

LE POINT SUR L'ÉNERGIE

DES FAITS POUR LA POLITIQUE ÉNERGETIQUE DE DEMAIN

Électricité durable: Vœu pieux ou bientôt réalité?

Le développement durable est aujourd'hui sur toutes les lèvres. On use et abuse de cette notion plus que d'aucune autre. Le souhait d'un développement durable est incontestable, mais qu'est-ce que cela signifie concrètement dans les secteurs de l'énergie et de l'électricité? La durabilité des systèmes énergétiques peut-elle être mesurée objectivement? Quelles technologies font bonne figure? Des recherches récentes au PSI montrent qu'il n'y a pour le moment aucune solution parfaite, et que cela dépend donc des priorités que l'on se fixe.

Respectueuse du climat, de l'environnement et des ressources, sans émission, sûre et fiable, largement acceptée socialement et bien sûr économique: c'est ainsi que la plupart d'entre nous s'imaginent une alimentation électrique durable. Malheureusement, ceci reste pour le moment un vœu pieux et il nous faudra encore vivre de longues années sans cette technologie idéale.

Cela ne nous empêche pas, dans notre prise de décision, de peser le pour et le contre des alternatives possibles. Ainsi le meilleur moyen est de s'appuyer sur des indicateurs mesurables, qui doivent refléter les aspects écologiques, économiques et sociaux, comme par exemple les émissions toxiques, les coûts de l'électricité, ou encore les accidents possibles. En collaboration avec les partenaires de recherche, le PSI a mis au point de nouvelles méthodes afin de réaliser une comparaison systématique des différentes options de production électrique. L'analyse dite multicritères (MCDA) permet de combiner des indicateurs mesurables avec des pondérations subjectives. Ainsi, la durabilité des technologies mises en comparaison dépendra aussi de l'importance des poids attribués aux différents indicateurs.

Si l'essentiel est d'avoir une électricité bon marché, les énergies renouvelables peuvent être éliminées. En se concentrant sur une production ayant une faible empreinte sur le climat, l'environnement et la santé, le choix se portera sur le gaz naturel et l'abandon des centrales à charbon. Enfin, si l'accent est mis sur l'acceptation la plus large possible par le public, les centrales nucléaires et autres centrales thermiques de grande puissance obtiendront de nos jours peu de points. Mais pour concevoir un approvisionnement de demain durable, nous devons tenir compte de ces compromis dans le développement à long terme des technologies, et ce toujours dans le contexte économique et social national.

MIT EINLAGEBLATT

Contenu

- 2 Définition: **Comment mesure-t-on la durabilité?**
- 3 Point de vue: **Et qu'en ressort-il?**
- 4 Entretien avec Stefan Hirschberg: **«Aider à la prise de décision et à l'échange de connaissances»**

Comment mesurer la durabilité?

De quelle façon notre alimentation énergétique va se façonner durablement, au vu des importantes divergences de point de vue. Souvent les désaccords commencent lors de l'examen de ce qu'on entend par développement durable. Il faut une méthode transparente fondée sur des preuves pour comparer les différentes technologies.

Près de 700'000 résultats: autant d'entrées sur google.ch, pour la recherche des mots-clés «durabilité» et «courant». Ces notions sont notamment traitées dans des contributions aussi diverses que le numéro 3 du Point sur l'Energie, l'analyse de cycle de vie (ACV) de systèmes photovoltaïques, le dossier sur l'environnement et la durabilité de la centrale nucléaire Leibstadt, la vision de l'énergie et du CO₂ de la chaîne de supermarchés Coop, mais aussi de conseils pour le développement durable des investissements financiers de la Banque Cantonale Zurichoise. Cette diversité est claire: la viabilité à long terme est sur toutes les lèvres. Il est également évident que tous les usages ne désignent pas la même chose et que certains de ces sujets sont utilisés pour des questions d'image et de relations publiques.

La durabilité doit être mesurée concrètement

Origine & Concept

Le «modèle à trois piliers» est aujourd'hui largement reconnu comme faisant foi dans le domaine du développement durable, qui dans le rapport Brundtland de l'ONU en 1987 retourne à une politique juste de développement et d'environnement. Dans ce modèle, la durabilité des trois domaines égaux en importance que sont l'environnement,

Modèle à trois piliers: le développement durable en bref

Environnement: La nature et l'environnement doivent être laissés intacts pour les générations futures.

Economie: Notre système économique doit fournir une base durable pour la prospérité.

Société: Tous les membres d'une communauté ont droit de prendre part aux processus sociaux de manière égale.

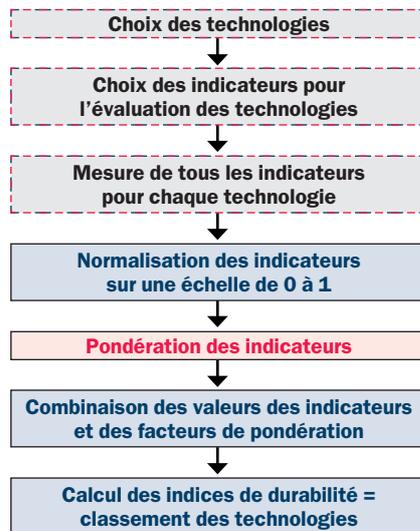


Figure 1: Schéma pour le déroulement d'une analyse multicritères (éléments subjectifs en rouge, éléments objectifs en bleu).

l'économie et la société est mesurée (voir encadré). Dans le même temps, c'est la justice globale qui doit être recherchée et la génération actuelle ne doit pas vivre aux dépens de l'avenir.

Mise en œuvre concrète

Afin d'évaluer la durabilité de l'électricité produite par une centrale, celle-ci doit être mesurée concrètement. La seule façon de comparer différents systèmes est de se baser sur les chiffres. C'est pourquoi l'outil «d'analyse multicritère» a été introduit et depuis lors optimisé (voir feuille séparée). Dans une analyse multicritères, les technologies à comparer sont d'abord identifiées (cf. Figure 1). Par la suite, les indicateurs qui couvrent les trois domaines du modèle à trois piliers sont définis, puis calculés pour chaque technologie (cf. Tableau 1). Ils peuvent déjà être utilisés pour comparer les technologies. Finalement, une valeur unique récapitulative est calculée pour chaque technologie. Cette valeur indique la durabilité des différentes technologies les unes par rapport aux autres. Dans le calcul de l'indice global, les indicateurs sont pondérés individuellement en fonction des préférences de l'utilisateur. Les résultats de l'indice de durabilité sont donc différents en fonction de la pondération des indicateurs: il n'y a par conséquent pas de résultat «juste» ou «faux».

Différentes méthodes sont utilisées pour évaluer la valeur des indicateurs: ceux associés à l'environnement sont surtout fondés sur l'ACV (cf. Le Point sur l'Energie n°11). De même, les indica-

teurs sociaux objectifs tels que les effets sur la santé dus à la pollution de l'air, utilisent l'analyse des chemins d'impacts («impact pathway approach»).

Cela veut dire que la propagation des émissions et le nombre de personnes concernées dépendent de la localisation de la source (cf. Le Point sur l'Energie n°19). Concernant les indicateurs économiques, les données opérationnelles et économiques sont utilisées. Enfin, pour mesurer les indicateurs sociaux subjectifs tels que la perception des risques, des experts sont souvent sollicités pour évaluer l'attitude de la population. Il en résulte une différence importante: tandis que les indicateurs environnementaux sont fondés sur des preuves, les indicateurs sociétaux reposent sur des facteurs de perception, c'est-à-dire sur l'intuition.

Environnement	RESSOURCES	
	Ressource énergétique Minerai	
	CHANGEMENT CLIMATIQUE	
	DOMMAGES à l'ECOSYSTEME	
	en opération normale an cas d'accident grave	
DECHETS	Déchets chimiques pour stockage souterrain Déchets radioactifs pour stockage définitif	
	Economie	REPERCUSSIONS sur les CLIENTS
		Coût de l'électricité
REPERCUSSIONS sur l'ECONOMIE NATIONALE		
Emploi/ postes vacants Autonomie de la production d'électricité		
REPERCUSSIONS sur la MICROECONOMIE		
Risques financiers Caractéristiques de l'opération de la facilité		
Société	SURETE & FIABILITE de l'APPROVISIONNEMENT	
	Conflit politique Flexibilité et capacité d'adaptation	
	STABILITE POLITIQUE	
	Potentiel de conflit, déclenché par la technologie énergétique Nécessité d'un processus de décision orienté vers un consensus	
	SOCIETE & RISQUES INDIVIDUELS	
	Appréciation d'experts des risques en opération normale Appréciation d'experts des cas d'accident Perception des risques par le public Danger de terrorisme	
	QUALITE DU MILIEU D'HABITAT	
Atteinte à la qualité du paysage Nuisance sonore		

Tableau 1: Critères et indicateurs de durabilité (PSI/NEEDS; Hirschberg et al. 2008). Pour leur élaboration, les opérateurs à travers l'Europe ont participé, au sein desquels un large consensus a été atteint.

Et qu'est-ce qui en ressort?

Un approvisionnement énergétique optimal pour tous – bon marché, écologique, sûr et disponible en permanence – n'est pas possible. Ni aujourd'hui, ni demain. En fonction des préférences personnelles, la comparaison des technologies selon la durabilité apporte un classement différent. Il est toutefois important que les indicateurs et leurs poids individuels soient compréhensibles: c'est la seule façon pour que les connaissances ainsi acquises servent dans la prise de décision du débat politique énergétique.

Une électricité aussi peu chère que possible ou bien des émissions de CO₂ plus faibles? Ou plutôt une alimentation à faible risque. Qu'est-ce qui est le plus important? Comment de tels facteurs peuvent être considérés les uns par rapport aux autres? Quels compromis doit-on atteindre? De telles questions sont soulevées dans la mise en œuvre d'une alimentation durable. Les réponses seront différentes, selon les intervenants en jeu, qu'il s'agisse d'un producteur, consommateur, politicien ou écologiste. Et de ces réponses dépend quelles technologies seront utilisées pour l'alimentation énergétique. Comment cette comparaison des intérêts a été résolue en deux projets, quelle image en résulte

Il n'existe pas d'alimentation d'électricité parfaite pour tous

dans l'évaluation de la durabilité, et comment cela est-il comparé avec les coûts totaux de production de l'électricité: ceci est détaillé dans la feuille annexe.

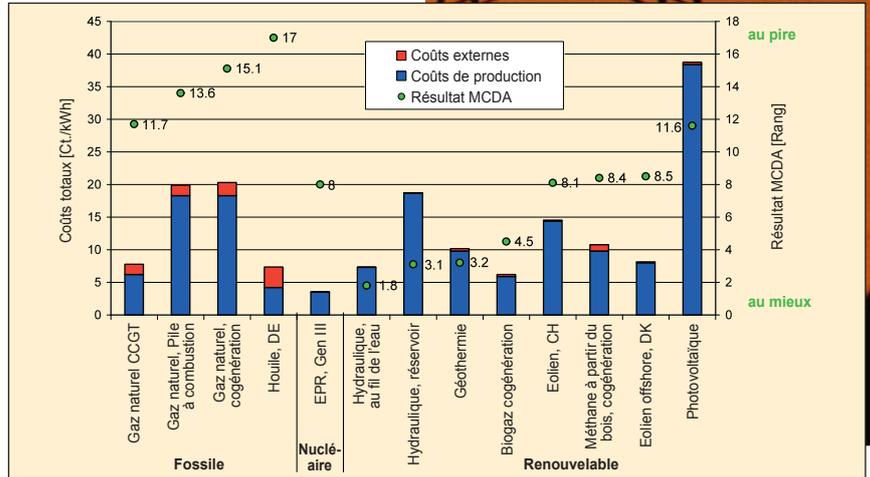


Figure 3: Résultats du projet d'évaluation de la durabilité pour Axpo Holding AG: Coûts totaux de la production d'électricité (colonnes) en fonction des résultats MCDA (points) pour l'approvisionnement de la Suisse en 2030 (Roth et al., 2009). Le graphique montre la sélection des 18 systèmes analysés. CCGT: Cycle Combiné Gaz Turbine, EPR: European Pressurized Reactor.

Regard sur la Suisse...

La figure 2 montre le schéma de pondération pour un exemple d'application en Suisse, la figure 3 compare la performance environnementale et les coûts totaux en 2030 pour différentes technologies. L'éventail de technologies comprend les énergies renouvelables, fossiles, nucléaire ainsi que celle importée de centrales étrangères. L'évaluation de la durabilité des énergies fossiles (résultat MCDA) est mauvaise, bien que les coûts totaux soient peu élevés. Les valeurs relativement faibles des indicateurs environnementaux sont dues à la dépendance en ressources envers l'étranger et par dessus tout, les effets sur la santé liés au charbon. Les énergies renouvelables se situent en haut et au milieu du classement MCDA, car elles sont bien placées en particulier dans les indicateurs environnementaux et sociaux. Les coûts élevés de la production d'électricité photovoltaïque ont cependant un impact dans le classement MCDA. L'énergie nucléaire qui a le plus faible coût total réside cependant au milieu dans l'évaluation de la durabilité: ceci est dû à certains facteurs dont le coût réel est contesté – par exemple les conséquences d'accidents éventuels ou le problème de l'élimination des déchets (voir encadré) – qui sont perçus comme négatifs et relativement fortement pondérés.

Les coûts totaux et externes de la production d'électricité

Sont calculés comme «externes» les coûts qui ne sont pas supportés par le responsable, mais par le public en général. Ils comprennent les coûts de dommages de santé causés par les émissions. Sont également monétisés, c'est-à-dire mesurés en termes de coûts, les dommages futurs causés par le changement climatique. Ceux-ci sont de nos jours très incertains et peuvent varier énormément. Enfin, l'utilisation des polluants réduisant le rendement des cultures et impliquant des dommages aux bâtiments est, elle aussi, monétisée.

Cependant tous les facteurs impliqués dans l'évaluation d'une technologie ne jouent pas un rôle mesuré en francs: en particulier, les aspects subjectifs tels que le risque perçu ou les perturbations du paysage sont sujets à controverse.

En dépit de ces limitations, le calcul des coûts externes est une *méthode très précieuse dans l'analyse des coûts*.

Les *coûts totaux* (ou sociaux) se composent donc des coûts de production ainsi que des coûts externes de l'électricité, et sont parfois utilisés pour mesurer une durabilité, mais cela est controversé. Les aspects non monétisés sont naturellement mesurés mais non pris en considération.

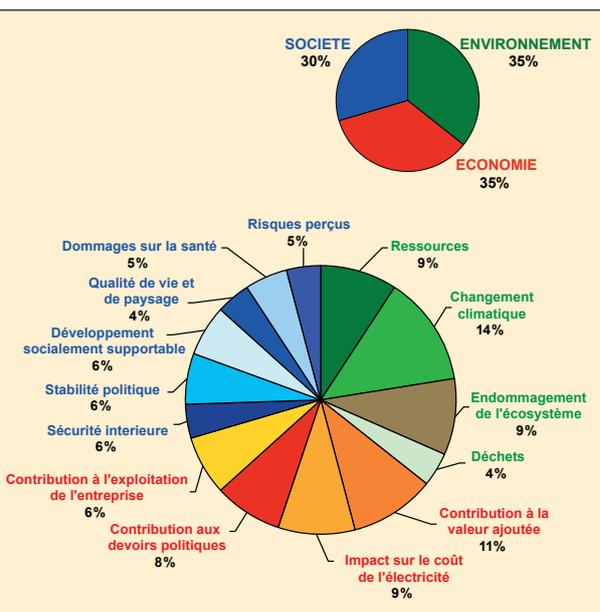


Figure 2: Schéma de la pondération des indicateurs pour l'évaluation de la technologie (Roth et al., 2009), établie selon la moyenne d'un sondage de 85 employés de Axpo Holding AG (non représentatif de la moyenne de la population).

«Aider à la prise de décision et à l'échange de connaissances»

Pourquoi l'Aide à la Décision Multicritère (MCDA) est-elle si bien qualifiée pour l'évaluation de la durabilité?

Parce qu'elle permet de combiner des connaissances factuelles d'une part et les valeurs des différentes parties prenantes d'autre part, et ce en un processus transparent. Les forces et faiblesses des différentes technologies sont ainsi clairement identifiées. Cela permet aussi de visualiser quelles technologies sont robustes, c'est-à-dire obtiennent de bons résultats pour différentes pondérations des indicateurs. Par conséquent, de telles analyses peuvent aider à la prise de décision et à l'échange de connaissances.

Est-ce que les résultats sont suffisamment robustes pour prendre des décisions?

Oui, et ce malgré les incertitudes. Ainsi, plus l'échelle de temps est longue, plus l'incertitude est importante. Cela concerne par exemple l'évolution attendue des technologies, des coûts, etc. Les incertitudes d'indicateurs tels que les risques de santé sont en principe mesurables. Certains indicateurs sociaux cependant comportent des éléments subjectifs, et sont donc d'un point de vue scientifique «insuffisamment précis». Cette inexactitude est également plus difficile à estimer. Cependant toutes ces incertitudes ont moins d'influence sur les résultats que le changement de la pondération individuelle. L'expliquer est une partie importante de la MCDA.

Où sont aujourd'hui les limites de l'évaluation de la durabilité?

Avec la MCDA, pour le moment chaque kilowattheure de courant est considéré avec la même importance. Ainsi, on ne tient pas compte de la régularité de la production, bien qu'elle soit liée au potentiel de la technologie. Cependant dans la réalité, on a besoin d'une combinaison de différents systèmes. Ainsi, pour permettre l'évaluation par le biais de la MCDA d'options d'approvisionnement en courant électrique, différents mix énergétiques doivent être comparés dans lesquels ces conditions sont réalisées. Une autre possibilité consisterait aussi à envisager les mesures d'économie d'électricité. Il y a donc encore beaucoup à faire dans les prochaines années.

Quelle est l'importance de la caractérisation des technologies pour les résultats de la MCDA?

Très importante. Des le début d'une MCDA, il doit être clairement précisé si l'évaluation concerne les technologies présentes ou futures et où elles seront

utilisées. Un point souvent controversé concerne l'évaluation des perspectives d'avenir pour le développement de systèmes qui ne sont pas encore sur le marché.

Vous avez commencé votre travail dans l'évaluation de durabilité il y a plus de 10 ans: quelles ont été les principales réalisations?

Par rapport aux débuts, nous avons pu prendre en compte beaucoup plus d'indicateurs, qui traitent désormais tous les domaines importants. De plus, grâce à la collaboration de chercheurs en sciences sociales, les aspects sociétaux sont bien mieux traités. La gamme de technologie s'est aussi élargie – avec un horizon jusqu'en 2050 – et des nouvelles méthodes de MCDA et les outils correspondants ont été développés. Nous avons pu inclure directement différents groupes d'intérêts.

Quels sont les groupes d'intérêts? Est-ce qu'un consensus sur l'importance des différents critères pourrait être atteint?

Cela dépend du projet. Si les intérêts des acteurs sont similaires, un consensus est possible dans un processus de modération. Au contraire, comme dans le projet de recherche de l'UE NEEDS, l'intervention de groupes très différents tels que l'industrie, la politique, la science et les ONG rend un consensus en détail presque impossible. Néanmoins, un consensus partiel admet que l'environnement, l'économie et la société doivent être considérés à parts égales.

L'analyse multicritères est-elle un substitut au calcul des externalités?

Non. Les deux méthodes sont complémentaires et ont des finalités différentes.



Dr. Stefan Hirschberg

dirige le Laboratoire d'Analyse des Systèmes Énergétiques, qui fait partie des deux domaines de la recherche dans le secteur énergétique depuis sa création en 2006. Précédemment, il était responsable de la section analyse de la sûreté et des systèmes au PSI depuis 1992. La question de la durabilité de l'approvisionnement énergétique fait donc depuis près de 20 ans partie intégrante de son travail.

La MCDA ne donne aucune réponse claire, puisque les résultats dépendent de la pondération des indicateurs. L'évaluation des externalités est au contraire un résultat unique, qui est pertinent pour des considérations de coût/bénéfice. La notion de coût externe, le résultat et surtout la nécessité d'internaliser les coûts externes, sont largement acceptés. Un point controversé est cependant le traitement de l'énergie nucléaire. Ceci se reflète également dans la comparaison des résultats pour le coût total et la MCDA.

Quelle est l'étape suivante pour l'évaluation de la durabilité?

Nous élargissons l'évaluation de la durabilité au secteur des transports. Dans les prochaines années, beaucoup de véhicules innovants vont arriver sur le marché, par exemple les voitures électriques et à hydrogène, ainsi que l'infrastructure nécessaire. Nous allons intégrer ces nouveaux concepts, l'alimentation centralisée et décentralisée des voitures électriques, et intégrer les exigences pour le réseau électrique dans l'évaluation.

Impressum

Le point sur l'énergie est une publication du PSI sur l'évaluation globale des systèmes énergétiques (projet GaBE).
Ont contribué à cette édition: S. Hirschberg, C. Bauer, W. Schenler, P. Burgherr.

ISSN-Nr.: 1661-5131

Tirage: 15 000 ex. en allemand, 4000 Ex. en français, 800 Ex. en anglais
Anciens numéros disponibles en Pdf (D, F, E):
<http://gabe.web.psi.ch/>

Responsable du contenu:

Paul Scherrer Institut
Dr. Stefan Hirschberg
5232 Villigen PSI, Suisse
Tél. 056 310 29 56, Fax 056 310 44 11
stefan.hirschberg@psi.ch
www.psi.ch/GaBE

Rédaction: Christian Bauer

Distribution et souscriptions:
energiespiegel@psi.ch

Traduction française: Céline Boulet

Layout: Paul Scherrer Institut

Analyses des systèmes énergétiques au PSI:

L'objectif des analyses des systèmes énergétiques au Paul Scherrer Institut à Villigen est l'appréciation globale et détaillée des systèmes énergétiques d'aujourd'hui et de demain. On considère en particulier des critères de santé publique, d'écologie et d'économie. Sur la base des Analyses de Cycle de Vie (LCA), des modèles d'économie énergétique, des analyses des risques, des modèles de dispersion des substances nocives et, enfin, d'une analyse multi-critères il est possible de comparer différents scénarios énergétiques, afin d'offrir une base pour des décisions politiques.

Collaborations avec:

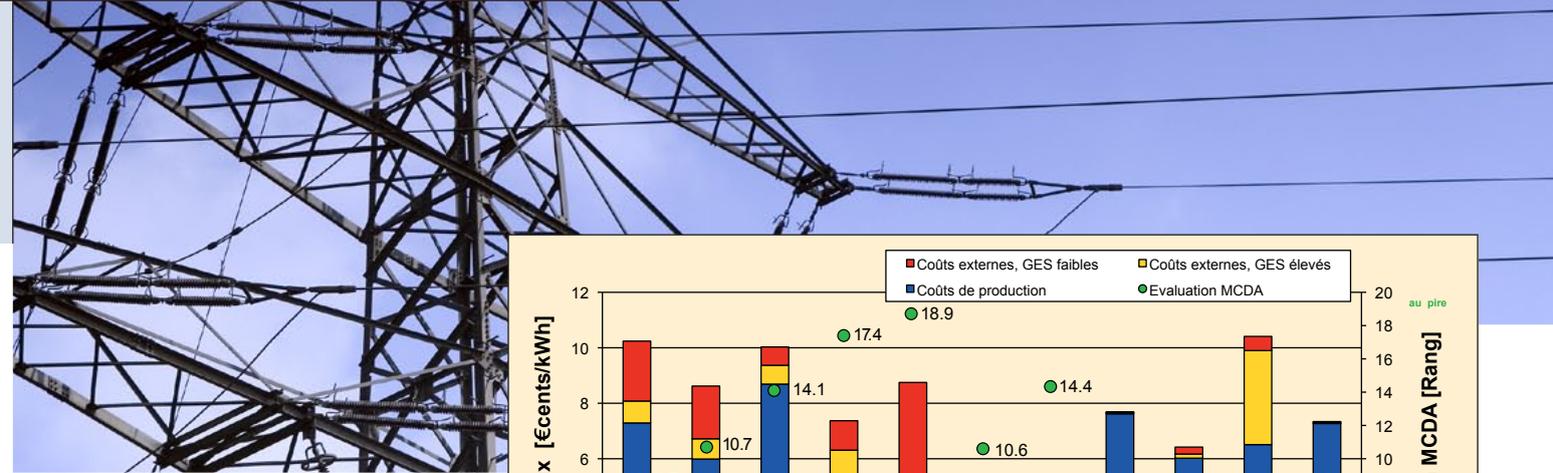
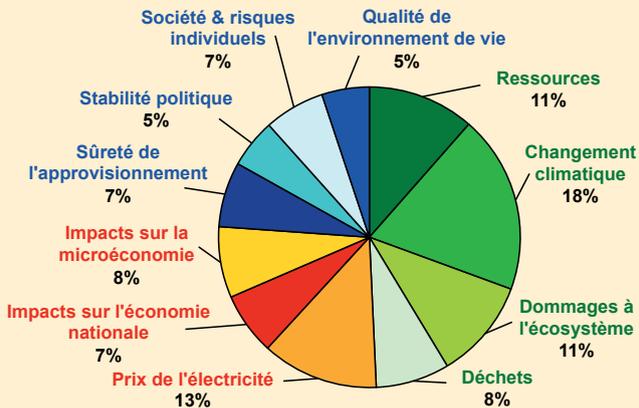
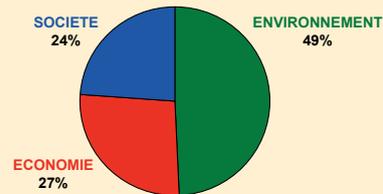
ETH Zürich; EPF Lausanne; Empa; Massachusetts Institute of Technology (MIT); University of Tokyo; Union Européenne (EU); Agence Internationale pour l'Energie (IEA); Organisation pour la Coopération et le Développement Economique (OECD); Organisation des Nations-Unies (UNO)

Différents points forts

Cela dépend de quels points forts sont choisis: les technologies ont des résultats très différents selon que l'indicateur environnemental, économique ou sociologique est privilégié.

Regard sur l'Europe

L'évaluation pour l'Europe en 2050 met l'accent sur les technologies futures, pour lesquelles des progrès significatifs sont attendus par rapport à aujourd'hui. En particulier, les possibilités de développement du photovoltaïque et des réacteurs nucléaires de la prochaine génération IV sont estimées sous un jour optimiste.



Ce qui est frappant dans la pondération actuelle (Figure 4) est à nouveau l'écart entre le plus bas coût total et l'évaluation MCDA médiocre de l'énergie nucléaire (Figure 5). Il est également clair que pour les combustibles fossiles, les coûts externes sont relativement élevés, et l'évaluation MCDA généralement mauvaise. Les énergies renouvelables au contraire sont bien évaluées par la méthode MCDA: elles profitent d'effets généralement faibles sur la santé et l'environnement, de l'acceptation sociale et, enfin et surtout, de l'hypothèse que les coûts vont considérablement diminuer dans les 40 prochaines années.

Figure 4: Pondération moyenne des indicateurs pour l'évaluation des technologies (PSI/NEEDS; Schenler et al. 2009), identifiée par un sondage en ligne des parties prenantes dans l'approvisionnement énergétique en Europe (non représentatif de la moyenne de la population).

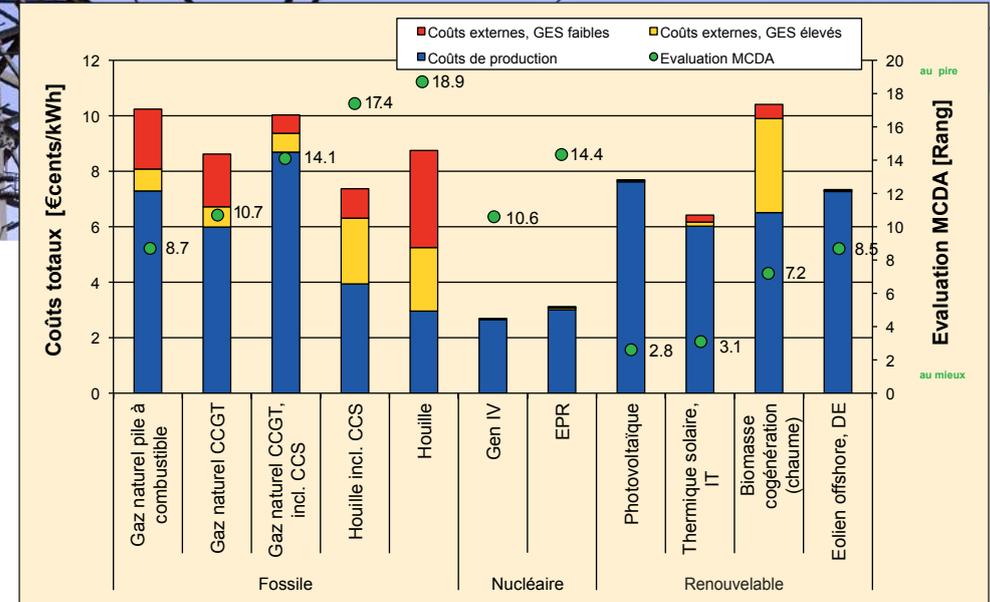


Figure 5: Résultats du projet NEEDS: Coûts totaux de l'électricité (colonnes) en fonction des résultats MCDA (points) pour l'approvisionnement de la Suisse en 2050 (PSI/NEEDS; Schenler et al. 2009). La figure montre une sélection des 26 systèmes évalués. GES haut/bas: forts resp. faibles coûts de dommage dus au changement climatique (gaz à effets de serre); abréviation utilisée dans la figure 3 et le tableau 2.

La Figure 6 montre le classement de durabilité pour trois profils de pondération très unilatéraux (voir Figure 7), avec un accent sur les indicateurs écologiques, économiques ou sociaux. Si le coût de l'électricité compte avant tout, les énergies nucléaires et la houille sont les systèmes de choix. Les énergies renouvelables et au gaz naturel font alors mauvaise

figure. Inversement, en comptant uniquement les indicateurs sociaux, les énergies renouvelables sont au sommet, tandis que la houille et l'énergie nucléaire sont au plus bas. De même, en se concentrant sur l'environnement, les renouvelables sont en tête, suivis par le nucléaire et le gaz naturel, le plus mauvais résultat étant à nouveau pour le charbon.

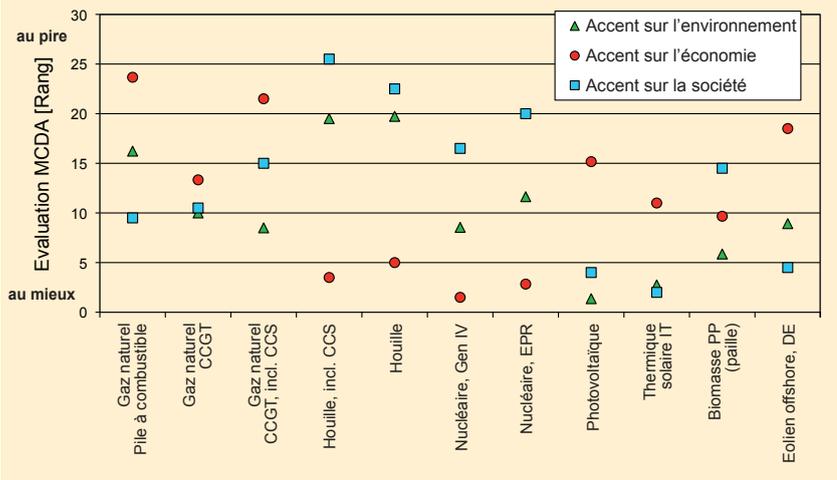
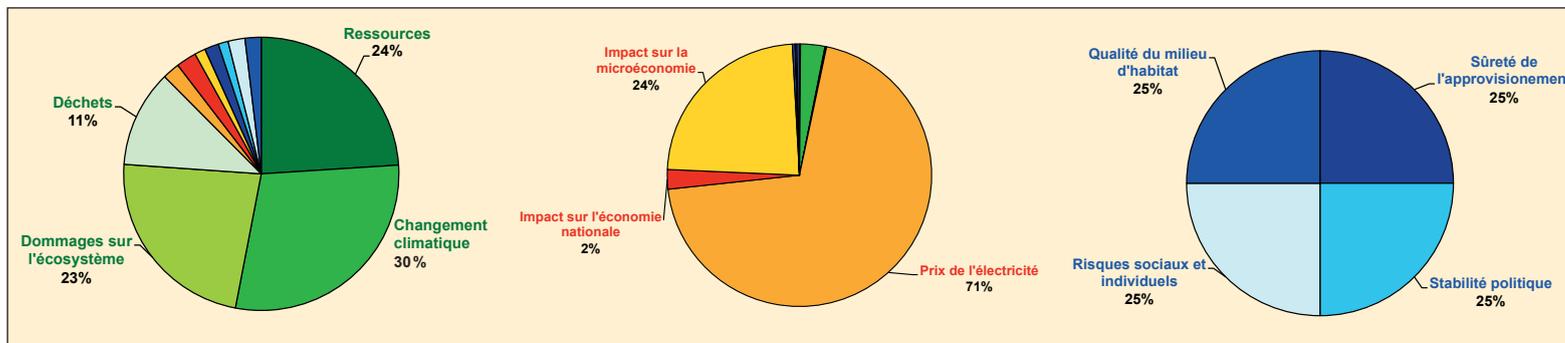


Figure 6: Résultats du projet NEEDS: Evaluation MCDA de l'approvisionnement électrique de la Suisse en 2050 avec trois pondérations différentes des indicateurs, voir Figure 7 (PSI/NEEDS; Schenler et al. 2009); Abréviations voir Figure 3 et Tableau 2.

Figure 7: Pondération des indicateurs pour l'évaluation des technologies pour des profils de pondération très différents (petits sous-ensembles des parties prenantes interrogées). Gauche: accent sur l'environnement, milieu: accent sur l'économie, droite: accent sur la société (PSI/NEEDS; Schenler et al. 2009).



Développement de l'évaluation de la durabilité au PSI

- 1999–2000:** Premières analyses multicritères pour la production d'électricité Suisse (Le Point sur l'Énergie numéro 3).
- 1999–2003:** China Energy Technology Programme mise en marche de la MCDA pour la Chine, en incluant un outil approprié interactif (Le Point sur l'Énergie numéro 17).
- 2002–2004:** Utilisation de la MCDA pour l'exemple de l'Allemagne (ILK).
- 2004–2006:** Modèle d'évaluation pour la durabilité de l'approvisionnement suisse avec le fournisseur d'électricité Axpo et d'autres partenaires (pour aujourd'hui et 2030).
- 2005–2009:** Projet de l'UE NEEDS- Evaluation de la durabilité de technologies de production d'électricité innovantes jusqu'en 2050, sous la conduite du PSI et avec le concours de l'industrie et des ONG.
- 2010–2014:** Projet THELMA- évaluation de la durabilité des moyens de transport personnels.

	Nucléaire ¹			Fossile									Renouvelable													
	Gen II	Gen III	Gen IV	Gaz naturel CCGT ²			Gaz naturel CCGT ² , CCS ³		Houille (DE)			Houille, CCS ⁴ (DE)		Hydraulique, réservoir ⁵		Photovoltaïque, sur le toit ⁶			Eolien, terrestre ⁵		Eolien, offshore (Mer du Nord)			Gaz naturel, cogénération ⁵		
	aujourd'hui	2030	2050	aujourd'hui	2030	2050	2030	2050	aujourd'hui	2030 ^a	2050	2030	2050	aujourd'hui	2030	aujourd'hui	2030	2050	aujourd'hui	2030	2050	aujourd'hui	2030	2050	aujourd'hui	2030
Emissions de gaz à effets de serre	kg(CO ₂ -eq.)/kWh	0.008	0.004	0.001	0.426	0.388	0.385	0.120	0.119	0.912	0.753	0.685	0.205	0.084	0.004	0.004	0.062	0.030	0.003	0.017	0.016	0.010	0.010	0.003	0.077	0.037
Dommages à l'écosystème	PDF* ¹² m ² *a/kWh ⁷	1.2E-03	8.3E-04	3.6E-04	3.6E-03	3.3E-03	3.3E-03	4.5E-03	4.5E-03	1.4E-02	1.3E-02	1.3E-02	2.0E-02	4.5E-03	3.1E-04	3.1E-04	6.9E-03	5.4E-03	1.2E-03	6.1E-03	3.4E-03	3.2E-03	3.4E-03	1.1E-03	4.9E-02	3.7E-02
Coûts externes	ct./kWh	0.08	0.07	0.07-0.11	1.6	1.6	0.6-3.3	k-A	0.5-1.3	3.5	3.1	2.2-7.5	k-A	1.4-2.6	2.6	2.7	0.5	0.3	0.06-0.09	0.2	0.1	0.1	0.1	0.04-0.06	1.6	0.3
Coûts de l'électricité ⁸	ct./kWh	4-5	5.8-7.2	3.9-8.4	10.8-11.4	11.8-12.5	13.8-14.4	15.5-16.2	14.7-15.4	6.0-6.7	6.0-6.7	6.0-6.7	7.8-8.8	7.5-8.3	10.5	11.9-28.0	42-66	15-34	8-25	21.4-26.5	16.2-19.8	11-13	9-11	8-11	10.4	6.3
Coûts d'investissement	1'000 CHF/kW _{el}	^b	3.5-5.0	2.5-7.0	0.9-1.4	0.8-1.3	0.8-1.3	1.400-2.0	1.2-1.8	2.0-2.7	1.8-2.5	1.7-2.4	2.7-3.7	2.5-3.3	^b	4.0-10	8.0-8.0	1.7-4.0	0.9-3.0	1.8-2.5	1.5-2.0	2.7-4.0	1.7-3.0	1.5-2.7	6	4.2
Sensibilité au prix du combustible ⁹	%	5-6	4-5	0	63-67	67-71	72-75	54-56	53-56	47-52	50-56	51-57	44-50	45-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	22
Dommages sur la santé	YOLL/kWh ¹⁰	5.2E-09	4.7E-09	2.7E-09	2.8E-08	3.3E-08	7.4E-08	k-A	8.7E-08	6.5E-08	7.3E-08	2.7E-07	k-A	2.3E-07	1.2E-09	1.4E-09	1.8E-08	1.2E-08	8.4E-09	7.0E-09	6.6E-09	4.6E-09	5.9E-09	6.3E-09	1.2E-07	1.5E-08
Accidents graves	Décès/GWa	7.3E-03	1.1E-05	1.6E-04	4.5E-02	3.1E-02	6.9E-02	7.5E-02	7.4E-02	1.8E-01	1.0E-01	1.2E-01	1.9E-01	1.4E-01	3.7E-03	3.7E-03	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-04	1.5E-02	4.3E-03	6.8E-03	1.0E-03	2.7E-03	1.5E-02	2.1E-03
Conséquences max. des accidents ¹¹	Décès	10'000 ^c	50'000	3'000	109	109	109	109	109	434	434	272	434	272	276 ^d	285 ^d	10	10	5	5	5	10	10	10	5	5
Déchets, radioactifs	m ³ /kWh	5.6E-08	2.3E-08	1.7E-08	6.2E-11	3.5E-11	1.1E-10	8.6E-10	3.5E-10	6.1E-10	3.4E-10	2.0E-10	1.40E-09	4.4E-10	5.3E-11	4.0E-11	8.3E-10	2.7E-10	4.3E-11	1.6E-10	8.4E-11	1.3E-10	6.3E-11	2.2E-11	9.3E-10	6.2E-10
Déchets, en dépôt souterrain ¹²	m ³ /kWh	9.6E-10	6.3E-10	2.2E-10	4.9E-09	4.5E-09	1.7E-08	5.2E-09	1.7E-08	1.1E-09	1.4E-08	3.8E-08	7.3E-09	6.6E-11	6.4E-11	4.4E-08	2.9E-08	1.8E-09	7.2E-09	5.7E-09	5.6E-09	7.5E-09	1.9E-09	1.1E-09	9.7E-10	

1) 2030: EPR – European Pressurized Reactor; 2050: EFR – European Fast Reactor
 2) CCGT: Cycle Combiné Gaz Turbine
 3) CCS: Capture et Séquestration de CO₂; 2030 & 2050: «post-combustion»
 4) Séparation du CO₂; 2030 «post-combustion»; 2050 «oxyfuel combustion»
 5) Pour 2050 aucune modification significative à attendre par rapport à 2030
 6) 2010 & 2030: Silicium cristallin; 2050: cellule photovoltaïque à couche mince

7) PDF: représente la perte de biodiversité
 8) Taux d'intérêt: 6%; Énergie nucléaire et hydraulique, centrales en exploitation, coûts d'investissement partiellement amortis; Biogaz: Vente de chaleur prise en compte
 9) Augmentation des coûts de l'électricité en cas de doublement du prix du combustible
 10) YOLL: Années de vie perdues par décès prématuré (en «opération normale»)
 11) Conséquences maximales pour tous les accidents théoriquement possibles; arrondi pour les valeurs de l'énergie nucléaire

12) Déchets dangereux, non radioactifs
 a) Coûts pour les centrales traditionnelles; autres indicateurs: gazéification intégrée du charbon
 b) aucune nouvelle construction considérée
 c) Centrale d'environ 400 MW
 d) Pour une centrale réelle de 50 MW; conséquences max. de l'accident pour un gros réservoir, Suisse: 11'000 sans mise en garde

Tableau 2: Indicateurs pour la caractérisation des technologies: données partiellement différentes pour 2030 et 2050.