



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Division Economie
Section Analyses et perspectives

Perspectives énergétiques 2050

Annexes au résumé

- Annexe 1** **Sensibilités du développement de la production électrique par le photovoltaïque**
- Annexe 2** **Approfondissement de certaines sections du résumé**
- Annexe 3** **Bases des modèles et leurs interfaces**

5 octobre 2013

Annexe 1 :	Sensibilités du développement de la production électrique au moyen du photovoltaïque	1
Annexe 2 :	Approfondissement de certaines sections du résumé	4
1.	Demande finale d'énergie et émissions de CO₂ (complément au chapitre 4 du résumé)	4
1.1	Demande énergétique finale par agents énergétiques	4
1.2	Demande énergétique finale en fonction de l'application.....	5
1.3	Demande énergétique finale d'agents énergétiques renouvelables dans les domaines de la chaleur et de la mobilité	5
1.4	Demande énergétique finale d'agents énergétiques fossiles.....	7
2.	Demande électrique (complément au chapitre 5 du résumé).....	8
2.1	Demande électrique par affectations.....	8
3.	Coûts directs (complément au chapitre 9 du résumé).....	9
3.1	Investissements supplémentaires du secteur Ménages privés dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»	9
3.2	Investissements supplémentaires des secteurs Industrie et Services dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»	10
3.3	Investissements supplémentaires du secteur Transports dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»	11
Annexe 3 :	Bases des modèles et leurs interfaces	12
1.	Remarques préliminaires.....	12
2.	Mise en perspective historique	12
3.	Définitions: scénarios et modèles	13
4.	Descriptions des modèles	14
4.1	Modèles du système énergétique	14
4.1.1	Conception fondamentale des modèles du système énergétique.....	14
4.1.2	Fonctionnement des modèles de système énergétique pour la demande	14
4.1.3	Modèle de système énergétique pour l'offre électrique	15
4.2	Estimation des effets macroéconomiques	16
4.3	Modèles de réseau	17
4.4	Interaction des modèles utilisés	18
5.	Contraintes	18
5.1	Contraintes «si» pour les scénarios	19
5.2	Données socio-économiques cadre	21
5.3	Grilles quantitatives déduites des données-cadre	22
5.3.1	Secteur Ménages privés	22
5.3.2	Secteurs Industrie et Services	23
5.3.3	Transports	26
5.4	Conditions-cadre internationales.....	26
5.4.1	Evolution économique internationale	26
5.4.2	Les prix et leur application dans les modèles	26
6	Eléments bibliographiques.....	28

Annexe 1 : Sensibilités du développement de la production électrique au moyen du photovoltaïque

On a calculé trois sensibilités (analyse de sensibilité) de la production électrique au moyen du photovoltaïque (PV) pour les scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle» (PPA), «Mesures politiques du Conseil fédéral» (PCF) et «Nouvelle politique énergétique» (NPE), de manière à montrer les effets sur la structure de production et les coûts d'un développement rapide du PV. La variante d'offre électrique C&E (production électrique thermique fossile et renouvelable) a fourni la base des calculs.

- Sensibilité 1**
- Le développement effectivement observé est utilisé jusqu'en 2012.
 - Pour la période de 2013 à 2016, on utilise le développement résultant de la mise en œuvre de l'initiative parlementaire 12.400.
 - De 2017 à 2050, la croissance suit une courbe logistique pour atteindre en 2050 la production de la variante C&E du scénario PCF (11,12 TWh, sans changement).
- Sensibilité 2**
- La sensibilité 1 est utilisée jusqu'en 2016.
 - Optimisation des coûts des CCC, du PV et des importations d'électricité. Des alternatives étudient un développement plus lent ou plus rapide du PV. Cette dernière permet de renoncer le plus longtemps possible à la construction de nouvelles centrales à gaz à cycle combiné.
 - On table pour l'essentiel sur une croissance du PV suivant une courbe logistique qui permette une production de 14 TWh en 2050.
- Sensibilité 3**
- La sensibilité 1 est utilisée jusqu'en 2016.
 - A partir de 2016, le développement du PV s'accélère (12 TWh d'ici à 2025, 14 TWh à l'horizon 2035), puis il reste constant. L'objectif de 2050 de la sensibilité 2 est atteint dès 2035, la croissance du PV étant supérieure à celles des autres sensibilités.

Le Tableau A1-1 présente la production d'électricité au moyen d'installations photovoltaïques dans la variante d'offre électrique C&E et les sensibilités 1 à 3 de cette même variante. L'évolution de la sensibilité 1 constitue la base du message sur le premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050. Les actualisations qui découlent de l'initiative parlementaire 12.400 y sont donc prises en compte. Le relèvement des subventions par rapport aux moyens prévus à l'époque de l'élaboration des Perspectives énergétiques 2050 fait plus que doubler la production électrique photovoltaïque à l'horizon 2020. Les sensibilités 2 et 3 augmentent encore la production électrique au moyen du photovoltaïque. Si la sensibilité 1 atteint la production électrique de la variante d'offre C&E en 2050, on table dans les sensibilités 2 et 3 sur une production électrique d'environ 14 TWh la même année. Cette valeur est supérieure d'environ 3 TWh au niveau de production attendu dans la variante de production C&E.

Tableau A1-1 Production électrique photovoltaïque par variantes d'offre électrique, en TWh.

Variante d'offre électrique	2010	2020	2035	2050
C&E	0,08	0,52	4,44	11,12
C&E photovoltaïque, sensibilité 1	0,08	1,26	7,03	11,12
C&E photovoltaïque, sensibilité 2 altern. I	0,08	0,92	10,69	14,04
C&E photovoltaïque, sensibilité 2 altern. II	0,08	0,92	10,69	14,04
C&E photovoltaïque, sensibilité 3	0,08	5,80	14,03	14,04

Variantes: C&E: fossile-centralisée et renouvelable
 E: renouvelable, la lacune d'électricité restante étant comblée par les importations
 CCF: développement autonome jusqu'en 2050 dans toutes les variantes d'offre

Source: Prognos, 2012, 2013

Les différences de cadence dans le développement des installations photovoltaïques se répercutent sur les coûts actualisés du développement (cf. Tableau A1-2).

L'accélération du développement des installations photovoltaïques entraîne un renchérissement du développement, car si les coûts d'investissement de nouvelles installations diminuent continuellement, les coûts de revient sont d'autant plus élevés qu'ils interviennent tôt. Cette situation influence les coûts totaux (cf. Tableau A1-2, coûts des sensibilités, et Tableau A1-1).

Le développement accéléré de la production photovoltaïque impacte diverses positions du bilan électrique (cf. Tableau A1-3). Le Tableau A1-3 offre une comparaison des bilans électriques des variantes d'offre C&E, C&E photovoltaïque, sensibilité 1 et C&E photovoltaïque, sensibilité 3.

Tableau A1-2 Coûts totaux du développement des variantes d'offre, par scénarios, en milliards de francs (valeurs cumulées et actualisées).

Variante d'offre électrique	Coûts en milliards de CHF de 2010 à 2050, valeurs cumulées et actualisées		
	Poursuite de la politique énergétique actuelle	Mesures politiques du Conseil fédéral	Nouvelle politique énergétique
C&E	75,4	65,6	64,2
C&E photovoltaïque, sensibilité 1	75,8	67,4	66,8
C&E photovoltaïque, sensibilité 2, var. I	77,1	69,1	68,4
C&E photovoltaïque, sensibilité 2, var. II	77,0	69,0	68,2
C&E photovoltaïque, sensibilité 3	86,1	78,9	78,0

Variantes: C&E: fossile-centralisée et renouvelable
 E: renouvelable, la lacune d'électricité restante étant comblée par les importations
 CCF: développement autonome jusqu'en 2050 dans toutes les variantes d'offre
 Source: Prognos, 2012, 2013

Le développement renforcé du photovoltaïque a d'une part pour conséquence que la production électrique au moyen de centrales thermiques fossiles (CCC) est inférieure dans les deux variantes de sensibilité que dans la variante C&E. D'autre part, la production électrique supplémentaire d'origine renouvelable (photovoltaïque) génère un excédent de production qu'il faut soit exporter, soit stocker.

Tableau A1-3 Scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», approvisionnement en électricité, année hydrologique des variantes d'offre C&E sans et avec les sensibilités 1 et 3, en TWh_e/a.

	2000	2010	«Mesures du Conseil fédéral»								
			Variante C&E			Variante C&E, sens. 1			Variante C&E, sens. 3		
			2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Force hydraulique	38,38	35,42	41,96	43,02	44,15	41,96	43,02	44,15	41,96	43,02	44,15
Dont nouvelle			5,09	6,48	8,57	5,09	6,48	8,57	5,09	6,48	8,57
Centrales nucléaires	24,73	25,13	21,68			21,68			21,68		
Centrales fossiles	1,79	2,18	3,13	15,21	10,65	3,13	13,69	10,65	3,13	11,8	9,87
Existantes	1,79	2,18	1,48	0,32		1,48	0,32		1,48	0,32	
Nouvelles CCC				11,63	7,20		10,11	7,20		8,22	6,41
Nouveau CCF fossile			1,65	3,26	3,45	1,65	3,26	3,45	1,65	3,26	3,45
Energies renouvelables	0,81	1,38	3,68	11,94	24,22	4,42	14,53	24,22	8,97	21,53	27,14
Dont nouvelles			2,77	11,84	24,22	3,51	14,43	24,22	8,05	21,43	27,14
Production brute moyenne	65,71	64,11	70,45	70,17	79,02	71,19	71,24	79,02	75,74	76,35	81,15
Consommation des pompes d'accumulation	2,22	2,56	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54
Production nette moyenne	63,49	61,55	62,91	62,63	71,48	63,65	63,69	71,48	68,2	68,80	73,61
Importe	18,72	17,24	10,06	2,61	0	10,06	2,61	0,00	10,06	2,61	0
Droits de prélèvement existants	18,72	17,24	10,06	2,61		10,06	2,61		10,06	2,61	
Nouvelles importations											7,2
Exportations	26,07	15,19	8,97	2,26	5,53	9,71	3,34	5,53	14,25	8,45	7,66
Engagements de livraison	2,83	2,26	2,26	2,26		2,26	2,26		2,26	2,26	
Autres exportations	23,24	12,93	6,71	0,00	5,53	7,45	1,08	5,53	11,99	6,19	7,66
Consommation nationale	56,14	63,60	64,00	62,98	65,95	64,00	62,98	65,95	64,01	62,97	65,95

Variantes: C&E: fossile-centralisée et renouvelable avec les sensibilités PV
 CCF: développement autonome jusqu'en 2050 dans toutes les variantes d'offre

Source: Prognos, 2012, 2013

Principaux résultats:

- Le développement accéléré du PV entraîne une augmentation de la production renouvelable et des excédents de la production indigène qui doivent être exportés (Tableau A1-3) ou stockés en sus. Les excédents de production sont les plus élevés dans la sensibilité 3.
- Les coûts totaux actualisés augmentent d'environ 2 milliards de francs pour la sensibilité 1 (Tableau A1-2). D'une part, les coûts de développement des énergies renouvelables (PV) s'accroissent de 4 milliards de francs. D'autre part, ce développement a pour effet de réduire d'environ 1 milliard de francs les moyens investis dans les centrales thermiques fossiles (CCC) et d'environ 1 milliard de francs également ceux alloués au CCF.
- Dans la sensibilité 3, qui prévoit un développement fort et rapide du PV jusqu'en 2025, les coûts totaux nets actualisés croissent de 14 milliards de francs (Tableau A1-2). En contrepartie de ce renchérissement des coûts nets de développement du PV, de 19 milliards de francs par rapport au scénario C&E, on note une diminution des coûts de 4 milliards de francs pour les CCC et de 1 milliard de francs pour le CCF.
- Des installations réglables et une production d'appoint resteront nécessaires en cas de fort développement du PV et revêtiront une grande importance pour garantir l'approvisionnement électrique. La force hydraulique assurera une grande part de la production électrique réglable nécessaire. Cependant, de grandes quantités de production électrique réglable seront nécessaires en particulier au semestre d'hiver (production d'électricité d'origine photovoltaïque réduite). Les centrales à accumulation sont limitées durant le semestre d'hiver en raison de leur capacité de retenue et de l'apport d'eau limité. C'est pourquoi, dès 2029, l'utilisation de CCC ou le recours aux importations sera nécessaire en hiver.
- Le développement renforcé des installations photovoltaïques entraînera dès 2023 en été des excédents de production que les capacités actuelles des centrales à pompage-turbinage ne permettront pas de stocker complètement sur le territoire national. Il manque surtout des capacités de stockage saisonnières (transfert de la production estivale vers la période hivernale).
- Les possibilités d'exporter les excédents de production photovoltaïque sont limitées, car les pays environnants connaissent eux aussi des excédents de production (photovoltaïque) en été.
- Il n'est pas possible de construire les installations photovoltaïques en bloc en une année. Pour remplacer la production d'une centrale nucléaire (CN) par des installations photovoltaïques, il faut (arithmétiquement) dix fois la puissance d'une telle centrale. Ce développement dure plusieurs années. Des surcapacités existeront durant les années précédant la mise hors service des centrales nucléaires.
- Le développement renforcé du photovoltaïque a pour effet que le développement du réseau doit être accéléré et commencé plus tôt. Le développement renforcé du photovoltaïque n'a pas d'effet ou n'a tout au plus que des effets minimes sur les coûts totaux non actualisés du développement du réseau.

Annexe 2 : Approfondissement de certaines sections du résumé

1. Demande finale d'énergie et émissions de CO₂ (complément au chapitre 4 du résumé)

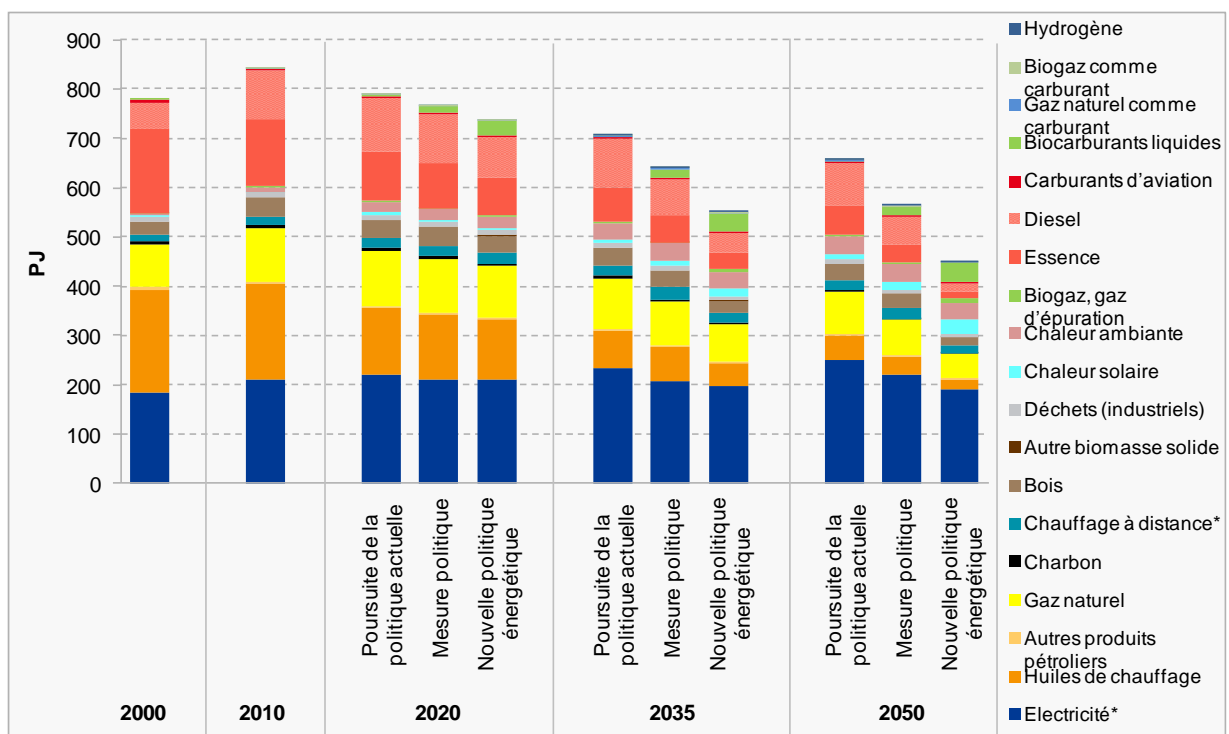
La consommation énergétique totale et par secteurs est présentée au chapitre 4 du résumé. Dans les sections suivantes, la consommation finale d'énergie est ventilée en fonction

- des agents énergétiques,
- de l'application,
- des agents énergétiques renouvelables (chaleur et mobilité) et
- des agents énergétiques fossiles.

1.1 Demande énergétique finale par agents énergétiques

Dans les trois scénarios, on observe au fil du temps un transfert de la demande énergétique finale des combustibles fossiles aux agents énergétiques renouvelables et un transfert des carburants fossiles vers l'électricité (cf. Graphique A2-1). Toutefois, ces tendances sont plus ou moins marquées selon le scénario. Dans le scénario «Mesures politique du Conseil fédéral», le programme Bâtiment induit une augmentation des assainissements énergétiques et une substitution des agents énergétiques fossiles. Le recul de la consommation de ces agents énergétiques y est plus important jusqu'en 2050 que dans le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle». Dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», les mesures prévues pour les transports entraînent une baisse de la consommation de carburants fossiles. Cette évolution est surtout due aux prescriptions en matière de consommation, qui favorisent les moteurs plus efficaces. En outre, l'accélération de la pénétration des véhicules électriques induit une diminution de la consommation des carburants fossiles. L'objectif fixé dans le scénario «Nouvelle politique énergétique» entraîne pour tous les agents énergétiques fossiles une diminution nettement plus forte que dans la variante de politique «Poursuite de la politique énergétique actuelle». En outre, malgré l'«électrification» du trafic, une stabilisation de la demande électrique globale est possible dans le scénario «Nouvelle politique énergétique».

Graphique A2-1 Demande finale d'énergie¹⁾ par agents énergétiques, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», en PJ.



1) Sans le trafic aérien international, sans différence statistique
* Production propre et prélèvement auprès de tiers

Source: Prognos, 2012

1.2 Demande énergétique finale en fonction de l'application

La demande énergétique en fonction de l'application présente l'évolution de la demande selon les utilisations importantes. La comparaison des valeurs absolues en 2050 indique d'une part le degré d'intervention découlant des mesures proposées par le Conseil fédéral dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral». D'autre part, une telle comparaison est nécessaire pour atteindre les objectifs du scénario «Nouvelle politique énergétique» (cf. Tableau A2-1).

Tableau A2-1 Demande finale d'énergie¹⁾ en fonction de l'application, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», en PJ.

Application	2000	2010	2020			2035			2050		
			PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE
Chauffage	271	302	261	256	250	215	193	165	175	141	108
Eau chaude	45	46	48	48	45	48	46	42	48	46	39
Chaleur de processus	92	99	96	94	89	85	80	68	76	70	56
Eclairage	25	27	24	23	21	23	20	15	23	18	11
Climatisation, ventilation et technique du bâtiment	19	22	28	26	24	37	33	27	51	44	38
I&C, médias de divertissement	8	10	11	10	10	12	10	9	13	11	8
Processus et systèmes d'entraînement	67	74	75	71	74	76	67	64	80	68	59
Mobilité en Suisse	239	250	230	224	207	194	174	143	177	150	116
Autres	11	13	15	14	14	16	16	15	17	17	16
Total de la consommation énergétique finale	777	841	788	767	734	706	639	549	658	565	451

1) Sans le trafic aérien international, sans différence statistique

Source: Prognos, 2012

PPA: «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»

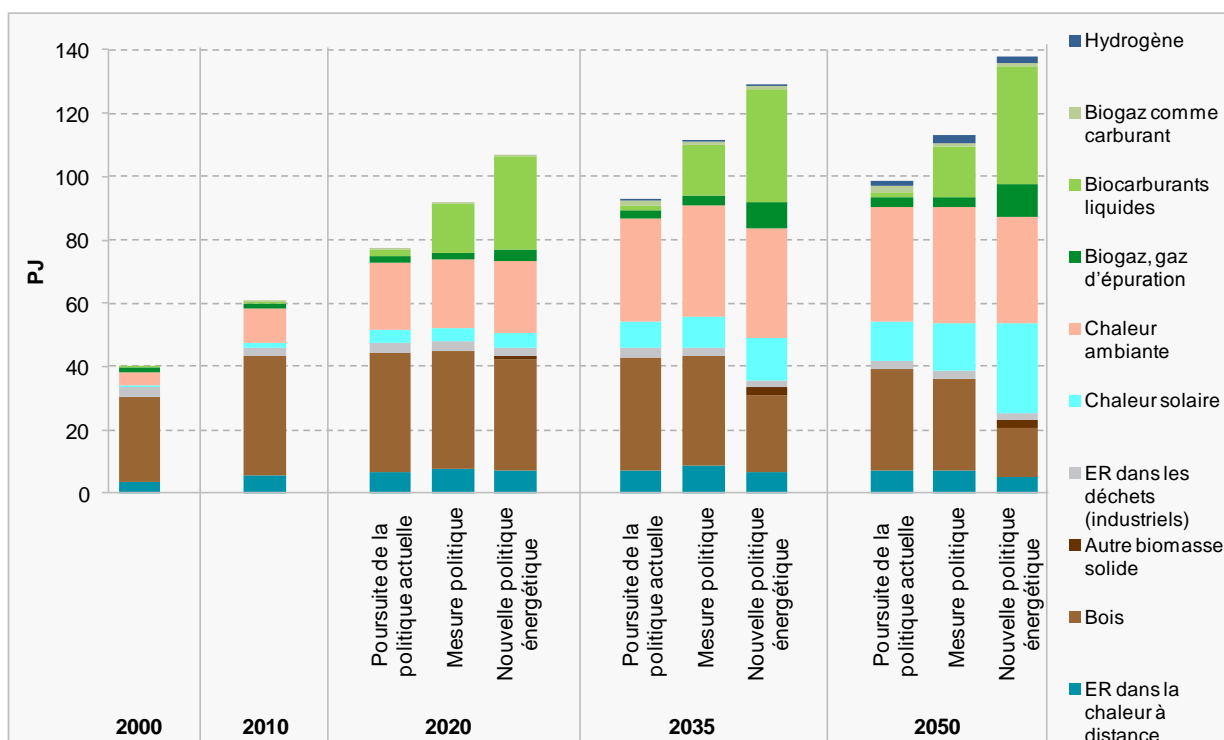
NPE: «Nouvelle politique énergétique»

En comparant l'évolution de la demande entre 2000 et 2050, on constate une baisse de la consommation dans les affectations pour le domaine du bâtiment, mais aussi et surtout dans les utilisations importantes pour les secteurs de l'industrie et des services (chaleur de processus). Le secteur des transports consomme lui aussi nettement moins d'énergie (affectation «Mobilité en Suisse») grâce aux prescriptions relatives à la consommation, qui ont pour effet de substituer le diesel à l'essence, et grâce à l'utilisation de l'électricité dans les transports privés, qui réduit la consommation en raison de son bon degré d'efficacité. En revanche, l'évolution démographique entraîne dans les trois scénarios une augmentation des quantités produites par l'économie, le réchauffement climatique implique une augmentation de la demande énergétique de la catégorie «climatisation, ventilation et technique du bâtiment».

1.3 Demande énergétique finale d'agents énergétiques renouvelables dans les domaines de la chaleur et de la mobilité

La demande énergétique finale d'agents énergétiques renouvelables dans les domaines de la chaleur et de la mobilité augmente sensiblement dans les trois variantes de politique par rapport aux années de base 2000 et 2010 (cf. Graphique A2-2). Le recours aux agents énergétiques renouvelables dans les secteurs de la transformation et des centrales est compris dans la rubrique parc de centrales / production électrique.

Graphique A2-2 Demande énergétique finale¹⁾ d'agents énergétiques renouvelables, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», en PJ.



1) Sans le trafic aérien international, sans différence statistique

Source: Prognos, 2012

La chaleur ambiante et la chaleur solaire, dont la part est de juste 50% de la demande énergétique renouvelable en 2050 dans les trois scénarios, présentent la croissance la plus forte (cf. Tableau A2-2).

Tableau A2-2 Demande énergétique finale¹⁾ d'agents énergétiques renouvelables, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», en PJ.

Agent énergétique	2000	2010	2020			2035			2050		
			PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE
ER dans la chaleur à distance	3,5	5,8	6,8	7,4	6,9	7,3	8,5	6,8	6,9	7,1	5,0
Bois	27,1	37,4	37,8	37,6	35,3	35,8	34,8	24,2	32,2	29,2	15,6
Autre biomasse solide	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	2,7
ER dans les déchets (industriels)	2,6	3,0	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8	2,3	2,4	2,4	1,8
Chaleur solaire	0,6	1,4	3,9	4,0	4,7	8,2	9,8	13,5	12,8	14,8	28,5
Chaleur ambiante	4,3	10,8	21,4	21,7	22,5	32,5	35,3	34,4	36,1	37,2	33,5
Biogaz, gaz d'épuration	1,4	1,5	2,0	2,0	3,8	2,7	2,6	8,4	3,3	3,1	10,3
Biocarburants liquides	0,1	0,4	2,2	15,7	29,3	1,7	16,2	36,0	1,4	15,7	37,2
Biogaz comme carburant	0,0	0,1	0,4	0,4	0,3	1,4	1,1	0,8	1,9	1,2	0,9
Hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	1,8	2,5	2,3
Total	40	60	78	92	107	92	111	129	99	113	138

1) Sans le trafic aérien international, sans différence statistique

Source: Prognos, 2012

PPA: «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»

NPE: «Nouvelle politique énergétique»

L'utilisation de la chaleur ambiante (pompes à chaleur) sera en 2050 le principal agent énergétique pour la production de chaleur. Dans le scénario «Nouvelle politique énergétique», la demande de bois et de chaleur à distance diminue par rapport à l'année de base 2000, car les rénovations énergétiques effectuées dans le parc de bâtiments y accentuent encore la réduction globale de la demande d'énergie aux fins de chauffage.

Dans le scénario «Nouvelle politique énergétique», le biodiesel et d'autres carburants biogènes (de deuxième ou troisième génération) remplacent les carburants fossiles, en particulier pour les transports motorisés des marchandises. Cette évolution contribue à réduire la demande de carburants fossiles. En l'occurrence, il faut toutefois considérer les limites de disponibilité des agents énergétiques biogènes durables.

1.4 Demande énergétique finale d'agents énergétiques fossiles

La demande énergétique finale d'agents énergétiques fossiles régresse nettement dans les trois scénarios par rapport aux années de base 2000 et 2010 (Tableau A2-3). Dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», la baisse de la demande est d'environ 60 % en 2050 par rapport à 2010. De même, dans le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle», la demande est en 2050 d'environ 45 % inférieure à sa valeur de 2010. Quant au scénario «Nouvelle politique énergétique», la demande y diminue de près de 80 % entre 2010 et 2050. La demande de combustible (mazout, gaz), mais aussi celle de carburants (essence, diesel) reculent sensiblement. Les mesures et instruments déploient leurs effets sur la demande dans le domaine du bâtiment, outre l'impact des prescriptions en matière de CO₂ et l'influence de l'électrification du trafic des voyageurs.

Tableau A2-3 Demande énergétique finale¹⁾ de combustibles et de carburants fossiles, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», en PJ.

Agent énergétique	2000	2010	2020			2035			2050		
			PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE
Huiles de chauffage	212,8	198,2	137,8	135,4	126,8	81,2	71,0	49,5	53,0	41,6	22,5
Gaz naturel	87,0	108,2	111,3	107,4	104,0	103,2	88,2	76,0	87,7	70,0	50,9
Charbon	5,8	6,4	5,9	5,9	4,9	4,2	4,2	1,7	2,9	2,9	0,0
Chaleur à distance	9,7	11,4	13,4	14,6	13,5	14,2	16,6	13,4	13,5	13,9	9,9
Déchets industriels	7,8	7,1	7,4	7,3	7,0	6,6	6,6	5,6	5,8	5,7	4,3
Essence	169,3	135,2	101,6	92,4	77,0	70,5	55,5	31,7	57,0	38,7	12,8
Diesel	55,9	98,8	107,5	96,8	79,9	96,8	72,9	39,9	86,0	56,0	17,3
Carburants d'aviation (seulement en Suisse)	4,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,0
Gaz naturel comme carburant	0,0	0,2	0,5	0,4	0,5	1,5	1,1	1,1	1,7	1,1	1,0
Total	552.6	568.9	489.0	463.7	417.0	381.6	319.5	221.9	310.9	233.2	121.8

1) Sans le trafic aérien international, sans différence statistique

Source: Prognos, 2012

PPA: «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»

NPE: «Nouvelle politique énergétique»

2. Demande électrique (complément au chapitre 5 du résumé)

Le chapitre 5 du résumé présente la consommation électrique globale et par secteurs. Le présent complément présente la consommation électrique en fonction des affectations.

2.1 Demande électrique par affectations

La demande électrique par affectations montre la diversité des évolutions de la demande pour d'importants usages. A comparer les valeurs absolues de 2050 (cf. Tableau A2-4), on relève les degrés d'intervention différents selon la combinaison d'instruments prévus par les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Poursuite de la politique énergétique actuelle» ou en raison des objectifs fixés par le scénario «Nouvelle politique énergétique» (cf. le Tableau 1 du résumé), à l'exception de la demande d'électricité par le secteur des transports, qui résulte de deux facteurs d'influence instrumentaux opposés.

Dans le secteur des transports, l'orientation vers une «électrification du trafic routier» concourt à la hausse de la demande (au détriment des carburants fossiles). Mais les taux de pénétration diffèrent selon les instruments, mesures ou objectifs prévus. S'agissant des affectations qui dépendent de l'évolution démographique, comme les activités de «cuisine» et «I&C, médias de divertissement», l'efficacité énergétique parvient à compenser l'effet démographique dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Poursuite de la politique énergétique actuelle». L'affectation «Climatisation, ventilation et technique du bâtiment» présente une augmentation de la demande dans les trois scénarios. Cette hausse s'explique, outre par l'évolution démographique, également par le réchauffement climatique et par les exigences croissantes de confort. Quant aux affectations concernant surtout le secteur de l'industrie («chaleur de processus» ou «moteurs, processus», le développement des branches, déterminé par des facteurs exogènes, entraîne une baisse de la consommation électrique dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique». Dans le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle», la structure de branches donnée débouche sur une régression de la consommation électrique pour la «chaleur de processus» et une légère progression pour les «moteurs, processus». Bien que l'utilisation de la chaleur ambiante augmente dans tous les scénarios (cf. section 5.5), la consommation d'électricité diminue pour le «chauffage des locaux». Dans cette catégorie d'affectation, la demande est influencée par le remplacement des chauffages électriques à résistance et par la diminution globale des besoins de chaleur grâce à la nette amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Tableau A2-4 Demande électrique en fonction de l'application, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», en PJ.

Affectation	2000	2010	2020			2035			2050		
			PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE	PPA	PCF	NPE
Chauffage des locaux	16,3	21,6	20,2	19,6	19,9	17,3	15,3	14,1	14,3	11,5	9,3
Chauffage de l'eau	8,8	9,5	9,4	9,1	9,6	8,8	5,6	8,0	8,1	4,6	3,5
Cuisinières	4,8	5,1	5,4	5,4	5,3	5,5	5,3	5,3	5,4	4,9	4,8
Chaleur de processus	21,1	23,3	23,2	21,2	20,2	22,0	18,0	16,7	21,1	16,2	15,0
Eclairage	24,9	26,8	24,4	22,6	20,6	23,3	19,5	14,7	22,7	18,4	11,5
Climatisation, ventilation et technique du bâtiment	19,2	22,1	27,6	26,0	23,7	35,5	30,6	23,3	46,6	39,1	25,0
I&C, médias de divertissement	8,4	10,3	10,7	10,3	9,9	11,7	10,4	9,2	12,6	10,7	8,4
Moteurs, processus	65,6	71,7	75,1	70,9	73,4	75,8	66,7	64,2	79,5	67,9	58,8
Mobilité en Suisse	9,6	11,5	13,9	14,4	16,5	19,1	23,9	30,1	23,8	31,6	41,0
Autres	6,5	9,7	11,5	11,5	11,3	13,1	13,1	12,7	14,3	14,3	13,5
Total de la consommation électrique	185,1	211,5	221,3	211,1	210,4	232,0	208,5	198,2	248,5	219,1	190,9
Total en TWh	51,4	58,8	61,5	58,6	58,5	64,4	57,9	55,1	69,0	60,9	53,0

PPA: «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»

NPE: «Nouvelle politique énergétique»

Source: Prognos, 2012

3. Coûts directs (complément au chapitre 9 du résumé)

3.1 Investissements supplémentaires du secteur Ménages privés dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

Les différences de coûts du secteur Ménages privés sont analysées selon les domaines «assainissement de l'enveloppe des bâtiments», «construction à neuf de l'enveloppe des bâtiments», «coûts des installations de chauffage des locaux», «coûts des installations de chauffage de l'eau», «ventilation mécanique», «climatisation», «appareils électriques», «éclairage» et «cuisine».

Assainissement et construction à neuf de l'enveloppe des bâtiments

Les trois scénarios se distinguent quant aux surfaces habitables assainies énergétiquement et à l'efficacité énergétique. Les standards énergétiques plus élevés dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» y entraînent des coûts supérieurs par m² assaini de surface de référence énergétique que dans le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle». On table sur des durées de vie d'environ 35 ans pour l'enveloppe des bâtiments et d'environ 20 ans pour les appareils.

Le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral» induit un déplacement des rénovations superficielles non énergétiques vers les assainissements énergétiques. Le taux d'assainissement global y reste inchangé, alors qu'il progresse dans le scénario «Nouvelle politique énergétique» par rapport au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle». En outre, les exigences nettement supérieures quant à l'efficacité du scénario «Nouvelle politique énergétique» entraînent un accroissement des coûts d'assainissement énergétiques.

Installations de chauffage des locaux et de l'eau

Les différences de coûts sont réparties en fonction des systèmes de chauffage et des types de bâtiment. Elles augmentent dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», parce qu'un plus grand nombre d'habitations y sont munies de systèmes plus efficaces de chauffage des locaux et de l'eau ou y sont converties aux agents énergétiques renouvelables que ce n'est le cas dans le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle». Dans le scénario «Nouvelle politique énergétique», les taux de pénétration sont plus élevés que dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», ce qui induit des différences de coûts plus marquées encore.

Installations de technique du bâtiment (ventilation et climatisation)

Les proportions de surfaces habitables ventilées mécaniquement diffèrent d'un scénario à l'autre. On table sur une dégressivité des coûts de 0,5 % par an jusqu'en 2050 pour les coûts par m² de surface de référence énergétique ventilée mécaniquement. Les différences de coûts affichées ne correspondent qu'à 50 % des différences de coûts effectives, car si les installations apportent des améliorations énergétiques, elles contribuent aussi à davantage de confort, de sorte que les investissements consentis ne poursuivent pas seulement des objectifs énergétiques.

Pour les appareils électriques, l'éclairage, la cuisine et les autres installations de technique du bâtiment, les différences de coûts sont calculées indirectement. Généralement, les appareils énergétiquement efficaces sont plus onéreux que les moins efficaces, mais ils engendrent moins de coûts énergétiques. On admet que les coûts supplémentaires correspondent aux économies réalisées sur les coûts d'énergie. Les différences de coûts présentées proviennent de la réduction de la consommation électrique et du prix de l'électricité.

Aperçu des investissements supplémentaires des ménages privés

Comparativement au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle», variante C, le cumul des différences de coûts dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral» est d'environ 27 milliards de francs supérieur (cf. Tableau A2-5, cumul des différences de coûts en 2050). Les deux tiers environ des coûts supplémentaires concernent le domaine du chauffage des locaux, qui contribue toutefois à hauteur de 80 % aux économies réalisées. Le Tableau A2-5 présente les soldes des coûts et des économies.

Environ 50 % des coûts supplémentaires et quelque 80 % des économies surviennent entre 2010 et 2040. Si près de 50 % des coûts surviennent également pendant les années 2040-2050, ils ne permettent plus que 20 % des économies. Les principales raisons de ces effets résident dans l'augmentation des coûts marginaux et dans la diminution de l'utilité marginale, mais aussi dans la présentation par annuités des investissements consentis.

Les différences de coûts entre le scénario de référence «Poursuite de la politique énergétique actuelle», variante C, et le scénario «Nouvelle politique énergétique», variante C&E, atteignent quelque 65 milliards de francs, soit nettement plus que les différences de coûts entre le même scénario de référence et le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», par rapport auquel les mesures renforcées accroissent les coûts. En l'occurrence également, les coûts marginaux croissants et l'utilité marginale décroissante, de même que la présentation par annuités expliquent que 50 % environ des coûts supplémentaires et quelque 80 % des économies d'énergies surviennent entre 2010 et 2040. Pourtant, les investissements devront être de l'ordre de ceux présentés pour réaliser les objectifs fixés dans le scénario «Nouvelle politique énergétique».

Tableau A2-5 Secteur Ménages privés dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» en comparaison du scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle».

Différences de coûts en millions de CHF	2010	2020		2035		2050	
		PCF	NPE	PCF	NPE	PCF	NPE
Assainissement des bâtiments	0	64	139	340	1035	644	2021
Construction à neuf de bâtiments	0	26	32	114	152	183	223
Coûts des installations de chauffage des locaux	0	25	55	133	277	172	471
Coûts des installations de chauffage de l'eau	0	8	21	113	152	117	237
Climatisation, ventilation et technique du bâtiment	0	12	31	94	232	90	406
Appareils électriques, éclairage, cuisine	0	10	37	143	283	238	455
Total des différences de coûts	0	145	317	938	2133	1445	3812
Cumul des différences de coûts de 2010 à 2050	0	365	827	8590	19485	27167	65052

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»
NPE: «Nouvelle politique énergétique»

Source: Prognos, 2012

3.2 Investissements supplémentaires des secteurs Industrie et Services dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

Dans les secteurs Industrie et Services, les investissements sont décidés selon des critères de rentabilité. On applique les mesures les plus efficaces en termes de coûts. Si, dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», le montant des subventions allouées influence celui des investissements, la réalisation des objectifs du scénario «Nouvelle politique énergétique» passe dans ce dernier par la mise en œuvre conséquente des technologies transversales d'ores et déjà connues.

L'effet des mesures de soutien et des prescriptions n'est pas constant dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral»: comme dans le secteur Ménages privés, on y recourt les premières années aux mesures dont l'efficacité est forte. Les résultats à portée de main («low hanging fruits») seront cueillis jusqu'en 2035, de sorte que les durées d'amortissement des mesures suivantes seront plus longues et que la part de subventions nécessaire sera plus élevée. Globalement, les calculs intègrent des effets d'aubaine de 30 %. Environ 20 % des ressources du programme Bâtiment seront affectées aux secteurs Industrie et Services, tandis qu'environ 73 millions de francs seront injectés par an dans l'instrument « appels d'offres publics » en plus des moyens prévus dans le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle». Dans le cadre du programme Bâtiment, on admet que la durée de vie des enveloppes de bâtiment sera de 20 ans et que celle de la technique du bâtiment et de la technique des installations de production sera de 10 ans. Ces durées de vie sont nettement plus courtes que celles adoptées dans le secteur Ménages privés.

Dans le scénario «Nouvelle politique énergétique», les coûts nécessaires à la réalisation des objectifs ont été répartis entre les mêmes instruments que dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral». Il en résulte au total un doublement des investissements supplémentaires (cf. Tableau 25). Notons toutefois, de manière générale, que le scénario «Nouvelle politique énergétique» est un scénario d'objectifs et que les instruments nécessaires à les réaliser ne font pas l'objet de notre examen. Le choix des instruments doit survenir dans le cadre d'un processus politique. Pour atteindre l'objectif, il faudra investir davantage que dans le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral», en particulier dans le bâtiment et dans les processus. Le Tableau A2-6 reproduit cette situation: on y relève un doublement des investissements dans les bâtiments et dans les appels d'offres publics.

Tableau A2-6 Secteurs Industrie et Services, investissements supplémentaires dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle».

Différences de coûts en millions de CHF	2010	2020		2035		2050		Cumul 2010-2050	
		PCF	NPE	PCF	NPE	PCF	NPE	PCF	NPE
Programme Bâtiment	0	165	298	410	1009	471	1143	12415	28835
Construction à neuf	0	37	38	103	115	109	121	2903	3225
Normes SIA / exploitation des bâtiments	0	22	22	53	64	4	70	1199	1826
Appels d'offres publics / domotique et technique de production	0	349	620	465	974	465	785	14798	28363
Total des différences de coûts	0	572	978	1031	2162	1048	2118	31315	62250

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»
 NPE: «Nouvelle politique énergétique»

Source: Prognos, 2012

3.3 Investissements supplémentaires du secteur Transports dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

A l'instar des autres secteurs, le secteur Transports comporte plus d'investissements supplémentaires que le scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle». Ces coûts découlent d'une augmentation de l'efficacité (coûts de production plus élevés), et d'une conversion du trafic individuel motorisé à l'électromobilité, laquelle entraîne des prix de véhicules plus élevés et des investissements dans l'infrastructure de recharge.

Dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique», les mêmes mesures d'efficacité sont supposées dans le domaine des voitures de tourisme. De ce fait, les investissements supplémentaires y sont identiques (cf. Tableau A2-7) et les coûts supplémentaires pour développer l'infrastructure de recharge y sont les mêmes. Par contre, les deux scénarios se distinguent quant au degré de pénétration de l'électrification du trafic de livraison et du trafic ferroviaire, ce qui se reflète dans leurs différents niveaux d'investissements supplémentaires. Comme les infrastructures doivent être disponibles avant 2035 compte tenu de l'évolution de la demande, les investissements supplémentaires d'ici à 2035 doivent être plus élevés qu'entre 2035 et 2050.

Tableau A2-7 Secteur Transports, investissements supplémentaires dans les scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» comparés au scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle»

Différences de coûts en millions de CHF	2010	2020		2035		2050	
		PCF	NPE	PCF	NPE	PCF	NPE
Coûts supplémentaires pour l'efficacité	0	204	204	333	333	277	277
Coûts supplémentaires pour les véhicules électriques	0	228	259	459	519	150	166
Coûts supplémentaires pour l'infrastructure de recharge	0	40	40	121	121	41	41
Total des coûts supplémentaires pour la route	0	472	502	913	972	468	481
Coûts supplémentaires pour l'infrastructure ferroviaire	0	0	167	0	167	0	167
Total des différences de coûts	0	472	669	913	1139	468	648

PCF: «Mesures politiques du Conseil fédéral»
 NPE: «Nouvelle politique énergétique»

Source: Prognos, 2012

Annexe 3 : Bases des modèles et leurs interfaces

1. Remarques préliminaires

Les sections suivantes présentent certaines informations concernant les bases des modèles utilisés par l'OFEN dans le cadre de la Stratégie énergétique. Les mécanismes des modèles et les contraintes exogènes y sont en particulier décrits. L'accent est mis en l'occurrence sur les modèles de système énergétique, qui fournissent les informations utiles à l'analyse des autres modèles.

Les modèles appliqués sont utilisés et publiés depuis près de 20 ans pour les questions liées au futur système énergétique. Outre des modèles de système énergétique, qui montrent «du bas vers le haut» les effets des mesures et instruments politiques ou des objectifs fixés, les effets macroéconomiques sont examinés à l'aide de modèles d'équilibre généraux. Pour la première fois, les aspects du réseau ont été étudiés sur la base des résultats des Perspectives énergétiques.

Une certaine redondance avec le résumé des résultats est inévitable. Parfois, elle est même voulue.

2. Mise en perspective historique

Depuis plus de 20 ans, les perspectives énergétiques sont réalisées en Suisse au moyen de modèles de système énergétique et de modèles d'équilibre généraux. Selon la problématique envisagée, ces modèles sont actualisés, réélabores ou élargis. Les modèles de système énergétique et leurs instruments, conçus «du bas vers le haut», ont été développés afin de tenir compte de la complexité du système énergétique, qui comporte des évolutions contraires. L'élaboration de ces outils de modélisation a commencé il y a quelque 25 ans, car les méthodes d'extrapolation «du haut vers le bas», qui étaient usuelles à l'époque (classiquement à partir de valeurs comme la productivité énergétique), débouchaient sur des résultats contradictoires et non plausibles. Ces anciennes méthodes surestimaient systématiquement les besoins des centrales, de sorte qu'il résultait une croissance surproportionnelle de la part des coûts de l'énergie par rapport au PIB. Les analyses manquaient surtout d'instruments capables d'intégrer les effets de saturation dans la consommation des véhicules et des appareils électriques, les développements technologiques et les effets d'échelle.

Outre des modélisations du système énergétique, on a simulé en Suisse dès le milieu des années 1990, grâce à des modèles d'équilibre généraux, les effets macroéconomiques des scénarios énergétiques. Les résultats des modèles du système énergétique alimentent le calcul des effets macroéconomiques. A cet effet, on recourt à un modèle d'équilibre calculable (SWISSGEM_E), qui reproduit en détail 62 branches et 15 types de ménage, de même que le système fiscal suisse.

Les prévisions énergétiques et scénarios élaborés régulièrement à l'aide de divers instruments d'analyse depuis la crise pétrolière du milieu des années 1970 sont centrés sur l'approvisionnement énergétique. Ils doivent permettre de clarifier des problématiques telles que: la quantité d'énergie nécessaire (quelle sorte et quelle quantité d'énergie) permettant de répondre aux besoins de la production économique et de la consommation; les conditions nécessaires pour garantir l'approvisionnement correspondant. Au fil du temps, ce système d'objectifs s'est élargi pour englober des aspects de rentabilité, de protection de l'environnement et de durabilité. Les problématiques visées par les scénarios et les méthodes prévisionnelles se développent en conséquence.

Dans le cadre de la Stratégie 2050, on a également examiné en détail les effets sur les réseaux électriques. Ces analyses se sont elles aussi fondées sur les résultats des modèles du système énergétique.

3. Définitions: scénarios et modèles

Qu'est-ce que les scénarios énergétiques

Les scénarios énergétiques reproduisent l'offre et la consommation du système énergétique, dont les interactions sont complexes, sous l'angle technico-économique et ils permettent d'en étudier les développements potentiels. L'objectif prioritaire est d'évaluer l'impact exercé sur le système énergétique par les prix de l'énergie, la croissance économique et la croissance démographique (évolution des conditions-cadre) de même que par les prescriptions, les instruments tarifaires et les instruments promotionnels (instruments politiques). Cependant, les conditions-cadre peuvent évoluer autrement que prévu et les instruments politiques sont incertains quant à leur emploi et leurs effets. On ne saurait choisir des scénarios au niveau de la mise en œuvre, mais on peut faire le choix de certains instruments politiques et des bases juridiques correspondantes. Les instruments politiques ne constituent pas un menu dans lequel on pourrait élire ce qui convient. Il est nécessaire de définir un paquet d'instruments cohérent à même de produire l'effet global recherché. Les instruments examinés, l'évolution des conditions-cadre et les résultats des scénarios sont étroitement liés: il convient de tenir compte de ces interrelations au moment de fixer de nouveaux objectifs et d'adopter de nouvelles bases juridiques.

La méthode des scénarios appliquée en l'occurrence garantit, en se fondant sur des modèles quantitatifs, que les nombreux éléments déterminant l'avenir énergétique sont interconnectés et que les effets des changements de la politique énergétique ou des conditions-cadre apparaissent. Les rétroactions, comme celles des prix de l'énergie sur l'offre et la demande d'énergie, sont pris en compte. Par conséquent, les résultats obtenus **ne constituent pas des prévisions, mais des analyses du type «si-alors»**.

Quelles sont les limites des scénarios énergétiques employés?

Les Perspectives énergétiques ignorent délibérément les scénarios de catastrophe ou les révolutions techniques. Une politique axée sur le pire événement ou sur une rupture technologique surprenante serait onéreuse, respectivement imprudente.

Les prix actuels de l'énergie, la situation conjoncturelle, les communiqués relatant les pannes ou les percées de la technique énergétique influencent inévitablement les estimations de l'avenir énergétique, mais ils ne sont pas transposables dans des perspectives à long terme.

Les modélisations ne permettent pas de résoudre les questions de politique institutionnelle et de société telles que la répartition des tâches entre l'Etat et l'économie ou la compatibilité sociale des techniques énergétiques. Le processus de négociation social est indispensable en ces domaines.

Qu'est-ce que les modèles de système énergétique?

L'évolution des conditions économiques et démographiques cadre constitue le point de départ. Elles déterminent les composantes quantitatives essentielles pour la demande énergétique que sont les places de travail, les quantités produites ou les capacités des transports. Sur cette base, on relève les diverses applications énergétiques de manière aussi détaillée que possible sous forme chiffrée, afin de reproduire la demande et l'offre d'énergie. Les constructions, appareils, véhicules et installations sont présentés par ordre de générations, avec leur consommation énergétique spécifique, dans les modèles sectoriels (Ménages privés, Services et agriculture, Industrie, Transports). L'ordre de générations permet de tenir compte du fait que les potentiels d'efficacité énergétique et ceux des énergies renouvelables sont soumis à de nombreuses restrictions (cycles d'assainissement et de remplacement, limites techniques dans les zones densément construites, etc.). Les valeurs spécifiques de consommation d'énergie (p.ex. litres d'essence par 100 km) évoluent sous l'influence des progrès techniques (développement autonome), des comportements d'investissement et de consommation et des instruments politiques. On examine également l'offre énergétique, en particulier le vieillissement, la rénovation et le développement du parc de centrales. Le modèle du parc de centrales permet d'étudier la garantie d'approvisionnement de la Suisse en électricité (mais non pas le positionnement de l'économie électrique suisse sur le marché intérieur européen).

4. Descriptions des modèles

Les explications qui suivent se rapportent aux chapitres du rapport «**Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050**, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050». Ces références facilitent l'approfondissement des explications.

4.1 Modèles du système énergétique

4.1.1 Conception fondamentale des modèles du système énergétique

En raison de la brièveté des délais, les Perspectives 2050 s'appuient principalement sur les Perspectives 2035. Elles ont été totalement recalculées avec de nouvelles données cadre, compte tenu des analyses annuelles ex-post disponibles et d'autres analyses (p. ex. évaluations des instruments et informations actualisées sur l'état, l'emploi et les coûts des technologies de consommation et de production). En outre, des outils de modélisation actualisés sont utilisés depuis 2007. Mais les bases du fonctionnement sont restées les mêmes pour l'essentiel, à l'exception du modèle pour le secteur Services (cf. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, chapitre 2).

Les modèles de système énergétique comprennent des analyses du système énergétique de la Suisse. On recourt à des modèles quantitatifs qui représentent sous forme de scénarios les divers éléments du système énergétique et leurs interactions. Ces modèles, qui reproduisent une réalité potentielle, montrent comment le système énergétique est influencé par les prix de l'énergie, la croissance économique et la croissance démographique (évolution des conditions-cadre exogènes données) de même que par les prescriptions, les instruments tarifaires et les instruments promotionnels (instruments politiques) ou par les objectifs fixés.

Les scénarios permettent d'étudier les possibilités de développement dans diverses conditions exogènes données, en comparant plusieurs options différentes grâce auxquelles est exploré le «jardin aux sentiers qui bifurquent» (J. L. Borgès). Il ne s'agit en l'occurrence expressément PAS de prévisions des évolutions les plus vraisemblables. On cherche plutôt à examiner les effets d'éventuelles conditions-cadre futures ou de directives politiques déterminant les scénarios («propositions du type «si-alors»). L'objectif de tels examens consiste à présenter ou à sonder les possibilités d'action.

Les Perspectives énergétiques examinent aussi bien les scénarios axés sur les mesures («Poursuite de la politique énergétique actuelle» et «Mesures politiques du Conseil fédéral») que les scénarios axés sur les objectifs («Nouvelle politique énergétique»). Les scénarios axés sur les mesures montrent ce qui se passe si certaines conditions ou certains instruments de politique énergétique sont réalisées, respectivement appliqués. Quant aux scénarios axés sur les objectifs, ils débouchent sur des voies de réalisation possibles d'un objectif déterminé (il peut s'agir d'un objectif d'émission par habitant ou d'une certaine proportion d'énergies renouvelables pour l'année visée, p. ex. 2050). On trouvera des indications détaillées à ce sujet au chapitre 2.1 et dans les discussions des possibilités et limites des méthodes et perspectives (chapitre 2.5). Le chapitre 4 et les chapitres spécifiques aux scénarios (7.3, 8.3 et 9.3) fournissent des descriptions détaillées des scénarios concrets

S'agissant du calcul des perspectives énergétiques, les développements possibles de la demande énergétique et de l'offre énergétique sont étudiés pour chacun des secteurs. A cet effet sont présentés les affectations prévues, les agents énergétiques et leurs transformations physiques. La situation de départ est strictement définie par l'actuel système énergétique (année de référence 2010) et les développements historiques du stock de capital actuellement installé. On postule fondamentalement l'inertie du stock de capital, puisque les investissements échoués sont exclus.

4.1.2 Fonctionnement des modèles de système énergétique pour la demande

Le système énergétique est reproduit sur une base physique à l'aide de la modélisation dite «du bas vers le haut». Celle-ci représente, dans une résolution aussi détaillée que possible, les composantes de la consommation énergétique du système énergétique selon les délimitations et les répartitions du bilan énergétique national et de la statistique énergétique nationale. Concrètement, la consommation énergétique se compose des différents secteurs de consommation, soit les ménages privés, l'industrie, les services et les transports, eux-mêmes répartis en de nombreuses affectations, par exemple le chauffage des locaux, l'énergie mécanique pour la production industrielle (moudre, mélanger, pomper, découper, etc.), la chaleur de processus (p. ex. pour faire fondre, comme énergie d'excitation pour des processus chimiques, pour cuisiner) et la mobilité. Les grilles quantitatives sont encore plus détaillées en fonction de diverses classifications, définies selon des propriétés

énergétiques ou d'affectation (p. ex. types de bâtiments et classes d'âges des bâtiments, types d'appareil (réfrigérateurs, réfrigérateurs-congélateurs), classes de véhicules et âges des véhicules. Ces détails varient selon les secteurs de consommation. La plupart des grilles quantitatives sont subdivisées en cohortes, c'est-à-dire par classes d'âges. Il est ainsi garanti que les consommateurs d'énergie sont pris en compte avec leur durée de vie technique ou économique/sociologique, de manière à ce qu'ils soient remplacés par de nouveaux appareils au terme de leur durée de vie. En ce qui concerne les bâtiments, on prévoit en outre des cycles d'assainissement (énergétique).

La consommation d'énergie par agents énergétiques, pour ces diverses affectations, est déterminée par des «variables extensives», par exemple les surfaces habitables chauffées, le nombre de véhicules et les quantités produites (tonnes de chocolat ou nombre de rames de tram) et par des «variables intensives», telles que l'efficacité des installations de chauffage, les classes de véhicules avec leurs données de consommation énergétique spécifique et les consommations énergétiques spécifiques des machines utilisées et des formes d'organisation de processus choisies. Les variables extensives dépendent surtout des conditions-cadre socio-économiques, alors que les variables intensives dépendent tant des conditions-cadre socio-économiques que des instruments politiques et des développements technologiques. L'offre électrique est analysée sur la base d'un parc de centrales détaillé, dans lequel sont reproduits individuellement de nombreux types de centrales, lesquels peuvent être utilisés en fonction des différentes priorités et des divers critères d'optimisation.

La base des modélisations est une contrainte exogène liée à l'évolution structurelle à long terme de la société et de l'économie jusqu'en 2050 (population, PIB, structures des branches). A l'appui de ces hypothèses, on déduit une grille dynamique (qui se modifie au fil du temps) de composantes dites quantitatives. Ces composantes quantitatives décrivent les activités économiques pertinentes en ce qui concerne la demande énergétique (p. ex. les surfaces habitables chauffées, les capacités de transport ou les flottes de véhicules, les quantités produites et les places de travail). Cette grille structurelle reste inchangée dans les différents scénarios, à l'exception des capacités de transport, qui sont légèrement adaptées aux objectifs fixés et à l'environnement politique postulé dans le scénario «Nouvelle politique énergétique» (répartition modale, amélioration de la charge des véhicules du parc existant).

Dans les différents scénarios, les consommations énergétiques spécifiques évoluent en fonction des conditions politiques cadre (scénario PPA et PCF) ou selon les objectifs fixés (scénario NPE). A cet égard, les instruments politiques déploient surtout leurs effets quant à la pénétration des bonnes et meilleures normes actuelles au moment donné. Si, par exemple, on augmente les subventions pour les assainissements énergétiques allouables selon des critères déterminés, il sera possible de porter davantage de surface à un standard énergétique plus élevé.

Les technologies fondamentalement disponibles sont les mêmes dans tous les scénarios. En cas d'intervention «push» (instruments politiques relevant du droit institutionnel ou subventions) ou de mesure «pull» (fixation d'objectifs ou instruments tarifaires, comme les taxes incitatives ou les prix du CO₂), les répartitions se modifient en conséquence vers une diminution des valeurs de consommation spécifique (p. ex. classes A++).

Les suppléments ou les réductions de coûts macroéconomiques directs liés aux investissements concrets des scénarios PCF et NPE sont calculés par rapport à la variante C du scénario de référence PPA (nouvelles centrales à cycles combinés alimentées au gaz, pas de promotion des énergies renouvelables au-delà de la répartition prévue des coûts). Ces suppléments ou réductions de coûts équivalent au solde laissé par les coûts d'investissement dans des technologies d'efficacité supplémentaires et les éléments de coût correspondants du parc de centrales, d'une part, et les économies sur les coûts d'importation d'agents énergétiques conventionnels, d'autre part.

4.1.3 Modèle de système énergétique pour l'offre électrique

Le modèle vise à calculer quelles sont les nouvelles capacités d'offre électrique nécessaires pour garantir la sécurité d'approvisionnement future, compte tenu des variations de la demande électrique au fil du temps et des possibilités limitées de stocker l'électricité. Les lacunes de capacité peuvent être comblées au moyen des importations ou de différentes technologies utilisées dans les centrales. Divers scénarios (variantes d'offre C, C&E, E¹) ont été élaborés. Ces variantes sont calculées en fonction des restrictions ou des instruments politiques fondamentaux (p.ex. en tenant compte du fait

¹ Cf. Prognos 2012, page 5 ss: variante d'offre C: fossile-centralisée, c'est-à-dire principalement des centrales à cycles combinés alimentées au gaz; variante d'offre E: énergies renouvelables; variante d'offre C&E: combinaison des énergies renouvelables et des centrales à cycles combinés alimentées au gaz.

que les centrales à cycles combinés alimentées au gaz sont en principe possibles ou non (c'est-à-dire autorisées ou non) en Suisse.

Hypothèses importantes:

- **Commerce transfrontalier:** l'approche se fait au niveau du bilan national. Il est nécessaire de garantir en tout temps la couverture de la demande intérieure de capacité et de travail. Cet objectif est réalisable avec les capacités domestiques (variantes C, C&E) et avec le soutien des importations sans nouvelle grande centrale en Suisse (variante E). Dans la variante E, le calcul suppose que la construction de centrales à gaz n'est pas possible en Suisse. Les exportations représentent en principe une option pour gérer les excédents, mais on ne les envisage pas comme «modèle d'affaires» (en ce sens que l'on ne construira pas de capacités spécialement dans le but d'exporter). Dans le cadre de la régulation sur le plan européen, il est naturellement possible et vraisemblable d'obtenir une telle balance commerciale d'électricité. S'agissant de la sécurité d'approvisionnement, c'est le bilan intérieur qui importe, comme du reste dans toutes les discussions relatives à l'électricité en Europe. Une dérogation à cette règle (sécurité d'approvisionnement durablement assurée par les importations) doit être débattue politiquement et ne relève pas du modèle.
- **Incitations commerciales:** le comblement de la lacune d'électricité est modélisé de manière purement physique. Les centrales sont exploitées en fonction de la nécessité et de la disponibilité physiques. On ne suppose aucun concept de marché électrique spécifique dont découleraient des règles d'utilisation supplémentaires pour les technologies de production électrique qui se présentent. Cette situation s'explique notamment par les restrictions particulières du parc suisse de centrales (force hydraulique limitée, durées d'exploitation des centrales nucléaires limitée) et à la logique de promotion des énergies renouvelables supposée. Pratiquement, une seule sorte de nouvelles centrales «compatibles au marché» entre en question. De ce fait, la question de l'ordre de préséance ne se pose pas. Il en irait autrement si, par exemple, de nouvelles centrales à charbon constituaient une option concurrentielle. Si elles sont construites, il sera tout à fait possible d'évaluer leur utilisation en fonction de leurs avantages en complément de la force hydraulique. Dans le cas idéal (marché fonctionnant selon un ordre de priorités), de telles centrales répondraient aux nécessités physiques.
Le marché de gros actuel ne dispose pas de mécanismes pour gérer les fluctuations de la production renouvelable. Il est en ce moment très fortement influencé par le développement des énergies renouvelables en Europe sous l'effet des instruments de rétribution garantie du courant injecté.
De plus, le concept de marché actuel souffre massivement d'un manque d'incitations pour les centrales physiquement nécessaires («missing-money problem»). Il est par conséquent nécessaire de commencer par déterminer les besoins physiques, notamment dans la perspective des durées d'exploitation restantes des centrales nucléaires. Il n'appartient pas à la modélisation, mais au débat de société, de définir si ces besoins doivent être couverts par la production indigène ou étrangère. C'est pourquoi des variantes de référence sont calculées en l'occurrence.
- **Charge résiduelle tolérable:** en termes de physique, aucune charge résiduelle n'est tolérée. Les lignes continues de la charge résiduelle à la figure II.3-14 sont représentées comme des étapes transitoires, pour signaler le problème. Une charge résiduelle négative signifie un excédent d'électricité qu'il faut soit déconnecter, soit exporter, soit stocker. De même, la demande de puissance est couverte en tout moment. Selon la variante d'offre, cette couverture est assurée par la production indigène ou par les importations.

4.2 Estimation des effets macroéconomiques

Les effets macroéconomiques des scénarios de demande énergétique établis par Prognos en 2012 sont calculés à l'aide des modèles d'équilibre calculables SWISSGEM_E (Ecoplan 2012, chiffre 9, page 67). Il s'agit d'une étude par modélisation, construite sur les analyses du système énergétique suisse, qui privilégie l'approche macroéconomique. Si, dans les modèles de système énergétique «du bas vers le haut», les interdépendances des acteurs ne changent pas, les rétroactions entre les acteurs sont prises en compte dans les calculs du modèle d'équilibre (p. ex. la demande de biens à forte consommation énergétique diminue parce que leur prix augmente).

Les résultats des simulations des deux scénarios «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» au moyen du modèle d'équilibre ne doivent pas être compris comme des prévisions. Il s'agit d'analyses de type «si-alors», dont l'objet consiste à calculer, à partir des modèles de système énergétique et dans le cadre d'objectifs de consommation énergétique et

d'émission de CO₂ prévus, les niveaux de la taxe sur le CO₂ et de la taxe sur l'électricité de même que les effets sur le PIB, sur l'emploi, sur le commerce extérieur, sur les structures, sur la prospérité et sur la répartition sociale.

Caractéristiques importantes du modèle

- Un **modèle national**: les scénarios de politique suisses n'ont aucune influence sur le niveau de prix des marchés internationaux. Ces marchés restent soumis à des déterminants exogènes. Le commerce extérieur est modélisé avec l'hypothèse dite d'Armington (les biens négociés ne sont pas homogènes, ce qui permet le commerce intraindustriel).
- **Dynamique récursif**: les acteurs économiques sont guidés dans leurs décisions par les prix et ils ne sont pas complètement informés des développements futurs. La modification du stock de capital est modélisée explicitement au fil des années, mais l'allocation du capital n'est pas parfaitement optimisée pendant toute la période (cf. Ecoplan 2012, page 24).
- Les **données de base** proviennent du Tableau Input-Output 2008 pour la Suisse.
- **Structure du modèle et élasticités**: cf. Ecoplan 2012, chiffre 9, page 67 ss.
- Les diverses **élasticités** sont présentées en détail dans Ecoplan 2012 aux pages 76 à 84.

Calibrage et scénario de référence

Les paramètres du modèle sont définis (calibrés) de telle manière que le modèle du scénario de référence restitue les données de départ du Tableau Input-Output 2008 (cf. Ecoplan 2012, page 86), qui décrit la circulation des biens en Suisse en 2008. En outre, le modèle est paramétré de manière à répliquer chaque année jusqu'en 2050, dans des conditions socio-économiques cadre inchangées, les résultats du scénario PPA, variante C (variante avec les énergies fossiles) de l'étude de Prognos, structure énergétique et production électrique comprises. Les coûts supplémentaires de la variante d'offre électrique C&E sont discutés et présentés à la page 54 du rapport d'Ecoplan (2012).

Conception des scénarios

Le modèle offre deux variables dont les variations permettent de créer divers scénarios. Il s'agit de la taxe sur l'électricité et de la taxe sur le CO₂. Ces deux variables de politique sont paramétrées de manière à ce que le modèle, dans le scénario PPA et le scénario NPE, réplique les mêmes résultats que le modèle de Prognos s'agissant de la consommation électrique globale et des émissions de CO₂ globales. Il est ainsi possible de reproduire les objectifs du scénario NPE. Cependant, les nombreux instruments et mesures de la première étape (système promotionnel) ne sont pas reproduits un à un dans le modèle d'équilibre (cf. Ecoplan 2012, page 33).

4.3 Modèles de réseau

Les résultats des modèles de système énergétique (offre électrique et demande électrique) constituent la base des calculs (Consentec 2012a und 2012b). Les réseaux électriques sont le maillon qui réunit la production et la consommation. La transition de la production électrique vers des installations décentralisées alimentées aux énergies renouvelables, dont la production dépend de la météorologie, de même que la diminution de la consommation d'électricité exercent des effets sur le réseau électrique et les services-système. Ceux-ci doivent être développés et transformés à la même cadence. Les besoins d'aménagement du réseau de transport de la Suisse sont principalement déterminés par le commerce transfrontalier entre pays voisins (p. ex. le transport d'électricité de France par la Suisse à destination de l'Italie). La transformation du système électrique de la Suisse vers les énergies renouvelables n'a que peu d'influence sur les besoins de développement: douze projets de développement de réseau identifiés dans l'analyse devraient être réalisés de toute manière, indépendamment du futur mix d'électricité; ces projets se situent en majorité à la frontière italienne.

On suppose une politique climatique coordonnée sur le plan international (AIE 2010 et Eurelectric 2010). Le développement du nucléaire que cette politique prévoit a été remplacé par des CCC alimentées au gaz. Les pointes de la demande, en 2035 et 2050, atteignent chacune 10,5 GW.

Les prix de marché, les coûts de production et l'évolution du parc de centrales proviennent des tendances de l'UE et d'Eurelectric 2010.

Le développement de la production électrique renouvelable prévu dans la Stratégie énergétique 2050 rend le développement du réseau de distribution nécessaire. Ce nécessaire développement découle de divers effets physiques liés au transport de l'électricité. L'injection de courant peut surcharger les

lignes et les transformateurs et des problèmes peuvent survenir pour respecter les limites de tension fixées.

Le réseau de distribution suisse comprend les niveaux de réseau (NR) 3 à 7, soit les réseaux compris entre les réseaux de distribution suprarégionaux (NR 3, jusqu'à 150 kV) et les réseaux de distribution locaux (NR 7, 400 V). Les installations de production sont raccordées à un niveau de réseau en fonction de leur puissance. C'est ainsi qu'une petite installation photovoltaïque dont la puissance n'excède pas 20 kW injecte normalement son électricité dans le réseau de distribution local, c'est-à-dire au niveau de réseau 7. Sur la base de la grille quantitative sous-jacente aux modèles de réseau, on relève les besoins de développement suivants d'ici à 2050 (en km):

- Niveau de réseau 4: entre 60 et 90%
- Niveau de réseau 5: entre 25 et 30%
- Niveau de réseau 6: entre 25 et 50%.²

Les fourchettes par niveau de réseau découlent de la répartition géographique disparate des installations (degré de concentration) et de la technologie de développement. De nouvelles technologies novatrices de réseau et de gestion de la tension peuvent contribuer à limiter les besoins de développement dans la partie inférieure de la plage. Le développement envisagé du réseau de distribution entraîne des investissements de 11,2 milliards de francs dans la variante d'offre C&E du scénario NPE.

4.4 Interaction des modèles utilisés

- Les modèles de système énergétique fournissent, avec leurs modélisations « bottom-up », les intrants énergétiques (demande énergétique, demande électrique et offre électrique) nécessaires à la modélisation des effets macroéconomiques et des réseaux. Il est ainsi garanti que la même évolution des conditions-cadre (croissance démographique, croissance économique, développement de la branche, évolution des prix de l'énergie) est appliquée au domaine de l'énergie dans ces examens
- En outre, le calcul du modèle d'équilibre général comprend explicitement la même évolution des conditions-cadre (croissance démographique, croissance économique, développement de la branche, évolution des prix de l'énergie). De plus, les progrès autonomes d'efficacité énergétique calculés avec les modèles de système énergétique du bas vers le haut, les émissions de CO₂ par agents énergétiques, la demande électrique et les données du parc de centrales sont repris année après année jusqu'en 2050 (cf. Ecoplan 2012, page 86).
- Il est possible d'intégrer les résultats du modèle d'équilibre dans les modèles de système énergétique du bas vers le haut. On y a toutefois renoncé, parce que les effets des différents scénarios sont relativement faibles, en particulier sur la structure des branches.
- Les modèles de réseau fournissent, sur la base des niveaux de la demande et des variantes d'offre des modèles de système énergétique, les exigences techniques spécifiques posées au transport de l'électricité et ses coûts.
- Les résultats de tous les modèles utilisés sont, en ce qui concerne le système énergétique (et son environnement), des propositions de type «si-alors».

5. Contraintes

Comme les modèles «bottom-up» du système énergétique forment le point de départ des travaux et que leurs résultats constituent les intrants pour d'autres travaux sur des modèles (comme décrit au chiffre 3), ces travaux requièrent au départ des contraintes destinées à former la base exogène des modèles. Il faut des contraintes pour les scénarios souhaités qui doivent être analysés et des données-cadre macroéconomiques dans lesquelles le système énergétique puisse s'intégrer. Ces dernières constituent une base importante à partir de laquelle on puisse élaborer les éléments fondamentaux nécessaires spécifiquement à la description et à l'extrapolation du système énergétique. Dans le cas idéal, les données-cadre sont disponibles du passé jusqu'en 2050 par intervalles annuels. Si tel n'est pas le cas, on procède à une extrapolation des données existantes. Les sections qui suivent présentent les contraintes «si», qui décrivent et définissent les scénarios. Une section ultérieure aborde les données-cadre macroéconomiques. Enfin, nous présentons quelques valeurs importantes déduites de ces données-cadre. La définition que nous avons donnée des contraintes «si» souligne une fois de plus que le présent travail ne contient pas de prévisions, mais qu'il élabore des conclusions «alors» à partir des propositions «si».

² Ces résultats reposent sur le scénario de demande NPE et sur le scénario d'offre C&E.

5.1 Contraintes «si» pour les scénarios

La base de l'élaboration de scénarios consiste généralement en un univers hypothétique futur calqué sur la « poursuite de la politique actuelle ». Il s'agit d'un «scénario de mesures et d'instruments». Les lois, mesures, etc. actuelles au moment de l'élaboration du scénario sont prorogées. Ce scénario est utilisé comme information initiale pour en déduire, dans les modèles, les autres scénarios définis. S'agissant des Perspectives énergétiques 2050, outre le scénario de mesures «Poursuite de la politique énergétique actuelle», un autre scénario a été posé, qui regroupait les mesures décidées en 2012 par le Conseil fédéral. On a en outre défini un scénario d'objectifs: les modèles doivent permettre d'esquisser une voie énergétique dans le but de réaliser en 2050 un système énergétique qui limite à environ 1,5 tonne par habitant les émissions de CO₂ dues à l'énergie.

Le Tableau A3-1 résume les mesures et les instruments dont il faut tenir compte dans les scénarios de mesures et d'instruments «Poursuite de la politique énergétique actuelle» et «Mesures politiques du Conseil fédéral» (autrement dit les propositions «si» de ces scénarios). S'agissant du scénario d'objectifs «Nouvelle politique énergétique», les propositions «si» ne doivent pas, de loin, être aussi détaillées que pour les scénarios de mesures «Poursuite de la politique énergétique actuelle» et «Mesures politiques du Conseil fédéral». Si le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral» utilise des instruments et des mesures que la Suisse peut appliquer indépendamment de la politique menée à l'étranger, le scénario d'objectifs «Nouvelle politique énergétique» exige une politique énergétique coordonnée sur le plan international. Par exemple, il faut renforcer dans le domaine des transports l'utilisation des meilleures technologies aujourd'hui connues. Or, la Suisse ne saurait accroître le recours à ces technologies que si l'industrie automobile européenne et d'outre-mer met à disposition les véhicules correspondants.

Tableau A3-1 Hypothèses relatives aux scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique».

Poursuite de la politique actuelle	Mesures politiques du Conseil fédéral	Nouvelle politique énergétique	
Ménages privés, bâtiments			
<ul style="list-style-type: none"> • Mise à jour modérée du MoPEC • Programme Bâtiments :200 millions de francs • Promotion des énergies renouvelables à partir du programme Bâtiments • Mise à jour modérée des normes 	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcement du MoPEC • Remplacement des chauffages à résistance • Programme Bâtiments : 300 millions de francs à partir de 2014 600 millions de francs à partir de 2015 • Renforcement des normes pour les appareils, technique du bâtiment • Nouvelles constructions de remplacement • SIA 380/4 : obligatoire pour les immeubles résidentiels et les bâtiments d'habitation mixtes 	<p>Objectifs stratégiques prioritaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emissions de CO₂ de 1-1,5 tonne par habitant jusqu'en 2050 • Potentiels durables de la biomasse limités <p>Conditions stratégiques connexes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efficacité avant les énergies renouvelables • Economiser la chaleur domestique (énergie de chauffage) • Efficacité électrique essentielle (notamment refoidissement) • Mobilité électrique nécessaire • Légères modifications des volumes de trafic et de la répartition modale • Biomasse prioritaire au niveau du transport de marchandises et de la production de courant par CCF 	
Industrie et services			
<ul style="list-style-type: none"> • Appels d'offres publics : 16 à 27 millions de francs par an • Engagements individuels librement consentis 	<ul style="list-style-type: none"> • Appels d'offres publics : 100 millions de francs par an • Bonus d'efficacité ou prélèvement sur la taxe sur le CO₂ et prélèvement sur la RPC • Optimisation de l'exploitation des bâtiments • Promotion des installations ORC 		
Transports			
<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs limites pour les émissions – conformément à la directive UE (130/95 g de CO₂/km)- atteintes en 2030 • Amélioration de l'efficacité de l'aménagement des transports 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs limites plus sévères pour les émissions du parc automobile – conformément à la directive UE (130/95g de CO₂/km) atteintes en 2020 (35 g CO₂/km en 2050) • Organisation des transports 		

Sources: OFEN, Prognos 2012

Outre ces données fondamentales pour la définition des scénarios, une série d'autres données sont nécessaires pour concevoir l'offre d'électricité.

Il faut arrêter quelles variantes d'offre électrique doivent être calculées pour les scénarios. Les variantes d'offre présentées au Tableau A3-2 sont décrites pour les Perspectives énergétiques 2050.

Tableau A3-2 Description des variantes d'offre du Conseil fédéral et variantes de l'offre électrique

Conseil fédéral	Désignation	Description
Variante d'offre électrique 2 (Les centrales nucléaires actuelles ne sont pas remplacées au terme de leur période d'exploitation)	C ¹⁾	Centrales à gaz: la demande électrique est couverte par la production indigène. Dès que la production indigène ne suffit plus, des CCC sont construites pour combler la lacune de production.
	C & E ¹⁾	Combinaison des centrales à gaz et des énergies renouvelables: le potentiel de production électrique renouvelable est davantage exploité. Dès que la production indigène du parc existant et du supplément de production renouvelable ne suffit pas, des CCC sont construites pour combler les lacunes de production.
	E ¹⁾	Energies renouvelables et importations: les besoins sont autant que possible couverts par les énergies renouvelables. Si nécessaire, de l'électricité sera importée pour combler une éventuelle lacune de la production électrique suisse face à la demande indigène.

¹⁾ Développement autonome du CCF compris.

Le Tableau A3-3 résume les variantes d'offre calculées dans les scénarios. Les possibilités d'offre électrique se réduisent par la décision du Conseil fédéral de ne pas remplacer les centrales nucléaires existantes. On dispose, sur le territoire national, des technologies fossiles-thermiques et des technologies de production renouvelable. Les importations représentent une alternative. Le choix a été en outre réduit par la directive de n'autoriser qu'un développement autonome du CCF (et par conséquent de ne pas représenter explicitement de variante d'offre CCF). On trouvera une discussion des scénarios CCF en annexe au rapport de Prognos. Toutes les variantes d'offre électrique ne sont pas représentées dans tous les scénarios. Par exemple, une variante E (énergies renouvelables) n'est pas compatible avec la définition du scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle».

Tableau A3-3 Variantes d'offre des variantes de politique des Perspectives énergétiques 2050.

Variantes d'offre d'électricité	Variantes de politique		
	C ¹⁾	C&E ¹⁾	E ^{1) 2)}
«Poursuite de la politique énergétique actuelle» (PPA)	x	x	
«Mesures politiques du Conseil fédéral» (PCF)	x	x	x
«Nouvelle politique énergétique» (NPE)	x	x	x

¹⁾ Y compris le développement autonome du CCF (la production électrique du CCF est discutée dans l'annexe II, Prognos 2012, page 673.

²⁾ Dans la variante E, on recourt au mix électrique européen pour les importations d'électricité.

La définition de différentes variantes d'offre a pour effet qu'une fois choisie, une variante donnée est utilisée jusqu'en 2050. On ne procède pas à des optimisations entre les variantes. Des variantes de référence de ces technologies sont calculées. Outre une couverture de la demande électrique principalement par la production indigène (variantes C et C&E), on calcule une variante E qui prévoit le développement accéléré des agents énergétiques renouvelables et le recours aux importations pour combler les lacunes de couverture de la demande électrique suisse.

Les instruments prévus au Tableau A3-1 influencent aussi l'offre électrique. Les subventions définies (RPC par an) déterminent la voie de développement de la production électrique renouvelable. Globalement, il n'est pas possible de construire davantage d'installations de production que les subventions disponibles ne le permettent, pour le cas et aussi longtemps qu'il s'agit de technologies qui, du point de vue économique, dépendent des subventions.

Des directives explicites concernant la durée d'exploitation des centrales nucléaires (50 ans) ont été émises pour les Perspectives énergétiques 2050 (cf. Tableau A3-4). Le modèle d'offre électrique reproduit chaque centrale nucléaire individuellement.

Tableau A3-4 Durées d'exploitation prescrites par centrales nucléaires

Centrales nucléaires (CN)	Durée d'exploitation dans la variante d'offre électrique 2 du Conseil fédéral
Beznau I (365 MW _{el})	1969 – 2019
Beznau II (365 MW _{el})	1972 – 2022
Mühleberg (373 MW _{el})	1972 – 2022
Gösgen (985 MW _{el})	1979 – 2029
Leibstadt (1190 MW _{el})	1984 – 2034

5.2 Données socio-économiques cadre

Outre les contraintes générales présentées au chiffre 3.1, le système énergétique est sensiblement influencé par la structure de l'économie suisse, l'évolution démographique, etc. Ces données-cadre sont imposées de l'extérieur et restent inchangées dans les Perspectives énergétiques 2050³ (Prognos 2012: chapitre 3, Gemeinsame Rahmendaten, page 51 ss).

Ces contraintes sont nécessaires, car il convient de calculer, dans les scénarios, les quantités d'énergie nécessaires à la population et à l'économie. Dans une économie riche, efficace et pauvre en ressources, en particulier, l'énergie ne devrait pas constituer un facteur limitatif. Comme la part des coûts du système énergétique sur le PIB ne correspond qu'à quelques pour-cent, l'impact sur les grilles quantitatives est faible. Les résultats du modèle d'équilibre en témoignent.

Hypothèses et sources:

- **Croissance démographique:** selon les estimations de l'Office fédéral de la statistique (OFS, scénario tendance 2010), le taux de croissance annuel moyen de la population est de 0,6 %. La Suisse comptera donc environ 9 millions d'habitants en 2050, soit quelque 16 % de plus qu'en 2010.
- **Croissance économique:** le SECO a, sur la base des scénarios démographiques de l'OFS, estimé le taux de croissance annuel moyen du PIB à 1,2 %. Par rapport à 2010, le PIB croît (en termes réels, aux prix de 2010) d'environ 65 % jusqu'en 2050 (SECO, 2011).
- **Structures des branches en Suisse:** sur la base des scénarios démographiques de l'OFS et des estimations du PIB par le SECO, qui s'appuient sur eux, la Chancellerie fédérale suisse et l'Office fédéral de la statistique ont fait élaborer des scénarios d'évolution des branches pour les 20 prochaines années, en s'associant un groupe d'accompagnement interdépartemental. Ces scénarios prolongent la tendance vers une société industrielle et de services hautement technologique. Le scénario par branches est repris sans changement comme contrainte exogène dans les modèles de système énergétique «du bas vers le haut» pour les trois scénarios étudiés. Le modèle d'équilibre général utilise cette structure pour le scénario de référence PPA.
- **Scénarios d'évolution du trafic:** au printemps 2012, l'ARE a mis à jour ses Perspectives d'évolution du trafic en Suisse avec le scénario démographique 2010 de l'OFS. Ces bases actualisées sont utilisées pour le secteur des transports.

³ Dans le secteur des transports, une exception est faite pour le scénario NPE et une augmentation plus faible du trafic est supposée (cf. Prognos 2012, pages 67 - 68).

L'OFEN utilise, pour autant qu'elles soient disponibles, les données de base officielles élaborées par les autres services fédéraux. Ainsi, les sources de données sont transparentes. De plus, cette manière de procéder permet d'améliorer la comparabilité des études de l'administration fédérale. Le groupe d'accompagnement «scénarios économiques» de l'Etat-major de prospective a élaboré les scénarios par branches. De telles tâches sont assumées sous la direction de la Chancellerie fédérale par des représentants du SECO, de l'OFS, de l'OFAS, de l'AFF, de l'AFC, de l'OFEV, de l'OFEN et de l'ARE.

Les composantes quantitatives exogènes influencent les résultats considérablement. Mais on ne peut **pas** clairement admettre que sous-estimer les composantes quantitatives (trop faible croissance supposée de la population ou de l'économie) entraîne une sous-estimation de la politique requise ou vice-versa. Les effets des diverses composantes quantitatives ne sont pas proportionnels. Par exemple, une augmentation de la population signifie davantage de nouvelles constructions présentant de meilleurs standards de construction que la moyenne ou un développement plus marqué des entreprises et des branches modernes, hautement productives, à forte intensité de connaissances et plus efficaces. En d'autres termes, il existe aussi des évolutions contraires non intuitives. Il n'est même pas exclu que le degré d'intervention spécifique diminue lorsque le PIB et la population augmentent (et vice versa).

Afin d'exclure l'influence de l'évolution démographique, l'objectif fixé dans le scénario NPE n'a pas été défini comme un objectif quantitatif absolu: on a prévu un objectif (relatif) d'émissions dues à l'énergie par habitant.

5.3 Grilles quantitatives déduites des données-cadre

Les variables quantitatives importantes sont l'évolution démographique et l'évolution du PIB selon la structure des branches (y compris les personnes employées). Ces contraintes déterminent sensiblement les valeurs qui en sont déduites pour les modèles. Les principes fondamentaux d'extrapolation des valeurs quantitatives sont abordés au chapitre 2.

Quelques-unes des bases sont brièvement présentées à titre d'exemples pour toutes les grilles quantitatives nécessaires.

5.3.1 Secteur Ménages privés

Dans le secteur Ménages privés, les valeurs dépendent de l'affectation. Le nombre d'appareils nécessaire pour couvrir les besoins énergétiques d'une affectation (p. ex installations de chauffage, machines à laver, aspirateurs) est déterminé soit par la surface de référence énergétique (elle-même corrélée au PIB/habitant), soit par le nombre de personnes ou de ménages (concernant la structure des ménages, cf. Tableau 3-1 et Tableau 3-2).

Surfaces de référence énergétique (chauffage des locaux)

Les surfaces indiquées proviennent de Wüest & Partner (cf. Prognos 2012, section 3.1.4). Les principaux éléments déterminants sont les données relatives à la population et au PIB (cf. Tableau A3-4). La surface de référence énergétique augmente, puisque le PIB et la population croissent. Comme expliqué au chapitre 4.2, la relation entre la surface de référence énergétique et la consommation d'énergie n'est pas linéaire.

Tableau A3-4 Surfaces de référence énergétique par secteurs en millions de m² (résidences secondaires et de vacances comprises).

	2000	2010	2020	2035	2050
Ménages privés	416,5	486,7	560,5	631,4	665,8
Industrie	67,3	70,3	76,4	77,8	80,7
Services	139,7	151,8	161,68	176,5	191
Total	623,5	708,8	798,53	885,7	937,5

Sources: Wüest & Partner, OFS: Recensement fédéral de la population 2000; extrapolation de Prognos 2012

Appareils électriques

Une fois encore, le PIB et la population sont les inducteurs essentiels de la demande d'appareils dans le secteur Ménages privés (cf. Tableau A3-5).

Tableau A3-5 Ménages privés, composantes quantitatives, nombre d'appareils en milliers.

	2000	2010	2020	2035	2050
Eclairage (en millions de m² de SRE)	404	475	548	618	651
Lave-vaisselle	1650	2183	2814	3433	3705
Réfrigérateur	3046	3332	3633	4025	4232
Réfrigérateur-congélateur	836	1193	1527	1643	1664
Congélateur (bahut)	1038	596	347	207	144
Armoire de congélation	1022	1818	2303	2638	2741
Lave-linge	2990	3434	3822	4045	4090
Machines lavantes-séchantes	39	78	140	230	294
Sèche-linge	1561	2498	3223	3705	4067
TV couleur	3678	4185	4773	5256	5432
Vidéo	2528	3071	3782	4570	5053
Ordinateur	2061	5267	6831	8053	8524
Téléphone mobile, sans câble	5335	9022	10456	12990	13422

Source: Prognos 2012

5.3.2 Secteurs Industrie et Services

Dans les secteurs Industrie et Services, on extrapole les valeurs en fonction de l'application selon les surfaces (chauffage des locaux, climatisation), selon la branche, selon le nombre de personnes actives (eau chaude), selon la valeur ajoutée brute ou selon les quantités produites (processus thermiques et mécaniques, ICT). Comme noté dans le rapport, les niveaux d'équipement pour la climatisation, l'éclairage et l'ICT sont en outre rehaussés, en particulier dans le secteur Services. C'est pourquoi la consommation énergétique au titre de «climatisation, éclairage, ICT» croît plus vite dans le secteur Services que la création de valeur brute des branches correspondantes.

Secteur Industrie

Les créations de valeur provenant des scénarios par branches de l'Etat-major de prospective constituent le point de départ qui détermine l'évolution subséquente. Les surfaces de référence énergétique par branches industrielles fournissent un exemple de grille quantitative qui en est déduite (cf. Tableau A3-6).

Tableau A3-6 Surfaces de référence énergétique par branches et par affectations (H: halle de production, B: bureaux, V: locaux non affectés)

Branche et affectation		2000	2010	2020	2035	2050
Alimentation	H ¹⁾	7193	7257	7969	7730	7501
	B	707	698	578	709	664
Habillement	H	2407	1787	1420	1165	1176
	B	195	215	219	196	138
Papier	H	1781	1695	1692	1707	1763
	B	158	140	135	112	81
Chimie	H	3871	4381	4768	5121	5200
	B	1131	1158	1184	1221	1256
Minéraux	H	2332	2374	2324	1926	1632
	B	177	180	176	148	127
Métaux	H	754	749	742	744	586
	B	165	172	172	144	95
Produits métalliques	H	5337	5311	5538	4456	3567
	B	1058	1053	1097	883	707
Electrotechnique	H	9943	12786	15169	16312	17860
	B	1902	2040	2061	1873	1422
Construction de machines	H	8828	8165	9278	9804	10512
	B	1860	1811	1893	1932	1984
Energie	H	1187	1208	1245	1474	1946
	B	447	441	431	369	246
Construction	H	3259	3496	4115	4865	6191
	B	2303	2315	2328	2338	2349
Autres	H	8762	9301	10247	11020	12056
	B	1577	1575	1582	1587	1590
Utilisé et chauffé	H	48698	47245	56535	58128	61342
	B	10746	10875	11100	10777	9979
Non utilisé et chauffé	H	6955	11266	7971	8196	8649
	B	935	926	757	735	680
Total	H	55653	58511	64506	66324	69991
	B	11681	11798	11857	11512	10659
	V	14896	16414	15141	12140	9895
Total		82230	86723	91504	89976	90545

¹⁾ H: halle de production, B: bureaux, V: locaux non affectés

Source: Prognos 2012

Dans le secteur Industrie, la demande de chaleur de processus joue un rôle particulier, tandis que l'énergie pour le chauffage des locaux est plutôt d'importance secondaire. Les créations de valeur fixées par branches permettent de déduire les chiffres de production mis en œuvre dans les processus de production détaillés. Le nombre des processus de production est présenté au Tableau A3-7.

Tableau A3-7 Structure des branches et nombre de processus, secteur Industrie

Branche	Sous-branches	Processus de production	Processus de technique de ménage
Alimentation	4	18	4
Habillement	2	6	4
Papier	2	17	4
Chimie	4	19	4
Minéraux	5	21	16
Métaux	4	22	8
Produits métalliques	4	15	4
Electrotechnique	2	7	4
Construction de machines	1	9	4
Energie	1	2	4
Construction	3	4	4
Autres	6	24	4
Total pour l'industrie	38	164	64

Source: Prognos 2012

Secteur Services

Le nombre de personnes actives est une valeur déduite importante dans le secteur Services. Les effectifs déterminent, en fonction de la branche, la demande de chaleur, de froid et des autres affectations. L'évolution déduite du nombre des actifs figure au Tableau A3-8.

Tableau A3-8 Création de valeur brute (CVB) et nombre d'actifs dans le secteur Services, par branches.

	2000	2010	2020	2035	2050
Actifs (en milliers)					
Agriculture	153	144	130	80	49
Commerce	550	576	643	690	741
Crédit/assurances	194	229	241	246	250
Autres services	912	1094	1125	1081	1042
Santé/social	329	422	504	611	741
Education/enseignement	185	220	225	217	208
Hôtellerie-restauration	209	204	208	154	114
Total des actifs	2532	2888	3076	3078	3146
Création de valeur brute (en termes réels, base 2010, en milliards de CHF)					
Agriculture	5.7	5.6	6.1	4.3	2.8
Commerce	59	70	85	103	125
Crédit/assurances	54	59	65	76	89
Autres services	162	195	218	238	262
Santé/social	25	34	43	54	68
Education/enseignement	3	2.9	3.2	3.5	4
Hôtellerie-restauration	13	12	13	10	8
Création de valeur brute totale	322	378	432	489	558

Sources: Chancellerie fédérale, 2012, OFS, 2012, Prognos 2012

5.3.3 Transports

La demande de transports est déduite au chapitre 3.2 et présentée explicitement au Tableau 3-5 (Prognos 2012, page 68). Les grilles quantitatives utilisées proviennent des Perspectives d'évolution du trafic publiées par l'ARE et sont résumées au Tableau A3-9.

Tableau A3-9 Demande de transports dans le trafic des voyageurs et des marchandises, scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle» (PPA), «Mesures politiques du Conseil fédéral» (PCF) et «Nouvelle politique énergétique» (NPE).

PPA / PCF	Unité	2000	2010	2020	2035	2050
Transports routiers de voyageurs	Mia. pkm	85,3	93,2	104,6	114,5	85,3
Transports ferroviaires de voyageurs	Mia. pkm	14,8	21	26,5	31,5	14,8
Total des transports de voyageurs	Mia. pkm	100,1	114,2	131,1	146	100,1
Transports routiers de marchandises	Mia. tkm	13,6	17	20	22,7	13,6
Transports ferroviaires de marchandises	Mia. tkm	10	9,9	14,3	17,6	10
Total des transports de marchandises	Mia. tkm	23,6	26,9	34,2	40,3	23,6
NPE	Unité	2000	2010	2020	2035	2050
Transports routiers de voyageurs	Mia. pkm	85,3	93,2	97,3	98,1	85,3
Transports ferroviaires de voyageurs	Mia. pkm	14,8	21	29,3	38,9	14,8
Total des transports de voyageurs	Mia. pkm	100,1	114,2	126,6	137	100,1
Transports routiers de marchandises	Mia. tkm	13,6	17	18,6	19,1	13,6
Transports ferroviaires de marchandises	Mia. tkm	10	9,9	16	20,2	10
Total des transports de marchandises	Mia. tkm	23,6	26,9	34,5	39,3	23,6

Source: ARE, calculs: Infras 2012

5.4 Conditions-cadre internationales

5.4.1 Evolution économique internationale

Les Perspectives énergétiques supposent que les objectifs fixés par la Suisse et ses instruments de politique s'intégreront à long terme dans une conception globale de politique énergétique et climatique. Les scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle», «Mesures politiques du Conseil fédéral» et «Nouvelle politique énergétique» s'insèrent dans les scénarios mondiaux du «World Energy Outlook» (2010) de l'AIE. Le scénario «New Policies», qui s'applique aux scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle» et «Mesures politiques du Conseil fédéral», part du principe que les mesures et politiques annoncées sur le plan international seront mises en œuvre.

Le scénario «Nouvelle politique énergétique» repose sur les données internationales cadre du «scénario 450» de l'AIE. Ce scénario postule que des mesures seront prises à l'échelle mondiale pour ramener la consommation génératrice de CO₂ à un niveau tel que le réchauffement global soit limité à 2° C. Il exige en particulier une coopération approfondie et coordonnée sur le plan international dans les domaines de la recherche et du développement.

On trouvera de brèves explications à ce sujet dans le World Energy Outlook 2010 de l'AIE et dans la section 3.3 du rapport de Prognos.

5.4.2 Les prix et leur application dans les modèles

Les prix de l'énergie en Suisse sont pour l'essentiel déterminés par les prix du marché mondial. Les Perspectives énergétiques utilisent les scénarios de prix du marché mondial de l'AIE, dont sont déduits les prix à la consommation finale. En outre, pour le prix de l'électricité en Suisse, on tient

compte des coûts de revient du parc de centrales, y compris les coûts de combustibles et l'évolution des coûts du réseau. Enfin, les éléments fiscaux entrent également dans le calcul du prix.

Divers scénarios de prix sous-tendent les scénarios PPA, PCF et NPE, car aucun pays ne saurait mettre en œuvre à lui seul un scénario de prix ambitieux. Les effets des diverses politiques énergétiques sur l'évolution des prix et des quantités reposent sur les éléments de base fournis par l'AIE (WEO 2010).

En inscrivant le scénario NPE dans une harmonisation internationale, notamment par l'instrument du prix du CO₂ défini par la politique énergétique, la Suisse se donne la garantie que son économie ne subira pas de désavantage comparatif.

Sources et hypothèses:

- **Prix international du pétrole:** les prix du pétrole suivent l'évolution des prix du World Energy Outlook 2010 de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). L'évolution des prix du scénario de l'AIE «New Policy» s'applique aux scénarios «Poursuite de la politique énergétique actuelle» et «Mesures politiques du Conseil fédéral», tandis que l'on a retenu l'évolution des prix du «scénario 450» pour le scénario «Nouvelle politique énergétique». En ce qui concerne l'évolution des prix de 2035 à 2050, on a procédé par des extrapolations modérées (Prognos 2012, page 69).
- **Prix du CO₂ à partir de l'ETS:** les prix du système d'échange de quotas d'émission de CO₂ (ETS) reposent sur les mêmes bases que les hypothèses adoptées pour le prix international du pétrole (Prognos 2012, page 69).
- **Prix de l'énergie en Suisse:** les prix de l'énergie à l'intérieur du pays sont calculés sur la base des prix du marché mondial, compte tenu des modifications des cours de change, d'éventuels coûts de transformation, des impôts et de la taxe sur le CO₂ (Prognos 2012, page 70).
- **Prix de l'électricité en Suisse:** les prix de l'électricité sont calculés sur la base des coûts de production microéconomiques de l'ensemble du parc de centrales et des coûts de réseau (Prognos 2012, section 3.3). Le prix de l'électricité à la consommation finale augmente de 23,6 à 28,8 ct./kWh (PCF), respectivement à 33,6 ct./kWh (NPE).

La demande énergétique à court terme et partiellement aussi à moyen terme est extrêmement inélastique aux prix. Elle est dominée par nombre d'autres facteurs (cf. à cet égard les analyses annuelles ex-post actualisées).

Il faut en outre noter que les coûts de l'énergie ne constituent que dans très peu de domaines une part significative du total des dépenses et des coûts. Par ailleurs, la consommation énergétique d'un acteur ou d'un groupe d'acteurs à un moment donné dépend surtout de facteurs non énergétiques (p. ex. les distances parcourues par les pendulaires, la surface habitable disponible, la branche industrielle). Il faut aussi considérer que l'énergie est généralement consommée par l'utilisation durable de biens comme les appareils, les véhicules ou les installations. Il est donc possible de s'adapter aux modifications de prix à moyen ou à long termes, par exemple dans le cadre d'un assainissement énergétique du bâtiment ou par l'acquisition d'un véhicule plus efficace. Les décisions d'investissement dépendent souvent dans une mesure secondaire des coûts énergétiques, car d'autres facteurs jouent un rôle prioritaire, par exemple la taille du réfrigérateur, la marque et la taille de l'écran ou certaines caractéristiques de l'installation de production.

Les prix de l'énergie à la base du scénario «Poursuite de la politique énergétique actuelle» contribuent (outre les conditions-cadre de politique énergétique supposées, les facteurs de rang supérieur qui déterminent le développement ainsi que d'autres tendances) à déterminer les valeurs de consommation spécifiques moyennes et les agents énergétiques prévus dans le scénario.

6 Eléments bibliographiques

Ecoplan 2012	Energiestrategie 2050 - volkswirtschaftliche Auswirkungen (rapport final du 12.09.2012).
Prognos 2012	Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 - Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050 (rapport du 12.09.2012).
Prognos 2013	Energieperspektiven 2050: Sensitivitätsanalysen Photovoltaik (rapport du 30.04.2013).
Consentec, 2012a	Einfluss verschiedener Stromangebotsvarianten auf die Netzinfrastruktur der Schweiz.
Consentec, 2012b	Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der dezentralen Erzeugung auf die Schweizer Verteilnetze.
AIE, 2010	World Energy Outlook, Paris.
EURELECTRIC, 2010	Power Choices, Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050 - Full Report, Bruxelles.