

# **Imputation des coûts du réseau de distribution électrique**

## **1. Exposé du problème**

La loi sur le marché de l'électricité (LME) [1] fixe les conditions d'un marché de l'électricité axé sur la concurrence. Celui-ci dépend pour une part essentielle de l'indemnisation de la fourniture de courant aux consommateurs finaux via les divers niveaux de tension. Les directives sur l'imputation des coûts de réseau aux utilisateurs font l'objet de l'ordonnance sur le marché de l'électricité (OME) [2]. Quant à la compensation des coûts entre niveaux de tension, elle doit reposer sur un mécanisme transparent et équitable. Il faut se référer aux bases techniques telles que le rapport entre les coûts des installations et la puissance maximale qu'il est prévu de fournir, ainsi qu'aux exigences économiques à satisfaire pour couvrir les coûts actuels. On partira d'un modèle – modèle d'acheminement, ou d'utilisation du réseau – qui assure l'attribution équitable des indemnités dans l'hypothèse d'un flux de puissance et d'énergie se déplaçant uniformément du réseau de transport aux consommateurs finaux situés aux niveaux inférieurs de tension. Les explications ci-dessous visent à faciliter la compréhension de ce modèle.

## **2. Principes du modèle d'utilisation du réseau**

Le modèle d'utilisation du réseau permet de reporter, avec la puissance et l'énergie, les coûts moyens d'un secteur du réseau au secteur voisin (d'un niveau de tension au niveau suivant, p. ex.) [3,4]. Lorsque les flux ne changent pas de direction, on les groupe par unités de temps et l'imputation se fait sur la base de l'énergie (travail) fournie ou sur celle de la puissance maximale. Dans ces conditions, on fixe une taxe spécifique, sorte de timbre-poste, frappant l'unité d'énergie et de puissance, et on l'applique aux quantités fournies. Ce système se prête d'autant plus aisément à la comptabilité qu'il s'appuie sur les chiffres (valeurs mesurées) disponibles.

Tous les consommateurs situés au même niveau de tension, c'est-à-dire dans le même secteur d'un exploitant donné du réseau sont soumis au même traitement lorsqu'ils acquièrent de la puissance et de l'énergie (non-discrimination). Quant à l'imputation des coûts du réseau, une structure appropriée permet d'approcher d'assez près l'équité (pollueur/payeur). Les différences apparaîtront ci-après.

## **3. Système de distribution**

Le modèle général d'acheminement, qui est un modèle ponctuel, convient naturellement au système de distribution qui couvre plusieurs niveaux de tension. Le réseau de distribution soutire l'énergie et la puissance au réseau de transport, alimente des consommateurs situés à différents niveaux de tension et reçoit éventuellement de l'énergie injectée au plan local. Mais le flux d'énergie va généralement du réseau de transport au niveau de tension inférieur, surtout si on le considère sur des périodes d'une certaine longueur. Ainsi l'imputation des coûts en fonction des flux de puissance (en moyenne des flux d'énergie) est évidente et n'est pas troublée par des flux contraires. En somme, les flux financiers suivent le flux d'énergie; d'où l'application privilégiée de ce modèle sur les marchés, lorsqu'il s'agit du système de distribution [3] (Scandinavie, Allemagne, Autriche).

#### **4. Injection**

Le modèle sur lequel s'appuie l'OME [2] est axé exclusivement sur le volet de la consommation (soutirage), c'est-à-dire que les injections d'électricité à tous les niveaux de tension et dans tous les secteurs du réseau sont soumises au même traitement et libres de toute taxe. On appelle cela la non-distorsion de la concurrence. Les énergies renouvelables font l'objet de réglementations spéciales, cf. LME [1]. La non-distorsion interdit l'imputation liée à une transaction spécifique, c'est-à-dire des taxes d'utilisation du réseau fixées en fonction des contrats de fourniture. En d'autres termes, tous les coûts liés à l'utilisation du réseau (émoluments) sont facturés au consommateur final au point de soutirage.

#### **5. Coûts du réseau selon les niveaux de tension**

Les coûts d'exploitation du réseau se composent de plusieurs éléments, liés tantôt à la puissance, tantôt à l'énergie, et qui dépendent par ailleurs des prestations générales : Ces éléments découlent

- de l'utilisation du réseau (puissance et énergie)
- de la maintenance du réseau (installations en fonction de la puissance et de l'énergie)
- des déperditions sur le réseau (énergie)
- des prestations fournies par le réseau (en général)
- des dispositifs de mesure et des mesures (services)
- de l'accès au réseau (en général)

Ces éléments comprennent les coûts qui dépendent de l'investissement, de l'entretien, de l'administration et de l'utilisation (pertes).

## 6. Principe du report des coûts

### 6.1 Généralités

Dans l'hypothèse d'un flux d'énergie à sens unique et d'un flux de puissance du réseau de transport vers les réseaux de distribution de moindre tension, on s'appuie sur les coûts annuels à chaque niveau de tension ou secteur du réseau. Ces coûts sont supposés avoir été relevés pour l'exploitation par exemple durant une année civile passée. Rapportés à la quantité d'énergie fournie par un niveau de tension au niveau immédiatement inférieur, ces coûts donnent la taxe spécifique d'utilisation du réseau (timbre-poste). On n'opérera provisoirement qu'avec les coûts globaux, qu'il s'agit de répartir selon l'énergie fournie à chaque niveau de réseau.

L'opération est expliquée ici sur deux niveaux de tension, représentés à la figure 1.

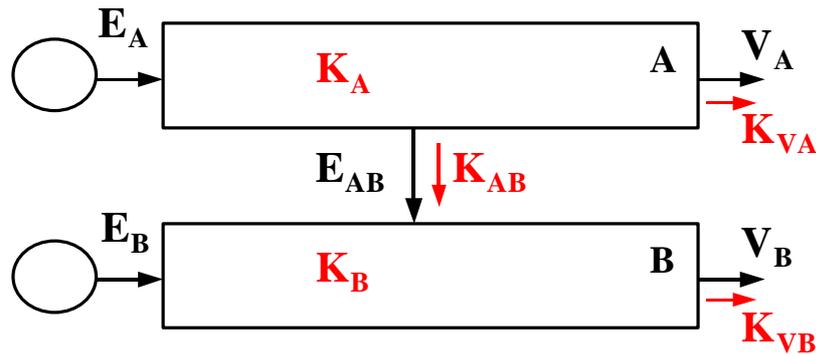


Fig. 1 Deux niveaux de tension illustrant le report des coûts

Au niveau A, on a l'injection  $E_A$  et la consommation  $V_A$ . Du niveau A, un volume d'énergie  $E_{AB}$  est fourni au niveau B, où l'on trouve également l'injection  $E_B$  et la consommation  $V_B$ . Les coûts globaux à chaque niveau sont désignés par  $K_A$  et  $K_B$ .

Bilans énergétiques applicables (GWh/a)

$$E_A = E_{AB} + V_A \quad (6.1)$$

$$V_B = E_{AB} + E_B \quad (6.2)$$

Bilans financiers applicables (Fr/a)

$$K_A = K_{AB} + K_{VA} \quad (6.3)$$

$$K_{VB} = K_B + K_{AB} \quad (6.4)$$

L'énergie  $E_A$  fournie au niveau A couvre la consommation  $V_A$  à ce niveau et les fournitures  $E_{AB}$  au niveau immédiatement inférieur. La consommation au niveau B est couverte par l'injection locale  $E_B$  et par l'énergie  $E_{AB}$  obtenue à un niveau plus élevé. Les coûts au niveau A sont imputés partiellement aux consommateurs locaux ( $K_{VA}$ ) et pour le solde, ils sont reportés ( $K_{AB}$ ). Le niveau B assume les coûts reportés du niveau plus élevé et les facture aux consommateurs avec les coûts du réseau local ( $K_{VB}$ ).

Or le montant des coûts reportés variera selon la façon dont on le détermine. Les coûts du réseau, eux, sont des coûts fixes à chaque niveau. D'où la marge de manœuvre permettant de respecter le principe du pollueur/payeur. En effet, si les coûts reportés sont calculés uniquement en fonction de l'énergie fournie au niveau inférieur, leur montant  $K_{AB}$  sera relativement modeste. Si au contraire ils dépendent de la consommation totale d'énergie au niveau inférieur  $V_B$ , ce montant sera plus élevé et les consommateurs au niveau A verront leur facture réduite d'autant. On parlera alors de coûts reportés bruts, alors que dans le cas précédent, on a des coûts reportés nets.

## 6.2 Report brut et report net

Qu'est-ce qui justifie des mécanismes de report différents selon le cas? C'est la mise à disposition d'installations pour les besoins des consommateurs situés au niveau inférieur de tension. Revenons à la figure 1: lorsque l'alimentation  $E_B$  est interrompue, le niveau de tension supérieur doit fournir par moments toute l'énergie nécessaire au niveau B, soit  $V_B$  et non  $E_{AB}$ ; alors il n'est que juste de fixer le montant des coûts reportés d'après un volume d'énergie plus élevé: on appliquera donc le report brut. Avant d'approfondir les conséquences de chacun des deux modes de calcul, nous en examinerons les mécanismes et les corrélations.

Les explications qui suivent se réfèrent toujours à la figure 1 ci-dessus. Voyons d'abord l'imputation des coûts de réseau engendrés à un niveau donné: à quel volume d'énergie les imputer?

Avec le report brut, les coûts de réseau  $K_A$  sont imputés à la somme des volumes d'énergie fournis au niveau A et au niveau immédiatement inférieur. S'il y a plusieurs niveaux inférieurs, c'est leur volume global d'énergie qui compte. Dans le cas de la figure 1, les coûts de réseau se répartissent proportionnellement entre  $V_A$  et  $V_B$ . On calculera le prix d'un timbre-poste moyen pour le niveau A avec la formule

$$b_A = K_A / (V_A + V_B) \quad (6.5)$$

et l'on reportera au niveau inférieur une partie des coûts, calculée avec la formule

$$K_{AB} = V_B \cdot b_A = K_A \cdot V_B / (V_A + V_B) \quad (6.6)$$

Au niveau inférieur, les coûts totaux seront donc de

$$K_B + K_{AB} \quad (6.7)$$

et le timbre-poste moyen permettant de les reporter sur les consommateurs devra correspondre à

$$b_B = (K_B + K_{AB}) / V_B \quad (6.8)$$

Les coûts de réseau reportés bruts vers le bas sont manifestement accrus, car on calcule le timbre-poste  $b_A$  sans tenir compte de l'énergie injectée au niveau inférieur.

Avec le report net, les coûts de réseau  $K_A$  sont répartis sur la consommation  $V_A$  et l'énergie (nette)  $E_{AB}$  fournie au niveau inférieur. Ainsi le timbre-poste moyen correspondra à

$$b_A = K_A / (V_A + E_{AB}) = K_A / (V_A + V_B - E_B) \quad (6.9)$$

Le timbre-poste moyen  $b_A$  est **accru** par le fait que les coûts reportés sont plus faibles.

$$K_{AB} = (V_B - E_B) \cdot b_A = K_A \cdot (V_B - E_B) / (V_A + V_B - E_B) \quad (6.10)$$

Au niveau de tension inférieur, on a des coûts globaux de

$$K_B + K_{AB} \quad (6.11)$$

reportés sur la consommation  $V_B$  au moyen du timbre-poste moyen de

$$b_B = (K_B + K_{AB}) / V_B \quad (6.12)$$

Ces coûts sont **moins élevés** que dans le cas du report brut, parce qu'il est tenu compte de l'énergie injectée au niveau inférieur.

### 6.3 Conséquences

La figure 2 présente les deux méthodes pour un seul et même schéma de production/consommation. Elle indique les quantités injectées, les consommations et les coûts de réseau à chacun des deux niveaux de tension. Les calculs sont faits avec report brut à gauche de la figure, avec report net à droite. On indique les coûts de réseau imputés aux consommateurs et les timbres-poste moyens correspondants. A consommation égale, les consommateurs au niveau de tension A se voient imputer des coûts de réseau de 30 millions de francs avec report brut, et de 42 millions avec report net. Le résultat inverse s'applique au niveau de tension inférieur. On y a des coûts de réseau de 120 millions de francs avec le report brut et de 108 millions dans le cas contraire. Les différences correspondent à celles des coûts reportés  $K_{AB}$ , soit 40 millions dans le premier cas, 28 millions dans le second. Quant au montant du timbre-poste moyen, il correspond au coût spécifique par kWh.

Tant les coûts de réseau que les quantités d'énergie se rapportent à l'année entière.

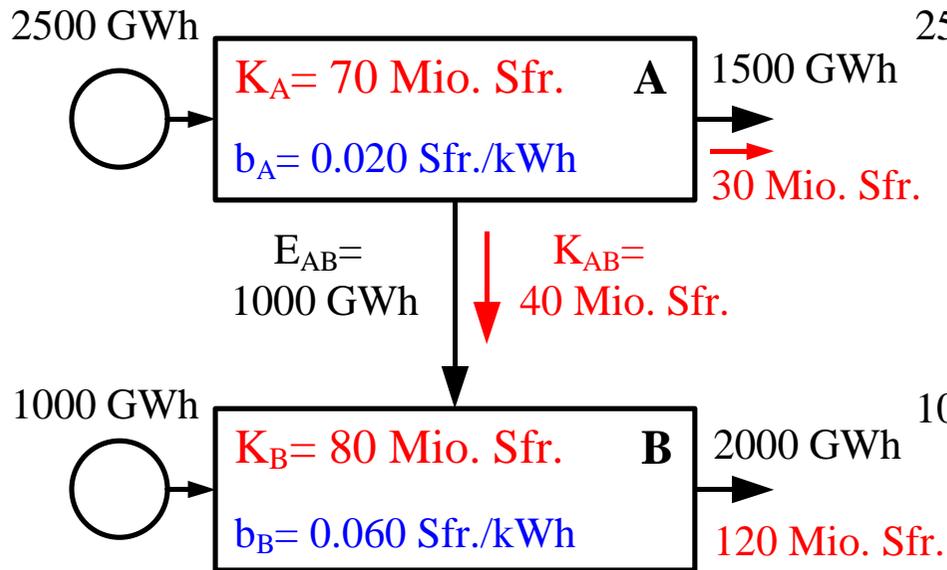
Les conséquences se manifestent d'une part dans les prix moyens des timbres-poste et d'autre part, dans les coûts imputés aux consommateurs. Le report brut favorise les consommateurs du niveau de tension supérieur, le report net, ceux du niveau de tension inférieur, pour autant que des injections de courant aient lieu à ce niveau.

**En l'absence d'injections aux niveaux inférieurs, les deux démarches sont identiques.**

Fig. 2 separat

## Report brut des coûts du réseau

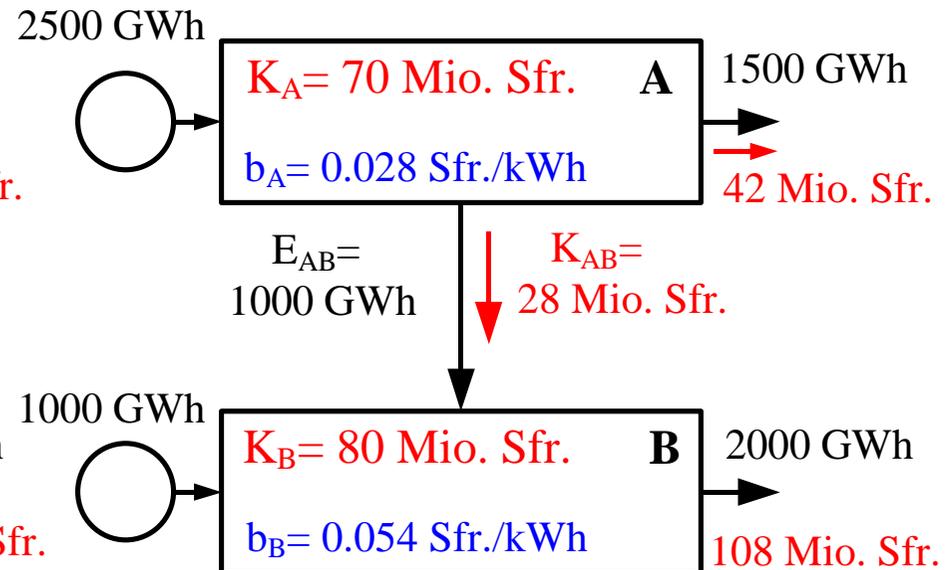
Coûts totaux du réseau 150 mio CHF



Coûts du réseau facturés aux consommateurs 150 Mio. Sfr.

## Report net des coûts du réseau

Coûts totaux du réseau 150 mio CHF



Coûts du réseau facturés aux consommateurs 150 Mio. Sfr.

Fig. 2 Comparaison des modes d'imputation

## 7. Distinction des composantes des coûts et du report

### 7.1 Motif

Un décompte brut/net n'a de sens que si les coûts de réseau des différents niveaux de tension sont répartis intégralement entre la puissance et l'énergie fournies. On obtient alors un prix de la puissance et un prix du travail. Une composante liée à la puissance se justifie par la mise à disposition des installations nécessaires pour fournir la puissance la plus élevée prévue. Quant à la composante liée à l'énergie, elle dépend des quantités fournies, qui sont aussi sources de déperditions.

Aux termes de l'ordonnance sur le marché de l'électricité [2], il convient de facturer la puissance avec report net et l'énergie fournie avec report brut. Le rapport des deux genres de coûts est fixé d'avance. Pour faire comprendre ce mécanisme, nous allons supposer ici un rapport de 50 % à 50 %. Cela signifie qu'à chaque niveau de tension, on impute 50 % des coûts de réseau à la puissance et 50 % à l'énergie. L'imputation séparée se fait à travers tous les niveaux de tension: les coûts *puissance* reportés sur le client au niveau le plus élevé le seront encore au niveau immédiatement inférieur. De même pour les coûts *énergie*. Les deux composantes ne seront réunies que pour l'imputation des coûts de réseau au consommateur final. C'est ce qu'on appelle le principe du silo: les coûts glissent de haut en bas comme dans un silo.

### 7.2 Conséquences

L'exemple chiffré de la figure 3 montre les conséquences de l'imputation combinée *puissance* et *énergie* des coûts de réseau. Le niveau de tension inférieur est scindé pour faire voir l'effet de l'injection par rapport à l'approvisionnement direct. Les puissances et les quantités d'énergie fournies sont les mêmes que dans l'exemple de la figure 2; mais la quantité injectée au niveau supérieur a été adaptée, parce que la moitié seulement du niveau inférieur présente de l'injection. Les coûts de réseau sont imputés pour moitié à la puissance et à l'énergie, respectivement. Le report correspond aux exemples de la figure 2.

L'effet du report net selon la puissance apparaît dans les coûts moins élevés reportés au niveau de tension inférieur à gauche, soit 7 millions de francs, pour 14 millions à droite.

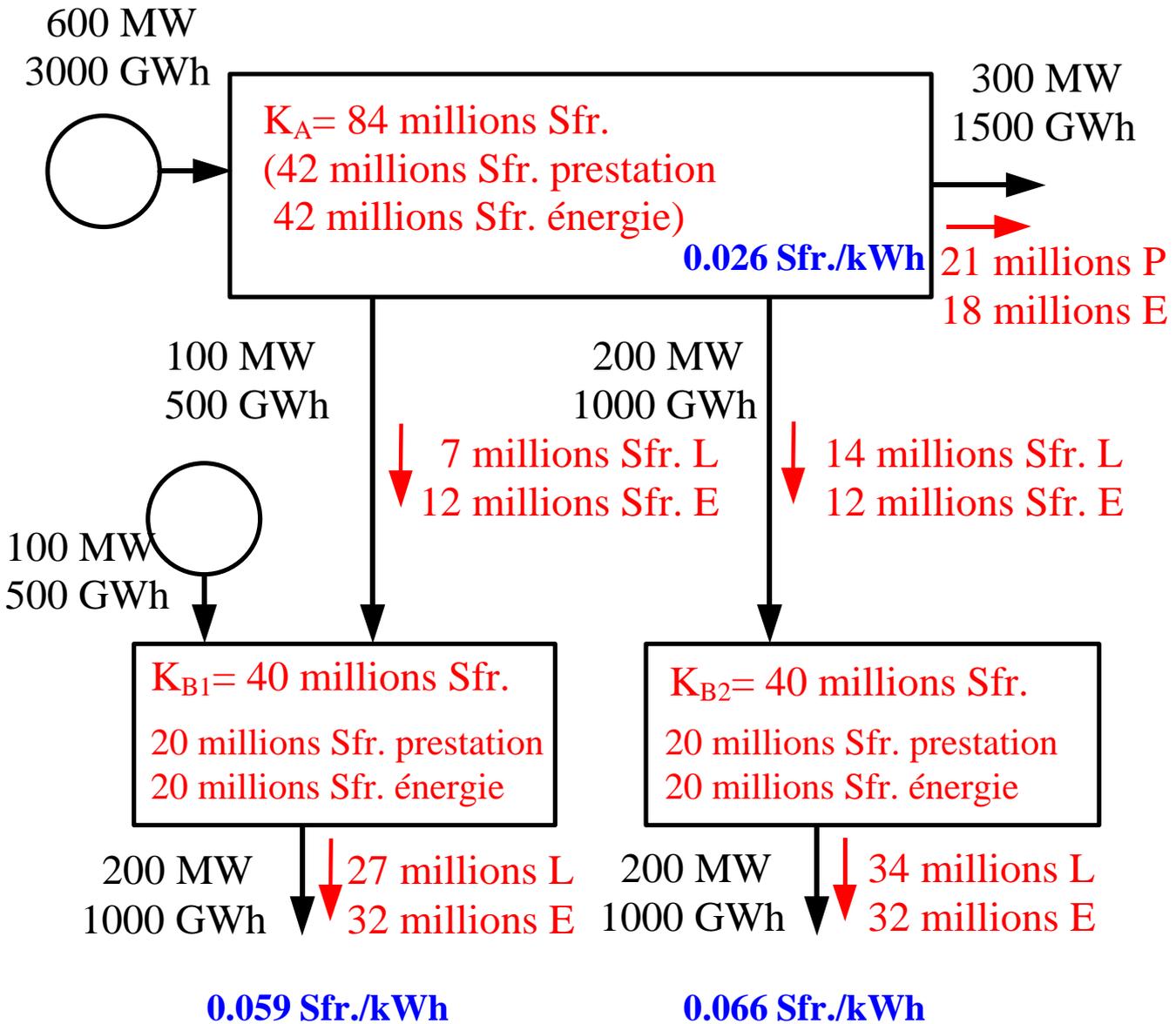
Les coûts de réseau moyens pour chaque niveau sont indiqués en bleu. Au niveau supérieur, on a 0,026 fr./kWh, un chiffre qui se vérifie de la manière suivante:

Coûts de réseau <i>énergie</i>	42 mio./(1500 + 1000 +1000 GWh)	= 0,012 fr./kWh
Coûts de réseau <i>puissance</i>	42 mio./(600'000 kW . 5000 h)	= <u>0,014 fr./kWh</u>
Coûts de réseau moyens		= 0,026 fr./kWh

Pour les coûts de réseau *énergie*, on a au numérateur l'ensemble des consommations, pour les coûts de réseau *puissance*, la somme des puissances nettes et la durée d'utilisation. Les coûts de réseau moyens dans les deux secteurs du niveau de tension inférieur sont déterminés selon le même schéma. Le report net se traduit là aussi par des coûts de réseau moyens moins élevés.

### Fig. 3 Utilisation du réseau

50 % Prestation nette  
50 % Energie brute



P Prestation, E Energie

En bleu: coûts moyens du réseau

Durée d'utilisation standard égale à 5000h

WML und E

## 8. Simulation

Que se passe-t-il en cas de variation des parts d'imputation de la puissance et de l'énergie? Pour le savoir on a procédé à des simulations sur un modèle. Conformément à la situation réelle, on a considéré quatre niveaux de réseau allant du niveau transport jusqu'au niveau basse tension. Les puissances, les quantités d'énergie et les durées d'utilisation correspondent à celles d'une partie du réseau suisse. Les chiffres et le schéma du réseau se trouvent dans l'annexe (fig. 4 et 5). En multipliant par 10 les puissances et les quantités d'énergie, on obtiendrait des valeurs correspondant approximativement à celles du réseau suisse. Toutefois, les niveaux de tension inférieurs n'étant pas scindés, les résultats ne reflètent que des conditions moyennes. Les situations spéciales résultant d'injections particulièrement importantes aux niveaux de tension inférieurs ou de l'absence d'injection n'apparaissent pas. Les simulations sont axées avant tout sur les effets du rapport variable des parts d'énergie et de puissance avec report brut et net.

Les résultats sont résumés dans les tableaux 1 à 4 de l'annexe. Les tableaux 1 et 2 se réfèrent au report net pour la puissance et brut pour l'énergie, les tableaux 3 et 4 à la démarche inverse. On a supposé tant une production propre élevée qu'une production modeste aux niveaux de tension inférieurs, cf. les figures 4 et 5. Tous les tableaux présentent une variation du rapport de la puissance à l'énergie allant de 30:70 jusqu'à 70:30. Les résultats apparaissent dans les coûts de réseau moyens. Le modèle de calcul des coûts de réseau moyens se trouve au chiffre 7.2, page 7. Les coûts de réseau moyens sont les coûts que l'exploitant du réseau impute au consommateur à son niveau de tension. Mais l'exploitant peut concevoir un tarif différencié (puissance, travail, taxe de base) à partir des coûts de réseau moyens, ce dont la présente illustration ne tient pas compte.

## 9. Discussion

On a montré au chapitre 7 les principes du mécanisme de l'imputation de la puissance ou de l'énergie, d'une part, et du report brut ou net des coûts de réseau, de l'autre. De leur côté, les simulations qui viennent d'être décrites en font apparaître les effets à différents niveaux de tension et la relation entre la quantité injectée et la durée d'utilisation. Les chiffres le montrent, l'imputation d'un important report net de puissance ou d'énergie se fait sentir, mais les effets dépendent du niveau de tension considéré.

L'effet relatif est le plus prononcé au niveau de tension supérieur. Ainsi au tableau 1, les coûts moyens de réseau vont de 0,0111 fr./kWh à 0,0135 fr./kWh, ce qui représente une croissance relative de 22 %. En valeur absolue cependant, elle n'est que de 0,0024 fr./kWh. En cas de modeste production propre (tab. 2), l'effet du report net n'est pas si prononcé, comme l'indiquent les valeurs, allant de 0,0144 à 0,0126 fr./kWh, mais il n'en est pas moins incontestable.

L'effet est encore bien moins prononcé aux niveaux de tension inférieurs. Ainsi dans les tableaux 1 et 2, les modifications sont de l'ordre de 2,2 à 5,1 %. Comme on devait s'y attendre, l'effet s'exerce en sens contraire. Un important report net favorise les niveaux de tension inférieurs. Si l'on impute la puissance avec report brut et l'énergie avec report net (tab. 3 et 4), l'effet est moins clair, voire inexistant, comme l'indiquent par exemple les chiffres de la figure 4. En cas de faible production propre, l'effet au niveau de tension le plus élevé est nul, alors qu'il apparaît comme prévu au niveau avant-dernier, tandis qu'au dernier niveau, les coûts de réseau ne chutent pas lorsque la part du report d'énergie net augmente. Une analyse de sensibilité a montré que le résultat escompté se produit si l'on modifie les durées d'utilisation (rapport énergie/puissance).

Il ressort donc de la simulation que la part accrue du report brut (puissance ou énergie) favorise le niveau du transport, l'effet absolu se mesurant en dixièmes de centimes/kWh. Pour la société d'exploitation du réseau, cette valeur n'est pas négligeable, puisque les échanges à ce niveau se mesurent en térawattheures. Aux niveaux de tension inférieurs, l'effet des variations des parts nette et brute est faible, tant en valeur absolue qu'en valeur relative.

## 10. Références

- [1] Loi du 15 décembre 2000 sur le marché de l'électricité (LME)
- [2] Ordonnance du ... sur le marché de l'électricité (OME; projet du 15 juin 2001)
  
- [3] Deregulation of the Nordic Power Market – Implementation and Experience  
EFI – Norwegian Electric Power Research Institute, Trondheim,  
TR No. A4602 24 nov. 1997
  
- [4] H. Glavitsch; Lastflussbezogene Netzbenutzungsgebühren im offenen Strommarkt  
Bulletin ASE/AES 11/98

## 11. Annexe

### Coûts de réseau moyens (fr./kWh – selon le mode d'imputation)

(avec croissance de la part puissance et de la part énergie)

Tab. 1 Puissance /Energie - report net/brut – Part puissance croissante

	Forte production propre				
Puissance/Energie	30:70	35:65	50:50	65:35	70:30
Niveau réseau 1	0,0111	0,0114	0,0123	0,0132	0,0135
Niveau réseau 2+3	0,0293	0,0298	0,0311	0,0324	0,0328
Niveau réseau 4+5	0,0893	0,0919	0,0996	0,1074	0,1099
Niveau réseau 6+7	0,1484	0,1475	0,1448	0,1421	0,1412

Tab. 2 Puissance /Energie - report net/brut – Part énergie croissante

	Faible production propre				
Puissance/Energie	70:30	65:35	50:50	35:65	30:70
Niveau réseau 1	0,0144	0,0142	0,0135	0,0128	0,0126
Niveau réseau 2+3	0,0289	0,0289	0,0288	0,0288	0,0288
Niveau réseau 4+5	0,0937	0,0924	0,0886	0,0847	0,0835
Niveau réseau 6+7	0,1500	0,1505	0,1517	0,1529	0,1533

Tab. 3 Puissance /Energie - report brut /net – Part puissance croissante

	Forte production propre				
Puissance/Energie	30:70	35:65	50:50	65:35	70:30
Niveau réseau 1	0,0125	0,0123	0,0119	0,0116	0,0113
Niveau réseau 2+3	0,0328	0,0322	0,0304	0,0288	0,0280
Niveau réseau 4+5	0,0942	0,0942	0,0941	0,0941	0,0941
Niveau réseau 6+7	0,1449	0,1452	0,1462	0,1473	0,1476

Tab. 4 Puissance /Energie - report brut/net – Part énergie croissante

	Faible production propre				
Puissance/Energie	70:30	65:35	50:50	35:65	30:70
Niveau réseau 1	0,0133	0,0133	0,0133	0,0133	0,0133
Niveau réseau 2+3	0,0279	0,0282	0,0290	0,0298	0,0301
Niveau réseau 4+5	0,0916	0,0908	0,0884	0,0860	0,0852
Niveau réseau 6+7	0,1517	0,1518	0,1519	0,1520	0,1521



Fig. 4 Production et distribution à plusieurs niveaux de tension  
**production propre élevée**

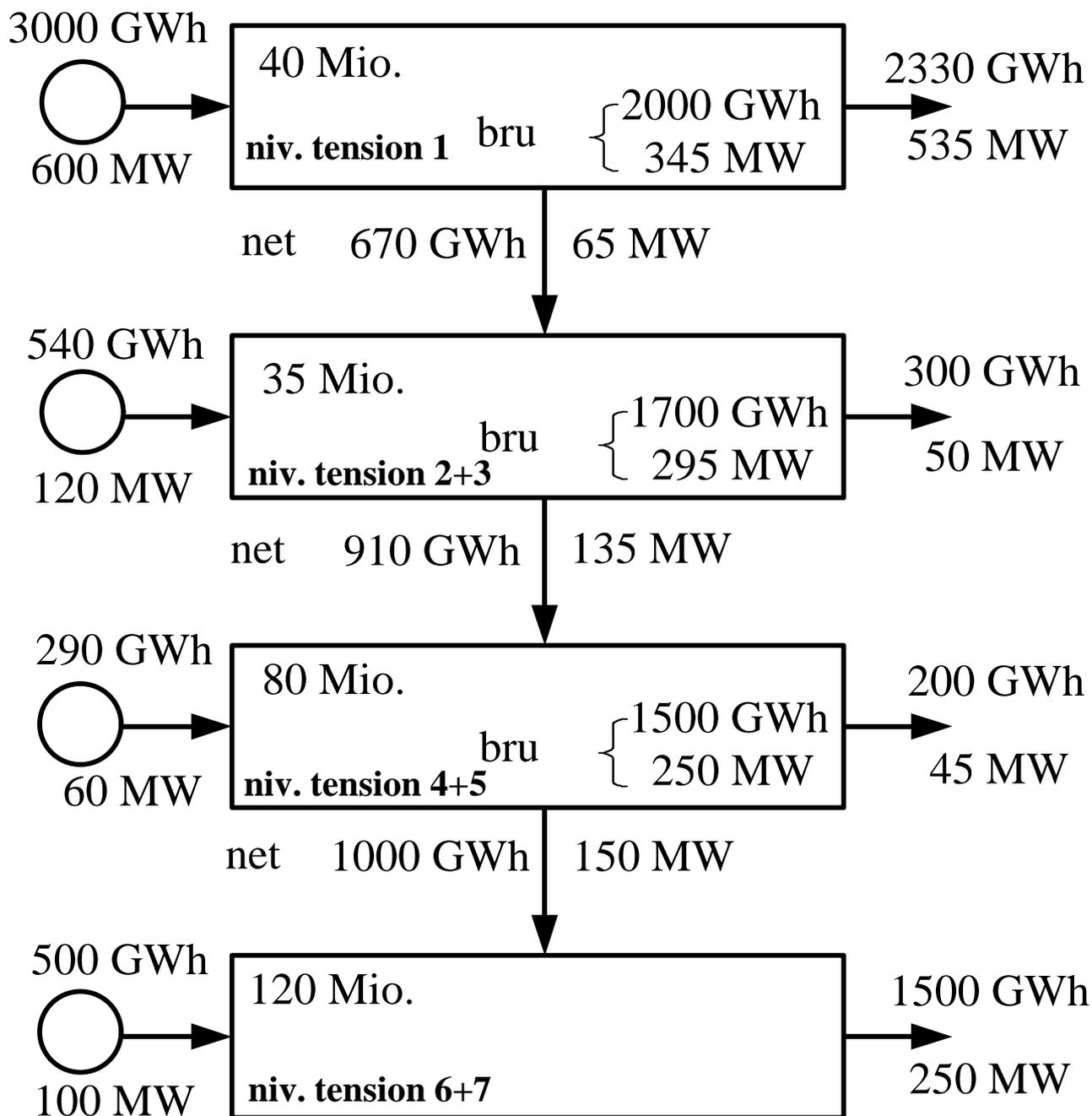


Schéma CR élevé

**Fig. 5 Production et distribution à plusieurs niveaux de tension  
faible production propre**

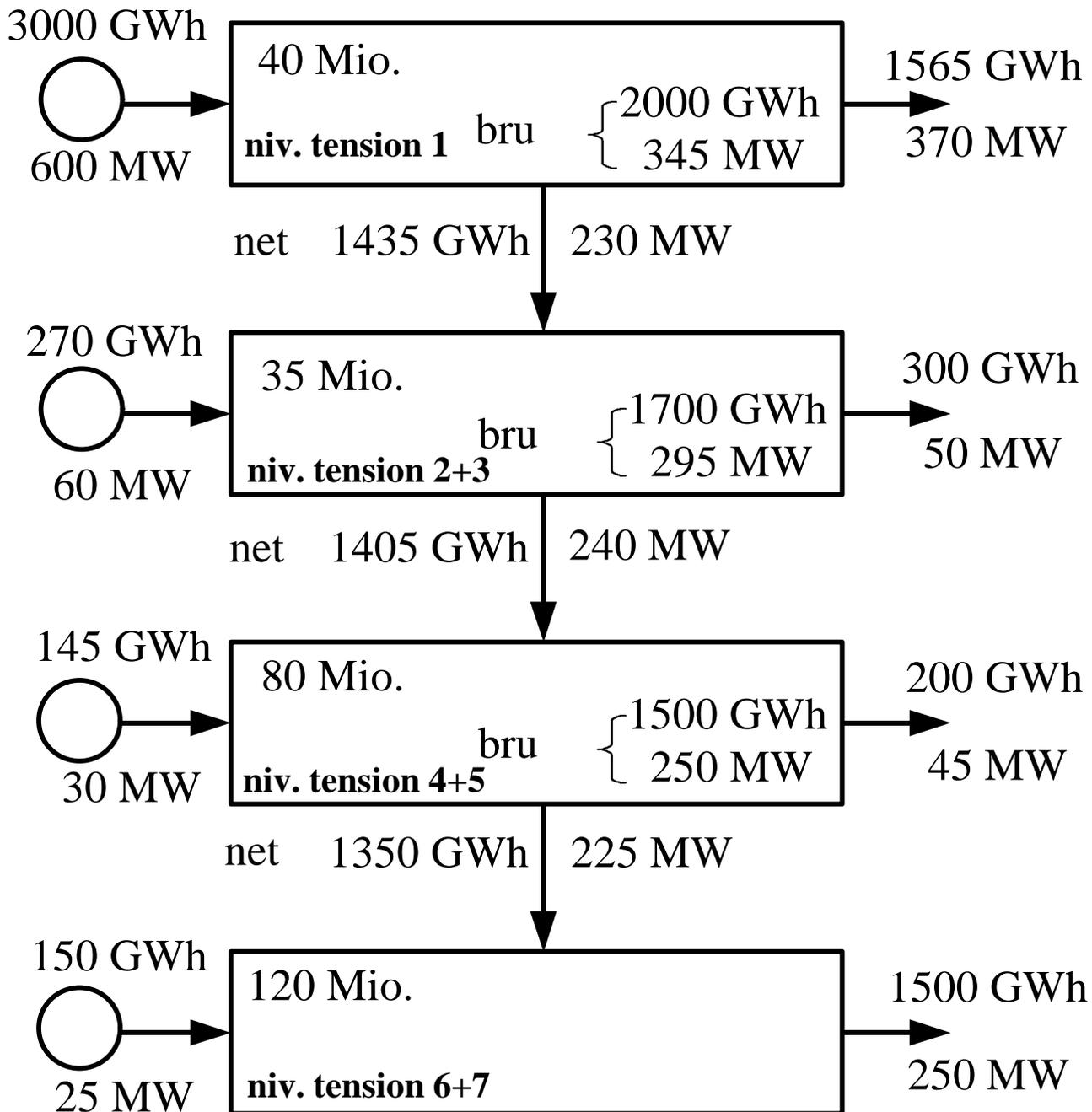


Schéma CR faible