



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Avec le support de:



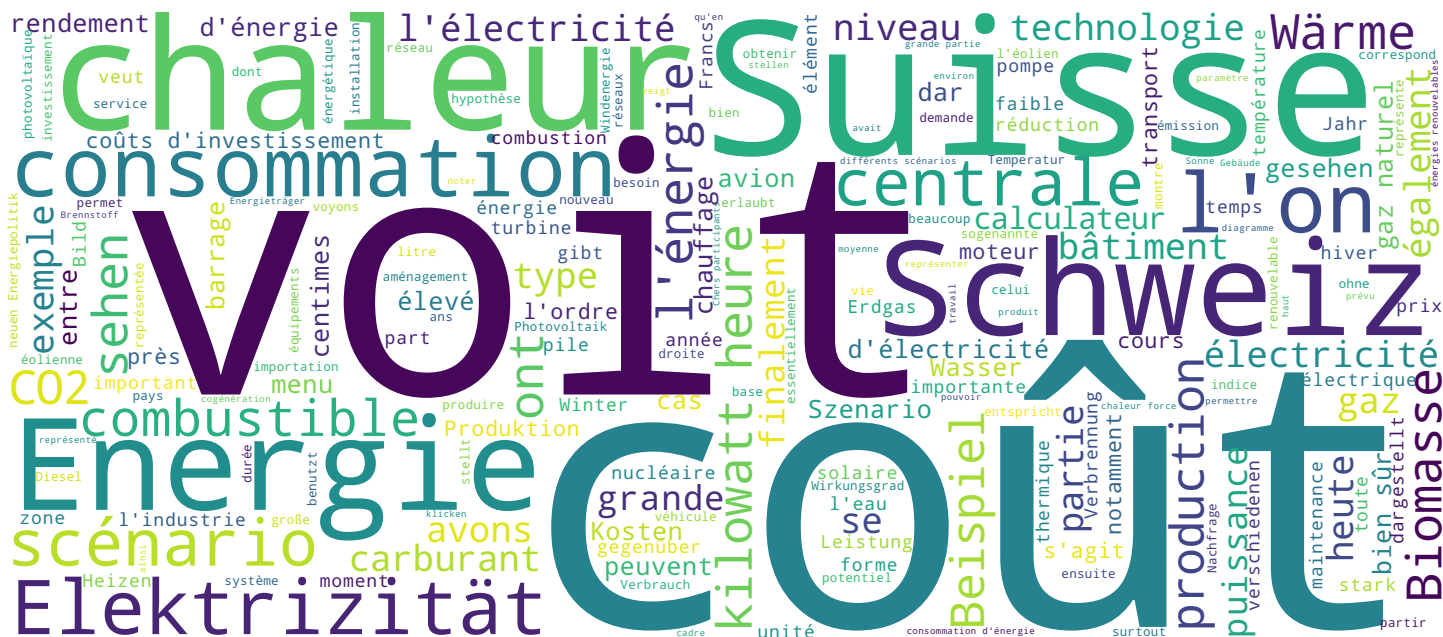
L9: Les scénarios et les coûts

**Transition énergétique suisse:
comprendre pour choisir**



Prof D. Favrat

avec des contributions de P.-A. Haldi, F. Maréchal, F. Vuille, Ph. Gillet, V. Codina et A. Bolcs



Search MOOC



Video



EPFL

Rappel: Valeur d'un kWh



La transition énergétique suisse

Chers participants, Nous avons vu à la première leçon, quelques exemples de ce que représente une énergie d'un kilowatt-heure. Ajoutons encore une autre illustration, comme on le voit ici. Un kWh électrique permettrait à l'aide d'une grue idéale de faire monter 4 personnes d'environ 75 kilos chacune de la cabane Hörnli jusqu'au sommet du Cervin c'est-à-dire de les élever de 1 200 mètres. Et tout ça pour 20 à 25 centimes si la grue était alimentée en électricité. C'est dire que les coûts de l'énergie sont actuellement en fait extrêmement bas. À l'heure de parler de coûts, il est utile de rappeler tous les services que peut déjà nous fournir un simple kilowatt-heure.

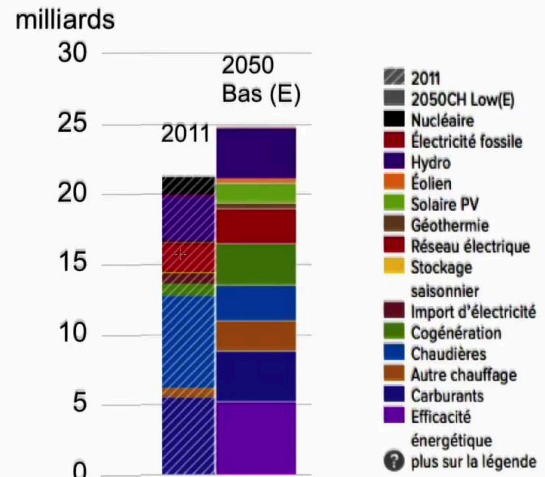
Notes

Summary



0m 03s

Comparaison des coûts entre 2011 et 2050 (scénario NPE)



La transition énergétique suisse

Parmi les principaux indicateurs que nous avons vus à la dernière leçon, l'indicateur coût dans le calculateur permet d'estimer les coûts associés à un scénario donné, comme ici, les coûts de construction du système énergétique en 2011, ou les coûts estimés d'un système construit en 2050. On voit ici globalement que ces coûts sont de l'ordre de 15 % plus élevés avec bien sûr une marge d'incertitude relativement importante.

Notes

Summary



Hypothèses d'estimation de coûts

- Le système est entièrement construit à l'année choisie sur la base des projections de coûts spécifiques:
 - des énergies
 - des investissements (annualisés sur la durée de vie des composants)
 - de la maintenance et des opérations
- Les coûts de démantèlement ne sont pas inclus
- Les taux d'intérêt peuvent être choisis dans une fourchette de 1.7 à 4.7%
- Les coûts de combustible et les coûts d'investissement peuvent varier dans des fourchettes données dans le menu « coûts »
- Certains coûts comme celui de la mise en place de réseaux de gaz ne sont pas inclus

La transition énergétique suisse

Pour simplifier notre estimation des coûts et des différents scénarios, on va faire les hypothèses suivantes : Le système est entièrement construit à l'année choisie, sur la base des projections de prix spécifiques des énergies, des investissements annualisés sur la durée de vie des composants, de la maintenance et des opérations. Les coûts de démantèlement ne sont pas inclus dans notre calculateur. Les taux d'intérêt peuvent être choisis dans une fourchette de 1,7 à 4,7 % dans la version actuelle du calculateur. Les coûts de combustible et les coûts d'investissement peuvent varier dans des fourchettes données dans le menu des coûts qui va nous être utile dans le calculateur pour voir vraiment les différentes conditions que l'on a choisies. Certains coûts comme celui de la mise en place de réseaux de gaz ne sont pas inclus, car on estime qu'il n'y aura pas de grands changements dans ce type de réseaux entre 2011 et 2050.

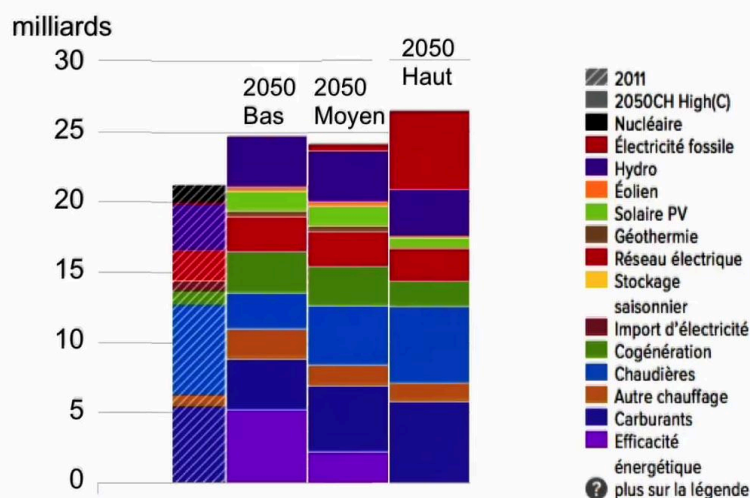
Notes

Summary



1m 25s

Comparaison des estimations de coûts



La transition énergétique suisse

Ce graphe permet de distinguer, en terme de coûts, les différents scénarios énergétiques proposés par la Confédération pour 2050, les 3 scénarios. L'approche méthodologique choisie a bien sûr un impact important sur les résultats, avec des marges d'erreurs qui peuvent être significatives, s'agissant de prévisions à 35 ans. On observe que les estimations pour chaque scénarios sont, dans ces conditions, relativement proches et reflètent des tendances. Tous les nouveaux scénarios conduisent à des coûts légèrement plus élevés. Il est intéressant de noter que le scénario le moins ambitieux de 2050 haut est celui qui revient le plus cher, essentiellement parce qu'il a davantage recours aux énergies fossiles notamment pour les carburants et l'électricité. L'augmentation générale des coûts est influencée par la part relative des investissements à consentir. Pour une efficacité énergétique plus grande, comme on le voit avec la plage grenat qui passe ici de quelque 5 milliards à 0 dans le cadre du 3ème scénario, le moins ambitieux, et ce, même si la part des énergies finales que l'on devra acheter aura diminué car la consommation est plus faible.

Notes

Summary



2m 28s

Evolution des coûts des centrales à gaz



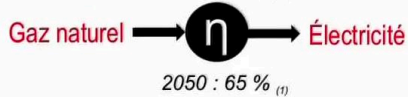
+



+



2035 : 63 % ⁽¹⁾



Prix du gaz naturel ⁽²⁾ (cts CHF/kWh_{therm})

	2035	2050
MIN	6.15	6.62
MAX	13.00	15.87

Investissement spécifique (CHF/kW_{el})

	2035	2050
MIN	739 ⁽¹⁾	702 ⁽¹⁾
MAX	1'300 ⁽³⁾	1'300 ⁽³⁾

Maintenance et Opération (CHF/kW_{el}/an)

2035	2050
25 ⁽⁴⁾	25 ⁽⁴⁾

Sources: (1) Final report on technical data, costs and life cycle inventories of advanced fossil power generation systems; (2) Cost Model wiki, Swiss Energy Scope (2015); (3) Energie-Spiegel, PSI (2010); WEIO 2014 – Power generation investments assumptions, IEA (2014)

La transition énergétique suisse

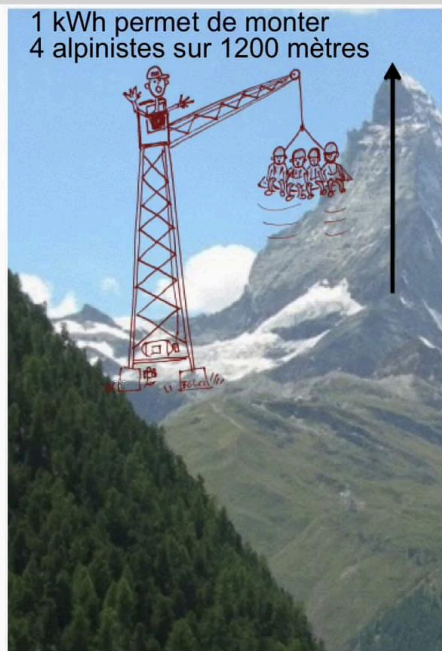
À l'exemple des centrales électriques à gaz montrées ici, les coûts sont composés des coûts des énergies achetées qu'il s'agisse de combustibles, des coûts spécifiques d'investissement et des coûts de maintenance et d'opération, exprimés généralement en Francs par kilowatt électrique et par an. À titre de rappel, la puissance, exprimée en kilowatt, est la quantité d'énergie que l'on peut obtenir dans une unité de temps donnée.

Notes

Summary



kWh=Energie, kW= Puissance



La transition énergétique suisse

Dans le cas de la grue montant les alpinistes au Cervin, la puissance devra être doublée si on veut les monter deux fois plus vite. Le travail est le même, mais il doit être fait dans un temps deux fois plus court ce qui requiert une puissance deux fois plus grande.

Notes

Summary



4m 30s

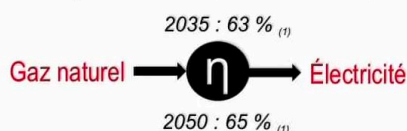
Evolution des coûts des centrales à gaz



+



+



Prix du gaz naturel ⁽²⁾ (cts CHF/kWh_{therm})

	2035	2050
MIN	6.15	6.62
MAX	13.00	15.87

Investissement spécifique (CHF/kW_{el})

	2035	2050
MIN	739 ⁽¹⁾	702 ⁽¹⁾
MAX	1'300 ⁽³⁾	1'300 ⁽³⁾

Maintenance et Opération (CHF/kW_{el}/an)

2035	2050
25 ⁽⁴⁾	25 ⁽⁴⁾

Sources: (1) Final report on technical data, costs and life cycle inventories of advanced fossil power generation systems; (2) Cost Model wiki, Swiss Energy Scope (2015); (3) Energie-Spiegel, PSI (2010); WEIO 2014 – Power generation investments assumptions, IEA (2014)

La transition énergétique suisse

Pour une centrale à gaz comme ici, la puissance sera deux fois plus grande si on peut brûler avec le même rendement, deux fois plus de gaz naturel pendant la même durée de temps, et obtenir ainsi deux fois plus de puissance électrique. Quant aux frais de maintenance, ils sont d'autant plus élevés que l'installation est plus puissante, un facteur qui influence le coût final du kilowatt-heure produit est l'efficacité électrique. Dans ce cas-là, on voit que ce qui est prévu est une efficacité électrique de 63 % en 2035 et 65 % en 2050 pour ce type de technologie. Ces 63 % ou 65 % correspondent en fait à la partie d'électricité qu'on peut obtenir pour 100 % de chaleur obtenue à partir de la combustion du gaz naturel.

Notes

Summary



Energies renouvelables: Coûts d'investissement dominant



Pour les énergies renouvelables, les coûts d'investissement jouent un rôle primordial.

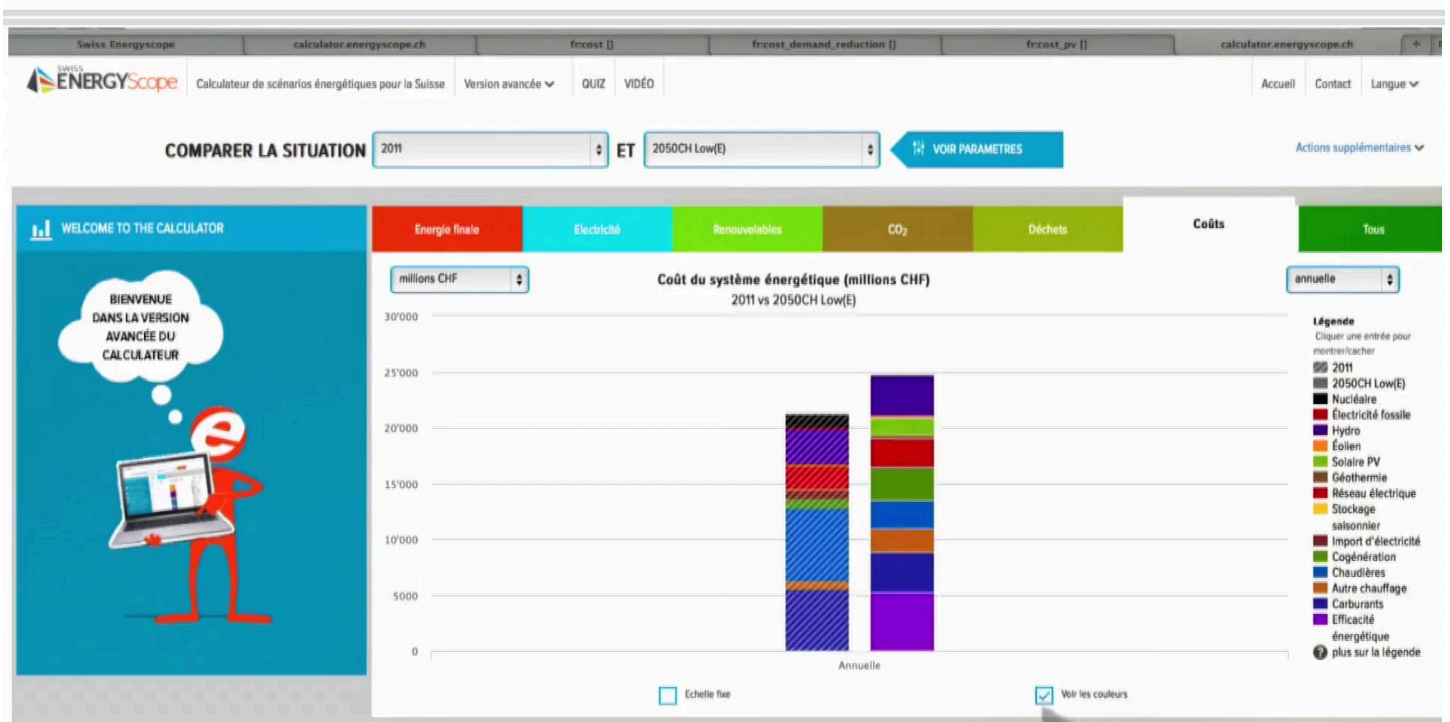
Notes

Summary

5m 38s



EnergyScope Calculator



Passons maintenant sur notre calculateur et choisissons la langue : ici, le français. Choisissons également la version avancée et choisissons notre année de référence : en l'occurrence 2050 bas, que nous avons déjà vu. Et plaçons-nous avec l'index des coûts d'énergies et on voit ici qu'il y a une légère augmentation des coûts de l'ordre de 15 % prévue pour ce scénario en 2050.

Notes

Summary



EnergyScope Calculator



Calculateur de scénarios énergétiques pour la Suisse

Version avancée

QUIZ

VIDÉO

Accueil

Contact

Langue

COMPARER LA SITUATION

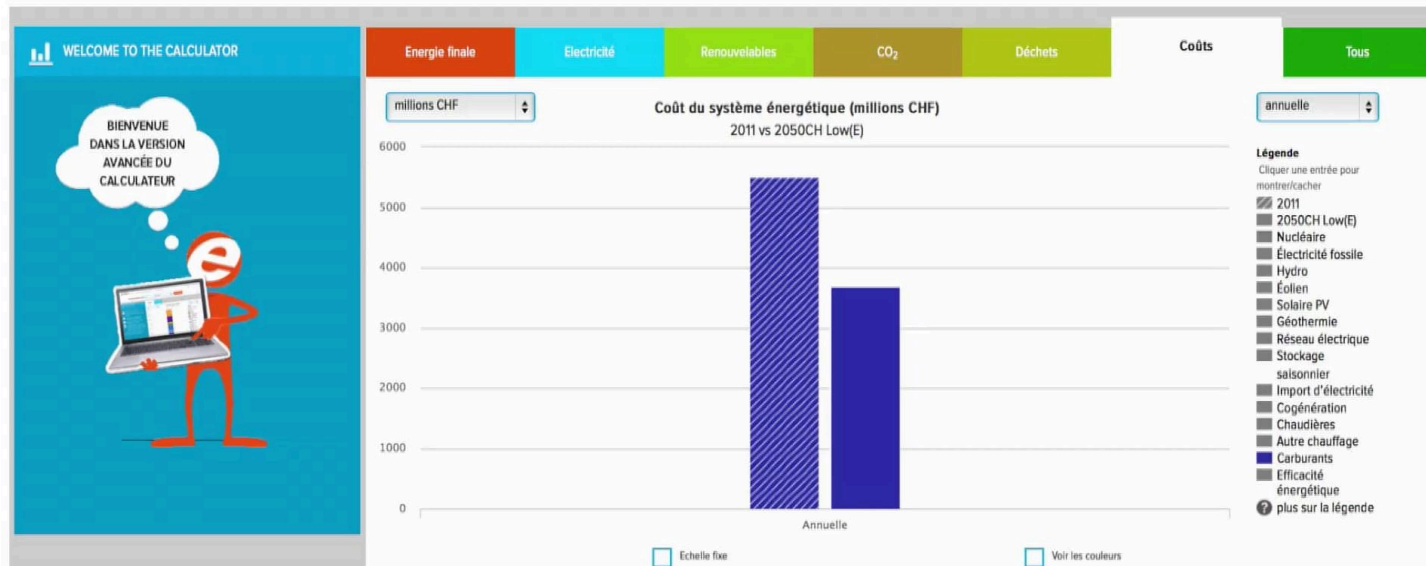
2011

ET

2050CH Low(E)

VOIR PARAMETRES

Actions supplémentaires



Enlevons maintenant les échelles et les couleurs pour se retrouver avec une page blanche qui va nous permettre d'analyser chaque élément de coût.

Notes

Summary



6m 28s

EnergyScope Calculator

2050 EPTL Pathways Calculator (2) [R] Process (1)

Les systèmes de cogénération ne sont représentés que par un élément individuel, "Cogénération". Cela évite de devoir allouer des coûts séparément pour les productions électrique et calorifique, ce qui représente un avantage pratique comparé à d'autres modèles.

Les coûts des investissements sont calculés pour chaque année (2011, 2035 et 2050) en supposant que les systèmes d'énergie complets sont entièrement remplacés durant l'année sélectionnée, en tenant compte des prix relatifs, et des statuts de développement des technologies. Les coûts d'investissements sont convertis en coûts annuels en fonction du taux d'intérêt selon l'équation suivante,

$$C_{inv} = C_{invT} * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

où

- * C_{invT} est le coût total des investissements,
- * i est le taux d'intérêt,
- * n est la durée de vie d'une technologie en années.

Cette démarche permet de comparer des coûts d'investissements en 2011 avec ceux de 2035 et 2050, sans devoir considérer des processus d'installation/mise hors service.

ENTRÉES

Les variables entrées dans le sous-modèle des coûts sont les "prix des carburants", les "coûts d'investissements" et les "taux d'intérêt". Les valeurs extrêmes de ces variables sont "1" et "3", avec "1" pour la valeur de coûts la plus basse, et "3" pour la valeur la plus haute.

PRIX DES CARBURANTS

L'entrée "Prix des carburants" définit lequel des trois niveaux de prix est sélectionné pour le calcul des coûts. Le tableau suivant montre les prix de production, ou prix à la frontière suisse, si les ressources sont importées. Les taxes ne sont pas incluses dans les calculs des coûts.

ctsCHF/kWh _{net}	2010	2035			2050		
		MIN(1)	MOY(2)	MAX(3)	MIN(1)	MOY(2)	MAX(3)
Essence	8.59 ⁽¹⁾⁽²⁾	9.18	11.30	14.76	8.55	12.90	16.51
Diesel	8.41 ⁽¹⁾⁽²⁾	8.99	11.07	14.46	8.38	12.64	16.18
Bioéthanol	7.36 ⁽⁸⁾	9.18	11.30	14.76	8.55	12.90	16.51
Biodiesel	11.93 ⁽⁸⁾	8.99	11.07	14.46	8.38	12.64	16.18
Mazout	6.54 ⁽¹⁾⁽³⁾	6.99	8.60	11.24	6.52	9.83	12.58
Kérosène	5.91 ⁽⁴⁾	6.32	7.78	10.16	5.89	8.88	11.37
Gaz	6.50 ⁽⁹⁾	6.15	10.07	13.00	6.62	12.07	15.87
Bois	3.01 ⁽⁷⁾	6.82	7.81	8.80	7.41	8.96	10.50

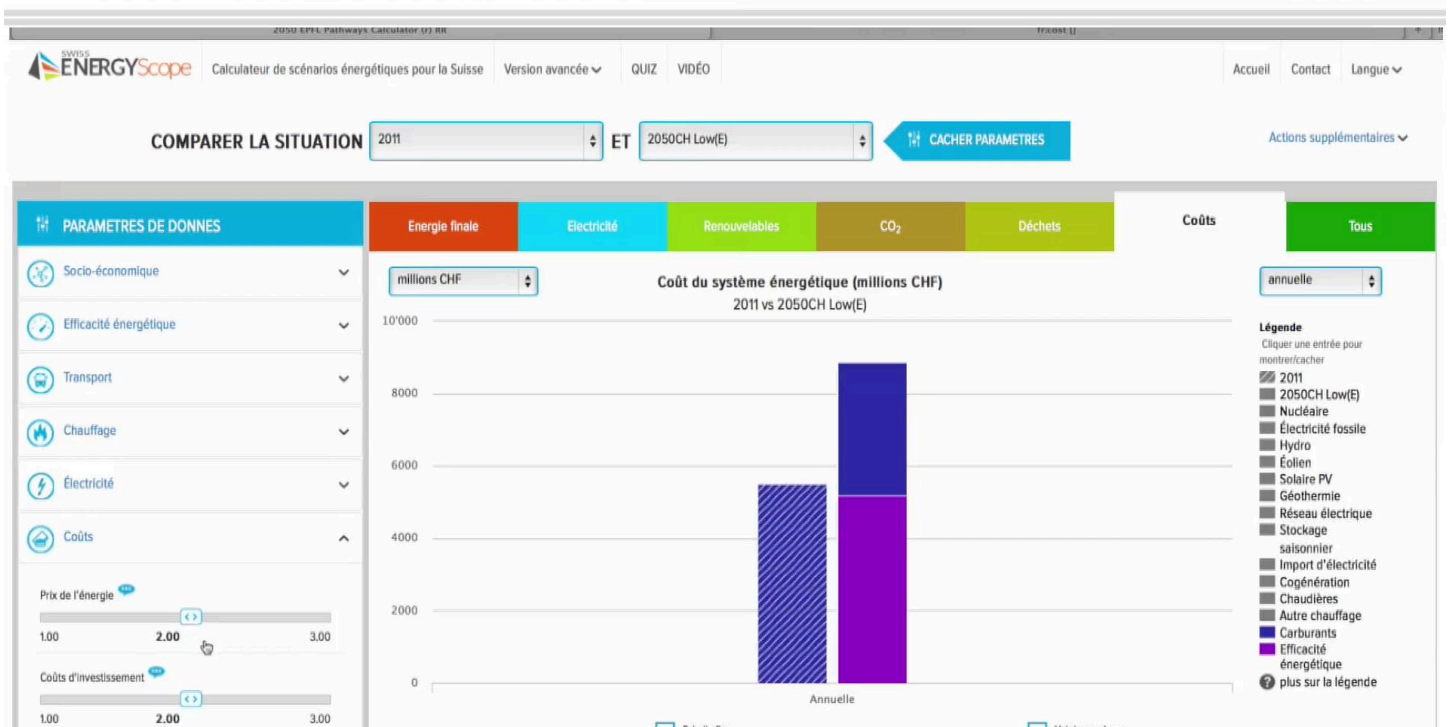
Cliquons maintenant sur *carburant* pour représenter la différence qu'il y a entre les coûts annuels 2011 et les coûts annuels 2050, qui ont diminué à cause, en grande partie, de la réduction de la consommation d'énergie pour un service donné et cette consommation est moindre pour les carburants car si on veut voir maintenant quels sont les paramètres qui ont été choisis en 2050, on va cliquer sur *voir les paramètres, voir les coûts* et on constate que pour le prix de l'énergie, on a en 2050, un indice qui était un peu plus élevé que 2 et si on va regarder maintenant à quoi correspond cet indice de 2, eh bien on peut faire *plus d'informations* dans le Wiki et on tombe sur un menu déroulant qui nous permet ensuite d'aller jusqu'au tableau des coûts qui ont été considérés pour 2050 et 2035. On voit que pour l'essence, en 2050, il est prévu d'avoir un coût moyen pour un indice de 2, de 12,9 centimes par kilowatt-heure ce qui correspond à peu près à 1,30 Francs le litre, alors qu'en 2010 nous étions à quelque chose comme 86 centimes le litre hors taxes puisque tous ces prix sont donnés hors taxes. Revenons maintenant à notre calculateur.

Notes

Summary



EnergyScope Calculator



Cliquons sur *efficacité énergétique*. On voit apparaître une zone grenat qui montre qu'en 2050 avec ce scénario, il faudrait investir quelque 5 milliards de Francs dans des équipements d'efficacité énergétique et si on veut savoir de quels équipements il s'agit, on va aller de nouveau sous l'*indice des coûts* et sous *coûts d'investissement* et de nouveau obtenir notre menu et là, sous rendement énergétique, on peut voir que les coûts sont essentiellement considérés pour des investissements dans les aménagements des bâtiments et dans l'industrie et les services aussi au niveau des bâtiments mais également au niveau des équipements de l'industrie elle-même.

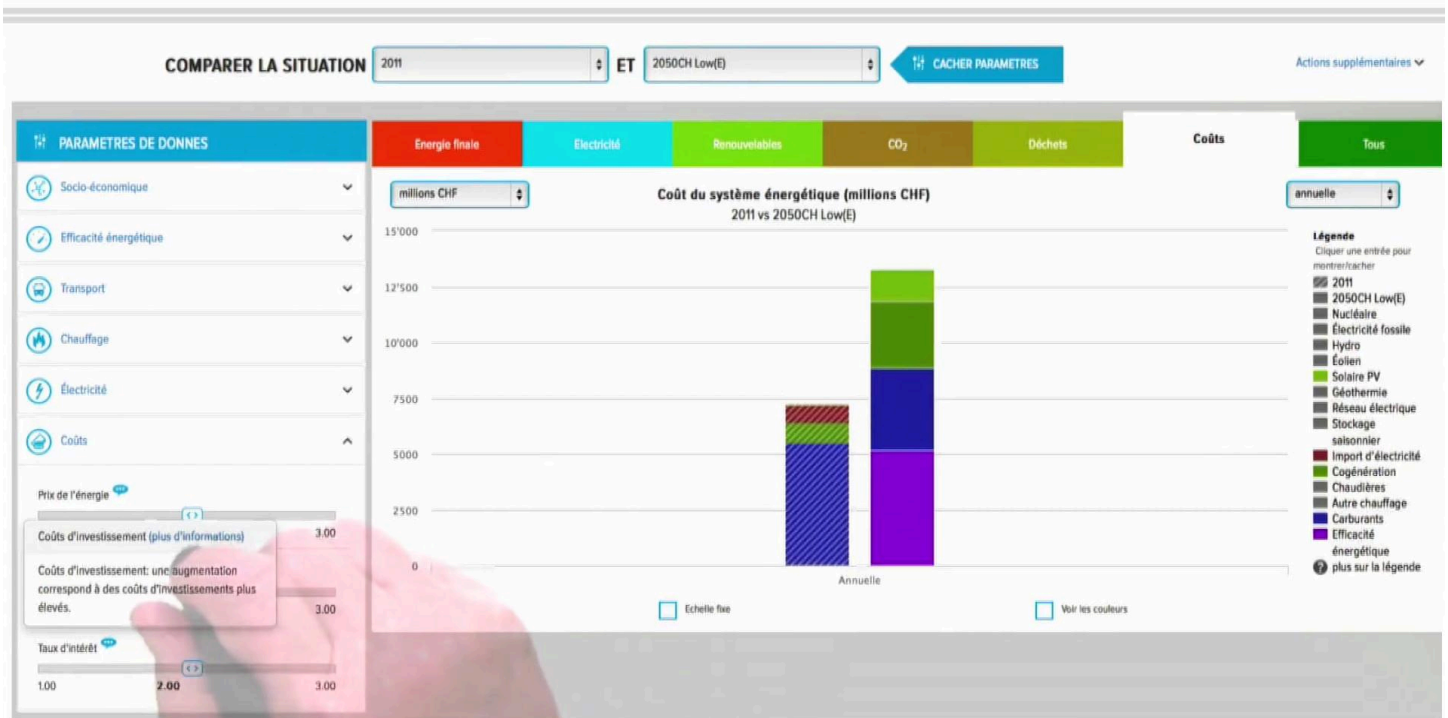
Notes

Summary



8m 21s

EnergyScope Calculator

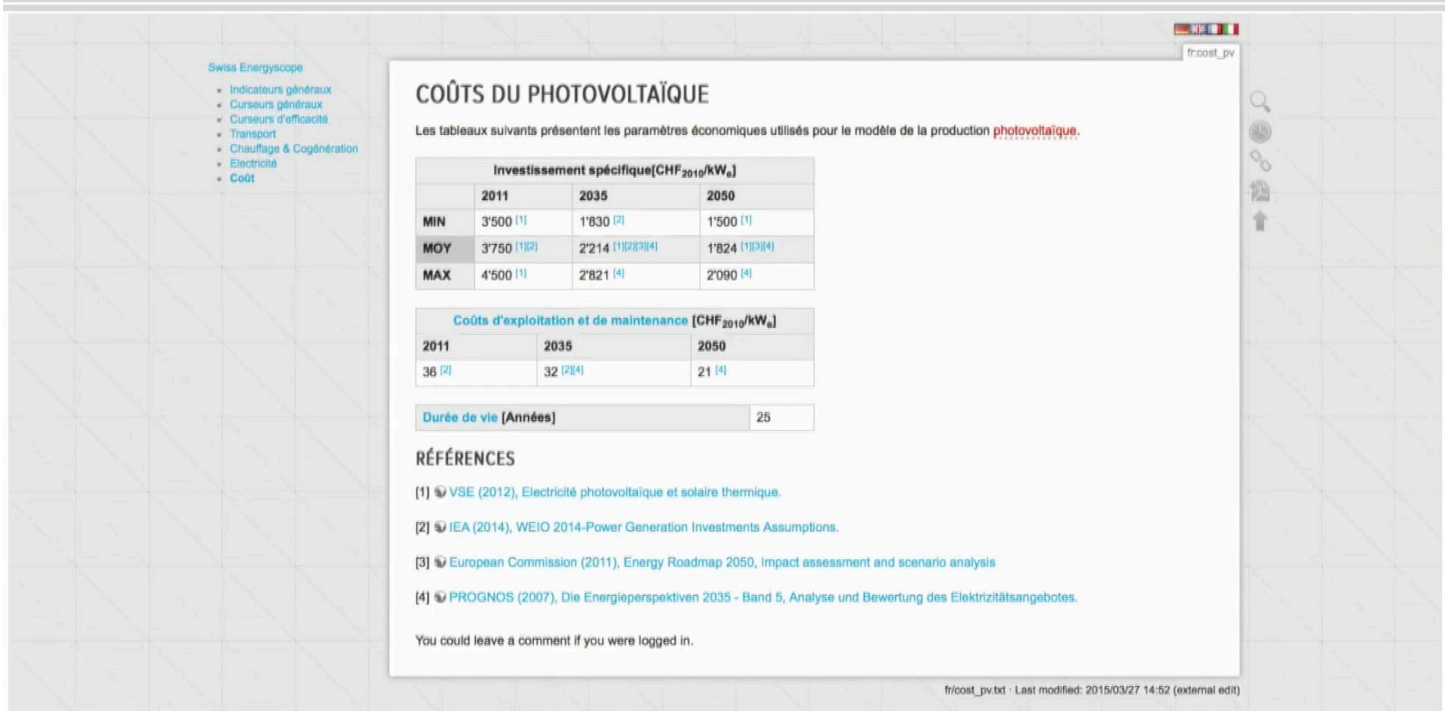


En revenant à notre graphe comparant 2011 à 2050, scénario de base, c'est-à-dire nouvelle politique énergétique, et en cliquant à la fois sur *co-génération* et sur *importation de l'électricité*, on voit une augmentation des coûts. En fait, en 2050 ce scénario permet de satisfaire toute la consommation prévue d'électricité par des installations de cogénération, c'est à dire des installations chaleur-force, représentées ici, en évitant les importations que nous avons en hiver 2011. Un des thèmes récurrents est le coût du solaire ou de l'éolien. À titre d'exemple, on va cliquer maintenant sur *solaire photovoltaïque*. On voit un élément de barre vert clair qui est venu se rajouter sur la colonne 2050 essentiellement car les investissements solaires en 2011 étaient négligeables. En allant sur le menu des coûts, et sous *coûts d'investissement*, on peut voir sous *énergies photovoltaïques* les différentes hypothèses sur les coûts d'investissements spécifiques qui ont été introduits dans le calculateur.

Notes

Summary





On voit notamment qu'en 2050, on a un minimum de coût de 1 500 Francs par kilowatt-heure électrique et que la moyenne va se situer autour de 1 824. On admet une durée de vie des capteurs de 25 ans et des coûts de maintenance et d'exploitation qui sont faibles. Cependant, l'image n'est pas complète, car il s'agit de connaître quel est le type de rendement électrique qui a été supposé pour ces capteurs en 2035 et 2050 dans les différents scénarios.

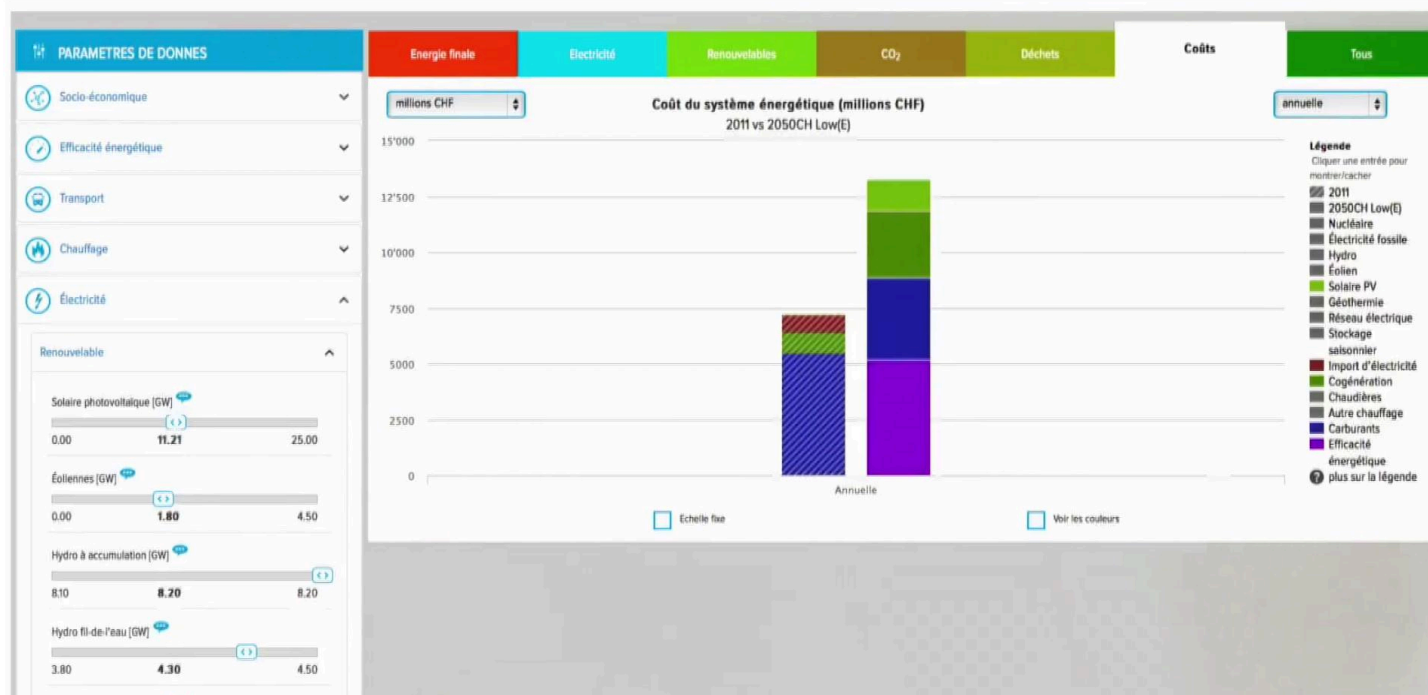
Notes

Summary



10m 50s

EnergyScope Calculator



Pour cela, revenons au calculateur.

Notes

Summary



11m 28s

EnergyScope Calculator

Les installations photovoltaïques peuvent générer entre 800 et 2500 kWh en un an.

- Permettre des installations photovoltaïques et la connexion au réseau est un obstacle majeur au déploiement PV dans certains pays.
- La disponibilité de la zone de toit adapté pour PV peut devenir un facteur limitant dans la réalisation d'une part élevée des PV. Les systèmes installés sur les champs «verts» peuvent provoquer la résistance du public.
- Il peut être difficile de vendre l'électricité PV avec une marge suffisante dans un marché basé sur l'ordre du mérite. Les incitations peuvent donc persister même à très faible coût moyen actualisé de l'électricité PV.

HYPOTHÈSES – QUELLES SONT LES HYPOTHÈSES UTILISÉES DANS LE CALCULATEUR?

Les tableaux suivant contiennent les hypothèses qui ont été introduites dans le modèle d'énergie photovoltaïque du calculateur.

Facteur de charge

2011	2035	2050
0.113	0.113	0.113

Répartition mensuelle*

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0.040	0.064	0.090	0.111	0.117	0.114	0.123	0.117	0.093	0.066	0.038	0.027

*Basé sur la production réelle de l'électricité photovoltaïque du "Mitteland" ^[1].

Rendement [%]

2011	2035	2050
16		25

Émissions

	2011	2035	2050
Émissions de CO ₂ -eq. [kgCO ₂ -eq./kWh _e]	0.0625	0.0334	0.0179
Déchets résiduels [UBP/kWh _e]	7.87	4.20	2.25

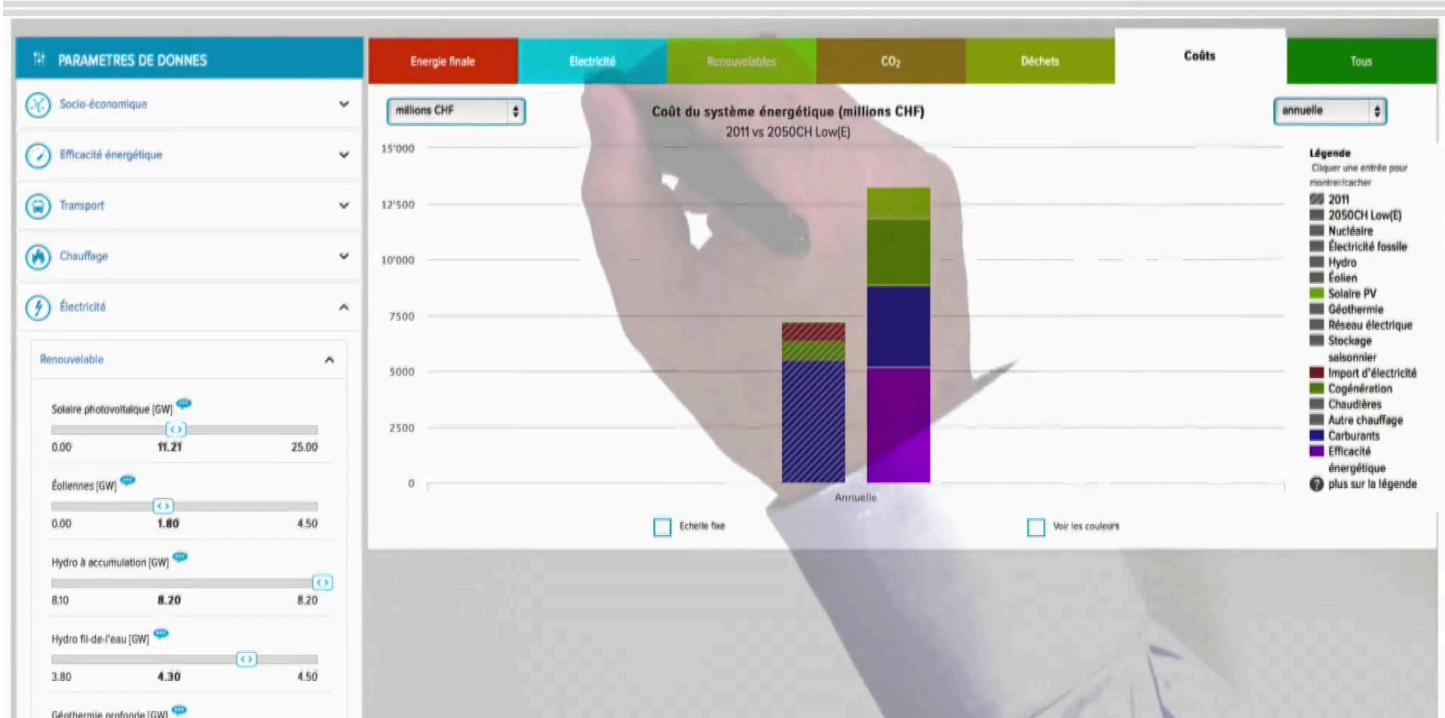
Cliquons sur *électricité*, cliquons sur *renouvelable* et voyons les hypothèses en demandant l'information en cliquant sur *plus d'informations* et de nouveau on tombe sur notre menu déroulant qui va nous permettre de voir d'abord, la répartition mensuelle déjà de la production solaire au cours des mois et les rendements qui ont été supposés. En 2011, on avait supposé 16 %. En 2050 on suppose 25 % de rendement électrique pour les capteurs solaires. Ce sont des valeurs très conservatrices étant donné la tendance actuelle d'amélioration de ces technologies.

Notes

Summary



EnergyScope Calculator



En fait, en couplant l'information du menu *coûts* pour le photovoltaïque qui montre un investissement de l'ordre d'1 milliard 440 millions en 2050.

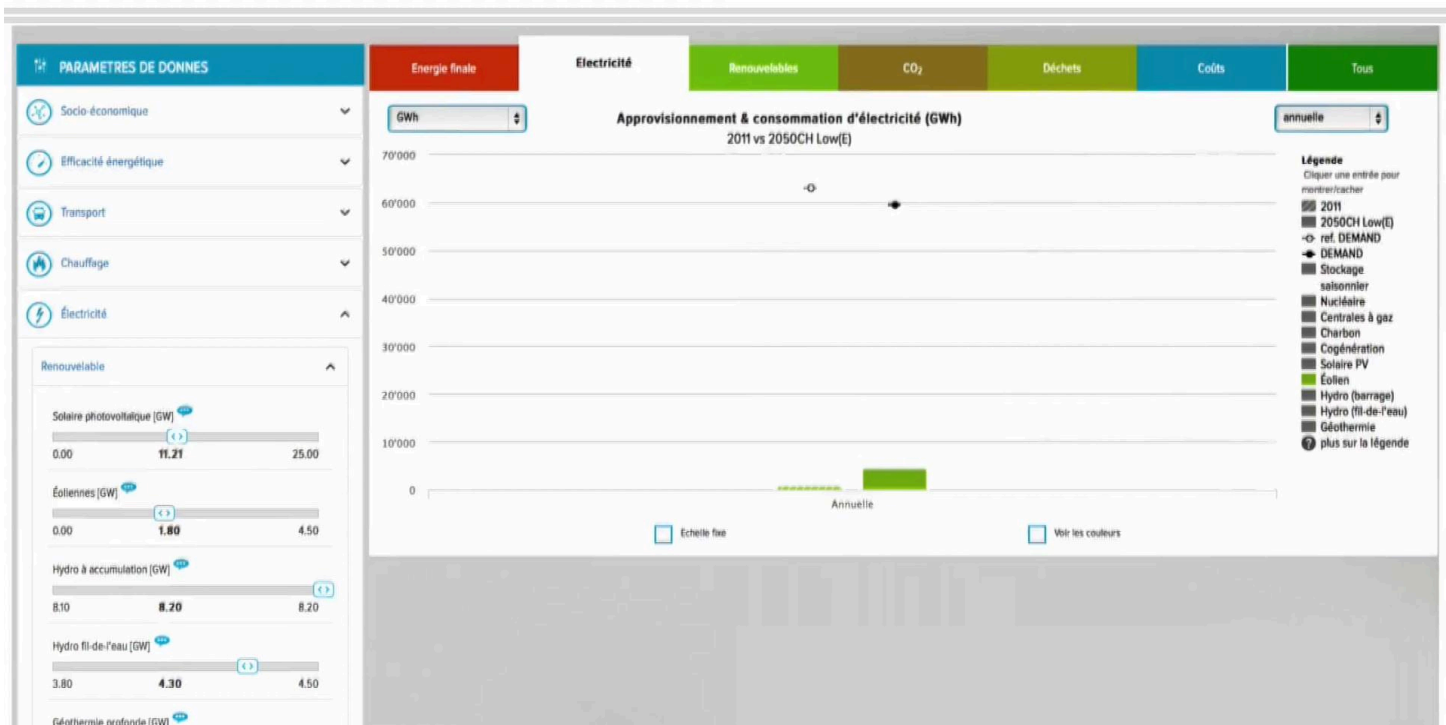
Notes

Summary



12m 16s

EnergyScope Calculator



Avec le menu *électricité solaire photovoltaïque* qui lui, montre un investissement solaire qui produit 11 118 gigawatt-heure, eh bien on est à même à ce moment-là, de calculer un coût moyen du kilowatt-heure qui est de 13 centimes en 2050 pour l'électricité photovoltaïque. L'avantage de cette production photovoltaïque est que pendant une grande partie de l'année, une partie de la consommation peut se faire sans les coûts de réseaux qui sont du même ordre de grandeur surtout avec les nouvelles technologies de stockage local qui commencent à pointer leur nez. On peut faire la même démarche pour l'éolien avec une production prévue de 4 259 gigawatt-heure et qui conduit à des coûts d'environ 7 centimes par kilowatt-heure. Néanmoins, il s'agit là d'une technologie qui nécessite pour l'entier de la production, l'utilisation du réseau avec des coûts qui dépassent souvent les 10 centimes par kilowatt-heure.

Notes

Summary



Conclusions



Les principaux scénarios de la Confédération conduisent à :

- Des coûts globaux relativement proches des coûts actuels
- Des coûts peu différenciés entre les scénarios
- Le scénario à haute consommation semble être le plus cher dans le cadre des hypothèses faites
- Si les hypothèses faites peuvent toujours être discutées, le calculateur Swiss-energyscope assure au moins la transparence de celles-ci grâce à un Wiki bien documenté
- Le travail est toujours en cours pour perfectionner ces prévisions

La transition énergétique suisse

En conclusion, nous avons vu que les principaux scénarios de la Confédération conduisent à des coûts globaux relativement proches des coûts actuels; des coûts peu différenciés entre les scénarios; que le scénario à haute consommation semble être le plus cher dans le cadre des hypothèses faites; et si les hypothèses faites peuvent toujours être discutées, le calculateur Swiss-energyscope assure au moins la transparence de celles-ci grâce à un Wiki bien documenté que l'on a illustré. Le travail est toujours en cours pour perfectionner ces prévisions qui sont naturellement entachées d'une marge d'incertitude qui n'est pas négligeable.

Notes

Summary



13m 46s