# UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

Année: 2005  $n^{\circ}$ . d'ordre:

#### **THESE**

pour obtenir le grade de

# DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

Discipline : Génie Civil

Titre

# APPROCHE TECHNICO-SOCIO-ECONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT DES GALERIES TECHNIQUES MULTIRESEAUX EN DOMAINE PUBLIC

Préparée au Laboratoire de Mécanique de Lille (U.M.R. C.N.R.S.8107) Ecole Polytechnique Universitaire de Lille

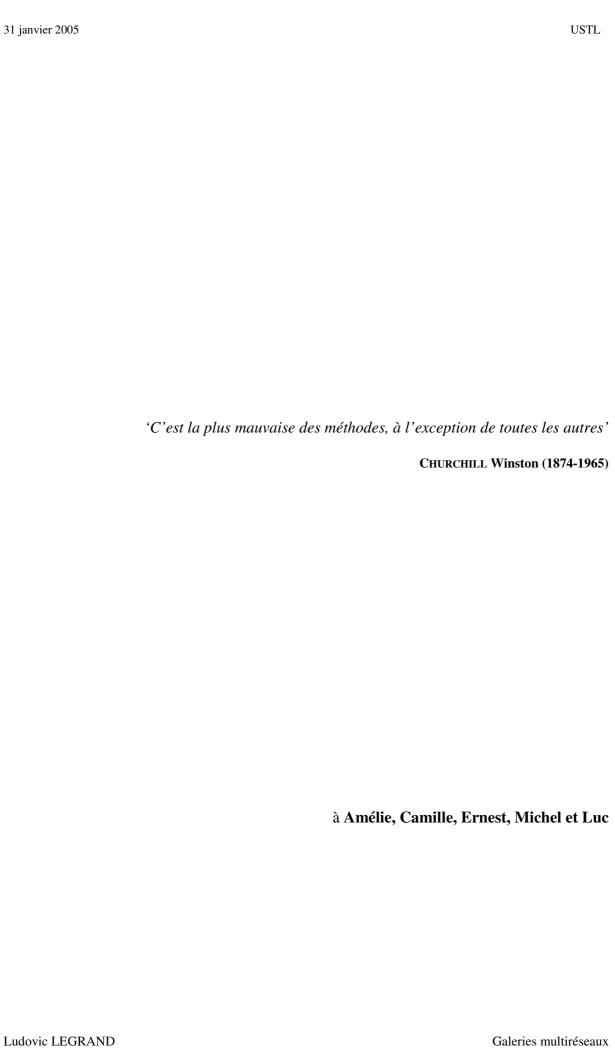
par

#### **Ludovic LEGRAND**

Présentée et soutenue publiquement le 31 janvier 2005 devant la commission d'examen composée de :

#### **Messieurs:**

DELMAS Yves MIRAMOND Marcel DIAB Youssef TISON Daniel BUYLE-BODIN François BLANPAIN Olivier Président
Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Directeur de thès
Co-encadreur de thèse



Ludovic LEGRAND

#### Remerciements

Ces travaux de recherche ont été réalisés au sein de l'équipe « sols et ouvrages en site urbain » du Laboratoire de Mécanique de Lille, elle-même hébergée au sein de l'Ecole Polytechnique Universitaire de Lille de l'USTL.

Dans cet environnement particulièrement enrichissant, je tiens à remercier chaleureusement les nombreuses personnes que j'ai rencontré durant ces années, et qui m'ont apporté soutien, aide et conseils.

Parmi toutes ces personnes, je désire adresser mes plus vifs et sincères remerciements à :

A mon jury:

Monsieur **François Buyle-Bodin**, mon directeur de thèse, Professeur à l'USTL, pour son amitié, pour m'avoir accueilli dans son équipe de recherche et apporté son regard avisé sur mon travail.

Monsieur **Oliver Blanpain**, mon co-encadreur de thèse, Professeur à l'USTL, pour son amitié, ses précieux conseils et son extraordinaire capacité à me supporter.

Monsieur Yves Delmas, mon Président de jury, Professeur à l'université de Reims.

Monsieur Youssef Diab, Professeur à l'université de Marne la Vallée.

Monsieur Marcel Miramond Professeur à l'INSA de Lyon.

Monsieur Daniel Tison, directeur technique de l'entreprise BMI.

Au groupe thématique « règles de l'art » du projet national Clé de Sol :

Monsieur Michel Gérard, Président du projet.

Monsieur **Alain Constant**, responsable de ce groupe et Ingénieur Qualité au sein du service Assainissement de la ville de Paris.

Monsieur Bernard Busca, du groupe EDF-GDF.

Monsieur **Antoine Leroux**, du CERTU et responsable du groupe « guide technique » du projet.

Monsieur Guy Pellery, responsable des réseaux d'eau potable parisiens (SAGEP).

Monsieur Claude Wilmart, responsable de l'unité VRD de AREP.

Monsieur Jean-Michel Bergue, chargé de missions à la DRAST.

Monsieur Robert Damato, de la ville de Grenoble.

Monsieur Christian Houssin, du CETE de l'Est.

Monsieur Christian Bernardini, délégué général de l'IREX.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur **Jean-Michel Vaillant**, pour son aide durant la phase modélisation numérique sous Plaxis, et pour son soutien tout au long de mes travaux de recherche, principalement dans les moments difficiles. Je remercie également **Messieurs Zhen Yu Xia** et **Mohamed Korchani**, pour avoir réussi à partager le même bureau que moi durant tant de temps.

Je remercie en outre toute l'Equipe de Direction de l'Université de Lille1 et plus particulièrement son Président, Monsieur Hervé Baussart, mais également Madame Annie Létoquart, Madame Valérie Deldréve et Mademoiselle Sylviane Le Villain. Travailler en leur compagnie était une formidable et enrichissante expérience.

Je remercie tous mes amis : la Bernadette des Bernadettes, le lion flamand, Psycko, Bourdman, Anouar, Calibur (euh vous auriez pas des pinces pour la batterie), Arnaud (faut faire du chiffre du chiffre!), Flavien, François (tu sors), Frédéric, Polo, Vianney (messieurs la partie commence), El Barbu, et tous les autres trop nombreux pour les citer, parmi lesquels j'ai passé des moments inoubliables.

Enfin, toutes mes pensées vont à ma famille, tout particulièrement à mes parents, mon frère, à Isabelle, mes neveux Rémi et Julien, à Luc et spécialement vers Amélie.

### **Sommaire**

### **SOMMAIRE**

REMERCIEMENTS		
SOMMAIRE		
Presentation des acteurs		
LISTE DES TABLEAUX ET FIG	GURES	
- CHAPITRE -	INTRODUCTION GENERALE	
		Page
		TAGE
Introduction		1
G		
- CHAPITRE 1 -	SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES GALERIES	
	TECHNIQUES MULTIRESEAUX	
1. Introduction		4
2. LES GALERIES MULTIRESEA	AUX	5
2.1. DEFINITIONS		5
2.2. LE CONCEPT DES GALER	IES TECHNIQUES MULTIRESEAUX	7
2.3. LES AVANTAGES D'UNE	GALERIE MULTIRESEAUX	8

Ludovic LEGRAND Galeries multiréseaux

2.4. LES AVANTAGES D'UNE SOLUTION PLEINE TERRE

2.5. Les inconvenients d'une solution pleine terre

9

10

31 janvier 2005	USTL
-----------------	------

2.6. LES INCONVENIENTS D'UNE SOLUTION GALERIE MULTIRESEAUX	10
2.7. L'HISTORIQUE DES GALERIES MULTIRESEAUX	12
2.8. LA PLACE CONTEMPORAINE DES GALERIES MULTIRESEAUX EN SITE URBAIN	13
2.8.1. En France	13
2.8.2. Dans le reste du monde	16
3. Installation des reseaux urbains en Galerie multireseaux	19
3.1. LA DIFFICULTE DE FAIRE COHABITER LES RESEAUX EN MILIEU RESTREINT	21
3.2. SYNTHESE DES MISES EN PLACE DES RESEAUX EN GALERIE	22
3.2.1. Avant Propos	22
3.2.2. Les réseaux d'assainissement	22
3.2.3. Le réseau d'eau potable	24
3.2.4. Le réseau de gaz combustible	24
3.2.5. Les réseaux thermiques	25
3.2.5.1. Le réseau de chauffage urbain	25
3.2.5.2. Le réseau de climatisation	27
3.2.6. Les canalisations électriques	27
3.2.7. Les réseaux de l'information	28
3.2.8. Conclusion	29
4. CONCLUSION	30

# - Chapitre 2 - METHODE DE DIMENSIONNEMENT DE L'HABITACLE

1. Introduction	32
2. LES RESEAUX ETUDIES	32
3. CONSTRUCTION DE LA SOLUTION GALERIE TECNIQUE MULTIRESEAUX (GMR)	33
3.1. Introduction	33
3.2. L'HABITACLE	34
3.2.1. Avant propos	34
3.2.2. Introduction	34
3.2.3. Les différents profils	34
3.2.4. La durabilité de l'habitacle – modes de construction	36
3.2.4.1. Les matériaux utilisables	36
3.2.4.2. Les modes de construction	37
3.2.4. Conclusion	37
3.3. DETERMINATION DE LA SECTION COURANTE DE LA GALERIE	38
3.3.1. Introduction	38
3.3.2. Avant propos	39
3.3.3. Décomposition de l'habitacle	41
3.3.4. La zone « réseaux d'assainissement »	41
3.3.5. La zone « réseaux transversaux »	41
3.3.6. Les zones « réseaux longitudinaux »	42

3.3.7. Le gabarit de passage.	42
3.3.8. Les distances entre réseaux	42
3.3.9. Méthode de dimensionnement	43
3.3.9.1. Positionnement du réseau Eau Pluviale 'EP'	44
3.3.9.2. Positionnement du réseau Eau Usée 'EU'	44
3.3.9.3. Positionnement du réseau Eau Potable	45
3.3.9.4. Positionnement gabarit de passage	45
3.3.9.5. Positionnement de la canalisation aller du chauffage urbain par vapeur	46
3.3.9.6. Positionnement de la canalisation retour du chauffage urbain par vapeur	47
3.3.9.7. Positionnement des canalisations électriques	47
3.3.9.8. Positionnement du réseau de gaz	48
3.3.9.5. Positionnement des fourreaux de télécommunications	49
3.3.9.6. Détermination des dimensions de la section courante	49
3.3.9.7. Représentation de la galerie	50
3.3.9.8. Conclusion	50
3.3.10. Vérification de la section courante	50
3.3.10.1. Dépôt et évacuation de la plus grosse canalisation hébergée	50
3.3.10.2. Passage des branchements sur les canalisations électriques	53
3.3.10.3. Passage d'une canalisation de branchement du réseau d'assainissement EP	53
3.3.10.4. branchement sur la canalisation aller du chauffage urbain	55
3.3.10.5. Branchement gaz et vanne à opercule sur réseau d'eau potable	57
3.3.11. Conclusion	57

3.3.12. Organisation intérieure des autres profils.	58
3.3.12.1. Profil circulaire	58
3.3.12.2. Profil ovoïde	59
3.3.12.3. Profil trapézoïdal	60
3.3. CONCLUSION	60
- Chapitre 3 - AIDE A LA CONCEPTION	
1. Introduction Generale	61
2. AVANT PROPOS	61
3. Presentation du tableur financier	62
4. Presentation du cas d'etude et hypotheses formulees	63
5. REPRESENTATION DE LA SOLUTION DE REFERENCE	64
5.1. Introduction	64
5.2. Hypotheses	64
5.3. Les differentes types de voiries etudies	66
5.4. MISE EN SITUATION DES RESEAUX	66
5.5. COUTS D'INVESTISSEMENT DE LA SOLUTION DE REFERENCE	67
6. EVALUATION ECONOMIQUE DES DIFFERTENTS PROFILS	67
6.1. Introduction	67
6.2. Representations	68
6.3. Hypotheses	69

	6.4. COUTS D'INVESTISSEMENT	69
	6.5. CONCLUSION	70
7	. COMPORTEMENTS MECANIQUES DES PROFILS SOUS CHARGEMENT ROUTIER	71
	7.1. MODELE RETENU ET PLAN D'EXPERIENCE	72
	7.2. MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS	73
	7.3. RESULTATS OBTENUS POUR LE CAS DE REFERENCE	74
	7.4. RESULTATS DE L'ETUDE PARAMETRIQUE	76
	7.5. CONCLUSION	78
8	3. EVALUATION ECONOMIQUE DES SOLUTIONS GALERIE « HORS BRANCHEMENTS »	78
	8.1. HYPOTHESES	78
	8.2. Representations	78
	8.3. COUTS D'INVESTISSEMENT	79
	8.4. CONCLUSION	79
9	. RECHERCHE DES SOLUTIONS TECHNIQUES LIMITANT LE COUT D'INVESTISSEMENT	81
	9.1. HYPOTHESES	81
	9.2. ETUDE SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT D'EAU PLUVIALE	82
	9.2.1. Pourquoi ?	82
	9.2.2. Représentation	82
	9.2.3. Conclusion	83
	9.3. ETUDE SUR LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT (EP+EU)	83
	9.3.1. Pourquoi ?	83
	9.3.2. Représentation	83

31 janvier 2005	USTL
-----------------	------

9.3.3. Conclusion	84
9.4. ETUDE SUR LE RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN	84
9.4.1. Pourquoi ?	84
9.4.2. Représentation	85
9.4.3. Conclusion	85
9.5. ETUDE SUR LES CANALISATIONS ELECTRIQUES	86
9.5.1. Pourquoi ?	86
9.5.2. Représentation	86
9.5.3. Conclusion	87
9.6. CONCLUSION	87
10. ETUDE SUR LES BRANCHEMENTS RIVERAINS	88
10.1. Introduction	88
10.2. Hypotheses	88
10.3. Representation	88
10.4. LES DIFFERENTES SOLUTIONS TECHNIQUES DE BRANCHEMENTS	89
10.4.1. Solution « galerie de branchement »	89
10.4.2. Solution « pleine terre »	90
10.4.3. Solution « caniveau technique non visitable »	90
10.4.4. Les solutions mixtes	91
10.4.4.1. Galerie et Pleine Terre	91
10.4.4.2. Galerie et Caniveau non visitable	92
10.4.4.3. Caniveau non visitable et Pleine Terre	93

31 janvier 2005	USTL

10.4.4.4. Galerie, Caniveau non visitable et Pleine Terre	93
10.5. LES DIFFERENTES METHODES DE BRANCHEMENTS	94
10.5.1. Branchements droits	94
10.5.2. Branchements en râteau	95
10.6. LES DIFFERENTES TAILLES DE PARCELLAIRES	96
10.7. PLAN D'EXPERIENCES	97
10.8. LES RESEAUX DE BRANCHEMENTS	99
10.9. REPRESENTATION DES BRANCHEMENTS	99
10.9.1. Solution galerie	99
10.9.2. Solution caniveau technique	99
10.10. Les résultats	100
10.11. Conclusion	100
11. PRIX DEFINITIFS D'INVESTISSEMENTS	103
11.1. Introduction	103
11.1.1. Hypothèses	103
11.1.2. Coûts annexes pour la GMR	103
11.1.2.1. Chambre d'éclatement	103
11.1.2.2. Les regards de visites	103
11.1.2.3. Les têtes de galerie	104
11.1.2.4. Les accès gros matériel	104
11.1.2.5. Les boîtes de branchement supplémentaires	104
11.1.2.6. La sécurité	105

31 janvier 2005	USTL
11.1.3. Coûts annexes pour la solution pleine terre	105
11.1.3.1. Caniveau de dilatation	105

12. CONCLUSION 105

105

### - Chapitre 3 - AIDE A LA DECISION

11.1.4. Conclusion

1. Introduction	107
2. ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE	107
2.1. Introduction	107
2.2. Comparaison socio-economique – couts economiques marchands	113
2.2.1. Hypothèses de travail	113
2.2.2. Le coût tutélaire du temps	114
2.2.3. La rénovation des réseaux	115
2.2.4. La coordination des exploitants	116
2.2.4.1. le service voirie	117
2.2.4.2. les concessionnaires	117
2.2.4.3. la gestion des plans de recollement	117
2.2.4.4. conclusion	117
2.3. COMPARAISON SOCIO-ECONOMIQUE – ELARGIE AUX ACTEURS INDIRECTS	117
2.3.1. Les nuisances que supporte la population	118
2.3.1.1. les nuisances de congestion lors de travaux courts ou longs	118

USTL

2.3.1.2. la surconsommation de carburant	118
2.3.1.3. la nuisance liée aux bruits	119
2.3.2. Les coûts de transactions inhérents à tout chantier – le coût de transaction	123
2.3.3. Les surcoûts supportés par le service voirie	123
2.3.3.1. les surcoûts en signalisation supplémentaires pour la voirie	123
2.3.3.2. le surcoût dû aux réfections supplémentaires de chaussées	123
2.3.4. Réflexion sur la pertinence de non-inclusion en galerie des EP&EU	124
2.3.5. Conclusion	127
3. AIDE A LA DECISION A BASE MULTICRITERES	128
3.1. Introduction – objectif recherce	128
3.2. Definition	129
3.3. Principes	129
3.4. LES CRITERES DETERMINES	129
3.5. CONCLUSION	131
- CHAPITRE - CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES	
CONCLUSION & PERSPECTIVES	133

#### BIBLIOGRAPIES

Bibliographie citée

Bibliographie normative

#### Bibliographie non citée

#### **ANNEXES**

Annexe 1 : Fiche technique Eau Pluviale

Annexe 2 : Fiche technique Eau Usée

Annexe 3 : Fiche technique Eau Potable

Annexe 4 : Fiche technique Canalisations électriques

Annexe 5 : Fiche technique Eau Pluviale

Annexe 6 : Fiche technique Gaz Combustible

Annexe 7 : Fiche technique Chauffage Urbain

Annexe 8 : Fiche technique Supports

Annexe 9 : Fiche technique Génie Civil

Annexe 10 : Coûts d'installation en pleine terre

Annexe 11 : Coûts d'installation en galerie

Annexe 12 : Représentation des voiries

Annexe 13 : Représentation des solutions en pleine terre

Annexe 14: Dessins techniques

Annexe 15 : Fiche Distances entre réseaux et problèmes techniques causés par les réseaux

### Présentation des acteurs

#### L'Association Nationale de la Recherche Technique ANRT

Le financement de ce travail de recherche, est assuré par une bourse CIFRE 'Convention Industrielle de Formation par la Recherche'.

Une bourse CIFRE est donc une convention qui associe autour d'un projet de recherche, trois partenaires : une entreprise, un laboratoire et un étudiant

Une bourse CIFRE s'adresse aux entreprises qui s'engagent à confier à un jeune diplômé (Bac+5) un travail de recherche en liaison directe avec un laboratoire extérieur.

L'entreprise BMI est le partenaire industriel de cette convention et le LML le laboratoire extérieur.

# L'Université des Sciences et Technologies de Lille USTL – Lille1 et le Laboratoire de Mécanique de Lille LML – UMR CNRS 8107

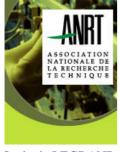
Au niveau recherche, l'USTL c'est :

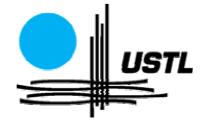
- 9 axes de recherches interdisciplinaires
- 4 écoles doctorales
- et 45 laboratoires de recherche dont le LML

Le LML comporte un effectif de 148 personnes dont 66 enseignants-chercheurs, 10 post-doctorants, 56 doctorants et 16 personnels administratifs. Ses axes de recherches sont :

- mécanique des fluides
- fiabilité mécanique des matériaux et structures
- géomécanique

L'équipe 'Constructions et Aménagement Durable' est rattachée au pôle génie civil de l'axe géomécanique.







#### L'entreprise Béton Moulé Industriel 'BMI'

L'entreprise BMI est spécialisée dans la préfabrication de produits en béton.

Anciennement Béton Sanca, société fondatrice et spécialiste des supports de lignes aériennes, l'entreprise BMI est forte d'une expérience de plus d'un demi-siècle dans la préfabrication en béton et plus particulièrement dans les pylônes électriques et mâts d'éclairage. Elle propose une large gamme de produits allant du pylône électrique (mât paysager) aux cuves vinicoles en passant entre autre par le funéraire et les chambres de tirage.

Les produits phares de l'entreprise sont :

- Les mâts d'éclairage AZULY offrant un nouvel esthétisme pour l'éclairage public.
- Béton Bois Système, élaboré avec des fibres de bois traitées associées à un liant hydraulique ciment, le Béton de Bois, damé en fond de moule, présente une surface de grande porosité garant d'une excellente absorption acoustique.
- Les mâts Bépré, pylônes K2F pouvant atteindre une hauteur de 39.80 mètres
- Etc.

Sans cesse à la recherche de nouveaux produits, l'entreprise BMI s'est investit dans le projet national « Clé de Sol », afin de concevoir un habitacle de galerie « optimisé » permettant de répondre à la majorité des configurations urbaines.

Ce produit se nomme CEVAC, est de forme trapézoïdale et se décline sous 2 dimensions :

- En monobloc, dont les dimensions sont 2.85 mètres de largeur pour 2.80 mètres de hauteur
- En 2 parties, dont les dimensions sont 3.00 mètres de largeur pour 3.25 mètres de hauteur

Le profil CEVAC est étudié dans le cadre de ce travail.

http://www.b-m-i.fr/



#### Le Projet National Clé de Sol

L'entreprise BMI désireuse de proposer à ses clients un habitacle de galerie préfabriqué en béton, s'est investi en tant que partenaire au sein du projet national « Clé de Sol ».

Dans son 'Mémorandum' du 21 juin 2003 adressé aux grands responsables de l'aménagement urbain et du génie civil, le Comité Directeur du Projet National « Clé de Sol » définit ce projet de la manière suivante :

« Clé de Sol » est un Projet National de recherche expérimentale collective du Réseau Génie Civil et Urbain mis en place par les Ministères de l'Equipement et de la Recherche sur le thème du développement des galeries multiréseaux.

L'objectif que se sont assignés les partenaires très variés de Clé de Sol a été de croiser leurs compétences et leurs approches pour répondre aux obstacles qui se dressent immanquablement face aux décideurs et techniciens, lorsqu'ils abordent de tels projets. C'est ainsi qu'est née l'idée concrète d'un guide pratique qui serait une véritable « boîte à outils » à l'usage des décideurs et concepteurs de galeries multiréseaux.

Dans la pratique, Clé de Sol a été, pendant quatre ans, des « chantiers », lieux d'observation et d'expérimentation : Rennes, Lyon, Besançon, Grenoble, Paris Rive-Gauche et Paris – La Défense. Et aussi quatre ateliers permanents sur quatre thèmes :

- Les règles de l'art préconisations techniques –optimisation du dispositif
- Les cindyniques études des dangers, de leurs préventions et du traitement des sinistres
- La socio-économie l'étude de la décision à prendre : réaliser ou ne pas réaliser la galerie ?
- Le partenariat juridico-financier l'étude du montage juridique et financier de la réalisation, si l'on conclut qu'elle était un investissement rentable.

Liste des partenaires du Projet National Clé de Sol au 15 juin 2002 :

- Ville de Besançon
- Ville de Nanterre
- Ville de Rennes
- Communauté Urbaine de Lyon

- SYTRAl: syndicat mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise
- SMTC: syndicat mixte des transports en commun de l'agglomération grenobloise
- RATP : régie autonome des transports parisiens
- Communauté d'agglomération de Grenoble
- Communauté urbaine de Nantes
- Service d'assainissement de la ville de Paris
- SEMAPA: opération Paris rive gauche
- EPAD : établissement public d'aménagement du quartier de la Défense
- SAGEP : société anonyme de gestion des eaux de Paris
- BMI : entreprise Béton Moulé Industriel
- EDF : électricité de France
- GDF : gaz de France
- SNCF : société nationale des chemins de fer français
- VINCI-Concessions
- SCETAUROUTE
- APSYS groupe EADS
- EPUL : Ecole Polytechnique Universitaire de Lille
- AFTES: association française des travaux souterrain
- AGHTM: association générale des hygiéniste et techniciens municipaux
- AITF: association des ingénieurs territoriaux de France
- FSTT : comité français pour les travaux sans tranchée
- Association ESPACE SOUTERRAIN
- CERTU: centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
- Association RESEAU Ile de France

La gestion administrative et financière du Projet est assurée par l'IREX

Les acquis de Clé de Sol à valoriser sont :

La boîte à outils. Elle est opérationnelle, nourrie et testée à partir d'approches thématiques pluridisciplinaires et de travaux en situation réelle (aussi bien du point de vue décisionnel que technique).

Le vivier d'une cinquantaine de personnes-ressources. Venant d'horizons et de spécialités diverses, elles ont appris à travailler ensemble, et une autre cinquantaine sont mobilisables selon leurs compétences, y compris au niveau international. Au total une centaine de personnes, ce qui est peu dans le monde technique mais beaucoup si l'on veut bien tenir compte du réseau solide qu'elles constituent tant que le Projet vit.

La démarche produit. Clé de Sol a adopté dès le départ une « démarche produit ». En d'autres termes il n'était pas question de livrer aux collectivités locales un produit techniquement parfait sans se soucier de tous les aspects de sa réalisation, de sa sécurité, de son exploitation, de son positionnement juridique, de son financement.

Cette démarche a conduit le projet, au-delà de lui même, à l'optimisation de la gestion des réseaux urbains dans le sous-sol urbain. Le résultat de cet effort est toujours positif même s'il n'aboutit pas forcément à la réalisation d'une galerie. Le Projet National a par là bien illustré l'intérêt de l'association des mots « civil » et « urbain » dans le syntagme « génie civil et urbain ».

Dans ce mémorandum, le Comité Directeur avance l'idée de mettre en place *un réseau de compétences « génie urbain souterrain »* dont l'une des missions serait de diffuser les connaissances accumulées par le Projet National, cette diffusion pouvant prendre la forme d'une nouvelle offre de formation dans les IUT et Ecoles d'Ingénieurs.

Clé de Sol s'est doté d'un site Internet, vitrine du projet. L'adresse de ce site et plus particulièrement de l'Extranet, est :

http://www.cledesol.org

## Liste des tableaux et figures

#### LISTE DES TABLEAUX

- Chapitre 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES GALERIES TECHNIQUES MULTIRESEAUX
- **Tableau 1** : Recommandation des écartements minimums entre un réseau d'assainissement et les autres réseaux
- **Tableau 2** : Recommandation des écartements minimums entre un réseau d'eau potable et les autres réseaux
- Tableau 3: Recommandation des écartements minimums entre un réseau de gaz et les autres réseaux
- **Tableau 4** : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de chauffage et les autres réseaux
- **Tableau 5** : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de climatisation et les autres réseaux
- **Tableau 6** : Recommandation des écartements minimums entre une canalisation électrique et les autres réseaux
- **Tableau 7** : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de télécommunication et les autres réseaux
- **Tableau 8** : Tableau récapitulatif des distances minimales demandées par les différents concessionnaires et ce, en parcours parallèle
- **Tableau 9** : Tableau récapitulatif des distances minimales demandées par les différents concessionnaires et ce, en croisement
- Chapitre 2: METHODE DE DIMENSIONNEMENT DE L'HABITACLE
- **Tableau 10**: Avantages et inconvénients de chaque profil
- **Tableau 11** : Recommandations du projet national « Clé de Sol » pour les distances minimales entre réseaux en parcours parallèle
- Chapitre 3: AIDE A LA CONCEPTION
- Tableau 12 : Récapitulatif du tableur financier utilisé
- Tableau 13 : Récapitulatif des ratios de prix pour les supports en galerie
- Tableau 14 : Récapitulatif des profondeurs d'enfouissements des réseaux urbains

Tableau 15 : Distances minimales entre réseaux en pleine terre

**Tableau 16** : Caractéristiques des voiries étudiées

Tableau 17 : Coûts de fabrication des différents profils de galerie

Tableau 18 : Caractéristiques mécaniques des matériaux

Tableau 19 : Nombre d'éléments utilisés pour les différents maillages réalisés

Tableau 20: Tassement maximal normé en surface – cas de référence

Tableau 21 : Efforts maximaux normés dans la galerie – cas de référence

Tableau 22 : Contrainte maximale normée dans la galerie – cas de référence

Tableau 23 : Coûts de fabrication des différentes solutions de galerie

Tableau 24 : Ecarts entre les solutions galerie et la solution de référence

**Tableau 25** : Récapitulatif des différentes solutions visant à réduire le coût d'investissement de la solution galerie

Tableau 26 : Récapitulatif des différentes longueurs de branchements en fonction des types de voirie

Tableau 27 : Résultats économiques de l'étude sur les branchements

#### Chapitre 4: AIDE A LA DECISION

**Tableau 28** : tableau récapitulatif des groupes de coûts et acteurs concernés du projet national « Clé de Sol »

Tableau 29: tableau récapitulatif des coûts unitaires d'exploitation des réseaux

Tableau 30 : tableau récapitulatif des longueurs de réseaux

Tableau 31 : tableau récapitulatif des espérances de vie des réseaux urbains

Tableau 32 : tableau récapitulatif des coûts unitaires de rénovation de réseaux

Tableau 33 : tableau récapitulatif des avantages que procurent les critères pour les différentes solutions techniques

#### LISTE DES FIGURES

- Chapitre 1: Synthese bibliographique sur les galeries techniques multireseaux
- Figure 1 : Historique de la construction de galeries en France
- Figure 2 : Représentation des trois profils les plus couramment rencontrés dans le monde
- Chapitre 2: METHODE DE DIMENSIONNEMENT DE L'HABITACLE
- Figure 3 : Représentation des quatre profils les plus couramment rencontrés
- Figure 4 : Décomposition de la section courante en trois zones
- Figure 5 : représentation de l'encombrement des réseaux les plus contraignants
- Figure 6 : Mise en position du réseau d'assainissement d'eau pluviale
- Figure 7 : Mise en position du réseau d'assainissement d'eau usée
- Figure 8 : Mise en position du réseau d'adduction d'eau potable
- Figure 9 : Mise en position du gabarit de passage
- Figure 10 : Mise en position de la canalisation aller du réseau de chauffage urbain
- Figure 11 : Mise en position de la canalisation retour du réseau de chauffage urbain
- Figure 12 : Mise en position des canalisations électriques BT & HTA
- Figure 13 : Mise en position du réseau de distribution de gaz
- Figure 14 : Mise en position des fourreaux de télécommunication
- Figure 15 : Détermination des dimensions de la section courante
- Figure 16 : Représentation de l'aménagement intérieur pour un profil rectangulaire
- Figure 17 : Représentation des trappes d'accès matériel, cas type tête de réseau
- Figure 18 : Représentation du dépôt de la canalisation du réseau d'assainissement d'eau pluviale
- **Figure 19** : Représentation de l'aménagement intérieur pour un gabarit de passage de 0.90 mètre de large
- **Figure 20**: Représentation de la galerie avec un écartement des canalisations électriques de 0,10 mètre par rapport à la paroi.
- **Figure 21**: Représentation de la galerie avec un gabarit de passage d'une largeur de 0,9 mètres et un piquage en 300 mm à droite sur le réseau d'assainissement EP

**Figure 22** : Représentation de la galerie avec un gabarit de passage agrandi à 1 mètre et avec un piquage à droite sur le réseau d'assainissement EP

- Figure 23 : Représentation d'un branchement à droite sur le réseau de chauffage urbain
- **Figure 24**: Représentation d'un branchement à droite sur le réseau de chauffage urbain en vue de respecter la norme NF X 35-107
- Figure 25 : Représentation finale d'un branchement à droite sur le réseau de chauffage urbain
- **Figure 26** : Représentation d'un branchement sur le réseau de gaz et d'une mise en situation d'une vanne à opercule sur le réseau d'adduction d'eau potable
- Figure 27 : Représentation finale du profil rectangulaire
- Figure 28 : Représentation finale du profil circulaire
- Figure 29 : Représentation finale du profil ovoïde
- Figure 30: Représentation finale du profil trapézoïdal

#### Chapitre 3: AIDE A LA CONCEPTION

- Figure 31 : Représentation de la solution de référence
- Figure 32 : Représentation des dimensions des différents habitacles
- **Figure 33**: Décomposition des coûts de fabrication des profils ovoïde et rectangulaire en solution coulée en place
- Figure 34 : Sollicitation extérieure de type 'chargement routier' sur la galerie
- Figure 35 : Schématisation du cas d'étude
- Figure 36 : Maillages retenus pour une profondeur de 2 mètres
- Figure 37 : Evolution de la contrainte maximale relative pour les différentes simulations
- Figure 38 : Représentations des différentes solutions de galerie étudiées
- Figure 39 : Représentation des postes de réalisation d'une galerie
- Figure 40 : Représentation d'un piquage vers la droite sur le réseau de chauffage urbain
- Figure 41 : Représentation de la galerie sans la canalisation d'eau pluviale
- Figure 42 : Représentation de la galerie sans les canalisations d'assainissement
- Figure 43 : Représentation de la galerie sans les canalisations de chauffage urbain
- **Figure 44** : Décomposition des coûts d'investissement en différents postes avec pose des canalisations de chauffage en et hors habitacle
- Figure 45 : Représentation de la galerie sans les canalisations électriques
- Figure 46 : Représentation de la galerie étudiée pour les branchements

**Figure 47** : Représentation de la solution technique, canalisations de branchements hébergées dans une galerie

- Figure 48 : Représentation de la solution technique, branchements riverains enfouis
- **Figure 49** : Représentation de la solution technique, canalisations de branchements hébergés dans un caniveau technique non-visitable
- **Figure 50** : Représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchement sont en galerie et certaines en pleine terre
- **Figure 51** : Représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchements sont en galerie et certaines en caniveau technique non-visitable
- **Figure 52**: Représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchements sont enfouies et le chauffage urbain en caniveau technique non visitable
- **Figure 53**: Représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchements sont en galerie, le chauffage urbain est en caniveau et certains branchements ultérieurs enfouis
- Figure 54 : Représentation de la méthode des branchements droits
- Figure 55 : Représentation de la méthode de branchements en râteau
- Figure 56 : Représentation de l'intérêt de la solution râteau
- Figure 57 : Représentation de la solution de branchement par galerie
- Figure 58 : Représentation de la solution de branchement par caniveau
- Figure 59 : Représentation du caniveau de branchement du chauffage urbain
- Figure 60 : Comportement économique lors d'une variation du nombre de branchements par râteau

#### Chapitre 4: AIDE A LA DECISION

Figure 61 : Représentation de la solution galerie étudiée

## Chapitre 1

# Synthèse bibliographique sur les galeries techniques multiréseaux

#### - Chapitre 1 -

# SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES GALERIES TECHNIQUES MULTIRESEAUX

#### 1. Introduction

Les réseaux urbains sont nécessaires au cadre de vie de notre société. Bien que cachés, ils nous apportent de l'eau potable jusqu'à nos robinets, du gaz jusqu'à nos chaudières et fours, etc. Ils acheminent également nos eaux usées jusqu'à une station d'épuration et drainent le plus rapidement possible l'eau pluviale afin d'éviter tout inondation. Ils sont donc nécessaires et obligatoires à au développement de toute société.

Mais les réseaux techniques urbains, ce sont avant tous des matériaux et matériels. Il est donc normal qu'ils s'usent au cours du temps. Cette usure se traduit par l'apparition de fuite, de rupture de canalisation, de combustion, d'encrassage, .... Un entretien régulier est donc nécessaire pour leur assurer un fonctionnement optimum et un service de qualité.

Le traitement technique des réseaux urbains s'effectue sous l'appellation VRD (Voiries Réseaux Divers) puisque ce terme désigne l'ensemble des équipements qui desservent une construction ou un nouveau quartier (Ministère de l'Equipement, 1992).

La solution technique la plus fréquemment rencontrée pour réaliser l'implantation des réseaux urbains dans un projet de VRD, est la solution par réseaux enterrés à même le sol.

Une autre solution est l'emploi de galerie technique multiréseaux. Une galerie multiréseaux est un ouvrage souterrain de type tunnel, hébergeant les réseaux techniques urbains et dans lequel peut y circuler et travailler du personnel d'entretien. Cette solution permet donc de gérer les réseaux urbains et s'intègre également sous la rubrique des VRD.

Nous sommes donc en présence de deux solutions techniques présentant toutes deux des avantages et inconvénients.

Les VRD se doivent de créer un cadre de vie le mieux adapté à l'attente des habitants (Karsenty, 2004). Cela passe par une livraison optimisée des fluides, des énergies et des télécommunications mais également par l'amélioration de la vie quotidienne des riverains. Cette amélioration de la vie quotidienne passe par une prise en compte d'un l'ensemble des critères, tel que le développement durable.

Les galeries multiréseaux peuvent y aider. En effet, l'avantage d'être visitable, permet de réduire les nuisances sonores, visuels, les risques d'accident, les embouteillages dus aux travaux sur voirie dans le cadre d'une intervention sur un réseau par exemple. Elles prennent donc en compte les contextes humain et technique.

L'image d'un quartier et sa qualité de vie dépendent en grande partie de l'usage que l'on fait de ses espaces libres. L'amélioration de la qualité de vie d'un quartier, passe donc également par une meilleure gestion de son sous-sol. Les galeries prennent également en compte le contexte paysager, car elle concentre sur un volume réduit, l'ensemble des réseaux. Cette concentration permet de réduire le volume souterrain occupé. Cet espace libéré permet de respecter plus facilement un projet architectural, comme l'implantation d'arbres le long d'une voirie, etc.

Mais les VRD doivent aussi prendre en compte le contexte économique (Ministère de l'Equipement, 1992). Il est obligatoire de contrôler et de maîtriser les conséquences financières d'un projet d'urbanisation. Sur ce point la galerie est moins compétitive, car la réalisation de l'habitacle, le plus généralement en béton armé a un certain coût auquel s'ajoute le coût de pose des réseaux.

Une solution galerie dispose donc de sérieux avantages mais est onéreuse.

Comme l'objectif de ce travail de thèse est d'essayer d'apporter des solutions techniques afin de développer l'utilisation des galeries multiréseaux, il est primordial de mieux connaître leurs avantages et inconvénients. C'est le principal objectif de ce chapitre, présenter les différentes réalisations de galeries à travers le monde et référencer les problèmes et difficultés qu'elles engendrent et auxquelles la collectivité doit faire face.

Ce chapitre à également pour objectif, de présenter une synthèse bibliographique sur les réseaux techniques urbains et plus particulièrement leurs modes de pose en galerie.

Dans le but de ne pas surcharger inutilement ce mémoire, le lecteur trouvera l'ensemble des recommandations de pose relatives aux différents réseaux, dans l'ensemble des fiches techniques présentées en annexe, de 1à 8.

Il n'est pas pour objectif ici non plus, d'expliquer les techniques de mise en situation ou de pose applicable à la solution par réseaux enfouis. Le lecteur trouvera facilement une large bibliographie traitant de ces techniques comme par exemple (Ministère de l'Equipement, 1992), (Karsenty, 2004), (STU, 1986), (Bayon, 1991).

#### 2. LES GALERIES MULTIRESEAUX

#### 2.1. DEFINITIONS

Il existe une multitude de définitions pour décrire cette technique qui dans le monde peut se reconnaître sous le terme :

- utility tunnels ou utilidors en anglais,
- galerias de servicios ou galerias tecnicas en espagnol,
- leitungstunnel en allemand,
- Galerie technique, galerie technique visitable, réseaux visitables, galerie multiréseaux ou galerie technique multiréseaux en français.

La première définition remonte à 1976. Elle fut proposée par Jean-Jacques Navarro, dans son rapport général sur les réseaux visitables. Elle se présente de la manière suivante (Navarro & Al., 1976): « Les différents systèmes facilitant l'exploitation, l'entretien, la réparation ou le renforcement de l'un des réseaux, avec le minimum de dégradation ou de gêne apportée aux autres réseaux, à l'environnement (voirie, trottoirs, plantations, espaces libres ...), aux gestionnaires dans leurs interventions, ainsi qu'au public dans l'exercice de ses différentes activités. Le plus connu est la galerie technique, regroupant tous les réseaux, à l'intérieur de laquelle les ouvriers peuvent se déplacer ».

En 1977, l'ingénieur principal des ponts et Chaussée de la Direction des Routes de Bruxelles-Capitale, Willy De Lathauwer, proposait (De Lathauwer, 1977) : « Une galerie visitable est un tunnel dans lequel se posent les câbles et tuyaux tout en laissant un volume libre suffisant pour la circulation des équipes de pose ou d'entretien ».

Au début des années 80, lorsque la ville de Bâle (Suisse) décida de se doter de galeries multiréseaux, les équipes techniques du Canton de Bâle proposèrent la définition suivante (Podevin, 1998) : « Le terme de galerie multiréseaux désigne des galeries visitables dans lesquelles on peut installer des conduites pour des services publics, tels que les télécommunications, la distribution des eaux ou d'autres services publics ou privés ».

Le Service Technique de l'Urbanisme 'STU' proposa en 1987 la définition suivante (STU, 1987) : « Une galerie technique visitable est une construction souterraine acheminant divers fluides au moyen d'une ou plusieurs conduites représentant différents niveaux hiérarchiques de distribution et dans laquelle sont aménagés un ou plusieurs couloirs de service permettant le montage, ainsi que les travaux ultérieurs de contrôle, d'exploitation, d'entretien et de réparation, mais aussi de raccordements ou aménagements éventuels ».

L'Association suisse de Normalisation, la SVN, propose la définition suivante pour les galeries techniques multiréseaux (SVN, 1997) : « Les galeries techniques visitables sont des constructions souterraines abritant un ou le plus souvent plusieurs conduits de divers réseaux , à différents niveaux hiérarchiques de distribution. Les galeries techniques visitables comportent un ou plusieurs couloirs de service permettant les travaux de montage ainsi que les opérations ultérieures de contrôle,

d'entretien et de réparation. Une galerie que l'on peut parcourir debout doit présenter une hauteur libre intérieure d'au moins 1,90 mètre et une largeur minimale de 0,7 mètre ».

La définition du dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement est la suivante (Merlin, 1988) : « Les bordures de caniveaux techniques sont une solution économique et esthétique pour la mise en place de réseaux câblés. Les éléments sont préfabriqués en béton, recouverts de dalles scellées, à l'exception des points de visite (branchements ou traversées de rue); l'intérieur est formé de deux ou trois alvéoles sur lesquelles sont posés les câbles. Ces éléments larges de 40 à 50 cm, font office de bordure de trottoirs pouvant recueillir les eaux de ruissellement. Les réseaux d'eau potable et de gaz peuvent s'inclure dans une galerie préfabriquée adjacente. .... La galerie technique visitable est beaucoup plus imposante : haute de 2,50 mètres, large de 1,50 mètre, préfabriquée, elle reçoit l'ensemble des réseaux et réduit ainsi les gênes occasionnées par les travaux de mise en place et de réparation. Elle implique une très étroite collaboration entre ingénieurs de tous réseaux et aménageurs. Son coût généralisé est nettement plus réduit. Seuls les blocages institutionnels et l'absence de coordination entre intervenants limitent son application prônée déjà par Haussmann. Le fond est occupé par la canalisation d'eau pluviale, recouverte d'une dalle plancher. Les conduites d'eau potable et d'eau usée se situent de part et d'autre, posée sur radier. Les autres conduits reposent sur des consoles plaquées au mur. La galerie technique allonge la durée de vie d'un réseau de 30 à 50% ».

La dernière définition que nous présenterons ici, provient du projet national 'Clé de Sol' en 1997, lors de son montage. Elle se présente de la manière suivante (Clé de Sol, 1997) : « Le terme galerie multiréseaux est un concept fonctionnel visant à regrouper les réseaux de fluides, d'énergie et d'informations dans un espace commun, afin d'abord de réduire le volume qu'ils occupent dans leurs ensemble, puis de mieux les surveiller, les contrôler, les tester, les entretenir et les réparer avec le minimum de dommage pour l'environnement ».

#### 2.2. LE CONCEPT DES GALERIES TECHNIQUES MULTIRESEAUX

Une galerie est un tunnel hébergeant des réseaux techniques urbains et est donc par définition, visitable. En effet, la définition du STU (STU, 1987) introduit le principe de couloir de service et l'association suisse de normalisation avance même des dimensions minimales à respecter afin de permettre le déplacement dans l'habitacle (SVN, 1997). Dans son article, Julian Canto-Perello propose même une section minimale permettant le déplacement humain et l'accessibilité aux réseaux dans une galerie (Canto-Perello, 2001). Cette section se présente sous la forme d'un trapèze, d'une hauteur de 1,90 mètre, d'une base de 0,40 mètre et d'un sommet de 0,60 mètre.

Le projet national "Clé de Sol" quant à lui, émet l'hypothèse qu'une galerie multiréseaux peut prendre plusieurs formes, du caniveau technique dallé à la véritable galerie technique visitable, car l'aspect de 'visatabilité' ne s'avère pas être systématiquement obligatoire, l'accessibilité peut suffire (Clé de Sol, 2004).

Un caniveau technique n'est pas une galerie car il ne faut justement pas confondre accessibilité et visitabilité. La définition du dictionnaire de l'urbanisme avance l'idée d'une augmentation de la durée de vie des réseaux allant de 30 à 50% (Merlin, 1988). C'est bien parce que la galerie est visitable, que la durée de vie peut être accrue. Cet accroissement de l'espérance de vie s'obtient par la mise en place par l'ensemble des concessionnaires, de visites régulières de surveillance de l'état physique de leurs réseaux. Permettre l'accessibilité aux réseaux, n'entraîne pas obligatoirement la possibilité de visualiser leurs états mais simplement en faciliter l'accès vis-à-vis de la pleine terre en cas de problème.

Si l'on considère qu'un caniveau technique est une galerie, que seul l'accessibilité est autorisé, il se peut que cet ouvrage soit tout simplement délaissé. Il est essentiel pour le confort des intervenants dans une galerie, de leur assurer un espace libre suffisant pour effectuer leurs travaux sans les obliger à devenir contorsionnistes.

Une galerie multiréseaux c'est donc un tunnel visitable, hébergeant des réseaux techniques urbains et sa position géographique se situe dans la majorité des cas, sous voirie.

Il existe cependant des galeries se trouvant sous les fondations d'immeubles (cas de Grenoble) ou accolées à des parkings de centres commerciaux (cas de Rennes).

#### 2.3. LES AVANTAGES D'UNE GALERIE MULTIRESEAUX

Dans son rapport, Christophe Podevin présente les avantages d'une utilisation de galerie en deux sous-groupes, affectant les avantages pour les réseaux et pour le sous-sol et l'environnement (Podevin, 1998):

Avantages pour les réseaux :

- Accessibilité permanente et en toute saison aux réseaux,
- Maîtrise de la gestion des réseaux et maîtrise de l'occupation du sous-sol,
- Organisation structurée des réseaux dans un volume réduit,
- Possibilité offerte de superposer les réseaux, d'où économies et gains de place en sous-sol,
- Concentration de la plupart des réseaux dans une enveloppe bien déterminée, géographiquement et géométriquement connue de tous, avec l'élaboration plus simple et plus sûre de plans de recollement, indiquant plus précisément la position des vannes, des branchements et des autres éléments essentiels,
- Possibilité offerte de disposer de banques de données précises, complètes et sûres, outils essentiels pour les systèmes d'informations géographiques (SIG), archivage sûr et efficace,
- Réduction des temps de travaux et d'interventions, et en conséquence du coût de la main d'œuvre. Selon une étude de 1976, la moitié du temps d'ouverture d'une tranchée était lié à l'incertitude sur l'emplacement exact des canalisations,
- Sécurité des réseaux, suppression quasi-totale des risques d'incidents sur réseaux en cas de fouilles et de travaux génie civil. Le propre d'un réseau est d'assurer un service, or toute

défaillance est ressentie par les usagers comme atteinte plus ou moins grave selon la durée, l'importance et la fréquence de l'incident,

- Protection des réseaux faces aux effets des terrassements,
- Contrôle et coordination des interventions des concessionnaires et des délégataires de services,
- Facilités d'entretien et d'accès, à la fréquence souhaitée par chaque délégataire, sans risques pour les autres réseaux. Suivi de l'état et de la qualité des réseaux,
- Souplesse de mise en place progressive des réseaux selon les besoins qui apparaissent au fur et à mesure de l'avancement des aménagements, sans réouverture de chaussée. Accueil de nouveaux délégataires et de nouveaux réseaux sans travaux supplémentaires,
- Evolutivité des réseaux. Possibilité offerte de remplacer certains tronçons de réseaux par de nouveaux éléments, sans être contraint de procéder à de longues et coûteuses fouilles et sans perturber ni l'environnement, ni les autres délégataires,
- Site propre avec souplesse d'évolution d'aménagement intérieur.

#### Avantages pour le sous-sol et l'environnement :

- Rationalisation de l'utilisation du sous-sol par l'obligation de réflexion et de concertation entre les urbanistes, les ingénieurs réseaux, les architectes, les bureaux d'études VRD, etc.,
- Préservation de place importante pour les plantations en pleine terre,
- Vieillissement meilleur de la chaussée par réduction notable des percées sur voirie entraînant une nette diminution de la durée de vie du revêtement (remblais et tassement imparfaits, multiplications de rustines, etc.),
- Suppression d'un nombre important des émergences des réseaux enterrés : chambre de tirage, regards de visite, tampons, etc.,
- Qualité et confort de l'espace urbain pour les citadins qui voient avec bonheur le nombre de chaussées éventrées périodiquement se réduire considérablement, et suppression des gênes engendrés pour les usagers de la voirie et pour les riverains.

#### 2.4. Les avantages d'une solution pleine terre

La solution de référence dispose de trois principaux avantages que sont :

- Technique de pose parfaitement maîtrisée et ancrée dans les mœurs,
- Excellent rapport qualité/prix,
- Réalisation technique rapide.

#### 2.5. LES INCONVENIENTS D'UNE SOLUTION PLEINE TERRE

La solution classique par réseaux enfouis, présente de nombreux et fréquents problèmes techniques suivants que l'on peut mettre à profit pour les galeries (Podevin, 1998) :

- Les réseaux ne peuvent être visités et entretenus facilement, éventrer la voirie est le seul moyen d'y accéder,
- Lors d'incidents techniques sur un réseau, la cause ne peut être localisée facilement et oblige le plus souvent à une ouverture de chaussée sur un grand linéaire,
- Toute modification ou tout besoin supplémentaire nécessite de creuser de nouvelles fouilles,
- De fréquents incidents rendent vulnérables les réseaux. Ces incidents se produisent lors de fouilles diverses, dues à la proximité des réseaux et à la mauvaise connaissance de leurs emplacements exacts (en moyenne un incident par kilomètre et par an),
- Les conditions météorologiques ont une grande incidence pour tous les travaux en fouilles en ce qui concerne la qualité et le délai de l'intervention,
- L'ouverture des chaussées et trottoirs occasionne des désagréments fréquents pour les usagers (gênes de la circulation, nuisances sonores, poussières, boues). Le coût de la moindre modification est élevé et, après travaux, l'aspect des chaussées et des trottoirs est fort peu esthétique et le revêtement routier prend un rendu inconfortable, du fait de multiplication des rustines,
- Tout l'espace sous la chaussée est occupé par les nappes des réseaux déployés, car on ne peut quasiment pas superposer les réseaux. Ainsi la surface occupée s'accroît considérablement vite avec le nombre de réseaux en présence, ce qui rend très difficile et très coûteuse l'implantation d'ouvrages nouveaux sous voirie,
- Les petits problèmes sur les réseaux (fuite légère par exemple), créant des pertes, sont invisibles, mais cependant bien présents malgré tout. La réalité est cachée.

#### 2.6. LES INCONVENIENTS D'UNE SOLUTION GALERIE MULTIRESEAUX

Une galerie multiréseaux présente de sérieux avantages par rapport à une solution par réseaux enfouis mais la construction de ce type d'ouvrage se heurte à trois types de difficultés pouvant être de véritables freins à leur développement (Clé de Sol, 1997), ce sont :

- Les difficultés d'ordre technique,
- Les difficultés administratives, juridiques et partenariales,
- Les difficultés financières.

#### Les difficultés d'ordre technique

Cette désignation regroupe toutes les difficultés que vont rencontrer l'ensemble des acteurs techniques de la construction, pour réussir à faire cohabiter leurs réseaux dans un espace restreint. Il y

a aujourd'hui encore, un vide juridique au niveau de l'installation des réseaux en galerie. C'est une des raisons qui empêche les collectivités locales et les aménageurs à employer de manière plus significative cette technique.

Les difficultés d'ordre technique peuvent être également des difficultés logistiques de déplacements de réseaux lors des travaux de réalisation de la galerie. Dans le cas d'une création de galerie en site urbain habité, il est primordial de ne pas interrompre la livraison de fluides ou d'énergies vers les habitations. Le déplacement de réseaux devient extrêmement problématique dans le cas d'une voirie de faible largeur. En effet, le terrassement pour réaliser l'habitacle est un gros consommateur d'espace et il faut également tenir compte des rotations des camions de chantier (Gautier & Al., 1977).

La présence de certains réseaux, comme le gaz ou le chauffage urbain, peut entraîner l'obligation de mettre en place des systèmes de sécurité afin d'assurer une protection optimale aux ouvriers travaillant dans la galerie (Tardy & Al., 1992).

Mais le principal défaut technique d'une galerie multiréseaux, c'est l'obligation de créer un habitacle le plus généralement en béton. Cette réalisation est onéreuse et c'est elle qui engendre l'écart de coût entre une solution galerie et une solution pleine terre.

#### Les difficultés d'ordre administratives, juridiques et partenariales

Ce terme regroupe les difficultés de gestion ultérieure de l'ouvrage et l'art de faire participer les concessionnaires aux dépenses d'investissement et de fonctionnement. Les collectivités ne connaissent pas exactement l'étendu de leur droit à obliger un concessionnaire à être impacté dans un projet de galerie et ainsi participer financièrement à la réalisation de cet ouvrage. Dans ce lourd travail de négociations entre les collectivités locale et les concessionnaires, le déséquilibre des forces est à l'avantage des grands groupes. En effet, ces organismes disposent d'experts juridiques parfaitement rodés à ce genre de négociations, alors que les services techniques sont moins aptes à défendre leurs droits.

Les difficultés d'ordre partenariales sont issues du grand nombre d'acteurs concernés par un projet de galerie. La gestion généralement non maîtrisée par les collectivités, des délégataires de service public et des concessionnaires, les refrène à utiliser cette technique. La réciproque est vraie également. En effet, l'obligation de s'adresser à une multitude de services de la collectivité pour intervenir sur leurs réseaux, limite la réactivité. Ce qui entraîne une certaine défiance des grands groupes envers ce style d'organisation.

#### Les difficultés d'ordre financières

Le principal défaut d'une galerie, c'est son lourd coût d'investissement par rapport à la solution par réseaux enfouis. Cette catégorie de difficultés est transversale avec la précédente. En effet, c'est bien parce qu'il a des difficultés de négociations entre les différents concessionnaires de réseaux et les collectivité locales, qu'il existe des difficultés à financer ce type d'infrastructure.

Afin de résoudre ces difficultés économiques, des études et réflexions sont actuellement en cours afin d'obliger l'ensemble des concessionnaires, délégataires et autres opérateurs, à participer financièrement à ce type de projet. Comme l'écrit Jean-Christophe Gautier dans son article paru dans TSM (Gautier & Al., 1977) : « La galerie multiréseaux semble toutefois être la solution de l'avenir car les difficultés techniques ne sont pas insurmontables, quant aux difficultés d'ordre financier, il faudra bien qu'un jour soit pris en compte le coût des préjudices subis lors de l'ouverture des tranchées dans le domaine public et le coût de la réduction de moitié de la durée de vie des réseaux ».

Le maître d'ouvrage d'une galerie est généralement la collectivité locale. Elle peut dans certain cas déléguer cette maîtrise d'ouvrage à une société privée d'équipement et ainsi en laisser la gestion et l'exploitation. Cet exploitant aurait donc la charge de gérer la multiplicité des acteurs et l'entretien de l'ouvrage.

La réalisation d'une galerie passe obligatoirement par une recherche de solutions en vue de traiter toutes ces difficultés. Le travail est considérable et il est compréhensible que la solution galerie ne soit que très rarement retenue par les collectivités, et que les différents concessionnaires soient fortement réticents.

Le chapitre suivant présente un état des lieux de l'utilisation des galeries dans le monde et nous verrons qu'elles restent, sauf dans certaines villes, des ouvrages relativement ponctuels.

# 2.7. L'HISTORIQUE DES GALERIES MULTIRESEAUX

Les galeries multiréseaux ne sont pas une idée neuve, même si les premières réalisations furent assez modestes (Encarta, 1997), (Hachette, 2001).

En effet, l'un des premiers ouvrages de cette catégorie remonte VI<sup>ème</sup> siècle avant J.C., sur l'île de Samos au large de la Grèce (île où vit le jour Pythagore). L'ingénieur grec Eupalinos, sous l'ordre direct du tyran Polycrate (vers 533-522 avant J-C), conçu et réalisa un canal souterrain, que l'on nomme le tunnel d'Eupalinos, long d'environ 1Km et servant à alimenter la ville de Tigani (rebaptisée Pythagorio vers 1955) en eau potable. Ce canal d'une hauteur moyenne de 2 mètres, accueillait une petite conduite d'adduction d'eau potable servant à séparer les eaux des habitants et du palais.

Pratiquement à la même époque, Lucius Tarquin l'Ancien (616 et 579 avant J.C.), cinquième Roi de Rome, fit réaliser la 'Cloaca Maxima'. Cet ouvrage destiné à évacuer les eaux usées de Rome, accueillait des canalisations d'eau potable.

Il fallut attendre le XIXème siècle, pour voir la réalisation de nouvelles galeries multiréseaux. Cette initiative, nous la devons au Préfet de la Seine, au Baron Georges Haussmann et à l'ingénieur Belgrand, qui équipèrent la ville de Paris d'un véritable réseau d'égouts équipé de canalisations d'eau potable. La grande qualité de fabrication de ses ouvrages, permet aujourd'hui encore de les avoir pleinement opérationnels.

A la même époque, les mêmes styles de travaux furent entrepris dans la ville de Londres.

Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, vers les années 1920, la ville de Moscou élabora un réseau de galerie structuré.

Ce sont les plus anciennes réalisations aujourd'hui connues.

La plupart des galeries contemporaines furent construites vers la fin des années 1950. Il en existe bon nombre, aux quatre coins de la terre. Il est difficile de les quantifier, car ces réalisations sont souvent des cas isolés, de longueurs relativement faibles, répondant à des besoins particuliers ponctuels et donc ne s'intégrant pas obligatoirement dans un schéma d'ensemble.

# 2.8. LA PLACE CONTEMPORAINE DES GALERIES MULTIRESEAUX EN SITE URBAIN

Nous ne prétendons pas dresser une liste exhaustive de l'ensemble des galeries urbaines dans le monde. Nous ne présenterons ici que les points forts pour quelques-unes de ces créations.

Cette présentation a pour but de présenter les principales formes utilisées d'habitacle et les réseaux hébergés les plus fréquemment rencontrés.

#### 2.8.1. *En France*

La plupart des galeries urbaines construites en France ont été réalisées dans une période favorable pour la construction, entre le début des années 1960 et le milieu des années 1970. La figure 1 présente l'historique de construction de quelques galeries françaises.

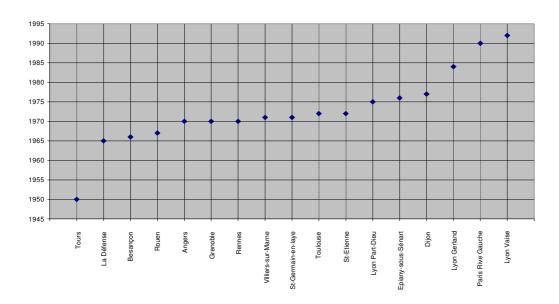


Figure 1 : Historique de la construction de galeries en France.

Les principales réalisations sont :

 Angers, construite dans la ZUP de la Roseray dans les années 1970 et alimentant le quartier "Village d'Anjou". C'est une galerie voûtée et étroite, d'une largeur de 1,30 mètre et une hauteur libre de 1,85 mètre, comportant des réseaux d'eau potable, d'eau pluviale, eau usée, de chauffage urbain, de télécommunication et d'électricité. C'est un ouvrage ponctuel.

• Besançon est équipé d'un ensemble cohérent de galerie pour une longueur totale de 12 km. La création de cet ensemble a commencé dès 1966 lors de l'aménagement du quartier neuf de la Planoise. L'habitacle est un ovoïde de type égout à banquette d'une hauteur totale de 2,70 mètres et d'une largeur de 1,80 mètre et hébergeant un réseau de chauffage urbain, un réseau d'eau potable, des conduites électriques et de télécommunications. Cette galerie sert également de décharge au réseau d'eau pluviale en cas d'événement pluvieux trop important. Elle peut donc dans certaines conditions être inondée (SAVB).

- Epinay sous Sénart, réalisée au Clos Guillaume au Val d'Yerres. Cette galerie de forme ovoïde, longue de 2km, d'une largeur totale et d'une hauteur intérieure de 2 mètres fut construite en 1976. Elle héberge les réseaux de type assainissement séparatif, eau potable, électricité, éclairage public, télécommunication et chauffage.
- **Grenoble** dans le quartier de la Villeneuve, sous les bâtiments du quartier de l'Arlequin. Elle fut construite en 1970 et est de forme rectangulaire. Elle est longue de 1500 mètres, large de 4,50 mètre et haute de 3,20 mètres. Elle héberge les réseaux de type assainissement en séparatif, eau potable, électricité, télévision, télécommunication et un réseau de collecte d'ordures ménagères (Damato, 2000) (SMTC, 2001).
- Lyon Gerland, construite en 1984 dans la ZAC du quartier Central de Gerland, sous les bâtiments de l'Ecole Normale Supérieur. C'est un ouvrage ponctuel car elle ne mesure que 4,80 mètres de long, de forme rectangulaire de 2,20 mètres de large pour 2,70 mètres de haut. Elle héberge des réseaux de type assainissement unitaire, eau potable, chauffage urbain, télécommunications, électricité.
- Paris. Cette ville comporte prés de 1600 km d'égouts visitables type haussmanniens qui
  assurent le rôle de galeries. Ils peuvent être de forme ovoïde pour les petites sections et
  rectangulaire pour les grands collecteurs. Elles servent de collecteurs d'assainissement
  et hébergent les réseaux de type eau potable, eau non potable, réseau pneumatique de
  transport monétaire, électricité, télécommunications et quelque fois le chauffage urbain
  (Constant, 1995), (Mauguen, 1989).
- Paris ZAC Rive Gauche. Cette ensemble de galeries comprend trois parties. Une galerie sous le quai de la gare de François Mauriac, une autre sous la rue de Tolbiac et la dernière sous le boulevard Vincent Auriol. La principale galerie, celle du quai de la gare comporte trois niveaux et est d'une longueur de 700 mètres. Les deux autres mesure 200 mètres. Elles sont toutes de forme rectangulaire. Elles hébergent les réseaux de type eau potable, électricité, chauffage urbain, climatisations de la RATP, assainissement en séparatif.
- Paris la Défense. L'ensemble de galeries représente plus de 12 km d'ouvrage. Elles sont de forme semi-circulaire, d'un diamètre intérieur de 3,60 mètres. Elles hébergent un réseau d'eau potable de diamètre 1000mm, un réseau de gaz, des canalisations électriques, des télécommunications et des conduites de climatisations.
- Rennes. La galerie du Colombier fut construite dans les années 1970, dans le cadre d'une opération de rénovation urbaine comprenant un centre commercial. Son

originalité tient dans le fait qu'elle est intégrée dans le volume des parkings souterrains du centre commercial. Elle est donc sur deux niveaux, l'un de 550 mètres et l'autre de 850 mètres et est de forme rectangulaire de 3,45 mètres de large pour 3,50 de haut. Elle héberge les réseaux de type chauffage urbain, assainissement unitaire, électricité, eau potable et télécommunication (Raoul, 2001) (Février & Al., 2000).

Les autres villes possédant des galeries sont :

- Blois
- Bures Orsay
- Châlon en Champagne
- Dijon
- Lyon
- Lyon Part Dieu
- Lyon Vayse
- Marne la Vallée
- Metz
- Montpellier
- Montrouge
- Palaiseau
- Pantin
- Paris les Halles
- Paris ZAC Gobelins
- Paris le Louvre
- Paris Parc des Princes
- Pau
- Rouen
- Saint Etienne
- Saint Germain en Laye
- Toulouse
- Tours
- Vernon Village
- Villiers sur Marne

Il existe aussi des créations de galeries françaises dans des lieux publics tels que l'Université des Sciences et Technologies de Lille, l'aéroport de Roissy, l'aéroport de Bâle Mulhouse ou encore la majorité des gares SNCF.

Hormis Paris et Besançon, l'ensemble des réalisations françaises sont des ouvrages ponctuels et ne s'intègrent pas dans un schéma d'ensemble.

La forme géométrique qui ressort le plus, est sans conteste la forme ovoïde. La forme rectangulaire est également très présente.

#### 2.8.2. Dans le reste du monde

Les principales réalisations dans le reste du monde sont :

- Barcelone (Espagne), possède un véritable réseau de galeries de transport ceinturant la ville. La longueur totale de ces ouvrages atteint 28km. Elles sont fabriquées à partir de profilés rectangulaires d'une section de 2 mètres de large pour 2,5 mètres de haut. Elles hébergent des réseaux de type eau potable, canalisations électrique, les télécommunications (Garcia-Bragado & Al., 1990), (IMPU, 1992), (Magrazo, 1992), (Riera & Al., 1992).
- Berlin (Allemagne), dispose environ de 6km de galeries et continue aujourd'hui encore
  à en construire. Ces galeries sont soit en profilé rectangulaire, soit en profilé circulaire.
  Elles hébergent essentiellement des réseaux de télécommunications et des canalisations
  électriques.
- **Bruxelles** (Belgique), est équipée au total de 1400 mètres de galeries. Elles furent réalisées en 1976 en vue d'héberger uniquement les réseaux de télécommunications. Elles sont de forme rectangulaire (De Lathauwer, 1977).
- Cape Lisburne (Alaska USA),
- Chicago (USA), construites au début du XX<sup>éme</sup> siècle. Elles furent construites à l'origine pour l'usage des réseaux téléphoniques. Elles sont de forme ovoïde (Hillebrenner & Al., 1996).
- Copenhague (Danemark), dispose d'une galerie longue de 1.6 km qui fut construite dans le milieu des années 1980. Cette galerie est de forme circulaire et fut créée à l'origine pour le réseau de chauffage. Elle est profonde à certains endroits de près de 35 mètres.
- Fairbanks (Alaska USA). Cette municipalité du nord de l'Amérique, construisit des galeries pour protéger les réseaux d'assainissement et d'eau potable du gel. Il existe peu d'information à ce sujet car cette ville est essentiellement construite autour d'installations militaires.
- **Helsinki** (Finlande). Cette ville est riche en galeries de transport puisqu'elle en dispose de plus de 200km, toutes construites après les années 1960. Le plus long tronçon mesure jusqu'à 22km. Elles sont toutes équipées d'une voûte et très profonde, entre 30

et 80 mètres sous la surface du sol. Elles hébergent les réseaux de type chauffage urbain, eau potable, canalisations électriques et télécommunications.

- Londres (Grande-Bretagne). Les galeries londoniennes, sont parmi les plus anciennes du monde avec celle de Paris. Elles sont de forme ovoïde comparable aux égouts parisien et accueillent les réseaux de type eau potable, électricité, télécommunications et gaz.
- Lugano (Suisse), dispose d'un réseau structuré de 4 galeries circulaires, d'une longueur totale de 10 km. Elles furent construites dès 1963. Elles accueillent les réseaux de type assainissement, canalisations électriques et télécommunications. Très prochainement, la ville de Lugano devrait construire à l'aide d'un tunnelier de 3,5 mètres de diamètre, deux nouvelles galeries, dont l'une servirait au contournement nord de la ville (Lombardi, 1997).
- Moscou (Russie). Il y a un manque évident d'informations sure les galeries de Moscou.
  Elle posséderait un maillage important avec plus de 100 km de galeries rectangulaires
  fabriquées à partir des années 1920. Le profilé type est de 3,00 mètres de hauteur pour
  2,00 mètres de largeur. Elles hébergent l'ensemble des réseaux techniques urbains y
  compris le gaz.
- New-York (USA), dispose de galeries circulaires et rectangulaires. Il existe peut d'informations à leurs sujets, sauf que les réseaux de fluides sont suspendus au plafond de l'habitacle (Voisembert, 1987).

Les autres villes possédant des galeries sont :

- Anvers (Belgique), construite en 1969,
- Athènes (Grèce),
- Bâle (Suisse), construites au début des années 1980,
- Bolzano (Italie),
- Bratislava (Slovaquie),
- Fukuoka (Japon),
- Genève (Suisse),
- Hambourg (Allemagne),
- Kawasaki (Japon),
- Kiev (Russie),
- Kobe (Japon),
- Kyoto (Japon),
- Lisbonne (Portugal),
- Nome (Alaska),

- Madrid (Espagne),
- Nagoya (Japon),
- Okayama (Japon),
- Osaka (Japon),
- Oslo (Norvège),
- Prague (République Tchèque),
- Rome (Italie),
- Seattle (USA),
- Sapporo (Japon),
- Tokyo (Japon),
- Ulm (Allemagne),
- Valence (Espagne),
- Vienne (Autriche),
- Yokohama (Japon),
- Zurich (Suisse).

Il y a peu de littérature concernant les constructions de galeries au Japon. Cependant, nous constatons que cette technique est très utilisée dans ce pays où l'urbanisme est très dense. Au Japon, le sous-sol à un prix comparable à celui du mètre carré bâti en surface et il n'est pas rare d'y trouver des constructions à 50 mètres en dessous de la surface, réalisées avec des techniques coûteuses dont l'investissement sera largement couvert par le remploi des déblais (Guillerme, 1993).

Dans le reste du monde, seules les villes de Londres, Moscou, Lugano, Helsinki et Barcelone disposent d'un réseau structuré de galeries s'intégrant dans un schéma d'ensemble, au même titre que Paris et Besançon en France. De la même manière, la technique de fabrication la plus fréquemment rencontrée est la voûte, celle d'un ovoïde, puis en second lieu la forme rectangulaire.

Il apparaît également que pour les galeries de transports, la forme la plus fréquemment rencontrée est la circulaire. En effet, ces galeries sont généralement très profonde. La technique de fabrication convenant le mieux pour la construction de ce type d'ouvrage est le tunnelier, comme par exemple à Lugano.

Les formes les plus généralement rencontrées sont donc :

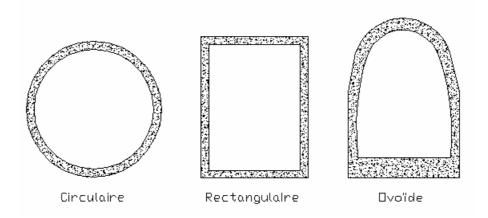


Figure 2 : Représentation des trois profils les plus couramment rencontrés dans le monde

Nous pouvons recenser à peu près 80 collectivités équipées de galerie multiréseaux et hormis les précédentes villes citées ci-dessus et peut être les réalisations japonaises, les autres constructions sont bien des ouvrages ponctuels répondant à un besoin bien particulier comme la protection contre le gel (Fairbanks) ou la protection d'un ensemble de réseaux d'un unique concessionnaire (Bruxelles)

La grande majorité des galeries en service dans le monde, héberge à peu prés les mêmes styles de réseaux techniques urbains. Nous y retrouvons généralement les Eaux pluviales (EP) et Eaux Usées (EU), l'eau potable (AEP), le chauffage urbain (CU), le gaz, les canalisations électriques (BT, HTA ou HTB) et les télécommunications.

Le chapitre suivant présente un synthèse bibliographique sur les réseaux techniques urbains et rappelle les points forts de leur installation en galerie.

# 3. Installation des reseaux urbains en galerie multireseaux

Il existe une multitude de réseaux urbains pouvant être intégrés en galerie. Nous avons recensé parmi les plus fréquemment utilisés :

- Le réseau d'assainissement d'eau pluviale,
- Le réseau d'assainissement d'eau usée en gravitaire, sous-vide ou sous-pression,
- Le réseau d'adduction d'eau potable,
- Le réseau d'adduction d'eau non-potable,
- Le réseau de chauffage urbain par eau chaude ou par vapeur d'eau saturée,
- Le réseau de climatisation (exemple Paris la Défense),
- Le réseau de gaz combustible,

- Les réseaux de télécommunication,
- Les réseaux de télévision par câble,
- Le réseau de transport de déchets (exemple Grenoble),
- Le réseau de transport sécurisé monétaire (exemple Paris),
- Les réseaux électriques BT, HTA et HTB,
- Les réseaux d'éclairage public et de signalisation routière,
- Le réseau pneumatique d'accès parking (exemple Grenoble),
- Les pipelines d'hydrocarbures,
- Les réseaux de gaz rares,
- Les réseaux de produits chimiques.

Il y des réseaux plus communs que d'autre, c'est à dire que leur fréquence d'apparition en agglomération est plus grande. Par exemple, les réseaux de transport de déchets sous-vide sont des services ponctuels. L'unique installation en galerie que nous puissions présenter, est celui de la ville de Grenoble.

Les réseaux de type pipelines d'hydrocarbures ou de gaz rare ne se trouvent jamais en zone urbaine, car ils desservent généralement des grandes entreprises chimiques ne pouvant se situer en centre urbain.

Les réseaux les plus couramment rencontrés en centre urbain sont donc :

- Les réseaux d'assainissement,
  - o Le réseau d'assainissement d'eau pluviale,
  - o Le réseau d'assainissement d'eau usée en gravitaire, sous-vide ou sous-pression,
- Le réseau d'adduction d'eau potable,
- Les réseaux thermiques,
  - o Le réseau de chauffage urbain par eau chaude ou par vapeur d'eau saturée,
  - Le réseau de climatisation.
- Le réseau de gaz combustible,
- Les réseaux de l'information,
  - Les réseaux de télécommunication.
  - o Les réseaux de télévision par câble,
- Les canalisations électriques,
  - o Les réseaux électriques BT, HTA et HTB,

o Les réseaux d'éclairage public et de signalisation routière.

<u>Remarque</u>: les réseaux d'assainissement sont présentés en séparatif mais ils peuvent très bien être en unitaire.

# 3.1. LA DIFFICULTE DE FAIRE COHABITER LES RESEAUX EN MILIEU RESTREINT

Une croyance « primitive » veut qu'apparaissent d'importants risques lorsque l'on fait cohabiter l'ensemble des réseaux techniques urbains dans un même espace réduit, comme une galerie. Mais l'expérience montre qu'au contraire, la sécurité y est accrue. Nous pouvons prendre comme facteur d'étude et ainsi argumenter notre réflexion, la durée de vie des réseaux. En effet, elle est de loin supérieure si l'on en croit Pierre Merlin, en galerie qu'en pleine terre (Merlin & Al., 1988). Cela ne veut pas dire qu'il ne peut y avoir d'accident en galerie, mais simplement qu'il est plus facile de les prévenir.

Il existe des galeries multiréseaux dans les ERP (Etablissement Recevant du Public). Elles sont sous une autre forme. C'est ce que l'on nomme les gaines techniques. La comparaison semble intéressante, même si dans un aménagement d'ERP, ce ne sont pas les mêmes acteurs qui interviennent. Ce ne sont pas de grands groupes financiers, mais des plombiers, chauffagistes et électriciens. Mais le principe reste le même et a démontré tout son intérêt. « La galerie multiréseaux est au fond la forme la plus élaborée de la coordination des réseaux. Elle s'est imposée sous le nom de gaine technique dans les bâtiments, et il faut s'attendre à ce qu'elle s'impose progressivement en ville grâce à la croissance continue de ses avantages socio-économiques. Le concept, quand il se concrétise, prend des formes très variées, projet par projet » (Clé de Sol, 2004).

La difficulté d'intégrer des réseaux en galerie tient à deux faits que sont :

- Le manque de normes françaises ou européennes pour l'installation de chaque réseau en galerie,
- La réticence des délégataires ou concessionnaires de réseaux à venir s'installer en galerie.

## Le manque de normalisation

Il n'existe pas en France de norme relative à la pose de réseaux en galerie technique multiréseaux.

Cependant, l'Union Européenne s'est dotée d'une norme expérimentale intitulée CEI-UNI/CIV "Structures Souterraines Polyvalentes (SSP) accueillant plusieurs réseaux". Cette norme a comme objectif, de résoudre les problèmes spécifiques de nature technique et scientifique liés à ces ouvrages.

"Une SSP est une structure placée dans le sous-sol et contenant des réseaux dans un espace commun et accessible (éventuellement subdivisé en zones dédiées), assurant un fonctionnement fiable

dans de bonnes conditions de sécurité. Une SSP peut être une galerie souterraine praticable, généralement placée sous une voie publique, ou bien un caniveau accessible par le haut et refermé par une dalle, généralement réalisé sous trottoir ou, quand cela est possible, sous voie publique" (UNI-CEI).

Elle s'attache à décrire les critères de conception de ces structures, énumère les caractéristiques techniques requises en matière de sécurité, l'exploitation et l'utilisation de ce style de structure et les qualités nécessaires aux réseaux techniques urbains pour une installation dans ce style d'ouvrage, mais elle n'envisage pas la possibilité de la présence d'égouts à l'intérieur de la SSP, car leurs caractéristiques techniques (taille, pente, ...) en interdisent toute pose.

Cette norme étant encore expérimentale, elle ne représente pas un cadre juridique légal.

L'annexe 15 présente des exemples de défaillance des réseaux issus de cette norme.

# La réticence des différents acteurs technique

La tenue d'un groupe thématique « règles de l'art » du projet national « Clé de Sol », a permis de clairement percevoir cette réticence de quelques délégataires. Il y a des réseaux qui font peur, comme le chauffage urbain et le gaz. La présence dans l'habitacle d'un de ces réseaux entraîne systématiquement la méfiance des autres participants. L'exemple des canalisations électriques est tout à fait parlant. Il est demandé de séparer les câbles BT, HTA et HTB de 1,50 mètre de la conduite de chauffage urbain aller ou retour, la plus proche si la température de peau dépasse les 25°C. Alors que l'eau potable, dont la température de potabilité ne doit pas dépasser également les 25°C, n'a besoin que de 0,30 mètre d'écartement (dans le chapitre suivant, seront présentées les distances minimales demandées par les représentants nationaux de chaque réseau).

# 3.2. Synthese des mises en place des reseaux en galerie

#### 3.2.1. Avant Propos

Cette synthèse bibliographique est le résultat accomplit pour le projet national « clé de sol », dans le cadre de la coopération entre l'USTL et le projet national.

Le lecteur aura tout le loisir, de trouver l'ensemble des recommandations techniques relatives à tous les réseaux dans les annexes allant de 1 à 8.

# 3.2.2. Les réseaux d'assainissement

# Avertissement

Le fonctionnement des réseaux d'assainissement est généralement gravitaire et s'effectue à surface libre.

D'un le cadre d'un fonctionnement en séparatif, l'installation dans l'habitacle de la galerie, de la canalisation d'eau usée ne pose pas de grosse difficulté car son fonctionnement est bien maîtrisé. En

effet, les méthodes de dimensionnement permettent d'obtenir une bonne idée de la grandeur du débit à transiter dans ce réseau (annexe 2). Les diamètres seront donc déterminés avec précision.

Cependant, la présence des canalisations d'eau pluviale peut être problématique. En effet, il est impossible de déterminer le débit instantané maximal que devra faire transiter ce réseau sur toute sa vie, car cela dépend de l'événement pluvieux recueilli. La section d'une conduite d'eau pluviale est déterminée pour un risque donné. Si le débit recueilli est supérieur au débit ayant servi à la déterminer, il peut y avoir risque de mise en charge du réseau et donc présence de fuite conséquente ou de débordement. Sa présence dans l'habitacle peut donc engendrer des inondations. Il peut sembler intéressant d'interdire dans ce cas, toute présence humaine dans l'habitacle lors d'événements pluvieux ou alors d'équiper la galerie de détecteurs de présence d'eau.

Il existe des galeries comme Paris ou Besançon, ou l'écoulement des eaux d'assainissement s'effectue en surface libre dans l'habitacle. La gestion de ce mode de fonctionnement est donc tout à fait réalisable. Il faut simplement bien veiller à prendre en compte lors du choix des techniques de pose et des matériaux constituant les réseaux, la possibilité d'une présence d'eau donc d'un fort taux d'humidité, voir d'une immersion.

#### Les recommandations

Il est intéressant de positionner le réseau EP sur des berceaux en béton reposant sur le radier de la galerie, c'est à dire au niveau des jambes car l'encombrement sera moindre. La hauteur minimale entre ces conduites et le radier, doit être de 0,40 mètre pour permettre l'accessibilité à son pourtour.

Le réseau EU doit surplomber le réseau EU car il est le plus volumineux des deux, et doit être placé sur un support avec étrier afin d'éviter tous mouvements tranversaux durant des événements pluvieux pouvant entraîner des mises en charge.

Les écartements minimums vis-à-vis des autres réseaux, sont cités dans le tableau suivant.

Distances vis à vis d'un réseau d'assainissement (cm)											
Parcours	Canalisations	Assainissement Télécoms C			Gaz	Eau	Chauffage	Réseau			
	électriques		Sans Avec			potable	urbain	de froid			
	_		fourreau fourreau								
Parallèle	30	30	30	30	30	30	30	30			
Croisement				10							

Tableau 1 : Recommandation des écartements minimums entre un réseau d'assainissement et les autres réseaux en galerie.

Il n'existe pas de normes ou de références relatives à la pose de canalisations d'assainissement en galerie. Le projet national Clé de Sol propose cependant une distance de 30 cm en parallèle et 10 cm en croisement. Ces distances permettent de travailler autour de la canalisation, et notamment, pour le personnel, de l'enjamber et de poser le pied.

Les distances indiquées ici sont valables pour des diamètres jusqu'à 600 mm. Au-delà de 600 mm, Clé de Sol préconise de laisser 40 cm autour de la conduite. Cette distance doit permettre le « déroulage » de la conduite dans le cas d'une réparation ou d'une modification de réseau.

# 3.2.3. Le réseau d'eau potable

#### Avertissement

Pour ce réseau, c'est le mode d'accrochage des supports qui peut poser certaines difficultés. En effet, ce réseau fonctionne sous pression. Lors de la manipulation d'un ouvrage sectionnel de type vanne, il se peut qu'il y ait apparition d'efforts dynamiques dus à l'arrêt brutal de l'écoulement, c'est ce que l'on nomme le « coup de bélier ».

La présence d'un réseau de chauffage urbain dans l'habitacle de la galerie, peut accroître la température des effluents acheminés. Pour rappel, la température de potabilité de l'eau, ne doit pas dépasser les 25°C. Si la température ambiante dans la galerie dépasse régulièrement les 25°C, il faut prévoir de calorifuger la canalisation d'eau potable.

## Les recommandations

Le réseau d'eau se situe au-dessus des réseaux d'assainissement (EP & EU) pour des raisons hygiéniques. Il est préférable de ne superposer ce réseau qu'avec les autres réseaux humides pour protéger les canalisations électriques, les canalisations de gaz, etc., de possibles éclaboussements.

Les supports de ce réseau sont au minimum au nombre de deux par tuyaux (tronçon) et sont à étrier pour résister aux coups de béliers.

Les écartements par rapport aux parois sont fonction du type de support et du matériau choisi.

Les écartements minimums vis-à-vis des autres réseaux, sont donnés sont dans le tableau suivant.

	Distances vis à vis d'un réseau d'eau potable (cm)									
Parcours	Canalisations	Télécoms		Gaz	Eau	Chauffage	Réseau			
	électriques	Sans	Avec		potable	urbain	de froid			
		fourreau	fourreau							
Parallèle					30					
Croisement		10					10			

Tableau 2 : Recommandation des écartements minimums entre un réseau d'eau potable et les autres réseaux en galerie.

Ce réseau demande une distance de 30 cm en parcours parallèle afin de pouvoir travailler autour des canalisations. Il n'existe pas de prescriptions techniques pour les croisements. Clé de Sol préconise de laisser 10 cm entre deux réseaux pour assurer la maintenance et l'accessibilité.

# 3.2.4. Le réseau de gaz combustible

# Avertissement

Tous les autres concessionnaires de réseaux et principalement des acteurs comme EDF, craignent la présence de ce réseau dans un habitacle de galerie. En cas de fuite sur ce réseau, une accumulation de gaz peut se créer et devenir extrêmement dangereuse car les canalisations électriques peuvent subir des échauffements ponctuels lors de court-circuit. Dans ce cas, il peut être intéressant d'étudier la ventilation naturelle de la galerie et de la compléter au cas où, par une ventilation mécanique forcée. La présence de capteur de gaz peut s'avérer également très utile.

#### Les recommandations

Le choix de l'emplacement de la conduite de gaz doit être guidé par les considérations suivantes :

- Elle doit être la plus accessible possible, c'est-à-dire que les opérations de contrôle, d'entretien ou de réparation ne doivent pas être gênées par des ouvrages voisins qu'il s'agisse de conduites, d'appareils, de supports ou de génie civil. Il faut à ce point de vue respecter les distances minimales suivantes par rapport au génie civil : 5 cm; aux autres ouvrages : 20 cm voire 50 cm ou plus pour le réseau de chaleur.
- Elle doit être placée dans la zone de la section du passage la moins humide possible. A ce titre, il est préférable de la placer dans la zone haute au-dessus des conduites d'eau.
- Sa position à droite ou à gauche doit être choisie en fonction de la direction des piquages.
- Elle doit être le plus éloigné possible des conduites de chauffage urbain.

Les écartements minimums vis-à-vis des autres réseaux, sont donnés sont dans le tableau suivant.

		seau de g	az (cm	n)				
Parcours	Canalisations Assainissement Télécoms					Eau	Chauffage	Réseau
	électriques	Sans Avec				potable	urbain	de froid
	_		fourreau	fourreau				
Parallèle	20	20	20	20		20	50	20
Croisement	t 20						20	

Tableau 3 : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de gaz et les autres réseaux en galerie.

La distance demandée est de 20 cm en parcours parallèle, sauf pour le chauffage urbain pour laquelle on demande 50 cm. En ce qui concerne les croisements, il n'existe aucune prescription technique. Clé de Sol préconise pour tous les autres occupants de laisser 20 cm pour assurer la maintenance et l'accessibilité.

# 3.2.5. Les réseaux thermiques

On entend par réseaux thermiques, les réseaux de chauffage urbain et de climatisation.

# 3.2.5.1. Le réseau de chauffage urbain

#### Avertissement

Le réseau de chauffage urbain est certainement le plus contraignant vis-à-vis des autres occupants de la galerie. Il peut acheminer des fluides élevés à une température approchant les 250°C et pour une pression de fonctionnement avoisinant les 40 bar. Même calorifugé, ce réseau augmentera de manière conséquente la température ambiante dans l'habitacle. Cet accroissement de température peut provoquer des perturbations d'ordre technique sur des réseaux, comme les canalisations électriques, ou modifier la qualité des effluents acheminés, comme pour l'eau potable et le gaz.

#### Les recommandations

Le réseau de chauffage doit être écarté le plus possible des réseaux de gaz et d'eau potable. Il faut évidemment veiller à ne pas dépasser une température ambiante de 25°C pour assurer une qualité de potabilité à l'eau potable. Il est donc essentiel de s'assurer de la qualité de l'épaisseur du calorifuge.

Par ailleurs, il faut veiller dans la mesure du possible, à mettre les éléments les plus sensibles vis à vis des fuites (compensateurs axiaux, lyres de dilatation) dans des coffrages béton permettant le contrôle de ces organes et leur réparation.

Pour faciliter la réalisation des amarrages, les démontages, l'entretien et la non-exposition des autres réseaux aux eaux de condensation, il est recommandé de positionner le réseau de chauffage urbain au niveau du radier de la galerie. La conduite de retour devra surplomber la conduite aller.

T /			1 , ,	. 1 / .	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Les ecartements	minimilms	V19-9-V19	des aufres reseaux	sont donnes sont	dans le tableau suivant.
Los courtements	minimi	V10 a V10	des addes reseaux,	Som domics som	dans ic tableau survaint.

Distances vis à vis d'un réseau de chauffage urbain (cm)										
Parcours	Canalisations	Télé	coms	Gaz	Eau	Chauffage	Réseau			
	électriques		Sans	Avec		potable	urbain	de froid		
	_		fourreau	fourreau						
Parallèle		20								
Croisement		1	.0					10		

Tableau 4 : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de chauffage et les autres réseaux en galerie.

Ces distances sont réputées valables dans la mesure où la température de peau du calorifuge ne dépasse pas 25°C.

Les canalisations doivent être écartées de 40 cm du plafond pour pouvoir effectuer les soudures. Ce réseau n'occasionne pas de contrainte de distance. Cependant, pour satisfaire aux conditions de manœuvrabilité et d'entretien, Clé de Sol préconise une distance de 20 cm à partir de la peau extérieure du calorifuge.

Il n'existe pas de prescriptions techniques pour les croisements. Clé de Sol préconise de laisser 10 cm entre deux réseaux pour assurer la maintenance et l'accessibilité.

Toutes ces valeurs sont également valables pour la conduite retour de ce réseau, qui dans le cas d'un fonctionnement aller par vapeur d'eau (250°C pour 20bar) se trouve en eau (environ 75°C pour 4 bar).

#### 3.2.5.2. Le réseau de climatisation

#### Les recommandations

La seule contrainte rencontrée pour ce réseau est relative au réseau de chauffage urbain. La température de l'eau froide étant d'environ 4°C à l'aller, l'influence thermique d'un réseau de chauffage peut diminuer fortement le rendement de ce réseau. Une distance minimale de 50 cm est recommandée.

Ce réseau n'occasionne pas de contrainte de distance vis à vis des autres réseaux. Cependant, pour satisfaire aux conditions de manœuvrabilité et d'entretien, Clé de Sol préconise une distance de 20 cm à partir de la peau extérieure du calorifuge.

Il n'existe pas de prescriptions techniques pour les croisements. Clé de Sol préconise de laisser 10 cm entre deux réseaux pour assurer la maintenance et l'accessibilité.

Distances vis à vis d'un réseau de froid (cm)										
Parcours	Canalisations	Télécoms		Gaz	Eau	Chauffage	Réseau			
	électriques	Sans	Avec	potable		urbain	de froid			
	_		fourreau	fourreau						
Parallèle	20						50			
Croisement		10								

Tableau 5 : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de climatisation et les autres réseaux en galerie.

# 3.2.6. Les canalisations électriques

#### Les recommandations

Les canalisations en basse tension doivent être positionnées au-dessus des canalisations haute tension dite A, pour des raison d'accessibilité.

Les canalisations électriques, ne peuvent être superposées qu'avec les réseaux de gaz et de télécommunication.

Les canalisations reposent sur des chemins de câble métalliques mis à la terre via un conducteur métallique.

Les canalisations électriques sont sensibles aux projections d'eau, à la température (qui réduit la conductivité des câbles) et aux perturbations radio-électriques. Les distances ci-dessous tiennent compte de ces différentes contraintes. La distance de 0,5 mètre vis à vis des canalisations en acier (chauffage urbain, eau potable, etc.) permet de protéger les canalisations électriques des étincelles provoquées par la réalisation des soudures.

Les écartements minimums vis-à-vis des autres réseaux, sont donnés sont dans le tableau suivant.

	Distances vis à vis d'une canalisation électrique (cm)										
Parcours	Canalisations	Assainissement	Télé	coms	Gaz	Eau	Chauffage	Réseau			
	électriques		Sans Avec			potable	urbain	de froid			
	•		fourreau	fourreau		1					
Parallèle	30 *	50	40	20	50	50	50	50			
Croisement	20	20	20	20	20	20	50	20			

<sup>\*</sup> Cette distance peut être réduite à 20 cm si l'on admet une diminution de 10 % de l'intensité transitée ou si la qualité de la ventilation permet à la température de ne pas dépasser 30°C.

Tableau 6 : Recommandation des écartements minimums entre une canalisation électrique et les autres réseaux en galerie.

Les canalisations HTB peuvent être incorporées dans une galerie à condition quelles soient dans des fourreaux en polyéthylène haute densité.

# 3.2.7. Les réseaux de l'information

#### Les recommandations

Une distance minimale de 0.2m doit séparer les différents réseaux de télécommunications entre eux. Cette distance reste valable pour des canalisations électriques sous fourreaux et les réseaux de gaz.

Les différents types de câbles de réseaux de télécommunications reposent sur des chemins de câbles métalliques mis à la terre via un conducteur métallique. Tous les câbles doivent être identifiés de façon claire.

Les câbles utilisés doivent comporter une gaine de type LSOH.

Les réseaux de télécommunications peuvent être superposés avec les réseaux de gaz, les tuyaux de climatisation et les canalisations électriques.

Distances vis à vis d'un réseau de télécommunication (cm)										
Parcours	Canalisations	Assainissement	Télé	coms	Gaz	Eau	Chauffage	Réseau		
	électriques		Sans Avec			potable	urbain	de froid		
	•		fourreau fourreau							
Parallèle	40 *	20	0	0			20			
Croisement	20 *	10	0	0			10			

<sup>\*</sup> Ces distances sont valables dans le cas ou les réseaux de télécommunication sont en âme de cuivre. Ces distances peuvent être réduites dans le cas de réseaux en fibres optiques.

Tableau 7 : Recommandation des écartements minimums entre un réseau de télécommunication et les autres réseaux en galerie.

Les distances indiquées ici pour les canalisations électriques résultent de contraintes radioélectriques.

# 3.2.8. Conclusion

Les tableaux ci-dessous donnent les distances minimum à respecter. Il s'agit du maximun des valeurs lues dans les tableaux ci-dessus.

# Ces valeurs sont le résultat d'une réflexion du projet national Clé de Sol

<u>Exemple</u>: quelle est la distance entre une canalisation d'assainissement et une canalisation électrique?

- Le tableau "Assainissement" donne 30 cm vis à vis d'une canalisation électrique.
- Le tableau "Canalisations électriques" donne 50 cm vis à vis de l'assainissement.

On lira dans le tableau récapitulatif ci-dessous le distance de 50 cm.

#### **DISTANCES EN PARCOURS PARALLELE** (cm)

					Télé	coms				Par	ois de la	GMR
			CU	AEP	avec	sans		EP-EU	Electricité			
		froid			fourreau	fourreau	Gaz			radier	murs	plafond
Électr	icité	50	50	50	40	40	50	50	30	0	0	
EP-I	EU	30	30	30	30	30	30	30		#	20	
Ga	Z	20	20	30	20	20	SO				20	40
Télécoms	Sans fourreau	20	20	30	0	0				0	0	
Telecoms	Avec fourreau	20	20	30	0					0	0	
AE	P	30	30	SO						#	*	*
CU	J	50	SO		-						8	40
Fro	id	SO	•	-						30	8	40

(#) : distance égale à un diamètre, limitée à 40 cm

(\*) : dépend du diamètre SO : Sans Objet, cas rare

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des distances minimales demandées par les différents concessionnaires et ce, en parcours parallèle.

# **DISTANCES EN CROISEMENT (cm)**

					Télé	coms			
			CU	AEP	avec	sans		EP-EU	Electricité
		froid			fourreau	fourreau	Gaz		
Électr	ricité	20	50	20	20	20	20	20	20
EP-l	EU	10	10	10	10	10	10	10	
Ga	ıZ	20	20	20	20	20	SO		
Télécoms	Sans fourreau	10	10	10	0	0			
Telecoms	Avec fourreau	10	10	10	0				
AE	P	10	10	SO		•			
CU	J	10	SO		-				
Froid		SO		-					

SO: Sans Objet, cas rare

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des distances minimales demandées par les différents concessionnaires et ce, en croisement.

# 4. CONCLUSION

Les galeries techniques sont des ouvrages permettant de traiter de manière efficace, la gestion des réseaux techniques urbains tout en améliorant le cadre de vie d'une agglomération.

Il n'y a dans le monde, que 7 villes sur les 80 cas présentés dans ce rapport, équipées d'un schéma d'ensemble réfléchi et cohérent de galerie. Le reste des réalisations et hormis peut être les réalisations japonaises, sont des ouvrages ponctuels, répondant à un problème bien spécifique, comme la protection des canalisations d'eau potable contre le gel.

Il est intéressant de constater que les villes comme Paris, Londres ou Moscou, sont riches en galeries, mais qu'elles font partie des plus anciennes. Ces agglomérations profitent d'un passé avantageux.

Les quatre autres villes que sont Besançon, Lugano, Helsinki et Barcelone construisirent leurs premiers ouvrages dans une période faste pour la construction. Elles continuent de nos jours à développer leur réseau, car elles maîtrisent parfaitement cette technique et sont convaincues de son intérêt.

Alors comment faire pour développer l'utilisation des galeries multiréseaux en site urbain ?

La bibliographie internationale sur ce sujet est pauvre. Il y a bien des plaquettes de présentation éditées par les collectivités équipées, mais peu de recherche sur le sujet. Il est possible de trouver quelques études menées sur les galeries de Barcelone (Canto-Perello, 2001) ou bien sur les galeries de Saint-Etienne (Tardy, 1998) mais ces recherches traitent des aspects humains et des problèmes de

sécurité inhérents et n'abordent pas l'aspect développement. Il semblerait que cette problématique intéresse essentiellement la France.

Si l'on désire développer l'utilisation des galeries en site urbain, il est essentiel de limiter au maximum l'écart financier entre la solution galerie et la solution pleine terre. Pour ce faire, il paraît évident que nos efforts doivent se tourner sur l'habitacle de la galerie. Afin de limiter son coût, il est essentiel de le dimensionner au mieux. La synthèse bibliographique sur les réseaux techniques urbains, nous permet de proposer une méthode de dimensionnement de l'habitacle. Cette méthode de dimensionnement est présentée dans le chapitre suivant : « Méthode de dimensionnement de l'habitacle ».

En ce qui concerne la réticence des gestionnaires de réseaux à installer leurs réseaux dans une galerie, il est possible de les persuader en prenant comme parallèle, les gaines techniques dans les ERP. Cette technique qui rend accessible les réseaux dans le bâtiment, s'apparente fortement à une galerie en centre urbain. Il est vrai que nous ne sommes pas confrontés aux mêmes enjeux mais cette technique a véritablement montré toute son efficacité. Si il est possible d'héberger une multitude de réseaux dans une gaine technique, il en va de même dans une galerie. Les principales différences sont la taille et le nombre de réseaux hébergés.

# Chapitre 2

# Méthode de dimensionnement de l'habitacle

# - Chapitre 2 -

# METHODE DE DIMENSIONNEMENT DE L'HABITACLE

# 5. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'expliciter une méthode de dimensionnement de l'habitacle de galerie.

Il n'existe aucune méthode de dimensionnement de l'habitacle dans la littérature. Les bureaux d'études qui ont participé au projet national « Clé de Sol », ne pouvaient donc s'appuyer sur aucune réglementation spécifique pour proposer des aménagements intérieurs de l'habitacle.

Ce chapitre a pour finalité d'apporter aux bureaux d'études l'ensemble des connaissances et prescriptions demandées par les concessionnaires pour les aider à installer leurs réseaux en galerie.

Une solution galerie sera toujours plus onéreuse qu'une solution réseaux enfouis puisqu'il y obligation de créer un habitacle en béton. Afin de limiter au plus juste le coût de fabrication, il faut veiller à trouver des dimensions optimisées de l'habitacle, permettant de loger l'ensemble des linéaires de réseaux, un espace libre de circulation que l'on nomme gabarit de passage, les organes annexes et les passages des branchements riverains et ceci sans laisser trop d'espaces vides non utilisés et non utilisables.

La méthode de dimensionnement se présente sous forme graphique. Elle est basée sur une mise en position de l'ensemble des réseaux urbains. Elle s'accompagne d'une méthode de vérification également graphique, afin de vérifier que les dimensions de l'habitacle obtenues permettent de positionner les branchements et les principaux organes annexes.

# **6.** LES RESEAUX ETUDIES

Les réseaux pris en compte dans ce travail, doivent être représentatif d'une configuration 'type' de réseaux urbains. C'est dans cette optique que nous avons arrêté ces réseaux et ce choix fut validé par le groupe « règles de l'art » du projet national « Clé de Sol » :

- 1 réseau d'eau pluviale de diamètre 600mm,
- 1 réseau d'eau usée de diamètre 300mm,
- 1 réseau d'adduction d'eau potable de diamètre 250mm,
- 1 réseau de gaz combustible de diamètre 125mm,
- 1 réseau de chauffage urbain par vapeur d'eau chaude

- 1 circuit aller de diamètre 200 mm + épaisseur de calorifuge de 150 mm,
- 1 circuit retour de diamètre 60 mm + épaisseur de calorifuge de 50 mm.
- 2 réseaux électriques Basse Tension (BT) [(3x240²)+95²] mm²,
- 2 réseaux électriques Haute Tension dite A (HTA) [(3x240²)] mm²,
- 2 réseaux de signalisations électriques BT [(3x240<sup>2</sup>)+95<sup>2</sup>] mm<sup>2</sup>,
- 3 fourreaux de réseaux d'information de diamètre 80mm
  - 2 réseaux de télécommunications par fils multibrins,
  - 1 réseau de télévision par fibre optique.

Le choix d'étudier un réseau d'assainissement en séparatif au lieu d'unitaire, permet de se placer dans un cas de figure plus contraignant car il y a la présence de deux canalisations au lieu d'une seule.

Les canalisations aller et retour du réseau de chauffage urbain, disposent d'épaisseurs de calorifuge déterminées de manière à obtenir une température de peau avoisinant les 20°C, ce qui est un maximum en galerie. Cette épaisseur de calorifuge est obtenue de manière simple, en supposant que le comportement thermique de l'isolant est linéaire. Ce calcul est présenté en annexe 6, dans la fiche chauffage urbain.

Le choix de différencier les technologies pour les réseaux de l'information, tient du fait qu'il semble intéressant d'analyser l'impact de ces technologies sur l'organisation intérieure de l'habitacle

# 7. CONSTRUCTION DE LA SOLUTION GALERIE TECHNIQUE MULTI-RESEAUX (GMR)

# 7.1. Introduction

Les galeries multi-réseaux sont des ouvrages souterrains de type tunnel, dans lesquels sont installés différents réseaux urbains et parmi lesquels peuvent circuler du personnel et du matériel d'entretien. Une galerie multi-réseaux se définit en premier lieu par son habitacle que l'on nomme également profil transversal ou enveloppe.

Dans un projet d'urbanisation, une solution galerie sera toujours mise en concurrence directe avec une solution classique réseaux enfouis et elle sera toujours plus onéreuse en raison du coût supplémentaire dû à la fabrication de l'habitacle. Il est cependant tout à fait possible de limiter ce surcoût vis-à-vis d'une solution en réseaux enfouis, en utilisant certaines techniques de fabrication, en privilégiant une forme plutôt qu'une autre et surtout, en dimensionnant au mieux cet habitacle.

Avant d'énoncer la méthode, il est donc intéressant de s'arrêter sur les matériaux utilisables et sur les procédés de fabrication.

# 7.2. L'HABITACLE

# 7.2.1. Avant propos

Cette partie est le résultat du travail accompli par le groupe « Règles de l'Art » du projet « Clé de Sol ». L'annexe 8 reprend l'intégralité de la fiche « Génie Civil » du guide.

## 7.2.2. *Introduction*

L'habitacle constitue l'ossature de la galerie dans laquelle sont hébergés les réseaux urbains. En résumé, il se doit donc d'être résistant, pérenne et adapté aux besoins du maître d'ouvrage.

#### Mais globalement il doit :

- Reprendre les forces s'appliquant sur sa structure (poids des terres, charge de roulement, poussée latérale, etc.)
- Etre adapté au profil du terrain ainsi qu'au type de sol,
- Etre « relativement » étanche vis à vis des fluctuations de la nappe phréatique, c'est à dire qu'il ne doit pas y avoir d'infiltration d'eau permanente,
- Etre de dimensions suffisantes pour accueillir l'ensemble des réseaux,
- Permettre les branchements ultérieurs,
- Etre d'un excellent rapport qualité prix,
- Etre rapide à réaliser, c'est à dire respecter les plannings de fabrication et de mise en place,
- Etre pérenne,
- Permettre l'accrochage des supports,

# 7.2.3. Les différents profils

Le profil d'un habitacle de galerie peut être de n'importe quelle forme géométrique facilement constructible et respectant les contraintes de dimensions intérieures. Il est cependant possible, d'un point de vue uniquement technique, de concevoir et de réaliser n'importe quelle forme géométrique pour l'habitacle, mais cela au dépend du prix de revient.

Trois types de profils parmi les plus employés peuvent être recensés. Ce sont (figure 3) :

- le profil circulaire,
- le profil rectangulaire,
- le profil ovoïde,

Nous y rajouterons le profil trapézoïdal, produit de l'entreprise BMI, désigné sous le terme CEVAC.

Ils présentent tous des avantages et des inconvénients. Ils correspondent tous à une utilisation particulière de galerie. Nous pouvons citer comme exemples :

31 janvier 2005

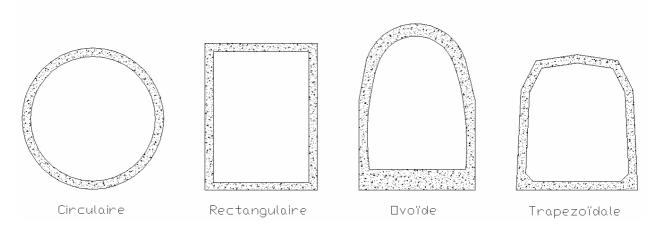


Figure 3: Représentation des quatre profils les plus couramment rencontrés

- Le profil circulaire, généralement utilisé pour les galeries profondes de transport sur lesquelles il y a peu de branchements,
- Le profil rectangulaire, classique et facilitant le passage des branchements au niveau du plafond,
- Le profil ovoïde, dont les retours d'expériences de Besançon annoncent un prix de revient très compétitif,
- Le profil trapézoïdal, permettant de loger au niveau du radier des gros réseaux (type EP,
  ...).

Les avantages et inconvénients de chaque profil sont récapitulés dans le tableau suivant (Legrand, 2004) :

Profil	Avantages	Inconvénients	Construction
Circulaire	Idéal pour une galerie de transport (peu de piquages)	<ul> <li>Recommandation de prévoir un caillebotis de passage</li> <li>Habitabilité intérieure peu favorable</li> <li>Problèmes de remblaiement</li> </ul>	Essentiellement préfabrication
Rectangulaire	<ul> <li>Forme simple</li> <li>Rapide à réaliser</li> <li>Sur mesure si coulé en place</li> </ul>	Obligation de positionner une bonne quantité d'aciers pour reprendre le moment fléchissant au droit des voiles	Préfabrication possible mais essentiellement coulé en place
Ovoïde	<ul> <li>Fabrication rapide si utilisation de coffrages glissants</li> <li>Peu ou pas d'acier grâce à la voûte</li> </ul>	<ul> <li>Surépaisseur de béton pour la réalisation de la voûte et du radier</li> </ul>	Coulé en place ou préfabrication

<ul> <li>Profil optimisé permettant de loger l'ensemble des gros réseaux en fond de galerie</li> <li>Avantage de la voûte</li> <li>Dimensions figées à cause de la préfabrication</li> </ul>	Préfabrication	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	--

Tableau 10 : Avantages et inconvénients de chaque profils

# 7.2.4. La durabilité de l'habitacle – modes de construction

L'espérance de vie d'une galerie dépend essentiellement de la durabilité de l'habitacle, c'est à dire du génie civil. L'espérance de vie du génie civil dépend essentiellement du matériau employé, du procédé de fabrication de l'enveloppe, des conditions de mises en œuvre, du site d'implantation, etc. Il n'est pas pour objectif ici de détailler tous les paramètres influençant la durabilité générale de l'enveloppe mais uniquement de donner quelques règles générales sur les principaux paramètres.

## 7.2.4.1. Les matériaux utilisables

#### Le béton

Grâce à son excellent rapport qualité/prix, le béton est sans conteste le matériau le plus employé en France pour la réalisation des habitacles de galeries. Les techniques d'exécution et de mise en œuvre sont aujourd'hui éprouvées et parfaitement maîtrisées par les maîtres d'œuvre.

Tous les types de béton peuvent être employés (béton, béton armé, béton haute performance, etc.) et ce quel que soit le mode de conception (coulé en place ou préfabriqué). Dans le cas d'une construction en sous-sol saturé, nappe phréatique affleurante, il est recommandé d'utiliser un béton hydrofuge en complément d'une étanchéité par joints entre tronçons. Cette précaution permet d'éviter l'apparition inopinée de points d'infiltration.

L'emploi de bétons autoplaçant pour les parois et de bétons autonivellant pour le radier, peuvent permettre d'obtenir un gain de temps non négligeable dans le cas d'une solution coulée en place. Ces bétons adjuvantés sont cependant sensiblement plus onéreux. Une étude économique doit donc être réalisée.

#### L'acier

Il existe des ouvrages en acier galvanisé de type buse, comme à l'aéroport de Bâle-Mulhouse. Ces ouvrages sont dérivées des gros collecteurs buses d'assainissement d'eau pluviale. L'acier galvanisé permet de limiter fortement le poids de l'ouvrage et son prix est très compétitif en terme d'investissement, mais selon son fabriquant (Tubosider) sa faible épaisseur, aux alentours de 3mm, ne permet pas d'obtenir une durée de vie excédant 75ans.

# La maçonnerie

Certains égouts parisiens haussmaniens hébergeant des réseaux urbains, sont réalisés en maçonnerie. Cette technique a su démontrer son intérêt et sa durabilité. Cependant, la mise en œuvre de maçonnerie ne permet plus de nos jours de rendre économiquement viable cette technique, sans

compter qu'une réalisation en maçonnerie occasionnerait un délai de travaux considérable et entraînerait donc de nombreuses perturbations.

#### Conclusion

La conclusion que nous pouvons tirer de cette analyse, est que le béton est sans nul doute le matériau privilégié pour la construction de l'habitacle de la galerie. En effet, la maçonnerie n'est plus un matériau rentable de nos jours et l'acier galvanisé ne dispose pas d'une espérance de vie assez grande en vue de garantir un fonctionnement pérenne du même ordre que les galeries parisiennes.

#### 7.2.4.2. Les modes de construction

Il existe quatre modes de construction (Guerrin, 1970) des ouvrages en béton, qui sont :

- le mode « béton coulé en place », ne se faisant que pour des formes simples et pour les très gros diamètres pour lesquels les frais de transport et de manutention seraient prohibitifs. Cette méthode de mise en œuvre utilise des coffrages disposés à l'avancement du chantier. Pour cela elle nécessite une organisation rigoureuse. Les coffrages glissant permettent d'obtenir un gain de temps et donc de limiter de façon non négligeable le ratio génie civil d'un projet de galerie. Il est important de prévoir des réservations de passage pour les branchements.
- le mode « préfabriqué en usine », permettant de réaliser des formes particulières ou simples, les tronçons étant aboutés et jointés longitudinalement. Pour les gros ouvrages, il est possible de réduire le poids à transporter en constituant le profil par plusieurs segments à assembler sur place. Une solution préfabriquée peut dans certains cas être plus avantageuse qu'une solution coulée en place. Ceci dépend essentiellement de la typologie du site d'implantation, du nombre de raccordements sur la galerie, des délais à respecter et du tracé de l'ouvrage, mais aussi des offres (ou variantes) que pourraient proposer les entreprises spécialisées. Un tronçon préfabriqué est réalisé à l'aide de moules. L'amortissement des moules s'effectue sur de grosses productions. Il est alors essentiel de trouver un juste équilibre entre la longueur totale de l'ouvrage, l'avancement théorique souhaité du chantier et le nombre nécessaire de moules pour la fabrication de l'ouvrage. La présence de réservations de branchement est facilitée dans un tronçon préfabriqué car incorporées dans les moules.
- le mode « mi-fabriqué en usine et complété sur place », comme par exemple le cas d'un profil circulaire à âme de tôle, celle-ci étant préparée en usine avec son revêtement intérieur, l'enrobage se faisant sur place,
- le mode « préfabriqué sur chantier », c'est à dire une préfabrication foraine.

## 7.2.5. Conclusion

Les deux modes de fabrication les plus couramment rencontrés pour la réalisation de l'habitacle d'une galerie, sont le coulé en place et le préfabriqué. Dans cette étude, les profils circulaire et

trapézoïdale seront étudiés en mode préfabriqué, le profil ovoïde en coulé en place et le profil rectangulaire en modes préfabriqué et coulé en place.

Il est très difficile de comparer ces deux méthodes de fabrication et d'en généraliser des préconisations. En effet, chaque méthode possède ses avantages et ses inconvénients. Une galerie est un ouvrage exceptionnel. La fabrication d'une telle infrastructure pour un site donné sera donc unique. Le maître d'œuvre doit étudier les deux possibilités avant d'effectuer son choix. Il semble cependant obligatoire de réaliser une étude technico-économique faisant apparaître les contraintes propres du site d'implantation avant de prendre une quelconque décision. La meilleure solution sera fonction de la nature et de la dimension des réseaux, des dimensions de l'ouvrage, du site d'implantation, de la nature du sol qui peut imposer une méthode de fabrication, de la proximité d'une usine de fabrication, des délais de réalisation imposés, etc. Le futur concepteur d'un habitacle de galerie, doit prendre en compte l'ensemble de ces critères.

L'unique conclusion rapidement formulable, est que le matériau préférentiel pour la fabrication d'une enveloppe est sans contexte le béton.

# 7.3. DETERMINATION DE LA SECTION COURANTE DE LA GALERIE TECHNIQUE MULTI-RESEAUX.

#### 7.3.1. Introduction

La section courante d'une galerie est la surface intérieure de l'habitacle. Elle doit être de dimensions suffisantes pour permettre :

- L'installation des linéaires de réseaux en respectant l'ensemble des contraintes technologiques,
- Le passage des conduites de branchements,
- L'incorporation de la plupart des organes annexes (vannes, regard, etc.),
- Le passage et l'évacuation rapide du personnel d'intervention,
- Le déplacement d'un tronçon de remplacement d'un réseau,
- La possibilité d'accéder au pourtour d'une grosse canalisation et de pouvoir y travailler aisément,
- Etc.

Elle doit en outre autoriser une certaine évolutivité dans le nombre et la nature des réseaux hébergés. Cette remarque touche essentiellement les réseaux de l'information à l'opposé des réseaux de fluides qui évoluent peu s'il n'y a pas d'augmentation sensible de la population. La recherche dans le domaine des télécommunications progresse de manière très rapide et les technologies actuelles ne permettront peut être pas de répondre aux besoins futurs des utilisateurs. Il sera alors essentiel de pouvoir modifier en profondeur ces réseaux aussi bien au niveau technologique que quantitatif.

Le coût de fabrication d'une galerie dépend en grande partie du poste 'Génie Civil' (cf. chapitre 4) et donc principalement des dimensions de l'habitacle. Il semble intéressant de surdimensionner quelque peu la section courante dans le but de répondre aux évolutions futures des réseaux de

l'information mais sans occasionner de surcoût d'investissement trop important vis à vis de la solution de référence « réseaux en pleine terre ». Il n'existe aucune recommandation ni texte réglementaire précisant la surface devant rester libre afin d'autoriser ces évolutions techniques.

Le problème est donc de dimensionner au mieux la section courante afin de limiter le coût de fabrication de l'enveloppe tout en autorisant un certaine évolutivité dans les réseaux hébergés. Cest là que réside la principale difficulté.

La méthode de dimensionnement présentée ci-dessous permet de déterminer les dimensions de la section courante en ayant recours à une représentation informatique d'une mise en position de l'ensemble des linéaires de réseaux.

L'un des principaux avantages d'une galerie est de permettre l'entretien des réseaux hébergés sans gêne pour les riverains. Pour effectuer ces interventions, il est indispensable que la galerie héberge les organes annexes des réseaux, c'est à dire les vannes, les regards, etc. Les dimensions de la section courante doivent donc permettre de les loger.

Les réseaux urbains reçoivent de nombreux piquages riverains. Le passage des branchements dans l'habitacle doit être pris en compte dans la détermination des dimensions de la section courante.

Les ouvrages annexes nécessaires à l'exploitation de la galerie, ne sont pas pris en compte dans cette méthode car trop ponctuels dans le cas des accès pour le matériel et facilement logeables au niveau du plafond de l'ouvrage dans le cas des accès pour le personnel.

# 7.3.2. Avant propos

Pour dimensionner une section courante de galerie, il est essentiel de prendre en compte toutes les règles, prescriptions et autres recommandations techniques inhérentes aux natures, dimensions, ..... de l'ensemble des réseaux impactés, dans le but de leur assurer un fonctionnement optimal. Ces réglementations et conseils reposent généralement sur des retours d'expériences et ne visent qu'à protéger efficacement les réseaux des possibles projections d'eau, des effets thermiques, des perturbations radioélectriques, ..., mais également à faciliter l'accès au pourtour des conduites, aux différents organes, à autoriser la maintenance, etc.

Trois rubriques peuvent être créées pour classer ces « prescriptions », ce sont :

La **rubrique fonctionnelle**, visant à faciliter la mise en œuvre, l'entretien, le démontage, ...., comme par exemple :

- Le réseau de chauffage urbain doit être positionné au niveau du radier afin de faciliter sa pose, les interventions ultérieures, son dépôt, ...
- Les canalisations électriques Haute Tension dite A (HTA), doivent être positionnées de telle manière que les canalisations Basse Tension (BT) soient à hauteur d'homme, car plus assujetties à manipulations,

• Une conduite d'assainissement de diamètre inférieur ou égal à 0.6m doit être séparée de la paroi la plus proche de 0,3m minimum et de 0,4m lorsque le diamètre est supérieur à 0.6m,

• Il est préférable de positionner le plus gros réseau au niveau du radier de l'habitacle en vue de faciliter le déplacement du personnel dans l'ouvrage et son démontage,

La **rubrique cindynique**, dont l'objectif est d'assurer une sécurité optimale dans l'ouvrage en fonction de la cohabitation des différents réseaux, comme par exemple :

- Il est fortement recommandé de positionner le réseau de chauffage urbain (température du fluide d'environ 200°C pour une pression d'environ 40 bars pour un chauffage par vapeur d'eau chaude) en voûte de galerie afin de réduire considérablement les risques de corrosion des conduites en acier. Ces conduites sont recouvertes d'un calorifugeage le plus souvent en laine de verre ou de roche. Cet isolant thermique ne protége pas le réseau contre l'eau provenant d'une infiltration de nappe phréatique, de condensation, de ruissellement suite à une décharge d'eau potable, d'un débordement du réseau d'assainissement d'eau pluviale, ... Ce calorifuge a l'inconvénient particulier d'absorber l'eau qui viendrait à son contact. De plus, il ne permet pas d'inspecter de visu l'état physique des conduites en acier et plus particulièrement leur niveau de corrosion. Il est donc essentiel d'un point de vue sécuritaire de préserver ce réseau de tout contact avec l'eau et donc de le placer en hauteur,
- Il est préférable de positionner le plus gros réseau au niveau du radier de l'habitacle en vue de faciliter le déplacement du personnel dans l'ouvrage,

La **rubrique hygiénique**, visant essentiellement à assurer un état de propreté optimum dans la galerie et à protéger les réseaux sensibles à la consommation d'éventuelles pollutions biologiques.

- Le réseau d'eau potable doit être positionné au-dessus des réseaux d'assainissement et plus particulièrement du réseau d'assainissement d'eaux usées pour des raisons de salubrité,
- L'emploi du Polyéthylène est à proscrire. En effet, le PE est sensible aux effets de la perméation susceptibles de provoquer une contamination de l'eau potable distribuée, quand il n'est pas à exclure d'avoir une mise en charge et un débordement des réseaux d'assainissement,
- La température de potabilité de l'eau potable est de 25°C (code de la santé publique des eaux destinées à la consommation humaine).
- L'habitacle doit comporter une cunette permettant le ruissellement des eaux d'infiltration dues à la présence de la nappe phréatique, de décharge du réseau d'eau potable, etc. Cette cunette achemine cette eau vers un puisard équipé d'une pompe de relevage pour acheminer cette eau vers la station d'épuration pour traitement,

Certaines de ces prescriptions, recommandations ou règles peuvent être en opposition.

L'exemple du chauffage urbain est tout à fait représentatif. La prescription fonctionnelle préconisant de positionner le chauffage urbain au niveau du radier de l'ouvrage pour faciliter sa mise en œuvre et son entretien contredit la prescription cindynique demandant de positionner le réseau de chauffage urbain sous le plafond afin d'éviter tout ruissellement d'eau sur le calorifuge. Dans ce cas de figure, la prescription fonctionnelle l'emporte sur la prescription cindynique si l'on accepte de surélever le réseau de chauffage urbain de quelques centimètres par rapport au radier. Cette surélévation permet de ne pas présenter de contact entre le calorifuge du réseau et l'eau de ruissellement récupérée au niveau du radier de l'ouvrage. Bien entendu, si une prescription contredit une réglementation, la réglementation devra toujours prévaloir.

## 7.3.3. Décomposition de l'habitacle

Le projet national 'Clé de Sol', recommande de diviser l'habitacle d'une galerie en trois parties (Vasconcelos, 2000) :

- une partie médiane partagée en trois zones comportant deux bandes latérales pour le passage des réseaux longitudinaux et une zone centrale, pour la circulation du personnel et les interventions sur réseaux (gabarit de passage),
- une partie supérieure réservée au passage des réseaux tranversaux (branchements),
- une partie inférieure réservée aux réseaux d'assainissement.

Reseaux tranversaux								
RESEAUX LONGITUDINAUX	Gabarit de passage	Reseaux Longitudinaux						
Reseaux d'assainissement								

Figure 4 : décomposition de la section courante en trois zones

# 7.3.3.1. La zone « réseaux d'assainissement »

Il faut comprendre par 'zone réservée aux réseaux d'assainissement', qu'il est préférable de positionner le réseau d'eau pluviale au niveau du radier de la galerie. Ce réseau étant généralement le plus volumineux, sa présence en fond de galerie perturbera moins la circulation dans l'habitacle puisqu'il se situera soit en dessous d'un caillebotis, soit au niveau des jambes au lieu du tronc ou des épaules.

# 7.3.3.2. La zone « réseaux transversaux »

L'espace supérieur réservé pour le passage des branchements riverains doit permettre en principe, le passage des conduites sans empiéter sur le gabarit de passage mais dans certains cas, cette recommandation peut être difficilement applicable ou non appropriée.

#### 7.3.3.3. Les zones « réseaux longitudinaux »

Un habitacle « idéal » de galerie doit être composé de deux parties latérales pour les réseaux longitudinaux. Les prescriptions techniques font penser qu'il est primordial de séparer les réseaux dits 'secs' des réseaux dits 'humides'. C'est à dire qu'il est conseillé de séparer les câbles électriques, les télécoms, les réseaux de fibres optiques des réseaux d'assainissement et d'eau potable. En ce qui concerne le réseau de gaz et les réseaux thermiques (chauffage urbain et climatisation), aucune prescription ni règle n'existent. Ils peuvent donc indifféremment se trouver du côté des réseaux 'secs' ou 'humides' à condition de respecter au mieux les demandes d'inter-distances demandées par les différents occupants.

# 7.3.3.4. Le gabarit de passage.

Le gabarit de passage est l'espace réservé permettant à un homme de corpulence et de taille moyenne, de circuler aisément dans la galerie, d'évacuer rapidement les lieux tout en lui autorisant les opérations de visite et de maintenance.

La norme NF X 35-107 relative aux dimensions des accès aux machines et installations, préconise de prendre un gabarit de passage de forme rectangulaire et de dimensions :

• Hauteur: 2m,

• Largeur : 0,8m.

Ces distances doivent être prises comme des maxima et peuvent être ramenées en cas de branchement ou de présence locale d'un organe annexe à :

• Hauteur: 1.85m.

• Largeur : 0,6m.

# 7.3.4. Les distances entre réseaux

Le projet National « Clé de Sol » recommande de respecter les distances entre réseaux suivantes en parcours parallèle :

31 janvier 2005

					Télécoms					Parois de la GMR		
		froid	CU	AEP	sans	avec	Gaz	EP-EU	Electricité	radier	murs	plafond
					fourreau	fourreau						
Électricité									30	0	0	SO
EP-EU								30	50	40	20	SO
Gaz							SO	30	50		20	40
Télécoms	Sans					0	20	30	40	0	0	SO
	Fourreau											
	Avec				0	0	20	30	40	0	0	so
	Fourreau											
AEP				SO	30	30	30	30	50	40	15	*
CU			SO	30	20	20	30	30	50	SO	8	40
Froid		SO	50	20	20	20	30	30	50	8	8	40

(\*) : dépend du diamètre SO : Sans Objet, cas rare

Tableau 11 : recommandations du projet national « Clé de Sol » pour les distances minimales entre réseaux en parcours parallèle

# 7.3.5. Méthode de dimensionnement

Le logiciel de DAO utilisé pour cette partie est Autocad 2000 d'Autodesk.

L'analyse bibliographique et le choix des réseaux, permettent de présenter l'encombrement des réseaux de manière suivant :

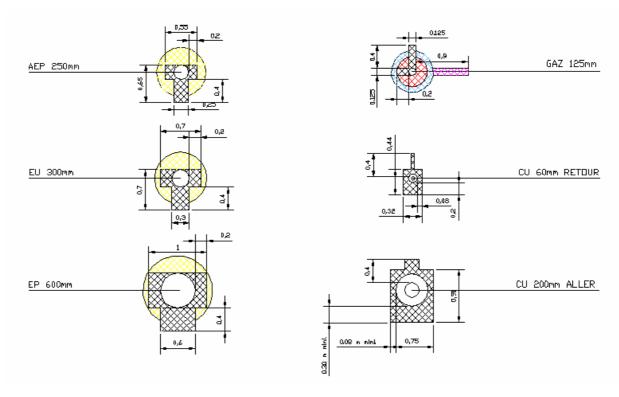


Figure 5 : représentation de l'encombrement des réseaux les plus contraignants

Cette figure est présentée de manière plus détaillée en annexe 14.

A partir de ces encombrements, le dimensionnement de l'habitacle devient extrêmement facile à réaliser.

# 7.3.5.1. Positionnement du réseau Eau pluviale 'EP'

Ce réseau étant généralement le plus volumineux, il est préférable de le positionner en premier et si possible le plus bas possible dans l'habitacle. De cette manière, sa position dans le gabarit, au niveau des jambes permettra de limiter son encombrement. Sa position va donc fixer la cote droite ou gauche de la section courante ainsi que la cote radier. Dans l'exemple présenté en figure 6, le réseau EP fige la cote droite de la section courante.

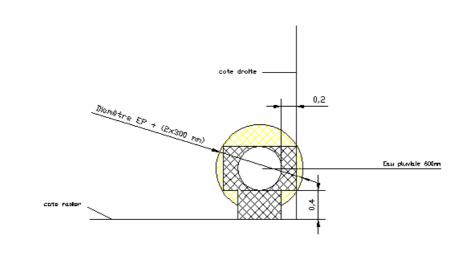


Figure 6 : mise en position du réseau d'assainissement d'eau pluviale

# 7.3.5.2. Positionnement du réseau Eau Usée 'EU'

Dans notre configuration, le seul réseau pouvant immédiatement surplomber le réseau d'assainissement d'eau pluviale est le réseau d'assainissement d'eau usée. En-effet, parmi les réseaux humides restant à positionner, il ne reste que ce réseau et le réseau d'adduction d'eau potable, ce dernier devant obligatoirement surplomber les canalisations d'assainissement pour des raisons de salubrité.

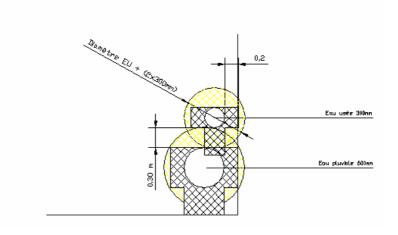


Figure 7 : mise en position du réseau d'assainissement d'eau usée

# 7.3.5.3. Positionnement du réseau d'eau potable

Le réseau d'eau potable doit surplomber les réseaux d'assainissement ce qui permet de respecter la prescription de salubrité décrite ci-dessus.

Tous les réseaux humides sont réunis du même côté de l'habitacle.

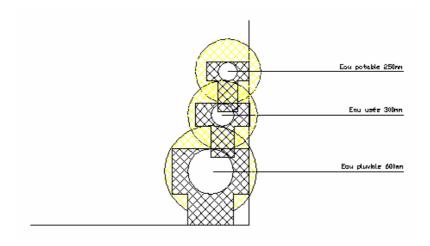


Figure 8 : mise en position du réseau d'adduction d'eau potable

# 7.3.5.4. Positionnement du gabarit de passage

Le gabarit de passage débute à l'extrémité de l'arrête extérieure du réseau d'eau pluviale car ce dernier est le plus encombrant et dépasse donc les autres. Sa cote basse doit reposer sur la cote radier imposée par le réseau EP.

Aucun réseau ne doit empiéter sur le gabarit en parcours parallèle.

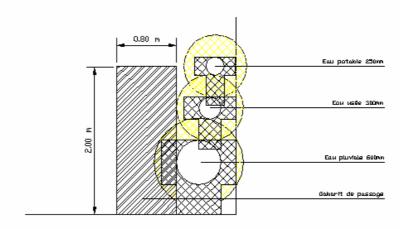


Figure 9 : mise en position du gabarit de passage

# 7.3.5.5. Positionnement de la canalisation aller du chauffage urbain par vapeur

Pour des raisons d'ordre technique, il est préférable de positionner un réseau de chauffage urbain au niveau de la cote radier d'une galerie. Cette précaution permet de faciliter la réalisation des supports et amarrages. La position basse permet aussi de ne pas exposer les canalisations électriques aux écoulements des eaux de condensations. Cependant, il est essentiel de surélever ce réseau pour ne pas exposer le calorifugeage à d'éventuelles eaux d'infiltration de la nappe ou aux eaux de décharges. Cette canalisation va fixer la cote gauche de l'ouvrage car elle est la plus volumineuse (diamètre 200mm + calorifugeage).

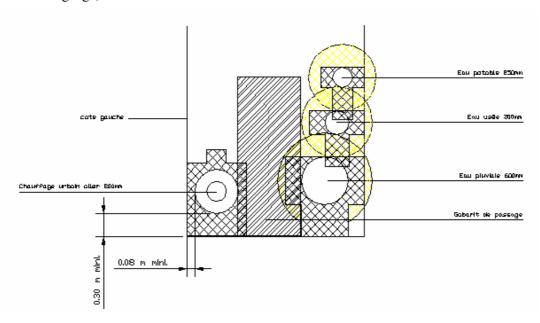


Figure 10 : mise en position de la canalisation aller du réseau de chauffage urbain

## 7.3.5.6. Positionnement de la canalisation retour du chauffage urbain par vapeur

Les retours d'expériences parisiens montrent que le retour d'eau d'un réseau de chauffage surplombe immédiatement la canalisation vapeur. La canalisation retour de ce réseau est proche de la paroi pour faciliter son mode d'accrochage.

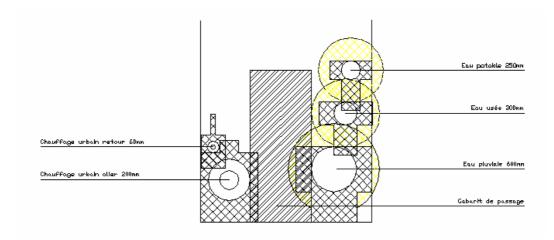


Figure 11 : mise en position de la canalisation retour du réseau de chauffage urbain

## 7.3.5.7. Positionnement des canalisations électriques

La présence du réseau de chauffage urbain oblige à positionner les canalisations électriques en hauteur dans l'habitacle. La distance séparant la conduite aller du réseau de chauffage urbain et la canalisation électrique la plus proche est de 0,5m en émettant l'hypothèse que la température de peau du calorifuge est au maximum de 30°C. Dans le cas ou la température de peau du calorifugeage excède les 30°C, la distance se trouve alors de 1,5m.

De plus, les canalisations HTA doivent surplomber les canalisations BT. En effet, la majorité des interventions sur les canalisations électriques s'effectuent sur les canalisation basse tension. Placer les canalisations HTA au-dessus des canalisations BT permet de placer à hauteur d'homme la basse tension et ainsi d'en faciliter l'exploitation et la maintenance.

Les distances entre canalisations électriques sont obtenues à partir du tableau proposé par le projet National « Clé de Sol ».

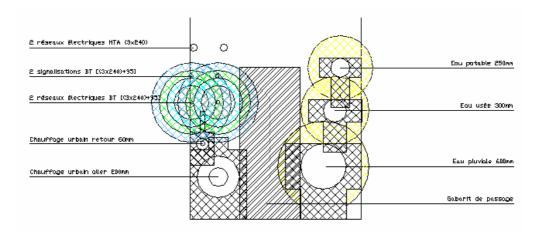


Figure 12 : mise en position des canalisations électriques BT & HTA

## 7.3.5.8. Positionnement du réseau de gaz

Dans notre cas, pour limiter la hauteur globale de l'ouvrage, il est préférable de positionner le réseau de gaz du côté des réseaux humides. En effet, les exploitants des réseaux électriques recommandent une distance minimale de 0,5m entre leurs réseaux et un réseau de gaz. Nous devons donc respecter cette distance vis à vis des canalisations HTA placées très haut dans l'habitacle. La distance avec un réseau de distribution d'eau potable n'est que de 0,3m et cette dernière est positionnée à une hauteur moindre dans l'habitacle. Il semble donc intéressant de positionner la canalisation gaz au-dessus de la canalisation d'eau potable.

La position du réseau de gaz va déterminer la cote plafond de l'ouvrage.

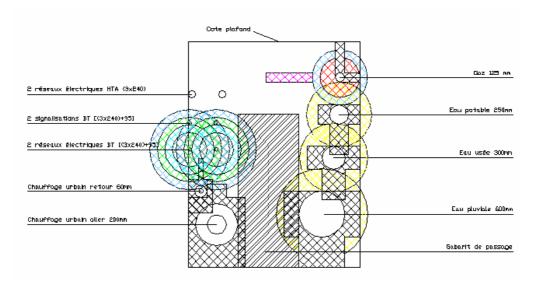


Figure 13 : mise en position du réseau de distribution de gaz

## 7.3.5.9. Positionnement des fourreaux de télécommunications

Les réseaux de l'information doivent être positionnés en dernier lieu car ils ne sont assujettis à aucune prescription technique particulière.

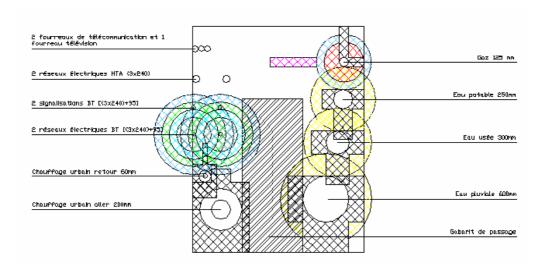


Figure 14 : mise en position des fourreaux de télécommunication

#### 7.3.5.10. Détermination des dimensions de la section courante

Pour loger l'ensemble de nos réseaux et le gabarit de passage, nous avons besoin de recourir à une section courante de dimensions 2,20mx2,95m. Ces dimensions doivent en principe permettre de respecter au mieux les recommandations techniques des différents utilisateurs de l'ouvrage.

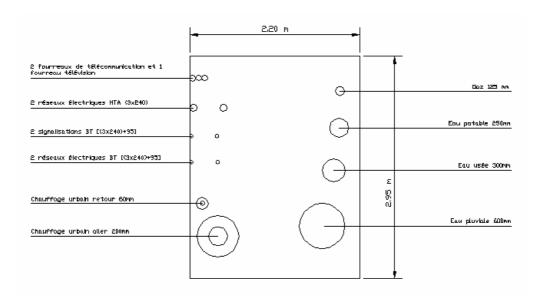


Figure 15 : détermination des dimensions de la section courante

## 7.3.5.11. Représentation de la galerie

La galerie se présente sous la forme :

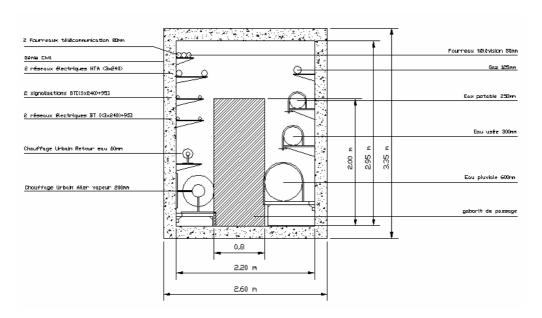


Figure 16 : représentation de l'aménagement intérieur pour un profil rectangulaire

#### 7.3.5.12. Conclusion

Cette méthode graphique de dimensionnement permet de déterminer très rapidement les dimensions de l'habitacle de galerie que l'on désire concevoir.

Cette méthode repose cependant sur une connaissance exhaustive de l'ensemble des règles techniques.

#### 7.3.6. *Vérification de la section courante*

La méthode présentée ci-dessus permet de déterminer assez rapidement les dimensions de l'habitacle en fonction uniquement des linéaires de réseaux. Cependant, une galerie urbaine héberge bien plus que le simple linéaire de réseaux. L'habitacle accueille également les organes annexes et les branchements riverains. Il est donc essentiel de vérifier que les dimensions déterminées précédemment permettent de loger également ces organes annexes et branchements.

Cette vérification ne peut se faire qu'à partir du gabarit de passage. En effet, cet espace réservé ne peut être réduit que de manière ponctuelle et limitée. Il faut donc veiller à respecter scrupuleusement la norme NF X 35-107.

Les dessins de ce travail sont présentés de manière détaillée en annexe 14.

#### 7.3.6.1. dépôt et évacuation de la plus grosse canalisation hébergée

L'objectif de cette validation est de vérifier que les dimensions du gabarit de passage sont suffisantes pour permettre le démontage, le déroulage, le dépôt et l'évacuation du plus gros réseau en vue de son remplacement.

Les trappes d'accès pour le gros matériel sont généralement placées soit aux deux extrémités de la galerie c'est à dire au niveau des têtes, soit disposées de manière régulière le long du linéaire de l'ouvrage. Quelle que soit la technique employée, il est nécessaire de permettre le déplacement même limité de la plus grosse conduite dans l'ouvrage pour ainsi l'évacuer et la remplacer.

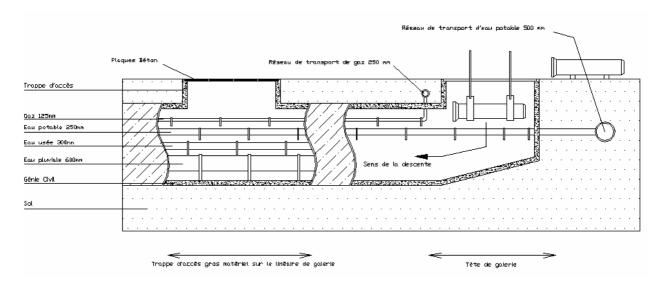


Figure 17 : représentation des trappes d'accès matériel, cas type tête de réseau

Dans notre exemple, la conduite d'assainissement des eaux pluviales est la plus volumineuse. Ce n'est pas pour cette raison que l'on considère que le réseau d'assainissement d'eau pluviale comme le moins durable, mais il se peut que l'on doive en changer un tronçon si un accident intervient, comme par exemple l'apparition d'une fissuration lors d'un choc sur sa structure dû à la chute d'un outil lourd.

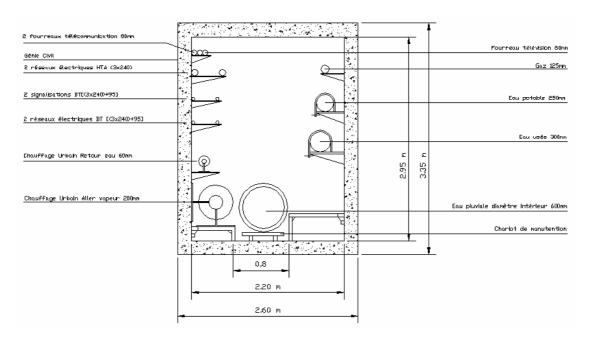


Figure 18: représentation du dépôt de la canalisation du réseau d'assainissement d'eau pluviale

Un gabarit de passage de 0,8m de largeur est trop petit pour pouvoir manipuler aisément un tronçon du réseau EP de diamètre 0,6m. L'espace disponible pour circuler autour est au maximum dans ce cas, de 0,2m. Il est préférable d'accroître cette distance à un minimum de 0,3m. Bien entendu, si le réseau le plus volumineux ne fait que 0.4m de diamètre, un gabarit de passage de 0,8m de large est suffisant.

En adoptant une largeur de gabarit de passage de 0,90 mètre, l'habitacle se présente alors de manière suivante :

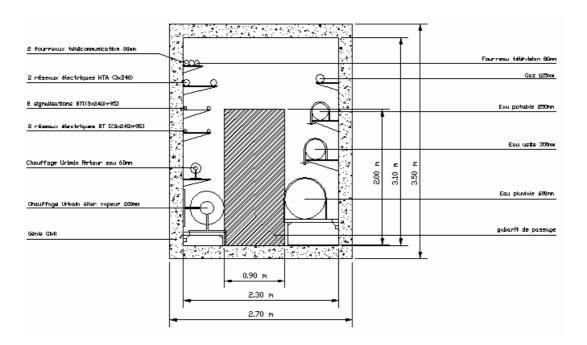


Figure 19 : représentation de l'aménagement intérieur pour un gabarit de passage de 0.90 mètre de large

#### 7.3.6.2. Passage des branchements sur les canalisations électriques

Pour effectuer un branchement sur une canalisation électrique, il est préférable de passer le câble de branchement le long de la paroi de la galerie. En effet, si le câble de branchement passe entre les câbles de distribution et le gabarit de passage, sa présence entraînera des difficultés de déroulage, de maintenance, de dépôt et de manœuvre. Il semble donc judicieux de profiter de l'espace disponible entre les câbles de distribution électrique et le gabarit de passage, pour avancer d'une dizaine de centimètres ces derniers et ainsi permettre le passage des câbles de branchement le long de la paroi de la galerie.

Il en va de même pour les fourreaux de télécommunications

Cette précaution n'a aucune incidence sur les dimensions de l'habitacle puisque les canalisations électriques avancées d'une dizaine de centimètres n'atteignent pas le gabarit de passage.

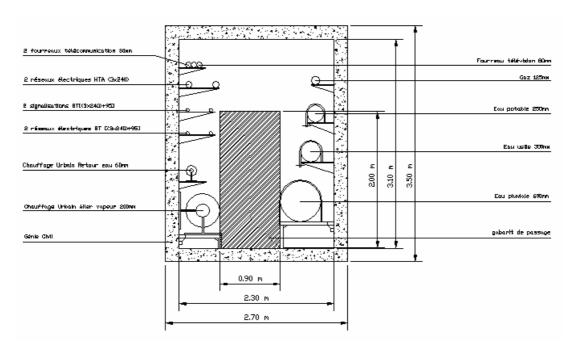


Figure 20 : représentation de la galerie avec un écartement des canalisations électriques de 0,10 mètre par rapport à la paroi

## 7.3.6.3. Passage d'une canalisation de branchement sur le réseau d'assainissement EP

Si l'on considère un branchement riverain en diamètre 300mm sur le réseau d'assainissement d'eau pluviale, on constate que les dimensions de la section courante sont trop faibles pour respecter la norme NF X 35-107.

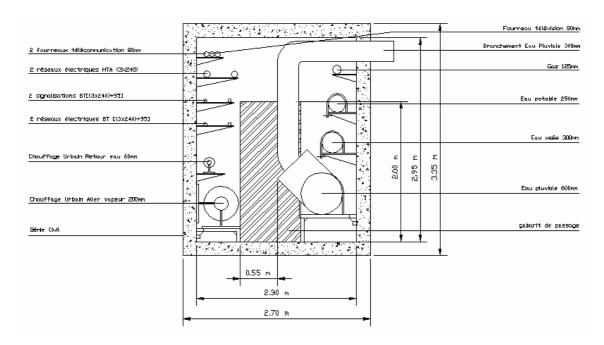


Figure 21: représentation de la galerie avec un gabarit de passage d'une largeur de 0,9 mètres et un piquage en 300 mm à droite sur le réseau d'assainissement EP

En effet, le gabarit de passage est réduit ponctuellement à 0,55m de largeur, alors que la norme impose 0,6m. La solution est d'agrandir la largeur du gabarit de passage à 1 mètre.

Cette solution se présente de la manière suivante.

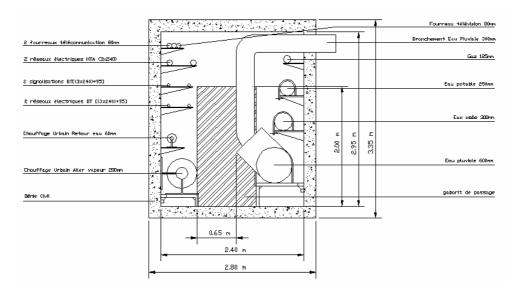


Figure 22 : représentation de la galerie avec un gabarit de passage agrandi à 1 mètre et avec un piquage à droite sur le réseau d'assainissement EP

## 7.3.6.4. branchement sur la canalisation aller du chauffage urbain

Si l'on considère un branchement réalisé classiquement sur le réseau de chauffage urbain en diamètre 100mm + une épaisseur de calorifuge de 0,1 mètre en vue d'obtenir une température de peau de 20°C (cf. fiche technique Chauffage urbain en annexe 6), on constate que la norme NF X 35-107 ne peut être respectée.

Cette solution se présente de la manière suivante (figure 23) :

Le gabarit de passage est réduit à 0,50 mètre alors que la largeur minimale à respecter est de 0,60 mètres.

La hauteur de l'habitacle doit être augmentée pour assurer la distance de 0,30 mètre entre le réseau de chauffage urbain et le réseau de gaz combustible. La hauteur passe donc de 2.95 mètres à 3.10 mètres.

De plus, pour respecter la norme, il est obligatoire de positionner la canalisation de branchement de la manière suivante en passant par l'utilisation d'un coude normalisé à 45°:

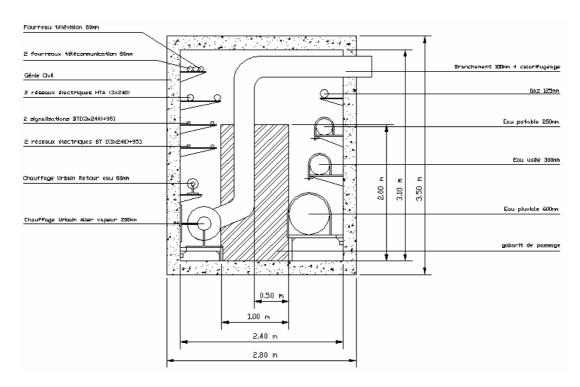


Figure 23 : représentation d'un branchement à droite sur le réseau de chauffage urbain

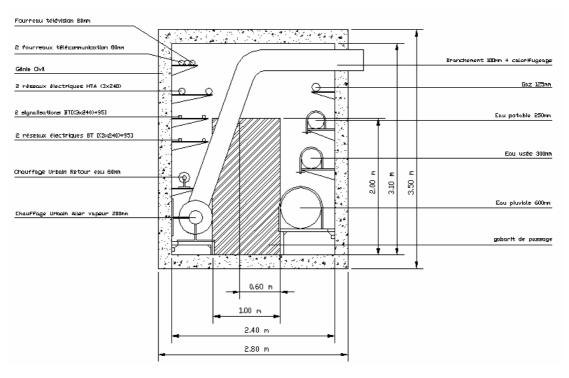


Figure 24 : représentation d'un branchement à droite sur le réseau de chauffage urbain en vue de respecter la norme NF X 35-107

Dans ce cas, la solution technique respecte la norme mais les distances de 0,50 mètres entre les canalisations électriques et les canalisations de chauffage ne peuvent plus être respectées. La solution

pour réaliser les branchements sur le réseau de chauffage urbain passe donc par la réalisation d'une chambre :

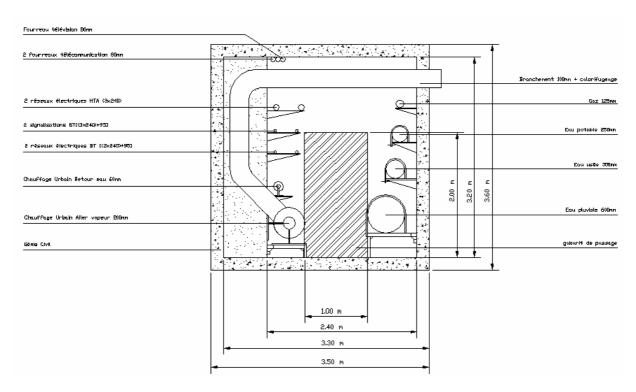


Figure 25 : représentation finale d'un branchement à droite sur le réseau de chauffage urbain

La solution est de créer une niche du côté gauche, derrière les canalisations électriques, d'une distance suffisante pour avoir les 0,5 mètre de distance demandée vis-à-vis des canalisations électriques (c'est à dire; une niche profonde d'environ 1 mètre). La même solution peut être appliquée pour le passage vers la droite de la canalisation de branchement en travers de l'habitacle.

Cette solution permet de limiter le coût de fabrication de l'habitacle car les sur-largeurs sont ponctuelles. Ce raisonnement se tient d'un point de vue économique s'il n'y a pas un trop grand nombre de piquages, sinon il est préférable d'étudier l'opportunité d'accroître les dimensions générales de l'habitacle.

## 7.3.6.5. Branchement gaz et vanne à opercule sur réseau d'eau potable

Le réseau de gaz étant situé en hauteur, un branchement gaz n'occasionne aucun désagrément.

Une vanne à opercule sur le réseau de distribution d'eau potable n'empiète pas sur le gabarit de passage. Ceci est du à la présence du réseau d'assainissement EP qui par son diamètre recule la canalisation d'eau du gabarit de passage et permet de ce fait de loger aisément une vanne.

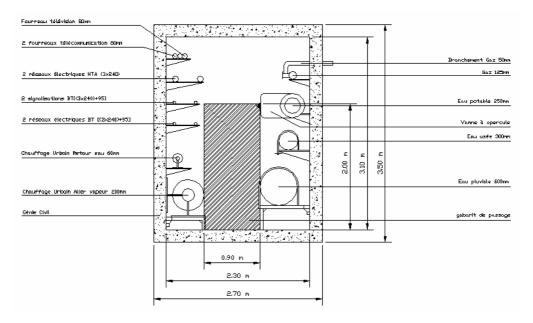


Figure 26 : représentation d'un branchement sur le réseau de gaz et d'une mise en situation d'une vanne à opercule sur le réseau d'adduction d'eau potable

#### 7.3.7. Conclusion

Nous avons vu que les opérations de remplacement ou les branchements peuvent entraîner des modifications de dimensions de l'habitacle. La méthode de détermination de la section courante permet de fournir rapidement un ordre de grandeur réaliste des dimensions de l'ouvrage. Mais cette section courante doit être validée pour les équipements annexes, les dépôts de réseaux et les branchements. Dans notre exemple, les dimensions de notre section courante de 2,95mx2,20m deviennent après vérification 2,95mx2,40m, soit une augmentation d'environ 10% de la surface de l'habitacle.

Cette méthode repose sur une connaissance précise de l'ensemble des prescriptions techniques concernant chaque réseau.

Nous pouvons donc en final proposer l'enveloppe suivante sur laquelle apparaissent les pentes transversales d'écoulement des eaux d'infiltration, de décharge ainsi que la cunette d'évacuation. La pente est de 2cm/m pour éviter les apparitions de flaques d'eau. L'épaisseur du radier est augmentée pour ne pas fragiliser la structure.

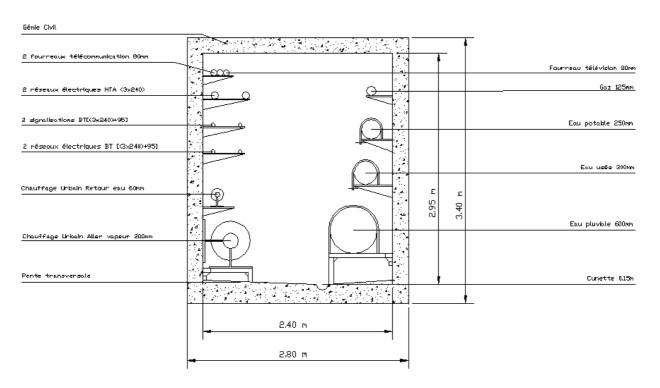


Figure 27 : représentation finale du profil rectangulaire

7.3.8. Organisation intérieure des autres profils sans vérifications pour les branchements et organes annexes.

De la même manière nous obtenons pour les trois autres profilés.

## 7.3.8.1. Profil circulaire

Le profil circulaire se présente de la manière suivante.

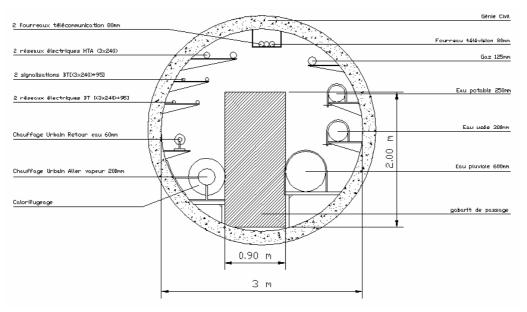


Figure 28: représentation finale du profil circulaire

## 7.3.8.2. Profil ovoïde

Le profil ovoïde se présente de la manière suivante.

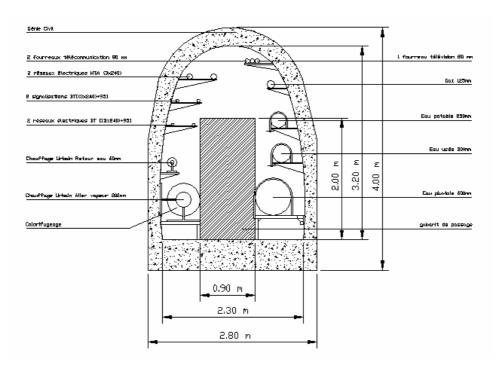


Figure 29 : représentation finale du profil ovoïde

## 7.3.8.3. Profil trapézoïdal

Le profil trapézoïdal se présente de la manière suivante.

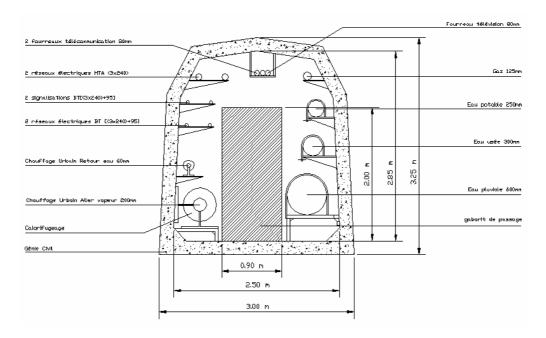


Figure 30 : représentation finale du profil trapézoïdal

## 8. CONCLUSION

Cette méthode de dimensionnement permet de déterminer rapidement et facilement les dimensions de l'habitacle et ce, en fonction des réseaux devant être hébergés.

La principale difficulté rencontrée, réside dans le fait qu'il est nécessaire de posséder une vision assez exhaustive des contraintes d'inter-distances entre les réseaux.

La position finale des réseaux dans l'habitacle est très vite obtenue. En effet, certains réseaux comme les EP où le chauffage urbain, empêchent de réaliser de profondes modifications et fixent les positions. Selon les recommandations techniques des concessionnaires de réseaux, les emplacements de ces derniers sont obligatoirement figés et ce, pour des raisons d'accessibilité, mécanique ou de commodité. On peut être amené à penser qu'il existe pour chaque configuration urbaine, une coupe en travers type de galerie ne pouvant subir de modifications majeures.

Nous avons vu également, qu'il est primordial de réaliser une vérification sur les dimensions obtenues de l'habitacle. Cette vérification est basée essentiellement sur une implantation des organes annexes des réseaux. Ces organes ne devant pas empiéter de trop grande manière sur le gabarit de passage, afin de laisser constamment libre un espace suffisant permettant l'évacuation rapide de la galerie en cas d'incident. Cette vérification permet en outre, de vérifier que le gabarit de passage est de dimensions suffisantes pour permettre d'acheminer des tronçons de réseaux en cas de maintenance.

# Chapitre 3

## Aide à la conception

## - Chapitre 3 -

## AIDE A LA CONCEPTION

## 9. Introduction Generale

Sur le très court terme, c'est à dire sur l'investissement, il est évident qu'un projet de galerie sera toujours plus onéreux qu'une solution classique de VRD par tranchées. La différence de coût est essentiellement due au coût de fabrication de l'habitacle.

Il existe cependant des solutions d'aménagement intérieur de l'habitacle permettant de réduire ce coût de fabrication. Il faut entendre par « aménagement intérieur » la possibilité de non-inclusion dans l'habitacle d'un certain nombre de réseau.

Pour valider les choix d'aménagement intérieur, il est obligatoire d'estimer le coût d'investissement des solutions galerie et pleine terre. A partir de cette évaluation, il devient alors possible de comparer des solutions d'aménagement intérieur modulé.

Les études menées dans cette partie sont :

- Evaluation économique des différents profils,
- Comportement mécanique des profils sous chargement routier,
- Evaluation économique des solutions galerie « hors branchements »,
- Recherche des solutions techniques permettant de limiter le coût d'investissement de la solution galerie,
  - o Etude sur le réseau d'eau pluviale,
  - Etude sur les réseaux d'assainissement,
  - Etude sur le réseau de chauffage urbain,
  - Etude sur les canalisations électriques.
- Etude sur les branchements riverains

## 10. AVANT PROPOS

L'ensemble de ce travail a été réalisé pour le compte et en partenariat avec le « groupe règles de l'art » du projet national « clé de sol »

## 11. Presentation du tableur financier

Le bordereau de prix retenu pour cette étude est celui de Monsieur Claude Wilmart, responsable de l'unité VRD de l'entreprise AREP 'Aménagement Recherche Pôles d'échanges', bureau d'études pluridisciplinaire filiale de la SNCF et partenaire du projet national « Clé de Sol ».

Les annexes 10 et 11 présentent la désignation des coûts présentés pour les solutions en pleine terre et en galerie.

Les prix utilisés sont :

	Prix de pose (€/ml/unité)				
	Pleine Terre	Galerie Multiréseaux			
Réfection voirie	91.5	91.5			
Terrassement	39.9	39.9			
Coffrage	SO	52.9			
Béton	SO	30.5			
Acier	SO	183			
Fourniture	SO	3.8			
Blindage	SO	39.7			
Caniveau	213.4	SO			
Pose EP Ø 600 mm	207.5	358			
Pose EU Ø 300 mm	93.1	148			
Pose AEP Ø 250 mm	190.5	123			
Pose GAZ Ø 125 mm	92.9	59.9			
Pose CU aller Ø 200 mm	321	376			
Pose CU retour Ø 60 mm	47	47			
Pose BT	22	31			
Pose HTA	25	33			
Pose fourreau Télécoms Ø 80 mm	14	13.5			

Tableau 12 : récapitulatif du tableur financier utilisé

Les supports n'étant pas pris en compte dans le bordereau d'AREP, les ratios utilisés seront ceux de Monsieur Guy Pellery, responsable des réseaux parisiens à la SAGEP 'Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris' et partenaire du projet national « Clé de Sol ».

L'annexe 8 relative aux supports présente les ratios utilisés pour la pose des réseaux en galerie. Les ratios utilisés sont :

	Ratio complémentaire au prix de pose des réseaux, représentant le coût des supports
EP Ø 600 mm	+ 45%
EU Ø 300 mm	+ 35%
AEP Ø 250 mm	+ 27%
GAZ Ø 125 mm	+ 32%
CU aller Ø 200 mm	+ 45%
CU retour Ø 60 mm	+ 37%
ВТ	+ 15%
Fourreau Télécoms Ø 80 mm	+ 15%

Tableau 13 : récapitulatif des ratios de prix pour les supports en galerie

## 12. Presentation du cas d'etude et hypotheses formulees

Afin de mener à bien ce travail, il est essentiel d'arrêter un cas d'étude permettant de chiffrer les différentes solutions techniques analysées.

Pour cela, nous travaillerons sur un projet de galerie fictif, et les hypothèses suivantes seront faites et utilisées jusqu'à la fin de ce travail :

- Une longueur totale de projet de 1000 mètres,
- La pente naturelle du terrain est nulle,
- Le cheminement de la galerie est linéaire sur toute la longueur (ni courbe, ni bifurcation, ...),
- La galerie suit l'axe central de la voirie (elle ne se trouve pas plus proche d'un côté de la voirie que l'autre),
- Elle se situe dans un centre urbain de type hausmanien, ce qui implique que nous pouvons rencontrer :
  - o 3 longueurs de façade pour les habitations à desservir :
    - petite façade de 6 mètres de long,
    - moyenne façade de 12 mètres de long,
    - grande façade de 18 mètres de long.
  - o 4 types de voiries :

- plate-forme de 6 mètres,
- plate-forme de 8 mètres,
- plate-forme de 13 mètres,
- plate-forme de 26 mètres.
- La densité moyenne du trafic est de 10 000 véhicules jour et ce, quelque soit le type de voirie,
- La durée d'attente à un feu rouge est de 30 secondes,
- Le taux de remplissage des véhicules est de 1,2,
- La distance totale d'un embouteillage durant un feu rouge est de 100 mètres,
- La consommation de carburant hors congestion est estimée à 8 litres/100km,
- La consommation de carburant sous congestion est supérieure de 30 à 70% à la consommation hors congestion,
- Il n'y a pas de plantation pouvant perturber l'implantation des réseaux dans le sol,
- Les réseaux étudiés sont ceux utilisés dans le chapitre 2, paragraphe 2 "Réseaux Etudiés",
- La création de la galerie, s'effectue sur une année complète,

## 13. REPRESENTATION DE LA SOLUTION DE REFERENCE

#### 13.1. Introduction

La solution de référence est une solution éprouvée d'implantation des réseaux directement dans le sol, c'est à dire par réseaux enfouis.

Il existe de nombreuses références bibliographiques permettant de concevoir un projet d'urbanisation utilisant les réseaux enfouis (STU, 1986), (Dupuy, 1991), (Chevalier, 1999), etc. Cette technique étant la plus utilisée en France (STU, 1986), il est normal qu'elle soit considérée comme la solution de référence dans notre étude.

#### 13.2. Hypotheses

Les hypothèses suivantes seront faites :

- Seul le linéaire de réseau est pris en compte. Les branchements seront pris en compte en partie 1.7.
- Les profondeurs minimales d'enfouissement des réseaux respectent les valeurs prescrites dans les ouvrages de 'la coordination technique' (STU, 1986).
- Les distances en parcours parallèle entre les réseaux, respectent les valeurs prescrites dans les ouvrages de 'la coordination technique' (STU, 1986),
- Aucune plantation ne perturbe l'implantation des réseaux dans le sol.

	Profondeur d'enfouissement (m)		
	Sous trottoir	Sous voirie	
Assainissement			
	SO	>1,50	
Eau potable			
_	0,90	1,00	
Gaz	0,90	1,00	
Chauffage urbain			
(sous caniveau)	SO	0,60	
Electricité	0,70	0,90	
Réseaux de l'information	0,50	0,60	

Tableau 14 : récapitulatif des profondeurs d'enfouissements des réseaux urbains

Contraintes	t la				Elect	ricité		Télé	coms				ı
imposées par le service	Service subissant contrainte	Assainissement	Eau potable	ТВТ	ВТ	нта	НТВ	Urbain	Nationales	Eclairage Public	Signalisation	Gaz	Chauffage urbain
Assainisseme	nt					Pas d	E CONTRA	INTES PAR	ΓICULIERES	3			
Eau potable		40 PH		40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH
	ТВТ	20	20									20	50
Electricité	ВТ	20	20									20	50
	НТА	20	20									20	50
	НТВ												
Télécoms	Urbain	20	20	20	20	20	20			20	20	20	50
	Nationales	20	50 PH	50 PH	50 PH	50 PH	50 PH			50 PH	50 PH	50 PH	50
Eclairage Pu	blic	20	20					40	40				
Signalisation		20 20 40 40			(1)								
Gaz		40 PH	40	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH		(1)
Chauffage ur	bain					Pas d	E CONTRA	INTES PAR	ΓICULIERES	3			

<sup>(1)</sup> fonction de la température du sol

Tableau 15 : distances minimales entre réseaux en pleine terre

## 13.3. LES DIFFERENTS TYPES DE VOIRIE ETUDIES

Dans ce travail, seront étudiés 4 types de voirie censés représenter un panel des voiries françaises.

Ces voiries disposent des caractéristiques suivantes (STU, 1986) :

Type de voirie	Caractéristiques	Equipement annexe
1	Plate-forme de 6 mètres dont :  • 4 mètres de chaussée • 2x1 mètre de trottoir	néant
2	Plate-forme de 8 mètres dont :  • 5 mètres de chaussée  • 2x1.5 mètres de trottoir	1 candélabre
3	Plate-forme de 13 mètres dont :	2 candélabres
4	Plate-forme de 26 mètres dont :  • 2x7 mètres de chaussée  • 2x3.5 mètres de trottoir  • 5 mètres de terre plein central	4 candélabres

Tableau 16 : caractéristiques des voiries étudiées

Ces voiries sont présentées en annexe 12.

## 13.4. MISE EN SITUATION DES RESEAUX

La mise en place de manière habituelle de l'ensemble des réseaux étudiés, ne peut se faire qu'à partir de la voirie de type 2 (5m de chaussée et 2x1.5m de trottoir). La voirie de type 1 (4 m de chaussée et 2x1m de trottoir) ne permet pas de positionner la totalité des linéaires de réseaux.

La solution de référence se présente de la manière suivante :

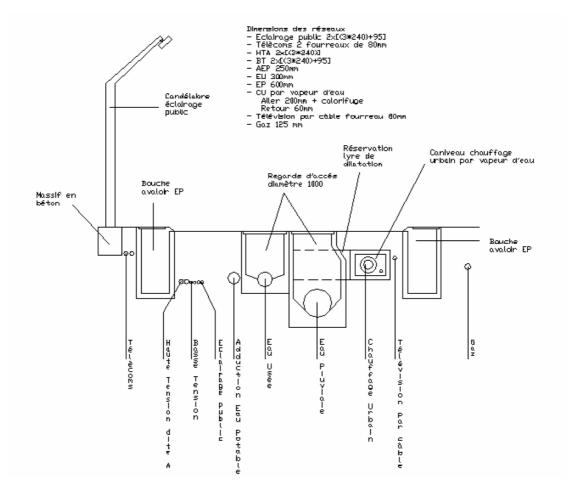


Figure 31 : représentation de la solution de référence

Cette solution est présentée de manière détaillée dans l'annexe 13. Dans cette annexe sont présentées deux solutions qui ont été validées par le responsable de l'unité VRD du groupe AIA 'Architectes et Ingénieurs Associés'. Le choix de ce responsable, s'est porté sur la solution limitant les volumes à excaver.

#### 13.5. COUTS D'INVESTISSEMENT DE LA SOLUTION DE REFERENCE

Cette solution par réseaux enfouis est estimée à 3325€/ml hors branchements.

## 14. EVALUATION ECONOMIQUE DES DIFFERENTS PROFILS

## 14.1. Introduction

Cette partie a pour but de déterminer l'enveloppe la moins onéreuse à réaliser parmi les quatre étudiées. Les différents modes de fabrication seront également considérés.

Pour permettre de choisir entre les différents modes de fabrication et la forme du profil, il est nécessaire de procéder à une approche économique car les coûts de réalisation seront fonction des solutions retenues.

Cette étude ne présente donc que les coûts de réalisation de l'habitacle.

Les prix comprennent entre autres :

- La démolition de la chaussée
- Le terrassement par pelle mécanique dans un sol classique et cohérent
- L'évacuation des matériaux et leur mise en décharge
- La réalisation du fond de forme
- Le blindage
- Le coffrage (uniquement pour la solution béton coulé en place)
- Les aciers (uniquement pour la solution béton coulé en place)
- Le béton à base de ciment CEM III 32.5 dosé à 350Kg/m³ (uniquement pour la solution béton coulé en place)
- La fourniture, mise en œuvre et compactage de tout venant
- La mise en œuvre de la couche d'accrochage
- La mise en œuvre de la couche de roulement

#### 14.2. REPRESENTATIONS

Les dimensions des profilés étudiés sont les suivantes (figure 32), leurs dimensions sont obtenues par la méthode de dimensionnement présentée au chapitre 2.

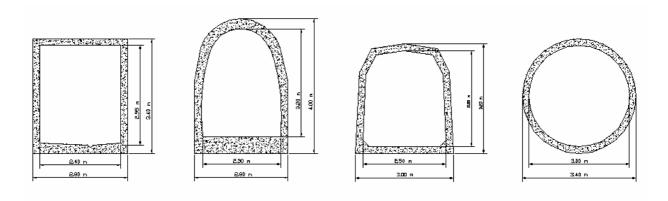


Figure 32 : représentation des dimensions des différents habitacles

Le profil rectangulaire sera étudié en solution béton coulé en place et préfabriqué. Le profil rectangulaire préfabriqué à base de pied droit, dispose des dimensions figées 2.60mx3.10m. Ces dimensions sont issues du catalogue constructeur de BonnaSabla.

Les profils trapézoïdal et circulaire seront étudiés en solution préfabriquée. Leurs dimensions sont issues des catalogues constructeurs (BMI pour le trapézoïdal et BonnaSabla pour le circulaire)

Le profil ovoïde sera étudié en solution coulée en place.

#### 14.3. HYPOTHESES

Rappel des hypothèses émises en chapitre 2 :

- Les prix sont déterminés pour une longueur de projet de 1000 mètres de galerie linéaire
- La pente moyenne appliquée à l'ensemble des profils est 0,5% en vue de permettre l'écoulement des fluides dans les réseaux gravitaires.
- La galerie suit l'axe central de la voirie

Les hypothèses complémentaires suivantes seront faites :

- La pose des réseaux n'est pas prise en compte. Elle sera étudiée à partir du chapitre 8.
- Les ratios de support ne sont pas utilisés. Ils seront étudiés à partir du chapitre 8.
- Les prix des profilés coulés en place sont obtenus à partir des bordereaux d'AREP (annexe 10).
- Le poids équivalent de l'acier utilisé est de 120kg par m³ de béton en barre HA ou de 1,25 kg/m² de surface en treillis soudé.
- La technique de coffrage des solutions coulées en place est classique, c'est à dire utilisant des banches classiques.

La forme ovoïde, qui dans notre cas ne sera étudiée qu'en solution coulée en place, ne nécessite pas ou peu d'acier pour la reprise des efforts et sera donc équipée d'un ferraillage limitant la fissuration via un treillis unique de surface d'un poids équivalent de 1,25 kg/m² de surface. Le cadre en solution coulée en place disposera quant à lui de 120kg d'acier par m³ de béton.

Pour les solutions préfabriquées, les prix présentés sont issus de bordereaux de prix de différentes entreprises françaises proposant ces produits. Il est pris comme hypothèse que le chantier de pose se situe à proximité d'une entreprise de production d'éléments préfabriqués.

#### 14.4. COUTS D'INVESTISSEMENT

Les prix obtenus pour la réalisation de l'enveloppe de la galerie sont :

	Matériau	Procédé de	Dimensions (m)		Surface du profil (m²)		Coût
		fabrication	intérieures	extérieures	intérieure	extérieure	(€/ml)
Rectangulaire	Béton	coulé en place	2,40 x 2,95	2,80 x 3,35	7.08	9.38	4150
Ovoïde	Béton	coulé en place	2,30 x 3,20	2,80 x 4,00	6,58	10,03	3514
Circulaire	Béton	préfabrication	3	3,4	7,06	9,07	5620
Rectangulaire par piédroits	Béton	préfabrication	2,60 x 3,10	3,00 x 3,50	8,06	10,5	3658
Trapézoïdal 2 parties	Béton	préfabrication	2,50 x 2,85	3,00 x 3,25	6,37	8,53	4352

Tableau 17 : coûts de fabrication des différents profils de galerie

#### 14.5. CONCLUSION

Le profilé ovoïde est le moins onéreux des cinq solutions présentées ci-dessus. Ceci s'explique par le fait que sa voûte renvoie les charges (poids des terres, etc.) vers les parois et permet ainsi de se passer d'aciers longitudinaux et transversaux pour la reprise d'efforts. L'ovoïde étudié est uniquement équipé d'un treillis soudé limitant la fissuration. Les économies réalisées sur l'acier permettent de compenser financièrement et très largement le surplus de béton nécessaire pour rendre fonctionnel l'ouvrage. Il est essentiel que la voûte soit d'une épaisseur de béton relativement importante pour transmettre les efforts sur les parois. Il en va de même en ce qui concerne le radier, dont le poids propre reprend les effets de flexion en partie inférieure.

La figure suivante représente la différence de coût entre les deux solutions coulées en place, rectangulaire et ovoïde. Elle réside uniquement sur l'acier.

Il est à noter, que l'évaluation économique de la solution ovoïde est réalisée sur la base d'une utilisation de coffrage classique. Les prix du bordereau AREP sont donc fonction d'un temps de main d'œuvre et d'un coût de matériel moyens. L'utilisation d'un coffrage glissant permettrait de réduire notablement le temps de main d'œuvre (Clé de Sol, 2004), et donc le coût de revient de l'enveloppe.

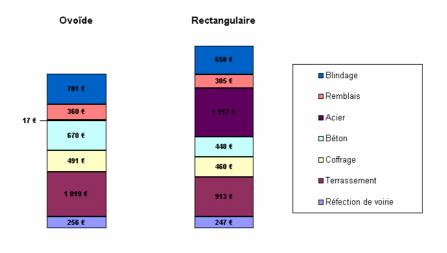


Figure 33 : décomposition des coûts de fabrication des profils ovoïde et rectangulaire en solution coulée en place

Le profil rectangulaire est intéressant financièrement en solution préfabriquée. Ceci est du au fait que ce produit a été amorti depuis plusieurs années par l'entreprise Bonna Sabla. L'amortissement d'un produit manufacturé s'effectue en effet, essentiellement sur les moules servant à sa fabrication. Les prix sont donc compétitifs car ce produit est de plus un produit phare de l'entreprise. Il est également intéressant de noter que cette solution propose une surface intérieure plus importante (environ 12%) que la solution coulée en place pour un prix de revient moindre (-492€/ml).

Les solutions préfabriquées de type circulaire et trapézoïdale et la solution cadre coulée en place ne présentent qu'un faible intérêt économique. Cependant, la solution trapézoïdale a été évaluée financièrement sur un seul projet de galerie, celui de l'extension de la ligne 2 du tramway de Lyon à Saint-Priest Bel Air. L'hypothèse d'un amortissement des moules sur cet unique chantier a été prise. Il est certain que le coût de revient présenté dans cette étude, est bien supérieur à celui que pourrait obtenir un chantier de plus grande envergure ou si les moules étaient déjà amortis depuis un certain temps. Le projet étudié mesurait 1800 mètres de long. L'étude fut réalisée pour le compte du projet national "Clé de Sol" par le bureau d'études SERALP Infrastructure en étroite collaboration avec l'entreprise BMI.

# 15. COMPORTEMENTS MECANIQUES DES PROFILS SOUS CHARGEMENT ROUTIER

L'objectif de cette partie est de déterminer la réponse générale des différents profils de galerie sous sollicitation extérieure de type chargement routier (figure 34). Les différents profils peuvent présenter des comportements distincts et subir des contraintes différentes en raison de leur géométrie. Il semble donc intéressant d'étudier leur réponse pour rechercher un profil « optimum », permettant de répartir uniformément les contraintes sur sa structure afin de limiter la quantité de matière à utiliser pour sa construction, son temps de mise en œuvre et donc son coût de revient.

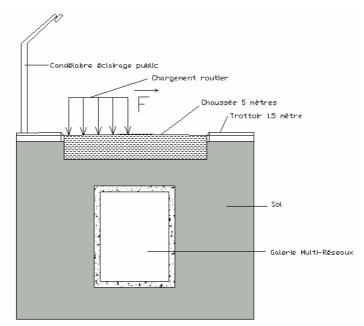


Figure 34 : sollicitation extérieure de type 'chargement routier' sur la galerie

## 15.1. MODELE RETENU ET PLAN D'EXPERIENCE

La norme NF EN 1295-1 et le Fascicule 70 (Fascicule 70, 1992) préconisent que : 'le maître d'ouvrage est libre de spécifier la méthode de calcul appropriée à utiliser'. De fait, ne désirant pas dimensionner notre ouvrage mais simplement appréhender son comportement mécanique sous sollicitation extérieure, la loi de comportement des matériaux est choisie élastique linéaire.

L'objectif étant de comparer le comportement mécanique d'un ouvrage de différentes géométries soumis à un chargement routier, l'hypothèse de ne prendre en compte que les rigidités des matériaux et de négliger les poids propres peut être faite. Les efforts induits dans la structure ne sont alors fonction que des efforts extérieurs appliqués sur la chaussée. Le tableau 18 présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude.

	Poids propre <b>γ</b> (kN/m³)	Module de Young <b>E</b> ( <b>kPa</b> )	Coefficient de Poisson <b>v</b>	Rigidité à la compression EA (kN)	Rigidité à la flexion EI (kN.m²)
Sol	0	$2.10^{4}$	0,3	-	-
Galerie	0	$3.10^{7}$	0,25	4,5.10 <sup>6</sup>	8437,5

Tableau 18 : caractéristiques mécaniques des matériaux

Pour appréhender le comportement des profils sous différents cas de charges représentatifs des différentes configurations d'implantations sous voirie, il est proposé de faire évoluer les deux paramètres suivants :

- La profondeur de la galerie ( $\Delta p$ ), pour respectivement 2, 5 et 8 m,
- La position du chargement extérieur ( $\Delta x$ ), variant de 0 à 4 m par pas de 1m à partir de l'axe central de la galerie.

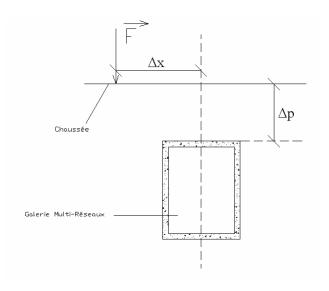


Figure 35: schématisation du cas d'étude

Ces expériences s'appliquent pour les quatre profils, ce qui implique 60 simulations.

#### 15.2. MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS

La modélisation des différents cas retenus a été réalisée en déformation plane à l'aide du code de calcul par éléments finis PLAXIS (Plaxis, 1999). Le domaine modélisé fait 30 m de largeur et 20 m de hauteur, ce qui représente sensiblement 10 fois les dimensions de la galerie. Des éléments massifs triangulaires à 15 nœuds sont utilisés pour le massif de sol et des éléments poutres à 5 nœuds pour la galerie. Le tableau 19 reprend le nombre d'éléments pour chaque maillage réalisé. Le nombre d'éléments augmente avec la profondeur des galeries car les maillages sont affinés autour et au-dessus des galeries.

$\Delta P(m)$	2	5	8
Circulaire	390	392	496
Rectangulaire	398	400	526
Ovoïde	392	484	568
Trapézoïdal	398	466	578

Tableau 19 : nombre d'éléments utilisés pour les différents maillages réalisés

Les figures 7 a, b, c et d représentent les maillages réalisés pour chaque type de galerie, pour la profondeur de 2 m.

La première partie de cette étude présente le cas de référence, à savoir les quatre profils retenus à faible profondeur et soumis à un chargement extérieur centré ( $\Delta x = 0$  m et  $\Delta P = 2$  m). La seconde partie propose d'étudier l'influence de chaque paramètre (variation de  $\Delta x$  et de  $\Delta P$ ).

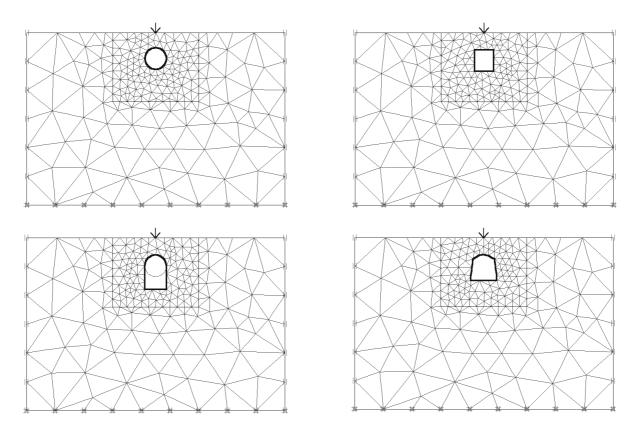


Figure 36 : maillages retenus pour une profondeur de 2 mètres

### 15.3. RESULTATS OBTENUS POUR LE CAS DE REFERENCE

Le tableau 20 reprend le tassement maximal obtenu en surface. Les résultats sont normés par le chargement, soit un tassement  $\delta^*$  en m/kN. Ceux-ci doivent être comparés au tassement obtenu en champ libre, c'est à dire en l'absence de galerie. Il est à noter que la présence de la galerie influence légèrement le tassement en surface. Pour les profils circulaire, rectangulaire et trapézoïdal une diminution du tassement de moins de 5% est constaté. Elle atteint 10% pour le profil ovoïde.

	Champ libre	Circulaire	Rectangulaire	Ovoïde	Trapézoïdal
δ * (10 <sup>-6</sup> m/kN)	190	182	181	173	182

Tableau 20 : tassement maximal normé en surface – cas de référence

Le tableau 21 reprend les sollicitations induites dans la galerie, en terme d'effort normal maximal et de moment fléchissant maximal. Ces efforts induits sont tous deux normés par le chargement, à savoir un effort normal N\* sans dimension et un moment fléchissant M\* en mètre. L'effort normal le plus faible est obtenu dans le cas du profil circulaire et le plus important pour le profil trapézoïdal. La différence entre ces deux efforts normaux est de l'ordre de 8%. En ce qui concerne le moment fléchissant, la valeur la plus faible est obtenue pour le profil ovoïde et la valeur la plus importante pour le profil trapézoïdal. L'écart maximal entre ces moments fléchissants est de 7%. Les écarts obtenus entre les différentes valeurs de sollicitations dans la galerie restent donc relativement faibles.

	Circulaire	Rectangulaire	Ovoïde	Trapézoïdal
$N_{MAX} * (10^{-3})$	344	360	369	373
$M_{MAX} * (10^{-3} m)$	120	115	114	122

Tableau 21 : efforts maximaux normés dans la galerie – cas de référence

La contrainte maximale obtenue dans la galerie lorsque celle-ci est soumise simultanément à un effort normal et à un moment fléchissant est de la forme :

$$\sigma = \left(\frac{N}{S} + \frac{M.v}{I}\right)$$

Les modélisations étant réalisées en déformation plane, seule la contrainte maximale dans la galerie est à prendre en compte. L'équation précédente devient donc dans notre cas :

$$\sigma_{\text{max}} = \left(\frac{N_{\text{max}}}{d} + \frac{6.M_{\text{max}}}{d^2}\right) / ml$$

L'épaisseur équivalente de la galerie 'd' est définie à partir des rigidités des éléments poutres, à l'aide de la formule suivante :

$$d = \sqrt{12 \cdot \frac{EI}{EA}}$$

Soit une épaisseur 'd' de 15 cm.

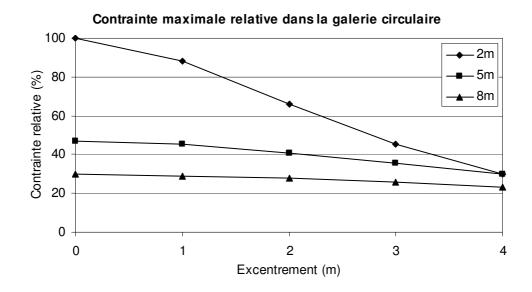
Le tableau 22 présente les résultats de contrainte maximale obtenus à partir des données du tableau 21. Le profil ovoïde reste le moins sollicité et le trapézoïdal le plus sollicité. La différence de contrainte maximale entre les profils ovoïde et trapézoïdal est de l'ordre de 6%, ce qui reste relativement faible.

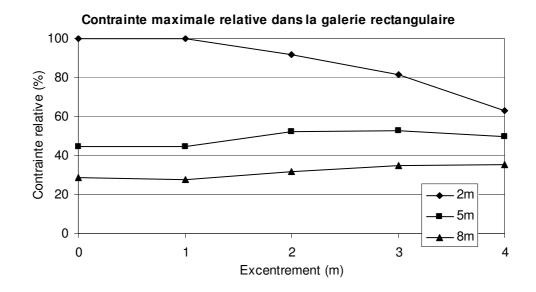
	Circulaire	Rectangulaire	Ovoïde	Trapézoïdal
$\sigma_{\text{MAX}} \ (\text{m}^{-2})$	34,29	33,07	32,86	35,02

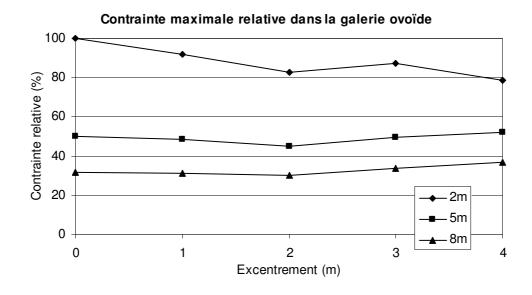
Tableau 22 : contrainte maximale normée dans la galerie – cas de référence

## 15.4. RESULTATS DE L'ETUDE PARAMETRIQUE

Les figures 37 a, b et c représentent l'évolution de cette contrainte lorsque l'excentrement du chargement  $(\Delta x)$  varie pour différentes profondeurs de galerie retenues  $(\Delta P)$ .







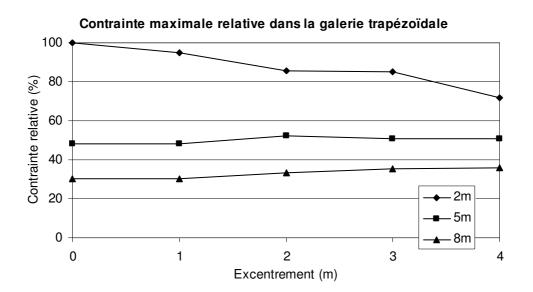


Figure 37 : évolution de la contrainte maximale relative pour les différentes simulations

Globalement, une forte diminution de la contrainte maximale est observée lorsque la profondeur d'enfouissement augmente. Ces résultats s'expliquent par le fait que dans cette étude comparative les profils ne répondent qu'au chargement extérieur. Donc plus la galerie est profonde, moins elle est sollicitée en raison de la distribution du chargement.

Les valeurs obtenues sont sensiblement identiques pour un chargement centré et différentes dans le cas d'un chargement excentré. Ce phénomène s'amenuise logiquement avec l'augmentation de la profondeur. Il est à noter que pour des profondeurs importantes, la valeur de la contrainte semble se stabiliser pour les profils rectangulaire, ovoïde et trapézoïdal alors que pour le profil circulaire, la contrainte maximale décroît lorsque l'excentrement augmente.

#### 15.5. CONCLUSION

Dans le cas d'un chargement centré, la contrainte maximale pour les profils circulaire, ovoïde et trapézoïdal est sensiblement identique alors qu'elle est légèrement plus faible pour le profil rectangulaire. Par contre, lors d'un excentrement du chargement (cas d'un positionnement de la galerie sous trottoir) la contrainte est minimale pour le profil circulaire quelle que soit la profondeur.

Ces résultats sont conformes à ceux de la littérature (Guerrin, 1970). Ils permettent d'affirmer que les galeries de type circulaire présentent un comportement mécanique répondant mieux à un chargement extérieur excentré ainsi qu'à une profondeur d'enfouissement importante.

Ayant pris l'hypothèse que dans notre projet, la galerie suit l'axe central de la voirie, nous pouvons supposer que nous nous trouvons dans le cas d'un chargement centré et donc que le profilé répondant au mieux aux contraintes est le rectangulaire (cf. titre 4 de ce chapitre 'Présentation du cas d'étude et hypothèses formulées'). En raison de cela, la plus grande partie de l'étude technico-économique sera réalisée à partir du profilé rectangulaire.

# 16. EVALUATION ECONOMIQUE DES SOLUTIONS GALERIE "HORS BRANCHEMENTS"

Cette partie a pour objectif d'estimer le prix des solutions galerie, pose des réseaux comprise.

#### 16.1. *HYPOTHESE*

L'hypothèse complémentaire suivante sera faite :

• Seul le linéaire de réseau est pris en compte, les branchements seront considérés à partir du titre 10 de ce chapitre.

#### 16.2. REPRESENTATIONS

Les solutions de galerie étudiées sont les suivantes :

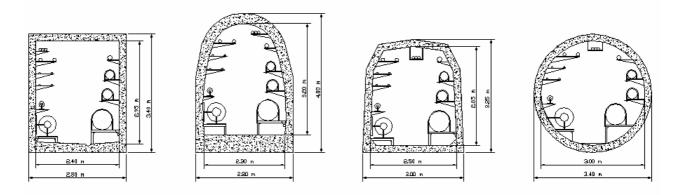


Figure 38 : représentations des différentes solutions de galerie étudiées.

Ces solutions sont présentées de manière plus détaillée en annexe 14 et sont issues du travail précédent, dans le chapitre 2 'méthode de dimensionnement de l'habitacle'.

## 16.3. COUTS D'INVESTISSEMENT

Les prix d'investissement obtenus sont :

	Procédé de	Dimens	Coût	
	fabrication	intérieures	extérieures	(€/ml)
Rectangulaire	coulé en place	2,40 x 2,95	2,80 x 3,35	6332
Ovoïde	coulé en place	2,30 x 3,20	2,80 x 4,00	5696
Circulaire	préfabrication	3	3,4	7802
Rectangulaire par piédroits	préfabrication	2,60 x 3,10	3,00 x 3,50	5840
Trapézoïdal	préfabrication	2,50 x 2,85	3,00 x 3,25	6534
2 parties				

Tableau 23 : coûts de fabrication des différentes solutions de galerie

## 16.4. CONCLUSION

Il est dorénavant possible de comparer les solutions galerie et la solution de référence. Les écarts sur les coûts d'investissement sont présentés ci-dessous.

	Procédé de	Dimensions (m)		Coût	Ecart de coût
	fabrication	intérieures	extérieures	(€/ml)	d'investissement
Pleine terre	Par tranchées			3325	
Rectangulaire	coulé en place	2,40 x 2,95	2,80 x 3,35	6332	+ 90 %
Ovoïde	coulé en place	2,30 x 3,20	2,80 x 4,00	5696	+ 71 %
Circulaire	préfabrication	3	3,4	7802	+ 134 %
Rectangulaire par piédroits	préfabrication	2,60 x 3,10	3,00 x 3,50	5840	+ 75 %
Trapézoïdal 2 parties	préfabrication	2,50 x 2,85	3,00 x 3,25	6534	+ 96 %

Tableau 24 : écarts entre les solutions galerie et la solution de référence

#### L'écart de coût d'investissement est obtenue de la manière suivante :

- Si A est le coût de la solution pleine terre,
- Et B le coût de la solution étudiée,

Alors l'écart de coût d'investissement en pourcentage s'obtient par la formule :

$$Ecart(\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

A ce stade de l'étude, pour construire une galerie, le maître d'ouvrage devra dépenser un montant de 1.7 à 2.35 fois plus élevé que pour réaliser la solution de référence.

La répartition des postes pour la réalisation d'une galerie se présente sous la forme suivante.

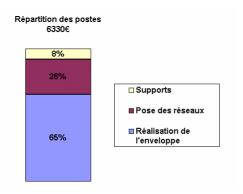


Figure 39 : représentation des postes de réalisation d'une galerie

La construction de l'enveloppe constitue bien le principal poste d'investissement.

Si l'unique critère de choix entre la solution de référence et la solution galerie est le coût d'investissement, il est primordial de réduire l'écart financier entre ces deux solutions si l'objectif est de développer l'utilisation des GMR. Deux solutions se présentent à nous, soit augmenter le coût de la solution de référence, soit réduire celui de la solution galerie. Une étude comparative valable ne pouvant se faire qu'entre deux solutions optimisées, il est impossible d'accroître le coût d'investissement de la solution de référence. De ce fait, il ne reste qu'à rechercher des solutions permettant de minimiser le coût d'investissement de la solution galerie.

## 17. RECHERCHE DE SOLUTIONS TECHNIQUES PERMETTANT DE LIMITER LE COUT D'INVESTISSEMENT DE LA SOLUTION GALERIE

Cette partie a pour objectif, de rechercher les solutions techniques permettant de limiter le coût d'investissement de la solution galerie. On s'attachera donc à ne considérer que l'aspect économique. Les autres aspects par exemple du type environnemental, développement durable, etc. seront traités dans l'étude socio-économique.

#### 17.1. HYPOTHESES

Les hypothèses complémentaires suivantes seront faites :

- Seul le linéaire de réseau est pris en compte, les branchements seront pris en compte à partir du titre 10 de ce chapitre.
- Le profil retenu est le profil rectangulaire.

Pourquoi? Pour deux raisons essentiellement:

- L'hypothèse de départ était de considérer le cheminement de la galerie sous l'axe de la voirie. Dans ce cas, dans le but de limiter les efforts sur la structure et donc limiter l'emploi d'acier, nous choisirons le profil rectangulaire.
  - Le profil ovoïde est plus avantageux économiquement que le profil rectangulaire. Cependant, le traitement des branchements y est plus délicat. Pour argumenter notre réflexion, nous proposons de prendre l'exemple d'un piquage à droite sur la canalisation aller du réseau de chauffage urbain. La canalisation de branchement mesure 300mm au total, avec une canalisation de diamètre 100mm et une épaisseur de calorifugeage de 100mm. Dans la représentation de la figure 40, l'hypothèse d'une température de peau du calorifuge avoisinant les 25°C est faite ainsi qu'une non réglementation fixant les distances minimales entre réseaux en parcours parallèle. Pour des facilités de manutentions et de déplacements à l'intérieur de l'habitacle, le gabarit de passage fut élevé à 1 mètre de largeur (cf. chapitre 3). Malgré cet accroissement de surface, le branchement à droite sur le réseau de chauffage empiète très fortement sur le gabarit de passage dans le profil ovoïde et ne permet pas de respecter la norme NF X 35-107. Il est préconisé en chapitre 3, de faire sortir ponctuellement par la gauche, dans une chambre accolée à l'habitacle, la canalisation de branchement et de la faire traverser l'habitacle au niveau du plafond pour desservir le côté droit. Cependant, dans le profil ovoïde, la forme de voûte ne permet pas de faire traverser cette canalisation et de respecter les distances minimales de croisement avec les canalisations électriques HTA. Dans ce cas, soit le branchement traverse le gabarit de passage et rend quasiment impossible le respect de la norme sans accroître exagérément les dimensions (hauteur et largeur) de l'habitacle et donc le coût de revient, soit les branchements se réalisent directement en pleine terre. L'hypothèse de départ retenue dans le chapitre précédent, est que les

branchements transitent au maximum par la galerie. Dans ce cas, le profil retenu pour cette étude est le profil rectangulaire.

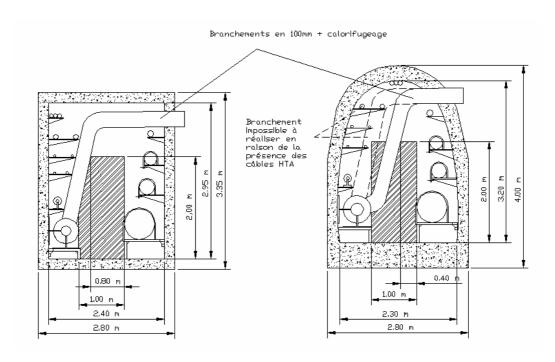


Figure 40 : représentation d'un piquage vers la droite sur le réseau de chauffage urbain

La galerie étudiée sera donc le profilé rectangulaire en solution coulée en place. Ce choix de mode de fabrication s'étant imposé naturellement lors de la méthode de dimensionnement de l'habitacle, nous avons choisi de continuer cette étude avec cette solution technique, même si le profilé rectangulaire préfabriqué, est plus spacieux et moins onéreux.

Cette solution est présentée en figure 26, chapitre 2.

# 17.2. ETUDE SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT D'EAU PLUVIALE

#### 17.2.1. *Pourquoi* ?

La canalisation d'eau pluviale est la plus volumineuse. Sa non inclusion dans la galerie doit permettre de réduire notablement la surface intérieure.

# 17.2.2. Représentation

La figure 41 présente la solution galerie sans EP.

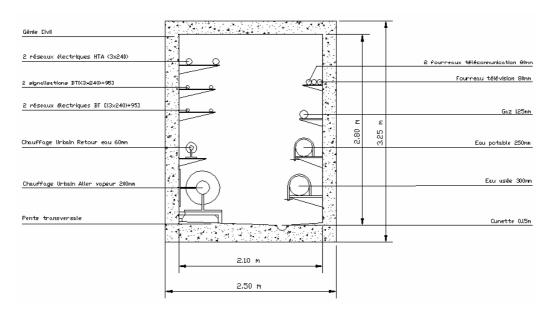


Figure 41: représentation de la galerie sans la canalisation d'eau pluviale

#### 17.2.3. Conclusion

La non-inclusion du réseau d'EP dans la galerie permet de réduire d'environ 17% la surface intérieure de l'habitacle.

Cette solution galerie avec le réseau d'assainissement eau pluviale en pleine terre est estimée à 5592€/ml, soit une réduction du coût d'investissement de 740€/ml (environ −12%) par rapport à la solution galerie complète. L'écart vis-à-vis de la solution de référence reste cependant de 68%.

# 17.3. ETUDE SUR LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT (EP+EU)

# 17.3.1. Pourquoi?

Le réseau EU est le dernier réseau gravitaire hébergé dans l'habitacle. De ce fait, sa non-inclusion permettra de pas a avoir à appliquer sa pente moyenne à l'ensemble de la galerie et ainsi, réduire le pôle terrassement et donc le coût de revient.

# 17.3.2. Représentation

La figure 42 présente la solution galerie sans EP ni EU.

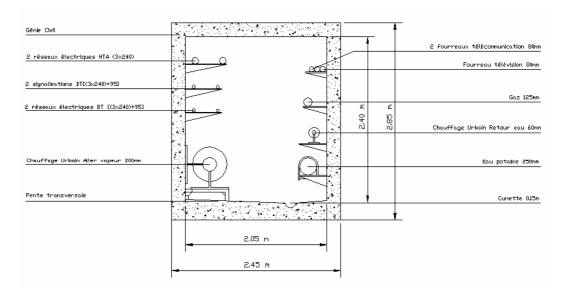


Figure 42 : représentation de la galerie sans les canalisations d'assainissement

#### 17.3.3. Conclusion

La non-inclusion des réseaux EP et EU dans la galerie permet de réduire d'environ 30% la surface intérieure de l'habitacle.

Cette solution est estimée à 4270€/ml. La réduction du coût d'investissement est de 2062€/ml (environ -32%) par rapport à la solution galerie complète. L'écart vis-à-vis de la solution de référence est de 28%.

# 17.4. ETUDE SUR LE RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN

# 17.4.1. Pourquoi?

La présence dans l'habitacle du réseau de chauffage urbain, occasionne de nombreuses contraintes techniques et cindyniques pouvant engendrer des perturbations sur le fonctionnement de l'ensemble des réseaux hébergés dans la galerie. Elles sont principalement dues à la température du fluide caloporteur qui entraîne :

- Une élévation de la température de l'eau potable distribuée au-delà de 25°C qui est la limite de potabilité,
- Une température anormalement élevée des âmes des câbles des canalisations électriques, pouvant atteindre 90°C, ce qui occasionne un fonctionnement forcé en raison de l'accroissement de la résistance du câble proportionnel à la température,
- Une élévation de la température du gaz se traduisant par une augmentation de son volume de gaz enregistré aux compteurs abonnés pour le même pouvoir calorifique en température normale de fonctionnement. Le consommateur est dans ce cas directement pénalisé,
- Etc.

De ce fait, il est essentiel d'écarter au maximum l'ensemble des réseaux des canalisations de chauffage urbain. Par exemple, Monsieur Bernard BUSCA, représentant d'EDF au projet national « Clé de Sol », avance la distance de 1,50 mètre entre les canalisations électriques et le réseau de chauffage si la température ambiante excède les 30°C. Positionner les canalisations de chauffage urbain hors de la galerie devient donc une excellente solution, d'autant plus que les ratios utilisés pour déterminer les prix des supports sont élevés. Positionner ce réseau en caniveau peut réduire de manière conséquente ce poste.

# 17.4.2. Représentation

La figure 43 présente la solution galerie sans CU.

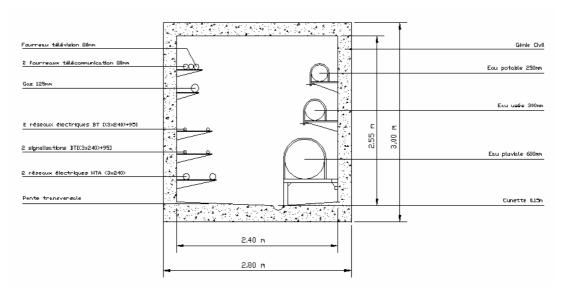


Figure 43 : représentation de la galerie sans les canalisations de chauffage urbain

## 17.4.3. Conclusion

La non-inclusion des canalisations de chauffage urbain dans la galerie ne permet pas de réduire la surface intérieure de l'habitacle.

Cette solution est estimée à **6487€/ml**. Il n'y a pas de réduction du coût d'investissement, car cette solution technique est plus onéreuse de **155€/ml**, soit un surcoût d'environ **+2.5**% par rapport à la solution galerie complète. L'écart vis-à-vis de la solution de référence est de **95**%.

Le réseau de chauffage urbain est le seul réseau dont l'installation est moins onéreuse en galerie qu'en caniveau du fait de la non réalisation de celui-ci. La décomposition des coûts d'investissement en différents postes dans le cas d'une installation du réseau de chauffage en pleine terre (figure 44), permet de constater que l'économie obtenue sur les supports ne permet pas de compenser le surcoût financier qu'occasionne la réalisation du caniveau.

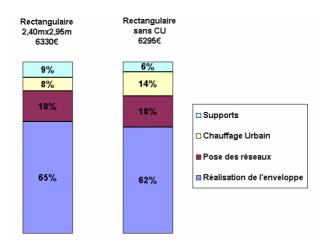


Figure 44 : décomposition des coûts d'investissement en différents postes avec pose des canalisations de chauffage en et hors habitacle.

#### 17.5. ETUDE SUR LES CANALISATIONS ELECTRIQUES

# 17.5.1. Pourquoi?

L'étude précédente concernant le chauffage urbain n'étant pas réellement concluante, nous avons essayé de poser le problème à l'envers. Il est maintenant acquis qu'il est plus avantageux économiquement de positionner les canalisations du réseau de chauffage dans la galerie. Les principales perturbations qu'engendre ce choix concernent les canalisations électriques. En effet, il est demandé par EDF, une distance de 1,50m entre leurs réseaux et les canalisations de chauffage. Cette distance peut entraîner un surdimensionnement de l'habitacle et donc accroître son prix.

# 17.5.2. Représentation

La figure 45 présente la solution galerie sans canalisations électriques.

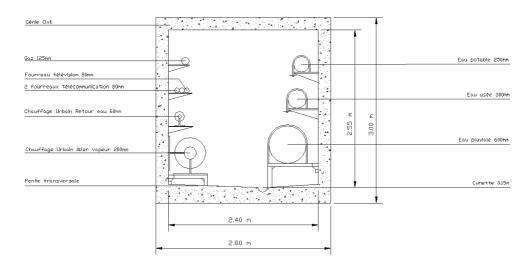


Figure 45 : représentation de la galerie sans les canalisations électriques

#### 17.5.3. Conclusion

La non-inclusion des canalisations électriques dans la galerie permet de réduire d'environ 13.5 % la surface intérieure de l'habitacle.

La construction de cette solution est estimée à 6073€/ml, soit une économie de 259€/ml réalisée. L'écart entre cette solution et la solution de référence s'élève à + 182%.

#### 17.6. CONCLUSION

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des études menées précédemment.

Solutions	Dimensions (m)	Surface intérieure (m²)	Réduction de surface engendrée	Estimation $\acute{e}$ conomique de la $\acute{s}$ olution ( $\emph{E}$ )	Réduction du coût d'investissement
GMR complète	2,40 x 2,95	7,08		6332	
GMR sans EP	2,10x2,80	5,88	- 17%	5592	- 11,68%
GMR sans EP & EU	2,05x2,40	4,92	- 30,5%	4270	- 32,56%
GMR sans CU	2,40x2,55	6,12	- 13,5%	6487	+ 2,44%
GMR sans réseaux électriques	2,40x2,55	6,12	- 13,5%	6073	- 4,06%

Tableau 25 : récapitulatif des différentes solutions visant à réduire le coût d'investissement de la solution galerie

Dans notre cas et avec l'hypothèse que la pente naturelle du terrain est nulle, la solution galerie avec réseaux d'assainissement en pleine terre est la moins onéreuse de toutes. Positionner les canalisations EP et EU hors galerie permet de s'affranchir des obligations de pente qui s'appliquent à l'habitacle tout entier. Le lot terrassement est donc réduit à son strict minimum, ce qui permet de réaliser de substantielles économies.

Cette solution a également l'avantage de permettre l'activité humaine à l'intérieur de l'habitacle durant des événements pluvieux. En effet, il n'est plus nécessaire de craindre une possible mise en charge et donc un débordement du réseau d'eau pluviale lors d'un orage par exemple. L'ensemble des réseaux est de cette manière, parfaitement protégé si et seulement si l'habitacle est hermétique et l'activité humaine à l'intérieur de la galerie, peut donc s'exercer en toute quiétude et ce, quelques soient les conditions météorologiques.

Cependant, il est important de nuancer cette étude, car dans des cas réels où la topographie du site d'implantation permettrait d'appliquer à l'ensemble de l'ouvrage une pente naturelle permettant l'écoulement des réseaux gravitaires, cet avantage disparaîtrait. En effet, dans le cas où la pente naturelle du terrain (aux alentours de 0,3 % ou plus) (Chocat, 1997) permet d'assurer un écoulement

des eaux sans devoir recourir à un enfouissement de plus en plus profond de la galerie, les coûts de terrassement seraient amoindris. De ce fait, si l'habitacle est enfouis à une profondeur régulière (aux alentours de 2 mètres en dessous de la côte sol), il devient alors peut être intéressant d'intégrer les canalisations d'assainissement dans la galerie.

# 18. ETUDE SUR LES BRANCHEMENTS RIVERAINS

# 18.1. Introduction

Une étude approfondie sur le traitement des branchements est nécessaire par le fait que ce poste pèse lourdement sur le coût final des solutions. En effet, cette partie montre que la solution la moins onéreuse pour les branchements, rentre en compte pour tout de même 20% du coût global d'un projet de galerie (création de l'enveloppe, pose des réseaux, branchements et organes annexes).

#### 18.2. HYPOTHESES

Les hypothèses complémentaires suivantes sont faites :

- Le profil retenu est le profil rectangulaire en béton coulé en place avec les canalisations d'assainissement en pleine terre,
- Les branchements riverains sur les réseaux d'assainissement seront réalisés en technique de branchement droit,
- Dans la solution classique, par réseaux enfouis, les branchements seront réalisés en technique de branchement droit,
- Les quatre types de voiries seront étudiés,
- Tous les réseaux sont soumis au même régime de branchement, c'est à dire qu'une installation en galerie comporte l'ensemble des réseaux hébergés, même les canalisations de chauffage et ce, en dépit des recommandations des concessionnaires qui préféreraient voir ce réseau en caniveau technique pour la réalisation des branchements.

Les réseaux d'assainissement ne sont donc pas pris en compte dans cette étude puisqu'ils se situent en pleine terre. L'objectif de ce chapitre est de déterminer la meilleure des solutions pour le traitement des branchements.

#### 18.3. REPRESENTATION

La galerie étudiée se présente sous la forme suivant :

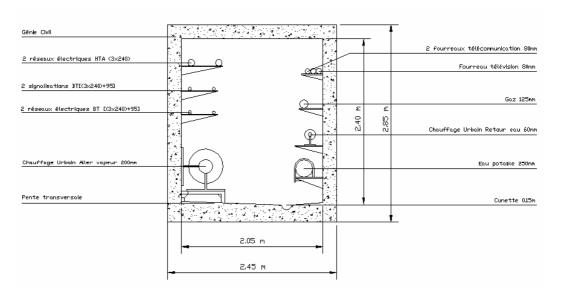


Figure 46 : représentation de la galerie étudiée pour les branchements

## 18.4. LES DIFFERENTES SOLUTIONS TECHNIQUES DE BRANCHEMENTS

Pour réaliser un branchement riverain à partir d'une galerie, il existe 7 solutions techniques envisageables qui sont :

- La solution galerie de branchement,
- La solution pleine terre,
- La solution caniveau technique non visitable,
- Les solutions mixtes :
  - o Galerie et pleine terre,
  - o Galerie et caniveau non visitable,
  - Pleine terre et caniveau non visitable,
  - o Galerie, caniveau non visitable et pleine terre.

Nous présentons dans cette partie des généralités. Les hypothèses émises précédemment sont prises en compte à partir du titre 10.7.

# 18.4.1. Solution « galerie de branchement »

Une galerie hébergeant les canalisations de branchement dessert directement l'habitation. Ces canalisations restent donc accessibles. Cette partie de galerie se nomme « galerie de branchement ». La figure 47 représente une desserte par galerie de branchements perpendiculaire à la galerie de distribution.

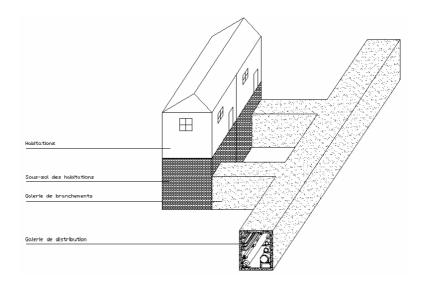


Figure 47 : représentation de la solution technique, canalisations de branchements hébergées dans une galerie

# 18.4.2. Solution « pleine terre »

Les branchements riverains s'effectuent en pleine terre et pénètrent dans la galerie via des ouvertures dans le génie civil. Ces ouvertures sont ensuite obturées pour assurer une étanchéité à l'ouvrage. Ces canalisations ne sont nullement visibles ni accessibles. La figure 48 représente un branchement riverain en pleine terre.

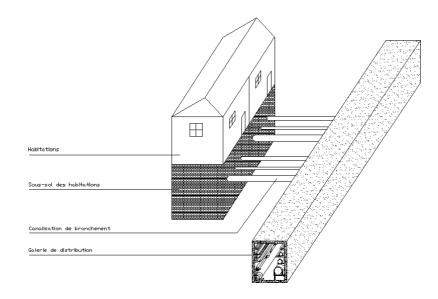


Figure 48 : représentation de la solution technique, branchements riverains enfouis

# 18.4.3. Solution « caniveau technique non visitable»

Dans cette solution, les habitations sont desservies via un ou des caniveau(x) technique(s) hébergeant les canalisations de branchements. Ces caniveaux ne permettent pas de rendre ces

canalisations accessibles mais permettent tout de même de visualiser leurs états à partir de la galerie. La figure 49 représente un branchement riverain à partir des caniveaux techniques.

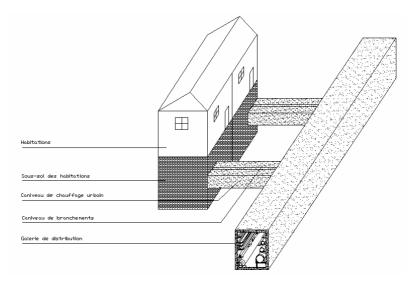


Figure 49 : représentation de la solution technique, canalisations de branchements hébergés dans un caniveau technique non-visitable

#### 18.4.4. Solutions « mixtes »

Il est tout à fait possible de mixer les solutions techniques présentées ci-dessus. Un mélange de solutions peut permettre dans certains cas, de répondre à différents besoins des utilisateurs ou aux exigences des concessionnaires. Il est possible de rencontrer :

# 18.4.4.1. Galerie & Pleine terre

Les piquages sur les réseaux d'assainissement, peuvent très bien se situer en pleine terre et ainsi libérer de la place dans une galerie de branchement et donc réduire ses dimensions. Ces canalisations ne requièrent qu'un « débouchage » en cas d'obturation de leurs sections. Ces opérations de curage peuvent aisément s'effectuer depuis la surface, au niveau du regard de branchement riverain.

Cette solution se présente de la manière suivante :

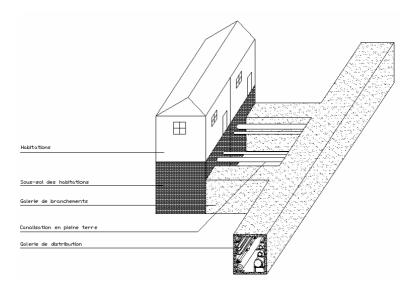


Figure 50 : représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchement sont en galerie et certaines en pleine terre

#### 18.4.4.2. Galerie & Caniveau non visitable

Cette solution peut exister dans le cas ou il est décidé pour des raisons techniques de positionner les canalisations aller et retour du branchement sur le chauffage urbain en caniveau ou, de la même manière que pour la solution précédente, un branchement doit être réalisé après la création de l'ouvrage et qu'il est décidé de garder visible la canalisation. L'incorporation des canalisations aller et retour d'un réseau de chauffage urbain dans une galerie, est assujettie à la température de peau latente du calorifuge. Une augmentation de l'épaisseur du calorifugeage de 33% par rapport à une épaisseur classique lors d'une installation de ce réseau en caniveau, permet en théorie de porter la température de peau aux alentours de 20°C, température acceptable pour une installation en galerie. Cet accroissement d'épaisseur entraîne cependant un surcoût financier relativement conséquent. Pour limiter cet inconvénient, il peut être intéressant économiquement de sortir de la galerie de branchement les canalisations de branchement aller et retour du réseau de chauffage urbain et de les positionner dans un caniveau technique. L'économie obtenue sur le calorifuge minimisé en caniveau et la réduction des dimensions de la galerie de branchement peuvent dans certaines configurations, rendre la solution galerie de branchements plus caniveau technique économiquement compétitif. Il est à noter que le caniveau technique incorporant les canalisations aller et retour et dont les épaisseurs de calorifuges ne permettent pas d'obtenir une température de peau avoisinant les 20°C devra obligatoirement être thermiquement isolé du reste de la galerie. Cette isolation peut être simplement constituée d'un matériau hydrofuge et ignifugé d'épaisseur suffisante. Les canalisations ne seront donc ni visibles ni accessibles.

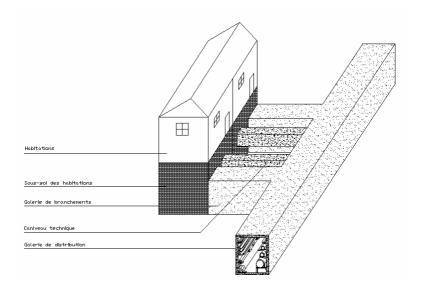


Figure 51 : représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchements sont en galerie et certaines en caniveau technique non-visitable

#### 18.4.4.3. Caniveau non visitable & Pleine terre

Une solution caniveau technique peut très bien s'accompagner de canalisations de branchement en pleine terre, telles que les canalisations d'assainissement.

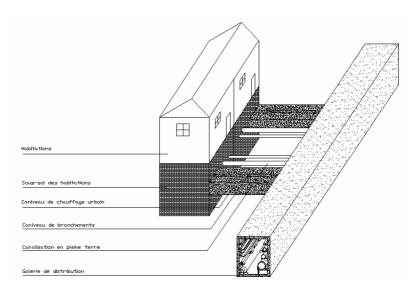


Figure 52 : représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchements sont enfouies et le chauffage urbain en caniveau technique non visitable

## 18.4.4.4. Galerie, Caniveau non visitable & Pleine terre

Cette solution est un composé de l'ensemble des trois précédentes. Par exemple, la majorité des branchements sont dans la galerie sauf le chauffage urbain qui est dans un caniveau technique pour des raisons techniques, et certains branchements sont enfouis car réalisés après l'ouvrage.

Cette solution se présente de la manière suivante :

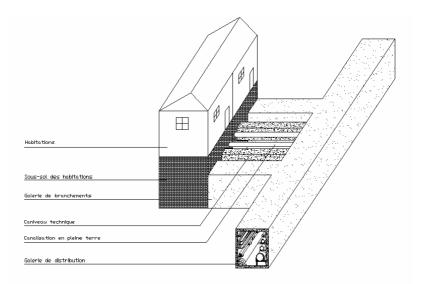


Figure 53 : représentation de la solution technique où la majorité des canalisations de branchements sont en galerie, le chauffage urbain est en caniveau et certains branchements ultérieurs enfouis

# 18.5. LES DIFFERENTES METHODES DE BRANCHEMENTS

Il existe deux méthodes de branchements qui sont :

- Les branchements droits,
- Les branchements en râteau.

# 18.5.1. Branchements droits

Technique la plus couramment utilisée. L'habitation venant s'alimenter directement sur le réseau via une conduite unique. Le branchement au riverain s'effectue perpendiculairement au réseau de distribution. La figure 54 représente une alimentation en peigne d'un groupe d'habitation sur un réseau de distribution.

31 janvier 2005

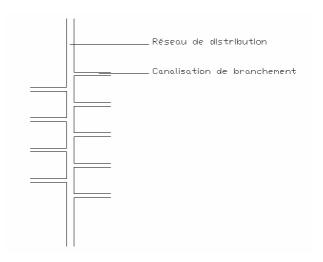


Figure 54 : représentation de la méthode des branchements droits

# 18.5.2. Branchement en râteau

Cette technique permet d'alimenter plusieurs habitations à partir d'un seul point de piquage sur le réseau de distribution. Elle trouve son plein emploi dans la desserte d'îlots. La figure 55, représente un branchement de type « râteau » d'un groupement d'habitations.

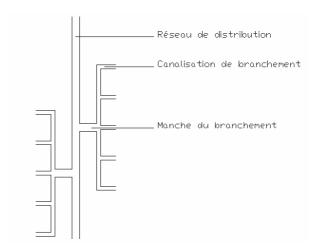


Figure 55 : représentation de la méthode de branchements en râteau

#### Intérêt de la solution râteau

Les branchements en râteau ont un intérêt majeur, celui de réduire le linéaire de canalisations de branchements, dans certaines configurations précisées ci-dessous :

- Si X : distance moyenne entre deux branchements
- Y : distance de la galerie à la façade
- n : nombre d'immeuble desservis par un râteau

Il faut que : Y + (n-1)X < nY

Soit: X < Y

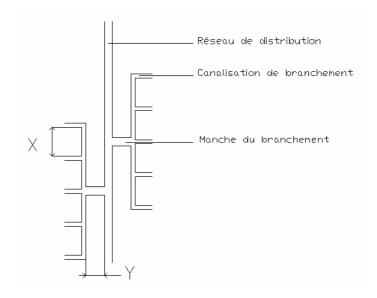


Figure 56 : représentation de l'intérêt de la solution râteau

En conclusion, il faut que la longueur des parcellaires soit inférieure à la distance séparant les habitations à la galerie pour que la solution des branchements en râteau présente de l'intérêt.

## 18.6. LES DIFFERENTES TAILLES DE PARCELLAIRES

En vue d'étudier l'ensemble des configurations de branchements, il faut prendre en compte différentes tailles de parcellaires. Les parcellaires étudiés ici présentent une configuration urbaine de type hausmanien, plus précisément une configuration parisienne.

Les hypothèses retenues sont :

- Le projet se situe en centre urbain dense,
- Les habitations sont de type hausmanien. 3 longueurs de façade seront étudiées :

- o petite façade de 6 mètres de long (parcellaire 1),
- o moyenne façade de 12 mètres de long (parcellaire 2),
- o grande façade de 18 mètres de long (parcellaire 3).
- Un branchement en râteau comprendra le raccordement de 5 habitations,
- Une solution galerie en râteau, sera composée d'un manche en galerie sur 90% de la distance galerie à façade, et les dents du râteau en caniveaux techniques.

#### 18.7. PLAN D'EXPERIENCES

Nous sommes en présence de :

- 4 types de voirie,
- 3 longueurs de façade,
- 2 méthodes de branchement,
- 7 solutions techniques,

Si nous désirons réaliser l'ensemble des études, nous devons mener 4x3x2x7 = 168 expériences.

Il n'est pas nécessaire d'étudier tous les cas de figure, en effet :

- Les réseaux d'assainissement n'étant plus pris en compte car étant enfouis et l'hypothèse de départ spécifiant que tous les réseaux sont soumis au même mode de branchement permettent d'éliminer pratiquement toutes les solutions mixtes :
  - o Galerie + pleine terre,
  - Galerie + pleine terre + caniveau,
  - o Galerie + caniveau.
- La solution "pleine terre" et la solution mixte "pleine terre + caniveau" sont identiques. En effet, quelque soit la technique choisie, le réseau de chauffage urbain se trouvera inéluctablement en caniveau. La solution "pleine terre" se ramènera donc obligatoirement à la solution "pleine terre + caniveau".

Il nous reste donc plus que trois solutions techniques de branchements :

- La solution galerie,
- La solution caniveau,
- La solution mixte pleine terre + caniveau.

A ce stade, si nous désirons réaliser l'ensemble des études, nous devons encore mener 4x3x2x3 = **72 expériences**.

Mais toutes les expériences ne sont pas nécessaires. Depuis le début, l'hypothèse est faite que la galerie suit l'axe central de la voirie et que sa largeur est de 2,45 mètres, ce qui donne les longueurs de branchement suivantes :

	Largeur de voirie (m)	Longueur maximale du branchement riverain (m)
Voirie de type 1	6	1,775
Voirie de type 2	8	2,775
Voirie de type 3	13	5,275
Voirie de type 4	26	11,775

Tableau 26 : récapitulatif des différentes longueurs de branchements en fonction des types de voirie

Il ne rime à rien de réaliser une galerie de branchement pour des longueurs de branchement de 1.775 et 2.775 mètres car Y>>X. Dans ce cas de figure la solution pleine terre sera nettement moins onéreuse.

La solution râteau en caniveau technique peut trouver un intérêt pour une longueur de branchement de 5,275 mètres mais pas pour 11,775 mètres. En effet, l'avantage de réaliser les branchements en caniveau non visitable, est que les conduites sont toujours visibles et que l'on peut intervenir dessus sans ouvrir la route. Si nous prenons le cas d'un réseau d'eau potable, dont la longueur moyenne des tronçons en fonte est de 6 mètres, il est possible de changer une longueur maximale de 6 mètres dans un caniveau dont l'une des extrémités donne sur la galerie. Il est certain qu'il est plus difficile d'intervenir sur une canalisation défectueuse dans un caniveau que dans une galerie, mais si la longueur est limitée, cela devient physiquement possible. Donc au delà de 6 mètres, la solution râteau par caniveau technique n'est plus intéressante.

La solution galerie de branchements en râteau pour une longueur de 5.275 mètres a peu de sens. Son coût de fabrication serait trop onéreux. La solution galerie en râteau est uniquement intéressante pour de grandes longueurs, dans notre cas 11,775 mètres.

En prenant en compte ces remarques, il ne reste plus que **36** expériences à mener. Le tableau 27, présente un récapitulatif de ces 36 expériences.

# 18.8. LES RESEAUX DE BRANCHEMENTS

En accord avec le groupe « règles de l'art » du projet national « Clé de sol », les réseaux retenus pour l'étude sur les branchements sont :

- 1 AEP de diamètre 60 mm en droit et 100 en base de râteau
- 1 Gaz de diamètre 60 mm en droit et 100 en base de râteau
- 1 CU aller diamètre 80 mm en droit et 115 mm en base de râteau
- 1 CU retour diamètre 50 mm en droit et en râteau
- 2 canalisation BT [(3x240<sup>2</sup>)+95<sup>2</sup>]
- 1 fourreau de l'information en diamètre 80mm

#### 18.9. REPRESENTATIONS DES BRANCHEMENTS

Les dimensions de l'habitacle de la galerie de branchements sont obtenues à partir de la méthode présentée au chapitre 3 et sont présentées en détail en annexe 14.

# 18.9.1. Solution galerie

La solution de branchement par galerie se présente de la manière suivante :

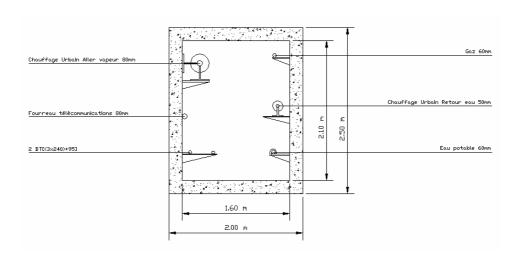


Figure 57 : représentation de la solution de branchement par galerie

# 18.9.2. Solution caniveau technique

La solution de branchement par caniveau se présente de la manière suivante .

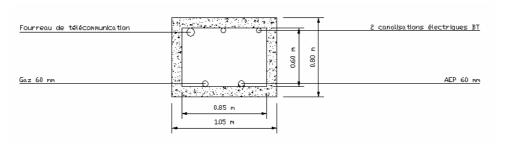


Figure 58 : représentation de la solution de branchement par caniveau

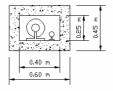


Figure 59 : représentation du caniveau de branchement du chauffage urbain

Nous sommes en présence de deux caniveaux, un pour le réseau de chauffage et un autre pour l'ensemble des autres réseaux hébergés dans la galerie. Il est préférable de positionner le réseau de chauffage dans son propre caniveau, afin de minimiser le coût de calorifuge, la température de peau de 20°C n'étant plus nécessaire.

#### 18.10. LES RESULTATS

Les résultats de cette étude économique sont présentés dans le tableau 27.

#### 18.11. CONCLUSION

La principale conclusion de cette étude est que la solution technique de branchement la moins onéreuse est celle par réseaux enfouis.

Par exemple, pour une voirie de type 4 et un parcellaire de type 1 :

- La solution 6, c'est à dire par réseaux enfouis est estimée à 6310€/ml.
- La solution 1, c'est à dire par galerie, est estimée à 11996€/ml. Cette solution est plus onéreuse que la solution 6 de 5686€/ml, soit un écart de +90%.
- La solution 3, c'est à dire par caniveaux techniques, est estimée à 10849€/ml. Cette solution est plus onéreuse que la solution 6 de 4539€/ml, soit un écart de +71%.

Il est intéressant de constater que la solution galerie en râteau est moins onéreuse en parcellaire 1, que la solution galerie droite. Ceci confirme bien l'hypothèse émise sur l'intérêt des branchements en râteau, c'est à dire qu'il faut que la longueur des parcellaires soit inférieure à la distance séparant les habitations de la galerie. Donc, si le nombre de branchements en râteau augmente, le prix de revient de cette solution doit diminuer.

La figure 60 représente l'évolution du prix de la solution galerie en râteau.

Cette évolution correspond bien à notre attente. Plus le nombre de branchements est élevé, moins cette solution est onéreuse. On constate cependant, que la diminution tend à se stabiliser. Il faut noter que dans cette étude sur le comportement économique de la variation du nombre de branchements par râteau, nous n'avons pas modifié les diamètres des réseaux hébergés dans la galerie, en faisant l'hypothèse que les réseaux étaient suffisant pour alimenter 9 habitations. Cette solution galerie en

31 janvier 2005

râteau devient intéressante en comparaison avec la solution par caniveau dès lors que le nombre de branchements est grand et que la longueur des façades est faible, configuration qui peut se trouver en site urbain très dense. Cependant, cette technique n'est absolument pas avantageuse d'un point de vue purement économique face à la solution pleine terre.

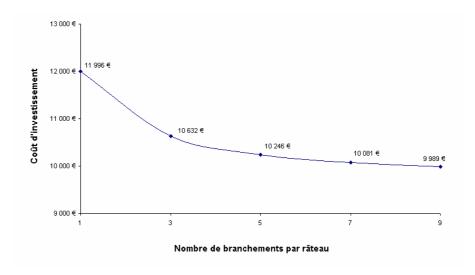


Figure 60 : comportement économique lors d'une variation du nombre de branchements par râteau

		Prix des solution en €/ml																						
		Voirie de type 1					Voirie de type 2					Voirie de type 3				Voirie de type 4								
	Parce	llaire 1	Parce	llaire 2	Parce	ellaire 3	Parce	llaire 1	Parce	ellaire 2	Parce	llaire 3	Parce	llaire 1	Parce	llaire 2	Parce	llaire 3	Parce	llaire 1	Parce	llaire 2	Parce	ellaire 3
	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau	Droit	Râteau
Solution 1													5388		2686		1796		11996	10246	5980	7490	3998	6605
Solution 6	962		479		320		1497		746		499		2834		1412		944		6310		3145		2103	
Solution 3	1654		824		551		2574		1283		858		4872	7063	2429	5670	1624	5205	10849		5408		3616	

Tableau 27 : résultats économiques de l'étude sur les branchements

# Rappel:

Solution 1 : solution par galerie

Solution 6 : solution par réseaux enfouis

Solution 3: solution par caniveaux techniques

Parcellaire 1 : petite façade de 6 mètres de long

Parcellaire 2 : moyenne façade de 12 mètres de long

Parcellaire 3 : grande façade de 18 mètres de long

# 19. PRIX DEFINITIFS D'INVESTISSEMENTS

#### 19.1. INTRODUCTION

Les prix définitifs des deux solutions techniques ne peuvent être obtenus qu'en prenant en compte l'ensemble des ouvrages annexes associés aux différentes solutions.

Par exemple, pour la solution galerie, il faut prendre en compte non seulement la création de l'habitacle, la pose des réseaux, les branchements mais également les têtes de réseaux, les regards de visite, etc.. Tous ces ouvrages annexes sont coûteux et vont accroître l'écart financier entre la solution pleine terre et la solution galerie

# 19.1.1. Hypothèses

Afin de déterminer le coût final du projet, il est impératif d'arrêter des hypothèses complémentaires. Nous avons fait le choix de prendre :

- La solution de branchement par réseaux enfouis car elle est de loin la moins onéreuse,
- Le type 3 de voirie, pour ne pas prendre une trop petite ni une trop grande plate forme,
- Le type 2 de parcellaire, pour se mettre dans une configuration moyenne.

#### 19.1.2. Coûts annexes pour la GMR

#### 19.1.2.1. Chambre d'éclatement

Ces chambres comprennent :

- Les systèmes de dilatation : lyres ou compensateurs
- Les postes de purge, comportant une bouteille de purge avec tampon de dégorgement au point bas, une purge directe, un filtre, parfois une prise de décompression
- Les matériels spécifiques, tels les purgeurs d'air, purgeurs de condensats, mélangeurs de condensats, éjecteurs à vapeur, pompes et robinetterie.

La fréquence d'installation de ces chambres est de une tous les 100 mètres environ.

Leurs dimensions sont 3,60 mètres x 2,85 mètres x 5,5 mètres (largeur x hauteur x longueur)

Le prix est estimé à : 21 840€/unité

Ce qui nous donne, rapporté au ml de galerie à : 197€/ml

#### 19.1.2.2. les regards de visite

Ces regards permettent d'accéder et d'évacuer de la GMR de manière régulière. Ils se présentent à la manière d'un regard d'assainissement et permettent l'accès dans l'ouvrage à partir de sa voûte.

Ils sont disposés environ tous les 50mètres.

Leur diamètre est de 0,80 mètre, et ils sont équipés d'échelles escamotables.

Le prix est estimé à : 645€ pièce

Ce qui nous donne, rapporté au ml de galerie (pour 17 pièces) : 11€/ml

19.1.2.3. les têtes de galerie

Une galerie comporte deux têtes, une à chaque extrémité (cf. figure 17 au chapitre 2). Elles permettent de faire descendre les gros matériaux et matériels nécessaires à l'entretien de la galerie. Elle jouent également le rôle de point d'entrée et de sortie de l'habitacle.

Les dimensions des têtes sont de 2.05 mètres x 2.40 mètres sur 4 mètres de long.

Le prix est estimé à : 15 372€ pièce

Ce qui nous donne rapporté au ml de galerie (pour 2 têtes) : 30€/ml

19.1.2.4. les accès gros matériel

Les accès gros matériels permettent de faire descendre les gros matériaux et matériels nécessaires à l'entretien de la galerie entre les têtes. Ils jouent également le rôle de point d'entrée et de sortie de l'habitacle.

Les dimensions des accès gros matériels sont de 2.95 mètres x 2.40mètres sur 4 mètres de long

Leur prix est estimé à : 17 080€ pièce

Rapporté au ml de galerie pour un accès : 17€/ml

19.1.2.5. les boîtes de branchement supplémentaires

En vue d'assurer d'éventuels branchements riverains après la création de la galerie, il est intéressant de positionner des boîtes de branchement supplémentaires en attente.

La fréquence d'installation de ces boîtes est de une tous les 50 mètres.

Leurs dimensions sont : 1m de largeur sur 2 mètres de long. Elles arrivent à 1 mètre en-dessous de la côte sol.

Leur prix est estimé à : 906€ pièce

Rapporté au ml de galerie pour 20 pièces : 18€/ml

#### 19.1.2.6. la sécurité

Les ratios utilisés pour réaliser l'ensemble des systèmes de sécurité (vidéo surveillance, central, plaques de signalisation, etc.) s'élèvent à **15**% du prix final (Clé de Sol, 2004).

# 19.1.3. Coûts annexes aux créations pour la solution pleine terre

#### 19.1.3.1. caniveau de dilatation

Ils permettent de loger les systèmes de dilatation du réseau de chauffage urbain.

La fréquence d'installation est de un tous les 100 mètres

Les dimensions sont classiques : 1 mètre de large x 0,70mètre de haut sur 3,5 mètres de long

le prix est estimé à 2130€ pièce

Rapporté au ml de pleine terre (pour 10 pièces) : 21€/ml

19.1.4. Conclusion

Nous obtenons une solution galerie complète estimée à 7000€/ml

Nous obtenons une solution pleine terre complète estimée à 4758€/ml

L'écart financier entre ces deux solution s'élève à +47%.

# 20. CONCLUSION

Durant cette phase de réflexion, nous avons vu que la solution galerie pouvait être aménagée de manière à réduire son coût de fabrication. La non inclusion des réseaux d'assainissement permet de s'affranchir des contraintes de pente et donc de réduire l'écart financier entre la solution pleine terre et la solution galerie, de 32.56%. La solution galerie devient alors plus intéressante et l'écart entre les deux solutions est réduit à +28% au lieu de +90% initialement.

Le traitement des branchements est à réaliser en solution pleine terre, les solutions galerie et caniveaux techniques étant bien trop onéreuses. Les écarts vis-à-vis de la solution pleine terre sont de +90% pour la solution galerie et de +71% pour la solution caniveau.

Le poids du traitement des branchements est de 20% sur le prix global du projet de galerie et ce, en employant la solution la moins onéreuse.

L'ajout des organes annexes sur les solutions galerie et pleine terre, joue en défaveur de la galerie. Si l'on intègre le coût de tous ces organes, l'écart financier entre la solution pleine terre et la solution galerie passe de +28% à +47%.

Il est à noter que les profilés rectangulaire préfabriqué et ovoïde coulé en place, permettraient de réduire de manière encore plus notable, l'écart d'investissement entre la solution pleine terre et la solution galerie. Mais comme la méthode de dimensionnement présentée dans le chapitre 2, est basée sur le profilé rectangulaire coulé en place en vue de limiter au mieux les dimensions de l'habitacle, l'étude de ce chapitre fut réalisée avec ce même profilé et cette technique de construction afin de rester uniforme.

Une étude technico-économique permet donc bien de réduire l'écart financier entre les deux solutions. L'optimisation de l'aménagement intérieur permet de réduire notablement les coûts mais la complexité de l'ouvrage, la diversité de ses composantes, etc., ne peuvent être amortis par une simple étude technico-économique. Il semble opportun d'étudier la possibilité d'effectuer une analyse complémentaire socio-économique permettant d'aboutir à une période de retour sur l'investissement. Cette étude se doit également d'être complétée par une étude multicritère afin de prendre en compte certains paramètres non chiffrables économiquement.

Chapitre 4

Aide à la décision

# - Chapitre 4 -

# **AIDE A LA DECISION**

# 21. Introduction

Nous avons vu précédemment qu'une étude technico-économique, permettait de réduire l'écart financier entre la solution galerie et la solution pleine terre et ce, de manière assez substantielle. Cependant, la solution galerie reste toujours plus onéreuse. En effet, pour réaliser une galerie avec un profil rectangulaire en béton coulé sur place, la collectivité doit tout de même débourser 1.47 fois plus que pour une solution en pleine terre. Cet important écart financier est le principal défaut des galeries multi-réseaux. Il est difficilement concevable, qu'un décideur local accepte de débourser environ 1.5 fois plus pour le même service rendu, surtout si sa commune ne dispose pas d'un historique de galerie, et si sa volonté est portée en priorité sur une réduction (ou une non augmentation) des impôts locaux, etc.

Il est donc intéressant de savoir comment présenter aux décideurs locaux les avantages annexes non décelables au prime abord d'une solution galerie. Pour cela, notre réflexion s'est tournée sur deux techniques d'analyse dans l'espoir d'y trouver des arguments pour le développement des galeries multiréseaux en site urbain. Ce sont :

- L'analyse Socio-économique,
- L'analyse multicritère.

# 22. Analyse Socio- Economique – Recherche operationnelle dite classique

# 22.1. Introduction

Une analyse socio-économique, est une comparaison économique utilisant le principe de valorisation des « coûts économiques » de projet. En d'autres termes, elle permet de déterminer la solution la moins onéreuse sur la durée en procédant in fine à l'actualisation en monnaie constante.

Comme le définit le Président du projet national « clé de sol », monsieur Michel Gérard (clé de sol, 2004) : 'la technique qui permet de comparer entre eux deux projets dont l'un est moins coûteux en investissement mais plus coûteux dans la suite des temps et l'autre qui possède les qualités et les défauts exactement opposés, s'appelle « l'analyse socio-économique de projet ». Elle consiste à comparer sur une longue durée les chroniques des différences de coûts, d'avantages et de désavantages, monétaires et non monétaires, entre la solution dite « de projet », celle qui comprend la ou les projets de galerie(s), et la meilleure situation concurrente, dite de « référence », entièrement en pleine terre'

C'est donc en ces termes qu'il semble judicieux de procéder à ce type d'analyse.

Une analyse socio-économique (ou son terme générique « analyse économique ») est une comparaison de coûts entre les différentes solutions techniques étudiées faites pour durer et de même périmètres, c'est à dire, réalisées pour les mêmes objectifs, les mêmes services rendus, ... (<u>Boutillier</u> & Al., 1995), (Burgenmeier, 1994).

Il existe des analyses socio-économiques plus ou moins poussées. Une analyse complète prend en compte toutes les connaissances évaluables acquises sur un projet.

Dans notre cas de figure, ces connaissances peuvent être du style (clé de sol, 2004) :

- Impact des chantiers de voirie sur la circulation,
- Coûts des accidents dus aux travaux,
- Coûts des renouvellements de chaussée,
- Coûts sur les loyers,
- Incidence sur la thématique du développement durable (chantier vert, mise en décharge des déchets de chantier, etc.),
- Impact sur la concurrence entre délégataires de services publics,
- Impact de la TIPP sur le projet,
- Coût annuel du salarié en charge de réaliser les plans de recollement,
- Entretien ou renouvellement des réseaux,
- Rendement des réseaux urbains,
- Durée de vie des voiries,
- Rendement des stations d'épuration.

La solution galerie nécessite des investissements plus importants mais offre sur le long terme des avantages non négligeables (clé de sol, 2004). Il est donc tout à fait envisageable de réaliser une analyse socio-économique sur un projet de galerie en vue de déterminer son intérêt et l'impact qu'ont ses avantages.

Toutes ces connaissances sont réparties dans différentes catégories de coûts économiques que sont :

- Les coûts monétaires directs,
- Les coûts monétaires non perceptibles,
- Les coûts monétaires indirects,

- Les coûts monétaires ou non monétaires locaux d'externalités,
- Les coûts non monétaires d'externalités.

#### Les coûts monétaires

Ce sont les coûts directs facilement répartissables entre les différents acteurs d'un projet.

Ce sont par exemple dans notre cas de figure :

- Les coûts d'investissements,
- Les coûts de maintenance,
- Les coûts de développement de réseaux,
- Les coûts de renouvellement des réseaux.
- Etc.

# Les coûts monétaires non perceptibles

Ce sont également des coûts monétaires mais dont les différents acteurs ne perçoivent pas obligatoirement l'influence par le fait qu'ils peuvent être intégralement incorporés dans des prix plus globaux.

Ce sont par exemple dans notre cas de figure :

- Les pertes de fluides,
- Les pertes calorifiques des réseaux thermiques,
- Les incidents,
- Les accidents,
- Etc.

#### Les coûts monétaires indirects

Ce sont les coûts monétaires indirects à la charge de la collectivité.

Ce sont par exemple dans notre cas de figure :

- Le rythme de réparation des chaussées,
- Les apports d'eaux claires parasites aux stations d'épuration,
- L'indemnisation des commerces et des activités à la suite de travaux sur voirie,
- Etc.

# Les coûts monétaires ou non monétaires locaux d'externalités

Ce sont les coûts à la charge de ceux qui subissent les gênes.

Ce sont par exemple dans notre cas de figure :

 Pertes de temps des automobilistes et usagers des transports en commun durant les congestions de circulation,

- Surconsommation en carburant durant les congestions de circulation,
- Nuisances sonores supportées par les riverains lors de travaux
- Etc.

# Les coûts non monétaires d'externalités

Ce sont les coûts non monétaires traitant de l'aspect développement durable des projets. Ces coûts sont supportés par l'humanité toute entière et non plus uniquement par une collectivité urbaine.

Ce sont par exemple:

- Impact sur l'effet de serre,
- Impact sur la pollution,

Il y a des coûts totalement impossibles à évaluer. L'état actuel des connaissances et le manque de recul sur des données ne permettent pas d'appliquer un coût sur des critères vastes comme l'impact sur l'effet de serre ou sur la pollution.

D'autres sont très difficilement quantifiables. C'est le cas pour les coûts monétaires non perceptibles.

Heureusement, une grande partie de ces critères est facilement chiffrable et répartissable sans difficulté entre les acteurs du projet.

Le tableau 28 recense l'ensemble des coûts par acteurs utilisables dans une analyse économique sur un projet de galerie. Ce tableau est issu de la réflexion du projet national Clé de Sol. Il est à noter que ce tableau dispose d'un groupe complémentaire, celui des coûts liés à la valorisation du sous-sol. En effet, l'occupation du sous-sol est moindre lorsque les réseaux sont hébergés en galerie. Selon les études menées par Clé de Sol, le gain de place pourrait atteindre 40%, ce qui est très appréciable dans un contexte de fortes valeurs foncières car l'espace disponible peut être réattribué.

Pour évaluer le plus précisément possible l'ensemble des groupes de coûts, il est nécessaire de disposer dans notre cas, de statistiques urbaines sur les réseaux. Le projet national comporte en ses rangs, une multitude de partenaires délégataires de services publics et de collectivités locales. Cet ensemble de partenaires constitue la base de données de "Clé de Sol". Ces données sont accumulées depuis près de 40 ans par les différents partenaires comme les villes de Grenoble, Besançon, Lyon, Paris, etc.. Les prix proposés par « clé de sol » seront intégralement repris dans ce travail.

Une étude économique s'effectue sur une durée, généralement égale à 20 ans car au-delà il est difficile de prévoir raisonnablement les évolutions de trafics et de consommations (clé de sol, 2004).

Crownes de ce≙ts	Okiat	Acteur(s) concerné(s) en	Acteur(s) concerné(s) en situation de
Groupes de coûts	Objet	situation de projet	référence
	Installation et signalisation de chantier	Investisseur	Occupants du sous-sol
	Coordination des travaux de voirie	Investisseur Gestionnaire de voirie	Occupants du sous-sol Gestionnaire de voirie
	Ouverture des tranchées	Investisseur	Occupants du sous-sol
	Construction de l'habitacle	Investisseur	
coûts monétaires		Investisseur	
directs	Pose des supports de réseau	Occupants de la galerie	
	Fourniture des réseaux	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
coûts d'investissement	Pose des réseaux	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
	Remblaiement des tranchées	Investisseur	Occupants du sous-sol
	Réfection des chaussées	Investisseur	Occupants du sous-sol
	Transactions	Investisseur	Occupants du sous-sol
		Gestionnaire de voirie	Gestionnaire de voirie
	Déchets	Investisseur	Occupants du sous-sol
	Signalisation des chantiers	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
coûts monétaires	Ouverture des tranchées	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
directs	Réfection des chaussées et des trottoirs	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
A. 114 A.1	Entretien et exploitation des réseaux	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
coûts liés à la maintenance et au	Entretien et exploitation de l'habitacle	Gestionnaire de l'habitacle	
développement des	Coordination : DICT	Gestionnaire de l'habitacle	Gestionnaire de voirie
réseaux		Occupants de la galerie	Occupants du sous-sol
reseaux	Coordination: récolement	Gestionnaire de l'habitacle	Gestionnaire de la voirie
coûts monétaires		Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
directs coûts de rénovation des	Renouvellement des réseaux	Occupants de l'habitacle	Occupants du sous-sol
réseaux	Renouvellement des supports	Occupants de l'habitacle	
coûts monétaires	Pertes de fluide		Occupants du sous-sol
non perceptibles			Occupants du sous-sol
	Accidents et incidents (arrachages le plus		Riverains
variation de coûts	souvent)		Collectivité communale
d'exploitation (pertes de	3.5.2		Collectivité nationale
fluides, accidents)	Déchets		Occupants du sous-sol
coûts monétaires	Vieillissement prématuré des chaussées	Gestionnaire de la voirie	Gestionnaire de la voirie
indirects	Eaux claires parasites		Gestionnaire de l'assainissement
coûts monétaires	Transactions		Collectivité communale
indirects à la charge des	Indemnisations (commerces, activités)		Collectivité communale
collectivités	indenimisations (commerces, activities)		Concentrate communate
coûts liés à la valorisation du sous-sol	Occupation de l'espace public	Propriétaire de la voirie	Propriétaire de la voirie
coûts monétaires ou	Bruit		Habitants et commerçants résidants
non monétaires locaux d'externalités	Congestion automobile		Personnes circulant dans la zone des travaux
locaux u externantes			Personnes circulant dans la zone des
externalités concernant	Surconsommation de carburant		travaux
des acteurs locaux			Collectivité nationale
coûts non	Effet de serre		Collectivité mondiale
monétaires			
d'externalités	5 H .		
externalités non	Pollution		Collectivité mondiale
monétaires concernant			
un univers plus large			

Tableau 28 : tableau récapitulatif des groupes de coûts et acteurs concernés du projet national « Clé de Sol »

Nous avons vu précédemment, que la durabilité de l'ouvrage dépendait essentiellement de la durabilité du génie civil. Cette espérance de vie est estimée entre 70 et 100 ans. Une analyse socio-économique sur une opportunité de galerie, doit donc se faire sur une base de 100 ans.

Le résultat d'une analyse économique se présente sous la forme d'un coût global supporté par les acteurs du projet. Ce coût est un bénéfice actualisé. Il se doit de prendre en compte un taux d'actualisation approché par le Commissariat au Plan, qui est de 8% par an et représente une compatibilité entre les besoins d'investissement privés et publics de la nation et les capacités concrètes de trouver ces moyens.

Le bénéfice d'un projet étudié, est le résultat d'une somme des différences entre les deux projets étudiés annuellement actualisés que l'on nomme la 'Valeur Actualisée Nette' ou VAN économique. Ces calculs sont rapidement réalisables grâce à l'emploi de tableurs de type Excel.

La mesure du bénéfice actualisé est la suivante à l'année de mise en service t :

$$VAN.Economique(t) = -C + \sum_{i=t}^{\infty} \frac{Ai}{(1+a)^i}$$

avec:

- C = coût d'investissement actualisé
- a = taux d'actualisation de l'économie nationale
- Ai = avantages de l'année i
- t = année de mise en service de l'infrastructure

Comme le définit monsieur Michel Gérard : 'Si la chronique des différences prévisibles entre la situation de projet et la situation de référence dégage par actualisation un bénéfice, le projet doit être retenu : cela signifie en effet que son surcoût initial est plus que compensé par les avantages qui suivront'.

Il est également possible de calculer le 'Taux de Rentabilité Interne' ou TRI économique, qui annule le bénéfice actualisé de la différence entre les deux projets. Si le TRI économique est supérieur ou égal au taux d'actualisation approché par le Commissariat au Plan qui est de 8%, le projet peut être retenu. Bien entendu, si le TRI économique est inférieur à 8%, il est préférable d'opter pour la solution réseaux enfouis.

Le TRI économique est la solution de l'équation :

$$-C + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{Ai}{(1+r)^{i}} = 0$$

avec:

- C = coût d'investissement actualisé
- Ai = avantages à l'année i

En conclusion, une analyse socio-économique n'est ni plus ni moins qu'une étude d'opportunité. Elle permet de mettre en avant l'ensemble des critères, coûts ou investissements pouvant offrir sur le long terme de sérieux avantages à un projet de type galerie et de déterminer si ce projet doit être retenu ou bien abandonné.

Une analyse de projet peut être fortement critiquée sur de nombreux aspects. Ce type d'analyse nécessite une capacité de synthèse de l'ensemble des nombreuses données et est fondé sur des hypothèses pouvant être très fortes et donc lourdes de conséquences. Ce travail ne peut donc être réalisé que par un économiste chevronné possédant un certain recul sur la problématique car la complexité du problème ne peut être prise à la légère, d'autant plus que dans notre cas, l'étude ne se porte pas sur une vingtaine d'années mais bien sur une centaine d'années.

C'est pourquoi nous proposons dans ce travail, une approche différente. Nous ne désirons pas connaître le degré d'opportunité d'un projet de galerie, puisque nous nous sommes placé dans un cas d'étude et non pas dans un cas réel, mais connaître l'impact économique des critères pouvant apporter des avantages substantiels à ce projet. C'est pourquoi, ni la VAN ni le TRI économique ne seront pris en compte. Nous utiliserons uniquement le tableur Excel pour déterminer la date à laquelle la solution galerie deviendra plus avantageuse que la solution pleine terre pour l'ensemble des acteurs et nous appellerons cette date 'la période de rentabilité'.

Les coûts utilisés proviennent tous du guide pratique de Clé de Sol. La détermination de ces coûts ne peut être reprise dans ce rapport pour des raisons de propriété intellectuelle.

#### 22.2. Comparaison socio-ECONOMIQUE – VALORISATION DES COUTS ECONOMIQUES MARCHANDS

# 22.2.1. Hypothèses de travail

Selon les données du projet national clé de sol, nous pouvons prétendre dans notre cas d'étude (Clé de Sol, 2004) :

- Pour 1000 mètres de linéaire de réseaux plus les branchements riverains, nous obtiendrons 75 mètres en totalité (longueur totale pour tous les réseaux inclus) d'ouverture de tranchées par an, pour effectuer des travaux de maintenance,
- On peut émettre l'hypothèse que les travaux s'effectuent sur 7.5 jours avec un avancement estimé à 10 mètres par jour.

# Rappel des principales hypothèses retenues :

- On considère que l'attente moyenne à un feu rouge est de 30 secondes,
- La densité moyenne du trafic est de 10 000 véhicules jour,
- Le nombre moyen de passager par véhicule est de 1.2,
- On considère une distance approchée d'embouteillage de 100 mètres,
- La consommation de carburant hors congestion est estimée à 8litres/100 km,
- La consommation de carburant sous congestion est supérieure de 30 à 70% à la consommation hors congestion
- Le prix moyen du carburant est estimé à 0.825€/litres puisque :

o Le prix moyen de l'essence : 1€/litre

o Le prix moyen du gazole : 0.75€/litre

Toutes ces données sont essentielles pour l'ensemble de l'analyse socio-économique et seront rappelées aux moments opportuns.

# 22.2.2. Coût tutélaire su temps

Le coût tutélaire du temps est estimé par le ministère de l'équipement, des transports, de l'aménagement du territoire, du tourisme et de la mer à 11.50€/heure. Les coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation représentent les coûts annuels d'entretien sur les réseaux. Il est à noter, qu'il n'existe pas de coûts pour l'entretien propre de la galerie. Le nettoyage, le curage de la cunette et la dératisation de l'habitacle n'interviennent donc pas dans cette étude.

Les coûts d'exploitation des réseaux sont les suivants :

Coûts unit		Galerie Multi-Réseaux	Réseaux enfouis		
Assainisse	ment		1.87		
Eau Pota	able	0.15	3.07		
Gaz		0.15	3.07		
Chauffage	Urbain	2.86	7.62		
EDF	НТА	0.015	0.045		
BT		0.001	0.03		
France Télécoms		0	0.007		
Réseau c	âblé	0.91	0.91		

Tableau 29 : tableau récapitulatif des coûts unitaires d'exploitation des réseaux

Dans notre cas d'étude, les longueurs totales des réseaux sont :

		Longueurs de réseaux (m)
Assainissement		1000
Eau Potable		1000
Gaz		1000
Chauffage	Urbain	2000
EDF	НТА	10000
	ВТ	26000
France Télécoms		27000
Réseau câblé		13500

Tableau 30 : tableau récapitulatif des longueurs de réseaux

Ce qui donne en total des dépenses pour l'exploitation annuelle :

• Pour la solution GMR sans EP & EU : 22 221 €/an soit 22,22 €/ml/an.

• Pour la solution pleine terre : 38 824 €/an soit 38,82 €/ml/an.

La période de rentabilité de la solution galerie est alors estimée à : 197 ans.

# 22.2.3. La rénovation des réseaux

Les coûts de rénovations des réseaux sont soumis à une hypothèse très forte, celle de leur durée de vie.

Seul le projet national propose des estimations de durées de vie en pleine terre et en galerie. Ces valeurs sont issues des séances plénières de réflexion. Elles peuvent donc très bien être dénoncées par les différents concessionnaires locaux puisque lorsqu'une valeur n'était pas connue, elle était approchée par sa durée d'amortissement économique.

Le projet national "Clé de Sol" propose donc :

Durée de vie des réseaux	Galerie M	<i>ultiréseaux</i>	Réseaux enfouis				
Assainissement	100	) ans	70 ans				
Eau Potable	100	) ans	70 ans				
Gaz	70	ans	50 ans				
Chauffage Urbain	70	ans	35 ans				
EDF	Chemin de câble : 70 ans	Réseau : 80 ans	40 ans				
France Télécoms	Chemin de câble : 70 ans	Réseau : 80 ans	40 ans				
Réseau câblé	Matériel actif : 8 ans	Matériel passif : 40 ans	Matériel actif: 8 ans	Matériel passif : 10 ans			

Tableau 31 : tableau récapitulatif des espérances de vie des réseaux urbains

Les hypothèses suivantes seront faites :

- On considère que l'on rénove tout le linéaire de réseau en fin de vie,
- La durée des travaux de rénovation s'étend sur une année entière

Le travail des bureaux d'études étant plus important dans le cas d'un projet de réseaux en pleine terre qu'en galerie, il est convenu de majorer les coûts de renouvellement de réseaux de 10% en solution pleine terre.

		Galerie Multi-Réseaux	Réseaux enfouis		
Coûts unitaires de rén	novation(€/ml)				
Assainissen	nent		687,54		
Eau Potal	ble	195,98	181,41		
Gaz		195,98	181,41		
Chauffage U	rbain	617,57	734,04		
EDF	BT & HTA	60,67	119,97		
	supports	80,49			
France Télécoms	Passif	3,04	8,23		
	supports	18.29			
Réseau câblé	Passif	10.29	6,09		
	Actif	2,15	2,15		

Tableau 32 : tableau récapitulatif des coûts unitaires de rénovation de réseaux

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 105 ans.

# 22.2.4. La coordination des exploitants

La coordination des exploitants se résume à la gestion des DICT.

La définition du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie est la suivante : 'la Déclaration d'Intention de Commencement des Travaux (DICT), a pour objet de demander aux exploitants d'ouvrages, leurs recommandations ou prescriptions techniques avant d'entreprendre des travaux à proximité de leurs ouvrages ou réseaux souterrains, aériens ou subaquatiques situés sur le domaine public ou privé. Ces recommandations ont pour but d'assurer la sécurité des personnes et d'éviter tout dommage aux ouvrages.'

La DICT joue également un rôle d'information à l'ensemble des acteurs urbains. Lorsqu'un concessionnaire désire effectuer des travaux sur l'un de ses réseaux, la DICT informe l'ensemble des concessionnaires et le service voirie de l'agglomération des intentions de travaux. De cette manière, il est possible à toutes les échelles, de vérifier que les travaux, le tracé des fouilles, etc., n'altéreront nullement les autres occupants et ne réaliseront pas de recoupements de réseaux.

Les coûts de gestion des DICT sont donc des dépenses pouvant être importantes pour le service voirie et les concessionnaires et n'interviennent que dans un projet de réseaux enfouis.

#### 22.2.4.1. le service voirie

Le coût de gestion de la DICT pour un service voirie correspond au coût de 4 agents par an, travaillant à plein temps sur la gestion technique des fouilles ouvertes sur domaine public

Ces coûts reviennent à 7.62€/ml de tranchées ouvertes.

#### 22.2.4.2. les concessionnaires

De même que pour le service voirie, la gestion des DICT génère un coût non négligeable car il est estimé que la gestion de ces déclarations occupe 30% du temps d'un agent par concessionnaire.

Ces coûts reviennent à 0.57€/ml de tranchées ouvertes

## 22.2.4.3. La gestion des plans de recollement

Il existe une seconde source de dépense non négligeable pour les concessionnaires. C'est la gestion des plans de recollement administratif de réseaux. Ces coûts sont identiques en solution pleine terre et en solution galerie (Buscayret, 1999). Cependant, l'installation de nouveaux réseaux et l'entretien entraînent des coûts de gestion de plan de recollement plus importants en pleine terre qu'en galerie.

Ces coûts reviennent à 5.71€/ml de tranchées ouvertes

## 22.2.4.4. Conclusion

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 103 ans.

#### 22.3. COMPARAISON SOCIO-ECONOMIQUE –ELARGIE AUX ACTEURS INDIRECTS

Les acteurs indirects sont les riverains, les utilisateurs de transports publics, les commerçants du quartier, les automobilistes, etc. Ce sont en fait tous les acteurs indirectement concernés par un projet de galerie mais qui peuvent subir ou profiter des inconvénients ou avantages d'une solution.

Il existe trois catégories de coûts socio-économiques élargies aux acteurs indirects qui sont :

- Les nuisances que supporte la population,
- Les coûts de transactions inhérents à tout chantier,
- Les coûts complémentaires que supporte le service voirie.

La catégorie de coûts "nuisances que supporte la population" appartient à l'appellation "externalités" et se décompose en trois sous-catégories que sont :

Les nuisances de congestion lors de travaux courts ou longs,

- Les nuisances de surconsommation,
- Les nuisances liées aux bruits.

Il est difficile de modéliser sous forme économique l'ensemble des catégories. Tous ces coûts peuvent être discutés. Les valeurs utilisées sont celles du projet national "clé de sol" et n'engagent donc que le projet. Ces coûts sont cependant importants à étudier car leurs importances peuvent permettre de justifier un choix de galerie.

## 22.3.1. Les nuisances que supporte la population.

22.3.1.1. Les nuisances de congestion lors de travaux courts ou longs.

Ces coûts représentent l'impact des travaux sur voiries sur la circulation routière. Ces coûts sont directement imputables à l'ensemble des usagers de la voirie.

## Rappel des hypothèses retenues :

- On considère que l'attente moyenne à un feu rouge est de 30 secondes,
- La densité moyenne du trafic est de 10 000 véhicules jour,
- Le nombre moyen de passager par véhicule est de 1.2,
- Le coût tutélaire du temps est estimé par le ministère de l'équipement, des transports, de l'aménagement du territoire, du tourisme et de la mer à 11.50€/heure.

Le surcoût de congestion (Sc.C) s'exprime de la manière suivante :

Sc.C = (temps d'attente estimé dans les embouteillages) x (coût tutélaire du temps)
x (densité moyenne du trafic) x (taux d'occupation des véhicules)

Nous obtenons un surcoût de congestion estimé à 1150€/jour de chantier.

Le coût annuel de congestion automobile est de 8625€/an, soit 8,62€/ml/an.

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 75 ans.

#### 22.3.1.2. La surconsommation de carburant

Cette catégorie de coût est fortement corrélée à la catégorie précédente puisqu'elle en est la résultante. En effet, elle représente la surconsommation de carburant lors d'embouteillage.

## Rappel des hypothèses retenues :

- On considère une distance approchée d'embouteillage de 100 mètres,
- La consommation de carburant hors congestion est estimée à 8litres/100 km,
- La densité moyenne du trafic est de 10 000 véhicules jour,
- La consommation de carburant sous congestion est supérieure de 30 à 70% à la consommation hors congestion
- Le prix moyen du carburant est estimé à 0.825€/litres puisque :

o Le prix moyen de l'essence : 1€/litre

o Le prix moyen du gazole : 0.75€/litre

Le surcoût de surconsommation de carburant (Sc.S) s'exprime de la manière suivante :

**Sc.S** = (distance approchée d'embouteillage) x (estimation de la surconsommation)

x (prix du carburant) x (densité du trafic)

Nous obtenons un surcoût de surconsommation estimé à 33€/jour de chantier.

Le coût annuel de surconsommation de carburant est de 247€/an, soit 0.24€/ml/an.

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 75 ans

## 22.3.1.3. La nuisance liée au bruit

Cette catégorie représente les coûts d'impacts des bruits de chantier sur la tranquillité des riverains.

Nous allons voir avec cet exemple, que toute les externalités ne peuvent être évaluées économiquement.

## La méthode d'évaluation financière des bruits de chantier

La méthode proposée pour évaluer le bruit engendré par un chantier est une méthode d'évitement. C'est à dire qu'elle se base sur la détermination d'un surcoût d'investissement résultant d'un accroissement de l'isolation phonique des habitations, soit disant capable d'éliminer les bruits de chantier. En effet, les chantiers génèrent 5 à 10 dB(A) supplémentaires lorsqu'il y a la présence de groupes électrogènes, de compresseurs et autres engins de chantier (Buscayret, 1999).

Les nuisances liées aux bruits (Nl.B) s'exprime de la manière suivante :

Nl.B = (coût du bruit de chantier 'P') x (nombre de logements atteints) x (nombre de jour de chantier)

Le coût du bruit de chantier, est la résultante annuelle des travaux complémentaires nécessaires permettant d'accroître l'isolation phonique ad vitam eternam d'un logement. Ces travaux sont évalués par le projet national « clé de sol » entre 3000 et 7500€ ce qui donne dans différents cas de figures :

- $P = 5.65 \in \text{dans des villes importantes}$ ,
- $P = 2.30 \in \text{dans des petites villes}$ ,
- P = 3.95€ dans les cas intermédiaires.

Elle ne se justifie pas pour les chantiers de courtes durées car la gêne occasionnée ne peut intervenir que sur des travaux de grande ampleur.

## Les différents types de bruits

Il existe globalement deux types de bruits, ce sont :

- Les « bruits aériens » se propageant dans l'air. Ce sont par exemple, les bruits de voix (aériens intérieurs), de circulation routière, circulation ferroviaire (aériens extérieurs), etc.
- Les « bruits solidiens » que l'on nomme également « bruits d'impact », se propageant par vibration dans les matériaux solides. Ce sont par exemple les chocs sur un plancher, sur un mur, etc.

### Les bruits associés à un chantier urbain

Les bruits de chantier sont composés de ces deux types de bruits. Si l'on prend l'exemple d'un compresseur de chantier mobile pouvant alimenter deux marteaux pneumatiques, le bruit résultant de cet outil est dû :

- Aux bruits aériens émanant du moteur thermique du compresseur et des coups d'attaque des marteaux sur la structure de la chaussée
- Aux bruits solidiens, résultant des vibrations du compresseur et des coups d'attaque des marteaux.

Comment remédier à ces bruits de chantier ou comment améliorer l'isolation acoustique d'une habitation ?

Pour améliorer l'isolation acoustique d'un appartement, il est indispensable de combattre ces deux types de bruits. Pour cela :

• Contre les bruits solidiens, des éléments tels que des dalles flottantes ou planchers chevrons peuvent assurer une protection.

• En ce qui concerne les bruits aériens, il est obligatoire de réaliser des travaux d'isolement de façade et notamment d'améliorer l'étanchéité des fenêtres. Les gains obtenus varient entre 30 et 40dB(A)¹ d'atténuation. Les techniques permettant d'atténuer ces bruits aériens passent par l'utilisation de joints en mousse, de joints en résine durcissable, par la mise en œuvre de lèvres métalliques ou en polymères et jusqu'au remplacement des menuiseries simple vitrage par des menuiseries double vitrage avec lame d'air insérée (5-16-3)², voir des menuiseries en triple vitrage haute performance de type "feuilleté acoustique" à chargement de gaz rare (33-16-44)³. Les coûts varient quant à eux de 1 à un minimum de 250 selon la solution retenue et ce hors pose. Les coffres des volets roulants constituent également des points faibles acoustiques. Il convient donc de les renforcer par une pose de joints silicones ou d'absorbants acoustiques

## Recul sur la méthode proposée par le projet national clé de sol

Une protection acoustique efficace d'un logement ancien, nécessite un ensemble de travaux importants, donc onéreux. Ces coûts sont certainement bien plus onéreux que ceux présentés par le projet national. Ils dépendent énormément de la hauteur et de la largeur de façade, de la surface du logement et surtout du degré de protection souhaité.

#### Argumentaire

L'arrêté du 30 mai 1996 concernant le classement par le préfet de région des voies bruyantes d'une longueur maximale de 300 mètres, servant à déterminer les secteurs affectés par le bruit au voisinage de ces infrastructures dont le trafic est supérieur 5000 véhicules par jour et un trafic moyen de plus de 100 bus par jour, les niveaux sonores à prendre en compte par les constructeurs et les isolements acoustiques à respecter lors de la construction d'un bâtiment ne peut s'appliquer dans notre cas de figure car nous n'avons pas pris l'hypothèse d'un quartier neuf mais existant (quartier de type hausmanien). Cependant il est intéressant de constater que cet arrêté exige un isolement de façade compris en 30 dB(A) (minimum imposé même en zone calme) et 45 dB(A) (pour un bruit de type routier) en vue d'obtenir un niveau de bruit résiduel intérieur au logement ne dépassant pas 35 dB(A) de jour et 30 dB(A) de nuit.

De ce fait, pour envisager un isolement atteignant les exigences de l'arrêté du 30 mai 1996, il est obligatoire de recourir à l'emploi des techniques d'isolation de bruits aériens décrites ci-dessus (dans la partie 'Comment remédier à ces bruits de chantier ou comment améliorer l'isolation acoustique d'une habitation ?).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> dB ou décibel: unité qui exprime les niveaux de bruit. Le dB(A) tient compte de la sensibilité de l'oreille.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> un vitrage 5-16-3 est composé d'une vitre intérieure et d'une vitre extérieure d'une épaisseur chacune de 3 ou 5 mm, séparées par un coussin d'air de 16mm

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> un vitrage 33-16-44 est composé d'une vitre intérieure et d'une vitre extérieure d'une épaisseur chacune minimale de 34 mm et pouvant atteindre 44 mm, d'une vitre intérieure de 33mm séparées par deux remplissage au gaz rare de 16mm.

Le projet national "Clé de Sol" évalue les travaux d'isolation à un niveau maximum de 7500€. Certes, ce prix peut répondre aux coûts de livraison et de pose des menuiseries classiques pour un logement, mais certainement pas à la pose de menuiseries de haute isolation acoustique pour un grand appartement et en plus à l'ensemble des autres travaux d'isolation acoustique nécessaire. En effet, il reste également à financer les travaux de façade et le traitement des bruits solidiens.

Une remarque intéressante est que le projet national amortit le coût des travaux de menuiserie sur la durée de vie de la galerie, c'est à dire 100 ans alors que la durée de vie moyenne d'une menuiserie est de 30 ans.

## De plus

En France, la loi antibruit de 1992 fixe à 86 dB (à environ 5000tr/min et à 1 mètre de la sortie de l'échappement) le seuil d'émission sonore pour une motocyclette de route. Le niveau sonore d'une discussion normale atteint les 70-75 dB, un concert de rock'n'roll ou un ancien marteau piqueur atteignent les 110 dB.

Aujourd'hui, la prise en compte par les concepteurs d'outils de génie civil de la thématique de "développement durable" et plus particulièrement du concept de "chantiers verts", permet de proposer des compresseurs de chantier, dont l'émission sonore ne dépasse pas 76 dB. Ces compresseurs sont moins bruyants qu'une motocyclette neuve. De ce fait, pourquoi la réalisation de travaux sur voirie nécessiterait-elle des travaux d'isolation sur les bâtiments, alors que le bruit des véhicules dépassent le bruit engendré par les outils de chantier. ?

#### En outre

La plus faible durée de vie estimée des réseaux enfouis, concerne le réseau de chauffage urbain suivit de peu des réseaux de télécommunications et des canalisations électriques.

La pose des réseaux de télécommunications s'effectue sous fourreaux. Il peut en être de même pour les canalisations électriques. De ce fait, une modification en profondeur de ces réseaux peut se faire sans gène acoustique pour les riverains à partir des chambres de tirage.

En ce qui concerne le réseau de chauffage urbain, il semble bon de relativiser les nuisances qu'apporte la réalisation des travaux. Certes il faut procéder à la réalisation des fouilles, aux dépôts des couvercles en béton des caniveaux techniques, ce qui implique la présence d'engins lourds de terrassement ou d'élévation. Mais ces travaux s'effectuent une fois tous les 35 ans. L'avancement des travaux est estimé à 10 mètres par jour. Nous sommes dans le cas où la plus grande façade de bâtiment n'excède guère une vingtaine de mètres. Cela fait deux jours de travaux en façade. Ces derniers s'effectuant de jour lorsque la majorité des riverains se trouvent sur leurs lieux de travail. La nuisance apportée aux riverains est donc somme toute limitée.

Demander aux propriétaires de réaliser de lourds investissements pour satisfaire à un confort acoustique lors de travaux sur le réseau de chauffage urbain ayant lieu sur deux jours tous les 35 ans semble hors de propos.

Pour toutes ces raisons, les coûts de nuisance liée au bruit proposés par le projet national "Clé de Sol", ne semblent pas répondre ni être adaptés à notre cas de figure et ne seront donc pas pris en compte dans ce travail.

#### 22.3.2. Les coûts de transactions inhérents à tout chantier - Le coût de transaction

Les coûts de transaction représentent l'estimation du temps passé par une municipalité pour informer l'ensemble des acteurs d'un quartier, des projets de travaux, de leurs avancements, des salissures produites et de la gêne encourue par les commerces.

Ces coûts n'interviennent que pour la solution pleine terre et pour les chantiers de longues durées.

Ces réunions d'informations en quartiers, en mairie, ou les démarchages auprès des acteurs, les exposés, etc., représentent un certain coût.

Le projet national « Clé de Sol » chiffre ces coûts de transactions à 49€/ml de tranchée ouverte.

Le coût annuel de surcoût de transaction est de 3675€/ml/an, soit 3.67€/ml/an.

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 70 ans

## 22.3.3. Les surcoûts supportés par le service voirie

## 22.3.3.1. Le surcoût en signalisation supplémentaire pour la voirie

Les ouvertures de voiries nécessitent une signalétique supplémentaire en vue d'éviter tout accident corporel. Cette signalisation complémentaire est à la charge intégrale du service voirie d'une agglomération.

Le projet national clé de sol, évolue à 1.90€/ml de tranchée ouverte ce surcoût de signalisation.

Le surcoût annuel de signalisation supplémentaire est de 142€/an, soit 0.14€/ml/an.

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 70 ans

## 22.3.3.2. Le surcoût dû aux réfections supplémentaires de chaussées

Une ouverture de tranchée fragilise la couche de roulement d'une chaussée ce qui diminue de moitié la durabilité globale de la structure (clé de sol, 2004). La fréquence de réhabilitation de la chaussée est de 1 toutes les 5 années pour la solution de référence réseaux en pleine terre et de, 1 toutes les 10 années pour la solution galerie.

Le surcoût actualisé s'exprime de la manière suivante :

$$Sc.R=R.\frac{(1+\alpha)^{x}-(1+\alpha)^{y}}{[(1+\alpha)^{y}-1]*[(1+\alpha)^{x}-1]}$$

#### avec:

- R = coût de revêtement
- $\alpha = \text{taux d'actualisation}$

Le projet national clé de sol, préconise de prendre un surcoût actualisé s'élevant à **146€/ml** de voirie.

A ce surcoût, il est indispensable d'ajouter les surcoûts dus aux nuisances liées à la circulation, à la surconsommation de carburant et aux transactions.

La durée globale du chantier de réfection de voirie est estimée dans notre cas à 6 jours ouvrés.

Le surcoût exceptionnel annuel de congestion automobile est de 6900€, soit 6.9€/ml.

Le surcoût exceptionnel annuel de surconsommation de carburant est de 198€, soit 0.19€/ml.

Le surcoût exceptionnel annuel de transaction est de 3% à hauteur du prix des travaux.

Le surcoût exceptionnel annuel de signalisation supplémentaire est de 1900€, soit 1.9€/an.

La période de rentabilité de la solution galerie est estimée à : 52 ans

22.3.4. Réflexion Socio-économique sur la pertinence de non-inclusion en galerie des réseaux d'assainissement

En procédant de manière identique, nous avons voulu connaître la période de rentabilité de la solution galerie en y réintégrant les réseaux d'assainissement. Sortir les EP et EU de la galerie, permet de minimiser les coûts d'investissement, mais réintégrer ces réseaux dans l'habitacle peut faire apparaître de nouvelles externalités jusqu'à lors non décelables.

Ces externalités sont liées aux coûts de défaillances possibles des réseaux d'assainissement.

## Impact sur l'environnement

Dans le monde, le rendement global des réseaux d'assainissement est très médiocre (WCS, 2000) (Yahiaoui, 2000). La fédération professionnelle « des Canalisateurs de France » avance un chiffre de l'ordre de 50%. Ce rendement correspond au taux de dépollution ' $\eta$ ' d'un réseau et s'exprime de la manière suivante :

 $\eta$ = [(nombre d'habitants x pollution équivalent habitant) + pollution industrielle raccordée] / (pollution mesurée à l'entrée de la station d'épuration)

Ce faible rendement s'explique par la présence d'une multitude de défaillances hydrauliques sur les canalisations de ces réseaux. En effet, les agences de l'eau estiment que 10 à 50% des 50% d'effluents

manquants à l'entrée de la station d'épuration, proviennent d'un non-raccordement au réseau de zones d'habitat dispersées (Clementel, 2003). Les 50 à 90% d'effluents manquants sont donc probablement effet de fuites sur le réseau.

Les fuites sur les réseaux d'assainissement sont dues pour l'essentiel à la pose des canalisations et au remblaiement (Mahieu, 1997). Pour exemple, l'agence de l'eau de Rhin-Meuse a versé sur 5 ans, 200M€ au titre des réseaux et 30% de ces subventions servent à remettre à niveau des réseaux récents. Les désordres rencontrés sont dus à 80% aux conditions de pose et à 20% aux matériaux (Clementel, 2003).

Sans interventions humaines, les désordres structurels des réseaux ne peuvent s'améliorer avec le temps. Sans entretien et avec une mauvaise mise en œuvre du réseau, des fissures longitudinales et transversales peuvent rapidement apparaître ainsi que des ruptures mécaniques au niveau des points faibles, c'est à dire aux collerettes, aux regards, aux branchements riverains, etc. (Mahieu, 1997). Ces désordres ne permettent d'acheminer jusqu'à la station d'épuration, que les 2/3 de la pollution organique collectée par le réseau (Burgun & Al., 1997).

Il est difficile d'évaluer économiquement cette externalité.

## Impact sur le rendement des stations d'épuration

Les ruptures mécaniques n'induisent pas uniquement des exfiltrations d'effluents dans le sol, nocives pour l'environnement, mais également des infiltrations d'eau claire parasite et ce, en fonction de la hauteur de la nappe phréatique. Un réseau d'assainissement est à l'opposé d'un réseau d'eau potable, un réseau ne fonctionnant pas la majorité du temps en charge. Dans ce cas, des eaux claires parasites peuvent aisément pénétrer dans la conduite. Ces eaux ont pour effet d'accroître et de manière importante, la quantité d'eau acheminée vers la station. Il a été démontré que le taux moyen d'eau claire parasite dans un réseau d'assainissement atteint 38% (Dupasquier, 1999) (Guérin-Schneider, 2003). Ces 38% d'eau claire supplémentaire, nuisent fortement au rendement de la station d'épuration.

A Montréal, les coûts d'exploitations des stations d'épurations sont évalués à 0.057€/m³ d'eau usée (Montréal, 2002). Cependant, pour pouvoir prendre en compte ces coûts d'exploitation de station d'épuration et les réduire de 38%, il est obligatoire de resituer le projet dans son contexte global, c'est à dire à l'échelle de l'agglomération. Une galerie technique peut très bien être un ouvrage ponctuel, c'est à dire affecté à une seule rue ou bien être un ouvrage global, c'est à dire présent dans la majorité des rues d'une agglomération comme c'est le cas à Paris.

Notre étude porte sur un réseau fictif, de ce fait il est impossible de déterminer l'impact que peut avoir une galerie sur le rendement de la station d'épuration en aval. Ces coûts ne peuvent donc être pris en compte.

#### Protection sanitaire

Cette protection sanitaire ne peut s'appliquer dans notre cas, qu'au seul réseau d'eau potable, dont l'eau peut être ingérée.

L'un des avantages d'une solution galerie est de protéger de manière plus significative, la population des risques de contamination de l'eau potable. Globalement, les visites régulières d'inspection de réseaux, permettent de localiser les désordres et d'intervenir rapidement et donc de protéger le réseau d'eau potable de possibles infiltrations nuisibles à la population consommatrice. La littérature relate les cas plus significatifs de contamination d'eau potable par de l'eau usée. Depuis 1940, on peut retracer une multitude de cas mondiaux, comme par exemple entre 1980 et 1992 il y a eu 24 épidémies hydriques en Finlande, entre 1940 et 1980, 672 épidémies aux USA, ou bien encore chaque année, entre 1 et 2 épidémies en Suède (Clementel, 2003). En France, seulement deux cas ont été recensés ou véritablement reconnues par les DDASS.

Ces épidémies peuvent provoquer des maladies de type gastro-entérites d'origine hydrique, c'est à dire provenant d'une consommation d'eau potable non conforme à la réglementation en vigueur. On estime que chaque année, il se produit environ 30 000 gastro-entérites en France dont les deux tiers seraient à imputer à des dysfonctionnement des réseaux d'assainissement.

Les coûts indirects pouvant être évalués sont :

- Les coûts sociaux d'interruption de l'eau,
- Les coûts de l'énergie servant à faire bouillir de l'eau,
- Les coûts d'achats de bouteilles d'eau minérale,
- Les frais médicaux,
- les frais d'assurances.

Il est estimé qu'en France, le coût par malade atteint d'une gastro-entérite hydrique atteindrait les **1150€/an** (Clementel, 2003).

Cependant, dans notre cas de figure, il est très difficile d'utiliser cette valeur car nous ne disposons pas de statistiques sur le nombre d'habitants consommant de l'eau du robinet en site urbain, ni même, la répartition spatiale des 30 000 cas de gastro-entérites annuel en France, etc.

Ces coûts ne peuvent être utilisés dans cette partie car en outre, la présence hors galerie des canalisations d'assainissement permet de protéger encore plus efficacement le réseau d'eau potable.

#### Conclusion

Ne pouvant mettre en avant un nouveau coût socio-économique par manque de données statistiques, notre étude se limitera à donner la période de rentabilité économique du projet de galerie intégrant les canalisations des réseaux d'assainissement.

La solution galerie étudiée se présente donc de la manière suivante :

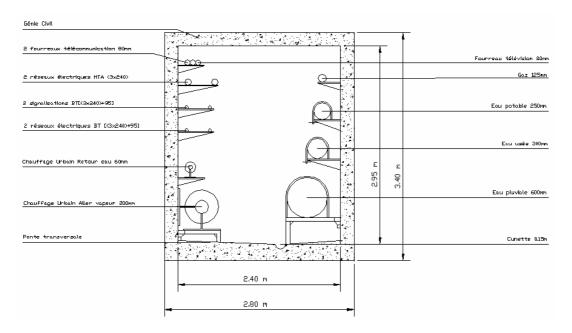


Figure 61 : Représentation de la solution galerie étudiée

En utilisant le même cheminement que précédemment, nous obtenons une période de rentabilité de cette solution galerie estimée à 72 ans.

#### 22.3.5. Conclusion

Une analyse socio-économique permet bien de mettre en avant des avantages décelables sur le long terme d'un projet.

Cependant cette méthode peut être critiquable sur de nombreux points tels que :

- La détermination des coûts est fonction des appréciations du technicien ou de l'économiste réalisant l'étude. Ce type d'analyse nécessite une capacité de synthèse de l'ensemble des nombreuses données et est fondée sur des hypothèses pouvant être très fortes et donc lourdes de conséquences,
- Certains critères comme la nuisance liée aux bruits de chantier doivent être pris avec précaution car leur emploi n'est pas toujours réaliste,
- Certains coûts ne peuvent être évalués car leur champ d'application est trop vaste comme par exemple le coût de gestion des stations d'épuration.

L'avantage de ce type d'analyse est de fournir très rapidement et très simplement le résultat sous la forme d'un coût global que doit supporter l'ensemble des acteurs. L'utilisation de tableur informatique permet de réaliser cette étude très efficacement.

Dans notre cas, ne désirant pas déterminer le degré d'opportunité d'un projet car nous ne sommes pas dans un cas réel, nous avons présenté les résultats sous une fonction de « période de rentabilité économique » de notre projet de galerie. Cette période de rentabilité représente la date à laquelle le projet de galerie devient moins onéreuse que le projet réseaux enfouis.

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que dans notre étude, la solution galerie devient avantageuse au bout de 52 ans lorsque les réseaux d'assainissement sont enfouis et 72 ans lorsqu'ils sont intégrés dans l'habitacle.

La collectivité locale devra dans notre exemple attendre au mieux 52 ans, pour récupérer des avantages sur son investissement initial. La détermination de cette période de rentabilité est basée sur des hypothèses fortes, comme la durée de vie des réseaux, ...

Est-il possible de faire valoir une solution galerie auprès des décideurs locaux, lorsque l'on estime une période de rentabilité économique avoisinant les 50ans ? Il ne faut pas oublier, que cette solution est plus onéreuse que la solution pleine terre et peut engendrer un accroissement des impôts locaux si elle est retenue, et donc contribuer à une dégradation de l'image de marque du maire.

Pour répondre à cette question, nous avons essayé d'aborder le problème sous un angle décisionnel en effectuant une analyse multicritère. Cette analyse prenant en compte des critères non-évaluables économiquement, devrait permettre d'apporter des réponses à ce genre de question. Elle est présentée en partie 3 de ce chapitre 'Aide à la décision à base multicritères'.

## 23. AIDE A LA DECISION A BASE MULTICRITERES

#### 23.1. INTRODUCTION – OBJECTIF RECHERCHE

Nous avons vu précédemment qu'une approche d'aide au choix utilisant une méthode sociotechnico-économique ne permettait pas de rendre une solution galerie attrayante auprès du décideur, la période de rentabilité économique étant trop importante. Si au moment du choix, le décideur ne peut baser son raisonnement que sur une seule dimension, l'optimisation de la seule fonction économique, la solution galerie risque de ne jamais être retenue.

"L'approche classique des problèmes de décision, c'est-à-dire l'optimisation d'une fonction économique, montre certaines faiblesses auxquelles les méthodes multicritères semble palier" (Ben Mena, 2000). C'est dans cet objectif que nous avons essayé d'analyser la pertinence d'emploi à notre problématique d'une technique d'aide au choix basée sur les méthodes multicritères afin de voir si les principaux critères d'un projet d'urbanisation de type VRD, pouvaient faire pencher la balance du côté de la solution galerie.

Mais nous n'irons pas jusqu'à la mise en place d'un algorithme lourd d'aide à la décision de type Electre, car nous sommes en présence de 7 critères de choix pour uniquement 2 solutions. De ce fait lors de la détermination des poids des critères, le décideur trouvera de lui même la solution optimale à son projet.

Il reste cependant intéressant de présenter les critères que nous avons retenus et les conclusions que nous avons bien pu en retirer.

## 23.2. DEFINITIONS

L'art de décider sur plusieurs critères, c'est la technique de "rechercher une décision optimale parmi toutes les actions potentielles candidates à la décision" (Schärlig, 1990) ou comme le définit Bernard Roy (Roy & Al, 1993) "l'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part".

## 23.3. PRINCIPES

Le principe d'un processus d'aide à la décision repose "sur une participation active du décideur dès la phase d'évaluation des solutions potentiellement réalisables jusqu'à l'étape ultime du choix" (Le Gouevec, 2001).

Dans notre cas, le décideur est le maire d'une commune ou un président de communauté urbaine. Son rôle via ses conseillers, est de déterminer toutes les solutions potentielles à son problème. Il doit ensuite répertorier l'ensemble des critères de choix, c'est à dire tous les paramètres susceptibles d'influencer sa décision. Le choix est donc basé sur une multitude de critères.

Dans bon nombre de méthodes, le décideur doit appliquer un poids à ses critères. Ce poids représente l'importance du critère, ce qui conduit à une évaluation sur une échelle chiffrée. Plus le poids est élevé et plus le critère sera prépondérant.

Ces deux étapes sont très importantes puisque "c'est la façon de poser le problème qui crée l'existence et le contenu de la solution" (Martel, 1999)

La phase suivante passe par l'application de ces critères et de leurs poids dans un processus de surclassement. L'objectif de ce mémoire, n'est pas d'expliciter telle ou telle méthode ou programme de surclassement. Le lecteur trouvera une importante littérature traitant du sujet (Maystre & Al., 1994), (De Montgolfier & Al, 1978), (Durand, 1998), (Le Moigne, 1999), (Schärlig, 1990).

Il est à noter qu'une solution potentielle n'a pas à satisfaire à tous les critères de choix pour qu'elle devienne la solution effective (Le Gouevec, 2001). Il suffit pour cela qu'une majorité de critères le soit ou bien qu'un seul soit dominant. De ce fait, le processus de décision traduit le choix comme satisfaisant et non comme optimal (Le Moigne, 1999).

#### 23.4. LES CRITERES DETERMINES

Dans notre cas, nous avons déterminé 7 critères pouvant influencer la détermination de la solution potentielle. Ce sont :

✓ Le coût d'investissement

- ✓ Le coût de fonctionnement
- ✓ La qualité de vie urbaine
- ✓ La valeur de l'image transitée
- ✓ L'occupation du sous-sol urbain
- ✓ La gestion humaine des différents acteurs
- ✓ La gestion technique des différents réseaux

## D'une manière plus détaillée :

Le coût d'investissement : représente le prix clefs en main des différentes solutions.. Ce critère avantage la solution pleine terre.

Le coût de fonctionnement : représente le coût annuel d'entretien des réseaux que doit supporter la collectivité et les concessionnaires de réseaux. Ce critère avantage la solution galerie.

La qualité de vie urbaine : représente le bien être des riverains, l'amélioration de leur qualité de vie au niveau sonore, visuel et routier. Ce critère avantage la solution galerie.

La valeur de l'image transitée : représente l'image innovatrice qu'apporte une solution à une équipe municipale. Ce critère avantage la solution galerie.

L'occupation du sous-sol urbain : représente le niveau d'engorgement du sous-sol urbain. Ce critère avantage la solution galerie.

La gestion humaine des différents acteurs : représente la difficulté de gérer les différents concessionnaires de réseaux et donc l'obligation de mettre en place un exploitant de galerie. Ce critère avantage la solution pleine terre.

La gestion technique des différents réseaux : représente la durée de vie des réseaux, la facilité de maintenance et le respect environnemental. Ce critère avantage la solution galerie.

Le tableau 33 présente un récapitulatif des différents critères et de l'avantage qu'ils procurent aux différentes solutions techniques.

critères	Avantage la solution galerie	Avantage la solution pleine terre
Le coût d'investissement		
Le coût de fonctionnement		
La qualité de vie urbaine		
La valeur de l'image transitée		
L'occupation du sous-sol urbain		
La gestion humaine des différents acteurs		
La gestion technique des différents réseaux		

Tableau 33 : tableau récapitulatif des avantages que procurent les critères pour les différentes solutions techniques

Nous sommes en présence de deux solutions effectives que sont la solution galerie et la solution réseaux enfouis. Le décideur étant au centre du processus de réflexion, c'est à dire qu'il maîtrise parfaitement tous les tenants et aboutissants du projet, il ne sert à rien de mettre en place un processus de surclassement lourd pour uniquement deux solutions effectives.

A première vue, la technique galerie semble être la solution surclassante, puisque la majorité des critères joue en sa faveur. En effet, "une action en surclasse une autre si elle est au moins aussi bonne que l'autre relativement à une majorité de critères, sans être trop nettement plus mauvaise que cette autre relativement aux autres critères" (Roy & Al, 1993). Mais cependant, ce n'est pas uniquement le nombre critères favorables à une solution qui compte, mais également leur non-discordance, et dans notre cas, le poids majeur risque d'être celui du coût d'investissement, qui engendra une discordance entre les critères.

La mise en place d'un processus de surclassement ne devient intéressante, que si et seulement si un décideur est convaincu de l'intérêt d'une galerie. Si il n'y a pas de sensibilisation du décideur à la problématique des galeries, il ne peut y avoir diminution du seuil de discordance et donc de fait, l'analyse multicritère est inutilisable. Cela revient à dire que les autres critères, comme la qualité de vie urbaine, etc., pourront jouer un rôle important dans sa prise de décision.

## 23.5. CONCLUSION

Dans le cas d'une ville ne possédant pas d'historique de galerie, le choix de réaliser une galerie multiréseaux tiendra essentiellement d'une volonté politique. En effet, la recherche opérationnelle dite classique ne permet pas d'obtenir un retour sur investissement de courte durée, d'autant plus que les choix d'évaluation économique peuvent être critiqués. Il est peu concevable qu'un décideur soit sensible à un retour d'investissement "au mieux" d'une cinquantaine d'années. Il ne faut pas oublier en

outre que de grands projets d'urbanisation entrepris par une agglomération influencent le montant des impôts locaux. Cela nous amène à penser qu'un nouveau critère de choix peut être mis en place, 'la volonté politique', pouvant agir pour l'une ou l'autre des solutions effectives en fonction des affinités du décideur. N'oublions pas que l'attribution des poids des critères est fortement dépendante du contexte local. En effet, dans le cas d'une agglomération disposant d'un riche passé de galeries, comme par exemple la ville de Paris, le contexte local est favorable à la création de nouvelles structures. Les techniques et les hommes sont éprouvés à travailler dans ces ouvrages. Les décideurs locaux sont habitués et connaissent parfaitement ces techniques. Les poids des critères dans ce cas seront totalement différents que dans le cas d'une création en ville dépourvue de galeries.

En bref, si le décideur est avant tout sensible au critère économique pour rentrer dans son budget et/ou assurer ses ambitions politiques, la solution galerie ne sera jamais choisie.

## Conclusion Générale

## **CONCLUSION GENERALE**

Une galerie technique multiréseaux est un ouvrage souterrain de type tunnel, dans lequel sont hébergés des réseaux urbains.

Cette technique entre en concurrence directe lors d'une étude de VRD d'un aménagement de zone par exemple, avec la technique classique de traitement des réseaux urbains, la solution par réseaux enfouis directement dans le sous-sol, que nous appelons solution de référence. Cette technique est moins onéreuse que la solution galerie, car cette dernière nécessite la création d'un l'habitacle le plus généralement en béton.

L'objectif de ce travail est d'essayer de développer l'utilisation des galeries multiréseaux en site urbain. Développer l'utilisation de ces structures passe au prime abord, par une séduction des décideurs locaux. Séduire les décideurs locaux, impose de leur présenter des avantages irréfutables et concrets. La galerie en possède, comme la non-gêne apportée aux riverains lors de travaux sur réseaux ou bien, l'accroissement la durée de vie de ces réseaux. Cette technique rentre donc parfaitement dans le cadre du développement durable des agglomérations.

Mais le développement des galeries multiréseaux se heurtent à trois principales difficultés qui peuvent rebuter les décideurs locaux et qui sont :

- Les difficultés financières,
- Les difficultés techniques,
- Les difficultés administratives, juridiques et partenariales.

Ces difficultés sont transversales les unes aux autres. C'est à dire que traiter les difficultés techniques permet d'avancer sur les difficultés financières et donc sur les difficultés juridiques.

Il existe bon nombre de galeries dans le monde, ce qui permet d'affirmer qu'il n'est pas impossible de trouver des solutions, arrangements ou compromis à toutes ces difficultés.

Hormis peut être au Japon, où l'urbanisation est très dense mais les informations peux nombreuses, nous sommes en mesure de recenser dans le monde, uniquement 8 grandes villes équipées d'un réseau structuré et réfléchi de galeries. 3 trois de ces agglomérations profitent d'un passé riche de constructions souterraines. Ce sont Paris, Londres et Moscou. Les autres cas, sont des créations relativement récentes puisque construites après les années 1960.

Il existe en tout un peu plus de 80 villes dans le monde, équipées de galeries. Mais dans la majorité des cas, ce ne sont que des ouvrages ponctuels répondant à un problème technique bien spécifique.

Pour développer l'utilisation des galeries en site urbain, il est primordial de résoudre en tout premier lieu, les difficultés d'ordre techniques. En effet, les difficultés financières tiennent pour beaucoup au surcoût qu'engendre la réalisation de l'habitacle de la galerie, et donc à la réticence des occupants de la galerie à participer financièrement à un projet plus onéreux que la solution de référence. Les difficultés juridiques quant à elles, tiennent au fait que les concessionnaires de réseaux refusent de financer un tel projet et donc mettent une certaine mauvaise volonté à trouver des accords tacites.

Ce travail présente une réflexion sur les difficultés techniques, accompagnée d'une analyse économique de ces solutions car l'une ne peut se faire sans l'autre. Le traitement des difficultés juridiques ne peut se faire que par des spécialistes du droit et de fait n'est pas abordé dans ce travail.

La création de l'habitacle engendre donc un surcoût financier par rapport à une solution de référence, mais il existe deux approches permettant de rendre plus attrayante une solution galerie, ce sont :

- Réduire le coût d'investissement. Cela passe obligatoirement par un dimensionnement précis de l'habitacle et la recherche de solutions techniques d'aménagement intérieur.
- Etudier les avantages économiques qu'apporte une galerie sur le long terme.

Pour appliquer ces deux solutions, il est essentiel d'adopter une démarche rigoureuse. C'est pour cela que nous avons travaillé en 5 phases d'étude :

- La première est la recherche de l'ensemble des données techniques relatives à la construction d'une galerie,
- La seconde est la proposition d'une méthode de dimensionnement de l'habitacle,
- La troisième est une évaluation économique des différentes solutions que nous avons retenues,
- La quatrième est une analyse socio-économique prenant en compte les acteurs indirects et directs du projet,
- La cinquième est une analyse multicritère permettant de repositionner le décideur au centre de la réflexion.

Le premier chapitre présente donc une synthèse bibliographique sur les réseaux urbains et sur les galeries. Les installations de réseau en galerie ne s'effectuent pas de la même manière qu'en pleine terre, certains d'entre eux engendrent des contraintes importantes de différentes natures et peuvent

occasionner des gênes sur les autres occupants de l'habitacle. Il est donc nécessaire avant de concevoir ce type d'ouvrage, de posséder l'ensemble des prescriptions techniques des concessionnaires de réseaux afin de permettre leur coexistence dans l'habitacle.

Le second chapitre présente une méthode de dimensionnement de l'habitacle en fonction des prescriptions techniques de l'ensemble des concessionnaires de réseaux. Cette méthode doit être obligatoirement accompagnée d'une analyse concernant la possibilité d'incorporer les organes annexes de réseau dans l'habitacle et ce sans trop empiéter sur le gabarit de passage.

Après avoir arrêté une configuration type de réseaux urbains, la méthode de dimensionnement permet d'obtenir les dimensions intérieures de 2,20m de large pour 2,95m de hauteur pour le profil rectangulaire.

L'analyse de vérification, qui doit prendre en compte l'hébergement des canalisations de branchements riverains, les robinets, les regards, les décharges, le dépôt des conduites, etc., impose d'agrandir les dimensions obtenues à 2,40mx2,95m, soit une augmentation d'environ 10% de la surface intérieure de l'habitacle.

Le troisième chapitre présente en premier lieu, le cas type d'étude retenu. Nous étudions le cas d'une galerie linéaire se trouvant dans un quartier ancien de type hausmanien à pente nulle et d'une longueur totale de projet de 1000m. Sont étudiés dans ce travail, quatre formes de profils, rectangulaire, circulaire, ovoïde et trapézoïdale.

Mais l'objectif premier de ce chapitre, est de déterminer le coût des différentes solutions de galerie étudiées. Par exemple, l'évaluation économique du seul linéaire des projets de galerie rectangulaire définie auparavant et de la solution de référence, comportant exactement le même nombre et type de réseau, est estimée à 6332€/ml pour la galerie, alors que la solution de référence est estimée à 3325€/ml. A ce stade de l'étude, la collectivité locale devra payer un montant 1,9 fois plus élevé pour réaliser la solution galerie rectangulaire par rapport à la solution de référence.

Ce chapitre présente également une recherche de solutions techniques permettant de limiter le coût d'investissement de la solution galerie. Les solutions techniques présentées sont des aménagements intérieurs de l'habitacle. Par aménagement intérieur, il faut entendre la possibilité de non-inclusion dans l'habitacle de certains réseaux. La solution présentant de meilleurs résultats, est la non-inclusion des canalisations EP et EU du réseau d'assainissement. Positionner ces canalisations en pleine terre permet de réduire les dimensions de l'habitacle et d'affranchir la solution galerie des contraintes de pente. Sans contrainte de pente, moins de terrassement à réaliser donc une réduction de coût tout à fait avantageuse. Sans les EP et EU dans l'habitacle, la solution galerie est estimée à 4270€/ml. La surface intérieure de l'habitacle est réduite de 32% et l'écart vis-à-vis de la solution de référence est de 1,28. Cependant, notre cas d'étude comporte une pente terrain nulle, il faut donc resituer cette étude dans son contexte, car dans le cas d'une pente terrain naturellement suffisante pour permettre l'écoulement des eaux d'assainissement, la conclusion peut être tout à fait différente.

Il également étudié dans ce chapitre, le traitement des branchements riverains. La solution la moins onéreuse est sans conteste, la solution par réseaux enfouis.

Pour en finir, ce chapitre présente le coût final d'investissement pour les deux solutions. Pour cela, tous les ouvrages annexes de type tête de galerie, regard, chambre de tirage, etc., sont pris en compte. La solution galerie rectangulaire sans les EP et EU est estimée à 7000€/ml. La solution de référence à 4758€/ml. Soit un écart de 1,47.

Ce genre d'étude permet donc de réduire notablement l'écart financier entre les deux solutions. En effet, nous sommes partis d'un écart de 1,9 et nous avons réussi à le réduire à 1,47. Cependant, cela n'est toujours pas suffisant pour développer l'utilisation des galeries en site urbain. Il est obligatoire d'accompagner cette étude technico-économique, d'une analyse socio-économique permettant de comparer ces deux solutions sur le long terme. En complément, pour repositionner les décideurs au centre de la décision, une analyse multicritère peut permettre de prendre en compte des critères de choix ne pouvant être évalués économiquement.

Le quatrième chapitre est donc l'occasion d'étudier l'intérêt de procéder à une analyse socioéconomique prenant en considération sur le long terme, des critères permettant d'avantager la solution galerie. Ces critères peuvent être du style, durabilité accrue des réseaux, durabilité accrue de la voirie, facilité de gestion, etc. Ce qui est recherché dans cette analyse, ce n'est pas le degré d'opportunité de réalisation d'un projet de galerie puisque nous nous situons dans un cas d'école, mais de connaître la période de rentabilité économique de notre solution en comparaison avec la solution de référence. C'est à dire, la date à laquelle, la solution galerie devient économiquement avantageuse vis-à-vis de la solution de référence. Cette analyse permet d'avancer le fait que notre projet de galerie devient rentable au bout de 52 ans (et 72 ans si l'on y intègre les canalisations d'assainissement).

Il est important de relativiser les résultats de ce genre d'étude car ce type d'analyse repose sur des hypothèses pouvant être lourdes de conséquences. Dans ce chapitre, il est présenté un contre exemple d'évaluation économique d'un critère, celui du « Bruit de chantier ». Il faut être certain de pouvoir évaluer, le plus précisément possible, l'impact économique de ces critères sur un acteur. Il est donc essentiel de posséder une base de données riche et un certain recul sur la thématique étudiée.

Il y a donc des critères difficiles à utiliser et à jauger. L'objectif de cette partie n'est pas de faire le procès de cette analyse, mais simplement de savoir si elle peut aider au développement des galeries en site urbain. La question qui reste en demeure dans ce cas est : « Un maire risquera t'il de devoir augmenter ses impôts locaux et donc de diminuer sa côte de popularité pour un projet d'aménagement urbain souterrain, donc invisible et devenant rentable au mieux au bout de 52 ans ? ». A priori, non ! Donc pour développer l'utilisation des galeries en site urbain, il est essentiel de mettre en place une analyse décisionnelle à base multicritère.

Une analyse socio-économique ne permet donc pas de prendre en compte l'ensemble des critères de choix. Pour pouvoir les intégrer dans notre étude, il est impératif d'utiliser une méthode d'analyse multicritère dans laquelle le décideur affecte des poids, fonction de sa sensibilité, aux critères. Nous en avons déterminé sept susceptibles d'être appliqués à notre cas de figure et nous nous sommes aperçus que mettre en œuvre une démarche lourde d'analyse d'aide à la décision de type Electre, n'était pas utile. En effet, nous n'avons le choix qu'entre deux solutions techniques. Le choix de la solution à retenir, s'effectue logiquement et automatiquement lorsque l'on pose les critères.

Cette approche multicritère permet de quitter le domaine du quantitatif pour celui du qualitatif. Malgré cela, si le critère « coût d'investissement » est surpondéré, la solution technique galerie restera rejetée. De manière réaliste, nous pouvons penser que seules des agglomérations possédant déjà un historique de galerie et, de ce fait, maîtrisant les coûts et reconnaissant les qualités de cette solution, sauront se garder de cette surpondération. Il semble donc essentiel que les agglomérations dépourvues de galerie puissent, lors de la prise de décision, s'appuyer sur les études de faisabilité des agglomérations déjà équipées. Ceci implique que les prises de décision soient entièrement explicitées et les informations disponibles.

En conclusion, il semble a priori difficile de développer l'utilisation des galeries dans une agglomération ne possédant pas déjà un historique de GMR. La différence de coût entre cette solution et la solution de référence ne pouvant pas être résorbée par quelque méthode que ce soit. La création d'un ouvrage de type GMR dans une ville dépourvue de galerie, ne peut provenir en fait que d'une volonté politique forte. Mais pour en être totalement convaincu, il semble intéressant d'appliquer l'ensemble de cette étude sur toutes les phases d'un projet réel, ce qui n'a pas pu être le cas durant ce travail.

En effet, il existe 8 villes dans le monde équipées de réseaux structurés de galeries, ce qui permet d'affirmer que des décisions furent prises pour permettre leurs créations. Si ces villes se sont équipées de galeries, c'est qu'un ou plusieurs critères autres qu'économique, furent mis en avant. En d'autre terme, d'autres critères viennent contrebalancer le critère économique prépondérant.

De ce fait, si le décideur adopte un comportement quantitatif, il ne peut y avoir création de galerie, mais à contrario, s'il adopte un comportement qualitatif, il se peut que la solution galerie soit retenue et dans ce cas, une analyse multicritère devient pleinement opérationnelle

# Bibliographies

## Bibliographie Citée

**BAYON R.,** 'VRD – VOIRIE RESEAUX DIVERS – TERRASSEMENTS – ESPACES VERTS – AIDE MEMOIRE DU CONCEPTEUR', Ed. Eyrolles, Paris, 1991.

**BEN MENA S.,** 'Introduction aux methodes multicriteres d'Aide a la decision', Revue Biotechnologie Agronomie Sociologie Environnement, n°. 4(2) pp 83-93, France, 2000.

**BOUTILLIER S., UZUNIDIS D.,** 'ENTREPRENEUR UNE ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE', Ed. Economica, collection « Economie appliquée collection de poche, numéro 4 », France, 1995.

**BURGENMEIER B.,** 'LA SOCIO-ECONOMIE', Ed. Economica, collection Economie Appliquée, collection de poche, numéro 7, 1994.

**BURGUN D., PERROD C.,** 'DES RESEAUX BIEN CONÇUS, BIEN REALISES ET BIEN EXPLOITES POUR RESPECTER DES OBLIGATIONS DE RESULTAT', Revue Technique Sciences et Méthodes, n°. 6, France, 1997.

**BUSCAYRET G.,** 'COMPARAISON SOCIO-ECONOMIQUE ENTRE GALERIES MULTI-RESEAUX ET RESEAUX ENFOUIS - ETUDE A POSTERIORI DU CAS PARTICULIER DU QUARTIER DE MIFASOL A HUGOVILLE', Rapport de stage à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1999.

CANTO-PERELLO J., CURIEL-ESPARZA J., 'HUMAN FACTORS ENGINEERING IN UTILITY TUNNEL DESIGN', Ed. Elsevier, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 16, Issue 3, pp 211-215, 2001.

CHEVALIER J., 'RESEAU URBAIN ET RESEAUX DE VILLES DANS L'OUEST DE LA FRANCE' – Ed. Economica, Paris, 1999.

CHOCAT B., 'ENCYCLOPEDIE DE L'HYDROLOGIE URBAINE ET DE L'ASSAINISSEMENT' – Ed. Tec&Doc Lavoisier, Paris, 1997.

**CLEMENTEL X.,** 'LES DEFAILLANCES DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT ET COUTS SOCIAUX DES DEFAILLANCES DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT', J. 'Environnement & Technique' n°. 228 pp 23-28 et n°. 229 pp 42-47, France, 2003.

CLE DE SOL, 'LES GALERIES MULTIRESEAUX – GUIDE PRATIQUE', rapport d'activités du projet national Clé de Sol,770 pages, à paraître fin 2004 début 2005, France.

CONSTANT A., 'LES EGOUTS DE PARIS : UNE GALERIE TECHNIQUE DEPUIS UN SIECLE', Mairie de Paris, France, 1995.

**DAMATO R.,** 'GALERIE TECHNIQUE DE LA VILLENEUVE DE GRENOBLE', Mairie de Grenoble quartier sud, ,France, 2000.

**DE LATHAUWER W.,** 'LES GALERIES VISITABLES POUR CABLES CONSTRUITES PAR LE SERVICE DES ROUTES DE BRUXELLES-CAPITALE PENDANT LA PERIODE 1973-1977', Direction des routes de Bruxelles-Capitale, 25 pages, Belgique, 1977.

**DE MONTGOLFIER J., BERTIER P.,** 'APPROCHE MULTICRITERE DES PROBLEMES DE DECISION', Ed. Hommes et Techniques, Suresnes, France, 1978.

**DUPASQUIER B.,** 'MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE DES INFILTRATIONS D'EAUX PARASITES DANS LES RESEAUX SEPARATIFS D'EAUX USEES', thèse de doctorat en sciences de l'eau, Engref-Montpellier, 281 pages, France, 1999.

**DUPUY G.,** 'L'URBANISME DES RESEAUX – THEORIES ET METHODES' – Ed. Armand Colin, Paris, 1991.

**DURAND D.,** 'LA SYSTEMIQUE – QUE SAIS-JE?' – Ed PUF, Paris, n°1795, 1998.

ENCARTA, 'ENCYCLOPEDIE ENCARTA', version de 1997.

FASCICULE 70, 'LES RECOMMANDATIONS DU FASCICULE 70 POUR LA REALISATION DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT', Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transports – Direction des affaires économiques et internationales, France, 1992.

**FEVRIER A., SURELLE D.,** 'GALERIES TECHNIQUES VILLE DE RENNES', rapport annuel d'activité de la SAPAR, ville de Rennes, France, 2000.

GARCIA-BRAGADO R., PASQUAL J.Y., PINYOL, J., 'BARCELONA, LA CIUDAD Y EL 92. EL SUBSUELO URBANO Y LOS SERVICIOS PUBLICOS', Instituto Municipal de Promoción Urbanística S. A. (IMPUSA), Barcelona, 1990.

GAUTIER J.C., JEANNIN R., 'LES PROBLEMES POSES PAR LA COORDINATION DES TRAVAUX ET LES SOLUTIONS APPORTEES DANS DEUX VILLES FRANÇAISES', Revue Techniques Sciences et Méthodes - eaux n°.12, France, 1977.

GUERRIN A., 'TRAITE DE BETON ARME - TOME VIII – « OUVRAGES ENTERRES »', Ed. Dunod, Paris, 1970.

**GUERIN-SCHNEIDER L.,** 'TEST D'INDICATEUR DE PERFORMANCES DE SERVICE D'EAU ET D'ASSAINISSEMENT', Engref-Montpellier, 2003.

**GUILLERME A.,** 'L'URBANISME SOUTERRAIN AU JAPON', étude menée pour le compte de la délégation à la recherche et à l'innovation, Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, 13 pages, 1993.

**HACHETTE**, 'ENCYCLOPEDIE HACHETTE', version 2001.

**HILLEBRENNER G., KONIARSKI C.,** 'CHICAGO FREIGHT TUNNEL FLOOD', North American Tunneling'96, Balkema (Rotterdam), 8 pages, 1996.

**IMPU**, 'INSTITUT MUNICIPAL DE PROMOCIO URBANISTICA, BARCELONA HOLDING OLIMPIC, BARCELONA 92, GALERIAS DE SERVICOS URBANOS', note explicative de 10 pages de la Mairie de Barcelone, 1992.

**KARSENTY G.,** 'GUIDE PRATIQUE DES VRD ET AMENAGEMENTS EXTERIEURS', Ed. Eyrolles, Paris, 2004, 607 pages

**LE GOUEVEC J.,** 'METHODOLOGIE D'AIDE A LA DECISION : APPLICATION A LA MISE EN CONFORMITE DES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT DE COLLECTIVITES DE FAIBLE TAILLE' Thèse de doctorat en génie civil, soutenue le 29 novembre 2001 au Laboratoire de Mécanique de Lille de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 311 pages.

**LEGRAND L., VAILLANT J.M., BLANPAIN O., BUYLE-BODIN F.,** 'AIDE AU CHOIX POUR LA CONSTRUCTION D'UN HABITACLE DE GALERIE MULTIRESEAUX (GMR) EN SITE URBAIN – PAYS DE REFERENCE : FRANCE', Annales du bâtiment et des travaux publics, n°. 3, pp 30-39, 2004.

LE MOIGNE J.L., 'LA MODELISATION DES MODELES COMPLEXES' Ed. Dunod, Paris, 1999.

**LOMBARDI J.,** 'GALERIES INDUSTRIELLES ET CONTOURNEMENTS ROUTIERS A LUGANO ET LOCARNO', article de la revue Tunnels et ouvrages souterrains », n°. 144, 8 pages, 1997.

**MAGRAZO C.,** 'GALERIAS DE SERVICIOS EN LOS CINTURONES DE BARCELONA', Revista Arte y Cemento, 1992.

**MAHIEU J-L.,** 'SYNTHESE DE LA QUALITE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT DANS LE BASSIN RHIN-MEUSE.' J. 'Techniques Sciences et Méthodes' n°.6 – 1997- pp 27-33

**MARTEL J-M.,** 'L'AIDE MULTICRITERE A LA DECISION : METHODES ET APPLICATIONS' – Colloque de la conférence annuelle CORS-SCRO, Windsor, Ontario, 1999.

**MAUGUEN P-Y.,** 'LES GALERIES SOUTERRAINES D'HAUSSMANN', article des Annales de la recherche urbaine, 13 pages, 1989.

NAVARRO J-J., ARSAC A. 'RESEAUX VISITABLES' – Rapport du Ministère de l'Equipement, Plan de Construction, Secrétariat Général des Villes Nouvelles, Société Centrale Immobilière de la Caisse des Dépôts, Société Centrale pour l'Equipement du Territoire, Paris, 33 pages, 1976.

**MAYSTRE L.Y., PICTET J., SIMOS J.,** 'METHODES MULTICRITERES ELECTRE' – Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 319 pages, 1994.

**MERLIN P., CHOAY F.,** 'DICTIONNAIRE DE L'URBANISME & DE L'AMENAGEMENT', Ed. Presses Universitaires de France, 928 pages, 1988.

MONTREAL, 'RESULTATS DES OPERATIONS, STATION D'EPURATION DES EAUX USEES DE LA COMMUNAUTE URBAINE DE MONTREAL', rapport d'activité de la communauté urbaine de Montréal sur le fonctionnement de sa station d'épuration, 4 pages, 2002.

**PODEVIN C.,** 'Clé de Sol, démarche de progression pour les galeries multiréseaux' - rapport de stage à l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes - Conservatoire National des Arts et Métiers du Mans, 122 pages, 1998.

**PLAXIS,** 'FINITE ELEMENT CODE FOR SOIL AND ROCK ANALYSES, VERSION 7', manuel de référence, rédacteurs : Brinkgreve & Vermeer, ISBN 90-5410-474-0, 1999.

**RAOUL Y.,** 'VILLE DE RENNES – GALERIES TECHNIQUES DU COLOMBIER', ville de Rennes, France, 2001.

**RIERA P., PASQUAL J.,** 'THE IMPORTANCE OF URBAN UNDERGROUND LAND-VALUE IN PROJECT EVALUATION – A CASE STUDY OF BARCELONA'S UTILITY TUNNEL', Tunnelling and underground space technology, volume 7, n°. 3, pp 243-250, 1992.

ROY B., BOUYSSOU D., 'AIDE MULTICRITERE A LA DECISION : METHODES ET CAS' – Ed. Economica, Paris, 1993, 695 pages, 1993

**SCHÄRLING A.,** 'DECIDER SUR PLUSIEURS CRITERES. PANORAMA DE L'AIDE A LA DECISION MULTICRITERE' – Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 302 pages, 1990.

**STU,** 'LA COORDINATION TECHNIQUE, RECOMMANDATIONS POUR LA COORDINATION DES VRD DANS LES OPERATIONS D'AMENAGEMENT', 4 tomes que sont :

- 'GENERALITES', Ministère de l'Urbanisme, du logement et du transport, édition du STU Tomes I, France, 1986.
- 'LES CONDUITES ENTERREES', Ministère de l'Urbanisme, du logement et du transport, édition du STU Tomes II, France, 1986.
- 'TECHNIQUES NOUVELLES DE BRANCHEMENT ET DE COMPTAGE', Ministère de l'Urbanisme, du logement et du transport, édition du STU Tomes III, France, 1989.

• 'LES RESEAUX EN OUVRAGES', Ministère du l'Urbanisme, du logement et du transport, éditions du STU – Tome IV – 1987, France, 1987.

**SVN, ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION, (1997)**. 'ECLAIRAGE PUBLIC – TUNNELS ROUTIERS – GALERIES ET PASSAGE SOUTERRAINS ' - Norme SN 150915 - Edition 1997, Suisse.

**TARDY, H., LONDICHE H.,** 'LA SECURITE DU FONCTIONNEMENT DES GALERIES TECHNIQUES', revue Risques et Réseaux Techniques Urbains, Collection du CERTU, Débats N° 18/Environnement, sous la direction de Philippe BLANCHER, Economie et humanisme, 1998.

**UNI-CEI,** 'NORME EXPERIMENTALE UNI-CEI, STRUCTURES SOUTERRAINES POLYVALENTES (SSP) ACCUEILLANT PLUSIEURS RESEAUX'.

VASCONCELOS E., 'OPTIMISATION DE L'ESPACE INTERIEUR D'UNE GALERIE MULTIRESEAUX', rapport de stage de DEA Génie Civil, USTL, 36 pages, France, 2000

**VOISEMBERT V.,** 'LES GALERIES URBAINS : L'EXPERIENCE DES ETATS-UNIS', société des tuyaux Bonna Sabla, 1987.

WCS, 'WALSH CONSULTING SERVICES, FINAL REPORT FOR STARWAY CO. LTD. ON STELL REINFORCED POLYETHYLENE PIPE PRODUCT', business description, 2000.

YAHIAOUI F., 'REHABILITATION DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT VISITABLES ET NON VISITABLES', rapport de stage, école supérieure des géomètres et topographes, 2000.

## **Bibliographie Normative**

**DTU 12.** 'Terrassement pour le bâtiment'

DTU 20.1. 'Parois et murs maçonnerie de petits éléments'

DTU 21. 'Exécution des travaux en béton'

**DTU 22.1.** 'Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire'

DTU 23.1. 'Murs en béton banché'

**DTU 24.1 – additif n°1.** 'Cheminées à foyer ouvert équipées ou non d'un récupérateur de chaleur utilisant exclusivement le bois comme combustible – Jonction d'un conduit de raccordement et d'un conduit de fumée s'arrêtant au droit du plafond'

DTU 25-1. 'Enduits intérieurs au plâtre'

**DTU 25.35.** 'Ouvrages verticaux de plâtrerie ne nécessitant pas l'application d'un enduit au plâtre (cloisons en carreaux de plâtre à parements lisses)'

DTU 60-2. 'Canalisations en fonte, évacuation des eaux usées, d'eaux pluviales et d'eaux de vannes'

DTU 60-32. 'Canalisations en polychlorure de vinyle non plastifié : évacuation des eaux pluviales'

**DTU 61.1.** 'Installation de gaz'

DTU 64-1. 'Mise en œuvre des dispositifs d'assainissement'

**DTU 65-10.** 'Canalisations d'eau chaude ou froide sous pression et canalisations d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales à l'intérieur des bâtiments'

**DTU 65.5.** 'Marchés d'exploitation de chauffage et de distribution des fluides thermiques'

DTU 68.2. 'Exécution des installations de ventilation mécanique'

NF A 11. 'Robinetterie de gaz'

**NF EN 1295-1.** 'Calcul de résistance mécanique des canalisations enterrées sous diverses conditions de charge'

NF A 35-015. 'Armatures pour béton armé – Ronds lisses'

NF A 35-016. 'Armatures pour béton armé – Barres et fil machine à haute adhérence'

NF A 35-019. 'Armatures pour béton armé – fils à haute adhérence'

NF A 35-022. 'Armatures pour béton armé – Treillis soudés et éléments constitutifs'

**NF A 35-025.** 'Armatures pour béton armé – Ronds lisses galvanisés à chaud – Barres, fils-machine et fils à haute adhérence, fils constitutifs de treillis soudés galvanisés à chaud'

**NF A 48-801.** 'Eléments de canalisations en fonte ductile pour conduite avec pression – Spécification technique générale'

**NF A 48-806.** 'Eléments de canalisations en fonte ductile pour conduite avec pression – Série à emboîtement - Tuyaux'

**NF A 48-820.** 'Tuyaux et pièces accessoires en fonte à graphique sphéroïdal pour conduite sans pression destinés à l'assainissement – Spécification technique générale'

**NF** A 48-860. 'Eléments de canalisations en fonte ductile pour conduite avec pression – Série à emboîtement – Joint express GS – Dimensions d'assemblages et accessoires de joint'

**NF** A 48-870. 'Eléments de canalisations en fonte ductile pour conduite avec pression – Série à emboîtement – Joint standard GS – Dimensions d'assemblages et accessoires de joint'

**NF A 49-111.** 'Tubes en acier – Tubes sans soudure à extrémités lisses du commerce pour usages généraux à moyenne pression (dimensions – conditions techniques de livraison) '

**NF A 49-115.** 'Tubes en acier – Tubes sans soudure filetables finis à chaud (dimensions – conditions techniques de livraison) '

**NF A 49-141.** 'Tubes en acier – Tubes soudés à extrémités lisses du commerce pour usages généraux à moyenne pression (dimensions – conditions techniques de livraison) '

**NF A 49-145.** 'Tubes en acier – Tubes soudés filetables finis à chaud (dimensions – conditions techniques de livraison) '

**NF A 49-150.** 'Tubes en acier – Tubes soudés destinés à être revêtus ou protégés pour canalisation d'eau (dimensions – conditions techniques de livraison) '

NF A 49-700. 'Tubes en acier – Galvanisation à chaud – Spécification du revêtement des tubes'

NF A 06. 'Eléments de canalisation en fonte pour écoulement gravitaire'

NF A 13. 'Tuyaux en cuivre'

NF A 15. 'Tubes et raccords en PVC pour réseaux d'assainissement'

NF A 16. 'Tubes et raccords en PVC pour réseau d'eau avec pression'

**NF A 19.** 'Eléments en béton pour réseaux d'assainissement sans pression (tuyaux, regards de visite, boîtes de branchement)'

**NF B 02.** 'Adjuvants non chlorés pour bétons, mortiers et coulis (accélérateur de prise, hydrofuges de masse, retardateurs de prise, entraîneurs d'air)'

**NF B 07.** 'Bétons prêts à l'emploi'

NF B 28. 'Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique'

**NF B 31.** 'Réaction au feu des matériaux – Tubes et raccords en PVC, supports textiles revêtus, polystyrènes expansibles ignifugés, polystyrènes expansés moulés, manchons et plaques d'isolation thermique en élastomère expansé.

**NF B 34.** 'Système anti-intrusion de surveillance électronique'

**NF** B 35. 'Tubes en polyéthylène PE 32, PE 63, PE 80 et PE 100 pour distribution de gaz combustibles, distribution d'eau potable, irrigation et applications industrielles'

**NF B 36.** 'Tubes et raccords en PVC non plastifié pour canalisations de lignes souterraines de télécommunication'

NF B 37. 'Tubes et raccords en PVC pour l'évacuation des eaux'

**NF** C **14-100.** 'Installations de branchement de première catégorie comprises entre le réseau de distribution et l'origine des installations intérieures – Règles'

NF C 15-100. 'Installations électriques à basse tension – Règles'

**NF C 22.** 'Tôles métalliques nervurées pour planchers'

**NF D 02.** 'Boulonnerie – Visserie (vis à métaux, écrous, vis à tôle, boulons, vis à bois, rivets, écrous hexagonaux ou carrés autofreinés)'

**NF D 03.** Chevilles métalliques à expansion'

NF D 14. 'Exutoires de fumée'

NF D 19. 'Fermetures résistant au feu (portes, clapets, volets)'

NF D 23. 'Produits d'ignifugation'

**NF D 25.** 'Produits de calfeutrement et compléments d'étanchéité pour éléments de construction (mastics du type plastique, du type cordons, du type élastomère)

**NF D 35-304.** 'Conduits de fumée composites métalliques rigides, démontables ou non – Caractéristiques requises par type d'utilisation'

**NF D 36.** 'Armatures industrielles'

**NF EN 51-711.** 'Composants de ventilation mécanique contrôlée (VMC) – Bouches d'extraction pour VMC-Gaz – Spécification – Contrôle de la conformité aux spécifications'

**NF EN 295.** 'Tuyau et accessoires en grès et assemblages de tuyaux pour les réseaux de branchement et d'assainissement'

**NF EN 131.** 'Echelles – Terminologies, types, dimensions fonctionnelles – Exigences, essais, marquages'

NF EN 1147. 'Echelles portables à l'usage des services d'incendie'

**NF EN 10029.** 'Tôles en acier laminées à chaud, d'épaisseur égale ou supérieure à 3mm – Tolérances sur les dimensions, la forme et la masse '

NF E 17-002. 'Compteurs d'eau potable froide – Spécifications'

**NF P 10-210-1.** 'Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire'

NF P 14-101. 'Blocs en béton pour murs et cloisons - Définitions'

NF P 14-301. 'Blocs en béton de granulats pour murs et cloisons'

**NF P 16-100.** 'Aptitude à l'emploi des tuyaux circulaires et autres éléments pour réseaux d'assainissement sans pression – Définitions, spécifications, méthodes d'essais, marquage, conditions de réception'

**NF P 16-341.** 'Tuyaux circulaires en béton armé et non armé pour réseaux d'assainissement sans pression – Définitions, spécifications, méthodes d'essais, marquage, condition de réception'

**NF P 16-342.** 'Eléments fabriqués en usine pour regards de visite en béton sur canalisations d'assainissement – Définitions, spécifications, méthodes d'essais, marquage, conditions de réception'

**NF P 16-343.** 'Eléments fabriqués en usine pour boîtes de branchement en béton sur canalisations d'assainissement – Définitions, spécifications, méthodes d'essais, marquage, conditions de réception'

NF P 16-352. 'Eléments de canalisations en polychlorure de vinyle non plastifié pour l'assainissement'

NF P 16-401. 'Sections intérieures des égouts ovoïdes'

NF P 18-010. 'Classification et désignation des bétons hydrauliques'

NF P 18-011. 'Classification des environnements agressifs'

NF P 18-201. 'Travaux de bâtiment – Exécution des travaux en béton'

NF P 18-210. 'Travaux de bâtiment – Murs en béton'

**NF P 18-800.** 'Produits spéciaux destinés aux réparations, collages, injections, calages, scellements applicables aux constructions en béton hydraulique – Définitions, classification, conditionnement, marquage, condition de réception'

**NF P 22-464.** 'Construction métallique – Assemblage par boulons à serrage contrôlé – Programme de pose des boulons'

NF P 51-201. 'Travaux de bâtiment – Travaux de fumisterie'

NF P 71-201-1. 'Travaux de bâtiment – Enduits intérieurs en plâtre'

**NF P 72-204-1.** 'Travaux de bâtiment – Ouvrages de doublage et habillage en complexes et sandwiches plaques de parement en plâtre isolant'

NF P 93-350. 'Banches pour ouvrages en béton'

NF S 61-930. 'Systèmes concourant à la sécurité contre les risques d'incendie et de panique'

**NF T 54-013.** 'Tubes en polychlorure de vinyle allégé pour installations d'évacuation sans pression des eaux domestiques – Spécifications'

**NF T 54-016.** 'Tubes et raccords en polychlorure de vinyle non plastifié pour la conduite de liquides avec pression – Spécifications'

**NF** T 54-017. 'Tubes et raccords en polychlorure de vinyle non plastifié pour installations d'évacuation sans pression des eaux domestiques - Spécifications'

**NF T 54-063.** 'Tubes en polyéthylène pour réseaux de distribution d'eau potable – Spécifications et méthodes d'essais'

NF X 08-003. 'Couleurs et signaux de sécurité'

NF X 08-100. 'Couleurs – tuyauteries rigides – identification des fluides par couleurs conventionnées'

NF X 35-107. 'Dimensions des accès aux machines et dimensions'

Règles FB. 'Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton'

Règles FA. 'Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en acier'

## Bibliographie Non-Citée

**ACEBILLO J.A.,** "EL SUBSUELO URBANO Y LAS TECNICAS DE ORDENACION DE LOS SERVICIOS PUBLICOS", CEUMT, no 109, p. 52-54, 1989.

**ACEBILLO J.A.,** "USOS DEL SUBSOL". ACTAS DEL CONGRES D'URBANISME I TERRITORI DE CATALUNYA", p. IV.B.67- IV.B.69, Federació de Municipis de Catalunya. Barcelona, 1990.

**ALABERN E.,** "L'ORDENACIO DEL SUBSOL URBA". ACTAS DEL CONGRES D'URBANISME I TERRITORI DE CATALUNYA", p. IV.B.1 - IV.B.8, Federació de Municipis de Catalunya. Barcelona, 1990.

**ALBANHAC N.,** "DEMARCHE DE MISE EN PLACE DE 24 STATIONS DE MESURE EN RESEAU D'ASSAINISSEMENT", Techniques Sciences et Méthodes, n°. 2, 2001.

**ARANDES R.,** "LA PLANIFICACIO DEL SUBSOL", papers de Seminari,2/88/ER/PAS, Institut d'Estudis Metropolitans de Barcelona, UAB, 1989.

**ARANDES R.,** "PROBLEMATICA TECNICA EN LA LLUITA PER L'US DEL SUBSOL URBA", actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya, p. IV.B.55 - IV.B.60, federació de Municipis de Catalunya, Barcelona, 1990.

**BAPTISTA M., BARRAUD S.,** "EVALUATION ECONOMIQUE DE L'UTILISATION DE TECHNIQUES ALTERNATIVES EN ASSAINISSEMENT PLUVIAL", rapport final pour l'agence de l'eau Seine Normandie, 31 pages, 2001.

**BERNARD-GRAILLE C., LIBREROS P.,** "LA GESTION DES GALERIES MULTIRESEAUX – DE LA CONFRONTATION ENTRE LA LOGIQUE DU DROIT ET CELLE DE L'INGENIEUR", rapport de stage de l'école des Mines de Paris, 2001.

Bressand A., Distler C., Nicolaïdis K., "Vers une economie de reseaux", Politique Industrielle, 1989.

CARCIA CASCALES J., KRAMER, L., ARANDA, P., "PROYECTO DE RED DE GALERIAS PARA CANALIZACIONES DEL SUBSUELO", Revista Arquitectura, Madrid, 1924.

CARRE J., MANSOTTE F., PETIT V., "POLLUTIONS ACCIDENTELLES DES DISTRIBUTIONS D'EAU POTABLES SURVENUES EN FRANCE DE 1983 A 1988", Techniques Sciences et Méthodes, n°. 12, 1990.

**CERDA I.,** "TEORIA GENERAL DE LA URBANIZACION, Y APLICACION DE SUS PRINCIPIOS Y DOCTRINAS A LA REFORMA DEL ENSANCHE DE BARCELONA". Madrid, 1867.

CLE DE SOL, "PROJET NATIONAL DE GALERIES MULTIRESEAUX : ETAT ACTUEL DU PROJET ET RECHERCHE DU FINANCEMENT D'UNE PREMIERE PHASE DITE DE FAISABILITE", AIVF, AGHTM, CERTU, Espace Souterrain, FSTT, INGU.L, IREX, RESEAU, 1996, 15 pages, 1997.

**DEUTSCH J.C., LELONG C.,** "L'EAU DANS LA VILLE", bilan général d'un programme de recherche expérimentation 1982-1994, Ed. Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1995.

**DIENER A.,** "TECHNIQUES SANS TRANCHEE, CONSTRUCTION DE MICROTUNNEL, FORAGES NON DIRIGES — MARTEAUX, FUSEES ET POUSSE TUBE PNEUMATIQUES", note technique du Comité Français pour les travaux sans tranchée, Paris, 1994.

**DUFFAUT P., LABBE M.,** "LES RESEAUX COMME GERME D'URBANISME SOUTERRAIN", article de la revue «Tunnels et ouvrages souterrains», n°130, 7 pages, 1995.

**FIGUERAS F.,** "L'URBANISME I ELS SERVEIS", actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya, p IV.B.53 - IV.B.54, Federació de Municipis de Catalunya, Barcelona, 1990.

**FOGARTY J.,** "ILLNESS IN A COMMUNITY ASSOCIATED WITH AN EPISODE OF WATER CONTAMINATION WITH SEWAGE", Epidemiol Infect, 114 pages, pp. 289-295, 1995.

**GARCI-BRAGADO,** "SUBSOL I DRET URBANISTIC", actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya, p IV.B.61 - IV.B.64, federació de municipis de Catalunya, Barcelona, 1990.

GARCIA-BRAGADO R., PASQUAL, J.Y., PINYOL, J., "BARCELONA, LA CIUDAD Y EL 92. EL SUBSUELO URBANO Y LOS SERVICIOS PUBLICOS", Instituto Municipal de Promoción Urbanística S. A. (IMPUSA). Barcelona, 1990.

**GIRNAU G.Y., BLENNEMANN,** "COST-BENEFITS IN UNDERGROUND URBAN PUBLIC TRANSPORTATION", Tunnelling and Underground Space Technology, 4:1, p 23-30, 1989.

**GOEL R.K.,** "STATUS OF TUNNELLING AND UNDERGROUND CONSTRUCTION ACTIVITIES AND TECHNOLOGIES IN INDIA", Tunnelling and Underground Space Technology, n°. 16, pp 63-75, 2001.

GOLDBERG R., "MICROBIAL MENACES", Academy of Natural Sciences, 1991.

GRAILLOT A., TARDY H., "SYSTEME D'INFORMATION POUR L'ANALYSE DES RISQUES EN GALERIES TECHNIQUES", application au cas de la Ville de Saint-Etienne, rencontre Internationale du Génie Urbain, Marseille, 1992.

**GUILLEMIN C., ROUX J.C.**, "POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES EN FRANCE", p. 146, France, 1992.

**HAMZA M., ATA A., ROUSSIN A.,** "GROUND MOVEMENTS DUE TO THE CONSTRUCTION OF CUT-AND-COVER STRUCTURES AND SLURRY SHIELD TUNNEL OF THE CAIRO METRO", Tunnelling and Underground Space Technology, n°. 14, pp. 281-289, 1999.

**HERNANDEZ MUÑOZ A.,** "GALERIAS DE SERVICIOS. ELEMENTOS FUNDAMENTALES PARA LA CALIDAD HUMANA", Revista Urbanismo, COAM, Madrid, 1997.

Institut Municipal de Promocio Urbanistica, "Barcelona 92. Galerias de Servicios Urbanos", Barcelona, 1992.

**IREX & AIVF,** "LA GENE DES TRAVAUX EN MILIEU URBAIN", étude exploratoire menée par la DRAST et l'IREX et conduite par l'AIVF, 72 pages, 1993.

**JACQUE O.,** "L'ASSAINISSEMENT D'UNE ZONE NOUVELLE : PARIS RIVE GAUCHE", Techniques Sciences et Méthodes, n°. 2, 2001.

**KIMURA H., ITOH T., IWATA M., FUJIMOTO K.,** "APPLICATION OF NEW URBAN TUNNELLING METHOD IN BAIKOH TUNNEL EXCAVATION", Tunnelling and Underground Space Technology, n°. 4, 2004.

**LAHTI L., HIISVIRTA L.,** " CAUSES OF WATERBORNE OUTBREAKS IN COMMUNITY WATER SYSTEMS IN FINLAND: 1980-1992", Water Sciences and Technology, vol. 31, n°. 5 & 6, pp 33-36, 1995.

**LEGRAND L., BLANPAIN O., BUYLE-BODIN F.,** "PROMOTING THE URBAN UTILITIES TUNNEL TECHNIQUE USING A DECISION-MAKING APPROACH", Tunnelling and Underground Space Technology, 2003.

**LETRILLART L.,** "RISKS FACTORS FOR WINTER OUTBREAK OF ACUTE DIARRHEA IN FRANCE", British Medecine Journal, 1997.

LYNCH J.C., "LES GALERIES TECHNIQUES DE SEINE RIVE GAUCHE", 1995, 7 pages.

MAS X.Y., SALA R., "EL SUBSOL URBA (RESULTATS D'UNA ENQUESTA)", actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya, p IV.B.37 - IV.B.52, federació de municipis de Catalunya, Barcelona, 1990.

**MROUEH H.,** "TUNNELS EN SITE URBAIN : MODELISATION NUMERIQUE ET INTERACTION CREUSEMENT – OUVRAGES EXISTANTS", thèse de doctorat en Génie Civil, USTL, 1999.

**NADEAU I., MICHAUT C.,** "RESEAUX D'EAU POTABLE, LAGE DE LA RETRAITE", Environnement magazine, n°. 1614, pp 39-45, 2003.

PAZ MAROTO J., "URBANISMO Y SERVICIOS URBANOS", Madrid, 1955.

**PASQUAL, J. (1990).** "Caracterización económica del subsuelo urbano" Actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya. p IV.B.9 - IV.B.19. Federació de Municipis de Catalunya. Barcelona.

**PASQUAL J.Y., PINYOL J.,** "INTRODUCCION A LA ECONOMIA DEL SUBSUELO URBANO", ajuntament de Girona e.a., municipios y redes de servicios públicos, p. 189-216. Ed. El Pont de Pedra. Girona, 1990.

**PASQUAL J.Y., RIERA, P.,** "CONSIDERING URBAN UNDERGROUND LAND VALUE IN PROJECT EVALUATION STUDIES. A PRACTICAL WAY OF ESTIMATING IT", working Paper 90.01, Dpt. d'Economia Aplicada. UAB, 1990.

**PASQUAL J.Y., RIERA P.,** "VALOR DEL SUBSOL", actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya, p. IV.B.65 - IV.B.66, federació de municipis de Catalunya. Barcelona, 1990.

**PERNY P.,** "MODELISATION, AGREGATION ET EXPLOITATION DE PREFERENCES FLOUES DANS UNE PROBLEMATIQUE DE RANGEMENT – BASES AXIOMATIQUES, PROCEDURES ET LOGICIELS", thèse de doctorat en Méthodes Scientifiques de Gestion, Université Paris Dauphine, 1992.

**RESEAU,** "GALERIES MULTIRESEAUX, CONDITIONS POUR UN DEVELOPPEMENT PLUS RAPIDE", actes du colloque organisé par RESEAU et AGHTM, 1995.

**RIERA P., RUIZ F.,** "COSTES Y BENEFICIOS DEL USO DEL SUBSUELO", actas del Congrés d'urbanisme i Territori de Catalunya, p. IV.B.21-IV.B.35, federació de municipis de Catalunya. Barcelona,k 1990.

**TACONET O.,** "LES GALERIES TECHNIQUES VISITABLES", mémoire de Maîtrise d'Aménagement et d'Urbanisme de l'Université Paris IV – Sorbonne, 99 pages, 1989.

TARDY, H., LONDICHE H., "APPROCHE SYSTEMIQUE POUR L'ANALYSE DES RISQUES LIES AUX INFRASTRUCTURESSOUTERRAINES URBAINES. CAS DE LA GALERIE MULTIRESEAUX DE SAINT-ETIENNE", la semaine des infrastructures urbaines, 4e édition, Montréal, Canada, 1998.

**TARDY, H. LONDICHE H.,** "GALERIE TECHNIQUE - QUELLE GESTION POUR CE SYSTEME ?", 6ème conférence internationale Espace et Urbanisme Souterains, Paris la Vilette, 1995.

**TARDY, H. LONDICHE H.,.** 'GALERIES TECHNIQUES. QUELLE GESTION POUR CE SYSTEME?', Colloque Franco-belge "Les galeries Techniques visitables pour réseaux urbains, les conditions d'un développement plus rapide, R.E.S.E.A.U, Ile de France, Paris, 1995.

# ANNEXES

## ANNEXE 1

Fiche technique 'Eau Pluviale'

#### Fiche III.A.4.a.

## LES EAUX PLUVIALES

#### **INTRODUCTION: OBJET DU RESEAU**

La présente fiche concerne l'assainissement des eaux de ruissellement, habituellement dénommées eaux pluviales (EP), transitant dans un réseau séparé des eaux usées. Un réseau unitaire réceptacle des eaux de ruissellement et des eaux usées suivra les même règles d'intégrations dans une GMR que celles décrites dans cette fiche.

On suppose ici que la pertinence d'un réseau pluvial a été par ailleurs démontrée. Comptetenu des dimensions souvent très importantes des canalisations, et des conséquences qui en découlent pour la géométrie de la galerie, il est essentiel de vérifier si la mise en oeuvre de techniques alternatives d'assainissement ne permet pas de réduire ces dimensions, voire de supprimer la conduite ; il importe aussi de vérifier si la canalisation doit être ou non dans la galerie, en raison notamment des pentes, et des conséquences sur les terrassements. On se reportera sur ce sujet au III.A.2.a.

Tout comme l'assainissement des eaux usées, le transport des effluents s'effectue majoritairement par écoulement gravitaire. Il est donc nécessaire d'accompagner ce réseau d'une pente minimale assurant une vitesse minimale dite d'autocurage de la conduite, supérieure ou égale à 0,8 mètre par seconde [2]. Le diamètre plus ou moins important de la conduite est, pour partie, fonction de la pente qui lui est appliquée. La décantation des eaux pluviales est plus rapide que celle des eaux usées et les risques d'encrassement sont donc plus importants.

#### **DIFFERENTS MATERIAUX UTILISABLES**

Les contraintes des réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées sont semblables et conduisent aux mêmes recommandations sur les matériaux utilisables que celles précédemment formulées pour ces dernières (fiche III.A.2.b). Du fait du plus grand diamètre des conduites d'eaux pluviales les canalisations en béton sont majoritairement utilisées.

## **DIMENSIONS USUELLES**

Un réseau d'eau pluviale ne possède pas de diamètre fixe. Le diamètre de ce réseau évolue en fonction des raccordements et de la pente qui lui sont appliqués. Tous les diamètres sont rencontrés, mais il faut tenir compte d'une limitation de diamètre au delà duquel ce réseau ne pourrait plus être intégré dans une galerie. Le réseau d'eau pluviale est souvent le réseau le plus encombrant de la galerie, il est donc un élément déterminant pour le dimensionnement de la GMR. Pour des raisons économiques (section de galerie trop importante), il est très rare de rencontrer un diamètre supérieur à 1000 mm en galerie [3].

Évolution du diamètre de la conduite en fonction de la surface drainée et de la pente

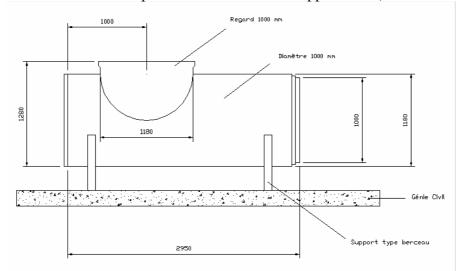
Surface bassin	Pente moyenne du	allongement	Coefficient de	Pente	Diamètre
versant	bassin versant		ruissellement	canalisation	(mm)
1 ha	0.6%	2	0.7	0.3%	500
1 114	0.0%	2	0.7	1%	400
10 ha	0.6%	2	0.7	0.3%	900
10 11a	0.0%	2	0.7	1%	700
100 ha	0.6%	2	0.7	0.3%	1800
100 11a	0.0%	2	0.7	1%	1400

Dimensions obtenues pour la région 1, période de retour de pluie simple triangle 10 ans (coefficient de Montana : a=5.9 b=-0.59), par un modèle de réservoir linéaire [6].

Il est à noter que le diamètre minimal conseillé pour un réseau d'eau pluviale est de 300 millimètres afin d'éviter tout risque d'obstruction.

#### MODE DE POSE ENVISAGEABLE

Les recommandations formulées pour les eaux usées sont applicables (fiche III.A.2.b)

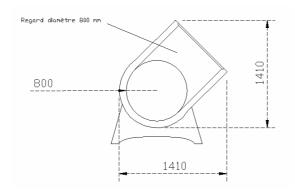


<u>Figure 1 :</u> représentation d'une grosse conduite posée sur des supports type berceau reposant sur le radier

## ÉQUIPEMENTS ANNEXES

#### REGARD DE VISITE

Le regard de visite permet d'accéder à l'intérieur de la canalisation pour effectuer une maintenance, un entretien ou tout simplement inspecter la canalisation.



<u>Figure 2</u>: représentations possibles de la position du regard de visite sur la conduite principale (angle de 45°).

Il est indispensable d'implanter un regard de visite au droit de tout changement de direction, de pente, de forme de conduite et à chaque jonction [3] [5].

Les contraintes de distances définies pour les eaux usées sont applicables aux eaux pluviales (fiche III.A.2.b).

#### CONTRAINTES DE TRACE ET DE POSE DU RESEAU

#### **PENTE**

Une pente de 4 à 5 mm/m permet dans la plupart des cas de respecter une vitesse d'autocurage d'environ 0,8 m/s

Une pente trop faible entraîne une diminution notable de la vitesse d'écoulement, donc des risques d'ensablement mais surtout, nécessite un accroissement du diamètre de la canalisation. Cette augmentation de section oblige l'élargissement des dimensions de la galerie et se répercute sur le bilan financier de l'opération.

La présence du réseau d'eau pluviale en galerie, oblige la réalisation d'une pente moyenne applicable à la galerie. Il ne faut pas exclure de sortir, si nécessaire, ce réseau de la GMR, pour les mêmes raisons que celles qui ont été exposées pour les eaux usées.

#### RUGOSITE

La rugosité du matériau composant les canalisations d'un réseau, joue un rôle dans la détermination du diamètre. Le tableau suivant, présente les résultats d'un dimensionnement de réseau d'assainissement d'eau pluviale dans lequel nous modifions le coefficient de rugosité (Manning-Strickler).

matériau	Manning-Strickler	Surface Bassin	Surface Bassin	Surface Bassin
		Versant	Versant	Versant
		1 ha	10 ha	100 ha
Béton ou Béton Armé	75	400	800	1600
PVC ou Grès	80	400	800	1600
Fonte ou Acier	90	400	800	1500
Maçonnerie	55	500	900	1800

Dimensions obtenues pour la région 1, période de retour de pluie simple triangle 10 ans (coefficient de Montana : a=5.9 b=-0.59), par un modèle de réservoir linéaire, tronçon de 100 mètres, pente moyenne du tronçon de 0.5%, coefficient d'allongement de 2 et de ruissellement de 0.7 [6].

Nous constatons que la rugosité intervient tout de même de façon minime dans la détermination de la section de la canalisation. Une étude économique comparant l'emploi d'un matériau classique « béton » et un matériau plus performant hydrauliquement, peut être envisagée bien que le gain de place reste relatif.

#### CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS

**PIQUAGES** 

Les branchements du réseau public doivent être d'un diamètre minimum de 300 millimètres [2] [3].

Les piquages peuvent être perpendiculaires à la canalisation [3].

**JONCTIONS** 

Lors de jonctions, les canalisations secondaires du réseau d'assainissement doivent être amenées sous un angle de 30° par rapport à la canalisation principale de manière à ne pas perturber son écoulement [1].

#### CONTRAINTES D'EXPLOITATION ULTERIEURES

Pour permettre l'évolution du réseau, la réalisation de nouveaux piquages, le remplacement de tronçons, etc..., il est essentiel de disposer de surlargeurs suffisantes permettant de manœuvrer sans difficultés autour de la canalisation. Il est donc essentiel de respecter les prescriptions explicitées dans la fiche III.A.3.a. "Distances entre réseaux".

#### **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

En matière de pose et d'étanchéité, les réseaux d'eaux pluviales en GMR doivent répondre aux mêmes critères de réception que les réseaux enterrés et donc aux mêmes contrôles de géométrie, d'étanchéité et de visite intérieure.

#### INCIDENCE SUR LA CONCEPTION DE L'INTEGRATION DU RESEAU EN GALERIE

En principe, les canalisations d'assainissement (eaux usées et eaux pluviales) doivent être placées en dessous des conduites d'eau potable, pour éviter d'éventuelles pollutions [3]. Une mise en charge du réseau d'eau pluviale est possible lors d'un orage, et la galerie risque d'être inondée si les dispositifs de fermeture (hermétiques) des regards de visite de la canalisation ne sont pas parfaitement étanches et conçus pour résister à la pression de mise en charge. Ce risque doit être pris en compte avec une attention toute particulière lors de la conception, mais également lors de l'entretien ultérieur de ce réseau. Il faut également prendre garde au fait que le risque de mise en charge peut être nul lors de la construction de l'ouvrage,

mais apparaître quelques années plus tard avec le développement de l'urbanisation et de l'imperméabilisation en amont.

#### DISTANCES DU RESEAU PAR RAPPORT AUX AUTRES RESEAUX ET AUX PAROIS DE LA GALERIE

#### RECOMMANDATIONS CLE DE SOL

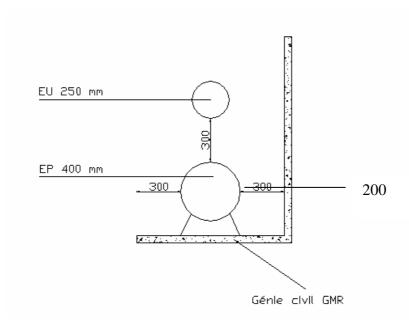
Les recommandations formulées pour le réseau d'eaux usées sont également applicables au réseau d'eaux pluviales. En outre, on laissera par rapport au radier de la galerie, une distance égale au diamètre, plafonnée à 0,40 m pour les grands diamètres.

## CONCLUSION: REMARQUES ET PROPOSITIONS DU PROJET NATIONAL CLE DE SOL

Le réseau EP est placé à 0,20 m de la paroi de la galerie et à 0,30 m des autres réseaux. Il se situe en-dessous des réseaux d'eau potable et d'eau usée.

Le gabarit de passage facilite la réalisation du curage de la conduite.

La conduite est placée sur des berceaux en béton.



<u>Figure 3</u>: représentations d'un réseau EP de diamètre 400 mm dans une galerie rectangulaire avec ses contraintes de distances

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Fascicule n°.70 « Ouvrages d'assainissement », du Cahier des Clauses Techniques Générales applicables aux marchés publics relevant des services de l'équipement.
- [2] Guide technique de l'assainissement Publications du Moniteur, éditions Le Moniteur, 1995. ISBN : 2-281-11152-0
- [3] Recommandations du projet national « Clé de Sol »
- [4] Technique de l'Ingénieur « Assainissement des Agglomérations »

[5] Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement Coordonateur B. Chocat Technique et Documentation, 1997. ISBN: 2-7430-0126-7

[6] Instruction technique de 1977 relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations.

## ANNEXE 2

Fiche technique 'Eaux Usées'

#### Fiche III.A.2.b.

## LES EAUX USEES

#### **INTRODUCTION: OBJET DU RESEAU**

La présente fiche concerne l'assainissement des eaux usées (EU) des zones relevant de l'assainissement collectif et bénéficiant d'un traitement séparé des eaux pluviales. L'assainissement des eaux usées sous "effluents forcés" (stations de relevage) ou en caniveau à l'air libre en fond de GMR sont traités dans la fiche "Quels réseaux placer dans l'habitacle" (III.A.2.a)

Cette fiche est plus particulièrement dédiée aux systèmes de collecte des immeubles raccordés au réseau public intégré à une galerie technique multiréseaux (GMR). Le terme de "système de collecte" désigne le réseau de canalisations (conduites fermées) qui recueille et achemine les eaux usées, depuis les branchements particuliers, jusqu'à la station d'épuration. Le "système de collecte" a pour mission de recueillir toutes les eaux usées et de les envoyer intégralement, en principe sans pertes au milieu, vers un système de traitement. Il faut aussi empêcher l'intrusion d'eaux claires, dites parasites, dans les réseaux pour ne pas accroître le volume d'eau à traiter par la station d'épuration se trouvant en aval. Ce réseau se doit donc d'être parfaitement étanche, durable et permettre un écoulement rapide des effluents[2]. Le transport des effluents s'effectue majoritairement par écoulement gravitaire. Il est donc

Le transport des effluents s'effectue majoritairement par écoulement gravitaire. Il est donc nécessaire de prévoir pour ce réseau une pente minimale assurant une vitesse minimale, dite d'autocurage de la conduite, supérieure ou égale à 0,8 mètre par seconde. Au delà des considérations purement hydrauliques (pente, débit, ...), la canalisation a un diamètre minimum pour éviter les obstructions [2].

#### **DIFFERENTS MATERIAUX UTILISABLES**

La durabilité d'un réseau, que l'on souhaite la plus grande possible, est fonction du matériau qui le compose. Il doit être inerte, c'est à dire résister aux corrosions dues à la nature des eaux qu'il collecte (polluants) mais également résister aux sollicitations mécaniques extérieures (chocs,...) et aussi présenter un coefficient de rugosité le plus faible possible dont quelques valeurs font l'objet du tableau ci-dessous.

matériaux	Coefficient de Manning-Strickler
Béton	75
PVC, Grès	80
Fonte, Acier	90
Maçonnerie	55

<u>Tableau 1 :</u> coefficients de rugosité équivalent des différents matériaux employés en assainissement

Il existe en pratique 5 matériaux utilisés en assainissement.

Le BÉTON est de loin le matériau le plus employé en raison de son excellent rapport qualité/prix. Le béton armé est quant à lui, indispensable pour les collecteurs de grandes dimensions ( $\Phi \ge 800$  mm). Son usage est de ce fait limité.

L'utilisation de la FONTE est possible. Elle est particulièrement adaptée en raison de ses qualités mécaniques. Ce matériau est peu employé en assainissement en raison de son prix [3].

Le GRES, d'une bonne résistance mécanique pour les faibles diamètres, d'un rapport qualité/prix correct, possède une très bonne tenue vis à vis des agressions chimiques et une bonne longévité qui en font une solution technique en GMR.

Les MATIERES PLASTIQUES (PEHD polyéthylène haute densité, PRV polyester renforcé à la laine de verre, PVC polychlorure de vinyle), peuvent par leurs qualités techniques prétendre à leur emploi en galerie. Les raccordements sont facilités par les techniques de collage. Il est à noter que les pièces spéciales sont onéreuses et rarement disponibles.

Les FIBRES-CIMENT, possèdent sensiblement les mêmes caractéristiques que les matières plastiques. Ces canalisations sont de moins en moins fabriquées.

#### **DIMENSIONS USUELLES**

Le tableau ci-dessous donne un ordre de grandeur des diamètres de canalisations utilisables en fonction de la population desservie (hors branchements spéciaux comme ceux des industriels, par exemple).

Nombre	Cons moy	Débit	Coeff	Débit de	Grav	itaire
d'habitants	par hab	moy EU	de	pointe	pente	Ø
dilabitants	(l/j/hab)	(1/s)	pointe	(1/s)		(mm)
1000	150	1,74	3,4	6	0,003	150
1000	130	1,/4	3,4	U	0,01	150
10000	150	17,4	2,1	37	0,003	300
10000	130	17,4	۷,1	31	0,01	250
100000	150	174	1,7	293	0,003	600
100000	130	1/4	1,/	293	0,01	500

<u>Tableau 2 :</u> dimensions minimum d'un réseau d'assainissement EU en fonction du poids de population et de la pente.

Afin de prévenir les obstructions, le diamètre minimal pour un réseau d'eau usée est de 200 millimètres [5].

Les diamètres usuels sont : 200 - 300 - 400 - 500 - 600 mm

Les longueurs habituelles sont entre 2,5 et 6 m selon les matériaux et les diamètres.

#### MODE DE POSE ENVISAGEABLE

Dans une galerie, les tronçons du réseau d'assainissement d'eaux usées doivent reposer sur des tasseaux, des berceaux ou des consoles.

Le nombre de supports par élément mis en œuvre dépend de la longueur de l'élément et du matériau constitutif.

nature du conduit	diamètre de l'élément	longueur de l'élément	nombre de supports par	
Conduit	I CICIIICIII	m		pour 10m
béton	300mm	3	2	7
béton	400mm	3	2	7
béton	500mm	3	2	7
béton	600mm	2.95	2	7
béton	600mm	3.65	2	5
grès	200mm			
plastique (PVC)	250mm	6	3	5
plastique (PVC)	400mm	6	3	5
plastique (PVC)	600mm	6	3	5

<u>Tableau 3:</u> aide au calcul du nombre de supports pour différents conduits

#### **EQUIPEMENTS ANNEXES**

#### REGARD DE VISITE

Le regard de visite permet d'accéder à l'intérieur de la canalisation pour effectuer une maintenance, un entretien ou tout simplement inspecter la canalisation.

Il est indispensable d'implanter un regard de visite pour tout changement de direction, de pente, de forme et du diamètre de la conduite, et à chaque jonction [3] [5].

La distance entre deux regards consécutifs ne doit pas dépasser 80 mètres [1] car les moyens modernes de curage ont une portée de 80 mètres en alignement droit [5]. En pratique, les regards de visite permettant le curage des conduites sont espacés de 50 mètres environ sur les conduites visitables, et de 35 mètres environ sur les tronçons non visitables.

Afin de faciliter les opérations d'inspection et de curage, il est conseillé de positionner les regards d'accès à la conduite d'assainissement à 10 mètres au plus des regards d'accès à la GMR [3].

La position idéale d'un regard se situe sur un axe de 45 ° par rapport à l'horizontal [3]. Cet angle permet de profiter pleinement de la réservation de passage pour effectuer les opérations de curage de la canalisation.

Un regard de visite doit être verrouillé et rester étanche dans le temps [3].

### CONTRAINTES DE TRACE ET DE POSE DU RESEAU

#### **PENTE**

Une pente de 4 à 5 mm/m permet dans la plupart des cas de respecter une vitesse d'autocurage d'environ 0,8 m/s si le diamètre est bien adapté au débit.

La pente de ce réseau doit donc être mûrement réfléchie. Le cas le plus simple en GMR est celui où la pente du réseau est égale à la pente de la galerie, mais appliquer cette pente

moyenne à toute la galerie peut entraîner un approfondissement excessif de l'ouvrage et une augmentation du coût global de fabrication [3].

Cette remarque prend toute sa valeur dans le cas où le terrain naturel du site d'implantation d'un projet de galerie possède une pente moyenne très faible (inférieur à 2 mm/m). Il faut alors envisager ponctuellement d'utiliser des conduites d'eaux usées sous pression ou en dépression (stations de relevage par refoulement ou par aspiration), si l'on veut éviter de trop approfondir l'ouvrage.

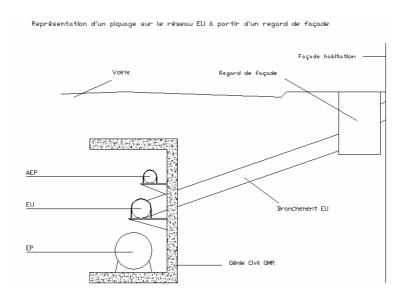
Il ne faut pas exclure en dernier ressort de sortir, là où c'est nécessaire, le réseau d'eaux usées de la GMR si les contraintes de pente sont trop fortes.

#### CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS

#### **PIQUAGES**

Les branchements du réseau public doivent être d'un diamètre minimum de 100 mm [2] [3]. Les piquages doivent être réalisés le plus proche possible d'un regard de visite, dans le but de les rendre accessibles durant les entretiens sur le réseau [3].

Dans une GMR, les branchements peuvent être perpendiculaire à la conduite principale [3].



<u>Figure 1:</u> Contraintes propres aux branchements

#### **JONCTIONS**

Lors de jonction, les canalisations secondaires du réseau d'assainissement doivent être amenées en principe sous un angle de 30° par rapport à la canalisation principale de manière à ne pas perturber l'écoulement de celle-ci [1].

#### CONTRAINTES D'EXPLOITATION ULTERIEURES

Pour permettre l'évolution du réseau, l'adaptation de nouveaux piquages, remplacement de tronçons, etc..., il est nécessaire de disposer de surlargeurs suffisantes permettant de

manœuvrer sans difficultés autour de la canalisation. Il est donc essentiel de respecter les prescriptions explicitées dans la fiche III.A.3.a. "Distances entre réseaux".

### **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

En matière de pose et d'étanchéité, les réseaux d'eaux usées en GMR doivent répondre aux mêmes critères de réception que les réseaux enterrés et donc aux mêmes contrôles de géométrie, d'étanchéité et de visite intérieure.

#### CONTRAINTES POUR L'INTEGRATION DU RESEAU EN GALERIE

Le réseau de chauffage urbain peut occasionner des perturbations d'ordre thermique sur un réseau d'assainissement d'eaux usées. La température de l'effluent ne doit pas excéder 35 °C [1]. Il est donc essentiel que toutes les mesures soient prises pour limiter la température ambiante de la galerie [3].

### INCIDENCE DE L'INTEGRATION DU RESEAU D'EAUX USEES EN GALERIE SUR LA CONCEPTION.

Mise à part sa position par rapport au réseau d'adduction d'eau potable, la conduite d'eau usée n'occasionne aucune contrainte particulière quant à la position de la canalisation dans son environnement.

En principe, les canalisations d'assainissement doivent être placées en dessous des conduites d'eau potable, dans le but d'empêcher une éventuelle pollution en cas de fuite d'eau usée [3]. La mise en œuvre d'un système de récupération des eaux de fuite doit être effective [3]. Ce système peut se composer d'un puisard récupérant les eaux et d'une pompe immergée chargée de renvoyer ces eaux au réseau d'eaux usées.

## DISTANCES DU RESEAU PAR RAPPORT AUX AUTRES RESEAUX ET AUX PAROIS DE LA GALERIE

Ce type de réseau est très peu contraignant pour les autres occupants d'une galerie. Il suffit de laisser disponible une distance de 0,30 m en parallèle de part et d'autre de la canalisation pour faciliter la pose et les interventions ultérieures [1]. Cette distance sera portée à 0,40 m pour les diamètres supérieurs à 600 mm.

Cette distance peut être réduite à 0,20 m vis à vis de la paroi de la galerie.

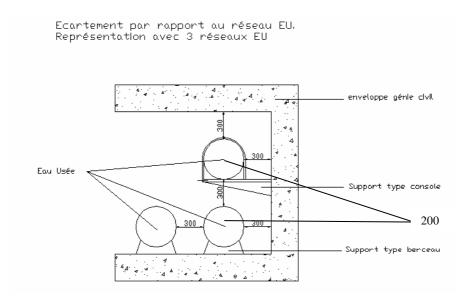


Figure 2 : Espacement du réseau EU pour les diamètres les plus courants

En croisement, il n'existe aucune prescription technique autre qu'un écartement suffisant pour permettre les interventions autour de la canalisation (0,10 m devraient suffire à condition de ne pas placer un joint au droit du croisement).

#### RECOMMANDATIONS CLE DE SOL

Les recommandations du projet Clé de Sol sont les mêmes que pour le réseau d'eau pluviale (voir fiche III.A.2.c.).

Conclusion : Remarques et propositions du Projet National Clé de Sol

Le réseau EU est placé à 0,20 m de la paroi de la galerie. Il se trouve écarté de 0,30 m des autres réseaux (son diamètre étant dans la plupart des cas inférieur à 600 mm).

Il se situe en-dessous du réseau d'eau potable.

Le gabarit de passage facilite la réalisation du curage de la conduite.

La conduite est placée sur un support avec étrier.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Fascicule n°.70 « Ouvrages d'assainissement », du Cahier des Clauses Techniques Générales applicables aux marchés publics relevant des services de l'équipement.
- [2] Guide technique de l'assainissement Publications du Moniteur, éditions Le Moniteur, 1995. ISBN : 2-281-11152-0
- [3] Recommandations du projet national « Clé de Sol »
- [4] Technique de l'Ingénieur « Assainissement des Agglomérations »
- [5] Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement Coordonateur B. Chocat Technique et Documentation, 1997. ISBN: 2-7430-0126-7

## ANNEXE 3

Fiche technique 'Eau Potable'

#### Fiche III.A.2.d.

## L'Eau Potable

#### **INTRODUCTION: OBJET DU RESEAU**

Cette fiche ne traitera que le réseau de distribution d'eau potable, fonctionnant à une pression minimum d'environ 3 bars.

#### **MATERIAUX**

#### Le **PLOMB** est strictement interdit.

Le choix du matériau des tuyauteries doit tenir compte notamment des quatre facteurs suivants :

Le diamètre

La pression de fonctionnement

Les conditions d'installation

Les normes européennes pou les eaux destinées à la consommation humaine.

Le matériau préférentiel pour réaliser ce réseau en galerie est la FONTE [5] ductile revêtue intérieurement de mortier de ciment CHF et extérieurement de zinc métallique et d'un vernis bitumineux. Selon les besoins, il existe d'autres revêtements plus performants ou capables de mieux répondre à l'atmosphère régnant dans la galerie. La fonte ductile est pérenne et dispose d'une large gamme de pièces spéciales tels que coudes, tés, cônes, et autres pièces de raccordement et de branchement. Les raccords entre tuyaux s'effectuent par emboîtement avec joint élastomère, permettant des orientations angulaires importantes mais exigeant des butées ou des systèmes de verrouillage adaptés selon le type de joint employé.

Les autres matériaux utilisables sont l'ACIER avec un revêtement sanitaire en béton ou en époxy et le BETON (EN) A ÂME (DE) TÔLE. Les conduites en acier dont la pose est rapide, nécessitent un assemblage par soudure plus onéreux que les raccords mécaniques ou automatiques pratiqués sur la fonte, mais qui de plus, peuvent nécessiter une protection cathodique. Elles sont également plus sensibles aux phénomènes de flexion et de dilatation. Les conduites en béton sont moins bien adaptées pour les réseaux de distribution en raison notamment de leur encombrement et de leur poids ; elles sont davantage utilisées pour assurer l'adduction de l'eau en gros collecteur (conduite secondaire ou principale) , pour les diamètres supérieurs à 500 mm.

Les conduites en MATIERE PLASTIQUE (Polychlorure de Vinyle, Polyéthylène, Composites, etc.) ne sont pas conseillées pour une installation en galerie humide, c'est à dire assurant le rôle de collecteur d'assainissement. Ces matériaux se dégradent à la lumière, sont perméables aux composés gazeux et à certains solvants et peuvent relarguer des chlorures et des additifs de fabrication. Les pièces spéciales de piquages ou de raccordements sont assez onéreuses. Cependant pour une installation en galerie sèche, il est tout à fait envisageable de concevoir un réseau d'eau en POLYETHYLENE HAUTE DENSITE. Ce matériau résiste aux hautes pressions et son coût peut s'avérer compétitif. Les soudures entre éléments doivent être effectuées par fusion. Toutefois, il faut noter les problèmes importants que posent la flexion et la dilatation des canalisations en PEHD.

## L'EMPLOI DU POLYÈTHYLÈNE

L'emploi des tubes en polyéthylène (PE) est courant, notamment pour : les branchements d'eau de diamètres extérieurs (De) 20, 25, 32, 40 et 50 mm ; les réseaux de distribution de gaz.

En ce qui concerne les réseaux de distribution d'eau potable, la suppression des branchements en plomb(1) entraîne la généralisation de l'emploi du PE. Or, le PE est sensible aux effets de la perméation qui sont susceptibles de provoquer une contamination de l'eau potable distribuée, notamment dans les cas de pose en terre où les sols sont pollués par des composés aromatiques par exemple.

Pour répondre à ce problème, plusieurs sociétés ont recherché des solutions : soit pour retarder la perméation ; soit pour y faire barrage.

Actuellement, deux nouveaux types de tubes en PEHD (PE 80 ou PE 100) apparaissent sur le marché, à savoir :

un PEHD bi-couche qui retarde la perméation (PE + une couche de polypropylène co-extrudée); un PEHD tri-couche anti-perméation (PE + un enroulement en hélice d'une feuille en aluminium anti-perméation + une couche de polypropylène chargé de quartz ou non co-extrudée).

La couche de polypropylène chargé de quartz offre une meilleure résistance à la rayure lors des opérations de tirage particulièrement lorsque l'on procède au remplacement d'un branchement en place selon la technique de l'extraction.

Ce PE est signalé par la couleur bleue de la couche de polypropylène dans laquelle apparaissent 4 doubles bandes vertes longitudinales.

Il est disponible en De 25, 32, 40 et 50 mm.

Outre les avantages déjà cités il est détectable par les appareils de recherche de conduite.

(1) La directive européenne du 5 décembre 1998 transcrite en droit français par le décret 2001-12-20 du 20 décembre 2001 réduit le taux maximal de plomb dans" les eaux destinées à la consommation humaine" de 50  $\mu$ g/l à 25  $\mu$ g/l fin 2003 et à 10  $\mu$ g/l fin 2013, doses qui cette fois seront mesurées au robinet du consommateur, à l'aide d'un système d'échantillonnage harmonisé. Ces nouvelles normes européennes s'inscrivent dans le cadre d'une action à long terme préconisée par l'OMS et reprise par les autorités européennes et de ses pays membres pour réduire progressivement le risque saturnin.

#### **DIMENSIONS DU RESEAU**

Pour un réseau de distribution d'eau potable, les diamètres (mm) normalisés utiles sont : 60 - 80 - 100 - 125 - 150 - 200 - 250 - 300 - 350 - 400 - 500

#### **FOURNITURE**

Le tableau suivant, représente les caractéristiques des différents matériaux dans la plage d'utilisation de la présente fiche. Nous limiterons donc les données au diamètre 500 m.

Matériau	Diamètre (mm)		Fourniture	Nombre de supports
Fonte	Minimal	60	Barres de 6 mètres	1 tous les 3 mètres
	Maximal	500	Barres de 6 mètres	1 tous les 3 mètres
Acier	Minimal	60	Barres de 6 mètres	1 tous les 3 mètres*
	Maximal	500	Barres de 6 mètres	1 tous les 3 mètres*
Béton	Minimal	400	Barres de 6.15 mètres	1 tous les 3 mètres**
	Maximal	500	Barres de 6.15 mètres	1 tous les 3 mètres**
PEHD	Minimal	60	Barres de 6 ou 12 mètres	1 tous les 1.5
				mètres**
	Maximal 500		Barres de 6 ou 12 mètres	1 tous les 1.5
				mètres**

<sup>\*</sup>OU PLUS SELON NOTE DE CALCUL

#### MODE DE POSE ENVISAGEABLE

Un réseau de distribution d'eau potable doit être posé sur des supports type console avec étrier. Ce mode de pose est le moins encombrant pour une installation en galerie (figure 1). Les supports doivent être équipés d'un berceau à 90° minimum. La largeur du berceau est fonction du matériau. Pour le PEHD, les berceaux doivent avoir une largeur d'environ 50 cm jusqu'au diamètre de 200mm. Au delà, il est nécessaire de prévoir une étude de faisabilité. Un caoutchouc de synthèse de type néoprène doit être interposé entre le berceau et la canalisation en fonte et en acier. Le tableau 1 représente les différentes distances minimales pour un support préfabriqué en fer avec étrier de serrage et ce, en fonction des diamètres nominaux usuels. En annexe, les tableaux 9 à 11 représentent les dimensions pour d'autres supports également utilisés.

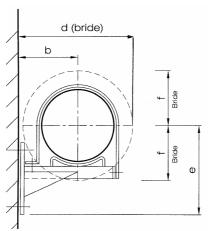
Diamètre nominal	b (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)
(mm)				
60	120	208	120	88
80	130	230	130	100
100	150	260	210	110
150	180	323	255	143
200	210	380	320	170
300	270	493	380	223
400	330	613	660	283
500	400	735	760	335

dimensions: pour b et donc d selon nécessités de pose de la canalisation; pour e selon calcul de la console.

NB/la distance entre l'extrémité de la console et la paroi est égale à d+20mmm

<sup>\*\*</sup> A VERIFIER PAR NOTE DE CALCUL

<u>Tableau 1 :</u> distances relatives à un support préfabriqué en fer profilé avec étrier de serrage, fixation par chevilles à sceller dans la paroi de la galerie



<u>Figure 1 :</u> représentation d'une conduite sur support préfabriqué en fer profilé avec étrier de serrage.

Pour des facilités de pose et de stabilité, il est préférable de poser chaque tuyau ou tube de conduite sur deux supports.

Si la canalisation d'eau est posée sous suspente, les supports doivent être fixés à l'aide de chevilles à verrouillage de forme [5] dans le but de conférer une meilleure résistance mécanique aux systèmes d'accrochage. La réalisation des supports doit être à la charge de l'installateur du réseau compte tenu du poids de la canalisation emplie d'eau et des efforts dynamiques (raisons techniques et conséquences juridiques) [5].

En galerie, lorsque qu'une canalisation est posée sur des supports, des soulèvements peuvent se produire en n'importe quel point mais particulièrement à l'amont ou à l'aval d'un coude ou de toute pièce qui crée des turbulences.

Une attention particulière doit être portée lorsque la canalisation est suspendue. Il peut y avoir soulèvements et déplacements latéraux. Les suspentes doivent être arc-boutées.

#### **EQUIPEMENTS ANNEXES**

#### **VANNES**

Les vannes peuvent être de deux types, à opercule ou à papillon. Le choix de la robinetterie devra obligatoirement tenir compte des conditions de fonctionnement du réseau (pression, fréquence de manœuvre, etc.).

La distance entre deux vannes est d'environ 200 mètres. Les vannes sectionnent les tronçons ascendants ou descendants du réseau. Il est également possible de trouver des vannes protégeant un ou des branchement(s) d'abonné important(s) ou une borne de protection contre l'incendie; dans ce cas, la distance séparant deux vannes est réduite.

L'encombrement d'une vanne papillon (figure 2 & tableau 2) est moindre que celui d'une vanne à opercule (figure 3 & tableau 3) et semble donc plus adéquat pour une installation en galerie. Cependant, l'encombrement généré par l'ensemble des réseaux de la GMR peut être compatible avec l'emploi de vannes à opercule qui peuvent être orientée par rotation par rapport à l'axe de la canalisation. Les tableaux 2 et 3 représentent les distances d'encombrement des vannes papillon et à opercule.

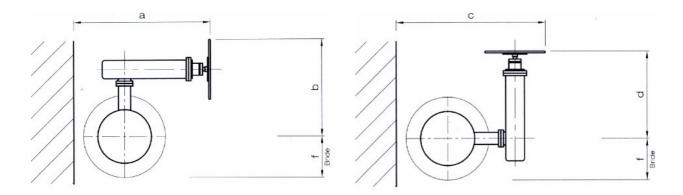


Figure 2 : représentation d'une vanne papillon

Diamètre nominal	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	f (mm)
(mm)					
150	445	352	532	265	143
200	475	383	593	265	170
300	560	534	804	290	223
400	740	612	942	410	283
500	854	748	1148	454	335
600	995	786	1241	540	390

<u>Tableau 2 :</u> distances relatives à la figure 2

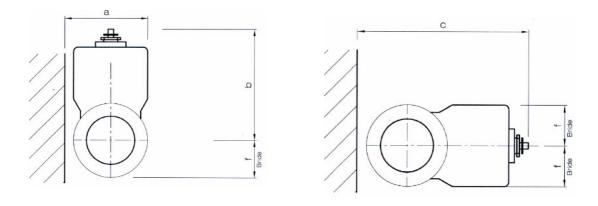


Figure 3 : représentation d'une vanne à opercule

Diamètre nominal	a (mm)	b (mm)	c (mm)	f (mm)
(mm)				

60	208	266	386	88
80	230	289	419	100
100	260	336	486	110
150	323	421	601	143
200	380	510	720	170
300	493	696	966	223
400	613	914	1244	283

Tableau 3 : distances relatives à la figure 3

L'amarrage des vannes doit faire l'objet de note de calcul (exemple des points fixes), particulièrement à partir du diamètre 400 mm.

Une vanne de bief sera équipée, selon le profil en long de la canalisation :

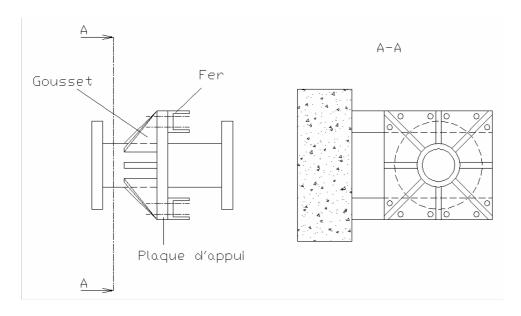
Soit d'une décharge et d'une ventouse (sur une pente ou une rampe)

Soit de deux décharges (point bas)

Soit de deux ventouses (point haut)

Les by-pass de vanne sont installés à partir du diamètre de 800 mm (voire 600 mm).

En galerie, la création de « points fixes » est facilement réalisable pour amarrer les vannes. Le point fixe peut être constitué d'une manchette en acier « bride - bride » sur laquelle est soudée une plaque d'appui perpendiculaire au tube avec des goussets de renfort. Les efforts générés par la fermeture de la vanne peuvent être repris par des fers scellés et arc-boutés selon note de calcul dans les parois de la galerie et boulonnés sur la plaque d'appui. La figure 4 représente un point fixe sur une manchette bride - bride.

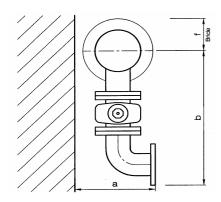


<u>Figure 4 :</u> représentation d'un point fixe sur manchette bride-bride

## **DECHARGES**

Les décharges (ou vidanges) permettent de vider les canalisations d'eau. Elles se situent donc à la fin d'un tronçon descendant. La figure 5 (tableau 5) représente la réalisation d'un branchement de décharge. Il est à noter que la conduite de la décharge se situant après la vanne d'arrêt peut parcourir une certaine longueur (environ 30 mètres) pour rejoindre un

puisard ou tout autre système de récupération des eaux (suivant les volumes susceptibles d'être déversés).



Décharge avec robinet-vanne à écartement réduit						
Diamètre nominal	a (mm)	b (mm)	f (mm)			
(mm)						
60	260	495	88			
80	295	495	100			
100	330	505	110			
150	400	530	143			
200	470	638	170			
300	670	715	223			
400	830	848	283			
500	1000	1010	335			
600	1155	1080	390			

<u>Figure 5 :</u> représentation d'une décharge à figure 5

<u>Tableau 5</u>: distances relatives

La fréquence d'installation d'une décharge est une tous les 200 mètres environ [5].

#### **VENTOUSES**

## Ces appareils permettent:

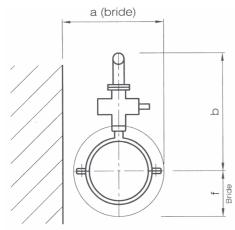
D'évacuer, lors de la mise en service d'un tronçon de canalisation, l'air contenu dans la canalisation et celui qui s' introduit au moment du remplissage;

L'entrée d'air indispensable à une bonne vidange de la canalisation;

D'assurer l'élimination des poches d'air qui se manifestent aux points hauts de la canalisation et dont la présence perturbe l'écoulement de l'eau et peut entraîner la formation de coup de bélier.

Elles se situent donc aux points hauts d'une canalisation ou à l'extrémité d'un tronçon ascendant.

Les ventouses manuelles (figure 6 & tableau 6) sont adaptables à la situation de la canalisation dans la galerie et peuvent être selon les cas moins encombrantes que les ventouses automatiques. Il est donc préférable d'utiliser ces systèmes en galerie [5] pour les canalisations de distribution de diamètre inférieur ou égal à 200 mm.



Diamètre nominal	a (mm)	b (mm)	f (mm)
(mm)			
60	208	378	88
80	230	386	100
100	260	396	110
150	323	422	143
200	380	448	170

## <u>Figure 6 :</u> représentation d'une ventouse manuelle relatives à la figure 6

Tableau 6: distances

De même que pour une décharge, la fréquence d'installation d'une ventouse est une tous les 200 mètres environ [5]. Cependant, sur des conduites de distribution, le service des branchements d'abonnés d'une part, et le contrôle régulier(débit et pression) des appareils publics de secours contre l'incendie participent à l'évacuation de l'air contenu dans les conduites.

#### BRANCHEMENTS INCENDIE

Les branchements incendie qui alimentent :

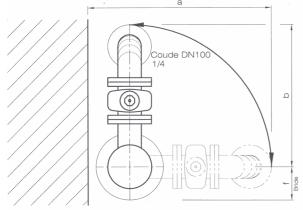
Soit des appareils publics (bouches ou poteaux) de secours contre l'incendie ;

soit des installations de défense incendie privées tels que les colonnes sèches, les R.I.A (robinets d'incendie armés) ou les remplissages des bâches de réserve incendie, sont alimentés par le réseau de distribution d'eau potable.

Le diamètre des branchements des bouches ou poteaux est normalisé à 100 mm (60 m3/h) et à 150 mm (120 m3/h). Les branchements doivent être alimentés par des conduites publques, au minimum de même diamètre, qui doivent assurer respectivement un débit minimum de 17 litres/seconde(s) (60 m³/h) et 34 litres/seconde (120m3/h) sous un bar de pression. La capacité du réseau doit permettre aux pompiers de disposer de 120 m³ minimum [6] [7].

Dans le cas d'une installation en galerie, il est judicieux de profiter de la réalisation des regards d'accès, propre de la galerie (environ tous les 50 à 80 mètres) pour disposer d'un branchement public de protection contre l'incendie [5]. La distance entre deux piquages incendie est d'environ 100 mètres [5]. La réalisation d'une niche dans le regard d'accès de la galerie, abritant le corps de l'appariel (colonne montante, dispositif de vidange et d'incongelabilité) de la borne d'incendie permet d'accroître l'accessibilié de l'appareil au service de secours et de maintenance.

Un regard d'accès de galerie, abritant une niche d'une borne d'incendie doit posséder une pente minimale permettant l'écoulement des eaux (ruisselement, vidange, etc...) provenant de la borne de protection publique contre l'incendie.



nchement DN100mm pour bouche à incendie avec robinet à						
écartement réduit						
Diamètre	a (mm)	b (mm)	f (mm)			
nominal						
(mm)						
00/100	810	660	110			
50/100	963	783	143			
200/100	1110	900	170			
300/100	1468	1198	223			
100/100	1790	1460	283			

<u>Figure 7 :</u> représentation d'un piquage pour branchement incendie <u>Tableau 7 :</u> dimensions relatives à la figure 7

#### CONTRAINTES DE TRACE ET DE POSE DU RESEAU

Un réseau d'adduction d'eau potable doit présenter une trajectoire rectiligne et la plus courte possible [5].

#### **PENTE**

Un réseau de transport d'eau potable doit comporter des pentes minimales ascendantes(2 à 3 mm/m) et descendantes (4 à 6 mm/m) permettant l'évacuation de l'air en point haut du réseau et de l'eau en point bas.

Sur un réseau de distribution en galerie ces valeurs peuvent être réduites. Pour cela il est essentiel d'identifier [1] [6] :

Des tronçons ascendants équipés de ventouses et comportant une pente moyenne de 1 à 2 mm par mètre, permettant d'acheminer et d'évacuer l'air en un point haut du réseau,

Des tronçons descendants équipés des robinets de purge et comportant une pente moyenne de 2 à 3 mm par mètre, permettant d'éliminer les matières susceptibles de sédimenter.

Ces valeurs doivent être considérées comme des minimums [5].

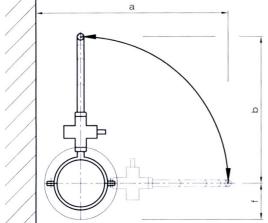
Cependant, les conditions de pose en galerie d'un réseau de distribution ne permettent pas toujours de respecter ces dernières valeurs. En effet , la canalisation doit très souvent monter (passage en chevalet) ou descendre , bifurquer à droite ou à gauche pour éviter des branchements ou des organes d'autres réseaux ou simplement libérer des espaces au droit des accès notamment. Mais comme indiqué précèdemment les différents branchements participent à l'évacuation de l'air ce qui autorise un profil en long particulier .

#### CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS

En galerie, les branchements d'abonnés peuvent être réalisés avec un angle compris entre 0 et 90° par rapport au plan horizontal passant par l'axe de la canalisation de distribution [5]. Il est fortement déconseillé de réaliser un branchement avec un angle négatif pour ne pas occasionner le passage de dépôts, enprovenance de la canalisation, dans les branchements d'abonnés [5].

Le parcours des branchements doit être le plus rectiligne possible [5].

La figure 8 (tableau 8) représente un piquage type d'abonné en fonction des diamètres utiles.



iamètre nominal	a (mm)	b (mm)	f (mm)		
(mm)					
60	400	280	88		
80	420	290	100		
100	450	300	110		
150	500	320	143		
200	560	350	170		
300	670	400	223		
400	780	450	283		
500	900	500	335		

600	1000	550	390

<u>Figure 8 :</u> représentation d'un piquage d'abonné figure 8

<u>Tableau 8 :</u> distances relatives à la

#### CONTRAINTES D'EXPLOITATION ULTERIEURES

L'emploi du matériau fonte ductile permet de modifier ou de réparer facilement un réseau sans avoir besoin de réaliser des soudures.

#### **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

#### PROTECTION CATHODIQUE

Il est essentiel de protéger cathodiquement le réseau d'adduction d'eau potable pour le rendre pérenne [5]. Dans le cas d'une installation en GMR, l'air ambiant chargé de vapeur d'eau (eau de condensation du chauffage urbain, eau d'extraction des réseaux d'assainissement, eau d'infiltration, etc...) peut altérer profondément la structure des canalisations [5].

La protection cathodique est la technique permettant de conserver dans son intégrité la surface extérieure des canalisations métallique enterrées ou immergées en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant, c'est à dire la corrosion [3].

Il existe deux moyens de protéger cathodiquement une canalisation, en effectuant soit :

Une protection dite passive, constituée d'un revêtement extérieur dont le rôle est de créer un effet barrière électrique entre le métal des canalisations et le milieu environnant [2] [3] [4]. Cependant, ce type de protection présente des imperfections dues aux blessures par chocs que subira le réseau durant sa vie [5].

Une protection dite active, consistant à amener l'ensemble du réseau à un potentiel suffisament négatif pour rendre le métal entièrement cathodique.

Cette protection se doit en outre d'être efficace contre les courants vagabonds [5].

Cependant, dans la plupart des cas, Il n'est pas nécessaire de réaliser une protection cathodique sur une canalisation de distribution posée en galerie dès lors que l'on a pris la précaution de l'isoler simplement en interposant une feuille de néoprène au droit des supports et étriers notamment ; il est également possible de réaliser des dispositif d'isolement sur les ancrages d'amarrages importants tels que les points fixes ainsi que sur les suspentes. Quoi qu'il en soit, il est recommandé de vérifier la présence ou non de courants vagabonds.

### **PROTECTION MECANIQUE**

Les efforts résultant de la poussée du liquide à l'intérieur du réseau peuvent entraîner des déboitements entre les différents éléments de ce réseau. Pour éviter ces phénomènes, il convient , selon le mode de pose de la canalisation, de placer non seulement des butées au droit de certaines pièces mais aussi de répartir des amarrages sur la canalisation pour s'opposer à tout soulèvement ou déplacements latéraux (cf. mode de pose) .

Les poussées peuvent se produire à chaque [1] : extrémité d'une conduite changement de direction aux dérivations

Il est donc essentiel de prévoir l'incorporation en galerie de tels systèmes, surtout si la canalisation comporte des joints de type mécanique au automatique [5].

### CONTRAINTES VIS A VIS DES AUTRES RESEAUX EN GALERIE

#### CANALISATIONS ELECTRIQUES ET TELECOMMUNICATIONS

Les canalisations électriques sont succeptibles d'accélerer le processus de détérioration d'intégrité de la surface extérieure de la conduite. Il est donc obligatoire de respecter les contraintes de distance entre ces deux réseaux [5].

Les canalisations électriques et les réseaux de télécommunication ne doivent pas être superposés avec le réseau d'eau [5].

#### CHAUFFAGE URBAIN

La présence du chauffage urbain est contraignante pour un réseau d'eau. Pour des raisons de salubrité la température de l'eau potable ne doit pas excéder 25°C [8]. La galerie doit donc être convenablement ventilée pour limiter la température ambiante [5]. Si la galerie ne peut être correctement ventilée et/ou l'espacement entre le réseau de chauffage et le réseau d'eau trop faible pour limiter les effets thermiques, il est nécessaire d'augmenter le calorifugeage du réseau d'eau chaude [5].

#### ASSAINISSEMENT EP, EU ET PROPRE A LA GALERIE

Le réseau d'adduction d'eau potable ne peut être superposé qu'aux seuls réseaux d'assainissement d'eau pluviale et d'eau usée [5].

La présence d'une cunette et d'un puisard assurant l'assainissement propre de la galerie sont utiles pour récuperer les eaux de fuite et décharge, ainsi que celle des bornes d'incendie.

## DISTANCES DU RESEAU PAR RAPPORT AUX AUTRES RESEAUX ET AUX PAROIS DE LA GALERIE

#### RECOMMANDATIONS DE CLE DE SOL – ENSEMBLE DES RESEAUX

Ce réseau demande une distance de 0,3 mètre en parcours parallèle afin de pouvoir travailler autour des canalisations.

Il n'existe pas de prescriptions techniques pour les croisements. Clé de Sol préconise de laisser 10 cm entre deux réseaux et 50 cm par rapport à un joint ou un accessoire de canalisation pour assurer l'accessibilité lors des opérations de maintenance.

Distances vis à vis d'un réseau d'eau potable (mètre)								
Parcours	Canalisations	Assainissement	Télécoms		Gaz	Eau	Chauffage	Réseau
	électriques		Sans	Avec		potable	urbain	de froid
	_		fourrea	fourrea				
			u	u				
Parallèle	0,3				0,3			
Croisement	0,1				0,1			

IL N'EXISTE PAS DE REGLES EN CE QUI CONCERNE LES DISTANCES ENTRE LE RESEAU D'EAU ET LES CANALISATIONS DU RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN. LA SEULE CONTRAINTE EXISTANTE EST RELATIVE A LA TEMPERATURE DES EAUX DE DISTRIBUTION QUI NE DOIT PAS EXCEDER 25°C [8]. POUR CELA, IL EST PREFERABLE DE POSITIONNER CES DEUX RESEAUX DE PART ET AUTRE DE LA GALERIE ET AINSI PROFITER DE LA LARGEUR DU GABARIT DE PASSAGE COMME DISTANCE DE SEPARATION [5]. DANS UN CAS D'IMPOSSIBILITE TECHNIQUE (SECTION DE GALERIE FIGEE DANS LE CAS D'UN OUVRAGE PREFABRIQUE), L'ISOLATION THERMIQUE DU RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN DOIT ETRE AUGMENTEE POUR NE PAS ACCROITRE LA TEMPERATURE AMBIANTE DE LA GALERIE [5].

#### **G**ALERIE

La distance des conduites à la paroi résulte du choix et de la conception des supports et est donnée à titre d'exemple par le tableau 1 ci-avant et/ou par les tableaux en annexe.

## CONCLUSION

#### REPRESENTATION DU RESEAU DANS SON ENVIRONNEMENT

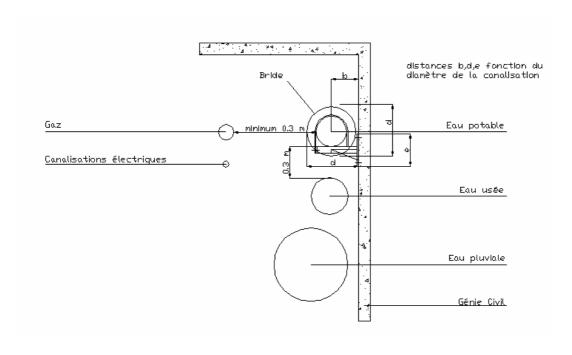
Le réseau d'eau se situe au-dessus des réseaux d'assainissement (EP & EU) pour des raisons hygiéniques. Clé de Sol préconise de ne superposer ce réseau qu'avec les autres réseaux humides pour protéger les canalisations électriques, les canalisations de gaz, etc., de possibles éclaboussements.

Les supports de ce réseau sont au minimum au nombre de deux par tuyaux (tronçon) et sont à étrier pour résister aux coups de béliers.

Les écartements par rapport aux parois sont donnés dans le tableau 1 et annexe en fonction du type de support et du matériau choisi.

Un écartement minimum de 0.3 mètre doit être respecté vis à vis des autres réseaux en parcours parallèle.

En croisement , un écartement minimum de 0.1 mètre doit être respecté vis à vis des autres réseaux (en croisement ) et une distance de 0.50 mètre de part et d'autre des joints et accessoire de la canalisation de distribution d'eau .



b, d, e : Cf. Tableau 1

<u>Figure 9 :</u> représentation d'un réseau d'adduction d'eau potable dans son environnement.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Les réseaux de distribution de l'eau Bernard Hamou Édition Maison Denis 40 pages
- [2] Norme EN 12954 : Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées Principes généraux et application pour les canalisations Avril 2001 33 pages
- [3] Norme EN 12068: Protection cathodique Revêtements organiques extérieurs pour la protection contre la corrosion de tubes en acier enterrés ou immergés en conjonction avec la protection cathodique Bandes et matériaux rétractables Avril 1999 52 pages
- [4] Norme EN 12696 : Protection cathodique de l'acier dans le béton Juillet 2000 38 pages
- [5] Recommandation Projet National « Clé de Sol »
- [6] Technique de l'Ingénieur Alimentation en eau potable Cyril Gomella éditions Techniques de l'Ingénieur
- [7] Norme NF S 62 200 Règles d'installation des poteaux d'incendie septembre 1990
- [8] Code de la Santé Publique (eaux destinées à la consommation humaine)

#### **ANNEXES**

# Support standard-console ordianaire en fonte

Diamètre nominal	b (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)
(mm)				
60	120	208	70	88
80	130	230	85	100

100	150	260	100	110
150	180	323	135	143
200	210	380	170	170
300	270	493	240	223
400	330	613	310	283
500	400	735	385	335
600	455	845	450	390

dimensions: pour b et donc d selon nécessités de pose de la canalisation; pour e selon calcul de la console.

NB/la distance entre l'extrémité de la console et la paroi est inférieure à d <u>Tableau 9 :</u> distances relatives à un support Standard- console ordinaire en fonte GS- type Ville de Paris

fixation par scellement dans la paroi de la galerie

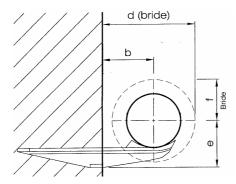


Figure 10 : Console en fonte ductile type « ville de Paris »

# Support standard-console à étrier de serrage en fonte

# Cf figure 10

Diamètre nominal	b (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)
(mm)				
60	120	208	75	88
80	130	230	100	100
100	150	260	125	110
150	180	323	185	143
200	210	380	218	170
300	270	493	298	223
400	330	613	368	283
500	400	735	461	335
600	455	845	550	390

dimensions: pour b et donc d selon nécessités de pose de la canalisation; pour e selon calcul de la console.

NB/la distance entre l'extrémité de la console et la paroi est supérieure à d (mini 35 mm; maxi 57 mm)

<u>Tableau 10 :</u> distances relatives à un support Standard- console à étrier de serrage en fonte GS- type Ville de Paris

fixation par scellement dans la paroi de la galerie

# Support standard-console en aluminium type Ville de Paris avec étrier de serrage

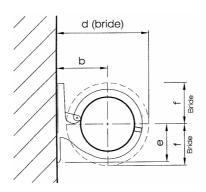


Figure 10 : Console en aluminium « CELT » type « ville de Paris »

Diamètre nominal	b (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)
(mm)				
60	143	231	87	88
80	153	253	89	100
100	163	273	115	110
150	189	332	125	143
200	209	379	152	170
300	263	486	228	223
400	319	602	294	283

dimensions: pour b et donc d selon nécessités de pose de la canalisation; pour e selon calcul de la console.

NB/la distance entre l'extrémité de la console et la paroi est inférieure à d <u>Tableau 11 :</u> distances relatives à un support Standard- console en aluminium type Ville de Paris avec étrier de serrage

fixation par de 2 chevilles à sceller dans la paroi de la galerie

# ANNEXE 4

Fiche technique 'Canalisations Electriques'

# Fiche III.A.4.g.

# LES RESEAUX ELECTRIQUES

Nous entendons par « canalisations électriques », les câbles HTA, HTB et BT du réseau EDF, ainsi que les câbles électriques de signalisation (hors systèmes de régulation) et d'éclairage propre à une agglomération que l'on assimilera dans cette fiche à des câbles BT. Sont exclus de la présente fiche, les câbles de télécommunication et de télésurveillance propre à la gestion de la galerie.

Ces réseaux permettent la distribution et le raccordement en énergie électrique des habitations et des différents systèmes électriques de signalisation et d'éclairage public d'une agglomération.

EDF autorise l'installation en galerie de ses réseaux, uniquement pour [2] :

la HTA\* « Haute Tension dite A » en 20 000 Volts,

# ET LA BT \* « BASSE TENSION », COMPRISE ENTRE 230 ET 380 VOLTS.

\* La HTA est essentiellement considérée comme un réseaux de transport, mais elle peut très bien être prise en compte comme un réseau de distribution dans le cas d'une alimentation industrielle en 20 000 Volts. La BT quant à elle, est un réseau de distribution. Les particuliers sont alimentés à partir du réseau BT grâce à un piquage que l'on nomme « branchement » et qui constitue le réseau électrique intérieur.

Îl est cependant tout à fait envisageable d'incorporer une canalisation HTB (supérieure à 63 000 Volts) en galerie via quelques conditions d'ordre techniques.

Depuis le début des années 90, l'enfouissement des lignes HTA et BT s'accélère en réponse aux nouvelles normes relatives à l'environnement et plus particulièrement vis à vis de la protection des paysages. Les Galeries Multiréseaux (GMR) permettent aux concessionnaires de ces câbles de respecter ces nouvelles normes.

Néanmoins, les canalisations électriques sont de par leur nature, des réseaux pouvant gêner de façon non négligeable le bon fonctionnement d'autres réseaux électriques tel les Télécoms. Il est donc impératif de connaître précisément les contraintes d'exploitation de ces réseaux pour ne pas entraver le bon fonctionnement d'une GMR.

#### **DIMENSIONS**

Le transport de l'énergie électrique s'effectue au moyen de câbles spécifiques [2] :

les câbles HTA sont constitués de trois conducteurs de phase unipolaire, enroulés en forme de torsade,

le câble BT ou de branchement est constitué d'un seul câble comportant les trois conducteurs de phase (ou le conducteur de phase dans le cas d'un branchement monophasé) et le conducteur de neutre,

Les câbles HTA sont conformes à la NFC 33 223 et les câbles BT à la NFC 33 210.

Le tableau 1 représente les différentes caractéristiques techniques des canalisations électriques rencontrées en galerie.

Ces câbles répondent aux normes de non propagation de flamme suivantes : IEC 332-1 NF C 32-070 cat. C2 DIN VDE 0472 part. 80443

	HTA			BT réseau			ВТ	Γ brancheme	ent
Norme	C33-223	C33-223	C33-223	C33-210	C33-210	C33-210	C33-	C33-210	C33-
							210		210
Sections	3x95	3x150	3x240	3x95 +	3x150 +	3x240 +	2x35	4x25	4x35
mm²				50	70	95			
Diamètre extérieur	77	86	96	39	49	59	27	29	30
Mm				max.	max.	max.	max.	max.	max.
Rayon de courbure *	70	80	90	32	37	45	19	20	23
Cm									
Poids linéique	37.8	46.6	59.8	21.1	29.4	43.2	10.2	9.8	10.8
N/m									
Traction maximale	8550	13500	21600	10050	15600	24450	2100	3000	4200
N ***									
Intensité maximale **	280	370	495	241	324	439	135	98	122
A									

<sup>\*</sup> rayon de courbure après pose du câble

<u>remarque</u>: En cas de branchement collectif, les câbles du réseau BT seront utilisés pour la partie raccordement au réseau BT.

<u>Tableau 1 :</u> Récapitulatif technique des câbles utilisés pour la HTA et la BT

#### **FOURNITURE**

Les câbles sont transportés sur des tourets.

## MODES DE POSE ENVISAGEABLES

Le déroulage des câbles est effectué près des ouvrages prévus pour les supporter. Ils sont ensuite déplacés latéralement vers leur position définitive et éventuellement fixés [5].

Le déroulage proprement dit est effectué comme pour les câbles enterrés. L'annexe 1, reprend les différents cas de figure pour la pose de canalisations électriques.

En GMR, les câbles HTA et BT peuvent être posés [5] :

sur des tablettes en béton, profils perforés supportés par des ferrures appropriées ;

sur des ferrures spéciales dites échelles à câbles et fixées par colliers,

sur des ferrures appelées « corbeaux » qui doivent être suffisamment rapprochées pour éviter une déformation exagérée (guirlandes) du câble entre ses points d'appui,

dans des caniveaux normalisés remplis de sable fin,

à l'aide de colliers de suspension selon une technique qui est actuellement expérimentée dans certains centres de la banlieue parisienne.

Après la pose, les canalisations BT doivent être fixées de manière à éviter les mouvements, en particulier lors de court circuit. Des colliers seront utilisés avec un espacement égal à 20 fois le diamètre du câble sans toutefois dépasser 80 cm [1].

Pour les câbles HTA posés sur tablettes, il est nécessaire de le fixer par exemple à l'aide de sangles, tous les 2 m en ligne droite et tous les 1 m en courbe, afin d'avoir un comportement thermomécanique et électrodynamique satisfaisant [1].

<sup>\*\*</sup> à T° de l'air = 30 °C (l'âme du câble étant elle-même à 90 °C)

<sup>\*\*\*</sup> Sur 1'âme

En ce qui concerne l'installation de câbles HTB en galerie, Il est déconseillé de les placer dans un caniveau rempli de sable pour éviter tout risque de projection de couvercles de caniveau sur le réseau pouvant engendrer des court-circuits. Il est préférable de les tirer dans des fourreaux en polyéthylène haute densité, d'épaisseur suffisante (entre 11 et 23 cm suivant le niveau de tension et de court-circuit) permettant de confiner le défaut en cas de court-circuit [5]. Ces prescriptions ne visent que la sécurité des personnes et la durabilité de l'ouvrage [5].

#### CONTRAINTES DE TRACE ET DE POSE DU RESEAU

#### RAYON DE COURBURE

En BT, le rayon de courbure pendant la pose est de 12 fois le diamètre du câble. Ce rayon de courbure peut être réduit de 50% sous réserve que [2] :

La courbure soit unique. Le câble soit chauffé jusqu'à 30°C. Le câble soit courbé sur un gabarit

En HTA, le rayon de courbure pendant la pose correspond à 16 fois le diamètre extérieur du câble, et ne doit pas être inférieur à 1 m [2].

Pour la HTB, les changements de direction doivent être exécutés de telle façon que les rayons de courbure du câble après pose ne soient pas inférieurs à 10 fois son diamètre extérieur.

#### **CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS**

Pour les branchements BT, il sera réalisé des accessoires de dérivations. Des matériels permettant des émergences de réseaux ou des branchements, tels des REM BT, ne seront pas installées dans la GMR sauf impossibilité de les mettre à l'extérieur dans le domaine public et à proximité de la limite de la propriété du client.

#### CONTRAINTES D'EXPLOITATION ULTERIEURES

Les câbles ou ensemble de câbles électriques doivent être munis d'un repérage permettant de les identifier sans ambiguïté [5].

Il est nécessaire de prévoir la possibilité de confectionner un accessoire de jonction ou de dérivation, pour les canalisations électriques, ce qui impose la prévision d'une surlargeur autour des canalisations et la possibilité de les déplacer provisoirement (l'accessoire double en moyenne la taille de la canalisation).

# **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

#### CHEMIN DE CABLES

Les chemins de câbles métalliques, les conduites métalliques nues et les autres masses doivent être reliées à un même conducteur de terre [2]. Cette mise à la terre peut être réalisée à l'aide d'un conducteur de cuivre nu, d'une section minimale d'au moins 25 mm², parcourant toute la galerie et convenablement mis à la terre aux deux extrémités, et, le cas échéant, aux prises de terre des immeubles traversés ou desservis. Les chemins de câbles métalliques peuvent jouer le rôle de conducteur de terre à condition de présenter une continuité électrique et une

conductance équivalentes et que des éléments ne puissent être démontés que si des mesures compensatoires sont prévues.

#### CABLE HTA

Une canalisation HTA se présente sous la forme d'une torsade de trois câbles. Dans le cas où la torsade est détoronnée et les câbles posés l'un à coté de l'autre (ou dans le cas de câble unipolaire), on veillera à effectuer des permutations de place en place pour éviter les déséquilibres électriques [5].

#### CONTRAINTES POUR L'INCORPORATION DE L'INTEGRATION DU RESEAU EN GALERIE

Si des galeries ne sont pas empruntées par les seuls câbles électrique, des conventions bi- ou multiparties doivent régler les principaux points techniques, de gestion, de responsabilité, d'entretien ainsi que les conditions assurant la sécurité des immeubles [4].

#### POSITION DU RESEAU

Dans une GMR, les canalisations électriques ne pourront être superposées qu'avec des réseaux de gaz ou de télécommunication [2].

On placera le gaz au-dessus des autres réseaux pour des raisons de sécurité et de commodité d'accès.

Les câbles HTA seront placés en dessous des câbles BT, également pour des raisons de facilité d'accès sur la BT [2] [5].

#### PRECAUTIONS TECHNIQUES

On évitera le croisement d'une canalisation de fluide quelconque dans la zone couvrant l'aplomb d'un joint installé sur une canalisation existante. Lorsque les canalisations voisines sont constituées par des tubes acier, il est souhaitable de réserver une distance de 0,50 m pour permettre la réalisation des soudures [2].

Lors de travaux dans la GMR, il faut veiller à éviter tous contacts de corps durs (outils métalliques à main) avec la canalisation pour ne pas endommager la gaine protectrice de cette dernière [1].

#### INCIDENCE SUR LA CONCEPTION DE L'INTEGRATION DU RESEAU EN GALERIE

#### TEMPERATURE D'UTILISATION, PRESENCE DU CHAUFFAGE URBAIN

Les intensités admissibles données dans le tableau 1, supposent que l'influence extérieure est négligeable, la température ambiante de 30°C incluant l'échauffement du câble lui même. Il est à noter qu'en cas de surcharge de courte durée ou lors d'un court circuit, l'isolant peut monter en température jusqu'à 250°C ce qui a pour effet thermique d'échauffer de façon importante l'air ambiant [5]. La capacité de transit des canalisations EDF va alors diminuer, mais ceci peut affecter également le fonctionnement des ouvrages des autres occupants de la galerie (adduction eau potable) [5]. En cas de température supérieure à 30°C, un facteur de correction est à appliquer sur l'intensité transitée dans la canalisation. En régime permanent, on applique un coefficient de 0.91 à 40°C et de 0.82 à 50°C [2].

#### PRECAUTIONS DE REALISATION

Les câbles ne doivent pas être immergés en permanence. Il sera donc nécessaire de prévoir des dispositifs permettant de pomper l'eau dans la galerie en cas de besoin [5].

#### RESEAU DE GAZ

Lorsque, dans le voisinage des canalisations électriques, il existe des canalisations de gaz, les mesures nécessaires seront prises pour assurer la ventilation régulière de la galerie pour éviter l'accumulation de gaz [2].

#### RESEAU ELECTRIQUE

Les câbles électriques de catégories différentes doivent être, soit placés sur des supports distincts, soit séparés par une cloison de résistance mécanique appropriée [2] [5].

Les accessoires des câbles électriques ne doivent pas engendrer d'effets mécaniques nuisibles à l'extérieur en cas de défaut interne. Ceci peut être obtenu par la conception même de l'accessoire ou par l'adjonction d'une protection mécanique adaptée à la nature de l'accessoire et à la puissance de court circuit [5].

# RESEAU DE TELECOMMUNICATION

De plus, les câbles électriques et ceux de télécommunication doivent être placés sur des supports distincts [5]. Les câbles électriques et de télécommunication ne peuvent donc être placés sur les mêmes consoles, dans le même chemin de câbles, dans un même faisceau, dans un même fourreau ou dans le même compartiment d'un caniveau [1].

# RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN

A proximité des conduites de vapeur ou d'eau chaude (chauffage urbain par exemple), il convient de prendre des dispositions pour qu'il n'y ait aucune influence thermique sur les canalisations électriques (éloignement, renforcement de l'isolation de la conduite, paroi isolante) [5]. Une feuille de calcul doit attester que l'échauffement maximal transmis par la conduite à la canalisation, est limité à 5°K (Kelvin) [2]

#### **CINDYNIOUE**

Lors de l'incorporation d'un réseau électrique dans une GMR, il faut veiller à la limitation à l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques [3]. Pour ce et en ce qui concerne la distribution d'énergie électrique en courant alternatif, la position des ouvrages par rapport aux lieux normalement accessibles aux tiers doit être telle que le champ électrique résultant en ces lieux n'excède pas 5kV/m et que le champ magnétique n'excède pas 100 µT dans les conditions de fonctionnement en régime de service permanent [1] [3].

Remarque: Les dispositions du nouvel arrêté technique du 17 mai 2001, dans son article 12 concernant la limitation de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques, n'ont pas d'incidence sur les techniques de distribution HTA et BT.

#### DISTANCES DU RESEAU PAR RAPPORT AUX AUTRES RESEAUX ET AUX PAROIS DE LA GALERIE

CANALISATIONS ELECTRIQUES

Les câbles peuvent avoir une influence thermique les uns par rapport aux autres. Dans le cas d'une galerie ventilée, l'effet de proximité est nul. Par contre, en l'absence de ventilation, les câbles doivent être posés à une distance d'au moins 30 cm l'un de l'autre. En cas d'espace restreint, un écartement de 20 cm seulement est applicable à la condition sine qua non, d'appliquer un coefficient de réduction de 10%, pour deux ou trois câbles, sur les intensités transitées [2] [5].

#### RESEAUX DE TELECOMMUNICATION

Une distance minimale aux ouvrages de télécommunication est de 0.20 m en croisement et de 0.40 m en voisinage [1]. Ces distances entre les câbles électriques et ceux de télécommunications doivent être maintenues, à moins qu'ils ne soient placés sous fourreaux ou séparés par des tablettes ou cloisons résistant au choc des outils métalliques à main. Les câbles électriques et ceux de télécommunications doivent être placés sur des supports distincts [1] [5].

#### CHAUFFAGE URBAIN

Si la température ambiante n'excède pas 30°C, les distances entre une canalisation électrique et une canalisation de chauffage urbain sont de 0.50 mètre en parcours parallèle et en croisement. Cette distance doit permettre la réalisation des soudures sur le réseau de chauffage, sans endommager la canalisation électrique avec les étincelles. Si la température ambiante est supérieure à 30°C, il est conseillé à proximité des canalisations de chauffage urbain de porter ces distances à 1,50 m en cas de parallélisme et à 0,50 m en cas de croisement [2] [5].

# RESEAUX DIVERS

Avec tous les autres occupants de la galerie, la distance minimale est de 0,50 mètre en parallèle et 0.20 mètre en croisement..

# PROPOSITION DE CLE DE SOL – DISTANCES VIS A VIS DES AUTRES RESEAUX

Les canalisations électriques sont sensibles aux projections d'eau, à la température (qui réduit la conductivité des câbles) et aux perturbations radio-électriques. Les distances ci-dessous tiennent compte de ces différentes contraintes. La distance de 0,5 mètre vis à vis des canalisations en acier (chauffage urbain, eau potable, etc.) permet de protéger les canalisations électriques des étincelles provoquées par la réalisation des soudures.

	Distances vis à vis d'une canalisation électrique (mètre)											
Parcours	Canalisations	Assainissement	Télé	coms	Gaz	Eau	Chauffage	Réseau				
	électriques		Sans	Avec		potable	urbain	de froid				
			fourreau	fourreau								
Parallèle	0,3 *	0,5	0,4	0,4 0,2		0,5	0,5	0,5				
Croisement	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2				

<u>Tableau 2 :</u> Récapitulatif des distances entre réseaux

<sup>\*</sup> cette distance peut être réduite à 20 cm si l'on admet une diminution de 10 % de l'intensité transitée ou si la qualité de la ventilation permet à la température de ne pas dépasser 30°C.

Les canalisations HTB peuvent être incorporées dans une galerie à condition quelles soient dans des fourreaux en polyéthylène haute densité.

#### **CONCLUSION**

Les canalisations en basse tension doivent être positionnées au-dessus des canalisations haute tension dite A, pour des raison d'accessibilité.

Les canalisations électriques, ne peuvent être superposées qu'avec les réseaux de gaz et de télécommunication.

Les canalisations reposent sur des chemins de câble métalliques mis à la terre via un conducteur métallique.

En parcours parallèle, une distance minimale de 0.50 mètre doit être maintenue vis à vis des réseaux dits humides et du gaz, 0.30 mètre vis à vis des autres canalisations électriques, 0.40 mètre vis à vis des télécoms sans fourreau et 0.20 mètre avec les télécoms avec fourreau.

Une distance minimale de 0.20 mètre en croisement doit séparer les canalisations électriques des autres réseaux sauf pour le chauffage urbain, où la distance doit être rapportée à 0.50 mètre.

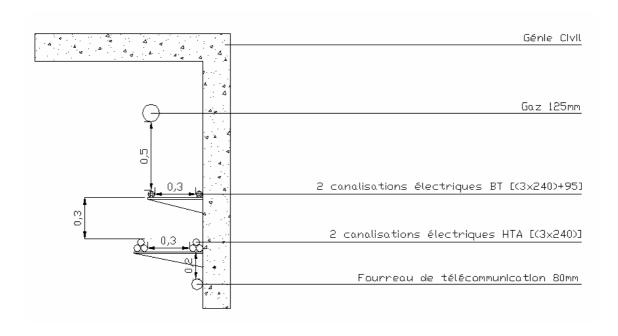


Figure 1 : Représentation des distances inhérentes aux canalisations électriques

# **Bibliographie**

- [1] Proposition d'arrêté interministériel fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.
- [2] Canevas technique pour la pose de canalisations en galerie technique visitable édité par EDF-GDF service, CTE-EDF de Marseille.

L'ensemble des données sont extraites de la norme NFC 11201, de l'arrêté interministériel du 02 avril 1991, du guide technique de la distribution EDF, de la norme interne EDF HN11S 01.

[3] Texte de Messieurs Raymon Hert et Philippe Camus

Géologie et pollutions électromagnétiques

http://services.worldnet.net/~cadique/electro.html

[4] Guide technique B 34-5 B35-5 Spécification EDF du 20 avril 1981 Réalisation des réseaux électrique souterrains dans l'espace rural

[5] Recommandations du projet national « Clé de Sol »

# ANNEXE 5

Fiche technique 'Gaz Combustible'

# FICHE III.A.2.C.

# Le GAZ

#### **INTRODUCTION: OBJET DU RESEAU**

Cette fiche s'applique aux réseaux de gaz combustible.

Les gaz distribués peuvent être secs ou humides plus légers que l'air (gaz manufacturé ou gaz naturel) ou plus lourds que l'air (P<sub>p</sub> ou AP) et sous pressions de distributions habituelles.

Basse pression jusqu'à 0.05 bar
Moyenne pression B 0.5 à 4 bars
C 4 à 25 bars

Nous pouvons donc rencontrer deux types de gaz :

Les gaz secs ne déposant pas de condensations dans les tuyauteries,

Les gaz humides pouvant déposer de la condensation dans les tuyauteries.

Une définition plus détaillée des différentes natures de gaz et des pressions de distribution est donnée par le D.T.U. 61-1 "Terminologie" Norme NF P45.204.

Pour permettre et faciliter l'implantation d'un réseau de gaz dans une galerie technique il est essentiel d'avoir Bonne ventilation, naturelle ou forcée, tant sous l'aspect assainissement de l'atmosphère (taux de renouvellement à l'heure de 2) que sous l'angle de la température (maintien entre 0° et 25°). On pourra préférer un contrôle permanent et préventif d'atmosphère à l'établissement à demeure de ventilations mécaniques ;

#### **MATERIAUX**

Les tubes en seront nécessairement en **acier** répondant aux spécifications ATG B.521 de la Société du Journal des Usines à Gaz [1] ou aux spécifications GDF.

D'autres types ou dimensions de tubes pourront ultérieurement s'ajouter à cette liste quand l'expérience aura montré l'intérêt de leur emploi.

#### **DIMENSIONS DU RESEAU**

Pour un réseau de distribution de gaz, les diamètres normalisés utiles sont compris entre 21,3 mm et 508 mm. Les diamètres usuels en galerie multi-réseaux sont généralement compris entre 100 et 150 mm.

#### **FOURNITURE**

Les longueurs usuelles sont de 6 mètres pour les diamètres inférieurs à 60,3 mm et 10 mètres au delà.

#### MODE DE POSE ENVISAGEABLE

Modes de fixation et de support

#### La fixation:

Les modes de fixation sont multiples. Le choix doit avoir pour critères les points suivants : la conduite doit être la plus libre possible dans le sens latéral pour quelques points de dilatation du métal ;

s'il existe quelques points fixes, en particulier comme ce peut être le cas au droit d'un piquage, ceux-ci doivent être tels que la conduite, sa peinture ou son revêtement ne puissent être détériorés par le serrage du collier (voir toutefois problème de mise à la terre) ;

tout mouvement de la conduite dû à la dilatation doit se faire librement et sans détérioration de la conduite, de sa peinture ou de son revêtement au droit des supports. Ceci conduira souvent à placer à ce niveau, une fourrure d'usure.

#### Le support :

Les supports peuvent être en béton, en acier galvanisé ou peint, en laiton, en aluminium... Des précautions particulières doivent être prises pour éviter des corrosions aux droits des supports corrosion d'autant plus à craindre que la canalisation est exposée aux intempéries ou à l'humidité.

#### **Position**

# Pose sur le sol d'un local:

La conduite doit être isolée du sol (humidité) et pour cela, posée sur des supports dont le dessus formé en gouttière reçoit la conduite et le ½ collier de fixation.

# Accrochage à un plafond :

La conduite est soit supportée par une potence soit par un câble et un collier.

Le seul problème réside dans la création de points fixes qui nécessitent des potences plus rigides et une immobilisation par collier.

#### Distance entre supports

L'espacement entre supports est au maximum celui donné par le tableau ci-dessous :

diamètre < 50 mm	40 mm < diamètre < 80	60 mm < diamètre < 250	diamètre > 250 mm
	mm	mm	
2 m	2,50 m	3 m	3,5 m

# **EQUIPEMENTS ANNEXES**

#### Organes d'obturation

Les seuls organes de coupure sont les robinets à tournant ou les obturateurs d'un modèle agréé par le distributeur. Les caractéristiques des organes de coupure seront déterminées selon les critères suivants :

Nature des conduites

Pression du gaz

Diamètre des conduites

La distribution à l'intérieur d'une galerie technique n'a aucune raison de se distinguer d'une distribution normale du point de vue du nombre et de l'emplacement des robinets qui commandent l'alimentation d'une conduite principale ou de dérivation, d'un branchement ou d'un poste de détente.

Une réserve est toutefois faite pour les conduites passant dans un fourreau d'assez grande longueur où du fait de l'inaccessibilité de la conduite aucun entretien n'est possible. Il faut

dans ce cas veiller à ce que les organes d'obturation nécessaires à l'éventuel isolement de la portion inaccessible soient situés assez près des sorties du fourreau.

Pour donner un ordre de grandeur, un robinet de sectionnement est financièrement parlant l'équivalent d'environ 10 mètres de conduite de même section. Il représente par ailleurs toujours un risque de perturbation de l'écoulement du gaz. Il faut donc en limiter l'emploi.

Il faut cependant, aisément et rapidement interrompre le gaz si un accident quelconque se produit sur une conduite. Pour cela, il faut veiller à :

- La facilité d'accès au robinet
- Accès facile
- Emplacement de la commande du robinet toujours dégagé
- Manœuvre facile et simple
- La rapidité de manœuvre après décision
- Distance à parcourir la plus courte possible
- Moyen de manœuvre disponible (clé-volant outil)
- Manœuvre brève
- L'analyse de la pression, car bien souvent en basse pression on peut travailler sur la conduite sans interrompre le gaz ou en utilisant d'autres organes d'obturation provisoire.

Joints isolants

Les joints utilisés sont les mêmes que ceux des conduites enterrées.

Organes de dilatation ou de mouvement

Afin d'éviter les joints caoutchouc, les manchons joints coulissants sont interdits.

On peut utiliser des lyres, des baïonnettes, des compensateurs à soufflets agréés par le distributeur.

#### Détendeurs

Le matériel de détente éventuellement introduit dans les emplacements étudiés est le même que celui des réseaux traditionnels mais doit être de type à fonctionnement pneumatique s'il n'est pas placé en plein air.

Les éléments électriques de transmissions d'information ou de télécommande doivent être du type étanche.

La même réglementation que celle des postes en fosse est à respecter : les évents du dessus de membrane ou de la soupape sont en particulier à évacuer à l'extérieur dans un lieu où le renouvellement de l'air est en permanence assuré de façon importante.

Les meilleures positions pour les organes d'un poste de détente sont :

en plein air

enterré

en local hors sol

Si l'une de ces positions ne peut être retenue, il est préférable de prévoir le réseau pour qu'aucune détente ne soit nécessaire dans des zones où le passage en galerie est adopté.

S'il n'est pas possible de retenir une des solutions précédentes et que le poste doive être placé en galerie, ses caractéristiques et la ventilation de son emplacement doivent être particulièrement étudiées.

#### CONTRAINTES DE TRACE ET DE POSE DU RESEAU

Repérage des conduites

Les conduites de gaz doivent être repérées par des marquages spéciaux et précisant la valeur de la pression MPB, MPC et le sens d'écoulement du gaz. Ces repères sont faits à l'aide de bagues ou de marques faites à la peinture ou tout autre moyen visible te ineffaçable. Sur le départ des alimentations particulières faites à partir des conduites maîtresses, doivent être placées des plaques donnant toutes précisions utiles sur l'alimentation (n° du bâtiment, du client, etc....).

#### **CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS**

Avec les immeubles limitrophes d'une galerie technique ou d'un caniveau

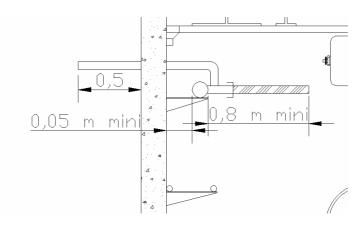
Il faut que l'atmosphère de la galerie ou de caniveau soit isolée de celui de l'espace qui en constitue le prolongement à l'intérieur des bâtiments.

Cet isolement est assuré:

soit par la terre, si les conduites passent dans le sol avant de rentrer dans l'immeuble (les trous de passage dans les murs du souterrain et de l'immeuble doivent être rendus étanches par un mastic);

soit par un mur ou une plaque étanche, si les branchements eux-mêmes empruntent des galeries ou des caniveaux prolongés à l'intérieur.

Dans ce cas également la conduite de gaz traverse cette paroi en fourreau, l'intervalle entre tube et fourreau étant bourré de mastic d'étanchéité non hygroscopique.



La canalisation en acier du piquage, doit sortir de 50 cm au minimum de la galerie avant d'être raccordée à la canalisation alimentant l'habitation. Ce branchement pouvant être composé d'un matériau autre que l'acier.

Pour permettre la réalisation des soudures, il est impératif de prévoir une sur largeur latérale d'environ 0,8 mètre pour la mise en œuvre de la machine à soudure.

### CONTRAINTES D'EXPLOITATION ULTERIEURES

Consignes d'entretien courant des ouvrages gaz

Un entretien courant consiste en:

- la réfection de la peinture ou du revêtement extérieur des tubes,
- la réparation provisoire d'une fuite par bande ou pose d'un collier, etc.

Consignes de gros entretien des ouvrages gaz

S'il s'agit d'une réparation définitive de fuite ou du démontage d'un élément de l'ouvrage l'atmosphère de la galerie peut être incidemment viciée.

L'allumage d'une flamme quelconque ne doit être réalisé que lorsque toute trace de gaz combustible a disparu.

On porte au maximum la ventilation du tronçon de galerie intéressé en utilisant les moyens permanents de ventilation et s'ils ne s'avèrent pas suffisants un ventilateur mobile.

Si l'opération nécessite la purge de la conduite celle-ci doit être obligatoirement faite à l'extérieur de la galerie en installant, si nécessaire, un piquage avec robinet pour raccordement par un flexible à l'atmosphère extérieure. Ces robinets peuvent éventuellement être prévus à la construction. Il faut alors installer un piquage de part et d'autre de chaque robinet de barrage de conduite d'alimentation.

#### **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

#### Généralité

Les ouvrages une fois réalisés doivent être entretenus et sont le siège de manœuvre et parfois de travaux.

La cadence et la qualité de l'entretien doivent permettre le maintien des ouvrages dans un parfait état de service et de propreté.

Les manœuvres et les travaux doivent être réalisés avec le souci de respecter la sécurité des personnes et des ouvrages.

Les ouvrages doivent être visités périodiquement, la fréquence étant fonction de leurs caractéristiques.

La visite doit porter sur :

la vérification de l'absence de gaz dans l'atmosphère de la galerie,

l'état extérieur de la protection des tubes surtout au droit des supports et des joints de dilatation,

le bon état des conducteurs de terre et des joints isolants,

l'étanchéité des robinets et, après graissage, leur bon fonctionnement par un essai de décollement.

# Entretien sur le réseau

S'il s'agit d'une réparation définitive de fuite ou du démontage d'un élément de l'ouvrage l'atmosphère de la galerie peut être incidemment viciée.

Ces travaux doivent, de ce fait, être réalisés autant que possible par 3 agents au minimum, l'un d'eux restant à l'extérieur de la galerie au niveau de l'orifice d'accès ou de ventilation la plus proche du lieu du travail.

L'allumage d'une flamme quelconque ne doit être réalisé que lorsque toute trace de gaz combustible a disparu.

On porte au maximum la ventilation du tronçon de galerie intéressé en utilisant les moyens permanents de ventilation et s'ils ne s'avèrent pas suffisants un ventilateur mobile.

Si l'opération nécessite la purge de la conduite celle-ci doit être obligatoirement faite à l'extérieur de la galerie en installant, si nécessaire, un piquage avec robinet pour raccordement par un flexible à l'atmosphère extérieure. Ces robinets peuvent éventuellement être prévus à la construction. Il faut alors installer un piquage de part et d'autre de chaque robinet de barrage de conduite d'alimentation.

Protection contre corrosion chimique Tubes revêtus (acier) :

Ils peuvent être protégés de la même manière que les conduites enterrées par un revêtement PE.

Pour ces tubes, la même réglementation que pour les canalisations enterrées est a respecter pour la confection, la réparation, le contrôle, éventuellement la protection du revêtement.

En galerie technique, ces tubes sont interdits, s'il existe dans la galerie des conduites de chauffage urbain.

# Tubes acier peint:

La protection doit être assurée par des peintures faisant parties d'un système agréé par le distributeur.

Protection contre les dégradations par courants vagabonds

Ces courants peuvent provenir:

- du réseau de distribution de gaz,
- des installations intérieures,
- des autres ouvrages voisins

# Organe d'isolement électrique :

La conservation des ouvrages acier enfouis dans le sol est généralement assurée par une protection électrique dont on a intérêt à pousser le plus loin possible l'influence.

Ce n'est donc que dès qu'il n'est plus possible d'assurer l'isolement de l'ouvrage aval contre tout contact direct ou indirect avec une terre quelconque qu'il faut placer un joint isolant.

Si la zone non protégeable est assez courte et si le réseau se poursuit ensuite dans des zones normalement protégeables la zone intermédiaire peut être isolée par 2 joints isolants et les zones extrêmes reliées par un câble électrique.

Ces joints doivent être d'un type agréé par le distributeur et munis de dispositifs de mesure d'isolement.

# Venue de courant des installations intérieures :

Les prises de terre des appareils ou des installations intérieures sont en principe reliées aux conduites d'eau ou à une terre générale d'immeuble. Les courants qui circulent dans les ouvrages gaz intérieurs au bâtiment, sont de ce fait, assez faibles. Il est donc préférable de mettre ces ouvrages au même potentiel que le bâtiment.

Ceci peut être réalisé par contact entre le métal des conduites et celui de leurs supports. Il faut toutefois que ce contact soit franc sinon les métaux en présence risquent d'être détériorés par des arcs électriques. Comme d'autre part, comme indiqué plus haut, il est souvent fait appel à des matières plastiques pour faciliter le glissement sur les supports, il paraît préférable d'assurer de loin en loin des liaisons par câbles électriques entre la conduite et le métal des armatures du béton armé.

Il n'est donc pas nécessaire de placer de nouveaux joints isolants, par exemple entre les conduites générales et les conduites montantes.

Les conduites doivent être isolées de leurs supports si le métal de ceux-ci est différent de celui de la conduite et si le milieu ambiant est susceptible d'être humide.

#### Venue de courant des autres ouvrages :

Il faut que les conduites gaz soient en tout point isolées des autres ouvrages.

# Protection contre les variations de température

Les variations de température entraînent des dilatations ou des contractions longitudinales des tubes et une variation de la température du gaz véhiculé.

Pour éviter au métal du tube des contraintes anormales, il faut, sauf en quelques points fixes, ménager aux tubes une liberté de déplacement. Cette liberté peut toutefois ne pas suffire à compenser les effets de la dilatation. On doit alors incorporer de loin en loin des organes de dilatation qui sont constitués par des lyres ou des baïonnettes ou des compensateurs à soufflets.

Quel que soit le modèle utilisé, il faut pour répartir la dilatation, bloquer la conduite en un point entre deux organes consécutifs.

Les compensateurs sont par ailleurs soumis à des efforts latéraux ou longitudinaux, d'autant plus importants que la pression de service est plus élevée. Etant appelés à "jouer" ils sont sujets à une fatigue qui peut amener leur détérioration (fissuration) plus rapide que la conduite. Il faut, de ce fait, prévoir leur accès facile pour leur contrôle périodique et, le jour venu, leur renouvellement.

Le nombre, la qualité et l'importance de ces compensateurs sont fonction de la nature du métal, de la variation totale de température et de la longueur de la conduite.

Dilatation longitudinale en mm							
Nature du métal 10° 20° 30°							
Acier	0,12	0,24	0,36				
Cuivre	0,17	0,34	0,51				
Aluminium	0,24	0,48	0,72				

Dès que les variations de températures risquent de dépasser 30°C, il est nécessaire de calorifuger ou de protéger la conduite de gaz.

Un organe de dilatation n'est pas nécessaire quand la conduite est encastrée car sa dilatation suit celle du béton dont elle est prisonnière.

#### Protection contre les mouvements de terrain ou d'immeubles

Les canalisations peuvent subir des contraintes importantes du fait du mouvement des terrains et surtout des bâtiments. Si les mouvements à craindre sont importants, il faut placer sur les conduites des organes de compensation analogues aux organes de dilatation. Ces derniers judicieusement placés peuvent d'ailleurs en faire office.

Les risques de dégradation sont particulièrement importants quand un encastrement, une conduite traverse un joint de dilatation de bâtiment.

#### Protection contre les chocs

La position des conduites de gaz doit les mettre à l'abri des chocs dus aux passages des personnes et du matériel ou à des interventions sur d'autres ouvrages voisins.

En galeries techniques ou en galeries ou espaces de circulation, elles doivent être placées de préférence sur des parois verticales et en partie haute de celles-ci.

Les conduites ne doivent pas couper une ouverture de porte ou de baie au-dessous de leur linteau.

# Protection contre la foudre

Pour les raisons invoquées précédemment les conduites sont placées au même potentiel que la bâtiment grâce à des contacts francs établis de loin en loin avec les masses métalliques du bâtiment.

# CONTRAINTES VIS A VIS DES AUTRES RESEAUX EN GALERIE

# Chauffage urbain

La présence de conduites du chauffage urbain peut être responsable d'élévations importantes et anormales de température surtout si les calorifuges ou la ventilation sont insuffisants. Dans le cas où la température dans la galerie est susceptible de dépasser 25° à 30° C, il est nécessaire de calorifuger également la conduite de gaz pour éviter un échauffement du gaz préjudiciable aux abonnés (augmentation des volumes de gaz enregistrés au compteur). Le calorifuge doit être réalisé avec précaution pour éviter toute oxydation de la conduite proprement dite, du fait de l'humidité ou des condensations. Dans le cas de conduites acier, il paraît préférable d'utiliser comme première protection, au lieu de peinture, des bandes isolantes ou du revêtement C. L'essai d'isolement électrique permet en effet de s'assurer avant pose du calorifuge de la qualité de l'isolement de l'acier.

#### Canalisation d'eau

Les tuyauteries de gaz doivent être désaxées par rapport aux canalisations d'eau. La distance entre les génératrices les plus proches des deux conduites doit être au moins égale à 0,20 mètre(en parallèle et en croisement)

De façon générale, la conduite de gaz est placée à un niveau supérieur à celui de la canalisation d'eau.

#### Canalisation électrique

En parcours parallèle comme aux croisements, une distance minimale d'au moins 0,20 mètre doit séparer les tuyauteries de gaz des câbles électriques et téléphoniques, de toute canalisation susceptible d'être parcourue normalement par un courant électrique et des conducteurs de paratonnerre.

Si cela n'est pas possible, le tuyau doit être placé dans un fourreau électriquement isolant (amiante-ciment, béton, PVC, etc.) dont les extrémités sont éloignées du câble de 0,20 mètre au moins.

#### Chauffage Urbain

Gaz de France utilise un logiciel qui permet de connaître en fonction de la distance et de la température de surface des conduites de chaleur, la température à laquelle est soumise la conduite de gaz. Le distributeur doit être alerté et effectuera les calculs en fonction des données.

A titre d'information et sous réserve des calculs évoqués ci-dessus, la distance minimum de croisement est de 20 cm et la distance entre conduites parallèles est portée à 50 cm

Si cette distance ne peut être respectée, plusieurs solutions sont possibles :

- interposition d'écrans thermiques : plaques type éternit ; polystyrène haute densité,...
- pose sous fourreau ventilé de l'ouvrage, positionné par des centreurs et pose d'évents aux extrémités.

# DISTANCES DU RESEAU PAR RAPPORT AUX AUTRES RESEAUX ET AUX PAROIS DE LA GALERIE

Le choix de l'emplacement de la conduite de gaz doit être guidé par les considérations suivantes :

- Elle doit être la plus accessible possible, c'est-à-dire que les opérations de contrôle, d'entretien ou de réparation ne doivent pas être gênées par des ouvrages voisins qu'il s'agisse de conduites, d'appareils, de supports ou de génie civil. Il faut à ce point de vue respecter les distances minimales suivantes par rapport au génie civil : 5 cm; aux autres ouvrages : 20 cm voire 50 cm ou plus pour le réseau de chaleur.
- Elle doit être placée dans la zone de la section du passage la moins humide possible. A ce titre, il est préférable de la placer dans la zone haute au-dessus des conduites d'eau.

• Sa position à droite ou à gauche doit être choisie en fonction de la direction des piquages.

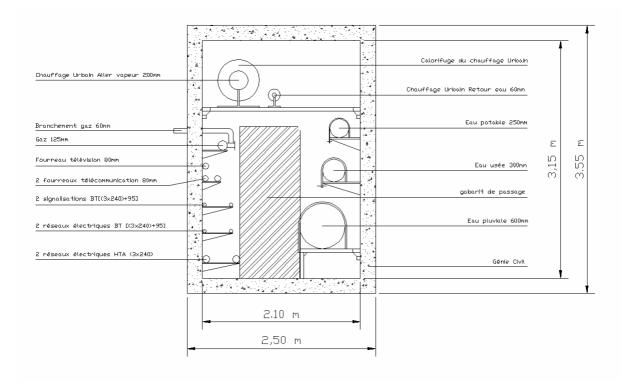
• Elle doit être le plus éloigné possible des conduites de chauffage urbain.

	Distances minimales vis à vis d'un réseau de gaz (mètre)								
Parcours	Canalisations	Assainissement	Télécoms		Gaz	Eau	Chauffage	Réseau	
	électriques		Sans	Avec		potable	urbain	de froid	
			fourreau	fourreau					
Parallèle	0,2	0,2	0,2	0,2		0,2	0,5 à	0,2	
							confirmer		
							par calcul		
Croisement 0,2					0,2 (à c	onfirmer par	calcul)		

#### **CONCLUSION**

LE GAZ REPOSE SUR SON SUPPORT PROPRE.

Le gabarit de passage permet de loger sans trop de difficulté, la sur largeur de 0,8 mètre permettant d'effectuer les soudures.



# ANNEXE 6

Fiche technique 'Chauffage Urbain'

#### Fiche III.A.2.e.

# LES RESEAUX THERMIQUES

#### INTRODUCTION

Cette fiche traitera essentiellement du réseau de distribution de chauffage urbain véhiculant de la vapeur d'eau ou de l'eau surchauffée. La température maximale du fluide est de 250°C pour une pression maximale de 40 bars. Cependant, il est tout à fait possible d'appréhender le fonctionnement d'un réseau de froid en parcourant cette fiche, car la technologie de fonctionnement de ce dernier se rapproche de près du fonctionnement d'un réseau de chaud. Les contraintes thermiques sont cependant totalement différentes ainsi que la quantité d'isolant thermique.

Un réseau de transport ou de distribution de chaleur ou de froid est un système fixe permettant de livrer, en un ou plusieurs points, l'énergie thermique, calorifique ou frigorifique, prélevée en une ou plusieurs sources. Ces systèmes fixes tel que défini ci-dessus transportent et distribuent de l'énergie calorifique en empruntant les voies publiques ou privées.

Un réseau thermique est complexe dans sa structure et son fonctionnement difficilement appréhensible. Les canalisations comportent de nombreux composants modifiant l'écoulement du fluide et devant supporter les mêmes contraintes thermiques que la tuyauterie. Tous ces organes doivent être connus pour être intégrés dans une GMR.

Le vecteur énergétique peut être [2] :

- De l'eau :
  - o Température aller entre 120 et 180°C
  - o Pression entre 8 et 40 Bar
  - o Température de retour entre 80 et 120°C
- De la vapeur d'eau :
  - o Température aller avoisinant les 250°C
  - o Pression de l'ordre de 20 Bar
  - o Canalisation de retour d'eau à une température approchant les 50°C.
- Un fluide caloporteur (huile minérale, etc.)

Le choix du fluide caloporteur dépend de plusieurs paramètres tels que :

- L'importance de la clientèle à desservir
- La longueur des canalisations de transport
- Le relief de l'agglomération
- La nature des sources

Un réseau de chauffage urbain par de l'eau surchauffée, également appelé « réseau haute température », caractérise la plupart des chauffages urbains réalisés en France dans les années 60 et desservant plus de 5 000 logements. Dans un tel système, les canalisations aller-retour sont du même diamètre.

Dans un système de chauffage urbain par vapeur, la vapeur circule dans le tuyau aller, se condense dans un échangeur pour revenir par la tuyauterie retour sous forme d'eau à la chaufferie. Ce système est particulièrement intéressant pour desservir des zones à forte densité de population. Le tuyau de retour a un diamètre généralement deux fois plus petit que le tuyau

aller. Ainsi, l'encombrement d'un réseau vapeur est de 20 à 30 % inférieur à celui d'un réseau d'eau surchauffée et les investissements correspondant sensiblement réduits.

Il existe un type de réseau de chauffage d'eau chaude à basse température. La température de départ est inférieure à 110°C avec une faible pression, de l'ordre de 6 bar. Ce réseau est bien adapté pour un nombre de logements ou équivalents-logements raccordés inférieur à 5000.

#### **DIFFERENTS MATERIAUX UTILISABLES**

#### **CANALISATIONS**

Dans le cas d'un réseau de vapeur d'eau ou d'eau surchauffée, la tuyauterie et ses accessoires sont en ACIER [2].

ISOLANT THERMIQUE

L'isolant thermique, c'est à dire le calorifugeage d'un réseau de chauffage sert à :

- Limiter les déperditions en ligne du fluide caloriporteur,
- Limiter l'impact du vecteur thermique sur la température ambiante.

Les matériaux les plus employés pour réaliser un calorifugeage sont :

- La laine de verre,
- La laine de roche volcanique.

Leur classe de réaction au feu doit être égale à M0, c'est à dire incombustible.

L'état de structure de l'isolant doit être indéformable dans le temps, c'est à dire être élastique. L'isolant doit en outre, présenter aucun défaut préjudiciable à son efficacité (écrasement, présence d'humidité, etc.). La ou les couches de l'isolant thermique sont recouvertes d'une protection en tôle inoxydable dans le cas d'une installation en galerie. Il est à noter que la canalisation de vapeur et la canalisation d'eau sont calorifugées dans le cas d'un réseau de chauffage par vapeur.

Tous les ouvrages annexes, de type robinetterie, purgeurs, brides, etc., doivent au même titre que les canalisations, comporter un isolant thermique. Cette isolant peut être incorporé dans une enveloppe de tissu de verre munie pour les fixations de sangles en tissu de verre, avec des boucles en acier inoxydable. Les purgeurs thermostatiques ne doivent pas être calorifugés. La température de potabilité de l'eau est de 25°C et ce, quelque soient les conditions climatiques. La température ambiante du milieu d'implantation de ce réseau, ne doit donc pas dépasser ces 25°C. Lorsqu'un réseau de chauffage urbain est installé en galerie, il est primordial de déterminer au plus juste l'épaisseur du calorifuge, permettant de ne pas modifier « ou très peu » la température ambiante de l'ouvrage. Les paramètres à prendre en compte pour la détermination de l'épaisseur du calorifuge sont :

La profondeur dans le sol de l'ouvrage. Une galerie profonde (10 mètres dans le sol) aura tendance à retenir plus facilement la température ambiante car elle rencontrera plus de difficultés pour l'évacuer. Rentrent donc en compte, le matériau utilisé pour la structure, son épaisseur et la géométrie de l'ouvrage.

La longueur qui jouera sur les phénomènes de tirage. Plus l'ouvrage sera long, plus le tirage sera médiocre.

La ventilation. Les échanges thermiques par convection seront améliorés si une bonne ventilation est assurée.

Le type d'isolant et sa protection.

Le diamètre et le type de conduite, qui modifient la déperdition le long de la canalisation et donc les échanges thermiques.

La température de peau désirée et donc la température ambiante désirée. Etc.

Pour satisfaire aux conditions thermiques, il est conseillé d'accroître l'épaisseur du calorifuge d'environ 40%. Ce résultat théorique déterminé à partir d'une installation de réseau de chauffage par vapeur d'eau, donnant une température de peau de 70°C pour un fluide à 200°C, une installation en caniveau technique et une épaisseur connue de calorifuge. Les calculs sont explicités dans l'encart en fin de fiche.

#### **DIMENSIONS USUELLES**

Les différents diamètres des tuyauteries d'un réseau doivent permettre la circulation du débit du vecteur énergétique nécessaire pour obtenir la puissance d'exploitation maximale prévue disponible en chaque point du réseau [2].

Les diamètres extérieurs sans calorifugeage usuels pour ce type de réseaux sont : 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500.

#### LONGUEURS UTILES

Les tronçons des canalisations en acier varient entre 6 et 8 mètres selon le diamètre de la conduite.

#### MODE DE POSE ENVISAGEABLE

Toute fixation d'une tuyauterie par colliers serrés est à proscrire, l'utilisation de berceau est préférable.

En règle générale, les tuyauteries sont supportées par des patins, guidées et fixées.

Les tuyauteries s'appuient sur des patins reposant sur des plaques de glissement. L'intervalle entre deux patins consécutifs est fonction du diamètre des tubes mais un ordre de grandeur de 4 mètres peut être donné. Il est recommandé de poser des patins support de chaque côté de points fixes, guidages, coudes, pour le réglage de la tuyauterie et faciliter la maintenance. La présence d'une robinetterie ou d'un appareil à bride sur une tuyauterie nécessite des supports ou suspensions de part et d'autre en vue d'un démontage éventuel. Le système de support (patins) et d'ancrage doit être réalisé en prenant toutes les dispositions propres à assurer la parfaite stabilité de la canalisation compte tenu des caractéristiques physiques du site où elles est installée [2].

Les patins, guidages et points fixes sont fixés à la tuyauterie par soudure continue à l'arc électrique.

Les tuyauteries soumises aux dilatations de branches non horizontales sont supportées par des dispositifs élastiques généralement articulés.

Les matériaux constitutifs ou le revêtement des supports, guidage et points fixes doivent être résistants à la corrosion humide et leur conférer de ce fait la même espérance de vie que celle des tuyaux. Leur forme et leur position ne doivent pas gêner l'écoulement éventuel d'eaux de condensation ou de ruissellement [2]. Il est recommandé de supporter les canalisations pardessous pour éviter la pénétration des eaux de condensation [page 9 de la norme XP E 39-004 Ouvrage pour canalisation aérienne et en galerie].

Les performances thermiques des supports doivent être adaptées à la qualité de l'isolation recherchée.

# **ÉQUIPEMENTS ANNEXES**

Les tuyauteries comportent trois organes complémentaires et indissociables des patins supports. Ce sont :

- Les points fixes,
- Les guidages,
- Le ou les dispositifs de compensation.

#### POINTS FIXES

Afin de contrôler la dilatation d'une conduite, celle-ci doit être ancrée aux extrémités ou en des points intermédiaires par des points fixes solides. Ces points fixes bloquent en translation et en rotation la tuyauterie.

L'emplacement d'un point fixe se décide au cas par cas en fonction du tracé de la tuyauterie. On veillera cependant à limiter la distance entre deux points fixes à 100 mètres.

Il est important de prévoir des points fixes régulièrement pour permettre des départs de canalisation.

#### LES GUIDAGES

Afin d'éviter le flambement et de limiter la déformation transversale des conduites provenant des dilatations, on monte les tuyauteries avec des guidages, en particulier à proximité des compensateurs. Ces guidages bloquent la tuyauterie en translation et en rotation latérales, tout en laissant libre la translation et la rotation longitudinales.

# LES DISPOSITIFS DE COMPENSATION

#### COMPENSATION NATURELLE

Dans le cas d'une installation judicieuse des points fixes, chaque tronçon de tuyauterie entre deux points fixes est capable d'absorber sa propre dilatation sans contrainte excessive.

Il existe de nombreux montages permettant de reprendre les efforts de dilatation, tels que le montage en L, en baïonnette ou en lyre de dilatation. Ces montages sont réalisés avec les canalisations.

Les dispositifs de ces dispositifs doivent être calculées par un bureau d'études compétent. Les dispositifs de compensation naturelle seront de grandes dimensions si le linéaire de conduite à reprendre est important. Pour cela, il est vivement recommandé de limiter la reprise des dilatations en positionnant un dispositif de compensation tous les 100 mètres environ.

Un dispositif de compensation naturelle est donc un ouvrage encombrant.

# **COMPENSATEUR**

Un compensateur est un système à soufflet destiné à absorber les déplacements liés à la dilatation (figure 1). Sur notre figure, la déformation suit l'axe de la canalisation.

Les compensateurs qu'ils soient axiaux ou à déplacement latéral, présentent sur les lyres les avantages suivants :

Encombrement moindre

# Perte de charge plus faibles

Cependant, ils sont relativement plus onéreux et leur longévité moyenne est de l'ordre d'une quarantaine d'années.

Les compensateurs s'intègrent parfaitement dans une galerie car leur encombrement est à peu près le double que celui de la conduite sur laquelle ils sont fixés. Il est préférable d'utiliser des compensateurs latéraux lors d'un parcours linéaire des canalisations de chauffage.

Les compensateurs peuvent reprendre une longueur moyenne de conduite d'environ 100 mètres. La fréquence d'installation est donc de 100 mètres.

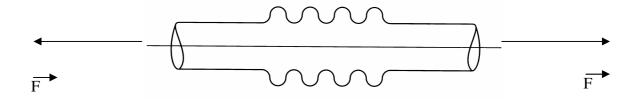


Figure 1 : représentation schématique d'un compensateur axial

La lyre de dilatation est un ouvrage encombrant pouvant être difficilement placée dans une galerie. Aux yeux de Clé de Sol, l'emploi d'un système de compensateur axial est préférable en vue d'économiser l'espace intérieur. Cependant, les opinions sont tellement disparates en la matière que certains concessionnaires de réseaux préféreront l'utilisation de systèmes de compensation naturelle, plus durables et économiquement plus rentables. Il faut donc adapter la géométrie de la galerie en fonction du choix technique adopté.

#### **AUTRES ACCESSOIRES**

Il existe bon nombre d'équipements complémentaires. Nous pouvons citer, les réductions, les fonds bombés, tubes et accessoires pour les ouvrages spéciaux, les tés de raccordements, brides. La connaissance de ces équipements est bien entendu nécessaire, mais leurs encombrements réduits n'imposent pas d'attention particulière.

#### SECTIONNEMENT

La robinetterie d'isolement permet d'isoler une partie plus ou moins importante du réseau pour effectuer des travaux de maintenance ou de modification.

Les robinets peuvent être à vannes ou à papillon. Les robinets vannes sont recommandés pour minimiser les pertes de pression à l'écoulement. Les robinets à papillon, moins avantageux de ce point de vue, offrent un encombrement et un poids réduit intéressant pour minimiser la dimension des ouvrages et faciliter les opérations d'exploitation.

Pour accéder à la robinetterie, il est nécessaire de ménager une possibilité de circulation. De ce fait, la meilleure solution est de créer des chambres de purge environ tous les 100 mètres. Dans ces chambres, il est judicieux de positionner l'ensemble des équipements encombrants, c'est à dire non seulement les robinets de sectionnement, mais également les purgeurs, les condensats, les éjecteurs, les pompes, les purges, etc. Ces chambres sont donc des ouvrages annexes à la galerie.

#### CONTRAINTES DE TRACE ET DE POSE DU RESEAU

Un réseau de distribution d'énergie calorifique comporte une canalisation de parcours aller ainsi qu'une canalisation de parcours retour. Le circuit de distribution fonctionne donc en circuit fermé.

Pour faciliter la réalisation des amarrages, les démontages, l'entretien et la non exposition des autres réseaux aux eaux de condensations, il est recommandé de positionner le réseau de chauffage urbain au niveau du radier de la galerie. La conduite de retour devra surplomber la conduite aller

# **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

#### PROTECTION CATHODIQUE

Il est essentiel de protéger cathodiquement le réseau de chauffage pour le rendre pérenne [4]. Dans le cas d'une installation en GMR, l'air ambiant chargé de vapeur d'eau (eau de condensation du chauffage urbain, eau d'extraction des réseaux d'assainissement, eau d'infiltration, etc...) peut altérer profondément la structure des canalisations [1].

La protection cathodique est la technique permettant de conserver dans son intégrité la surface extérieure des canalisations métallique enterrées ou immergées en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant, c'est à dire la corrosion [1] [4].

Il existe deux moyens de protéger cathodiquement une canalisation, en effectuant soit :

Une protection dite passive, constituée d'un revêtement extérieur dont le rôle est de créer un effet barrière électrique entre le métal des canalisations et le milieu environnant [2] [3] [4]. Cependant, ce type de protection présente des imperfections dues aux blessures par chocs que subira le réseau durant sa vie [5].

Une protection dite active, consistant à amener l'ensemble du réseau à un potentiel suffisament négatif pour rendre le métal entièrement cathodique.

Cette protection se doit en outre d'être efficace contre les courants vagabonds [4].

Ces remarques sont essentielles lors d'une utilisation de canalisations en acier non galvanisé destinées à être calorifugées. Elles doivent être revêtues sur toute leur périphérie d'une couche continue d'un produit anticorrosion de type peinture ou enduit, compatible avec le matériau du calorifuge et la température du fluide transporté [1].

Dans le cas d'un réseau de froid, une protection pare-vapeur doit être ajoutée [1].

#### **CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS**

En galerie, les branchements peuvent être réalisés avec un angle compris entre 0 et 90° par rapport à l'axe de la canalisation principale [4]. Il est fortement déconseillé de réaliser un branchement avec un angle négatif pour ne pas occasionner de dépôt dans la canalisation [4]. Le parcours des branchements doit être le plus rectiligne possible [4].

#### CONTRAINTES D'EXPLOITATION ULTERIEURES

L'insertion d'un réseau thermique à l'intérieur d'une galerie nécessite l'emploi de nombreuses précautions. Il est nécessaire de connaître les autres occupants de l'infrastructure pour pouvoir traiter les problèmes [4] :

- de croisements,
- de cheminements parallèles,
- d'accès de personnels et moyens d'exploitation,

- de risques d'envahissement par des eaux ou un autre fluide,
- de voisinages thermiques,
- de sensibilités des ouvrages voisins à la température,
- de contraintes techniques locales.

# CONTRAINTES POUR L'INCORPORATION DU RESEAU EN GALERIE

Les seuls réseaux pouvant apporter une gêne au bon fonctionnement d'un réseau de chaud ou de froid, sont les réseaux dit humides. Les réseaux d'assainissement d'eaux usées, d'eaux pluviales ainsi que les réseaux d'eau potable peuvent endommager les canalisations de chaud et de froid [4] lors d'une fuite ou d'une décharge. La canalisation du réseau de chauffage étant en acier, elle peut être soumise aux effets d'oxydation. L'isolant thermique a de plus, l'inconvénient de stocker facilement en son sein, l'humidité ambiante [4]. Il est donc essentiel d'éviter de mettre en contact ce réseau avec de l'eau, pour cela il est indispensable de le surélever au moyen d'un support.

#### INCIDENCE SUR LA CONCEPTION DE L'INTEGRATION DU RESEAU EN GALERIE

La principale contrainte qu'entraîne l'appartenance du réseau de chauffage urbain à un ouvrage tel qu'une galerie, est l'accroissement de la température ambiante à l'intérieure de l'infrastructure [4]. Les normes en vigueur obligent à prendre des mesures de limitation de ce gradient thermique en positionnant un nombre d'orifices optimum aux endroits stratégiques de la GMR. Il est à noter que la température interne de l'ouvrage visitable ne doit pas excéder de plus de 15°C la température extérieure lorsque celle-ci dépasse 30°C [2].

L'ouvrage de génie civil qui contient les tuyauteries est particulièrement sollicité aux fissurations et au « faïençage » lors des refroidissements qui peuvent intervenir en cours d'exploitation soit au fait d'arrêts prolongés, soit du fait de la montée de la nappe phréatique. Il peut en résulter des pénétrations d'humidité, voire d'eau, extrêmement préjudiciables [2][4].

# DISTANCES DU RESEAU PAR RAPPORT AUX AUTRES RESEAUX ET AUX PAROIS DE LA GALERIE

L'assemblage des différents matériaux d'un réseau thermique s'effectue par soudure à l'arc. Une distance minimale de 40 cm autour des conduites est recommandée pour autoriser l'opération de soudure [1].

#### EAU POTABLE

L'augmentation de la température ambiante, induite par la présence en milieu confiné du réseau de chauffage urbain, ne doit en aucune façon faire accroître la température de l'effluent du réseau de distribution d'eau potable. La température de cette eau ne doit pas excéder 25°C [4]. Il n'existe aucune norme visant à réglementer l'écartement entre ces deux réseaux. Cependant, il est préférable qu'ils soient séparés par une distance environ égale à la largeur de passage dans la galerie [4]. Dans le cas contraire, il est possible de limiter l'évolution du gradient thermique en augmentant l'épaisseur de calorifugeage du réseau de chauffage urbain.

GAZ

Tout comme pour le réseau d'adduction d'eau potable, il n'existe pas de réglementation en vigueur imposant une distance minimale entre un réseau de chauffage urbain et un réseau de gaz. Il faut cependant veiller à séparer le plus possible ces deux réseaux, pour ne pas entraîner une trop grande dilatation du gaz combustible, ce qui pourrait avoir des conséquences sur la consommation.

#### PROPOSITION DE CLE DE SOL – DISTANCES VIS A VIS DES AUTRES RESEAUX

Ce réseau n'occasionne pas de contrainte de distance. Cependant, pour satisfaire aux conditions de manœuvrabilité et d'entretien, Clé de Sol préconise une distance de 20 cm à partir de la peau extérieure du calorifuge.

Il n'existe pas de prescriptions techniques pour les croisements. Clé de Sol préconise de laisser 10 cm entre deux réseaux pour assurer la maintenance et l'accessibilité.

	Distances vis à vis d'un réseau de chauffage urbain (mètre)								
Parcours	Canalisations	Assainissement	Télécoms Gaz Eau			Chauffage	Réseau		
	électriques		Sans Avec			potable	urbain	de froid	
			fourreau	fourreau					
Parallèle	0,2							0,2	
Croisement			0,1					0,1	

Ces distances sont réputées valables dans la mesure où la température de peau du calorifuge ne dépasse pas 25°C.

# CONTRAINTES TECHNIQUES VIS A VIS DU GENIE CIVIL DE L'OUVRAGE

Les canalisations peuvent être indifféremment supportées ou suspendues [1] bien qu'il soit préférable de supporter les canalisations par-dessous pour éviter la pénétration des eaux de ruissellement [2].

#### CONCLUSION: REMARQUES ET PROPOSITIONS DU PROJET NATIONAL CLE DE SOL

Le réseau de chauffage doit être écarté le plus possible des réseaux de gaz et d'eau potable. Il faut évidemment veiller à ne pas dépasser une température ambiante de 25°C pour assurer une qualité de potabilité à l'eau potable. Il est donc essentiel de s'assurer à la qualité de l'épaisseur du calorifuge.

Par ailleurs, nous préconisons, dans la mesure du possible, de mettre les éléments les plus sensibles vis à vis des fuites (compensateurs axiaux, lyres de dilatation) dans des coffrages béton permettant le contrôle de ces organes et leur réparation.

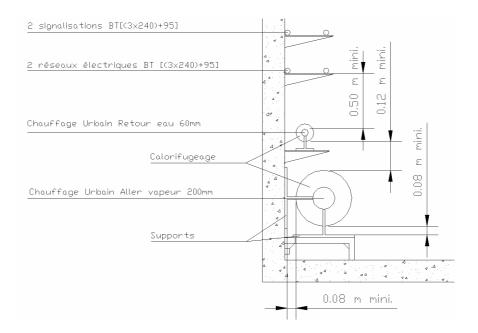


Figure 2: représentation d'un réseau de chauffage urbain en galerie

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Document Technique Unifié, cahier des clauses spéciales Installations de transport de chaleur ou de froid et d'eau chaude sanitaire entre productions de chaleur ou de froid et bâtiments. AFNOR DTU P 52-304
- [2] Normes française E 39-001 à E 30-004

Chauffage Urbain, Réseaux de transport et de distribution de chaleur ou de froid

- [3] Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux Fascicule 78. Canalisation et ouvrages de transport et de distribution de chaleur ou de froid
- [4] Recommandations du projet national « Clé de Sol »

# CALCUL DE L'EPAISSEUR DU CALORIFUGE

Il est essentiel de procéder à un calcul complet de thermodynamique des échanges dans l'habitacle, pour obtenir une idée de la température ambiante résultant de l'incorporation du réseau de chauffage. Ces calculs devenant rapidement très complexes, doivent être réalisés par des bureaux d'études spécialisés.

Cependant, nous essayerons de présenter dans cette fiche, une méthode très simplifiée basée sur la conservation des flux, pour calculer rapidement l'épaisseur du calorifuge.

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs de détermination de l'épaisseur du calorifuge à partir des équations de thermiques régissant les canalisations circulaires comme le prévoit la norme NF ISO EN 12241. Les effets de conduction, convection et rayonnement sont pris en compte en statique. Nous considérons que le calorifugeage est placé sur un plan, autorisant ainsi d'approcher un comportement linéaire de ce dernier. Une erreur est donc faite lors de la détermination de l'épaisseur du calorifuge, car le comportement mathématique de ce dernier n'est pas linéaire mais logarithmique (conduite circulaire) et donc les valeurs présentés doivent être prises pour des minima.

Le calorifuge employé est à base de laine de verre, dont le coefficient de conductivité thermique est égal à 0.05 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Le réseau étudié est un réseau vapeur, dont l'effluent aller est à 200°C et le retour à 60°C.

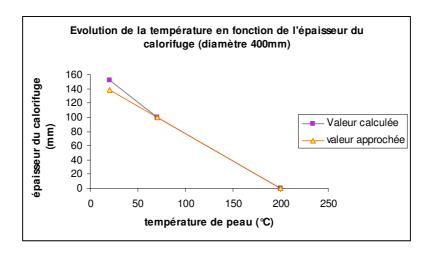
	Epaisseu	r (mm)
	Epaisseur calculée du calorifuge sur	Epaisseur calculée du calorifuge
Température de peau	la canalisation de Vapeur d'eau	sur la canalisation de Retour d'eau
du calorifuge désirée	(200°C) pour obtenir la température	(60°C) pour obtenir la température
	de peau désirée	de peau désirée
80 °C	73	
50 °C	92	18
30 °C	104	45
20 °C	110	61

Cette méthode de détermination de l'épaisseur du calorifuge est relativement complexe pour obtenir un ordre de grandeur lors d'une étude de faisabilité de galerie. La norme NF ISO EN 12241 préconise la détermination de l'épaisseur de l'isolant thermique en section plane pour se rapprocher d'un comportement linéaire. Dans ce cas, connaissant l'épaisseur du calorifuge pour une installation en caniveau ainsi que la température ambiante résultante (par exemple pour 10 cm d'isolant sur un diamètre 200 mm, nous obtenons 70°C de température de peau avec une température de fluide de 200°C), il est facile d'approcher l'épaisseur de l'isolant pour une température de peau désirée (20°C) par une règle de trois. Dans notre cas, nous devons accroître l'épaisseur de 38%. Ce calcul simple s'obtient de la manière suivante :

Pour 80 mm d'épaisseur, nous obtenons 70°C. Le calorifuge doit donc retenir 200°C-70°C= 130°C Pour x mm d'épaisseur, nous devons obtenir 20°C. Le calorifuge doit donc reprendre 200°C-20°C= 180°C

Epaisseur pour obtenir  $20^{\circ}\text{C} = (180/130) \text{ x}$  Epaisseur pour obtenir  $70^{\circ}\text{C}$  Epaisseur pour obtenir  $20^{\circ}\text{C} = 1.38 \text{ x}$  Epaisseur pour obtenir  $70^{\circ}\text{C}$ 

L'épaisseur approchée par une simple règle de trois permet d'obtenir rapidement un ordre de grandeur très facilement. Dans le cas d'une étude de faisabilité, cette méthode donne de très bons résultats. Le tableau suivant présente trois colonnes, la première présente les épaisseurs de calorifuge disposées dans un caniveau technique, la seconde les épaisseurs calculées ci-dessus et la dernière les épaisseurs approchées.



	Epaisseur d	u calorifuge	Epaisseur	calculée du	Epaisseur approchée du		
	Installation en	caniveau pour	calorifuge pou	ır obtenir 20°C	calorifuge pou	ır obtenir 20°C	
_	obtenir 7	0°C (mm)	(m	ım)	(m	ım)	
Diamètre	Vapeur	Eau de retour	Vapeur	Eau de retour	Vapeur	Eau de retour	
nominal	Eau 200°C	Vapeur 60°C	Eau 200°C	Vapeur 60°C	Eau 200°C	Vapeur 60°C	
Tuyauterie							
(mm)							
50	70	30	103	47	97	42	
100	80	30	107	53	110	42	
150	80	30	110	60	110	42	
200	100	30	129	66	138	42	
250	100	40	143 71		138	55	
400	100	-	152 -		138	-	
500	130	-	196	-	180	-	

Ces résultats sont issus de calculs théoriques ne prenant pas en compte les effets de ventilation, de tirage, les apports thermiques extérieurs, les échanges avec le sol et l'habitacle... ni les disparités dans la qualité de la mise en œuvre de l'isolant sur les conduites et les ouvrages annexes.

Au cas par cas, il conviendra de procéder à un calcul détaillé prenant en compte tous les facteurs, avant d'admettre le réseau de chauffage urbain en galerie. La température de 25°C doit être un maximum certifié par l'exploitant de ce réseau.

A noter que certains exploitants estiment qu'il est difficile de certifier cette température en s'appuyant seulement sur l'isolant, compte tenu des difficultés de mise en œuvre notamment sur les pièces annexes, il qu'il faut prévoir l'évacuation des calories par une ventilation naturelle ou forcée.

# ANNEXE 7

Fiche technique 'Télécoms'

" Propriété du Projet national Clé de Sol "

Fiche III.A.2.h

# Propriété du Projet National Clé de Sol

# Les réseaux de Télécommunications

Nous entendons par « réseaux de télécommunications », les réseaux constitués de câbles fibres optiques, de câbles coaxiaux et de câbles cuivres (câbles à paires torsadées de type SYT et câbles « réseaux locaux »).

Sont exclus de la présente fiche les câbles d'électricité et d'éclairage.

Les réseaux de télécommunications, au sens large, permettent le transport de voix et de données d'un point à un autre.

Les câbles installés en galerie peuvent servir au transport (backbones optiques, réseaux métropolitains), ce sont des câbles fibres optiques.

Pour les réseaux de distribution des particuliers, les câbles utilisés sont des câbles cuivres (câble SYT type France Telecom), des câbles coaxiaux (réseaux vidéos, « réseaux câblés » CATV) et rarement des câbles fibres optiques (à cause de leur prix élevé).

Remarque: Les câbles utilisés dans le câblage interne des bâtiments (type câbles « réseaux locaux », catégories 5 à 7) sont susceptibles d'être posés en galerie mais sur des distances relativement courtes (90 à 100m).

La présence des « réseaux de télécommunications » dans les galeries Multiréseaux (GMR) peut très bien s'envisager à condition de respecter certaines règles exposées dans cette fiche.

#### **DIMENSIONS**

#### Constitution des câbles :

- La fibre optique est constituée d'un revêtement de protection (en matériaux plastiques en général), d'une gaine optique (en silice) et d'un cœur (en silice plus de l'additif)
- Le câble cuivre est constitué d'une gaine extérieure de protection, d'un écran éventuel (ruban alu posé en long ou en hélice et/ou tresse cuivre étamé), d'un faisceau de conducteurs (assemblage de paires ou de quartes, il peut y avoir un écran individuel éventuel), d'isolant (en PE), et d'âme conductrice (en cuivre rouge étamé, monobrin ou multibrins).
- Le câble coaxial est constitué d'un conducteur intérieur, entouré d'une mousse diélectrique, d'un conducteur externe et d'une veste protectrice.

# Caractéristiques de la fibre optique

	Fibre optique		
	6 FO	1	144FO
Diamètre en mm		11,8	13
Poids approximatif en Kg/Km		110	161
Rayon de courbure en mm		180	200
température de fonctionnement	-;	30℃,,	, +70°C

#### Câble cuivre SYT 5/10

	câble SYT 5/10		
Diamètre en mm	4,2	19,3	
Poids approximatif en Kg/Km	23,5	568,5	
Rayon de courbure en mm	60	290	
température de fonctionnement	-20℃,,	, +60°C	

#### Câble cuivre « réseaux locaux »(catégories 5 à 7)

	Réseaux locaux	
Diamètre en mm	4,6	125
Poids approximatif en Kg/Km	22	115
Rayon de courbure en mm	37	60
température de fonctionnement	-20℃,	,, +60°C

# Caractéristiques des câbles coaxiaux

	Câble	coaxial
Diamètre en mm	7	40
Poids approximatif en Kg/Km	109	1070
Rayon de courbure en mm	20	200
température de fonctionnement	-40℃,,	, +85°C

Les câbles posés en galeries connaissent trois différentes classifications de résistance au feu et à la fumée :

- Les câbles dotés d'une enveloppe externe et d'un gainage PVC ignifuge (riser rated cable) ;
- Les câbles dotés d'une enveloppe et d'un gainage à faible émission de fumée(plenum rated cable),
- Les câbles dotés d'enveloppe et d'un gainage dépourvus d'halogène (câble sans halogène).

LES DEUX DERNIERS CRITERES SONT RASSEMBLES SOUS L'APPELLATION LSOH: LOW SMOKE ZERO HALOGENE. LA GAINE DE TYPE LSOH EMPECHE LA PROPAGATION DE LA FLAMME ET LE REJET DE GAZ HALOGENE. CE TYPE DE PROTECTION EST RECOMMANDE EN GMR.

Les critères « zéro halogène » sont évoqués dans les normes CEI 332.1, EN 50167 et non-propagation de la flamme NFC 32-070

Il n'est pas nécessaire d'utiliser systématiquement des câbles armés dans les GMR. Le choix sera déterminé en fonction de l'environnement (risques de détériorations) et du type de support des câbles.

#### **FOURNITURE**

LES CABLES SONT TRANSPORTES SUR DES TOURETS METALLIQUES OU EN BOIS APPROPRIES DONT LE DIAMETRE DU TAMBOUR EST AU MOINS EGAL A VINGT FOIS LE DIAMETRE DU CABLE. AFIN D'IDENTIFIER LES DIFFERENTS TOURETS, UNE PLAQUE D'IDENTIFICATION EN TOLE GALVANISEE OU EN ALUMINIUM PORTE LES INFORMATIONS NECESSAIRES.

# **MODES DE POSE ENVISAGEABLES**

Le mode de pose des câbles dépend du type de support.

Suivant les cas, les câbles seront mis en place :

Soit par déroulage et tirage « à la main »,

Le déroulage des câbles est effectué près des ouvrages prévus pour les supporter. Ils sont ensuite déplacés latéralement vers leur position définitive et éventuellement fixés.

D'UNE MANIERE GENERALE, LE DEROULAGE ET LE TIRAGE DES CABLES A LA MAIN S'EFFECTUERONT AVEC TOUTES LES PRECAUTIONS NECESSAIRES POUR EVITER TOUTE DETERIORATION (RESPECT DES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES CONCERNANT L'EFFORT MAXIMAL ADMISSIBLE A LA TRACTION, LA TEMPERATURE MINIMALE DE DEROULAGE SANS CHAUFFAGE PREALABLE, RAYON DE COURBURE,....). Au niveau de la pénétration dans les locaux techniques, toutes les canalisations qui traversent les murs, cloisons ou planchers devront être protégées par des fourreaux en tube plastique rigide de dimensions appropriées.

• Soit par portage (uniquement dans le cas de pose de fourreaux PEHD).

Le portage du câble s'effectue grâce à de l'air soufflé dans le fourreau. Généralement, ce type de pose est utilisé pour les longues distances.

En GMR, les types de support des câbles de télécommunications sont les suivants :

- chemins de câble,
- fourreaux PEHD (POLYETHYLENE HAUTE DENSITE),
- · embases et colliers,
- goulottes alvéolées

# Avantages et inconvénients :

- Sur des chemins de câbles, les câbles sont facilement accessibles et peuvent être regroupés sur un même chemin de câble selon leur nature. Cela facilitera les repérages ultérieurs. L'inconvénient est que le tirage de câble s'effectue à la main. Le chemin de câble reste cependant le mode de support le plus utilisé.
- Dans des fourreaux PEHD, le nombre de câbles à l'intérieur est limité. En effet, le volume des câbles doit occuper moins de 60% du volume du fourreau. De plus, les fourreaux utilisés seront de type PEHD 33-40 ou 42-45(diamètre les plus utilisés). Le tirage de câble s'effectue soit par portage (eau ou air), soit à la main, selon la distance de câble à tirer. Avantages de ce type de fourreau : il est rigide, livré en rouleau, et peut servir pour faire du sous-tubage.
- Sur des embases, les câbles sont fixés à l'aide de colliers (l'inter-distance est à définir selon le site, par exemple en égout il y en a tous les 5 mètres). Si les câbles sont parfaitement étiquetés, ils sont faciles à suivre. Cependant, le nombre de câble reste limité selon la taille de l'embase.
- Dans les goulottes alvéolées, le cheminement des câbles est clair et les câbles sont bien protégés. Cependant, le nombre de câble reste limité selon la taille de goulotte, des alvéoles et des diamètres des câbles. A cause de son coût élevé, la goulotte alvéolée reste peu utilisée dans les GMR.

Le câble ne pourra pas être posé par des températures inférieures à  $0^{\circ}$ C. Une tolérance à  $-5^{\circ}$ C pourra être admise si le câble a été stocké à l'abri dans un local dont la température est supérieure à  $10^{\circ}$ C

# **CONTRAINTE DE TRACE ET POSE DE RESEAU**

#### Rayon de courbure

FIBRE OPTIQUE: RAYON DE COURBURE = 20 FOIS LE DIAMETRE DU CABLE.

CABLE COAXIAL: RAYON DE COURBURE = 10 FOIS LE DIAMETRE DU CABLE.

Câble cuivre réseaux locaux : rayon de courbure = 8 fois le diamètre du câble

Câble cuivre type SYT : rayon de courbure = 15 à 20 fois le diamètre du câble pour les plus gros et 8 fois le diamètre du câble pour les plus petits.

Ces rayons de courbures peuvent être diminués sans risque lors de la pose des câbles, selon les critères suivants :

- La température du câble
- Le temps de cette diminution
- Les conditions de conservation des câbles.

Tous ces critères sont spécifiques à chaque câble et sont précisés dans les fiches techniques des câbles.

#### **CONTRAINTES PROPRES AUX BRANCHEMENTS**

#### Fibre optique

Le raccordement et les dérivations des fibres optiques se font dans des boîtiers de jonction. L'épissurage des fibres peut se faire dans la galerie. Le boîtier est ensuite fixé au mur.

Il faut prévoir une place réservée au « lovage » du câble (la longueur de love peut aller jusqu'à 2 fois 20 mètres !)

Les boîtiers doivent être étanches (mise sous pression ou utiliser une boite à clé dynamométrique).

Il faut tenir compte des chemins de câbles déjà existants pour la pose des boîtiers.

On évitera de poser du matériel « actif » en GMR. Ces matériels sont plutôt disposés en baies optiques dans des locaux techniques.

#### Cuivre réseaux locaux

Les branchements des câbles cuivre réseaux locaux se font dans les locaux techniques des bâtiments

#### Cuivre SYT

Les branchements des câbles cuivre SYT se feront grâce à des « scotch lock » afin de permettre la continuité du câble. Cependant ce système ne sera utilisé que pour les câbles qui n'excèdent pas 112 paires. Sinon, il faudra utiliser une boite de raccordement.

#### Câble coaxial

Pour les réseaux CATV, la pose de répartiteurs ou de dérivateurs peut très bien s'envisager en GMR. Ces éléments passifs seront étiquetés et fixés. Pour des raisons de facilité d'accès, ces matériels sont le plus souvent placés en chambres ou en armoires de rue.

#### **CONTRAINTES D'EXPLOITATION**

Les câbles doivent être munis d'un repérage permettant de les identifier sans ambiguïté. Une nomenclature précise peut être adoptée afin de garantir l'anonymat des câbles et de limiter ainsi tout sabotage intentionnel.

IL EST NECESSAIRE DE PREVOIR UNE LARGEUR DOUBLE DU CHEMINEMENT AFIN DE PERMETTRE L'INSTALLATION D'UN SYSTEME DE DERIVATION EN CAS DE TRAVAUX.

Il faudra laisser des « loves » de câbles à espace régulier qui permettrons, en cas de détérioration du câble de récupérer du câble afin d'incorporer d'une boite de jonction.

# **CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

On réalisera une équipotentialité des chemins de câbles métalliques, les conduites nues et les autres masses.

# LE RESEAU DANS L'ENVIRONNEMENT DE LA GALERIE

#### Position du réseau :

DANS UNE GMR, LES RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS SONT GENERALEMENT SUPERPOSES AVEC DES CANALISATIONS ELECTRIQUES OU DE GAZ.

Lors de travaux dans la GMR, il faut veiller à éviter tout contact de corps durs (outils métalliques à main) avec les réseaux de télécommunications afin d'éviter d'endommager la gaine protectrice.

On évitera le croisement d'une canalisation de fluide quelconque dans la zone couvrant l'aplomb d'un joint installé sur une canalisation existante et d'une boite de jonction.

#### Position des réseaux de télécommunication entre eux :

Il n'y a pas de contrainte particulière.

Cependant, pour des raisons de facilité d'accès, les câbles fibres optiques seront placés au-dessus des câbles cuivres, eux-mêmes placés au-dessus des câbles coaxiaux.

#### INCIDENCE SUR LA CONCEPTION DE L'INTEGRATION DU RESEAU EN GMR

#### Température d'utilisation

Les températures d'utilisation des câbles des réseaux de télécommunication (  $-20\,^{\circ}\text{C}$  ..  $+60\,^{\circ}\text{C}$  ) doivent être respectées afin d'en permettre le bon fonctionnement.

Les variations significatives de température dans les GMR, crées par la présence du chauffage urbain et les tuyaux de climatisation, devront être évitées.

Une bonne ventilation de la GMR et un système de sécurité et de surveillance de la température limitera les risques.

#### Précautions de réalisation

Les câbles ne doivent pas être immergés en permanence. Il sera donc nécessaire de prévoir des dispositifs permettant de pomper l'eau dans la galerie en cas de besoin.

#### Les différents réseaux

LES CABLES ELECTRIQUES ET CEUX DE TELECOMMUNICATIONS DOIVENT ETRE PLACES SUR DES SUPPORTS DISTINCTS. ILS NE PEUVENT PAS ETRE PLACES SUR LES MEMES CONSOLES, DANS LE MEME CHEMIN DE CABLES, DANS UN MEME FAISCEAU, DANS UN MEME FOURREAU OU DANS LE MEME COMPARTIMENT D'UN CANIVEAU.

Afin d'avoir une plus grande clarté, les différents types de câbles des réseaux de télécommunications seront placés soit sur des supports distincts, soit séparés par des cloisons.

#### La compatibilité électromagnétique

La Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) correspond à la prise en compte des relations perturbateur/perturbé qui existent entre un équipement électrique et son environnement électromagnétique.

Les perturbations électromagnétiques menacent le bon fonctionnement des équipements constituant des liaisons télécoms. Ces équipements doivent donc être protégés contre les perturbations rayonnées et conduites. Concernant les câbles cuivres et coaxiaux, la protection est assurée à la fois par une mise à la terre et par l'utilisation d'un blindage de type écran ou tresse. Il n'y a pas d'influence sur les fibres optiques.

L'utilisation de câbles blindés permet de respecter les normes européennes EN 55022 et EN 55024. Ces normes concernent les perturbations électromagnétiques émises et l'immunité des systèmes électriques contre ces perturbations.

Ces normes ne s'appliquent pas spécifiquement aux câbles mais concernent des systèmes, équipements ou appareils électriques pris dans leur intégralité.

Ces normes s'appliquent aussi bien sur les composants actifs que passifs utilisant l'électricité.

#### INCIDENCE DE L'INTRODUCTION DE CE RESEAU SUR LA CONCEPTION GENERALE DE LA GMR

Distances des réseaux de télécommunications par rapport aux autres réseaux et aux parois de la galerie.

#### Réseaux de télécommunications

La distance minimale entre les différents types de câbles de télécommunications, c'est à dire les différents chemins de câbles, est de 0.20m. Cette distance est nécessaire afin d'éviter tout risque de détérioration d'un câble lors d'une intervention. La séparation des câbles par des tablettes ou cloisons résistantes au choc des outils métalliques à main permet de minimiser le risque.

# Canalisation électrique

La distance minimale avec les canalisations électriques est de 0.20m en croisement et de 0.40m en voisinage. Ces distances entre les câbles de télécommunications et les câbles électriques doivent être maintenues, à moins que ces câbles ne soient placés sous fourreaux ou séparés par des tablettes ou cloisons résistantes au choc des outils métalliques à main.

Les canalisations électriques peuvent avoir une légère influence thermique sur les réseaux de télécommunications. Dans le cas d'une galerie ventilée, cet effet de proximité est nul.

#### Chauffage urbain et climatisation

La distance minimale par rapport aux autres réseaux en parallèle et en croisement est de 0.20m. Il est toutefois conseillé à proximité des canalisations de chauffage urbain de porter ces distances à 1.50m en cas de parallélisme et à 0.50m en cas de croisement ou de prendre des dispositions afin d'éviter l'influence thermique possible et limiter les risques lors des interventions.

#### Réseaux divers

Avec tous les autres occupants de la galerie, la distance est de 0.20m.

#### CONCLUSION

Une distance minimale de 0.2m doit separer les differents reseaux de telecommunications entre eux ; cette distance reste valable pour des canalisations electriques sous fourreaux et les reseaux de gaz.

Les différents types de câbles de réseaux de télécommunications reposent sur des chemins de câbles métalliques mis à la terre via un conducteur métallique. Tous les câbles doivent être identifiés de façon claire.

Les câbles utilisés doivent comporter une gaine de type LSOH.

Les réseaux de télécommunications peuvent être superposés avec les réseaux de gaz, les tuyaux de climatisation et les canalisations électriques.

# Pose de câbles de télécommunications en GMR

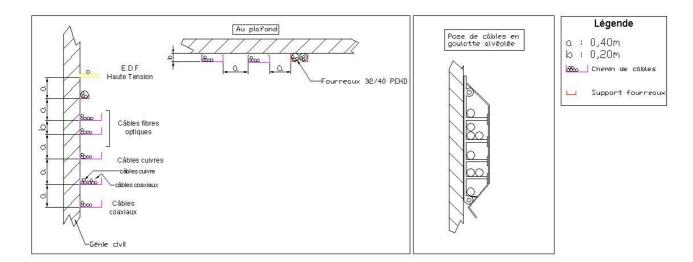


Figure 1 : Pose de câbles de télécommunication en GMR

commentaire : ce schéma sera revu pour être plus conforme à la section courante préconisée pour la galerie

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- □ L'ouvrage : Energie électrique Conditions techniques de distribution aux éditions des journaux officiels.
- Rappel des textes réglementaires:
  - Norme Internationale ISO/CE/IS 11801 et matériel de câblage adéquat,
  - Norme Européenne EN 50173 Utilisation de la performance du câblage,
  - Norme Européenne EN 50174-2 Technologies de l'information installation de câblage,
  - Norme Européenne EN 50167 Relative aux câbles de distribution horizontale,
  - Norme Européenne EN 50169 Relative aux câbles de distribution verticale,
  - Normes relatives à la sécurité des personnes HD 608, EN 167, 168 et 169
  - Normes relatives à la protection électromagnétique EN 5022,
  - Critères "Zéro Halogène" CEI 332.1, EN 50167 et non propagation de la flamme NFC32-070
  - NF C 32.060 Polyoléfine pour enveloppes isolantes et gaines de câbles de communications,
  - NFP 97.413 et NFP 97.414 Protection contre la corrosion
  - Standards fibres et câbles :
    - ➤ CEI/IEC 793-1 Fibres optiques Spécification Générique,
  - Fiches produits des différents fabricants de câbles :
    - ➤ UIT G 651.
    - ➤ UIT G652

# ANNEXE 8

Fiche technique 'Supports'

" Propriété du Projet national Clé de Sol "

# Fiche III.A.3.b

# Propriété du projet National Clé de Sol

# Les Supports

# 1 - Fonctions des supports et amarrages des réseaux

#### 1.1 - Généralités

Chaque type de réseau est un domaine technique spécifique qui a ses propres normes et spécialistes. On se reportera sur ce sujet aux fiches III.A.2.

Le dimensionnement des supports et amarrages, leur réalisation, puis leur gestion font partie intégrante du calcul, de la mise en œuvre et de la gestion du réseau concerné.

On part du principe que la pose d'un réseau dans la galerie et la gestion ultérieure du réseau et de ses organes de maintien (supports et amarrages) doivent être de l'entière responsabilité du gestionnaire de réseau. On peut cependant imaginer des exceptions à ce principe pour des câbles de différents gestionnaires de réseaux qui peuvent utiliser les mêmes supports.

Ce principe posé, le maître d'ouvrage devra anticiper dans son projet de galerie la distribution des différents réseaux et, si possible, définir avec les occupants les éléments de supports et d'amarrages à intégrer au génie civil, et en fixer les modalités de réalisation, de responsabilité et de financement.

En première approche, pour l'étude, la réalisation et la gestion des supports et amarrages en galerie, il y a lieu de distinguer :

- les réseaux qui sont soumis en régime normal, à la seule force de gravité ; ce sont généralement les circuits câblés.
- les réseaux qui sont soumis à des forces de pression et/ou de dilatation en plus de forces de gravité variables ; ce sont les conduites qui transportent les fluides et les gaz, des solides parfois (ordures ménagères, non traitées dans ce Guide).

#### 1.2 - Les supports

La fonction principale des supports est d'assurer le maintien des réseaux, qu'ils soient constitués de tuyaux (fonte, béton armé, PVC,...) ou de tubes (acier, PE,...) assemblés respectivement par joints mécaniques ou automatiques et par soudures, ou de câbles.

Les réseaux peuvent être supportés de nombreuses manières selon notamment leurs dimensions, leurs caractéristiques techniques, leurs modes de fonctionnement et d'exploitation, les caractéristiques techniques de la galerie, les circonstances et les considérations économiques. Les supports doivent répondre, d'abord et pour l'essentiel, au poids du réseau qu'ils supportent. Il faut donc déterminer précisément ce poids et ne pas oublier le poids du fluide transporté ainsi que le poids des accessoires.

Les supports, à l'exception des tasseaux en béton, sont généralement mis en place préalablement à la pose des réseaux.

# 1.3 - Les amarrages

La mise en place de supports seuls est insuffisante pour assurer la stabilité des réseaux en galerie qui peuvent être soumis à d'autres efforts dus notamment :

- à la dilatation de la canalisation ou du câble ; c'est pourquoi, les conduites de chauffage urbain sont équipées de supports glissants.
- au glissement (pente supérieure à 20 %);
- aux forces supportées en certains points singuliers du réseau tels que coudes, cônes, tés, lyres pour les réseaux de chauffage urbain, ou loves, boucles et forces électrodynamiques pour les réseaux câblés notamment pour les câbles posés en unipolaires;
- mais encore, pour qui concerne les réseaux en pression permanente ou passagère et particulièrement ceux de gros diamètre, aux forces dues aux mouvements des fluides transportés, aux tourbillons, aux coups de bélier et à la poussée d'Archimède en cas d'ennoyage.

Pour répondre aux différentes sollicitations décrites ci-avant, d'autres systèmes doivent donc être mis en œuvre en complément des supports. Ils sont désignés généralement sous l'appellation d'amarrages.

Les amarrages doivent être obligatoirement posés, en plus des supports, sur les réseaux en pression mais aussi sur les réseaux câblés et notamment en des points singuliers (boucles, tronçons aériens par exemple).

Les réseaux de chauffage urbain qui sont soumis à des températures élevées nécessitent des amarrages spécifiques.

Les amarrages sont posés après la mise en place des réseaux. Cependant, il est recommandé de prévoir leurs emplacements à l'avance ; en effet, les scellements ou les systèmes de fixation de certains d'entre eux seront quelquefois plus faciles à mettre en œuvre avant la pose du réseau sur les supports. Certains amarrages tels que ceux des coudes, cônes, etc. peuvent nécessiter des renforcements de la structure de la galerie.

# 2 - Aspects techniques des supports et amarrages

#### 2.1 - Les supports

# Supports de câbles.

On utilise principalement les supports suivants : berceaux pour un seul câble, corbeaux, consoles associées ou non à des rails ou semelles, colliers de suspension, fourreaux multi-alvéolaires, chemins de câbles métalliques préfabriqués, tablettes maçonnées ou en béton armé.

Si la galerie est construite en maçonnerie, les tablettes généralement de faible largeur (de l'ordre de 20 cm) pourront être construites en même temps que la galerie.

Si la galerie est construite en béton armé, des fers pourront être laissés en attente ; les tablettes seront coulées après construction de la galerie.

Les tablettes présentent une pente rentrante pour lutter contre un glissement éventuel des câbles vers l'intérieur de la galerie. Selon les besoins on peut superposer plusieurs tablettes.

On notera que les gâches permettent de fixer un câble au plus près des parois.

# Supports de tuyaux.

Les principaux supports sont les consoles, les colliers et ceintures, les colonnettes, les tasseaux ou berceaux, les chaises métalliques, les tasseaux spéciaux tels que les tasseaux glissants, les supports à patin, etc.

Généralement, pour des raisons de facilité de mise en place, mais aussi par souci de sécurité, on prévoit deux supports par tuyaux (fonte GS, acier ou béton dont les longueurs unitaires ne sont pas supérieures à 8,5 m).

Pour les tuyaux en PVC, PEHD, stratifié « verre-polyester », l'espacement et la conception des supports doivent être adaptés aux caractéristiques techniques du matériau. On posera par exemple des supports type gouttière, goulotte ou chemin de câble pour le PEHD et supports à appuis larges pour le PVC.

Les canalisations en PEHD peuvent être incorporées dans la galerie (dans une banquette par exemple) ; cela peut être notamment le cas pour l'assainissement. Leur pose en aérien exige des systèmes de compensation des variations de longueur (bras ou lyres de dilatation), des supports libres et des points fixes, le calcul des distances entre supports, des systèmes de guidage (type collier par exemple).

Les supports peuvent être soit directement scellés ou chevillés dans le génie civil, soit fixés par l'intermédiaire d'un système intégré dans le génie civil lors de la construction de la galerie (rails type "HALFEN", barres porteuses pour les câbles par exemple).

Les systèmes intégrés dans le génie civil de la galerie, du type rail "HALFEN", ne sont pas considérés comme des supports car ils ne sont pas en contact direct avec les réseaux à supporter. Ils servent de points de fixation pour les supports et certains types d'amarrages. Ils sont généralement intégrés dans le génie civil de la galerie lors de sa construction et ils affleurent alors au nu des parois, dalles ou voûtes. Ils peuvent aussi être posés après construction de la galerie ; dans ce cas, ils sont en excroissance. Ils doivent être posés dans des plans verticaux perpendiculaires à l'axe de la galerie selon un espacement à définir. L'espacement sera généralement déterminé en fonction de la longueur unitaire des tuyaux des réseaux pour lesquels les supports doivent y être fixés. Chaque rail peut recevoir plusieurs supports de réseaux différents.

La liaison rail/support devra faire l'objet d'une étude en ce qui concerne les risques de création de couples électrochimiques (rail inox/supports fer galvanisé ou inversement par exemple). Si nécessaire, l'isolement peut être effectué par des systèmes comportant des rondelles et des canons isolants type bakélite placés au niveau de la boulonnerie.

# 2.2 - Les amarrages

# Amarrages des câbles :

Les principaux amarrages pour câbles sont les agrafes, les colliers, les ceintures à étrier, les sangles, les anneaux et pinces métalliques...

Pour les câbles posés sur tablettes et en l'absence de pente, les amarrages peuvent être limités à la pose de sangles, d'anneaux et de pinces métalliques.

Pour les câbles posés sur les chemin de câbles métalliques préfabriqués, il n'est pas toujours nécessaire de mettre des attaches car les chemins de câbles sont généralement munis de couvercle qui peuvent se « clipser » ou se fixer par tout autre moyen. Il est cependant préférable d'éviter cette solution car si les couvercles ne sont pas correctement mis ou remis en place, le risque existe d'un mauvais maintien des câbles.

Dans les courbes ou les passages en aérien, les câbles pourront être supportés et amarrés avec des colliers associés à des barres supports scellées ou chevillées dans le génie civil de la galerie. Dans le cas de câble posés en technique aérienne (câbles avec porteur), des pinces d'ancrage seront utilisées.

# Amarrages des tuyaux:

Les principaux amarrages pour les tuyaux sont les étriers, les colliers et ceintures à plusieurs pièces, les arcs-boutants, les butons, les butées, les jambes de force, les tirants, les « points fixes » , etc.

Ceci vaut pour les parties courantes ; bien entendu, les pièces spéciales et les accessoires de la canalisation recevront leurs propres amarrages, notamment les vannes.

Si une canalisation sous pression, composée de tuyaux assemblés par joints non soudés (joints mécaniques, joints automatiques par exemple), est posée sur tasseaux, elle pourra être amarrée par des tasseaux en béton formant des butées, des butons métalliques ou des arcs-boutants selon la configuration de la canalisation, mais toujours associés à des ceintures scellées ou fixées au radier de la galerie ainsi qu'au piédroit correspondant.

Si une canalisation sous pression, composée de tubes en acier assemblés par joints soudés, est posée sur des tasseaux, les amarrages seront essentiellement des « points fixes », des ceintures et des systèmes de guidage. Il n'y a pas lieu de buter les coudes ou les cônes ; la canalisation doit rester libre entre deux points fixes. On parle alors de conduite « autobutée ».

Dès lors que les tasseaux sont coulés sur le radier ou sur une banquette de la galerie, il faut obligatoirement fixer les ceintures à la galerie et non aux tasseaux car cela n'empêcherait pas la conduite de se déplacer. Dans certaines situations, les tasseaux pourront être scellés au radier, les ceintures pourront alors être fixées aux tasseaux ; dans ce cas, un calcul s'impose.

Il y a lieu de noter qu'un coude peut pivoter ; il doit donc être amarré en conséquence. Il est recommandé de bien amarrer les tuyaux situés de part et d'autre d'un coude de telle sorte qu'ils ne puissent ni se soulever, ni se déplacer latéralement. Pour les conduites posées sur consoles, l'emploi de consoles à étrier convient parfaitement dans la plupart des cas pour bloquer les tuyaux.

Compte tenu des contraintes élevées de pression et de température, les canalisations de chauffage urbain sont posées sur des supports glissants ou des plaques de glissement associées à des systèmes de guidage latéraux et longitudinaux. Les canalisations sont de type auto-buté ; elles sont amarrées à leurs extrémités par des « points fixes ». Des ceintures spéciales de grande largeur équipées de dispositifs permettant les déplacements longitudinaux sont généralement placés tous les 50 m.

Si la canalisation est supportée par des consoles, les amarrages en parties courantes seront, le plus souvent, constitués par des étriers (consoles à étriers) qui devront cependant permettre les déplacements axiaux. La conduite sera auto-butée par l'intermédiaire de « points fixes » ; des ceintures et des systèmes de guidage seront mis en oeuvre selon les cas.

# 3 - Conception et entretien des supports

#### 3.1 - La sécurité

Lors des études de conception de la galerie les points suivants devront notamment être vérifiés :

- épaisseur des parois et ferraillages qui doivent être capables de résister aux efforts transmis par les supports, amarrages et ancrages;
- mise en œuvre de dispositifs de mise à la terre des supports, amarrages et ancrages pour les réseaux électriques et de télécommunications mais aussi, pour les réseaux constitués de canalisations métalliques;
- mode de fixation supports, amarrages et ancrages. Si l'on opte pour des fixations par chevilles, il faut toujours faire procéder à des essais notamment d'arrachement, par un laboratoire agrée. Il existe des systèmes dits à verrouillage de forme qui offre une grande sécurité particulièrement pour des fixations effectuées à la voûte ou sous dalle. En ce qui concerne les chevilles chimiques, elles offrent une mauvaise résistance au feu. Les supports et amarrages scellés devront comporter une queue de carpe. Certains amarrages pourront nécessiter la mise en œuvre de broches dans le scellement.
- les risques de chocs. En effet, les risques de chocs sont fréquents lorsque l'on circule en galerie. Les supports de type console ne devront pas présenter d'angle aigu notamment à la hauteur de la tête. Les fixations au radier devront dans la mesure du possible être positionnées hors circulation. Selon les cas, des signalisations ou des protections spécifiques seront mises en place.

# 3.2 - Maintenance et corrosion

Les opérations de maintenance dépendront des types de supports, amarrages et ancrages ainsi que de leurs modes de fixation. Ces opérations pourront consister à vérifier l'absence de courants vagabonds, la résistance des scellements et des fixations, le serrage des écrous et l'état de la boulonnerie, l'état des tasseaux et des butées en béton ou en maçonnerie, l'état des soudures, l'état de la corrosion, l'état des revêtements.

Pour lutter contre la corrosion, on veillera notamment à ce que :

 les supports ne soient pas un vecteur de captage des courants vagabonds en provenance du sol dans lequel la galerie est construite; il faut que les épaisseurs des parois de la galerie soient suffisantes pour que les scellements et les systèmes de fixation soient bien inclus dans les parois et n'aillent pas au-delà, dans le sol. Selon la

nature du réseau et son mode de pose, on interposera un siège en néoprène entre les supports et la canalisation.

 les différents métaux utilisés soient compatibles et ne créent pas de couples électrochimiques; au niveau de la boulonnerie, on pourra mettre en oeuvre des systèmes composés de rondelles et de canons isolants, de même que pour les liaisons entre les matériaux constituant les supports et les matériaux constituant les canalisations. Les supports préfabriqués ainsi que les amarrages seront galvanisés.

# 3.3 - Mise en place de nouveaux réseaux et remplacement d'anciens réseaux

La mise en place de nouveaux réseaux sur des supports disponibles ne posera aucune difficulté dès lors que les nouveaux réseaux seront de même nature et seront posés selon le même mode que les réseaux pour lesquels les supports ont été conçus.

Le remplacement d'anciens réseaux par de nouveaux, de plus grandes dimensions ou la création de nouveaux réseaux encombrants ne sera possible que si le volume de la galerie a été prévu pour des extensions futures.

# 4 - Éléments de coût des supports et amarrages

#### 4.1 - Coût de construction et d'entretien

Le coût des dispositifs de fixation (supports et amarrages) représente une part importante du coût de construction du réseau en galerie. Lors d'une étude comparative avec une solution pleine terre, ce poste pèse lourdement sur la solution galerie ; cependant il faut savoir que certaines pièces de butée sont nécessaires en pleine terre.

On recherchera à réduire les coûts des dispositifs de fixation en agissant sur les points suivants :

- On pourra chercher à limiter le nombre des supports, notamment pour les canalisations rigides. Cependant, il est souhaitable de conserver deux supports par élément de canalisation pour des raisons de sécurité. Si l'on opte pour des tuyaux plus longs, il faut tenir compte des difficultés créées alors pour leur manutention. Le choix d'un tracé moins sinueux évitera également les butées d'angle.
- L'utilisation de supports standard ou préfabriqués peut s'avérer intéressante pour réduire les coûts.
- L'intégration au génie civil de supports et de certains amarrages est un gain de temps et d'argent, mais cette intégration n'est possible qu'avec des études de réseaux en phase de projet définitif, lors de la réalisation des dessins d'exécution de la galerie. Il s'agira ensuite de vérifier la qualité et la précision des pièces rapportées dans le génie civil tout au long de sa construction.
- Les aspects géométriques et mécaniques liés aux supports et amarrages nécessitent un génie civil de grande qualité tant dans le respect strict des plans d'exécution et de leurs tolérances que dans le contrôle de tous les produits et de leur mise en œuvre. L'assurance de la qualité de chacun des projets doit être formalisé.

Le tableau suivant donne, à titre d'information, quelques exemples de la proportion du coût de fourniture et pose des supports dans le coût total d'établissement d'un réseau en galerie.

AEP sur console, DN 100 mm	27 à 37 %
AEP sur console, DN 300 mm	24 à 30 %
AEP en voûte, DN 100 mm	44 %
AEP en voûte, DN 300 mm	29 %
Chauffage Urbain, aller 700 mm	45 %
Chauffage Urbain, retour 350 mm	37 %
Assainissement gravitaire, 300 mm	35 %
Assainissement refoulement, 600 mm	45 %
Climatisation, aller 215, retour 168 mm	11 %
Climatisation, aller 600, retour 600 mm	30 %

# 4.2 - Répartition des charges financières

Une fois l'accord des gestionnaires obtenu sur le projet de localisation des différents réseaux, il est envisageable que le maître d'ouvrage et/ou le gestionnaire de galerie réalise(nt) et/ou gère(nt) les supports des circuits câblés, ce qui peut permettre l'utilisation d'un même support par différents occupants, mais la réalisation et la gestion de tous les amarrages ainsi que des supports de points singuliers doivent rester de la responsabilité du gestionnaire de réseau concerné.

Pour les conduits de gaz et de liquides, il est nécessaire que leurs fixations dans la galerie et leur gestion ultérieure soient de l'entière responsabilité du gestionnaire de réseaux, y compris les éléments inclus dans le génie civil.

Les conventions liant le maître d'ouvrage et les gestionnaires doivent préciser cet aspect de l'utilisation de la galerie qui a trait à la réalisation et à la gestion des supports et amarrages pour en améliorer la qualité et la durabilité, et organiser la répartition des charges financières investies par le maître d'ouvrage dans la construction de l'habitacle pour le compte propre de chaque gestionnaire de réseaux.

On se reportera aux chapitres III.D et III.E de ce guide pour l'organisation de la répartition des coûts entre maître d'ouvrage et/ou gestionnaire, et occupants de la galerie.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- Guide de pose et d'utilisation des canalisations en polyéthylène, Syndicat des Tubes et Raccords en Polyéthylène
- Code de construction des tuyauteries industrielles (CODETI), Syndicat National Chaudronnerie Tôlerie (SNCT), 1974

# ANNEXE 9

Fiche technique 'Génie Civil'

#### Fiche III.A.4.a.

# LE GENIE CIVIL

#### INTRODUCTION

Cette fiche a pour objectif de présenter des solutions fréquemment rencontrées pour la construction de galerie.

Le génie civil, que l'on nomme également habitacle, constitue l'ossature de la galerie dans laquelle sont hébergés les réseaux urbains. Ce génie civil constitue donc à lui seul la galerie. Les choix de la géométrie, des dimensions, du matériau de fabrication, du procédé de fabrication, ..., de cet habitacle s'effectuent en fonction de nombreux paramètres.

La durée de vie de l'ouvrage dépendant essentiellement de la durabilité du génie civil, le choix du matériau de construction doit être mûrement réfléchi. Il n'existe pas de matériau obligatoire pour la construction d'un tel l'ouvrage, mais le béton est sans conteste le matériau le plus employé pour la fabrication de telles infrastructures. Il est toutefois possible de trouver des ouvrages en acier galvanisé de type buse (aéroport de Bâle-Mulhouse) ou en maçonnerie (ville de Paris) pour les ouvrages anciens.

Le dimensionnement ainsi que le mode de fabrication de l'habitacle dépend de nombreux paramètres tels que :

- Le profil de terrain,
- La nature du terrain d'implantation,
- La stabilité des terres,
- La présence de la nappe phréatique,
- La reprise des efforts en surface, charge de roulement,
- La profondeur de l'ouvrage,
- L'accès au chantier pour les camions,
- La distance séparant le chantier d'une usine de préfabrication ou d'une centrale à béton
- La distance séparant le chantier de la décharge,
- La dimension des réseaux,
- Le nombre de réseaux,
- Le gabarit de passage réglementaire,
- ...

Quel que soit le mode de construction de l'habitacle, elle doit être suffisamment dimensionnée pour :

- reprendre les forces s'appliquant sur sa structure (poids des terres, charge de roulement, poussée latérale, etc.)
- être adaptable au profil du terrain ainsi qu'au type de sol,
- être relativement étanche vis à vis des fluctuations de la nappe phréatique, c'est à dire qu'il ne doit pas y avoir d'infiltration d'eau permanente dans un ouvrage de type galerie,
- être de dimensions suffisantes pour accueillir l'ensemble des réseaux,
- permettre les branchements ultérieurs,
- être d'un excellent rapport qualité prix,
- Etre rapide à réaliser, c'est à dire respecter les plannings de fabrication et de mise en place,

- être pérenne,
- permettre l'accrochage des supports,
- ..

# LES RESEAUX

Les différents profils de galerie étudiés et comparés dans cette fiche hébergent les mêmes réseaux. Il s'agit des réseaux les plus courants, susceptibles d'être présents dans la plupart des ouvrages.

- 1 réseau d'assainissement d'eau pluviale de diamètre 600 mm
- 1 réseau d'assainissement d'eau usée de diamètre 300 mm
- 1 réseau d'eau potable de diamètre 250 mm
- 1 réseau de gaz de diamètre 125 mm
- 1 réseau de chauffage urbain par vapeur diamètres aller 200 mm & retour 60 mm
- 2 réseaux électriques Basse Tension (BT) [(3x240²)+95²]
- 2 réseaux électriques Haute Tension dite A (HTA) [(3x240²)]
- 2 réseaux de signalisations électriques BT [(3x240<sup>2</sup>)+95<sup>2</sup>]
- 2 réseaux de télécommunications sous fourreaux de diamètre 80 mm
- 1 réseau de télévision par câble sous fourreau de diamètre 80 mm

# LES PROFILS EN TRAVERS

Le profil en travers d'une galerie peut être de n'importe quelle forme géométrique facilement constructible, respectant les contraintes de dimensions intérieures.

Pour illustrer cette fiche, nous présenterons quatre types de profil en travers dimensionnés selon la méthode explicitée dans la fiche III.a.3.c. Ces profils présentent chacun des avantages et inconvénients qui sont résumés *in fine*.

Seule la section rectangulaire a été vérifiée vis à vis des branchements, du dépôt du plus gros réseau et de l'hébergement des ouvrages annexes. Toutes les autres sections courantes présentées dans cette fiche n'ont pas été validées sur ces critères explicités dans la fiche III.a.3.c.

#### TYPE CIRCULAIRE

# 1°. Optimisation de l'espace

Ce type d'ouvrage peut être en béton ou en acier. Il est cependant toujours réalisé en usine en préfabriqué sauf dans le cas d'une réalisation par tunnelier lors d'une création de galerie profonde de transport sur laquelle, il y aura peu ou pas de branchements.

Cette géométrie ne permet pas de loger facilement en fond de galerie, de gros réseaux du type « assainissement eau pluviale (EP)» sans empiéter sur le gabarit de passage. La seule solution est de loger ces gros réseaux à mi-hauteur. Dans l'exemple proposé, un diamètre d'EP de 600mm se loge in extremis en fond de galerie, mais pour un diamètre supérieur, il faudrait intervertir les EP et les EU.

Pour faciliter la circulation dans ce type d'ouvrage, il est conseillé de mettre en place un passage par caillebotis.

Il existe un exemple de galerie circulaire en acier galvanisé de type buse à l'aéroport de Bâle-Mulhouse (France). Cette technique est très avantageuse d'un point de vue économique mais

la durée de vie d'un tel système est estimée par le fabricant à 75 ans. Cette limite de vie est essentiellement due à la faible épaisseur du matériau, qui est de seulement 3 millimètres.

# 2°. Optimisation de la structure

Dans le cas d'une répartition isotrope des charges et d'une fabrication en béton, ce type de géométrie ne demande pas d'acier (sauf les aciers minimums en treillis soudé). Cependant, lorsque la partie supérieure de recouvrement est insuffisante pour réaliser une répartition isotrope des charges (répartition anisotrope), il est nécessaire de ferrailler la structure pour pouvoir reprendre les contraintes (figure 2). Ce type d'ouvrage est donc recommandé par ses qualités intrinsèques, pour la réalisation de galeries de transport profondes.

Le remblaiement de cette section, par couches successives accompagnées de compactages, peut dans le cas d'une mauvaise mise en œuvre, faire apparaître des désordres au niveau de la structure. Ces désordres peuvent altérer fortement l'accessibilité et la durabilité de cet ouvrage.

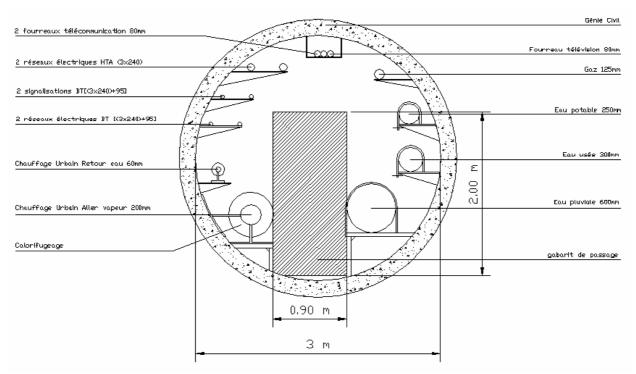
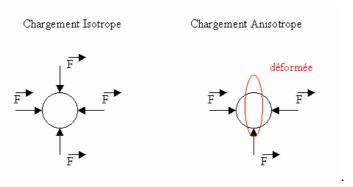


Figure 1 : Représentation intérieure d'une galerie employant un profil en travers circulaire.



<u>Figure 2</u>: Représentation des différents cas de figure de chargement sur un profil en travers circulaire.

# TYPE RECTANGULAIRE

# 1°. Optimisation de l'espace

La technique cadre est parfaitement maîtrisée et éprouvée dans le monde professionnel. Elle peut être en béton coulé en place ou préfabriquée.

Dans le cas d'un ouvrage en béton coulé en place, cette forme à l'avantage d'être très simple à réaliser et l'avancement du chantier peut être très rapide. L'utilisation d'un coffrage glissant peut accroître de façon non négligeable l'avancement des travaux. Les dimensions sont parfaitement déterminées en fonction de la nature et des dimensions des réseaux.

Dans le cas d'une préfabrication, l'amortissement des moules est quelquefois réalisé depuis longtemps. Les fabricants peuvent donc proposer des prix très attractifs. Les dimensions sont dans ce cas figées.

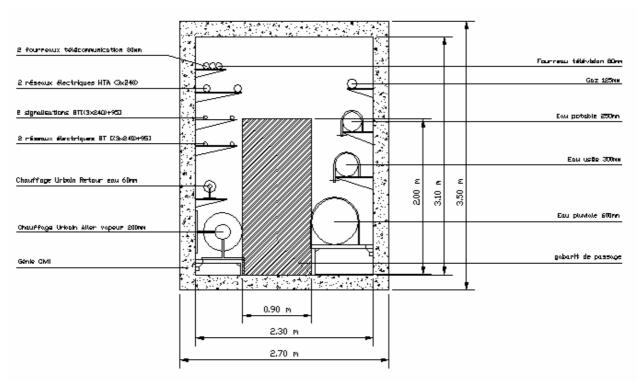
Dans notre cas de figure, le profil cadre permet, de minimiser les espaces libres non utilisés pour le cheminement longitudinal des réseaux. Cette section est donc ici plus avantageuse qu'une section circulaire. Elle permet également de positionner plus facilement que le profil circulaire, les gros réseaux en fond de galerie.

# 2°. Optimisation de la structure

Quel que soit le mode de fabrication retenu pour la réalisation d'un cadre en béton, il est nécessaire de positionner des aciers passifs pour la reprise des contraintes exercées sur sa structure. Leur calcul doit être réalisé par un bureau d'études disposant des données spécifiques du site, des charges appliquées. Les aciers doivent être majoritairement positionnés en partie haute et en partie basse et plus précisément dans les angles pour pouvoir reprendre les importants moments fléchissants résultants. L'épaisseur du cadre ne sera pas inférieure à 15 cm pour faciliter l'exécution.

Pour une réalisation de cette section en béton coulé en place, il est obligatoire de recourir à l'utilisation de coffrages.

Le remblaiement s'effectue par couches successives compactées régulièrement. La forme de l'ouvrage et plus particulièrement son fond plat (inverse au profil circulaire), permet de réaliser un excellent compactage et évite ainsi de provoquer des désordres sur la structure.



<u>Figure 3 :</u> Représentation intérieure d'une galerie employant un profil en travers de type cadre.

#### TYPE OVOÏDE

# 1°. Optimisation de l'espace

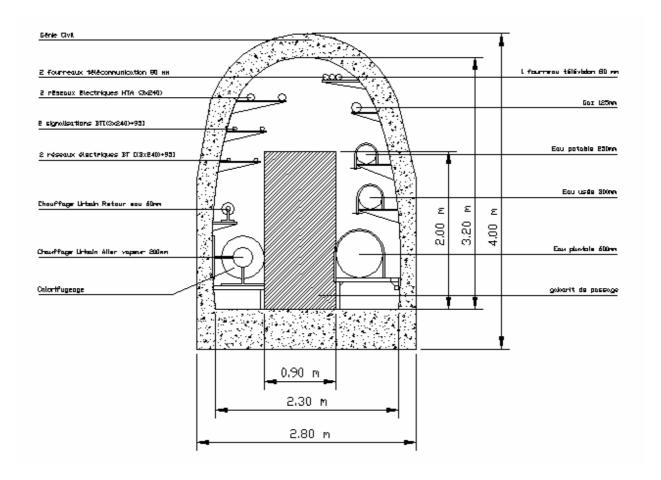
Ce type d'ouvrage est généralement réalisé en béton coulé en place.

L'agencement intérieur de ce type de profil se réalise de la même manière que pour le profil rectangulaire.

#### 2°. Optimisation de la structure

En principe, ce type d'ouvrage n'a pas besoin d'armature, sauf bien entendu les aciers minimums, c'est à dire un treillis soudé. En partie haute, la forme de voûte permet de renvoyer les charges sur les parois. Il est essentiel que cette voûte soit d'une épaisseur de béton relativement importante pour pouvoir jouer complètement ce rôle. En ce qui concerne le radier, son poids propre reprend les effets de flexion en partie inférieure. Ce rader doit donc lui aussi être suffisamment épais et lourd. Cette forme permet de réduire la quantité d'aciers en échange d'une plus grande quantité de béton. Une étude économique doit donc être réalisée pour s'assurer que le surcoût de béton ne dépasse pas le gain sur l'acier.

De même que pour la solution cadre en béton coulé en place, ce profil ne rencontre aucune difficulté vis-à-vis du compactage.



<u>Figure 4 :</u> Représentation intérieure d'une galerie employant un profil en travers de type ovoïde.

TYPE TRAPEZOÏDAL

#### 1°. Optimisation de l'espace

La relative complexité de l'ouvrage nécessite une préfabrication en usine.

Cette forme permet de loger les gros réseaux (assainissement des eaux pluviales, des eaux usées, eau potable, etc.) en fond de galerie à l'endroit des surlargeurs. L'espace disponible est ainsi optimisé.

Les dimensions de cet habitacle étant figées, concevoir un aménagement intérieur en respectant toutes les prescriptions techniques des différents utilisateurs, est plus difficile que pour une section en béton coulé en place dont les dimensions sont libres.

#### 2°. Optimisation de la structure

La voûte de l'ouvrage permet de répartir efficacement le poids des terres sur la structure. Elle n'a donc en principe pas besoin d'aciers. Etant donnée l'épaisseur du radier et des bords, ils sont obligatoirement ferraillés pour pouvoir reprendre le moment fléchissant résultant des contraintes. Le comportement mécanique de ce profil se rapproche de beaucoup du comportement mécanique du profil ovoïde.

Comme pour les deux solutions précédentes, c'est à dire les profils rectangulaire et ovoïde, il n'y a aucunes difficultés rencontrées pour la réalisation du compactage.

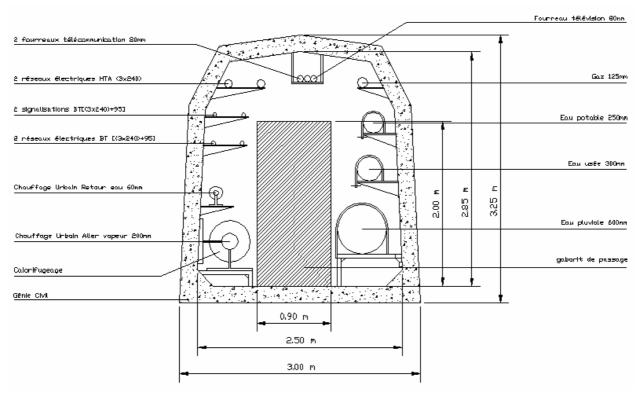


Figure 5 : Représentation intérieure d'une galerie employant un profil en travers de type trapézoïdal.

#### RECAPITULATIF DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTES SOLUTIONS

Profil	Avantages	Inconvénients	Construction
Circulaire	Idéal pour une galerie de transport (peu	Recommandation de prévoir un	Essentiellement
	de piquages)	caillebotis de passage	préfabrication
		Habitabilité intérieure peu favorable	
		Problèmes de remblaiement	
Rectangulaire	Forme simple	Obligation de positionner une bonne	Préfabrication
	Rapide à réaliser	quantité d'aciers pour reprendre le	ou
	Sur mesure si coulée en place	moment fléchissant	coulée en place
Ovoïde	Fabrication rapide	Surépaisseur de béton pour la réalisation	Coulée en place
	Peu ou pas d'acier grâce à la voûte	de la voûte et du radier	ou
			préfabrication
Trapézoïdal	Profil optimisé permettant de loger	Dimensions figées à cause de la	Préfabrication
	l'ensemble des gros réseaux en fond de	préfabrication	
	galerie		
	Avantage de la voûte		

Tableau 1 : avantages et inconvénients des différents profils de galerie

#### COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE LA SOLUTION OVOÏDE ET LA SOLUTION CADRE

Cette comparaison économique s'effectuera entre le profil rectangulaire et le profil ovoïde, réalisés tous deux en béton coulé en place. Elle visera à donner un ordre de grandeur des coûts pour la réalisation de ces deux solutions. La solution cadre semble au prime abord plus facile à réaliser aux vues de sa géométrie, mais elle nécessite l'utilisation d'aciers pour la reprise des

efforts sur sa structure. La solution ovoïde quant à elle permet de s'affranchir des aciers en échange d'une plus grande quantité de béton.

Le cadre disposera de 100Kg d'acier par m³ de béton. L'ovoïde disposera d'un ferraillage minimum empêchant la prolifération des fissures, réalisé par un unique treillis de surface d'un poids équivalent de 1,25 Kg/m² de surface.

Les prix sont issus du bordereau des prix de l'entreprise AREP, partenaire de « Clé de Sol ». Ils comprennent :

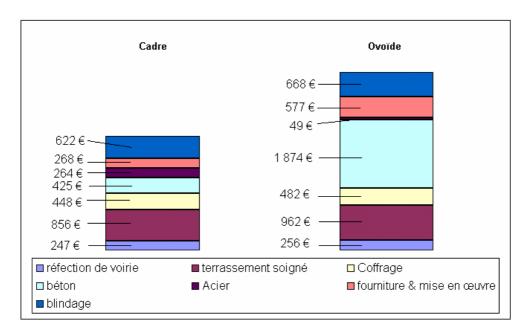
- Démolition de la chaussée
- Terrassement par pelle mécanique
- Evacuation des matériaux et mise en décharge
- Réalisation du fond de forme
- Blindage
- Coffrage
- Aciers
- Béton de ciment CLK 45 dosé à 350Kg/m<sup>3</sup>
- Fourniture, mise en œuvre et compactage de tout venant
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage
- Mise en œuvre de la couche de roulement

Les prix seront déterminés pour 1000 mètres de galerie linéaire avec une pente moyenne de 0,5%, ramenés et présentés au mètre linéaire.

	Dimens	ions (m)	Surface du	profil (m²)	Coût
	intérieures	extérieures	extérieure	intérieure	(€/ml)
Cadre	3.10x2.30	3.50x2.70	9.45	7.13	3131
Ovoïde	3.20x2.30	4.00x2.80	10.24	6.58	4868

<u>Tableau 2 : prix au mètre linéaire de galerie pour les solutions coulées en place</u>

Ces prix sont décomposés de la manière suivante :



Graphique 1 : représentation des ratios de fabrication des profils cadre et ovoïde.

La différence de coût provient en partie à la quantité de béton employée pour concevoir l'habitacle ovoïde. Le gain sur l'acier ne permet pas d'amortir le surcoût de béton qui entraîne également un accroissement de la surface extérieure de l'habitacle, se répercutant également sur le coût de terrassement. Dans notre cas, le profil cadre semble économiquement plus rentable lors de l'investissement.

#### **MATERIAUX**

#### **BETON**

Le béton est le matériau de référence pour la construction d'une galerie. Tous les types de bétons peuvent être employés (Béton, Béton armé, Béton haute performance, etc.) et ce quel que soit le mode de conception (coulé en place ou préfabriqué).

Dans le cas d'une construction en sous-sol saturé, nappe phréatique affleurante, il est obligatoire d'utiliser un béton hydrofuge. Cette précaution permet d'éviter l'apparition inopinée de points d'infiltration.

L'emploi de bétons autoplaçant pour les parois et de bétons autonivellant pour le radier, peuvent permettre d'obtenir un gain de temps non négligeable dans le cas d'une solution coulée en place. Ces bétons adjuventés sont cependant sensiblement plus onéreux. Une étude économique doit donc être réalisée.

#### **ACIERS**

Une structure en béton (préfabriquée ou coulée en place) est généralement ferraillée. Ce ferraillage doit reprendre toutes les contraintes appliquées sur la structure. Les aciers doivent être dimensionnés en fonction de :

La profondeur d'enfouissement de la galerie

- Du poids des terres
- De l'épaisseur de la structure
- De la largeur de l'ouvrage
- De la poussée des terres

La quantité nécessaire d'acier à positionner dans un profil de type cadre est fonction de la profondeur d'enfouissement du profil et de la nature de la voirie le surplombant. Cette quantité peut varier de ce fait entre 80 et 150 Kg par m³ de béton. Nous pouvons prendre comme valeur moyenne, 120 Kg.

#### MODE DE REALISATION

# SOLUTION BETON COULE EN PLACE

Cette méthode de mise en œuvre utilise des coffrages disposés à l'avancement du chantier. Pour cela elle nécessite une organisation de chantier rigoureuse. Les coffrages glissant permettent d'obtenir un gain de temps et donc de limiter de façon non négligeable le ratio génie civil d'un projet de galerie.

Il y a nécessité de placer régulièrement des joints de type hydrostop le long de l'ouvrage.

Il est important de prévoir des réservations de passage pour les branchements.

Il faut veiller à la présence d'une centrale à béton a proximité du chantier ou la possibilité d'installer une centrale inhérente sur le chantier.

# SOLUTION BETON PREFABRIQUEE

Une solution préfabriquée peut dans certain cas être plus avantageuse qu'une solution coulée en place. Ceci dépend essentiellement de la typologie du site d'implantation, du nombre de raccordements sur la galerie, des délais à respecter et du tracé de l'ouvrage, mais aussi des offres (ou variantes) que pourraient proposer les entreprises spécialisées.

Un tronçon préfabriqué est réalisé à l'aide de moule. L'amortissement des moules de fabrication s'effectue sur de grosses productions. Il est essentiel pour assurer un coût de revient compétitif à un génie civil préfabriqué en béton, de trouver un juste équilibre entre la longueur totale de l'ouvrage, l'avancement théorique souhaité du chantier et le nombre nécessaire de moule pour la fabrication de l'ouvrage.

Des joints d'étanchéité sont à prévoir au raccordement des éléments ; ces joints constituent un risque potentiel d'infiltrations ultérieures.

La présence de réservations de branchement est facilitée dans un tronçon préfabriqué car incorporées dans les moules.

# TRANSPORT DES ELEMENTS PREFABRIQUES

La connaissance des dimensions et du poids d'un profilé préfabriqué est essentielle. Le transport étant soumis à des contraintes de gabarit routier, il représente également une part non négligeable du coût de revient d'un tronçon, environ 15%.

Le lieu de production des différents éléments préfabriqués de la galerie et sa proximité du chantier modifient également le coût de l'ouvrage.

. RECAPITULATIF DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DEUX TECHNIQUES

Avantages		
Coule en Place	Prefabrique	
Fabrication sur mesure,	Homogénéité de structure garantissant une qualité	
Ajustements et excellentes capacités à s'adapter aux	remarquable,	
modifications et aléas rencontrés sur le site,	Avancement du chantier plus rapide,	
Résultats de finition suffisant pour un ouvrage galerie,	Pas de temps de prise, permettant de limiter la durée	
Grandes souplesses dans l'exécution,	d'immobilisation des voiries,	
Technologie simple.	Moins sensible aux aléas climatiques.	

Inconvénients		
COULE EN PLACE	Prefabrique	
Risque de mauvais emplacement des armatures,	Réalisation très soignée des joints, point faible pour	
Disposition, manipulation, transport et nettoyage des	l'étanchéité,	
systèmes de coffrage sauf dans le cas d'une utilisation de	Manipulation et difficulté de transport très complexes,	
coffrages glissants,	Prix variable selon différents paramètres (accès, transport	
Contraintes météorologiques,	distance).	
Ouverture des fouilles sur une assez longue durée.		

#### **ASSAINISSEMENT**

L'assainissement propre de l'ouvrage doit être intégralement incorporé dans l'habitacle de l'ouvrage. Le profil de la galerie doit être équipé d'un système de guidage et de récupération des eaux d'infiltrations, de décharges ou de fuite. Toute cette eau doit être évacuée le plus rapidement possible pour ne pas risquer d'endommager l'ensemble des occupants de la galerie en augmentant le taux hydrométrique de l'air.

#### **CONCLUSION**

Il est très difficile de comparer ces deux méthodes de fabrication et d'en généraliser des informations car aucune conclusion définitive ne peut être mise en avant. En effet, chaque méthode et profil possèdent leurs avantages et leurs inconvénients. Une galerie est un ouvrage exceptionnel. La fabrication d'une telle infrastructure pour un site donné sera donc unique. Le maître d'œuvre doit étudier les deux possibilités avant de prendre son choix. Il semble cependant, qu'il soit véritablement obligatoire de réaliser une étude technico-économique faisant apparaître les contraintes propres du site d'implantation avant de prendre une quelconque décision. La meilleure solution sera fonction de la nature et de la dimension des réseaux, des dimensions de l'ouvrage, du site d'implantation, de la nature du sol qui peut imposer une méthode de fabrication. Le futur concepteur d'un habitacle de galerie, doit prendre ne compte l'ensemble de ces données.