

Manuel d'utilisation du modèle Burkinabè d'électrification

Danida
Direction Générale de l'Energie **Juillet 2002**

Tables des Matières

<u>INTRODUCTION</u>	<u>4</u>
----------------------------	-----------------

<u>ETAPE 1 : DECIDER LA FAÇON D'ELECTRIFICATION DANS LES VILLES/VILLAGES</u>	<u>7</u>
---	-----------------

<u>ETAPE 2 : DECIDER L'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE</u>	<u>17</u>
--	------------------

<u>ETAPE 3 : CONTROLER LES HYPOTHESES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES</u>	<u>25</u>
--	------------------

<u>ANNEXE 1 : ACTUALISER L'ANNEE DE REFERENCE</u>	<u>29</u>
--	------------------

<u>ANNEXE 2 : L'INDICATEUR D'ELECTRIFICATION RURALE</u>	<u>31</u>
--	------------------

Introduction

Ce manuel décrit l'utilisation du modèle Burkinabè d'électrification. Ce modèle a été développé pour la Direction Générale de l'Energie (DGE) du Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie (MCE) du Burkina Faso dans le cadre du projet de jumelage entre la DGE et l'Agence danoise de l'énergie. Le manuel est élaboré dans le cadre des activités d'études et d'assistance technique d'accompagnement au volet électrification rurale appuyées par Danida¹.

Le modèle Burkinabè d'électrification concerne uniquement le système d'approvisionnement en électricité du pays. Il couvre le réseau Centre Régional de Consommation de Ouagadougou (CRCO) et le réseau lié à Bobo-Dioulasso ainsi que tous les systèmes isolés. Le but du modèle est de faciliter les calculs nécessaires pour le Plan National de l'Electrification (PNE) et le PNE-Rural.

L'objet du modèle est donc de servir comme outil pour les institutions qui participent dans la planification du secteur d'électricité. Le modèle peut servir comme une base de données communes pour les paramètres clés de l'électrification :

¹ Le manuel est élaboré par Jørgen Fenhann, RISØ et rédigé par Thorkil Ørum, T-Consult. Des commentaires et suggestions éventuelles quant à l'utilisation du manuel et du modèle peuvent être adressées à la DGE, dge@fasonet.bf ou j.fenhann@risoe.dk

information sur villages/villes, coûts d'investissement, coûts de maintenance et du fuel, séries du temps (historique et futur) de consommation d'électricité pour chaque village/ville, production d'électricité, comparaison entre la demande future de capacité en MW et la capacité installée, émission du CO₂ etc. Pour couvrir tous ces aspects le modèle est évidemment très agrégé et simplifié, le niveau étant juste pour l'élaboration du PNE ou du PNE-Rural. Pour des études détaillées d'autres modèles seront nécessaires.

Le modèle est construit en EXCEL. Il est composé de cinq feuilles :

- **PrixCombustible**
- **Hypothèses**
- **Approvision**
- **AtlasEner**
- **FactEmission**

Le modèle contient également deux macros qui sont liés à deux bouton-poussoirs dans la feuille Approvision : "**Calculez consommation**" et "**Assez production ?**".

Le modèle opère dans l'espace de temps de l'année de référence, qui doit être la dernière année dans la statistique d'électricité - normalement 2 années avant l'année actuelle, jusqu'à l'année de clôture qui est 18 ans plus tard. Les calculs ne sont pas faits pour toutes les années mais seulement pour trois années (référence, intermédiaire et clôture). L'année intermédiaire est définie comme étant 9 ans après l'année de référence. Il est possible de changer ces années: Dans la feuille « Hypothèses » on peut additionner un

nombre d'années à l'année de référence – les autres années augmenteront avec le même nombre. Une telle actualisation demande un certain travail – entrer les nouvelles données de la consommation historique d'électricité dans tous les villages, etc. (voir Annexe 1 : Actualisez l'année de référence).

Actuellement, le modèle utilise les années suivantes :

Année de référence	1998
Année actuelle	2000
Année intermédiaire	2007
Année de clôture	2016

L'utilisation du modèle se déroule dans trois étapes.

Etape 1 : Décider la façon d'électrification dans les villes/villages

Dans la feuille "AtlasEner", qui contient l'Atlas Energétique, l'utilisateur peut définir le système d'électrification. Cette feuille consiste en une liste des villes/villages (pour le moment 389), qui sont ou qui potentiellement peuvent être électrifiés dans la période de calcul. Le classement des villes dans la feuille est sans importance pour le calcul, l'utilisateur peut placer un nouveau village où il désire. Cette facilité est très pratique parce que dans des situations différentes, il est nécessaire de trier toutes les villes/village selon des paramètres différents comme province, grandeur, année d'électrification etc. (N'oubliez pas de faire une sélection de toutes les colonnes avant de trier).

Tableau 1: Information géographique et de état et type d'électrification								
Province	Ville ou village	Statut de village	Début	Type	Réseau/connecté à	Distance à approv. en km	Projet solaire Espan.	Projets en cours
BOULGOU	Bagé		1999	Diesel				Existe
BOULGOU	Bané	Chef-lieu Dep	2010	Solaire				Projets tests
BOULGOU	Bégédo	Chef-lieu Dep	2003	Diesel	Spécial			Existe
BOULGOU	Bittou	Chef-lieu Dep	1999	Diesel				
BOULGOU	Boussouma	Chef-lieu Dep	2006	Solaire				
BOULGOU	Garango	Chef-lieu Dep	1999	Réseau	Ouaga/Tenkodogo	19		Existe
BOULGOU	Komtoéga	Chef-lieu Dep	2003	Solaire			Sol. Esp	
BOULGOU	Niagho	Chef-lieu Dep	2003	Diesel	Spécial			Projets tests
BOULGOU	Tenkodogo	Chef-lieu Prov.	1985	Réseau	Ouaga/Ouaga			Existe
BOULGOU	Zabré	Chef-lieu Dep	2004	Diesel			Sol. Esp	Quest2
BOULGOU	Zoaga	Chef-lieu Dep	2009	Solaire				
BOULGOU	Zonse	Chef-lieu Dep	2016	Solaire				

Pour chaque village, la feuille contient une longue liste d'information. Dans la première section (les trois colonnes à gauche de la ligne) le nom de la province, le nom de la ville/village et le statut du village (chef lieu département/ chef lieu province, etc.) sont reportés.

L'information dans la deuxième section (4 colonnes) dans la ligne est très importante pour le calcul du modèle : Dans la colonne « début » il faut écrire l'année qu'on prévoit que l'installation commencera à produire de l'électricité.

Quand l'année de début est plus grande que l'année de référence, le modèle (le macro "Calculez consommation") construit un système d'électricité dans le village.

Le mot écrit dans la colonne suivante nommée "type" détermine le type d'électrification pour le village. ***Il faut écrire un des mots suivants correctement :***

"**Diesel**" pour un village isolé avec un groupe électrogène diesel.
"**Réseau**" pour un village sans générateur connecté avec un réseau extérieur.
"**Auto**" pour un village approvisionné par un auto producteur.
"**Solaire**" pour un village équipé avec kits solaire individuels.
"**Interconnexion**" pour un village qui est connecté au réseau provenant d'un autre pays.

Quand l'utilisateur a écrit "Réseau" il faut écrire des informations dans la colonne suivante. Les premiers 4 caractères dans le mot

avant "/" dans cette colonne nommée "réseau/connecté à" détermine le réseau auquel le village est connecté. ***Il est absolument impératif d'écrire ce nom exactement comme le nom de ville/village.*** Le modèle fait une addition de la consommation d'électricité dans toutes les villes/villages connectés au même village diesel. Le mot après le "/" est pour l'utilisateur de retenir à quelle ville/village le réseau est connecté. Le modèle multiplie la valeur écrit dans la colonne prochaine "distance à approv. en km" avec le coût pour un km ligne HT (voir section Hypothèses) pour calculer l'investissement dans le réseau haut tension (HT). Exemple : Dans le tableau 2, Garango est connecté avec le réseau de Ouagadougou avec un réseau de 19 km HT à Tenkodogo.

Le modèle calcule aussi les investissements dans le réseau basse tension (BT) et dans les branchements pour les bâtiments.

Quand l'année de début est la même ou moins que l'année de référence le modèle calcule seulement l'investissement dans les augmentations du réseau basse tension (BT) et dans les branchements pour les bâtiments grâce à la croissance des abonnés raccordés depuis l'année de référence.

Quand l'utilisateur a écrit "auto" il est une bonne idée d'écrire le nom de l'auto producteur dans la colonne "Réseau/connecté à". Le modèle écrit ce nom dans la feuille "Approvision" dans la ligne qui montre l'approvisionnement d'électricité de l'auto producteur.

Dans la section suivante (2 colonnes), l'on peut écrire des informations sur la position du village dans le processus d'électrification : existence d'une installation solaire espagnole, projet Ouahigouya, projet AFD, projet test, projet RPTES, si le

village fait partie de la première étude socio-économique des 30 centres (quest1) ou partie de la seconde étude socio-économique des 30 centres (quest2) ou autre information que l'utilisateur juge pertinente.

L'information dans la prochaine section comprenant les 17 colonnes qui suivent dans la feuille "AtlasEner" est l'information sur la base de laquelle l'indicateur pour électrification est calculé (voir Annexe 2: L'indicateur d'électrification rurale). Cet indicateur, qui est la dernière colonne dans cette partie de "AtlasEner", est le nombre d'abonnés dans la première année de l'électrification.

La section suivante contient l'information nécessaire pour le calcul des besoins en électricité et le coût dans le futur. Deux colonnes contiennent l'information sur le nombre d'habitants des deux derniers recensements dans 1985 et 1996 (voir tableau 2). Basé sur cette information, la croissance historique de la population est calculée dans la colonne suivante. Parce que l'unité que le branchement d'électricité couvre est le ménage, le nombre des ménages est aussi calculé. Quand une étude détaillée du village n'est pas disponible, le modèle utilise la valeur 6,2 personne/ménage, qui est la taille d'un ménage moyen dans le recensement 1996.

Tableau 2: Information démographique							
	Population 1985	Population 1996	Nombre de ménages 1996	Croissance historique du population	Croissance a l'avenir population	Taux croissance d'électricité histoir	Taux croissance d'électricité l'avenir
Tenkodogo	2331	31466	5075	26.7%		14.2%	10.0%
Zabré	5236	11836	2242	7.7%	4.8%		
Zoaga	2783	2917	470	0.4%	1.1%		
Zonse	1062	705	114	-3.7%	0.0%		
Koudougou	51926	72490	11692	3.1%		-1.6%	0.0%

Pour les villages à électrifier, la croissance future de la population est calculée comme le taux moyen pour les villages à électrifier au total (1,86%) et le taux pour chaque ville/village. Pour ne pas obtenir un taux de croissance de la population disproportionné à l'avenir, le taux de croissance maximum a été fixé à 10% par an. Quand la croissance future de la population est négative, le taux de croissance futur est supposé être 0%.

Pour les villes/villages qui déjà sont électrifiés, le taux historique de la croissance de la consommation en électricité est utilisé pour prévoir la demande. Quand l'utilisateur a écrit cette information pour la période de 1986 à l'année de référence dans les colonnes tout à droite dans cette feuille, la croissance historique est calculée dans les deux colonnes suivantes. La croissance maximale/minimale possible est aussi ici 10%/0% (voir tableau 2).

Tableau 3: Information du raccordement							
	Taux raccordement des abonnés (%)			Puissance maximale moyenne (kW/men)		DUPP (heures)	
	an 1	an 10	an 20	an 1	an 6	an 1	an 10
Normale	12.0%	25.0%	40.0%	0.400	0.280	2400	3154
Solaire	12.0%	25.0%	40.0%	0.040	0.040	1460	1460

La section suivante (3 colonnes, voir tableau 3) contient l'information sur la croissance des abonnées dans les villages raccordés. Il s'agit du pourcentage des habitants dans les villages qui désirent être raccordées dans le premier an d'électrification (an 1), 10 années après (an 10) et 20 années après l'électrification. Dans les années intermédiaires le modèle fait une interpolation

linéaire. Ce futur taux de raccordement est une donnée essentielle. En même temps c'est une donnée qui peut créer de la confusion, parce qu'il faut préciser quelle est la base de ce taux. La base est la population dans la ville (pas seulement le centre) du recensement dans 1996. Avant de multiplier avec le raccordement, le modèle calcule la population dans an 1, an 10 et an 20 par une multiplication de la croissance annuelle de la population estimée pour l'avenir dans la section précédente de cette feuille. Le nombre de fois que le modèle fait cette multiplication pour calculer la population dans an 1 est la différence entre l'année écrit pour la ville/village dans la colonne "début" et l'année de référence. Cette multiplication est faite encore 10 fois pour an 10 etc. Quand on voit les valeurs de raccordement ils peuvent sembler petites mais il ne faut pas oublier qu'un grand pourcentage du centre à électrifier normalement est un petit pourcentage de tout le village.

Comme les trois valeurs de raccordement et tous les autres paramètres clé, l'utilisateur peut changer cette valeur dans la feuille "Hypothèses".

Pour le calcul de la capacité en MW nécessaire dans le village, la section suivante contient l'information sur la puissance maximale et la Durée d'Utilisation à la Période de pointe (DUPP). Lorsqu'une ville commence à être électrifiée, on suppose, en faisant les calculs, que tous les ménages raccordées ont, pendant la première année (an 1), la même demande de pointe. Parce que les ménages qui raccordent le plus vite sont souvent les plus riches, leur demande est souvent plus élevée que les ménages qui raccordent plus tard. C'est pourquoi il y a aussi une demande de pointe dans la sixième année (an 6). Dans les années intermédiaires le modèle fait

une interpolation linéaire. Après la sixième année la demande de pointe ne change pas.

Pour calculer la demande annuelle de consommation en électricité pour un ménage, le modèle multiplie la puissance maximale par la DUPP. Parce que la consommation normalement croît, le modèle opère avec deux valeurs de DUPP : une pour la première année et une pour la dixième année. Aussi pour ce paramètre, le modèle fait une interpolation linéaire pour les années intermédiaires.

Pour faciliter le travail pour l'utilisateur, le modèle écrit normalement pour tous les villages toutes les informations de raccordement, puissance maximale, DUPP, et aussi les informations des réseaux dans la section suivante. Le macro "Calculez consommation" cherche ces données dans la feuille "Hypothèses" et écrit les valeurs ici. Quand l'utilisateur désire utiliser des valeurs spéciales dans ces secteurs, il est par conséquent nécessaire d'empêcher le modèle de l'écrire ici. A cette fin, on peut écrire "Spécial" pour une ville/village diesel ou comme le mot après le "/" pour une ville/village réseaux dans la colonne "réseau/connecté à" mentionné dans une section au-dessus.

Les huit colonnes dans la section suivante contiennent les informations sur les paramètres qui déterminent le coût d'investissement du réseau et du kit solaire (voire tableau 4) :

Tableau 4: Informations qui déterminent le coût d'investissement dans le réseau							
Type de village	Ligne MT (MCFA/km)	Transform. Fixe (MCFA)	Transform. Var. (MCFA/MW)	Distance BT/ménage (km)	Coût ligne BT (MCFA/km)	Coût par branchement (MCFA)	Cout de kit solaire 2000-2007 2007-2016 (MCFA)/kW
diesel	0.0	0.0	180.0	0.040	6.4	0.050	
reseau solaire	11.4	8.1	180.0	0.040	6.4	0.050	8.1 6.5

Le coût d'investissement (MCFA/km) de la ligne HT (la distance HT est mentionnée dans une section ci-dessus).

Les coûts d'investissement fixe (MCFA) et variable (MCFA/MW) pour transformateurs et interrupteurs. Ces deux variables sont utilisées pour les villages connectés à un réseau mais pour les villages avec un diesel seulement le coût variable est utilisé.

Distance de réseau BT par ménage (km).

Coût d'investissement de ligne BT (MCFA/km).

Coût d'investissement (MCFA) pour un branchement à une maison.

Coût d'investissement (MCFA/kW) pour un kit solaire dans de la période de l'année de référence à l'année intermédiaire. (calculé comme la moyenne du coût dans ces deux années)

Coût d'investissement (MCFA/kW) pour un kit solaire dans la période de l'année intermédiaire à l'année de clôture. (calculé comme la moyenne du coût dans ces deux années)

Maintenant le modèle a reçu assez d'informations pour calculer tous les investissements. Le macro "Calculez consommation" écrit le résultat dans la section suivante (2 colonnes, voir tableau 5) :

Tableau 5: Investissement totaux du réseau et électricité vendue						
	Invest.acc. avant 2007 (MCFA)	Invest. avant 2016 (MCFA)	1986 GWh Electricité vendue aux consommateurs	1987 GWh	2016 GWh
Ouagadougou	20123	62600	69.807	71.486	786.941
Orodara	505	1697		0.038	3.213

La première colonne reporte la somme de tous les investissements dans la période de l'année de référence à l'année intermédiaire. La seconde colonne reporte la somme de tous les investissements dans la période de l'année de référence à l'année de clôture. Ces deux résultats sont ensuite transférés à la feuille "Approvision" où ils sont utilisés pour calculer les coûts annuels des investissements dans les années de référence et de clôture. Ces calculs sont faits comme une annuité avec une durée de rentabilité et deux taux d'actualisation différents : un pour les investissements dans les centrales de production connectée aux réseaux de Ouagadougou et Bobo-Dioulasso (et les grandes lignes des interconnections aux pays extérieurs) et un autre taux actualisation plus bas pour les investissements ruraux (voire la feuille "Hypothèses").

La dernière section dans la feuille "AtlasEner" contient des séries du temps d'électricité annuel vendu (en GWh) aux consommateurs pour chaque ville/village (voire tableau 5). La première année est 1986 (la première année dans les statistiques de la SONABEL). Les valeurs jusqu'à (et incluant) l'année de référence sont procurées par l'utilisateur. L'électricité vendue pour les villes/villages ayant un système d'électricité existant dans les années suivantes jusqu'à l'année de clôture est calculée par le modèle sur la base des taux de croissance mentionnés dans une section ci-dessus. Quand l'utilisateur actualise l'année de référence, n'oubliez pas d'écrire les nouvelles valeurs de statistique, et aussi d'ajouter les mêmes nombres dans les colonnes après la colonne de clôture parce que l'année de clôture a augmenté avec le même nombre d'années que l'année de référence.

Pour les autres villes/villages où le modèle a créé un système d'électricité il fait tous ces calculs.

Etape 2 : Décider l'approvisionnement en électricité

Quand l'utilisateur presse le bouton-poussoirs dans la feuille "Approvision" : "Calculez consommation" le modèle premièrement exécute toutes les démarches décrites dans l'étape 1. A la suite, il commence à trouver toutes les villes/villages approvisionnés par un central diesel, c'est-à-dire les cas où l'utilisateur a écrit "diesel" dans la colonne "type" dans la feuille "AtlasEner". Le modèle se rappelle de tous les noms de ces villes/villages.

Le modèle trouve également tous les villes/villages approvisionnés par un auto producteur (avec "auto" dans la même colonne) et ceux qui sont connectés avec une interconnexion directe à un réseau provenant d'un autre pays (avec "interconnexion" dans la même colonne).

Dans le futur on peut prévoir la création de multiples petites réseaux dans le Burkina Faso où le centrale d'un village approvisionne les villages voisins en électricité. Le modèle est construit de telle façon que cette situation peut être traitée. Pour chaque ville/village nommé "diesel", "auto" ou "interconnexion", le modèle examine toutes les villes/village pour trouver des villages "réseau" qui sont connectés avec cette ville/village par un central d'électricité (ou interconnexion). Le modèle additionne les séries du temps pour la consommation d'électricité (MW et GWh)

et les coûts d'investissement dans les villes/villages dans chaque réseau qu'il trouve.

La feuille "Approvision" est aussi construite comme une liste des villes/villages, mais seulement ceux qui peuvent assurer l'approvisionnement en électricité, c'est-à-dire les villes/villages "diesel", "auto" et "interconnexion".

La feuille commence par une ligne reportant les sommes totaux pour le réseau Ouagadougou, le réseau Bobo-Dioulasso et de tous les villages/villes isolés.

En dessous il y a une section pour le réseau Ouagadougou (le CRCO). Cette section contient une ligne pour chaque unité qui produit électricité dans le CRCO : la potentielle connexion à Bobo-Dioulasso, la potentielle connexion à Ghana, les centrales Ouaga I, Ouaga II et Kossodo avec tous leurs diesels (existants et futurs). Enfin les diesels de Koudougou qui aussi font partie du CRCO.

Quand l'utilisateur écrit une année de mise en service dans la ligne « Interconnexion Bobo» les résultats dans la feuille « Approvision » change parce que le macro écrit zéro dans la ligne « Bobo réseau (dem) » pour le demande en électricité (en GWh et MW) et l'investissement dans le réseau après cette année. Le macro augmente les mêmes valeurs dans la ligne « Ouaga réseau (dem) ».

En dessous du CRCO se trouve une section avec le réseau de Bobo-Dioulasso. Elle contient la nouvelle interconnexion avec Côte d'Ivoire, les stations hydrauliques Niofila et Tourni, les

centrales Bobo I, Bobo II, Banfora et Orodara, et enfin les auto producteurs (comme SOSUCO) qui livrent électricité à ce réseau.

Au-dessous suit la section qui contient tous les systèmes isolés. Elle commence par deux lignes reportant les sommes pour tous ces systèmes. Ensuite il y a une liste des villages avec une interconnexion directe à un réseau provenant de l'autre côté d'une frontière. Après suit la très longue liste de toutes les centrales isolées.

Pour chaque centrale isolée qui existe, l'utilisateur a inséré une ligne reportant information sur la grandeur (en MW) et l'année de mise en service des diesels dans la centrale.

Dans la ligne au fond (nommé "Solaire(dem)"), le modèle écrit les sommes (MWs, GWhs, et coûts) pour les kits solaires dans tous les villages "solaire", que le modèle a trouvé dans la feuille "AtlasEner"

La prochaine tâche pour le modèle est de vérifier si les villes/villages "diesel" (et "auto" et "interconnexion") existent dans la feuille "Approvision". Il compare tous les noms de ces villes/villages trouvés dans "AtlasEner" avec les noms de tous les centrales dans la feuille "Approvision". Quand le modèle identifie une ville/village dans "Approvision" qui n'existe pas dans la feuille "AtlasEner", il supprime les lignes appartenant à cette ville. Quand un ville/village manque dans "Approvision" mais existe dans la feuille "AtlasEner" le modèle crée quatre lignes pour cette ville/village dans la feuille "Approvision".

La description des capacités (en MW) installées dans une ville/village peut être fait sur deux niveaux de détail. *Le niveau le plus détaillé* est indiqué au tableau 6 reportant l'information sur la ville Gaoua. Dans ce cas, l'information est fournie pour chaque diesel dans le central. Le tableau montre que trois diesels (0.070 MW, 0.070 MW et 0.220 MW) étaient encore en exercice dans l'année de référence (ici 1998) avec la durée de vie de 15 années. L'utilisateur a aussi inséré une ligne indiquant un diesel avec une capacité de 0.750 MW, qui commencera à produire de l'électricité en 2008. Dans la colonne "Réinvestissement" l'utilisateur a écrit la grandeur du diesel qui remplacera les vieux diesels à la fin de leur durée de vie. Pour chacune des années (référence, intermédiaire et clôture) il faut écrire les grandeurs (en MW) des diesels qui remplaceront les diesels actuels à la fin de leurs vies prévues.

	Puissance exploitable MW	Année de mise en service	Durée de vie	Réinvestissement MW	Partie de puissance utilisée			Pertes	Production d'électricité GWh			
					1998 2007 2016				1998 2007 2016			
					0.46	0.90	0.93		15.4%	1.64	3.87	9.12
<i>Gaoua (dem)</i>										1.64	3.87	9.12
<i>Gaoua (prod)</i>										1.64	3.87	9.12
Mercedes OM 355	0.070	1983	15	0.165	1400	3350	3050		0.05	0.50	0.47	
Mercedes OM 355	0.070	1983	15	0.400	5000	3400	5000		0.92	1.22	1.87	
MWM TBD 234 V08	0.220	1991	15	0.400	6623	6000	6000		0.67	2.15	2.24	
Nouveau	0.750	2008	15		0		6500		0.00	0.00	4.55	

La production d'électricité est calculée pour chaque diesel pour les trois années par une multiplication de la capacité (en MW) avec le nombre d'heures en fonctionnement (il y a 8.760 heures dans une année). Parce que un moteur diesel ne marche pas en sa capacité maximale tout le temps, le modèle multiplie également avec la partie de la puissance utilisée en moyenne (0.46 pour 1998). A partir de ces informations, la production d'électricité est calculée

pour chaque diesel et additionnée dans la ligne "Gaoua (prod)". Il faut que cette production soit la même que la demande d'électricité dans la ligne "Gaoua (dem)". Ces valeurs des demandes sont calculées par le modèle par addition de la consommation totale de la ville et les réseaux connectés calculés dans la feuille "AtlasEner" y compris la perte dans la ligne (15.4% pour Gaoua). La valeur de la perte provenant des statistiques SONABEL est à inclure par l'utilisateur. Il est très important que l'utilisateur écrit "(dem)" juste après le nom de la ville parce que c'est sur cette base le macro trouve la ligne correcte pour écrire la demande.

	Puissance exploitable MW	Année de mise en service	Durée de vie	Réinvestissement MW	Partie de puissance utilisée			Pertes	Production d'électricité GWh
					1998	2007	2016		
Zabré (dem)								10.0%	0.00 0.54 1.58
Zabré (prod)									0.00 0.54 1.58
Série de diesels		2004	5	aut	1.00	1.00	1.00		0.00 0.54 1.58
					2494	3154			0.00 0.00 0.00

Le niveau moins détaillé (marqué avec le "aut" dans la colonne "Réinvestissement") est indiqué au tableau 7 reportant l'information sur la ville de Zabré. C'est le tableau normal, que le modèle crée pour un nouveau centre qui est électrifié. Dans ce tableau, il y a seulement une ligne reportant l'information sur les diesels. Le modèle a copié l'année (2004) en quelle la ville (dans cet exemple) sera électrifiée dans la colonne "Année de mise en service". Avec l'information dans la colonne prochaine que la durée de vie est 5 années (cette valeur peut être changée dans la feuille "Hypothèse"), le modèle construit toutes les cinq années un nouveau diesel ayant une capacité qui peut satisfaire la demande en électricité 5 années plus tard. Pour faire les calculs plus simples la valeur de puissance utilisée est 1.00, c'est à dire que le nombre

d'heures de fonctionnement est équivalent au nombre d'heures utilisant 100% de la capacité.

Quand l'utilisateur possède plus d'information sur les diesels de la ville, et ne désire pas que le modèle automatiquement écrit la puissance et les heures de fonctionnement, il peut supprimer la ligne avec le mot "aut" et écrire ces informations dans la ligne dessous ou - en cas de plusieurs diesels- insérer des copies de cette ligne au-dessus de cette ligne. Dans cette manière on retourne au niveau le plus détaillé comme indiqué au tableau 6.

Tableau 8: Le consommation des combustibles et développement des capacités								
rendement	Zabré (dem)	Consommation de combustible			Parties		
		TJ			Fuel	DDO	MW	MW
		0.00	6.44	18.94			0.00	0.50
Zabré (prod)		0.00	0.00	0.00			0.00	0.50
Serie de diesels	0.30	0.00	6.44	18.94	1.00	0.00	0.00	0.50
	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

Quand on continue vers la droite dans la feuille "Approvision" on rencontre les colonnes indiquées au tableau 8. Avec le rendement des diesels (30%) et la production d'électricité indiquée au tableau 7, la consommation des combustibles est calculée. Pour Zabré, le développement des capacités installées générées par le modèle ne montre pas seulement les résultats pour les trois années mais pour toutes les années dans la période de l'année référence à l'année de clôture. Le macro "Assez de capacité?" vérifie pour tous les villages et toutes les années que la capacité installée est plus grande que la capacité maximale demandé (la ligne au-dessous).

Tableau 9: Coût des investissement et pour le maintenance								
Invest. par MW MCFA/MW	Reinvest. par MW MCFA/MW	2007 2016		2007 2016		Coût O&M		1998 2007 2016
		Investissement MCFA	Annuité de l'invest. MCFA/an	Fixe kCFA/kW	Variable kCFA/kWh		Coûts totaux O&M Million CFA	
376	289	169 81	491 145	13.6 18.7	39.4 33.4	0.025	3.4 0.0	9.8 39.5

Tableau 9 montre dans les deux premières colonnes que l'investissement par MW dans la première année d'électrification est inférieur au coût de réinvestissement. Le modèle calcule ces valeurs basées sur les informations dans un tableau dans la feuille "Hypothèse" où le coût d'investissement est divisé dans le coût pour le moteur (utilisé pour investissement) et le coût pour autres (comme le bâtiment utilisé pour réinvestissement). Dans la première ligne le modèle a écrit l'investissement dans les réseaux jusqu'à l'année intermédiaire et clôture calculée comme mentionnée ci-dessous. En-bas dans le tableau, les informations sur le centrale sont reportées. L'investissement est calculé par une multiplication de l'investissement/réinvestissement avec les capacités ces deux années. Les annuités de ces investissements sont calculées avec le taux d'actualisation pour la zone rurale et les durées de vie dans la feuille "Hypothèse". Le coût total O&M (Fonctionnement et Maintenance) est dans la première ligne pour le réseau futur calculé comme un pourcentage de l'investissement (écrit dans la feuille "Hypothèse") et pour le réseau existant par une multiplication de une valeur de kCFA/kWh (>0) écrit dans l'espace vide dans tableau 9 et la consommation d'électricité. Finalement les coûts totaux de O&M sont calculés. Dans le cas de Zabré dans tableau 9, le coût dans l'année de référence est zéro parce que l'utilisateur a supposé que l'année de mise en service pour le centrale dans Zabré sera 2004.

Tableau 10: Coûts totaux et émissions de CO2									
	1998	2007	2016	1998	2007	2016	1998	2007	2016
	Coûts combustible Million CFA			Coûts totaux Million CFA			Emissions de CO2 1000 tonnes/années		
Zabré (dem)				17.0	49.2				
Zabré (prod)	0.0	34.8	102.3	0.0	66.9	175.2	0.0	0.5	1.4
Série de diesels	0.0	34.8	102.3				0.0	0.5	1.4
	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	0.0

Dans les dernières colonnes dans la feuille "Approvision", indiquées au tableau 10, les coûts des combustibles (seulement consommation des combustibles dans la ligne (prod)) sont calculés par une multiplication des consommations des combustibles (DDO et fuel) selon la répartition de la consommation des deux combustibles) au tableau 8 avec les prix pour ces deux combustibles dans la feuille « PrixCombustible ». Les émissions de CO₂ sont calculées par une multiplication des mêmes consommations des combustibles avec les facteurs d'émissions de CO₂ dans la feuille »FactEmission ».

Etape 3 : Contrôler les hypothèses techniques et économiques

Comme mentionné dans l'introduction il y a encore trois feuilles dans le classeur EXCEL qui renferme le modèle:

- **PrixCombustible**
- **FactEmission**
- **Hypothèses**

Ces feuilles sont décrites ci-dessous :

Dans **la feuille «PrixCombustible»** on trouve les prix que le modèle utilise dans les calculs. Les valeurs datent des arrêtés du Ministère du Commerce, de l'Industrie et de l'Artisanat. Ces valeurs en CFA/litre sont converties en CFA/GJ par le facteur de conversion (GJ/litre) dans tableau 11. Dans l'exemple montré dans le tableau 11, l'utilisateur a utilisé les données de 2000 pour 2007, et aussi supposé que les prix fixés n'augmentent avant 2017. Les prix sont sans taxes, droits et subventions.

Tableau 11: Les prix pour les combustibles										
	1998	2007	2016	1998	2007	2016	1998	2007	2016	GJ/litre
	CAF + transport CFA/GJ	Prix énergétique CAF CFA/GJ	Coûts de transport CFA/GJ							
Fuel oil	4366	4426	4426	1889	2018	2018	2477	2408	2408	0.040
DDO	4716	5400	5400	2078	2879	2879	2638	2521	2521	0.037

Les prix se composent de deux composantes : le prix énergétique CAF (le prix rendu dépôts côtiers) et les coûts de transport (charges dépôts côtiers + transport et transit + frais et marges importateurs & distributeurs).

Dans le futur il sera possible d'introduire autres combustibles dans le modèle.

La feuille «FactEmission» contient uniquement les facteurs d'émission de CO₂ pour fuel oil et DDO (voir tableau 12).

Tableau 12: Facteurs d'émission	
Facteurs d'émission de CO ₂	
	KgCO2/GJ
Fuel	77.4
DDO	74.1

La source de ces facteurs d'émission est le Guide d'initiation² pour l'inventaire des gaz de serre de I.P.C.C. Dans le futur il sera possible d'introduire d'autres émissions dans le modèle.

Dans *la feuille «Hypothèses»* on trouve toutes les hypothèses pour les paramètres que sont utilisé par le modèle.

Ci-dessous est reportée une copie de tout le contenu de cette feuille avec les valeurs actuelles :

² Ce guide est accessible à: www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gl/french.htm

Information générale		
Année de référence	1998	
Année actuelle	2000	
Année intermédiaire	2007	
Année de clôture	2016	
Durée de rentabilité	20	
Taux actualisation rural:	5.0%	
Taux actualisation Ouaga/Bobo:	10.0%	
Personne par ménage	6.2	
Coût O&M nouveau central diesel isolé	0.025 kCFA/kWh	
Durée de vie pour nouveau petit diesels	5 année	
Pertes des lignes dans nouveau réseau	10%	

Information de raccordement	Diesel & Réseau	Solaire
Raccordement norm. an 1	12%	12%
Raccordement norm. an 10	25%	25%
Raccordement norm. an 20	40%	40%
Puissance max. moyenne an 1, kW	0.400	0.040
Puissance max. moyenne an 6, kW	0.280	0.040
DUPP an 1, heures	2400	1460
DUPP an 10, heures	3154	1460
Distance BT par ménage, km	0.040	

Investissement	MCFA	
Ligne HT/km (225 kV)	112.1	
Ligne MT/km (33 kV)	11.4	
Ligne MT/km (20 kV)	11.4	
Transform.& Interrupt.(ville réseau)	8.1	+180.0 MCFA/MW
Transform. (ville de diesel)	0.0	+180.0 MCFA/MW
Ligne BT/km (0.4 kV)	6.4	

1 Branchement	0.05	
Coût an. O&M de HT	1.0%	d'investissements
Coût an. O&M de nouveau réseaux	2.0%	d'investissements
Coût kit solaire/kW (an référence)	9.0	
Coût kit solaire/kW (an intermédiaire)	7.2	
Coût kit solaire/kW (an clôture)	5.8	
Coût an. O&M de Solaire	8.0%	d'investissements
Solaire Centrale/kW	10.0	

Investissement Central diesel	Capacité MW	MCFA/MW			Rende- ment
		Moteur	Autre	Total	
	0.020	405	250	655	0.30
	0.050	272	200	472	0.30
	0.100	226	150	376	0.30
	0.500	189	100	289	0.30

Prix de vente d'électricité d'autres sources	
Prix de vente de petit interconn. à l'extérieur	55.2 CFA/kWh
Prix de vente de Ghana	36.8 CFA/kWh
Prix de vente de Cote d'Ivoire	35.1 CFA/kWh
Prix de vente de Auto producteurs	100 CFA/kWh

Annexe 1 : Actualiser l'année de référence

Ce n'est pas un petit travail d'actualisez l'année de référence dans le modèle. Il faut que l'utilisateur fasse les tâches suivantes:

- 1) Augmentez l'année de référence avec le numéro d'années supplémentaires désiré. Le model augmente automatiquement l'année actuelle, l'année intermédiaire et l'année de clôture avec la même valeur.
- 2) Dans la feuille "AtlasEner" après la dernière colonne pour chaque année additionnée écrivez l'année au-dessus "GWh".
- 3) Dans la feuille "AtlasEner" écrivez pour les années additionnées pour chaque ville/village le numéro de GWh vendue selon la nouvelle statistique.
- 4) Dans la feuille "Approvision" contrôlez si la grandeur en MW de tous les générateurs pour toutes les villes/villages est correcte.
- 5) Pour les réseaux de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso contrôlez si la production d'électricité est différente de la demande. Dans ce cas changez le partie de puissance utilisée ou le nombre d'heures de fonctionnement pour les diesels dans cette année.
- 6) Actualisez les prix en CFA/litre pour Fuel Oil et DDO dans la feuille "Hypotheses".

7) Dans la feuille "AtlasEner" écrivez le taux croissance d'électricité pour l'avenir pour les villes/villages qui sont maintenant électrifiés dans le l'année de référence ou avant. (Lisez la description portée aux pages 10-11).

Annexe 2 : L'indicateur d'électrification rurale

Dans la feuille "AtlasEner" il y a une section reportant 17 colonnes qui contiennent les informations les plus importantes collectées avec un questionnaire élaboré en 2001. Les informations dans cette section permettent d'établir une liste prioritaire de localités, parmi les villages qui ne sont pas encore électrifiés, et qui pourront faire l'objet d'études plus approfondies. Le moyen de faire cette liste prioritaire est l'indicateur dans la dernière colonne nommé "No. abonné raccordé an 1" construit sur la base des informations socio-économiques dans cette section. Comme le nom l'indique, l'indicateur pour la liste prioritaire des villages retenus pour des études préliminaires est le nombre d'abonnés raccordés les premières années de l'électrification.

Pour expliquer l'indicateur, ci-dessous une liste de toutes les variables dans cette section est présentée. Les valeurs du questionnaire de Korsimoro sont incluses comme exemple du calcul de l'indicateur :

Nombre des fonctionnaires dans les services administratifs, poste et autres structures : 57

Nombre des ménages avec des revenus mensuels > 60000 CFA :
145

Nombre des ménages avec des revenus mensuels 30000 - 60000 CFA :
190

Nombre des batteries et groupes électrogènes dans le centre :
23

Nombre des comptes dans les banques, caisses etc. :
568

La contribution de cette information à l'indicateur est
 $\max(57, 145, 568*0.1, 23*0.75)*0.5 + y * 0.1 = 92$ raccordé
année 1

Pour ne pas compter double le modèle prend la plus grande valeur (indiqué par la fonctionne "max") de quatre de ces variables. Pour accorder une importance similaire à ces variables seulement 10% des comptes et 75% des batteries et groupes électrogènes sont inclus.

La seconde partie de l'indicateur ajoute tous les bâtiments publics :

Nombre infrastructures enseignement :	7
Nombre bâtiments santé humaine et animale :	7
Nombre bâtiment service administratif étatique :	7
Nombre autres structures :	11
Total	32

Le modèle suppose que **24** (75%) de ces 32 sont raccordés année 1.

La troisième partie de l'indicateur ajoute l'augmentation dans le raccordement à cause des activités économiques dans le village. Pour estimer cette augmentation dans le nombre d'abonnées dans l'année 1, le modèle premièrement estime le nombre maximal des ménages privés, qui peuvent être raccordés.

Nombre de ménages dans le centre à électrifier : 580

Pourcentage de ces ménages de construction dur et semi-dur : 70%

Le nombre maximal des ménages privé, qui peuvent raccorder = 70% de 580 = 406. Ce nombre est aussi la plus grande valeur que l'indicateur peut obtenir.

Quand le modèle ci-dessous attribue 1 point % à une activité dans le village ça signifie une augmentation de 1% de 406 = 4.06 raccordée en l'année 1.

Pour le village de Korsimoro, le modèle attribue les points % suivant :

Nombre des soudeurs, moulins et hôtels:	15 * 0.4% =
6.0%	
Nombre autres activités économiques :	73 * 0.2% =
14.6%	
Nombre de Groupements, ONGs etc. :	22 * 0.4% =
8.8%	
Hangars/jour dans un marché :	133 * 0.03% =
4.0%	
Existence d'un réseau d'eau qui marche :	0 * 3.0% =
0.0%	
Total	33.4%

Les activités dans le village augmenteront le raccordement avec 33.4% de 406 = **135** abonnées.

Quelques-unes des activités économiques comme les soudeurs, moulins et hôtels sont estimées comme plus importantes que les autres, c'est pourquoi le poids pour ces activités est 0.4% et 0.2% pour les autres.

Le nombre des hangars/jour est calculé comme la taille du marché (400 hangars) divisé par la fréquence du marché (tous les 3 jours). Quand un réseau d'eau existe l'utilisateur écrit le valeur "1" dans la colonne nommée "Réseau d'eau qui marche" et le modèle augmente la valeur ci-dessus avec 3 points %.

La valeur de l'indicateur pour Korsimoro est $92 + 24 + 135 = \mathbf{251}$ raccordées année 1.

Annexe 3: Description des macros

Le modèle contient deux macros écrit dans Visual Basic qui sont liés aux deux bouton-poussoirs dans la feuille "Approvision" : "Calculez consommation" et "Assez de capacité?". Le premier macro est le plus grand, il consiste en 700 lignes et il est donc trop long de l'inclure ici. Pour cette raison vous trouverez seulement une description courte des macros ci-dessous.

Visual Basic donne la possibilité de lire les données d'une feuille, faire les calculs et écrire les résultats dans la même ou une autre feuille. Quand les macros s'adressent à une cellule dans une feuille ils n'utilisent pas le numéro de colonne et de ligne mais le nom de la cellule. Dans cette façon le macro n'est pas vulnérable au changement de la position de la cellule dans la feuille.

A : Le macro "Calculez consommation"

Ce macro exécute la suivante série des tâches :

- 1) Le macro commence de lire la valeur des paramètres clés dans les feuilles. Par exemple le paramètre "anref" prends la valeur de la cellule avec le nom "anref" – laquelle est définie comme la cellule B2 dans la feuille "Hypothèse" – c'est à dire l'année de référence. Il lit aussi le nom des colonnes et des lignes qu'il utilise.

2) Dans cette section, le macro détermine combien d'éléments les variables contiennent, c'est à dire comment ils sont dimensionnés.

3) Le macro lit les informations dans la feuille "AtlasEner". Il lit les données de la feuille "Hypotheses" et écrit ces informations dans la feuille "AtlasEner" sauf quand l'utilisateur a écrit "spécial" à la fin de la colonne "réseau". Parce ce que le macro utilise les informations dans la feuille "AtlasEner" l'utilisateur peut éviter que le macro supprime l'information il a écrit pour un village.

4) Dans la partie suivante, le programme analyse toutes les villes/villages dans la feuille "AtlasEner", note le type (diesel, réseau, auto, solaire, interconnexion) et basé sur la croissance future de la population (écrit dans la feuille "AtlasEner") pour chaque année à venir calcule le nombre des ménages, le nombre des ménages raccordées, la demande d'électricité en GWh et MW, et les coûts d'investissement.

Pour les villes/villages déjà électrifiés le macro basé sur la croissance future de la consommation en électricité utilisant le raccordement pour année 20 (écrit dans la feuille "AtlasEner") pour chaque année à venir calcule la demande d'électricité en GWh et MW et seulement calcule les investissements pour les ménages raccordés après l'année de référence.

La demande d'électricité pour les nouveaux systèmes est écrite dans la feuille "AtlasEner". Pour les villes/villages avec systèmes existants seulement les demandes d'électricité après l'année de référence sont écrites.

Finalement le macro calcule l'investissement total dans la période allant de l'année de construction jusqu'à l'année intermédiaire, et ensuite l'investissement total dans la période de l'année de construction jusqu'à l'année de clôture. Ces deux valeurs sont écrites dans la feuille "AtlasEner".

5) Dans la partie suivante le macro s'assure que toutes les villes/villages trouvés dans la feuille "AtlasEner" existent dans la feuille "Approvision". Le macro ajoute les villes/villages qui manquent et supprime les villes/villages qui n'existent pas.

6) Le macro fait l'addition de la consommation de l'énergie et les coûts pour toutes les villes/villages qui sont connectés à une ville/village avec un diesel.

7) Les résultats (GWh, MW, coûts) de la feuille "AtlasEner" sont écrits dans les cellules vertes dans la feuille "Approvision" quand le macro trouve une ville/village avec le nom correct.

Pour les centres isolés, le macro corrige "la partie de puissance utilisée" de manière que la production soit la même que la demande.

8) Le macro fait l'addition de la consommation d'électricité, MW et coûts pour tous les villes/villages isolés. Les totales sont écrites dans la ligne "Isolé (prod)" dans la feuille "Approvision".

B. Le macro "Assez de capacité"

Ce macro est très petit et exécute une seule tâche :

Dans la feuille "Approvision" chaque ville/village a une centrale de production d'électricité, modelé en minimum de quatre lignes (ici exemplifié avec la ville de Manga):

Tableau 13: Production et demande d'électricité					
	Puissance Année de exploitable mise en MW service	Production d'électricité GWh			2016
		1998	2007	2016	
<i>Manga (dem)</i>		0.00	0.70	1.46	
<i>Manga (prod)</i>		0.00	0.70	1.46	
diesel1	0.060	1999	0.00	0.07	0.05
diesel2	0.200	1999	0.00	0.39	0.54
diesel3	0.120	2006	0.00	0.23	0.33
diesel4	0.200	2014	0.00	0.00	0.54

Le macro contrôle si la production d'électricité dans les trois années dans la ligne "Manga (prod)" est la même que la demande (la perte est inclue) dans la ligne "Manga (dem)".

Quand il manque de la production, le macro informe l'utilisateur qu'il y a "insuffisante capacité installée dans ligne x et dans année y. en conséquence, l'utilisateur doit augmenter la partie de la puissance utilisée ou le nombre d'heures de fonctionnement pour les diesels dans cette année. Ce problème existe seulement dans les centrales des réseaux de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso. Pour toutes les autres centrales le macro corrige " la partie de puissance utilisée" de manière que la production soit égale à la demande.

INDEX

A

Année actuelle · 6
Année de clôture · 6
année de référence · 12
Année de référence · 6
Année intermédiaire · 6
Approvision · 5, 9, 15, 16,
17, 18, 19, 22, 24, 30, 36,
38, 39
Assez production ? · 5
AtlasEner · 5, 6, 10, 15, 16,
19, 20, 32, 37, 38
aut · 21, 22
Auto · 8
auto producteur · 8, 9, 16

B

Banfora · 18
Bobo-Dioulasso · 4, 15, 17,
18, 40

C

Calculez consommation · 5, 8,
13, 14, 16
CRCO · 4, 17, 18

D

DGE · 4
Diesel · 8
DUPP · 12, 13, 27

F

FactEmission · 5, 24, 25, 26

G

Garango · 9

H

Hypothèse · 21, 23, 36

Hypothèses · 5, 6, 9, 12, 13,
15, 25, 26

I

Interconnexion · 8

K

kit solaire · 13, 14, 28
Korsimoro · 32, 34, 35
Koudougou · 18

N

Niofila · 18

O

Orodara · 18
Ouagadougou · 4, 9, 15, 17,
30, 40
Ouahigouya · 9

P

PNE · 5
PNE-Rural · 4, 5

PrixCombustible · 5, 24, 25

R

Réseau · 8, 9, 35
RPTEs · 9

S

Solaire · 8, 19
SONABEL · 15, 20
SOSUCO · 18

T

Tenkodogo · 9
Tourni · 18

V

Visual Basic · 36

Z

Zabré · 21, 22, 23