

Pour déterminer la charge de trafic dynamique, c'est-à-dire le nombre de tentatives d'appel pendant une heure de pointe, il faut diviser le temps total d'occupation par le temps moyen d'occupation pour obtenir d'abord le nombre d'appels fructueux, lequel doit être divisé par un facteur correspondant au taux des tentatives d'appel ayant abouti. L'équation ci-dessous s'applique d'une façon générale:

$$BHCA = \frac{BHE \cdot 60}{HT} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (3.1.9-2)$$

où:

$BHCA$ = charge de trafic dynamique pendant une heure de pointe moyenne

BHE = volume de trafic pendant une heure de pointe moyenne

HT = temps moyen d'occupation

α = rapport du nombre de tentatives d'appel ayant abouti sur le nombre total de tentatives d'appel

Ces valeurs doivent ensuite être augmentées d'un facteur qui reflète le fait que le dimensionnement de la capacité de réseau se fonde sur une valeur supérieure à la charge de crête moyenne journalière. Ainsi, il est possible également de tenir compte des charges de crête hebdomadaires et mensuelles avec une qualité de service acceptable.

$$BHE_D = BHE \cdot LSF \quad (3.1.9-3)$$

$$BHCA_D = BHCA \cdot LSF$$

où:

$BHE_D, BHCA_D$ = volume de trafic ou charge de trafic dynamique pendant l'heure utile au dimensionnement de la capacité du réseau

LSF = facteur de charge de crête

Les valeurs ainsi obtenues en ce qui concerne le temps moyen d'occupation d'une ligne d'abonné et le nombre moyen de tentatives d'appel par heure de pointe permettent de calculer les volumes de trafic dans les éléments du réseau de télécommunication dont le dimensionnement dépend du volume du trafic. On distingue l'heure de pointe moyenne (journalière) de l'heure de pointe utile au dimensionnement de la capacité du réseau pour la raison suivante: la première sert à déterminer la demande annuelle prévue alors que la seconde sert, comme l'expression l'indique, à déterminer les investissements qui seront consacrés dans la partie sensible au trafic du réseau de télécommunication. L'étape suivante consiste à établir les relations de trafic entre les noeuds de réseau ainsi que les valeurs équivalentes de connexions à 2 Mbit/s (DSV2).

3.1.10 Etablissement des relations de trafic logiques entre les noeuds de réseau

Pour établir les volumes de trafic dans les noeuds de commutation, dans le réseau interbureaux et entre les concentrateurs distants et les centraux correspondants, il faut au préalable déterminer quel répartiteur principal est associé au central local. Conformément aux hypothèses retenues, les autres répartiteurs principaux sont associés à un concentrateur distant; en outre, les concentrateurs distants doivent être attribués à des centraux locaux (cf. Figure 3.1.10-A).

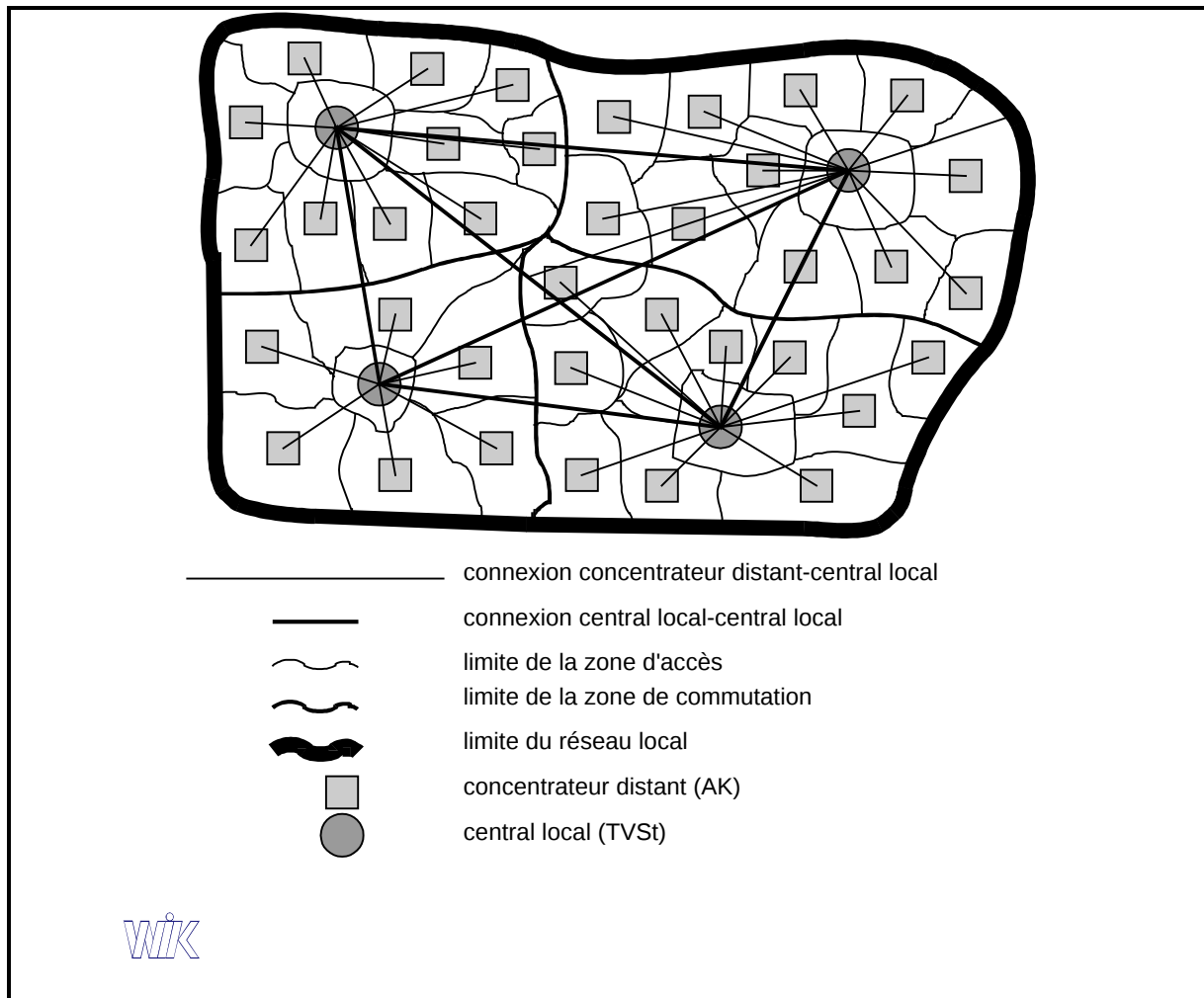


FIGURE 3.1.10-A
Structure stylisée d'un réseau local

Les calculs suivants tiennent compte de ces hypothèses; chaque zone d'accès (ASB)/répartiteur principal (HVt) est donc mis en correspondance soit avec un central local (TVSt), soit avec un concentrateur distant (AK), et chaque concentrateur distant est associé à un central local. Il s'ensuit que:

ASB_{a0} = zone ASB du central local a , où $a = \{1...s\}$

ASB_{ad} = zone ASB du concentrateur distant du central local a , où $a = \{1...s\}$ et $d = \{1...t_a\}$

3.1.10.1 Connexions entre concentrateurs distants et central local

Dans l'hypothèse où les connexions internes ne sont pas établies dans les concentrateurs distants (AK), tout le trafic d'abonné est acheminé via le central local (TVSt). Le volume de trafic aboutissant au central local peut donc être établi par addition du trafic d'abonnés dans la zone d'accès, acheminé via le concentrateur.

$$BHE_{AK_{ad}|TVSt_a} = BHE_{ad}, \text{ où } d \neq 0 \quad (3.1.10-1)$$

où:

$BHE_{AK_{ad}|TVSt_a}$ = trafic entre le concentrateur distant_{ad} et le central local TVSt_a

BHE_{ad} = trafic d'abonnés dans la zone d'accès du concentrateur distant ASB_{ad}

3.1.10.2 Connexions entre centraux locaux

Compte tenu de l'hypothèse de symétrie retenue, on peut déterminer le trafic sortant comme étant égal à la moitié du trafic total.

$$BHE_G_{ad} = \frac{BHE_{ad}}{2} \quad (3.1.10-2)$$

où:

BHE_G = trafic sortant

On considère qu'une certaine part du trafic d'abonnés sortant, déterminée au niveau du réseau local, est du trafic grande distance, c'est-à-dire destiné à un réseau local différent.

$$BHE_G_{O_{ad}} = BHE_G_{ad} (1-AFV) \quad (3.1.10-3)$$

$$BHE_G_{F_{ad}} = BHE_G_{ad} AFV \quad (3.1.10-4)$$

où:

BHE_G_F = trafic (sortant) grande distance

BHE_G_O = trafic (sortant) local

BHE_G_{ad} = trafic dans la zone ASB_{ad} (sortant)

AFV = part du trafic grande distance dans le trafic d'abonnés total

$(1-AFV)$ = part du trafic local dans le trafic d'abonnés total

Le volume total de trafic d'un central local découle de la totalité du trafic d'abonnés émanant de toutes les zones d'accès reliées, directement ou à distance, à ce central. Le trafic intrabureau d'un central local, c'est-à-dire le trafic qui n'est pas destiné à un autre central local, correspond à sa part relative dans le trafic local sortant total, ce qui illustre l'hypothèse que toutes les connexions concevables entre deux abonnés du réseau local sont également probables. Le trafic local à destination d'un central local différent se calcule en conséquence. Le trafic entre les centraux locaux et le central interurbain peut être calculé à partir de la somme totale du trafic grande distance sortant des zones d'accès reliées via les centraux locaux.

Trafic local:

$$BHE_G_{O_{TVSt_x|TVSt_y}} = \sum_{d=0}^{t_x} BHE_G_{O_{xd}} \cdot \frac{\sum_{a=1}^{t_y} BHE_G_{O_{yd}}}{\sum_{d=0}^{t_a} BHE_G_{O_{ad}}} \quad (3.1.10-5)$$

Trafic grande distance:

$$BHE_G_{F_{TVSt_x|FVSt}} = \sum_{d=0}^{t_x} BHE_G_{F_{xd}} \quad (3.1.10-6)$$

où:

a = indice du central local TVSt, où $a = \{1...s\}$

s = nombre de centraux locaux TVSt dans le réseau local

d = indice du répartiteur principal HVt, où $d = \{0...t_a\}$

t_x = nombre de concentrateurs distants AK reliés aux centraux locaux TVSt_x

$d=0$: HVt de TVSt

$d \in \{1...t_a\}$: HVt de AK

$x \in \{1...s\}$: indice d'un central local TVSt

$y \in \{1...s\}$: indice d'un central local TVSt

Ces paramètres servent de base à l'élaboration de la matrice de trafic présentée dans le Tableau 3.1.10-a.

TABLEAU 3.1.10-a

Matrice de trafic local, intrabureau et grande distance

Destination Origine	TVSt ₁	TVSt ₂	...	TVSt _a	FVSt
TVSt ₁	$BHE_G_{TVSt_1 TVSt_1}$	$BHE_G_{TVSt_1 TVSt_2}$	...	$BHE_G_{TVSt_1 TVSt_a}$	$BHE_G_{TVSt_1 FVSt}$
TVSt ₂	$BHE_G_{TVSt_2 TVSt_1}$	$BHE_G_{TVSt_2 TVSt_2}$	...	$BHE_G_{TVSt_2 TVSt_a}$	$BHE_G_{TVSt_2 FVSt}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
TVSt _a	$BHE_G_{TVSt_a TVSt_1}$	$BHE_G_{TVSt_a TVSt_2}$	...	$BHE_G_{TVSt_a TVSt_a}$	$BHE_G_{TVSt_a FVSt}$
FVSt	$BHE_G_{FVSt TVSt_1}$	$BHE_G_{FVSt TVSt_2}$	...	$BHE_G_{FVSt TVSt_a}$	0

où:

$BHE_G_{TVSt_x|TVSt_y}$ = trafic sortant émanant de TVSt_x à destination de TVSt_y

$BHE_G_{TVSt_x|TVSt_x}$ = trafic intrabureau du central TVSt_x

$BHE_G_{TVSt_x|FVSt}$ = trafic grande distance du central TVSt_x

Le trafic local sortant total dans un central local peut se calculer ainsi:

$$BHE_G_O_{TVSt_x} = \sum_{a=1}^s \left(BHE_G_{TVSt_x|TVSt_a} \right)_{avec\ a \neq x} \quad (3.1.10-7)$$

Le trafic grande distance sortant total dans un central local peut se calculer ainsi:

$$BHE_G_F_{TVSt_x} = BHE_G_{TVSt_x|FVSt} \quad (3.1.10-8)$$

Le trafic local entrant total dans un central local peut se calculer ainsi:

$$BHE_K_O_{TVSt_x} = \sum_{a=1}^s \left(BHE_G_{TVSt_a|TVSt_x} \right)_{avec\ a \neq x} \quad (3.1.10-9)$$

Le trafic grande distance entrant total dans un central local peut se calculer ainsi:

$$BHE_K_F_{TVSt_x} = BHE_G_{FVSt|TVSt_x} \quad (3.1.10-10)$$

Le trafic intrabureau total dans un central local peut se calculer ainsi:

$$BHE_I_{TVSt_x} = BHE_G_{TVSt_x|TVSt_x} \quad (3.1.10-11)$$

Enfin, le trafic total d'un central local peut se calculer ainsi:

$$BHE_{TVSt_x} = BHE_G_O_{TVSt_x} + BHE_K_O_{TVSt_x} + BHE_I_{TVSt_x} + BHE_G_F_{TVSt_x} + BHE_K_F_{TVSt_x} \quad (3.1.10-12)$$

La charge de trafic dynamique totale d'un central local est donc égale à:

$$BHCA_{TVSt_x} = \frac{BHE_{TVSt_x} \cdot 60}{HT} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (3.1.10-13)$$

3.1.11 Etablissement du nombre de connexions numériques DSV2 pour transmission dans le réseau local

Après avoir déterminé la demande de trafic total entre deux noeuds de réseau, on doit établir le nombre de connexions numériques à 2 Mbit/s (DSV2) qui doivent être utilisées entre les noeuds. Chaque connexion DSV2 comporte 30 canaux d'information utilisateur fonctionnant à 64 kbit/s, plus deux canaux pour les fonctions de signalisation et de gestion.

Le nombre de connexions DSV2 nécessaires se calcule au moyen de la formule des appels perdus d'erlang; on obtient ainsi le nombre de canaux nécessaires pour assurer l'écoulement du trafic demandé avec une probabilité de perte donnée. Cette formule se présente comme suit:

$$B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{K=0}^N \frac{A^K}{K!}} \quad (3.1.11-1)$$

où:

B = probabilité de perte

A = trafic assuré en erlangs

N = nombre de lignes/canaux

Le Tableau 3.1.11-a montre le trafic maximum acheminé en fonction d'un nombre variable de connexions DSV2 et pour différentes probabilités de perte.

TABLEAU 3.1.11-a
Exemple de trafic

Trafic assuré A		Probabilité de perte		
Nombre de canaux	Nombre de DSV2	B=0,005	B=0,01	B=0,05
N=30	1	19,03	20,34	24,80
N=60	2	44,76	46,95	54,57
N=90	3	71,76	74,68	85,01
N=120	4	99,38	102,96	115,77
N=150	5	127,40	131,58	146,71
N=180	6	155,68	160,42	177,76
N=210	7	184,16	189,42	208,89
N=240	8	212,79	218,56	240,09
N=270	9	241,55	247,80	271,33
N=300	10	270,41	277,13	302,62
N=330	11	299,35	306,52	333,93
N=360	12	328,37	335,98	365,27
N=390	13	357,45	365,49	396,63
N=420	14	386,59	395,04	428,01
N=450	15	415,78	424,63	459,40
N=480	16	445,01	454,27	490,81
N=510	17	474,28	483,93	522,23
N=540	18	503,58	513,62	553,66
N=570	19	532,92	543,34	585,10
N=600	20	562,29	573,08	616,55
N=630	21	591,69	602,84	648,00
N=660	22	621,11	632,62	679,47
N=690	23	650,55	662,42	710,94
N=720	24	680,02	692,24	742,41
N=750	25	709,51	722,08	773,89
N=780	26	739,01	751,92	805,38
N=810	27	768,53	781,79	836,87
N=840	28	798,07	811,67	868,36
N=870	29	827,63	841,56	899,86
N=900	30	857,20	871,46	931,36

Dans les calculs consacrés aux systèmes de transmission on suppose que le nombre de connexions DSV2 nécessaires se fonde sur les valeurs de trafic mentionnées dans le tableau ci-dessus avec une probabilité de perte donnée. Le réseau interbureaux, qui sert de cadre à l'établissement des coûts dans le présent modèle, dispose d'artères directes entre deux noeuds; comme il n'est pas tenu compte de possibles voies de débordement, ces artères sont non seulement directes mais également finales. Il s'ensuit que le trafic qui est rejeté par un groupe de circuits est en fait perdu et ne s'écoule pas dans un autre groupe. Lorsqu'est déterminé le nombre de connexions, il convient de tenir compte de cette hypothèse en appliquant une valeur de probabilité de perte moindre que pour des systèmes avec voies de débordement, dans lesquels les artères directes peuvent tout à fait être utilisées étant donné l'acceptation de pertes élevées. La valeur de probabilité de perte utilisée dans le modèle devrait être choisie de telle sorte que la qualité de service souhaitée puisse être obtenue en tout état de cause.

Le nombre de connexions DSV2 entre un central local TVSt_x et un autre central local TVSt_y se calcule comme suit:

$$\#DSV2_{TVSt_x|TVSt_y} = \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{N(A; B) \text{ où } A = BHE_G_O_{D_{TVSt_x|TVSt_y}} + BHE_G_O_{D_{TVSt_y|TVSt_x}}}{30} \right\rfloor \quad (3.1.11-2)$$

Le nombre de connexions DSV2 entre un central local TVSt_x et un central interurbain FVSt se calcule comme suit:

$$\#DSV2_{TVSt_x|FVSt} = \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{N(A; B) \text{ où } A = BHE_G_F_{D_{TVSt_x}} + BHE_K_F_{D_{TVSt_x}}}{30} \right\rfloor \quad (3.1.11-3)$$

En conclusion, le nombre total de connexions DSV2 dans le réseau interbureaux peut se calculer pour un central local comme suit:¹⁵

$$\#DSV2_x = \sum_{a=1}^s \left(\#DSV2_{TVSt_x|TVSt_a} \right)_{avec a \neq x} + \#DSV2_{TVSt_x|FVSt} \quad (3.1.11-4)$$

En ce qui concerne les connexions entre un concentrateur distant et un central local, le trafic d'abonnés est concentré sur des unités de lignes numériques (DLU), dont chacune dispose d'extrémités à 4 x 2 Mbit/s. Il s'ensuit que dans un premier temps il est possible d'estimer le nombre de DLU par concentrateur distant au moyen de la formule d'erlang. Le nombre de connexions DSV2 empruntant le système de transmission est égal au nombre de DLU multiplié par quatre. Le nombre de DLU par zone d'accès et le nombre de connexions DSV2 associées au central local correspondant des zones d'accès connectées au concentrateur distant se calculent donc comme suit:

¹⁵ Il convient de ne pas oublier qu'un équipement de transmission n'a pas à être fourni pour les connexions nécessaires entre un central local et le point d'interconnexion à un réseau grande distance lorsque l'un et l'autre sont regroupés; toutefois, même dans ce cas, le trafic grande distance entrant/sortant influe sur le nombre d'entités faisceau de ligne (LTG) confrontant le réseau.

$$\begin{aligned} \#DLU_{ad} &= \text{arrondi à } \left\lceil \frac{BHE_{D_{ad}}}{A(N; B) \text{ avec } N = 120} \right\rceil \\ \#DLU_a &= \sum_{t_a} \#DLU_{ad} \\ \#DSV2_{ad} &\stackrel{d=0}{=} 4 \cdot \#DLU_{ad}, d \neq 0 \end{aligned} \quad (3.1.11-5)$$

où:

$\#DLU_{ad}$ = nombre d'unités de lignes numériques dans une zone d'accès ad

$\#DLU_{ad}$ = nombre d'unités de lignes numériques dans une zone de commutation a

$\#DSV_{ad}$ = nombre de connexions DSV2 entre le concentrateur AK_{ad} et le central TVSt correspondant

3.1.12 Etablissement des longueurs des câbles de jonction

Les longueurs des câbles de jonction entre un concentrateur distant (AK) et un central local (TVSt) se calculent comme suit:

$$AK_{ad} - TVSt_a = |X_{AK_{ad}} - X_{TVSt_a}| + |Y_{AK_{ad}} - Y_{TVSt_a}| \quad (3.1.12-1)$$

où:

AK = concentrateur distant

$TVSt$ = central local

d = indice du concentrateur distant, où $d = \{1...t_a\}$

Les longueurs des câbles de jonction entre centraux locaux se calculent comme suit:

$$TVSt_x - TVSt_y = |X_x - X_y| + |Y_x - Y_y| \quad (3.1.12-2)$$

3.1.13 Etablissement des facteurs de coûts d'équipement et d'exploitation

Les facteurs de coûts d'équipement et d'exploitation (KBF) correspondant aux différentes catégories de biens indiquent, en pourcentage du coût de remplacement courant des biens utilisés, les coûts supportés annuellement pour ces biens. Ils sont déterminés en fonction de la somme totale du facteur des coûts d'exploitation (BKF) et du facteur des coûts d'équipement (KKF) qui, en tant que taux de récupération du capital, recouvre aussi bien l'amortissement que le rendement escompté sur investissement.

$$KBF_u = BKF_u + KKF_u \quad (3.1.13-1)$$

où:

u = indice de la catégorie de biens, où $u = \{1...z\}$

Les facteurs spécifiques de coûts d'exploitation se calculent au moyen de la formule usuelle appliquée au taux de récupération du capital, le coût général du capital étant corrigé du taux d'évolution des prix propres aux biens, (cf. § 2.2.3.2).

$$KKF_u(KKS, \Delta p_u, ND_u) = \frac{KKS - \Delta p_u}{1 - \frac{1}{(1 + KKS - \Delta p_u)^{ND_u}}} \quad (3.1.13-2)$$

où:

KKS = coût du capital

Δp_u = taux moyen d'évolution des prix correspondant à la catégorie des biens u

ND_u = durée de vie moyenne économico-technique correspondant à la catégorie des biens u

Le coût du capital se compose de la moyenne pondérée du taux de rentabilité des fonds propres et du taux d'intérêts sur les capitaux empruntés.

$$KKS(eK, fK, D, T, R) = \frac{eK \cdot D}{1 - T} + fK \cdot R \quad (3.1.13-3)$$

où:

eK = pourcentage de fonds propres

fK = pourcentage de la dette (dette porteuse d'intérêts uniquement)

D = taux escompté de rentabilité des fonds propres

T = taux d'imposition effectif sur le revenu des sociétés

R = taux d'intérêts de la dette

Après avoir déterminé le pourcentage de fonds propres (eK), le pourcentage de la dette (fK), le taux escompté de rentabilité des fonds propres (D), le taux d'imposition effectif sur le revenu des sociétés (T) et le taux d'intérêts de la dette (R), il convient de déterminer de façon exogène les facteurs de coûts d'exploitation, le taux moyen d'évolution des prix et la durée de vie propre aux différentes catégories de biens. Il est proposé de fixer le taux d'intérêts de la dette par rapport au rendement des valeurs à moyen terme, exemptes de risque, par exemple les emprunts fédéraux à échéance de 4 à 6 ans. Le taux de rentabilité des fonds propre pourrait être déterminé sur la base du modèle d'établissement du prix des actifs immobilisés ou du modèle de croissance des dividendes. Comme il est indiqué au § 2.2.3.3 ni l'un ni l'autre de ces deux modèles ne peut être actuellement appliqué étant donné le nombre considérable de données nécessaires pour ce faire; il faut donc recourir aux données dont disposent les opérateurs de réseau ou à des comparaisons internationales. Dans la liste des thèmes de discussion (Annexe A) figure une question à cet effet.

Le modèle couvre les catégories de biens suivantes:

TABLEAU 3.1.13-a
Catégories de biens

Catégorie	Désignation du KBF
Bâtiments	KBF _{Gebäude}
Équipement supplémentaire	KBF _{Ausstattung}
Équipement de transmission	KBF _{Übertragungstechnik}
Équipement de commutation	KBF _{Vermittlung}
Câble métallique souterrain	KBF _{Röhrenkabel}
Câble en fibre souterrain	KBF _{GF-Röhrenkabel}
Câble métallique enterré	KBF _{Erdkabel}
Câble en fibre enterré	KBF _{GF-Erdkabel}
Raccordement des abonnés	KBF _{Endkabel}
Systèmes de conduits	KBF _{Kanal}
Câblage interne	KBF _{Endstellenkabel}

3.2 Etablissement du coût du réseau des lignes d'abonnés

3.2.1 Coûts du réseau d'alimentation

On calcule les coûts pour chaque quadrant d'une zone d'accès. Les coûts des câbles d'alimentation (C_{HK}) de l'ensemble du réseau local sont ainsi égaux à la somme totale des coûts des câbles d'alimentation de toutes les zones d'accès du réseau local et de tous les quadrants des zones d'accès:

$$C_{HK} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 C_{HK_{ij}} \quad (3.2.1-1)$$

où:

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

n = nombre de zones d'accès dans le réseau local

j = indice du quadrant, où $j = \{1...4\}$

En établissant le coût des câbles d'alimentation, on tient compte séparément du niveau d'infrastructure - c'est-à-dire des tranchés et des systèmes de conduits - du niveau des câbles et du niveau des conducteurs; on détermine ainsi trois paramètres de référence (mètres d'artère, mètres de câble et mètres de conducteur) pour les différentes catégories de biens. D'un point de vue topologique, le niveau de l'infrastructure et le niveau des câbles peuvent être décrits comme formant un système arborescent. Le niveau des conducteurs (paires de conducteurs métalliques) quant à lui présente une structure en étoile étant donné que, conformément aux hypothèses retenues, un conducteur spécialisé à destination du répartiteur principal est attribué à chaque abonné. Cette séparation reflète le fait qu'il est possible de réaliser des économies de densité au niveau de l'infrastructure et des câbles, mais pas à celui des conducteurs. Il s'ensuit que la formule d'établissement des coûts du réseau d'alimentation se présente comme suit:

$$C_{HK_{ij}} = C_{infrastructure_j} + C_{cable_j} + C_{conducteur_j} \quad (3.2.1-2)$$

3.2.1.1 Coûts d'infrastructure

Les coûts d'infrastructure sont établis séparément pour l'alimentation principale et pour les différentes alimentations secondaires. On suppose que chaque alimentation principale aboutit au niveau de la zone de distribution la plus éloignée; dans cette section, l'infrastructure est partagée par les câbles de toutes les zones de distribution. Par contre, chaque zone de distribution est raccordée à l'alimentation principale via une alimentation secondaire distincte; on suppose donc que les câbles des différentes zones de distribution n'utilisent pas en partage l'infrastructure. Le compromis obtenu est raisonnable par rapport aux économies réalisées grâce à l'utilisation partagée de l'infrastructure; en effet, on suppose, d'une part, une réalisation maximale d'économies de gamme dans l'alimentation et, d'autre part, un renoncement complet à la réalisation d'économies de gamme dans les alimentations secondaires. Les coûts d'infrastructure par quadrant sont égaux aux coûts de l'alimentation principale, plus la somme totale des coûts des alimentations secondaires pour la totalité des zones de distribution du quadrant:

$$C_{infrastructure_{ij}} = C_{infrastructure\ alimentation\ principale_{ij}} + \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{infrastructure\ alimentation\ secondaire_{ijk}} \quad (3.2.1-3)$$

où:

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

$m_{ij} =$ nombre de zones de distribution dans un quadrant j d'une zone d'accès i

3.2.1.1.1 Coûts de génie civil

Les coûts d'infrastructure sont subdivisés en deux composantes, matériaux et génie civil, pour en permettre la ventilation et garantir une souplesse maximale. Ainsi, le travail de modélisation peut se poursuivre en tenant compte de plusieurs éléments de réseau ou du partage de l'infrastructure par des réseaux différents en distinguant les coûts de génie civil, pouvant représenter un ensemble de coûts communs, des coûts directs des matériaux:

$$C_{infrastructure\ alimentation\ principale_{ij}} = C_{tranchée\ alimentation\ principale_{ij}} + C_{matériaux\ alimentation\ principale_{ij}} \quad (3.2.1-4)$$

$$C_{infrastructure\ alimentation\ secondaire_{ijk}} = C_{tranchée\ alimentation\ secondaire_{ijk}} + C_{matériaux\ alimentation\ secondaire_{ijk}}$$

Les coûts de génie civil sont, à leur tour, ventilés en coûts de génie civil pour l'enfouissement des câbles et en coûts de génie civil pour la mise en place des systèmes de conduits. La pose des câbles, selon différentes méthodes, donne lieu à des coûts différents d'investissement par mètre; en outre, on applique différents facteurs de coûts d'équipement et d'exploitation à la somme des investissements totaux.¹⁶ A ce stade, il serait également possible de prendre en considération les installations de câble aérien, lesquelles ont toutefois été exclues du présent modèle parce qu'on a supposé que le réseau d'accès est, sans exception, sous terre.

¹⁶ Les investissements consacrés aux systèmes de conduits, en particulier, sont amortis sur une durée plus longue que les investissements consacrés à l'enfouissement des câbles.

$$C_{\text{tranchée alimentation principale}_{ij}} = C_{\text{tranchée gaine alimentation principale}_{ij}} + C_{\text{tranchée câble enfoui alimentation principale}_{ij}} \quad (3.2.1-5)$$

$$C_{\text{tranchée alimentation secondaire}_{ijk}} = C_{\text{tranchée gaine alimentation secondaire}_{ijk}} + C_{\text{tranchée câble enfoui alimentation secondaire}_{ijk}}$$

Les coûts de génie civil peuvent maintenant être attribués à des paramètres, soit déterminés directement, soit calculés ailleurs:

$$C_{\text{tranchée gaine alimentation principale}_{ij}} = LS_{ij} \cdot AKK_{HK} \cdot P_GrK_m(ZG_{HK}; OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{conduit}} \quad (3.2.1-6)$$

$$C_{\text{tranchée câble enfoui alimentation principale}_{ij}} = LS_{ij} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot P_GrE_m(OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{câble enfoui}}$$

$$C_{\text{tranchée gaine alimentation secondaire}_{ijk}} = LA_{ijk} \cdot AKK_{HK} \cdot P_GK_m(ZG_{HK}; OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{conduit}}$$

$$C_{\text{tranchée câble enfoui alimentation secondaire}_{ijk}} = LA_{ijk} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot P_GE_m(ZG_{HK}; OF_{HK}) \cdot KBF_{\text{câble enfoui}}$$

où:

AKK_{HK} = part des systèmes de conduits dans la section alimentation

ZG_{HK} = nombre de canalisations dans les réseaux

OF_{HK} = type de surface dans la section alimentation

KBF = facteur de coûts d'équipement et d'exploitation

LS_{ij} = longueur de la boucle dans l'alimentation principale

P_GrK_m = coûts de génie civil par mètre pour les systèmes de conduits

P_GrE_m = coûts de génie civil par mètre pour les installations de câbles enfouis

La variable "part des conduits" indique la part des systèmes de conduits dans les installations de câbles, c'est-à-dire que $(1 - AKK_{hk})$ est la part des installations de câbles enfouis, laquelle est établie au niveau du réseau local pour toutes les lignes d'alimentation. Les coûts de génie civil des systèmes de conduits sont fonction du nombre de conduits et de la part des différentes surfaces à remettre en état. Un conduit est défini comme un conduit en PVC d'un diamètre d'environ 10 cm. Le nombre de conduit pris en considération dans le calcul des coûts s'établit au niveau du réseau local et doit donc être considéré comme une valeur moyenne pour les installations des câbles d'alimentation.

Le type de surface influe énormément sur les coûts de génie civil étant donné que le travail de remise en état représente une part considérable, mais très variable, du coût total. En principe, les coûts moyens de génie civil par mètre peuvent être calculés si le coût de remise en état de surfaces vertes, de surfaces asphaltées ou de pavés bloquants (types de surface les plus communs) sont connus et si on leur attribue des parts pondérées dans la totalité des kilomètres de tranchées. La variable "type de surface" (OF) doit donc être considérée comme un vecteur qui comprend les parts pondérées et les coûts correspondants de génie civil. Les coûts de génie civil par mètre de système de conduits sont fonction du nombre de conduits et de la part dans les kilomètres de tranchées des surfaces respectives à remettre en état. Dans le cas de câbles enfouis il est proposé de prendre comme base une taille de tranchée uniforme et de ne considérer que les différents types de surface.

Il ne fait aucun doute que le type de terrain influe lui aussi sur les coûts de base de génie civil. Les coûts modélisés devraient donc refléter un degré de difficulté pouvant être considéré comme représentatif. On notera que tous les paramètres d'entrée peuvent être déterminés au niveau du réseau local. En principe donc, il est possible de projeter les caractéristiques géologiques de n'importe quel réseau local, à condition de disposer des informations nécessaires. Il conviendrait toutefois de se demander s'il ne serait pas judicieux de procéder à l'avance, c'est-à-dire pas dans le cadre des calculs du modèle, à l'établissement de moyennes; en effet, s'il peut sembler nécessaire,

notamment en ce qui concerne la représentation géographique et la distribution de la demande, de fixer des moyennes sur la base des résultats de la modélisation et non sur la base des hypothèses retenues, il ne semble pas que cette nécessité s'impose pour d'autres paramètres d'entrée tels que les coûts de génie civil. Aucune information utile ne sera perdue si les calculs sont fondés sur des valeurs représentatives de la région étudiée.

3.2.1.1.2 Coûts des matériaux

Les investissements consacrés aux matériaux interviennent essentiellement au niveau des systèmes de conduits; en effet les matériaux utilisés pour les installations de câbles enfouis sont pris en considération non au niveau de l'infrastructure, mais à celui des câbles. A cet égard, on distingue les canalisations des trous d'homme, ce qui permet de toujours inclure les coûts d'installation.

L'investissement dans les trous d'homme se calcule sur la base du nombre de trous d'homme, déterminé par la distance moyenne entre deux trous et par leur type. Le type de trou d'homme devrait être choisi de telle sorte qu'il s'accorde avec le nombre de canalisations retenu, c'est-à-dire que, si les calculs se fondent sur un système de conduits de calibre 6, la taille du trou d'homme devrait permettre de tirer six câbles. Il s'ensuit que:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{matériaux alimentation principale}_y} &= C_{\text{canalisations conduit alimentation principale}_y} = C_{\text{trous d'homme conduit alimentation principale}_y} \\
 C_{\text{matériaux alimentation secondaire}_{ijk}} &= C_{\text{canalisations conduit alimentation secondaire}_{ijk}} + C_{\text{trou d'homme alimentation secondaire}_{ijk}} \\
 C_{\text{canalisations conduit alimentation principale}_{ij}} &= LS_{ij} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Rohr}_m} \cdot ZG_{HK} \cdot KBF_{\text{conduit}} \\
 C_{\text{trous d'homme conduit alimentation principale}_{ij}} &= \frac{LS_{ij} \cdot AKK_{HK}}{AbsSchacht} \cdot P_{\text{Schacht}} (ZG_{HK}) \cdot KBF_{\text{conduit}} \\
 C_{\text{canalisations conduit alimentation secondaire}_{ijk}} &= LA_{ijk} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Rohr}_m} \cdot KBF_{\text{conduit}} \cdot ZG_{HK} \\
 C_{\text{trous d'homme conduit alimentation secondaire}_{t_{ijk}}} &= \frac{LA_{ijk} \cdot AKK_{HK}}{AbsSchacht} \cdot P_{\text{Schacht}} (ZG_{HK}) \cdot KBF_{\text{conduit}}
 \end{aligned} \tag{3.2.1-7}$$

où:

P_{Rohr_m} = coût de canalisation par mètre

P_{Schacht} = coût d'un trou d'homme

$AbsSch$ = distance moyenne entre trous d'homme

3.2.1.2 Coûts des câbles

Au niveau des câbles, les coûts pris en considération sont les coûts pour lesquels le paramètre de référence s'exprime en mètres de câbles tirés; ils comprennent les investissements fixes implicites par mètre de câble, c'est-à-dire le prix de la gaine du câble. Ils sont déterminés pour des câbles de nombre de conducteurs différents au moyen d'une régression linéaire par rapport au coût par mètre. Les coûts fixes correspondent à l'interception de l'axe, alors que le gradient de la ligne de régression indique le coût d'une paire de conducteurs métalliques supplémentaire par mètre. On ajoute le coût des manchons de protection et du ruban marqueur, de sorte que ce sont les mètres de câbles et non les mètres d'installations qui constituent le paramètre de référence approprié. Les manchons de protection et le ruban marqueur n'interviennent que dans le cas de câbles enfouis étant donné que les manchons de protection ne sont pas nécessaires sur toute la longueur du câble.¹⁷ La base de calcul de la longueur des câbles est, avant tout, la longueur des cheminements dans les quadrants

¹⁷ Dans un souci de simplicité, ce paramètre devrait se refléter dans les calculs en réduisant les coûts par mètre.

respectifs. L'hypothèse retenue ici est que les câbles d'alimentation, débouchant du répartiteur principal, continuent de s'effiler et que, dans ce que l'on appelle les manchons secondaires, les paires de conducteurs métalliques qui assurent la connexion des zones de distribution sont pris sur le câble d'alimentation principale. Dans de nombreux cas, toutefois - et cela vaut en particulier pour l'alimentation principale - plusieurs câbles seront tirés en parallèle dans une tranchée ou dans un système de conduit, étant donné que les paires de conducteurs métalliques d'un nombre élevé d'abonnés ne peuvent plus être contenues dans un câble ou, autre raison, parce que des conducteurs de diamètres différents sont nécessaires. Pour des raisons d'économie il peut être en outre préférable de tirer un câble d'un seul tenant plutôt que de raccorder deux câbles. Il est possible dans les calculs du modèle d'établir le nombre de câbles pour les alimentations secondaires et pour chaque segment de l'alimentation principale sur la base du nombre de paires de conducteurs métalliques et du nombre maximum de conducteurs par câble nécessaires dans chaque cas. Toutefois, pour établir la longueur du câble les calculs ci-après font intervenir un facteur qui est multiplié par la longueur du parcours, facteur devant correspondre au nombre moyen de câbles dans l'alimentation principale ou dans l'alimentation secondaire. Les auteurs souhaiteraient savoir si cette méthode de calcul simplifiée est jugée suffisante.

On suppose que le coût de pose des câbles, dans les tranchées et canalisations, et le coût de leur raccordement varient en fonction du nombre de conducteurs métalliques, de sorte que le paramètre de référence n'est pas le nombre de mètres de câble mais le nombre de mètres de conducteurs. On distingue les câbles enterrés des câbles souterrains étant donné qu'aux uns et aux autres correspondent des facteurs de coût d'équipement et d'exploitation différents. Pour tenir compte de possibles différences, importantes, qui ne sont pas actuellement prévues mais qui pourraient être rencontrées ultérieurement, il est nécessaire de distinguer les coûts des câbles placés directement dans le sol des coûts des câbles tirés dans des conduits, coûts par ailleurs identiques en ce qui concerne le nombre et le diamètre des conducteurs.

$$C_{\text{câble}_{ij}} = C_{\text{câble alimentation principale}_{ij}} + \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{\text{câble alimentation secondaire}_{ijk}} \quad (3.2.1-8)$$

$$C_{\text{câble alimentation principale}_{ij}} = LS_{ij} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Kabel_fix_m}} \cdot K_{\text{Tm}_{\text{alimentation principale}}} \cdot KBF_{\text{câble souterrain}} + LS_{ij} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot (P_{\text{Kabel_fix_m}} + P_{\text{Schutzhaube_m}} + P_{\text{Band_m}}) \cdot K_{\text{Tm}_{\text{alimentation principale}}} \cdot KBF_{\text{câble enterré}}$$

$$C_{\text{câble alimentation principale}_{ijk}} = LA_{ijk} \cdot AKK_{HK} \cdot P_{\text{Kabel_fix_m}} \cdot K_{\text{Tm}_{\text{alimentation secondaire}}} \cdot KBF_{\text{câble souterrain}} + LA_{ijk} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot (P_{\text{Kabel_fix_m}} + P_{\text{Schutzhaube_m}} + P_{\text{Band_m}}) \cdot K_{\text{Tm}_{\text{alimentation secondaire}}} \cdot KBF_{\text{câble enterré}}$$

où:

$P_{\text{Kabel_fix_m}}$ = coût fixe par mètre de câble

K_{Tm} = nombre de câbles par mètre de parcours

$P_{\text{Schutzhaube_m}}$ = coût des manchons de protection par mètre

$P_{\text{Band_m}}$ = coût du ruban marqueur par mètre

k = indice de la zone de distribution, ou $k = \{1 \dots m_{ij}\}$

m_{ij} = nombre de zones de distribution dans un quadrant d'une zone d'accès i

3.2.1.3 Coûts des conducteurs

Étant donné que le réseau d'accès a une configuration en étoile au niveau des paires de conducteurs métalliques, les coûts peuvent se calculer pour chaque zone de distribution étape par étape, sans prendre en considération une utilisation partagée. Là encore, on distingue les sections des câbles enterrés des sections des câbles souterrains, pour permettre principalement l'application de différents facteurs de coûts d'équipement et d'exploitation; on établit en outre une distinction entre les différents diamètres des conducteurs: étant donné que la résistance des fils de cuivre est

déterminée par leur diamètre, il ne suffit plus, étant donné les grandes distances séparant le répartiteur principal de l'abonné, d'utiliser des conducteurs de diamètre minimum (actuellement 0,40 mm) pour installer une ligne d'abonné; tout au contraire, avec l'accroissement des distances, on utilise des conducteurs d'un diamètre de 0,60 mm et de 0,80 mm, dans un premier temps uniquement pour des sections, puis sur la longueur totale de la ligne d'abonné. Habituellement on utilise, au maximum, deux diamètres différents par ligne d'abonné. Les calculs de coûts doivent donc tenir compte des différents diamètres utilisés et de leur part respective dans la longueur totale du câble. Le calcul de la part des différents diamètres est présenté dans la section 3.1.7. Le résultat est le paramètre LL_{ijkl} qui indique le nombre de mètres de la ligne raccordant un abonné à une zone de distribution donnée qui correspond à un diamètre particulier. Il s'ensuit que:

$$C_{conducteur_{ij}} = \sum_{k=1}^{m_{ij}} \sum_{l=1}^3 C_{conducteur_{ijkl}} \quad (3.2.1-9)$$

$$C_{conducteur_{ijkl}} = LL_{ijkl} \cdot AKK_{HK} \cdot P_Kabel_marginal_m(l) \cdot DA_{HK_{ijk}} \cdot KBF_{câble\ souterrain} \\ + LL_{ijkl} \cdot (1 - AKK_{HK}) \cdot P_Kabel_marginal_m(l) \cdot DA_{HK_{ijk}} \cdot KBF_{câble\ enterré}$$

où:

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

m_{ij} = nombre de zones de distribution dans un quadrant j d'une zone d'accès i

l = indice du diamètre du conducteur métallique, où $l = \{1, 2, 3\}$
 $l=1$ égal 0,4 mm; $l=2$ égal 0,6 mm; $l=3$ égal 0,8 mm

$P_Kabel_marginal_m$ = prix par mètre du conducteur métallique

$DA_{HK_{ijk}}$ = nombre de paires de conducteurs métalliques dans le câble d'alimentation d'une zone de distribution

Les coûts marginaux d'un câble représentent les coûts d'une paire de conducteurs métalliques par mètre; ils correspondent au gradient de la ligne de régression, calculé sur la base des coûts des différents câbles comportant un nombre différent de conducteurs. Il convient d'observer que les coûts marginaux doivent inclure non seulement les coûts nets des matériaux, mais également un élément correspondant à la pose du câble, étant donné que le coût de pose des câbles par mètre augmente en fonction de l'accroissement du nombre de conducteurs métalliques. Les coûts de pose des câbles doivent comprendre en outre les coûts des manchons de connexion. Les auteurs souhaiteraient savoir si le paramètre de référence idoine pour refléter les coûts des manchons est bien le mètre de paires de conducteurs métalliques ou s'il conviendrait de retenir d'autres paramètres de référence mentionnés (par exemple mètre de câble ou mètre de parcours) ou d'autres paramètres de référence qui seraient nouveaux.

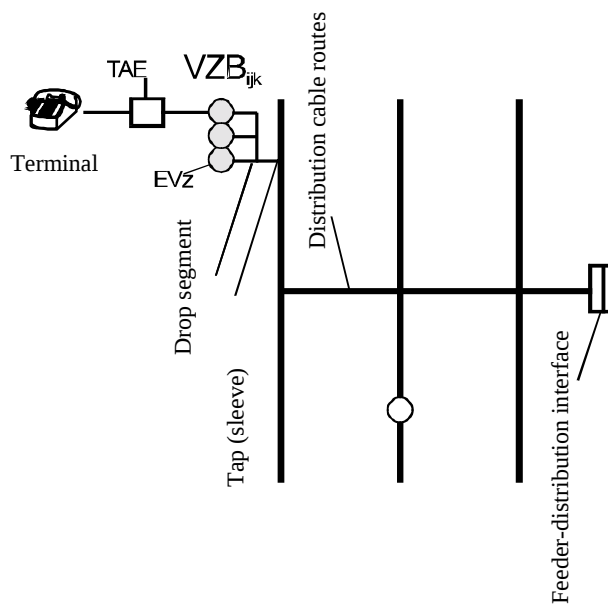
3.2.2 Coûts du réseau de distribution

Le réseau de distribution relie le point de terminaison du réseau général - normalement situé dans l'interface abonné-distribution ou bien chez le client - au point d'interconnexion dans la zone d'accès le plus proche, qui permet d'accéder au réseau d'alimentation par l'intermédiaire de l'interface alimentation-distribution installée elle au niveau du sol. Dans le cadre du réseau de distribution, les coûts de la section de raccordement des abonnés entre le câble de distribution et l'interface abonné-distribution sont examinés séparément (cf. section 3.2.3). Il faut en outre calculer le coût du câblage interne compris entre l'interface abonné-distribution et la prise (TAE) (cf. section 3.2.4); toutefois, comme les coûts de ce câblage varient considérablement selon la situation existant au

niveau de l'implantation de la ligne d'abonné, les auteurs recommandent, en l'absence d'information plus détaillée, de prendre en considération cet élément de coût uniquement à titre général.

La taille d'une zone de distribution varie en fonction de la densité d'abonnés: plus celle-ci est élevée et plus la zone est petite; cette réalité est reflétée dans le modèle qui prend en considération trois tailles différentes. A partir d'une taille standard de 600 m x 600 m par carré de grille, les zones de distribution sont divisées en deux, ou en quatre si le nombre de lignes d'abonnés est supérieur au nombre prédéterminé. Chaque zone de distribution est pourvue d'une interface alimentation-distribution qui relie toutes les lignes d'abonnés dans la zone de distribution au câble d'alimentation.¹⁸ Les paires de conducteurs métalliques issues de l'interface alimentation-distribution et présentant une structure en étoile sont installées dans des câbles et dans des tranchées suivant une configuration arborescente. Le diagramme ci-après montre la structure stylisée d'une zone de distribution.

¹⁸ Les auteurs n'ont pas pris en considération les rares cas où des abonnés domiciliés à proximité du répartiteur principal sont connectés directement et non pas par l'intermédiaire d'un point d'interconnexion sous la forme d'une interface alimentation-distribution.



Légende:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | terminal | 4 | parcours des câbles de distribution |
| 2 | raccordement des abonnés | 5 | interface alimentation-distribution |
| 3 | connexion (manchon) | | |

FIGURE 3.2.2-A

Structure stylisée d'un réseau de distribution

Les coûts totaux du réseau de distribution (C_{VZB}) sont constitués des coûts des différentes zones de distribution.

$$C_{VZB} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{VZB_{ijk}} \quad (3.2.2-1)$$

où:

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 $k = \{1..m_{ij}\}$

m_{ij} = nombre de zones de distribution dans un quadrant j d'une zone d'accès i

Tout comme les coûts du réseau d'alimentation, les coûts d'une zone de distribution se composent des coûts totaux de l'infrastructure, des conducteurs et des câbles, plus les coûts de raccordement de l'abonné au réseau de distribution (réseau de raccordement des abonnés, raccordement final), qui sont pris en considération séparément. Les coûts des interfaces alimentation-distribution s'ajoutent aux coûts de l'infrastructure. Autrement, les formules (à l'exception de la formule de calcul des coûts du réseau de raccordement des abonnés) suivent la même logique que pour l'établissement des

coûts des câbles d'alimentation. Les variables déterminant la composition des surfaces à remettre en état, la part des parcours des conduits et le nombre de canalisations installées ainsi que la capacité inutilisée et les facteurs correspondant aux lignes louées dans le câble de distribution peuvent être indiqués séparément pour chacune des trois catégories de densité. En règle générale, on peut supposer que la part des systèmes de conduits dans le réseau de distribution est plus petite que dans le réseau d'alimentation et qu'elle diminue en fonction de la baisse de densité des abonnés:

$$C_{VZB_{ijk}} = C_{infrastructure_{ijk}} + C_{câble_{ijk}} + C_{conducteur_{ijk}} + C_{raccordement\ abonné_{ijk}} \quad (3.2.2-2)$$

3.2.2.1 Coûts d'infrastructure

$$C_{infrastructure_{ijk}} = C_{tranchée_{ijk}} + C_{matériaux_{ijk}} + C_{interface\ alimentation-distribution_{ijk}} \quad (3.2.2-3)$$

3.2.2.1.1 Coûts de génie civil

$$C_{tranchée_{ijk}} = C_{tranchée\ conduits_{ijk}} + C_{tranchée\ câbles\ enterrés_{ijk}} \quad (3.2.2-4)$$

$$C_{tranchée\ conduits_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}(VZB - type) \cdot P_GrK_m(ZG_{VZB}(VZB - type); OF_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot KBF_{Conduit} \quad (3.2.2-5)$$

$$C_{tranchée\ câbles\ enterrés_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot (1 - AKK_{VZB}(VZB - type)) \cdot P_GrE_m(OF_{VZB}(VZB - type)) \cdot KBF_{câble\ enterré}$$

où:

LG = longueur du parcours dans la zone de distribution

AKK_{VZB} = part des parcours de conduits dans la zone de distribution

ZG_{VZB} = nombre moyen de canalisations dans les systèmes de conduits dans la zone de distribution

OF_{VZB} = type de surface dans la zone de distribution

KBF = facteur de coûts d'équipement et d'exploitation

3.2.2.1.2 Coûts des matériaux

$$C_{matériaux_{ijk}} = C_{canalisations\ VZB\ conduits_{ijk}} + C_{trous\ d'homme\ VZB\ conduits_{ijk}} \quad (3.2.2-6)$$

$$C_{canalisations\ VZB\ conduits_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}(VZB - Typ) \cdot P_Rohr_m \cdot ZG_{VZB}(VZB - Typ) \cdot KBF_{conduit} \quad (3.2.2-7)$$

$$C_{trous\ d'homme\ VZB\ conduits_{ijk}} = \frac{LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}}{AbsSchacht} \cdot P_Schacht(ZG_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot KBF_{conduit} \quad (3.2.2-8)$$

3.2.2.1.3 Coûts de l'interface alimentation-distribution

$$C_{interface\ alimentation-distribution_{ijk}} = P_KVZ \cdot KBF_{conduit} \quad (3.2.2-9)$$

P_KVz = coût d'une interface alimentation-distribution

3.2.2.2 Coûts des câbles

$$C_{câble_{ijk}} = LG_{ijk} \cdot AKK_{VZB}(VZB - Typ) \cdot P_Kabel_fix_m \cdot K_Tm_{VZB} \cdot KBF_{câble\ souterrain} + LG_{ijk} \cdot (1 - AKK_{VZB}(VZB - Typ)) \cdot (P_Kabel_fix_m + P_Band_m + P_Schutzhaube_m) \cdot K_Tm_{VZB} \cdot KBF_{câbleenterré} \quad (3.2.2-10)$$

3.2.2.3 Coûts des conducteurs

$$C_{\text{conducteur}_{ijk}} = LLVZB_{ijk} \cdot AKK_{VZB} \cdot P_Kabel_marginal_m(l) \cdot DA_{VZB_{ijk}} \cdot KBF_{\text{câble souterrain}} + LLVZB_{ijk} \cdot (1 - AKK_{VZB}) \cdot P_Kabel_marginal_m(l) \cdot DA_{VZB_{ijk}} \cdot KBF_{\text{câble enterré}} \quad (3.2.2-11)$$

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

3.2.3 Coûts du réseau de raccordement des abonnés

On entend par réseau de raccordement des abonnés la connexion établie entre les bâtiments/constructions comptant un seul ou plusieurs abonnés et le câble de distribution, tiré normalement sur le domaine public. Ce qu'il faut connaître ce sont les coûts de l'interface abonné-distribution, laquelle est utilisée comme un élément du point de terminaison du réseau général (APL) et relie le réseau d'accès au câblage à l'intérieur du bâtiment/construction (câblage interne), le câble de jonction au câble de distribution (raccordement des abonnés) et la connexion (manchon) du câble de distribution, où les paires de conducteurs métalliques correspondant à la ligne d'abonné prennent leur origine sur le câble de distribution. Le calcul des coûts est une opération difficile étant donné que les coûts par ligne d'abonné varient considérablement, principalement en fonction du type de bâtiment/construction. Des facteurs de coûts importants sont, d'une part, la longueur moyenne de la connexion, fonction de la distance entre le bâtiment/construction et le câble de distribution, c'est-à-dire normalement la distance par rapport à la rue suivante, et, d'autre part, le nombre d'abonnés par bâtiment/construction, qui détermine la mesure dans laquelle les coûts peuvent être réduits grâce à l'utilisation partagée de l'interface abonné-distribution, des tranchées, des câbles et des connexions. Du taux d'occupation des sols ainsi que du type et de la taille des bâtiments/constructions dépendent d'importantes économies de densité, qu'il est possible de refléter en différenciant les variables mentionnées - lignes par interface abonné-distribution, par section de raccordement des abonnés, par connexion et, enfin, longueur de la section de raccordement des abonnés - par type de zone de distribution et donc, selon les hypothèses retenues, en fonction des trois catégories de densité d'abonné. Une distinction plus détaillée semblerait judicieuse uniquement si des données suffisamment précises existent. Les coûts de la section de raccordement des abonnés sont quant à eux déterminés par les critères de coûts que sont les longueurs des tranchées, des câbles et des conducteurs.

$$C_{\text{section raccordement abonné}_{ijk}} = C_{\text{connexion}_{ijk}} + C_{\text{interface abonné-distribution}_{ijk}} + C_{\text{connexion tranchée}_{ijk}} + C_{\text{connexion câble}_{ijk}} + C_{\text{connexion conducteur}_{ijk}} \quad (3.2.2-12)$$

$$C_{\text{raccordement}_{ijk}} = M_Asl(VZB - Typ) \cdot Asl_VZB_{ijk} \cdot P_M \cdot KBF_{\text{câble d'extrémité}} \quad (3.2.2-13)$$

$$C_{\text{interface abonné-distribution}} = EVz_Asl(VZB - Typ) \cdot Asl_VZB_{ijk} \cdot P_EVz \cdot KBF_{\text{câble d'extrémité}} \quad (3.2.2-14)$$

$$(3.2.2-15)$$

$$C_{\text{câble section raccordement abonnés}_{ijk}} = G_Asl(VZB - Typ) \cdot Asl_VZB_{ijk} \cdot LH(VZB - Typ) \cdot P_Kabel_fix_m \cdot KBF_{\text{câble d'extrémité}} \quad (3.2.2-16)$$

$$C_{\text{conducteur section abonnés}_{ijk}} = DA_Asl(VZB - Typ) \cdot Asl_VZB_{ijk} \cdot LH(VZB - Typ) \cdot P_Kabel_marginal_m(l) \cdot KBF_{\text{câble d'extrémité}} \quad (3.2.2-17)$$

où:

P_M = coût d'un raccordement

P_EVz = coût d'une interface abonné-distribution

M_Asl = nombre de manchons par ligne d'abonnés ($M_Asl \leq 1$, c'est-à-dire une valeur de 0,1 indique que 10 lignes en moyenne sont raccordées au moyen d'un seul manchon.)

EVz_Asl = interfaces abonné-distribution par ligne d'abonnés (voir ci-dessus)

G_Asl = nombre de tranchées par ligne d'abonnés (voir ci-dessus)

DA_Asl = nombre de paires de conducteurs métalliques par ligne d'abonnés

LH = longueur moyenne du raccordement final

VZB_Typ = type de zone de distribution

3.2.4 Coûts du câblage interne

Etant donné la grande spécificité des lignes, il n'est pas possible de calculer dans le cadre d'un modèle générique le coût précis de la connexion entre l'interface abonné-distribution et la prise (TAE); en conséquence nous proposons d'utiliser trois valeurs pour refléter le coût d'investissement moyen par accès dans les trois catégories de densité d'abonnés définies. Il s'ensuit que:

$$C_{\text{câblage interne}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} C_{\text{câblage interne}_{ijk}} \quad (3.2.2-18)$$

$$C_{\text{câblage interne}_{ijk}} = Asl_VZB_{ijk} \cdot (P_EndStk(VZB - Typ) + P_TAE) \cdot KBF_{\text{câble d'extrémité en étoile}} \quad (3.2.2-19)$$

3.2.5 Coûts du répartiteur principal

Les coûts du répartiteur principal sont modélisés sous forme de fonction linéaire des paires de conducteurs métalliques dans le câble d'alimentation. Une composante fixe représente les coûts de la structure abritant le répartiteur principal ainsi que les coûts des pièces nécessaires pour tirer les câbles à l'intérieur du bâtiment du central ou du concentrateur.

$$C_{HVt} = \sum_{i=1}^n C_{HVt_i} \quad (3.2.2-20)$$

$$C_{HVt_i} = P_HVt_Fix \cdot KBF_{\text{Bâtiment}} + P_HVt_DA \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{m_{ij}} DA_{HK_{ijk}} \cdot KBF_{\text{Equipement}} \quad (3.2.2-21)$$

où:

P_HVt_Fix = prix de base du répartiteur principal

P_HVt_DA = coût du répartiteur principal par paire de conducteurs métalliques

$DA_{HK_{jk}}$ = nombre de paires de conducteurs métalliques dans le câble d'alimentation pour les lignes d'abonnés dans la zone de distribution VZB_{ijk}

3.3 Etablissement du coût de l'équipement de commutation

Au niveau du réseau local les coûts des unités de commutation se composent des coûts des centraux locaux (TVSt) et des concentrateurs distants, lesquels constituent les unités fonctionnelles à distance du central local. Néanmoins, il est recommandé de calculer le coût des concentrateurs de façon séparée étant donné que les coûts des abris, etc., sont supportés à chaque emplacement et qu'il faut prendre en considération les indivisibilités de l'investissement. Les formules ci-dessous et les désignations des différents modules correspondent au système EWSD (Système de commutation électronique numérique) de Siemens.¹⁹

Pour l'établissement des coûts il est nécessaire de connaître les zones d'accès qui sont reliées aux différents centraux locaux, soit directement soit par l'intermédiaire de concentrateurs distants. On suppose que les concentrateurs distants sont attribués à un seul central et que leur attribution est connue (cf. section 3.1.10). Cette hypothèse permet ensuite de diviser un réseau local en une ou plusieurs zones de rattachement, définies ici comme étant les zones d'accès combinées pour lesquelles les fonctions de commutation sont exécutées dans un seul et même central local. Il s'ensuit que:

$$C_{central} = \sum_{a=1}^s C_{VB_a} \quad (3.3-1)$$

$$C_{VB_a} = C_{central\ local_a} + \sum_{d=1}^{t_a} C_{concentrateur\ distant_{ad}} \quad (3.3-2)$$

où C_{VB} = coûts d'une zone de rattachement

3.3.1 Coûts du central local

Le calcul des coûts du central local se fonde sur l'hypothèse qu'il est possible de déterminer trois grands critères de coûts, à savoir le nombre d'abonnés directement raccordés, c'est-à-dire les abonnés situés dans la zone d'accès même, le temps d'occupation des canaux entrants et sortants et le nombre de tentatives d'appel (événements). Cela étant, des coûts occasionnés ne peuvent pas être attribués directement ni à l'un ni à l'autre des critères de coûts mentionné, par exemple le coût des abris dans lesquels sont logés le central, l'alimentation électrique, le conditionnement de l'air, etc. Il s'ensuit en conséquence que:

$$C_{TVSt} = C_{accès} + C_{utilisation} + C_{bâtiment\ et\ équipement} \quad (3.3.1-1)$$

¹⁹ Voir Siemens AG (éditeur): Technische Systembeschreibung für EWSD-Version 11, o.J. et Siemens AG (éditeur): Technische Unterlage VE-Ausbau und Verkehrsleistungsdaten für die EWSD-Versionen 11 u. 12, 1997. On suppose que les coûts du système EWSD seront très proches de ceux du système S12, utilisé lui aussi par la DTAG.

3.3.1.1 Coûts liés à l'accès

La question de l'évaluation des coûts liés à l'accès est, dans un premier temps, évoquée brièvement.²⁰ Lors de l'établissement des coûts du réseau des lignes d'abonnés il n'est fait aucune distinction entre les types d'accès, l'hypothèse étant qu'il est possible de réaliser des lignes d'accès tant analogiques que RNIS, au débit de base, sur une paire de fils de cuivre sans modifier aucunement l'installation extérieure; toutefois, la terminaison de ligne (carte de ligne) dans le central se différencie selon les types d'accès. Les coûts des modules d'interface de lignes d'abonnés peuvent s'exprimer sous forme de coûts par ligne analogique ou par ligne RNIS au débit de base.

Le système EWSD utilise deux éléments en tant qu'unités d'interface pour les lignes analogiques (SLMA) et pour les lignes RNIS à débit de base (SLMD), les unes et les autres pouvant accepter 16 abonnés. Il s'ensuit que les coûts totaux, non sensibles au trafic, liés à l'accès du central local (TVSt) sont égaux à:

$$C_{\text{accès}} = \text{Asl_analog}_{a0} \cdot \frac{P_{\text{SLMA}}}{16} \cdot \text{KBF}_{\text{central local}} + \text{Asl_digital}_{a0} \cdot \frac{P_{\text{SLMD}}}{16} \cdot \text{KBF}_{\text{central local}} \quad (3.3.1-2)$$

où:

Asl_analog = nombre de lignes d'abonnés analogiques dans la zone d'accès du central local

Asl_digital = nombre de lignes d'abonnés numériques dans la zone d'accès du central local

P_{SLMA} = coût d'un module de lignes d'abonnés analogiques (SLMA)

P_{SLMD} = coût d'un module de lignes d'abonnés numériques (SLMD)

3.3.1.2 Coûts basés sur l'utilisation

Les coûts basés sur l'utilisation peuvent être rapportés à la demande de trafic, exprimée en erlangs, et aussi au nombre de tentatives d'appels (CA):

$$C_{\text{utilisation}_a} = C_{\text{Erlang}_a} + C_{\text{CA}_a} \quad (3.3.1-3)$$

3.3.1.2.1 Coûts sensibles à la durée d'occupation

Les coûts sensibles à la durée d'occupation se calculent à partir de la fourniture des canaux dans le réseau de commutation, dans les unités de lignes numériques (DLU) et dans les unités faisceaux de lignes (LTG), au niveau de l'accès et du réseau, déterminée en fonction du volume de trafic en heure de pointe:

$$C_{\text{Erlang}_a} = C_{\text{DLU}_a} + C_{\text{LTG abonné}_a} + C_{\text{LTG réseau}_a} + C_{\text{réseau commutation}_a} \quad (3.3.1-4)$$

Il faut premièrement déterminer le nombre d'unités de lignes numériques (DLU) nécessaires. Chaque DLU est pourvue d'un nombre limité de fentes pour des modules d'interface de lignes d'abonnés, ce qui signifie que le nombre d'abonnés par DLU a une limite supérieure contraignante, indépendante du volume de trafic.²¹ La principale fonction de la DLU est de concentrer le trafic

²⁰ Les coûts liés à l'accès du central local doivent être pris en ligne de compte lors de l'établissement des coûts de l'accès; ils ne font en effet partie ni des coûts d'interconnexion, ni des coûts d'accès à la ligne d'abonné au point de dégroupement du répartiteur principal.

²¹ Dans le cas de la version 11 55 SLMAI/SLMD, le plafond est de 880 abonnés.

d'abonnés sortant sur des lignes multiplex à 2 Mbit/s; chaque DLU fournit 120 voies d'informations utilisateur au réseau de commutation (sous forme de 4 x 2 Mbit/s); la section 3.1.11 présente le calcul du nombre de DLU nécessaires par zone d'accès, compte tenu du trafic d'abonnés et de la formule des appels perdus d'erlang.

Il s'ensuit que:

$$C_{DLU_a} = \#DLU_a \cdot P_{DLU} \cdot KBF_{central\ local} \quad (3.3.1-5)$$

où

P_{DLU} = coût d'une unité de ligne numérique

Deux unités de ligne numérique sont connectées en croix à deux unités faisceaux de lignes (LTG) qui assurent l'interface uniforme au réseau de commutation; étant donné cette configuration, le nombre d'unités faisceaux de lignes au niveau des abonnés correspond au nombre d'unités de ligne numérique au niveau du central, plus les unités de ligne numérique nécessaires au raccordement des unités de ligne numérique situées à distance:²²

$$C_{LTG_{abonné}_a} = \sum_{d=0}^{t_x} \#DLU_{ad} \cdot P_{LTG} \cdot KBF_{central\ local} \quad (3.3.1-6)$$

où:

P_{LTG} = coût d'une unité faisceau de ligne

Les unités faisceaux de lignes assurent en outre l'interface au réseau interbureaux, c'est-à-dire vers des installations de transmission à destination et en provenance d'autre centraux. Chaque LTG assure des interfaces pour des lignes de jonction à 4 x 2 Mbit/s (DSV2). Pour calculer le nombre de LTG au niveau du réseau par central il faut déterminer le nombre de DSV2 raccordées au central local en vue de l'écoulement du trafic externe du central, c'est-à-dire du trafic en provenance ou à destination d'un autre central. La méthode de calcul du nombre de DSV2 nécessaires à des connexions à l'intérieur du réseau local comme à destination du réseau grande distance est exposée dans la section 3.1.10. Il s'ensuit que:

$$C_{LTG\ réseau}_a = \#DSV2_a \cdot P_{LTG} \cdot KBF_{central\ local} \quad (3.3.1-7)$$

Le canal entrant et sortant est relié aux deux extrémités dans le réseau de commutation, lequel assure cette fonction en changeant la position d'un canal à 64 kbit/s dans une ligne multiplex et en changeant la ligne multiplex tout en conservant l'intervalle de temps du canal (stade spatial). La combinaison des stades temporel et spatial assure plus ou moins l'accessibilité complète, c'est-à-dire qu'un canal entrant peut être raccordé à n'importe quel canal sortant.

La configuration de base du réseau de commutation dans le système EWSD assure une capacité de commutation de 120 x 2 Mbit/s; elle est étendue par plusieurs autres tranches de 120 x 2 Mbit/s, jusqu'à une capacité maximale de 1920 x 2 Mbit/s.

²² Il est possible d'ajouter les LTG destinées à des abonnés non raccordés via une DLU, mais ce cas n'est pas considéré dans le présent modèle.

Le nombre nécessaire de lignes à 2 Mbit/s dans le réseau de commutation peut être calculé en additionnant les unités faisceaux de lignes (LTG) au niveau des abonnés et du réseau et en multipliant les résultats par quatre, étant donné que chaque LTG peut accepter 4 x 2 Mbit/s. Ensuite, le nombre des éléments de réseau de commutation se calcule en divisant les lignes à 2 Mbit/s par 120 et en les arrondissant pour tenir compte des indivisibilités:

$$C_{réseau\ commutation\ a} = \text{arrondi à} \left[\left(\# LTG_{abonné\ a} + \# LTG_{réseau\ a} \right) \cdot 4 \div 120 \right] \cdot P_KN \cdot KBF_{Central\ local} \quad (3.3.1-8)$$

où:

P_KN = coût d'un élément de réseau de commutation

3.3.1.2.2 Coûts sensibles aux événements

Dans les centres de commutation numériques c'est un microprocesseur, appelé processeur de coordination (CP) dans le système EWSD, qui cherche dans le réseau de commutation un canal libre pour satisfaire la demande de connexion de l'appelant.²³ Ce processeur exécute les fonctions suivantes: évaluation des informations de signalisation, choix du trajet et établissement de la connexion dans le réseau de commutation, acheminement ou tarification et imputation, tâches réalisées une par une pour chaque tentative d'appel. En conséquence, la capacité d'un central piloté par microprocesseur est déterminée par le nombre de tentatives d'appel en heure de pointe, comprenant les tentatives ne débouchant pas sur l'établissement de la communication à destination de l'abonné. La durée d'occupation totale revêt toutefois une importance mineure pour la capacité du processeur demandé. Le processus dynamique s'exprime donc en tentatives d'appel en heure de pointe (BHCA), que l'on peut calculer en divisant le trafic d'abonnés, exprimé en minutes, par la durée d'occupation moyenne et en divisant le résultat ainsi obtenu par un taux de tentatives d'appel infructueuses (cf. section 3.1.10). Il faut tenir compte du fait que les appels intrabureau ne se traduisent que par l'établissement d'une seule communication, en conséquence de quoi seul le trafic intrabureau sortant par abonné est pris en considération pour éviter des comptes redondants.

On suppose que, pour des raisons d'indivisibilité, l'investissement dans la capacité de traitement des appels est fixe, à condition que le processus dynamique soit peu sollicité. Au-delà d'un certain seuil de BHCA, les fonctions de commande du processeur devront être progressivement renforcées par du matériel supplémentaire et par du logiciel adapté. Le système EWSD peut être renforcé par tranches de 1000 BHCA. Comme la fourniture de capacité de traitement des appels dépend de l'interaction d'une variété d'éléments et du logiciel de commande, dont l'enregistrement détaillé est source de grandes dépenses, nous proposons, comme solution pragmatique à la méthode habituelle, de déterminer le volume de l'investissement, sensible aux événements, d'une manière similaire à celle adoptée par les fabricants de systèmes, c'est-à-dire en établissant les prix non des différents éléments mais de l'ensemble de la fonction de traitement des appels.

²³ Strictement parlant, un processeur de coordination se compose de plusieurs processeurs qui exécutent différentes fonctions.

L'investissement total, sensible aux événements, se calcule donc comme suit:

$$C_{CP} = \left[\begin{array}{l} P_{CP} \cdot KBF_{Central\ local} \quad \text{pour } BHCA_{D_{TVSt_a}} \leq Kap_{CP} \\ \left(P_{CP} + \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{BHCA_{D_{TVSt_a}} - Kap_{CP}}{1000} \right\rfloor \cdot P_{BHCA} \right) \cdot KBF_{Central\ local} \quad \text{pour } BHCA_{D_{TVSt_a}} > Kap_{CP} \end{array} \right] \quad (3.3.1-9)$$

où:

P_{CP} = *prix de base de la fonction de commande du processeur*

$BHCA_{TVSt}$ = *charge de trafic d'un central local*

P_{BHCA} = *coût d'une capacité de traitement des appels de 1000 BHCA supplémentaires*

Kap_{CP} = *capacité de traitement des appels exprimée en BHCA d'un central pourvu d'un équipement de base*

3.3.1.3 Coûts d'installation et d'équipement des centraux

Enfin, il faut tenir compte des coûts qui ne peuvent être attribués directement à aucun des critères de coût mentionnés; il s'agit des coûts supportés pour les investissements consacrés à l'installation, à l'alimentation électrique y compris à l'alimentation de secours, au conditionnement de l'air, aux terminaux de maintenance et d'exploitation, aux pièces de rechange, à l'équipement de l'atelier de réparation, au matériel de bureau, au mobilier, etc. On part de l'hypothèse que ces investissements peuvent être exprimés en chiffres absolus par central local. Les facteurs de coûts d'équipement et d'exploitation appliqués devraient refléter la durée de vie économique, moyenne, des bâtiments et des équipements supplémentaires qui est supérieure à celle des autres matériels et logiciels du central. Les coûts d'installation et d'équipement des centraux se calculent donc comme suit:

$$C_{bâtiment+équipement_{TVSt}} = P_{installation_{TVSt}} \cdot KBF_{Bâtiment} + P_{équipement_{TVSt}} \cdot KBF_{équipement} \quad (3.3.1-10)$$

3.3.2 Coûts des concentrateurs distants

En principe, le coût des concentrateurs distants se calcule comme pour les centraux; il n'est donc pas nécessaire de présenter ici dans le détail les formules de calcul. Les cartes de ligne (SLMA/SLMD) et les unités de ligne numériques (DLU) sont implantées à distance. Les unités faisceaux de lignes (LTG) sont quant à elles situées exclusivement dans le central local. Conformément aux hypothèses retenues, les concentrateurs n'exécutent aucune fonction de commutation de telle sorte que les coûts sensibles à l'utilisation se limitent aux coûts des unités de ligne numériques. Etant donné qu'il faut moins d'espace et que moins de fonctions sont exécutées, les coûts d'installation et d'équipement sont moindres que pour un central local (TVSt):

$$C_{AK} = C_{accès\ AK} + C_{Erlang\ AK} + C_{bâtiment+équipement\ AK} \quad (3.3.2-1)$$

où:

$$C_{bâtiment+équipement\ AK} = P_{installation\ AK} \cdot KBF_{bâtiment} + P_{équipement\ AK} \cdot KBF_{équipement} \quad (3.3.2-2)$$

3.4 Calcul du coût des trajets de transmission dans le réseau local

3.4.1 Connexions entre concentrateurs distants et centraux locaux

Etant donné que les concentrateurs distants n'exécutent aucune fonction de commutation, tout le trafic d'abonnés est acheminé à destination du central local qui leur correspond au moyen de fibres optiques; il n'est donc pas nécessaire de distinguer les connexions dont la source et le collecteur se situent dans la même zone d'accès des connexions destinées à d'autres zones d'accès. Les systèmes de transmission peuvent se subdiviser en équipement terminal (multiplexeurs et extrémités de ligne optique), répéteurs-régénérateurs et installation extérieure qui, comme dans le cas des zones d'accès, peuvent se subdiviser en niveaux d'infrastructure, câbles et conducteurs. Dans la suite du texte on suppose que le nombre de fibres par câble est fixe, de sorte qu'il ne sera nécessaire de prendre en considération que le niveau des câbles. Les concentrateurs distants sont raccordés à un central seulement, de sorte que les réseaux présentent une structure en étoile à tous les niveaux. Le coût du raccordement des concentrateurs dans l'ensemble du réseau local s'exprime comme suit:

$$C_{transport} = \sum_{a=1}^s \sum_{d=1}^{t_a} C_{transport_{ad}} \quad (3.4.1-1)$$

$$C_{transport} = C_{\text{équipement transmission}} + CZWR + C_{\text{installation extérieure}} \quad (3.4.1-2)$$

3.4.1.1 Coûts de l'équipement de transmission

Les coûts de l'équipement de transmission, aux deux extrémités d'une connexion, peuvent être ventilés entre les multiplexeurs et les extrémités de ligne. Dans l'hypothèse où on utilise pour la transmission des fibres optiques, il est alors nécessaire de transformer les signaux à 2 Mbit/s en trains de 140 Mbit/s; pour ce faire, la technologie PDH doit franchir plusieurs étapes de la hiérarchie multiplexeur (2/34 Mbit/s et 34/140 Mbit/s) aux deux extrémités de la connexion. En premier lieu, le trafic d'abonnés total d'un concentrateur distant est transformé en équivalent de 2 Mbit/s. Comme des connexions sont assurées entre les DLU et les LTG, le nombre de lignes à 2 Mbit/s (DSV2) est égal au nombre de DLU multiplié par 4, plus une autre DSV2 pour la fourniture des lignes louées, conformément à un facteur donné. Au besoin, cette valeur peut être à nouveau augmentée pour tenir compte de la capacité inutilisée dans le réseau de transmission (cf. section 2.3.5).²⁴ Il s'ensuit que:

$$C_{\text{équipement transmission}_{ad}} = (\# MUX_{2/34} \cdot P_{-MUX_{2/34}} + \# MUX_{34/140} \cdot P_{-MUX_{34/140}} + \# LE140 \cdot P_{-LE140}) \cdot KBF_{\text{Technique de transmission}} \quad (3.4.1-3)$$

où:

$$\begin{aligned} \# MUX_{2/34} &= \text{arrondi à } \left\lceil \frac{\# DSV2_{ad} \cdot FV_{-Fkt} \cdot Res_{-Fkt}}{16} \right\rceil \\ \# MUX_{34/140} &= \text{arrondi à } \left\lceil \frac{\# MUX_{2/34}}{4} \right\rceil \\ \# LE140 &= \# MUX_{34/140} \end{aligned} \quad (3.4.1-4)$$

où:

$\#MUX_{x/y}$ = nombre de paires de multiplexeurs à un stade de multiplexage donné

$\#DSV2$ = nombre de DSV2

$\#LE140$ = nombre de paires d'extrémités de ligne à 140 Mbit/s

²⁴ Les DLU qui ne sont pas totalement utilisées ne sont pas prises ici en considération.

$P_{MUX_{x/y}}$ = coût d'une paire de multiplexeurs à un stade de multiplexage donné

P_{LE140} = coût de paires d'extrémités de ligne à 140 Mbit/s

FV_{Fkt} = facteur de ligne louée sur la connexion DSV2

Res_{Fkt} = facteur de capacité inutilisée sur la connexion DSV2

3.4.1.2 Coûts des répéteurs-régénérateurs

Sur les longs trajets de transmission il faut installer à intervalles réguliers des répéteurs-régénérateurs (ZWR):

$$C_{ZWR} = \left[\begin{array}{l} \text{arrondi à } \left\lfloor \frac{AK_{ad} - TVSt_a}{Abs_ZWR} \right\rfloor \cdot P_ZWR \cdot KBF_{Technique\ transmission} \quad \left| \text{pour } \frac{AK_{ad} - TVSt_a}{Abs_ZWR} \geq 1 \right. \\ 0 \quad \left| \text{pour } \frac{AK_{ad} - TVSt_a}{Abs_ZWR} < 1 \right. \end{array} \right] \quad (3.4.1-5)$$

où:

$AK_{ad} - TVSt_a$ = distance entre un concentrateur distant et le central local

P_ZWR = coût d'un répéteur-régénérateur

Abs_ZWR = distance maximale entre répéteurs-régénérateurs

3.4.1.3 Coûts de l'installation extérieure

Les coûts de l'installation extérieure sont égaux aux coûts de l'installation de câble et aux coûts du câble en fibre optique.

$$C_{installation\ extérieure} = C_{infrastructure} + C_{câble} \quad (3.4.1-6)$$

3.4.1.3.1 Coûts d'infrastructure

Les coûts d'infrastructure sont liés à la distance séparant les concentrateurs distants du central local; il faut en outre faire des hypothèses en ce qui concerne l'installation des câbles et les coûts par mètre, qui sont fonction de la surface et du type de terrain.

$$C_{infrastructure} = C_{tranchée} + C_{matériaux} \quad (3.4.1-7)$$

$$C_{tranchée} = C_{tranchée\ conduits} + C_{tranchée\ câbles\ enterrés} \quad (3.4.1-8)$$

$$C_{tranchée\ câble} = AK_{ad} - TVSt_a \cdot AKK_{VK} \cdot P_GrK_m(ZG_{VK}; OF_{VK}) \cdot KBF_{Conduit} \quad (3.4.1-9)$$

$$C_{tranchée\ câble\ enterré} = AK_{ad} - TVSt_a \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_GrE_m(OF_{VK}) \cdot KBF_{GF_Câble\ enterré}$$

$$C_{matériaux} = C_{canalisations} + C_{ruban/manchons\ protection} + C_{trous\ d'homme} \quad (3.4.1-10)$$

$$C_{canalisations} = AK_{ad} - TVSt_a \cdot AKK_{VK} \cdot P_Rohr_m \cdot ZG_{VK} \cdot KBF_{Conduit}$$

$$C_{trous\ d'homme} = \frac{AK_{ad} - TVSt_a \cdot AKK_{VK}}{Abs_Schacht} \cdot P_Schacht(ZG_{VK}) \cdot KBF_{Conduit}$$

$$C_{ruban/manchons\ protecteurs} = AK_{ad} - TVSt_a \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot (P_Band_m + P_Schutzhaube_m) \cdot KBF_{GF_Câble\ enterré} \quad (3.4.1-11)$$

où:

AKK_{VK} = parts des parcours de conduits dans le câble de jonction

3.4.1.3.2 Coûts des câbles

On suppose que dans un système à fibre optique ce sont des câbles monomodes à 12 fibres qui sont utilisés. Les coûts par mètre doivent tenir compte des opérations de pose et d'épissurage; les coûts des câbles s'expriment alors ainsi:

$$C_{\text{câble}} = AK_{ad-TVSt_a} \cdot AKK_{VK} \cdot P_{GF_m} \cdot KBF_{GF_Câble \text{ souterrain}} + AK_{ad-TVSt_a} \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_{GF_m} \cdot KBF_{GF_Câble \text{ enterré}} \quad (3.4.1-12)$$

où:

P_{GF_m} = coûts de la fibre optique par mètre

Les coûts ainsi établis sont répartis entre les connexions commutées et les lignes louées selon la connexion DSV2 fournie.

3.4.2 Connexions entre centraux dans le réseau local

Les critères de coût déjà mentionnés pour les connexions entre concentrateurs distants et central local s'appliquent au trafic entre centraux locaux. Toutefois, il faut au préalable déterminer les relations de trafic à l'intérieur du réseau local. Le trafic d'abonnés est tout d'abord divisé en trafic demeurant à l'intérieur de la zone desservie par le central, c'est-à-dire que l'appelant et l'appelé se trouvent à l'intérieur de la même zone de rattachement. Ce trafic peut être assimilé à du trafic externe, soit destiné à un abonné dans le même réseau local soit quittant ce dernier. Les conventions arrêtées ci-dessous permettent alors de déterminer le réseau logique: une part donnée du trafic d'abonnés total prévu est déclarée comme étant du trafic externe (trafic grande distance), qui est acheminé jusqu'à un point dans le réseau local, servant de point d'interconnexion au réseau grande distance. Conformément aux hypothèses retenues, ce point d'interconnexion est groupé avec un central local. Le trafic local restant est attribué au central local selon la part du trafic d'abonnés d'un central dans l'ensemble du trafic d'abonnés du réseau local. On suppose que le trafic sortant et le trafic entrant sont symétriques. Les centraux du réseau local sont entièrement maillés au niveau logique, c'est-à-dire qu'une connexion locale n'est pas commutée plus de deux fois: dans le central local dans la zone d'origine et dans le central local dans la zone de destination.

Compte tenu des relations de trafic logique établies, le réseau physique se présente comme suit: les connexions logiques entre deux centraux locaux correspondent à un système de transmission entre les noeuds de réseau qui est dimensionné en fonction du trafic direct, plus celui des lignes louées. Dans le réseau interbureaux on tient également compte de systèmes en fibre optique à 565 Mbit/s, qui sont utilisés si on doit par ailleurs recourir à plus d'un système à 140 Mbit/s. Conformément aux hypothèses retenues, le trafic grande distance est acheminé avec le trafic local, par un système de transmission utilisé en partage, à destination d'un central local groupé avec le point d'interconnexion au réseau grande distance. Le calcul des coûts est donc, pour la plus grande partie, analogue à celui qui a été présenté pour les connexions entre concentrateurs distants et central local; il s'ensuit donc:

$$C_{\text{réseau interbureaux}} = C_{\text{connexion interbureaux}_{x|y}} \quad (3.4.2-1)$$

$$C_{\text{connexion interbureaux}_{x|y}} = C_{\text{équipement terminal}} + C_{\text{répéteur}} + C_{\text{installation extérieure}} \quad (3.4.2-2)$$

3.4.2.1 Coûts de l'équipement de transmission

$$C_{\text{équipement terminal}_{x|y}} = (\# MUX_{2/34} \cdot P_{MUX_{2/34}} + \# MUX_{34/140} \cdot P_{MUX_{34/140}} + \# MUX_{140/565} \cdot P_{MUX_{140/565}} + \# LE_{140} \cdot P_{LE_{140}} + \# LE_{565} \cdot P_{LE_{565}}) \cdot KBF_{\text{Technique de transmission}} \quad (3.4.2-3)$$

où:

$$\begin{aligned} \# MUX_{2/34} &= \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{(\# DSV_{2x/y} + \# DSV_{2x/FVSt}) \cdot FV_Fkt \cdot Res_Fkt}{16} \right\rfloor \\ \# MUX_{34/140} &= \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{\# MUX_{8/34}}{4} \right\rfloor \\ \# MUX_{140/565} &= \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{\# MUX_{34/140}}{4} \right\rfloor \text{ pour } \# MUX_{34/140} > 1, 0 \text{ autrement} \\ \# LE_{140} &= \left\lfloor \begin{array}{l} \# MUX_{34/140} \text{ pour } \# MUX_{34/140} = 1 \\ 0 \text{ pour } \# MUX_{34/140} > 1 \end{array} \right\rfloor \\ \# LE_{565} &= \# MUX_{140/565} \end{aligned} \quad (3.4.2-4)$$

3.4.2.2 Coûts des répéteurs - régénérateurs

$$C_{ZWR} = \left\lfloor \begin{array}{l} \text{arrondi à} \left\lfloor \frac{TVSt_x - TVSt_y}{Abs_ZWR} \right\rfloor \cdot P_ZWR \cdot KBF_{\text{Technique de transmission}} \text{ pour } \frac{TVSt_a - TVSt_b}{Abs_ZWR} \geq 1 \\ 0 \text{ pour } \frac{TVSt_a - TVSt_b}{Abs_ZWR} < 1 \end{array} \right\rfloor \quad (3.4.2-5)$$

3.4.2.3 Coûts de l'installation extérieure

3.4.2.3.1 Coûts d'infrastructure

$$C_{infrastructure_{x|y}} = C_{tranchée} + C_{matériaux} \quad (3.4.2-6)$$

$$C_{tranchée} = C_{tranchée \text{ conduits}} + C_{tranchée \text{ câble enterré}} \quad (3.4.2-7)$$

$$C_{tranchée \text{ conduits}} = TVSt_x - TVSt_y \cdot AKK_{VK} \cdot P_GK_m(ZG_{VK}; OF_{VK}) \cdot KBF_{Conduit} \quad (3.4.2-8)$$

$$C_{tranchée \text{ conduits}} = TVSt_x - TVSt_y \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot P_GE_m(OF_{VK}) \cdot KBF_{GF_Câble \text{ enterré}}$$

$$C_{matériaux} = C_{conduits} + C_{ruban/manchons \text{ protecteurs}} + C_{trous \text{ d'homme}} \quad (3.4.2-9)$$

$$C_{canalisations} = TVSt_x - TVSt_y \cdot AKK_{VK} \cdot P_Rohr_m \cdot ZG_{VK} \cdot KBF_{Conduit}$$

$$C_{trous \text{ d'homme}} = \frac{TVSt_x - TVSt_y \cdot AKK_{VK}}{Abs_Schacht} \cdot P_Schacht(ZG_{VK}) \cdot KBF_{Conduit}$$

$$C_{ruban/manchons \text{ protecteurs}} = TVSt_x - TVSt_y \cdot (1 - AKK_{VK}) \cdot (P_Band_m + P_Hauben_m) \cdot KBF_{GF_Câble \text{ enterré}}$$

$$(3.4.2-10)$$

3.4.2.3.2 Coûts des câbles

On suppose que pour des systèmes à fibre optique à 140 ou 565 Mbit/s on utilise des câbles monomodes à 12 fibres; le coût par mètre comprend les opérations de pose et d'épissurage. Les coûts des câbles se calculent donc ainsi:

$$\begin{aligned} C_{câble} &= TVSt_x - TVSt_y \cdot AKK_{VK} \cdot P_GF_m \cdot KBF_{GF_Câble \text{ enterré}} + TVSt_x - TVSt_y \cdot (1 - AKK_{VK}) \\ &\quad \cdot P_GF_m \cdot KBF_{GF_Câble \text{ souterrain}} \end{aligned} \quad (3.4.2-11)$$

L'étape suivante consiste à ventiler les coûts du réseau interbureaux en coûts correspondant à la capacité de transmission pour les lignes louées, aux connexions grande distance et aux connexions locales. La norme d'attribution utilisée est le nombre de DSV2 sur un trajet de transmission fournies pour les différents types de connexion.

3.5 Conversion des coûts de réseau en coûts par unité de demande

Les calculs présentés jusqu'ici dans le cadre du modèle permettent de déterminer les coûts marginaux sur le long terme des différents éléments de réseau et des services d'accès au niveau du réseau local. Conformément aux procédures et méthodes décrites, les coûts sont indiqués comme coûts annuels de l'ensemble de l'infrastructure du réseau local à l'étude. Lorsque la demande de trafic prévue est utilisée pour déterminer le volume de l'investissement, ces coûts sont considérés en outre comme des coûts supportés pour assurer la capacité nécessaire à la satisfaction de la demande en heures de pointe. Aussi, pour établir les coûts d'une minute de communication moyenne ou d'un temps d'établissement moyen faut-il au préalable déterminer la demande annuelle.

3.5.1 Calcul des coûts de la ligne d'abonné

Les coûts marginaux moyens sur le long terme d'une ligne d'abonné pour une année s'obtiennent en additionnant les coûts supportés pour les différentes sections du réseau d'accès, puis en divisant le résultat par le nombre d'abonnés au réseau local. Seule doit être prise en ligne de compte la part des coûts totaux attribuable aux lignes d'abonnés, en accord avec leur part dans le nombre de paires de conducteurs métalliques utilisées. Suivant cette même méthode il est possible de calculer également les coûts des différentes sections du réseau d'accès, tels que les coûts d'accès dans la section d'alimentation.

3.5.2 Calcul des coûts des services de transport

Le coût des services de transport proprement dits, qui permettent l'accès au réseau spécial, se calculent en plusieurs étapes. Premièrement, le service dont les coûts sont calculés est défini; ensuite, les éléments de réseau grâce auxquels le service est assuré sont identifiés. Il convient éventuellement à ce stade de déterminer des taux d'utilisation, indiquant le nombre d'unités qui doivent être prises en considération en moyenne pour un élément de réseau exigé en vue de la fourniture d'un service. Enfin, les coûts de l'unité moyenne annuelle de la demande de service sont évalués pour les différents éléments de réseau. Les unités de demande de service utilisées dans le présent modèle sont soit une minute de communication, soit l'établissement d'une communication.

Le présent modèle s'applique au calcul des coûts des éléments de réseau suivants:

- Connexions entre concentrateurs distants et centraux locaux
- Connections entre centraux locaux d'un réseau local
- Connections entre centraux locaux et un point d'interconnexion au réseau grande distance
- Les centraux locaux se subdivisant ainsi:
 - unités de ligne numérique implantées centralement ou à distance
 - unités faisceaux de lignes (LTG) au niveau des abonnés
 - unités faisceaux de lignes (LTG) au niveau du réseau
 - éléments de réseau de commutation
 - unités de commande (processeur de coordination).

Le volume d'investissement déterminé pour chacun de ces éléments, ou sous-éléments dans le cas de composantes du central local, se fonde sur des minutes de communication ou des tentatives d'appel pendant l'heure de pointe moyenne (multipliée par un facteur de charge de crête). La demande de trafic pendant l'heure de pointe moyenne peut être extrapolée pour obtenir la demande annuelle, si on connaît le rapport des deux paramètres. Approximativement, la demande de trafic pendant l'heure de pointe moyenne peut être multipliée par un facteur correspondant à la valeur réciproque de la part de la demande en heure de pointe dans la demande journalière; cette valeur est ensuite multipliée par le nombre de jours aux heures chargées se produisant par an.

Ainsi sont déterminés les coûts d'une unité moyenne de produit final pour les différents éléments. Pour déterminer maintenant les coûts des services utilisant plusieurs éléments, on multipliera les coûts unitaires des éléments par les facteurs d'utilisation des éléments du service avant addition. La procédure est illustrée dans l'exemple ci-après où le critère est une minute de communication dans le réseau local.

Pour une seule minute de communication un canal des unités de concentration est occupé aux deux extrémités; en outre, des canaux sont également occupés aux deux extrémités des unités faisceaux de lignes (LTG) au niveau des abonnés. En ce qui concerne le réseau de commutation des (sous-) éléments de réseau, le processeur de coordination, le réseau interbureaux et les connexions à destination des concentrateurs distants, il faut déterminer des facteurs d'utilisation correspondant à la charge moyenne à laquelle donne lieu une minute de communication. Le facteur d'utilisation applicable aux connexions aboutissant aux concentrateurs distants découle, à l'une et l'autre extrémité, du rapport du trafic local sortant, empruntant les connexions existant entre le concentrateur distant et le central local, sur le trafic local sortant total. On suppose alors que le facteur d'utilisation applicable à la connexion aboutissant au central local sera de 0,5 à chaque extrémité si 50% du trafic local sortant est généré dans ces zones d'accès. Dans ce cas, le résultat est qu'une minute de communication (moyenne) est exactement équivalente à une minute d'utilisation des connexions aboutissant aux concentrateurs distants. Le réseau de commutation et le processeur de coordination dans le central local de l'abonné appelant sont toujours utilisés. Le facteur d'utilisation applicable à un deuxième central local découle du rapport du trafic interne sortant des centraux du réseau local sur le trafic local sortant total; il est donc compris entre 0 et 1. Si ce facteur est, là encore, égal à 0,5, une minute moyenne de communication dans le réseau local correspondrait à 1,5 minute d'utilisation dans le réseau de commutation et, par analogie, à 1,5 unité d'activité de processeur pour une durée d'établissement moyenne. En outre, on relève en moyenne une demi-minute d'utilisation dans le réseau interbureaux et une minute d'utilisation dans les unités faisceau de ligne (LTG) au niveau du réseau dans les centraux locaux correspondants. La même procédure s'applique à d'autres services.

3.5.3 Etablissement de moyennes

La méthode décrite ici permet en principe d'établir les coûts pour différents réseaux locaux. S'il est nécessaire de recourir à des moyennes, on procédera sur la base d'un test d'échantillonnage. Nous avons choisi de procéder de la sorte étant donné qu'il nous faut supposer, en particulier en ce qui concerne les coûts de la ligne d'abonnés, que le calcul des coûts fondés sur la structure d'un réseau local moyen ne produira pas de résultat fiable. Ce n'est que si les valeurs sont estimées pour un nombre élevé de réseaux locaux différents qu'il sera possible de recourir à des moyennes pour les coûts des éléments de réseau et pour les services d'interconnexion ainsi que pour tel ou tel facteur d'utilisation pouvant être appliqué à différents niveaux d'agrégation. L'établissement d'une quelconque moyenne doit pondérer les coûts de façon appropriée. En outre, les tests d'échantillonnage doivent garantir la représentativité du parc considéré.

4 Conclusions

Dans les paragraphes ci-dessous les auteurs récapitulent les caractéristiques essentielles du modèle d'établissement des coûts et présentent ensuite des observations sur les objectifs du modèles ainsi que sur les orientations futures.

4.1 Caractéristiques essentielles du modèle d'établissement des coûts

Le présent document décrit une méthode d'établissement des coûts des éléments du réseau local de télécommunication à l'aide d'un modèle de comptabilité analytique, lequel mesure les coûts d'installation et d'exploitation de l'infrastructure du réseau, c'est-à-dire de toutes les installations de transmission et de commutation y compris des lignes d'abonné. Le modèle se fonde sur un certain nombre de relations économiques et techniques existant entre les paramètres d'entrée et de sortie, c'est-à-dire entre les facteurs de production (travail et capital) et leur traduction sous forme de lignes d'abonné, d'appels et de minutes de communication. Génériques par nature, ces relations peuvent s'appliquer à un certain nombre d'objets différents, c'est-à-dire à des réseaux locaux pourvus de dimensions géographiques différents et de structures de demande diverses.

Le modèle étudie un réseau générique, fondé sur des hypothèses concernant l'utilisation de méthodes prospectives appropriées pour satisfaire l'exigence d'efficacité en vue de la fourniture de services dont les coûts doivent être établis par le modèle. L'ensemble du processus de production, comprenant différents types de techniques d'accès, de commutation et de transmission - utilisées ou pouvant être utilisées dans des réseaux locaux - n'entrent pas dans le cadre du présent modèle.

Le modèle vise à calculer les coûts, ou plus précisément les coûts marginaux sur le long terme, du transport à bande étroite dans le contexte de l'interconnexion de réseaux et de l'accès aux réseaux spéciaux, en particulier l'accès aux lignes d'abonné (dégroupées). Le réseau générique présenté ici est un réseau local à conducteurs métalliques rayonnant à partir de répartiteurs principaux. Le réseau interbureaux présente une structure à deux étages, étant configuré comme un réseau en étoile raccordant les concentrateurs distants à des centraux locaux ainsi que comme un réseau maillé raccordant les centraux locaux entre eux.

Aux fins du calcul des coûts on divise un réseau local en différents éléments suivant leur fonctionnalité. Le présent modèle examine ainsi la ligne d'abonné, les équipements de transmission à destination du central local, l'équipement de commutation, les équipements de transmission entre les centraux locaux et les équipements de transmission jusqu'au point qui, à l'intérieur du réseau local, assure l'interconnexion au réseau grande distance; aux fins du calcul certains de ces éléments sont subdivisés en sous-éléments. Les volumes d'investissement nécessaires sont calculés pour chacun des éléments et sous-éléments en fonction des prévisions de la demande. Le niveau d'investissement est évalué en fonction des coûts de remplacement courants, puis converti en coûts annualisés tenant compte de l'amortissement, du retour sur investissement prévu et des coûts d'exploitation, lesquels sont rapportés à la demande de service annuelle afin d'établir le coût des éléments de réseau en termes de minutes de communication ou de coûts annuels pour la fourniture de lignes d'abonné.

4.2 Objet du modèle

Les entreprises soumises aux dispositions réglementaires sur les taxes, en application de la loi sur les télécommunications et du décret portant réglementation des taxes de télécommunication, sont tenues de présenter, pour approbation, des bordereaux de coûts à l'Autorité de réglementation des postes et télécommunications (cf. § 2 du décret). Conformément à la procédure d'approbation des taxes, l'Autorité examine les montants proposés pour vérifier qu'ils se fondent bien sur les coûts

correspondant à une fourniture efficace des services (cf. § 3 du décret). Le modèle d'établissement des coûts décrit dans le présent document a pour objet de permettre à l'Autorité de réglementation de comparer les coûts qui lui seront soumis, en particulier en matière d'accès au réseau et d'interconnexion des réseaux, aux résultats des calculs qui seront effectués sur la base d'un réseau générique, propre à aucun opérateur particulier. Elle pourra utiliser les résultats de cette comparaison pour fonder ses décisions et les justifier.

Le but étant d'établir des modèles transparents et calculables en vue de l'approbation des taxes proposées par les entreprises occupant une position dominante sur le marché, le présent modèle qui a été élaboré en vue de la future mise en oeuvre de procédures d'approbation des taxes est publié avant même son application pour permettre aux parties intéressées d'exprimer leurs points de vue. Les auteurs espèrent que la publication du modèle proposé débouchera sur une discussion fructueuse concernant la méthode qu'ils suggèrent d'appliquer pour fixer les taxes en question.

4.3 Orientations futures

Une fois que l'Autorité de réglementation aura examiné les commentaires qu'elle aura reçus, le modèle sera revu et, au besoin, adapté. L'étape suivante consistera à définir les paramètres nécessaires à la réalisation des calculs pour que le modèle puisse être utilisé par l'Autorité de réglementation, notamment en vue de l'approbation des taxes. L'Autorité peut demander aux entreprises présentes sur le marché des télécommunications allemand de lui fournir des données sur quelques-unes ou sur la totalité des paramètres mentionnés à l'Annexe B.

Parallèlement, un modèle étendu est en cours d'élaboration pour le réseau grande distance, qui n'est pas ou qui n'est que marginalement examiné par le présent modèle. Le but de cette opération est d'établir, dans un délai relativement court, des coûts de référence pour toutes les activités liées à l'accès au réseau.

ANNEXE A

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

Toutes les parties intéressées sont invitées à soumettre leur point de vue sur le modèle proposé pour établir les coûts de l'accès au réseau dans les zones locales de service. La publication du modèle proposé et la procédure de consultation visent à favoriser la transparence dans la méthode décrite et à tenir compte des commentaires et des propositions qui seront formulés concernant l'application et l'amélioration du modèle. Un modèle de comptabilité analytique est conçu comme un outil pour déterminer des coûts de référence pour la fourniture efficace des services, valeurs destinées à être utilisées dans le cadre de l'examen des bordereaux de coûts qui seront soumis en application des procédures futures d'approbation des taxes.

Les commentaires devraient se limiter aux domaines délimités ci-dessous. Les questions présentées en annexe devraient permettre de préciser les réponses qui porteront sur la structure du modèle dans son ensemble et sur les hypothèses et conventions proposées en particulier.

- 1) Dans le modèle proposé, les coûts d'infrastructure de réseau sont calculés sur la base des éléments de réseau, c'est-à-dire que le réseau est divisé en éléments définis par leur fonctionnalité, comme la commutation ou la transmission. Les services fournis décrits combinent les fonctions de plusieurs éléments de réseau.
 - La division du réseau en éléments est-elle suffisante ou déjà trop détaillée?
- 2) Un facteur de coût important dépend de la mesure dans laquelle certaines infrastructures (bâtiments, mais surtout tranchées et réseaux de canalisations) sont utilisées en partage par les éléments de réseau ainsi que par les réseaux de télécommunication à bande étroite, examinées dans le cadre du présent modèle, et d'autres réseaux (télévision par câble, réseaux de superposition à large bande, réseaux de distribution du gaz, de l'eau et de l'électricité). La méthode décrite ne tient pas compte, dans un premier temps, de l'utilisation partagée de ces installations.
 - Comment identifier la mesure dans laquelle des installations sont utilisées en partage par des éléments de réseau ou des réseaux et comment la rendre calculable?
 - Suffirait-il d'ajuster des coûts en amont, tels que les coûts de génie civil, ou faudrait-il intégrer dans le modèle un algorithme explicite d'attribution des coûts?
- 3) Il faudrait définir des paramètres de demande prospectifs correspondant aux services fournis dans un réseau local (lignes d'abonnés, commutation et transmission ainsi qu'éventuellement lignes louées) qui puissent être utilisés pour le calcul des coûts, mais qui pourraient également servir de base pour déterminer la demande de services annuelle.
 - Quelles sources d'information, autres que les statistiques démographiques ou les données des opérateurs de réseau, devraient être utilisées pour déterminer la demande de lignes d'abonnés?
 - A partir de quelles sources de données empiriques ou "primaires" faudrait-il établir le niveau de trafic par ligne d'abonnés?
 - Dans quelle mesure faudrait-il établir une distinction entre différents types d'accès ou groupes d'abonnés?

- 4) Les hypothèses retenues concernant le nombre et l'emplacement des répartiteurs principaux et des noeuds du réseau générique ont une incidence importante sur les résultats du calcul des coûts, en particulier en ce qui concerne la ligne d'abonnés.
 - Quels critères le modèle devra établir en ce qui concerne le nombre de types de noeuds et de sites de répartiteurs principaux?
- 5) Le modèle est fondé sur des hypothèses concernant la structure et la technologie du réseau générique, destinées à garantir la fourniture de services à bande étroite et de lignes d'abonnés.
 - Faudrait-il étendre les hypothèses?
- 6) Un certain nombre de conventions ont été arrêtées pour déterminer les coûts d'immobilisation du capital productif investi. La logique adoptée dans le présent document se caractérise par les principaux éléments suivants: les coûts de remplacement courants des biens d'équipement, c'est-à-dire leur prix d'achat courant, sont intégrés au modèle; l'amortissement appliqué est linéaire, la rentabilité des capitaux investis est fonction de la somme pondérée du taux attendu de retour sur fonds propres (avant imposition sur le revenu des sociétés) et du taux moyen d'intérêt de la dette, compte tenu de l'évolution de la valeur des actifs; l'amortissement et le retour attendus sur investissements sont convertis en une annuité au moyen du taux de récupération du capital.
 - Comment faudrait-il déterminer les coûts de remplacement courants?
 - Comment faudrait-il déterminer et tenir compte des réductions de prix (par exemple, rabais sur volume)?
 - De quels facteurs faudrait-il tenir compte pour déterminer les périodes d'amortissement respectives des différentes catégories d'actifs?
 - Les différentes catégories d'actifs ont-elles été subdivisées à un niveau suffisant?
 - Comment faudrait-il déterminer le risque, propre à chaque entreprise, concernant les coûts du capital-actions, dont il faut tenir compte parallèlement au risque général du marché?
- 7) Les coûts d'exploitation du réseau doivent être ajoutés aux coûts d'immobilisation des actifs.
 - Comment déterminer pour les différentes catégories d'actifs des coûts d'exploitation prospectifs?
 - Les facteurs de coûts d'exploitation correspondent-ils à la relation entre le coût historique des capitaux fixes et les dépenses courantes applicables?
 - Comment actualiser ces valeurs et comment éliminer les éventuelles inefficacités?
- 8) Les coûts marginaux sur le long terme des éléments du réseau de commutation sont les coûts annuels occasionnés par la fourniture de la capacité de charge de crête, c'est-à-dire erlangs aux heures chargées et tentatives d'appel à l'heure de pointe. La conversion de ces coûts en coûts par minute ou par appel se fonde sur la convention selon laquelle les coûts d'un élément de réseau devraient être distribués également sur la totalité de la demande de service annuelle. A cette fin, la demande moyenne en heure de pointe est rapportée à la demande globale par jour et ensuite à la demande annuelle.
 - Existe-t-il des données empiriques à propos des relations mentionnées ci-dessus?

- 9) Les coûts marginaux sur le long terme des éléments de réseau doivent être déterminés sur la base d'un calcul par échantillonnage, d'où la nécessité de choisir un ensemble représentatif des paramètres se rapportant au réseau local. La densité d'abonnés et les nombres d'abonnés sont considérés comme des paramètres pertinents.
- Faudrait-il tenir compte dans un échantillon d'autres paramètres se rapportant au réseau local pour obtenir un ensemble représentatif?
- 10) La méthode de modélisation décrite au Chapitre 3 du présent document couvre les principales mesures de référence pour l'établissement des coûts du réseau local.
- Faudrait-il inclure dans le modèle d'autres mesures de référence pour les facteurs de coûts et, si oui, lesquelles?
 - Faudrait-il modifier l'hypothèse d'un réseau interbureaux complètement maillé, ce qui, dans des réseaux locaux de grande taille, risque de conduire à une surestimation des coûts occasionnés par la fourniture efficace des services?
- 11) Le calcul des coûts dans le présent modèle ne tient pas compte des coûts de distribution ni des frais d'administration de la clientèle occasionnés par l'accès aux réseaux spéciaux étant donné que ces coûts sont hautement tributaires des clientèles en question et ne sont donc pas accessibles dans le cadre d'un modèle générique.
- Faudrait-il recourir à des mesures de référence, non comprises dans le présent modèle, pour calculer ces coûts et, si oui, lesquelles?
 - Quel est le niveau de ces coûts par rapport aux mesures de référence?
 - Quelle proportion représentent les coûts communs, insensibles au volume, dans les coûts totaux de distribution et d'administration de la clientèle?
- 12) Les coûts insensibles au volume, c'est-à-dire les coûts qui ne peuvent être attribués, ni directement ni indirectement, à des services en application du principe de causalité, n'ont pas été inclus dans le présent modèle, mais font néanmoins partie des coûts occasionnés par la fourniture efficace des services conformément à la définition qui en est donnée dans le décret portant réglementation des taxes de télécommunication (§ 3(2)).
- Quels sont les coûts communs insensibles au volume, occasionnés par l'exploitation du réseau, qui peuvent être attribués à la totalité des réseaux locaux, mais pas à tel ou tel réseau particulier ni à tel ou tel élément de réseau?
 - Quelle est la proportion de ces coûts par rapport au total des coûts qui peuvent être attribués à des réseaux locaux particuliers?
 - Quelle est la proportion des coûts insensibles au volume, à l'exclusion de ceux mentionnés dans les deux questions précédentes, par rapport aux coûts totaux supportés par une entreprise de télécommunication?
- 13) Conformément au décret portant réglementation des taxes de télécommunication, les coûts insensibles au volume doivent être pris en considération dans le cadre de la procédure d'approbation des taxes sous forme de valeurs de référence appropriées ajoutées aux coûts marginaux sur le long terme.
- Convienrait-il d'ajouter une valeur de référence uniforme ou des valeurs de référence différentes aux coûts calculés pour les différents services en ce qui concerne les catégories de coûts communs mentionnées dans les questions 11 et 12?

ANNEXE B

Liste des données d'entrée

La liste ci-dessous présente les données d'entrée utilisées dans le modèle. Dans le cadre de la consultation, l'Autorité de réglementation des postes et télécommunications peut demander aux compagnies participantes de lui fournir des données sur un certain nombre ou sur la totalité des valeurs ci-après.

Valeur d'entrée	Abréviation (si utilisée)	Observations
-----------------	------------------------------	--------------

Emplacement		
Frontières du réseau local		
Sites des répartiteurs principaux		
Attribution de centraux locaux aux sites des répartiteurs principaux		
Attribution de concentrateurs distants aux sites des répartiteurs principaux		
Attribution de concentrateurs distants aux centraux locaux		

Objectifs de planification		
Pourcentage des diamètres de conducteurs pour différentes longueurs de boucle		Information sous forme de tableau possible
Facteur de capacité inutilisée technique pour les paires de conducteurs métalliques	TRes_Fkt_DA	Paramètre général
Facteur de capacité inutilisée économique pour les paires de conducteurs métalliques dans le câble d'alimentation	Res_Fkt_DA _{HK}	Au niveau du réseau local
Facteur de capacité inutilisée économique pour les paires de conducteurs métalliques dans le câble de distribution	Res_Fkt_DA _{VZB}	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Taux de lignes louées dans le réseau d'accès	FV_Fkt_DA	En pourcentage des paires de conducteurs métalliques pour les lignes d'abonnés

Taux de lignes louées dans le réseau interbureaux	FV_Fkt	En pourcentage des connexions numériques à 2 Mbit/s dans le réseau interbureaux
Taux de capacité inutilisée dans le réseau interbureaux	Res_Fkt	En pourcentage des connexions numériques à 2 Mbit/s dans le réseau interbureaux
Part des conduits dans la section d'alimentation	AKK _{HK}	Au niveau du réseau local
Part des conduits dans la zone de distribution	AKK _{VZB}	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Part des conduits dans le réseau interbureaux	AKK _{VK}	Au niveau du réseau local
Nombre de canalisations dans le câble d'alimentation	ZG _{HK}	Au niveau du réseau local
Nombre de canalisations dans la zone de distribution	ZG _{VZB}	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Nombre de canalisations dans le câble de jonction	ZG _{VK}	Au niveau du réseau local
Distance moyenne entre trous d'homme	Abs_Schacht	Paramètre général; ventilation suivant les câbles métalliques et les câbles en fibre optique
Nombre de câbles par mètre dans la section d'alimentation	K_Tm _{HK}	Au niveau du réseau local
Nombre de câbles par mètre dans la zone de distribution	K_Tm _{VZB}	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Type de surface de long du parcours des câbles d'alimentation	OF _{HK}	Ventilation des types de surface à remettre en état (espaces verts/asphalte/pavés bloquants); au niveau du réseau local
Type de surface le long des câbles dans la zone de distribution	OF _{VZB}	Ventilation des types de surface à remettre en état (espaces verts/asphalte/pavés bloquants); ventilation selon la densité d'abonnés
Type de surface le long des câbles de jonction	OF _{VK}	Ventilation des types de surface à remettre en état (espaces verts/asphalte/pavés bloquants); au niveau du réseau local
Nombre de connexions (manchons) par ligne d'abonné	M_Asl	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Nombre d'interfaces de distribution abonné par ligne d'abonné	EVz_Asl	Ventilation suivant la densité d'abonnés

Nombre de raccordements d'abonnés et de tranchées par ligne d'abonné	G_Asl	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Paires de connecteurs métalliques par ligne d'abonné dans la section de raccordement des abonnés	DA_Asl	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Longueur du raccordement final (section de raccordement des abonnés)	LH	Ventilation suivant la densité d'abonnés
Distance maximale entre répéteurs-régénérateurs	Abs_ZWR	Paramètre général. Ventilation suivant les systèmes à 140 ou à 560 Mbit/s

Coûts		Les données relatives aux coûts indiquent l'investissement total nécessaire pour la mise sur pied de l'installation prête à être mise en service
Coût de génie civil des systèmes de conduits par mètre	P_GrK_m	Ventilation des données selon les différents nombres de canalisations (par exemple 3/6/12/18) et selon le type de surface (espaces verts/asphalte/pavés bloquants)
Coût des tranchées par mètre pour l'installation des câbles enterrés	P_GrE_m	Ventilation des données selon le type de surface (espaces verts/asphalte/pavés bloquants)
Coût des canalisations en PVC par mètre	P_Rohr_m	Ventilation des données selon les diamètres (50 mm ou 100 mm)
Coût du ruban marqueur par mètre	P_Band_m	
Coût d'un trou d'homme	P_Schacht	Ventilation des données selon le nombre de canalisations (3/6/12/18)
Coût du câble métallique, y compris les connexions (manchons), par mètre		Ventilation des données selon la nature du câble (souterrain ou enterré), les différentes capacités des paires de conducteurs et les différents diamètres des conducteurs (0,4 mm/0,6 mm/0,8 mm)
Coût des manchons de protection par mètre	P_Schutzhaube_m	
Coût d'une connexion (manchon)	P_Muffe	

Coût d'une interface distribution-abonné	P_EVz	
Coût d'un module de ligne d'abonné analogique (SLMA)	P_SLMA	Appellation dans le cadre du système EWSD
Coût d'un module de ligne d'abonné numérique (SLMD)	P_SLMD	Appellation dans le cadre du système EWSD
Coût d'une unité de ligne numérique (DLU)	P_DLU	Appellation dans le cadre du système EWSD
Coût d'une unité faisceaux de lignes (LTG)	P_LTG	Appellation dans le cadre du système EWSD
Coût d'un élément de réseau de commutation, 120*2 Mbit/s	P_KN	
Prix de base du processeur de coordination dans un central local	P_CP	
Coût d'une charge de trafic supplémentaire de 1 000 BHCA	P_BHCA	
Coût d'une paire de multiplexeurs	P_MUX	Ventilation des données selon le type (2/34, 34/140, 140/565 Mbit/s)
Coût d'un répéteur-régénérateur	P_ZWR	Ventilation des données selon les systèmes à 140 Mbit/s ou à 565 Mbit/s
Coût de la fibre optique par mètre, y compris l'installation (épissurage)	P_GF_m	Ventilation des données selon la nature du câble (enterré ou souterrain); nombre choisi de fibres: 12
Coût d'une terminaison de ligne optique par paire de fibres	P_LE	Ventilation des données selon les systèmes à 140 Mbit/s ou à 565 Mbit/s
Prix de base d'un répartiteur principal	P_HVt_Fix	Composante fixe de l'investissement consacré aux répartiteurs principaux
Coût des répartiteurs principaux par paire de conducteurs métalliques	P_HVt_DA	Composante de l'investissement consacré aux répartiteurs principaux, tributaire des conducteurs métalliques
Coût du câble interne	P_EndStK	Ventilation des données selon la densité d'abonnés
Coût d'une prise de télécommunication	P_TAE	
Coût d'une interface alimentation-distribution	P_KVz	
Coût d'installation d'un central local	P_Unterbringung _{TVST}	

Coût d'installation d'un concentrateur distant	P_Unterbringung _{AK}	
Équipement supplémentaire pour un central local	P_Ausstattung _{TVS} _t	Comprend l'alimentation électrique, le conditionnement de l'air, les terminaux de l'opérateur, etc.
Équipement supplémentaire pour un concentrateur distant	P_Ausstattung _{TVS} _t	Comprend l'alimentation électrique, les terminaux de l'opérateur, etc.

Données relatives à la demande		
Abonnés résidentiels par quadrillage	PK_PQ	Données à fonder sur des statistiques démographiques et le taux de pénétration parmi les utilisateurs résidentiels
Abonnés professionnels, fonction du nombre d'abonnés résidentiels par quadrillage	GK_Fkt	Paramètre général
Charge de trafic moyen par ligne résidentielle en heure de pointe moyenne	BHE_PK	Paramètre général
Charge de trafic moyen par ligne professionnelle en heure de pointe moyenne	BHE_GK	Paramètre général
Durée d'occupation moyenne en heure de pointe	HT	Paramètre général
Facteur correspondant au rapport des tentatives d'appel ayant abouti sur le total des tentatives	α	Paramètre général
Facteur de charge de crête	LSF	Paramètre général
Part du trafic grande distance dans le trafic d'abonné total	AFV	Au niveau du réseau local
Probabilité de perte sur le parcours final	B	Paramètre général
Capacité dynamique d'un central local doté d'un équipement de base	Kap_CP	Paramètre général, données des constructeurs

Coûts d'équipement et d'exploitation		Tous les facteurs sont considérés comme des paramètres généraux
Taux moyen d'évolution des prix pour les différentes catégories d'actifs	ΔP_U	Ventilation des données en: bâtiments, équipement supplémentaire, équipement de transmission, équipement de commutation, câble métallique souterrain, câble en fibre optique souterrain, câble métallique enterré, câble en fibre optique enterré, systèmes de conduits, sections de raccordement des abonnés, câblage interne
Durée économique-technique moyenne des différentes catégories d'actifs	ND_U	Ventilation identique à la rubrique ci-dessus
Ratio de fonds propres	eK	
Ratio de la dette	fK	Uniquement dette porteuse d'intérêt
Taux attendu de retour sur fonds propres	D	Après impôt sur le revenu des sociétés
Taux effectif d'imposition sur le revenu des sociétés	T	
Taux d'intérêt de la dette	R	Taux d'intérêt moyen
Facteurs de coûts d'exploitation pour les catégories d'actifs	BKF_U	Ventilation identique à celle du taux moyen d'évolution des prix
