



POUR INFORMATION

Question 12/1: Politiques tarifaires, modèles tarifaires et méthodes de détermination des coûts des services de télécommunication nationaux

COMMISSION D'ÉTUDES 1

ORIGINE: ALLEMAGNE

TITRE: MODÈLE ANALYTIQUE DE DÉTERMINATION DES COÛTS APPLICABLES
AU RÉSEAU LOCAL: DOCUMENT DE TRAVAIL ÉLABORÉ PAR WIK¹ À
L'INTENTION DE L'AUTORITÉ DE RÉGLEMENTATION POUR LES
TÉLÉCOMMUNICATIONS ET LA POSTE

Résumé:

Ce document présente une analyse consacrée par le WIK, pour l'autorité de réglementation des télécommunications et des postes d'Allemagne, à l'établissement des coûts du réseau local au moyen d'un modèle analytique; après un examen de la logique de la structure des coûts, il propose un modèle qui en ventile toutes les composantes.

¹ Wissenschaftliches Institut für Kommunikationsdienste.

Contact: M. Dietmar Plesse, Ministère de la science et de la technologie, Bonn, Allemagne
Tél.: +49 228 6152941 / Fax: +49 228 6152964 / e-mail: plesse@itu.int

SOMMAIRE

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des indices

- 1 Introduction
- 2 Etablissement des coûts au moyen d'un modèle de comptabilité analytique
 - 2.1 Coûts marginaux sur longue durée de la fourniture de services
 - 2.1.1 Coûts marginaux sur longue durée
 - 2.1.2 Coût des éléments de réseau
 - 2.2 Etapes de l'établissement des coûts
 - 2.2.1 Définition de la demande
 - 2.2.2 Volumes d'investissement correspondant à un réseau générique
 - 2.2.3 Coûts d'immobilisation
 - 2.2.3.1 Evaluation du coût des biens d'équipement: coût de remplacement
 - 2.2.3.2 Amortissement
 - 2.2.3.3 Retour sur investissement escompté
 - 2.2.4 Coûts d'exploitation relatifs aux actifs
 - 2.2.4.1 Etablissement des coûts en fonction de l'activité
 - 2.2.4.2 Coûts historiques
 - 2.2.5 Conventions pour transformer les coûts de charge de pointe (coûts de capacité) en coûts par minute ou par événement
 - 2.2.6 Facteurs d'utilisation
 - 2.3 Éléments de réseau destinés à l'interconnexion et à l'accès à des réseaux spéciaux
 - 2.3.1 Architecture de réseau générale
 - 2.3.2 Réseau d'accès
 - 2.3.2.1 Réseau de distribution
 - 2.3.2.2 Réseau d'alimentation
 - 2.3.3 Central local et concentrateurs distants
 - 2.3.4 Transport entre le concentrateur distant et le central local
 - 2.3.5 Transport commuté entre centraux locaux
 - 2.3.6 Transport commuté entre un central local et les limites du réseau local
- 3 La logique du calcul des coûts
 - 3.1 Travail préliminaire pour déterminer le volume des investissements

- 3.1.1 Division de la zone du réseau local en zones de distribution
- 3.1.2 Etablissement de la demande de lignes d'abonné dans les différentes zones de distribution
- 3.1.3 Division des zones de distribution en types
- 3.1.4 Attribution de zones de distribution à des zones d'accès
- 3.1.5 Attribution des zones de distribution aux sections d'alimentation
- 3.1.6 Calcul des longueurs des réseaux d'alimentation et de distribution
 - 3.1.6.1 Calcul des longueurs du réseau d'alimentation
 - 3.1.6.2 Calcul des longueurs des réseaux de distribution
- 3.1.7 Etablissement des diamètres nécessaires des paires de conducteurs métalliques
- 3.1.8 Etablissement du nombre de paires de conducteurs métalliques
- 3.1.9 Etablissement du volume de trafic pour les zones d'accès
- 3.1.10 Etablissement des relations de trafic logiques entre les noeuds de réseau
 - 3.1.10.1 Connexions entre concentrateurs distants et central local
 - 3.1.10.2 Connexions entre centraux locaux
- 3.1.11 Etablissement du nombre de connexions numériques DSV2 pour transmission dans le réseau local
- 3.1.12 Etablissement des longueurs des câbles de jonction
- 3.1.13 Etablissement des facteurs de coûts d'équipement et d'exploitation
- 3.2 Etablissement du coût du réseau des lignes d'abonnés
 - 3.2.1 Coûts du réseau d'alimentation
 - 3.2.1.1 Coûts d'infrastructure
 - 3.2.1.1.1 Coûts de génie civil
 - 3.2.1.1.2 Coûts des matériaux
 - 3.2.1.2 Coûts des câbles
 - 3.2.1.3 Coûts des conducteurs
 - 3.2.2.1.3 Coûts de l'interface alimentation-distribution
 - 3.2.2 Coûts du réseau de distribution
 - 3.2.2.1 Coûts d'infrastructure
 - 3.2.2.1.1 Coûts de génie civil
 - 3.2.2.1.2 Coûts des matériaux
 - 3.2.2.2 Coûts des câbles
 - 3.2.2.3 Coûts des conducteurs
 - 3.2.3 Coûts du réseau de raccordement des abonnés
 - 3.2.4 Coûts du câblage interne
 - 3.2.5 Coûts du répartiteur principal
- 3.3 Etablissement du coût de l'équipement de commutation

- 3.3.1 Coûts du central local
 - 3.3.1.1 Coûts liés à l'accès
 - 3.3.1.2 Coûts basés sur l'utilisation
 - 3.3.1.2.1 Coûts sensibles à la durée d'occupation
 - 3.3.1.2.2 Coûts sensibles aux événements
 - 3.3.1.3 Coûts d'installation et d'équipement des centraux
- 3.3.2 Coûts des concentrateurs distants
- 3.4 Calcul du coût des trajets de transmission dans le réseau local
 - 3.4.1 Connexions entre concentrateurs distants et centraux locaux
 - 3.4.1.1 Coûts de l'équipement de transmission
 - 3.4.1.2 Coûts des répéteurs-régénérateurs
 - 3.4.1.3 Coûts de l'installation extérieure
 - 3.4.1.3.1 Coûts d'infrastructure
 - 3.4.1.3.2 Coûts des câbles
 - 3.4.2 Connexions entre centraux dans le réseau local
 - 3.4.2.1 Coûts de l'équipement de transmission
 - 3.4.2.3 Coûts de l'installation extérieure
 - 3.4.2.3.1 Coûts d'infrastructure
 - 3.4.2.3.2 Coûts des câbles
- 3.5 Conversion des coûts de réseau en coûts par unité de demande
 - 3.5.1 Calcul des coûts de la ligne d'abonné
 - 3.5.2 Calcul des coûts des services de transport
 - 3.5.3 Etablissement de moyennes
- 4 Conclusions
 - 4.1 Caractéristiques essentielles du modèle d'établissement des coûts
 - 4.2 Objet du modèle
 - 4.3 Orientations futures

Annexe A - Thèmes de discussion concernant le modèle d'établissement des coûts
des réseaux locaux de télécommunication

Annexe B - Liste des données d'entrée

Liste des figures

Figure 3.1.1-A:	Quadrillage d'une zone de réseau local
Figure 3.1.2-A:	Répartition des lignes d'abonnés résidentiels suivant la technique du quadrillage
Figure 3.1.4-A:	Structure d'un réseau local type
Figure 3.1.5-A:	Structure d'une zone d'accès
Figure 3.1.6-A:	Distance moyenne entre un abonné type et l'interface alimentation-distribution
Figure 3.1.6-B:	Structure des artères de câble
Figure 3.1.7-A:	Diamètres des conducteurs utilisés
Figure 3.1.10-A:	Structure stylisée d'un réseau local
Figure 3.2.2-A:	Structure stylisée d'un réseau de distribution

Liste des tableaux

Tableau 3.1.2-a:	Extrait des <i>Wohnplatzstatistik</i>
Tableau 3.1.10-A:	Matrice de trafic local, intrabureaux et grande distance
Tableau 3.1.11-A:	Exemple de trafic
Tableau 3.1.13-a:	Catégories de biens

Liste des abréviations

#	=	numéro
α	=	facteur correspondant au rapport du nombre d'appels ayant abouti sur le nombre total d'appels
A	=	mesure du trafic en erlangs
Abs_ZWR	=	distance maximale entre répéteur-régénérateur
AbsScharcht	=	distance moyenne entre trous d'homme
AFV	=	part du trafic grande distance dans le trafic total d'abonnés
AK	=	concentrateur distant
AKK _{HK}	=	part des parcours des conduites dans la section d'alimentation
AKK _{VZB}	=	part des parcours des conduites dans la zone de distribution
AKK _{VK}	=	part des parcours des conduites dans le réseau interbureaux
ASB	=	zone d'accès
Asl_analogue	=	nombre de lignes d'abonnés analogiques
Asl_digitale	=	nombre de lignes d'abonnés numériques (accès RNIS au débit de base)
Asl_PQ	=	nombre de lignes d'abonnés dans une grille
Asl_VZB	=	nombre de lignes d'abonnés dans la zone de distribution
B	=	probabilité de perte
BHCA	=	charge de trafic dynamique dans une heure chargée moyenne ("tentatives d'appel aux heures chargées")
BHCA _D	=	charge de trafic dynamique pendant l'heure correspondant au dimensionnement de la capacité de réseau
BHE	=	volume de trafic pendant une heure chargée moyenne ("erlangs aux heures chargées")

BHE_G	=	trafic sortant
BHE_G_F	=	trafic (sortant) grande distance
BHE_G_O	=	trafic (sortant) local
BHE_PK	=	BHE par abonné professionnel
BHE_I	=	trafic intrabureau
BHE_K	=	trafic entrant
BHE_K_F	=	trafic (entrant) grande distance
BHE_K_O	=	trafic (entrant) local
BHE_PK	=	BHE par abonné résidentiel
BHE _D	=	volume de trafic pendant l'heure correspondant au dimensionnement de la capacité de réseau
C	=	coûts
CP	=	processeur de coordination
Δp_u	=	taux moyen de changement des prix pour la catégorie des avoirs u
D	=	taux prévu de retour sur fonds propre
DA	=	paires de conducteurs
DA _{Asl}	=	paires de conducteurs par ligne d'abonné dans le tronçon de branchement
DSV2	=	connexion numérique à 2 Mbit/s
DLU	=	unité de ligne numérique
eK	=	coefficient de fonds propre
EVz	=	interface de distribution de ligne d'abonné
EVz _{Asl}	=	nombre d'EVZ par ligne d'abonné
fK	=	coefficient d'endettement
FV _{Fkt}	=	facteur de lignes louées dans le réseau interbureaux
FV _{Fkt} _{DA}	=	facteur de lignes louées dans le réseau d'accès
G _{Asl}	=	nombre de tranchées par ligne d'abonné
GK _{PQ}	=	nombre de lignes professionnelles dans une grille
GK _{VZB}	=	nombre de lignes professionnelles dans une zone de distribution
GKFkt	=	facteur d'abonnés professionnels
HT	=	durée d'occupation moyenne
HVt	=	répartiteur principal
HK	=	câble d'alimentation
K _{Tm}	=	nombre de câbles par mètre de parcours
Kap _{CP}	=	capacité de traitement des appels exprimée en BHCA d'un central local pourvu d'un équipement de base
KBF	=	facteur des coûts d'immobilisation et d'exploitation
KKF	=	facteur des coûts d'immobilisation
KKS	=	coût moyen pondéré d'immobilisation
KVz	=	interface de distribution des alimentations
LA	=	longueur de la boucle dans les câbles de distribution
LE140	=	paires terminales de lignes optiques à 140 Mbit/s
LG	=	longueur du parcours dans la zone de distribution
LH	=	longueur moyenne du branchement final (tronçon de branchement)
LL	=	longueur totale de la boucle
LLHK	=	longueur de la boucle dans le câble d'alimentation
LLVZB	=	longueur de la boucle dans la zone de distribution
LS	=	longueur de la boucle dans l'alimentation principale
LSF	=	facteur de charge de crête

LTG	=	unité faisceaux de lignes
LWL	=	fibre optique
M_Asl	=	nombre de manchons par ligne d'abonné
m _{ij}	=	nombre de zones de distribution dans un quadrant j d'une zone d'accès i
MUX _{x/y}	=	paire de multiplexeurs à un stade de multiplexage donné
n	=	nombre de zones d'accès dans le réseau local
N	=	nombre de lignes/canaux
ND _u	=	durée de vie économique-technique moyenne de la catégorie des avoirs u
OF	=	type de surface
P_Band_m	=	coût du mètre de ruban marqueur
P_BHCA	=	coût d'une charge de trafic supplémentaire de 1 000 BHCA
P_CP	=	prix de base du CP dans un central local
P_DLU	=	coût d'une unité de ligne numérique (DLU)
P_EVz	=	coût d'une SDI
P_GF_m	=	coût du mètre de câble optique à 12 fibres
P_GrE_m	=	coûts de génie civil du mètre de câble enfoui
P_GrK_m	=	coûts de génie civil du mètre de conduite
P_HVt_DA	=	coûts de MDF par paire de conducteurs
P_HVt_Fix	=	prix de base d'une MDF
P_Kabel_fix_m	=	coût fixe du mètre de câble
P_Kabel_marginal_m	=	prix du mètre d'une paire de conducteurs
P_KN	=	coût d'un élément de réseau de commutation pour 120*2 Mbit/s
P_KVz	=	coût d'une interface de distribution d'alimentation (FDI)
P_LTG	=	coût d'une unité de faisceaux de lignes (LTG)
P_M	=	coût d'une borne (manchon)
P_MUX	=	coût d'une paire de multiplexeurs
P_Rohr_m	=	coût d'un mètre de canalisation
P_Schacht	=	coût d'un trou d'homme
P_Schutzhaube_m	=	coût du mètre de capuchon de protection
P_SLMA	=	coût d'un module de ligne d'abonné analogique
P_SLMD	=	coût d'un module de ligne d'abonné numérique
P_ZWR	=	coût d'un répéteur-régénérateur
PK_PQ	=	nombre de lignes résidentielles dans une grille
PK_VZB	=	nombre de lignes résidentielles dans une zone de distribution
Q	=	quadrant
R	=	taux d'intérêt de la dette
Res_Fkt	=	facteur de capacité inutilisée dans le réseau interbureaux
Res_Fkt_DA _{HK}	=	facteur de capacité économique inutilisée pour des paires de conducteurs dans le câble d'alimentation
Res_Fkt_DA _{VZB}	=	facteur de capacité économique inutilisée pour des paires de conducteurs dans le câble de distribution
s	=	nombre de centraux locaux dans le réseau local
SLMA	=	module de ligne d'abonné analogique
SLMD	=	module de ligne d'abonné numérique
SX	=	coordonnée X du noyau d'une zone de distribution
SY	=	coordonnée Y du noyau d'une zone de distribution
T	=	taux effectif d'imposition sur les revenus des sociétés

TAE	=	prise de télécommunication
t_a	=	nombre de concentrateurs distants raccordés au TVST _a
TRes_Fkt_DA	=	facteur de capacité technique inutilisée pour des paires de connecteurs
TVSt	=	central local
VK	=	câble de jonction
VZB	=	zone de distribution
VZB-Typ	=	type de zone de distribution
X_i	=	coordonnée X du répartiteur principal
X_{ijk}	=	coordonnée X de l'interface de distribution d'alimentation du VZB _{ijk}
X_{or}	=	coordonnée X du coin supérieur droit d'une zone de distribution
X_{ul}	=	coordonnée X du coin inférieur gauche d'une zone de distribution
Y_i	=	coordonnée Y du répartiteur principal
Y_{ijk}	=	coordonnée Y de l'interface de distribution d'alimentation du VZB _{ijk}
Y_{or}	=	coordonnée Y du coin supérieur droit d'une zone de distribution
Y_{ul}	=	coordonnée Y du coin inférieur gauche d'une zone de distribution
ZG	=	nombre de canalisations
ZWR	=	répéteur-régénérateur

Liste des indices:

a	=	indice du central local où $a = \{1...s\}$
d	=	indice du répartiteur principal, où $d = \{0...t_a\}$
i	=	indice de la zone d'accès, où $i = \{1...n\}$
j	=	indice du quadrant, où $j = \{1...4\}$
k	=	indice de la zone de distribution, où $k = \{1...m_{ij}\}$
l	=	indice du diamètre du conducteur, où $l = \{1(0,4mm); 2(0,6mm); 3(0,8mm)\}$
u	=	indice de la catégorie des actifs immobilisés, où $u = \{1...z\}$

1 Introduction

En vertu de la Loi allemande sur les télécommunications (TKG) du 25 juillet 1996, les taxes d'interconnexion et d'accès à des réseaux spéciaux, etc., doivent se fonder sur le coût de la fourniture du service.

Un fournisseur de services de télécommunication ayant besoin d'accéder à un réseau spécial acquerra auprès d'une autre compagnie des moyens intermédiaires; il est indéniable que les nouveaux opérateurs de réseau ou fournisseurs de services dépendront dans une grande mesure pour ce faire de Deutsche Telekom AG (DTAG), en particulier au niveau de la boucle d'abonnés, étant donné que la construction d'un réseau simplement pour desservir le dernier kilomètre leur prendrait beaucoup de temps et ne serait pas toujours fondée économiquement.

La possibilité d'acquérir des moyens intermédiaires à des prix orientés vers les coûts vise à garantir que la marge de manoeuvre des nouveaux fournisseurs ne soit pas trop limitée par un manque d'infrastructure de réseau qui leur soit propre. Lorsque ces moyens intermédiaires ne sont pas proposés selon les règles de la concurrence, le cadre réglementaire doit créer une situation s'apparentant à celle d'un marché ouvert à la concurrence. Les coûts et les prix devraient donc se conformer à des critères concurrentiels; ainsi, une infrastructure nouvelle ne sera réalisée que lorsque les services peuvent être alors fournis à un coût moindre que celui correspondant au réseau existant. Le contournement, économiquement inefficace, des installations de l'opérateur historique sera évité. Dans le même temps, grâce à une orientation rigoureuse vers les coûts, les services proposés par les nouveaux entrants sur le marché ne seront pas subventionnés par le fournisseur historique. Ce type de subvention aurait pour conséquence de ne pas inciter les nouveaux opérateurs à investir dans leur propre infrastructure, ce qui aurait pour conséquence de réduire leur gain d'efficacité, en termes dynamiques du moins. Dans cette perspective, la régulation des prix orientés vers les coûts encourage les opérateurs de réseau à faire preuve d'efficacité.

Les taxes d'interconnexion ont une grande incidence sur les coûts et les recettes des différents acteurs et sur la dynamique de la concurrence; aussi l'organe de réglementation doit-il élaborer un cadre de référence permettant de déterminer ces taxes, c'est-à-dire d'évaluer le bien-fondé des coûts indiqués, cadre de référence qui, grâce à la simplicité et à la clarté de sa structure, doit rendre toutes les décisions transparentes et vérifiables afin qu'elles puissent être acceptées par le plus grand nombre, du moins pour ce qui est des procédures selon lesquelles elles ont été prises.

En règle générale, le coût d'un service peut être établi d'abord par rapport à la comptabilité de l'entreprise. L'avantage c'est que les données sont en principe disponibles et complètes, mais l'inconvénient tient au caractère historique des données de la comptabilité analytique que l'on constate dans de nombreux domaines et qui peut aller à l'encontre de la rentabilité recherchée, étant donné que l'on ne peut pas dire avec certitude que telle ou telle entreprise a fait preuve par le passé d'efficacité. Les données de la comptabilité analytique devraient, au besoin, être corrigées pour tenir compte de cette incertitude. Les coûts doivent quant à eux être affectés selon le principe de causalité (relation de cause à effet), lorsque cette opération apparaît raisonnable. Cette affectation présuppose un établissement des coûts par activité, méthode qui apparaît particulièrement bien adaptée aux unités dotées d'un effectif important. Seuls les coûts communs insensibles aux variations de volume qui ne peuvent plus être attribués devraient et doivent être répartis, par d'autres méthodes, entre les différents produits.

Du point de vue de la réglementation, une procédure d'évaluation fondée uniquement sur des données de comptabilité analytique pose un problème en particulier parce que les décisions ne peuvent être justifiées publiquement que dans une mesure très limitée, étant donné le caractère très sensible des données soumises.

Les coûts d'interconnexion sont principalement déterminés par les coûts des immobilisations et par les frais d'exploitation correspondants. Pour établir ces coûts et en général pour asseoir leur politique financière et stratégique en matière de produits, les compagnies de télécommunication peuvent utiliser, outre la comptabilité classique, des modèles de comptabilité analytique permettant de répliquer l'exploitation d'un réseau et d'identifier les coûts des différents services ou des différents éléments de réseau. Ces modèles sont en outre très utiles pour une autorité de réglementation dans son travail d'élaboration et de justification de ses décisions.

Dans les chapitres suivants nous présenterons cette possible méthode d'établissement des coûts, appliquée à l'infrastructure des réseaux locaux. Le modèle qui sera décrit est simple, tant il est vrai qu'il ne tient compte que des installations essentielles d'un réseau de télécommunication destiné à permettre l'accès à un réseau spécial, soit une interconnexion commutée en bande étroite et un accès à la boucle locale dégroupée sous forme de paires de conducteurs métalliques.² On peut le suivre facilement, étant donné que toutes les relations utiles entre les paramètres d'entrée et de sortie sont indiquées et se prêtent à un débat critique. Il est réalisé de telle manière qu'il permet l'établissement des coûts en fonction des données génériques, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas propres à une entreprise, mais également à l'inclusion, au besoin, de données spécifiques. Enfin, il est suffisamment souple pour permettre d'évaluer rapidement l'incidence de modifications de paramètres, ces modifications devant en effet permettre aux parties intéressées de juger de leur possible implication dans de futures décisions réglementaires.

Le modèle d'établissement des coûts décrit dans les pages suivantes constitue un modèle analytique qui, à partir d'une base scientifique généralement accessible, réduit la structure des coûts des réseaux (locaux) de télécommunication aux relations qui revêtent une importance fondamentale. Les auteurs souhaitent que le bien-fondé de cette réduction fasse l'objet d'un débat critique ouvert, avec pour but d'élaborer une méthodologie acceptable sur laquelle se fonderont les décisions réglementaires futures concernant le niveau des taxes d'interconnexion. Ils n'ignorent pas que le consensus qu'ils souhaitent voir se dégager sur la méthodologie ne peut pas porter également sur tous les paramètres pris en considération dans le modèle, mais, s'il est possible, un accord doit être obtenu en ce qui concerne certains cas particuliers. Toutefois, l'autorité de réglementation devra vraisemblablement se prononcer sur ce point.

La partie centrale du présent document est constituée par les deux chapitres suivants. Le Chapitre 2 présente la méthodologie d'établissement des coûts, décrit les éléments de réseau, illustre des questions méthodologiques fondamentales ainsi que des problèmes et détermine les domaines dont il faudra débattre. Il apparaît clairement qu'un certain nombre de conventions doivent être respectées dans l'intérêt du modèle.

Après cette description, le Chapitre 3 examine quant à lui en détail la structure du modèle tel qu'élaboré, dont la représentation se fonde nécessairement sur les conventions mentionnées ci-avant, lesquelles devraient faire l'objet de questions et d'interrogations dans le cadre de la procédure publique de consultation ultérieure. L'Annexe A dresse une liste des sujets de discussion, destinés à servir de guide pour des commentaires. L'Annexe B présente les données d'entrée utilisées dans le modèle, qui pourront être demandées pendant la procédure.

² Ces paires permettent l'installation de lignes d'abonné avec une largeur de bande de 2 Mbit/s (avec deux paires) au maximum.

2 Etablissement des coûts au moyen d'un modèle de comptabilité analytique

Les modèles d'établissement des coûts permettent de réduire la complexité de la fourniture de services de télécommunication à un nombre facile à gérer de relations essentielles entre les facteurs de production et les services fournis. Ces relations sont définies en termes aussi bien techniques qu'économiques. La notion de *modèle* suppose que les algorithmes utilisés pour déterminer les coûts seront formulés de façon générique, la comptabilité analytique pouvant ainsi utiliser la même procédure pour un nombre théoriquement illimité de cas susceptibles de différer les uns par rapport aux autres en raison des variables qu'ils comprennent. Il apparaît donc judicieux d'élaborer un modèle d'établissement des coûts dans les domaines où, tels que celui des réseaux locaux, il faut analyser un certain nombre de cas individuels ou de paramètres, tels que le retour sur investissement, la durée d'amortissement ou l'importance de la capacité inutilisée, pour en évaluer l'incidence sur les résultats.

Le modèle qui est ici décrit porte essentiellement sur les coûts de l'infrastructure de réseau, qui représentent la plus grande partie des services d'interconnexion et d'accès aux réseaux spéciaux. Quant aux coûts de l'équipement technique nécessaire à l'interfonctionnement entre les réseaux et des services spéciaux pour, par exemple, assurer une présélection, ils ne sont pas pris en considération étant donné qu'ils ne peuvent pas être imputés au titre de services d'accès au réseau, au sens strict, et ne sauraient donc faire partie des taxes d'accès au réseau. Les coûts de distribution et de gestion de la clientèle relatifs à l'accès aux réseaux spéciaux pourraient quant à eux être considérés comme faisant partie des taxes en question, mais il n'en est pas tenu compte dans le présent modèle étant donné qu'ils sont déterminés non par la mesure dans laquelle les éléments de réseau sont utilisés, mais par la nature de la relation entretenue avec les clients. Dans un modèle général consacré à l'exploitation du réseau, ces coûts ne sont pas accessibles. Au cas où l'attribution par origine ne serait pas possible, sauf au prix d'un effort déraisonnable, on pourrait envisager de procéder à une majoration du coût des éléments de réseau.

Le modèle analytique ne permet pas d'établir les coûts communs, insensibles aux variations de volume, qui se composent de coûts qui ne sauraient être attribués suivant le principe de causalité, soit directement, soit indirectement. Il n'est tenu compte des coûts communs que lorsqu'il est possible de les attribuer à un groupe de services (infrastructure), comme par exemple le coût lié à la protection de l'équipement technique. Il n'est pas possible de déterminer de chiffres de référence correspondant à ces coûts communs, occasionnés à d'autres niveaux de production et donc impossibles à associer à l'intégralité des services examinés dans le présent modèle. Le modèle a pour objet d'attribuer les coûts par causalité comme coûts directs, dans la mesure du possible, aux éléments de réseau donnés.

2.1 Coûts marginaux sur longue durée de la fourniture de services

2.1.1 Coûts marginaux sur longue durée

En vertu de la Loi sur les télécommunications et du Décret réglementaire du 1er octobre 1996 portant établissement des taxes de télécommunication, les taxes doivent se fonder sur le coût de la fourniture des services, c'est-à-dire des coûts marginaux sur longue durée plus une majoration appropriée correspondant aux coûts communs insensibles aux variations de volume.

L'évaluation des coûts marginaux sur longue durée est la mesure qu'une entreprise applique lorsqu'elle décide d'offrir sur le marché un service particulier: cette offre sera judicieuse lorsque les coûts occasionnés sur le long terme par sa décision seront au moins couverts par les recettes perçues.

Les coûts marginaux sont les coûts qu'une entreprise supporte pour fournir un service en plus d'un ensemble d'autres services; ils comprennent tous les coûts imputables directement ou indirectement au service, c'est-à-dire notamment les coûts indivisibles liés à l'accroissement produit. Etant donné qu'ils ne sont pas pris en ligne de compte dans la présente étude, les coûts communs insensibles aux variations de volume devraient apparaître sous forme de majorations appropriées appliquées aux coûts marginaux pour donner le coût total de l'ensemble des services.

Comme la décision qu'elle prend s'inscrit dans le long terme, l'entreprise peut prévoir et planifier le volume total de l'accroissement et les moyens nécessaires à sa production; l'accroissement devrait en conséquence être interprété comme l'intégralité de la production commercialisable d'un service fourni ou, dans un autre contexte, d'un élément de réseau.

La régulation des prix a pour but d'établir une certaine concurrence dans les domaines où soit elle n'existe pas du tout, soit elle est insuffisante. En effet, une entreprise confrontée à une très vive concurrence est contrainte de choisir le procédé de production qui se traduira par le coût le plus bas et elle doit en outre veiller à ne pas utiliser plus de ressources qu'il est absolument nécessaire. Il s'ensuit qu'au sens de l'alinéa 2 du § 3 du Décret réglementaire mentionné les coûts marginaux sur longue durée peuvent être interprétés comme étant équivalents à la partie des coûts imputables à la fourniture des services.

Dans les sections suivantes les auteurs examinent cette notion de coûts qui sont ainsi calculables. La notion de longue durée, telle qu'elle apparaît dans les dispositions mentionnées, suppose qu'une entreprise ne se heurte, dans la décision qu'elle prend de produire, à aucune restriction imposée, par exemple, par une décision passée irréversible limitant sa capacité d'investissement et, donc, de production. Dans une situation de libre concurrence, la liberté qu'a l'entreprise de fixer ses prix sur un marché dont l'accès est exempt de toute entrave est limitée par le prix pratiqué par un concurrent potentiel qui, par définition, a eu toute latitude pour choisir son procédé et ses moyens de production.

Cette allusion aux prix pratiqués par un possible concurrent pose toutefois un problème en ce sens que, pour établir des coûts du type en question, il convient de connaître précisément les procédés de production assimilés aux meilleures pratiques. Or, avant de connaître précisément le rapport coût-efficacité d'une technique nouvelle, une entreprise doit bien souvent attendre de s'être aventurée sur le marché et d'avoir commencé à y proposer ses services.

En ce qui concerne la nature des techniques et la structure de réseau qui sont à la base de la détermination des coûts, il faut disposer de conventions reflétant un accord général sur les technologies assimilables aux pratiques les meilleures mentionnées ci-dessus et garantissant l'existence d'informations suffisamment fiables sur lesquelles pourraient s'appuyer les décisions réglementaires. Il convient en outre de ne pas oublier que les procédés et les structures de production qui sont à la base de la décision de produire devraient s'inscrire sur le long terme.

Compte tenu de ces exigences parfois contraires, il faut arrêter des principes et des conventions sur la base desquels pourront ensuite être établis les coûts marginaux sur longue durée de la fourniture des services. Lesdites conventions ont pour principal objet la structure de réseau définie par les éléments suivants: type, nombre et emplacement des concentrateurs et des centraux, type de techniques de transmission et d'accès, etc., mais ont trait également à l'appréciation ou à la dépréciation des immobilisations, aux niveaux de la demande, à l'emploi de la capacité inutilisée ainsi qu'aux coûts d'exploitation correspondants.

2.1.2 Coût des éléments de réseau

A l'aide du modèle présenté, on établit le coût des éléments de l'infrastructure de réseau. Le réseau de télécommunication se décompose en éléments définis selon les fonctions qu'ils assurent, par exemple commutation ou transmission. S'agissant des services assurés grâce à l'accès des réseaux spéciaux les coûts sont, par contre, souvent décrits par rapport aux fonctions combinées de plusieurs éléments de réseau. Lorsque l'on veut établir les coûts d'accès au réseau, on suppose soit que les différents services sont équivalents aux éléments de réseau, soit que leur coût peut être établi en additionnant les coûts des éléments de réseau utilisés. Cette méthode d'établissement des coûts par rapport aux éléments de réseau permet d'associer les coûts des services, selon une formule simple et vérifiable, aux éléments fonctionnellement définis qui sont de fait utilisés.

Dans cette formule, on considère que les coûts marginaux sont les coûts occasionnés par la fourniture de la totalité des éléments de réseau pour lesquels il existe une demande; le coût d'un élément est donc égal à la différence entre les coûts d'un réseau comprenant l'élément en question et ceux d'un réseau dépourvu de cet élément. Contrairement à ce qui se passe dans le cas de l'établissement des coûts marginaux, on tient donc généralement compte des coûts indivisibles associés à la fourniture de l'élément de réseau. Les coûts moyens sur longue durée liés à la fourniture de l'accroissement sont donc établis par rapport à une unité de production de cet élément.

Lorsqu'il est possible d'attribuer l'utilisation des éléments de réseau par différents services à un dénominateur commun ou, plus précisément, à un critère de coûts communs, les coûts marginaux des éléments de réseau doivent être attribués, de la même manière, à ces services; ainsi, l'utilisation d'un central local pour une communication locale ou à grande distance est fondamentalement la même, c'est-à-dire que dans ce cas précis un canal est occupé, de même que les interfaces entrantes et sortantes au réseau interbureaux et au réseau d'accès. La mesure du coût est donc, alors, le nombre de minutes de communication en heure chargée. Grâce à la méthode d'établissement des coûts par rapport aux éléments de réseau, il est possible de ne pas prendre en ligne de compte, de façon inappropriée, les coûts fixes correspondant aux coûts indivisibles, par exemple les coûts des unités de traitement central ou ceux des tranchées et des câbles en fibre optique, comme étant les coûts communs de plusieurs services, mais par contre de les considérer comme des coûts imputables d'éléments de réseau qui sont attribués aux différents services, là encore selon le principe de la causalité, c'est-à-dire en fonction de l'utilisation en période chargée. En ce sens, les coûts marginaux sur longue durée des éléments de réseau sont les coûts "communs" à différents services, mais ne sont pas des coûts communs insensibles aux variations de volume dont la caractéristique est qu'ils ne peuvent pas, en principe, être attribués selon leur origine.

On ne peut toutefois pas exclure l'existence au niveau des éléments de réseau de coûts communs, occasionnés par la fourniture simultanément de plusieurs éléments; il peut s'agir des coûts relatifs à un réseau de conduite utilisé à la fois par des câbles d'alimentation et par des câbles de jonction.

Dans pareils cas, il conviendrait de se demander s'il n'est pas possible de définir une mesure d'utilisation commune permettant de ventiler les coûts; cette mesure pourrait par exemple être le nombre de tuyaux utilisés par rapport auquel les coûts de génie civil sont ventilés entre différents éléments de réseau. Ce n'est que lorsqu'il est impossible de définir la mesure d'utilisation commune ou de la gérer qu'il conviendra de prendre en considération d'autres mécanismes de ventilation.³

Il nous faut ici insister à nouveau sur le fait que seuls les coûts qui ne sont pas imputables directement ou indirectement - sauf à grand renfort d'astuces - seront répartis entre les différents éléments de réseau au moyen d'une clé de majoration ou de toute autre modalité. Dans l'exemple donné, les tuyaux peuvent être directement ventilés entre les éléments de réseau, de telle sorte que le coût des travaux de génie civil sera, pour l'essentiel, divisé entre eux.

Enfin, il convient d'observer que les éléments du réseau téléphonique auxquels il est fait ici allusion peuvent être utilisés en partage avec d'autres réseaux: l'utilisation partagée de bâtiments et d'autres éléments d'infrastructure, en particulier les tranchées et les conduites, illustre cette possibilité.

On peut concevoir une utilisation partagée de l'infrastructure entre des réseaux de télécommunication destinés à la fourniture de services en bande étroite (RTPC) et:

- des réseaux de distribution à large bande (télévision par câble);
- des réseaux superposés à large bande, et
- d'autres réseaux de services publics (gaz/eau/électricité).

Comme il est possible normalement de réaliser des économies d'échelle ou de gamme, de telle sorte que le volume des investissements n'augmente que de façon dégressive par rapport à l'accroissement de la capacité, il est possible d'économiser des montants considérables par l'utilisation en partage de bâtiments, de tranchées, de réseaux de conduite. L'exposé ci-dessus s'applique à l'imputation de ces coûts. L'utilisation en partage a, selon son étendue, une importante incidence sur les coûts imputés aux éléments du réseau téléphonique et cela est particulièrement vrai pour les installations extérieures, c'est-à-dire le réseau d'accès et le réseau interbureaux.

³ Pour imputer les coûts communs on peut utiliser la méthode de Shapley, qui permet d'obtenir par approximation un résultat pour la négociation entre les commanditaires des divers projets concernant la répartition des coûts communs ainsi occasionnés. La valeur de Shapley est déterminée par l'adoption d'une formule où la séquence des projets à exécuter est considérée comme incertaine et donc également probable. Est considéré comme projet dans ce contexte la réalisation, par exemple, de trajets pour divers réseaux de services publics. Selon la séquence de leur réalisation, les différents projets occasionnent différents coûts imputables: si seulement deux projets sont réalisés, tous les coûts directs et communs sont attribués dans leur intégralité au projet qui a été exécuté le premier, alors que seuls les coûts marginaux sont imputés au deuxième projet. Tous les coûts imputables de ce type sont établis pour chaque projet, pour toutes les séquences possibles. La valeur de Shapley est la valeur escomptée des coûts ainsi imputables à un projet. Il s'agit d'un mécanisme d'imputation des coûts qui peut être pris en considération en particulier pour tous les cas où les clés classiques de répartition des coûts communs ne peuvent pas se fonder sur des volumes de production sensiblement comparables. L'utilisation de la méthode de Shapley dans une perspective réglementaire doit toutefois être précédée par une analyse plus approfondie de l'idée même et de sa possibilité d'être mise en oeuvre.

La modélisation explicite de l'utilisation en partage de l'infrastructure entre éléments de réseau et, notamment, entre différents réseaux doit se fonder sur une base d'informations qui en général n'est pas disponible. Toute formule novatrice devrait se fonder sur l'hypothèse d'une réalisation conjointe par les entités responsables des réseaux avec une utilisation maximale des économies de gamme.

Dans la réalité, l'utilisation généralisée des possibles économies de gamme devrait, selon nous, se heurter à des coûts de transaction trop élevés; par ailleurs, il est toutefois également irréaliste de penser que les économies de gamme ne sont généralement pas utilisées et que les réseaux de distribution du gaz/eau/électricité et des égouts sont conçus dans leur principe comme des réseaux indépendants. L'information émanant des opérateurs de réseau à propos des réalisations communes existantes peut illustrer l'étendue de l'utilisation en partage de l'infrastructure. De plus, il est possible, le cas échéant, de tenir compte dans les calculs du modèle d'éventuels accords de répartition des coûts, ce qui peut se traduire par une réduction des prix des travaux de génie civil. Dans pareils cas, la ventilation des coûts communs entre les différents réseaux sera prévue par voie d'incorporation dans les données d'entrée.

2.2 Etapes de l'établissement des coûts

Le travail de modélisation commence par une définition de la nature et de l'étendue de tous les services et moyens proposés sur la base de l'infrastructure du réseau. Dans un réseau local, il s'agira des lignes d'abonné, des systèmes de commutation et de transmission et, éventuellement, des lignes louées. La quantité à fournir dépend du nombre de lignes du réseau local et de la demande de communications téléphoniques qui en résultent, dont chacune utilise au moins un commutateur. Il n'est pas rare que dans un réseau local des dispositifs de transmission soient également utilisés. Dans le modèle on tient compte de paramètres pour la demande sous forme de quantités exogènes, ce qui doit être considéré comme une simplification, la demande dépendant en effet du prix demandé. Dans la mesure où le prix lui-même se fonde sur le coût, nous sommes confrontés, d'un point de vue technique, à un problème dit d'équations simultanées. On ne peut éviter de spécifier la demande comme une quantité exogène lorsque la demande, comme c'est le cas ici, ne peut pas être modélisée "simultanément" en fonction des taxes, qui dépendent quant à elles des coûts.

Dans l'étape suivante, on détermine le volume d'investissement nécessaire pour réaliser une infrastructure de réseau local à même de satisfaire la demande définie ci-dessus. Il faut tenir compte aussi bien des contraintes techniques que des impératifs d'efficacité des services fournis. A cette fin, on suivra la séquence ci-dessous (dans le cas où on peut concevoir plusieurs procédés de production et plusieurs structures de réseau) pour différents scénarios technologiques et pour un certain nombre de structures de réseau différentes, si aucune détermination n'a été faite à l'avance.

Le volume de l'investissement déterminé est évalué aux prix courants des biens d'équipement, cette procédure reflétant les calculs que doit faire un nouvel entrant. Pour une entreprise qui opère déjà ou est sur le point d'opérer dans un environnement concurrentiel et qui a déjà arrêté le montant de son investissement, le coût de remplacement est le paramètre qu'elle doit utiliser pour évaluer le capital productif employé dans l'établissement des coûts et des prix fondés sur ces derniers, si elle veut pouvoir rivaliser avec une certaine réussite. Utiliser des prix courants pour établir une norme d'évaluation des coûts liés à la fourniture des services garantira une utilisation rentable des ressources, pour la raison notamment que les possibles décisions qui doivent être prises à propos d'une entrée sur le marché des réseaux ne seront pas faussées par l'application de critères d'établissement des coûts différents selon qui fournit ou qui nécessite l'accès au réseau.

Les valeurs d'investissement sont converties en coûts annualisés. Il est tenu compte de l'amortissement et du rendement escomptés du capital productif employé ainsi que des frais d'exploitation effectifs, moyennant l'application de facteurs d'annualisation qui revêtent une importance capitale en ce qui concerne les résultats de la comptabilité des coûts opérationnels et l'application de modèles de coûts analytiques. Il ne sera pas possible d'éviter des jugements de valeur, en particulier en ce qui concerne l'établissement des durées et méthodes d'amortissement et du taux de rentabilité des capitaux investis. Si elles peuvent aider dans des décisions de ce type, les méthodes scientifiques ne sauraient remplacer les conjectures auxquelles, dans un environnement concurrentiel, doit se livrer la direction de l'entreprise ou, ici, l'autorité de réglementation en dernier ressort. Les décisions en question peuvent et devraient être précédées par un débat avec toutes les parties intéressées. En outre, on pourra consulter les données de référence internationales.

Des coûts annuels sont déterminés pour des éléments de réseau tels que lignes d'abonné, centraux et lignes de transmission. Le maintien d'une capacité disponible pour faire face aux charges de pointe donne lieu à des coûts de transport, c'est-à-dire des coûts occasionnés par l'utilisation d'éléments de réseau dimensionnés pour satisfaire la demande de trafic prévu; au début, ces coûts ne peuvent être en conséquence établis que comme les coûts annuels de fourniture de capacités, mesurés grosso modo en fonction du volume de trafic traité, avec une certaine probabilité de perte, pendant l'heure de pointe sur laquelle se fonde le dimensionnement (erlangs aux heures chargées). La conversion en coûts par minute s'effectue sur la base des procédures et des conventions exposées dans la section 0.

Les coûts d'interconnexion correspondent au coût total des composantes de réseau utilisées. Au besoin, il conviendrait d'appliquer des coefficients indiquant avec quelle fréquence statistique un élément de réseau est utilisé pour assurer un service déterminé. Les coûts sont ensuite rapportés à un seul réseau local. Lorsque des valeurs moyennes doivent être établies au niveau d'un ensemble supérieur, par exemple un pays, les coûts des éléments des différents réseaux locaux doivent être moyennés et pondérés de façon appropriée, compte tenu des statistiques relatives au nombre d'abonnés ou au volume de trafic. Lorsque les coûts sont établis par échantillonnage, hypothèse ici retenue, il faut veiller à ce que les réseaux pris en considération soient représentatifs de facteurs tels que la densité de lignes ou le nombre d'abonnés.

2.2.1 Définition de la demande

Pour la modélisation il faut déterminer un total de quatre paramètres: la demande de lignes d'abonné, la demande de trafic aux heures de pointe, comprenant les appels en provenance et à destination des réseaux interconnectés, le nombre de tentatives d'appel aux heures de pointe et, éventuellement, le nombre de lignes louées dans différentes sections du réseau. Les informations concernant toutes les variables relatives à la demande peuvent être demandées auprès des opérateurs de réseau et, si nécessaire, d'autres fournisseurs de services de télécommunication. Dans la suite du texte il est toutefois supposé que ces données ne sont pas disponibles dans un premier temps, de sorte qu'il faut avoir recours à d'autres sources.

Lorsque l'on veut déterminer la demande correspondant aux lignes d'abonné, le problème qui se pose est que ce n'est pas seulement le nombre de lignes par réseau local qui importe: la répartition géographique de la demande est en effet un élément déterminant dans l'établissement des coûts du réseau d'accès. Etant donné le taux élevé de la pénétration téléphonique au niveau résidentiel, les statistiques démographiques peuvent être utilisées comme point de départ pour estimer la demande, ces données étant disponibles pour un certain nombre d'Etats fédéraux sous forme de ce que l'on appelle la *Wohnplatzstatistik* aux différents niveaux d'agrégation selon les découpages des villes, ce qui permet d'obtenir un échantillon représentatif de la structure démographique de la République fédérale. Il n'est pas possible de procéder à un recensement complet avec les données actuellement disponibles. Le nombre de ménages déterminé est rapporté aux zones habitées desservies par un

réseau local et pondéré en fonction de la densité d'abonnés. On tient compte également des lignes utilisées par les entreprises, par l'application de facteurs de majoration et de différenciation selon la densité de population, de telle sorte que la densité d'abonnés augmente progressivement avec la densité de population. Conformément aux hypothèses que nous avons retenues, le type de ligne n'a aucune incidence sur la configuration du réseau d'accès étant donné qu'il est possible de réaliser des connexions soit analogiques, soit numériques sur des paires de conducteurs métalliques. Les différences de coût tiennent à la terminaison de réseau au domicile ou dans les locaux du client et aux cartes de ligne au niveau du central; on peut les établir et les examiner séparément.

Pour ce qui est de l'estimation du trafic par ligne d'abonné il est possible d'utiliser comme guide des statistiques publiquement disponibles ou des données de référence internationales, mais également d'interpréter les objectifs de planification des fabricants d'équipement; cela vaut en particulier pour déterminer la durée d'occupation et le nombre de tentatives d'appel par heure de pointe. Ici il convient de tenir compte de la demande de trafic émanant des lignes à usage professionnel, laquelle est plus importante, comme en témoigne le fait qu'aux noeuds de réseau des centres industriels correspondent des volumes de trafic proportionnellement plus élevés en raison de la part plus grande représentée par le trafic professionnel. Rien n'étant dit ici à propos des structures tarifaires adaptées aux différents services, il suffit de connaître le niveau de la demande cumulée aux heures de pointe, mais pas nécessairement la progression exacte de la courbe du trafic journalier. Il importe de se rappeler que ce n'est pas nécessairement la demande ou pendant l'heure de pointe moyenne, mais plutôt une valeur plus élevée, comprise entre la charge de crête moyenne et le maximum mensuel ou annuel, qui peut déterminer le dimensionnement du réseau commuté. Le niveau approprié de la majoration en question est sujet à discussion.

Lors de l'établissement des coûts, il faut tenir compte des lignes louées, mises en place parallèlement aux lignes d'abonné, de telle sorte qu'une partie des coûts du réseau d'accès, c'est-à-dire correspondant aux lignes de transmission, leur soit imputable. Une procédure d'imputation pragmatique consisterait à attribuer aux lignes louées une partie des coûts du réseau d'accès et du réseau interbureaux, correspondant à leur part en pourcentage au niveau des paires de conducteurs métalliques du réseau d'accès et au niveau des connexions numériques à 2 Mbit/s du réseau interbureaux. Ces parts doivent être vérifiées et confirmées dans la pratique en attendant que des données soient fournies par les opérateurs de réseau. Il n'est pas prévu d'explicitier les coûts des lignes louées.

2.2.2 Volumes d'investissement correspondant à un réseau générique

Une fois déterminés les paramètres de la demande, il convient d'établir la nature et l'étendue des investissements nécessaires, ce qui suppose préalablement de définir ce qu'est un réseau générique.

Les opérateurs de réseau qui adoptent une démarche prospective ont souvent à choisir le procédé de production qu'ils souhaitent mettre en oeuvre, choix qui porte principalement sur le type de technologie et sur l'emplacement des noeuds de réseau; les décisions sont ici interdépendantes. Toute chose étant par ailleurs équivalente, le facteur déterminant est le coût annuel des différents procédés disponibles. Comparer les investissements totaux ne suffit pas étant donné les différences qui existent en ce qui concerne les durées d'amortissement et le niveau des frais d'exploitation.

Un choix type entre diverses topologies de réseau peut être décrit comme suit: le réseau local réalisé peut comporter un nombre important de noeuds, c'est-à-dire de centraux et de concentrateurs distants, d'où des lignes moins longues, ou, à l'inverse, un nombre de noeuds moins élevé, d'où des lignes plus longues; il importe de comparer les économies réalisables au niveau du réseau d'accès grâce à l'utilisation de lignes et de câbles de moindre longueur et les coûts plus élevés de maintenance des noeuds et des équipements de transmission; en ce qui concerne la technologie qui

sera mise en oeuvre dans le réseau de transmission et dans le réseau d'accès, plusieurs options existent, notamment au niveau du câble d'alimentation, par exemple conducteur métallique ou fibre optique, etc.

Avant de pouvoir réaliser un réseau au moindre coût il faut avoir résolu des problèmes d'optimisation compliqués. Plus le degré de liberté est élevé et plus il sera compliqué de trouver des solutions. La formule optimale sera toujours déterminée par la nature même des paramètres qui auront été retenus: la variation d'une seule valeur, par exemple le taux de rendement escompté, aura en effet une incidence immédiate sur la solution optimale recherchée.

Le degré de liberté qui sera autorisé dans la détermination d'un réseau générique relève de la décision de principe de l'organe de réglementation. Le choix qui sera en définitive arrêté oscillera d'une part, entre l'optimisation de tout le réseau, par l'utilisation de toutes les techniques véritablement éprouvées et, d'autre part, la reproduction exacte des réseaux de l'entreprise ou des entreprises se conformant à la réglementation existante.

Quelle qu'elle soit, l'option choisie devra garantir la stabilité et la prévisibilité de la méthode d'établissement des coûts sur le moyen terme, même si des valeurs retenues au départ changent, en maintenant tels quels, pendant un certain temps après leur définition initiale, le réseau générique et, partant, le procédé de production retenu, en particulier en ce qui concerne la technologie choisie et l'emplacement des noeuds, aux fins d'une régulation des prix. Sur la base de ce réseau générique, on devrait ensuite établir l'incidence que pourraient avoir sur les coûts de fourniture des services les changements de paramètres qui pourraient intervenir pendant la période en question, par exemple changement du prix des biens d'équipement ou de la demande; ainsi, les intéressés pourront avoir confiance dans la politique réglementaire future étant donné qu'ils pourront calculer à l'avance leurs coûts selon une séquence ascendante en tenant compte de changements prévus de paramètres. Quoi qu'il en soit, un réseau générique doit à intervalles réguliers faire l'objet d'une révision, annoncée à l'avance, pour s'assurer que d'éventuels changements de conditions techniques, opérationnelles ou économiques sont bien pris en compte dans la configuration du réseau et seront ainsi répercutés au niveau des coûts.

Il faudra voir dans le cadre d'une concertation dans quelle mesure le réseau de la DTAG ou celui d'un autre opérateur constitue le réseau générique. En effet, en choisissant une technologie et en arrêtant l'emplacement des noeuds, on quitte le domaine de l'optimisation d'une méthode de fourniture des services pour entrer dans celui des hypothèses sur lesquelles se fonderont les calculs relatifs au modèle; dès lors, il faut constamment garder présentes à l'esprit ces contraintes et les soumettre à un examen critique.

Pour élaborer le modèle exposé ci-après, il a été essentiel, au moins pour des raisons de clarté de l'information, d'arrêter un certain nombre de conventions, de sorte que le modèle n'obéit en aucun cas à une logique d'optimisation généralisée. Les hypothèses sur lesquelles se fonde le choix de la technologie et des emplacements des noeuds sont autant d'estimations, en ce qui concerne les procédures de production, qui sur le moyen terme se prêtent bien à la planification des lignes d'abonnés de transport commuté à bande étroite; les hypothèses les plus importantes retenues sont les suivantes:

- L'emplacement des centraux et des concentrateurs est indiqué à l'avance, étant donné que les possibilités de restructuration, à long terme, sont limitées elles aussi, en particulier en ce qui concerne les réseaux d'accès. La décision concernant les emplacements est par ailleurs en général extrêmement complexe, étant donné que le choix se heurte à un certain nombre de contraintes qu'il faut conserver présentes à l'esprit. Il apparaît plausible que les emplacements soient choisis essentiellement en fonction de la densité d'abonnés prévus, de telle sorte que les noeuds du réseau sont implantés principalement dans des agglomérations.

Etant donné l'incidence déterminante des coûts relatifs au réseau d'accès sur les coûts totaux relatifs au réseau local, cette hypothèse peut être considérée comme s'approchant d'une solution optimale.

- Une autre des hypothèses retenues est que les réseaux d'accès continueront d'utiliser des conducteurs métalliques (cuivre), technique largement normalisée qui a fait ses preuves, contrairement à la fibre optique ou à la technique hertzienne. Les fils de cuivre continueront de constituer le type le plus répandu de connexion dans les réseaux d'accès existants dans un avenir prévisible. Même si d'autres options pourront être proposées aux abonnés exigeant une grande largeur de bande, ils continueront de convenir à la majorité des abonnés résidentiels ainsi qu'aux petites et moyennes entreprises dans les années à venir.
- La commutation est basée sur la technique du numérique. La commutation analogique a été complètement supprimée du réseau de la DTAG à la fin de 1997 et n'y sera plus utilisée, pas plus que dans les réseaux d'autres opérateurs. La commutation et la transmission par paquet utilisant l'ATM en sont encore au stade des essais et de la mise en oeuvre préliminaire. Il n'est donc pas possible de procéder à des estimations de coûts fiables.
- Le réseau interbureaux utilise la hiérarchie numérique plésiochrone et la technique de transmission optique.⁴ On obtient ainsi un réseau en forme d'étoile entre les centraux locaux et les concentrateurs, et un réseau maillé entre les différents centraux locaux.

2.2.3 Coûts d'immobilisation

Pour déterminer le coût annuel de fourniture des éléments de réseau il faut d'abord établir le coût du capital productif employé. Les télécommunications sont une industrie à forte intensité de capital dont le coût a une incidence déterminante sur le coût des services fournis. Le coût du capital productif se calcule en trois temps, dont le premier consiste à évaluer le capital productif. La valeur de référence est le coût de remplacement, d'acquisition des biens d'équipements qui devraient être achetés dans un souci de continuité pour assurer les fonctions des éléments de réseau en question. On ne peut s'écarter de cette convention que dans la mesure où la définition du réseau générique prévoit l'utilisation d'autres biens d'équipement. Un abandon du principe d'adoption du dernier cri technologique est justifiable lorsqu'il devient manifeste que l'utilisation de cette technologie sur une grande échelle ne peut pas se faire dans le réseau en question pendant la période considérée ou lorsque l'on met en oeuvre des techniques nouvelles principalement dans le but d'offrir maintenant et dans l'avenir des services autres que la simple téléphonie. Ces éléments de détermination doivent être transparents et devraient faire l'objet d'un examen.

Dans un deuxième temps, on fixe les durées et méthodes d'amortissement pour les différents groupes d'actifs et, troisièmement, on doit établir le rendement attendu du capital employé.

2.2.3.1 Evaluation du coût des biens d'équipement: coût de remplacement

Il existe, pour l'essentiel, deux façons de calculer la valeur de base qui doit être appliquée dans la détermination du coût d'immobilisation: premièrement, le coût d'achat ou le coût de production des biens d'immobilisation au moment de leur achat (coût historique) et, deuxièmement, le coût de

⁴ Voir la Note de bas de page 6 à cet égard.

remplacement ou la valeur du marché, comme le prix à payer au moment de l'évaluation (coût courant) pour remplacer les actifs existants par des actifs de même nature et de même qualité, remplissant une fonction équivalente, dans leur nouvelle situation, c'est-à-dire sans prendre en considération la perte de valeur qui est intervenue.

Comme les données concernant les dépenses d'investissement ont été en général exprimées par le passé en termes d'actifs immobilisés, l'utilisation des coûts historiques est considérée comme la solution la plus aisée des deux à mettre en oeuvre; c'est là par ailleurs la raison fondamentale pour laquelle la plupart des entreprises de télécommunication continuent de préférer cette méthode.

Toutefois, l'évaluation des actifs en fonction de leur coût historique est manifestement contraire, et c'est là un argument décisif, à la démarche prospective souhaitée par l'organe de réglementation et considérée en outre comme appropriée dans un environnement concurrentiel. Seuls des coûts établis en fonction d'hypothèses devant se réaliser à terme peuvent constituer une base solide pour l'établissement de prix réalistes.⁵

L'application du principe des coûts courants est souvent considérée comme source de problème lorsque le prix des actifs baisse dans le temps; c'est ce que l'on observe avec les systèmes de télécommunication en particulier, qui peuvent devenir rapidement obsolètes. Des détracteurs font observer que les entreprises doivent supporter 100% des coûts historiques en termes monétaires et que des prix fondés sur des valeurs courantes moindres ne permettraient pas de couvrir ces coûts; cette objection n'est valable, toutefois, que dans la mesure où elle concerne des modifications de prix qui n'ont pas été anticipés. La diminution de valeur résultant de modifications de prix anticipés peut en effet être imputée à l'annuité d'amortissement par l'adjonction de la perte de valeur causée par la baisse des prix au montant de la dépréciation calculée sur la base du coût de remplacement, ce qui donne, pour chaque période, un montant de dépréciation comprenant la perte de valeur en fonction du facteur temps et la perte de valeur en fonction de la baisse des prix.⁶

Le modèle a pour but de déterminer ce que constituent les coûts de fourniture des services. Compte tenu des contraintes et des limites mentionnées ci-dessus, il ressort que seules les technologies "efficaces" parmi celles qui sont actuellement mises en oeuvre seront utilisées pour servir de base à l'établissement des coûts; normalement, leurs prix courants devraient être disponibles. Le problème

⁵ Cf. les remarques du Comité d'experts au BMPT: "La raison pour laquelle il faudrait utiliser le principe de la comptabilité des coûts courants est que seuls les prix courants, et non les coûts d'achat historiques, reflètent les pénuries passées et que seuls les prix courants peuvent donc servir de signal en vue de l'utilisation efficace des ressources". (Ministère fédéral des Postes et des Télécommunications: Basic Considerations on a Cost Benchmark for the Eligibility for Approval of Monopoly Tariffs, Information Series on Regulation Issues N° 10, Bonn, mai 1993, page 27).

⁶ Cette façon de procéder est comparable à celle applicable au cas d'une augmentation de prix, et non plus de baisse; les dotations aux amortissements fondées sur les coûts de remplacement sont réduites de l'augmentation de la valeur de l'actif résultant de l'augmentation des prix.

se posera lorsque la technologie sur laquelle se fonde les hypothèses retenues dans le cadre du modèle n'a plus sa place dans les investissements futurs ou n'est retenue que pour des réinvestissements de portée limitée. Il peut être nécessaire ici d'établir des prix courants sur la base des prix de remplacement ou bien d'indexer le prix des installations de départ.⁷

2.2.3.2 Amortissement

Etant donné qu'une bonne méthode d'amortissement vise à étaler la valeur d'un actif sur toute la durée de sa vie économique pendant laquelle il génère des flux de recettes, les calculs se fondent sur les durées de vie économique-techniques réelles des avoirs, c'est-à-dire sur des durées légèrement différentes de la durée économique prescrite par le droit fiscal et commercial, d'où l'existence de supputations en ce qui concerne la durée de vie économique probable d'un actif, ou, pour des raisons pragmatiques, d'une classe d'actifs. Il convient donc d'établir sa méthode d'amortissement, suivant les quatre possibilités ci-après:

- 1) la méthode la plus commune est celle de l'amortissement linéaire: elle donne des dotations qui, par rapport à la valeur *réelle* de l'actif, sont constantes. Lorsque l'on applique des coûts courants, les dotations nominales font toutefois l'objet de variations annuelles en raison de l'évolution du prix de l'actif en question;
- 2) la variabilité des taux des dotations réelles reflète des mouvements qui font que l'amortissement linéaire apparaît inadéquat: avec la méthode de l'amortissement décroissant, les taux sont plus élevés au début de la période d'amortissement et baissent année après année; cette méthode est surtout utilisée quand, par précaution, la plus grande partie de la dépréciation d'un bien doit être amortie au tout début de son utilisation;
- 3) avec la méthode de l'amortissement croissant, le contraire s'applique: les taux sont au plus bas au début de la période d'amortissement et croissent année après année; cette méthode pourrait être choisie s'il importait de montrer qu'un bien ne peut être pleinement utilisé qu'après un certain laps de temps, en raison de l'augmentation prévue de la demande, et que son amortissement doit être fonction de l'utilisation, mais elle n'est que peu utilisée en comptabilité;
- 4) Avec la méthode de l'amortissement économique, on calcule la dotation annuelle en fonction de la différence existant entre la valeur actualisée nette du bien au début et à la fin de la période; comme cette valeur est calculée en fonction du total des marges brutes d'autofinancement (ou cash flow) que l'on prévoit retirer de l'utilisation du bien, actualisées par rapport au temps du moment, tous les éléments pouvant influencer le calcul doivent être pris en ligne de compte, à savoir l'évolution prévisible de la demande, du progrès technologique, le mouvement général des prix, etc.

⁷ Cette façon de procéder n'est pas contraire à l'impératif d'efficacité. Par exemple, on a dans un premier temps utilisé comme moyen de transmission numérique de l'équipement utilisant la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH); or, il se trouve que le remplacement d'éléments de réseau et peut-être le réinvestissement, lui aussi, lorsqu'il touche une partie suffisamment importante du réseau, concernent la hiérarchie numérique synchrone (SDH) qui est plus moderne. Quoi qu'il en soit, il est proposé de continuer d'établir les coûts sur la technologie PDH en vue d'offrir des services à bande étroite dans la zone locale jusqu'à preuve du contraire d'inefficacité.

Conformément aux prescriptions du droit fiscal et commercial, les entreprises utilisent surtout dans leur comptabilité fixe la méthode de l'amortissement linéaire ou celle de l'amortissement décroissant; pour des raisons pratiques, elles utilisent souvent également les mêmes chiffres, sans modification, pour l'établissement de leurs coûts: en conséquence, il n'existe pas à proprement parler d'amortissement aux fins de leur comptabilité analytique, c'est-à-dire différent de la dépréciation comptable.

Dans la perspective d'une répartition des coûts fondée aussi étroitement que possible sur le principe de causalité, la méthode de l'amortissement économique est en général préférable aux autres: il n'est d'abord pas réaliste de penser qu'un bien, qu'un actif donnera toujours tout son potentiel à des taux qui soient constants année après année (amortissement linéaire) ou à des taux annuels qui baissent petit à petit (amortissement décroissant). Les fluctuations de la production sur la durée, dues par exemple à des modifications de la demande, ne seront pas prises en ligne de compte; en outre, une méthode stricte d'amortissement linéaire ou d'amortissement décroissant ne tient pas compte de l'éventuel vieillissement prématuré d'un bien, dû à l'innovation technique, qui réduit aussi bien sa durée de vie restante que sa capacité de gain. Etant donné qu'elle tient compte de tous ces éléments, la méthode de l'amortissement économique doit être considérée comme la mieux adaptée pour ventiler les coûts d'un bien sur la durée de sa vie économique en suivant d'aussi près que possible le principe de causalité.

La méthode de l'amortissement économique exige toutefois un nombre élevé de données: si on veut en faire une utilisation cohérente, il conviendra d'estimer tous les éléments pouvant avoir une influence sur le bien (évolution du prix, fluctuations de la demande, progrès technologique, etc.) pendant le reste de sa vie et en tenir compte dans les calculs; en outre, les données et les hypothèses retenues devront être revues à intervalles réguliers et éventuellement corrigées.

Outre les arguments de transparence et de facilité d'emploi mentionnés, il nous faut signaler un autre élément en faveur de la méthode de l'amortissement linéaire, l'une des deux méthodes classiques appliquées au présent modèle: elle se rapproche dans la pratique de la méthode de l'amortissement économique. C'est le cas lorsque, comme nous l'avons signalé dans la section précédente, on applique le principe des coûts courants et que l'on tient compte des modifications de la valeur des biens en fonction de l'évolution de leur prix. Pour autant que la structure des marchés d'achat des systèmes de télécommunication soit largement compétitive, nous pouvons alors supposer en outre qu'il a été au moins tenu compte, approximativement, dans les prix de l'incidence des éléments mentionnés ci-dessus sur la valeur actualisée nette d'un bien. De plus, l'amortissement linéaire peut être considéré comme la dotation annuelle moyenne sur la totalité de la période d'amortissement. Etant donné que nous utilisons un modèle générique pour le réseau local qui est représentatif de la "moyenne" d'un grand nombre de réseaux locaux, il convient d'employer la dotation moyenne d'amortissement pour tous les réseaux locaux, quelle que soit la méthode particulière utilisée.

Si, dans cette optique, les biens sont ensuite actualisés suivant le principe des coûts courants, la moyenne correspondra à peu près à la dotation produite par la méthode de l'amortissement linéaire. On suppose que cette dotation a été ajustée d'une valeur reflétant l'évolution du prix du bien en question; cet ajustement est à la baisse lorsque cette évolution est positive et à la hausse lorsqu'elle est négative. Tenir compte de cette évolution dans la dotation correspond à l'utilisation d'un taux d'intérêt "réel" qui doit être appliqué lorsque les biens sont évalués en fonction de leurs coûts de remplacement. Lorsque le prix du bien augmente, le taux d'intérêt réel est moindre et lorsque le prix baisse, il est supérieur au taux d'intérêt nominal. Telle est la formule qui a été adoptée pour déterminer dans le présent modèle le coût des immobilisations.

Sans utiliser la méthode de l'amortissement économique, il est également possible de modéliser les incertitudes liées à l'évolution future, par exemple lorsque les durées d'amortissement correspondant

à différentes catégories de biens sont différentes dans un certain nombre de scénarios; ainsi les calculs reflètent la possibilité de réduire la durée de vie économique d'un bien pour tenir compte du progrès technologique ou, au contraire, de l'allonger pour l'adapter à l'évolution de la demande, ce qui entraîne des modifications des dotations aux amortissements.

Nous pouvons en conséquence conclure que la méthode de l'amortissement linéaire, fondée sur des coûts de remplacement, est bien adaptée aux objectifs de notre modèle, conclusion que confirme une étude comparative d'Oftel⁸, qui a montré que l'utilisation de la méthode de l'amortissement linéaire ne produisait aucune déviation systématique.

2.2.3.3 Retour sur investissement escompté

Habituellement les entreprises estiment comme fictif le coût des intérêts du capital mobilisé dans leurs avoirs; elles ne s'appuient donc pas sur les chiffres de leur comptabilité financière, c'est-à-dire les intérêts réellement payés, mais l'on considère que l'ensemble des avoirs sociaux sont financés par l'intégralité des emprunts et dettes assimilées employés. Cette idée tient à la notion du coût d'opportunité: il ne faudrait pas oublier que, si elle n'a pas supporté d'intérêts débiteurs sur le capital actions utilisé, l'entreprise devrait générer au moins un taux de rendement annuel sur un autre marché d'investissement, afin que les détenteurs de capitaux n'aillent pas ailleurs. Le coût d'immobilisation est ainsi égal à la somme pondérée du taux de rendement escompté sur fonds propres (avant l'impôt sur le revenu des sociétés) et le taux d'intérêt moyen sur les emprunts.

Depuis quelques années maintenant, on préfère utiliser le modèle d'établissement des prix des valeurs immobilisées (*Capital Asset Pricing Model*, CAPM) pour déterminer le taux de rendement escompté, c'est-à-dire le taux d'intérêt sur fonds propres, lequel, en conséquence, est égal à la somme du taux d'intérêt exempt de risque et d'une majoration au titre de risque. Dans le présent modèle, déterminer le facteur risque propre à une entreprise exige un nombre considérable de données; une autre méthode pour déterminer le taux d'intérêt pourrait donc être celle de la croissance des dividendes.⁹ Toutefois, cette méthode exige elle aussi un nombre élevé de données, étant donné que l'évolution du dividende s'estime plusieurs années à l'avance. Dans les conditions actuelles et dans une perspective externe, ni l'une ni l'autre méthode ne conviennent donc. Nous proposons comme autre solution de déterminer le taux de rendement sur fonds propres sur la base des informations dont disposent les opérateurs de réseau, c'est-à-dire de comparaisons internationales. Ainsi, le taux de rendement sur des valeurs sans risque à échéance moyenne, par exemple prêts fédéraux à échéance de quatre à six ans, peut servir de base pour déterminer le taux d'intérêt moyen de la dette.

Le rendement escompté sur investissement et le taux d'amortissement sont convertis en une annuité au moyen du taux de récupération du capital. Le rendement escompté s'estime en fonction du capital moyen mobilisé pendant la durée de vie économique du bien.

2.2.4 Coûts d'exploitation relatifs aux actifs

Il faut ajouter aux dépenses d'infrastructure directes liées à l'ensemble des actifs les coûts d'exploitation journalière du réseau de télécommunication, en d'autres termes les coûts OAM, c'est-à-dire de gestion, d'exploitation et de maintenance, lesquels peuvent être pris en ligne de

⁸ Oftel: Network Charges from 1997, Londres, décembre 1996, p. 46.

⁹ Avec cette méthode le taux de rendement sur fonds propres s'obtient par la formule $D = D_0/P_0 + g$ (où D_0 = dividende actuel, P_0 = prix courant des titres et g = taux de croissance constant du dividende).

compte dans un modèle ascendant, via une analyse des stratégies d'exploitation, ou par l'intermédiaire de facteurs établis sur la base des relations historiques entre actifs immobilisés et dépenses. Etablir ce critère directement, par exemple en évaluant des stratégies d'exploitation pour divers biens comme les centraux numériques, est une opération compliquée. L'utilisation de facteurs établis en fonction du montant de l'investissement peut donner lieu à des approximations raisonnables; on les obtient en calculant les relations existant entre les actifs immobilisés de l'entreprise et les dépenses que lui ont occasionné ses biens. Les facteurs ainsi établis ne reflètent toutefois aucune relation causale, ils sont toujours historiques et peuvent contenir des inexactitudes; pour cette raison les facteurs illustrant les coûts d'exploitation devraient être établis pour différents opérateurs de réseau et convenablement pondérés.

2.2.4.1 Etablissement des coûts en fonction de l'activité

Calculer les coûts OAM selon un modèle "ascendant", c'est-à-dire de la même façon que les dépenses d'infrastructure directes, en d'autres termes selon le principe de la causalité technique ou économique, correspond bien à la démarche fondamentale de la modélisation de la comptabilité analytique: ce faisant, il est possible d'établir les coûts de l'exploitation rationnelle du réseau et de les répartir selon le principe de causalité via une analyse des facteurs de coût.

Etant donné la complexité des flux de transmission des installations de télécommunication, par exemple au niveau d'un central numérique, la modélisation des coûts d'exploitation par rapport à des facteurs de coûts préalablement déterminés, risque de ne pas être aisée; il est probable que cette opération ne pourra s'effectuer que par l'établissement systématique des coûts en fonction de l'activité. Il est un fait que les différents processus qui interviennent au sein de l'entreprise ne sont pas toujours disponibles au même degré en vue d'une analyse détaillée des facteurs de coût. Dans chaque cas, il faudra trouver un compromis entre les frais occasionnés par une répartition plus précise des coûts et les avantages que l'on en retire.

2.2.4.2 Coûts historiques

L'autre possibilité, facilement accessible et pragmatique, consiste à recourir aux dépenses passées des opérateurs, dans la mesure où elles sont ventilées en catégories, par exemple, commutateurs numériques, systèmes de transmission ou fibre enterrée. Ces dépenses doivent alors être rapportées aux actifs immobilisés et intégrées dans le calcul du modèle en tant que facteurs des coûts d'exploitation. En principe, il est possible d'évaluer les actifs immobilisés à leur coût initial ou de remplacement. Comme les calculs du modèle se fondent sur les coûts de remplacement, évaluer les actifs en fonction des coûts courants des biens équivalents du moment apparaît judicieux, pour autant que les données disponibles le permettent.

Les coûts d'exploitation passés ont toutefois été occasionnés par le parc historique des actifs, qui comportent toujours un certain degré d'obsolescence. Il n'est donc possible d'extrapoler ces coûts pour des périodes futures que faute de meilleure solution. D'une part, le progrès technologique dans le domaine de la commutation, par exemple, tend à être accompagné par le remplacement des coûts d'exploitation, sous forme de coûts salariaux, par des investissements dans des biens, de sorte que

les coûts d'exploitation qui devront être supportés dans ce domaine, et dans d'autres, seront moins élevés que par le passé; d'autre part, il faut toutefois peut-être s'attendre, à contrario, à un accroissement des coûts d'exploitation nominaux dans les domaines où le remplacement de la main d'oeuvre par le capital s'effectue plus lentement, par exemple dans le domaine de l'infrastructure des câbles enfouis.

Les prix de la commutation et de la transmission diminuent cependant avec le temps, alors que les prix d'installation des câbles tendent eux à augmenter; étant donné ces deux évolutions contraires, il est possible de considérer la relation entre actifs immobilisés évalués à leurs coûts historiques et dépenses occasionnées par ces mêmes biens comme une approximation acceptable des critères des coûts d'exploitation future. Une des raisons pour lesquelles ces critères sont appliqués aux coûts de remplacement de biens équivalents du moment est que coûts de remplacement et coûts d'exploitation future évoluent proportionnellement les uns aux autres.

Avec cette méthode, il faut établir les facteurs de coûts d'exploitation pour plusieurs opérateurs de réseau et les pondérer convenablement. Parmi les meilleures sources de données généralement disponibles on mentionnera les Statistics of Telecommunications Common Carriers (SOCC) de la FCC, compilation annuelle des actifs immobilisés, dépenses et autres statistiques concernant les grandes compagnies de téléphonie locale américaines. Ces données peuvent être comparées avec celles soumises par les entreprises exerçant leurs activités en Allemagne.

2.2.5 Conventions pour transformer les coûts de charge de pointe (coûts de capacité) en coûts par minute ou par événement

Les coûts marginaux sur longue durée des éléments du réseau commuté sont les coûts annuels liés à la fourniture de la capacité en charge de pointe, c'est-à-dire d'erlangs aux heures chargées, et de tentatives d'appel aux heures de pointe. Ces coûts sont transformés en coûts par minute ou en coûts d'établissement d'une communication, si par convention les coûts des éléments de réseau sont répartis de façon égale sur l'ensemble du produit final. Le modèle suppose l'existence d'informations concernant le trafic d'abonné prévu au cours d'une heure chargée moyenne. Pour calculer la demande sur l'ensemble de l'année à partir de ces valeurs de trafic, il est nécessaire de connaître la relation qui existe entre la demande aux heures chargées et la demande par jour ainsi que la relation entre la demande par jour et la demande par année. Les coûts de charge de pointe sont alors divisés par la demande par année, exprimés par exemple en minutes de communication.

Par opposition, il se peut que les taux d'accès au réseau fassent apparaître une différenciation par rapport au temps, mais l'examen de cette question n'entre pas dans l'intention des auteurs du présent document; ces derniers partent du principe que les taxes convenues, c'est-à-dire approuvées, peuvent en dernière analyse contenir des éléments de différenciation par rapport au temps, lesquelles peuvent se présenter de manière différentes pour des services différents selon la courbe de trafic par jour et par semaine. Il faut, néanmoins, toujours faire en sorte que les taxes d'interconnexion et autres taxes d'accès spéciales au réseau commuté soient fondées sur les coûts occasionnés par ces services pendant une heure de pointe.

2.2.6 Facteurs d'utilisation

Pour chaque élément de réseau sensible au trafic on établit les coûts par unité de volume, c'est-à-dire par minute ou par événement particulier (établissement de communication). Les coûts des services utilisant plus d'un élément de réseau peuvent être établis par addition des coûts des

différents éléments utilisés; pour ce faire, il faut déterminer pour chaque élément des facteurs d'utilisation indiquant le nombre d'unités de volume provenant d'un élément donné qui sont utilisés dans la production d'une seule unité (c'est-à-dire minute) d'interconnexion. Ces facteurs dépendent de la structure du réseau et des voies d'acheminement dans le réseau.

Dans le modèle de réseau local présenté ici on détermine deux services d'interconnexion essentiels, c'est-à-dire des communications établies par commutation entre un abonné du réseau local et un opérateur tiers: l'interconnexion est assurée au niveau d'un central soit du réseau local, soit du réseau grande distance, de sorte que le trafic est acheminé depuis un point d'interconnexion déterminé du réseau local jusqu'au central de destination (ou vice versa) parallèlement au trafic local sur un support de transmission partagé.

Dans l'un et l'autre cas, il faut déterminer un facteur d'utilisation applicable aux connexions entre le central local et un concentrateur distant. Ce facteur se calcule au moyen du rapport du trafic d'abonné, en provenance ou à destination d'une zone d'accès reliée à un concentrateur distant, sur le trafic local total. Dans le deuxième cas, il faut déterminer un facteur d'utilisation pour les systèmes de transmission du réseau local qui sont utilisés uniquement lorsque l'appelant/appelé n'est pas connecté au central local où se situe le point d'interconnexion avec le réseau grande distance.

Au besoin, il faut déterminer de la même manière des facteurs d'utilisation pour les connexions à l'intérieur du réseau local. Toutefois, pour calculer, de façon plus large et plus généralisée, des facteurs d'utilisation en matière d'interconnexion il faudrait disposer d'hypothèses concernant les voies d'acheminement non seulement à l'intérieur du réseau local, mais également au niveau du réseau grande distance, ce qui n'est pas pris en considération dans le cadre du présent modèle. Des travaux sont néanmoins en cours pour étendre le modèle de comptabilité analytique au niveau grande distance.

2.3 Éléments de réseau destinés à l'interconnexion et à l'accès à des réseaux spéciaux

L'architecture de réseau décrite dans les sections ci-après, les éléments de réseau dont se compose cette architecture et l'organisation de ces éléments constituent la base du présent modèle qui est décrit en détail et formalisé dans le Chapitre 3. Le modèle se fonde sur les hypothèses et les conventions qui ont été examinées jusqu'ici et auxquelles un tour plus concret est donné dans la suite.¹⁰ L'étude a pour objet le réseau local, généralement parlant, qui peut en principe se définir de plusieurs façons. Convenir de travailler à partir des structures de réseau existantes exige que le point de référence soit les limites du réseau imposées par le fournisseur, c'est-à-dire d'abord et avant tout la DTAG. On considère comme possible de procéder par un calcul par échantillonnage afin d'obtenir des valeurs moyennes pour les coûts des différents éléments de l'ensemble des réseaux locaux d'un opérateur; l'échantillon doit être représentatif des différentes structures de réseau retenues aux fins de l'établissement des coûts d'interconnexion.

¹⁰ Cette logique de base reflète en partie le modèle de réseau local exposé par Gabel et Kennet. Cf Gabel, David et Mark Kennet: Estimating the cost structure of the local telephone exchange network, étude pour le NRRI (Institut national de recherche réglementaire, Columbus, Ohio), octobre 1991.

2.3.1 Architecture de réseau générale

Le modèle décrit prend comme hypothèse un réseau de télécommunication local dimensionné pour la fourniture de services, à bande étroite, axés sur les communications, ce qui comprend tous les services pris en charge par un canal de référence à 64 kbit/s. Les éléments du réseau commuté constituent un canal de bout en bout à 64 kbit/s, compris entre le central de l'appelant et celui de l'appelé. Les communications des abonnés qui ne sont pas directement reliés à un central local commenceront et se termineront au premier élément concentrateur du réseau, appelé concentrateur distant ou matériel de ligne numérique distant. Les fonctions de commutation sont assurées par des centraux numériques. Dans le cadre du réseau interbureaux les transmissions se font par fibre optique. Le réseau grande distance n'est pas examiné explicitement ici; on prend pour hypothèse que le trafic grande distance est transféré au central local et acheminé dans le réseau interbureaux avec le trafic local sur un support de transmission partagé.

Les éléments du réseau d'accès constituent les liaisons permanentes, propres aux abonnés, entre le point de terminaison du réseau chez l'abonné et le premier élément concentrateur du réseau de télécommunication, liaison réalisée sur un réseau à fils de cuivre.

La technologie mise en oeuvre est donc interprétée comme figée et ne fera l'objet d'aucune optimisation.

Il est possible de tenir compte en outre de l'existence de lignes louées parallèlement à la fourniture des services commutés. Il n'est pas établi de coûts distincts pour ces lignes; toutefois, une partie des coûts des lignes de transmission et du réseau d'accès peut être imputable, étant donné qu'on suppose que les lignes louées sont fournies parallèlement aux services commutés. La part des coûts imputable est estimée en fonction de la proportion de paires de conducteurs attribuées dans le réseau d'accès aux lignes louées sur le nombre total de paires de conducteurs, et en fonction également de la proportion de lignes louées à 2 Mbit/s sur le nombre total de connexions numériques à 2 Mbit/s dans le réseau interbureaux. Le coût des équipements de commutation n'est pas influencé par la fourniture de lignes louées.

Les sections ci-après décrivent les éléments du réseau local, en soulignant les facteurs qui sont considérés comme ayant une incidence importante sur les coûts calculés. On n'indiquera pas pour chaque élément l'incidence des prix d'achat et des facteurs de coût d'investissement et de coût d'exploitation, laquelle s'applique en règle générale à tous les éléments décrits.

2.3.2 Réseau d'accès

Le réseau d'accès sert à assurer des fonctions de transmission entre l'équipement terminal et le point de terminaison de l'installation extérieure avant le premier point de concentration, établi soit à un central local soit à un concentrateur distant. Comme les concentrateurs ne font pas partie de la présente étude, le réseau d'accès peut être dimensionné indépendamment de la demande de trafic émanant des différents utilisateurs. Un critère d'établissement des coûts de base est la demande de lignes dans les différentes zones géographiques. Les coûts moyens d'une ligne d'abonné dans le réseau local sont influencés, fondamentalement, par la densité d'abonnés. Une densité d'abonnés élevée permet des économies d'infrastructure notamment: les réseaux et tranchées peuvent en effet être utilisés et la longueur des boucles jusqu'au premier point de concentration est relativement petite. L'établissement de coûts précis présuppose de connaître la distribution géographique des lignes à un niveau très décentralisé. Des réseaux locaux avec une densité d'abonnés moyenne identique peuvent présenter d'importantes différences de coûts en raison de modes d'habitat différents et, par exemple, d'une concentration de lignes plus ou moins grande dans les agglomérations.

Le coût des lignes d'abonné dépend également du prix des matériaux et des travaux de génie civil, c'est-à-dire du prix des différents types d'installation (et de leurs parts respectives), qui peuvent eux aussi varier en fonction du type de terrain et du travail de remise en forme en surface. En ce qui concerne le coût des travaux de génie civil, il semblerait judicieux de prendre les moyennes pour tous les réseaux locaux étudiés, mais le calcul de ces moyennes doit être transparent.

Le réseau d'accès comprend, horizontalement, le réseau de distribution et le réseau des câbles d'alimentation, lequel se termine, du côté des lignes, par le répartiteur principal; les deux réseaux sont reliés par une interface. Le réseau de distribution se compose quant à lui du réseau des câbles de distribution, au sens strict, et du raccordement des abonnés; le câble de distribution est pourvu de bornes de connexion qui font office d'interfaces. Il faut également inclure le coût du câblage chez l'abonné et des prises qui y sont installées, l'interface ici étant constituée par le point de terminaison du réseau général sous forme de l'interface de la distribution des abonnés. Selon la nature des questions posées, on peut également inclure dans l'étude du coût des lignes d'abonné celui des composantes des centraux qui peut être attribué, selon le principe de causalité, non seulement au réseau d'accès, mais également aux lignes d'abonné. A cet égard, les modules d'interface des lignes d'abonné, ou cartes de ligne, jouent un rôle important.

2.3.2.1 Réseau de distribution

Le réseau de distribution raccorde le point de terminaison du réseau général, situé chez l'abonné, sous forme de l'interface de distribution des abonnés, et le point d'interconnexion le plus proche par l'intermédiaire de l'interface alimentation-distribution au sol; n'en font pas partie le câblage chez l'abonné qui assure la liaison entre l'interface de distribution des abonnés et la prise. Le raccordement de l'abonné va de l'interface de distribution des abonnés au câble de distribution, tiré normalement dans le sens de la voie de circulation. Plusieurs raccordements d'abonnés sont regroupés dans une borne de connexion (manchon) qui les relie au câble de distribution, lequel est relié par l'intermédiaire de l'interface alimentation-distribution au câble d'alimentation. Chaque interface alimentation-distribution détermine une zone de distribution particulière, dont la superficie et la configuration sont établies dans le cadre du modèle par le dimensionnement géographique de la demande de lignes d'abonné. La zone couverte par un réseau local se divise en zones de distribution carrées de 600 m de côté. Dans les zones à forte densité d'abonné, les zones de distribution sont divisées en deux (600 m x 300 m) ou en quatre (300 m x 300 m). La méthode de calcul des longueurs de fil, de câble et de tranchée est présentée dans le Chapitre 3.

Le niveau des coûts dans le réseau de distribution dépend, entre autres, du type d'installation (câble enterré, câble souterrain, câble aérien), de la longueur moyenne des fils d'abonné, du nombre de lignes pouvant être réalisées dans un seul branchement d'abonné et du type du terrain en surface à remettre en état dans le cas d'une installation souterraine. Tous ces paramètres peuvent être déterminés au niveau du réseau local et en outre différenciés, selon la densité d'abonnés dans la zone de distribution, en trois catégories de zones, à savoir rurale, suburbaine et urbaine. Il faut enfin tenir compte de la capacité inutilisée, c'est-à-dire des paires de conducteurs disponibles. Il importe également de savoir dans quelle mesure les raccordements d'abonné, tranchées et systèmes souterrains sont utilisés en partage entre les câbles de distribution et d'autres câbles, par exemple câbles coaxiaux pour la télévision par câble. Le modèle ne tient pas compte explicitement de l'utilisation partagée de l'infrastructure par différents éléments de réseau ou différents réseaux, mais considère les différents éléments ou tronçons de réseau indépendamment les uns des autres, ainsi que d'autres structures de réseau. Il est actuellement possible de tenir compte de l'éventuelle utilisation en partage de l'infrastructure en jouant sur des variations de prix, par exemple pour les travaux de génie civil.

2.3.2.2 Réseau d'alimentation

L'interface alimentation-distribution et le répartiteur principal sont reliés par un câble d'alimentation. Chaque ensemble (répartiteur plus câble d'alimentation plus câble de distribution) représente une zone d'accès dont les coûts de base correspondent, à l'exception des raccordements d'abonné, à ceux de la zone de distribution; il convient d'ajouter le fait que la longueur totale du réseau de câbles d'alimentation, contrairement à celle du réseau de distribution, est déterminée par l'emplacement des répartiteurs principaux. Il est en conséquence nécessaire de choisir de déterminer, dans le cadre du modèle, leurs emplacements (et le nombre d'emplacements) en fonction des règles de réduction des coûts ou bien, au contraire, d'utiliser les emplacements existants comme référence pour les calculs de coût; l'une et l'autre formules peuvent être appliquées. Le modèle présenté au Chapitre 3 est fondé sur des structures de réseau données et présuppose donc que les emplacements des répartiteurs principaux, dans les réseaux locaux étudiés, sont connus et peuvent être utilisés comme base pour calculer les longueurs en jeu. En cas d'utilisation en partage de l'infrastructure, les câbles interbureaux sont eux aussi pris en considération dans le segment alimentation.

La structure du réseau d'alimentation peut être représentée comme suit: chaque zone d'accès se divise en quatre carrés, le long des bissectrices desquelles court un câble d'alimentation. Au niveau de la zone de distribution les câbles s'écartent à angle droit du trajet de l'alimentation pour aboutir aux interfaces alimentation-distribution; le réseau de câbles d'alimentation présente une topologie arborescente. (Voir le § 3.1.6 pour les calculs des différentes longueurs en jeu.)

2.3.3 Central local et concentrateurs distants

Les câbles d'alimentation aboutissent aux répartiteurs d'où sortent les paires de conducteurs destinées au répartiteur principal situé au niveau d'un central ou d'un concentrateur distant. Le répartiteur principal constitue un point d'interconnexion raccordant les cartes de ligne, au moyen de câbles de jonction, les paires de connecteurs desservant l'équipement terminal. Le coût du répartiteur principal et des cartes de ligne peut être imputé intégralement aux différents abonnés. Les cartes de ligne sont reliées à des circuits numériques dans lesquels le trafic est concentré sur des connexions numériques à 2 Mbit/s, avec 30 canaux d'information usagers fonctionnant à 64 kbit/s. Comme ils font fonction de concentrateurs, les circuits numériques constituent, du point de vue de l'abonné, le premier équipement, sensible au trafic, du réseau téléphonique. Le répartiteur principal et les concentrateurs peuvent se situer au niveau du central ou être dissociés de lui. Les concentrateurs distants sont connectés au central par fibre optique. L'interface uniforme avec le réseau commuté est assurée par l'entité faisceaux de lignes (*line trunk group*) située invariablement au central local.

Le réseau commuté permet de connecter les voies entrantes et sortantes selon le souhait de l'appelant. Là encore, l'entité faisceaux de lignes constitue l'interface avec les lignes à 2 Mbit/s du réseau interbureaux entre les centraux. Les concentrateurs, entités faisceaux de lignes et éléments du réseau interbureaux sont dimensionnés en fonction du trafic constaté aux heures de pointe, l'opération se basant sur une probabilité de perte grâce à laquelle on peut calculer, à l'aide de la formule des appels perdus d'erlang, le nombre de lignes à 2 Mbit/s nécessaires pour assurer un volume de trafic donné.

L'établissement des communications a lieu dans le central. Les informations de signalisation sont évaluées par un ou plusieurs microprocesseurs, incluant un logiciel de pilotage. Le critère de coût n'est pas ici la durée d'occupation escomptée, mais le nombre prévu de tentatives d'appel comprenant celles où la communication avec l'appelé n'est pas établie.

Les coûts totaux du commutateur sont donc déterminés par le nombre d'abonnés connectés et par le trafic qu'ils génèrent; il faut également tenir compte des coûts des structures des abris, du

conditionnement d'air, de l'alimentation électrique et autres installations (faux-planchers, armoires) qui ne peuvent être imputés ni directement ni, dans la plupart des cas, indirectement aux facteurs de coût mentionnés; associé au central local ou au concentrateur distant se trouve également de l'équipement qui sert aux opérations de transmission. Ces coûts ne font donc pas partie des coûts nominaux sur longue durée des éléments de réseau donnés; ils devraient malgré tout être pris en ligne de compte dans les taxes d'utilisation.

2.3.4 Transport entre le concentrateur distant et le central local

On suppose que les concentrateurs, dissociés du central, sont connectés à un central local uniquement dont la topologie est en étoile. Il n'est pas tenu compte ici des artères fortement utilisées étant donné qu'aucune fonction de commutation ne se fait aux emplacements des concentrateurs, de sorte que le trafic est acheminé dans sa totalité par le central local. La transmission est par fibre optique et le débit est de 140 Mbit/s; en conséquence, les signaux électriques à 2 Mbit/s sont multiplexés en un train de 140 Mbit/s avant d'être convertis en signaux optiques. Au commutateur le sens est inversé et les signaux sont ramenés au niveau de 2 Mbit/s. Choisir ce type de transmission peut conduire à un rendement utile peu élevé lorsque le nombre d'abonnés est très petit ou que les valeurs de trafic d'abonné sont elles aussi peu élevées, mais en moyenne ce sont plusieurs milliers d'abonnés qui peuvent être connectés au central local via des concentrateurs distants, au point que l'emploi de la fibre optique se justifie à long terme. On suppose en outre que le système de transmission comprendra des lignes louées, d'où une augmentation de la demande de connexions numériques à 2 Mbit/s.

Indépendamment de l'équipement terminal, c'est-à-dire des multiplexeurs et des terminaux de ligne optiques, la structure de la ligne de transmission a, en termes d'installations extérieures, une incidence sur les coûts. Ce qui a été dit à propos des différents tronçons du réseau d'accès s'applique également ici en ce qui concerne les coûts des travaux de génie civil et de leur possible imputation aux différents éléments de réseau.

2.3.5 Transport commuté entre centraux locaux

Toute étude consacrée aux coûts d'un réseau local doit s'étendre aux réseaux interbureaux lorsque le réseau local compte plus d'un central; le réseau interbureaux intervient en effet dans le coût des services d'interconnexion lorsque les opérations de transfert depuis le réseau d'un concurrent s'effectuent non au central local de l'appelé/appelant, mais à un central se trouvant à un niveau hiérarchique plus élevé, de sorte que les lignes de transmission sont éventuellement utilisées à l'intérieur du réseau local.

En ce qui concerne le trafic restant dans les limites du réseau local, on procède comme suit pour établir les coûts: on suppose que les centraux du réseau local sont entièrement maillés, au niveau tant des connexions numériques à 2 Mbit/s que des câbles, systèmes de transmission et infrastructure. On calcule les volumes de trafic sur les connexions en, premièrement, déduisant du trafic sortant d'un central la part correspondant au trafic grande distance, laquelle est fixe au niveau du réseau local. Le trafic demeurant dans les limites du réseau local est divisé entre les centraux locaux suivant leur poids relatif dans le trafic total d'abonné. En conséquence, une partie du trafic reste à l'intérieur de la zone locale de l'abonné appelant. Le nombre de connexions numériques à 2 Mbit/s entre deux centraux se calcule en fonction du trafic total acheminé, plus une part des lignes louées, de telle sorte qu'il existe toujours une symétrie entre le trafic entrant et le trafic sortant de deux centraux, en raison des hypothèses sous-tendant la distribution du trafic. En outre, il est possible de tenir compte de l'éventualité, en cas de panne sur une artère directe, de devoir emprunter des voies de déviation et de son incidence sur les coûts de fourniture du service en augmentant le

nombre de connexions numériques à 2 Mbit/s dont il faut disposer entre deux points, ce qui entraîne un plus faible rendement utile des installations de transmission utilisées.

Lorsque le réseau local compte un nombre élevé de centraux, supposer que cette topographie est celle d'un réseau totalement maillé peut conduire à une surévaluation des coûts de fourniture du service, étant donné que l'établissement d'une liaison physique directe entre tous les emplacements des centraux peut ne pas se justifier même lorsque la priorité est accordée aux questions de sécurité. Il est difficile d'estimer avec précision pour un cas donné le montant de cette surévaluation. Le réseau local atteint sa taille critique à partir de 4 ou 5 centraux, nombre courant dans de nombreux réseaux locaux de grande taille. Ici, il faudra peut-être réduire à une échelle convenable les investissements consacrés à l'infrastructure et aux installations de transmission pour que leur utilisation en partage par plusieurs connexions logiques puisse être prise en ligne de compte.

2.3.6 Transport commuté entre un central local et les limites du réseau local

Etant donné que nous ne prenons en considération que les éléments du réseau local dans le présent modèle, il convient de trouver une définition convenable pour la frontière avec le réseau grande distance, le niveau suivant. On suppose que le trafic grande distance entrant et sortant est acheminé à l'intérieur du réseau local avec le trafic local, dans une utilisation partagée des systèmes de transmission. L'interface avec le réseau grande distance est soit un central pourvu de fonctions de commutation grande distance et associé à un central local, soit une installation de transmission, pareillement associée, représentant la terminaison d'une liaison de transmission à destination d'un central grande distance. Seuls les coûts de transport dans le réseau local sont pris en ligne de compte. Dans l'hypothèse de l'association d'un central grande distance, ces coûts correspondront aux coûts du segment de transmission entre le central grande distance et le central local.

3 La logique du calcul des coûts

Cette section traite de la détermination des coûts des éléments de réseau local. Une importance particulière est accordée à la description aussi générale que possible des différentes étapes de calcul que le modèle soit, ou non, réellement appliqué comme programme informatique ou feuille de calcul électronique. Dans le processus de modélisation les auteurs ont adopté la perspective d'observateurs afin d'élaborer les relations de base entre les paramètres d'entrée et les paramètres de sortie qui influent sur les coûts du réseau local; à cette fin, ils ont utilisé les connaissances économiques et techniques généralement disponibles et, dans la mesure du possible, les données dont on dispose communément. Il est ainsi possible de procéder au calcul sans nécessairement avoir recours aux informations propres aux entreprises. Lorsque des renseignements sont soumis par des entreprises en application des dispositions réglementaires, ils peuvent, au besoin, être intégrés dans la modélisation ou inclus comme paramètres d'entrée dans les calculs.

3.1 Travail préliminaire pour déterminer le volume des investissements

Le calcul du coût des éléments de réseau se fonde sur un certain nombre d'hypothèses, exposées séparément dans un souci de clarté, à savoir: le nombre de lignes d'abonné par zone de distribution, de sections d'alimentation, de répartiteurs principaux et de centraux locaux; en outre, on détermine des équivalents à 2 Mbit/s pour les liaisons de transmission dans le réseau local ainsi que des facteurs de coût d'équipement et d'exploitation selon la méthode suivante:

- on divise la zone du réseau local en zones de distribution (VZB) (§ 3.1.1);
- on établit la demande de lignes d'abonné dans les différentes zones de distribution (§ 3.1.2);
- on divise les zones de distribution en types (§ 3.1.3);

- on attribue des zones de distribution aux sites des répartiteurs principaux pour déterminer des zones d'accès (ASB) (§ 3.1.4);
- on attribue les zones de distribution de chaque ASB à des sections d'alimentation (quadrants) (§ 3.1.5);
- on calcule la longueur des câbles d'alimentation et de distribution (§ 3.1.6);
- on établit le diamètre des conducteurs qui devront être utilisés dans le réseau d'accès (§ 3.1.7);
- on établit le nombre de paires de conducteurs qui seront mises en place dans les différentes sections du réseau (§ 3.1.8);
- on établit le volume de trafic pour les zones d'accès (§ 3.1.9);
- on établit les relations de trafic entre les noeuds du réseau local (§ 3.1.10);
- on établit le nombre de connexions numériques DSV2 nécessaires pour assurer la transmission dans le réseau local (§ 3.1.11);
- on établit la longueur des câbles de jonction (§ 3.1.12);
- enfin, on établit les facteurs de coût d'équipement et d'exploitation (§ 3.1.13).

3.1.1 Division de la zone du réseau local en zones de distribution

Le calcul des coûts se fonde sur différents réseaux locaux; il est possible ce faisant de prendre pour référence les frontières géographiques du réseau local de l'opérateur ou d'autres limites, par exemple municipales. A l'ensemble de la zone du réseau local on applique une grille de 600 m x 600 m de côté, laquelle représente une possible zone de distribution. Le coin inférieur gauche est considéré comme l'origine des coordonnées, ce qui permet de déterminer chaque point du réseau local en fonction de sa distance, horizontale et verticale, par rapport à cette origine. La Figure 3.1.1-A est une illustration d'une grille de ce type.

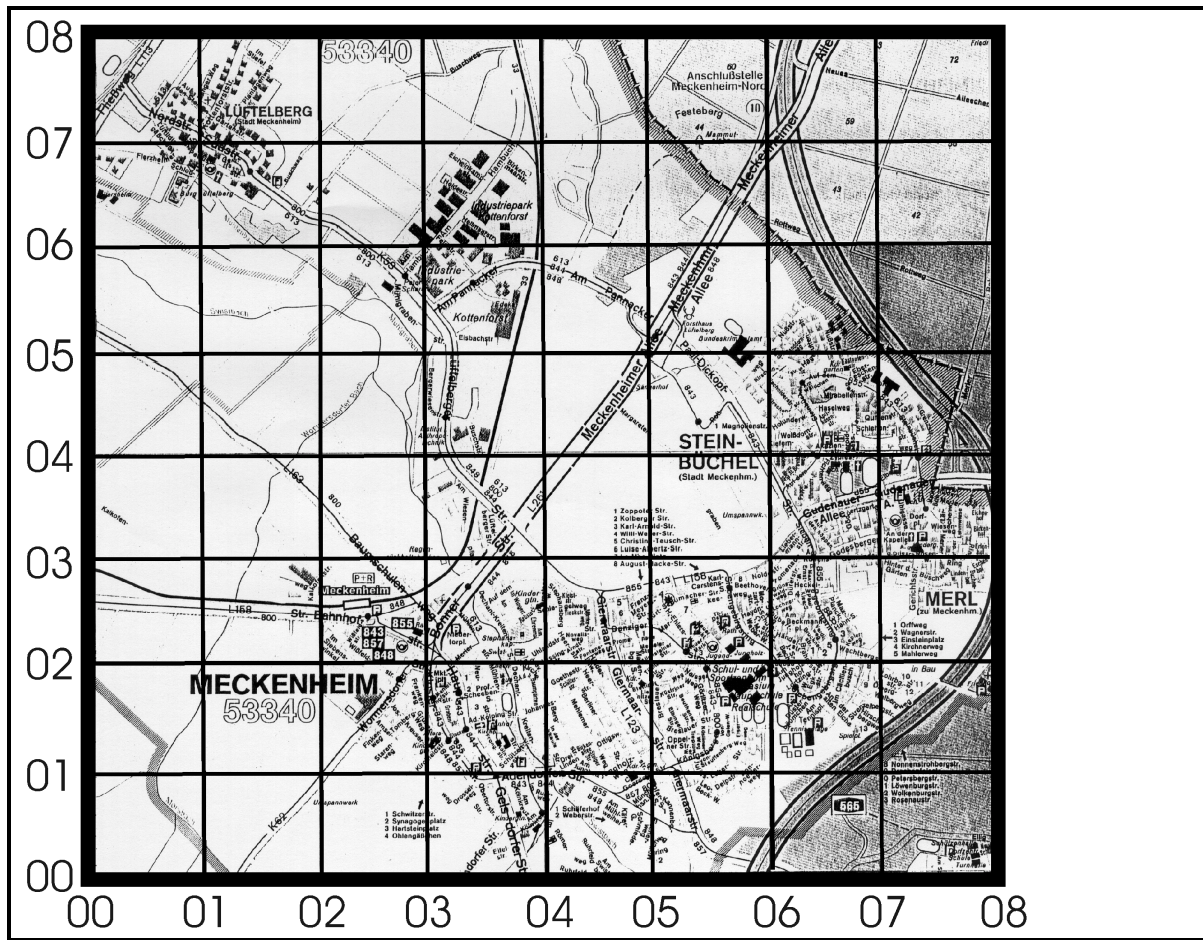


FIGURE 3.1.1-A

Quadrillage d'une zone de réseau local

3.1.2 Etablissement de la demande de lignes d'abonné dans les différentes zones de distribution

La demande de lignes d'abonné s'établit en fonction des statistiques démographiques concernant le nombre de ménages, au *Wohnplatzstatistik*, correspondant grosso modo aux arrondissements des villes.¹¹ Les arrondissements sont repérés dans le plan du réseau local et pour chaque arrondissement on détermine alors un quadrillage; le nombre de ménages par arrondissement est distribué de manière égale entre les carrés correspondant aux zones habitées. On suppose que la demande de lignes téléphoniques résidentielles correspond au nombre de ménages (cf. Figure 3.1.2-A).

¹¹ WIK dispose actuellement de ces données pour le Land de Rhénanie du Nord-Westphalie.

TABLEAU 3.1.2-a
Extrait des *Wohnplatzstatistik*

Arrondissement administratif	Ménages
Meckenheim, Stadt	7 267
Lüftelberg	407
Merl-Steinbüchel	1 169
Alt Merl-Lehmwiese	679
Meckenheim-Stadtkern	590
Meckenheim-Südwest	851
Meckenheim-Süd	817
Meckenheim-Giermaarstr./Dechan	1 064
Meckenheim-Neue Mitte	921
Meckenheim-Mitte Ost	712
Meckenheim-Industriegebiet	57

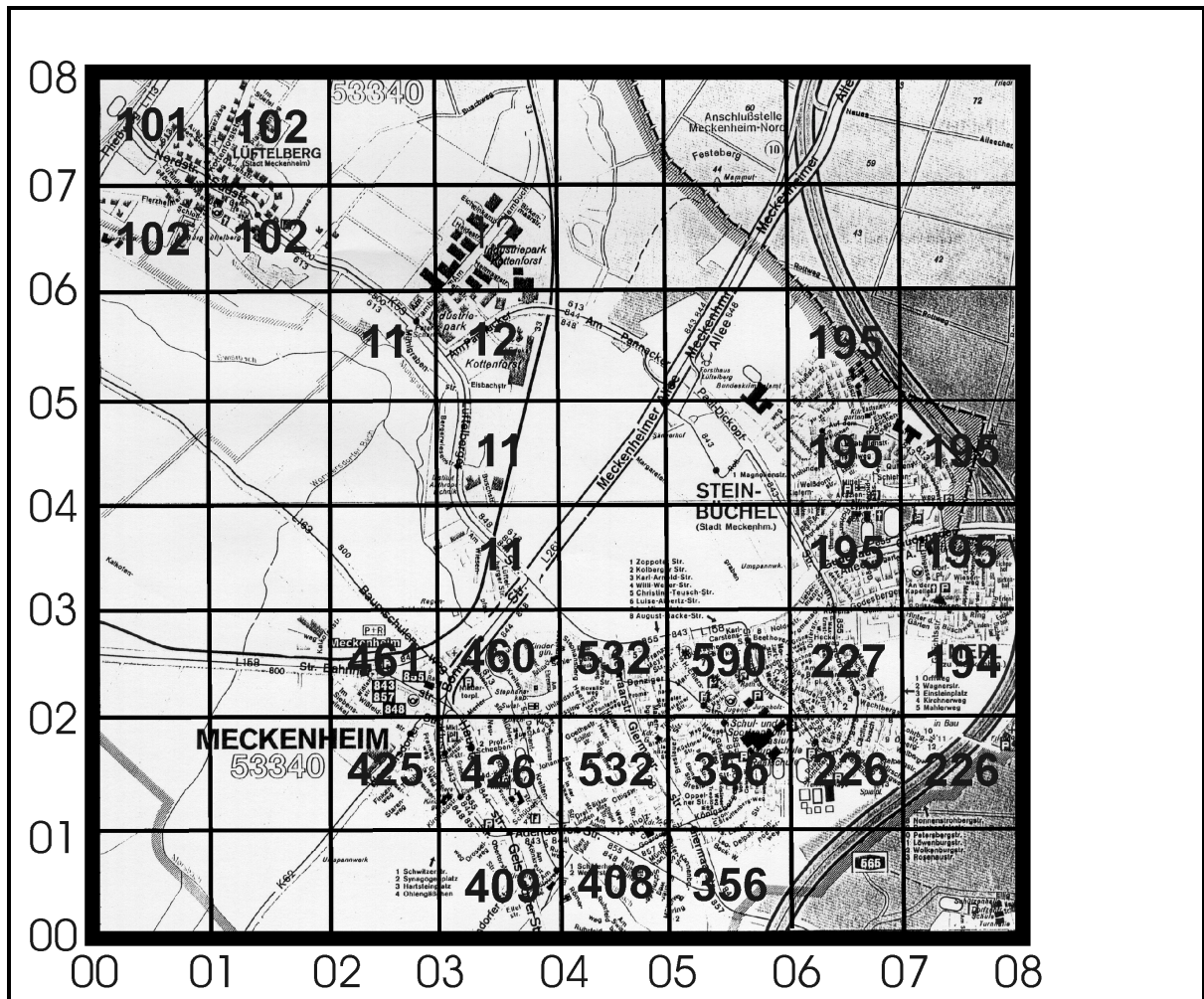


FIGURE 3.1.2-A

Répartition des lignes d'abonnés résidentiels suivant la technique du quadrillage

On obtient le nombre total d'abonnés par carré en additionnant le nombre d'abonnés résidentiels et le nombre d'abonnés professionnels.

Le nombre d'abonnés professionnels est estimé suivant le nombre d'abonnés résidentiels par application d'un taux déterminé en fonction du nombre d'utilisateurs. On utilise actuellement, comme hypothèse de travail, un taux de 10% pour les abonnés professionnels dans les carrés représentant moins de 250 lignes résidentielles et de 30% pour les carrés comptant entre 250 et 500 lignes résidentielles. Compte tenu de la densité croissante des lignes résidentielles, il est possible d'envisager de relever le taux des abonnés professionnels, mais pour éviter de surestimer le nombre de lignes professionnelles notamment dans les zones à forte densité de population résidentielle, leur nombre est fixé à 250 pour les carrés représentant plus de 500 lignes résidentielles; on applique alors les équations suivantes:

$$\begin{aligned} Asl_PQ &= PK_PQ + GK_PQ \\ GK_PQ &= \begin{cases} PK_PQ \cdot GKFkt & \text{pour } PK_PQ < 500 \\ 250 & \text{pour } PK_PQ \geq 500 \end{cases} \\ GKFkt &= \begin{cases} 0,1 & \text{pour } 0 \leq PK_PQ < 250 \\ 0,3 & \text{pour } 250 \leq PK_PQ < 500 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.1.2-1)$$

où:

Asl_PQ = nombre de lignes d'abonnés dans un carré

PK_PQ = nombre de lignes résidentielles dans un carré

GK_PQ = nombre de lignes professionnelles dans un carré

GKFkt = taux des abonnés professionnels

Les taux de majoration servent à rendre compte d'une possible répartition plausible des lignes téléphoniques dans l'ensemble de la zone considérée. Il est possible de calculer le nombre d'abonnés au réseau local retenu en additionnant les valeurs de tous les carrés de la grille. Il est également possible d'utiliser les données des opérateurs de réseau, lorsqu'elles se présentent elles aussi sous forme ventilée. Lorsqu'on ne dispose que de données sur le nombre de lignes d'abonnés correspondant à l'ensemble du réseau local, il est possible de procéder à des ajustements par une augmentation ou une diminution linéaire des données de demande prises au départ comme hypothèse pour les carrés de la grille, ce qui implique de maintenir la répartition supposée des lignes dans l'ensemble de la zone.

Dans la suite des calculs, un carré de la grille représente une seule zone de distribution, pour autant que la densité d'abonnés n'excède pas un seuil actuellement fixé à 600 lignes d'abonnés par zone de distribution; au-delà, le carré est divisé en deux. Si le nombre de lignes par zone de distribution reste supérieur à 600, on divise encore le carré en question: ainsi, un carré représentant un nombre d'abonnés supérieur à 1 200 sera divisé en quatre zones de distribution de 300 m x 300 m de côté.

3.1.3 Division des zones de distribution en types

L'étape suivante consiste à diviser les zones de distribution en types, qui permettent de distinguer un certain nombre de paramètres d'entrée selon leurs caractéristiques.¹² Cette division se fonde sur la densité d'abonnés du carré auquel correspond la zone de distribution (c'est-à-dire à l'intérieur duquel elle se situe). On distingue les trois types suivants:

$$VZB - Typ = \begin{cases} 1 & \text{pour } Asl_PQ \geq 600 \text{ (urbain)} \\ 2 & \text{pour } 200 \leq Asl_PQ < 600 \text{ (suburbain)} \\ 3 & \text{pour } Asl_PQ < 200 \text{ (rural)} \end{cases} \quad (3.1.3-1)$$

où:

VZB-Typ = type de zone de distribution

Asl_PQ = nombre de lignes d'abonnés dans un carré de la grille

¹² La valeur de la variable type influe par exemple sur la manière dont sont posés les câbles, sur le taux de capacité inutilisée et sur les paramètres du segment de raccordement des abonnés.

3.1.4 Attribution de zones de distribution à des zones d'accès

Après la subdivision des carrés de la grille présentant une densité d'abonnés élevée, on divise le réseau local en zones d'accès, dont chacune est déterminée en fonction de l'existence d'un répartiteur principal (HVt), relié soit directement à un central, soit à un concentrateur distant.¹³ En règle générale, un réseau local se divise en plusieurs zones d'accès. L'attribution des zones de distribution aux zones d'accès (c'est-à-dire aux répartiteurs principaux) peut être prédéterminée, mais, si tel n'est pas le cas, chaque zone de distribution est attribuée au répartiteur principal le plus proche. Les distances orthogonales entre le coeur de la zone de distribution et l'emplacement du répartiteur principal jouent un rôle essentiel, car elles permettent de s'assurer que chaque zone de distribution est bien attribuée au répartiteur principal avec lequel la longueur des câbles sera la moindre, compte tenu de la topologie retenue pour la zone d'accès (cf. § 3.1.5). Les coordonnées du coeur d'une zone de distribution particulière peuvent se calculer dans un premier temps comme suit:

$$\begin{aligned} SX &= \frac{X_{or} + X_{ul}}{2} \\ SY &= \frac{Y_{or} + Y_{ul}}{2} \end{aligned} \quad (3.1.4-1)$$

où:

SX = coordonnée X du coeur d'une zone de distribution

SY = coordonnée Y du coeur d'une zone de distribution

X_{ul} = coordonnée X du coin inférieur gauche d'une zone de distribution

Y_{ul} = coordonnée Y du coin inférieur gauche d'une zone de distribution

X_{or} = coordonnée X du coin supérieur droit d'une zone de distribution

Y_{or} = coordonnée Y du coin supérieur droit d'une zone de distribution

L'attribution d'une zone de distribution à un répartiteur principal et donc à une zone d'accès s'obtient comme suit:

$$VZB \in ASB_i, \text{ où s'applique ce qui suit: } HVt_i \left| \min \left[\left| X_i - SX \right| + \left| Y_i - SY \right| \right] \right|_{i=1}^n \quad (3.1.4-2)$$

où:

VZB = zone de distribution

ASB_i = zone d'accès i

HVt_i = répartiteur principal dans la zone ASB_i

i = indice de la zone d'accès, où $i = \{1...n\}$

X_i = coordonnée X du répartiteur principal

Y_i = coordonnée Y du répartiteur principal

On obtient ainsi les zones d'accès et chaque zone de distribution est attribuée avec précision à une zone d'accès.

¹³ Les emplacements des répartiteurs principaux doivent être indiqués par l'opérateur si, comme on le suppose ici, les calculs doivent se fonder sur la structure de son réseau.

La Figure 3.1.4-A illustre l'application des différentes étapes du modèle: y sont indiquées l'attribution des zones de distribution aux zones d'accès (cf. § 3.1.4) et les sections d'alimentation (cf. § 3.1.5) ainsi que la division en deux des zones de distribution à forte densité (cf. § 3.1.2).

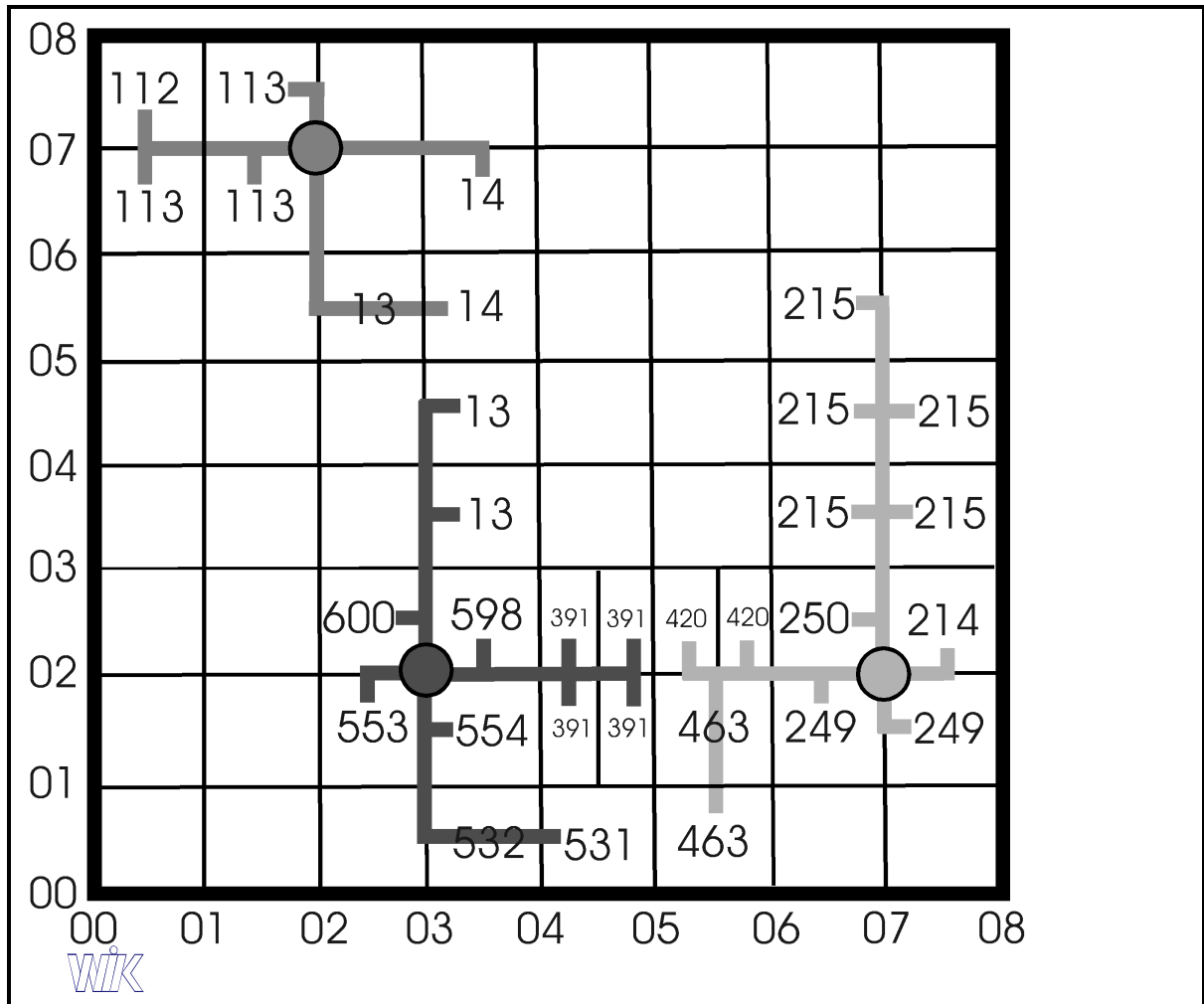


FIGURE 3.1.4-A
Structure d'un réseau local type

3.1.5 Attribution des zones de distribution aux sections d'alimentation

L'hypothèse suivante se fonde sur la topologie du réseau d'alimentation: à partir du répartiteur principal, l'ensemble de la zone d'accès est divisé en quatre sections d'alimentation ou quadrants; les zones de distribution sont attribuées aux quadrants de la manière indiquée ci-après: elles sont toujours attribuées au quadrant où se situe le coeur (SX, SY) de la zone de distribution; si le coeur se situe exactement sur la frontière du quadrant, il est attribué au quadrant le plus proche suivant le sens des aiguilles d'une montre. On applique alors les calculs suivants:

$$j = \begin{cases} 1 & \text{pour } SY > SX + (Y_i - X_i) \text{ et } SY \geq -SX + (Y_i + X_i) \\ 2 & \text{pour } SY \leq SX + (Y_i - X_i) \text{ et } SY > -SX + (Y_i + X_i) \\ 3 & \text{pour } SY < SX + (Y_i - X_i) \text{ et } SY \leq -SX + (Y_i + X_i) \\ 4 & \text{pour } SY \geq SX + (Y_i - X_i) \text{ et } SY < -SX + (Y_i + X_i) \end{cases} \quad (3.1.5-1)$$

où:

- j = indice du quadrant, où $j = \{1..4\}$
- SX = coordonnée X du coeur d'une zone de distribution
- SY = coordonnée Y du coeur d'une zone de distribution
- X_i = coordonnée X du répartiteur principal
- Y_i = coordonnée Y du répartiteur principal

Par rapport à la topologie du réseau d'accès, on suppose qu'une seule artère d'alimentation court de long de la bissectrice de chaque quadrant dans la direction des quatre points cardinaux; il s'agit des alimentations principales. Les différentes zones de distribution de chaque quadrant sont reliées aux alimentations principales par des lignes d'alimentation se raccordant à angle droit; il s'agit des alimentations secondaires. Chaque alimentation secondaire aboutit à l'interface alimentation-distribution, laquelle constitue un point d'interconnexion et sépare les réseaux d'alimentation et de distribution. La Figure 3.1.5-A illustre la structure stylisée d'une zone d'accès.

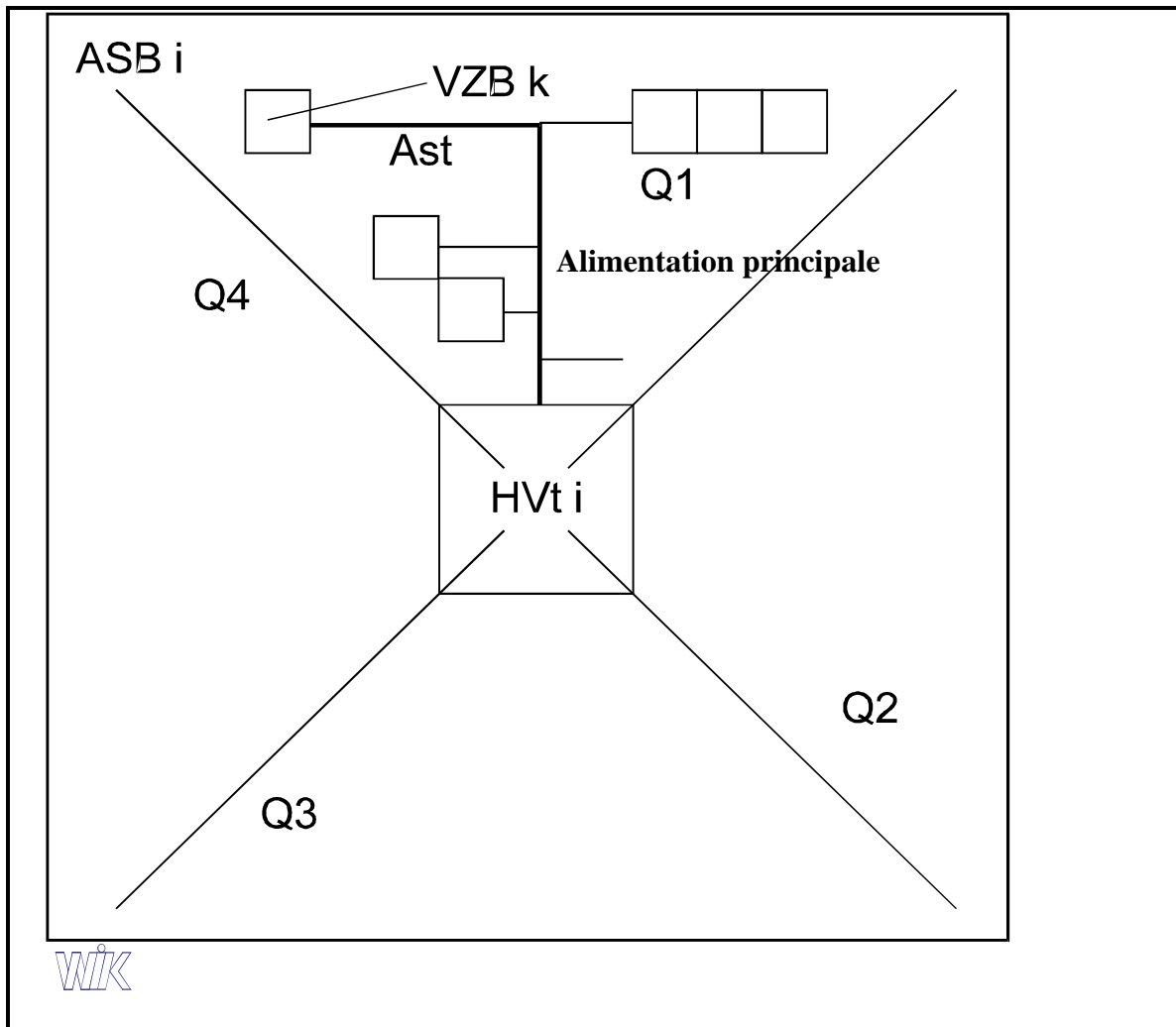


FIGURE 3.1.5-A
Structure d'une zone d'accès

Il s'ensuit que chaque zone de distribution est définie en fonction de son attribution à une zone d'accès, à un quadrant de zone d'accès et à son indice séquentiel à l'intérieur du quadrant; dans la suite du texte les indices ci-après auront pour valeur:

ASB_i = zone d'accès i , où $i = \{1...n\}$

HVt_i = répartiteur principal dans la zone ASB_i , où $i = \{1...n\}$

Q_{ij} = quadrant j dans la zone ASB_i , où $j = \{1...4\}$

VZB_{ijk} = zone de distribution k dans le quadrant Q_j de la zone ASB_i , où $k = \{1...m_{ij}\}$

k = indice de la zone de distribution, où $k = \{1...m_{ij}\}$

3.1.6 Calcul des longueurs des réseaux d'alimentation et de distribution

Une fois que les zones de distribution ont été attribuées aux quadrants, on peut calculer les coordonnées des interfaces alimentation-distribution, lesquelles sont déterminées par la position qu'occupe la zone de distribution par rapport au répartiteur principal correspondant. Conformément aux hypothèses retenues, l'interface alimentation-distribution se situe, en règle générale, au milieu du bord extrême de la zone de distribution, parallèlement à l'alimentation principale et le plus près d'elle.

Les coordonnées de l'interface alimentation-distribution (X_{ijk} , Y_{ijk}) sont donc:

$$X_{ijk} = \begin{cases} SX_{ijk} & \text{pour } j = 2 \text{ ou } j = 4 \\ X_{or_{ijk}} & \text{pour } (j = 1 \text{ ou } j = 3) \text{ et } SX_{ijk} < X_i \\ X_{ul_{ijk}} & \text{pour } (j = 1 \text{ ou } j = 3) \text{ et } SX_{ijk} > X_i \end{cases} \quad (3.1.6-1)$$

$$Y_{ijk} = \begin{cases} SY_{ijk} & \text{pour } j = 1 \text{ ou } j = 3 \\ Y_{or_{ijk}} & \text{pour } (j = 2 \text{ ou } j = 4) \text{ et } SY_{ijk} < Y_i \\ Y_{ul_{ijk}} & \text{pour } (j = 2 \text{ ou } j = 4) \text{ et } SY_{ijk} > Y_i \end{cases}$$

où:

X_{ijk} = coordonnée X de l'interface alimentation-distribution de la zone VZB_{ijk}

Y_{ijk} = coordonnée Y de l'interface alimentation-distribution de la zone VZB_{ijk}

3.1.6.1 Calcul des longueurs du réseau d'alimentation

La longueur de l'artère de l'alimentation principale se calcule pour chaque quadrant d'une zone d'accès et celle de l'alimentation secondaire pour chaque zone de distribution au moyen des coordonnées de l'interface alimentation-distribution. La longueur de l'artère de l'alimentation principale de chaque quadrant dépend de la distance entre les zones de distribution et le répartiteur principal de la zone d'accès. Comme on suppose que les câbles d'alimentation d'un quadrant courent le long d'une artère commune de l'alimentation principale, leur longueur est fonction de la zone de distribution exigeant la longueur maximale pour être connectée à la section de l'alimentation principale.

$$LS_{ij} = \max(LS_{ijk}) \Big|_{k=1}^{m_j} \quad (3.1.6-2)$$

d'où il s'ensuit que:

$$LS_{ijk} = \left| \begin{array}{l} |Y_i - Y_{ijk}| \text{ pour } j = 1 \text{ ou } 3 \\ |X_i - X_{ijk}| \text{ pour } j = 2 \text{ ou } 4 \end{array} \right| \quad (3.1.6-3)$$

où:

LS = longueur de la boucle de l'alimentation principale

La longueur de l'alimentation secondaire pour chaque zone de distribution s'obtient finalement au moyen de la formule suivante:

$$LA_{ijk} = \left| \begin{array}{l} |X_i - X_{ijk}| \text{ pour } j = 1 \text{ ou } 3 \\ |Y_i - Y_{ijk}| \text{ pour } j = 2 \text{ ou } 4 \end{array} \right| \quad (3.1.6-4)$$

où:

LA = longueur de la boucle de l'alimentation secondaire

La longueur des artères dans la section d'alimentation constitue la base de l'établissement des coûts de génie civil et de la longueur des câbles et des conducteurs.

3.1.6.2 Calcul des longueurs des réseaux de distribution

S'il est possible de déterminer la position des différentes zones de distribution dans le réseau local grâce à des données statistiques et à des cartes, il n'existe aucune donnée additionnelle permettant de mettre en évidence la répartition des lignes d'abonné dans les zones de distribution; c'est pour cette raison que dans une zone de distribution les distances correspondantes sont calculées de manière simplifiée en y supposant une répartition égale des lignes d'abonné. La distance orthogonale entre un abonné type et l'interface alimentation-distribution se calcule ainsi:

$$\begin{array}{l} \frac{|x_{or} - x_{ul}|}{2} + \frac{|y_{or} - y_{ul}|}{4} \text{ pour } j = 1 \text{ ou } 3 \\ \frac{|y_{or} - y_{ul}|}{2} + \frac{|x_{or} - x_{ul}|}{4} \text{ pour } j = 2 \text{ ou } 4 \end{array} \quad (3.1.6-5)$$

La Figure 3.1.6-A illustre ce calcul.

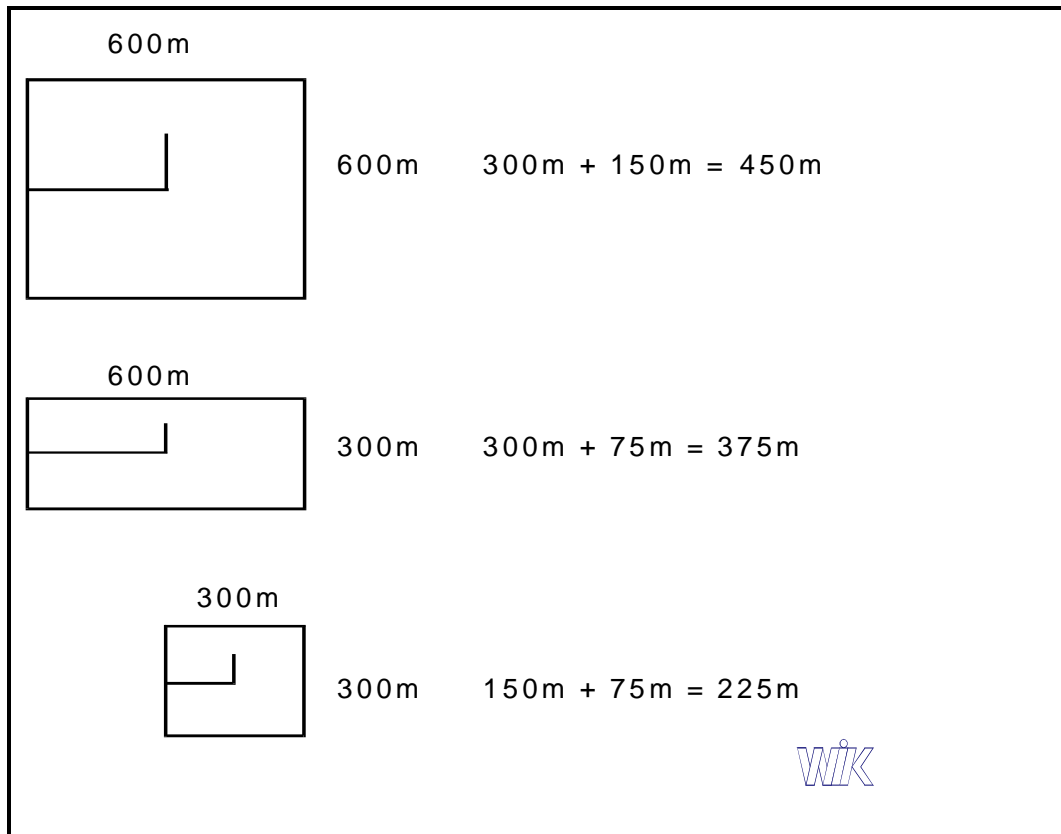


FIGURE 3.1.6-A

Distance moyenne entre un abonné type et l'interface alimentation-distribution

La distance moyenne entre un abonné type et l'interface alimentation-distribution correspond à la longueur moyenne d'une paire de conducteurs dans le câble de distribution:

$$LLVZB_{ijk} = \begin{cases} 0,450 & \text{pour } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,600 \text{ et } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,600 \\ 0,375 & \text{pour } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,300 \text{ et } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,600 \\ 0,375 & \text{pour } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,600 \text{ et } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,300 \\ 0,225 & \text{pour } X_{or_{ijk}} - X_{ul_{ijk}} = 0,300 \text{ et } Y_{or_{ijk}} - Y_{ul_{ijk}} = 0,300 \end{cases} \quad (3.1.6-6)$$

LLVZB = longueur de la boucle dans la zone de distribution

La longueur des artères de câbles dans la zone de distribution dépend principalement de la taille de cette dernière. On suppose que la topologie du réseau de distribution est comparable à celle du réseau d'alimentation. A partir de l'alimentation principale, des alimentations secondaires courent parallèlement aux artères et à angle droit par rapport au bord de la zone de distribution. La distance entre les points de branchement correspond à la distance moyenne entre deux carrefours. En règle générale, le réseau de distribution est de la même longueur, par rapport à une grille quadrillée. Puisque les carrés de la grille représentant une densité supérieure à 600 lignes d'abonné sont subdivisés pour refléter des zones de distribution de plus petite taille, la longueur du réseau de distribution est elle aussi divisée, par deux ou par quatre. Une exception concerne toutefois les carrés représentant une densité d'abonnés faible où on suppose une densité encore moindre du réseau de distribution (cf. Figure 3.1.6-B). Une modélisation plus nuancée du réseau de distribution dépend de la disponibilité de données détaillées concernant la structure de la population.

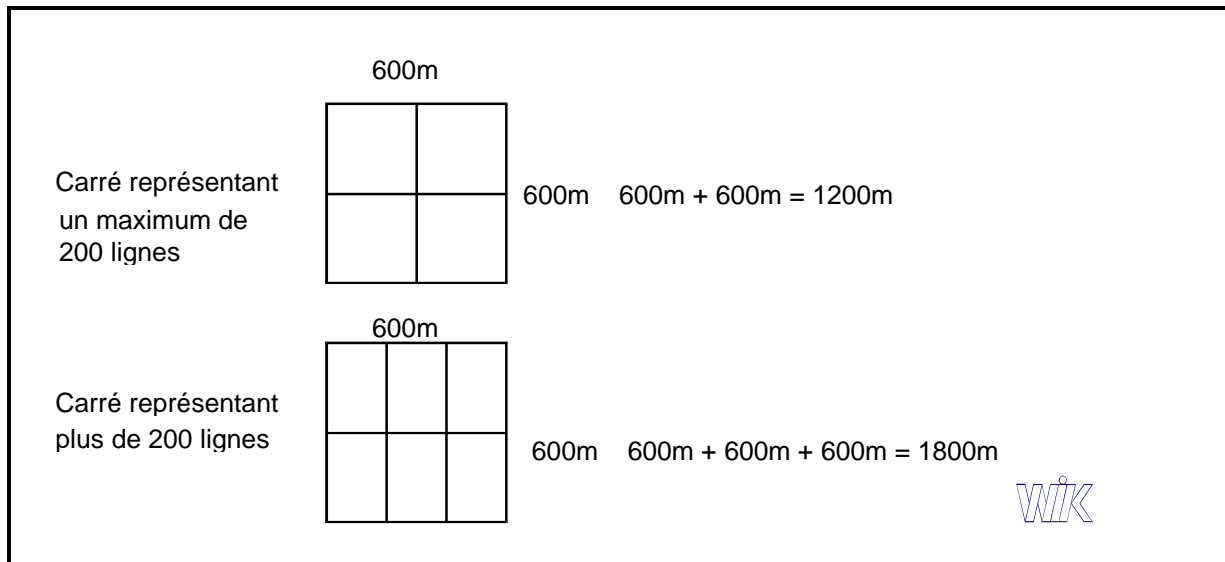


FIGURE 3.1.6-B
Structure des artères de câble

La longueur totale des artères de câbles est donc égale à:

$$LG_{ijk} = \begin{cases} 1,200 & \text{pour } 0 \leq Asl_PQ < 200 \\ 1,800 & \text{pour } 200 \leq Asl_PQ < 600 \\ 0,900 & \text{pour } 600 \leq Asl_PQ < 1200 \\ 0,450 & \text{pour } Asl_PQ \geq 1200 \end{cases} \quad (3.1.6-7)$$

où:

Asl_PQ = nombre de lignes d'abonné dans un carré de la grille

LG_{ijk} = longueur de l'artère de câbles dans la zone de distribution

3.1.7 Etablissement des diamètres nécessaires des paires de conducteurs métalliques

Comme le prix du cuivre constitue un élément de coût déterminant dans l'utilisation de câbles de télécommunication, il faudrait que le diamètre des conducteurs soit aussi petit que possible d'un point de vue économique. La résistance d'un conducteur s'accroît avec sa longueur; or, dans des applications de télécommunication il n'est pas possible de dépasser au total une certaine résistance. Lorsqu'une ligne d'abonné dépasse une certaine longueur, il faudrait qu'elle soit réalisée, en partie ou en totalité, avec des conducteurs de plus gros diamètre. Les conducteurs disponibles existent dans les diamètres suivants: 0,40 mm, 0,60 mm et 0,80 mm. Pour chaque longueur de la boucle il convient de déterminer la part de chaque type de câble à utiliser; la longueur totale du conducteur entre le répartiteur principal et le point de raccordement de l'abonné dans le réseau de distribution revêt à cet égard une importance déterminante. On suppose, premièrement, que le conducteur raccordé au répartiteur principal est chaque fois du plus petit diamètre et, deuxièmement, que le câble de distribution ne change pas de diamètre, même si selon les calculs on pourrait situer à son niveau un point de permutation, qui sera donc reporté à l'interface alimentation-distribution.

Les formules ci-après ont été empruntées à l'ouvrage *Lehrbuch der Fernmeldetechnik*.¹⁴

La longueur totale de la boucle desservant un abonné type d'une zone VZB_{ijk} est donc égale à:

$$LL_{ijk} = LS_{ijk} + LA_{ijk} + LLVZB_{ijk} \quad (3.1.7-1)$$

où:

LL = longueur totale de la boucle

LS = longueur de la boucle dans l'alimentation principale

LA = longueur de la boucle dans l'alimentation secondaire

LLVZB = longueur de la boucle dans la zone de distribution

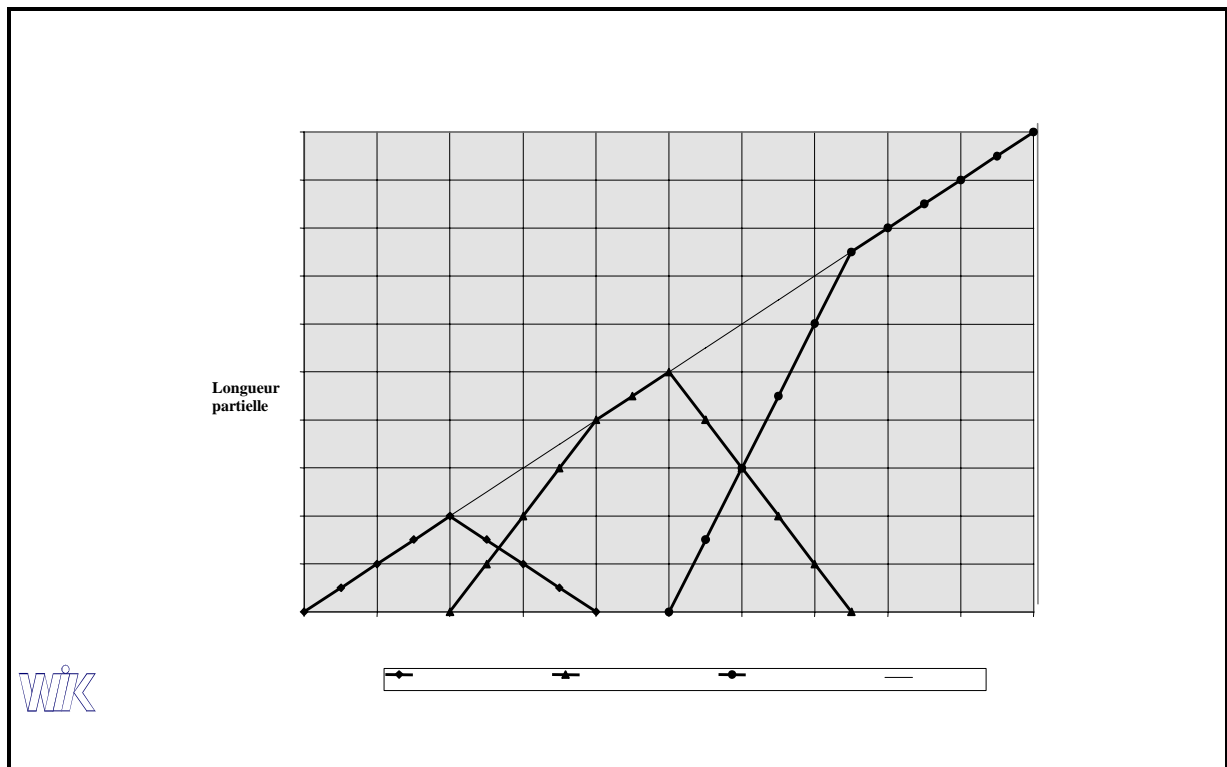


FIGURE 3.1.7-A

Diamètres des conducteurs utilisés

¹⁴ Bergmann. K. (Begr.) et Slabon, R.W. (éditeurs): *Lehrbuch der Fernmeldetechnik*, 5ème édition, Berlin 1986. Lorsque les opérateurs de réseau utilisent des types de câble différents, les calculs doivent être adaptés.

Compte tenu des hypothèses mentionnées ci-dessus, les conducteurs de 0,4, 0,6 et 0,8 mm de diamètre ont dans la section alimentation les longueurs suivantes:

Pour $0,0 \text{ km} < LL_{ijk} \leq 4,0 \text{ km}$:

$$LLHK_{ijkl} = \left| \begin{array}{l} LL_{ijk} - LLVZB_{ijk} \text{ pour } l = 0,40 \\ 0 \text{ pour } l = 0,60 \\ 0 \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right| \quad (3.1.7-2)$$

Pour $4,0 \text{ km} < LL_{ijk} \leq 8,0 \text{ km}$ et $LLVZB_{ijk} \leq (LL_{ijk} \cdot (2) - 8)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left| \begin{array}{l} LL_{ijk} \cdot (-1) + 8 \text{ pour } l = 0,40 \\ (LL_{ijk} \cdot (2) - 8) - LLVZB_{ijk} \text{ pour } l = 0,60 \\ 0 \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right|$$

Pour $4,0 \text{ km} < LL_{ijk} \leq 8,0 \text{ km}$ et $LLVZB_{ijk} \geq (LL_{ijk} \cdot (2) - 8)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left| \begin{array}{l} (LL_{ijk} \cdot (-1) + 8) - (LLVZB_{ijk} - (LL_{ijk} \cdot (2) - 8)) \text{ pour } l = 0,40 \\ 0 \text{ pour } l = 0,60 \\ 0 \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right|$$

Pour $8,0 \text{ km} < LL_{ijk} \leq 10,0 \text{ km}$:

$$LLHK_{ijkl} = \left| \begin{array}{l} 0 \text{ pour } l = 0,40 \\ LL_{ijk} - LLVZB_{ijk} \text{ pour } l = 0,60 \\ 0 \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right|$$

Pour $10,0 \text{ km} < LL_{ijk} \leq 15,0 \text{ km}$ et $LLVZB_{ijk} \leq (LL_{ijk} \cdot (3) - 30)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} 0 \text{ pour } l = 0,40 \\ LL_{ijk} \cdot (-2) + 30 \text{ pour } l = 0,60 \\ (LL_{ijk} \cdot (3) - 30) - LLVZB_{ijk} \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right]$$

Pour $10,0 \text{ km} < LL_{ijk} \leq 15,0 \text{ km}$ et $LLVZB_{ijk} \geq (LL_{ijk} \cdot (3) - 30)$:

$$LLHK_{ijkl} = \left| \begin{array}{l} 0 \text{ pour } l = 0,40 \\ (LL_{ijk} \cdot (-2) + 30) - (LLVZB_{ijk} - (LL_{ijk} \cdot (3) - 30)) \text{ pour } l = 0,60 \\ 0 \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right|$$

Pour $15,0 \text{ km} < LL_{ijk}$

$$LLHK_{ijkl} = \left[\begin{array}{l} 0 \text{ pour } l = 0,40 \\ 0 \text{ pour } l = 0,60 \\ LL_{ijk} - LLVZB_{ijk} \text{ pour } l = 0,80 \end{array} \right]$$

où:

LL = longueur totale de la boucle

$LLHK$ = longueur de la boucle du câble d'alimentation

$LLVZB$ = longueur de la boucle dans la zone de distribution

l = diamètre en mm de la paire de conducteurs, où $l = \{0,4; 0,6; 0,8\}$

Comme il n'existe pas de point de permutation dans le câble de distribution, le diamètre des conducteurs dans la zone de distribution est simplement fonction de la longueur totale des conducteurs:

$$l = \begin{cases} 0,40 & \text{pour } 0,0 \text{ km} \leq LL_{ijk} < 4,0 \text{ km} \\ 0,60 & \text{pour } 4,0 \text{ km} \leq LL_{ijk} < 8,0 \text{ km} \\ 0,80 & \text{pour } LL_{ijk} \geq 8,0 \text{ km} \end{cases} \quad (3.1.7-3)$$

3.1.8 Etablissement du nombre de paires de conducteurs métalliques

Le nombre de paires de conducteurs métalliques par ligne d'abonné revêt une grande importance pour la détermination des coûts ci-après. Le nombre de paires de conducteurs métalliques (DA) installés est toujours supérieur au nombre de conducteurs utilisés dans la réalité pour constituer des lignes d'abonné, étant donné que:

- tous les conducteurs métalliques ne peuvent pas être utilisés, c'est-à-dire qu'il faut prévoir une capacité inutilisée pouvant être substituée aux paires qui deviennent inutilisables avec le temps,
- il faut prévoir une capacité inutilisée supplémentaire pour répondre à un possible accroissement de la demande,
- des paires doivent en outre être utilisées pour assurer les lignes louées.

Au nombre de lignes d'abonné par zone de distribution (voir ci-dessus) on peut avant tout appliquer un facteur reflétant la croissance prévue de la demande pendant la durée de vie économique de l'investissement consacré à la boucle locale. Il faut ici faire attention à la possible utilisation multiple de paires de conducteurs métalliques, par exemple pour la numérisation (RNIS). On peut ensuite appliquer un facteur reflétant la demande de lignes louées et, enfin, un autre facteur correspondant à la capacité inutilisée.

Il est possible, au besoin, d'établir une différence entre le facteur reflétant la demande de lignes louées et le facteur correspondant à la capacité (économique) inutilisée, en prévision d'un accroissement de la demande, entre les sections d'alimentation, de distribution et de raccordement des abonnés et entre les différents types de zone de distribution.

$$\begin{aligned} DA_{HK_{ijk}} &= Asl_{VZB_{ijk}} \cdot Res_Fkt_DA_{HK} \cdot FV_Fkt_DA \cdot TRes_Fkt_DA \\ DA_{VZB_{ijk}} &= Asl_{VZB_{ijk}} \cdot Res_Fkt_DA_{VZB} (VZB - Typ) \cdot FV_Fkt_DA \cdot TRes_Fkt_DA \end{aligned} \quad (3.1.8-1)$$

où:

$DA_{HK_{ijk}}$ = nombre de paires de conducteurs métalliques dans la section alimentation pour la zone VZB_{ijk}

$DA_{VZB_{ijk}}$ = nombre de paires de conducteurs métalliques dans la zone de distribution VZB_{ijk}

$Asl_{VZB_{ijk}}$ = nombre de lignes d'abonné dans la zone VZB_{ijk}

$Res_Fkt_DA_{HK}$ = facteur de capacité (économique) inutilisée pour DA dans le câble d'alimentation

$Res_Fkt_DA_{VZB}$ = facteur de capacité (économique) inutilisée pour DA dans le câble de distribution

$TRes_Fkt_DA$ = facteur de capacité (technique) inutilisée pour DA

FV_Fkt_DA = facteur reflétant la demande de lignes louées dans le réseau d'accès

Il faut, en outre, définir directement l'élément suivant:

$DA_Asl(VZB-Typ)$ = nombre de paires de conducteurs métalliques par ligne d'abonné dans le segment de raccordement des abonnés

3.1.9 Etablissement du volume de trafic pour les zones d'accès

Pour quantifier l'investissement "sensible au trafic", il faut disposer de données concernant le volume de trafic au niveau des concentrateurs distants et des centraux locaux. On distingue le volume de trafic statique, mesuré en erlangs (E), de la charge de trafic dynamique, mesurée elle en tentatives d'appel (CA). Dans l'un et l'autre cas, il faut disposer de données concernant le volume de trafic pendant l'heure considérée comme la mieux adaptée pour le dimensionnement de la capacité du réseau.

Les calculs ci-après se fondent sur les valeurs de trafic entrant et sortant exprimé en heures de pointe moyennes journalières et distinguent les abonnés résidentiels des abonnés professionnels. La demande de trafic, exprimée en erlangs aux heures chargées (BHE), est déterminée pour chaque zone d'accès par addition du trafic d'abonné.

$$BHE_i = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_j} (PK_VZB_{ijk} \cdot BHE_PK + GK_VZB_{ijk} \cdot BHE_GK) \quad (3.1.9-1)$$

où:

BHE_i = volume du trafic dans la zone d'accès ASB_i

BHE_PK = BHE par abonné résidentiel

BHE_GK = BHE par abonné professionnel

PK_VZB_{ijk} = abonnés résidentiels dans la zone de distribution VZB_{ijk}

GK_VZB_{ijk} = abonnés professionnels dans la zone de distribution VZB_{ijk}