fixée dans un premier temps à 15%, cas correspondant à cette première expérience.

Les résultats globaux chiffrés de cette équipe sont les suivants:

	CF kF(86)	CT Semaines
Total	5475,8	65
Etudes + Prospection	124,2	?
Exploitation	522,7	?
Distribution	4828,9	?

Prix de vente de l'eau 3 F/m^3 prix unique proportionnel au cubage vendu auquel s'ajoute une taxe de raccordement.

Le prix de revient correspondant au coût total du projet est de 1F/m^3 auquel s'ajoutent les charges de personnel, l'énergie, les provisions.

Hyde9

De la même façon que pour l'équipe Hyde8, on remarque que le souci premier de cette équipe a été de réaliser le projet avec un budget très limité.

L'opération est réussie, mais avec une tactique de distribution totalement différente de celle de l'équipe précédente.

En effet, pour limiter au maximum le coût du réseau à construire, cette équipe prend en compte les installations existantes qu'elle décide de réutiliser et de compléter par des antennes desservant les quartiers demandeurs à l'horizon 2000. Ainsi le réseau de distribution mis en place représente 1,8km sur Saint—Rambert et 1,6km sur Bonson—Saint—Cyprien.

Mais il faut malgré tout, amener l'eau depuis les nouveaux captages vers les châteaux d'eau, ainsi le réseau d'alimentation représente 4,8km pour Saint—Rambert (utilisation du château d'eau existant) et 1,1km pour Bonson, Saint—Cyprien (construction d'un nouveau château d'eau).

Une telle tactique nécessite toutefois de prendre en compte les fuites qui peuvent exister dans un réseau vétuste, la valeur de ces fuites est estimée à 50%; les ouvrages de captage sont réalisés et dimensionnés en conséquence.

Il est certain qu'une telle stratégie de complément d'alimentation en eau potable ne coûte pas cher. Elle permet de réaliser une économie sur le réseau dont le coût représente un très gros pourcentage du budget.

Un tel choix s'appuie toutefois sur des conditions très précises qui pourraient s'ériger en règles du type :

R8 : *Si* il y a réutilisation du réseau existant
** *Alors* il ya 30% à 40% de fuites sur le réseau,**

R9 : *Si* il y a30% à 40% de fuites sur le réseau
** *si* les coûts de détection des fuites sont supérieurs à ceux de transformation des ouvrages de captage,**
** *Alors* surdimensionner les captages**
** *à condition que* la ressource en eau soit suffisante.**

R10 : *Si* il y a réutilisation du réseau existant
** *Alors* les diamètres des canalisations transitant les débits d'alimentation des zones d'extension future doivent être recalculés**
calculs à effectuer: calcul des pertes de charges sur chaque tronçon en fonction de la rugosité des canalisations vétustes et nouvelles.

algorithmes à utiliser: programmes d'écoulement dans les réseaux maillés

contrôles à effectuer: mesures sur le réseau pour ajuster les coefficients de rugosité, vérification des débits et des pressions en bout de réseau et sur le service en route.

R11 : *Si* il y a réutilisation du réseau existant,

et si ce réseau est de type gravitaire,

***Alors* il faut que le château d'eau existant puisse satisfaire à une demande plus grande**

R12 : *Si* il y a réutilisation du réseau existant

***Alors* mettre en place des surpresseurs**

Une telle règle implique que dans tous les cas les rugosités du réseau existant sont importantes et entraînent des pertes de charge qu'il faut compenser par des surpresseurs. Dans la mesure où cette information n'est pas évidente, on lui attribuera une faible plausibilité qui pourra être affinée au fur et à mesure des simulations.

Les résultats globaux chiffrés de cette équipe sont les suivants:

	CF kF(86)	CT Semaines
Total	5780	61
Etudes + Prospection	84,6	?
Exploitation	127	?
Distribution	5568,5	?

Prix de vente de l'eau: 2,15 F/m^3 à Bonson et à Saint Cyprien, 2,73 F/m^3 à Saint Ramber. Ce prix auquel s'ajoute une taxe de raccordement de 2000 F, est unique et proportionnel au cubage vendu.

Hyde10

Le projet Hyde10 représente le travail d'une personne unique experte en sciences de l'eau et installée dans la région. Cet expert étant au courant des projets régionaux n'a donc pas jugé utile de prendre des contacts avec les administrations locales pour développer son projet.

De même, connaissant parfaitement la nappe aquifère de la plaine du Forez, il oriente directement sa prospection (géophysique puis forage direct des puits, pas de piézomètres) vers des zones qu'il sait productives, repoussant l'hypothèse de chercher de l'eau dans les zones proches de Saint—Rambert localement réputées pour la faible productivité de la nappe.

On remarque une troisième option intéressante dans l'étude qu'il a effectuée, elle est révélatrice de sa bonne connaissance du milieu : c'est le choix délibéré d'attendre le résultat des essais par pompage sur le premier puits foré avant de lancer d'autres opérations.

Ce choix est fait parce que l'expert sait que la nappe dans ce secteur peut s'avérer très productive et qu'il peut arriver à satisfaire la demande avec un seul forage si tout se passe bien. Il préfère donc faire attendre les foreuses quitte à leur payer quelques jours d'immobilisation ou les laisser repartir quitte à payer une deuxième fois l'amenée et le repli du matériel, plutôt que de forer des ouvrages supplémentaires qui pourraient s'avérer inutiles.

Cette façon de procéder constitue, en soit, une expertise qu'il pourrait être bon de récupérer sous forme d'une règle qui pourrait être la suivante :

R13 : *Si* l'expert chargé de la prospection sait que la nappe peut être très productive
***Alors* il faut attendre les résultats des premiers essais par pompage avant d'effectuer d'autres forages.**

C'est aussi l'expérience professionnelle de l'intervenant qui fait qu'il prévoit dans sa réponse à l'appel d'offre un retard dans le déroulement du projet au moment des vacances (mois de juillet—aout). Cette prévision semble bien naturelle, elle est pourtant malheureusement souvent oubliée (en particulier par les débutants) et peut entraîner des pénalisations pour retard au paiement des travaux.

R14 : *Si* le projet doit se dérouler sur une période incluant les mois de juillet-aout
***Alors* il faut prévoir 50% de retard sur les phases réalisées en juillet-aout.**

La qualité de l'eau étant médiocre dans l'un des puits, le décideur a prévu une bâche de reprise commune aux trois puits permettant un mélange des eaux pour éviter d'avoir à réaliser une usine de traitement lourd. L'eau est ensuite redistribuée sur le réservoir pour une distribution gravitaire .

Dans ce projet, la distribution d'eau se fait par trois réseaux alimentant respectivement les zones Nord, centre et Sud (figure n°3—1). Des liaisons existent entre ces trois réseaux : maillage entre les réseaux Centre et Sud et liaison du réseau Nord avec les précédents pour permettre l'alimentation de ceux—ci par le réservoir principal situé à Bonson—Nord. Un réservoir de reprise est placé en tête du réseau de Saint—Rambert.

Le chargé d'étude avait prévu en première approximation qu'il faudrait deux réservoirs à Saint—Rambert. C'est grâce à l'utilisation du programme d'optimisation technico économique du réseau (OTER) qu'il a pu optimiser ce réseau et constater finalement qu'un seul réservoir suffisait, réalisant ainsi une économie non négligeable sur le coût total du projet.

Le travail réalisé par l'expert Hyde10 présente aussi un intérêt en ce qui concerne le mode de tarification de l'eau et la gestion du réseau. En effet, il est évident que le nouveau réseau ne possèdera que peu d'abonnés les premières années; cela risque d'entraîner un déficit non négligeable de la société qui ne peut pas proposer un prix de l'eau trop élevé.

Pour pallier cet inconvénient, en tenant compte du fait que ce réseau est neuf et qu'il sera peu utilisé les premières années, aucun personnel d'entretien ne sera embauché avant trois ans. Le personnel (5 employés), le stock et l'outillage du réseau existant doivent être suffisants.

Le décideur s'appuie donc sur les structures existantes pour entretenir le réseau neuf mais aussi pour définir son prix de vente de l'eau.

Le prix de l'eau pour le nouveau réseau est calculé à partir d'une consommation moyenne sur 25 ans. Dans les premières années un fond de roulement est créé et le déficit est comblé par une augmentation de prix pour les abonnés du réseau existant (prix passant de 3 à 5,8 F/m^3) avant même le commencement des travaux pour le nouveau réseau.

Les résultats globaux chiffrés de ce projet d'expert sont les suivants:

	CF kF(86)	CT Semaines
Total	12357,5	118
Etudes+prospection	110	19
Exploitation	322,5	22
Distribution	11925	77

Prix de vente de l'eau: 4 F/m^3 pour un forfait pouvant atteindre 90 m^3 puis 9 F/m^3 au delà. A ce prix s'ajoute une taxe de raccordement pour l'achat du compteur d'eau.

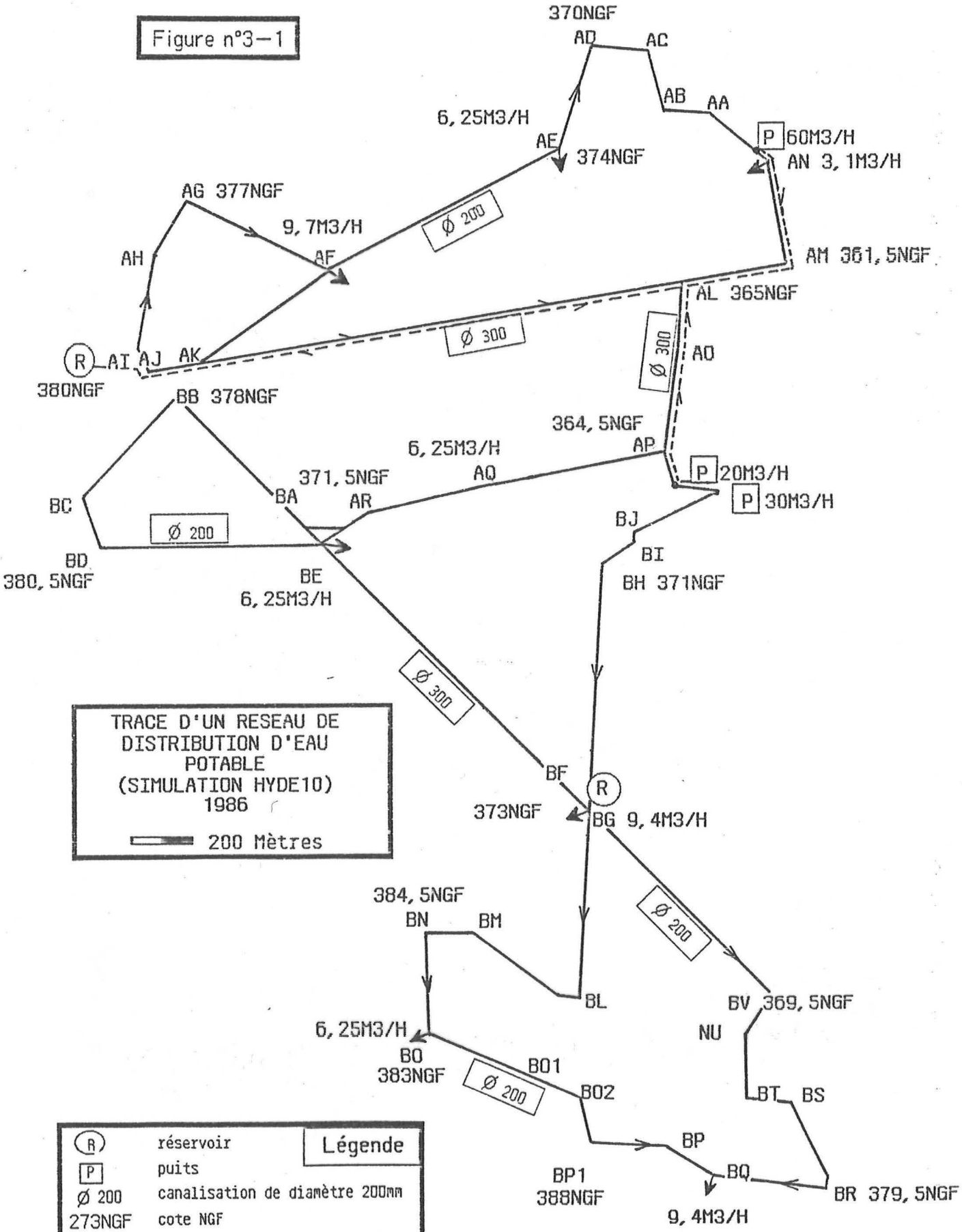
2.3.Synthèse des résultats obtenus au cours des simulations de projets d'alimentation en eau potable

On peut tout d'abord remarquer que la comparaison s'avère difficile entre les premières simulations (Hyde1 à 4) et les suivantes. Ceci est dû au fait que ces premières simulations ont servi à la mise au point et au calage du système et que leur but était essentiellement une simulation de la prospection des ressources en eau, la partie distribution se limitant pratiquement au tracé du réseau. Il en résulte une différence non négligeable sur le coût des installations qui reste nettement trop faible par rapport à la réalité.

D'un point de vue technique la comparaison reste toutefois possible et on peut en tirer les quelques remarques suivantes.

—Le calcul des besoins en eau est extrêmement important dans ce type de projets. En effet c'est de lui que découlera le dimensionnement des installations d'exhaure et de distribution et par là même leur prix. Les résultats des équipes Hyde 5 et Hyde 7, ayant prévu un besoin journalier supérieur à 4400 m^3 en l'an 2000, sont là pour le prouver.

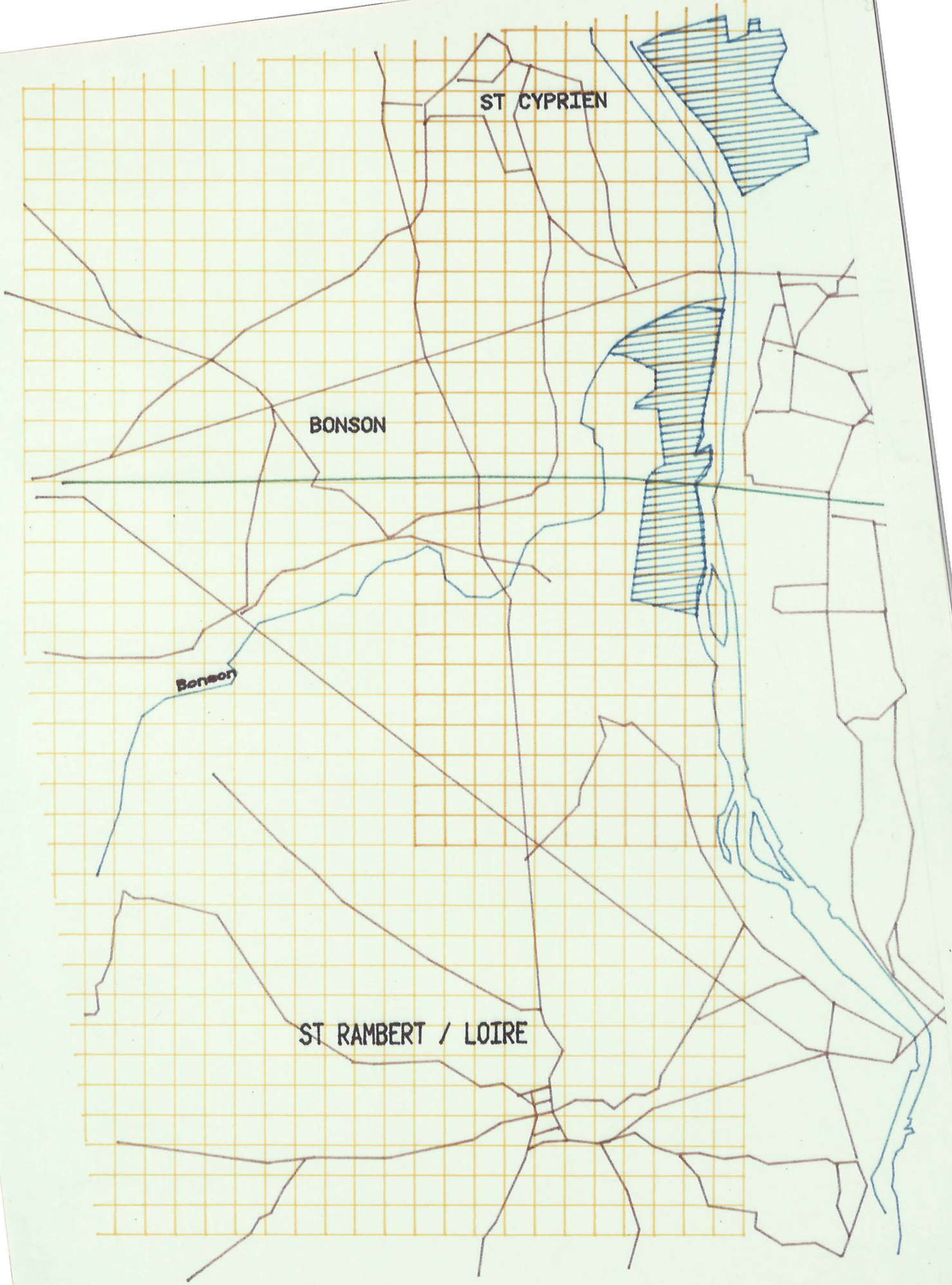
Figure n°3-1



TRACE D'UN RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE (SIMULATION HYDE10) 1986

200 Mètres

Légende	
R	réservoir
P	puits
Ø 200	canalisation de diamètre 200mm
273NGF	cote NGF
AA	Noeud du réseau
- - -	Canalisations de refoulement


ST CYPRIEN
BONSON
Bonson
ST RAMBERT / LOIRE

—Les zones productives de la nappe aquifère dans le secteur étudié se situent essentiellement dans la partie Nord de celle—ci, à hauteur de Bonson (noeuds 15—07 à 21—09 du modèle hydrodynamique). Seuls 2 forages d'exploitation sur 23, se situent au Sud de la ligne 06 du modèle hydrodynamique, et aucun au delà de la ligne 05. De même aucun forage d'exploitation ne se situe dans les zones proches de la Loire (au delà de la colonne 09 du modèle), sans doute à cause du colmatage des berges de ce cours d'eau. On peut donc en conclure que la prospection dans le secteur de Saint—Rambert et le long de la Loire est extrêmement délicate et qu'elle ne serait pas à conseiller à un consultant dans un but d'aide à la décision.

La règle qui pourrait être déduite de cette observation serait la suivante :

R15 : *Si* une prospection des ressources en eau doit être effectuée dans la nappe alluviale de la Loire

***Alors* elle ne devra pas se faire le long des berges du cours d'eau ou au Sud du secteur des Giraudières.**

—En ce qui concerne la distribution on remarque que les châteaux d'eau représentent une grosse part du coût total du réseau. En fonction des résultats des simulations, il semble que l'on puisse conclure qu'une distribution d'eau par refoulement direct est moins onéreuse qu'une distribution de type gravitaire (toutes considérations de sécurité de la distribution mises à part).

—Ces simulations permettent aussi de montrer l'importance de l'optimisation technico—économique du réseau (programme OTER). Les résultats comparés des équipe Hyde 5 et Hyde 7 sont révélateurs à cet égard. En effet, pour des besoins en eau et des longueurs de réseau similaires, l'équipe Hyde 7 qui s'est attachée à une bonne optimisation de son réseau, arrive à un prix au km de réseau inférieur de près de 40% à celui de Hyde 5.

70% du réseau de Hyde 7 est réalisé en canalisations de diamètres inférieurs à 200mm alors que 55% du réseau de Hyde 5 est réalisé avec des canalisations de diamètres supérieurs à 250mm. Les résultats de l'équipe Hyde 9 sont encore plus significatifs puisque plus de 50% du réseau qu'elle a mis en place est en diamètre de 300mm (aucune optimisation du réseau n'a été prévue par cette équipe).

Un autre exemple est celui de l'expert de l'équipe Hyde 10 qui, à la suite de l'optimisation de son réseau, a évité la construction d'un réservoir à Saint—Rambert, réalisant ainsi une économie de près de 12% sur le coût total de ses installations.

En conclusion de ce paragraphe les figures 3—2 et 3—3 et les tableaux n°3—2 à 3—9 présentés sur les pages suivantes permettent une comparaison quantitative des projets réalisés par les différentes équipes.

HYDE 1

Stratégie prévisionnelle			Décisions prises		
Opérations	Cf	Ct	Opérations	Cf	Ct
Elus locaux	0	2	Administrations	0	6
Administrations	0	2			
Distributeurs	0	2			
Pompages existants	0	2	Pompages existants	0	4
Piézométrie	0	2	Piézométrie	0	2
GEOPHYSIQUE	6	6	GEOPHYSIQUE	13	6
Relevés piézométriques	80	8			
Modèlisation hydrodyn	40	2	Simulation poonctuelle	24	2
			Localisation usagers	0	1
			Hydrogéologue	1	2
Modèl. hydro. perméabil.	30	2	Modélisations	110	6
Modèl. hydro. transmiss.	40	2			
Essai de débit	30	1	Essai de débit	40	2
			Achat terrain + Périmètre de protect.	15	1
			Dimensionnement	0	0
Génie civil	50	8	Génie civil (2 puits 75 m3/h)	50	8
Réalisation	160	8	Installation complète	160	2
TRAITEMENT	40	8	TRAITEMENT	30	4
RESEAU	4500	44	RESEAU	4000	26
			RESERVOIR	600	
			Entretien	9	1
			Provisions	20	
TOTAL	4976	101	TOTAL	5152	89

HYDE 4

Stratégie prévisionnelle			Décisions prises		
Opérations	Cf	Ct	Opérations	Cf	Ct
Administrations	0	2	Choix structure distr.	0	0
			Administrations	0	3
Pompages existants	0	4	Pompages existants	0	4
Piézométrie existante	0		Piézométrie existante	0	
Facteurs de risque	0	2	Géophysique	23	1
Géophysique	30	1	Géophysique	6	2
			Facteurs de risque	0	
Piézométrie	10	1			
Carottages&Diagraphies	55	1			
ESSAI DE DEBIT X 1	42	5	Essai de débit X 3	60	6
Analyse de qualité	4	4	Analyse de qualité	1	
Aménagement	30	8	Achat terrain, dimens.	15	1
Dimensionnement	0		Aménagement	20	8
Exécution technique	20	1	Exécution technique	330	
Traitement	20	4	Traitement	14	
Localisation usagers	0	0	Localisation usagers	0	2
Schéma de distribution	0	0	Schéma de distribution	0	
Optimisation technique	100	0	Optimis. technique	48	
Optimisat. Economique	100	0			
Réalisation réseau	4600	70	Réali. réseau Bonson	2230	76
			St Ram.	3670	
			Désinfection	6	
			Accessoires		
TOTAL	5011	99	TOTAL	6759	101

Cf = Coût financier en kf

Ct : Coût temporel en semaines

tableau n°3—2

HYDE 9

Stratégie prévisionnelle			Décisions prises		
Opérations	Cf	Ct	Opérations	Cf	Ct
			Elus locaux	0	2
			Administrations	0	2
			Distributeurs	0	2
			Pompages existants	0	2
			Piézométrie existante	0	2
			Données existantes	0	2
			ACQUISITION DONNEES	0	12
GEOPHYSIQUE	15	1	GEOPHYSIQUE	18	1
Relevés piézométriques	20	1	Relevés piézométriques	30	1
Colonne captage + amenée matériel	20,5	1	Colonne captage + amenée matériel	19	1
Essai de débit X 3	92	?	Essai de débit x 3	33	6
Analyses X 2	3,6	-	Analyses x 2	3,6	-
PROSPECTION	150		PROSPECTION	103,6	9
			Aménagement 2 puits	30	9
			Exécution technique	} 78	
			captages		
			pompes		
			génie civil		
BONSON-ST CYPRIEN	2500				
Réalisation PUITS & RESEAU			Exécution réseau	4868	27
ST RAMBERT	3000		Réservoir (1)	700	
			EXPLOITATION ET DISTRIBUTION	5676	36
TOTAL	7000		TOTAL	5780	57

HYDE 10

Stratégie prévisionnelle			Décisions prises		
Opérations	Cf	Ct	Opérations	Cf	Ct
Géophysique(11 sond.)	15	4	Géophysique(11 sond.)	15	4
3forages 300mm crépiné	90	4	2forages 300mm crépiné	40	2
ESSAI DE DEBIT X 3	20	3	ESSAI DE DEBIT X 2	15	5
			1forage 300mm crépiné	25	2
			ESSAI DE DEBIT X 1	10	2
Analyse de qualité(3)	3	4	Analyse de qualité(3)	3	4
PROSPECTION	128	4/85	PROSPECTION	110	6/85
Achat terrain (3 périmètres de protection) DCT DUP	120	} 8	Achat terrain (3 périmètres de protection) DCT DUP	132	} 8
3 OUVRAGES :			3 OUVRAGES :		
2 Pompes 100 m3/h	60	} 14	2 Pompes 100 m3/h	60	} 14
4 Pompes 75 m3/h	60		4 Pompes 75 m3/h	60	
colonne d'exploitation	30		colonne d'exploitation	30	
génie civil	25		génie civil	25	
Déplacement matériel	10		Déplacement matériel	10	
Fournitures diverses	3,5		Fournitures diverses	3,5	
			Extraction de sable	2	
EXPLOITATION	303,5	7-9 85	EXPLOITATION	322,5	7-9 85
Optimis. technique	75	3	Optimis. technique	75	3
Réalisation réseau	11845	} 78	Réalisation réseau	11845	} 78
Chloration réservoir	5		Chloration réservoir	5	
DISTRIBUTION	11925	81	DISTRIBUTION	11925	81
TOTAL	12356	118	TOTAL	12357	118

Cf = Coût financier en kf

Ct : Coût temporel en semaines

tableau n°3—3

tableau n°3—4

COMPARAISON DE LA MARGE DE SECURITE DANS L'EXHAURE POUR LES DIFFERENTES EQUIPES

Equipe	scénario de modèl.	Coord Puits	piézo. initiale = Ho	Cote du substrat = Z	Hauteur mouillée =Ho-Z	rabattement = s (m)	Débit de pompage longue durée	marge de sécurité = 2/3Hm-S	Nombre de pompes dans le puits
H1	extens. gravière	15/07	363,4	354	9,4	1,5	80 m3/h	4,76	2
		17/07	362,5	354	8,55	1,8	80 m3/h	3,9	1
H2	Plan d'eau	17/07	362,5	354	8,55	1,9	80 m3/h	3,8	2
		20/08	363,2	354	9,2	4,6	70 m3/h	1,55	1
H3	?	19/08	363,1	350	13,1	7,1	120 m3/h	4	1
		18/08	362,9	350	12,9	4,1	50 m3/h	4,2	1
H4	?	13/09	361,4	354	7,4	4,6	80 m3/h	2	2
		17/09	362,2	350	12,5	7	70 m3/h	5,7	2
H5	sans gravière	05/04	363,2	354	9,2	2	173	4	1
		09/05	362,8	354	8,8	9	137 m3/h	dénoyage	1 +1(secours)
		10/06	362,4	354	8,4	11	130	dénoyage	1
H6	sans gravière	12/08	361,2	354	7,2	2,1	60 m3/h	2,7	1
		08/08	361,4	354	7,4	2,5	60 m3/h	2,4	1
H7	sans gravière	06/04	363,3	354	9,3	3,6	200	2,6	2
		11/05	362,6	354	8,6	2,2	50 m3/h	3,5	2
		17/06	364	354	10	3,8	200	2,8	2
H8	sans gravière	11/08	361,8	354	7,8	2,8	70 m3/h	2,4	+1(secours) 1
		17/09	362,1	351	11,1	2,4	90 m3/h	4,8	1
H9	sans gravière	17/09	362,2	350	12,2	faible!?	70 m3/h	?	+1(secours) 1
		08/09	360,7	354	6,7	3,5	80 m3/h	1	1
H10	sans gravière	08/09	360,7	354	6,7	2,5	60	2	1
		21/07	364,25	358	6,25	2,45	20 m3/h	1,7	2
		21/09	362,8	358	4,8	3,4	30	-0,4	

tableau n°3—5

COMPARAISON ENTRE LES STRATEGIES DE DISTRIBUTION

ADOPTEES PAR LES DIFFERENTES EQUIPES

Equipe	site alimenté	réser-voirs(R) Baches (B)	gravi-taire	Refou-lement direct	Réseau neuf	Réhab. extens. ancien réseau	Prix KF	Temps de réalisat semaines
H1	BONSON	1R 600 m³	BONSON		BONSON		4610 (1983)	26
	ST RAMBERT		ST RAMB.			ST RAMB.		
H2	BONSON	1R 400 m³	BONSON		BONSON		3470 (1983)	29
	ST RAMBERT	AUCUN CHANGEMENT SUR LE RESEAU DE ST RAMBERT						
H3	BONSON			BONSON	BONSON		5625 (1983)	74
	ST RAMBERT		ST RAMB.			ST RAMB.		
H4	BONSON		BONS. NRD	BONS. SUD	BONSON		6300 (1983)	78
	ST RAMBERT		ST RAMB.		ST RAMB.			
H5	ST RAMBERT	1R 2000 m³	ST RAMB.		ST RAMB.		20738 (1986)	78
	ST CYPRIEN BONSON	1R 2000 m³	BONSON ST CYPR.		BONSON ST CYPR.			
H6	ST CYPRIEN BONSON ST RAMBERT	1R 2500 m³	ST RAMB. BONSON ST CYPR.		ST RAMB. BONSON ST CYPR.		13368 (1986)	52
H7	ST CYPRIEN BONSON	1R 2500 m³	BONSON ST CYPR.		BONSON ST CYPR.		18098 (1986)	76
	ST RAMBERT	1R 2500 m³	ST RAMB.		ST RAMB.			
H8	ST CYPRIEN BONSON ST RAMBERT			ST RAMB. BONSON ST CYPR.	ST RAMB. BONSON ST CYPR.		5277 (1986)	?
H9	ST CYPRIEN BONSON	1R 1000 m³	BONSON ST CYPR.			BONSON ST CYPR.	5646 (1986)	
	ST RAMBERT		ST RAMB.			ST RAMB.		
H10	sud	1R 750 m³	SUD		SUD		11990 (1986)	81
	centre	1R 2000 m³ 1B 2000 m³ COMMUNS	CENTRE		CENTRE			
	nord		NORD		NORD			
	Refoulement			REFOUL.	REFOUL.			

tableau n°3-6

COMPARAISON ENTRE LES LONGUEURS CUMULEES DE RESEAU (KM) ET LES DIAMETRES UTILISES

Equipe	site alimenté	LONGUEUR CUMULEE PAR CLASSE DE DIAMETRE								sous-tot par zone	Longueur total réseau
		60	80	100	150	200	250	300	400		
H1	BONSON				6,2	2,1				8,3	15,1
	ST RAMBERT			5,0		1,8				6,8	
H2	BONSON				5,4		2,2	0,8		8,4	8,9
	ST RAMBERT				0,5					0,5	
H3	BONSON				7,1	0,35	1,45	1,2		10,1	19,85
	ST RAMBERT		1,2	2,2	3,5	0,25	1,5	1,1		9,75	
H4	BONSON	1,5	6,3		2,8					10,6	26,85
	ST RAMBERT	2,8	4,4	3,5	1,7	0,9	2,95			16,2	
H5	ST RAMBERT			0,26	4,85	0,93	0,95	2,0		8,99	23,1
	ST CYPRIEN BONSON				2,45	2,05	8,55	0,01	0,96	14,02	
H6	ST CYPRIEN BONSON ST RAMBERT				14,9	12,4	8,05				35,35
H7	ST CYPRIEN BONSON				2,2	4,75	6,32	1,1		14,4	24,3
	ST RAMBERT				9,87					9,87	
H8	ST CYPRIEN BONSON ST RAMBERT				12,45	1,75	1,3				15,5
H9	ST CYPRIEN BONSON			1,0			0,6	1,1		2,7	10,7
	ST RAMBERT	1,8		0,3		1,1		4,8		8,0	
H10	nord					3,27		4,3		7,57	24,3
	centre					4,45		2,7		7,15	
	sud					5,8				5,8	
	Refoulement									3,8	

Figure n°3-2

PRIX DE REALISATION DU RESEAU POUR LES DIFFERENTES EQUIPES

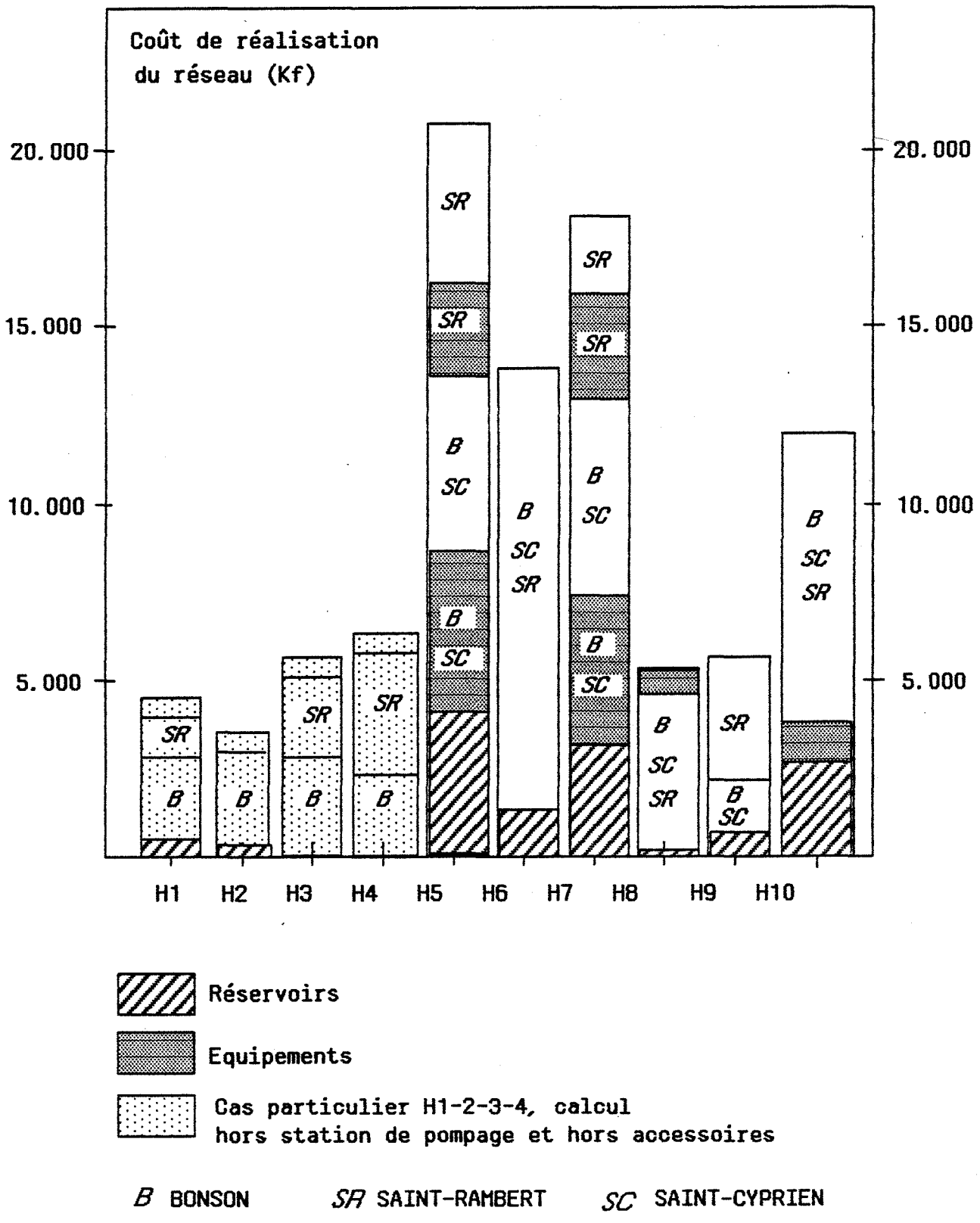


tableau n°3—7

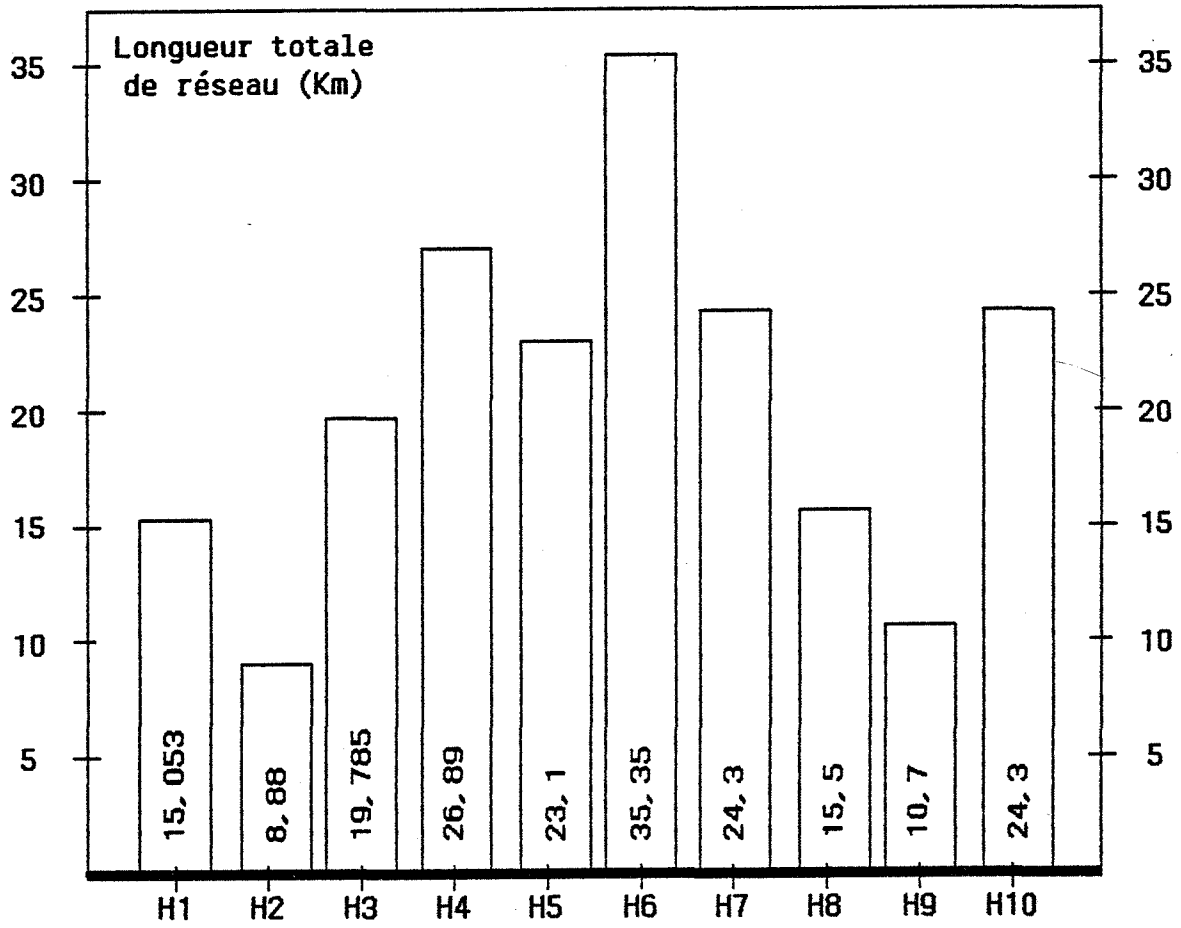
DECOMPOSITION ET COMPARAISON DU PRIX DE LA DISTRIBUTION

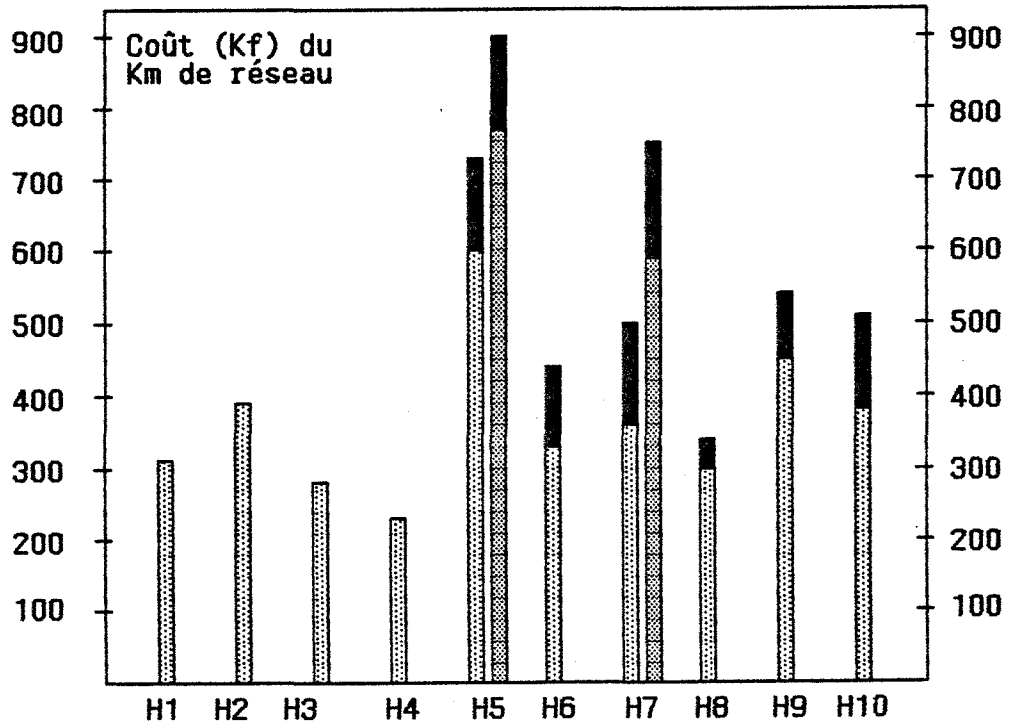
RéALISE PAR LES DIFFERENTES EQUIPES

	Prix(Kf) des différents équipents/équipe									
Equipements	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
TRAITEMENT	30	8	20	14	15	2068	15	5	3,6	5
STATION POMPAGE										
-Génie civil					111	74	111	50	78	25
-électroméc.					54,1	59,3	54	398		
POMPES REFOUL-					93	54	294	76,5		120
RESERVOIRS					2750	1350	3165	100	700	2650
ACCESSOIRES RESEAU										
ventouses						7,3				
clapets						5,4				
antibéliers										
vannes						51,03				
access. divers	200	290	240	90	5770	960	7771	962	?	1199
reduct. pression										
détect. fuites										
compteurs	220	195	250	240						
TUYAUX						8374		?		
TRANCHEES					11960	2028	6803	3690	?	7995
PLUS VALUES						405,9				
SOUS-TOTAL Réseau	4610	3470	5625	6300	17730	11831	14574	4652	4868	9195
SOUS-TOTAL Réseau + Réservoir + Stat. pomp.					20738	13368	18098	5277	5646	11990
TOTAL					20753	15436	18113	5282	5650	11995

Figure n°3—3

Longueur des réseaux et prix du Km pour les différentes équipes





coût du Km de réseau seul (tranchées+canalisations +plus-values+accesoires)

Accessoires 15% = correction H5-H7

Accessoires 30 à 45% =erreur H5-H7

coût du Km incluant réseau, réservoirs, pompage et traitement

Eléments constitutifs du compte d'exploitation générale, H1,2,3

	Charges financières annuités	Amortissement des investissements	salaires et charges sociales	entretien et charges d'exploitation annuelles	Impots taxes et redevances	Frais généraux	provisions
HYDE 1	444 KF/an	?	?	?	?	?	?
HYDE 2	328,6 KF/an	190 KF/an	8 employés 1200 KF/an 6 administratifs 900 KF/an		4,1 KF/an	Electricité 37,1 KF/an 15% masse salariale 315 KF	Mauvais payeurs + incidents de nuit = 20 KF/an Stock matériel 52 KF/an
HYDE 3	162 KF/an + 886 KF/an	120 KF/an	2 agents en 86 350 KF/an 6 administratifs en88 :525 KF/an	Détection des fuites : 20 KF Désinfection 16,8 KF	7,5 KF/an	Electricité 60 KF/an Factures 0,74 KF/an	

Eléments constitutifs du bilan , H1,2,3

	Subventions	Emprunts	Taux	Terme	Lancement de distribution fonds de roulement net	Divers
HYDE 1	1100 KF	3900 KF	13,5	10 ans		
HYDE 2	1750 KF	+ 1000 KF 2000 KF	9	20 ans	556 KF	
HYDE 3	2000 KF	1000 KF 5200 KF	7 14	30 ans ?	650 KF	Rachat du réseau Saint-rambert à la SAUR 800 KF

Remarque : La structure distributrice adoptée par toutes ces équipes est celle d'un syndicat intercommunal de distribution d'eau en régie directe.

tableau n°3—8

Eléments constitutifs du compte d'exploitation générale, H8,9,10

	Charges financières annuités	Amortissement des investissements	salaires et charges sociales	entretien et charges d'exploitation annuelles	Impots taxes et redevances	Frais généraux	provisions
HYDE 8	493,6 KF/an		155 KF/an	Fact CGE 148,7 Analys. 10 KF/an tot. 158,7 KF/an		20 KF/an + 40 (2°année)	50 KF/an
HYDE 9 SR	315 KF/an		150 KF/an	112 KF/an		13,2 KF/an	
HYDE 9 BSC	+ 180 KF/an		+ 150 KF/an	+ 50 KF/an		+ 6,7 KF/an	
HYDE 9 TOT	= 495 KF/an		= 300 KF/an	= 162 KF/an		= 19,9 KF/an	
HYDE 10	12224 KF/an		615 KF/an	138,7 KF/an	70 KF/an	110 KF/an	232 KF/an

Eléments constitutifs du bilan , H8,9,10

	Subventions	Emprunts	Taux %	Terme	Lancement de distribution fonds de roulement net	Divers
HYDE 8	2233,8 KF	2233,8 KF + 1116 KF = 3349,8 KF	9,75 10 + 4		50 KF	Bénéfices 1° an : 173 KF 2° an: 118,5 KF 3° an : 259 KF
HYDE 9	1800 KF + 1000 KF = 2800 KF	1800 et 900 KF 1000 et 500 KF = 4200 KF	9,5 et 13 9,75 et (10+3)	30ans et 20 ans 20ans et 30ans		
HYDE 10	4800 KF	7200 KF	15,5 (4800) 0 (2400)	25 ans	1392 KF (87)	Bénéfices 20.000 KF/25ans

Remarque : La structure distributrice adoptée par HYDE 10 est celle d'un syndicat intercommunal de distribution d'eau en régie directe
Pour HYDE 9 ce sont les institutions en place qui gèrent l'ensemble soit la SAUR à SAINT-RAMBERT et un sysndicat intercommunal à BONSON-SAINT-CYPRIEN.
HYDE 8 est une société fermière type CGE

tableau n°3—9

2.4.Résultats des sessions de simulation des projets d'irrigation.

Aux deux expériences de simulation de projets d'irrigation, présentées en seconde partie pour montrer comment MISE permet de générer des solutions de projets, viennent s'ajouter deux autres séries de simulations de projets d'équipement de périmètres d'irrigation situés dans la même région du Bas Dauphiné en Isère, dans la plaine de Bièvre—Valloire. Certains projets simulés font partie de l'objectif de chaque session, ce sont les périmètre de Pajay et de La Côte—Saint—André.

Ces projets sont toutefois modifiés pour les quatre dernières simulations: la surface à équiper sur le périmètre de Pajay a été légèrement augmentée à la suite de la souscription d'un nouvel adhérent à ce syndicat réel depuis la saison d'irrigation 1984. Il est donc intéressant de voir comment se comporte le système de distribution au regard de cette extension de périmètre irrigué et pour une irrigation par canon à arrosage. Cette nouvelle option souhaitée à l'heure actuelle par les agriculteurs, ne s'imposait pas à la mise en route du service d'irrigation. Jusqu'à présent l'irrigation s'effectuait au moyen de petits asperseurs dont le débit ne dépassait pas 2 à 3 m^3/h avec une pression de 4,5bars à la borne d'irrigation. L'intérêt de ces nouvelles simulations du projet de Pajay, mise à part la vérification de la démarche des utilisateurs sur un projet déjà réalisé, réside dans l'observation du comportement de ce réseau d'irrigation, en fonction de son extension et de l'évolution technologique de l'équipement mobile à la parcelle qui est plus gourmand en débit et pression d'utilisation.

Le périmètre d'irrigation de la Côte—Saint—André est complètement modifié. Les premières simulations avaient pour base des plans parcellaires d'irrigation relativement hypothétiques dans la mesure où la volonté des exploitants agricoles ne s'était pas encore manifestée sous la forme d'une association syndicale autorisée (ASA). Le regroupement des agriculteurs susceptibles d'investir en temps et en argent dans une activité d'irrigation a permis de préciser le plan des parcelles à irriguer. La surface à équiper initialement prévue qui était de 210 hectares est diminuée de 50 hectares environ. Le projet devrait se réaliser au cours de l'année 1987.

Ces séries de simulations prévoyaient également l'étude de projets d'irrigation sur les communes de Marcollin, Beaufort, Beaurepaire (Sud) et Saint—Barthélémy qui se situent toujours dans la même région mais plus à l'Ouest et au Sud que le périmètre de Pajay. Ces projets interfèrent les uns sur les autres puisque les parcelles à irriguer sont voisines. Au total 360 hectares seraient à irriguer, ils se répartissent entre l'axe de la vallée de Bièvre—Valloire et les reliefs de la bordure méridionale de cette vallée, ce qui implique des variations pédologiques importantes. Les terres sont graveleuses et filtrantes sur les coteaux de Beaurepaire et de Saint—Barthélémy, elles sont argileuses et limoneuses à Marcollin et à Beaufort. Les cultures à irriguer sont le maïs, le tabac et les petits fruits.

L'étude de ce projet réel consiste essentiellement à déterminer les points de disponibilité en eau à partir des eaux souterraines de la nappe ou éventuellement à partir de retenues collinaires qui pourraient être implantées dans les zones de relief au Sud. Le projet est complexe puisqu'il est nécessaire de procéder à un remembrement des parcelles en fonction de leur éloignement des points d'eau. Le système de distribution prévoit également l'intégration d'un réseau de distribution existant et mis en service depuis trois ans, sur les communes de Beaurepaire (Nord) et de Revel—Tourdan. Ce projet qui, à l'heure actuelle, ne fait l'objet d'aucun plan parcellaire précis n'a été simulé qu'au plan de la ressource en eau. Les résultats obtenus ne pourront être interprétés qu'à l'aide de simulations complémentaires.

BIVA3:

participants: *—1 spécialiste hydrogéologue professionnel*

—1 ingénieur du génie rural

—2 apprenants

Les deux projets sont réalisés en même temps à deux mois de décalage. Les cultures envisagées sur les deux sites sont le tabac et le maïs pour lesquelles les besoins en eau ont été évalués à 0,45 l/s (débit fictif continu), représentant le débit qu'il faudrait fournir 24 heures sur 24 pendant toute la période la plus déficitaire. Sur chaque site, la prospection des ressources en eau fait l'objet de décisions différentes. Après avoir déterminé la faiblesse des ressources en eaux souterraines dans la plaine du Lièrs au Nord de Pajay, c'est une solution par forages qui est adoptée par les responsables du projet de Pajay. La complexité de la disposition de terrasses d'alluvions fluvioglaciaires dans ce secteur, zone de confluence des vallées du Lièrs et de la Bièvre, incite à une grande prudence se traduisant par l'exécution de sondages géophysiques et de sondages carottages.

A l'opposé à la Côte—Saint—André, la disposition du système alluvial semble plus simple et c'est la consultation de quelques données existantes et les prises de contact qui permettront de déterminer le point de prélèvement des ressources en eaux souterraines. Ce sont les seules possibles dans ce secteur marqué par l'absence totale de tout réseau hydrographique.

Deux forages sont nécessaires à Pajay, un seul suffira à la Côte—Saint—André où l'hydrogéologue a eu la bonne idée de demander aux responsables locaux s'il lui serait permis d'effectuer un essai par pompage dans un puits existant en prenant bien sûr un ensemble de précautions destinées à ne pas gêner le déroulement de son service. Cette pratique, si elle est prise en compte pour chaque projet, entraîne la réduction des coûts de prospection. Elle devrait être logiquement le fruit d'une acquisition de données au sujet des installations existantes.

R16: ***Dans la mesure où*** **il existe des captages d'eau à proximité du site,**

et **les caractéristiques de l'aquifère sont continues,**

et **l'autorisation est obtenue auprès des autorités locales,**

et **l'utilisation de l'ouvrage ne se fait pas 24 heures sur 24,**

Un pompage d'essai peut s'effectuer dans cet ouvrage.

On remarquera évidemment que la vraisemblance de l'indication prononcée dépend de la valeur des propositions conditionnelles qui composent cette indication. Elles devront être nuancées, car on ne peut jamais d'emblée leur attribuer une valeur soit vraie, soit fausse.

Dans le cas où l'hydrogéologue responsable de cet essai par pompage bénéficie de relations personnelles au sein même des autorités locales, cette indication est toujours vraie. C'est une indication de niveau supérieur permettant de valider ou d'infirmer la vraisemblance d'autres indications.

La nouvelle configuration du plan parcellaire de La Côte—Saint—André fait du transformateur EDF qui se situe à proximité, une contrainte économique très importante et bien soulignée par les agriculteurs eux—mêmes.

En effet, l'économie réalisée en implantant un forage à proximité du transformateur réduirait considérablement la part d'investissement consacrée à l'alimentation en moyenne tension de la station de pompage et à la construction d'un transformateur (environ 70kf). Pour ce périmètre où la ressource en eaux souterraines ne pose guère de problèmes, c'est donc cette contrainte qui guide la stratégie du projet, on cherchera un point productif de l'aquifère situé le plus près possible de ce transformateur.

Pour le périmètre de Pajay et pour un contexte hydrogéologique plus difficile, la stratégie est différente. On construira un transformateur le plus près possible de la station de pompage et des forages où l'exhaure doit garantir la ressource.

Les décisions de l'hydrogéologue se sont adaptées ici à un contexte qui n'a, a priori, rien à voir avec son domaine de compétence, celui de l'alimentation en électricité moyenne tension, cela est important pour le succès du projet.

De ce comportement on peut retenir une indication qui a valeur de règle car elle doit être prise en compte dans ce type de projet.

Elle peut se dicter de la manière suivante:

R17: ***Pour*** **un projet d'alimentation en eau souterraine faisant l'objet de forages et d'une station de pompage,**

dans **un contexte hydrogéologique compliqué,**

la contrainte d'alimentation électrique est une contrainte moins importante que celle que représente le contexte hydrogéologique en question.

Cette indication doit tenir compte d'autres contraintes relatives aux parcelles sur lesquelles seront implantés les ouvrages qui doivent appartenir soit à la commune, soit à un adhérent de l'ASA. Cette règle pourrait se formuler de la façon suivante:

S est une variable représentant par exemple, le nom du projet (Pajay, La Côte,..)

CHYDRO, OUVRAG, CONT sont des classes d'objets différentes représentant le contexte hydrogéologique (perméabilités,..), les ouvrages, les contraintes du projet

RESSEAU(S) est une variable décrivant le type de ressource en eau

R18: ***Si*** **le contexte hydrogéologique est compliqué**

CHYDRO(S) = COMPLEXHYDRO

et si **les ouvrages du projet sont des forages, une station de pompage**

OUVRAG (S) = FORAGE, STAPOMP

alors **la contrainte prioritaire est celle relative à la ressource en eau**

CONT(RESSEAU(S)) = CONT1

et **la contrainte EDF est une containte de second ordre**

CONT(EDF) = CONT2

Nous étudierons dans la quatrième partie de cette thèse, la formalisation des règles de connaissance dans le but de rendre homogènes tous les éléments de connaissance qui seront exploités par le système.

Les coûts de prospection des ressources en eau sont donc moins élevés à la Côte—Saint—André. Le réseau de Pajay est conçu de manière à desservir des exploitants susceptibles d'adhérer au syndicat pour les prochaines saisons. La longueur totale de son développé (8km) et le confort de la distribution (raccordement de la borne aux parcelles) expliquent son coût plus élevé (2960 kf) que celui des autres projets simulés mais pourtant plus voisin du coût réel (2900kf).

A la demande des agriculteurs, le réseau du périmètre de la Côte—Saint—André a éte conçu avec un maillage de sécurité permettant de pallier une rupture de canalisation en période d'irrigation cruciale. Son coût est supérieur de 300 kf par rapport aux autres simulations car le maillage nécessite l'installation d'environ un kilomètre de canalisation supplémentaire.

Les deux projets se terminent pratiquement à la même époque en mars 1987 juste avant la saison d'irrigation. Pour le périmètre de Pajay l'investissement est de 25,9kf/ha, pour celui de la Côte—Saint—André, il est de 19,4kf/ha.

Pour le projet concernant les périmètres de Marcollin, Beaufort, Beaurepaire et Saint—Barthélémy, le côut total de l'opération a été évalué à 7900kf pour une irrigation par aspersion à partir de ressources en eaux souterraines (forage au Combeau du ruisseau). La surface totale à irriguer est répartie en deux secteurs Nord et Sud dont les surfaces respectives sont de 130 ha et 240 ha, les besoins de pointe sont de 300m^3/h et 400m^3/h.

Chronologie des décisions prises par Biva3

Décisions spécifiques pour Pajay

Décisions spécifiques pour La Côte—Saint—André

Décisions communes aux 2 projets

Demande de subventions

Emprunts long terme et court terme
Evaluation des besoins en eau

Evaluation de la ressource en eau
Etudes hydrogéologiques existantes
Contacts avec les élus locaux

Geophysique (8 profils de sondages)
Sondages carottages (3)

Essais par pompage
Demande de subventions
Emprunts long terme
Travaux puits
Demande de subventions

Réalisation du 1°puits
Réalisation du 2°puits
Station de pompage
1° tranche station de pompage

Réalisation du réseau
Pas d'utilisation de la méthode de Clément
Maillage de sécurité
2° tranche station de pompage

Tarification, prix de l'eau

PROJET DE MARCOLLIN, BEAUREPAIRE, SAINT-BARTHELEMY, BEAUFORT

Consultation des données existantes
(forages et piézométrie)
Recherche complémentaire
(3 profils de sondage géophysique)

Biva4:

participants: —1 ingénieur du génie rural
—3 apprenants

La structure adoptée par Biva4 est celle d'un bureau d'études chargé de la réalisation des trois projets. Les projets de Pajay et de la Côte—Saint—André se déroulent ensemble et l'enchaînement des décisions est relativement identique. L'étude du troisième projet et en particulier celle des ressources en eau, ne se termine qu'au bout de deux ans et dix mois (Mars 1988). Par rapport aux autres simulations, la stratégie générale des projets d'irrigation simulés par Biva4 est bâtie autour de l'optimisation des besoins en eau d'irrigation et notamment du débit fictif continu afin de dimensionner au mieux le réseau de distribution et de limiter ainsi les coûts de projet. Ce souci d'optimisation nécessite une étude préliminaire destinée à déterminer les cultures favorisant le mieux la rentabilité de l'irrigation pour l'exploitant. Elle est menée par l'ingénieur du génie rural spécialiste des questions d'agronomie et elle enrichit abondamment le système MISE qui jusque là comportait des lacunes à ce sujet.

Nous exposerons donc ici la méthode d'évaluation des besoins en eau d'irrigation utilisée par l'expert dans le cadre de la réalisation simulée de ces projets, cela constituant en quelque sorte une illustration du "piège à connaissances" que constitue le système MISE.

La méthode en question débute par une prise en compte des programmes hydro—agricoles dans la région de Bièvre—Valloire afin de déterminer le rôle des projets d'irrigation dans le développement économique de la région et les financements sur lesquels il est possible de compter à l'échelon local. Très rapidement, il apparaît que c'est souvent la pratique de la culture du tabac qui motive ces projets, ce n'est toutefois pas la règle générale, il est donc opportun de mesurer la sensibilité des agriculteurs pour une irrigation hors tabac. C'est à la chambre d'agriculture que ces informations sont disponibles (statistiques sur l'évolution des cultures et leurs prix). Elles ont été acquises pendant l'expérience de simulation et sont dorénavant intégrées dans les banques de données du système MISE.

L'analyse des besoins en eau s'effectue d'abord en évaluant l'évapotranspiration potentielle, les indices culturaux spécifiques à chaque culture et leur évapotranspiration réelle. Les besoins en eau d'irrigation sont ensuite évalués à partir de cette évapotranspiration réelle, de la pluie efficace et de la réserve en eau du sol facilement utilisable par la plante figures n°3—4 et 3—5. Comme le montrent les simulations Biva1 et Biva2, ce calcul n'est pas souvent effectué et c'est, comme dans la réalité, une valeur régionale qui est adoptée par les responsables de projets. Dans cette simulation, l'expert insiste sur l'importance d'une analyse précise des besoins en eau pour un dimensionnement correct des installations d'irrigation (réseau, bornes, équipement à la parcelle). Pour cela deux variantes de projets ont été établies (tableau n°3—10), l'une à l'aide d'une estimation des besoins basée sur des valeurs régionales (0,6l/s/ha) et l'autre avec une valeur calculée (0,38l/s/ha).

La formule de Blaney—Criddle (Clement, Galand, 1979) permet de calculer l'évapotranspiration potentielle en mm d'eau par jour, pour chaque mois le plus déficitaire en eau. Les valeurs obtenues sur une série de vingt années montrent que la valeur de l'évapotranspiration dans le région de Bièvre—Valloire est d'environ 140mm pour le mois de juillet. Cette valeur doit être recalée par rapport à celles obtenues avec d'autres formules (Turc et Piche). Pour le mois de juillet 1984, les formules de Blaney—Criddle et de Turc donnent la même valeur de 150mm, par contre celle de Piche atteint la valeur de 230mm.

A chaque utilisation d'un modèle d'évaluation des besoins se rattache un certain risque de défaillance de l'alimentation en eau. En choisissant une évapotranspiration moyenne de 110mm, le spécialiste admet un risque de défaillance du réseau une fois tous les sept ans, cette valeur étant dépassée trois fois en vingt deux ans. Une analyse sur un pas de temps plus faible est nécessaire, c'est à l'échelle de la décade que les besoins en eau doivent être évalués.

figure n°3—4 : ESTIMATION DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION
ETP CALCULEE EN JUILLET A LA COTE-SAINT-ANDRE

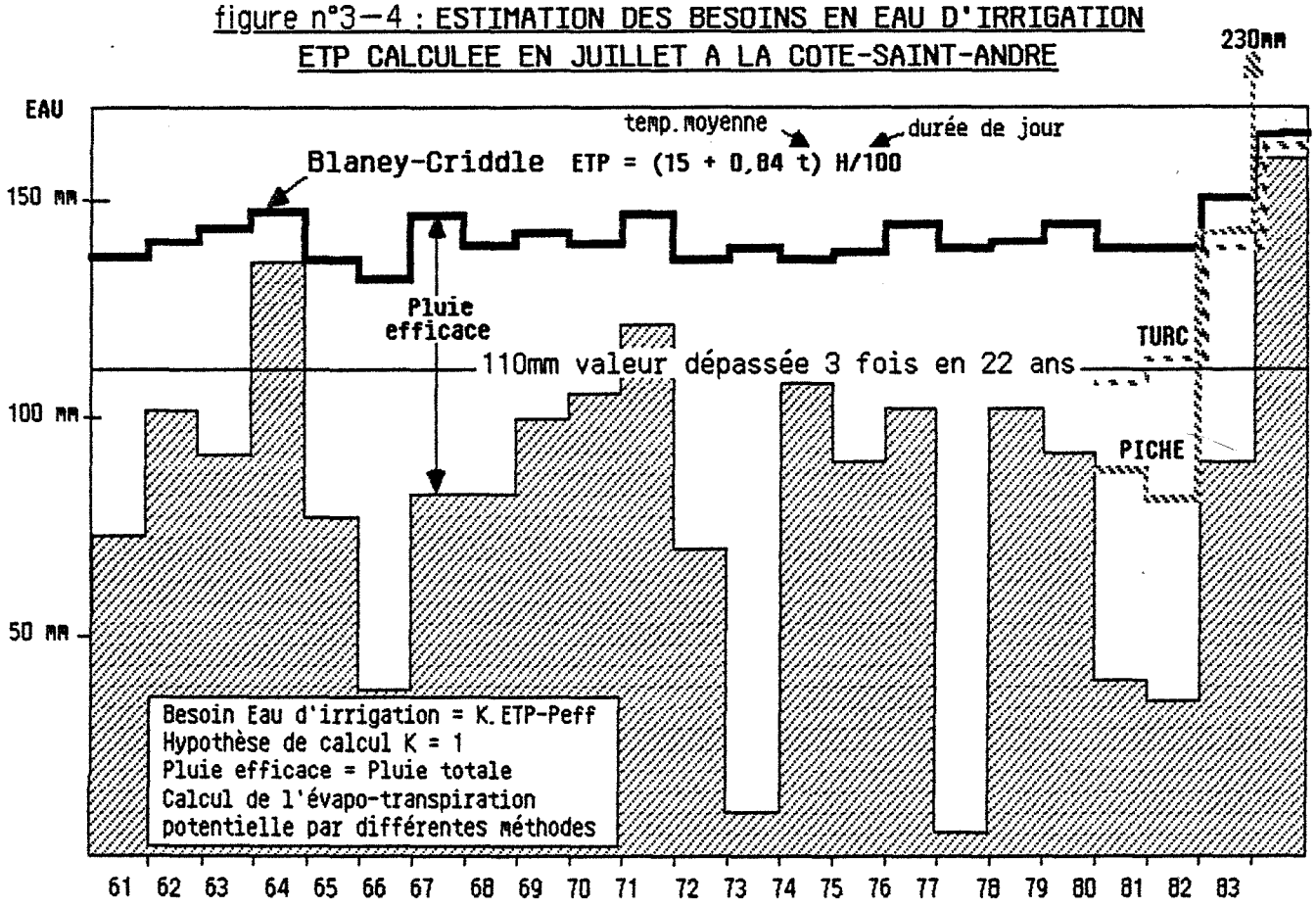
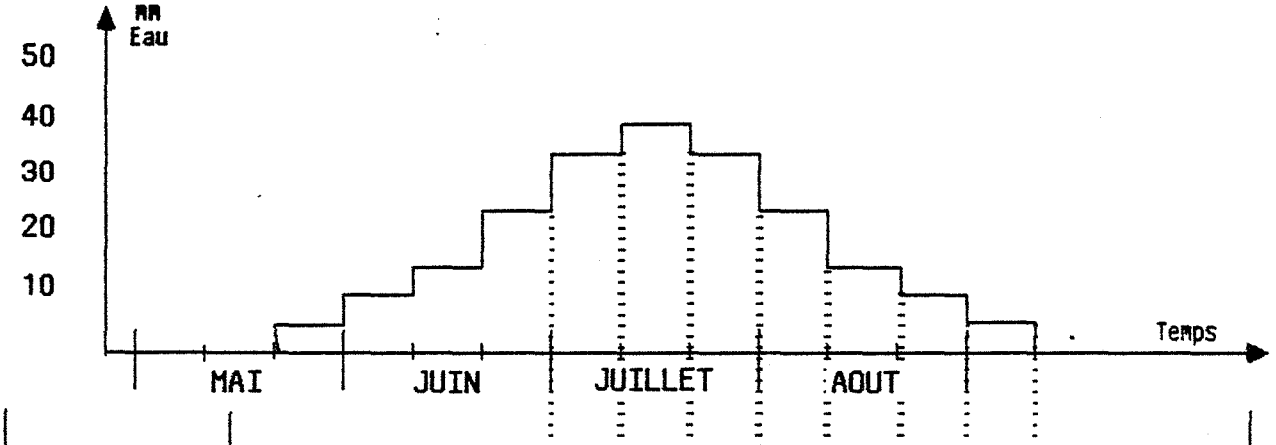


figure n°3—5
DETERMINATION DE LA DOSE D'ARROSAGE ET DU DEBIT FICTIF CONTINU



Valeur du stock fin de décade	25	15	5	0	5	20	40	45
DOSE	25	30	30	30	30	30	10	5
Valeur du stock début de décade	50	50	45	35	30	35	50	50	50

UNE DOSE DECADAIRE DE 30mm EST DONC SUFFISANTE
POUR PASSER LA POINTE EN UTILISANT AU MAXIMUN
LA FONCTION STOCKAGE DU SOL

soit un débit fictif continu Q f.c. = 0,35 l/s/ha

La dose d'irrigation décadaire à apporter est déterminée de telle sorte que la réserve facilement utilisable par la plante reste toujours (au début et à la fin de chaque décade) supérieure ou égale à zéro. Il faut pour cela possèder les informations météorologiques à une telle échelle de temps. En fin de compte une dose de 30mm tous les dix jours est suffisante pour suppléer à la demande de pointe en utilisant au maximum la réserve d'eau dans le sol. Cette dose de 30mm pour 10jours peut s'exprimer sous la forme d'un débit fictif continu de 0,35l/s/ha.

L'étude de l'influence du débit fictif continu sur le coût de l'irrigation pour le périmètre de la Côte—Saint—André entraîne les constatations suivantes. Une augmentation de 40% de la valeur du débit fictif continu (de 0,35l/s/ha à 0,6l/s/ha) entraîne une augmentation globale de 25% des coûts d'investissement des infrastructures, qui se répartissent de la manière suivante:

—Augmentation de 35% du coût des bornes d'irrigation,

—Augmentation de 16% du coût du réseau de canalisations,

—Augmentation de 25% du coût des forages d'exhaure

et donc de 25% du coût de l'investissement à l'hectare.

Des plus—values affectent également les charges d'exploitation. Pour une exploitation de référence de 14 ha, une telle augmentation du débit fictif continu provoque une augmentation d'environ 30% des charges d'exploitation et des coûts d'investissement de l'équipement d'irrigation individuel.

Quelques règles de stratégie technico—économiques se dessinent. Considérons les hypothèses suivantes:

- hypothèse A: le débit fictif continu (qfc.) est de 0,38l/S/ha,

-hypothèse B: les installations d'exhaure et de distribution sont dimensionnées avec qfc=0,38l/s/ha.

- hypothèse C : qfc = 0,6ls/ha

- hypothèse D : les installations d'exhaure et de distribution sont dimensionnées avec qfc=0,6l/s/ha.

Le coût du projet B CT(B) est d'environ 3000kf, CT(D)#3800kf.

R19: *si* A est faux (qfc=0,6l/s/ha),
et B est vrai,
***alors*, l'installation de distribution est saturée au bout de 10 ans.**

La décision à prendre et l'action à mener seront les suivantes: un nouvel investissement est nécessaire pour s'adapter aux nouveaux besoins, le coût financier de l'opération sera de 1000 kf(1994).

La conséquence est la suivante: si la valeur du coût du projet de transformation vaut 0,4kf(1984) dans dix ans, le coût du projet modifié reste inférieur à celui du projet B.

tableau n°3—10

COUT DE L'IRRIGATION EN FONCTION DES BESOINS ESTIMES

Q f.c. = 0,38 l/s Dose décadaire 30—33 mm	Q f.c. = 0,6 l/s Dose décadaire 50 mm

Infrastructures :

Exemple pris à la Côte Saint—André

	calcul "optimisé" des besoins	△	adoption valeur régionale
Q f.c.	0,38 l/s	57%	0,6 l/s
Q pointe	130 l/s	54%	200 l/s
Bornes	180 Kf	35%	243 Kf
Réseau	1366 Kf	16%	1584 Kf
Etudes	60 Kf	—	60 Kf
Forage	243 Kf	24%	300 Kf
Station de pompage	1195 Kf	35%	1610 Kf
TOTAL	**3044 Kf**	**25%**	**3797 Kf**
Investissement à l'hectare	**18 675 F/ha**		**23 300 F/ha**

R20: ***si*** **C est faux (qfc=0,38l/s/ha),**

et **D est vrai,**

alors, **le surdimensionnement des installations est important ce qui entraîne un surcoût initial pour les premiers adhérents.**

Ce surcoût ne pourra être compensé que par l'extension du réseau à d'autres adhérents.

Ces quelques règles ont été établies sous cette forme dans le dossier d'évaluation de la session Biva4, à l'initiative de l'expert. Cela montre donc qu'il est presque possible de récupérer directement des règles de connaissance à partir des sessions de simulation MISE. En travaillant le formalisme d'acquisition et de transcription des hypothèses et des raisonnements qui permettent de les gérer, il serait possible d'exploiter ces règles de manière logique. Celles dictées ci—dessus ne sont pas complètes, elles dépendent d'autre règles concernant par exemple le choix des taux d'actualisation. Leur contrôle s'effectuera en examinant les autres résultats de simulation utilisant d'autres valeurs de besoins en eau et aboutissant à d'autres coûts de projets.

Biva4 a déterminé les plus—values engendrées par l'irrigation du tabac, sur des bases de prix d'environ 26kf(84) la tonne. L'irrigation, en augmentant le rendement de 1 à 1,5 tonne par ha et par an, procure une augmentation de revenu à l'agriculteur d'environ 40kf par ha et par an, avec des charges d'exploitation relativement faibles. Le tabac valorise donc l'irrigation, mais rappelons que c'est surtout l'amélioration de la qualité du tabac cultivé qui est recherchée car son prix en dépend.

L'irrigation du maïs accroît son rendement moyen (calculé sur 10 années) de 56 quintaux à l'hectare (qtx/ha) jusqu'à 85 à 100 qtx/ha (Cabelguenne, Marty, Hilaire, 1980). Cependant, les charges supplémentaires dues à l'utilisation d'engrais, de désherbants, de semence sont plus élevées que pour la culture du tabac et sont juste compensées par les plus values obtenues par l'irrigation (prix1984 du quintal de maïs:114 à 124 francs.).

Les besoins en eau calculés par cette équipe étant plus faibles que pour les autres équipes, un seul forage a été exécuté pour le périmètre de Pajay. Le coût de prospection des ressources en eau est donc considérablement réduit. Les diamètres des canalisations installées sur le réseau de la Côte—Saint—André varient entre 75mm et 300mm au maximum.

La réalisation du réseau a été retardée à la suite d'un changement intervenu à propos de l'emplacement probable du transformateur EDF qui en réalité n'est pas encore installé. Bien que ce réseau ne soit pas maillé comme l'avaient souhaité les agriculteurs, et que certains tronçons de canalisations recoupent à la perpendiculaire des limites de parcelles , ce qui est plutôt gènant pour leur exploitation, son tracé reste proche de celui de Biva3.

Les facteurs de risques comportent la prise en compte des pertes et des fuites des réseaux dans le calcul du débit d'équipement moyen:

—0,4l/s/ha, calculé en fonction du débit fictif continu (0,35l/s/ha), de la durée d'irrigation (18heures sur 24 et 9jours sur 10) et de la surface irriguée (70% de la surface équipée).

L'irrigation pour les parcelles de Beaufort (70ha) est envisagée à partir d'une éventuelle retenue collinaire dans les reliefs bordant le Sud de la plaine. Le volume d'eau nécessaire pour la saison d'irrigation est d'environ:

0,35l/s/hax50ha = 17,5l/s = 17,5l/sx1500h = 94500m3 au total,

avec un taux d'utilisation de 68%: 3mois à 9j/10 et 18h/j,

en 3 arrosages V=31500m3, en tenant compte de l'évaporation, 35000m3.

Il s'agit d'une petite retenue collinaire qui se remplit de Novembre à Avril, à partir d'un cours d'eau à régime permanent dominant, dont le débit d'étiage est de 25l/s (le Fondon, affluent du Rival), la retenue se remplira donc sans problème en 20 jours entre chaque arrosage. On remarque que ce ruisseau acquiert un régime temporaire dominant dès qu'il s'écoule dans la plaine où il contribue probablement à l'alimentation de la nappe aquifère par infiltration.

Un débit réservé de 5 l/s alimentera le cours d'eau à l'aval de la retenue.

Le remblai est en terre et l'étancheïté est assurée par une membrane géotextile. La hauteur du barrage est inférieure à 20 mètres ce qui ne soumet pas l'ouvrage à une règlementation spéciale. Un déversoir d'orage sera quand même installé pour éviter toute submersion.

Le site d'implantation observé à partir des photographies aériennes, permet d'envisager les dimensions suivantes : environ 40 mètres de large et 180 mètres de long, 4 mètres de profondeur, 6mètres de haut, la surface du plan d'eau avoisine l'hectare.

L'étude de cette solution reste cependant très approximative, elle doit être contrôlée à plusieurs niveaux: il faut s'assurer que la diminution de débit du cours d'eau intercepté ne perturbe pas les écoulements de la nappe à l'étiage (utilisation du modèle hydrodynamique), l'alimentation des parcelles en gravitaire doit être adaptée à la nature pédologique des parcelles.

Le coût prévu de cette retenue collinaire sur une base de 3 à 4 francs le m^3, est de 140Kf(1984), ce qui représente un investissement inférieur à celui d'un forage près du futur périmètre d'irrigation de Beaufort. Dans la réalité, la DDAF de l'Isère étudie actuellement l'implantation d'un forage dans la plaine au niveau de la terrasse de Thodure.

Le coût total prévu pour l'irrigation des trois secteurs de Beaurepaire, Saint—Barthélémy, Marcollin et Beaufort est évalué à 7570Kf coût inférieur à celui prévu par Biva3 (7900kf).

Décisions prises par Biva4

Pajay *La Côte—Saint—André*

Décisions communes aux deux projets

-Demande de subventions
-Emprunts
-Choix des cultures irriguées
-Optimisation du débit fictif continu
-Propositions de variantes, qfc=0,61/s et qfc=0,351/s
-Equipement en matériel mobile d'irrigation
-Acquisition de données existantes: topographie, géologie, forages,...
-Visite sur le terrain, contacts avec les responsables locaux
-Plan de bornage
-Evaluation de la ressource en eau: Géophysique (3 profils),
Mesures piézométriques (30),
Sondages carottages
Essais par pompage
-Aménagement des puits
-Travaux réseaux
-tarification, prix de l'eau.

PROJET DE MARCOLLIN, BEAUREPAIRE, SAINT-BARTHELEMY, BEAUFORT

-Sondages géophysiques (3)
-Mesures piézométriques (8)
-Forage au Combeau du ruisseau (coordonnées: 23,9/12,9)
-Forage (terrain de foot-ball de Beaurepaire)
-Retenue sur Fondon (Marcollin, Beaufort)

Biva5:

participants: *—1 pédologue,*
—1 ingénieur du génie rural,
—3 apprenants.

Les deux projets de Pajay et de la Côte—Saint—André sont effectués simultanément mais la saison d'irrigation 1987 est manquée puisque les projets se terminent au mois d'octobre, ce qui est difficilement acceptable pour les agriculteurs.

R21: ***si*** **un projet d'irrigation est décidé,**

alors **il doit être terminé au moins avant la saison d'irrigation.**

action à mener: **tester le fonctionnement des installations par une mise en service préliminaire (pour un réseau: vérification de la pression et du débit aux bornes d'irrigation et en tête de réseau, vérification du déclenchement et de l'arrêt automatique des pompes, pour des canaux: vérification des vannes et vannettes, du système de régulation,...etc)**

Une étude pédologique plus précise a été effectuée à partir des analyses de sols et des photographies aériennes disponibles sur les parcelles à irriguer. Les cartes des terres agricoles n'ayant pas encore été établies pour cette région, il est particulièrement intéressant de noter la nature des déductions faites par le spécialiste en pédologie, à partir de ces documents mais aussi au cours du déplacement sur le terrain.

L'observation des photographies aériennes, l'analyse des profils de sols et des sondages effectués à la tarière permettent une approche agropédologique indispensable avant toute installation de système d'irrigation.

R22: *Si* un projet d'irrigation est décidé,

alors **le choix du procédé d'irrigation doit se justifier agronomiquement *et* économiquement**

***actions à mener*: procéder à une évaluation agropédologique**

acquérir les cartes des terres agricoles(IGN).

R23: *Si* les cartes des terres agricoles n'existent pas sur le secteur étudié

alors **l'acquisition des photographies aériennes, des résultats des profils de sols et des sondages à la tarière sont indispensables.**

actions à mener: **déterminer:**

-la profondeur du sol

-sa texture (charge en éléments grossiers, sables, limons)

-la réserve en eau

-les traces d'hydromorphie

-la pente

Cette approche est destinée à repérer les critères déterminants pour l'utilisation agricole des sols et leur adaptation à une éventuelle irrigation. Les critères d'adaptation à l'irrigation sont essentiellement la profondeur du sol, sa texture, sa charge en éléments grossiers qui déterminent la réserve en eau, son hydromorphie, sa pente. A partir de ces éléments il a donc été déterminé que l'ensemble des parcelles à irriguer comporte des sols assez profonds de 60 à100cm et de pente faible (<5% à Pajay en moyenne et <1% à La Côte—Saint—André). La réserve en eau y est inférieure ou égale à 50mm. Des variations pédologiques existent à Pajay où les coteaux ont des sols à tendance limoneuse et sableuse alors que dans la plaine, comme à la Côte—Saint—André, leur texture est plus lourde mais comporte une quantité d'éléments grossiers (cailloutis) voisine de 30%.

R24: *Si* le sol est assez profond (60cm à100 cm),
***et* la texture du sol est équilibrée à lourde**
***ou* la texture est à tendance sableuse**
***et* la présence d'éléments grossiers est comprise entre 30 et 40 %**
***et* la réserve en eau est inférieure à 50mm**
***et* la pente moyenne des parcelles à irriguer est inférieure à 5%.**

alors **l'irrigation par aspersion est possible.**

Cet exemple de règle purement technique rejoint la série de règles de classification des sols. Il existe une quinzaine de classes de sols et six classes de terres agricoles. Les terres agricoles des périmètres qui nous intéressent appartiendraient probablement à la classe III qui regroupe les terres agricoles dont les capacités de production agricole sont moyennes dans les conditions naturelles mais qui peuvent être améliorées par l'irrigation.

D'autres critères comme l'altitude, le vent et la gélivité pendant la période d'irrigation interviennent mais ne modifient guère la valeur des sols à Pajay et à La Côte—Saint—André.

Dans l'ensemble, les terres des deux périmètres à irriguer ont des potentialités agronomiques convenables permettant de développer la culture du tabac et de maintenir les cultures en place, les caractéristiques des sols permettent d'y développer un mode d'irrigation par aspersion.

Il n'y a que dans cette simulation que l'on trouve la justification agropédologique de ce procédé d'irrigation qui a tendance à être adopté systématiquement pour les autres projets en fonction du seul désir des agriculteurs et d'une justification seulement économique.

En ce qui concerne l'évaluation des besoins en eau, le débit fictif adopté est de 0,5l/s/ha pour les deux périmètres.

Le coût du réseau de Pajay est inférieur à celui des autres simulations mais la station de pompage est beaucoup plus sommaire car elle n'est équipée ni de stabilisateurs de pression indispensables pour ajuster la pression au débit en service en tête du réseau, ni de débitmètres pour l'évaluation du rendement du réseau. Ces organes devront être rajoutés pour garantir la fiabilité de la distribution.

Chronologie des décisions prises par Biva5

Décisions spécifiques pour Pajay	*Décisions spécifiques pour La Côte—Saint—André*
Décisions communes aux 2 projets	
	Demande de subventions
Emprunts long terme et court terme	
Evaluation des besoins en eau	
Achat des photographies aériennes	
Analyses de sols	
	Evaluation de la ressource en eau
Consultation des données existantes	
-hydrogéologiques, topographiques	*-hydrogéologiques, piézométriques*
mesures piézométriques supplémentaires	
Geophysique(profils de sondages)	
1 forage	
Essais par pompage	
Station de pompage	
	Réalisation du réseau
1° tranche de travaux sur réseau	
Emprunt court terme	
fin des travaux sur réseau	
Tarification, prix de l'eau	

Biva6:

participants: *—1 hydrogéologue*
—1 ingénieur du génie rural
—3 apprenants

La structure juridique adoptée par Biva6 est celle d'un "important bureau d'études" responsable de l'étude et de la maîtrise d'oeuvre des deux projets qui sont exécutés l'un après l'autre. L'évaluation des besoins est basée sur des valeurs régionales, le débit fictif continu est donc de 0,65l/s/ha. Sur les conseils des spécialistes présents à cette session, cette valeur a été ramenée à 0,5l/s/ha à Pajay, elle aurait dû l'être également pour La Côte—Saint—André.

L'hydrogéologue présent dans le groupe de travail, a été consulté en tant qu'intervenant extérieur au bureau d'étude. L'exploitation de ses conseils confirme la prudence qui s'impose dans la prospection des ressources en eau pour le périmètre de Pajay.

La tactique de prospection est au départ relativement identique pour chacun des projets. Aucun sondage carottage n'a été effectué, par contre de nombreux profils de sondages géophysiques ont été consultés et d'autres ont été réalisés, leur étalonnage étant réalisé à partir des résultats des sondages et forages déjà existants.

Pour Pajay deux piézomètres de diamètre 150mm ont été forés avant d'être transformés en forages d'exploitation. Ils ont permis des essais par pompage dans des gammes de débit de l'ordre de ceux visés pour l'exploitation (50 et 70 l/s) sur des périodes de 24 heures. Les rabattements du niveau d'eau dans ces piézomètres restent inférieurs à 3 mètres, l'équipement des deux puits garantit une ressource en eau fiable. Pour le périmètre de La Côte—Saint—André, deux forages ont été implantés directement en forage d'exploitation permettant une exhaure totale de 146 l/s. Ce débit est nettement supérieur à celui demandé pour l'irrigation. C'est pourquoi, après avoir analysé la qualité de l'eau, le puits situé le plus au Nord sera destiné à compléter l'alimentation en eau potable de la commune de Gillonay située à quelques kilomètres à l'Est de la Côte—Saint—André. Cette solution est bien évidemment à vérifier par rapport au plan des installations de distribution d'eau potable de cette commune, pour laquelle la construction d'une canalisation d'adduction depuis ce forage ne rentabiliserait peut être pas un apport complémentaire de 100m3/h.

La réalisation des deux projets se termine en Décembre 1986 pour le périmètre de Pajay et en Décembre 1987 pour celui de la Côte—Saint—André, ce qui laisse le temps d'effectuer les essais de mise en service de chacun des réseaux.

Les coûts de génie civil et en équipement électromécanique des stations de pompage ont été calculés à l'aide d'une formule actualisée donnée par le SRAE Rhône—Alpes (Janvier 83). Cette formule donne les coûts d'investissements pour le génie civil et pour l'électromécanique en fonction du débit de pointe à fournir et de la hauteur manométrique de refoulement, elle ne prend pas en compte l'équipement électrique et les accessoires de la station qui ont été rajoutés.

Chronologie des décisions prises par Biva6

Décisions spécifiques pour Pajay	*Décisions spécifiques pour La Côte—Saint—André*
Décisions communes aux 2 projets	
	Demande de subventions
Evaluation des besoins en eau, consultation d'un expert	
Evaluation de la ressource en eau, consultation d'un expert	
Visite sur le terrain	
Geophysique (profils de sondages électriques)	
Piézomètres	*Foages d'exploitation*
Foages d'exploitation	
Essais par pompage	
Emprunt long terme	*Emprunt moyen terme*
Transformation des piézomètres en forages d'exploitation	
Aménagement des puits	
Emprunt court terme	
Station de pompage	
	Réalisation du réseau
Mise en route du réseau	*Aménagement du puits Nord*
Tarification, prix de l'eau.	

2.5.Synthèse sur les résultats et sur l'utilisation des outils:

Bien que le nombre de simulations soit pour l'instant insuffisant pour pouvoir tirer des conclusions ayant valeur générale, la comparaison des projets permet de dégager quelques résultats.

Résultats spécifiques aux périmètres étudiés

—L'investissement à l'hectare pour le périmètre de Pajay est plus élevé que celui de La Côte—Saint—André, car la nappe y est plus profonde (60m) et le contexte hydrogéologique plus compliqué. L'approche de ce contexte, justifie l'utilisation de méthodes de prospection telles que les sondages géophysiques et les sondages carottés. L'implantation de deux forages est nécessaire pour assurer la perennité des ressources en eau souterraine exploitables.

—Pour le périmètre de la Côte—Saint—André, les méthodes de prospection s'appuient essentiellement sur l'acquisition des données existantes (géophysique, forages de reconnaissance, captages d'eau potable voisin). Une campagne d'investigation poussée n'est pas obligatoire.

—Si l'on considère les ressources en eaux souterraines, le périmètre de La Côte—Saint—André peut être étendu, ce n'est toutefois pas le point de vue des agriculteurs.

—Les parcelles de terrain de Pajay et de La Côte—Saint—André sont constituées de sols aptes au développement de la cultures du tabac, et aptes à recevoir une irrigation par aspersion.

—Pour le périmètre d'irrigation de Pajay, l'utilisation d'enrouleurs et de canons à arrosage pour une irrigation à la demande, poserait un problème technique de déficit de pression et de débit pour les bornes situées à l'extrémité Nord du réseau. Ce périmètre est prévu essentiellement pour l'utilisation d'asperseurs.

Résultats spécifiques à la Plaine de Bièvre:

—Dans cette région de la plaine de Bièvre, seules les ressources en eau souterraines sont exploitables.

—Cependant, l'équipement de plusieurs périmètres d'irrigation ayant tendance à se développer dans la région, il sera indispensable de contrôler le schéma d'exploitation des ressources en fonction de son évolution au niveau régional. Il existe un modèle hydrodynamique permettant d'effectuer une part de ce contrôle.

—Si les projets d'équipement des périmètres d'irrigation de Faramans et d'Ornacieux, situés respectivement à quelques kilomètres seulement au Nord et à l'Ouest de Pajay venaient à se réaliser, un contrôle global des ressources dans ce secteur devrait être effectué. Les ressources en eaux superficielles de la vallée du Liers qui alimentent la nappe seraient très certainement mobilisées et modifieraient les conditions d'alimentation de la nappe.

D'autres simulations sont prévues pour prendre en compte ces différents scénarios, elles utiliseront bien sûr les résultats des simulations précédentes.

— En plaine de Bièvre—Valloire le calcul précis des besoins en eau de la culture la plus contraignante qui est le tabac, permet de réduire de 50% environ une valeur régionale couramment admise. Le risque de défaillance associé concernant le réseau est d'une fois tous les sept ans.

—C'est essentiellement la culture du tabac qui rentabilisera ces investissements. La réticence des exploitants de La Côte—Saint—André pour l'introduction de ce nouveau type de culture qui demande plus de soin et plus de temps de travail, pourrait donc limiter la rentabilité d'un projet destiné uniquement à l'irrigation du maïs.

Résultats d'ordre général:

—Un projet d'irrigation en zone non remembrée est difficilement envisageable. L'investissement à l'hectare y est très élevé. Le projet d'irrigation doit être intégré au projet de remembrement.

—Tout projet d'irrigation doit être terminé avant la saison d'irrigation de l'année d'achèvement des travaux.

—S'il est décidé, le calcul précis des besoins en eau doit s'effectuer pour l'ensemble des cultures irriguées susceptibles d'être introduites.

—Pour ce type de projet, l'investissement dans le réseau de distribution et la station de pompage représente en général 80 à 90% du coût total du projet.

—Le tracé d'un réseau d'irrigation doit tenir compte de celui des limites de parcelles et éviter de les recouper à la perpendiculaire.

—Pour ce type de projet d'irrigation par aspersion, il paraît difficile d'abaisser l'investissement à l'hectare au dessous de 16kf. Ce coût semble pourtant encore trop élevé pour les agriculteurs. Il pourrait être diminué en utilisant des canalisations en pvc, ce qui constituera l'un des objectifs des prochaines simulations.

L'utilisation des outils et des techniques:

En général, l'utilisation des différentes techniques s'enchaîne de manière relativement similaire pour les différents projets.

—Les photographies aériennes ne sont que rarement utilisées , c'est une erreur étant donné leur faible coût. Lorqu'elles le sont, c'est en général le premier outil vers lequel se penchent les responsables du projet pour mieux visualiser le terrain.

—La télédétection spatiale est, tout comme dans la réalité, très peu utilisée. Bien évidemment, sur les clichés disponibles jusqu'à présent, le pouvoir de résolution au sol de cette technique ne permet pas de distinguer nettement les parcelles. Cet outil n'est pas utilisé pour plusieurs raisons: son coût est relativement élevé, les compétences en matière de photointerprétation d'images satellite sont plus rares et le traitement de l'image est spécifique à l'information recherchée (analyse en composante principale, calcul de ratios de végétation). Enfin l'utilisation de cette technique est encore loin d'être coutumière. Si elle est destinée à repérer des structures géologiques, elle doit s'utiliser en même temps que les photographies aériennes et les cartes topographiques. Si elle est destinée à repérer l'occupation des sols à plusieurs dates, elle doit s'utiliser avant l'évaluation des besoins en eau.

—Les formules permettant d'évaluer les besoins en eau d'irrigation sont nombreuses. Leur utilisation en simulation montre que l'emploi d'une seule de ces formules n'est pas suffisante. Les formules de Blaney—Criddle, de Turc et de Piche doivent être utilisées simultanément, dans le but de recaler les différents résultats les uns par rapport aux autres, et d'apprécier l'incertitude liée à ces formules.

—Les modèles d'interprétation des sondages géophysiques sont largement utilisés.

—Dans ce type de projets, la modélisation hydrodynamique est rarement utilisée en tant que telle par les responsables de projets. Elle est seulement utilisée par le système MISE pour simuler les sollicitations de la nappe aquifère. Pour les projets d'alimentation en eau potable, nous avons vu que la nature de certains scénarios (création d'un plan d'eau, extension d'une exploitation de gravières) motivait davantage les décideurs dans l'utilisation d'un tel outil. Pour des projets d'irrigation plus nombreux en plaine de Bièvre, la modélisation hydrodynamique en tant qu'outil de prévision devrait être davantage sollicitée.

—Les essais par pompage réalisés sur le terrain par les projeteurs sont simulés à l'aide du modèle hydrodynamique et effectués en général à débit constant sur de longues périodes de temps (24heures). En effet, la durée réelle des simulations en régime transitoire (voir seconde partie) est souvent incompatible avec la durée des simulations MISE. Dans la réalité de tels essais sont pratiqués pour déterminer les limites de production de l'ouvrage de captage étudié. En fait, la simulation par paliers de débits en régime permanent donne le rabattement du niveau piézométrique de la nappe, sans prendre en compte les pertes de charge caractéristiques des ouvrages. Ce résultat optimiste obtenu comme si l'on pompait dans un puits parfait sans perte de charge, est à prendre en compte en tant que facteur de risque. Cela explique pourquoi, les caractéristiques de la nappe ne sont généralement pas calculées alors que cela fait partie du processus normal de détermination de la ressource. Le critère principal retenu est le niveau de stabilisation du rabattement provoqué par l'essai à débit constant en fonction de l'épaisseur mouillée de l'aquifère au droit du pompage.

Pour tous les projets d'aménagement en eau, il n'existe pas obligatoirement un modèle hydrodynamique. S'il existe, il faut savoir l'utiliser en connaissant les limites des résultats qu'il peut fournir (actualité des conditions aux limites ...etc).

—L'utilisation du programme d'interprétation des essais par pompage est destiné à traiter des résultats d'essais par pompage déjà effectués en réalité qui ne seraient pas interprétés. L'emploi de cet outil est donc relégué au niveau de l'acquisition des données existantes et de leur mise en valeur.

—La diminution des coûts de projet dépend du calcul effectué pour déterminer les besoins en eau d'irrigation. Les résultats des simulations montrent que les débits de pointe obtenus à l'aide de la méthode de Clément restent élevés.

En fait, les paramètres qui composent cette formule sont calculés pour une surface irriguée considérée comme égale à 70% de la surface des parcelles. La méthode de Clément ne tient donc pas compte de l'équipement à la parcelle dont dispose chaque agriculteur. Les débits de pointe calculés ainsi pour chaque tronçon du réseau conduisent à surdimensionner le réseau d'irrigation, au moins temporairement tant que l'augmentation des revenus de l'agriculteur ne lui permettront pas d'équiper les 70% de la surface équipée. Or, cette augmentation de revenu risque d'être compromise puisque plus le réseau est surdimensionné, plus les investissements et les charges de son exploitation sont élévés.

Le calcul de la valeur des paramètres de la formule de Clément pour plusieurs % de la surface équipée, permettrait d'en déduire les débits de pointe en fonction de l'équipement des parcelles. L'utilisation de cette méthode est donc subordonnée à des facteurs socio—agricoles, tel la propension des agriculteurs à augmenter leur matériel mobile d'irrigation qui lui—même dépend du coût d'investissement supplémentaire que représente ce matériel par rapport à l'augmentation de leur revenu.

—La méthode de contrôle des diamètres des canalisations du réseau en fonction des pressions et des débits obtenus en bout de réseau, est basée sur une approche simplifiée de la méthode de Labye. Elle s'avère tout à fait suffisante pour ce type de projets. Elle permet d'éventuels panachages de diamètres sur les tronçons les plus longs.

Il s'agit ici des outils et moyens disponibles à l'heure actuelle dans le système MISE. Il conviendrait d'y ajouter ceux qui pourraient être intégrés par la suite dans cette version irrigation et que nous avons présentés au chapitre 4 de la première partie.

Pour conclure sur ces sessions MISE irrigation, les tableaux n°3—11 à 3—16, présentés sur les pages suivantes permettent de comparer quantitativement les solutions adoptées par les différentes équipes.

tableau n°3—11

MISE IRRIGATION, RESULTATS DES EQUIPES BIVA 1,2,3

			BIVA 1(84)	BIVA 2(84)	BIVA 3(85)
PAJAY	Structure juridique		ASA	ASA	ASA
	Coûts Financiers (KF horstaxe)	Prospection	572,5	332,5	736
		Distribution	2466(81%)	3090	2961(80%)
	Coûts Temporels (semaines)	Prospection	143 AU TOTAL avec Cote St André et Faramans	104 AU TOTAL avec Cote St André et Faramans	96 AU TOTAL avec Cote St André
		Distribution			
	PLAN DE FINANCEMENT	Subventions	60-65 %	60-65 %	60 % = 2218
		Emprunts	3 X 1200(3 projets)	3 X 1200(3projets)	1000 500
		Taux	11 %	10 %	11,5 % 17,45 %
		Terme	Long terme	20 ans	20 ans 2 ans
		Annuités (Kf)	140	141	246,9/an 23,3/mois
	RESSOURCE	S irriguée ha	100	100	100
		S desservie ha	130	130	143
		ouvrages	2For(90+75=165l/s)	2+1for(55+70=125)	2for(55,6X2=111,2)
		besoins	0,6 l/s/ha	0,6 l/s/ha	0,45 l/s/ha
		invest./ha éq.	23,4KF tabac-maïs	26,4KF tabac-maïs	25,9KF tabac-maïs
	Prix Eau	Fixe	>2150 F/an/ha	1000 F/an/ha	2713 F/an/ha
		Variable	0,26 F/m3	0,31 F/m3	?
COTE ST ANDRE	Structure juridique		ASA	ASA	ASA
	Coûts Financiers (KF horstaxe)	Prospection	727	353	548,5
		Distribution	2968 (80,3 %)		2613,8 (84 %)
	Coûts Temporels (semaines)	Prospection	IDEM		IDEM
		Distribution	IDEM		IDEM
	PLAN DE FINANCEMENT	Subventions	IDEM		45 % = 1818,7
		Emprunts	IDEM		1668,5 475
		Taux	IDEM		11,45 % 17,45 %
		Terme	IDEM		20 ans 2 ans
		Annuités	IDEM		138,5/an 21,5/mois
	RESSOURCE	S irriguée ha	110		120
		S desservie ha	160		163
		ouvrages	2for(90X2=180l/s)	2for(60X2=120l/s)	1 for 120 l/s
		besoins	0,6 l/s/ha	0,6 l/s/ha	0,45 l/s/ha
		invest./ha éq.	23,4 tabacs-maïs		19,4 tabac-maïs
	Prix Eau	Fixe	3250 F/an/ha		2210,8 F/an/ha
		Variable			0,20 F/m3

tableau n°3—12

MISE IRRIGATION, RESULTATS DES EQUIPES BIVA 4,5,6

			BIVA 4(85)	BIVA 5(85)	BIVA 6(85)
PAJAY	Structure juridique		ASA	BUREAU D'ETUDES	ASA
	Coûts Financiers (KF horstaxe)	Prospection	351	150	588
		Distribution	2725	2620	2800
	Coûts Temporels (semaines)	Prospection	146 AU TOTAL avec		78 AU TOTAL sans
		Distribution	Cote St André		Cote St André
	PLAN DE FINANCEMENT	Subventions	60 % = 2000		60-65 % = 1833
		Emprunts	450 1000		700 500
		Taux	10,25 % 11,5 %		11,65 % 15 %
		Terme	5 ans 20 ans		20 ans 2 ans
		Annuités (Kf)	0,4/mois 246,9/an		80/an 24/mois
	RESSOURCE	S irriguée ha	103	109	99,6
		S desservie ha	143	148,5	138,4
		ouvrages	1For 80l/s	1for 100l/s	2for 120l/s
		besoins	0,6 l/s/ha	0,6 l/s/ha	0,45 l/s/ha
		invest./ha éq.	21,4KF tabac-maïs		25,8KF tabac-maïs
	Prix Eau	Fixe	2116 F/an/ha		
		Variable	0,29 F/m3		0,28 F/m3
COTE ST ANDRE	Structure juridique		ASA	ASA	ASA
	Coûts Financiers (KF horstaxe)	Prospection	325,8	344,6	556,4
		Distribution	2286	2336 (88 %)	2375,5
	Coûts Temporels (semaines)	Prospection	146 au total	108 au total	66 au total
		Distribution	avec Pajay	avec Pajay	sans Pajay
	PLAN DE FINANCEMENT	Subventions	60 % = 1566	70 % = 1608	60 % = 1760
		Emprunts	1115 100	>120 270	1050 >250
		Taux	10,5 % 8 %	11,7 % 14 %	13,2 % 15 %
		Terme	20 ans 7 ans	15 ans 2 ans	10 ans 2 ans
		Annuités	138/an 1,47/mois	20,33/an 13,7/mois	200/an 12,5/mois
	RESSOURCE	S irriguée ha	118	140,2	118
		S desservie ha	164,6	164,6	164,6
		ouvrages	1 for 100 l/s	1 for 130 l/s)	2 for 120 l/s
		besoins	0,38 l/s/ha	0,5 l/s/ha	0,65 l/s/ha
		invest./ha éq.	15,8 tabacs-maïs	16,2 tabac-maïs	20 tabac-maïs
	Prix Eau	Fixe	2510 F/an/ha	1247 F/an/ha	1800 F/an/ha
		Variable	0,19 F/m3	0,47 F/m3	0,30 F/m3

tableau n°3—13

MISE IRRIGATION, PROSPECTION DE LA RESSOURCE

		BIVA 1	BIVA 2	BIVA 3	BIVA 4	BIVA 5	BIVA 6
PAJAY	Besoins			110 l/s	110 l/s	100 l/s	115 l/s
	Coordon puits	28,2/16,2	25,7/18	28,7/16,6	29,2/17,2	28,7/16,6	28,1/16,4
	débit	90 l/s	55 l/s	55 l/s	80 l/s	100 l/s	70 l/s
	rabat-tement	2, 4m.	2, 7m.	11 m.	7, 4 m.	13, 5 m.	1, 2 m.
	Coordon puits	29,5/17	28,7/16,8	28,3/16,1	?		même endroit
	débit	75 l/s	70 l/s	55 l/s	30 l/s		50 l/s
	rabat-tement	4 m.	12 m.	4, 5 m.	?		?
	Total pompage	165 l/s	125 l/s	110 l/s	110 l/s	100 l/s	120 l/s
COTE ST ANDRE	Besoins			120 l/s	100 l/s	130 l/s	120 l/s
	Coordon puits	36,9/18,1	37,1/19,7	38,1/19	38/19	37,7/19,1	37,6/19
	débit	90 l/s	60 l/s	120 l/s	100 l/s	130 l/s	77 l/s
	rabat-tement	2, 4 m.	2, 5 m.	2, 8 m.	3 m.	3, 1 m.	0, 5 m.
	Coordon puits	38,2/20,2	39/18				37,5/20,2
	débit	90 l/s	60 l/s				69 l/s
	rabat-tement	3, 6	1, 4				1, 1
	Total pompage	180 l/s	120 l/s	120 l/s	100 l/s	130 l/s	146 l/s 30l/s REP
MARCO LLIN	besoin			111 l/s	111 l/s		
	coor.pts			24/13	23,9/12,9		
	débit			120 l/s	120 l/s		
	rabatt			5 m.	6,5 m.		
BEAU FORT	besoin			44 l/s	Barrage collinaire sur FONDON		
	coor.pts			23,7/12,4			
BEAURE PAIRE	besoin				97 L/S		
	coor.pts				23/16		
	débit				90 L/S		
	rabatt				13 m.		
FARA MANS	coor.pts	27,5/21,4	27,4/21,3				
	débit	60 L/S	75 L/S				

tableau n°3—14

DIMENSIONNEMENT ET COUT DES RESEAUX DE DISTRIBUTION BIVA

		REPARTITION DES LONGUEURS(KM) PAR CLASSES DE DIAMETRE(MM)										LONGUEUR RESEAU		SURFACE EQUIPEE	PRIX DU RESEAU EN KILO-FRANCS			
		<100	100	125	150	175	200	250	300	350	400	PAR ZONE	TOTAL		CANALISATION + TRANCHEES	CANALISATION + TRANCHEES + EQUIPEMENTS	PRIX/KM	PRIX PAR HECTARE EQUIPE
BIVA1	PAJAY		2,6		2,08		1,1	1,3	1,9	0,45		9,45	22,1	167	1365,16	1703,6	180	10,2
	COTE SAINT-ANDRE		4,14		4,5		2,19	1,65	0,09			12,6		210	1776	2215,3	175	10,5
BIVA2	PAJAY		3,32	3,75	0,85		1,03	0,6				9,55		184	1318,2	1638,4	172	8,9
	COTE SAINT-ANDRE		? ? ?

tableau n°3—15

PLAN DE FINANCEMENT BIVA3 POUR LE PROJET DE PAJAY

DATE	SUBVEN-TIONS	EMPRUNTS			Retour TVA	Reste en CAISSE	DEPENSES			OBSERVATIONS
		Montant	Taux	Terme			H.T.	TVA	T.T.C	Nature des dépenses
10 Aout 85	120 KF(demandés)									120 KF=48% de 250 KF pour 3 études
10 Aout 85		130,00	11,5	20 ans						dont 1/3 est destiné à PAJAY
10 Aout 85		25,00	17,45	2 ans						Emprunt long terme
10 Sept.85	9,90 (obtenus)*					164,9				Emprunt court terme
10 Sept.85						142,9	18,5	3,45	22,00	
15 Sept.85	22,50(obtenus)*					165,4				Géophysique
15 Sept.85						115,4	42,15	7,84	50,00	
15 Déc.85					11,29	122,74				Sondage
15 Mars 86	480 KF(demandés)									Retour TVA études
15 Mars 86		340,00	11,45	20 ans						SUBVENTION demandée (60% de 800 KF)
15 Mai 86	240 KF(obtenus)					698,78				Emprunt Long terme: annuités =43,9kf
15 Mai 86						220,14	400,00	74,400	474,40	50% de la subvention obtenue
15 Aout 86						187,39	5,000	0,930	5,930	Premier puits
25 Sept.86					74,400	260,47				Enlisement
1 Oct.86	240 KF(obtenus)					500,47				Retour TVA puits
10 Oct.86	2160KF(demandés)						400,00	74,400	474,40	
10 Oct.86		1440,00	11,45	20 ans						Deuxième puits
10 Oct.86		430,00	15,00	2 ans		1894,75				
5 Janv.87					74,400	1969,15				
7 Janv.87	960 KF(obtenus)					2929,15				
7 Janv. 87						965,43	1600,00	297,600	1897,600	subvention-station+refoulement
7 Mars 87					297,600	1215,13				(2 puits éloignés de 700 m)
15 Mars 87	1147,2KF(obtenus)					2362				
15 Mars 87						269,72	1727,00	321,2	2048,2	Réseau
10 Juil.87					321,2	497,48				Retour TVA Réseau

Remarque : les restes en caisse tiennent compte du paiement des mensualités et des annuités d'emprunts

PLAN DE FINANCEMENT BIVA6 PROJET DE LA COTE-SAINT-ANDRE

DATE	SUBVEN-TIONS	EMPRUNTS			Retour TVA	Reste en CAISSE	DEPENSES			OBSERVATIONS Nature des dépenses
		Montant	Taux	Terme			H.T.	TVA	T.T.C	
1-11-85	30% de 2702,75KF					810,75				SUBVENTIONS: 2702,75 KF #60% projet total
1-11-85						810,25	0,5		0,5	Visites terrain
1-11-85						784,15	22,0	4,10	26,1	Sondages
1-12-85						755,65	24,0	4,50	28,5	piézomètre
1-01-86						150,91	509,9	94,8	604,74	Forages + essais de pompage
1-03-86					103,4	254,31				Retour TVA études + forages
1-04-86		420,00	13,2	10 ans		674,30				EMPRUNT moyen terme: annuités 78,02KF
1-04-86						144,17	447,0	83,14	530,14	Achat pompes + aménagement puits
1-04-86	30% de 2702,75KF					954,99				SUBVENTION 30%
1-04-86						2,34	803,25	149,40	952,65	70% du matériel réseau
1-07-86		250,00	15	2 ans		252,34				EMPRUNT court terme: mensualités 12,8KF
1-07-86					232,54	484,88				
1-07-86						112,98	313,58	55,32	371,90	Génie civil station
1-08-86						17,16	70,00	13,02	83,02	E.D.F.
1-11-86					13,02	4,56				Retour TVA E.D.F.
1-12-86	464,8					443,76				Reste des subventions **coût réel<coût prévisionnel**
1-12-86							546,75	101,69	648,44	Fin du réseau + surcoût de 2,16KF
1-12-86							125,00	23,25	148,25	Aménagement puits Nord
1-12-86							70,00	13,02	83,02	Pompes de secours
1-12-86		650	13,2	10 ans		214,05				Emprunt moyen terme: annuités 117KF
1-02-87						188,45				Remboursement mensualités
1-03-87					138,36	314,01				Retour TVA Réseau+puits+pompes
1-04-87						223,19				Première annuité
							2931,9		**3477,26**	**Total dépenses**

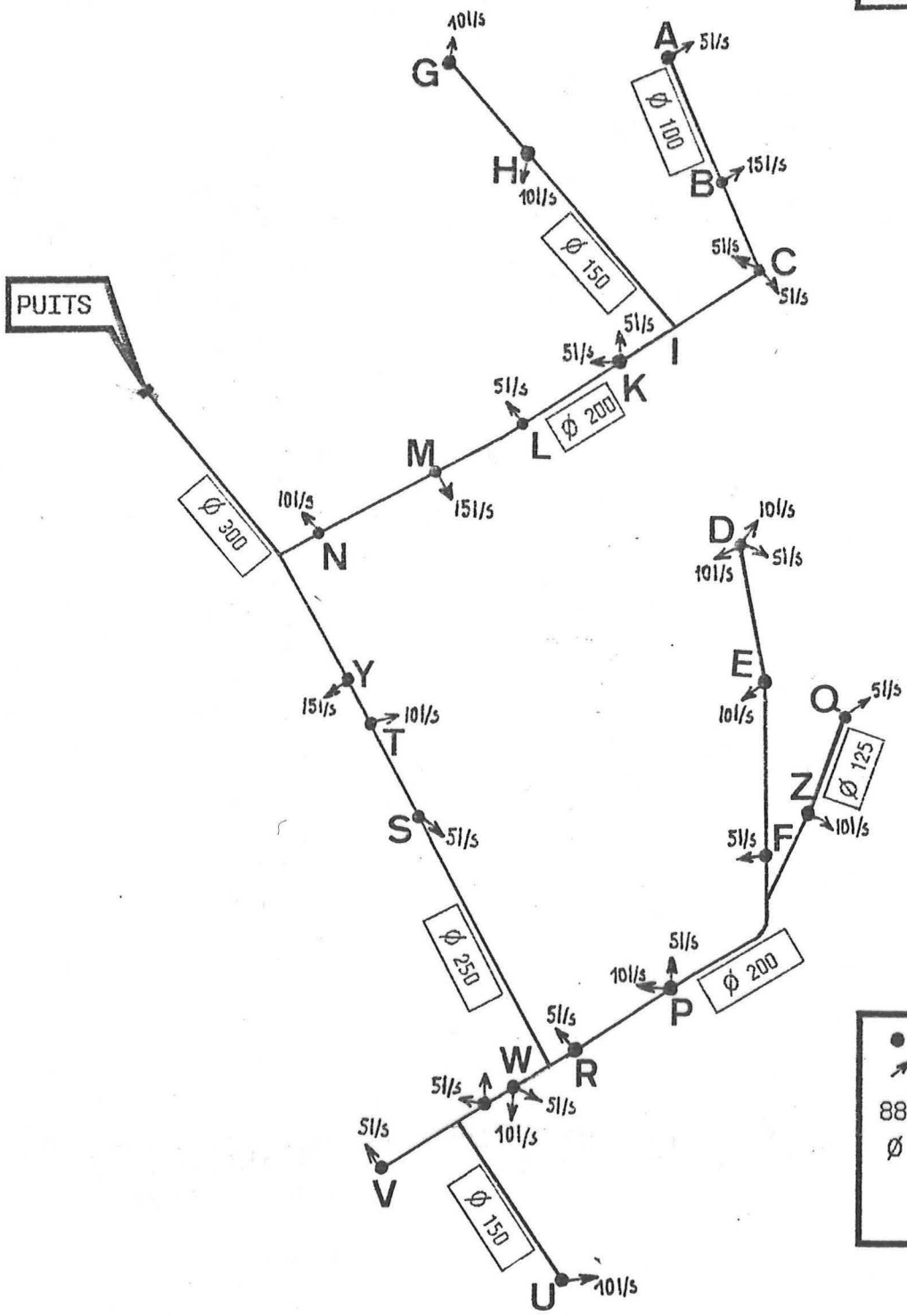
Remarque : les restes en caisse tiennent compte du remboursement des mensualités et des annuités d'emprunts

tableau n°3-16

Figure n°3—6

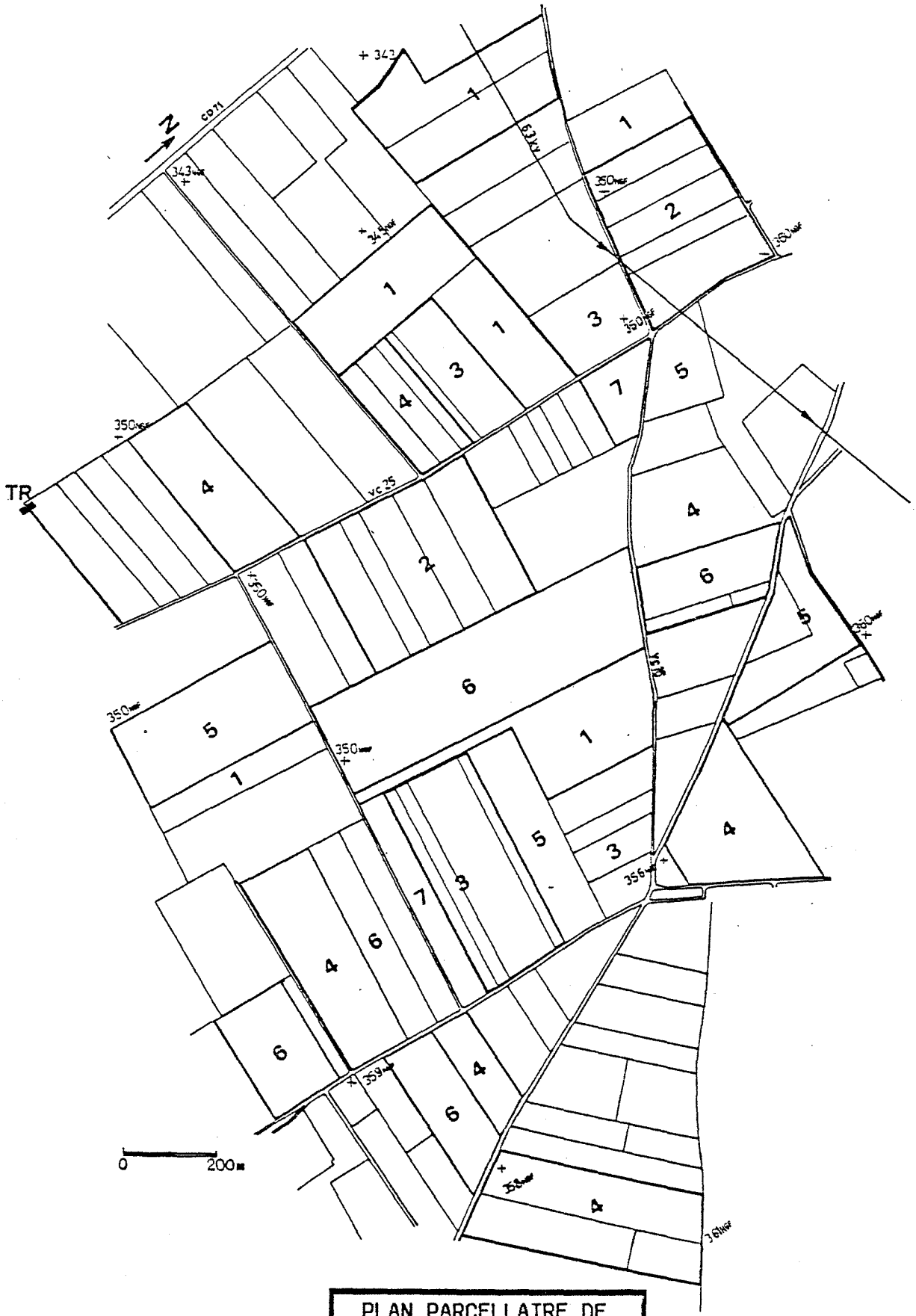
NOUVEAU PROJET D'IRRIGATION
LA-COTE-SAINT-ANDRE
TRACE DU RESEAU SIMULE
PAR BIVA5

surface irriguée 140 Ha
débit en tête de réseau 140 l/s



●	Borne
↗	Prise
882NGF	cote NGF en mètres
Ø 200	canalisation de diamètre 200 mm

Légende



PLAN PARCELLAIRE DE
LA-COTE-SAINT-ANDRE

4 : numéro de proprietaire

Conclusion:

En simulant les prises de décision et leurs conséquences, le système MISE permet la manifestation d'une masse de connaissances importantes parmi lesquelles on peut distinguer: **les informations acquises aucours de chaque simulation et les connaissances qui sont issues de l'analyse des diverses décisions.** Ces dernières autorisent une analyse plus poussée des simulations en abordant un niveau plus **stratégique** pour le choix d'une solution finale.

Ces deux types de connaissances que nous diront tactiques et stratégiques regroupent:

—des **données quantitatives** (coûts, temps, nombre de consommateurs à alimenter, nombre d'hectares à irriguer, débits, longueurs de canalisation, diamètres, valeur de perméabilité, épaisseur de l'aquifère,...etc),

—des **informations plus qualitatives** faisant intervenir des fourchettes de valeurs numériques ou appréciatives (de 30 à 40%, assez, peu, moyen, très, bon, mauvais,...etc),

—la probabilité d'apparition de **faits ou d'événements** techniques économiques et sociaux qui peuvent se produire pendant la réalisation simulée des projets,

—**des décisions à prendre, des actions à mener et des contrôles à effectuer** au cours de l'étude et de la réalisation de ces projets,

—des **raisonnements logiques ou intuitifs** permettant de manipuler des données quantitatives mais aussi des informations qualitatives.

Ces différentes connaissances sont liées entre elles, tant au niveau tactique qu'au niveau plus global d'un projet où plusieurs domaines de compétence, plusieurs niveaux de décisions, interviennent simultanément ou consécutivement. Elles s'enchaînent donc les unes aux autres. C'est essentiellement la manière dont s'enchaînent ces différents éléments de connaissance, que nous voulons exploiter dans un système d'ingénierie.

Cependant, pour pouvoir intégrer tout ceci dans un tel système, il faut pouvoir l'y représenter. Avant d'adopter quelque formalisme de représentation que ce soit, il est indispensable d'organiser et de structurer les différents éléments ou objets de ce système selon une hiérarchie qui se calquera peut—être sur celle d'un graphe de décision.

Quelles seront les connaissances à sélectionner? Ou plutôt, quelles seront celles qu'il ne faudra pas retenir? On évitera d'exploiter des **connaissances d'ordre trop général** relatives aux différents domaines de spécialité ou au déroulement des projets.

Elles s'apparentent parfois à des règles de bon sens, paraissant évidentes et dénuées d'intérêt pour le spécialiste, parce qu'elles sont soit toujours vraies, soit toujours fausses. Il faut se poser alors la question de savoir si ce bon sens doit faire partie de l'aide à la décision ou non. Nous verrons que ce type de connaissance, selon le formalisme de représentation adopté, peut-être amené à faire partie du système d'ingénierie que nous proposons.

On évitera, à l'opposé de retenir des connaissances trop spécifiques car les déductions qu'elles permettent dépendent de trop de conditions pour être utilisables. Si l'on essaie de réduire ce nombre de conditions, pour pouvoir utiliser plus souvent la connaissance qui s'y rattache, on augmente l'incertitude sur la vraisemblance des déductions. Cette incertitude se caractérise alors par les locutions suivantes: il faudrait, on peut, peut permettre, semble, parfois, souvent...etc.

Les projets d'aménagement en eau ne se conçoivent pas avec une logique déductive ne comportant que des conditions et des conclusions, ce formalisme de logique permet pourtant une représentation commode d'une partie de ces connaissances.

Nous avons illustré dans ce chapitre comment le système MISE pouvait livrer les connaissances nécessaires à la réalisation d'un projet d'aménagement en eau potable et d'irrigation pour un ensemble d'agglomérations ou de périmètres d'irrigation. Il s'agit maintenant de déterminer comment l'évaluation des différentes alternatives de projets (et des connaissances associées) permettra, dans le cadre d'un outil d'aide à la décision, de trouver la solution la meilleure pour passer à l'action réelle sur le terrain.

Dans le domaine qui nous intéresse, un système d'ingénierie ne peut se justifier qu'à travers une utilisation professionnelle pour laquelle l'évaluation de quelques projets simulés serait insuffisante. Ce n'est pas par la recherche de la solution optimale pour chaque type de projet simulé que nous pensons procéder, mais plutôt par l'exploitation de connaissances pertinentes issues d'une gamme de solutions proposées par MISE et compatibles avec les objectifs des problèmes posés aux professionnels.

L'emploi de ce nouvel outil doit permettre, en retour, un contrôle sur les stratégies et les connaissances établies par la simulation.

CHAPITRE 3: SCHEMAS D'EVALUATION DES SESSIONS DE SIMULATION MISE DANS UN SYSTEME D'INGENIERIE

3.1.Intérêt d'une solution optimale.

Un des soucis majeurs de l'optimisation devrait comporter la réduction des investissements pour les ouvrages d'exhaure et de distribution qui couvrent 80 à 90% des investissements totaux pour les projets que nous venons de traiter. Pour cela, deux stratégies différentes se dessinent. La première consiste à effectuer des études supplémentaires pour provoquer une diminution du coût total du projet. Des phases d'études importantes sont généralement pratiquées pour les grands projets d'aménagement en eau (barrages, grands projets d'irrigation). La seconde stratégie consisterait à agir directement sur les coûts les plus élevés en choisissant par exemple, des matériaux moins onéreux que la fonte pour les canalisations d'un réseau ou en réduisant les systèmes de sécurité sur la station de pompage.

Les études de rentabilité, la mesure de l'efficacité et des risques liés à ces deux stratégies doivent permettre de choisir, mais nous avons vu que les outils scientifiques destinés à cette évaluation n'étaient pas toujours très adaptés aux problèmes, souvent mal structurés, qu'entraînent les projets d'aménagement en eau. La simulation, à l'aide du système MISE, de chacune de ces deux stratégies pour un même projet, permettrait d'en apprécier les conséquences.

3.1.1.Autre utilisation possible du système MISE.

Les prochaines simulations pourraient s'effectuer de la manière suivante: les groupes chargés du projet se voient confier les résultats des simulations précédentes moyennant le coût des études qu'elles ont impliqué.

L'objectif de ces simulations n'est alors plus pédagogique puisque les utilisateurs doivent posséder les compétences nécessaires pour interpréter les résultats qu'elles contiennent, ils doivent être des spécialistes.

Ce nouveau mode d'utilisation du système de simulation permettrait d'obtenir des résultats qui s'amélioreraient, en principe, à chaque session. Les variantes simulées qui sont inutiles ou incompatibles avec les projets qui évoluent à chaque simulation, sont éliminées pour ne pas encombrer la synthèse. A partir du moment où l'amélioration des résultats se stabilise, il est raisonnable de penser que la solution retenue est l'une des meilleures.

Dès lors on peut entrevoir plusieurs démarches visant à rechercher une solution optimale de projet:

1° démarche:

Une évaluation des projets simulés dans des conditions initiales de moyens identiques c'est—à—dire sans les études complètes que représentent les simulations antérieures.

2° démarche:

Une amélioration itérative des simulations à partir des résultats acquis au cours des simulations précédentes jusqu'à une solution stable qui ne peut plus être améliorée et qui est la meilleure pour la période ou l'époque à laquelle est observée cette convergence.

La première démarche correspond en fait à celle que nous adoptons à chaque évaluation de session, elle ne prétend pas faire l'objet d'une technique d'optimisation à toute épreuve, mais permet d'engranger le savoir—faire des spécialistes. La seconde se rapproche davantage d'une méthode d'optimisation classique, mais présente toujours le même inconvénient de ne s'intéresser qu'à des projets particuliers. La récupération du savoir—faire des spécialistes serait plus difficile à effectuer puisqu'il ne dépendrait plus uniquement de leurs compétences mais aussi de celles d'autres experts de la même spécialité ayant pu intervenir dans des simulations antérieures.

3.1.2.La solution "optimale" existe—t—elle ?

Les projets simulés jusqu'à l'heure actuelle par le système MISE, sont finalisés dans la mesure où ils ne comportent, a priori, qu'un seul objectif qui est soit l'alimentation en eau potable, soit l'irrigation, soit l'assainissement. Les projets d'assainissement sont toutefois de plus en plus indissociables des projets d'extension de la distribution d'eau potable, les projets d'irrigation sont souvent liés à des projets de remembrement ou de drainage.

Si l'on considère que l'objectif des projets simulés est unique, on admettra qu'ils peuvent bien se décomposer en un nombre raisonnable de sous—objectifs pour lesquels un ensemble de décisions doivent être prises. On pourra donc définir pour chacun de ces sous—objectifs une stratégie que l'on essaiera de rendre optimale. Le problème se ramène donc à un problème d'optimisation multiobjectif tel qu'il se pose pour les grands projets. La limitation des contextes géographique et social dans lesquels s'inscrivent les projets auxquels on s'intéresse ici, en rend l'analyse raisonnable.

Leur simulation montre que les stratégies utilisées ne sont pas très nombreuses. Si la multiplication des stratégies est trop importante, elle devient un obstacle à l'analyse des connaissances et finit par troubler le décideur plutôt que l'aider.

La recherche de la stratégie optimale pour atteindre tous les sous—objectifs d'un projet, à l'aide de méthodes quantitatives, paraît pourtant vaine pour plusieurs raisons. Ces méthodes ne peuvent optimiser qu'un sous—objectif à la fois (Hubert, 1984), elles n'utilisent que des critères de choix quantitatifs qui sont insuffisants pour prendre en compte les aspects sociaux et économiques.

Décomposition des objectifs d'un projet d'aménagement en eau.

"difficulté de gérer plusieurs objectifs".

(Enchaînement But—Moyen)

Projets simulés :	Alimentation en eau potable	Irrigation	Assainissement
fonctions objectifs:	f11: prix de l'eau payé par les consommateurs.	f21: revenu agricole	f31: charges collectives
	f12: bénéfice de la compagnie distributrice	f22: coût du réseau	f32: charges individuelles
optimisation:	Min(f11) et Max(f12)	Max (f21) et Min (f22)	Min (f31, f32)

Pour ces exemples pourtant simples, on constate que les objectifs de chacun des projets sont conflictuels. Ils ne sont pas indépendants: si l'une des deux fonctions objectifs pour chaque projet est croissante, l'autre est décroissante.

Dans l'optimisation multiobjectif, une technique (voisine de la Théorie des Jeux) consiste à optimiser l'un des critères tout en imposant une valeur minimale ou maximale à l'autre. Par exemple, optimiser la fonction—objectif F (f_{11} , f_{12}) du tableau précédent revient à minimiser la f_{11} avec $f_{12} > A$, A étant la valeur minimale du bénéfice de la compagnie distributrice. On itère ensuite sur les valeurs de A, il ya alors arbitrage pour choisir la meilleure solution.

L'apparition d'événements aléatoires de nature physique (pluie) ou économique (diminution des subventions) peut être pris en compte dans un modèle d'optimisation. L'aléa se quantifie par l'espérance mathématique et le risque par l'écart type à condition qu'à chaque "occurrence" du futur, on puisse associer une mesure de sa réalisation (appelée probabilité). Cela n'est pas toujours possible dans le domaine de l'aménagement en eau et les modèles sont souvent éloignés de la réalité. Il est rarement possible de déterminer la solution optimale, on peut tout au plus trouver les solutions qui sont compatibles avec les objectifs de chaque projet et éviter les mauvais choix.

3.2.Utilisation d'un système d'ingénierie en fonction des besoins des utilisateurs.

Pour nous, le problème n'est pas de déterminer la solution la meilleure parmi les projets issus des simulations MISE, celles ci ne sont pas assez nombreuses. Mais, même si elles l'étaient, ce n'est pas à nous de dire quelle est la meilleure, mais plutôt au décideur.

Il nous faut donc réfléchir à la démarche et à la façon de présenter les résultats aux décideurs pour qu'ils aient les informations pertinentes et rester maîtres de leur jugement.

3.2.1.Evaluation a postériori d'un projet déjà réalisé.

La simulation projet d'irrigation de Pajay n'a guère d'intérêt puisqu'il est déjà réalisé. Par contre, elle permet aux décideurs et responsables de ce projet (ingénieur de la DDAF et président de syndicat), de s'informer sur les éventuelles solutions différentes qui auraient pu aboutir à la réalisation de ce même projet, tout en vérifiant la démarche adoptée.

Les études d'évaluation a postériori sont généralement des recueils de données, des analyses de rentabilité qui restent très spécifiques au projet évalué. Si elles permettent de déterminer les évènements ou les décisions qui sont responsables du succès ou de l'échec de ce projet, elles ne sont pas prévues pour dégager les autres décisions qu'il aurait été possible de prendre.

Pour que cette évaluation puisse être plus générale, on se servira dans le cadre du système d'ingénierie, de la connaissance nécessaire pour aboutir à un projet, c'est—à—dire de l'enchaînement des décisions qui a conduit à sa réalisation finale.

Il sera donc possible à partir des caractéristiques d'un projet réalisé de vérifier rétroactivement l'enchaînement des décisions qui y a abouti.

Par exemple, si les conséquences d'un projet d'irrigation sont les suivantes:

-les agriculteurs sont mécontents car l'utilisation de canons à arrosage pose des problèmes en service de pointe,

-les charges d'exploitation annuelles sont inférieures à 1000f/ha/an,

-le diamètre moyen normalisé des canalisations installées est de 175mm,

On essaiera à partir de là de remonter l'arbre des décisions prises, les moyens mis en oeuvre, les données utilisées pour déterminer d'éventuelles contradictions ou d'éventuelles erreurs:

-quelle est le type de bornes utilisées?

-si le type de bornes utilisées est satisfaisant, alors quelle est la méthode utilisée pour dimensionner les diamètres?

-quelles sont les valeurs de la pression en tête du réseau et de la hauteur manométrique totale à refouler?

-quelle est la valeur du débit en tête du réseau?

-si cette valeur est inférieure à celle prévue, le forage est-il colmaté?

-si le forage est colmaté, la crépine a t-elle été bien placée?

-si la crépine a été bien placée, l'aquifère est il argileux?

-des sondages géophysiques ont ils été effectués?

Cette évaluation a postériori s'apparente ici à une opération de diagnostic permettant de résoudre éventuellement les problèmes concernant des projets déjà réalisés.

3.2.2.Modification ou extension d'un projet déjà réalisé.

Le système d'ingénierie sera conçu pour que les informations relatives aux projets pour lesquels il aura été sollicité, soient enregistrées et conservées. Ces données ainsi que les connaissances qui y sont associées seront réutilisées pour l'extension ou la modification d'un projet déjà traité.

Ce stockage rationnel d'une information qui peut être retrouvée rapidement, semble constituer à l'heure actuelle et pour plus tard, une exigence de premier ordre pour gérer au mieux des projets que nous dirons "connexes". Ces projets sont connexes lorsqu'ils sont géographiquement voisins et mettent en jeu les mêmes systèmes de ressources en eau ou lorqu'ils s'appuient sur la réhabilitation ou la connexion d'ouvrages de distribution ou d'assainissement déjà étudiés. Les syndicats de distribution d'eau potable ou d'irrigation intercommunaux qui visent une adéquation du prix de vente de l'eau par la connexion de leurs réseaux, seront amenés à effectuer des travaux de jonction entre des réseaux différents.

Le succès de ce type de projet dépend non seulement de l'existence des plans de ces réseaux, mais aussi de la connaissance de leur équipement, du diamètre de leurs tronçons et des méthodes utilisées pour les dimensionner. Ce système pourrait rendre bien des services aux entreprises chargées de la maîtrise des ouvrages en facilitant leurs interventions sur des réseaux dont le tracé reste dans bien des cas inconnu.

Il serait également destiné à assurer la coordination des projets à l'échelon local. Il n'est pas rare que deux projets dont l'objectif principal est identique, soient menés parallèlement par des organismes différents sans qu'il existe la moindre concertation.

3.2.3.Projets réels sur le point de se réaliser.

S'il s'agit de projets traités par simulation MISE et dont les objectifs sont identiques, il devient intéressant de procéder à une évaluation des résultats de ces simulations en utilisant un des schémas proposés ci—après. Dans la mesure où les simulations effectuées jusqu'à présent ne concernent qu'un nombre limité de projets, cette situation ne peut être qu'exceptionnelle.

Si les projets à étudier par les utilisateurs du système d'ingénierie sont différents, soit parce que leur site de réalisation est différent soit parce que les objectifs ne sont plus les mêmes, il est évident qu'il ne serait pas raisonnable de transposer des résultats de projets simulés à ces nouveaux problèmes. Il faut d'abord mesurer l'écart existant entre les objectifs des utilisateurs du système d'ingénierie et ceux des projets simulés par MISE (le calcul de ces écarts est l'une des fonctions que doit remplir la structure de contrôle de ce système, IV°partie chapitre4).

Si cet écart est faible, on recherchera un compromis de solutions à l'aide des résultats des simulations effectuées et à l'aide des connaissances qui en ont été extraites. Les résultats issus des simulations qui seraient proposés seraient accompagnés de la valeur de leur incertitude.

Si cet écart est important, il ne sera pas possible d'exploiter les résultats des simulations, on exploitera donc seulement les connnaissances qui auront été extraites des expériences de simulation et engrangées dans le système d'ingénierie. Seules les connaissances des domaines d'expertise qui intéressent particulièrement l'utilisateur seront mises en jeu ou "activées".

Si l'importance de l'écart entre les projet étudiés et les projets simulés est telle que les connaissances requises pour résoudre le problème de l'utilisateur ne sont pas disponibles dans le système d'ingénierie, l'utilisation immédiate de ce dernier n'est pas envisageable. Si cette situation a tendance à se répéter, de nouvelles expériences de simulation MISE permettront d'acquérir les connaissances indispensables pour ce nouveau type de projet.

Ce différé en temps, peut prendre des proportions variables dans la mesure où les temps de préparation et d'évaluation des simulations dépendent du type de projet traité et des données déjà disponibles.

Ce travail, une fois effectué n'aura pas à être refait. De plus, à terme, MISE couvrira un ensemble de problèmes suffisants pour justifier sa rentabilité.

3.2.4.Projets réels dont la réalisation future est incertaine.

Le système MISE simule aussi des projets réels qui restent pour l'instant dans les "tiroirs" des services administratifs de l'Etat, à l'échelon communal ou départemental (équipement d'un ensemble de périmètres d'irrigation en plaine de Bièvre—Valloire, aménagement d'un plan d'eau sur les berges de la Loire, assainissement de l'ensemble de la commune de Saint—Marcel de Félines,...). La simulation actualisée de ces projets montre que leurs objectifs peuvent évoluer très rapidement. Il est donc préférable dans ce cas, de conserver les résultats des simulations en l'état et de ne les évaluer de manière quantitative qu'à partir du moment où l'anticipation de leur réalisation à plus court terme est possible.

Cependant, la connaissance utilisée pour simuler ces projets sera exploitée parallèlement. C'est une des raisons pour lesquelles la conception d'une structure à base de connaissance se justifie dès maintenant. Intégrée au système d'ingénierie, elle doit pouvoir intervenir efficacement au moment où les objectifs à court terme de ces projets seront précisément établis. Les résultats de projets simulés peuvent, si l'on en tient compte, guider la définition de leurs objectifs définitifs, ce qui est une tâche importante de l'aide à la décision.

3.3.Schémas d'évaluation utilisables pour exploiter les résultats et les connaissances issues des simulations. Utilisation pour des projets non simulés :

3.3.1.Pas d'algorithme d'optimisation général mais seulement pour certains objectifs.

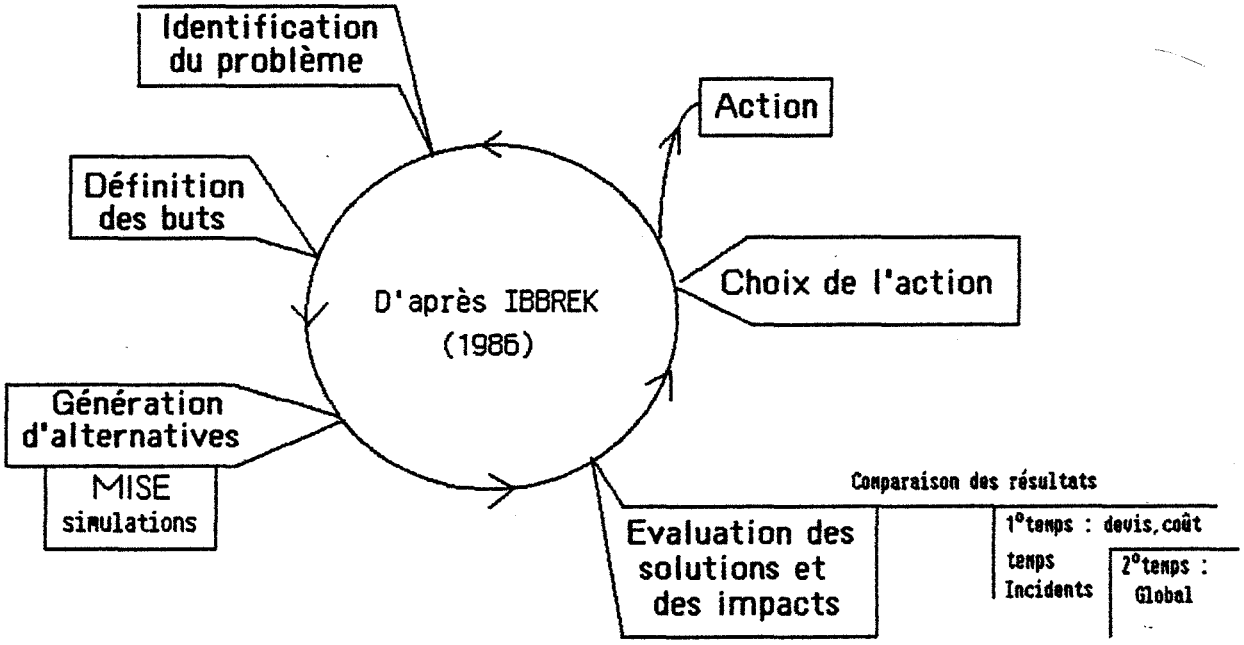
Le système d'ingénierie dont nous nous proposons d'étudier la faisabilité, représente une méthode de choix stratégique qui n'est pas basée sur une technique optimisatrice particulière.

On y retrouvera les différentes étapes conduisant à ce choix stratégique, à savoir l'identification du problème de l'utilisateur en fonction des propres connaissances du système, la génération de solutions à partir des simulations et leur évaluation (Figure n°3—7). Cette évaluation doit préciser les effets possibles de chaque scénario de simulation: les effets qui sont monétairement et physiquement mesurables et ceux qui ne sont pas mesurables (qualitatifs, sociaux, indirects). Ce n'est pas une solution unique qui sera proposée au décideur mais un ensemble de solutions cohérentes, argumentées et compatibles avec ses préoccupations et ses objectifs.

figure n°3-7

Différentes étapes de l'aide à la décision

dans le cadre du système d'ingénierie.



-Identification des problèmes des utilisateurs: Alimentation en Eau Potable, Irrigation, Assainissement

-Définition des buts et des sous-objectifs

-Adéquation réalité-simulation

-Génération de solutions par simulation MISE (données, Outils Scientifiques de la Décision)

-Evaluation des solutions avec réactualisation des buts,

classement des solutions, récupération d'expertise

-Proposition de choix entre différentes solutions compatibles avec les objectifs

-Propositions d'actions à mener, conseils

-Décision et action finale du décideur

Ce schéma peut s'appliquer pour deux utilisations particulières du système d'ingénierie. Nous en exposerons les modalités dans les chapitres suivants.

La première est destinée à élaborer un devis et un programme détaillé des actions à mener pour un projet d'aménagement en eau, en fonction des compétences et du profil de l'utilisateur. Les actions à mener seront justifiées et appuyées par des conseils, elles seront réparties selon plusieurs variantes de projet.

Cette première utilisation s'adapte particulièrement pour satisfaire aux besoins des bureaux d'études du "secteur industriel tertaire" dont l'une des activités principales est de répondre aux appels d'offres.

La deuxième application à plus long terme, concerne les collectivités locales, les administrations et éventuellement les bureaux d'études responsables de la maîtrise d'ouvrage de ce type de projets. Dans ce cas, le système proposera un programme de projet jusqu'au stade avancé de l'étude prévisonnelle.

Son utilisation sera donc plus générale que celle du modèle MISE, mais il sera moins performant au niveau des résultats, surtout au début de son utilisation. Il permettra cependant d'assister le décideur jusqu'au stade du choix définitif de l'action qu'il aura décidé de mener et donc jusqu'au stade ultime et opérationnel de la décision, ce qui n'était pas le cas de MISE dont la vocation première était pédagogique.

Nous limiterons dans un premier temps son champ d'application à des projets du même type que ceux qui sont simulés par MISE. Il n'est pas prévu de l'utiliser pour proposer des politiques ambitieuses d'aménagement en eau.

Si la démarche que nous adoptons se démarque de toute technique d'optimisation, elle peut néanmoins faire appel à certains outils d'optimisation soit en les intégrant au niveau des simulations MISE, soit en les utilisant au cours de l'une des phases de leur évaluation. Ces outils regroupés sous le terme d'outils scientifiques de la décision ont pour la plupart, été présentés au chapitre 4 de la première partie, en tant que moyens susceptibles d'intervenir dans un processus évolué de décision, nous ne les redéfinirons donc pas ici.

Prenons par exemple le problème de la réduction des pertes d'eau qui constitue un objectif important pour les responsables de tout réseau de distribution d'eau. L'intérêt économique de la réduction des pertes d'eau (fuites et gaspillage) est d'éviter de nouveaux investissements dans les infrastructures. Mais la contrepartie se trouve dans les dépenses engagées pour une campagne de détection des fuites. L'optimum économique où ces deux termes s'équilibrent n'est pas évident à déterminer car il est difficile de faire la part des coûts engendrés par les pertes et la part de gain obtenue par leur réduction. Tant que les ouvrages de distribution (réseaux ou canaux) ne sont pas à saturation, les économies ne porteront que sur des frais de fonctionnement. Dans le cas contraire, elles permettent d'éviter les investissements nécessaires à un nouveau dimensionnement des installations. Cet optimum n'a plus de raison d'être si par exemple, la ressource en eau est limitée: la réduction des pertes devient inévitable. Cet exemple (Clermont, 1986) montre que ce problème pourtant économique et technique est difficile à quantifier monétairement. C'est davantage en tenant compte d'un certain nombre de conditions et de raisonnements que l'on pourra résoudre chaque cas.

Par exemple:

R25: *Pour* un rendement de l'ouvrage de distribution inférieur à 80%,
et pour des installations qui *ne* sont *pas* saturées,
la réduction des pertes d'eau permet de réaliser des économies.
actions à entreprendre: ne pas investir dans des installations nouvelles
effectuer une campagne de détection des fuites

R26: *Lorsque* la ressource en eau est limitée,
la réduction des pertes d'eau est inévitable
action à entreprendre: effectuer une campagne de détection des fuites.

R27: *Pour* un rendement de la distribution inférieur à 80%,
et pour des installations de distribution qui sont saturées,
un nouveau dimensionnement des installations est nécessaire.
calcul à effectuer: prévision et localisation des besoins futurs,
calcul des débits supplémentaires à assurer
et des diamètres de canalisation,
calcul du coût marginal de production.

R28: *Si* le coût marginal de production est élevé (> à xfrcs/m3),
alors la reduction des pertes est préférable.

Il n'existe donc pas d'outil permettant de décider, de manière optimale, l'abandon ou de la recherche des fuites. La simulation de ce genre de problèmes pourra compléter et préciser ces quelques exemples de règles générales.

3.3.2.Classement et analyse des solutions simulées compatibles avec les objectifs des projets traités par MISE.

Avant de déterminer les connaissances que l'on intégrera dans notre système d'ingénierie, il est important de pouvoir y classer les solutions de projets que fournissent les diverses simulations. Une première méthode qui s'apparente aux méthodes multicritères et qui est plus souvent employée pour des problèmes de qualité des eaux (Wenstop, Ibbrek, Seïp, 1986), peut être utilisée. Il s'agit d'établir les critères de classement des différents types de projets simulés, en fonction des buts de chaque projet et des moyens mis en oeuvre pour les atteindre. Il existe un algorithme (Opricovic et Djordjevic, 1986) qui permet d'effectuer le classement des solutions en les pondérant par la valeur de ces critères.

1°exemple de méthode de classement:

Soit $S_1, S_2, .. S_i, .. S_n$, les simulations effectuées pour un projet d'aménagement en eau,

Soit O_1, O_2, $..O_k, ..O_k$ les critères à satisfaire pour lesquels chaque simulation présente un intérêt différent,

Soit $f_i(k)$, l'intérêt pour la simulation S_i, de la satisfaction de l'objectif O_k.

Pour chaque critère O_k (k = 1,..k) on peut définir: $S^*(k)$ la simulation parmi $S_1,..S_i,..S_n$, d'intérêt maximum telle que:

$$f_{+(k)} = \text{Max } f_{i(k)},\ i=1,n$$

La solution idéale S_+ traduisant un intérêt optimum global pour l'ensemble des critères $O_1,...O_k$ n'existe généralement pas dans l'ensemble $S_1,...S_n$. Pour retenir la simulation la meilleure parmi $S_1,...S_n$, on établit un classement fondé sur le calcul d'écarts $E_1,...E_n$ de la forme:

$$E_i^{(p)} = \left(\sum_{k=1,k} w_k \left(\frac{f_{+(k)} - f_{i(k)}}{f_{+(k)} - f_{-(k)}} \right)^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

avec: $f_{-(k)}$ construit de façon symétrique par rapport à $f_{+(k)}$, c'est-à-dire conduisant à la simulation d'intérêt minimum. w_k est un facteur de pondération attaché au critère O_k.

p est un paramètre pris arbitrairement dans l'intervalle $[1,..\infty[$. Le choix de ce paramètre fournira des écarts correspondant à la satisfaction plus ou moins globale des critères.

Si p = 1, on obtient une moyenne pondérée pour l'ensemble des critères (maximum "d'utilité collective"):

$$E_i^{(1)} = \sum_k w_k \left(\frac{f_{+(k)} - f_{i(k)}}{f_{+(k)} - f_{-(k)}} \right)$$

Si $p \to \infty$, on obtient le maximum pour l'un des critères ("regret individuel").

$$E_i^{(\infty)} = \text{Max} \left(w_k \left(\frac{f_{+(k)} - f_{i(k)}}{f_{+(k)} - f_{-(k)}} \right) \right)$$

Dans la pratique, on réalise effectivement les classements portant sur les $E_i^{(1)}$ et les $E_i^{(\infty)}$ avec i=1,n. De ce classement on extrait:

- la simulation la plus proche de S_+

  $S_+^{(1)}$ tel que $E_+^{(1)} = \text{Min } E_i^{(1)}$ quand p=1

  S_+ tel que $E_+^{(\infty)} = \text{Min } E_i^{(\infty)}$ lorsque $p \to \infty$

- la simulation la moins proche:

  $S_-^{(1)}$ tel que $E_-^{(1)} = \text{Max } E_i^{(1)}$

  $s_-^{(\infty)}$ tel que $E_-^{(\infty)} = \text{Max } E_i^{(\infty)}$

En combinant ces deux expressions, on obtient une nouvelle valeur calculée pour chaque alternative :

$$V_i = v \left[\frac{E_i^{(1)} - E_+^{(1)}}{E_-^{(1)} - E_+^{(1)}} \right] + (1-v) \left[\frac{E_i^{(\infty)} - E_+^{(\infty)}}{E_-^{(\infty)} + E_+^{(\infty)}} \right]$$

v est un facteur de pondération arbitraire des "politiques" de calcul d'écart (il est compris entre 0 et 1).

Pour une valeur de v=0,5, on obtient une moyenne de ces politiques, pour une valeur de v=1, on ne tient compte que de l'écart reflètant la maximum d'utilité collective.

Enfin, la simulation retenue S sera telle que $V=Max(V_i)$.

Essayons d'appliquer cette méthode aux 10 simulations de projets d'alimentation en eau potable effectuées dans le cadre du système MISE en ne retenant que celles pour lesquelles les stratégies de distribution sont différentes.

Chaque simulation constitue une solution particulière:

Hyde1: réseau neuf et gravitaire sur Bonson
et
réhabilitation du réseau gravitaire de Saint-Rambert

Hyde2: réseau neuf et gravitaire sur Bonson
et
réseau de Saint-Rambert intact

Hyde3: réseau neuf et par refoulement direct sur Bonson
et
réhabilitation du réseau gravitaire de Saint-rambert

Hyde4: le réseau de bonson est divisé en 2 sous-réseaux neufs, l'un est par refoulement direct, l'autre reste gravitaire
et
le réseaux de Saint-Rambert est neuf et gravitaire

Hyde8: Un seul réseau neuf sous pression, pour l'ensemble Bonson et Saint Rambert

Hyde10: 3 sous réseaux neufs et gravitaires pour l'ensemble.

Les critères utilisés seraient les coûts d'investissement, de réalisation, les volumes distribués, la qualité de l'eau, la fiabilité de distribution, l'impact sur l'environnement (nombre et taille des réservoirs). D'autres sous-objectifs comme le prix de l'eau et le bénéfice de la société de distribution pourraient être pris en compte. Les critères concerneraient le montant de la part fixe et celui de la part variable qui reflète une certaine politique de l'eau (développement des industries), l'impact social, la satisfaction du consommateur.

Dans le cadre des simulations MISE, la plupart des valeurs des critères énoncés sont calculées pour chaque expérience. Certains critères non quantifiables comme la satisfaction du consommateur sont difficiles à pondérer, pour les intégrer à l'analyse on doit les décrire qualitativement selon une échelle quantitative de valeurs.

L'affectation subjective de ces valeurs est discutable. Mais pour appliquer cette technique jusqu'au bout, les différentes solutions ainsi que la nature et l'importance des critères doivent être discutées avec les décideurs et les responsables réels du projet.

2°exemple de méthode de classement:

Une autre méthode pour classer les résultats de simulation peut être envisagée. Après avoir retenu les simulations satifaisant aux objectifs impératifs des projets, on les soumet à ce que l'on appellera un test des objectifs souhaitables. Ces derniers sont pondérés les uns par rapport aux autres sur une échelle de 1 à10. Là aussi, un dialogue préliminaire avec les décideurs est indispensable.

—De 9 à 10: très souhaitable,
—De 3 à 4: peu souhaitable.

Une valeur est alors affectée à chaque simulation, en fonction de son degré de satisfaction par rapport aux objectifs souhaitables. Cette valeur sera de:

—10 si elle se rapproche totalement d'un objectif,
—5 si elle ne s'en rapproche qu'à moitié,
—1 si elle ne s'en rapproche pas du tout.

Par une simple multiplication de la valeur accordée à cette solution par celle de l'objectif, on obtient un résultat pour chacune des solutions et chacun des critères. Un objectif de valeur 10 entièrement satisfait par une simulation lui affecte un résultat de 100.

Exemple: Objectif n°2 : satisfaction des besoins de pointe,
valeur 9 (très souhaitable),
Simulation Biva4 : débit fictif continu de 0,35l/s/ha,
valeur 5 (à moitié satisfaisante),
Résultat : 0,5

L'affectation des coefficients destinés à mesurer l'importance et la satisfaction des objectifs reste très subjective. Les uns doivent refléter l'utilité des objectifs de la part du décideur et des agriculteurs, les autres doivent leur permettre d'apprécier la manière dont il ont été atteints. Si un consensus ne peut s'établir, il faut alors pondérer l'attribution de ces coefficients selon les différents points de vue.

Application au projet d'irrigation de La Côte Saint—André.

(coeff:pondération de l'objectif - sat:coefficient de satisfaction - res:résultat)

Alternatives: Objectifs impératifs:	Biva3		Biva4		Biva5		Biva6	
-équipement de 165 hectares		X		X		X		X
-satisfaction,besoins de pointe		X		X		X		X
-utilisation de canons d'arrosage		X		X		X		X
Objectifs souhaitables:	**coeff.**	**sat..res.**		**sat.. res.**		**sat.. res**		**sat..res**
-irrigation à la demande	9	8	72	6	54	8	72	9 81
-Ressource en eau souterraine	8	9	72	8	64	9	72	10 80
-intoduction nouvelles cultures	3	9	27	9	27	1	3	1 3
Respect des contraintes								
-coût du projet < 3000kf.	10	9	90	10	100	10	100	7 70
-charges exploitation < 2kf/an/ha	9	8	72	6	54	10	100	10 100
-localisation forage et station de pompage près de l'emplacement prévu du transformateur EDF	7	8	56	8	56	8	56	8 56
-tracé du réseau en limite de parcelle	6	10	60	5	30	10	60	10 60
-une borne par parcelle	5	10	50	10	50	10	50	7 35
résultats:		**495/570 0,87**		**435/570 0,8**		**513/570 0,9**		**485/570 0,85**
résultat moyen par session:		**Mai 85: 0,81**				**Sept. 85: 0,88**		

Etant donnés les écarts entre les résultats obtenus pour chaque simulation et la précision des coefficients attribués, il est difficile de déterminer si la simulation Biva5 est la meilleure. Toutes les simulations satisfont aux objectifs impératifs du projet. Les résultats moyens pour les dernières sessions semblent augmenter. Elles bénéficient des enseignements des expériences antérieures qui contribuent à améliorer les informations contenues dans les banques de données de l'outil de simulation.

Ces méthodes aboutissent à une évaluation des simulations, en quantifiant la manière dont ellessatisfont aux différents objectifs. Elles seraient applicables si les objectifs étaient rigoureusement les mêmes pour chaque simulation. Enfin et surtout, ces méthodes ne seraient véritablement efficaces en tant qu'aide à la décision que si le nombre de projets simulés était suffisamment important.

D'autres méthodes de classement existent: les solutions possibles sont classées pour atteindre un but à coût égal, (Ranking—Procédure and Equal Cost Principle, Brauers 1976). Si leur efficacité est appréciée comme égale, elles sont classées par ordre décroissant de coûts (Equal Effectiveness Principle).

3.3.3.Méthodes de classement non quantitative, organisation des connaissances pour l'aide à la décision dans des projets d'aménagement en eau.

—Classement des simulations en fonction des objectifs des utilisateurs du système d'ingénierie.

Il y a de très fortes chances pour que les objectifs des futurs utilisateurs du système d'ingénierie ne soient pas les mêmes que ceux des projets simulés par MISE. Nous avons montré que ce n'était pas une raison pour abandonner les résultats de ces simulations étant données les connaissances utiles que l'on peut en extraire. Cela doit cependant orienter d'une manière particulière le classement de ces simulations. Pour chaque simulation on effectuera une évaluation explicative des connaissances mises en jeu, des aléas survenus, de l'influence de la spécificité des scénarios adoptés. Cette appréciation ne peut pas s'exprimer par la seule quantification des résultats (utilisés en tant que références pour les méthodes indiquées précédemment), elle doit s'exprimer aussi de manière qualitative.

1°exemple: La simulation S1 obtient de meilleurs résultats que la simulation S2, car les coûts financier et temporel de l'opération de S1 sont inférieurs à ceux de S2. Une analyse plus complète de S2 montre cependant, que la phase de prospection des ressources en eau est plus complète. La zone d'étude est davantage couverte par des profils de sondages géophysiques, des mesures piézométriques et des sondages carottages. La prospection des ressources a donc provoqué une augmentation des coûts et des temps de réalisation, mais pour nous, la simulation S2 sera meilleure que S1 car elle est davantage "porteuse de connaissances".

Ce ne sont pas les valeurs de résistivité des formations géologiques appartenant aux projets simulés qui nous intéressent puisque les problèmes de l'utilisateur concernent un site différent. La connaissance pertinente à analyser est celle qui permet de savoir si une opération de prospection géophysique se justifie dans un contexte hydrogéologique particulier, quelles sont les précautions à prendre pour interpréter les résultats, et quel est le nombre de mesures géophysiques à envisager.

2°exemple: La simulation S3 fournit de meilleurs résultats que l'expérience S4 vis-à-vis des objectifs du projet, mais le nombre et la nature des incidents qui se sont produits sont bien plus défavorables pour la simulation S4. Les incidents susceptibles de se produire sont déjà identifiés puisqu'ils sont introduits à l'avance dans le système de simulation. Ce n'est pas la répétition de leur apparition qui nous intéresse, elle est générée par un processus informatique.

La simulation S4 est davantage exploitable dans la mesure où le nombre d'aléas survenus est plus important. Deux types de connaissances sont à exploiter:

Le premier niveau de connaissances à exploiter est relatif à la nature des conséquences de ces aléas sur les résultats du projet, elles ne sont pas identiques pour chaque simulation. En effet, ce qu'il est important de déterminer, c'est le caractère rédhibitoire, irréversible ou insoluble de ces conséquences sur le déroulement du projet, en fonction des décisions déjà prises et de celles qu'il est prévu de prendre.

Le second type de connaissances à exploiter concerne le savoir—faire et l'habitude des experts participant à la simulation, pour résoudre ou prévoir les conséquences de ces aléas. Ce savoir—faire s'exprime d'autant mieux en présence d'utilisateurs apprenants et laisse sa propre trace. Ces connaissances ne sont pas spécifiques aux projets simulés et seront utilisés dans le système d'ingénierie pour des projets différents.

L'exploitation des simulations doit également porter sur l'ensemble des hypothèses de départ qui constituent les scénarios des projets simulés (scénarios de besoins en eau potable ou d'irrigation). Ces scénarios sont parfois différents pour un même projet, ils sont établis lorsque les données préliminaires sont insuffisantes pour en définir exactement la cible.

Le schéma de classement des simulations doit préparer leur utilisation dans le cadre d'un système d'ingénierie. Il s'agit plus d'un classement des éléments que contient chaque projet (tableau n° 3—17).

Même si le nombre de simulations était suffisant, il ne s'agirait pas de déterminer systématiquement la meilleure solution vis à vis des seuls critères quantitatifs coûts, temps, débit. Une analyse plus qualitative des simulations face à un projet réel permettra de déterminer l'information dont a besoin le décideur pour résoudre son problème. Elle le guidera vers un chemin décisionnel qui peut être une combinaison d'étapes ou de décisions pouvant appartenir à des simulations MISE différentes. La stratégie ainsi proposée, si elle n'est pas la meilleure sera au moins adaptée au problème de l'utilisateur du système d'ingénierie et à sa compétence, celle ci pouvant s'enrichir au fur et à mesure de l'utilisation du système.

tableau n°3—17:Adéquation projet simulé—projet réel.

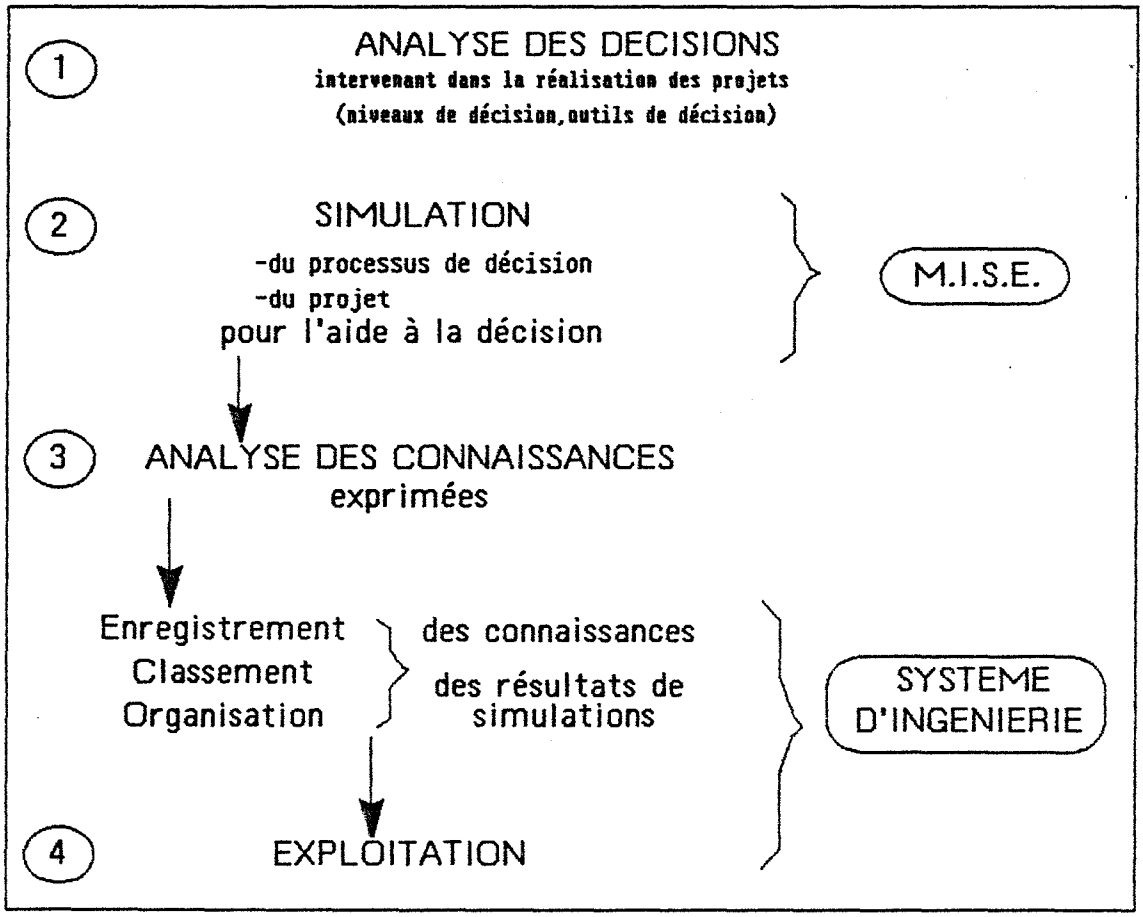
Simulations MISE: **Alimentation en Eau Potable (AEP)**	**Projet réel, système d'ingénierie** **AEP**
Hyde1 Hyde2 Hyde3.....Hydei	Bureau d'étude, collectivité locale
Profil des participants (experts, apprenants) Compétences	-profil de l'utilisateur ? -compétences ?
	.....Identification d'un utilisateur
Cible1 Cible2.....	.....Identification de la Cible du projet réel
Scénario Scénario..... SC1 SC2	
Hypothèses Hypothèses..... H1j H2k j=1à3 k=1à4	.....Identification des Hypothèses du projet H11, H23, ...
	.....Identification d'un scénario: SC.
Adéquation projets simulés-projet réel	
SI Ecart faible ou nul.....	**SELECTIONNER LES SIMULATIONS CORRESPONDANTES** **METHODE D'EVALUATION** **RESULTATS + INCERTITUDE**
SI Ecart trop important....	**STOP, autre simulation nécessaire**
SI Ecart admissible.....	**CONTINUER**
	-domaine d'expertise devant assister l'utilisateur?
Solution enchaînement de décisions S(d1m) Solution décisions S(d2m)	.....Identification de la phase d'expertise
règles de connaissance.....	.....Expertise technique
	-Identification de l'enchaînement des décisions à prendre: -Proposition de différents schémas par combinaison des différentes simulations.
Risques Risques Aléas Aléas nombre, nature,..... conséquences..... résolution.....	.....Identification des différents aléas et risques .....Identification des conséquences possibles .....Identification des actions à mener pour les resoudre
Résultats Résultats..... Coûts, temps débit, qualité, prix de l'eau	.....Proposition: -de devis avec variantes (Réponse à un appel d'offre) -d'une étude prévisionnelle.

Conclusion: Richesse et robustesse des connaissances.

Le système d'ingénierie que nous proposons n'est donc pas un programme d'optimisation. La "démarche optimale" consiste plutôt à déterminer l'ensemble des règles de connaissance stratégiques nécessaires à la réalisation des projets qui nous intéressent, dans des contextes technologiques, et réglementaires qui peuvent évoluer (figuren°3—8). Cela ne circonscrit pas a priori, le champ des solutions possibles.

figure n°3—8

DEMARCHE UTILISEE POUR LA CONCEPTION D'UN SYSTEME D'AIDE A LA DECISION



L'évaluation, la comparaison et le classement des résultats des sessions MISE doit permettre de déterminer les simulations pertinentes. Une simulation est pertinente si la connaissance que l'on peut en extraire est suffisamment représentative d'un des domaines d'expertise liés à la réalisation des projets d'aménagement en eau.

Les simulations les plus pertinentes ne sont pas obligatoirement celles qui donnent les coûts de projets les plus bas.

Les informations et les connaissances exploitées à partir des simulations pour le système d'ingénierie doivent être valables pour une gamme de projets et d'objectifs qui se complètera au fur et à mesure de son utilisation et parallèlement à d'autres expériences de simulation MISE. Les informations, les connaissances et les solutions que proposera ce système d'ingénierie doivent donc être suffisamment robustes pour s'adapter aux besoins des utilisateurs. Ses fonctions de conseil et d'aide à la décision ne sont pas destinées à imposer des choix définitifs de projets qui relèvent de toute façon du jugement de chaque décideur.

CHAPITRE 4: UTILISATEURS POTENTIELS D'UN SYSTEME D'INGENIERIE POUR LA REALISATION DE PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU.

Dans le domaine des projets d'aménagement en eau, même à l'échelle de ceux qui nous intéressent, fournir une aide à la décision par l'intermédiaire d'un système intelligent, pour les ingénieurs et les gestionnaires est certainement une tâche ambitieuse.

4.1.Influence des utilisateurs potentiels sur la conception de l'outil.

Les activités que suscitent ces projets sont de nature multi et interdisciplinaire, les problèmes purement techniques et scientifiques doivent intégrer des contraintes politiques ou économiques. Nous avons vu que de tels problèmes ne peuvent être résolus par un simple effort d'analyse des systèmes concernant ces projets, par un outil informatique trop structuré ou par un traitement mathématique trop rigide.

Ces approches formelles et classiques ne sont pas toujours applicables car les responsables concernés ne sont pas seulement des spécialistes expérimentés, ils peuvent appartenir à des bureaux d'études cherchant à étendre leur domaine de compétence ou à des collectivités locales (syndicats des eaux) qui doivent réaliser un projet d'aménagement en eau. Les décideurs doivent pouvoir s'identifier à travers les outils qui leur sont proposés, c'est—à—dire pouvoir s'exprimer en les employant. Cela justifie le développement de nouvelles méthodes de résolution de problèmes qui doivent être aussi des moyens de communication scientifique et d'information technique. La concrétisation sur le terrain des acquis à caractère scientifique et technico—économique grâce à un outil d'ingénierie n'est possible que s'il répond à une attente des utilisateurs et que s'il est compris par eux.

4.2.Nécessité d'une utilisation pratique.

Le développement de l'équipement micro—informatique des services administratifs de l'Etat, des collectivités locales, des bureaux d'étude jusqu'au niveau du particulier (agriculteur), est en mesure d'assurer à l'heure actuelle le support matériel qui est nécessaire à l'emploi d'un système d'ingénierie. Cette condition sine qua non n'est cependant pas suffisante, le système proposé doit répondre aux qualités suivantes: intelligence, convivialité, langage naturel, interfaces graphiques,...

Il doit être "intelligent" c'est—à—dire pouvoir utiliser une logique de raisonnement permettant d'expliquer à l'utilisateur quels sont les éléments qui l'ont amené à préconiser des actions ou des calculs, à effectuer ou à énoncer des résultats. Il doit être convivial c'est—à—dire agréable à utiliser en épargnant aux utilisateurs des procédures trop nombreuses. Il doit enfin, si possible, utiliser des interfaces qui lui permettent de s'exprimer en langage naturel ou par un graphisme compréhensible. Au risque de s'éloigner de la terminologie et des concepts de la pure informatique, les qualités d'un tel outil qui serait, avouons le, un peu idéal, sont celles que nous rechercherons.

L'intérêt de ce système, pour être réaliste, se pose en terme économique un peu abrupt: quels sont les clients potentiels? Ont—ils vraiment besoin d'un tel outil? En sont—ils demandeurs?

Si les utilisateurs d'un système d'aide à la décision sont des scientifiques, des "politiques" ou des techniciens, le système d'ingéniiere que nous proposons s'adresse particulièrement aux agents du secteur "industriel tertiaire" parmi lesquels on distinguera ceux qui sont des utilisateurs potentiels et ceux qui le seront à plus long terme.

4.3.Les utilisateurs à court terme.

Ce système ou procédé d'ingénierie est destiné aux petits bureaux d'études, aux ingénieurs conseils intervenant dans la conception et la réalisation des projets d'aménagement et d'équipement du territoire dont les objectifs sont l'alimentation en eau, l'irrigation, l'assainissement.

La première application de ce système se concrétisera par la réalisation d'un outil de réponse aux appels d'offres permettant à ces agents d'étendre leur domaine de compétence et de proposer des devis pour l'ensemble du projet: études et réalisation. Proposer un tel outil pour des structures d'études à petite échelle pourrait paraître sans intérêt. C'est pourquoi avant d'examiner plus en détail ce type d'utilisation, il est important de rappeler brièvement la place et le rôle de ces agents sur le marché des études. La croissance de ce secteur d'activité représente un phénomène social actuel. Les petits bureaux d'étude et les cabinets d'ingénieurs conseils sont de plus en plus nombreux, ce sont eux qui seront chargés de l'étude et éventuellement de la maîtrise d'oeuvre de petits projets d'aménagement en eau, sans empiéter sur les activités des grands bureaux d'études dont l'intervention n'est pas justifiée par l'intérêt financier des petits projets.

Le développement de ces projets dont nous avons présenté l'intérêt économique en début de cet ouvrage, n'est évidemment pas suffisant pour ne pas entretenir un contexte concurrentiel.

La réponse aux appels d'offre constitue une part importante de l'activité des bureaux d'études, aussi bien en temps qu'en investissement de matière grise. La situation de plus en plus concurrentielle du marché, contraint bureaux d'études et ingénieurs—conseils à établir des devis qui se veulent de plus en plus en complets et de plus en plus précis, dans des limites de coût et de temps réduites.

Cela les oblige également à étendre leur intervention au—delà des domaines de compétences pour lesquels ils sont spécialistes. L'investissement dans cette activité n'est pas systématiquement fructueux puisque rien ne garantit l'adjudication du marché. Mais ne nous méprenons pas, l'outil d'ingénierie qui leur est proposé n'est pas destiné à leur procurer tel ou tel contrat. Il les aidera à élaborer des réponses complètes et précises en leur amenant les connaissances nécessaires pour aborder un nouveau domaine d'expertise. En facilitant la laborieuse phase d'acquisition des données, il leur permettra de réaliser un gain de temps appréciable. Si leur réponse n'est pas retenue par les maîtres d'ouvrages, ce système leur permettra de conserver les informations acquises dans le but d'une utilisation ultérieure.

L'utilisation de ce système pour répondre à des projets concernant les pays en développement dépend bien sûr de l'adaptation du système MISE à ce type de projet. Ce thème est également intégré dans le plan de développement du système, compte tenu de l'importance du nombre des appels d'offres dans ce domaine.

4.4.Les utilisateurs potentiels à plus long terme.

Ces utilisateurs futurs sont les concepteurs de projet au niveau d'une collectivité locale (municipalité, syndicat des eaux) et au niveau des administrations de l'état (Agences de bassin, DDA, DDE). Ils peuvent être aussi des élus locaux responsables du développement de ces projets dans le but d'en évaluer les différents impacts.

Le système aurait alors un degré d'utilisation plus élevé, les simulations MISE s'effectuant en parallèle deviendraient assez nombreuses pour que le système d'ingénierie soit capable de déterminer des stratégies de réalisation intéressantes pour une gamme de projets plus importante. Il deviendrait également utilisable par des bureaux d'études plus importants.

En effet, l'utilisation de ce système se justifie par rapport à la politique de décentralisation qui, à l'heure actuelle, déplace les centres de décision à un niveau plus régional et plus local, ce qui n'est pas sans répercussions sur l'offre des services. Les projets pour lesquels serait utilisé le système concernent essentiellement le développement et la connexion des installations de distribution d'eau et d'assainissement déjà existantes à l'échelon intercommunal ou intersyndical, pour lesquels les décideurs ont besoin de schémas directeurs (prévisionnels) guidant leurs décisions.

—Difficultés d'adaptation.

Bien que ce système d'ingénierie assisté par ordinateur ne se substitue pas aux différents décideurs dont il utilise les connaissances ni à ses utilisateurs qui resteront maîtres de leur décision, l'application à long terme n'est pas sans soulever d'importants problèmes d'adaptation.

L'assistance par ordinateur que nous suggérons est—elle compatible avec le propre savoir—faire et la manière de travailler des responsables de projets? D'un point de vue théorique, on peut apporter une réponse positive puisque c'est à partir de ce savoir—faire qu'est bâti une partie du système (Graillot, 1986).

D'un point de vue pratique la réponse dépend trop du tempérament et des habitudes de chaque décideur.

4.5.Avantage commun à ces diverses utilisations : meilleure répartition de la sous—traitance, meilleure utilisation de la sphère d'activités liées à l'eau.

L'intérêt de ce système se justifie par la diversité des disciplines intervenant dans les projets d'aménagement en eau, puisqu'il n'existe pas de spécialiste dans tous les domaines mais plutôt dans chaque domaine.

Sans prétendre se substituer à un "expert en tout genre" totalement fictif, il est davantage destiné à inciter les responsables de projets à mieux utiliser la sphère des activités liées au domaine de l'eau. Par l'intermédiaire de ce système, l'utilisateur sera guidé dans l'organisation de son projet et en fonction de ses propres moyens, pour le choix des entreprises sous—traitantes, pour le choix d'experts auxquels des problèmes particuliers l'obligeront à se référer.

Ce système n'est donc pas destiné à éliminer les opérations de sous—traitance, il indiquera à l'utilisateur celles qui sont indispensables, celles qui sont obligatoires car relevant de la réglementation (hydrogéologue agréé). Ces indications seront argumentées par la description des avantages que peut offrir l'utilisation d'une technique plus pointue pour une tâche spécialisée (géophysique, détection des fuites sur un réseau), par rapport aux inconvénients relatifs aux coûts de la sous—traitance et à la moins bonne connaissance d'une des phases du projet puisqu'elle sera confiée à une entreprise ou à un bureau d'études spécialisé extérieurs.

Progressivement et s'il est utilisé, ce système permettra la coordination des différentes entreprises sous—traitantes à l'échelon local dans un premier temps. Il pourrait contribuer ainsi à une meilleure répartition des interventions sur le terrain en évitant la concentration abusive des marchés pour les entreprises les plus connues qui sont obligées d'intervenir trop rapidement, alors que d'autres restent sans travail.

4.6.Utilisation par les experts eux—mêmes.

Les connaissances intégrées dans ce système, sont déterminées en tenant compte de l'expérience d'un certain nombre de spécialistes. Un système à base de connaissance est en théorie conçu à partir de l'unanimité des spécialistes consultés sur les connaissances introduites. Autant dire tout de suite et sans s'attarder à expliquer pourquoi, que dans le domaine des projets d'aménagement en eau cela est impossible.

Les spécialistes eux—mêmes sont des utilisateurs potentiels du système. Ils peuvent, en effet l'utiliser pour acquérir des connaissances de base sur un site particulier. Ils peuvent aussi le consulter dans le but de tester les schémas de résolution qu'il propose ou, éventuellement, dans le but de mettre en échec le système.

Quelles que soient leurs conclusions, l'important est de prévoir l'utilisation constructive des critiques pour contrôler et corriger les connaissances utilisées et accroître ainsi leur pertinence.

4.7.Transfert d'expérience et d'informations.

Ce transfert intéresse les différentes catégories d'utilisateurs: les décideurs ou responsables des syndicats des eaux non spécialistes des projets d'aménagement en eau et les bureaux d'études qui ont encore intérêt à étendre leurs domaines de compétence. La consultation du système favorisera l'enrichissement de la banque de données de chaque utilisateur mais l'amènera aussi à se constituer son propre système de formation parallèlement à une utilisation professionelle.

L'utilisateur pourra ainsi développer sa propre structure cognitive pour pouvoir se préparer efficacement aux différents projets.

Cette communication et ce transfert d'information ne peuvent pas se développer sans la motivation des futurs utilisateurs à l'aide qui leur est proposée. La réalisation d'un outil d'ingénierie nécessite donc une phase pédagogique qui devient de plus en plus indissociable de l'aide à la décision.

A ce propos, dans les conclusions de cet ouvrage, nous insisterons sur l'intérêt de bânnir définitivement le fossé existant encore entre la pédagogie et l'aide à la décision, entre l'enseignement et la recherche.

Conclusion:

Une étude de marché plus approfondie montrerait probablement que les différents schémas d'utilisation proposés seraient incompatibles s'ils étaient envisagés simultanément. Par exemple l'utilisation du système par un syndicat des eaux lui permettrait d'éviter de faire appel à un maître d'oeuvre extérieur. Cela le placerait alors en tant que concurrent des bureaux d'études privés et des administrations encouragées par des honoraires.

L'utilisation envisageable par les entreprises de travaux publics désireuses de développer les études des travaux qu'elles réalisent les mettrait aussi en compétition avec les bureaux d'études.

Une planification rationnelle et progressive de l'utilisation de ce système est donc indispensable pour qu'elle puisse se concrétiser.

Dans le cadre de ce mémoire de thèse, c'est essentiellement l'application de ce système pour les bureaux d'études que nous développerons en considérant plus en détail leurs préoccupations pratiques. Cette application nous semble la plus réaliste à l'heure actuelle.

QUATRIEME PARTIE

Le premier chapitre décrit la manière dont le système MISE permet d'acquérir des connaissances exploitables pour le système d'ingénierie.. Leur nature montre qu'elles ne sont pas uniquement basées sur les résultats quantitatifs des expériences de simulation.

Le second chapitre montre que ces connaissances peuvent être traitées à l'aide des techniques utilisées par les systèmes experts qui existent déjà dans plusieurs domaines des sciences de la terre et de l'eau. L'utilisation de ces techniques dans le cadre du système d'ingénierie nécessite des adaptations particulières correspondant aux exigences de ce système pour l'aide à la décision.

L'organisation et la structuration des connaissances qui alimentent le système d'ingénierie sont exposées dans le troisième chapitre, qui situe aussi l'environnement informatique dans lequel doit s'utiliser le système.

Le quatrième chapitre étudie les différents schémas de valorisation et d'exploitation qui font partie de l'étude de faisabilité de ce système, et en expose les limites et les difficultés.

En conclusion, le cinqième chapitre décrit l'inconvénient que risquerait de constituer une informatisation excessive du système.

CHAPITRE1: DEVELOPPEMENT DU SYSTEME A PARTIR DE MISE.

Les trois fonctions de base du système d'ingénierie seront :

—fournir une information factuelle basée sur des données existantes ou hypothétiques d'origine statistique ou scientifique,

—assister l'utilisateur en élaborant des schémas de résolution de son problème à l'aide de connaissances opératoires,

—l'assister dans l'évaluation et la comparaison des différentes solutions qui lui sont proposées pour résoudre le projet.

Les décisons finales seront prises par l'utilisateur, l'ordinateur et l'outil qu'il contient ne feront qu'assister sa tâche.

Dans le cas des réponses aux appels d'offres, après avoir accèdé au système selon des modalités que nous définirons au chapitre 4 de cette partie, les utilisateurs introduiront un certain nombre d'informations élémentaires en répondant pour cela aux questions posées par la machine.

Il s'agit d'identifier l'utilisateur et le problème auquel il se trouve confronté. Les questions qui lui seront posées serviront à mobiliser les différents domaines d'expertise dont le système a besoin pour l'assister. Nous avons vu que ces renseignements étaient destinés éventuellement à diriger la recherche des solutions vers les résultats des simulations enregistrées.

Une fois ces informations initiales acquises, des informations complémentaires concernant le site géographique, les contraintes budgétaires permettront d'amorcer son fonctionnement. Ses déductions qui devront être corroborées et contrôlables par l'utilisateur au cours de la consultation, seront des états de faits ou des questions supplémentaires ou bien des actions à accomplir.

Le concept d'action a ici deux significations possibles:

—Elles peuvent générer des résultats qui sont indispensables au système pour qu'il puisse continuer à élaborer un plan de travail. Il peut s'agir de calculs, de simulations ou d'acquisition de données complémentaires. La consultation du système est alors momentanément suspendue.

—Elles peuvent aussi correspondre aux décisions à prendre, elles feront partie intégrante du planning remis au maître d'ouvrage.

En fin de session, un récapitulatif de la nature et des coûts des travaux ou des études à entreprendre synthétisera le travail du système d'ingénierie destiné à planifier les différentes tâches d'un projet d'aménagement en eau.

A partir de ce schéma peut—être un peu prématuré, comment le système que nous proposons permettra—t—il d'accéder au résultat?

C'est ce que nous exposerons jusqu'à la fin de cet ouvrage. Cet exposé débutera par la présentation des "méthodes classiques" d'acquisition de l'expertise telle qu'elle s'effectue encore à l'heure actuelle pour construire des outils que l'on appelle les systèmes experts.

1.1.—Le "piège à connaissances" classique.

Nous nous excusons auprès du lecteur pour ce paragraphe anecdotique, toutefois notre expérience personnelle en tant que consultant et consulté pour des projets d'aménagement en eau, nous amène aux constatations suivantes.

Supposons que l'on veuille formaliser les connaissances utilisées par l'hydrogéologue au cours d'une intervention dans un problème de ressources en eau. Nous avons montré la diversité de la nature des connaissances sur lesquelles s'appuient ses jugements, ses décisions, son conseil. La démarche classique peut—être menée de plusieurs manières.

Ce spécialiste que vous désirez rencontrer pour récupérer sa connaissance, est très occupé à sa tâche mais consent finalement à vous accorder un rendez—vous. Cela au bout d'un certain temps évidemment, puisqu'il ne s'agit pas de le localiser par échantillonage aléatoire dans un annuaire téléphonique ou plus subtilement dans celui du Guide de l'eau. Cet expert doit être de notoriété publique, il doit être représentatif. Il est intéressant de se demander alors de quoi devra être composé "l'interview". La technique consiste à priori, à l'assaillir de questions qui dans un premier temps, ne peuvent être que d'ordre général afin de laisser au spécialiste une marge de réponse suffisamment confortable pour qu'il puisse se sentir à l'aise et en confiance. C'est la raison pour laquelle, l'informaticien est parfois obligé de se transformer temporairement en psychologue.

Admettons que cette première étape de diplomatie soit franchie avec succès. De derrière son bureau, le spécialiste répondra avec courtoisie à vos questions, ses réponses correspondant évidemment à des questions qui ne sont pas prévues dans votre check—list. L'usage du magnétophone pouvant être taxée d'impolitesse, il vaut mieux être expérimenté en sténodactylo! Après environ une heure ou deux d'entretien, durant lequel il vous aura présenté les différentes techniques utilisées, le spécialiste vous invitera une ou deux semaines plus tard, sur un de ses chantiers en cours. Là, malgré l'encombrement des machines en train d'oeuvrer, il vous montrera l'affleurement pertinent, vous exposera les méthodes de prospection mises en oeuvre.

La visite du chantier et la visualisation des travaux suggèrent souvent des questions de coûts, car les choix techniques sont souvent guidés par les contraintes financières. Si vous avez pu arriver jusqu'à ce stade de la consultation, c'est que l'expert à bien compris que le but de votre démarche n'était pas destiné à lui extraire sa connaissance pour fabriquer un système prévu pour le remplacer. Maintenant que vous le connaissez mieux, si vous désirez analyser davantage son comportement individuel, ses raisonnements empiriques, sans étendre vos investigations au niveau personnel bien entendu, la difficulté de cette entreprise qui demande beaucoup de tact, vous obligera peut—être à lui faire dessiner quelque croquis que vous vous empresserez d'analyser une fois ce nouvel entretien terminé.

L'exploitation des éléments ainsi récupérés permet de constater que les connaissances acquises sont fréquemment rattachées à des conditions particulières. Il sera donc nécessaire d'effectuer une nouvelle consultation auprès d'un autre spécialiste pour vérifier et compléter ces connaissances, avec cette fois un schéma d'investigation plus approprié et avec des bases de connaissances sur le domaine en question favorisant la rentabilité de cet autre entretien. Vient ensuite, le difficile travail de représentation et de formalisation de ces connaissances dans un outil spécifique. L'ensemble de ce travail d'acquisition et de représentation des connaissances confère à celui qui en est chargé la fonction d'"ingénieur cogniticien ou cognitien". Nous pensons qu'il n'existe pas d'ingénieur de ce type mais plutôt un travail d'ingénierie cognitive qui doit être assuré d'une part par un spécialiste du domaine traité, acceptant une démarche obligatoirement basée sur des concepts informatiques, et d'autre part par un informaticien spécialisé dans les problèmes de représentation des connaissances et acceptant une démarche plus appliquée.

On peut donc s'interroger sur la validité et la pertinence des connaissances engrangées dans les systèmes dits experts selon la "méthode" que nous venons de présenter. Il est cependant reconnu que leur démarche représente une possibilité future pour la résolution de problèmes complexes et mal structurés, tels que les problèmes d'aménagement en eau (Kindler, 1986).

Même si elle ne provoque pas la mise en situation réelle du spécialiste face à des problèmes à résoudre, cette manière d'acquérir des connaissances, reste valable pour des domaines d'expertise bien délimité. On peut se demander alors si le concept de système expert s'impose et si un algorithme classique ne suffit pas pour résoudre le problème. Cette question est largement débattue à l'heure actuelle et nous ne prétendons pas y apporter ici la réponse. Cependant en matière d'acquisition des connaissances, les expériences de simulation MISE semblent constituer une autre méthode provoquant davantage la mise en situation réelle des spécialistes qui y participent. La simulation permet de préparer de manière plus "hypocrite" mais plus rationnelle, leur expression face à des apprenants avec lesquels ils travaillent pendant une semaine.

1.2.L'acquisition des connaissances grâce au système MISE.

Utilisation des incidents se produisant au cours d'une session

La connaissance de base introduite dans MISE, est en fait celle des coordonnateurs de chaque session de simulation. Elle est acquise par l'expérience personnelle et professionnelle au cours du suivi de différents projets d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement. Elle est aussi acquise, d'une manière identique à celle citée précédemment, auprès de divers spécialistes des administrations, des structures de syndicat ou des compagnies distributrices d'eau. Elle est en fait destinée à alimenter la structure du système de simulation, en tant que support de l'expression du savoir—faire des spécialistes qui participent aux sessions de simulation et qui sont différents à chaque expérience. Les aléas qui se produisent en cours de la simulation permettent de fixer leur savoir—faire. Nous avons vu que la validité d'une expérience de simulation réside dans l'accroissement d'informations et de connaissances qu'elle permet.

Les exemples de règles de connaissance qui suivent ne sont peut—être pas des plus pertinents. Leur formalisation dans le système d'ingénierie reste encore à faire. Elles ne sont présentées ici que pour montrer comment on peut les obtenir à partir des simulations MISE.

Sept exemples permettront de décrire le processus de "piégeage des connaissances" par l'intermédiaire des sessions de simulation MISE, et l'utilisation qui peut en être faite dans le système d'ingénierie.

En cours de simulation, les événements qui interviennent ont pour but de favoriser la mise en situation réelle de l'expert. Il doit y reconnaître la plupart des problèmes réels de terrain qui donneront à cette simulation assistée par ordinateur un cachet plus réaliste. Il est important que l'expert accepte de "jouer le jeu".

1.2.1.Connaissances sur les possibilités de financement du projet.

Evénement MISE: Nous sommes en période économique "défavorable" et les subventions sont réduites de 5%.

Réponse de l'utilisateur: le président du syndicat a des relations politiques au sein du conseil général

Sous étape MISE: 102 Demande de subventions

Enchaînement des décisions MISE: début de projet, première demande de subvention

Règle de connaissance introduite dans le système d'ingénierie:

Si les subventions sont difficiles à obtenir,

et vous n'avez pas de relations politiques

Alors elles sont réduites de 5%

Action à effectuer par le système: consulter le fichier des subventions accordées: (SRAE de la région, DDAF, Ministère de l'Agriculture).

Vraisemblance:

La vraisemblance des règles de connaissance à introduire, apparaît comme une notion importante, elle doit s'ajuster pour ce cas en fonction de l'actualité et des données disponibles. L'affectation d'un coefficient de vraisemblance n'est pas toujours possible, surtout si elle dépend d'autres règles de connaissance qu'il faudra faire alors intervenir.

La sélection d'autres connaissances peut appartenir à la conclusion d'une règle, cette dernière constitue alors, ce qu'on appellera une méta—règle. Ces méta—règles restent transparentes pour l'utilisateur, elles interviennent seulement dans la structure interne du système. Leur formalisation a pour avantage d'économiser l'exploration du graphe des connaissances en rendant activables celles qui sont indispensables et qui doivent être déclenchées. Cela a une influence sur la structuration de la base de connaissances et dépend de la nature du mécanisme destiné à interpréter et à exploiter ces règles par rapport aux faits et aux données introduits par l'utilisateur.

1.2.2.Connaissance sur la prospection géophysique

Evénement MISE: Le matériel ayant servi à faire les mesures que vous aviez demandées était mal réglé. De ce fait aucun résultat valable ne peut vous être fourni

Réponse de l'utilisateur: L'opération a été sous—traitée, elle n'entraîne qu'un surcoût financier pour le bureau d'études géophysique. Elle devra être recommencée mais oblige cependant à retarder la réalisation des sondages carottés prévus par la suite.

Sous étape MISE: 402 sondages électriques

Enchaînement des décisions MISE:

Il serait illogique que par la suite, les projeteurs effectuent eux—mêmes l'opération puisqu'ils ont besoin de la sous—traiter à moins qu'ils aient recours à un spécialiste qui suivra l'opération sur le terrain (sous—étape 405). Cette erreur intervient fort heureusement avant l'interprétation des résultats et avant les sondages d'étalonnage prévus (sous—étape 402).

Exemple de règle de connaissance à formaliser dans le système d'ingénierie:

Si les mesures géophysiques ont été mal effectuées,

et l'interprétation n'est pas encore réalisée,

et l'opération n'a pas été sous—traitée,

Alors les résultats ne sont pas interprétables.

Action à conseiller à l'utilisateur: Diagnostiquer les causes d'erreur, ne pas interpréter les résultats, ne pas exécuter de sondages carottages, recommencer l'opération.

Vraisemblance: Cette règle de connaissance est toujours vraie. Si sa valeur tautologique n'a que peu d'intérêt, la connaissance qu'elle recouvre se situe davantage au niveau des actions à mener et du diagnostic à effectuer.

Méta—règles: Activer les règles de connaissances relatives aux mesures geophysiques—option sondages électriques et aux diagnostics d'erreurs.

Information: Consulter la documentation concernant les différentes techniques de géophysique électrique.

Ce type d'information, de nature tout à fait documentaire, sera fournie à l'utilisateur s'il le souhaite.

Questions Les terrains prospectés contiennent ils des niveaux argileux ?

Recherche—t—on des discontinuités horizontales ou verticales ?

Quelle est la profondeur d'investigation ?

Quelle est la technique utilisée (dispositif Wenner, Schlumberger, sondage carré,...) ?

Quelle est la longueur de ligne AB utilisée ?

1.2.3.Connaissances concernant les difficultés de terrains.

Evénement MISE: L'accès au terrain est rendu difficile par certains paysans bornés et violents. Pour pouvoir effectuer le travail demandé, il vous faut faire appel au Maire pour qu'il ramène cette poignée de forcenés à la raison. Le coût temporel de votre action est majoré de 20%.

Réponse de l'utilisateur: Cet incident n'est pas justifié, le forage se trouve chez un exploitant adhérant à l'association, il se trouve en extrémité de parcelle près de la route.

Sous—étape MISE: 504 essais par pompage

Enchaînement des décisions MISE:

Après vérification des parcelles souscrites, du type de cultures qu'elles supportent et une visite sur le terrain (sous—étapes 201 et 204), le forage a été effectivement implanté de manière à ne pas entraîner ce genre de problème.

Règle de connaissance à introduire dans le système d'ingénierie:

Si l'implantation du forage est déterminée,

Alors la conclusion est dans ce cas l'action suivante:

Actions à conseiller à l'utilisateur: Vérifier si son emplacement se trouve sur une parcelle d'un adhérent de l'association syndicale d'agriculteurs.

Vraisemblance:La vérification de cet état de fait n'est pas obligatoire si l'on est assuré de la faisabilité de l'opération même sur une parcelle étrangère au syndicat. Cette règle a surtout valeur de conseil.

Information consultation du plan parcellaire, taux de dédommagement des récoltes

Questions L'emplacement du forage est—il sur une parcelle d'un adhérent du syndicat ?

Quelle est l'époque des essais par pompage ?

Où sera rejetée l'eau d'exhaure ?

1.2.4.Exemples de règles d'expertise technique pour l'exploitation des ressources en eau.

Evénement MISE: Vous êtes en train de calculer les débits circulant dans les canalisations de votre réseau mais la ressource en eau diminue car il y a de nombreuses venues de fines dans votre forage d'exploitation.

Réponse de l'utilisateur: Etant donnée la nature des terrains forés, cela est tout à fait possible (alluvions fluvio—glaciaires et substratum aquifère constitué de molasses Miocène), mais fort improbable car des précautions ont été prévues: la crépine (nervures repoussées, 2mm) et le massif de gravier qui l'entoure ont été convenablement dimensionnés. Des opérations de développement ont été effectuées.

Sous—étape MISE: 604 et 605 dimensionnement du réseau

Enchaînement des décisions MISE: A ce stade du projet, il peut y avoir remise en cause de la ressource ce qui nécessite un contrôle de l'équipement du forage. Si ces précautions n'avaient pas été prises, des opérations de développement auraient été nécessaires. Cet évènement peut conduire à l'abandon du forage ou au choix d'un autre site.

Règle de connaissance à introduire dans le système d'ingénierie:

Si la lithologie des terrains rencontrés montre la présence de niveaux sableux,

Alors un massif de gravier doit être placé au droit de la crépine,
et il doit être correctement dimensionné

Actions à intégrer au projet: Effectuer ou prévoir des opérations de développement à l'air comprimé, effectuer une analyse granulométrique des terrains

Actions à effectuer par le système: Calculer le dimensionnement de la colonne de graviers et de la crépine.

Vraisemblance: La vraisemblance de la proposition "la lithologie des terrains rencontrés montre la présence de niveaux sableux" sera établie par l'utilisateur (obsevation de terrain).

Méta—règles: Utiliser les règles relatives aux techniques de détermination des terrains, utiliser les règles relatives à l'utilisation des courbes granulométriques pour le dimensionnement du massif de graviers.

Information coûts des opérations de développement et des analyses granulométriques

Questions: une analyse des terrains a—t—elle été effectuée ?

résultats de l'analyse granulométrique des terrains ?

Evénement MISE: Pas de problème, aucun incident ne vient affecter votre décision

Sous—étape MISE: 504 essais par pompage

Réponse de l'utilisateur: Cette décision ne soulevant aucun problème, cela pourrait insinuer qu'aucune connaissance ne pourra se manifester. Au contraire, cela a visiblement permis au spécialiste chargé de la question de réaliser des économies en adoptant un procédé qu'il avait déjà eu l'occasion d'appliquer en réalité.

Les essais par pompage sont effectués dans le forage utilisé pour l'exhaure de l'eau potable de la commune voisine. Le forage en question se situe à proximité de la zone d'études. Toutes les précautions sont visiblement prises: accord du maire, plan d'eau accessible, existence d'un trop plein, dimensionnement des installations suffisant, existence d'un compteur. Les essais s'effectuent selon quatre paliers de débit de six heures.

Enchaînement des décisions MISE:

Cette décision intervient après que l'acquisition des données hydrogéologiques ait révélé la relative constance des caractéristiques des alluvions aquifères aux alentours de la zone où se trouve ce forage existant.

Exemple de règle de connaissance à formaliser dans le système d'ingénierie:

Si l'épaisseur des formations aquifères est homogène,
et il existe un forage d'eau existant à proximité
et l'accord des autorités concernées est obtenu,
et il existe un trop plein d'évacuation (plan d'eau) pour l'eau d'exhaure,
et le plan d'eau est accessible,
et il existe un compteur,
et le dimensionnement des installations est suffisant

Alors il est possible d'effectuer un essai par pompage dans le forage existant

Actions à intégrer au plan du projet:

Effectuer l'essai par pompage dont la durée doit être compatible avec l'utilisation actuelle du forage.

Vraisemblance: La vraisemblance de la première proposition dépend de la valeur des variables qui décrivent l'aquifère en plusieurs points du secteur d'étude. La forme de logique propositionnelle utilisée dans les exemples précédents se complique ici puisqu'interviennent des variables dont la valeur n'est pas connue a priori, cela orientera le choix du mécanisme d'exploitation de ces règles qui est un programme informatique.

Il est évident que les connaissances des différents domaines d'expertise comportent de nombreuses variables de description du système physique (paramètres hydrogéologiques, agropédologiques) et du système économique (coûts). La valeur que prendront ces variables pour chaque consultation du système, influencera la valeur de vérité des propositions qui les contiennent.

Méta—règles: Utiliser les règles relatives aux procédures d'essais par pompage

Information: Exemplaire de compte rendu d'essai par pompage

Questions: Distance moyenne du lieu de pompage par rapport au site d'étude ?

Le nombre important de conditions, appelées aussi prémisses, attachées à cette règle montre que la conclusion qu'elle entraîne reste très spécifique à une certaine situation, ces conditions convergent vers une conclusion unique. Les règles qui divergent vers trop de conclusions (du type si A alors B ou C ou D) nécessitent une écriture décomposée (de la forme : si A alors B, si A alors C, si A alors D, ...etc). Lorsque chacune de ces conclusions devient à son tour une prémisse qui entraîne, par l'intermédiaire d'autres règles (et d'autres prémisses), plusieurs autres conclusions, cela peut provoquer une exploration incontrôlée par le mécanisme d'exploitation des règles, de l'arbre des connaissances ainsi constitué (explosion combinatoire).

1.2.5. Exemples de règles d'expertise technique pour la distribution d'eau d'irrigation par réseau de canalisations sous pression.

Evénement MISE: Si votre réseau n'est pas neuf, il accuse des pertes d'eau sur une canalisation qui sont de 6m3/jour/km de réseau.

Réponse de l'utilisateur: Notre réseau est neuf et équipé de compteurs qui permettent de localiser les fuites, d'autre part aucun incident n'est apparu à sa mise en place.

Sous—étape MISE: 701 Maintenance des installations de distribution

Enchaînement des décisions MISE: Le projet en est au—delà de l'installation du réseau et donc à un stade très avancé, la seule manière de s'en sortir est de raisonner par rapport à la nature du réseau.

Face à cette situation, il est évident que les projeteurs peuvent en quelque sorte "tricher" en refusant l'incident. En effet, les événements ne sont pas de nature rédhibitoire tant qu'ils n'affectent pas les décisions antérieures qui sont irréversibles. Ces événements incitent par contre les concepteurs du projet à préciser la nature de ces décisions sans les modifier.

Dans cet exemple, leur révision n'est pas possible à un stade aussi avancé du projet. Les décisions qui permettent de résoudre ce problème peuvent guider la suite du projet.

Exemple de règle de connaissance à formaliser dans le système d'ingénierie:

Si l'installation de distribution comporte des anciennes canalisations,

Alors les pertes dans ces canalisations peuvent atteindre 6m3/j/km de réseau

Actions conseillées à l'utilisateur: Installer des compteurs à chaque borne,

Calculer le rendement du réseau.

Ces actions peuvent donc comporter des interventions qui feront partie intégrante du compte—rendu remis à l'utilisateur. Mais elles peuvent comporter des actions à déclencher par le système lui—même pour accéder, par exemple, à une donnée contenue dans un fichier informatique. Ici, au regard du problème de fuites qui se pose à l'utilisateur, le système l'orientera vers la technique de détection qui semble la plus appropriée. L'accès direct à des bases de données influe donc sur l'environnement informatique nécessaire à ce système d'ingénierie. L'utilisation du système MISE comportait, pour des raisons pédagogiques, la lecture de fichiers répartis dans une banque de données. L'utilisateur du système d'ingénierie doit pouvoir avoir accès directement à l'information qui l'intéresse et ne subir, par exemple, la présentation du matériel existant, que s'il le désire.

Méta—règles: Utiliser les règles concernant la détection des fuites

Informations: Dans les anciens réseaux les fuites peuvent atteindre 14 à 22 m3/j/km.

Consulter le fichier des appareils de détection (acoustique, ultrasons, traceur radioactif, injection de gaz non toxique), celui des sociétés spécialisées et celui des coûts.

Le système devra donc gérer plusieurs données se situant dans différents fichiers pour associer à une situation (choix de la technique de détection) différents objets (matériel, société sous—traitante, coûts).

Questions: Avez vous installé un débitmètre en tête du réseau ?

Nature des fuites sur votre réseau ?

Evénement MISE: Si le tracé du réseau coupe la route nationale, les autorités ne vous laisserons pas interrompre la circulation.

Réponse de l'utilisateur: Effectivement le tracé coupe une route indiquée comme route nationale sur le plan cadastral. La vérification de ce fait montre qu'actuellement cette route a été déclassée en route départementale. Le plan cadastral utilisé n'est donc pas actualisé. Cela évitera de procéder à un forage horizontal sous la route.

Sous—étape MISE: 603 tracé du réseau

Enchaînement des décisions MISE:

Cet évènement se produit avant d'avoir calculé le réseau (606), étape à laquelle il aurait pu également se produire.

Dans le cas où la route est infranchissable par tranchée et si un forage horizontal représente une dépense trop élévée dans le budget du projet, le tracé de ce réseau doit être rectifié.

Exemple de règle de connaissance à formaliser dans le système d'ingénierie:

Si Le tracé du réseau recoupe une route nationale
et les trois quarts des canalisations ont été installées

Alors un sondage horizontal est nécessaire

Vraisemblance: On remarquera que la vraisemblance de la proposition " le tracé du réseau recoupe une route nationale" dépend de l'existence de la route nationale et du tracé de réseau déjà installé. Cela montre qu'il faut non seulement prendre en compte la validité des raisonnements utilisés mais aussi celle des faits réels. Cette proposition étant soit vraie soit fausse au moment des travaux, un coefficient de vraisemblance sur ce fait pourrait être significatif d'une certaine ignorance mais ne servirait à rien. Cette information doit être vérifiée soit par l'utilisateur, soit par le système.

Actions à exécuter par le système: Il s'agira d'étudier d'autres tracés de réseau, de contrôler le plan de bornage, de déclencher les procédures d'exécution des programmes de visualisation graphique et de calcul, d'utiliser les programmes d'optimisation technico—économique pour déterminer le tracé de côut minimal permettant de ne pas avoir à franchir la route nationale, si cela est toutefois possible. Il s'agira enfin de calculer les surcoûts liés au nouveau tracé.

Méta—règles: Utiliser les règles relatives au tracé et aux calculs de réseaux

Information: Le coût d'un forage horizontal est élevé et dépend des plus—values dues à la nature du terrain (de l'ordre de 1kf/mètre).

Questions: Quelle est la nature du terrain ?

Quelles sont les éventuelles modifications du tracé du réseau ?

Cette règle entraîne la mise en oeuvre d'un enchaînement important d'autres règles. Pour une application destinée à la réponse à un appel d'offre, il ne s'agit pas de mettre en oeuvre l'ensemble de toutes les actions à effectuer par le système, à moins que l'utilisateur ne le désire. Le temps d'exécution des programmmes et l'acquisition indispensable du plan de situation nécessiterait une déconnexion de l'utilisateur en cours de consultation.

Ces quelques règles, qui doivent être mieux formalisées pour qu'elles soient exploitables dans le système d'ingénierie, ne sont pas complètes et ne font pas ressortir ici la spécificité d'un projet d'irrigation. Elles concernent essentiellement les décisions tactiques d'un projet d'aménagement en eau, leur enchaînement avec celles que nous avons pu énoncer en examinant le déroulement des sessions de simulation (III°partie, chapitre 2) constituerait un ensemble plus approprié à des décisions plus globales. Celles que nous avons présentées ici permettent d'entrevoir les exigences structurelles du système qui serait destiné à les exploiter.

La structure de la base de connaissances qui regroupe ces règles dépend davantage de l'écriture de leur enchaînement logique.

La pertinence de ces diverses règles en matière d'aide à la décision n'est peut—être pas optimale car la vocation pédagogique des premières simulations MISE influe certainement sur leur nature. Des améliorations du système de simulation sont prévues pour accroître la pertinence de ces connaissances en y faisant participer davantage de spécialistes et en leur posant davantage de problèmes techniques. Leur intervention plus ponctuelle au cours des simulations pourrait s'intégrer à leur charge d'enseignement. L'autre amélioration possible viserait une meilleure interactivité du système et la prise en compte par la machine des réactions des utilisateurs (seuls les messages présentés en caractères italiques ci dessus, sont inscrits sur l'écran). Les réponses des utilisateurs font l'objet de négociations avec le coordinateur de la session de simulation.

Ces événements aléatoires guident donc le parcours du projet simulé dans le graphe des décisions possibles. Ils sont indispensables, car c'est l'expérience et le savoir—faire des spécialistes face à ces événements qui soulignent l'importance des décisions qui sont déjà prises, en cours ou prévues.

Mais les connaissances que l'on peut retirer des expériences de simulation sont également issues des comptes-rendus de simulation laissés par chaque groupe utilisateur et acquises au cours de la dernière journée d'évaluation. Les cartes dressées par les spécialistes pour la prospection des ressources, le tracé des réseaux, les plans de financement de chaque projet, sont révélateurs d'un certain savoir—faire. Le choix du type de matériel pour chaque projet, parmi la documentation disponible dans les banques de données, permet de repérer celui qui est le plus fréquemment utilisé et de le sélectionner dans le système d'ingénierie. De même la répétition des expériences de simulation permet de se constituer un carnet d'adresses concernant les entreprises sous—traitantes, dans les régions Loire et Rhône—Alpes pour l'instant, et d'actualiser les coûts de matériel et de sous—traitance.

1.3.Comment représenter l'ensemble de cette information?

La difficulté principale pour utiliser tous ces éléments dans un système d'aide à la décision consiste à trouver un formalisme de représentation qui en autorise l'exploitation.

La représentation de ces éléments de connaissance sous forme d'enchaînement de règles passe d'abord par l'organisation des objets décrits par MISE. La structure de ce dernier facilite leur description, en les regroupant par classes d'appartenance (domaines d'expertises ou types de projets), en individualisant leurs caractéristiques ainsi que les relations qui les relient les uns aux autres. L'utilisation de ces techniques s'intègre au travail présenté dans cette thèse, elles sont employées pour d'autres applications des sciences de la terre et de l'eau où se construisent déjà des systèmes experts, domaine particulier de ce qu'on appelle "intelligence artificielle".

La conception d'un outil à l'aide de ces techniques nous amène cependant, dans le cadre d'une étude de faisabilité, à entrevoir un schéma général de structuration et de traitement des connaissances telles que nous voulons les exploiter, en analysant la démarche des sytèmes experts pour une application moins limitée que celle dont ils font habituellement l'objet.

Conclusion.

Le système d'ingénierie que nous proposons se distingue des sytèmes experts existants dans la mesure où il requiert un plus haut degré de souplesse dans la représentation des connaissances liées aux divers projets qui nous préoccupent. Une approche pluraliste combinant modèles descriptifs, de prévision, de simulation et d'optimisation ou de calcul avec raisonnement d'expert est nécessaire. Il s'agit de constituer un système d'information doté de capacités de communication favorisant son utilisation.

CHAPITRE 2: OUTILS ACTUELS DE REPRESENTATION ET DE TRAITEMENT DES CONNAISSANCES.

La démarche que nous adopterons pour développer le système d'ingénierie présente des points communs avec celle utilisée pour construire des systèmes experts. L'analyse de quelques uns de ces systèmes appliqués aux sciences de la terre et de l'eau nécessite leur courte présentation.

Le développement de l'informatique dans le domaine des recherches hydrologiques et de celui des outils scientifiques de la décision, a permis la réalisation de nombreux modèles. Les systèmes experts sont d'autres programmes manipulant des informations qui ne sont plus seulement des données numériques mais qui décrivent aussi des processus de raisonnement sensés représenter la démarche d'un spécialiste dans son domaine d'expertise.

2.1.Présentation des systèmes à base de connaissance (systèmes experts).

Ces systèmes sont des logiciels destinés à assister leur utilisateur dans des domaines où est reconnue une certaine expertise en la structurant dans un modèle de travail précis. Il existe de tels systèmes pour des applications pédagogiques et d'autres s'adressant davantage aux spécialistes. Ce sont les outils professionnels auxquels nous nous intéresserons.

2.1.1.La "mode" des systèmes experts.

Il est à l'heure actuelle difficile de se démarquer de la "mode" des systèmes experts sans plonger dans les débats qui alimentent la littérature abondante à ce sujet et qui animent les nombreux colloques sur ce thème. L'observation du fonctionnement de ces systèmes qui, en général, concernent un domaine d'expertise limité, ne doit pas nous faire oublier que le but que nous visons est leur utilisation éventuelle dans un système "multi-expertise" intégrant les avantages de la simulation. En effet comme tous les phénomènes excessifs, le développement des systèmes experts risque d'être éphémère si l'on ne tente pas de coordonner quelque peu leur utilisation. Même si cette entreprise que l'on pourrait qualifier de prétentieuse ne nous intéresse qu'à l'échelle des projets d'aménagement en eau, il n'est pas du tout dans notre intention de construire un autre système venant s'ajouter à la panoplie surabondante de ces outils.

Il nous paraît plus opportun d'intégrer la démarche dans un environnement d'expertise, en envisageant l'emploi des outils qui nous paraissent les plus propices à une utilisation opérationnelle par les décideurs.

L'innovation qui pourrait résulter de notre travail consiste dans la mise en valeur de l'acquis dans ce domaine.

2.1.2.Pour quels types de problèmes sont—ils utilisés.

Les systèmes experts reproduisent une démarche comparable à celle d'un spécialiste lorsqu'il résoud un problème relevant de sa discipline (Ganascia, 1985). Ils sont en général utilisés pour des problèmes mal posés et complexes pour lesquels il n'existe pas de méthode de résolution certaine telle qu'un algorithme. Ils mettent en oeuvre des raisonnements heuristiques qui permettent d'obtenir des résultats acceptables dans une proportion suffisante de cas.

Leur utilisation pour des champs d'expertise rigoureusement limités soulève cependant un problème dans notre cas, puisque les problèmes d'aménagement en eau sont complexes en raison de l'étendue des domaines d'expertise qu'ils impliquent.

2.1.3. Une définition encore vague:

Il n'existe pas de définition ni de méthodologie de conception universellement admise, c'est un outil supplémentaire pour l'expert, il doit l'assister en rendant plus efficace son intervention et s'intègre dans le cadre des autres outils disponibles (Pitrat, 1985), il doit assister également les utilisateurs qui ne sont pas des spécialistes. Pour les projets d'aménagement en eau, c'est un outil qui pourrait assister les décideurs dans des activités où l'étendue des domaines d'expertise rend difficile la synthèse. A l'heure actuelle et à notre connaissance, il n'existe pas de tel système permettant d'assister les professionnels chargés de la conduite des projets d'aménagement en eau.

— L'approche du raisonnement de l'expert peut s'effectuer par l'analyse de ses décisions.

La modèlisation de la connaissance ne doit pas être un but mais un moyen, elle doit permettre de confronter et d'améliorer l'expertise en prenant en compte diverses catégories de raisonnements à partir de connaissances qui sont vraies ou fausses, incertaines et/ou imprécises, incomplètes ou bien qui évoluent (Chouraqui, 1985). S'il faut pour cela observer l'intégralité du raisonnement des spécialistes, cela doit être effectué dans le cadre d'un processus de décision tel que nous l'avons présenté en première partie de cet ouvrage. Le raisonnement des experts se caractérise par l'élaboration d'hypothèses, l'enchaînement entre les buts et les moyens, la déduction, l'évaluation des contradictions (arbitrage) et la décision. Les expériences de simulation MISE montrent que les connaissances mises en jeu au début du processus de décision ne sont pas inexactes mais globales; avant de passer à l'action, elles se précisent et deviennent plus exactes.

—différents types de systèmes experts.

Il n'existe pas de typologie systématique pour classer les problèmes en fonction de leur complexité. Si l'on envisage les applications concernant notre domaine, on distingue des systèmes experts orientés vers des activités de diagnostic (détermination de la géologie du sous—sol), les connaissances et les situations peuvent y être décrites à l'aide de propositions. D'autres systèmes de diagnostic sont plus compliqués car ils font intervenir des équations et des variables dans les connaissances (problème de pollution, disfonctionnement d'un réseau de distribution d'eau ou d'assainissement). Le systèmes les plus compliqués sont ceux conçus pour la planification de tâches, caractérisés par l'évolution de l'environnement dans lequel ils interviennent (pilotage de projet). C'est donc à ce dernier type que s'apparenterait le système d'ingénierie que nous proposons, tout en intégrant les types définis précédemment.

2.1.4. Structure interne d'un système expert.

L'organisation générale des systèmes experts découle de leurs caractéristiques fonctionnelles. Alors qu'un programme informatique classique (c'est à dire basé sur un algorithme) intègre dans la même entité les outils de résolution d'un problème et les variables qui le décrivent, les systèmes experts distinguent les connaissances des outils qui sont chargés de les interpréter (Robert, Shannon, Mayer, 1985). Ils sont ainsi constitués d'une part, d'une base de connaissances et d'une base de faits et d'autre part, d'un mécanisme d'interprétation de ces connaissances (moteur d'inférences).

—Base de faits:

Un fait est une affirmation, une certitude de l'expert ou de l'utilisateur du système, c'est une proposition qui est vraie en logique mathématique.

exemple: l'hydrogéologie est une science.

La base de faits est destinée à enregister les informations des utilisateurs qui consultent le système. Ces informations sont introduites spontanément ou à la suite de questions posées par le système à l'aide d'un langage qui doit se rapprocher du langage naturel. La validité de ces faits peut être pondérée. La base de faits évolue en cours d'utilisation puisque tous les nouveaux faits déduits par le système y sont intégrés.

—Base de connaissances.

La base de connaissances enregistre le savoir des experts du domaine en question. Ce savoir doit être représenté selon un formalisme adapté à la nature de l'expertise. Cette connaissance n'est pas forcément accessible à un ordinateur qui ne sait manipuler que des symboles abstraits dont il ignore le sens. Les systèmes experts "raisonnent" sur des aspects ponctuels de la réalité à l'aide d'un jeu de symboles réduit et de mécanismes qui combinent ces symboles, eux—mêmes structurés par des relations.

Il est nécessaire de bien structurer la base de connaissances en fonction de la complexite du problème à traiter.

Il existe plusieurs techniques de représentation de ces connaissances qui font l'objet de travaux en mathématiques et en informatique. On peut distinguer des formalismes logiques et des techniques plus typiquement informatiques.

Eléments de vocabulaire spécifique:

Formalismes logiques:

-Les règles de production (si P1 & P2 & Pn alors Q1 & Q2 & Qn) sont des structures logiques qui permettent d'exprimer un raisonnement.

-La logique des propositions n'admet pas de variables, les propositions sont de simples chaînes de caractères que l'on peut combiner entre elles par des connecteurs logiques (non, et, ou)

Un moteur d'inférences d'ordre 0 est un moteur qui fonctionne exclusivement en logique des propositions.

Un moteur d'ordre 0+ est un moteur admettant des variables mais qui ont obligatoirement une valeur au moment de l'inférence (ont dit alors qu'elles sont instanciées), elle ne peuvent demeurer des inconnues.

-Un prédicat permet d'exprimer de façon logique une proposition contenue soit dans les prémisses , soit dans les conclusions d'une règle de production.

Exemple: RESS(Eau souterraine,Côte St.André) signifie que les ressources en eau à La Côte-Saint-André sont souterraines. Prédicat : RESS(type,site).

Exemple: EPAIS(Z1-Z2,XX/YY) signifie que l'épaisseur de l'aquifère varie entre Z1 et Z2 au point de coordonnées XX et YY.

-La logique des prédicats admet des quantificateurs et des variables (logique du premier ordre).

-La logique des prédicats est l'un des sytèmes de représentation des connaissances les plus connus et pratiqués

Un moteur d'ordre 1 est un moteur qui fonctionne en logique du premier ordre. Dans un tel moteur les variables sont dites instanciées lorsqu'elles prennent une valeur sinon elles restent des inconnues

-Les logiques non monotones sont un moyen de représenter les raisonnement en présence de connaissances évolutives. Une vérité établiee peut être remise en cause par l'apparition de faits nouveaux.

Techniques quantitatives:

-La logique floue contrairement à la logique binaire ou booléenne admet des valeurs de vérité des propositions comprises entre 0 et 1. Cette notion est liée à celle de probabilité

Techniques informatiques:

-Les réseaux sémantiques permettent de gérer des relations entre objets hiérarchisés. Un réseau sémantique est un graphe dont les noeuds représentent les entités du système étudié, les arcs représentent les relations intervenant entre ces entités.

Dans les systèmes experts que nous présenterons, les connaissances sont généralement représentées par des règles de production.

Les règles logiques qui représentent le raisonnement des spécialistes sont des connaissances "dynamiques" par rapport aux faits qui sont des connaissances dites "statiques".

Ce formalisme de représentation permet de prendre en compte les connaissances empiriques des experts, c'est—à—dire celles qui sont issues de l'expérience et constituées plus ou moins de réflexes et d'intuition mais définissant justement l'expertise. Elles ne peuvent être traitées dans le cadre de la programmation classique puisque ce sont des données essentiellement qualitatives.

Dans certains systèmes (Lefevre, Granier, 1985), une première base de règles littérales est constituée, les règles que nous avons établies à l'occasion de la description des simulations MISE sont de ce type. A partir de cette première base de règles, un algorithme peut intervenir pour en extraire des règles qui seront exploitables au moment du raisonnement. Cela permet de les simplifier, de vérifier leur cohérence et de choisir celles qui sont pertinentes.

Une règle est une structure logique du type:

```
Si
    <hypothèse 1>
    <hypothèse 2>
    .............
    <hypothèse n>
Alors
    <conclusion 1>
    <conclusion 2>
    .............
    <conclusion p>
```

Une règle indique les conséquences à tirer d'une situation donnée. Les hypothèses et les conclusions sont des propositions logiques, certaines peuvent appartenir à la base de faits.

Quel que soit le formalisme de représentation choisi, les connaissances sont représentées sous forme déclarative et sont isolées de la partie procédurale active, qui constitue le moteur d'inférences. Celui—ci procède à l'interprétation des règles.

—Vraisemblance et incertitude des connaissances:

Les logiques des prédicats et des propositions dont le formalisme suppose des raisonnements absolument rigoureux, sont des logiques catégoriques ne distinguant que deux valeurs de vérité : le vrai et le faux.

Les règles introduites dans un système expert sont sensées tenir compte de l'avis unanime de tous les meilleurs experts, ce qui n'est pas toujours acccessible, en particulièr dans le domaine des projets d'aménagement en eau. Pour ces projets, nous avons vu qu'il existait suffisamment de contraintes, d'incertitudes, de risques et même d'ignorance pour que la seule prise en compte d'informations vraies ou fausses, soit tout à fait insuffisante. D'autres logiques permettent d'accorder un degré de confiance aux règles de connaissance retenues.

Cette pondération guidée par l'expérience doit pouvoir s'ajuster en fonction des situations et en cours d'utilisation du système.

Les données et les événements qui interviennent dans ces projets sont souvent des faits imprécis. Les considérer comme de simples assertions ne serait pas réaliste. Ils doivent donc être également pondérés par l'utilisateur.

Une technique qui est plus ou moins satisfaisante, consiste à appliquer sur les règles et sur les faits des coefficients de vraisemblance pondérant leur validité. Il existe plusieurs algèbres permettant de combiner ces coefficients lorsqu'ils doivent accompagner des faits déduits. Le développement mathématique de ce problème est proche de la théorie des probabilités (Gallaire, 1985), mais aucun consensus sur le mécanisme de pondération de ces règles n'a été proposé. Quelle que soit la logique retenue, ces coefficients doivent être ajustés au cours du test du système avant qu'ils puissent être utilisés.

—Module d'acquisition et de transfert d'expertise.

Si les spécialistes du domaine d'expertise faisant l'objet du système acceptent de suivre une formation en intelligence artificielle, il est raisonnable de penser qu'ils pourront introduire, ajouter et modifier eux—mêmes les connaissances dans le système. Dans le cas contraire, nous avons montré qu'il nous paraissait difficile d'appliquer les techniques de la maïeutique qui consistent à faire découvrir au spécialiste, par une série de questions, les connaissances qu'il possède.

Une fois l'expertise acquise auprès du spécialiste, son transfert comprend en général plusieurs étapes qui dépendent du domaine en question:

—identification du vocabulaire spécifique,
—détermination des relations entre les différents termes,
—identification des structures logiques (règles,..),
—vérification de la notion de vraisemblance,
—test auprès de l'expert (validation).

Cette partie du travail est importante car les performances des systèmes experts dépendent de la qualité des connaissances qui y sont introduites.

Le contrôle de l'acquisition et du transfert d'expertise en continu est également primordial car les connaissances évoluent et sont constamment modifiées. Ce module est chargé d'assurer leur cohérence et doit déceler les redondances et les contradictions qui risquent d'apparaître dans la base de connaissances.

—Définition et utilisation d'un langage pour transcrire la connaissance des experts.

Le traitement symbolique des connaissances, impose la définition d'un langage permettant à l'expert d'écrire les règles de production. Certains langages spécifiques à ce type de système permettent à l'expert de s'exprimer avec plus ou moins d'aisance. Pour que ce dernier puisse écrire, corriger et mettre au point les règles sans avoir recours à un informaticien spécialisé dans ces langages, il faudrait un formalisme qui reste totalement transparent, ce qui demeure un problème important.

—Module d'interprétation des règles (figure n°4—1).

C'est ce qu'on appelle le moteur d'inférences, il a pour mission d'appliquer ces règles en les combinant pour fournir une réponse cohérente à un problème donné. Il reproduit partiellement les mécanismes supposés du raisonnement du spécialiste en opérant des inférences logiques, c'est—à—dire des déductions et des inductions. Les modes de résolution les plus courants sont:

Le chaînage avant (résolution ascendante ou dirigée par les données) :

A partir des hypothèses, le programme produit continuellement de nouvelles assertions, jusqu'à ce que soit atteint le but recherché.

Soit une règle: (R1) "Si P, alors Q", où P et Q sont des propositions; supposons que la proposition P soit dans la base de faits, la proposition P est vraie. Le chaînage avant consiste, connaissant ce fait P, a activer la règle (R1) et à rajouter la proposition Q dans le base de faits. Puis, si Q est la prémisse d'une règle: (R2) "si Q, alors L", à y rajouter L,...etc.

Cette méthode est utilisée dans les systèmes où toutes les solutions doivent être envisagées. Cependant la structure arborescente engendrée par les règles peut être infinie et il risque de se produire le phénomène dit d'explosion combinatoire. Les structures de contrôle doivent pouvoir détecter les phénomènes de bouclage provoqués par des règles du type:

si il pleut, la rivière est en crue

si la rivière est en crue, il pleut

Le chaînage arrière (résolution descendante ou dirigée par les buts) :

Ce mode de résolution part du but à atteindre pour descendre continuellement jusqu'au sous—buts résolus directement par des assertions initiales. Elle permet une résolution plus directe que le chaînage avant, sans risque d'explosion combinatoire, mais elle est beaucoup moins productive.

Soit une proposition P dont on désire savoir si elle est vraie ou fausse, deux cas se présentent:

-si elle est dans la base de faits, elle est vraie.

-sinon, le système va chercher sa valeur de vérité et activer les règles dont la conclusion est P. Par exemple, si la base de règles contient la règle: (R1) " si M et N, alors P"; on peut en déduire que si M et N sont dans la base de faits, P est vraie. Si M et N ne sont pas dans la base de faits, le moteur d'inférences cherchera de nouvelles règles contenant M et N en conclusion et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ait prouvé que P soit vraie ou fausse.

Une des caractéristiques importante des systèmes à chaînage arrière est de pouvoir expliquer le travail qu'ils accomplissent en justifiant les déductions des règles pour que l'utilisateur puisse rester maître de l'outil et éviter que l'inverse ne se produise.

Il doit pouvoir être capable de répondre à des questions de l'utilisateur:

—Pourquoi tel résultat a—t—il été obtenu ?

—Pourquoi telle règle a—t—elle été déclenchée ?

En théorie, un interpréteur de règles devrait pouvoir fonctionner sur n'importe quelle base de connaissances et inversement, une base de connaissances devrait pouvoir être manipulée par divers moteurs d'inférences. Mais en pratique, le choix du moteur dépend du type d'application.

Un système expert est organisé autour d'un moteur d'inférences exploitant une collection séparée et évolutive de connaissances factuelles et opératoires pour la résolution de problèmes dans un domaine spécifique d'expertise.

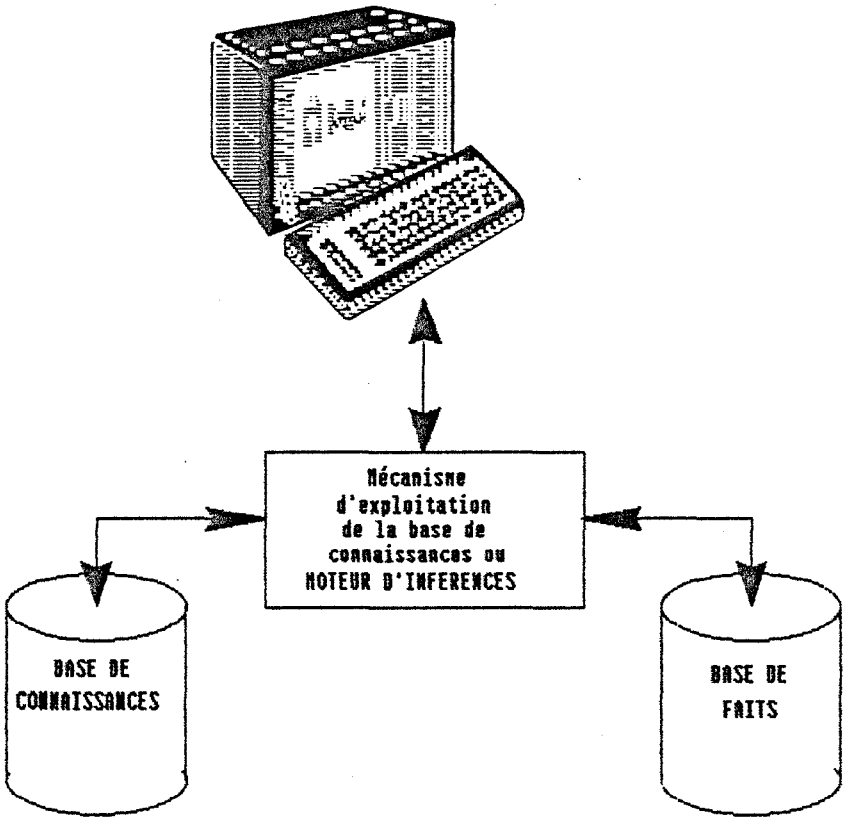


figure n°4—1

Dans le domaine des ressources naturelles, les systèmes experts les mieux connus ont été développés pour la prospection pétrolière et d'autres techniques d'investigation géologiques, dans le but de suppléer à la rareté des spécialistes hautement qualifiés. Une utilisation rationnelle et développée de ces outils est sensée permettre de réaliser un gain de temps et d'amortir rapidement leur coût d'élaboration.

2.2.Analyse de quelques systèmes experts en sciences de la terre et de l'eau.

Les observations rapportées dans les commentaires suivants et destinées à montrer l'utilité et le fonctionnement de ces outils, sont essentiellement basées sur des données bibliographiques et des conversations avec les concepteurs. La technique, l'amélioration et la mise en oeuvre des prototypes dans ce domaine, est suffisamment rapide pour que ces informations ne soient plus tout—à—fait d'actualité au moment où nous imprimons cet ouvrage.

2.2.1.Litho:

Domaine d'application:

Le but de ce système est d'interpréter les résultats des diagraphies effectuées au cours d'un forage pétrolier, pour déterminer la porosité des roches qu'il traverse.

Auteurs:

BONNET A., HARRY J., GANASCIA J.C.

Date de création:

1982

Financement, parrainage:

Société Schlumberger, Laboratoire de Recherche en Informatique, Orsay

Degré d'utilisation:

Cet outil s'adresse aux géologues pétroliers. Il ne traite pas directement de notre sujet, nous le retiendrons comme exemple, dans la mesure où les diagraphies sont également des opérations effectuées au cours des forages pour la recherche d'eau. D'après les auteurs, il s'agit d'un outil opérationnel dont la réalisation a demandé 6 mois. Il a ensuite été testé sur le terrain pendant un an.

Machine d'implantation:

Jusqu'en 1982, Litho était implanté sur DEC-20, il est installé actuellement sur Vax et sur Dolphin.

Base de connaissance:

—Nature de l'expertise ou des déductions:

Ce système fournit une description détaillée du sous—sol en fonction des données des diagraphies introduites dans le système par l'utilisateur. Il intègre une centaine de paramètres à partir desquels il détermine le lithofaciès le plus probable pour chaque zone du forage où s'effectuent les diagraphies. Environ 90 lithofaciès peuvent être reconnus. Le graphe des connaissances est très large car de nombreuses règles peuvent déduire un même paramètre, le problème à résoudre est fortement combinatoire. La base de connaissances comporte 470 règles dont 330 sont indépendantes de la géographie (figure n°4—2).

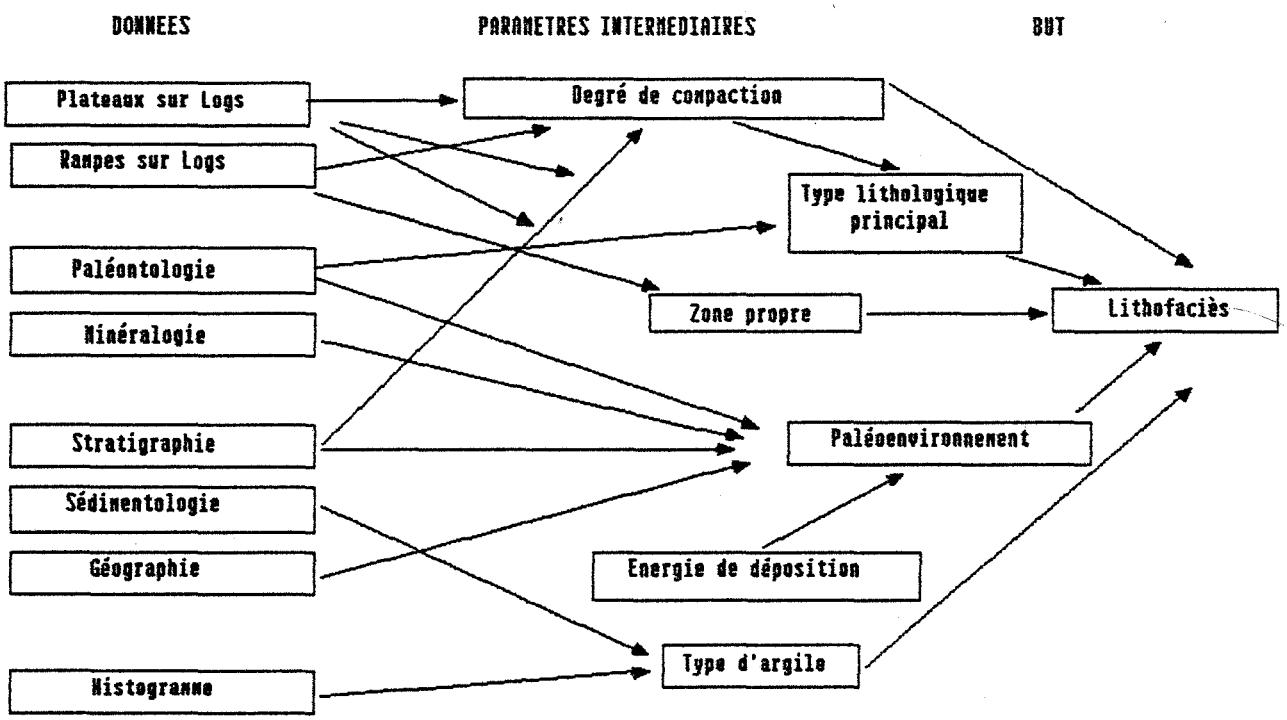


Figure n°4—2:Graphe de dépendance des règles de connaissances du système LITHO

(d'après Bonnet, Harry et Ganascia, 1982)

Base de faits:

C'est l'opérateur qui décrit les diagraphies par l'intermédiaire d'un vocabulaire développé à cet effet. Le terme de "plateau" est utilisé pour décrire le fait qu'une diagraphie présente une allure constante sur un intervalle supérieur à 25cm sur le document où sont analysées les courbes (figure n°4—3). Le terme "lit massif" indique une allure constante sur une longueur de 5 à 25cm. L'utilisateur peut pondérer ses appréciations pour les cas litigieux.

Exemple de règles de connaissance:

—connaissance géologique:

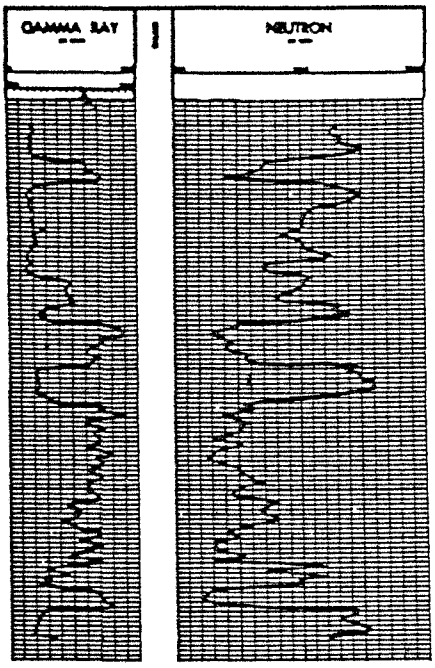
Si le pourcentage de l'électrofaciès "gypse" est supérieur à 5%, alors le paléoenvironnement de dépôt pour la zone étudiée, est : lagunaire (0,7); côtier (0,3); récifal (0,2); lacustre (0,2); pélagique (—0,95).

—interprétation des diagraphies:

Si il y a un plateau sur la courbe "rayon—gamma", et si le niveau de radioactivité de la zone prospectée est inférieur à 40 unités, alors il est fort probable (0,8) que la zone soit une zone propre, c'est-à-dire avec un très faible contour d'argile.

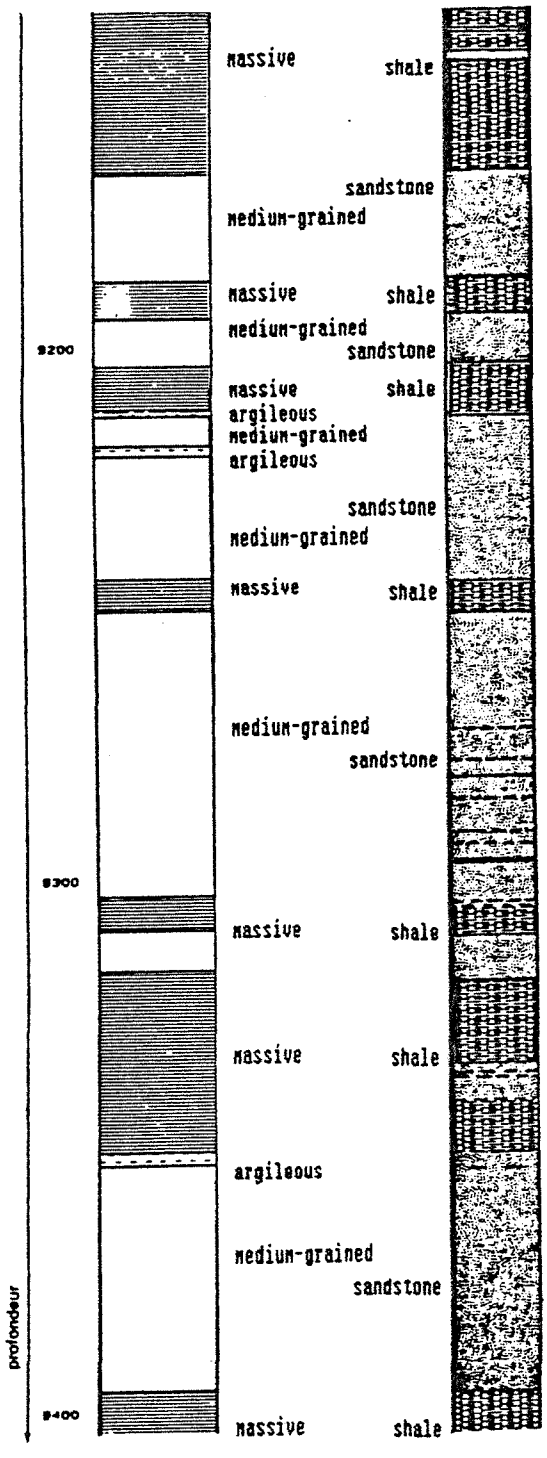
Figure n°4—3 :d'après Bonnet, Harry, Ganascia, 1982

INTERPRETATION D'UNE DIAGRAPHIE PAR UN SYSTEME EXPERT : LITHO



Exemple de diagraphie

Détermination du lithofaciès par le système



Interprétation fournie par un géologue

Coefficients d'incertitude:

Le nombre placé entre parenthèses indique la plausibilité des faits déduits, elle est notée de −1 à +1.

Moteur d'inférence:

Les règles de connaissance sont pour la plupart évaluées en chaînage arrière. Sachant quel est le but à atteindre, c'est-à-dire trouver le lithofaciès, il tente d'évaluer les parties gauches des règles ou prémisses. Chaque fois que cela est possible, le système demande à l'utilisateur la valeur de la prémisse considérée. (exemple : Dans quel bassin se trouve le puits étudié ?)

Interfaçage utilisateur:

Le système permet à l'utilisateur d'exprimer ses connaissances en minéralogie, en paléontologie, en géographie, en pétrographie et en stratigraphie. Il utilise un correcteur d'orthographe qui procure une plus grande souplesse de manipulation du vocabulaire lié à ces spécialités. Il n'est pas sûr que les règles présentées en exemple soient formalisées aussi confortablement en langage naturel, dans le système.

Remarques:

Il n'apparaît pas de structure de contrôle des règles de connaissance introduites dans le système ni d'indications au sujet de l'acquisition des connaissances qui les constituent. Le domaine d'expertise est toutefois assez ciblé pour que cela ne pose pas trop de problèmes. Les recherches pour améliorer le système visent à :

—l'affinage des plausibilités si le résultat ne satisfait pas l'utilisateur.

—l'affinage de l'expertise pour pouvoir déterminer la genèse des dépôts.

—l'automatisation de la reconnaissance des formes des courbes issues des diagraphies.

—L'acquisition de données permettant d'utiliser ce système sur des sites plus nombreux. Le problème de la gestion de ces données géologiques et géographiques risque de devenir le plus important.

Autres systèmes experts existants dans un domaine voisin:

D'autres systèmes existent dans les domaines voisins de la géologie minière pour la détermination des gisements. On citera les systèmes :

Nom	Utilisateur	Application
Secofor	Elf-Aquitaine	Conseille sur certain problèmes de forage pétrolier
Geox	Nasa	Identifie des minéraux à partir d'images provenant de satellites
Dipmeter Advisor	Schlumberger	Analyse les données provnant d'un puits de pétrole

2.2.2.Search:

Domaine d'application:

Le domaine d'application de ce système concerne la pollution des nappes puisqu'il est conçu pour la localisation des contaminants d'aquifère. Il s'agit d'identifier rapidement la source de pollution, sa position et ses caractéristiques. Ce sytème ne peut être utilisé que pour des cas de pollution ponctuelle.

Auteurs:

DELMAS D., GAUDETTE M., LECLERC G., MARCHE C.,

Date de création:

1984

Financement, parrainage:

Ecole Polytechnique de Montréal

Degré d'utilisation:

Ce système était encore en cours de développement en 1985, date à laquelle ses utilisateurs n'étaient pas encore définis. Il semble qu'il ne soit utilisable que par des spécialistes des problèmes de pollution de nappe (hydrogéologues) ayant une connaissance des problèmes de modélisation. Une fois opérationnel, il pourrait être fort utile à des niveaux de décision correspondant à ceux des Agences de bassin, des administrations ou bien pour des bureaux d'études spécialisés.

Machine d'implantation:

Son implantation a été effectuée sur IBM 4341 avec écran graphique.

Base de faits:

La base de faits (figure n°4—4) est divisée en trois parties, elle comporte :

—les faits réels qui regroupent les observations locales disponibles avec l'erreur estimée sur chacune. Ces observations sont des mesures de concentration relevées dans des puits ou des cours d'eau en relation avec la nappe, des mesures de piézométrie, des mesures de perméabilité,...etc.

—Les faits complémentaires qui décrivent les écoulements, le gradient hydraulique et les dimensions de l'aquifère.

—Les faits hypothétiques qui peuvent être également des niveaux piézométriques lorsque leur mesure n'est pas possible.

Base de connaissance:

—Nature de l'expertise ou des déductions:

Le système déduit la position et l'intensité de la source de pollution en indiquant la fiabilité des résultats. Il y a quatre types de règles d'expertise:

—les règles de validation s'appliquent aux faits réels et permettent de les vérifier,

—les règles de comportement traduisent le comportement de l'aquifère et la dispersion d'un polluant soluble, sous forme d'une équation aux dérivées partielles qui est résolue de manière numérique en utilisant un module de calcul basé sur la méthode des éléments finis. Cette équation exprime la conservation de la masse du produit polluant:

$$\frac{\partial C}{\partial T} + \frac{u\partial C}{\partial X} + \frac{v\partial C}{\partial Y} + \frac{w\partial C}{\partial Z} = \frac{\partial}{\partial X}(Dx\,\frac{\partial C}{\partial X}) + \frac{\partial}{\partial Y}(Dy\,\frac{\partial C}{\partial Y}) + \frac{\partial}{\partial Z}(Dz\,\frac{\partial C}{\partial Z})$$

U, V, W: composantes locales de la vitesse d'écoulement.
C : concentration.
DX, DY, DZ: coefficients de dispersion du milieu.

REGLE:

Si les caractéristiques du milieu sont telles que les coefficients de dispersion sont évalués à DX, DY, DZ,
et si les écoulements internes sont évalués à U, V, W en chaque point,

Alors, la concentration C(X, Y, Z, t) sera solution de l'équation de la dispersion.

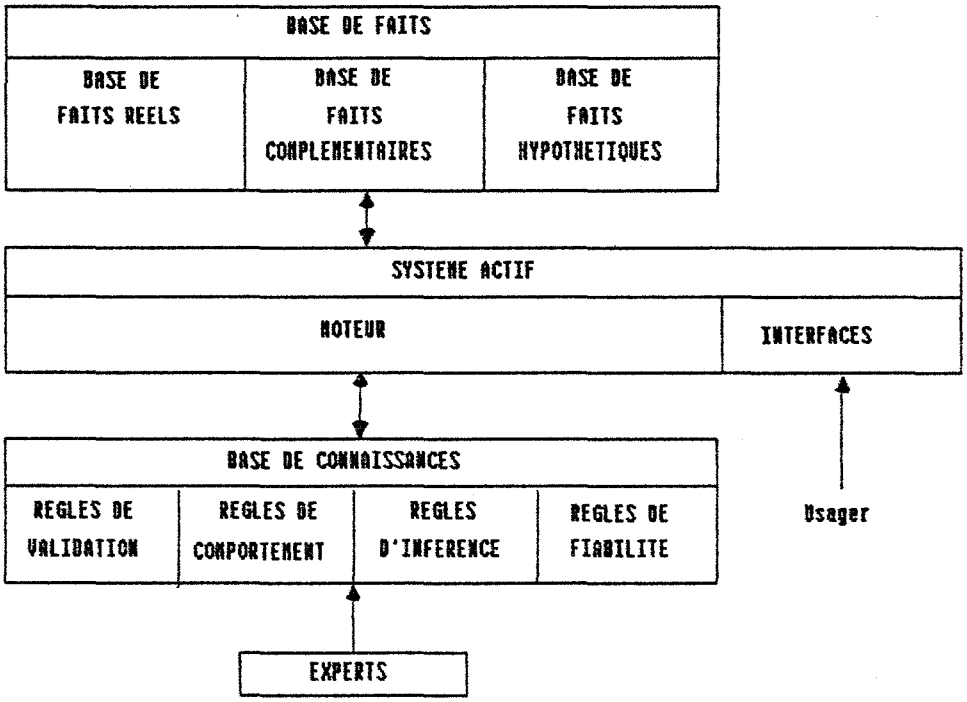
Il s'agit en fait d'un modèle hydrodispersif qui représente effectivement la connaissance que l'on a sur les écoulements du système aquifère, mais qui ne peut se traduire et se représenter uniquement sous forme de règles.

—les règles d'inférence servent à produire le résultat de faits hypothétiques

—les règles de fiabilité servent à juger un résultat, en qualifiant celui—ci par rapport à la confiance attribuée aux données.

Figure n°4—4 : d'après Delmas, Gaudette, Leclerc, Marche, 1984

STRUCTURE SCHEMATIQUE DU SYSTEME : SEARCH



Moteur d'inférence:

L'application des règles de validation permet un premier diagnostic de la pollution en question. L'appel des règles de comportement à partir des faits réels et des faits complémentaires, entraîne le déclenchement des calculs périphériques nécessaires à la résolution de l'équation de dispersion. Les résultats sont ensuite stockés dans la base de faits hypothétiques.

Ces faits hypothétiques sont ensuite traités par les règles d'inférence et de fiabilité. Ce premier résulat, s'il est jugé insuffisant par l'expert peut être retravaillé.

Interfaçage avec des modules de calcul externes :

Search fait appel à plusieurs modules de calcul exprimant les règles de comportement du système aquifère et de la pollution. Les procédures d'appel aux programmes du modèle hydrodispersif qui sont écrits en fortran, ne sont pas décrites . Ce système fait intervenir des règles de connaissance dont les conclusions sont des procédures permettant l'exécution des programmes, ce qui n'est pas sans influence sur sa durée d'utilisation.

Communication entre le système et l'utilisateur:

Le dialogue en langage naturel n'est pas assuré entre le système et son utilisateur. La communication s'établit sous forme de menus c'est—à—dire de propositions de choix possibles.

Structures de contrôle:

Une structure de contrôle existe pour vérifier la validité des faits réels, elle existe également pour les règles de comportement, puisque le modèle de nappe est certainement calé. Il n'en apparaît pas pour les autres règles de connaissance.

Remarques:

L'adoption d'une forme de raisonnement incertain est indiquée par les auteurs, elle est capable d'estimer la fiabilité des résultats, la façon dont est gérée l'incertitude des raisonnements n'est cependant pas précisée. Les exemples d'applications ne sont pas signalés puisque le développement de cet outil n'est pas achevé. La manière dont sont acquises les connaissances et les modalités d'introduction des règles par le spécialiste ne sont pas mentionnées.

2.2.3.Contrôle de la pollution d'une rivière.

Domaine d'application:

Ce système expert permet d'évaluer la qualité d'une rivière, de contrôler sa pollution, de rechercher les incidents de pollution et d'évaluer les performances des ouvrages d'assainissement. Il appartient au même domaine d'activité que celui présenté précédemment, celui de la santé publique et de l'ingénierie des ressources en eau.

Ces deux systèmes experts sont totalement différents et on imagine mal leur utilisation conjointe, ce qui pourtant, intéresserait certainement un même décideur.

Auteurs:

JOWITT P.W., JENKINS W.O.

Date de création:

1985

Financement, parrainage:

Imperial College of Science and Technology,

Expert System Community Club, United Kingdom

Degré d'utilisation:

Ce système s'adresse à ceux qui doivent interpréter les mesures de qualité des eaux, et qui ne sont pas expérimentés aux complications inhérentes à la chimie des eaux ou qui ne sont pas familiarisés au site d'étude. Il a une application essentiellement technique.

Base de connaissance:

—Nature de l'expertise ou des déductions:

Les connaissances introduites appartiennent à plusieurs disciplines: statistiques, physique, biologie, économie, ingénierie. Ces connaissances ont l'avantage de prendre en compte tout ce que la méthode statistique ne peut pas prendre en compte (valeurs extrêmes abérrantes, échantillonnages trop ponctuels pour être significatifs), elles permettent ainsi de sélectionner les échantillons représentatifs.

Les caractères spécifiques des cours d'eau sont pris en compte (saisonnalité, comportement diurne provoquant des anomalies des teneurs en NH3 ou en oxygène dissous), et des règles en sont extraites.

—Exemple de règles de connaissance:

Si il y a un pic de NH3 ou un pic de demande biologique en oxygène (DBO), alors il peut y avoir un mauvais comportement des installations d'assainissement à l'amont.

Si la période d'étiage se prolonge, alors il y a risque de pollution.

S'il y a des travaux particuliers sur la rivière, alors le transport solide est normal.

Si on décide d'effectuer une analyse de la pollution, alors il faut acquérir des données supplémentaires.

Les connaissances portent également sur l'analyse des échantillons:

(Rivière, Turbidité)*affecté—par*(Pluie)
(Rivière, DBO)*affecté—par*(Effluent, DBO)

Ce formalisme de représentation permet de décrire les objets du système parmi lesquels se trouvent des variables, et les relations qui les relient (relation : affecté par). Cela implique un accès à ces variables, par l'intermédiaire d'un système de gestion de s de données.

De manière plus formelle les règles s'écrivent de la manière suivante:

-Si (X1 débit à l'amont de Z) et (Y affecté par X)

et (X1 reçoit une faible dilution en Z)

Alors X1 contribue au problème YZ

avec X1: rejet d'effluent
Z: site n°
Y: demande biologique en oxygène
X: demande biologique en oxygène de l'effluent
YZ: demande biologique en oxygène au site n°

Base de faits:

Les faits introduits sont les valeurs des pluies, des débits du cours d'eau étudié, les résultat des mesures d'échantillons (qualité, NH3, DBO, oxygène dissous, matière en suspension, température). Ces faits sont issus de la base de données avec laquelle le système peut communiquer.

Moteur d'inférence:

Il est écrit à partir du langage de programmation micro—prolog en logique du premier ordre puisqu'il doit raisonner sur des variables qui ne sont pas toujours instanciées. Il fonctionne en chaînage avant et arrière. Il permet de vérifier ou de rechercher des hypothèses.

Le moteur d'inférence étant séparé de la base de connaissances, l'auteur signale que cet outil peut être adapté à d'autres domaines. Il a dans ce cas construit ce qu'on appelle un "shell".

Interfaçage utilisateur:

L'utilisateur peut interroger le système à l'aide de questions du type :

Quel est (X : X contribue-au problème DBO site n°)

réponse: X est DBO-Effluent

Quel est (X : X débit-à l'amont du site n°)

Quel est (X : X reçoit-une faible-dilution au site n°)

Quel est.....etc

S'il n'arrive pas à établir une clause ou proposition, le système peut être amené à poser des questions en explorant les prémisses dans le but d'obtenir l'information.

exemple de question: Quelle est la dilution pour le rejet au site n° ?

L'utilisateur peut alors demander pourquoi cette question est posée, le système lui répondra qu'il cherche à activer telle ou telle règle de production pour atteindre le but recherché.

Interfaçage avec d'autres modules:

Les tableaux de mesures statistiques (pluie, débit, qualité des eaux de surface, DBO, NH3, O2 dissous, MES, t°c), la classification des rivières, les index de qualité, les normes légales, sont introduites dans des bases de données dont la syntaxe se rapproche du langage naturel (en anglais). Des programmes périphériques sont également connectés au système, ils assurent les représentations graphiques et le traitement statistique de ces valeurs qui, une fois calculées, sont réinjectées dans le système expert.

Coefficients d'incertitude:

Des coefficients de certitude sont appliqués sur les conclusions des règles à partir des faits et des règles qui sont pondérées de la même manière. Précisons tout de même que les faits introduits dans le système sont pondérés par l'utilisateur, que les règles le sont par le spécialiste qui les a élaborées et que la vraisemblance des faits déduits est calculée selon une logique qui n'est pas expliquée.

Remarques:

Ce système ne fait pas encore l'objet d'une application réelle. Son fonctionnement sur micro—ordinateur semble possible, mais son degré d'utilisation ne semble pas à l'heure actuelle très élevé. Le mode d'acquisition des connaissances et les structures de contrôle n'apparaissent pas.

2.2.4.Exploitation des données d'essais par pompage

Domaine d'application:

Cet outil est conçu pour les hydrogéologues devant interpréter des essais par pompage dans une nappe aquifère. A partir d'une courbe d'essai par pompage, il s'agit de déterminer la méthode d'interprétation la mieux adaptée au problème.

Auteurs:

CERTES C., HUBERT P.

Date de création:

1985

Financement, parrainage:

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris

Ministère de l'environnement (convention 82116)

Degré d'utilisation:

Pour l'instant, ce système est à l'état de maquette. L'ébauche de ce système expert doit conduire à une utilisation professionnelle. Sa réalisation s'insère dans le cadre d'une sensibilisation des chercheurs des sciences de l'eau à la programmation logique et aux systèmes experts.

Machine d'implantation:

Le matériel utilisé est un Apple 2.

Base de faits:

Un certain nombre de données indispensables pour interpréter correctement un essai par pompage ne sont pas introduites ni dans la base de faits, ni dans la base de connaissances. Ce sont les données piézométriques, les observations régionales décrivant la nature de la nappe (libre, captive, semi—captive), les relations éventuelles avec le réseau hydrographique. En effet leur introduction a tendance à trop compliquer le système.

Interfaçage utilisateur:

L'utilisateur décrit la courbe expérimentale de l'essai par pompage qu'il veut interpréter, en distinguant les formes simples et contrastées (convexe, concave, linéaire croissante ou décroissante, avec brisure) qu'elle possède sur des repères logarithmiques ou semi—logarithmiques. Cette méthode s'applique aux courbes caractéristiques en repère semi—logarithmique : rabattement en fonction du logarithme du temps. Ces courbes sont découpées en segments caractéristiques qui reflètent les variations du rabattement mesuré en fonction du débit de pompage.

La succession de types de segments guide l'utilisateur vers un des modèles d'interprétation.

Base de connaissance:

—Nature de l'expertise ou des déductions:

A partir des formes de la courbe obtenue, le système détermine la méthode d'interprétation d'essai par pompage qui permettra de déduire les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère qui sont : la transmissivité T, la perméabilité P, le coefficient d'emmagasinement S (s'il existe des mesures de niveau d'eau dans des piézomètres à proximité du forage où s'effectue l'essai par pompage).

Des règles de transformation des segments des courbes expérimentales permettent de les adapter aux courbes théoriques contenues en base de connaissances et correspondant aux modèles de Jacob, Antush, Boulton. L'effet de capacité est pris en compte.

exemples de règles de transformation de courbes :

1)regroupement de segment:

droite décroissante *et* finale *si* droite décroissante.convexe finale

2)décomposition en segments:

convexe.droite.décroissante *ou* plate *si* convexe finale

Les courbes théoriques sont introduites dans la base de connaissances sous forme de langage.

Celles de l'utilisateur sont décrites sous forme de mots que des règles de production ou plutôt d'appartenance affectent à l'un des langages:

-modèle de Jacob: une droite décroissante finale,

-modèle de Hantush et limite à potentiel constant:
une droite décroissante et une stabilisation finale

-Strate conductrice et limite imperméable:
deux droites décroissantes successives de pentes respectives i et 2i

-modèle de Boulton: trois droites dont deux de même pente séparées par une troisième quasi plate

-effet de capacité: suite convexe-concave

—Interfaçage pour introduire les règles:

L'expert doit connaître le formalisme Prolog.

Moteur d'inférence:

Les règles sont du type : conclusion si condition (Prolog II), elles sont évaluées en chaînage arrière jusqu'à ce que soit trouvé le modèle correspondant à la courbe expérimentale. L'écriture de méta—règles permet une exploration plus sélective de l'arbre des connaissances pour résoudre le problème à l'aide des règles qui sont seulement indispensables (limitation du phénomène d'explosion combinatoire).

Coefficients d'incertitude:

Le lissage des courbes et leur description est faite par l'utilisateur, ce qui nécessite une certaine expérience de sa part en matière d'essais par pompage. La similitude entre les segments de courbes théoriques et expérimentales est évaluée en terme de coût par l'utilisateur. La solution n'étant pas unique pour aboutir au modèle, l'enchaînement des inférences est tel que ce coût soit minimal.

Structures de contrôle:

L'utilisation des règles est contrôlée par des vérifications internes de syntaxe. Des structures de contrôles devraient être établies pour lever les éventuelles contradictions liées à l'utilisation de modèles d'interprétation incompatibles avec les caractéristiques de l'aquifère. Par exemple, pour un essai par pompage en nappe captive, l'utilisation du modèle de Hantush ne se justifie pas, le toit de la nappe étant imperméable, les phénomènes de drainance ne peuvent exister.

Remarques:

L'utilisation de ce système est essentiellement technique, l'utilisateur doit être déjà expérimenté à la technique des essais par pompage.

L'acquisition des connaissances et leur transcription dans le système nécessitent la maîtrise du Prolog. La connexion avec des modules de calcul des paramètres hydrogéologiques de transmissivité serait envisageable. Cet outil pourrait intervenir à un niveau très ponctuel, dans la phase de prospection des ressources en eau.

Autres systèmes experts existants dans un domaine voisin:

On citera le système Hydro (Reboh, 1982) qui permet la sélection des paramètres hydrologiques pour exécuter leur traitement dans des modèles hydrologiques et en effectuer le calage.

2.2.5.Sygripos:

Domaine d'application:

Le domaine d'application de cet outil est un peu particulier puisqu'il s'éloigne des activités de prospection des ressources en eau. Il a trait au domaine de l'urbanisme et assiste les décideurs dans leur manière d'appréhender les conséquences des modifications urbaines en fonction des règles d'urbanisme existantes. Il est essentiellement basé sur la représentation graphique de ces modifications. Il pourrait s'appliquer (figure n°4—5) à la visualisation d'infrastructures résultant des projets d'aménagement en eau en agglomération urbaine (emplacement et architecture des réservoirs ou des ouvrages de traitement, modifications du site urbain liées à l'implantation de conduites de distribution d'eau).

Auteurs:

ELMAKHOUCHNI M.

Date de création:

1985

Financement, parrainage:

Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Degré d'utilisation:

L'utilisation de ce système est prévue aussi bien pour les urbanistes que pour les décideurs qui sont chargés de l'élaboration du Plan d'Occupation des Sols (POS) qui représente une contrainte importante pour les projets d'alimentation en eau potable ou d'assainissement. Ce prototype opérationnel est en cours d'expérimentation.

Machine d'implantation:

L'ensemble fonctionne sur mini—ordinateur Mini6 Bull (Mod 600) équipé d'un écran graphique Tektronix et d'un dispositif de copie d'écran.

Base de connaissance:

—Nature de l'expertise ou des déductions:

Sygripos propose une vision possible des aménagements futurs sous forme de dessin en fonction des contraintes du POS, de la nature des parcelles (constructibles ou non constructibles).

—Exemple de règles de connaissance:

Si on veut sauvegarder le caractère historique d'un monument, alors interdire la construction d'un réservoir à proximité de ce monument.

exemple de méta-règle:

Si plusieurs règles s'appliquent à une même construction,

alors appliquer la plus restrictive.

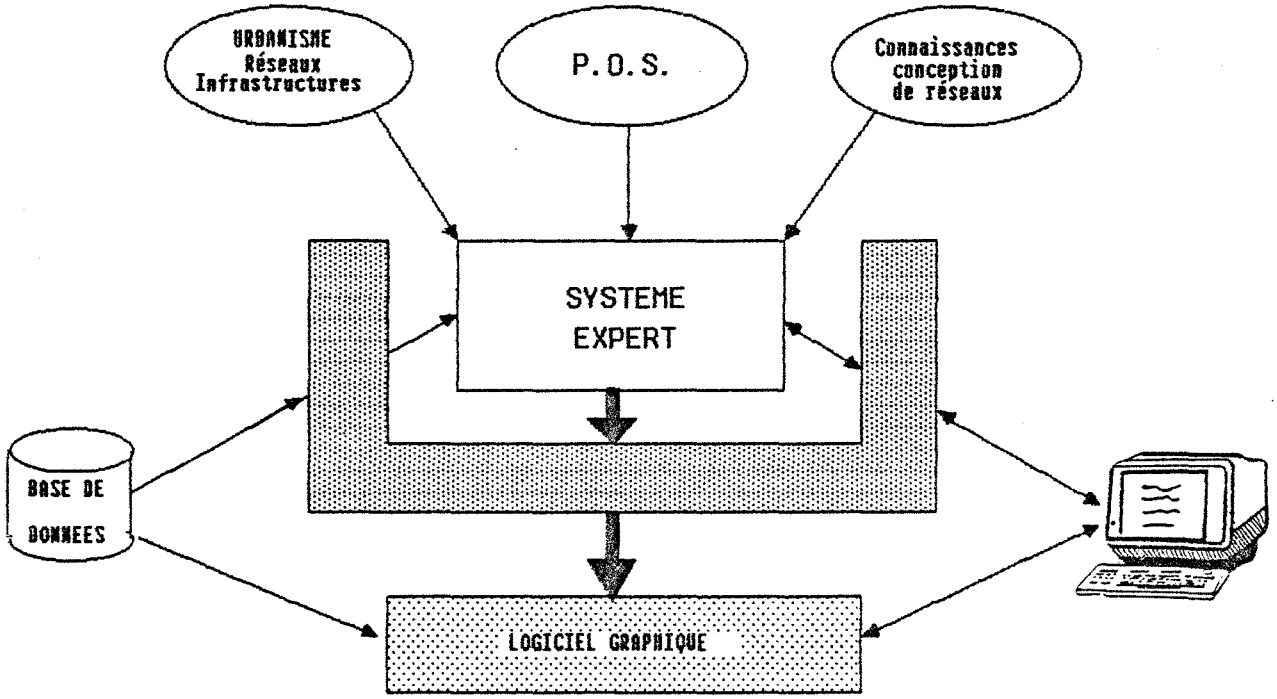
Base de faits:

Pour les sites d'étude qui sont couverts par un cadastre numérique, les informations peuvent être introduites dans une base de données. Si ce n'est pas le cas, l'opération de saisie à l'aide d'une table à digitaliser est très fastidieuse. La base de faits du système contient la description des parcelles (dimensions et nature des îlots les constituant), les paramètres de la réglementation appliquée à chaque zone, les normes architecturales (hauteur limite des réservoirs).

Figure n°4—5: d'après Elmakhouchni, 1985

Adaptation de la structure du système SYGRIPOS

à un problème de distribution d'eau



Moteur d'inférence:

Le moteur d'inférences est constitué par un programme Prolog et fonctionne donc en chaînage arrière.

Interfaçage :

Un logiciel graphique est associé à ce système. Dans un premier temps, il affiche une image en deux dimensions selon le plan de la zone où seront implantés les ouvrages. Dans ce plan, l'utilisateur précise les objets qu'il désire observer en trois dimensions, ainsi que l'endroit d'où cette nouvelle observation doit être effectuée. Cette visualisation graphique peut s'effectuer soit à l'échelle de la parcelle, soit à celle d'un îlot de parcelles. Le programme de visualisation graphique est écrit en fortran mais l'interface Prolog/fortran n'est pas des plus faciles à gérer.

La communication entre l'utilisateur et le système s'établit à l'aide de menus qui en fonction des opérations à effectuer (visualisation, modification de la réglementation) indiquent les procédures de commande correspondantes.

Coefficients d'incertitude:

Aucune forme de raisonnement incertain n'est utilisée. Le contenu des règles introduites ayant trait à la réglementation, on peut sans doute leur attribuer une valeur soit vraie soit fausse.

Remarques:

Les structures de contrôle semblent inexistantes. Les cas d'application restent très particuliers et la rare disponibilité des données numérisées demeure un problème pour utiliser cet outil. Quelques améliorations sont à l'étude pour prendre en compte la topographie, ce qui est indispensable en ce qui concerne les ouvrages hydrauliques. Pour les projets d'aménagement en eau en zone semi-urbaine ou urbaine, l'utilisation d'un tel outil risque de devenir de plus en plus indispensable. La visualisation de l'encombrement du sous-sol, des voies d'eau, des voies ferrées et des voies de circulation routière permettrait d'établir automatiquement des cartes thématiques du plan d'occupation des sols pour assister graphiquement la conception des ouvrages de distribution d'eau et pour mieux matérialiser les plus-values qu'entraîne leur installation.

2.2.6.Conception d'un équipement d'irrigation a la parcelle.

Domaine d'application:

Le domaine d'application est celui de l'irrigation à la parcelle, problème se situant à l'aval de celui qui consiste à réaliser un réseau d'irrigation sous pression. Ce sytème est destiné à choisir le type de matériel mobile d'irrigation, en fonction d'une technique d'irrigation (aspersion, canons à arrosage), des conditions agroclimatiques, des ressources en eau, des contraintes de l'exploitant et des conditions économiques.

Ce genre de problème soumis à des contraintes de nature très qualitative, se prête donc mal à un calcul d'optimisation par les méthodes algorithmiques classiques.

Auteurs:

GRANIER J.

Date de création:

1985

Financement, parrainage:

Centre National du Machinisme agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts d'Aix en Provence.

Degré d'utilisation:

Ce système est en cours de développement, des tests d'applications ont été effectués.

Machine d'implantation:

Il est implanté, à l'heure actuelle sur la version SMX du système UNIX, dont la configuration maximale de mémoire, permet d'utiliser 6000 règles et 8000 faits.

Base de faits:

La syntaxe adoptée est liée au formalisme Snark: Symbolic Normalized Acquisition and Representation of Knowledge (Laurière, 1983) qui décrit les faits sous forme de relations binaires. Ce formalisme n'est pas très naturel mais permet la décomposition des connaissances.

exemple: période—critique,culture = intervalle
relation objet opérateur valeur

L'écriture de la base de fait peut s'appuyer sur la représentation des différents éléments dans un réseau sémantique qui est un graphe dont les arcs sont des relations et les noeuds des objets.

Base de connaissances:

Les prémisses des règles (ensemble de conditions) sont écrites avec la même syntaxe que celle des faits, les objets peuvent être remplacés par des variables. Les parties actions de ces règles sont exécutées dès que la règle a été évaluée avec succès (après une éventuelle instanciation d'une variable). Ces actions permettent de créer ou de modifier un fait, d'effectuer des opérations (+,—, *, Min, Max) sur des nombres entiers ou réels, de créer ou de détruire des objets, d'envisager ou de rejeter des hypothèses, de poser des questions à l'utilisateur, d'exécuter des procédures externes, d'écrire des indications sur le terminal. Elles permettent également d'ajouter ou de remplacer un fait dans la base de faits.

—Nature de l'expertise ou des déductions:

Plusieurs types de règles existent:

1)règles déductives proprement dites :

Ce sont des règles qui ne traduisent pas des connaissances de haut niveau (utilisation d'une formule, limite de fonctionnement du matériel,...)

2)règles de choix de la stratégie (méta—règles) :

Elles permettent de déterminer, en fonction de la base de faits, les aspects du problème à traiter en priorité et de déclencher les règles correspondantes.

3)règles de gestion d'hypothèses :

Les incertitudes dans le domaine (perméabilité du sol) sont prises en compte par des règles de génération d'hypothèses. Celles—ci sont ensuite évaluées par des règles ayant la particularité de pouvoir appeler des procédures externes. Ces hypothèses sont enfin rejetées ou acceptées à l'aide de règles de gestion d'hypothèses.

—Exemple de règles de connaissance :

Les règles citées en exemple ci—dessous sont présentées sous leur forme littérale et non de manière formalisée.

1) On n'envisagera pas de faire fonctionner un matériel d'irrigation au delà de 30% en plus ou en moins de sa pression nominale.

2) Si l'on envisage d'irriguer du maïs avec un enrouleur, et que la perméabilité du sol est inférieure à 8mm/h, on se préoccupera d'abord de choisir un modèle approprié, car on sait déjà que les gros modèles seront exclus, et que par conséquent l'éventail des possibilités sera restreint.

3) Génération d'hypothèses:

Si l'on doit choisir un modèle d'enrouleur, et que la perméabilité du sol est inférieure à 8mm/h, alors on envisagera une hypothèse avec un modèle dont l'asperseur a un débit inférieur à 30m3/h.

Evaluation d'hypothèses:

Si le réseau relatif à une installation d'irrigation est décrit dans un fichier de données, et que l'on s'est fixé une pression en tête, on effectue une simulation hydraulique du réseau qui nous fournit dans un fichier résultat les couples débit-pressions pour chaque asperseur.

Acceptation ou rejet d'hypothèses:

Si avec une installation plus coûteuse en équipement et en main d'oeuvre on obtient des rendements agricoles plus faibles qu'avec une autre, on excluera la première quels que soient les autres critères de jugement.

Les règles de connaissances sont réparties en modules (Evaluation des besoins, hydraulique, économie)

Moteur d'inférence:

Le moteur d'inférence utilisé est une version adaptée d'un moteur déjà existant qui est aussi un langage de représentation des connaissances (Snark).

Certaines opérations devant être répétées dans ce domaine d'expertise, elles sont représentées en utilisant des variables dans les règles. Le moteur est d'ordre1, cette version est écrite en langage C (langage de programmation très structurée).

Ce moteur fonctionne en chaînage avant, un ordonnancement des règles permet de contrôler celles qui sont activées pour éviter le phénomène d'explosion combinatoire. L'inconvénient de ce mode de fonctionnement est l'arrêt du moteur lorsqu'il n'est plus possible de déclencher de règles.

interfaçage avec des modules externes:

L'exécution de logiciels est provoquée par l'appel de procédures externes, ce sont des programmes d'optimisation et de simulation en hydraulique, des programmes de calcul des besoins en eau ou des programmes de calcul de rentabilité économique.

Interfaçage utilisateur:

Le système bénéficie des avantages de l'environnement du système UNIX, riche en programmes utilitaires et en outils logiciels. Les parties actions des règles peuvent être des questions posées à l'utilisateur de manière interactive, pour alimenter la base de faits.

Coefficients d'incertitude:

La gestion d'hypothèses permet de se passer de coefficients de vraisemblance sur les faits.

Remarques:

Il reste à écrire un jeu de règles suffisamment complet afin d'utiliser ce système pour une application réelle. Le moteur d'inférences doit être amélioré pour pouvoir fonctionner en chaînage arrière à partir d'un but. La représentation des connaissances en logique d'ordre 2 (logique temporelle) et le traitement de la négation sont à envisager.

Ce système se distingue des autres systèmes experts, puisque la plus grande partie des connaissances spécifiques s'exprime par des formules ou des algorithmes dont l'utilisation est contrôlée par des règles de production (évaluation d'hypothèses). C'est à ce titre un système d'ingénierie assisté par ordinateur pour la conception d'équipement d'irrigation à la parcelle.

Il paraît évident que sans vouloir adopter une démarche totalement identique, celle mise en oeuvre pour élaborer ce système se rapproche de celle qui se dessine pour le système d'ingénierie plus général que nous proposons.

2.3.Synthèse des systèmes experts présentés.

A travers ceux que nous avons examinés dans le domaine de l'eau, on peut constater que les sytèmes experts offrent un mode de représentation et d'usage des connaissances bien adapté à la résolution de problèmes spécifiques, où les décisions complètent des algorithmes universellement admis. La plupart de ces systèmes, tant au niveau de leur fonctionnement que de leur facilité d'utilisation, en sont encore au stade de la mise au point. L'utilisateur de ces systèmes en est souvent le concepteur, ils rejoignent à ce point de vue, les problèmes liés à l'utilisation des outils scientifiques classiques de la décision.

La situation actuelle en matière d'application de ces systèmes se présente de la manière suivante: chacun d'eux ayant été développé par différents spécialistes, traite d'un aspect particulier (géologie du sous—sol, qualité de l'eau, interprétation d'essais par pompage, plan d'occupation des sols, réseau d'irrigation à la parcelle). En explorant davantage l'environnement des systèmes en cours d'élaboration, il serait presque possible de reconstituer l'ensemble des phases d'un projet d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement. Quel est l'intérêt de ces outils de décision technique pour un décideur ou un ingénieur responsable de la conception générale d'un projet ?

Leur intérêt se justifie s'ils sont regroupés dans un système de conception plus générale des projets qui sera plus complexe certes, mais qui épargnera aux divers acteurs concernés de consacrer leur temps à rassembler ces différents outils. Cela paraît, à l'heure actuelle, inconcevable compte tenu de leur dispersion et des incompatibilités informatiques. Il ne s'agit évidemment pas d'exploiter tout ce qui pourrait être utile pour concevoir un projet d'aménagement en eau, il faut se limiter à une échelle de projet que nous avons définie en début de mémoire et sélectionner les outils adaptés.

Les systèmes experts complètent la quantification et l'informatisation de la connaissance scientifique par la prise en compte de règles de connaissance qui découlent de l'expérience et du jugement. En ce sens, ils constituent une amélioration par rapport aux outils scientifiques de la décisions classiques, mais ils ne sont pas encore facilement utilisables par les décideurs. S'ils viennent s'ajouter à l'arsenal des outils existants cela ne fera qu'augmenter l'embarras du choix pour le décideur.

Afin d'éviter l'accentuation de cette tendance, il nous a semblé intéressant de réfléchir aux moyens nécessaires pour réaliser un système d'ingénierie qui permette le choix et l'exploitation appropriés des outils quantitatifs (outils d'optimisation) et qualitatifs (sytèmes experts) de la décision.

2.4.Place du système d'ingénierie par rapport aux systèmes experts.

Pour nous, les systèmes experts ont deux intérêts. Le premier est qu'ils permettent de nous guider pour la représentation et le traitement des connaissances issues de MISE dans le système d'ingénierie que nous proposons.

Le second est de pouvoir intégrer dans un système d'ingénierie ceux qui sont appliqués au domaine des projets d'aménagement en eau, au même titre que les outils scientifiques de la décision.

Les systèmes experts qui sont des outils de gestion parce qu'ils sont destinés à être opérationnels, constituent également, des outils d'analyse puisqu'ils participent à la construction de l'expertise.

Le système d'ingénierie que nous proposons, utilisera la démarche et les techniques de ces systèmes, mais pour des applications moins limitatives que les domaines d'expertise traités. Après un certain temps d'utilisation, il sera à même de proposer aux utilisateurs des études prévisionnelles complètes avec bordereau des prix, en utilisant une gamme d'outils comportant des algorithmes et pourquoi pas, des systèmes experts (toute querelle d'auteurs mise à part).

2.5.Les qualités requises pour que ce système d'ingénierie soit intelligent.

Les qualités que doit avoir l'outil pour qu'il puisse être utilisé ont été énoncées précédemment, celles requises pour qu'il soit "intelligent" sont les suivantes:

2.5.1.Niveau de connaissance.

Le pluralisme méthodologique requis pour traiter le problème complexe que représente un projet d'aménagement en eau implique un système de représentation des connaissances hybride (Fedra, 1986). Ces connaissances seront représentées par des faits, des règles de connaissance (de technique et de pratique), des actions à effectuer, des résultats de simulation ou de calcul. Il n'est cependant pas raisonnable de prétendre représenter toute l'information.

Deux niveaux de connaissances sont indispensables, le premier comprend celles qui sont liées à chaque domaine d'activité intervenant dans les projets d'aménagement en eau, le second permet l'utilisation hiérarchique des outils liés à chacune de ces activités.

exemple:

1°niveau: exemples de connaissances factuelles:

Les formations aquifères sont fluvio-glaciaires
Il existe des lentilles de sable
Il existe des niveaux argileux

exemples de connaissances opératoires:

Comment effectuer un sondage carotté
Comment effectuer un sondage géophysique
Comment effectuer un essai par pompage

2°niveau: exemples de connaissance factuelle:

Pour interpréter les diagraphies, il existe un sytème expert inférant la géologie du sous-sol (système Litho).

Pour interpréter les sondages géophysiques, il existe une méthode semi-automatique (programme Sondel)

Pour interpréter les essais par pompage, il existe un système expert.

exemples de connaissance opératoire:

> Les sondages carottés doivent s'effectuer **après et à proximité** des sondages géophysiques **pour** déterminer un endroit propice au creusement d'un forage **pour ensuite** y effectuer un essai par pompage.

Le premier niveau de connaissance est essentiellement technique, il est utilisé pour des décisions tactiques, alors que le second constitué de connaissances sur l'utilisation des techniques, permettra de prendre des décisions plus stratégiques. Leur mode de représentation pour les premiers essais (V°partie) s'appuiera essentiellement sur les méthodes de raisonnement déductif.

2.5.2.Facilité d'utilisation.

Le système est sensé fournir des réponses aux questions posées par les utilisateurs en particulier s'ils lui demandent d'expliquer son raisonnement.

Il doit être facile à utiliser, l'enchaînement des divers logiciels éventuellement sollicités ne doit pas être forcément automatique pour que l'utilisateur puisse, s'il le désire, contrôler lui—même le déroulement de l'opération.

L'utilisateur décrira son problème dans une base de données ou base de faits enregistrée à chaque consultation. Le formalisme de description doit être assez souple pour s'adapter aux différents types de projets et suffisamment précis pour que cette description soit significative.

2.5.3.Moteur d'inférence adapté.

Le choix définitif d'un moteur d'inférence est pour l'instant prématuré. Le test de plusieurs d'entre eux est indispensable pour pouvoir dresser le cahier des charges de celui qui s'appliquera le mieux à la base de connaissances du système et qui permettra de tester dans de bonnes conditions la pertinence des règles de connaissance retenues. En procédant par étapes successives pour différents domaines d'expertise (prospection géophysique, assainissement autonome) et différentes activités des projets d'aménagement en eau, nous analyserons l'efficacité de moteurs utilisant une logique des propositions, et une logique floue. La gestion d'hypothèses doit permettre de prendre en compte l'incertain concernant les données du projet, la seule application de coefficients de vraisemblance sur les règles de connaissance étant souvent insuffisante.

La conception des projets implique la manipulation de nombreuses variables numériques ou qualitatives, elle rend indispensable le recours à un moteur capable d'utiliser la logique du premier ordre.

Pour la seconde application, qui consiste à réaliser des études prévisionnelles pour des projets dont la réalisation peut s'étendre au—delà de quelques années, l'utilisation d'une logique non monotone est certainement à envisager puisque les caractéristiques physiques et socio—économiques des systèmes peuvent évoluer.

Le choix d'un moteur unique pour le système paraît s'imposer, il doit cependant être doté d'un environnement permettant la communication avec des programmes classiques et l'accès direct aux données. C'est la raison pour laquelle, nous envisagerons l'utilisation de moteurs d'inférences plus évolués qui constituent des développeurs d'applications relativement complets à cet égard.

C'est le spécialiste de l'écriture de ces programmes qui devra déterminer si les règles de connaissance doivent être compilées selon un module indépendant du moteur d'inférence. On peut d'ores et déjà prévoir que le nombre de règles de connaissances à écrire sera très important.

2.5.4.Conception modulaire.

Le développement de ce système s'effectuera selon une structure modulaire où chaque module couvrira un domaine limité d'expertise (hydrogéologie, géologie, géophysique, pédologie, économie, hydraulique). Le nombre important de règles nécessite aussi une structuration par modules spécifiques à la nature des projets (alimentation en eau potable, irrigation, assainissement). Ces modules seront plus ou moins indépendants pour limiter le volume des prémisses associées aux règles qui stipulent leurs conditions d'application. Cette structure modulaire doit néanmoins, permettre au système de rester ouvert à d'autres champs d'expertise.

Cette structure ne doit pas être figée, elle doit s'adapter aux différents types de projets et, plus tard, à différents types de contextes (pays développés, pays en développement (zones arides, semi arides, tropicales)). Les différents outils (algorithmes d'optimisation, de simulation, systèmes experts) doivent être rangés en fonction de leur spécificité (évaluation, prévision, diagnostic) mais aussi en fonction de leur nature (machine d'implantation, langage, type de connexion aux données). Tous les éléments de connaissance de ce système seront éclatés dans un **système d'information général** au sein duquel, ils seront réorganisés. La structure permettant d'exploiter ce système d'information général aura pour tâche de reconstituer "l'écosystème" correspondant au projet de l'utilisateur, pour lequel des schémas directeurs de résolution seront proposés.

L'étude de la dynamique du système ne s'effectue plus au niveau du domaine étudié mais à un niveau supérieur, celui des relations existant entre utilisateur, base de connaissances, système d'information, expériences de simulation.

2.5.5.Communication avec des structures externes au système.

L'accès aux outils quantitatifs reste indispensable, la résolution du problème de l'utilisateur nécessitera la communication avec différents programmes externes que nous détaillerons en présentant la structure du système. L'appel et le déclenchement de ces procédures devront rester, comme nous l'avons déjà signalé, transparents pour l'utilisateur. Elles seront dirigées vers des programmes de calcul et de simulation, vers des systèmes experts déjà existants et vers des systèmes de gestion de bases de données.

Pour les systèmes experts ne traitant qu'un domaine restreint d'activités, la masse des données représente déjà une forte contrainte. Bien qu'une partie du travail soit déjà effectuée par le modèle MISE, elle risque de s'accentuer davantage. La mise en oeuvre de cette communication avec d'autres outils et d'autres bases de données est un travail qui demandera encore plusieurs années.

2.5.6.Simulation et système expert.

Parmi les systèmes experts présentés précédemment, très peu utilisent la simulation, discipline dont le succès a été quelque peu supplanté par celui de ces systèmes, ces dernières années. Le concept "simulation" est en lui-même complexe et ambigu suivant le mode de représentation du modèle et le but (optimisation, calcul, compréhension, représentation...) qu'on a fixé à l'étude. Ces deux méthodes ou outils ne sont pourtant pas contradictoires ou d'intérêt opposé, ils sont plutôt complémentaires. L'intérêt de les associer dans un système d'ingénierie est différent suivant qu'on intègre un système expert dans un système de simulation, ou qu'on utilise un système de simulation dans un système expert (O'Keefe, 1986).

-utilisation d'un système expert en simulation.

Ce premier cas peut se concrétiser dans notre application par l'intégration possible d'un système expert (V°partie) dans le système de simulation MISE (version assainissement). Dans ce cas, le système expert assiste la simulation (Figures 4-6A et 4-6B). Les différents modules d'expertise de l'outil que nous proposons seront testés dans le cadre d'une expérience de simulation MISE à laquelle participeront des spécialistes. Ce test de cohérence peut assurer, au même titre qu'une utilisation réelle, le contrôle de ce module puisque les experts qui ont contribué à l'élaboration de l'expertise, ne seront pas obligatoirement ceux qui l'utiliseront. Toutefois, ce test ne constitue pas un critère de contrôle pour l'ensemble du système.

Figure n°4-6: Combinaison entre système expert et simulation.

(d'après O'Keefe, 1986)

Figure 4-6A

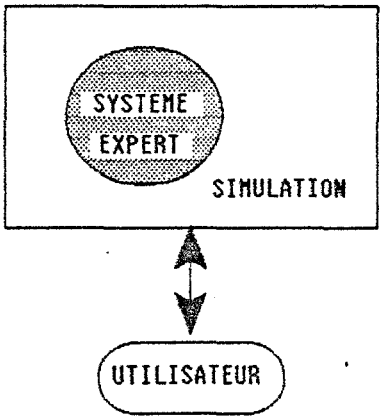
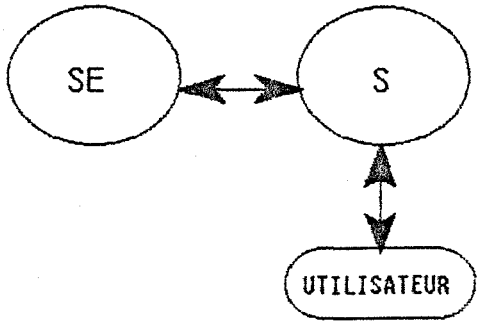


Figure 4-6B



—utilisation de modèles de simulation et de différents systèmes experts dans le système d'ingénierie.

Ce cas d'utilisation se concrétisera également dans le sytème d'ingénierie par l'intégration de différents modèles de simulation hydrodynamique des écoulements dans les nappes ou dans les réseaux (Figure 4—7). Il contiendra les procédures nécessaires pour construire, analyser et utiliser ces modèles avec des règles de connaissance. La mise en oeuvre de ces procédures est cependant plus difficile pour la modélisation hydrodynamique de nappe. Plusieurs solutions sont possibles:

—Les informations données par l'utilisateur suffisent pour identifier un modèle de nappe disponible dans la base d'information du système et il est alors possible d'exécuter une simulation de pompage par exemple et d'en déduire le rabattement provoqué. C'est le cas le plus simple mais qui actuellement est peu probable puisque deux ou trois modèles hydrodynamiques sont exploitables par le système (nappe de de l'aquifère minier de Saint—Etienne, nappe alluviale de la Loire, nappe d'alluvions fluvio—glaciaires de Bièvre—Valloire).

—L'autre solution plus générale consiste à préparer différents modèles hydrodynamiques spécifiques à chaque type de nappe (libre, captive) et à la nature du site modélisé, capables de recevoir dans un temps limité des informations issues d'une base de données quantitatives (niveaux piézométriques, débits des cours d'eau, caractéristiques de la nappe) et descriptives (géologie), qui seront introduites à partir des informations de l'utilisateur (Figures 4—6C et 4—6D) ou à partir de bases de données. Cette utilisation un peu idéale d'un modèle de simulation dans un système de gestion de base d'information est actuellement étudiée dans les Advanced Information Process (Kerckhoffs, Vansteenkiste, 1986). Elle ne semble pas résoudre pour autant le problème du calage du modèle. Une dernière solution consisterait à collecter les modèles hydrodynamiques déjà existants et qui sont les plus sollicités, mais les disparités de langages et de machines constitueraient un sérieux obstacle.

Il ne s'agit pas de refaire ces logiciels qui fonctionnent correctement mais seulement de les rassembler dans un système aussi complet que possible permettant de contrôler leur utilisation par un jeu de règles de production.

Ces travaux n'interviendraient pas pour la première application du système, qui serait utilisé à l'échelon local dans un premier temps. L'utilisation de ce système pour répondre à des appels d'offres impose des contraintes de temps de réponse qui risquent de limiter pour l'instant l'emploi de programmes de simulation hydrodynamique.

Cependant nous verrons que ceux—ci ont déjà été modifiés dans le but d'une adaptation au cadre d'utilisation du système.

Figure 4—6C

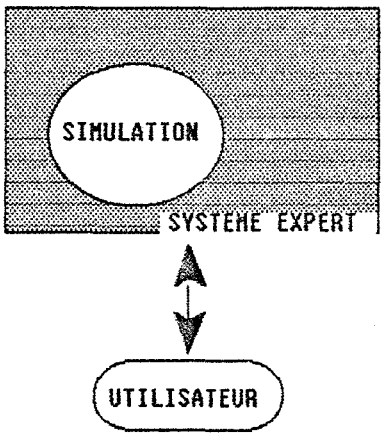
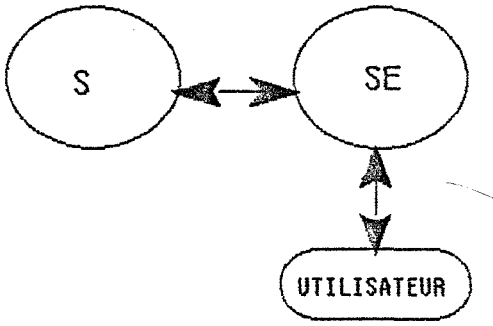


Figure 4—6D



(d'après O'Keefe, 1986)

—Nécessité des structures de contrôle.

Les projets d'aménagement en eau étant soumis à la variation des phénomènes naturels, économiques et parfois sociaux; il est important de pouvoir les contrôler. Ce problème, rarement abordé dans les systèmes experts, est capital pour notre application et implique la description de l'environnement à plusieurs époques du projet.

Dans le chapitre suivant, nous décrirons plus précisément les connaissances introduites dans le système et formalisées en règles de production, leur organisation dans une base de connaissance, les structures de communication avec des bases de données et les structures de contrôle. Auparavant il est important de signaler la particularité du système par rapport aux systèmes experts au sujet du transfert d'expertise.

2.6.Particularité fondamentale: Le système d'ingénierie est doté de son propre système d'apprentissage: le système de simulation MISE.

La construction du système d'ingénierie à l'aide des techniques des systèmes experts reste compatible avec l'un de ses objectifs qui est, rappelons le, de réaliser une structure d'évaluation des expériences de simulation MISE qui jalonneront l'utilisation professionnelle du système. Il est déjà doté d'une particularité fondamentale le distinguant des systèmes experts du point de vue de la collecte, de l'accroissement et des modifications des connaissances puisqu'il possède son propre "système d'apprentissage": le sytème MISE (Figure n°4—8).

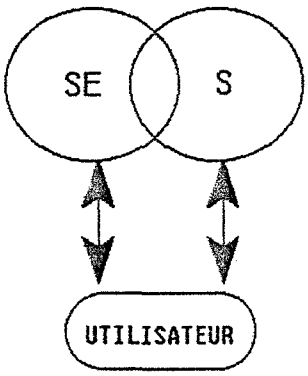
Le système MISE permet, à partir de cas de projets, de produire un certain nombre de règles mais seulement sous forme littérale, c'est—à—dire dont le formalisme ne permet pas une exploitation directe par un moteur d'inférence.

Figure n°4—6

AUTRES COMBINAISONS POSSIBLES ENTRE SYSTEME EXPERT ET SIMULATION

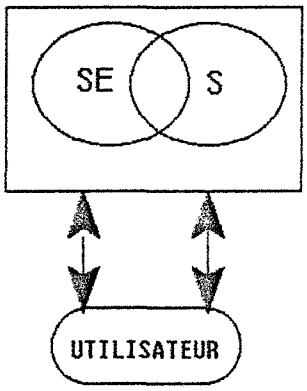
(d'après O'Keefe)

Figure 4—6E



Le système expert (SE) et le modèle de simulation (S) effectuent des tâches simultanées, l'utilisateur peut manipuler directement les deux modules
exemple: aide à l'élaboration d'un modèle de simulation

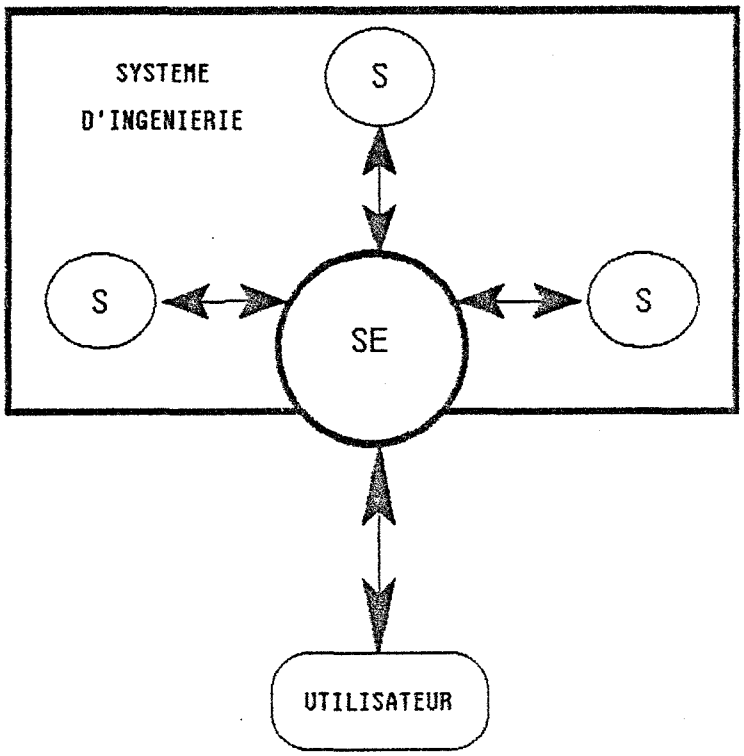
Figure 4—6F



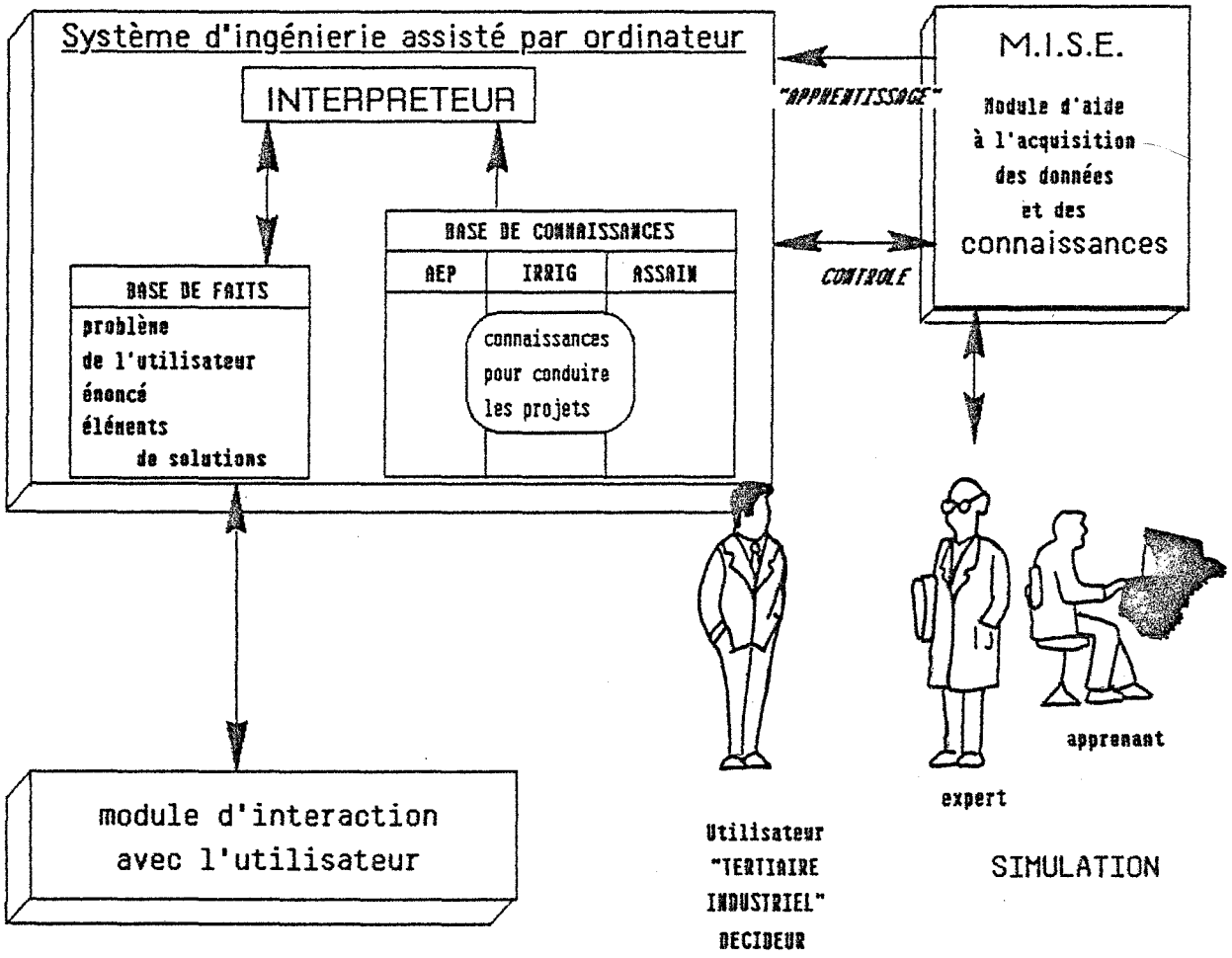
Une importante interface utilisateur permet une utilisation directe par un décideur. Aide à la décision.

Figure 4—7

RELATIONS ENTRE LE SYSTEME D'INGENIERIE ET LA SIMULATION



SCHEMA DE CONCEPTION GENERALE DU SYSTEME D'INGENIERIE



Utilisation pour la planification des taches....

....dans le cadre :

- de REPONSES AUX APPELS D'OFFRES
- d'EVALUATION D'IMPACTS
- d'ETUDES PREVISIONNELLES

Figure n°4—8

La notion d'apprentissage (machine learning) correspond à un concept plus formel et plus précis en intelligence artificielle, puisqu'il doit permettre une acquisition automatique des connaissances sous forme de symboles (Kodratoff, 1985), il se réfère cependant à des techniques simples de classification des différents objets d'un système qui s'adaptent à notre cas.

En effet, l'évaluation des simulations MISE commence par leur classification par type de projet, par type d'utilisateur et par phases de décisions pour mieux les comprendre et en dégager des connaissances ayant valeur plus générale. La classification des données utilisées, des outils employés, des incidents survenus permet de déduire des règles d'expertise. Il existe des formes d'apprentissage plus complexes que la classification qui relèvent de processus de généralisation. Ce problème se pose au niveau de l'évaluation des simulations. En effet, comment ce que nous enseigne une simulation peut—il être envisagé pour un cas général?

exemple: Le président de l'ASA de X connait l'un des membres du conseil général, il obtient ainsi les subventions pour son projet qui se situe pourtant à Y en zone non remembrée.

Les agriculteurs de La Côte Saint—André n'ont pas de relations politiques, ils n'obtiennent aucune subvention pour leur projet qui se situe pourtant en zone remembrée. Cependant, ils refusent d'étendre leur syndicat à plus de 8 exploitants.

Cet exemple banal illustre les difficultés auxquelles nous sommes confrontés pour déterminer la valeur générale d'une connaissance très descriptive. Il est toutefois difficile de généraliser sans se référer à une hiérarchie de généralisation. Cette hiérarchie s'effectue ici suivant l'importance relative des critères:

relations politiques>zone remembrée>zone non remembrée

.....>extension du syndicat>.....

La hiérarchie s'établit par rapport au fait "des subventions sont obtenues", elle permet de guider l'écriture généralisée des règles de connaissances associées aux trois premiers critères, mais d'autres cas particuliers sont nécessaires pour y intégrer le dernier.

MISE correspond donc plus à une technique qu'à un système d'apprentissage pour le système d'ingénierie qu'il alimente.

Il constitue une étape intermédiaire, concrète et opérationnelle, avant de prétendre devenir un système d'apprentissage automatique et idéal qui est encore trop théorique pour être réalisable. Sa tâche future d'apprentissage serait de classer automatiquement non seulement les règles de connaissance qu'il permet de générer, mais aussi les faits pertinents (données, résultats et outils) dans le système d'information général du système d'ingénierie.

Conclusion:

La plupart des systèmes experts existants n'ont pas une telle structure. Ce sont essentiellement les modules d'acquisition des connaissances et les structures de contrôle de ces connaissances qui leur font défaut.

P. Hubert, dans sa thèse, présente les systèmes experts comme des outils dont les possibilités futures sont à prendre en compte. C'est l'un des premiers spécialistes des sciences de l'eau à s'y intéresser au niveau d'un ouvrage de ce type. Rappelons que ses travaux de recherche sont menés depuis près de quinze ans dans le domaine des outils de gestion de l'eau. Il indique une nouvelle voie d'investigation en nous invitant à développer des applications pour les diciplines de l'hydrologie et des sciences de l'eau.

Développer des applications en utilisant la démarche des systèmes experts pour la prise de décision dans le cadre des projets d'aménagement en eau impose une certaine réflexion.

L'analyse du processus de décision des experts dans ce domaine montre que les connaissances utilisées pour concevoir ces projets ne contiennent pas que des éléments quantifiables. Mais si on s'intéresse aux différentes catégories de projets que nous désirons traiter en y intégrant les différentes disciplines qui y sont liées, on risque de faire entorse à l'axiome principal soutenu par les spécialistes des systèmes experts: limiter leur champ d'expertise.

Sans vouloir débattre ce sujet, il nous semble intéressant d'élargir l'utilisation de ces systèmes à un plus vaste ensemble d'utilisateurs professionnels chargés de l'étude et de la réalisation des projets d'aménagement en eau. La faisabilité d'un système d'ingénierie nécessite une organisation des bases de données et de connaissances (d'information) que d'aucun trouveront peut être irréaliste. Il semble cependant qu'une réalisation progressive par modules en permettrait le développement à condition que l'analyse préliminaire prenne en compte l'articulation indispensable entre chacun de ces modules.

Il ne s'agit pas ici de construire un système expert pour réaliser n'importe quel projet d'aménagement en eau, mais de concevoir et d'étudier la faisabilité d'un environnement informatique évolutif permettant d'exploiter les outils adaptés au problème d'un responsable de projets. Il se trouve que les moyens informatiques que se donnent les systèmes experts appartiennent à l'ensemble de ceux dont nous avons besoin pour mettre en oeuvre ce système d'ingénierie.

CHAPITRE 3: REPRESENTATION ET STRUCTURATION DES CONNAISSANCES DANS LE SYSTEME D'INGENIERIE

La masse considérable d'informations qu'il faudrait représenter dans la mémoire d'un ordinateur, oblige à sélectionner celles qui sont utiles et que le système d'ingénierie doit pouvoir exprimer.

L'un des objectifs prioritaires que l'on peut se fixer, pour représenter les connaissances utiles à l'étude ou à la réalisation d'un projet d'aménagement en eau, est l'efficacité avec laquelle on doit pouvoir les exprimer. Le formalisme de représentation adopté sera déclaratif.

Leur sélection demande un très grand soin, elle guidera leur organisation dans une base de connaissances structurée en fonction de leur nature. L'axiome principal que nous adopterons pour construire cette base sera celui de la simplicité pour ne pas contribuer dès le départ à une complexité qui restera par la suite inévitable.

Malgré cela, la représentation des connaissances selon une matrice de décisions trop simpliste reste insuffisante.

Exemple:

états / Actes	aquifère productif	aquifère improductif
Forer	besoins en eau satisfaits=succès	besoins en eau non satisfaits=échec
Ne pas forer	rien regret	rien pas de regret

On remarque qu'il faut envisager état et non état, action et non action, chaque état et chaque action ayant ici la valeur vraie ou fausse. Dans la réalité les états sont entachés d'incertitude et les conséquences des décisions ne dépendent pas d'une logique binaire mais de considérations plus probabilistes.

Ce schéma risque par ailleurs d'être encore plus insuffisant si l'on envisage les conséquences des autres nombreux états et actions qui interviennent dans une phase de prospection des ressources en eau.

3.1.Structuration des connaissances dans une base d'informations principale, interne au système d'ingénierie:

La structuration la plus simple consisterait à prévoir une base de connaissances spécifique à chaque type de projet. Cela entraînerait leur redondance puisque certains domaines d'activité et d'expertise sont communs (prospection, distribution, géophysique, hydraulique). D'autre part cette structuration figée empêcherait l'utilisation de ces bases de connaissances pour des projet s'effectuant dans des contextes différents de ceux pour lesquels ils sont actuellement prévus. Il paraît également difficile de préparer à l'avance des bases de connaissances pour chaque cas particulier, elles seraient trop nombreuses et pas forcément bien adaptées.

Il nous semble donc plus intéressant d'analyser les connaissances pour les utiliser de manière plus rationnelle et appropriée selon les projets et selon les préoccupations de ceux qui en sont responsables. Pour les différents types de projets qui nous intéressent, nous essaierons de décomposer l'information en classant les éléments qu'elles contiennent dans une base d'informations générale interne au système d'ingénierie. La classification permet une mémorisation plus facile des connaissances appartenant à chaque classe, elle rend possible la gestion des relations qui existent entre chacune d'elles. Il n'existe évidemment pas de classification préétablie dans laquelle il est possible de représenter toute cette information. La répartition des connaissances dépend de l'avis du concepteur, les critères de classification resteront arbitraires mais seront adoptés en fonction de l'utilisation du système.

On introduira dans la base d'informations générale les connaissances de base implantées dans le système MISE (qui ne contiennent pas de règles de connaissance), on y ajoutera celles qui sont issues des différentes expériences et qui peuvent permettre de formuler des règles de connaissance.

3.1.1.Les faits introduits par les utilisateurs du système.

Avant de décrire le contenu des règles et leur structuration, il faut d'abord décrire les faits susceptibles d'être fournis par les utilisateurs du système et qui orienteront cette classification. Dans le cas d'une application qui permettrait d'aider les bureaux d'études pour une réponse à leurs appels d'offres, les questions posées à l'utilisateur seront les suivantes:

Renseignements destinés à identifier la consultation en cours:

-Raison sociale de l'utilisateur ?

-Date de l'appel d'offres, échéance ?

-Maître d'oeuvre et maître d'ouvrage ?

Renseignements destinés à identifier la nature du projet:

-Lieu du projet (département, nom de la commune) ?

Le système permet d'établir si un projet a déjà été traité sur ce site (Simulation MISE).

- Type de projet (AEP, Irrigation, Assainissement autonome) ?

Si le projet en question a déjà été traité en simulation.....résultats.

Sinon, la consultation se poursuit.....

Quel que soit le type de projet, les thèmes d'activité dont vous êtes chargés sont:

-Financement ?

-Tarification ?

S'il sagit d'AEP ou d'irrigation,

les thèmes d'activité dont vous êtes chargés sont:

-Evaluation des besoins ?

-Prospection ?

-Station de pompage ?

-Traitement ?

-Distribution ?

S'il s'agit de prospection:

quel est le type de ressources en eau ?

-Eaux de surface ?

-Eaux souterraines ?

S'il s'agit de distribution:

quel est le type de réseau?

-Gravitaire ?

-Sous-pression ?

S'il s'agit d'un projet d'assainissement:

-Autonome ou groupé ?

S'il s'agit d'un projet d'assainissement groupé

-Réseau ?

-Epuration ?

S'il s'agit de l'épuration se fera-t-elle par:

-station ?

-technique rustique (lagune, épandage superficiel, épandage souterrain) ?

quel que soit le type de projet:

-type de site (alluvial, fissuré, mixte) ?

Renseignements destinés à préciser les domaines d'expertise impliqués:

-Compétences de l'utilisateur (hydrogéologue, hydraulicien agronome, ingénieur conseil sans spécialité, bureau d'études à plusieurs compétences)

-Assistance particulière pour un domaine d'expertise précisé (géophysique, diagraphies, interprétation des essais par pompage, irrigation à la parcelle) ?

Ces renseignements fournis par l'utilisateur à la suite de questions posées par le système sont importants et ne doivent pas être pris ou donnés au hasard. Le formalisme de ce questionnaire de départ n'est présenté qu'à titre provisoire, il peut se réaliser sous forme de menus.

Construction de bases de connaissances dédiées.

Chaque question posée entraîne la sélection de plusieurs thèmes de la base d'informations générale, l'élimination de ceux qui ne sont pas choisis et des questions qui leur correspondent, de sorte que l'élimination d'une question entraîne consécutivement l'élimination des thèmes qu'elle contient.

Par exemple si le projet est celui de l'assainissement d'une petite collectivité les thèmes tels que prospection, traitement, eau souterraine, réseau... correspondant à des questions spécifiques de l'irrigation et de l'AEP seront éliminés. Cependant le thème réseau devra être resélectionné si l'utilisateur traite d'un assainissement groupé. Les connaissances communes à deux thèmes voisins (évaluation des besoins et propection, traitement et distribution,...etc) ne sont pas éliminées.

Ces quelques informations de départ seront introduites dans une partie de la base de faits du système d'ingénierie, dans le but de sélectionner dans sa base d'informations générale, les connaissances (faits et règles) qui permettront de constituer une **base de connaissances dédiée** au problème spécifique à l'utilisateur (Figure n°4—9).

Module de sélection:

Si le nombre de questions doit être augmenté et si on désire étendre ce questionnaire à d'autres utilisateurs (présidents de syndicats), le programme informatique destiné à exploiter les réponses du menu deviendrait insuffisant. Il pourrait faire l'objet d'un système expert secondaire en logique des propositions. Les règles de connaissance de ce système permettraient de déterminer celles qu'il serait intéressant de sélectionner en priorité pour résoudre le problème de l'utilisateur, il s'agirait donc des règles de choix guidant la stratégie de recherche de l'information à l'intérieur du système d'ingénierie. Les parties actions des règles ne seraient utilisées que de manière interne à l'ensemble du système pour construire une base de connaissances dédiée .

Comment doit être organisée la base d'informations générale où sont engrangées ces connaissances?

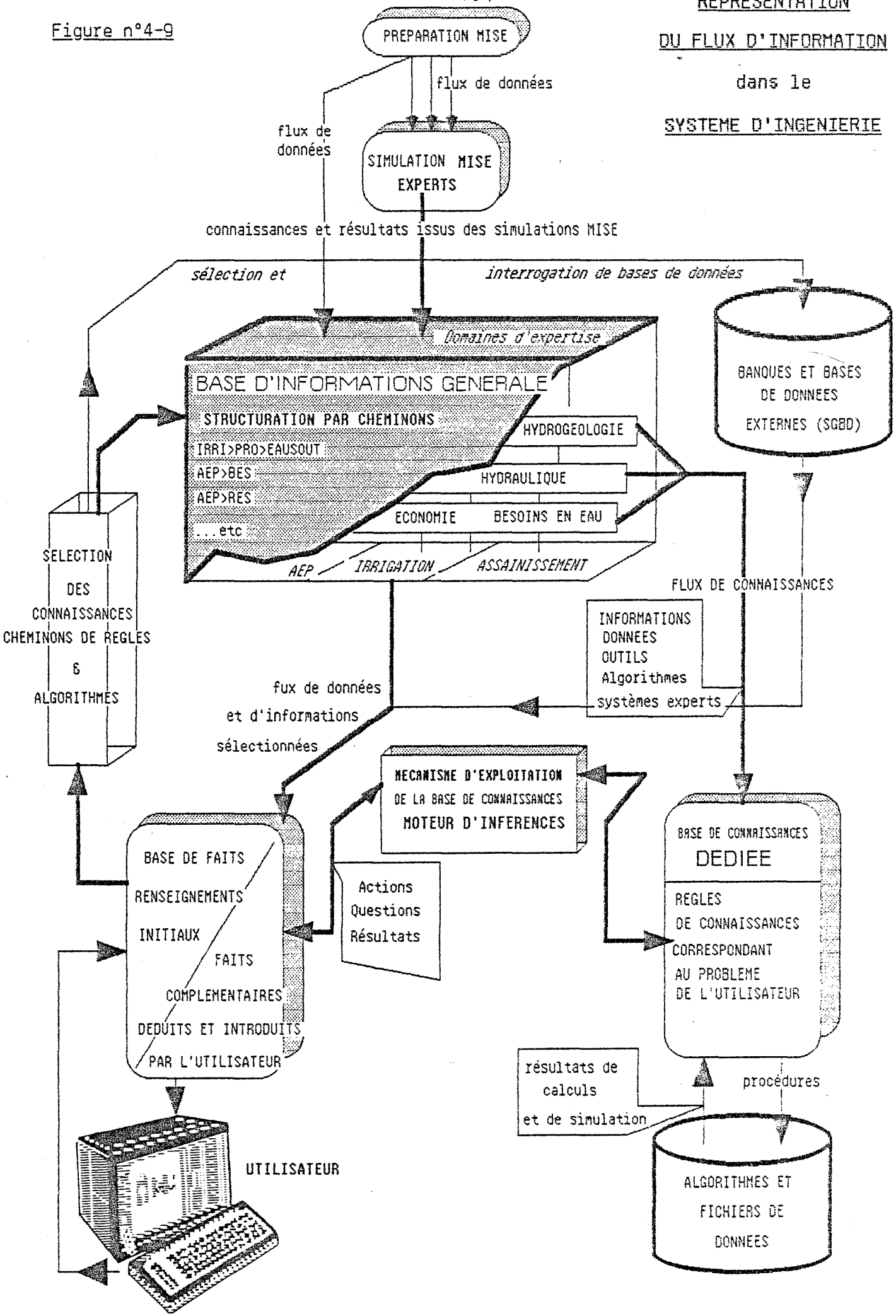
3.1.2.Représentation des connaissances dans la base d'informations générales.

Pour les trois types de projets traités, on distinguera sommairement les connaissances spécifiques à chacun d'eux et celles qui leur sont communes. Les schémas de classification sont multiples, pour ne pas répartir l'information à plusieurs endroits à la fois, il faut transcrire l'ensemble de ces connaissances dans des arborescences fines et constituer par la suite, des bases de connaissances dédiées.

La représentation dans un univers totalement structuré des différentes catégories de connaissances mises en jeu dans les projets d'aménagement en eau, ne peut s'appuyer sur un schéma simple exprimant les relations entre les groupes de connaissances.

Figure n°4-9

REPRESENTATION DU FLUX D'INFORMATION dans le SYSTEME D'INGENIERIE



Chaque thème sera représenté par un symbole ou "cheminon" indiquant la nature des connaissances qu'il contient. Plus elles sont spécifiques, plus le nombre d'éléments qui composent ce cheminon augmente. Cette méthode de repérage peut parfois éviter d'écrire des règles très contraignantes c'est—à—dire comportant un nombre de prémisses important.

—Catégories de connaissances communes aux trois types de projets:

-TARIF

Connaissances concernant les modes de tarification de l'eau, et les éléments nécessaires à sa détermination en prenant en compte les options de la politique de l'eau.

-FINANC

Connaissances relatives aux différentes possibilités de financement (subventions, emprunts, prêts) mises à la disposition des décideurs.

-DUP

Eléments de législation pour effectuer les procédures de déclaration d'utilité publique

-ALLUV

Connaissances décrivant les caractères géologiques, hydrogéologiques, topographiques d'un milieu alluvial (alluvions fluviales et fluvioglaciaires)

-FISSUR

Connaissances décrivant les caractères géologiques, hydrogéologiques, topographiques d'un milieu fissuré (socle cristallin, calcaire).

-RES

Connaissances générales d'hydraulique pour l'équipement, le tracé et le dimensionnement de réseaux. Détection des fuites dans les réseaux. Modèle d'optimisation économique du tracé d'un réseau de canalisations.

-RES>GRAV

Connaissances spécifiques à la conception de réseaux gravitaires et au dimensionnement des réservoirs.

-RES>PRESS

Connaissances spécifiques à la conception de réseaux sous—pression et au dimensionnement de postes et de canalisations de refoulement.

-RES>COUT

Données de coût concernant les canalisations, les tranchees, les accessoires de réseau...etc.

On remarque que ce type de connaissances fait l'objet de questions indépendantes du type de projet concerné. La procédure est un peu différente en ce qui concerne les cheminons contenant l'élément "réseau" qui sont a priori éliminés pour un projet d'assainissement et seront re—sélectionnés dans le cas d'un assainissement groupé.

-STAPOMP

Informations générales pour la conception de stations de pompage.

-STAPOMP>COUT

Connaissances sur le prix des stations de pompage, utilisation des formules.

-EAUSUR>DEPART

Connaissances relatives à l'acquisition des données concernant les eaux superficielles (fleuves, cours d'eau, bassins versants, cartes de pollution), pour chaque département. Bases de données du ministère de l'environnement.

-EAUSOUT>DEPART

Connaissances relatives à l'acquisition des données concernant les eaux souterraines de chaque département (cartes hydrogéologiques, relevés piezométriques, banques de données du BRGM, données de forages et de sondages).

-PHOTO>DEPART

Connaissances relatives à l'acquisition des documents de télédétection aérienne ou spatiale et à leur interprétation. Recherche des fichiers de données IGN.

-TOPO>DEPART

Acquisition des données topographiques (cartes topographiques IGN, plans cadastraux numérisés).

-BES>DEPART

Informations issues de sources conventionnelles (Plans d'Occupation des sols, cadastre, services publics)

Dans ces derniers cheminons, DEPART est une variable qui prendra une valeur au moment où l'utilisateur déclarera le lieu du projet qui le concerne.

-SITE

Liste des projets déjà simulés en Alimentation en Eau Potable, irrigation, assainissement.

—Catégories de connaissances relatives à l'Alimentation en Eau Potable et à l'irrigation:

-PRO

Ce seront par exemple, les données administratives relatives à l'autorisation de prélèvement des ressources en eau qu'elles soient souterraines ou superficielles.

-PRO>COUT

Données de coûts pour la recherche des eaux superficielles ou souterraines.

-PRO>EAUSOUT

Connaissances concernant les méthodes de prospection spécifiques aux eaux souterraines. Modélisation hydrodynamique (différences finies, éléments finis). Interprétation des documents de télédétection aérienne ou spatiale pour la recherche d'eau souterraine. Mesures piézométriques. Lorsque les connaissances deviendront trop nombreuses pour ce cheminon, on le remplacera par: PRO>EAUSOUT>ALLUV et PRO>EAUSOUT>FISS.

-PRO>EAUSOUT>GEOPHY

Connaissances sur la prospection des ressources en eau souterraines, en milieu alluvial ou fissuré, par méthode géophysique. Interprétation des mesures de géophysique électrique. Méthodes de géophysique sismique, microgravimétrique.

-PRO>EAUSUR

Connaissances concernant les méthodes de prospection spécifiques aux eaux superficielles (mesures de débit dans les cours d'eau, études de bassins versants, retenues collinaires...etc). Modèles hydrologiques. Interprétation des documents de télédétection aérienne et spatiale pour l'étude des eaux superficielles (rejets de pollution, anomalies thermiques)

-PRO>EAUSUR>POMP

Connaissances relatives aux méthodes de pompage dans les rivières (matériel)

-PRO>EAUSOUT>POMP

Connaissances relatives aux méthodes de pompage dans une nappe aquifère, méthodes d'interprétation des essais par pompage (système—expert)

-PRO>EAUSUR>BARR

Connaissances relatives au prélèvement des eaux contenues dans une retenue. Dimensionnement des retenues destinées à l'alimentation en eau potable (législation)

-METEO>DEPART

Connaissances permettant d'accéder aux données météorologiques (Liste des stations météorologiques, banques de données numérisées et spatialisées).

—Catégories de connaissances spécifiques à l'Alimentation en Eau Potable:

-AEP>FINANC

Connaissances pour obtenir des subventions pour un projet d'alimentation en eau potable.

-AEP>BES (>DEPART)

Connaissances au sujet de l'évaluation des besoins en eau pour l'alimentation en eau potable, Plans d'Occupation des Sols.

-AEP>PRO

Connaissances relatives aux problèmes de prospection des ressources en eaux superficielles ou souterraines pour l'eau potable, normes de qualité de l'eau potable. Définition des périmètres de protection.

-AEP>RES

Connaissances spécifiques aux réseaux de distribution de type gravitaire ou sous pression pour l'eau potable. Etude des réseaux maillés. Calcul des débits, des diamètres et des pressions. Dimensionnement, emplacement des réservoirs. Méthode Hardy—Cross.

-AEP>TRAIT

Connaissances relatives aux méthodes de traitement de l'eau pour la consommation domestique. Analyse de qualité sur le réseau.

-AEP>TRAIT>COUT

Données de coûts pour les différentes méthodes de traitement de l'eau.

-AEP>TARIF

Connaissances nécessaires pour établir la tarification de l'eau de consommation domestique. Données concernant le prix de vente de l'eau. Répercussions sur le compte d'exploitation général pour un syndicat ou une commune.

-AEP>DEPART

Connaissances relatives à la localisation des données existantes pour les communes de chaque département sur leur alimentation en eau potable. Procédures de connexion avec les bases de données existantes.

-AEP>SITE

Connaissances établies par évaluation des simulations MISE des projets d'alimentation en eau des communes de Bonson, Saint—Rambert, Saint—Cyprien (Loire). Méthodes d'évaluation des expériences de simulation.

—Catégories de connaissances spécifiques à l'irrigation:

-IRRI>FINANC

Connaissances utiles pour obtenir des financements pour un projet d'irrigation (subventions, avances, prêts). Méthodes d'étude de rentabilité des investissements hydro—agricoles.

-IRRI>CULT>DEPART

Acquisition des données au sujet des cultures pratiquées dans chaque département. Cartes des terres agricoles, informations au sujet du développement agricole (SRAE)

-IRRI>BES

Connaissances nécessaires pour l'évaluation des besoins en eau d'irrigation. Calcul du déficit hydrique, des doses et fréquences d'arrosage. Plans d'assolement des cultures (IRRI>BES>DEPART)

-IRRI>PRO

Connaissances portant sur les méthodes de prospection pour la recherche d'eau d'irrigation (eaux souterraines, eaux de surface, eaux usées). Normes de qualité pour l'eau d'irrigation.

-IRRI>PRO>EAUSUR

Connaissances relatives à l'utilisation des eaux de surface pour l'irrigation. Construction de retenues collinaires. Aménagement des cours d'eau.

-IRRI>RES

Connaissances spécifiques au tracé d'un réseau d'irrigation sous pression ou gravitaire, par rapport à la disposition des parcelles. Détermination du plan de bornage, détermination des débits de pointe par la méthode de Clément, dimensionnement des diamètres des canalisations d'un réseau par la méthode de Labye (optimisation technico—économique).

-IRRI>RES>CANAUX

Distribution d'eau d'irrigation par canaux. Lois d'hydraulique appliquées aux écoulements dans les canaux (relation de Chézy).

-IRRI>RES>CANAUX>COUT

Données de coûts de construction et d'équipement des canaux d'irrigation.

-IRRI>TECHNIC

Connaissances relatives à l'utilisation de différentes techniques d'irrigation (par aspersion, localisée,...etc).

-IRRI>TECHNIC>COUT

Données de coûts du matériel mobile d'irrigation.

-IRRI>TARIF

Connaissances nécessaires pour établir la tarification de l'eau d'irrigation pour les adhérents d'un syndicat. Fonds de roulement, couverture des charges fixes et variables, date de facturation.

-IRRI>SITE

Connaissances relatives à l'évaluation des simulations MISE version Irrigation. Résultats des projets simulés pour les communes de La Côte—Saint—André, Pajay, Beaurepaire, Saint—Barthélémy, Revel—Tourdan, Marcollin, Beaufort (Isère)

—Catégories de connaissances communes à l'irrigation et à l'assainissement:

-IRRI>TRAIT

Connaissances nécessaires pour définir le traitement des eaux d'irrigation (salinité, matière en suspension), en particulier dans le cas de la récupération des eaux usées.

-BES>SOL

Connaissances relatives pour l'étude des sols, mesures de perméabilités, analyses de sols, sondages à la tarière, profils de sols. Localisation et existence des cartes d'aptitude des sols.

—Catégories de connaissances relatives à l'assainissement des petites collectivités:

-ASSPC>FINANC

Connaissances relatives à l'obtention des financements nécessaires aux projets d'assainissement. Problème particulier du financement des assainissements individuels et des relations entre collectivités et particuliers.

-ASSPC>CONTNAT

Ce sont les connaissances qu'il faut acquérir sur le contexte naturel pour pouvoir étudier et définir un projet d'assainissement de petites collectivités.

-ASSPC>CONTHUM

Connaissances du contexte humain. Annexes sanitaires du Plan d'Occupation des Sols. Règles d'urbanisme.

-ASSPC>GROUPE

Ce cheminon ainsi que tous les cheminons contenant le mot clef GROUPE contiendront des données qui ne sont pas utiles à l'assainissement des habitations unifamiliales (quand les mots clefs GROUPE ou AUTON ne sont pas spécifiés c'est que la rubrique peut concerner l'un ou l'autre de ces thèmes) .-ASSPC>GROUPE contiendra des données générales sur l'assainissement collectif, les raisons qui peuvent pousser à le choisir et les contraintes qui y sont liées.

-ASSPC>GROUPE>RES

Connaissances relatives aux réseaux d'assainissement .

-ASSPC>GROUPE>RES>UNITAIRE

Connaissances spécifiques aux réseaux d'assainissement unitaires

-ASSPC>GROUPE>RES>SEPARATIF

Connaissances spécifiques à l'assainissement avec réseau séparatif (eaux pluviales, eaux usées).

-ASSPC>GROUPE>RES>MIXTE

Connaissances spécifiques à l'assainissement avec réseau mixte (eaux usées + quelques eaux pluviales).

-ASSPC>GROUPE>EPUR>RUSTIC>LAG

Connaissances nécessaires pour la réalisation d'un dispositif de lagunage en assainissement collectif.

-ASSPC>GROUPE>EPUR>RUSTIC>EPSUP

Connaissances nécessaires pour la réalisation d'un épandage superficiel en assainissement collectif (bassins d'infiltration, épandage sur prairies).

-ASSPC>GROUPE>EPUR>STATION

Connaissances pour réaliser une station d'épuration pour une petite collectivité

-ASSPC>GROUPE>EPUR>STATION>COUT

Calcul du coût des stations d'épuration pour l'assainissement des petites collectivités.

-ASSPC>EPUR>RUSTIC>SOL

Ce sont les données et les outils relatifs à la connaissance du sol dont les caractéristiques doivent être connues pour tous projets d'épuration de type rustique (lagune,épandage souterrain, épandage superficiel).

-ASSPC>EPUR>RUSTIC>EPSOUT

Connaissances nécessaires pour l'épandage souterrain des effluents (longueur maximale des drains, dimensionnement des fosses septiques...etc).

-ASSPC>EPUR>RUSTIC>COUT

Données de coûts des méthodes d'épuration rustiques en assainissement autonome ou groupé (terrassements, granulats...). Programme de calcul.

-ASSPC>AUTON

Connaissances générales sur les procédés d'assainissement autonome par opposition au groupé. Ne seront pas placées ici les connaissances sur l'épuration par épandage souterrain communes avec l'assainissement groupé (EPUR>RUSTIC). Ne seront placées ici que les données spécifiques à l'assainissement unifamilial telles que celles concernant les microstations, les décanteurs digesteurs, les cabinets d'aisance ou les fosses d'accumulation.

-ASSPC>UTIL

Connaissances sur la réutilisation des eaux usées et la valorisation de boues.

-ASSPC>TARIF

Calcul de la redevance assainissement qui pourra être perçue individuellement ou par l'intermédiaire de la facture d'eau.

-ASSPC>SITE

Résultats des expériences de simulation MISE version assainissement, Saint—Marcel des Félines (Loire).

La structuration des connaissances est cependant une opération qui doit être conduite prudemment, pour ne pas masquer les relations existant entre les différentes classes ou thèmes. C'est la raison pour laquelle on envisagera une autre série de cheminons contenant des règles de connaissances et des données destinées à gérer les interfaces entre les projets d'assainissement et d'eau potable, entre la prospection des ressources, l'évaluation des besoins et la distribution,...etc.

Les cheminons précédés du caractère # ne seront jamais éliminés, si le système doit résoudre un problème de traitement, il lui faut bien connaître les données relatives aux volumes d'eau distribués.

NATURE DES CHEMINONS JAMAIS ELIMINES:

-# (TYPE, PRO,BES,STAPOMP,RES)

= # (TYPE,PRO-BES), # (TYPE,PRO-STAPOMP),...etc.

= # AEP>PRO-AEP>BES, # AEP>PRO-AEP>STAPOMP,....etc.

TYPE est une variable qui spécifie le type de projet.

CAS PARTICULIERS:

- AEP-ASS,

(Projet intégrant des problèmes d'alimentation en eau potable et d'assainissement)

- IRRI-ASS,

(Projet de réutilisation des eaux usées pour l'irrigation)

3.1.3.Difficultés de représentation de l'ensemble des connaissances:

Cette répartition des connaissances n'est pas optimale et la structuration de la base d'informations générale que nous proposons devra absolument être ajustée au cours de son utilisation. Pour ne pas rester sur des idées trop théoriques et sans possibilité d'application, il nous semblait devoir avancer jusqu'à ce qu'on pourrait appeler "la mise à plat des connaissances". D'autres représentations et d'autres structurations sont possibles, nous ne proposons ici qu'un schéma indicatif tout en restant conscients des difficultés techniques que cela implique.

Les cheminons répertoriés illustrent les relations existant entre les différentes activités qui interviennent dans ces projets. Cette structuration est également conçue pour tenter de réduire un nombre de règles qui serait incompatible avec les performances actuelles des moteurs d'inférence.

Si les règles sont groupées en paquets autonomes que l'on peut traiter séparément, il est possible d'en traiter un nombre important. Ce procédé permet également de ne pas avoir à préparer à l'avance des bases de connaissances pour chaque type de projet.

Elles ne seraient pas obligatoirement adaptées aux problèmes de l'utilisateur et engloberaient de toute façon, un nombre de règles de connaissances encore trop important.

Cependant la décomposition accentuée de la connaissance, entraîne parfois l'écriture de règles identiques pour des cheminons différents. Il faut donc déterminer de manière optimale les règles contenues dans les cheminons pour réduire au maximum la base d'informations générale du système. Il s'agit en fait d'un choix dans la stratégie de recherche des règles.

Le système doit pouvoir orienter l'utilisateur dans une direction différente de celle qu'il avait choisie initialement (eaux de surface au lieu d'eaux souterraines). Il doit pouvoir aussi rectifier les renseignements initiaux fournis par l'utilisateur si celui—ci s'est trompé (site alluvial au lieu de site fissuré) et, par exemple, lui préconiser d'intégrer à la prospection des ressources en eau, les données et connaissances concernant l'évaluation des besoins.

Les règles appartenant aux cheminons toujours sélectionnés (notés#), permettent un retour dans la base d'informations générale pour sélectionner d'autres cheminons. Cela pose un problème particulier dans la si l'ensemble des règles sélectionnées au départ est compilé en un programme fixant le parcours du graphe d'enchaînement des règles, l'exécution du moteur d'inférences consistant à parcourir ce graphe. Une nouvelle compilation sera alors nécessaire pour prendre en compte les règles supplémentaires.

Tout cela implique une gestion en continu du nombre de règles contenues dans la base générale du système.

Malgré cette tentative de structuration, le nombre de règles à gérer risque de demeurer encore élevé, surtout pour le cas d'application à plus long terme du système (étude prévisionnelle complète d'un projet). Il deviendra alors nécessaire d'affiner l'ordonnancement des règles pour piloter leur sélection et l'ordre de leur déclenchement, celles placées en tête du fichier de règles étant, en général, prioritaires.

Le but principal de cette structuration est d'engranger les connaissances pour une utilisation opérationnelle, elle contribue aussi à une meilleure compréhension des phénomènes scientifiques, économiques et sociaux qui interviennent dans un processus de décisions pour un projet d'aménagement en eau.

3.1.4.Nature des connaissances regroupées dans chaque "cheminon".

Cette base d'informations étendue à l'étude prévisionnelle d'un projet d'aménagement en eau est loin d'être complète à l'heure actuelle. Nous pensons qu'elle pourrait contenir à court terme, les informations nécessaires pour une utilisation plus limitée dans le cadre de la première application que nous envisageons, à savoir la réponse aux appels d'offres pour ce type de projets. Si on y introduit les connaissances issues des simulations MISE ainsi que d'autres éléments, dont l'acquisition reste toutefois encore hypothétique (bases de données, outils scientifiques de la décision, systèmes experts existants), on obtient des éléments de connaissances qui pour chaque catégorie repérée par un cheminon, sont de nature différente.

—Connaissances spécifiques:

-formules: Loi de Bernouilli (RES), formule de Clément (IRRI>RES), formule de Vibert(RES>PRESS), formule du coût d'une station par pompage (STAPOMP>COUT), formules de Turc, Blaney-Criddle (IRRI>BES), modèles de Theis, Jacob, Hantush, Boulton, (PRO>EAUSOUT>POMP)

-équations: équation de Darcy, de diffusivité, (PRO>EAUSOUT)

-abaques: abaques de Coolebrook (RES)

-méthodes Hardy-cross (AEP>RES)

-modèles de simulation (hydrodynamique, hydraulique) (PRO>EAUSOUT, AEP>RES)

-modèles d'optimisation (programmation linéaire,...etc) (RES)

-méthodes d'études de rentabilité (IRRI)

-méthodes d'interprétation (géophysique) (PRO>EAUSOUT>GEOPHY)

-systèmes experts (diagraphies, essais par pompage,...) (PRO>EAUSOUT) (PRO>EAUSOUT>POMP)

—connaissances descriptives constituant l'univers du problème:

*naturelles:

-Géographie (SITE)

-Hydrogéologie, géologie, hydrologie (PRO, PRO>EAUSOUT, ALLUV, FISSUR,..)

-Pédologie (BES>SOL)

-Plans parcellaires (IRRI>BES, IRRI>RES)

*économiques:

-financement (subventions, emprunts, taux d'intérêt,..) (FINANC, AEP>FINANC, IRRI>FINANC, ASSPC>FINANC)

-Coûts, entreprises de sous-traitance, bureaux d'études spécialisés (RES>COUT, STAPOMP>COUT, PRO>COUT,...)

-Prix de l'eau (TARIF, AEP>TARIF, IRRI>TARIF, ASSPC>TARIF)

*Sociales:

-Plan d'occupation des sols (démographie) (AEP>BES,ASSPC>CONTHUM)

-besoins en eau (AEP>BES,IRRI>BES)

-Développement de l'agriculture (IRRI>CULT>DEPART)

Certaines de ces connaissances comportent les résultats des expériences de simulation dans le cas où le problème d'un utilisateur correspondrait à un projet déjà simulé.

—Expériences de simulation:

-projetS d'alimentation en eau potable (Loire)

(AEP>BONSON,AEP>SAINT-CYPRIEN,AEP>SAINT-RAMBERT-SUR-LOIRE)

-projetS d'irrigation (Isère)

(IRRI>PAJAY,IRRI>LA-COTE-SAINT-ANDRE,...)

-projet d'assainissement (Loire) (ASSPC>SAINT-MARCEL-DES-FELINES)

3.2.Différents types de règles:

3.2.1Connaissances opératoires (règles) pour tous les cheminons:

*Règles de déduction simple:

Il s'agit de règles déductives proprement dites, sans grand contenu d'expertise qui permettent de propager les conséquences d'une situation connue dans le graphe des décisions. Les connaissances de plus haut niveau sont en fait contenues dans les algorithmes de simulation et d'optimisation.

*1°niveau, règles techniques.

Ces règles concernent des domaines spécifiques, les parties actions sont souvent destinées à exécuter des calculs (opérations +,—, *,**,/) sur nombres entiers et réels, des programmes de simulation ou d'optimisation ou de cartographie qui dépendent de fichiers de données. Ce nombre de procédures ne doit cependant pas être excessif pour ne pas ralentir le fonctionnement du système et rendre les temps de réponse incompatibles avec son utilisation. Si leur temps d'exécution est trop long, l'utilisation du système doit être suspendue temporairement.

Exemples de partie action de règles:

Exécuter un programme linéaire.

Exécuter une simulation hydrodynamique.

*2°niveau, règles de nature plus stratégique.

Ces règles sont relatives à l'utilisation des différents outils de programmation classique ou de systèmes experts, elles orientent leur mise en oeuvre dans le cadre d'une utilisation adaptée.

Exemple de question posée et activant une règle:

Dans quelles conditions peut on utiliser la programmation linéaire ?

*Règles de gestion d'hypothèses.

Dans le domaine qui nous intéresse, l'incertitude des informations actuelles et futures sur l'environnement aussi bien physique qu'économique, conduit l'utilisateur à envisager des hypothèses, à les évaluer pour les accepter ou les rejeter.

La gestion d'hypothèses est la combinaison de plusieurs cycles de ce genre. Les parties actions des règles de gestion d'hypothèses devront permettre une démarche analogue.

*Autres types de règles:

Les conclusions de ces règles pourront être de créer, d'ajouter, de détruire, de modifier ou de remplacer un fait dans la base de faits. Elles permettront aussi d'écrire des indications sur le terminal et d'arrêter le processus d'inférences. D'autres enfin, seront des questions posées à l'utilisateur qui auront pour rôle de guider l'activation de règles qui ne sont pas encore déclenchées et d'inciter l'utilisateur à apporter de nouveaux faits.

3.2.2.Remarques sur l'écriture des règles.

La classification de tous ces éléments d'information dans une base d'informations principale du système d'ingénierie, doit permettre aussi de sélectionner des règles de connaissance qui ne soient pas redondantes ou qui ne provoquent pas de raisonnements circulaires.

exemple: si l'eau est polluée alors elle n'est pas potable
si l'eau n'est pas potable alors elle est polluée

Il sera tout indiqué d'exprimer ces deux règles en une seule définition d'équivalence:

l'eau polluée n'est pas potable. (ce fait n'est pas introduit dans la base d'informations principale car d'un intérêt nul)

Règles de "logique pure".

La représentation des connaissances par règles de production, n'est pas sans poser quelques difficultés. Les actions à effectuer par le système, en partie conclusion des règles, doivent être annulées (accomplies) pour qu'il puisse poursuivre son raisonnement. Cela implique l'écriture de règles de logique qui ne sont pas des règles d'expertise et qui ne présentent strictement aucun intérêt de ce point de vue.

C'est la raison pour laquelle les sytèmes d'acquisition de connaissances qui consistent à faire écrire par le spécialiste lui—même des règles sous une forme directement utilisables, reste encore utopique dans le domaine de la conduite des projets d'aménagement en eau. Cela est éventuellement possible si le spécialiste a pu se former à ces techniques pour lesquelles la réalisation de "didacticiels" est actuellement mise en oeuvre. Avec l'expérience, l'écriture de règles de "logique pure" tend à diminuer.

3.3.Etapes de fonctionnement du système:

Tous les éléments issus des simulations MISE (données, résultats de simulations et règles de connaissance) seront répartis dans les diverses catégories de la base d'information principale du système et pourront donc être repérés par un cheminon. Cela laisse la liberté de pouvoir en créer d'autres si nécessaire.

A la fin de l'acquisition des renseignements de base fournis par l'utilisateur, l'ensemble des connaissances inutiles est éliminé de la base d'informations générale sauvegardée bien entendu auparavant. Cela permet de conserver non seulement les connaissances indispensables (informations et règles), mais aussi celles qui pourraient être utiles au cours de la suite de la consultation (une sélection directe des cheminons risquerait de trop réduire le champ d'expertise). C'est au cours de cette évaluation que l'identification du problème de l'utilisateur pourra se faire avec une expérience de simulation MISE.

Les règles retenues constitueront donc la base de connaissances dédiée au problème de l'utilisateur, alors que les informations retenues seront transférées directement de la base d'information générale dans la base de faits de l'utilisateur. A partir de cette dernière ainsi initialisée, le mécanisme d'exploitation (moteur d'inférence) interprétera les règles contenues dans la base de connaissances et déduira d'autres faits. Ces faits déduits pourront être des résultats de calcul ou de simulation, des actions à accomplir par l'utilisateur (qui les introduira dans sa réponse à l'appel d'offres), des questions l'incitant à introduire de nouveaux faits. Un nouveau cyle de recherche s'instaure jusqu'à l'exploration complète de l'arbre de règles.

Exemple de fonctionnement séquentiel du système:

Informations données par un utilisateur consultant le système pour répondre à un appel d'offre:

1)L'utilisateur ou consultant est un ingénieur conseil

Adresse, Tèl.....
2))La réponse à l'appel d'offres en question doit être proposée à une échéance de trois semaines.
3)Le maître d'ouvrage du projet est la commune
4)Le maître d'oeuvre est la DDAF
5)Le site d'étude se situe dans la Loire, sur la commune de.....

Il n'y a pas de projet déjà étudié par le système (MISE)

6)L'appel d'offre concerne un projet d'Alimentation en Eau Potable
7)Il s'agit de prospecter les ressources en eau
8)A priori l'utilisateur n'a aucune idée sur le type de ressources en eau
9)Le type de site géologique étudié est alluvial
10)L'utilisateur est un ingénieur conseil plutôt spécialisé en géotechnique
11)les domaines d'expertise particulièrement sollicités concernent la qualité des eaux et la géophysique.

1)— *Enregistrement dans la base de faits principale des informations données par l'utilisateur:*

les réponses n°1 à 4 sont prises en compte dans la gestion des utilisateurs et l'éventuelle coordination avec d'autres consultants pour le même projet.

la réponse n°5 élimine toutes les connaissances spécifiques à des communes de nom différent et établit la non—correspondance aves une simulation.

la réponse n°6 élimine toutes les connaissances spécifiques à l'irrigation et à l'assainissement.

la réponse n°7 élimine les connaissances relatives à la distribution, au financement, à l'évaluation des besoins, au traitement, à la distribution et aux stations de pompage (sauf les cheminons qui ne peuvent pas être éliminés: **#PRO-BES, #PRO-FINANC, #PRO-STAPOMP,...**)

la réponse n°8 n'élimine rien d'autre, on conservera donc les connaissances relatives à la prospection des eaux souterraines et des eaux superficielles.

la réponse n°9 élimine les connaissances relatives aux milieux fissurés

les réponses n°10 et n°11 n'éliminent rien d'autre.

2)— *Sélection des listes de règles qui n'ont pas été éliminées dans la base d'informations principale,*

3)— *Sélection des données qui ne sont pas des règles. Injection dans la base de faits,*

—Construction du graphe de dépendance représentant la base de connaissances dédiée à un problème de prospection des ressources en eau pour un site géologique alluvial, et contrôle de la cohérence,

—Compilation et exécution du moteur d'inférence,

—Les faits sur lesquels vont agir ces nouvelles règles sont ceux de l'utilisateur enrichis de ceux contenus dans le système. Les variables contenues dans les règles seront instanciées à partir de ces faits. Les déductions faites pourront amener l'utilisateur à acquérir d'autres informations, entraîner des calculs ou des simulations à effectuer, elles pourront comporter des procédures d'accès à des bases de données complémentaires.

—Les bases de connaissances ainsi construites seront conservées au fur et à mesure de l'utilisation du système. Les données supplémentaires acquises, si elles sont pertinentes, seront introduites dans sa base d'informations générale.

3.4.Connexion et interfaçage avec d'autres outils:

Conçu pour permettre un accès direct et facile à un système d'information et d'aide à la décision pour une large gamme d'utilisateurs, ce système d'ingénierie doit pouvoir coordonner l'emploi de bases de données, d'outils et de résultats de simulation, de techniques de recherche opérationnelle et de systèmes experts à l'aide d'interfaces permettant un usage relativement confortable de l'ensemble.

L'interface utilisateurs—système devrait avoir les qualités suivantes: présentation, dessins, graphiques, messages en langage naturel. Les procédures de programmation auxiliaires, les interactions entre les modèles utilisés et les bases de données associées doivent être transparentes à l'utilisateur. Cela est évidemment plus facile à écrire qu'à réaliser, mais mieux vaut se fixer au niveau de l'analyse, des objectifs de départ plus contraignants dans ce domaine.

L'utilisation du système doit être identique à la consultation d'une équipe d'experts qui initient le dialogue et guident l'utilisateur à travers l'ensemble des actions qu'il peut mener, pour décrire son problème et trouver les éléments qui lui permettront de répondre à son appel d'offres ou de réaliser l'étude prévisionnelle du projet en question. Cela doit l'aider également, à poser les questions significatives et suffisamment bien formulées destinées à contrôler la nature des déductions faites par le système. La pratique par le système, d'un langage proche du langage naturel est préférable, cela revêt une certaine importance quant à l'acceptation et à la confiance dans l'outil. Les représentations symboliques et formelles (logique des prédicats) restent préférables à celles qui sont numériques ou procédurales. La technique des menus bien structurés accompagnés de fonctions explicatives demeure une solution fiable. C'est une des solutions que nous retiendrons pour initier le dialogue avec l'utilisateur du système d'ingénierie.

En tous cas, le langage des utilisateurs doit être compris, l'éventail des disciplines impliquées dans les projets d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement peut amener plusieurs spécialistes à utiliser le système au cours de la même consultation. Le "jargon" de chacun doit pouvoir être compris, si l'utilisateur doit apprendre un nouveau langage, le système sera beaucoup moins utilisé.

Il n'est pas inutile de prévoir des interfaces spécifiques au niveau de l'utilisateur. Il est souhaitable de minimiser la frustration d'un novice qui désire souvent en savoir plus, mais il ne faut pas provoquer le désabusement ou la déception du spécialiste qui désire en venir tout de suite aux faits (déduits). Pour le novice, l'apparition de messages explicatifs et d'informations relatifs à une technique particulière doit être possible. Pour le spécialiste, le système ne doit pas avoir un rôle pédagogique qui serait superflu.

3.4.1.Algorithmes, outils scientifiques de la décision:

La pratique des modèles mathématiques dans le cadre des simulations MISE nous a conduits à les orienter vers une utilisation plus intégrée aux besoins des usagers et d'une meilleure adéquation aux problèmes de décision. Concrètement, cela s'est traduit par la simplification de ces modèles en fonction des applications et de la nature des projets simulés. Ces outils ont été implantés sur micro—ordinateur (Victor VI compatible IBM PC) pour augmenter leur transportabilité, ils ont été modifiés dans le but d'améliorer leur interactivité. Les temps de calcul ont été également réduits (amélioration de la convergence à partir de valeurs initiales plus précises). L'aménagement des outils concerne pour l'instant les programmes permettant le fonctionnement des modèles hydrodynamiques et ceux permettant le calcul des réseaux aussi bien pour des projets d'alimentation en eau potable (méthode Hardy—Cross) que d'irrigation (méthode de Clément) (Davoine, 1985).

—Impacts sur l'acquisition des connaissances:

Cet objectif est évidemment compatible avec la poursuite des simulations MISE nécessaires à la réalisation de notre système d'ingénierie. Pour faire participer aux sessions de simulation des spécialistes des différents domaines d'activités, il devenait indispensable de ne plus solliciter leur déplacement. L'ensemble du système MISE dans ses versions Alimentation en Eau Potable et Irrigation est donc actuellement implanté sur micro—ordinateur portable, ce qui nous permettra de pouvoir drainer une expertise suffisamment productive au rythme de trois expériences de simulation par an. La portabilité du matériel favorise l'augmentation du nombre de groupes par simulation. En intégrant un à deux spécialistes dans les différents groupes, cela nous semble suffisant pour qu'ils puissent contribuer à une analyse plus complète des différents domaines d'expertise impliqués dans les projets simulés. C'est avec une démarche identique que nous entendons développer les expériences de simulation de projets d'assainissement pour petites collectivités.

—Impacts sur l'utilisation de la simulation par le système d'ingénierie.

Pour éviter de présenter des résultats de simulation hydrodynamiques sous une forme trop rigide (cartes hydrodynamiques, fichiers des valeurs des caractéristiques de la nappe), nous avons développé à partir des programmmes existants des modèles simples et peu encombrants. L'outil de simulation hydrodynamique doit être adapté aux besoins et aux compétences du décideur, il doit synthétiser l'information hydrogéologique pour répondre en fonction des caractéristiques de la nappe aquifère, à toute sollicitation sur le modèle préalablement calé.

Si l'utilisateur est obligé d'ouvrir et de refermer selon des procédures peu pratiques, des fichiers destinés à enregistrer les valeurs de débits à introduire, les contraintes de format d'écriture et d'éditeur de texte risquent de le décourager avant même la première itération.

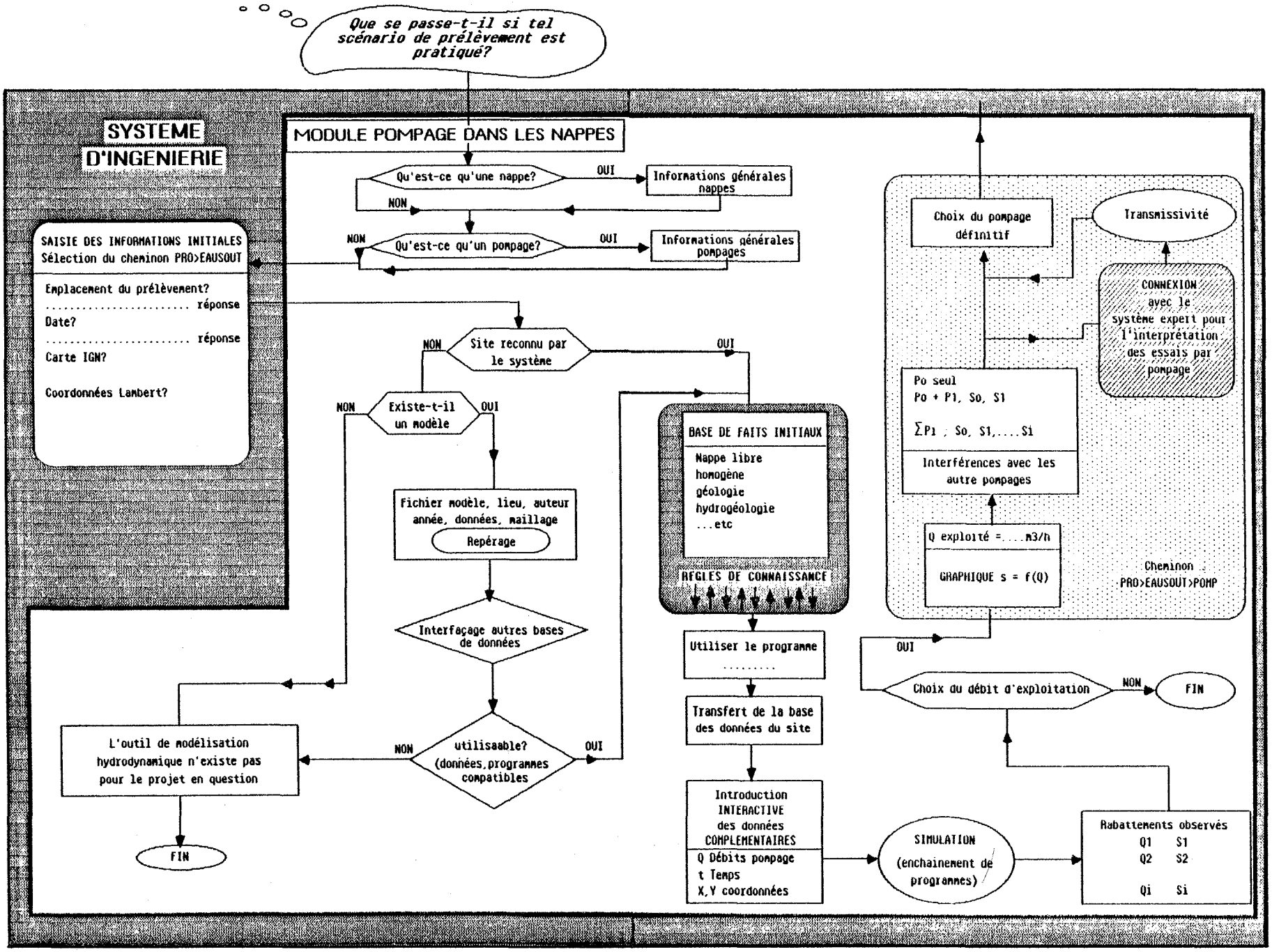


Figure n°4-10 : Exemple de pilotage d'un outil de simulation hydrodynamique

Il faut donc qu'il puisse introduire ses données simplement et de manière interactive. Ces considérations ne sont peut—être plus d'actualité, elles sont toutefois indispensables à rappeler.

La version initiale un peu trop générale de ces programmes, a été allégée en les adaptant aux contextes hydrogéologiques des projets simulés. Pour des milieux hydrogéologiques différents et d'échelle différente (choix du maillage), d'autres versions resteraient à écrire et ce travail est au programme de développement du système d'ingénierie.

Il est donc préférable de guider l'utilisateur vers un modèle simple correspondant au cas qu'il a à traiter, plutôt que de lui soumettre un algorithme performant mais rarement utilisable à 100% et dont la durée de fonctionnement est élevée. A l'aide de règles de connaissances et en fonction des informations de l'utilisateur, il sera intéressant de déduire quel est le modèle dont on dispose qui correspond le mieux au cas à résoudre. D'autres règles de connaissances permettront d'accéder aux données hydrogéologiques (dans la mesure où elles existent) indispensables au calage du modèle ainsi constitué. Les parties conclusions de ces règles seront des actions à effectuer destinées à exécuter les programmes de simulation s'enchaînant dans un même module. L'interfaçage et la réalisation des attachements procéduraux entre ces différents modules qui sont d'une part de nature déclarative et d'autre part appartiennent à la programmation classique (traitement procédural), relèvent d'une opération de génie logiciel incluse au programme de développement.

Ce système permettra donc de définir clairement la répartition des tâches entre les concepteurs et les utilisateurs de modèles. Ces deux tâches doivent pouvoir s'associer sans que l'utilisateur soit obligatoirement lié au concepteur du modèle. Le rôle d'intermédiaire que joue le système est de contrôler et d'adapter l'outil de modélisation à chaque cas, en vérifiant la cohérence des données qu'il intègre. Cette démarche s'appuie sur l'exemple de l'utilisation de la modélisation hydrodynamique (Figure n°4—10), on cherchera à l'adopter pour les autres outils scientifiques de la décision.

3.4.2.Connexion avec les Bases de données:

Pour traiter des données abondantes, des fichiers de données seront consultés dans des bases de données que se sera fabriqué le système lui—même (résultats de simulation MISE) ou bien dans des bases de données déjà existantes qui seront dites externes (Banques de données du Sous—Sol du BRGM). Dans ce cas, leur interrogation devra être déclenchée en partie action des règles. Bien que ceci soit difficile à réaliser, la communication avec une information extérieure au système serait l'un de ses atouts fondamentaux.

L'interrogation des bases de données documentaires ou d'environnement est prévue à partir de micro—ordinateurs de la gamme IBM AT par l'intermédiaire du réseau téléphonique Transpac (Base de données des ministères de l'Environnement et de l'Agriculture).

Leur insertion dans le cadre du système d'ingénierie contribuera à la valorisation de ces bases de données trop souvent isolées et consultées parfois comme des instances anonymes.

—Banques de données documentaires ou bibliographiques.

Les banques de données au service de l'aménagement ECOTHEK, RESAGRI, URBAMET permettent une recherche documentaire informatisée.

ECOTHEK, regroupe les données ayant trait à l'environnement et au développement local. Les informations y sont classées en 13 thèmes dont ceux qui nous intéressent sont : Eau, Sous—sol, Aménagement, Pollution et Nuisances. Les informations sont regroupées par communes.

RESAGRI, propose des références sur l'économie et les techniques agricoles, des données sociales; des documents sur le remembrement y sont disponibles.

URBAMET, couvre les domaines de l'urbanisme, de l'aménagement urbain et régional, des équipements collectifs.

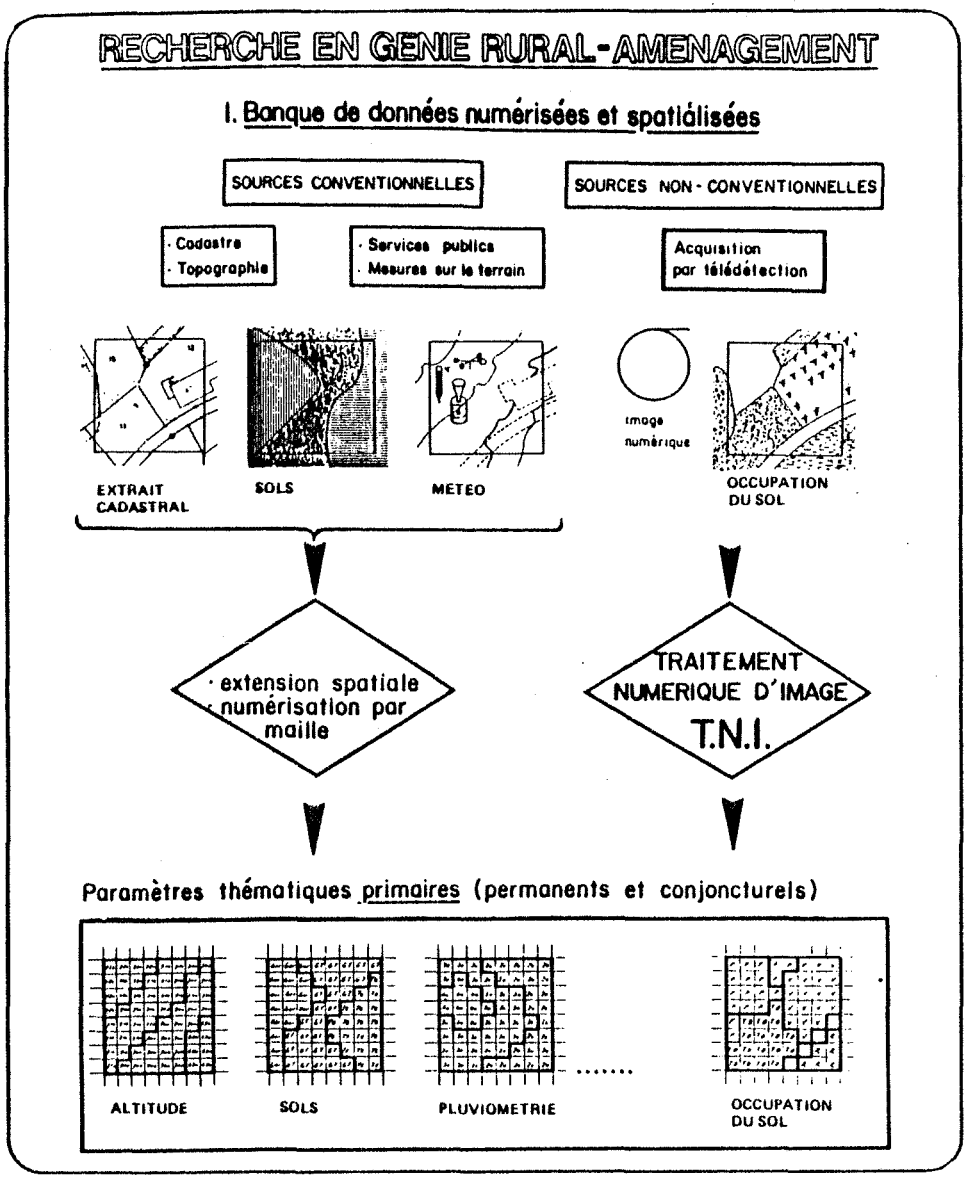
Il s'agit donc de banques de données factuelles (textuelles ou numériques) à usage relativement général, leur accès est facile à partir d'un terminal et d'une ligne téléphonique et les procédures d'interrogation s'effectuent en mode conversationnel. Les producteurs de l'information sont les grands centres de documentation, le CNRS; sa distribution est assurée par le serveur TELESYSTEME-QUESTEL.

La banque des données locales (BDL) est particulièrement intéressante pour l'acquisition de données rassemblant les informations statistiques (INSEE) par communes. Elle permet de connaître l'évolution de la population, les services et les équipements collectifs, la superficie des exploitations agricoles et le type de culture pratiquée. Ce sont plus de 2500 variables homogènes (5000 à terme) qui sont aujourd'hui disponibles pour chaque commune. L'accès à la BDL se fait par connexion au serveur (GCAM).

—Bases de données spécifiques.

Elles sont issues de sources conventionnelles (cadastre, topographie, services publics) ou de sources dites non conventionnelles (données acquises par télédétection). L'exploitation de ces informations spatialisées (type de sol, pente, occupation des sols) par traitement numérique et leur couplage avec des modèles de simulation sont actuellement prévus dans le domaine de l'aménagement et du génie rural (Musy, 1986, figure n°4—11).

Une base de données a été mise au point pour la description des caractéristiques hydrogéologiques et géotechniques de l'agglomération stéphanoise (Debaisieux, 1983), elle est consultable à partir d'un micro—ordinateur.



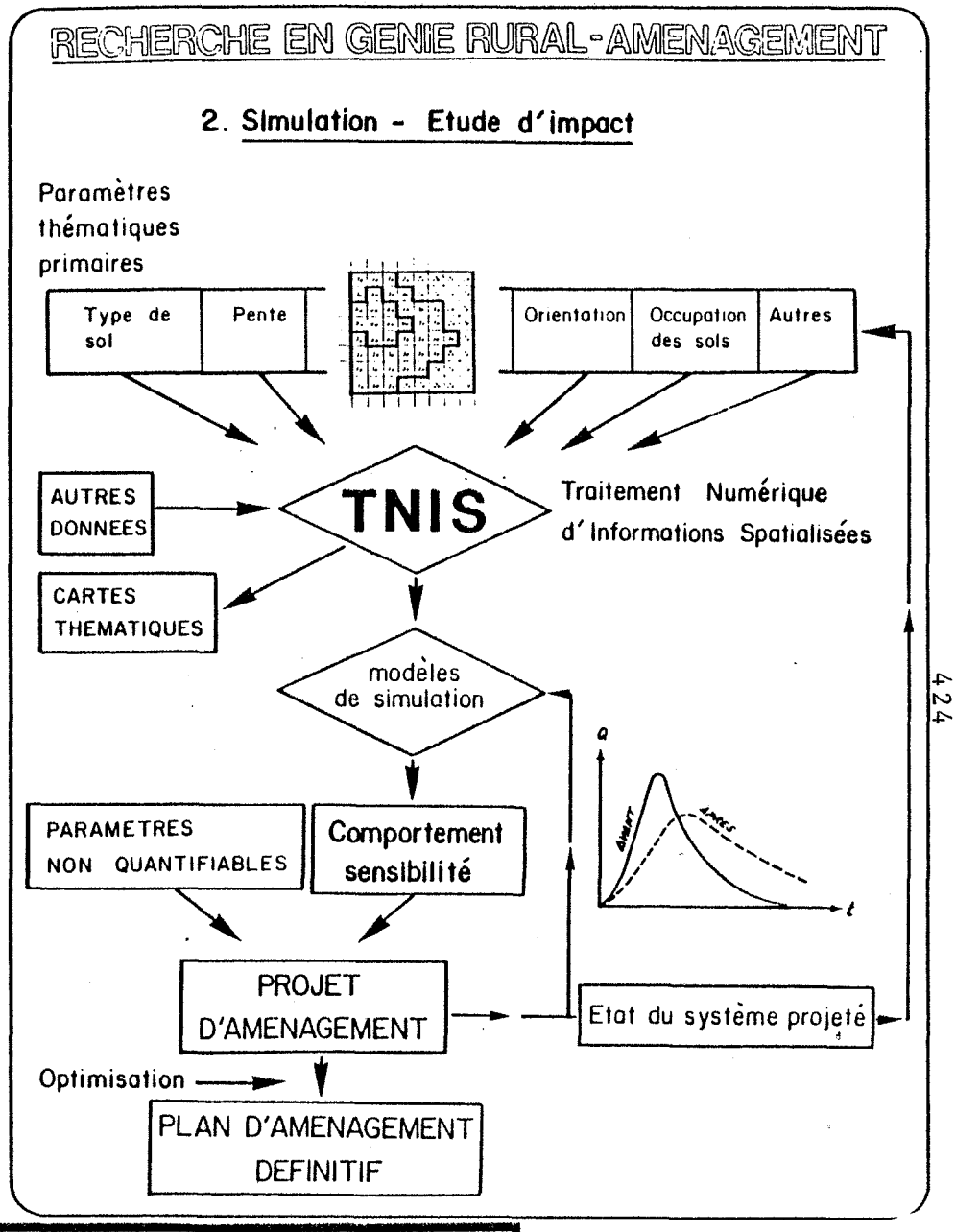


Figure n°4-11

EXPLOITATION DE BANQUES DE DONNEES NUMERISEES ET SPATIALISEES POUR L'ETUDE DE PROJETS D'AMENAGEMENT EN MILIEU RURAL.

(d'après Musy, 1986)

Le système PRAO, outil de Planification Régionale Assisté par Ordinateur (Boursier, Mullon, Pelletier, Souris, Treuil, 1985) permet d'accéder aux informations géographiques et fournit des données cartographiques en développant une approche de type système de gestion de bases de données relationnelles (SGBD), il est implanté aussi sur micro—ordinateur.

Dans le premier exemple les données sont décrites avec un formalisme du type: *sujet—prédicat—circonstances*

	sujet	prédicat	circonstances
exemples:	roches	chimisme	valeur
	grès	argileux	teneur en %
	climatologie	pluie	mm/an, mm/an
	" "	températures	degrés/jour moyenne en degrés/mois

La consultation de la base peut s'effectuer dans le sens sujet vers prédicat ou dans le sens prédicat vers sujet.

Dans le second exemple, la consultation de la base s'effectue selon un formalisme:

Relation (sols)-Attribut(pédologie)-Classe(minérauxbruts)-Valeur.

Le problème des bases de données est celui de leur normalisation, ce thème est à l'étude et la définition de plusieurs systèmes de normalisation s'appuie sur le concept de réseaux de communication entre ordinateurs. L'évolution des bases de données coïncide avec le développement des systèmes experts, elles disposeront bientôt de connaissances sur les données qu'elles contiennent, ce qui simplifiera le dialogue nécessaire à leur consultation. Dans ce cas, la normalisation des langages d'interrogation autoriserait non seulement le transfert mais aussi une exploitation plus facile des informations dont aurait besoin le système d'ingénierie.

3.4.3.Connexion avec des logiciels graphiques:

Ce système, pour être appliquable plus spécifiquement à notre domaine, doit pouvoir gérer des plans informatisés obtenus par numérisation de fonds de plans existants et mémorisés sur support magnétique à partir d'un releveur de coordonnées rectangulaires et pouvant être dessinés à plusieurs échelles.

A ces plans sont associés des fichiers qui peuvent être:

—la matrice cadastrale avec les propriétaires pour un projet d'assainissement), les exploitants, la nature des cultures (pour une application d'irrigation).

—le plan d'occupation des sols,

—les registres de décision d'urbanisme,

—les servitudes,

—les réseaux existants

—les renseignements dont la visualisation graphique peut présenter un intérêt pour un projet d'assainissement ou de distribution d'eau.

Ces informations sont en effet de plus en plus disponibles à partir du matériel informatique des services publics. Leur édition nécessite l'emploi d'un traceur (de type Benson).

Les outils graphiques longtemps considérés comme des "gadgets sophistiqués" peuvent, s'ils sont facilement et agréablement utilisables, motiver leur emploi par les décideurs. Ces outils constituent, dans certains cas, un support de décision tel le système HYDEAS (Ambrosetti et al., 1986) qui permet à son utilisateur de gérer son propre modèle de bassin hydrographique par une approche graphique. Ce modèle encore à l'état de prototype, assiste le décideur pour un problème d'allocation de ressources en eau d'un bassin pour plusieurs usages, en utilisant la programmation linéaire. Le système physique est graphiquement visualisé par des noeuds représentant des agglomérations, des centrales hydroélectriques, des surfaces à irriguer; sur chacun de ces noeuds sont reportées les équations du modèle, les contraintes et les variables de décision. Chaque activité du projet est analysée sur des écrans spécifiques.

Pour des projets qui sont ceux que nous traitons, cette méthode graphique (qui est implantée sur IBM MPSX1370 et MIP370), gagnerait à être utilisée. L'expérience qui est la nôtre dans ce domaine, montre que la présentation graphique d'un problème et de ses solutions doit être conçue pour les rendre compréhensibles.

Pour la première application de notre sytème d'ingénierie, l'utilisation de logiciels graphiques autres que ceux que nous utilisons jusqu'à présent (programmes visualisation et de tracé de réseaux de distribution d'eau sur Tektronix4054) ne constitue pas un axe de priorité. Par contre pour des applications plus spécialement destinées aux décideurs chargés de l'étude prévisionnelle d'un projet, le recours à un outil graphique ayant les qualités de celui cité précédemment sera indispensable.

Les protocoles d'interfaçage avec l'utilisateur restent à définir. D'un point de vue technique, cette interface se caractérise par la largeur de l'écran, la taille des supports graphiques, la quantité d'informations transmissibles par unité de temps (ou le nombre de pages—écran),...etc

Conclusion: Un environnement d'aide à la décision.

Les réflexions présentées ci—dessus sont issues d'expériences réalisées par l'IASA (International Institute for Applied Systems Analysis) spécialisée dans la réalisation d'interfaces pour les systèmes d'aide à la décision et en particulier pour la gestion des ressources en eau (Fedra, 1986).

L'interactivité d'un outil d'aide à la décision doit être analysée soigneusement, elle doit être adaptée au style de décision et à la structure professionnelle bien particulière des utilisateurs potentiels de la première application de notre système. La représentation de l'ensemble des connaissances nécessaires dans ce système est importante, mais doit s'accompagner d'une méthodologie de mise en valeur pour que cette entreprise permette d'aboutir à la réalisation d'un environnement d'aide à la décison qui soit utilisable.

Toute l'information ne peut évidemment être prise en compte, ce qui limitera les raisonnements qui pourront être simulés par le système. Une question reste en suspens: quel formalisme de représentation utiliser pour qu'il soit compatible avec la variété de connaissances que nous prétendons traiter? Une telle variété sera difficilement représentée par un seul et unique formalisme, il faudra certainement en adopter plusieurs adaptés chacun à une catégorie particulière de connaissances. Aucune solution universelle au problème de la représentation des connaissances ne semble apparaître, il est plus raisonnable d'essayer de trouver un système incorporant une sélection judicieuse de formalismes complémentaires.

CHAPITRE 4: VALORISATION DE CE SYSTEME D'INGENIERIE.

La formalisation de l'environnement cognitif que nous venons de décrire et d'analyser dans les chapitres précédents, aura donc pour tâche la mise en oeuvre organisée d'outils tactiques ayant recours à des techniques de programmation procédurales ou déclaratives; elle aura aussi pour tâche l'exploitation de l'information nécessaire pour:

—dresser un devis (réponse à un appel d'offre),

—assister les décideurs (étude prévisionnelle complète),

dans le cadre de la réalisation de projets d'alimentation en eau potable, d'équipement de périmètres d'irrigation ou d'assainissement pour de petites collectivités.

4.1.Contrat de recherche ANVAR.

Si ce mémoire de thèse a pour but d'analyser la faisabilité de ce système d'ingénierie à partir des simulations MISE, il reste cependant encore à le réaliser. Les compétences nécessaires à son développement ne sont pas encore rassemblées, les moyens informatiques doivent être accrus et c'est pourquoi ce travail bénéficiera d'une aide financière de l'Association Nationale pour la Valorisation de la Recherche (ANVAR—contrat n°A8604152V). Le dossier faisant l'objet de l'innovation ayant été instruit par différents spécialistes, la "réalisation de ce système d'ingénierie pour le développement de projets d'aménagement en eau: eau potable, irrigation, assainissement" bénificiera donc d'une aide à l'innovation dont l'enveloppe budgétaire est de 400kf.

Nous décrirons sommairement le "programme d'innovation" déposé à l'Anvar, il ne figure pas dans ce travail. L'idée n'est sans doute pas neuve, mais aucune réalisation concrète ne laisse supposer qu'il existe, à l'heure actuelle, des logiciels proposant l'exploitation d'une base de données et de connaissances permettant à des projeteurs de guider au niveau technique et économique leurs décisions dans des domaines où ils ne sont pas toujours spécialistes. Il existe des bases de données d'intérêt plutôt documentaire relatives aux techniques et au matériel. Ces systèmes sont consultés indépendamment des connaissances en hydrogéologie, en hydraulique et en économie qui permettent de valoriser leur utilisation.

Nous pensons devoir citer l'aide qui nous est accordée car elle se distingue d'un contrat de recherche classique destiné à réaliser un produit nouveau ou d'une étude ponctuelle relative à une application typiquement industrielle.

La valorisation de ce travail de recherche nous semble indispensable, elle fait partie intégrante de son processus de développement et s'inscrit dans un thème de recherche à long terme mais finalisé, son but contribuant à l'approche des phénomènes de décision pour une amélioration de la qualité des projets.

4.2.Présentation schématique des résultats d'une consultation du système, pour la réponse à un appel d'offre.

Une étude de marché plus précise permettra de quantifier le nombre d'utilisateurs potentiels appartenant au secteur tertiaire industriel regroupant des structures à caractère privé (bureaux d'études, ingénieurs conseils).

4.2.1.Contenu des appels d'offres et des dossiers de réponse.

Les renseignements préliminaires fournis par l'utilisateur au cours de la connexion au système ont pour but d'identifier le problème à résoudre, ces renseignements seront donc issus du contenu de l'appel d'offre.

Il est difficile de généraliser ici son contenu, car il dépend de l'importance et du type de projet d'aménagement en eau dont il fait l'objet. Il peut s'agir de la sous—traitance ponctuelle d'une partie de projet à un bureau d'études plus important ou bien d'une réponse à un projet dont le maître d'ouvrage est soit un service administratif de l'état, soit une municipalité (services techniques). En se basant sur un cas d'appel d'offres réel lancé par les services techniques de la ville de Saint—Etienne en 1985 pour un projet d'assainissement, on observe que le contenu d'un appel d'offres comporte:

-le Cahier des Clauses Administratives Particulières (CCAP).

Dans ce document, figurent toutes les conditions à remplir par les entreprises, les bureaux d'études et les sociétés sous-traitantes (modalités de règlement, délais d'exécution, pénalités pour retard, causes de résiliation).

-le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP).

Ce document fixe les caractéristiques techniques de l'étude (objet de l'étude, documents mis à disposition, procédure opérationnelle, méthodes d'analyse et techniques recommandées, dispositions générales, organisation du chantier)

-le Cahier des Clauses Administratives Générales.

Il contient les clauses générales applicables à tous les marchés publics de prestations intellectuelles.

-l'acte d'engagement et une déclaration remplie par toutes les sociétés soumissionnant aux marchés passés au nom des collectivités locales (formalité administrative)

-le bordereau des prix qui comprend les prix partiels des différentes étapes de l'étude (études de reconnaissance, rapports provisoires et définitifs,...etc) il est à remplir par celui qui répond à l'appel d'offres.

-le détail estimatif est un tableau récapitulatif du bordereau des prix.

-une notice explicative est parfois rédigée par le maître d'ouvrage et donne des renseignements complémentaires sur la situation du projet, elle peut être accompagnée de plans permettant de se faire une première idée de la complexité du problème.

C'est donc à partir de ses divers documents que l'utilisateur décrira son problème.

Les dossiers de réponse pour le projet d'assainissement de Saint—Etienne présentés par huit sociétés ou entreprises comportent en général les pièces demandées explicitement par le maître d'ouvrage (l'acte d'engagement, le CCAP, le CCTP, la déclaration, le bordereau des prix et leur détail estimatif). Certains dossiers contiennent d'autres renseignements concernant les références de la société, le personnel affecté à l'étude, le matériel de l'entreprise. Les causes d'élimination ou de rejet des réponses, peuvent être d'origine diverses:

1)l'absence de références de la société,

2)la mauvaise renommée de la société,

3)le manque de sérieux des sous-traitants,

4)la non connaissance de la composition de l'équipe de travail chargée de l'étude

5)la non connaissance du matériel disponible,

6)la mauvaise répartition du budget,

7)l'absence de propositions de variantes,

8)la mauvaise connaissance des outils et leur mauvaise utilisation,

9)l'insuffisante prise en considération des objectifs.

10)la non connaissance du coût total de l'étude ou des travaux...

Il existe bien d'autres causes de rejet spécifiques au type de projet et aux décideurs chargés de l'attribution du marché. Le système d'ingénierie ne peut rien faire en ce qui concerne la renommée et les références de la société.

4.2.2. Résultats d'une consultation du système d'ingénierie.

L'objectif n'est donc pas de répondre à la place de l'utilisateur consultant le système, mais de lui procurer des éléments pertinents susceptibles de l'aider. Les connaissances engrangées dans le système permettront de lui fournir des informations que l'on répartira dans les rubriques suivantes:

*Rubrique n°1:

—Récapitulatif des renseignements initiaux introduits par l'utilisateur.
—Récapitulatif de tous les objectifs du projet.

*Rubrique n°2:

—Données et informations supplémentaires sur le site étudié qui n'auraient pas été prises en compte dans le contenu de l'appel d'offres.
—Contradictions éventuelles avec les données initiales.

***Rubrique n°3:**

—Indications sur les moyens à mettre en oeuvre pour l'étude:

—Compétences nécessaires,
—Matériel devant être utilisé.

C'est à la société de faire la part entre ce qui est nécessaire pour le projet et les moyens qu'elle possède.

***Rubrique n°4:**

—Plan technique des travaux et études à réaliser.

—Proposition de plusieurs variantes.

Pour l'exemple précedemment cité, il s'agissait de travaux et d'études répartis en deux phases:

1° phase: Travaux topographiques (répartition, qualité), détermination des caractéristiques du réseau d'assainissement, enquête technique (organismes consultés, durée), mesures de débits dans le réseau (appareils utilisés, nombre).

2°phase: Modèlisation du réseau, modèlisation des épisodes pluvieux, utilisation d'un bassin test (calage sur les données existantes), utilisation du modèle.

***Rubrique n°5:**

— Déroulement des opérations dans le temps (chronogramme) par rapport aux moyens en personnel et en matériel suggérés par le système.

***Rubrique n°6:**

—Dépenses nécessaires pour réaliser les différentes phases du projet (avec marge d'incertitude):

—prix unitaires
—coût total.

C'est à l'entreprise d'ajuster ses prix en fonction des coûts proposés par le système et en fonction des contraintes budgétaires (bordereau des prix), pour être compétitive ou s'assurer des bénéfices.

***Rubrique n°7:**

—Incidents possibles (risques) au cours de l'acquisition de données complémentaires et de la réalisation des travaux.

***Rubrique n°8:**

—Documentation technique:

— sur les procédés,
— sur le matériel utilisé.

***Rubrique n°9:**

Conseils de sous—traitance pour des opérations spécialisées.

Le système ne dicte pas les éléments d'un simple devis comptable, il permet d'obtenir des solutions qu'il organise selon plusieurs variantes possibles, pour mieux valoriser la réponse à l'appel d'offres. Les utilisateurs restent responsables du succès de la réponse qu'ils formuleront indépendamment du système. Ce sont eux qui fixent les prix définitifs, augmentent ou diminuent les coûts indiqués par le système qui ne pourrait en aucun cas leur garantir de se voir adjuger un contrat.

Quel—que soit l'issue de la réponse, les utilisateurs du système conserveront les résultats de chaque consultation dans la mémoire de leur micro—ordinateur. Ils seront enregistrés dans une banque de données et d'informations qui leur sera propre et qui s'enrichira au fur et à mesure de l'utilisation du système.

Celle—ci revêt un intérêt supplémentaire: permettre aux différents utilisateurs de ce système d'apprendre à conduire les projets, de se construire leur propre base de données et de connaissances.

4.3.Schémas directeurs d'exploitation.

Les logiciels de simulation que nous avons jusqu'alors utilisés dans le cadre des simulations MISE fonctionnaient sur un ensemble hétérogène d'ordinateurs (Mini6, Tektronix). Ils sont maintenant opérationnels sur micro—ordinateur Victor VI compatible IBM-PC.

Le système que nous proposons dans ce projet devrait être développé pour des micro—ordinateurs de type PC: nous avons déjà souligné l'intérêt de contribuer à l'amortissement du matériel existant chez les utilisateurs. Une étude de marché permettra de connaître le type de matériel en vigueur dans les communes et pour les bureaux d'études privés.

-Utilisation du système par l'intermédiaire d'un "système serveur".

Les utilisateurs potentiels du système sont les bureaux d'études, les collectivités locales et les ingénieurs conseils. La communication des micro-ordinateurs à un serveur central s'effectuerait par voie de Modem (utilisation des réseaux de télécommunication Transpac, Transcom, ...). Différents types de configuration du serveur seront étudiés en fonction du lieu de développement du système. Le système serveur pourrait être de type mini-ordinateur (SM90 ou HP9000). Les avantages de l'architecture matérielle et logicielle du système devraient permettre un travail multifonctions, c'est-à-dire permettre de solliciter le système d'ingénierie pour deux ou plusieurs utilisateurs demandant simultanément une consultation. Par ailleurs, pour ces différents utilisateurs, les tâches à accomplir peuvent être identiques ou différentes.

-Utilisation du système par réseaux locaux spécifiques de micro-ordinateurs

La deuxième solution qui bénéficierait du travail déjà réalisé sur micro-ordinateur consisterait à établir un réseau de ce type d'appareils. Cette deuxième hypothèse est évidemment liée aux progrès techniques de l'informatique dans ce domaine. Les réseaux locaux de micro-ordinateurs (IBM PC Network,...) sont actuellement opérationnels au niveau d'un établissement, mais leur connexion à distance est envisagée (utilisation de fibre optique pour les supports physiques de connexion, télé-exploitation par satellite ou onde radio-électrique).

Les connexions au début de l'utilisation du système ne se feraient qu'à un échelon très local, pour s'étendre ensuite à un niveau plus régional (agglomération Lyonnaise). Si le serveur est constitué par un système de micro-ordinateurs, cela augmentera sa portabilité et permettra la décentralisation des applications.

L'un pourrait être dédié, par exemple, aux inférences logiques, un autre à l'exécution des programmes de calcul ou de simulation, à l'interrogation de base de données, au support graphique, ce qui suppose des problèmes d'interconnexion complexes.

Le choix de l'architecture matérielle du système doit être intégré à l'étude de marché prévue au début du programme de développement du sytème (serveur, protocole de réseau). Quelle-que soit l'architecture adoptée (Figure n°4—12), cela pose un problème d'interconnexion de machines et de systèmes d'exploitation différents. Pour que la communication avec les collectivités locales soit possible, leur équipement informatique doit évoluer vers une homogénéïté.

4.3.1.Le problème de la transmission des documents cartographiés

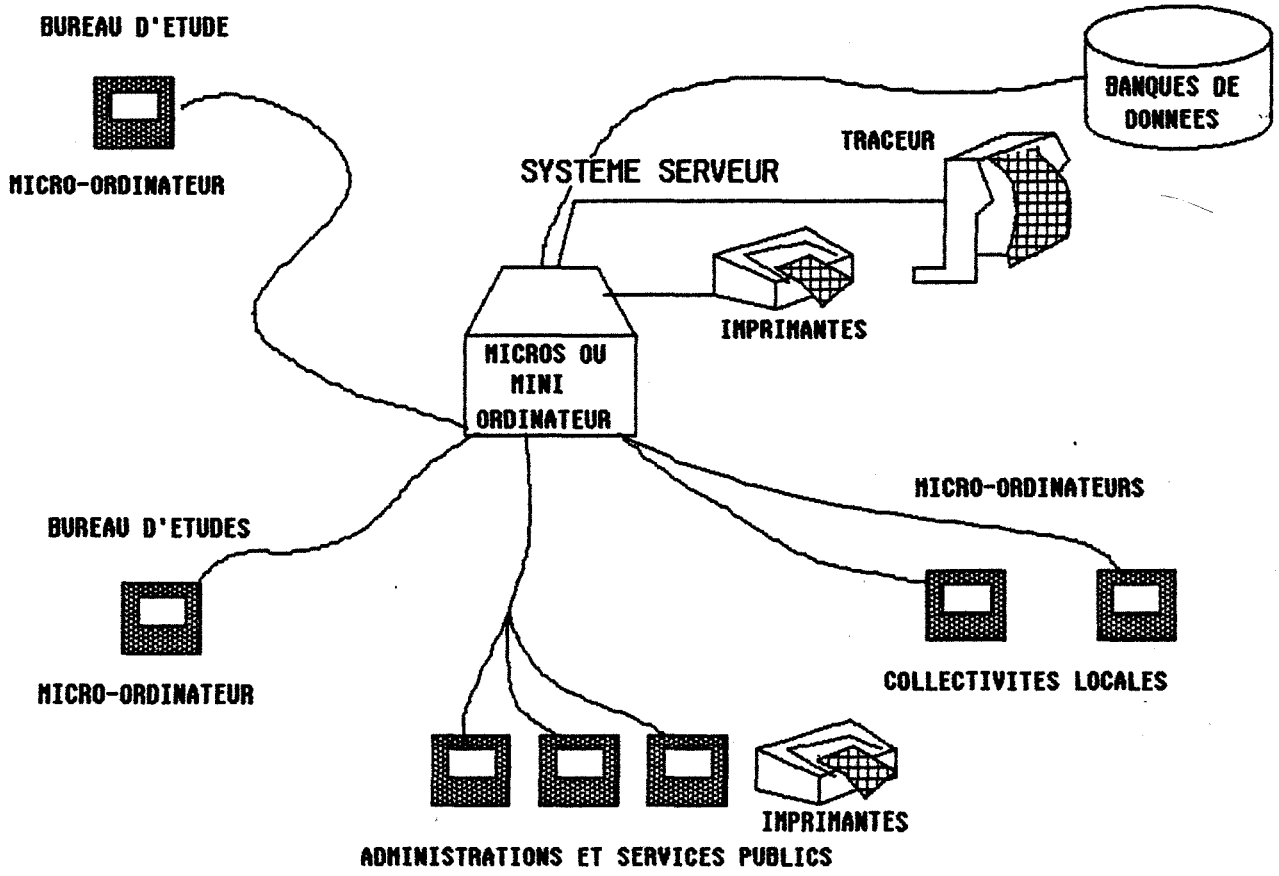
Les documents cartographiés (plans de réseaux de distribution d'eau sur fonds de plan parcellaire ou d'occupation des sols), posent un problème de transmission technique à étudier en fonction de l'équipement informatique des utilisateurs. Dans un premier temps, la réalisation de ces plans serait effectuée par le système lui-même sur un traceur et l'envoi du document à l'utilisateur serait différé.

Nous ne nous avancerons pas davantage dans l'étude des moyens informatiques à mettre en oeuvre, pour nous le mini ou le micro—ordinateur restent essentiellement un moyen de véhiculer notre analyse et notre expérimentation pour la formation et l'aide à la décision.

Figure n°4—12

SCHEMA DES COMMUNICATIONS

POUR L'EXPLOITATION DU SYSTEME



4.3.2."Ce système ne fait pas l'objet d'une disquette à vendre".

La demande d'aide à l'innovation effectuée auprès de l'ANVAR, insiste sur le fait qu'il ne s'agit pas d'élaborer un "produit" susceptible de se concrétiser sous la forme d'une simple disquette qui serait à remettre à l'utilisateur. L'utilisation du système ne peut se concevoir au début que par accès contrôlé sous la forme d'une consultation. En effet, si l'assistance qu'il permet était réduite à l'utilisation d'une disquette, "miracle", la validité de celle—ci ne serait que temporaire. Nous avons suffisamment montré au cours de cet ouvrage que la qualité de l'expertise est en perpétuelle évolution et que le contrôle du système est indéniablement lié à l'exploitation des résultats des simulations qui doivent s'exécuter en continu parallèllement au développement du système d'ingénierie.

Le programme de développement comporte l'utilisation de plusieurs moteurs d'inférences déjà existants dans le but de déterminer la pertinence d'un échantillon de règles de connaissance issues des expériences de simulation MISE.

Nous présenterons en cinquième partie quelques unes de ces applications. Ce test doit s'achever par la conception finale du système d'ingénierie intégrant dans un même environnement informatique les différents modules d'application réalisés. Ce programme prévoit également la réalisation d'expériences de simulation dans le domaine de l'assainissement des petites collectivités. La première application effective du système d'ingénierie semble se dessiner en priorité pour ce type de projets, le besoin d'aide à la décision étant sensiblement plus fort dans le domaine de l'assainissement en milieu rural (l'étude de marché devra le confirmer).

Ultérieurement, l'utilisation du système s'effectuera pour les projets d'alimentation en eau potable, d'irrigation et à plus longue échéance, pour des projets se déroulant dans des pays en développement.

4.4.Utilisation évolutive du système.

Il est évident que le développement du système devra être suivi par un ou plusieurs "utilisateurs test". Cela doit contribuer à la vérification de la faisabilité du système mais cela doit permettre aussi de le faire connaître. Son utilisation relativement réduite au départ s'accentuera en sensibilisant les spécialistes au cours des journées d'évaluation des expériences de simulation.

La croissance de l'utilisation du système dépendra évidemment de la qualité des résultats obtenus auprès des premiers utilisateurs. L'enregistrement des résultats de chaque consultation dans le système, permettra un contrôle de l'expertise qu'il contient et orientera les simulations suivantes en fonction des problèmes ou des lacunes rencontrées en cours d'utilisation du système d'ingénierie. Plus le système sera utilisé, plus les simulations seront améliorées et plus le système sera performant. Il apparaît ici la notion d'autocontrôle de l'ensemble dont il reste toutefois à formaliser les protocoles.

Pour l'instant, il est prévu que le système reste aux mains des concepteurs, l'utilisation de ce procédé s'effectuera par connexion informatique. Les résultats des sessions ou consultations pour une réponse aux appels d'offres ou pour l'étude prévisionnelle d'un projet, resteront la propriété des utilisateurs, mais seront également introduits dans le serveur. Sa base de données et de connaissances s'enrichira à "l'amont" par les simulations MISE et à "l'aval" par son exploitation.

4.5.Répartition des compétences nécessaires pour perfectionner l'outil.

Il s'agit donc d'un travail à longue échéance, permettant de réaliser une application opérationnelle à court terme mais pour laquelle des compétences complémentaires sont indispensables dans les domaines de l'intelligence artificielle et du génie logiciel.

Les compétences nécessaires au développement de ce système d'ingénierie sont multiples. On retrouve dans un premier niveau, celles de chaque spécialiste du domaine de l'alimentation en eau potable, de l'hydraulique agricole, de l'assainissement. Ce sont les hydrogéologues, les hydrauliciens, les géophysiciens, les agronomes, les pédologues, les photointerprètes. Mais il s'agit aussi des spécialistes des disciplines que l'on doit intégrer dans ces projets: les économistes, les gestionnaires, les spécialistes de la règlementation ainsi que les représentants de la collectivité, c'est-à-dire les élus, les présidents de syndicats.

Vient ensuite celui dont le rôle est de formuler de manière claire la connaissance exprimée par les spécialistes, c'est à lui de choisir le formalisme le mieux adapté, les règles de connaissance les plus représentatives. C'est celui qu'on appelle "l'ingénieur cognitien", il doit mettre en situation les spécialistes afin qu'ils expriment leur savoir-faire.

Le spécialiste qui intervient dans la réalisation du système au niveau du langage de traitement déclaratif est également chargé de construire ou d'adapter l'interpréteur des règles de connaissances. Il possède en général une compétence en informatique, sa spécialisation en intelligence artificielle rend son approche des problèmes plus expérimentale et moins mathématique.

Les "ingénieurs système" assurent la liaison du système avec son environnement informatique. Ils doivent jongler avec les différents systèmes d'exploitation, ce sont eux qui sont chargés de réaliser les connexions entre les différents modules du système. Pour réaliser ce travail, de solides connaissances en génie logiciel et en réseaux de connexion sont indispensables ainsi qu'une formation aux techniques de programmation en intelligence artificielle.

C'est principalement dans les deux derniers domaines que des compétences restent à acquérir, cela est important à signaler et est inclus au cahier des charges de la réalisation du système d'ingénierie.

4.6.Difficultés et limites du système.

Même si ces compétences peuvent être réunies, nous demeurons conscients des difficultés inhérentes à la réalisation de ce système. Nous avons déjà insisté sur celles qui sont liées à la masse des données mises en jeu dans le domaine qui nous intéresse, il en existe d'autres de nature plus matérielle.

4.6.1.Difficultés identiques à celles des systèmes experts.

La coopération indispensable entre expert et logicien n'est pas toujours facile et les difficultés apparaissent au moment du "décorticage du savoir" auquel doit se livrer le logicien pour établir tous les liens logiques entre les différentes règles de connaissance. Cette collaboration constitue pourtant la base de l'efficacité du système, l'expert ne l'enrichira que si celui-ci est suffisamment évolué.

Pour le système que nous voulons réaliser, cette collaboration étroite se justifie d'autant plus que les domaines d'expertise sont nombreux, la nécessité d'une méthodologie apparaît donc au niveau de cette collaboration. Cette dernière ne doit pas avoir une existence éphémère, le temps de la réalisation d'une "maquette", elle doit se poursuivre pour d'autres applications. La simulation MISE est une des méthodes possibles, elle constitue un champ de négociations intermédiaire entre les spécialistes et ceux chargés de la formalisation des connaissances exprimées. Le spécialiste accepte plus facilement les règles du jeu imposées par la simulation que celles d'une logique qui semble à priori tout à fait inutile. Si le cas échéant, il se soumet à une logique qui décompose son savoir—faire, il risque de perdre toute objectivité lorsqu'il testera le système.

4.6.2.Difficultés liées à l'évolution des connaissances.

L'évolution temporelle des connaissances est difficile à prendre en compte. Les simulations effectuées par le système MISE, si elles n'étaient pas suffisamment renouvelées, ne pourraient actualiser les connaissances apprises par le système d'ingénierie (état des cours d'eau, évolution des caractèristiques hydrogéologiques, évolution technologique des réseaux de distribution, algorithmes de résolution et règles d'expertise). Elles ne pourraient donc plus contribuer à l'autonomie temporelle du système, ne lui permettant plus "d'oublier" ses connaissances périmées.

L'incertitude temporelle des connaissances dépend, en particulier, du degré de discrétisation du temps, correspondant à l'utilisation du système qui les contient. A l'échelle de temps de la durée de consultation du système pour la réponse à un appel d'offres, les règles d'expertise ou les variables d'état décrivant le système ne changent pas. Au niveau de l'étude prévisionnelle d'un projet, des hypothèses relatives à l'évolution de ces connaissances doivent pouvoir être envisagées.

La réalisation d'un système d'aide à la décision actualisé exigerait la création dans le système MISE de mécanismes d'évaluation des connaissances issues de nouvelles simulations par rapport à celles que contient déjà le système d'ingénierie. Ces mécanismes de gestion de l'information seraient destinés à déclencher la modification, la suppression, la création ou le remplacement de faits (données, résultats, situations) ou de règles de connaissance. Des travaux, mais essentiellement des réflexions, sont actuellement menés au sujet des concepts de persistance, d'inertie et d'évolution de la connaissance (Lefevre, Granier, 1985).

4.6.3.Difficultés inhérentes au matériel informatique.

La structure modulaire du système est destinée à résoudre de nombreux sous—problèmes (prospection, distribution de l'eau, géophysique, conception de réseaux de distribution). Il est souhaitable de pouvoir exprimer cette modularité à travers une architecture non monolithique de l'environnement informatique.

Les ordinateurs équipés de multiprocessseur permettraient d'accélérer le fonctionnement du système en effectuant en parallèle, des opérations qui appartiennent à des modules différents (Sansonnet, 1985), par exemple, une inférence, une itération de programme hydrodynamique, une évaluation des tâches. Ces exigences matérielles ne sont pas encore envisageables, elles ne concernent pas la première application que nous proposons. Cependant, l'analyse du fonctionnement de ce système étendu à d'autres applications, doit prendre en compte les possibilités futures de développement du matériel informatique. La capacité et le coût de ces nouvelles possibilités pour le traitement des connaissances doivent également rester à l'échelle des applications envisagées.

Machines et langages de l'intelligence artificielle:

Ordinateurs et mini ordinateurs

-SM90(SMX), Vax(UNIX),: langage LISLOG

-SM90(SMX) et Mini6/GCOS: langage MP-LRO

Micro-ordinateurs

-Macintosh, Lisa compatibles MS-DOS: langages PROLOG II, PROLOG-CRISS

-Texas instrument machine: langage LISP

-IBM PC: M1 outil de développement de systèmes experts (société Framentec)

-Compatibles IBM PC: langage LISLOG

Si les ordinateurs classiques sont efficaces pour les calculs numériques et la gestion de données nécessaires aux programmes d'optimisation ou de simulation, ils le sont beaucoup moins pour traiter à l'aide d'un langage de programmation spécifique une base de connaissances. Les exigences en matière de gestion de mémoire sont plus importantes.

4.7.Principales fonctions de contrôle du système d'ingénierie.

Il existe deux niveaux de contrôle dans le système que nous proposons. L'un d'eux se situe au niveau du système lui-même (fonctionnement des inférences, cohérence logique des règles de connaissance) et l'autre au niveau des résultats qu'il permet d'obtenir pour une réponse à un appel d'offre ou une étude prévisionnelle d'un projet (validité des connaissances et des solutions proposées). Ces deux fonctions de contrôle sont liées entre elles. Elles le sont également avec celles existant dans le système de simulation MISE.

4.7.1.Au niveau du système lui-même:

Les opérations de contrôle à prévoir à ce niveau, sont celles inhérentes au mécanisme d'exploitation des règles de connaissances. Bien qu'il soit indépendant de la base de connaissances, son fonctionnement dépend de la nature du domaine d'expertise considéré et plus précisément de l'espace de recherche que constitue le graphe de dépendance des règles. Pour chaque solution de projet proposée, l'exploration du graphe aussi bien "en largeur" qu'en "profondeur" risque d'être relativement importante, étant donnée la variété d'activités traitées.

Le mécanisme d'exploitation de ces règles doit donc gérer le développement de l'arbre de recherche, s'il veut aboutir au bout d'un temps raisonnable aux buts recherchés, avec la taille mémoire dont il dispose.

Les chercheurs de l'intelligence artificielle ont examiné les différentes tâches de contrôle des systèmes experts pour résoudre la contrainte que représente l'espace mémoire qui leur est nécessaire. Le contrôle d'un système expert se caractérise par sa structure cyclique (Laurent, 1984). Le cycle de contrôle comporte cinq étapes principales. Les deux premières sont destinées à déterminer et à choisir l'ensemble des états activables de la base de connaissances, c'est—à—dire l'ensemble des faits ou actions qu'il est possible de déduire. La troisième et la quatrième étape doivent déterminer et choisir les règles qui peuvent être déclenchées en fonction du contenu de la base de faits. La dernière phase de contrôle est consacrée à l'exécution.

Certaines étapes de ce cycle de contrôle consistent à déterminer les états et les règles, d'autres consistent à opérer des choix ou des présélections de ces éléments, ces dernières peuvent s'effectuer sous forme procédurale classique ou sous forme d'un système expert secondaire. Les fonctions de contrôle seront d'autant plus justifiées que le nombre de variables descriptives à considérer dans notre domaine est important. Cela augmente en effet le nombre de règles en fonction des diverses valeurs que ces variables peuvent prendre (instanciations). Plusieurs structures sont possibles pour ce cycle de contrôle, leur choix devra être étudié avant que ne soit fixé de manière irréversible le mode de représentation des connaissances.

4.7.2.Au niveau des résultats obtenus:

L'activité de contrôle ne sera pas la même pour les cas distincts de la réponse à un appel d'offres et de l'étude prévisionnelle d'un projet. Il est indispensable de rappeler ce que doit être dans chacun de ces deux cas, l'activité de contrôle que doit s'imposer le système. Elle porte tout d'abord sur les objectifs à atteindre (débits à desservir ou volumes d'eaux à épurer, qualité des services de distribution d'eau potable ou d'irrigation ou des services de l'assainissement).

—contrôle des résultats proposés pour les réponses aux appels d'offres.

Avant sa mise en service, il faudra "caler" le système d'ingénierie pour sa première application et se référer pour cela à des appels d'offres déjà effectués récemment et dont les réponses réelles seront comparées à celles du système. Le rôle des "utilisateurs test" est à ce niveau prépondérant. Après sa mise en service, le contrôle ne peut s'effectuer que pendant la phase réelle de décision du projet dont le suivi permettra d'évaluer les connaissances qui n'auraient pas été prises en compte dans le système. La prise en compte d'authentiques réponses à des appels d'offres permettra de mesurer les écarts avec les devis proposés par le système.

Elles doivent prendre en considération la subjectivité des maîtres d'ouvrages adjudicateurs mais leurs critères de choix sont difficiles à obtenir. A ce sujet, il serait intéressant de mettre au point l'outil complémentaire de celui que nous proposons, c'est-à-dire un outil permettant aux maîtres d'ouvrages de choisir les maîtres d'oeuvres et les principaux sous-traitants (bureaux d'études) du projet. Il va sans dire que la réalisation d'un tel outil ne serait destiné qu'à une fonction de contrôle, le but n'étant pas de maîtriser la totalité du phénomène de l'offre et de la demande en matière de contrats d'études pour les projets.

-pour une étude prévisionnelle des projets

Dans le cas d'une étude prévisionnelle de projet, un contrôle des capacités du système s'effectuera une fois qu'il sera réalisé. Le suivi de la réalisation des projets doit permettre de vérifier la trajectoire proposée par le système afin de déceler les erreurs et de prévenir leur répétition pour les prochaines consultations. La validation par rapport à des projets réels déjà effectués d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement s'impose aussi, mais ils doivent être d'actualité au point de vue technologique, économique et social.

4.7.3.Relations de contrôle avec les expériences de simulation MISE:

Dans le cas où le projet à étudier est déjà simulé par MISE, nous avons vu que les résultats d'une ou de plusieurs simulations peuvent être utilisés pour la réponse à un appel d'offre comme pour l'étude complète du projet (cheminons **AEP>SITE**, **IRRI>SITE**, **ASSPC>SITE** de la base d'informations principale du système d'ingénierie). Si la répétition des simulations a permis de valider les connaissances contenues dans ces cheminons, il faut toutefois contrôler si l'utilisateur est effectivement bien guidé vers la simulation ou la combinaison de simulations la meilleure. Il faut donc estimer l'écart existant entre le problème de l'utilisateur et les données des simulations les plus proches. Plusieurs phases seront nécessaires:

- -détermination des critères de similitude entre projet réel et projets simulés,
- -analyse des écarts,
- -relevé des résultats des simulations intéressantes, (ensemble des décisions prises, coûts associés, ressources en eau, débits distribués,...),
- -mesures correctives.

Les critères de similitude ne sont pas aisément mesurables ou quantifiables, mais ils doivent être significatifs et ni trop complexes ni trop difficiles à repérer. Ils concernent tout d'abord les variables essentielles décrivant les objectifs du projet en question. S'y ajoutent les compétences professionnelles du projeteur, les hypothèses spécifiques aux projets réels et à ceux qui ont été simulés.

Les divergences entre les hypothèses des projets simulés et le problème à résoudre par l'utilisateur, s'analysent en vérifiant leurs écarts. Deux attitudes de nature pessimiste et optimiste permettent d'apprécier ces écarts (Cuendet, 1982). L'attitude pessimiste suppose une croissance des écarts existant au départ entre le projet simulé le plus proche et le projet réel, elle implique des mesures correctives qui aiguillent la suite du projet vers les résultats d'une autre simulation. Cette attitude craintive a pour but d'écarter toute menace future de déviation du projet. Une perception plus optimiste de ces écarts initiaux peut conduire à estimer que chaque simulation comporte elle—même une dose d'incertitude suffisante pour supporter des écarts et estimer que la déviation actuelle n'est pas dangereuse et qu'elle n'est que momentanée.

Ce contrôle de similitude permet donc de retenir un ensemble de simulations exploitables dont on relèvera les résultats qui contiennent des informations quantitatives relatives aux variables essentielles mais aussi un ensemble d'informations qualitatives (commentaires, contraintes, évènements aléatoires) dont le tri permettra d'affiner les comparaisons.

Les corrections à apporter aux simulations en cas d'écart trop important pour se rapprocher d'un problème réel sont de nature différente:

—modification des moyens mis en jeu:

Cela sera rare puisque les simulations trop anciennes seront éliminées. Les problèmes d'évolution technologique en matière de prospection et de distribution de l'eau devraient s'estomper si les simulations sont actualisées.

—modification du profil de compétences des acteurs des projets simulés:

Une simulation retenue pour une phase de prospection des ressources en eau sera peut être moins pertinente pour la phase de distribution, en particulier si les acteurs de la simulation n'étaient pas des spécialistes. Dans ce cas il sera donc peut être plus intéressant de s'orienter vers une autre simulation.

—hypothèse sur le projet réel de l'utilisateur:

Dans le cas où les informations de l'utilisateur seraient incomplètes, il serait opportun d'envisager une hypothèse permettant d'approcher une simulation. Ainsi au lieu d'arrêter la consultation , on peut au contraire accroître son rythme en exploitant plusieurs hypothèses.

—transformation des objectifs due à la nature même du projet:

Dans le cas idéal où les simulations pourraient recouvrir l'ensemble des projets possibles, si aucune solution n'est trouvée, c'est qu'il faut peut—être remettre en cause les objectifs même du projet. Il peut arriver que les circonstances d'un projet d'aménagement en eau évoluent suffisamment pour que finalement les objectifs de départ soient inaccessibles.

L'ensemble de ces mesures correctives doit être effectué rapidement et de manière adaptée. Leur adaptation est du ressort du spécialiste, la rapidité dépend de l'informaticien mais les deux qualités sont complémentaires. Elles s'effectueront au niveau de l'ensemble du projet ou pour l'une de ses phases.

Il est évident que les opérations de contrôle des connaissances permettant de guider les utilisateurs vers un projet déjà simulé, n'auront de sens que si les simulations sont assez nombreuses pour constituer un environnement exploitable. Si leur nombre devenait important, il faudrait déterminer à l'avance et au cours de leur évaluation, l'ensemble des combinaisons possibles avec les simulations antérieures, dans le but d'accélérer la procédure. Pour un nombre de simulations assez élevé, il deviendra alors peut—être nécessaire d'écrire des règles de contrôle pour déclencher cette analyse d'écart dès que les informations données par l'utilisateur se rapprochent des hypothèses des projets qui sont simulés par MISE.

Dans tous les cas, le contrôle du système se fera par la confrontation des "utilisateurs test" avec le système. Ces contrôles du système seront effectués en cours de fonctionnement, mais aussi par la maintenance et l'actualisation de son propre module d'apprentissage: MISE. Un module de contrôle spécifique à chaque domaine de connaissances doit assurer la vérification et la mise à jour des informations (règles de connaissance et données). Les différentes structures de contrôle doivent être soumises à un réexamen régulier pour tenir des compte des besoins des décideurs qui doivent avoir confiance dans ce qui leur servira d'outil de travail.

En fait une sorte de mécanisme de contrôle réciproque s'instaure entre le système MISE et le système d'ingénierie. Le contrôle organisé de l'ensemble de la structure regroupant les deux systèmes doit faciliter la recherche des causes d'erreur pour les décisions de nature tactique (davantage liées à la simulation MISE) et celles de nature stratégique (plutôt liées au système d'ingénierie) dans le but d'améliorer chacun des deux systèmes en conséquence.

Conclusion.

Si le cadre classique des systèmes à base de connaissances constitue une bonne base de départ, il devient insuffisant dès que l'on aborde des raisonnements plus complexes. La conception générale d'un système d'ingénierie ne peut se ramener à la simple utilisation d'un moteur d'inférence. Trop de problèmes sont liés à l'incertain, au raisonnement temporel, à la cohérence des bases de règles, aux structures de contrôle et aux exigences matérielles. Nous ne pouvions toutefois en adopter cette démarche sans se référer à l'existence de difficultés qui, actuellement, ne sont pas encore résolues.

Cette démarche nous semble cependant intéressante puisqu'elle permet de préparer le terrain pour l'élaboration d'un système possèdant déjà une structure d'apprentissage et de contrôle telles que nous les avons définies. Les caractéristiques de ces structures ne sont pas conformes, mais à quoi servirait cette conformité aujourd'hui puisqu'elle est susceptible d'évoluer très largement et très rapidement. Notre but était d'étudier dans quelles conditions ce système d'ingénierie est susceptible d'assister les décisions des responsables intervenant dans des projets d'aménagement en eau. Il s'agissait d'expliquer à travers les difficultés que l'on peut prévoir pour sa réalisation, ce que ce système peut faire, ce qu'il ne peut pas faire mais aussi la façon dont cela peut être contrôlé.

Pour la réponse aux appels d'offres, cet outil est susceptible d'intervenir à des niveaux de décision essentiellement techniques. Il serait imprudent d'admettre qu'il puisse fournir des planning pour la réalisation de n'importe quel projet d'aménagement en eau. Il a pour tâche de structurer le problème mais la complexité des projets réels telle que nous l'avons décrite en première partie est bien trop grande pour qu'il puisse donner une image complète et identique à la réalité. Il permet seulement de l'approcher en proposant une assistance aux décisions qui combine techniques d'acquisition de données, de simulation et d'optimisation mais aussi expérience et savoir-faire des spécialistes. Il indique à l'utilisateur comment bénéficier de cette assistance, ce qui requiert un haut degré de souplesse au niveau de ses capacités de communication.

CHAPITRE 5: LES RISQUES D'UNE INFORMATISATION TROP POUSSEE POUR L'AIDE A LA DECISION DANS LE CADRE DES PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU

C'est volontairement que nous consacrerons un chapitre supplémentaire de cet ouvrage à une remarque qui nous paraît capitale pour le développement du système que nous proposons. Elle concerne les conséquences possibles d'une informatisation trop poussée de ce système si son utilisation venait à s'étendre.

5.1.Inconvénients et risques d'une informatisation exagérée.

D'après les nombreux travaux auxquels fait référence ce mémoire de thèse, on remarque le rôle de plus en plus important de l'informatique dans les sciences de l'eau en tant qu'outil de recherche mais aussi en tant qu'outil de conception de projets. Elle a permis d'énormes progrès dans la quantification économique et l'étude des phénomènes hydrologiques, elle peut contribuer à une meilleure analyse des processus de décision.

Cependant, une utilisation abusive de l'informatique pourrait avoir des conséquences moins heureuses et il est important d'en être conscient pour pouvoir les éviter.

La compréhension des phénomènes complexes intervenant et régissant les problèmes de l'eau peut effectivement devenir un objectif qui s'estompe pour l'analyste et le décideur, s'ils se transforment en utilisateurs exclusifs de programmes informatiques. C'est pour éviter de telles erreurs que les règles de connaissances introduites dans le système comporteront parfois en partie action, des recommandations banales mais indispensables telles que "le système ne peut aller plus loin pour résoudre votre problème, **retournez sur le terrain**".

Il ne s'agit pas de substituer un clavier informatique au marteau de géologue ou au résistivimètre de l'hydrogéologue.

5.1.1.L'informatisation du système MISE.

La gestion des flux d'information représente un des syndromes de l'informatique (Tabourier, 1984). En effet si les connaissances issues des simulations MISE n'étaient pas, en tout premier lieu, destinées aux participants à ces sessions, on pourrait croire que l'information qui en ressort est destinée uniquement à alimenter la base d'informations de notre système d'ingénierie.

La vocation première du MISE est pédagogique et constitue un "enjeu culturel" qui disparaît temporairement pour réapparaître au niveau des utilisateurs d'un système d'aide à la décision.

Les spécialistes qui participent aux sessions de simulation conservent un rôle pédagogique, ils ne sont pas là uniquement pour être dépouillés de leur savoir—faire au profit de l'informatique. Ce savoir—faire n'est pas figé par le système puisqu'il est constamment renouvelé par la répétition des jeux de simulation et confronté à une utilisation professionnelle.

Si les processus de décisions sont décrits et analysés sous une forme nouvelle liée à la technologie informatique, ils doivent pouvoir s'exprimer en fonction de la culture et de la technologie appartenant au domaine de l'eau. Nous pensons que c'est dans ce but qu'est organisée la première journée de "simulation MISE" qui s'effectue sur le terrain en compagnie des décideurs impliqués dans les projets simulés.

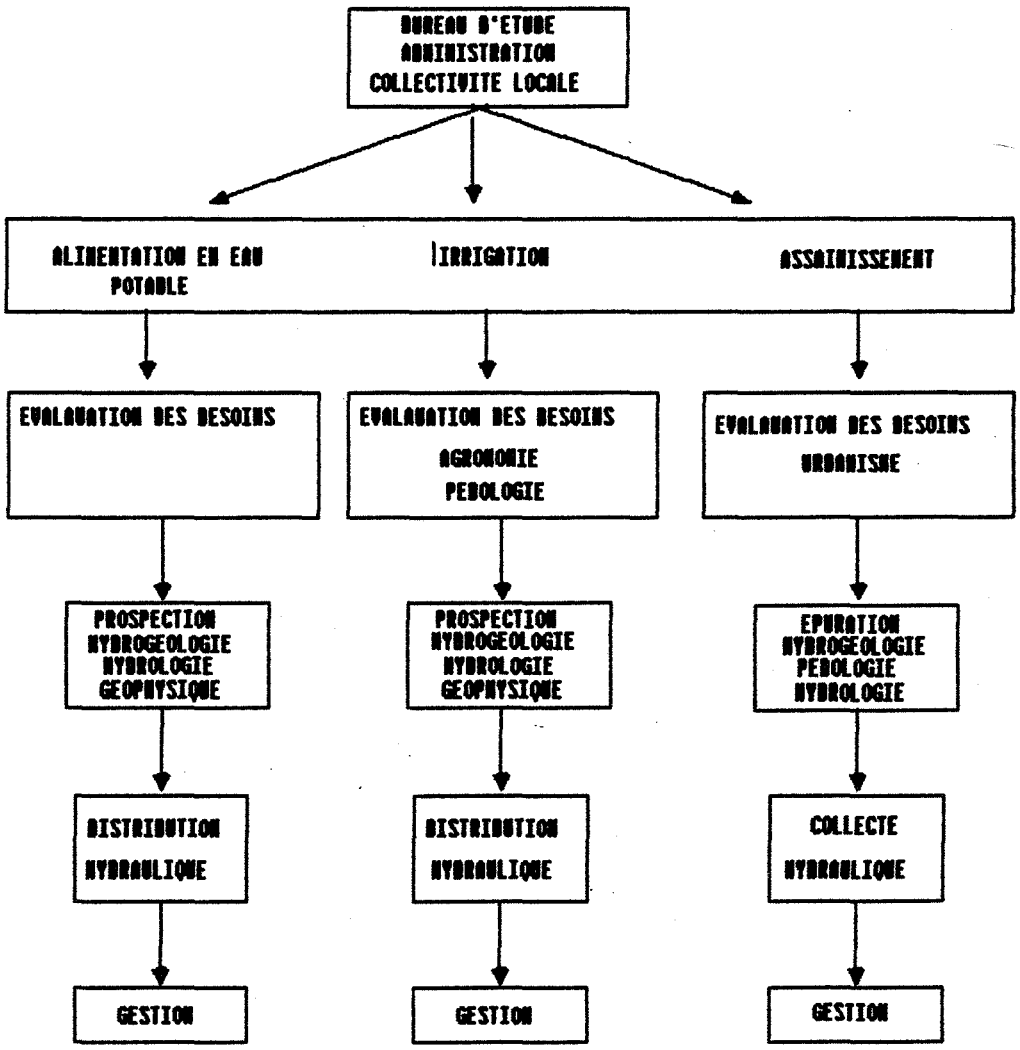
Son informatisation totale supprimerait l'aspect relationnel existant dans un groupe de décideurs.

5.1.2.Conséquences de l'informatisation du système d'ingénierie.

La maintenance, l'actualisation des données (coûts, règlementation,...) et des connaissances introduites dans le système d'ingénierie est assujettie à un travail de nature informatique considérable. Cette activité ne peut se faire sans les contacts de terrain, le suivi des projets et la collaboration avec les spécialistes des divers domaines d'activité.

Ce sont les besoins en eau potable, la demande en projets d'irrigation ou d'assainissement qui donnent un sens à l'activité informatique et non l'inverse.

La démarche que nous avons adoptée pour représenter les connaissances risque de provoquer la réticence de nombreux utilisateurs et spécialistes, à cause de la forte hiérarchisation des connaissances de certains domaines de l'eau.



Pourtant, ce type de représentation intègre les relations entre chaque activité spécialisée et est significative de la complexité des projets.

L'influence d'un modèle uniquement hiérarchique des connaissances hydrogéologiques, économiques ou sociales risque, en effet, de contaminer l'approche des projets d'aménagement en eau par une idéologie analytique totalement déviée de la réalité.

L'idée de décomposer l'activité de la structure responsable d'un projet en eau, vise essentiellement à organiser au mieux le système d'information dont elle a besoin.

5.2.Adaptation des utilisateurs à l'outil informatique et communication entre les acteurs des projets.

Sans bouleverser les activités du domaine de l'eau, l'assistance par ordinateur que propose le système d'ingénierie peut provoquer d'éventuelles transformations au point de vue de l'organisation du travail, des méthodes ou de la qualification des différents acteurs des projets. L'utilisation du système demandera aux organismes qui l'accepteront, une **adaptation** de leurs services pour s'affranchir en particulier, de l'obstacle d'une informatisation qui nous paraît toutefois rester raisonnable.

Ce n'est pas par l'utilisation unique du système que les projets pourront s'exécuter avec plus d'efficacité. L'une des conséquences possibles de l'introduction de ce système d'aide à la décision serait de nature à modifier les rapports entre gestionnaires, politiques, bureaux d'études. L'organisation de ces structures ne se recentrera certainement pas autour de ce système, mais son utilisation peut se prolonger au delà d'un simple échange entre une prestation de service et les utilisateurs, ou au delà d'une simple filière de diffusion de connaissances.

Ce système doit pouvoir contribuer à la **communication** entre les divers décideurs intervenant dans un projet (hydrogéologues, hygiénistes, distributeurs, élus locaux,...). Il doit améliorer et coordonner le dialogue avec la sous—traitance dans le but d'une meilleure adéquation offre—demande. Un problème de confidentialité professionnelle risque d'apparaître avec cette amélioration de la communication. Au point de vue technique, le système devra être équipé de protocoles de protection et de contrôles d'accès.

A travers ce travail, il reste clair que l'informatique ne reste qu'un support de l'analyse du comportement des milieux naturels et parfois de celui des décideurs dans le but de constituer un outil destiné à les aider.

CINQUIEME PARTIE

La faisabilité du système d'ingénierie est étudiée à partir d'exemples d'application et de l'utilisation de différents moteurs d'inférences.

Le premier chapitre décrit la mise au point et l'utilisation d'une base de connaissances dédiée au choix d'un dispositif d'épuration en épandage souterrain, en fonction de l'environnement.

Le second chapitre décrit la réalisation d'un moteur d'inférences utilisant une logique "floue" pour traiter un module d'expertise concernant la prospection des ressources en eau souterraine.

L'existence de développeurs d'applications évolués est également à prendre en compte car elle permet, dans le troisième chapitre, d'établir les caractéristiques fonctionnelles du système d'ingénierie.

En conclusions générales, sont résumées et synthétisées les conditions liées à la réalisation de ce système.

CHAPITRE 1: MISE AU POINT D'UNE BASE DE CONNAISSANCES POUR LE CHOIX ET LE DIMENSIONNEMENT D'UN ORGANE D'EPURATION EN EPANDAGE SOUTERRAIN.

L'adaptation du système MISE aux projets d'assainissement des petites collectivités, dont nous avons déjà expliqué l'importance (Partie 2B), s'inscrit dans le développement du système d'ingénierie. L'organisation des données de cette version MISE est cohérente avec la base d'informations générale du système d'ingénierie.

Le développement de chaque version MISE, s'accompagne de l'élaboration des outils permettant d'assister l'utilisateur dans la conduite du projet simulé. La simulation de cette catégorie de projets d'assainissement nécessite l'emploi d'outils permettant de choisir parmi toutes les techniques disponibles en épandage souterrain, celle qui s'adaptera le mieux au terrain étudié.

L'outil présenté dans ce chapitre est donc prévu pour assister l'utilisateur du système MISE, mais c'est aussi un outil d'aide à la décision qui, par là-même, s'intègrera directement dans la base d'informations générale du système d'ingénierie.

1.1.Aide à la décision pour choisir des dispositifs d'assainissement autonomes.

La nature des connaissances mises en jeu pour choisir entre différents types de dispositifs est essentiellement descriptive, les raisonnements reposent surtout sur l'appréciation qualitative de fourchettes de valeurs numériques :

—exemples: perméabilité du sol comprise entre 20 et 50 mm/h

profondeur du substratum comprise entre 1,5 et 1 mètres.

Cette appréciation dépend de l'expérience des spécialistes habitués à résoudre ce type de problème, elle ne peut donc faire l'objet d'un traitement procédural classique. C'est la raison pour laquelle nous avons adopté pour développer cet outil la technique des systèmes experts.

— Informations susceptibles d'être fournies par l'utilisateur

Rappelons tout—d'abord quel peut être le profil de l'utilisateur de ce module d'expertise dans le cadre du système d'ingénierie :

—Bureau d'études

—DDAF, DDASS, DDE

—Mairie, collectivité locale

L'emploi de cet outil s'appuie sur des connaissances de terrain qui sont issues de la phase d'étude préliminaire, il correspond davantage à la deuxième application prévue pour notre système d'ingénierie, à savoir, l'étude prévisionnelle complète d'un projet.

Dans le cadre de la réponse à un appel d'offre, cet outil n'est utile que dans la mesure où le bureau d'étude soumissionnant peut faire valoir dans son dossier de réponse, le fait qu'il dispose d'un tel outil.

Les faits susceptibles d'être introduits dans le système par un utilisateur ayant déjà réalisé l'étude de terrain sont de deux types :

— je connais le terrain, je ne sais pas quel type de dispositif utiliser.

— je sais quel(s) dispositif(s) utiliser, est(sont)—il(s) adapté(s) au contexte naturel?

La base de connaissance développée et le moteur d'inférence choisi doivent permettre de répondre à ces deux catégories de préoccupations : choix d'un dipositif, vérification de validité.

1.2.Base de connaissance

L'ensemble des règles de connaissances a été écrit à partir de données bibliographiques et de l'expérience de terrain des responsables du projet de Saint—Marcel—de—Félines (Blachère—Graillot, 1986).

Les règles actuellement écrites (50 environ) ne traitent pour l'instant que les cas où des facteurs naturels interdisent l'épandage en tranchée (pente>15%, profondeur de la nappe < 0,5m, profondeur du substratum <0,5m, perméabilité<6mm/h) ainsi que les cas où l'environnement (pente, substratum, nappe) est très favorable à un épandage de ce type (tableaux 5—1, 5—2, 5—3).

Le traitement des cas intermédiaires (pente peu favorable, profondeur de substratum peu favorable, profondeur de nappe peu favorable) nécessite des choix plus critiques. L'expertise indispensable à l'écriture des règles correspondantes est en cours de formalisation et nécessitera probablement un outil de développement plus performant.

Les connaissances intervenant dans ce module d'expertise correspondent, dans la base d'information générale du système d'ingénierie, aux cheminons suivants :

—**ASSPC>CONTNAT**
(connaissances qu'il faut acquérir sur le contexte naturel pour pouvoir étudier et définir un projet d'assainissement)
—**ASSPC>EPUR>RUSTIC>SOL**
(données pédologiques et techniques de reconnaissance du sol, aptitude des sols à l'assainissement)
—**ASSPC>EPUR>RUSTIC>EPSOUT**
(connaissances nécessaires pour l'épandage souterrain)

Le graphe de dépendance des règles développées (figure n°5—1) demeure ouvert vers les cheminons regroupant les coûts des travaux de réalisation et vers ceux où se trouvent les données sur le prétraitement :

—**ASSPC>EPUR>RUSTIC>COUT**
—**ASSPC>AUTOM.**

Les algorithmes utilisés à cette occasion sont le programme PERMESS (calcul d'une perméabilité ponctuelle à partir d'une mesure de terrain, dimensionnement d'un ouvrage à partir de la perméabilité calculée), et le programme de calcul automatique du coût d'un réseau et d'un assainissement de type rustique.

Les règles de connaissances qui composent ce graphe sont regroupées en classes:

— ***Environnement*** : Il ne s'agit pas de l'environnement au sens classique du terme, mais de l'environnement du sol dans lequel se fera l'épandage. Les règles appartenant à cette classe, sont relatives aux contraintes que représentent la pente du terrain, la nature du substratum et sa profondeur, la vulnérabilité de la nappe aquifère.

— ***Sol*** : Ce sont les règles prenant en compte les paramètres descriptifs de la nature du sol et de sa perméabilité.

— ***Dispositif*** : Ce sont les règles dont la partie action désigne le type de dispositif à implanter.

— ***Unifamiliale*** : ce sont les règles qui permettent d'aboutir au dimensionnement d'un dispositif dans le cas d'une habitation unifamiliale.

Ce regroupement par classes permet au concepteur de rechercher parmi les règles écrites dans un ordre quelconque, celles qui correspondent à un thème particulier.

1.3.Interpréteur de règles utilisé

Le moteur d'inférence utilisé est un moteur déjà existant, il est écrit en langage C et permet de développer des informations sur matériel informatique Apple (MACINTOSCH).

Ce programme fonctionne en mode déductif, en parcourant le graphe en chaînage avant, et permet de vérifier des hypothèses par chaînage arrière. Il permet donc de répondre aux deux préoccupations de l'utilisateur: déterminer un type de dipositif d'assainissement à partir d'un environnement connu ou vérifier les conditions d'application d'un dispositif qu'il a choisi a priori.

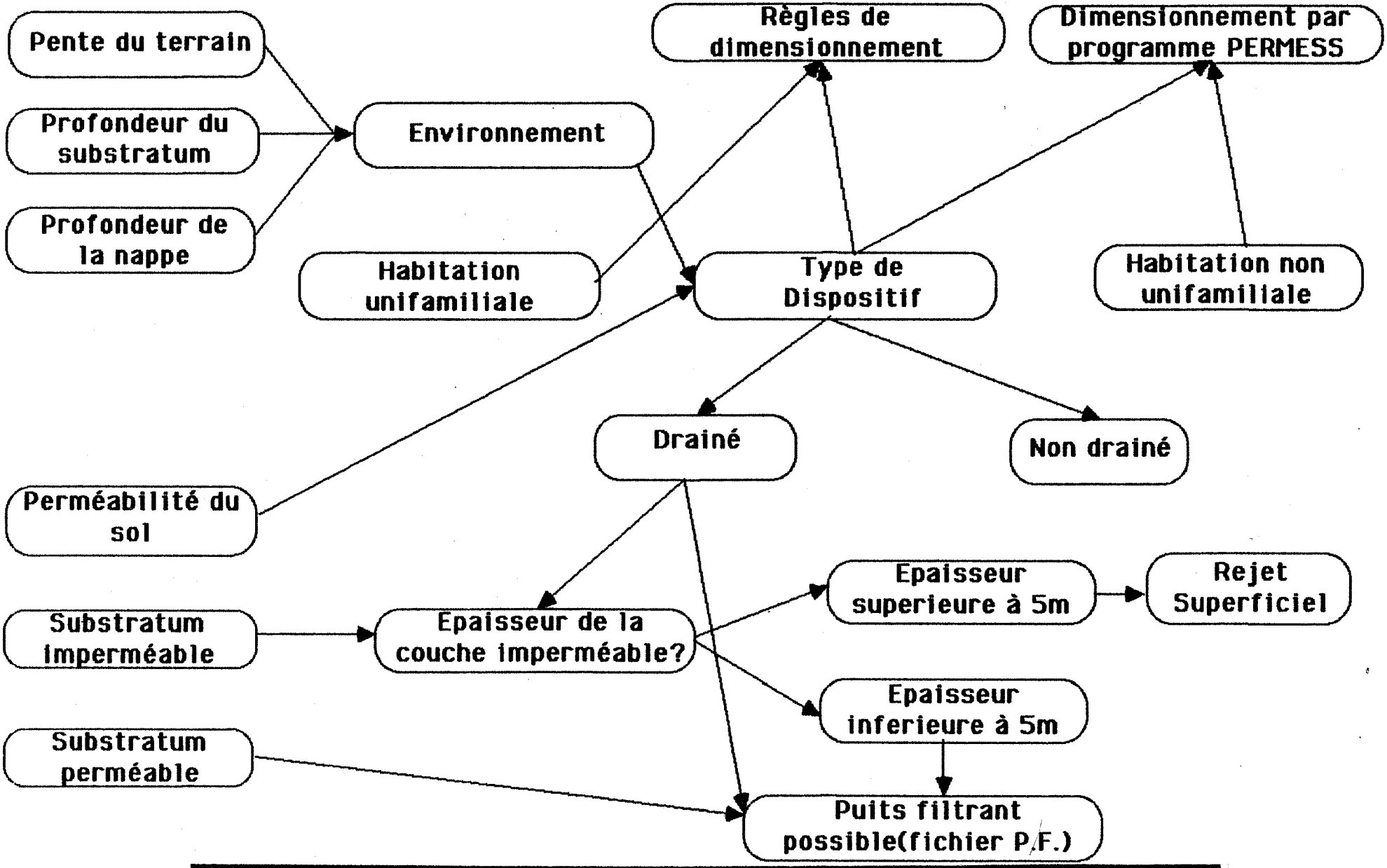


Figure n°5—1: GRAPHE DE DEPENDANCE DES REGLES DU SYSTEME EXPERT ASSAINISSEMENT AUTONOME

Tableau n°5—1

Base de Connaissances ASS.AUTONOME

Règle1
SI
PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8% (D)
(D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE (A)
TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI (A)
CLASSE :<ENVIRONNEMENT> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
SUBSTRATUM PERMEABLE OU IMPERMEABLE?

Règle2
SI
PENTE.DU.TERRAIN COMPRIS.ENTRE 8.ET.15% (D)
(D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
PENTE.DU.TERRAIN PEU.FAVORABLE.A EPANDAGE (A)
TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI (A)
CLASSE :<ENVIRONNEMENT> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
SUBSTRATUM EST PERMEABLE OU IMPERMEABLE?

Règle3
SI
PENTE.DU.TERRAIN SUPERIEUR.A 15% (D)
(D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
PENTE.DU.TERRAIN EXCLUT EPANDAGEenTRANCHEES (A)
NATURE.DU.SUBSTR DOIT.ETRE FOURNI (A)
CLASSE :<ENVIRONNEMENT> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
SUBSTRATUM EST PERMEABLE OU IMPERMEABLE?

Règle4
SI
SUBSTRATUM EST PERMEABLE (D)
TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI (A)
(A)
CLASSE :<ENVIRONNEMENT> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
PROFONDEUR DU SUBSTRATUM PERMEABLE:>1,5;1,5à1;<1?

Tableau n°5—2

Base de Connaissances ASS.AUTONOME

Règle29
SI
DISPOSITIF N'EST.PAS EPANDAGEenTRANCHEES (D)
PERMEABILITE.SOL INFERIEUR.A 10MM.PAR.H. (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
DISPOSITIF EST DRAINE (A)
REJET A.ETUDIER PAR.PUITS.FILTRANT (A)
CLASSE :<DISPOSITIF> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
SUBSTRATUM PERMEABLE OU IMPERMEABLE?

Règle30
SI
DISPOSITIF EST TERTRE.FILTRANT (D)
PERMEABILITE.SOL SUPERIEUR.A 10MM.PAR.H. (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI (A)
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.T.F. (A)
CLASSE :<DISPOSITIF> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
HABITATION EST OU N'EST PAS UNIFAMILIALE(500L/JOUR)

Règle31
SI
DISPOSITIF EST TERTRE.FILTRANT (D)
DISPOSITIF EST DRAINE (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI (A)
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.T.F.DR. (A)
CLASSE :<DIMENSIONNEMENT> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
HABITATION EST OU N'EST PAS UNIFAMILIALE(500L/JOUR)

Règle32
SI
HABITATION EST UNIFAMILIALE (D)
DISPOSITIF EST DRAINE (D)
DISPOSITIF N'EST.PAS EPANDAGEenTRANCHEES (D)
(D)
(D)
ALORS
DIMENSIONNEMENT EST 25.A.30M.CARRE (A)
(A)
CLASSE :<UNIFAMILIALE> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :

Tableau n°5—3

Base de Connaissances ASS.AUTONOME

Règle45
SI
PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 10.ET.20MM.PAR.H. (D)
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.TRANCH. (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
DIMENSIONNEMENT EST 40M.CARRE (A)
PROFONDEUR.TRANCHEES EST 0,6M (A)
CLASSE :<UNIFAMILIALE> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
puits AEP le plus proche(<ou>35m?)

Règle46
SI
PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 20.ET.50MM.PAR.H. (D)
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.TRANCH. (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
DIMENSIONNEMENT EST 25M.CARRE (A)
PROFONDEUR.TRANCHEES EST 0,6.A.0,8M (A)
CLASSE :<UNIFAMILIALE> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
PUITS AEP LE PLUS PROCHE(<ou>35M?)

Règle47
SI
PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 50.ET.500MM.PAR.H. (D)
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.TRANCH. (D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
DIMENSIONNEMENT EST 15M.CARRE (A)
PROFONDEUR.TRANCHEES EST 0,6.A.0,8M (A)
CLASSE :<UNIFAMILIALE> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
PUITS AEP LE PLUS PROCHE(<ou>35M?)

Règle48
SI
HABITATION N'EST.PAS UNIFAMILIALE (D)
(D)
(D)
(D)
(D)
ALORS
DIMENSIONNEMENT EST.POSSIBLE PAR.PERMESS (A)
(A)
CLASSE :<GROUPE> VRAISEMBLANCE :1
SOLUTION :
FAIRE TOURNER LE PROGRAMME PERMESS

Le mécanisme d'interprétation des règles permet par ailleurs, de vérifier la validité d'une déduction en rappelant les clauses qui lui ont permis d'y aboutir.

L'avantage de ce moteur réside dans l'environnement particulièrement confortable qu'il procure à l'utilisateur pour effectuer une consultation et à l'expert pour introduire des règles. Il ne nécessite aucune connaissance en informatique et permet des tests rapides de jeux de règles.

Cependant, ses performances sont relativement limitées au niveau de l'interface avec l'utilisateur puisqu'il ne lui permet de s'exprimer qu'à travers un lexique qui lui est imposé. En effet, les propositions contenues dans les faits introduits par l'utilisateur doivent être rigoureusement identiques à celles que contiennent les règles de connaissances.

C'est un moteur fonctionnant en logique des propositions (ordre 0) ne permettant pas d'introduire des variables, cela reste toutefois satisfaisant pour le domaine qui nous intéresse puisqu'on utilise essentiellement des fourchettes de valeurs numériques.

Cela oblige toutefois à créer des règles permettant d'éviter la contradiction du type :

- si perméabilité inférieure à 6mm/h
  et perméabilité supérieure à 10 mm/h
  alors Attention il y a contradiction!

1.4.Formalisme de représentation des connaissances

Les connaissances sont représentées sous forme de propositions dont le nombre de prémisses est illimité dans la mesure où certaines conclusions peuvent être occultées (Les caractères (0) et (A) qui apparaissent dans les tableaux 5-1 à 5-3 sont les marqueurs qui permettent d'occulter certaines propositions). En revanche, le nombre des conclusions est limité à deux propositions qui peuvent être reliées par le connecteur logique "ou".

Les propositions sont introduites dans un langage proche du langage naturel, cependant leur longueur limitée nécessite l'emploi d'abréviations. Chaque proposition est formulée de la manière suivante:

—Un groupe sujet
—Un groupe relation
—Un groupe objet

Lorsque l'expert introduit les règles en structurant, de cette manière, les propositions qui les composent, le lexique qui doit servir à l'utilisateur est généré automatiquement (figure n°5—3).

La syntaxe employée impose certaines précautions: les différents termes appartenant à chaque groupe sujet, relation ou objet doivent être reliés (ils ne doivent pas être séparés par une tabulation) pour constituer une entité unique.

1.5.Description fonctionnelle du système:

Nous ne rappellerons pas ici les procédures directement liées à l'appareil, elles font l'objet d'une notice d'utilisation vendue avec les logiciels de base.

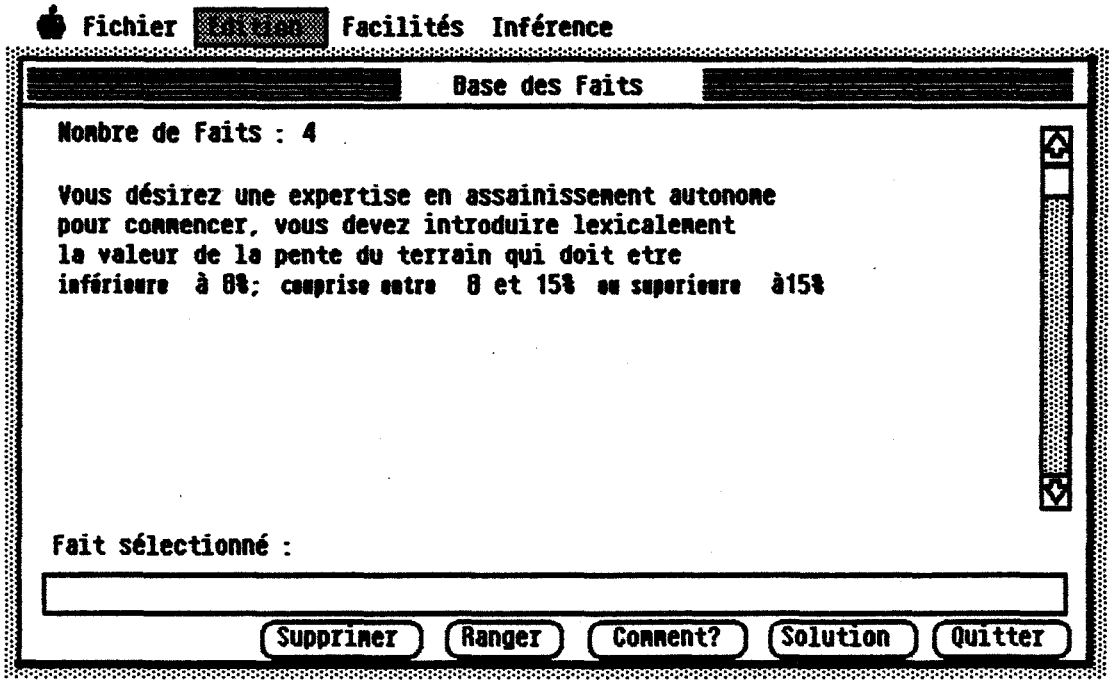
Nous remarquerons seulement que ces procédures sont très simples et que l'utilisation de la "souris" pour activer la barre des menus ne requiert, pour l'utilisateur, aucune connaissance en informatique, encore moins en systèmes experts.

Après s'être connecté au système, l'utilisateur doit ouvrir la base de connaissance : **Assainissement Autonome** et "charger" la base de faits : **expertise assainissement.**

—le contenu initial de cette base de fait est un commentaire:

Figure n°5—2

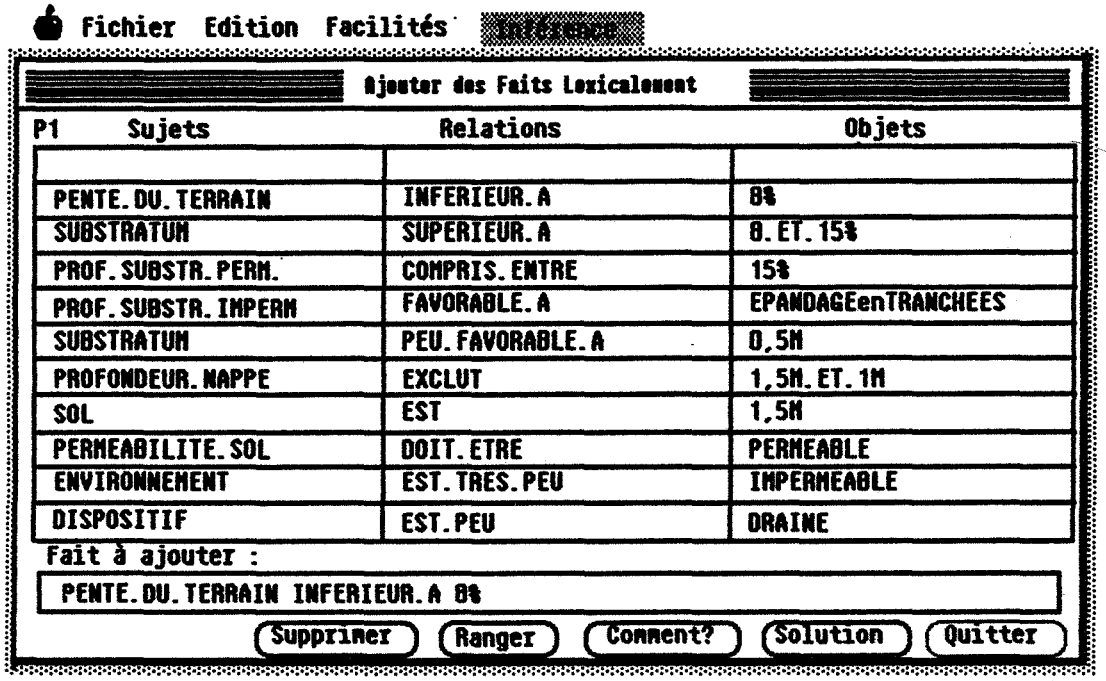
Initialisation de la base de faits



L'utilisateur peut formuler sa réponse à l'aide du lexique, en sélectionnant successivement un groupe sujet, un groupe relation, un groupe objet (figure n°5—3).

Figure n°5—3

Structure des propositions constituant les faits et les règles



Ces premières informations, introduites dans la base de faits, permettent de déclencher le processus d'inférence.

Mode "déduire"

La sélection de ce mode dans le menu *INFERENCE* fait apparaître un ou plusieurs faits nouveaux, déduits des précédents et résultant du parcours du graphe par le moteur en chaînage avant (figure n°5—4).

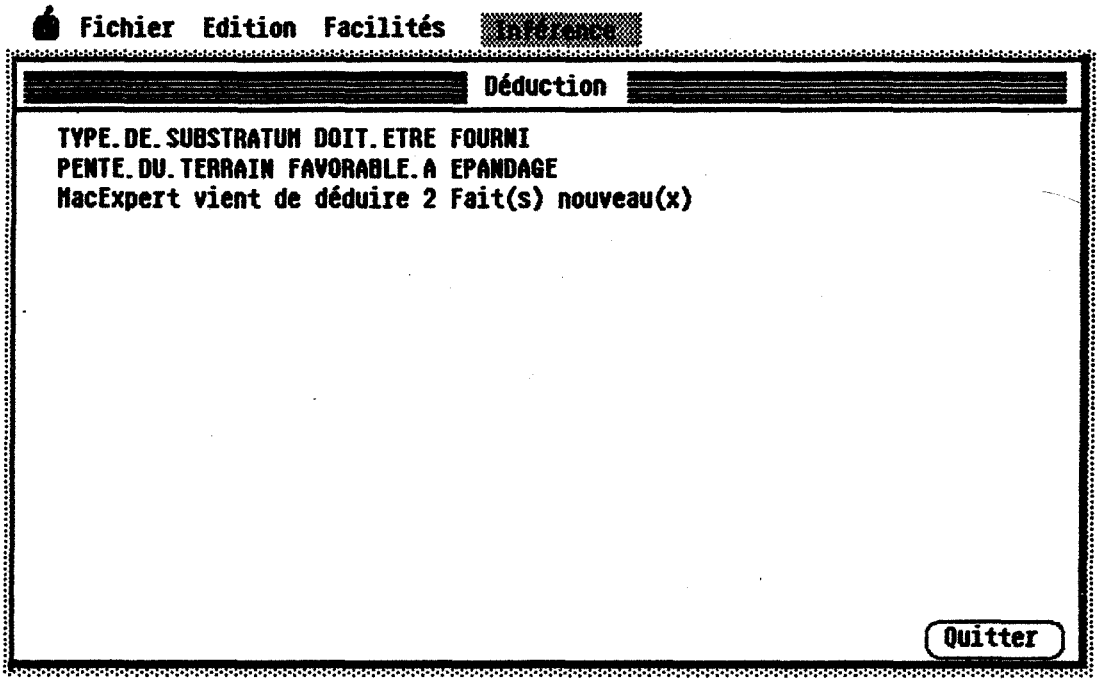
Ces nouveaux faits déduits sont, de la même façon que les précédents, insérés dans la base de faits.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, l'utilisateur examine le nouveau contenu de la base de faits : les faits déclarés spontanément et ceux déduits apparaissent. Dans la partie action des règles apparaissent des propositions indiquant les faits supplémentaires à acquérir pour pouvoir poursuivre l'inférence.

En effet, chaque stade de déduction dépend d'une description de plus en plus précise du milieu et s'appuie sur l'introduction de nouvelles caractéristiques.

Figure 5—4

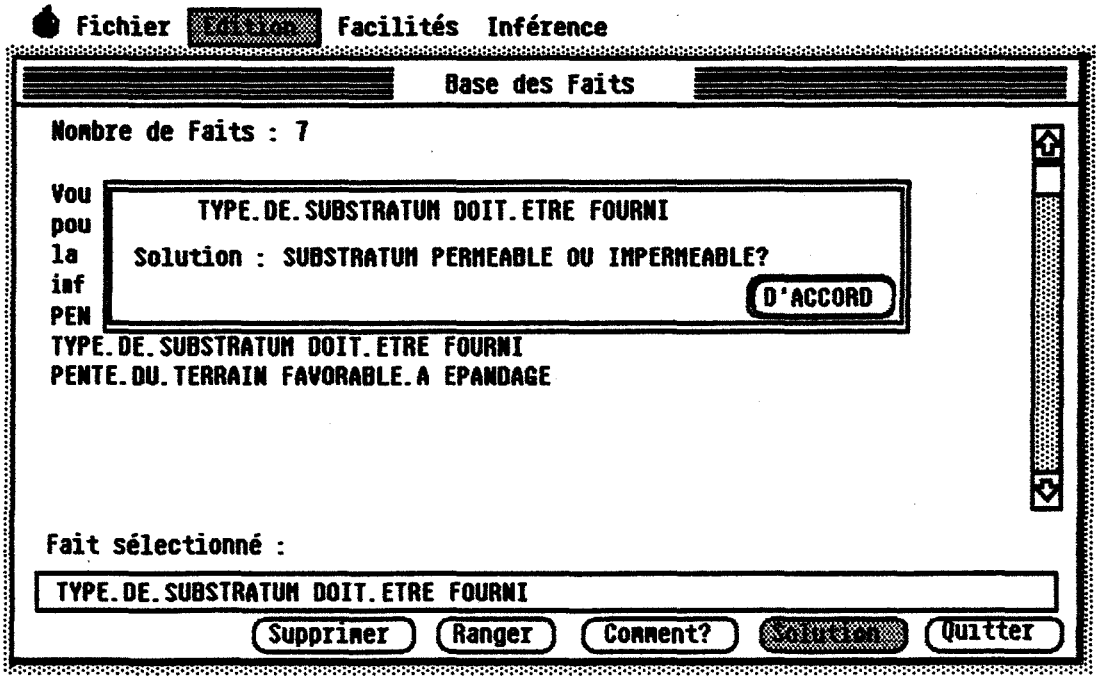
Résultat d'une déduction dans le cadre d'une expertise en assainissement



Le menu *SOLUTION* guide l'utilisateur dans la formulation des nouveaux faits à introduire (unités, fourchettes de valeur, vocabulaire..etc).

Figure n°5—5

Informations accompagnant les déductions



En répétant ces opérations (ajouter des faits, déduire), le système acquerra progressivement toutes les donnéees qui lui sont nécessaires pour déterminer le type d'organe d'épandage souterrain qui peut être utilisé sur le site étudié.

Demonstration

A tout moment, l'utilisateur peut demander la démonstration des faits déduits en fonction de ceux qu'il a introduits.

La sélection du menu *COMMENT* dans la base de faits lui permet d'obtenir une trace du raisonnement suivi.

-exemple:

-fait sélectionné "le dispositif peut être un épandage par tranchées"

-comment?

- réponse : sachant que

-la pente est inférieure à 8%

-le substratum perméable est à plus d'1,5m

-la nappe est à plus de 1m

-la perméabilité du sol est supérieure à 20mm/h

-le système déduit que: le dispositif peut être un épandage par tranchées

L'utilisateur peut être amené à suspendre la consultation pour accéder à certaines valeurs quantitatives, effectuer des mesures de terrain ou un calcul conseillé par le système en cours de consultation.

La sauvegarde de la base de faits est alors indispensable, elle permettra à l'utilisateur de reprendre la consultation après avoir acquis les informations nécessaires.

Mode "vérification d'hypothèses":

"confirmation ou infirmation d'un type de dispositif d'assainissement préalablement choisi.

Ce mode de consultation a plus de chances d'être utilisé par une personne déjà relativement compétente dans le domaine de l'assainissement. L'utilisateur désire vérifier si tel ou tel dispositif est compatible avec les données hydrogéologiques, topographiques, pédologiques, du problème d'assainissement auquel il est confronté. Par la même occasion il pourra comparer sa propre compétence à celle du système.

Un questionnaire destiné à recueillir les avis des spécialistes après consultation sera d'un intéret considérable pour permettre au concepteur d'améliorer la base de connaissances.

Dans le menu *INFERENCE* on doit sélectionner *VERIFIER UNE HYPOTHESE*, la fonction *ASSISTANCE* permet de lister les hypothèses qui peuvent faire l'objet d'une vérification. Parmi les hypothèses possibles, l'utilisateur sélectionne celle qui lui convient le mieux.

Un certain nombre de questions seront alors posées à l'utilisateur qui devra répondre par oui, non ou inconnu. Celui—ci pourra à chaque fois demander la raison pour laquelle cette question lui est posée. Puis d'autres questions apparaîtront pour confirmer ou infirmer l'hypothèse de départ (session d'utilisation n°3).

La consultation se termine par l'impression et la sauvegarde de la base de faits, ce qui permet à l'utilisateur de garder une trace de la consultation.

1.6.Sessions d'utilisation.

—Sessions n°1 et 2 : Mode déduire

Les sessions n°1 et 2 montrent l'évolution de la base de faits au cours d'une consultation. Elle s'enrichit d'informations qui sont soit introduites par l'utilisateur (précédées du signe "—"), soit issues de déductions, pour aboutir à la détermination d'un dispositif d'assainissement et, dans le cas d'une habitation individuelle, à son dimensionnement.

On remarque que pour la session n°1, la détermination du dispositif est beaucoup plus longue que pour la session n°2. En effet, le choix, dans le deuxième cas est immédiat puisque le premier paramètre de description du milieu, introduit par l'utilisateur, est un facteur limitant absolu (pente trop forte) pour un épandage en tranchées. Dès la première inférence le dispositif est déterminé : c'est un tertre filtrant drainé. Mais l'expertise se poursuit car dès qu'un dispositif est drainé, il faut étudier l'évacuation de l'effluent. Celle—ci peut se faire en superficie ou dans un puits filtrant, en fonction de la nature et de l'épaisseur de la couche qui constitue le substratum du dispositif d'épandage.

Pour la première session, l'expertise est plus complexe, elle demande une exploration plus poussée du graphe de règles de connaissances et nécessite l'introduction de faits supplémentaires. Puisqu'aucun facteur limitant n'oblige à adopter un dispositif particulier, c'est après avoir pris en compte tous les paramètres descriptifs de l'environnement et du sol, que sera déterminé le dispositif compatible. C'est la démarche utilisée pour aboutir à la solution la meilleure.

Dans ces deux sessions, l'habitation étant unifamiliale, le système expert permet de poursuivre les déductions jusqu'au dimensionnement du dispositif.

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%

DEDUCTION

TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
MacExpert vient de déduire 2 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%
6 TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
— 8 SUBSTRATUM EST PERMEABLE

DEDUCTION

PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI
MacExpert vient de déduire 1 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%
6 TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
— 8 SUBSTRATUM EST PERMEABLE
9 PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI
— 10 PROF.SUBSTR.PERM SUPERIEUR.A 1,5M

Session n°1

DEDUCTION

PROFONDEUR.NAPPE DOIT.ETRE FOURNI
PROF.SUBSTR.PERM FAVORABLE.A EPANDAGE
MacExpert vient de déduire 2 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%
6 TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
— 8 SUBSTRATUM EST PERMEABLE
9 PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI
— 10 PROF.SUBSTR.PERM SUPERIEUR.A 1,5M
11 PROFONDEUR.NAPPE DOIT.ETRE FOURNI
12 PROF.SUBSTR.PERM FAVORABLE.A EPANDAGE
— 13 PROFONDEUR.NAPPE SUPERIEUR.A 1,5M

DEDUCTION

PERMEABILITE.SOL DOIT.ETRE FOURNI
SOL EST.ASSEZ DRAINE
ENVIRONNEMENT FAVORABLE.A EPANDAGE
MacExpert vient de déduire 3 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%
6 TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
— 8 SUBSTRATUM EST PERMEABLE
9 PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI
— 10 PROF.SUBSTR.PERM SUPERIEUR.A 1,5M
11 PROFONDEUR.NAPPE DOIT.ETRE FOURNI
12 PROF.SUBSTR.PERM FAVORABLE.A EPANDAGE
— 13 PROFONDEUR.NAPPE SUPERIEUR.A 1,5M
14 PERMEABILITE.SOL DOIT.ETRE FOURNI
15 SOL EST.ASSEZ DRAINE
16 ENVIRONNEMENT FAVORABLE.A EPANDAGE
— 17 PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 6.ET.500MM.PAR.H.

DEDUCTION

PERMEABILITE.SOL FAVORABLE.A EPANDAGE
TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
EPANDAGEenTRANCHEES EST.POSSIBLE
MacExpert vient de déduire 3 Fait(s) nouveau(x).

Session n°1

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%
6 TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
— 8 SUBSTRATUM EST PERMEABLE
9 PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI
— 10 PROF.SUBSTR.PERM SUPERIEUR.A 1,5M
11 PROFONDEUR.NAPPE DOIT.ETRE FOURNI
12 PROF.SUBSTR.PERM FAVORABLE.A EPANDAGE
— 13 PROFONDEUR.NAPPE SUPERIEUR.A 1,5M
14 PERMEABILITE.SOL DOIT.ETRE FOURNI
15 SOL EST.ASSEZ DRAINE
16 ENVIRONNEMENT FAVORABLE.A EPANDAGE
— 17 PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 6.ET.500MM.PAR.H.
18 PERMEABILITE.SOL FAVORABLE.A EPANDAGE
19 TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
20 EPANDAGEenTRANCHEES EST.POSSIBLE
— 21 HABITATION EST UNIFAMILIALE

DEDUCTION

PERMEABILITE.SOL DOIT.ETRE PRECISEE
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.TRANCH.
MacExpert vient de déduire 2 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN INFERIEUR.A 8%
6 TYPE.DE.SUBSTRATUM DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN FAVORABLE.A EPANDAGE
— 8 SUBSTRATUM EST PERMEABLE
9 PROF.SUBSTR.PERM DOIT.ETRE FOURNI
— 10 PROF.SUBSTR.PERM SUPERIEUR.A 1,5M
11 PROFONDEUR.NAPPE DOIT.ETRE FOURNI
12 PROF.SUBSTR.PERM FAVORABLE.A EPANDAGE
— 13 PROFONDEUR.NAPPE SUPERIEUR.A 1,5M
14 PERMEABILITE.SOL DOIT.ETRE FOURNI
15 SOL EST.ASSEZ DRAINE
16 ENVIRONNEMENT FAVORABLE.A EPANDAGE
— 17 PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 6.ET.500MM.PAR.H.
18 PERMEABILITE.SOL FAVORABLE.A EPANDAGE
19 TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
20 EPANDAGEenTRANCHEES EST.POSSIBLE
— 21 HABITATION EST UNIFAMILIALE
22 PERMEABILITE.SOL DOIT.ETRE PRECISEE
23 TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.TRANCH.
— 24 PERMEABILITE.SOL COMPRIS.ENTRE 20.ET.50MM.PAR.H.

DEDUCTION

PROFONDEUR.TRANCHEES EST 0,6.A.0,8M
DIMENSIONNEMENT EST 25M.CARRE
SOL EST.ASSEZ PERMEABLE
MacExpert vient de déduire 3 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN SUPERIEUR.A 15%

DEDUCTION

NATURE.DU.SUBSTR DOIT.ETRE FOURNI
PENTE.DU.TERRAIN EXCLUT EPANDAGEenTRANCHEES
DISPOSITIF EST DRAINE
DISPOSITIF EST TERTRE.FILTRANT
TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.T.F.DR.
TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
DISPOSITIF N'EST.PAS EPANDAGEenTRANCHEES
MacExpert vient de déduire 7 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN SUPERIEUR.A 15%
6 NATURE.DU.SUBSTR DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN EXCLUT EPANDAGEenTRANCHEES
8 DISPOSITIF EST DRAINE
9 DISPOSITIF EST TERTRE.FILTRANT
10 TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.T.F.DR.
11 TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
12 DISPOSITIF N'EST.PAS EPANDAGEenTRANCHEES
— 13 SUBSTRATUM EST IMPERMEABLE

DEDUCTION

EPAISSEUR.SUBSTRAT DOIT.ETRE FOURNI
MacExpert vient de déduire 1 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN SUPERIEUR.A 15%
6 NATURE.DU.SUBSTR DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN EXCLUT EPANDAGEenTRANCHEES
8 DISPOSITIF EST DRAINE
9 DISPOSITIF EST TERTRE.FILTRANT
10 TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.T.F.DR.
11 TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
12 DISPOSITIF N'EST.PAS EPANDAGEenTRANCHEES
— 13 SUBSTRATUM EST IMPERMEABLE
14 EPAISSEUR.SUBSTRAT DOIT.ETRE FOURNI
— 15 EPAISSEUR.SUBSTRAT INFERIEUR.A 5M

DEDUCTION

TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.P.F.
REJET EST.POSSIBLE PAR.PUITS.FILTRANT
MacExpert vient de déduire 2 Fait(s) nouveau(x).

BASE DES FAITS

1 vous desirez une expertise en assainissement autonome
2 pour commencer vous devez introduire lexicalement
3 la valeur de la pente du terrain qui doit etre
4 inferieureà8%;comprise entre8et15%ou superieureà15%
— 5 PENTE.DU.TERRAIN SUPERIEUR.A 15%
6 NATURE.DU.SUBSTR DOIT.ETRE FOURNI
7 PENTE.DU.TERRAIN EXCLUT EPANDAGEenTRANCHEES
8 DISPOSITIF EST DRAINE
9 DISPOSITIF EST TERTRE.FILTRANT
10 TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.T.F.DR.
11 TYPE.D'HABITATION DOIT.ETRE FOURNI
12 DISPOSITIF N'EST.PAS EPANDAGEenTRANCHEES
— 13 SUBSTRATUM EST IMPERMEABLE
14 EPAISSEUR.SUBSTRAT DOIT.ETRE FOURNI
— 15 EPAISSEUR.SUBSTRAT INFERIEUR.A 5M
16 TRAVAUX SONT.DANS FICHIER.P.F.
17 REJET EST.POSSIBLE PAR.PUITS.FILTRANT
— 18 HABITATION EST UNIFAMILIALE

DEDUCTION

DIMENSIONNEMENT EST 25.A.30M.CARRE
MacExpert vient de déduire 1 Fait(s) nouveau(x).

—Session n°3 : mode vérifier une hypothèse

Dans ce cas l'utilisateur avait a priori défini un dispositif d'épuration par un filtre à sable horizontal. Il consulte le système pour vérifier la validité de son hypothèse.

Quatre questions lui sont posées (proposition notées Q) elles concernent: la pente du terrain, la profondeur du substratum, la profondeur de la nappe et la perméabilité du sol. A chacune des questions posées, l'utilisateur a répondu positivement ce qui a permis de confirmer la nature du dispositif choisi.

Session n°3

```
PENTE.DU.TERRAIN  INFERIEUR.A  8%   (Q)
PENTE.DU.TERRAIN  FAVORABLE.A EPANDAGE
TYPE.DE.SUBSTRATUM  DOIT.ETRE FOURNI
PROF.SUBSTR.PERM   SUPERIEUR.A  1.5M   (Q)
PROF.SUBSTR.PERM   FAVORABLE.A EPANDAGE
PROFONDEUR.NAPPE   DOIT.ETRE FOURNI
PROFONDEUR.NAPPE   SUPERIEUR.A  1.5M   (Q)
SOL EST.ASSEZ DRAINE
PERMEABILITE.SOL   DOIT.ETRE FOURNI
ENVIRONNEMENT  FAVORABLE.A EPANDAGE
PERMEABILITE.SOL   INFERIEUR.A  6MM.PAR.H.    (Q)
PERMEABILITE.SOL   EXCLUT EPANDAGEenTRANCHEES
DISPOSITIF   EST FILTRE.S.HORIZONTAL
DISPOSITIF   EST DRAINE
 Le Fait :
DISPOSITIF   EST FILTRE.S.HORIZONTAL
 a été établi    ( est vrai ).
```

Conclusion

Le but essentiel de cet outil est d'assister le décideur pour le choix d'un dispositif d'épandage souterrain applicable à un environnement donné, aussi bien pour des habitations individuelles que pour des regroupements d'habitations. Un module de dimensionnement type, pour une habitation individuelle rejettant 500 l/j est proposé suivant les données du CTGREF (Etude inter—agences, 1980).

En ce qui concerne le dimensionnement à donner à un épandage collectif, le système guide l'utilisateur vers un programme de calcul qui manipule des données numériques (nombre d'habitants, volume journalier rejeté, perméabilité du sol). Les travaux à entreprendre sont répertoriés dans des fichiers proposés à l'utilisateur dès que le type de dispositif a été déterminé.

Cet outil s'intègre dans les moyens disponibles pour l'étude d'assainissement des petites collectivités, il sera donc implanté dans les simulations MISE et dans le système d'ingénierie.

A l'avenir on peut même envisager l'implantation d'un tel outil dans toutes les mairies pour assister les décideurs chargés de délivrer les permis de construire pour les zones non désservies par un réseau d'assainissement.

CHAPITRE 2: ESSAI DE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME A PARTIR D'UNE LOGIQUE DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES APPLIQUEE A LA PROSPECTION DES RESSOURCES EN EAU.

Le chapitre précédent était consacré à un domaine d'application se prêtant bien à une représentation des connaissances en logique des propositions. Toutefois, la logique utilisée ne suffit pas pour traiter d'autres domaines d'activité des projets d'aménagement en eau (alimentation en eau potable, irrigation) et en particulier la prospection des ressources en eau. Nous avons donc essayé d'adopter une logique permettant de prendre en compte les incertitudes issues des observations de terrains et des hypothèses sur lesquelles se basent l'évaluation et la prospection des ressources en eau. C'était l'occasion également de participer à la construction d'un moteur d'inférence afin de mieux saisir ses mécanismes de fonctionnement.

2.1.Présentation du cas d'application.

Le but de cette application est de pouvoir déduire, à partir d'un certain nombre de faits ou d'hypothèses (localisation du site d'étude, géologie) la nature des terrains aquifères, la géométrie des discontinuités et les conditions d'utilisation des méthodes de propection géophysique. Le système présenté ici, utilise un mécanisme d'exploitation des connaissances qui permet d'intégrer dans ses déductions l'incertitude liée aux contraintes de terrain et au manque d'information. Dans le cas où il ne possède pas assez d'éléments pour décrire son problème, l'utilisateur peut s'exprimer en pondérant les informations qu'il fournit au système ou en utilisant le mode "indéterminé" ou "indéterminable".

2.2.Réalisation d'un moteur d'inférences utilisant une logique "floue".

Il s'agissait de réaliser dans un langage de haut niveau classique (Pascal ou langage C), un moteur d'inférences capable de traiter des règles de connaissance ou propositions logiques de la forme:

Ri: H1 H2..Hi....Hn ---- C1 C2..Ci....Cp

Les identificateurs Hi (hypothèses) et Ci (conclusions) pouvant être vraies à x% (0<x<100).

Cette réalisation s'est décomposée en plusieurs phases: l'analyse des règles de connaissance, la saisie des hypothèses et la détermination des conclusions, la construction du graphe de règles. Cette programmation a été réalisée avec le concours de deux ingénieurs informaticiens, ce qui nous a permis d'entreprendre une phase d'expérimentation et d'analyse permettant de tester les avantages et les limites de ce moteur d'inférence.

L'exemple d'application a été implanté sur SM90 (sytème d'exploitation Unix).

—Particularités techniques du moteur d'inférence.

En général, l'interprétation d'un système de règles de production par un moteur d'inférences nécessite trop de temps parce que des tests d'application de règles sont mis en oeuvre systématiquement pour structurer l'arbre de recherche. Cela limite considérablement les possibilités des mécanismes d'exploitation des règles. L'une des particularités de celui qui a été élaboré est d'être "précompilé": la compilation du graphe de règles par un module indépendant permet un parcours intégral et rapide lors de la consultation . Pour nous, l'avantage de ce procédé purement informatique est de pouvoir traiter un nombre important de règles. Cependant, à chaque fois qu'une nouvelle règle sera introduite, une nouvelle compilation sera nécessaire.

Nous ne détaillerons pas les modalités techniques de mise en oeuvre du moteur d'inférences, qui restent l'oeuvre des informaticiens ayant participé à ce travail. Elles concernent:

—la représentation interne des règles,

—leur ordonnancement,

—la construction du graphe et sa compilation.

Le langage "C" choisi pour réaliser ce moteur d'inférences a l'avantage d'être un langage de programmation très structuré.

2.3.Structure informatique générale.

La structure se décompose en plusieurs modules (figure n°5—6):

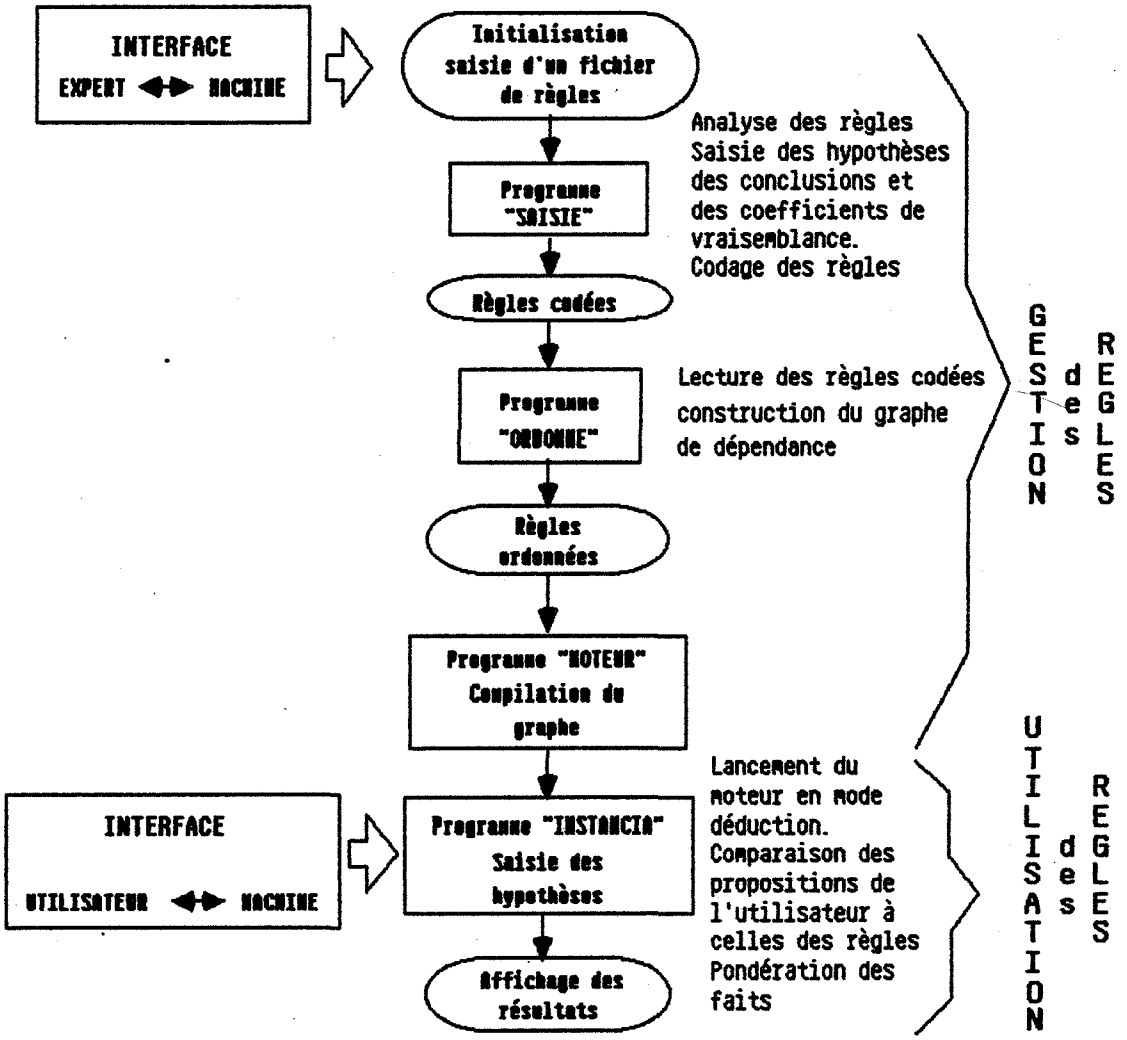
—Une interface "expert—machine" permet d'introduire les règles de connaissance, de les modifier et de les structurer.

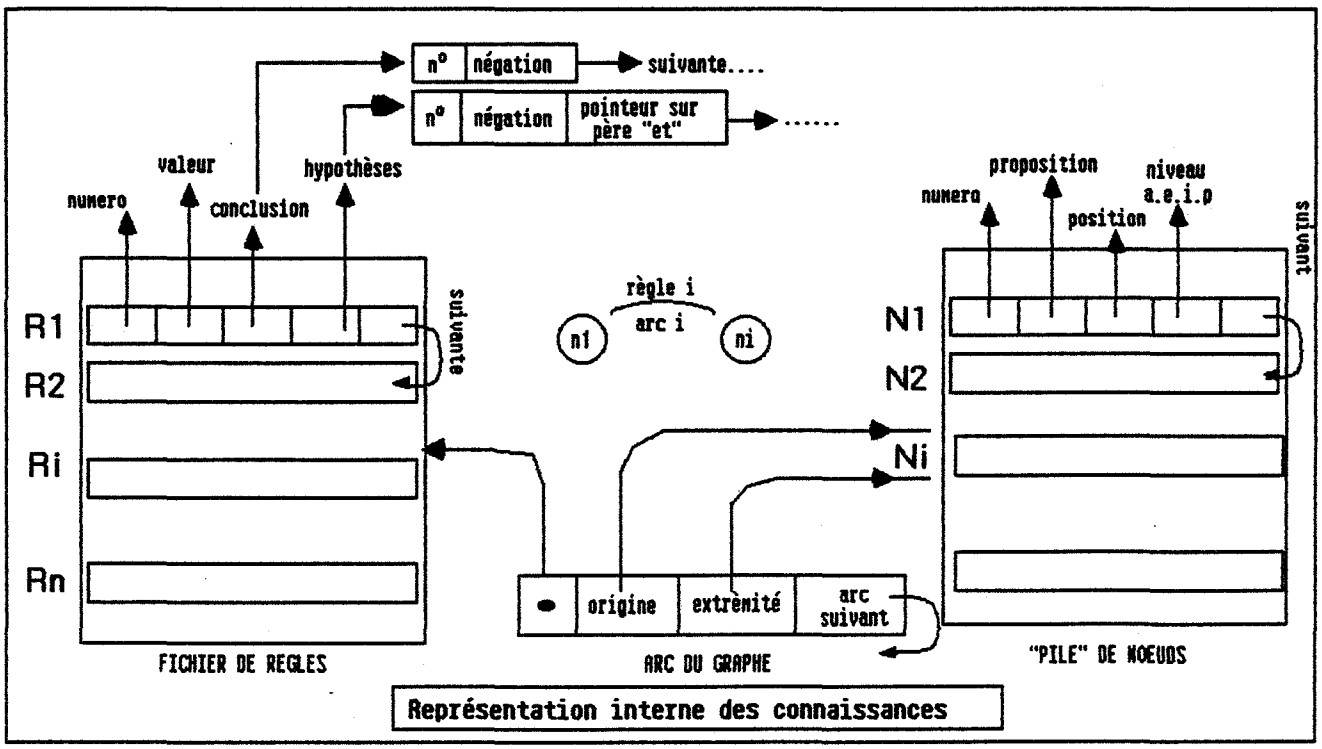
-saisie des règles de connaissance,

-codage des règles,

-analyse de ces règles,

Figure n°5—6 : Structure informatique du module d'expertise dédié à la prospection des ressources en eau souterraine.





-construction du graphe de dépendances,

-ordonnancement des règles,

-compilation.

—Une interface "utilisateur—machine" permet de guider l'utilisateur pour définir les clauses nécessaires à l'établissement de la solution.

-décalaration des faits,

-pondération de leur validité (entre 0 et 100),

-saisie des hypothèses

—Le graphe des règles parcouru par le moteur d'inférences, est interprété en fonction des informations initiales introduites dans la base de faits.

-utilisation des règles ordonnancées

-analyse de véracité des propositions

-déduction

—Affichage des résultats.

2.4.Représentation des connaissances, logique des propositions.

Les expressions introduites par l'utilisateur et par l'expert, sont considérées comme des entités propres dont on peut définir la valeur logique. Elles ne comportent pas de variables. Elles doivent synthétiser l'information que l'on veut introduire dans le système sans en déformer le sens.

Parmi ces différentes propositions, on distinguera celles qui sont des "états" (propositions notées: e) et dont la valeur de vérité peut être remise en question au cours de la consultation, celles dont la vraisemblance restera inchangée (propositions notées: p). Cela permet d'éviter les erreurs et les contradictions au cours d'une même consultation.

On distinguera également les "actions" (notées: a) qui sont des propositions bloquant l'inférence tant qu'elle ne sont pas effectuées, elles obligent l'utilisateur à introduire des faits nouveaux. Enfin, il existe des propositions dont le contenu ne sert qu'à assurer des liens logiques et en particulier le traitement de la négation (propositions notées: i)

tableau n° 5—4 Exemples de propositions:

exemples de propositions (p)
1 . les ressources en eau souterraines existent
2 . L'aquifère est constitué de formations alluviales
3 . le substratum imperméable est argileux
4 . .....
exemples d'actions (a)
1 . déterminer la nature des ressources en eau
2 . déterminer la distance AB (longueur de ligne électrique)
3 . mesurer la résistivité apparente des terrains
4 . exécuter des forages de reconnaissance
5 . donner la localisation des sondages
6 . indiquer la direction du profil de sondages géophysiques
7 . .....
exemples d'états (e)
1 . on veut prospecter les ressources en eau
2 . la nature des ressources en eau est souterraine
3 . on est en plaine de Bièvre—Valloire, unité géologique et géomorphologique
4 . la distance du AB est de 200 à 300 mètres
5 . les mesures géophysiques sont interprétables
6 . la résistivité des formations aquifères est comprise entre 50 et 100 ohms.mètres
7 . le substratum imperméable est argileux sableux et gréseux
8. .....

—Insuffisance d'une logique binaire.

Les règles de connaissance en hydrogéologie et en géophysique ainsi que les faits (observations de terrain) sont introduits avec une plausibilité établie à partir de l'expérience ou d'appréciations statistiques (exemple: défaillance du matériel géophysique). L'expérience des spécialistes ne se construit pas sur des raisonnements dont la validité peut s'estimer de manière totalement binaire, ils ne sont pas toujours applicables à 100%. C'est pourquoi leurs valeurs de vérité seront traitées par une logique empruntée à la logique mathématique dite "floue". Sans développer ici cette théorie (Sagaama, 1977), on dira qu'une variable est floue lorsqu'elle admet plusieurs valeurs de vérité possibles.

Les expressions qui composent les faits et les règles sont des propositions dont les valeurs de vérité peuvent être considérées comme des variables floues. Elles appartiennent à l'ensemble (0,100) U (?, *), les symboles ? et * correspondant respectivement aux valeurs indéterminée et indéterminable.

Qu'est ce que la "valeur de vérité" d'une règle ?

Soit la règle R: si A alors B,

Si la valeur de vérité de la proposition B dépend directement de celle de la proposition A (c'est le cas des règles de connaissance énoncées dans le chapitre précédent), la valeur de vérité de la règle R n'a pas de raison d'être. La règle est soit vraie soit fausse (valeur de vérité ou coefficient de vraisemblance =100 ou 0).

Si les valeurs de vérité de A et de B sont indépendantes et si l'existence de la règle peut parfois être remise en question, on peut exprimer l'hésitation que l'on a à formuler la règle en lui attribuant une valeur de vérité.

Soit h(A) et h(B) : les coefficients de vraisemblance des propositions A et B, et h(R) la valeur de vérité de la règle R, la valeur de vérité de la règle peut se définir de la manière suivante:

$A \rightarrow B \Leftrightarrow$ (AetB ou nonA)

On définit les opérateurs flous "et", "ou" et "non" par les définitions suivantes:

h(non A) = 100-h(A),
h(A et B)= Min (h(A), h(B)),
h(A ou B)= Max (h(A), h(B)).

$$h(R) = \mathrm{Max}_{a,b}\left[\mathrm{Min}(h(A),h(B)),1-h(A)\right]$$

La confiance accordée à la valeur de vérité de chaque règle est exprimée par l'expert sous la forme d'un nombre compris entre 0 et 100, la valeur 100 signifie qu'elle est toujours applicable. Le coefficient de vraisemblance affecté à la règle est indépendant de celui des propositions apparaissant dans la règle et qui sont introduites par l'utilisateur au cours de la consultation. Par contre, la valeur de vérité des propositions constituant les conclusions dépend non seulement de celle des propositions constituant les hypothèses mais aussi de celle de la règle elle même.

soit la règle suivante R: si A et B alors C

soit h(R) le coefficient de vraisemblance de la règle R,

soit h(A) celui de la proposition A,

soit h(B) celui de la proposition B,

et h(C) celui de la proposition C,

la valeur de vérité de la proposition C est alors définie comme suit:

h(C) = Min (h(R), Min (h(A), h(B)))

Considérons maintenant la règle suivante: si A ou B alors C,

la valeur de vérité de la proposition C est alors définie par:

h(C) = Min (h(R), Max(h(R), h(B)))

Limites de la logique floue:

Considérons maintenant la règle suivante: si A alors B et C.

Soit h (B et C) la valeur de vérité cherchée,

Dans le cadre de la logique adoptée, l'application de cette règle ne permet pas de connaître la valeur de vérité des propositions B et C. En effet, on a:

h (B et C) = Min (h(R), h(A))

et h (B et C) = Min (h(B), h(C))

et Min (h(R), h(A)) = Min (h(B), h(C))

On a donc deux solutions possibles:

si h(B) < h(C), cela implique que h(B) = Min (h(R), h(A)) et que h(C) appartient à l'ensemble des valeurs comprises entre h(B) et 100.

si h(C) < h(B), cela implique que h(C) = Min (h(R), h(A)) et que h(B) appartient à l'ensemble des valeurs comprises entre h(C) et 100.

Pour chacune de ces deux possibilités, on ne connait que la valeur d'une seule proposition. On retrouve ce même problème pour les règles du type:

si A alors B ou C.

Il faut donc trouver un moyen de transformer ces règles pour calculer la valeur de vérité de chacune des conséquences, puisque la présence de deux propositions dans la partie conclusion des règles soulève une ambiguité, il est nécessaire de se ramener à des règles ne comportant qu'une seule proposition en partie conclusion.

En logique floue, l'écriture des parties conclusions des règles de connaissance est soumise aux clauses dites de Horn qui expriment l'impossibilité de relier par un connecteur logique deux conclusions différentes pour les mêmes prémisses.

En définitive, les règles de cette application seront écrites sous la forme suivante:

si p1 et p2 et...pn alors q

si p1 ou p2 ou...pn alors q sera écrit: si p1 alors q, si p2 alors q,...si pn alors q

Cela représente donc une contrainte importante au niveau du nombre de règles à écrire. Si la logique floue permet d'exprimer des connaissances dont la valeur de vérité n'est pas simplement 100 ou 0, elle est plus contraignante au niveau du nombre de règles à écrire.

2.5.Différentes étapes de l'analyse d'une règle.

Chaque règle introduite par l'expert subit les traitements suivants:

Recherche des propositions atomiques.

Une proposition sera définie comme un ensemble de mots délimité soit par "si", soit par "alors", soit par un connecteur logique "et", soit par un symbole de fin d'hypothèse (virgule) ou de fin de règle (point). Dans un premier temps, elle est décomposée en proposition "atomique", c'est-à-dire ne comportant que les mots significatifs (mesures résistivité, ressource eau, terrains aquifères,...etc).

Décomposition des règles en règles minimales.

Ces règles minimales comportent les propositions atomiques, les connecteurs logiques (si, alors, et) et les délimiteurs syntaxiques (virgule, point).

2.5.1.Difficultés d'écriture des règles:

Considérons la série de règles suivante:

Si A: le forage traverse des formations sableuses
et B: le gravier additionnel est mal dimensionné
alors C: les venues de sable dans le forage sont importantes
valeur de vérité de la règle (90)
Si C: les venues de sable dans le forage sont importantes
Alors D: la pompe d'exhaure s'use
valeur de vérité (100)
Si D: la pompe d'exhaure s'use
Alors E: le débit d'exhaure diminue
valeur de vérité (100)

Les différentes propositions qui composent ces règles sont des observations de terrain. Si les propositions A et B sont des faits déduits et établis à partir des informations introduites par l'utilisateur au cours de la description de son problème, le système lui indiquera que le débit d'exhaure du forage aura de fortes chances de diminuer. La valeur de vérité de la première règle n'est pas égale à 100. En effet, même si A et B sont vraies, il peut ne pas y a voir de venues de sable si le débit d'exhaure est faible.

En supposant que les propositions A et B soient vraies (=100), la valeur de vérité des règles suivantes étant égales à 100, celle de la proposition E est égale à 90.

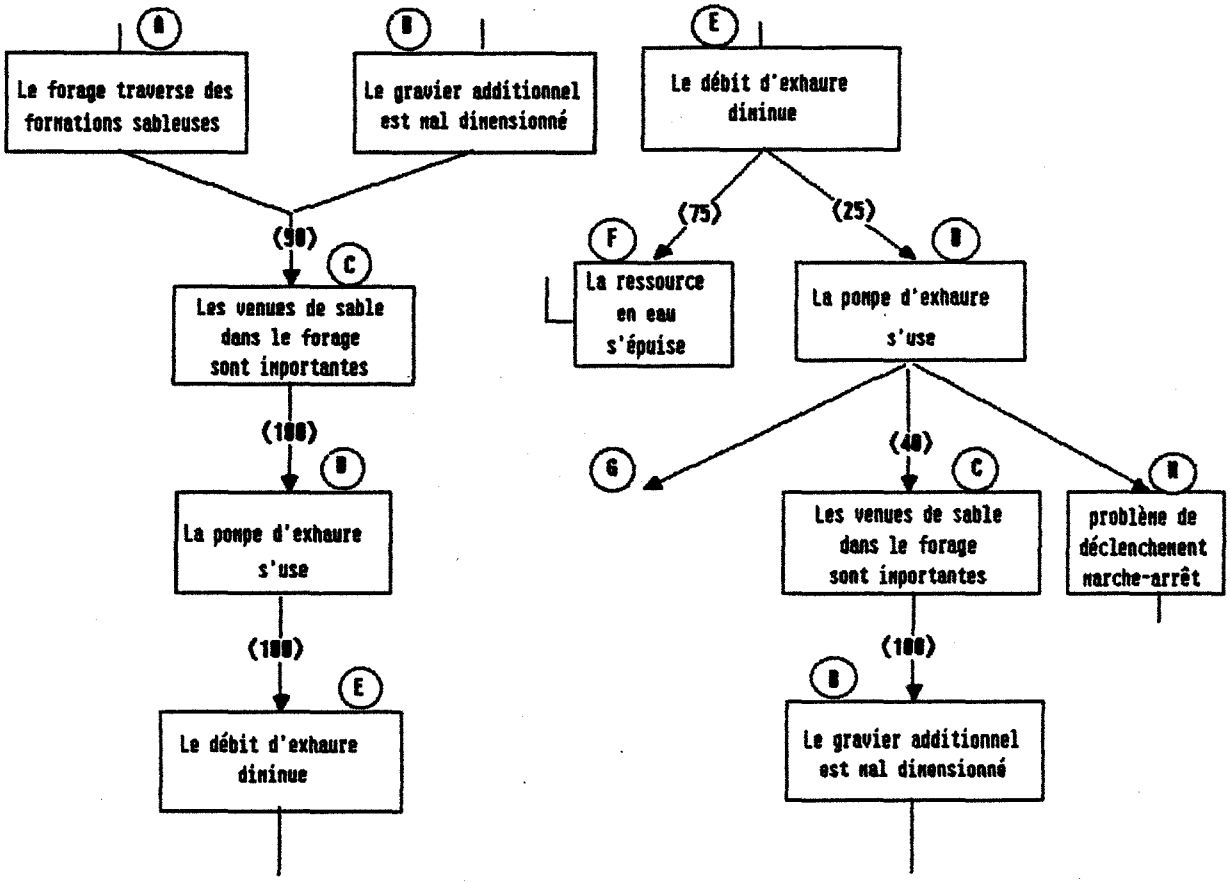
On remarque que chacune des règles peut être écrite dans l'autre sens, on obtient alors des règles du type: si conséquences, alors conclusions. Supposons que le forage cité dans l'exemple précédent ne fasse pas partie d'un projet à réaliser mais qu'il soit déjà exploité. L'utilisateur qui est à—même de constater que le débit d'exhaure de son forage diminue consulte le système pour connaître les causes de cette baisse de débit qu'il observe au débitmètre de son installation. Dans ce cas, la dernière règle ne peut plus admettre une valeur de vérité égale à (100) car la baisse du débit, si elle peut être due à l'usure de la pompe, peut aussi être due à un problème de ressources en eau par exemple.

Si E: le débit d'exhaure diminue
Alors D: la pompe d'exhaure s'use
valeur de vérité de la règle (20)
Si E: le débit d'exhaure diminue
Alors F: c'est que la ressource en eau s'épuise
valeur de vérité (75)

De même, la valeur de vérité de la règle: Si C Alors B, change car les causes d'usure d'une pompe d'exhaure peuvent être multiples (disfonctionnement électrique, problème de déclenchement marche–arrêt).

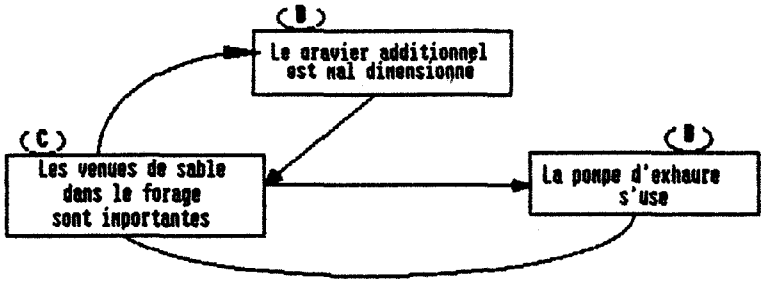
Figure n°5–7

Exemple d'attribution des coefficients de vraisemblance



1° cas: **Conduite de projet** 2°cas: **Diagnostic**

La formalisation des règles nécessite donc certaines précautions, il faut choisir un enchaînement des règles de déduction qui soit homogène pour éviter les raisonnements circulaires. Les règles ne sont pas contradictoires mais l'inférence ne s'arrête plus. Ce choix dépend de l'utilisation du système. Dans l'exemple cité précédemment, les règles "si conséquence, alors cause" s'utilisent plutôt pour un système de diagnostic.



En ce qui nous concerne, nous avons déjà montré que notre objectif n'était pas de réaliser un système de diagnostic, les règles que nous avons été amenés à formuler sont donc écrites dans la même optique que celles du premier cas présenté dans l'exemple ci—dessus. Il s'agit ici d'assister le responsable dans le choix de la ressource en eau et des méthodes d'investigation.

2.5.2.Cohérence du graphe de règles:

L'accroissement de la base de connaissance peut provoquer l'écriture de règles contradictoires. La recherche de ces contradictions est difficile à mettre au point. Ce problème peut être résolu par l'écriture de méta—règles qui déclenchent des messages indiquant les incompatibilités.

2.6.Interfaces utilisateur—machine et expert—machine.

Le dialogue avec le spécialiste a pour but de construire la base de règles. Pour l'instant elles sont introduites dans un ordre quelconque. Dans le cas d'un développement de ce module d'expertise, leur structuration par répertoires ou cheminons cohérents avec ceux de la base d'informations générale du système d'ingénierie serait à effectuer.

Le langage qui permet au spécialiste d'exprimer son savoir—faire et à l'utilisateur de décrire son problème, est un langage naturel. Les contraintes de syntaxe sont réduites, il est toutefois indispensable de respecter des "délimiteurs" permettant de séparer prémisses et conclusions. Lorsque l'utilisateur émet une information, une analyse syntaxique la transforme en proposition "atomique". Le système compare cette proposition réduite (analyse sémantique) à celles contenues dans la base de connaissances. Un calcul de corrélation s'effectue pour évaluer l'écart entre l'information introduite et celle de la base de règles qui s'en rapproche le plus. Comme il y a fort peu de chances pour que la proposition introduite par l'utilisateur soit rigoureusement identique à l'une des propositions contenues dans les règles, le système propose celle pour laquelle l'écart est le plus faible. Il demande ensuite à l'utilisateur de la confirmer.

La mise au point d'un dictionnaire de synonymes propres à chaque domaine d'expertise (sondages électriques, sondages géophysiques, sondages géophysiques électriques, résistivité, inverse de la conductivité) augmentera l'efficacité de cette analyse et limitera le nombre de règles de connaissance à écrire. A ce point de vue, le dialogue avec l'utilisateur est nettement plus souple que celui soumis aux contraintes lexicales du moteur d'inférence présenté dans le chapitre précédent.

L'écriture des règles en langage naturel avec une longueur de proposition presque illimitée constitue un avantage appréciable. Si les règles sont mal formulées, un message d'erreur apparaît. Pour leur introduction et leur modification, le mode de fonctionnement est interactif. L'interrogation du système est possible pour demander la valeur de vérité d'un fait ou pour obtenir une explication des déductions établies.

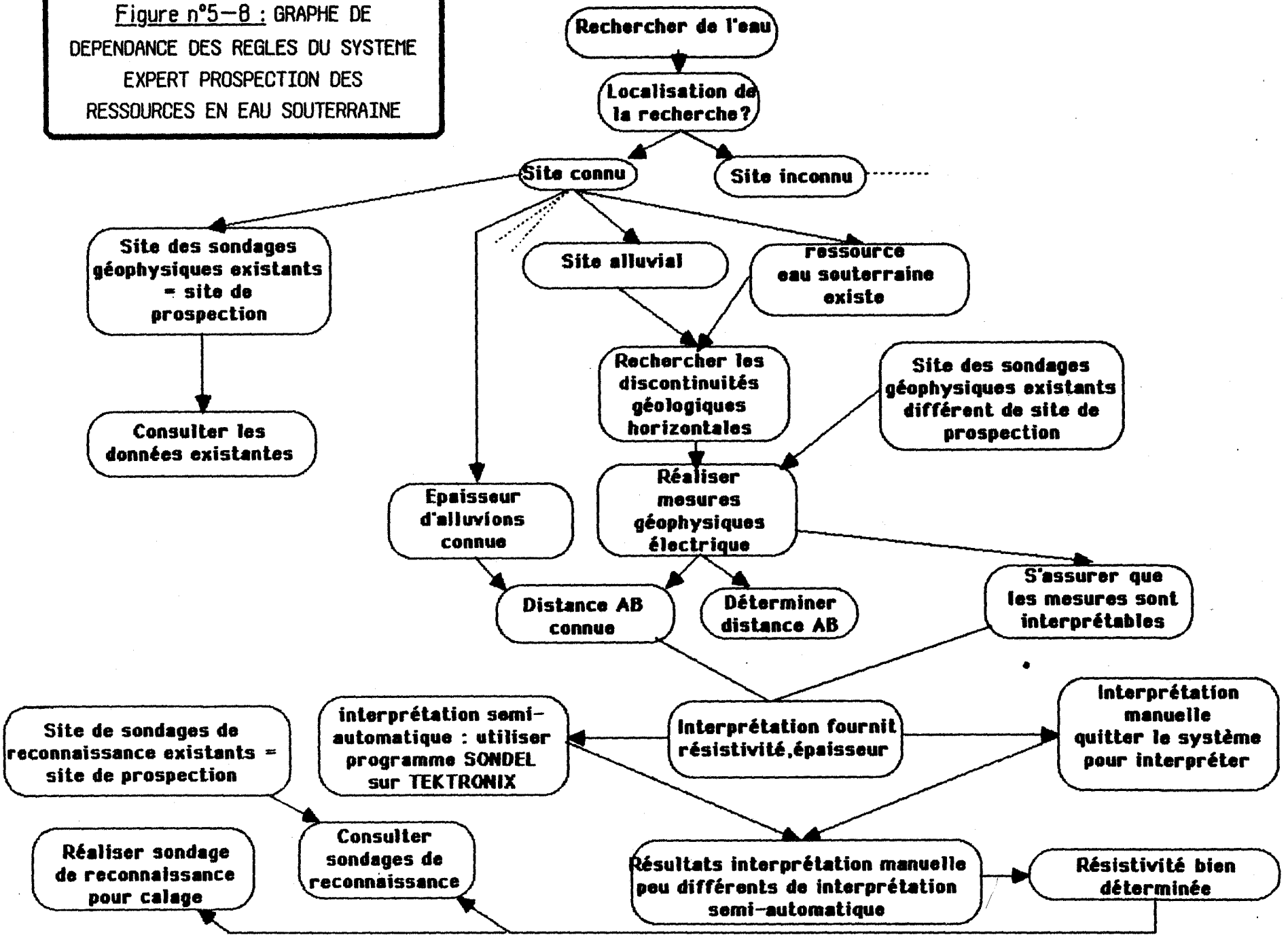
```
>help
 fin      ->sortir du programme
  f       ->lister l'ensemble des faits
  d       ->détruire ou modifier des faits
  a       ->lister l'ensemble des actions
  e       ->lister l'ensemble des états
  p       ->lister l'ensemble des propositions
  !       ->aide à la résolution d'un problème
  ?       ->connaître la valeur de vérité d'une proposition
 init     ->commencer une nouvelle session
```

2.7.Exemple de session.

La session présentée (tableaux n°5—5 à 5—7) est destinée à tester une cinquantaine de règles de connaissance (dont le graphe de dépendance est présenté figure n°5—8) pour un problème de prospection des ressources en eau souterraine.

La consultation débute par une initialisation de la base de faits qui contient au départ toutes les propositions contenues dans les règles avec une valeur de vérité nulle. L'utilisateur indique ensuite l'objet de sa consultation (expression précédée du symbole >): il cherche de l'eau. Après avoir confirmé ce qui a été compris par le système, l'utilisateur doit préciser dans quelle région il effectue son étude. Les connaissances introduites dans ce jeu d'essai concernent la région de Bièvre—Valloire pour laquelle les simulations MISE ont permis de déterminer les données nécessaires. Pour pouvoir traiter des sites de projets différents, le système d'ingénierie devra sélectionner les informations à partir d'une base de données externe ou dans les cheminons **EAUSUR>DEPART— EAUSOUT>DEPART** du système d'ingénierie.

Figure n°5-8 : GRAPHE DE DEPENDANCE DES REGLES DU SYSTEME EXPERT PROSPECTION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE



A partir de cette première information, le système est en mesure de procéder à un certain nombre de déductions indiquant à l'utilisateur la nature des ressources en eau existantes, les caractéristiques géologiques de l'aquifère et la méthode d'investigation à envisager. Il lui suggère de procéder à des mesures de résistivité des terrains aquifères en lui demandant de préciser l'endroit où il désire obtenir les ressources (localisation des sondages géophysiques).

Face à ces premières déductions, l'utilisateur est en droit de demander quelques explications sur les informations qu'il obtient. Pour cela, il demande au système (expression précédée du symbole !) : pourquoi faut—il rechercher les discontinuités géologiques horizontales?

Le système examine les différentes étapes de déduction qu'il a parcouru, c'est essentiellement la localisation du projet à La Côte Saint—André qui implique la nécessité d'effectuer des profils de sondages géophysiques électriques. Dans un but plus pédagogique, il est évident que cette explication n'est pas suffisante, l'utilisateur s'il le désire pourra voir s'afficher à l'écran un résumé concernant la disposition des formations aquifères selon des terrasses alluviales (cette information sera issue du cheminon **ALLUV**).

L'utilisateur demande ensuite au système s'il faut réellement effectuer l'opération sur le terrain. Il est donc obligé de préciser davantage l'implantation éventuelle des sondages géophysiques qu'il veut réaliser. En fait à l'Ouest de La Côte Saint—André, il n'existe pas de sondages géophysiques déjà exécutés, l'utilisateur devra donc les effectuer sur le terrain. Si l'utilisateur implante des sondages géophysiques à l'Est de La Côte Saint—André, il existe des sondages déjà exécutés dont il peut obtenir les résultats et l'interprétation, si elle existe dans les bases de données. Ces données font alors partie des projets simulés par MISE, elles seront issues des cheminons **SITE**, **IRRI>SITE**. Le système ne guide donc pas directement l'utilisateur vers les résultats disponibles dans les bases de données du système ce qui pourrait conduire à une généralisation dangereuse des caractéristiques hydrogéologiques. Il est préférable de le renvoyer sur le terrain pour la prospection géophysique en lui conseillant la sous—traitance s'il n'est pas spécialiste de ce genre d'opération. S'il désire consulter le système pour interpréter les résultats, il pourra le faire à l'aide des connaissances contenues dans le cheminon **PRO>EAUSOUT>GEOPHY** (règles de connaissances, méthodes et programmes d'interprétation des sondages géophysiques). Si l'objectif de l'utilisateur est de répondre à un appel d'offres, il n'exécutera pas l'opération mais l'inscrira au programme des activités qui constituent son dossier de réponse.

On est en droit de s'interroger sur la valeur des coefficients de vraisemblance des déductions fournies par le système. Que signifie: les ressources en eau souterraine existent (à 80%)? C'est une question qui devrait pouvoir être posée par l'utilisateur car les 20% restant pourraient avoir des significations différentes selon le jugement de valeur de l'expert ayant introduit la règle correspondante.

Tableau n°5—5

```
Jul  8 14:56 1985  mlips   trace1 Page 1


 bienvenue o maitre de ces lieux
 un peu de patience le temps de rassembler toute ma connaissance

> je ne sais rien

pourcentage de validite : 100


 Je comprends que :

Je sais (0.00)


etes vous d'accord ? (o-n) : o

> i
commande inconnue

> l
on connait la nature des ressources(0.00)
on connait la distance du AB(0.00)
on connait les valeurs de resistivite des terrains(0.00)
on connait la region prospectee(0.00)
on connait l' epaisseur des terrains(0.00)
on connait les sondages geophysiques existants(0.00)
on connait la direction(0.00)
on connait la localisation(0.00)
Je sais(0.00)

> on cherche de l' eau

pourcentage de validite : 100


 Je comprends que :

on veut prospecter les ressources en eau (100.00)


etes vous d'accord ? (o-n) : o


 il faut
savoir dans quelle region vous etes(100.00)

> je suis a la Cote St Andre

pourcentage de validite : 100


 Je comprends que :

a la Cote St Andre (100.00)
```

Tableau n°5-6

```
Jul  8 14:56 1985  mlips   trace1 Pass 2


etes vous d'accord ? (o-n) : o
 Je deduis les propositions suivantes :


les ressources en eau souterraine existent (80.00)
en Bievre (100.00)
l' aquifere est contenu dans des formations alluviales (80.00)
rechercher les discontinuites geologiques horizontales (70.00)
la distance du AB est de 200 a 300 metres (70.00)
effectuer des profils de sondages geophysiques electriques (70.00)
s' assurer que les mesures soient interpretables (70.00)
le substratum impermeable est argileux (80.00)
le substratum impermeable est argileux, sableux, greseux, il s agit
d' une molasse d' age miocene (80.00)

 Je vous suggere de
mesurer la resistivite apparente des terrains(70.00)
donner la localisation des sondages(70.00)
indiquer la direction du profil(70.00)

> !recher les discontinuites geologiques horizontales
Je comprends que vous voulez savoir pourquoi

   rechercher les discontinuites geologiques horizontales ?
 etes vous d'accord ? (o-n) : o
est_ce que
 l' aquifere est contenu dans des formations alluviales (?)

pourcentage de validite : ?
est_ce que
 on veut prospecter les ressources en eau (?)

pourcentage de validite : 100

est_ce que
 les ressources en eau souterraine existent (?)

pourcentage de validite : ?
est_ce que
 en Bievre (?)

pourcentage de validite : ?
est_ce que
 a la Cote St Andre (?)

pourcentage de validite : 100

rechercher les discontinuites geologiques horizontales (70.00)

> !realiser l' operation geophysique
Je comprends que vous voulez savoir si

   realiser l' operation sur le terrain ?
 etes vous d'accord ? (o-n) : o
```

Tableau n°5—7

```
Jul  8 14:56 1985  mlips   trace1 Page 3


est_ce que
 a Beaufort (?)

pourcentage de validite : 0

Je vous en prie rentrez un nombre entre 0 et 100 : 0

est_ce que
 a Beaurepaire (?)

pourcentage de validite : 0

est_ce que
 les sondages sont localises a l' est de la Cote St Andre (?)

pourcentage de validite : *
est_ce que
 les sondages sont localises a l' ouest de la Cote St Andre (?)

pourcentage de validite : 100

realiser l' operation sur le terrain (70.00)

> fin
```

Cette proposition peut, par exemple, avoir deux significations tout—à—fait différentes:

— les ressources en eau souterraine existent mais ne peuvent être exploitées qu'à 80%.

— 20% des ressources en eau sont superficielles.

2.8.Algorithmes utilisables.

Les résultats des mesures géophysiques donnent lieu à l'emploi des méthodes d'interprétation géophysique. En fonction de sa compétence mais aussi du nombre de sondages à traiter, l'utilisateur peut effectuer lui—même l'interprétation ou bien utiliser un programme semi—automatique (programme SONDEL, Graillot, 1983). Son intégration au système d'ingénierie est prévue, bien que les protocoles de connexion et d'interfaçage ne soient pas encore définis. Les données (intensité de courant, différence de potentiel, longueur de ligne AB) doivent donc être stockées dans un fichier utilisable par ce programme.

Le système posera ensuite, une série de questions destinées à exploiter les résultats de l'interprétation pour continuer à déduire, si cela est possible, d'autres situations ou d'autres actions (exécution de sondages d'étalonnage, utilisation de données de forages existants, coûts et durée des opérations). Un module documentaire relatif aux différents types de matériels et de dispositifs géophysiques peut accompagner cette phase du projet.

—Conclusion.

L'objectif essentiel de cet exemple d'application, était d'écrire des règles de connaissance faisant intervenir des connaissances issues du système MISE et de gérer leur enchaînement dans un processus de raisonnement. La transcription directe des connaissances d'un spécialiste du domaine de l'eau dans un système "intelligent" est très difficile à concevoir, elle demande un effort de décomposition des connaissances sous forme logique qui risque d'être incompatible avec les méthodes scientifiques classiques, elle peut même paraître tout—à—fait incongrue pour un naturaliste qui ne voit plus où le logicien veut en venir.

Pour enrichir le système, il serait indispensable d'introduire des variables relatives aux caractéristiques naturelles du site (utilisation de la logique du premier ordre). Ces variables peuvent être des expressions décrivant la qualité des terrains. Dans le jeu de règle actuel, ce type d'information est pris en compte, mais n'est pas représenté par des variables (nature, épaisseur, perméabilité,...etc), il est décrit par les propositions qui constituent les faits et les règles.

Par rapport à l'exemple d'application précédent, l'apport de la logique floue permet à l'utilisateur et à l'expert d'exprimer des faits et des connaissances de manière plus pondérée dans le but de préciser quantitativement la validité de l'information. Cependant, la gestion du "flou de l'information" ne permet pas encore d'en expliquer la cause ou la nature. Si la valeur de vérité des déductions faites, semble relativement cohérente par rapport à celle des règles et des faits introduits, l'utilisation de cette logique particulière, demande encore a être testée pour d'autres règles et d'autres modules d'expertise. La notion de valeur de vérité d'une règle doit faire l'objet d'un approfondissement mathématique.

Il est forcément intéressant de s'être livré à un exercice d'écriture de ces règles de connaissance dans deux contextes différents. Le recours à un moteur d'inférences existant ne permet pas de comprendre tous les mécanismes expliquant son fonctionnement mais permet des tests de règles plus rapides et plus confortables. L'écriture de ce genre de programme est évidemment beaucoup plus fastidieuse et demande des compétences de spécialiste. Bien que cette méthode semble correspondre à une démarche plus scientifique, il est difficile de déterminer la solution la plus avantageuse. Le choix dépend en fait des moyens que l'on se donne pour progresser dans un domaine qui évolue très rapidement et du temps de travail qu'il est possible de consacrer à la réalisation d'un moteur d'inférence. L'accroissement rapide de la performance des développeurs d'application plus ou moins généraux est à prendre en compte, le choix et l'utilisation de l'un de ces outils peut contribuer à la réalisation du système d'ingénierie en permettant l'intégration des différents modules d'expertise en préparation.

CHAPITRE 3: INTEGRATION DES MODULES D'EXPERTISE DANS UN ENVIRONNEMENT D'AIDE A LA DECISION.

Les exemples d'application présentés, montrent que les déductions obtenues par le système d'ingénierie font souvent référence à des données quantitatives ou descriptives des contextes physique et économique, contenues dans des bases de données externes. Les parties action des règles de connaissances comportent également des appels de programmes de calcul, de simulation hydrodynamique ou d'optimisation technico—économique. Si l'utilisateur est un spécialiste connaissant les programmes en question ainsi que leurs procédures d'exécution, cela ne pose pas de problème particulier. En revanche, l'utilisation du système est fort compromise s'il s'agit d'un utilisateur non entraîné à ces opérations. Pour éviter à l'utilisateur d'interrompre sa consultation, ces procédures doivent lui être totalement transparentes. Cela nous conduit à envisager pour le développement futur du système, l'acquisition d'outils de développement permettant en parallèle une gestion de bases de connaissances, de bases de données, de procédures de déclenchement d'algorithmes et autorisant aussi l'introduction de variables.

3.1.Un exemple: le système GURU (société MDBS).

Si la présentation de ce système peut paraître inopportune dans le cadre de cette thèse, puisque nous ne l'avons pas encore utilisé, elle se justifie pourtant car elle démontre que les qualités requises pour notre système d'ingénierie ne sont pas irréalistes. Construire un support informatique propre et adapté au système d'ingénierie que nous proposons n'est peut être pas la seule solution. Si le début de réalisation présenté au chapitre précédent permet d'en appréhender les difficultés, il est naturel d'étudier les possibilités existantes dans ce domaine. Le système de développement d'applications GURU est relativement général. Avant de l'utiliser, il est intéressant de voir s'il peut s'adapter aux domaines d'expertise intervenant dans les projets d'aménagement en eau.

3.1.1.Points communs avec les autres systèmes experts.

Ce système accepte les informations des utilisateurs en langage naturel, il est capable d'effectuer des déductions logiques. La représentation des connaissances est du type "règles de production", la vérification des prémisses entraîne une conclusion/action. Cette dernière peut comporter la suggestion d'une liste d'actions à exécuter, un ensemble de solutions (recommandations), des faits nouveaux à considérer, des questions pour acquérir des informations supplémentaires. L'utilisateur peut demander une trace de l'inférence (ordre d'activation des règles) pour contrôler les déductions faites par le système.

Des explications introduites en même temps que les règles lui sont alors fournies. Les sessions peuvent être sauvegardées.

La construction et l'écriture formalisée des règles nécessitent des compétences complémentaires en informatique car elles impliquent l'utilisation de variables purement fonctionnelles qui n'ont pas de signification directe dans le problème traité, ainsi que la justification sémantique des connaissances introduites. Ce système possède un large vocabulaire de base (500 mots) qu'il est facile d'orienter et d'accroître en fonction du domaine étudié. La prise en compte de l'incertitude se fait par attribution de coefficients de vraisemblance (compris entre 0 et 100) sur les faits et sur les règles. Ces coefficients peuvent être gérés selon plusieurs algèbres et seul le test d'un enchaînement de règles permettra de déterminer celle qui est adaptée au problème.

De ces points de vue, rien ne le différencie des autres systèmes déjà étudiés, c'est pourquoi nous ne nous attarderons pas sur les caractéristiques générales de ce système, nous examinerons plutôt l'intérêt que présentent ses performances particulières pour pouvoir éventuellement constituer le support informatique de base d'un système d'aide à la décision dans le domaine de l'eau.

3.1.2.Performances particulières:

Ce système dispose d'un environnement de programmation (KMAN) qui comprend:

—un tableur (CALC),

—un système de gestion de base de données (MDBSIII),

—un langage permettant de les interroger (SQL).

La particularité de ce développeur d'applications est d'associer à une bonne capacité de traitement de la connaissance, la possibilité d'utiliser des logiciels classiques, qui peuvent être nécessaires au cours de la consultation du système d'ingénierie (simulation hydrodynamique, calcul de réseaux).

Il permet :

—d'interroger automatiquement des bases de données internes dans lesquelles pourraient être rangés :

—les résultats des simulations MISE,

—le coût des opérations d'un projet,

—les prix des matériaux,

—d'effectuer des opérations d'analyse statistique

—calcul d'une pluie moyenne mensuelle ou annuelle,

—calcul d'un déficit de pointe,

—calcul du bilan en eau ou des besoins en eau d'irrigation à partir des données météorologiques,

—fréquence de rupture et de fuite sur canalisations

—de manipuler des fichiers de données à l'aide de tableurs

—plans de financement,

—gestion des projets,

—calcul du coût des stations de pompage,

—formule de Vibert,

—et de générer des écrans graphiques

—tracé de courbes des dépenses engagées,

—tracé et calcul de réseaux de distribution.

Par l'intermédiaire d'un module de communication, les parties action des règles peuvent comporter des instructions pour accéder à des bases de données externes au système (base de données documentaires, base de données des agences de bassin, données de forage).

Ces qualités se rapprochent de celles que nous avons établies pour dresser le cahier des charges de notre système d'ingénierie puisque pendant la consultation, ces outils peuvent être utilisés.

3.1.3.Particularités du moteur d'inférence, introduction de variables.

Le moteur d'inférence est d'ordre zéro+, les variables ne sont pas admises en prémisses mais on peut y intégrer

—des éléments de fichiers sous forme de tableaux,
—des rubriques de la base de données
—ou des cellules (ou cases) du tableur.

Ce programme d'interprétation des règles peut fonctionner en chaînage avant, arrière ou mixte.

3.1.4.Structure des règles de connaissance.

Les règles de connaissance peuvent être testées selon une certaine stratégie en leur affectant des priorités. Ceci est important puisque les bases de connaissances dédiées qu'est sensé générer le système d'ingénierie contiennent de nombreuses règles classées par rubrique (cheminons) d'activité, de techniques ou de coûts . Il serait ainsi possible d'affecter une priorité pour les règles de chaque cheminon.

-Contenu des prémisses: variables de travail (expression, proposition, situation),
cellule de tableur, zones de fichiers
opérateurs relationnels, arithmétiques.

-Contenu des conclusions: actions sur la base de données interne
calculs
accès à un tableur
sélection d'autres règles de connaissance;
attachement procédural pour exécuter un algorithme
question posée à l'utilisateur

La sélection d'une autre base de règles est possible, elle permettrait de guider l'utilisateur pour des problèmes qu'il n'avait pas définis au départ, mais qui sont liés aux activités qu'il avait initialement prévues (prospection—distribution, évaluation des besoins—prospection, prospection—traitement,...etc).

A chaque règle peuvent être associés une priorité, un coût, un commentaire ou une explication.

L'utilisateur peut fournir plus d'une réponse potentiellement correcte à une question. Ces réponses sont stockées dans une variable floue.

3.1.5.Déclenchements de programmes et de calculs.

La vocation du système d'ingénierie étant d'apporter une aide à la décision, le déclenchement de ces modules externes de calcul ou de programmation classique doit se faire selon l'accord de l'utilisateur. Le déclenchement de ces programmes se fera donc progressivement. Si l'on reprend l'exemple d'application cité au chapitre précédent, l'utilisateur reste libre de choisir entre une interprétation automatique ou manuelle des résultats géophysiques. L'exécution du programme d'interprétation ne sera déclenchée qu'après une réponse positive de l'utilisateur.

Les résultats obtenus sont répartis dans la base de faits et pourraient être conservés dans la base d'information générale du système d'ingénierie. Ceux qui sont introduits dans la base de faits modifient le contexte du problème, ce qui permet l'évolution dynamique du processus d'inférence.

Pour les projets d'aménagement en eau ayant fait l'objet de nombreuses simulations MISE (plaine alluviale de la Loire entre saint-Cyprien et Saint-Rambert sur Loire, plaine de Bièvre-Valloire(Isère)), l'exécution des programmes de simulation hydrodynamique d'une nappe ou de calcul des écoulements dans des réseaux, s'avère de moins en moins nécessaire car les résultats et les données sont enregistrés à chaque session. Au fur et à mesure des expériences MISE (mais aussi au fur et à mesure de l'utilisation future du système d'ingénierie) sur d'autres sites, les bases de données où seront enregistrés ces résultats, seront de plus en plus complètes. Elles permettront de couvrir le champ des décisions possibles, à condition d'être actualisées en fonction des modifications du système physique (évolution des caractéristiques de la nappe), et des objectifs de ces projets (évolution des besoins en eau).

L'exécution du programme hydrodynamique peut ainsi être remplacée par la recherche dans une base de données, des valeurs de rabattement (s), de piézométrie initiale (Ho), de perméabilité (K), de cote du substratum (Z), correspondant au choix de l'utilisateur en ce qui concerne les coordonnées du pompage (X,Y), le débit de pompage (Q) et sa durée (t).

3.1.6.Inconvénients de ce système.

Bien que les tests de ce système aient porté sur un domaine d'expertise que nous ne présenterons pas puisqu'il ne nous concerne pas, ses utilisateurs actuels sont en mesure d'émettre quelques réserves (Héritier, 1986). S'il n'y a pas de limite théorique à son utilisation, en nombre de variables, de règles, de fichiers ouverts, la véritable limite est celle de la place—mémoire.

En attendant l'interface avec le langage "C", le langage de développement employé est un langage de procédure interprété, spécifique au système. Le développement d'interfaces permettant d'exécuter des programmes externes actuellement implantés sur système d'exploitation MS-DOS (programmes MISE) devrait permettre leur utilisation sans être obligé de travailler les procédures d'appel dans le langage spécifique du système.

3.1.7.Conclusion sur ce développeur d'applications.

Ce système pourrait constituer un support de base pour l'intégration de plusieurs modules d'expertise dans le système d'ingénierie.

Il est utilisable sur micro—ordinateur IBM PC et compatibles, à condition que la place mémoire soit suffisante. Son utilisation est également prévue en multi—utilisateurs par réseau local (IBM PC Network) ou à partir d'un ordinateur central (Vax-11). Il serait donc en mesure de répondre aux objectifs d'exploitation du système d'ingénierie que nous avons envisagés.

Avant de porter une appréciation définitive sur les capacités de ce système, il est évidemment nécessaire de développer des applications pour lesquelles des jeux de règles ont déjà été établis. Cette expérimentation est inscrite au programme de recherches financé par l'ANVAR.

3.2.Description fonctionnelle du système d'ingénierie

L'existence de développeurs d'applications évolués (tel celui présenté ici), nous permet de prévoir quelles seront les performances et les principales caractéristiques fonctionnelles du système d'ingénierie.

Il sera conçu pour:

— la réponse aux appels d'offres,

— la conduite de projets d'aménagement en eau.

pour des projets:

—Alimentation en eau potable,

—Irrigation,

—Assainissement

* ***Organisation et planification des tâches d'un projet:***

—Evaluation des besoins en eau potable, en eau d'irrigation, en épuration d'eaux usées,

—Prospection des ressources en eaux souterraines et superficielles (méthodes d'investigation),

—Exploitation des ressources en eau, conception des ouvrages de distribution (stations de pompages, stations de traitement, barrages collinaires)

—Distribution des ressources en eau par réseaux de canaux, de canalisations (réseaux gravitaires ou sous pression), collecte des eaux usées

—Définition des organes d'épuration appropriés

—Gestion du projet, élaboration de devis, calcul des coûts de revient

—Calcul du prix de l'eau et de la redevance assainissement, établissement des factures.

**Assistance au lancement et au suivi des tâches au niveau:*

—des délais de réalisation,

—des coûts

—des charges de travail

—des ressources à mettre en oeuvre (financements et subventions, choix du matériel)

—de la sous—traitance

—des risques encourus

**Analyse des effets de modifications du projet produites par:*

—des incidents techniques,

—des aléas (délais, démarches administratives, intempéries...)

—des révisions de prix,

—la remise en question des ressources en eau,

—l'évolution des besoins.

**Analyse des effets du projet au niveau:*

—de la gestion des ressources en eau,

—de l'environnement physique et social.

**Proposition de solutions de rechange.*

**Explication des résultats.*

C'est une des fonctions importantes que doit avoir le système en permettant à l'utilisateur d'éditer les informations qui ont conduit aux résultats, au niveau de détail souhaité.

En conclusion, ajoutons que pour pouvoir assurer l'ensemble de ses fonctions, notre système d'ingénierie doit allier les caractéristiques suivantes :

—Interactivité:	Il doit être totalement interactif, les interrogations et prises de décision se feront à partir d'informations fiables et actualisées en permanence.
—Facilité d'utilisation:	L'utilisateur sera guidé au départ par un menu prévu pour qu'il puisse décrire son problème.
—Nombre de projets:	Le volume des informations dépend de la configuration choisie pour le support informatique du système.
	La codification des tâches doit permettre de gérer le projet à différents niveaux techniques.
—Mémorisation d'historique:	La mise en mémoire des projets traités doit permettre leur utilisation pour des projets dont le site de réalisation est voisin.
—Mise à jour systématique:	A long terme elle devra être automatique. Le système devra remettre à jour les fichiers concernés par la modification d'une donnée d'un projet (modification des coûts , de la législation).
—Personnalisation des résultats:	C'est à l'utilisateur de personnaliser les résultats qu'il obtient en particulier pour la réponse à un appel d'offres.

CONCLUSIONS GENERALES

Actuellement les responsables de l'enseignement de sciences de l'eau de l'Ecole des Mines de Saint—Etienne disposent d'une gamme de trois types d'outils conçus à partir du sytème MISE et permettant d'entraîner leurs élèves à la conduite de projets d'irrigation, d'alimentation en eau potable et d'assainissement. La mise en oeuvre de ce système montre qu'il s'agit d'un travail d'ingénierie pédagogique.

Cet outil ne remplace pas l'enseignant responsable de la formation dans les domaines de l'eau, il lui fournit un support expérimental. Ses propres connaissances, son propre savoir—faire peuvent y être intégrés, et actualisés en permanence en fonction des progrès technologiques et des projets qui servent de support aux sessions de simulation. Son action pédagogique lui permet de "fixer" les connaissances qu'il doit transmettre, de sorte que son message pédagogique pourra être enregistré et utilisé a postériori. Le legs ou le transfert de la connaissance sous forme de jeu pédagogique semble moins triste que les tomes d'un mémoire et peut être aussi pertinent.

Toutefois l'ingénierie pédagogique peut aussi se concevoir comme une activité par laquelle un processus d'enseignement peut transcender l'outil dont il fait l'objet en un outil professionnel. Ce transfert de la phase de formation à l'application professionnelle prouve l'efficacité de notre système pédagogique.

L'évaluation des expériences de simulation, dans un but d'aide à la décision, s'est avérée prématurée étant donné leur nombre très limité. Les quelques simulations réalisées pour des projets particuliers ne permettent pas en effet, d'évaluer différentes variantes de projet dans le but de trouver la meilleure solution, si elle existe. Elles permettent encore moins de répondre à tout type projet d'aménagement en eau puisque les cas traités jusqu'à maintenant sont très spécifiques.

Cependant l'information issue des sessions doit être conservée pour réaliser l'outil d'aide à la décision qu'est notre système d'ingénierie. L'exploitation de cette information nécessite un mode de représentation compatible avec la nature des connaissances qu'elle contient. L'analyse de ces connaissances montre qu'elles ne contiennent pas que des données quantitatives, elles regroupent des connaissances descriptives des situations hydrogéologiques et économiques et des connaissances issues du savoir—faire des spécialistes.

Ces dernières permettent de mieux comprendre les décisions ainsi que les phénomènes qui régissent la conception des projets, elles peuvent se représenter sous forme de règles de décision.

L'étude des systèmes experts a montré que les techniques qu'ils utilisent peuvent traiter ces règles et s'adapter à la structure et à l'environnement informatique de notre système d'ingénierie. Nous proposons donc un schéma de représentation et de structuration de l'ensemble de ces connaissances pour les organiser dans la base d'information générale de ce système dont la particularité essentielle, est de possèder un module "d'apprentissage": le système MISE qui permet d'acquérir et de contrôler les connaissances pertinentes à exploiter.

L'approche intégrée de la gestion des ressources en eau à travers le système d'ingénierie que nous proposons, n'a pas pour but de mettre au point un outil informatique supplémentaire en vue de sa commercialisation. Il s'agit essentiellement de progresser dans la compréhension des phénomènes liés à la réalisation d'un projet d'aménagement en eau, phénomènes complexes où sont étroitement imbriquées des informations et des connaissances touchant plusieurs professions. La mise en oeuvre et l'utilisation de ce système contribueront à "capitaliser" l'information scientifique et technique dans le but de constituer un système de plus en plus utilisable par les responsables de projets. Cela doit permettre de développer des projets à proximité de sites déjà équipés et a priori étudiés (réhabilitation ou connexion de réseaux d'adduction d'eau, extension de projets d'irrigation), ou de réaliser de nouveaux projets.

L'objectif du système d'ingénierie n'est pas de déterminer la solution optimale à un projet d'aménagement en eau potable, d'irrigation ou d'assainissement. Ce qui est proposé aux responsables de projet, c'est un ensemble d'outils, de techniques et de connaissances parmi lesquelles ils trouveront un mode d'exploitation adapté à leur problème. Cet environnement évolutif d'aide à la décision leur apprendra à construire leurs projets à partir d'éléments d'expertise de plus en plus pertinents et à générer des solutions tout en restant maîtres de la décision finale.

Quelques exemples d'application de modules d'expertise ont été présentés, ils concernent la mise en oeuvre d'une installation d'assainissement autonome et la prospection des ressources en eau souterraine pour un projet de distribution en eau. Le développement du système prévoit l'intégration progressive d'autres modules d'expertise, au même titre que des outils d'aide à la décision existants pour les projets d'aménagement en eau, dans le but de gérer leur utilisation.

Le travail que nous avons réalisé et celui qui se profile pour les années à venir ne consiste pas à développer un système—outil capable d'aborder tous les domaines d'expertise liés à l'aménagement en eau. Il permettra dans un premier temps d'assister les bureaux d'études dans leurs réponses aux appels d'offres puis d'aider les décideurs dans leur étude prévisionnelle des projets en proposant plusieurs solutions à ces projets.

conclusion sur la faisabilité du système d'ingénierie.

Ce travail de recherche établit la faisabilité d'un système d'ingénierie produisant des moyens d'action pour les responsables des projets d'aménagement en eau. Sa faisabilité reste soumise à un certain nombre de conditions dont nous présenterons , pour conclure, la synthèse.

Ce projet de recherche aboutira si:

—les expériences de simulation MISE se poursuivent pour continuer à nourrir et à contrôler la base d'informations du système dont les performances augmenteront au fur et à mesure de son utilisation,

—son développement inclut progressivement d'autres modules d'expertise du domaine de l'eau, en n'oubliant pas de traiter les liens qui existent entre ces différents modules (nécessité d'un développeur d'application performant),

—une première application opérationnelle est effectuée à court terme dans le but d'amorcer son utilisation,

—cette application s'adresse à des utilisateurs identifiés et motivés,

Au niveau des moyens mis en oeuvre pour réaliser ce système d'aide à la décision, des compétences en génie logiciel et en intelligence artificielle sont indispensables. Pour dépasser le stade des prototypes et des maquettes, il est évident que ces compétences complémentaires doivent s'associer dans un travail d'équipe, chacun devant faire l'effort d'assumer la responsabilité du projet pour les domaines où il est compétent.

Notre but essentiel était d'étudier les conditions dans lesquelles ce système était réalisable, d'en fixer les échéances de développement et de proposer une démarche basée sur un acquis qui nous semble prometteur. Pour celui qui possède les moyens énumérés ci—dessus, il ne reste plus qu'à décider de poursuivre l'action entreprise.

Nous pensons que cet outil présente un intérêt économique pour la maîtrise des dépenses d'investissement et d'exploitation des projets d'aménagement en eau (plusieurs milliards de francs par an pour l'eau et l'assainissement). La maîtrise de ces dépenses passe donc par une amélioration de la conception des projets, mais aussi par une meilleure connaissance et par la modernisation des moyens de gestion.

A plus long terme, le système d'ingénierie que nous proposons représente l'un de ces moyens, nous sommes conscients que pour l'instant, il n'est pas complet mais une analyse globale était indispensable avant d'engager la réalisation d'une application. C'est la raison pour laquelle nous ne l'avons pas encore baptisé, à l'avenir il pourrait s'appeler: MOISE Modèle d'Optimisation et d'Ingénierie pour la Stratégie de l'Eau.

S'il est clair que ce travail fait apparaître d'importants résultats jusqu'alors non envisagés, il soulève pour l'instant, plus de questions qu'il n'apporte de réponses. Cependant s'il conduit à motiver des réflexions plus larges dans le cadre des débats concernant la gestion des ressources en eau, il aura pleinement atteint son objectif.

Nous pensons enfin, que l'approche qui a été la nôtre pourrait être mise en oeuvre dans bien d'autres domaines et y rendre les mêmes services.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMBROSETTI R., CICIONI Gb., GIULIANO G. (1986): A computer decision support system for water resources management.
International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986, 8 p.

ANDERSON (1985): Time series analysis : Theory and practice 6
North-Holland Edition

AVIAS J.(1982): Importance de l'éducation et de l'information dans la préservation des ressources en eau et leur utilisation rationnelle.
Bulletin BRGM, sestion III, n°314

BAILLY F., BONDON D., PIETRASANTA Y.(1986): Le lagunage naturel: procédé d'épuration et valorisation aquacole.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.21 à 25.

BAKEL P.J.T. (1986): Economic quantification of plans for surface water management.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 9 p., 4 fig., 2 tab.

BALLAY D. (1986): Quelques données sur la distribution d'eau potable en France.
Constitution et première utilisation d'un échantillon représentatif de collectivités distributrices d'eau potable.
T.S.M. L'EAU, Avril 1986, pp.181 à 186, 2 Fig., 3 Tab.

BISEAU(1986): Approche économique de la réhabilitation des systèmes d'assainissement.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.51à 57.

BIZE J., GUERIN B.(1979): Cartographie de l'aptitude des sols de Haute-Garonne à l'assainissement individuel.
TSM L'EAU, Juin 1979, 74°année n°6, 12p., 5 tabl., 11 fig.

BLACHERE-GRAILLOT A., AVENUE P.(1986): Assainissement de Saint-Marcel-de-Félines (secteur de Créonnet, Philiponière, Félines).
Rapport des cabinets ARASEE et GEOHYDROLOIRE, Juin 1986, non publié.

BONNET A., HARRY J., GANASCIA J.G. (1982): LITHO, un système expert inférant la géologie du sous-sol.
T.S.I., Vol.n°5, pp. 393 à 402.

BOURRIER R.(1985): Les réseaux d'assainissement-calculs-applications-perspectives.
Technique et documentation Lavoisier, 482p., dépot légal mai 1985.

BOURSIER P., MULLON G., PELLETIER F., SOURIS M., TREUIL J.P. (1985) : PRAO, un système d'information géographique.
T.S.I., Vol.4 n°6, pp. 523 à 538.

BOUTIN P.(1986): Problèmes de qualité pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées : une nouvelle donnée.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.67 à 71.

BRAUERS W.K.M. (1976): Systems analysis, planning and decision model.
Elsevier Scientific Publishing Company, 153 p., I° et III° Parties.

BRISSAUD F., MOREL C., SIMON M., RIOU Y.(1986): Irrigation de cultures maraîchères par des eaux usées urbaines traitées par infiltration percolation.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.79 à 84.

BURGER F.(1986): The treatment of decision risks in water management : Dialogue with the decision maker.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 16p.

CABELGUENNE M., MARTY J.R., HILAIRE A. (1980): Influence du progrès agronomique et des rapports de prix sur le choix entre Maïs et tournesol dans diverses conditions de disponibilité en eau.
C. R. Acad.Agric., 80, (7), pp.725 à 734, 3 Fig.

CEMAGREF (1982): Analyse de la rentabilité des investissement pour des projets hydro-agricoles (programme "MECENE")
Cahier-46, n°7, 5p.

CERTES C., HUBERT P. (1986): Integration of various decision tools in hydrology.
International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 12 p.

CHIROUZE B.(1985): La gestion d'un périmètre irrigué, cas de la compagnie du Bas-Rhône-Languedoc.
Comptes rendus des conférences et ateliers, Premières rencontres internationales Eau Facteur de Développement, 16,18 Avril 1985, Montpellier, pp.9 à 20.

CHMIELOWSKY W.(1986): Models of optimal cooperation of water intakes as a tool for planning aims.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 12 p., 6 fig.

CHOSSAT J.C., MARESCA B.(1985): L'épandage des eaux usées des petites collectivités. L'installation pilote de Landiras (Gironde).
TSM L'EAU, Mars 1985, 80° année n°3, pp.129 à 140.

CHOURAQUI E.(1985) : Modélisation du raisonnement et de la connaissance.
T.S.I. Vol. n°4, pp.391 à 399

CLEMENT R., GALAND A.(1978): Systèmes d'irrigation, techniques de l'ingénieur.
C5250 et C5251, 50 p.

CLEMENT R., GALAND A. (1979): Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous-pression.
Editions EYROLLES, 182 p.,

CLERMONT J.C. (1986): Réduction des perte d'eau, proposition pour une politique globale.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.101 à 107.

COSTE C., LOUBET M.(1980): Guide de l'assainissement en milieu urbain et rural.
Edition du Moniteur, 415 p., 122 fig., Dépot légal Mai 1980.

CUENDET G.(1982): Dynamique de la gestion, cybernétique, décision et trajectoire.
Traité systémique de gestion, Presses Polytechniques Romandes, 237 p., III° et IV° partie.

DANGEARD A.L.(1986): La planification de la gestion des eaux et le développement économique.
Comptes rendus conférences des premières rencontres Internationales Eau Facteur de développement, Montpellier, 16-18 Avril 1985, pp.2 et 3

DAVID L., DUCKSTEIN L.(1975): Long range planning of water resources. A multiobjective approach, UNDP/UN Interregional Seminar on River Basin and Interbasin Development, New-York Budapest, Hangary, pp.16 à 26.

DAVOINE P.(1982): La modélisation hydrodynamique du bassin de Bièvre-Valloire. (Bas-Dauphiné)
Rapport interne à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 14 p.

DAVOINE P. (1985): Livre du coordonnateur. Support des sessions M.I.S.E. sur micro-ordinateurs.
Rapport interne Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 35 p., non publié.

DAVOINE P., GRAILLOT D.(1985): Simuler pour apprendre
Les cahiers du CEFI, n°11, 3p.

DAVOINE P., GRAILLOT D. (1986): Enseignement assisté par ordinateur.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.129 à 134.

DEBAISIEUX B. (1983): Géologie appliquée à l'aménagement urbain, Saint-Etienne (Loire).
Thèse 3° cycle, Université Claude Bernard, Lyon I, 220 p.

DELMAS D., BAUDETTE M., LECLERC G., MARCHE C.(1984): SEARCH, un système expert en développement pour la localisation des contaminants d'aquifères.
Ecole Polytechnique de Montréal, Actes du deuxième symposium et exposition internationale d'intelligence artificielle et de productique. Paris, S(S.), AFIAS, SME. 12 p.

DESBORDES M.(1986): Pour une approche spécifique de l'hydrologie urbaine en Afrique.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.145 à 151.

DEUTSCH J.C.(1986): La campagne de mesures sur la caractérisation des eaux de ruissellement : un montage institutionnel et financier à la hauteur du problème posé?
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.151 à 155.

DONVILLE B.(1979): Essai de carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel.
TSM L'EAU, Mai 1979, 74° année n°5, 10 p., 3 fig.

DUCKSTEIN L., BOGARDI I.(1983): Analyse multicritère "floue" de la gestion d'une nappe karstique régionale.
4° conférence Internationale sur la planification et la gestion des eaux, Marseille, Mai 1982, 8 p., 4 tab., 4 fig.

DUCKSTEIN L., OPRICOVIC S.(1980): Multiobjective optimization in river basin development.
Water resources research, Vol.16, n°1, pp.14 à 20, 1980.

ELMAKHOUCHNI M. (1985): Contribution à l'étude d'un système graphique intelligent pour la planification urbaine (SYGRIPOS).
Simulation visuelle des plans d'occupation des sols.
Thèse de 3° cycle en automatique et informatique, INSA de Lyon, 167 p.

ETTORI F.(1978): Evaluation économique des projets d'irrigation. Méthode de choix des cultures iriguées soumises à un accident aléatoire.
Rev. MAROC Sci. Agron. Vét., n°27, p. 71 à 79.

ETUDE INTER-AGENCES (1978): Lagunage naturel et lagunage aéré, procédés d'épuration des petites collectivités.
Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Agence de bassin Loire-Bretagne, 73 p., Juin 1979.

ETUDE INTER-AGENCES (1980): L'assainissement individuel, principes et techniques actuelles.
Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Agence de bassin Loire-Bretagne, 126 p., 62 fig., Octobre 1980.

FEDRA K.(1986): Decision making in water resources. Planning models and computer graphics.
International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 17 p., 4 fig.

FILDIER F.(1983): La réalimentation des nappes, étude technique de synthèse. Association Française pour l'Etude de l'eau (AFEE), 171 p., 60 fig.

GABLINGER M.(1978): Simulation in hierarchical modelling of water-resources. Modelling Identification and control in Environmental systems.
VANSTEENKISTE Editions, IFIP North-Holland Publishing Company. pp. 843 à 855, 3 fig.

GAILLARD J.(1986): The french experience with Basin Agencies. International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 11 p., 2 fig.

GALLAIRE H.(1985): La représentation des connaissances. LA RECHERCHE, Octobre 1985, Numéro spécial:l'intelligence artificielle n°170, pp.1239 à 1251.

GANASCIA J.G.(1985) : La conception des systèmes experts. LA RECHERCHE, Octobre 1985, Numéro spécial:l'intelligence artificielle n°170, pp.1142 à 1151.

GARANCHER J.(1986): L'assainissement autonome individuel et collectif. Edition Moniteur, 158 p., 25 tab., 64 fig., dépot légal Mars 1986.

GODFROY B., LAVARDE R.(1986): L'assainissement des zones sans exutoires directement utilisables.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.195 à 201.

GOUGOUSSIS C.(1978): Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques.
Thèse de 3° cycle, Institut National Polytechnique de Lorraine-Nancy.
Série Documents BRGM n°38-1982, 354 p., 153 fig., 32 tab., 17 pl.

GOUGOUSSIS E.(1982): Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéologique des molasses du Bas-Dauphiné.
Thèse de 3° cycle, Institut National Polytechnique de Lorraine-Nancy. 124 p., 13 tab., 18 cartes.

GRAILLOT D.(1983): M.I.S.E. Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau, outil pédagogique et d'aide à la décision.
Thèse 3° cycle, Université de Montpellier, tome 1, 224 p., 57 fig. 20 tab., tome 2, 210 p.

GRAILLOT D. (1985): Pilotage simulé d'un projet d'irrigation, compte rendu des sessions M.I.S.E. Juin 1984 et Juin 1985.
Rapport interne Ecole Nationale Supérieure des Mine de Saint-Etienne, 97 p., 25 fig., non publié.

GRAILLOT D., DAVOINE P.(1986): Un modèle pédagogique assisté par ordinateur. M.I.S.E. Modèle Intégré de Stratégie de l'eau.
European Journal of engineering education, vol.11, n°2, pp.177 à 185.

GRAILLOT D. (1986): Simulation in support of evaluation and decision making in water management projects.
International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 6 p.

GRAILLOT D., DAVOINE P., MATHON A.(1984): Un modèle d'enseignement assisté par ordinateur. M.I.S.E. Modèle Intégré de Stratégie de l'eau. Support de la conférence et de l'atelier du Congrès E.A.O. Lyon, 20 p., 10 fig.

GRAILLOT D., DAVOINE P. (1984): M.I.S.E. Modèle Intégré de Stratégie de l'eau. Comptes rendus du congrès l'Industrie minérale, Aix les Bains, pp. 815 à 822, 10 Fig.

GRANIER J. (1985): Utilisation du moteur d'inférences SNARK pour un système d'ingénierie assisté par ordinateur de conception des réseaux d'irrigation à la parcelle.
Mémoire de D.E.A., CEMAGREF Aix en Provence, Centre de Recherche Informatique de Montpellier (CRIM), 56 p.

GUERREE H., GOMELA R.(1978): Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales.
Editions Eyrolles, 2 tomes (la collecte, le traitement), dépot légal 3° trimestre 1978.

GUERRIN F.(1982): Investissements nécessaires à la réalisation d'une station d'épuration en lagunage naturel.
Colloque l'épuration par lagunage-technologie, fonctionnement, valorisation, Montpellier 2,4 Juin 1982, pp. 79 à 83.

GUYONNET J.F., LIMNIOS N., ALLAIN O.(1986): Méthodologie pour l'évaluation de la sureté des systèmes de production d'eau potable.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp. 217 à 223.

HANKE S.H.(1985): Une analyse économétrique de la demande en eau domestique.
T.S.M. L'EAU, Avril 1985, pp. 203 à 205.

HAY F.(1983): Les disparités de prix de service Eau. Un constat. Aspects généraux. Cas de l'Ille et Vilaine.
Cahiers Economiques de Bretagne, n°1, 1983, 16 p.

HERITIER C.(1986): Pilotage d'un processus industriel: les apports d'un système expert.
Mémoire de D.E.A. Informatique et Automatique Appliquée, INSA de Lyon, 54 p.

HILBORN R.(1982): Living with uncertainty on resource management.
Manuscrit non publié.

HJORTH P.(1986): Future prospects in decision support.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986. 5 p.

HUBERT P.(1984): EAUPUSCULE : Une introduction à la gestion de l'eau. Editions ELLIPSES, 192 p.

HUBERT P.(1986): De quelques concepts et outils utiles à la gestion de l'eau. Thèse d'Etat es Sciences, Université Paris VI, P. et M. Curie, 309 p.

IGER, BCME (1975): Etude technico-économique. Institut de gestion et d'Economie Rurale, Bureau Commun de Machinisme et d'Equipement Agricole

INDYK W., KANIA-KIESEL E., POTOCKI A., SLOTA H. (1986): A decision making process for a chosen water management system. International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 14 p., 2 fig.

JOWITT P.W., JENKINS W.O. (1986): The application of expert system to river basin management. International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 10 p., 4 fig.

KABLITZ E.(1986): Le problème de l'assainissement des communes rurales. TSM L'EAU, Février 1986, 81° année n°2, pp. 75 à 83, 1 fig., 4 tabl.

KAUFMAN A., HENRY-LABORDERE A.(1974): Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle. Dunod éditions Paris, tome 3, pp.73 à 87

KEENEY R.L.(1986): Evaluating sites for energy facilities using decision analysis. International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 37p.

KEENEY R.L., WOOD E.F.(1977): An illustrating of the use of Multiattribute Utility Theory, for water resources planning. Water Resources Research, Vol.13, n°4, pp.705 à 712.

KELADA J. (1974): La gestion et la prise de décision Edition Aquila, I°partie, II°partie chapitre6.

KERCKHOFFS E.J.H., VANSTEENKISTE G.C. (1984): The impact of advanced information processing and simulation. An illustrative example. SIMULATION, Vol.46 n°1, pp.17 à 26.

KINDLER J.(1982): Un point de vue nouveau sur l'affectation optimale des ressources en eau. Nature et Ressources, Vol.XVIII, n°1, pp. 11 à 15.

KINDLER J. (1986): Water resources planning and decision making : some thoughts about the future. International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 12 p.

KODRATOFF Y. (1985): Quand l'ordinateur apprend. LA RECHERCHE, Octobre 1985, Numéro spécial:l'intelligence artificielle n°170, pp.1252 à 1263.

LAPEYRE M.(1986): Financement, par les usagers, des adductions d'eau en FRANCE.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.235 à 241.

LAPORTE B., OUELLET R.(1980): Théorie de la décision.
Edition sciences et cultures inc., pp.9 à 48 et pp.107 à 143.

LAURENT J.P.(1984): La structure de contrôle dans les systèmes experts.
T.S.I. Vol. n°3, pp.161 à 178.

LAURIERE J.L.(1983): SNARK : Symbolic Normalized Acquisition and Représentation of Knoledge. Un moteur d'inférences pour systèmes experts en logique du premier ordre.
Rapport institut de programmation n°430, 68 p.

LEFEVRE J.M., GRANIER T.(1985): MEPRA, Etude de faisabilité d'un système expert de prévision des risques d'avalanche.
5° Journées Internationales, Avignon, Mai 1985. Les systèmes experts, leurs applications. Session 12B, Sciences de la terre, pp.1115 à 1133.

LEMOIGNE J.L. (1974) : Les systèmes de décision dans les organisations.
Presses Universitaire de France, 244 p.

LOUDIERE D. (1985): L'avenir des barrages agricoles.
Revue PCM, pp. 51 à 55.

MACGILCHRIST R.(1986): Games and public participation in large hydraulic projects.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 10 p.

Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (1978):
Monsieur le Maire et la station d'épuration des eaux.
Etude GERP, dépot légal 3° trimestre 1978, 39 p., 6 fig.

MOREL B.(1972): Gestion des projets et fabrications sur devis. Méthodes technique comptable et financière.
Entreprise moderne d'édition, pp.116 à 127, 5 fig.

MULLER Y.(1969): Initiation à l'organisation et à la recherche opérationnelle.
Edition Eyrolles, Paris, pp. 310 à 327.

MUSY A.(1986): Le génie rural, sciences naturelles ou techniques de l'ingénieur?
Vermessung, Photogramétrie, Kulturtechnik, Nr4, 8 p.

O'KEEFE R. (1986): Simulation and expert systems. A taxonomy and some examples.
SIMULATION, Vol.46, n°1, pp.10 à 16.

OLIVRY D.(1986): Participation publique à la planification et à la gestion des ressources en eau : cas des grands projets hydrauliques.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 24 p.

OPRICOVIC S., DJORDJEVIC B. (1986): Compromise ranking of water resources alternatives.
International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 6 p., 1 fig., 2 tab.

PIQUET Y. (1986): Les facteurs explicatifs du prix de vente de l'eau et de la redevance assainissement en Ile de France.
Colloque International l'Eau la Ville et le développement, Journées internationales de l'eau, Marseille 9-11 Juin 1986, pp.339 à 344.

PITRAT J. (1985): La naissance de l'intelligence artificielle.
LA RECHERCHE, Octobre 1985, Numéro spécial:l'intelligence artificielle n°170, pp.1130 à 1141.

PLAN URBAIN Secrétariat Permanent(1984): L'eau dans la ville, programme finalisé de recherche et d'expérimentation.
Note d'orientation 34 p., programme priotaire de recherche et d'innovation urbanisme et technologie de l'habitat. Ministère de l'Urbaninisme du logement et des Transports, Ministère de l'Environnement, Ministère de la recherche et de la Technologie.

PRATT J.W, RAIFFA H., SCHLAIFER R.(1964): The foundations of decision under incertainty: an elementary exposition.
The american statistical association journal, 59:353-375.

RAIFFA H.(1973): Analyse de la décision, introduction au choix en avenir certain
Dunod Edition, collection sigma, 328 p., chap.4,5,8 et 9.

REBOH (1982): Système HYDRO, development of a knoledge-based interface to a hydrological simulation program.
SRI Project 3477, California.

ROCHE E.(1975): Conception des réseaux d'assainissement en milieu rural.
TSM L'EAU, Avril 1975, 70° année n°4, pp.137 à 145, 10 fig.

SAATY T.L.(1984): Décider face à la complexité, une approche analytique multicritère d'aide à la décision.
Entreprise moderne d'édition, 231 p., chap.2,3,4 et 10.

SAGAAMA S.(1977): Contribution des sous-ensembles flous à l'aide à la décision et à l'analyse structurale.
Thèse Docteur Ingénieur, Université Claude Bernard Lyon I, 173 p.

SANSONNET J.P.(1985): Les machines de l'intelligence artificielle.
LA RECHERCHE, Octobre 1985, Numéro spécial:l'intelligence artificielle n°170, pp.1228 à 1239.

SAVAGE L.S.(1962): The foundations of statistical Inference.
Edition J.Wiley and sons, 100p.

SHANNON R.E., MAYER R. (1985): Expert systems and simulation.
SIMULATION, 1985, SCS-Society for Computer Simulation,
Vol.n°44, pp.275 à 284.

SIMON M.A. (1962): The architecture of complexity.
Proceedings of the American Philosophy Society, Vol.106, pp.467 à 482.

SIMON B.(1986): L'assainissement des communes rurales, exemple de solution : le lagunage
TSM L'EAU, Février 1986, 81° année n°2, 4 p., 4 fig.

SIMONOVIC S., JAKOVLJEVIC D.(1986): Decision support systems in water resources planning. Yugoslav experience.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 15 p., 4 fig.

SOLTNER D.(1973): Les bases de la production végétale, tome n°1: le sol.
2° édition, Phytotechnie générale.
Coll. sciences et techniques agricoles, 396 p., pp.159 à 221.

SRAE RHONE-ALPES (1979): Développement agricole en Rhône-Alpes.
Non publié.

S.R.A.E. Rhône-Alpes, D.D.A. Drôme-Isère (1981): L'eau dans le bassin de Bièvre-Valloire.
Non publié, 75 p., 19 fig.

S.R.A.E. Rhône-Alpes, BURGEAP (1981): Etude hydrogéologique de la plaine de Bièvre entre la Côte-Saint-André et Beaurepaire.
Etude et mise en valeur des eaux souterraines.
R.460-E.951, 23 p.

TABOURIER Y. (1984): Les formalismes de description des données.
Les enjeux culturels cachés.
INTERFACES, série n°17, Mars 1984, pp.15 à 27.

THOMAZEAU R.(1981): Stations d'épuration, eaux potables-eaux usées, précis théorique et technologique.
Technique et documentation Lavoisier, 436 p., dépot légal Sept.1981.

URBANIAK A.(1986): A multicriteria expansion planning of a water supply and wastewater treatment system with random data.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 24 p., 10 tab., 2 fig.

VAN DER KLOET P., LUMADJENO H.S.(1986): The development of an economic objective function for decision making in a water resources control problem.
International UNESCO Symposium on decision making in water resources planning, OSLO, 5-7 May 1986, 17 p., 6 fig.

VON NEUMAN J., MORGENSTERN O.(1947): Theory of games and economic behaviour.
2nd ed. Princeton Univ. press.

WENSTOP F., IBBREK H., SEIP K.L. (1986): Multicriteria decision making in water quality managment.
International UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, OSLO, 5-7 May 1986., 6 p.

ZIENKIEWICZ O. C. (1973): La méthode des éléments finis appliquée à l'art de l'ingénieur. Mc Graw—Hill, Ediscience, pp.105 à 130.

ANNEE: 1986

AUTEUR: GRAILLOT Didier

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC (MONTPELLIER II)

RESUME:

Il s'agit de constituer un système capable d'assister les responsables de projets d'aménagement en eau (décideurs, bureaux d'études) à partir des informations obtenues au cours d'expériences de simulation effectuées à l'aide du modèle MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau). La variété de ces informations qui peuvent être descriptives, quantitatives ou provenir du savoir-faire des spécialistes nous a amenés à donner à ce système un environnement informatique rappelant celui des systèmes experts. Quelques exemples d'application de modules d'expertise sont présentés, ils concernent en particulier le dimensionnement des dispositifs d'assainissement autonome et la prospection des ressources en eau.

MOTS-CLES:

-PROJETS D'AMENAGEMENT EN EAU
-HYDROGEOLOGIE
-ALIMENTATION EN EAU POTABLE
-IRRIGATION
-ASSAINISSEMENT
-AIDE A LA DECISION
-SIMULATION
-SYSTEME EXPERT