

Centrale à courant d'air ascendant

Autor(en): **Schlaich, Jörg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 12: **Courants d'air**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99215>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Centrale à **courant d'air** ascendant

La centrale à courant d'air ascendant (CCAA) est une installation de grande envergure destinée aux régions fortement ensoleillées, l'énergie électrique y étant produite pratiquement sans autre apport de ressources que le rayonnement solaire. Destinée à la couverture des besoins locaux, elle contribue d'abord au développement du pays producteur, et améliore dans un deuxième temps sa balance commerciale par le biais de l'exportation.

Dans la mesure où des ressources naturelles (pétrole, charbon, gaz) se trouvent ainsi remplacées par des investissements, de nombreux emplois peuvent être créés. En tant que facteurs de prospérité, le travail et l'énergie se traduisent finalement par une baisse de la pression démographique (fig. 1). Lorsque le standard de vie s'élève, la consommation d'énergie augmente également, tandis que l'accroissement de la population marque le pas. En vue de maîtriser son évolution démographique, un pays pauvre a donc besoin de davantage d'énergie.

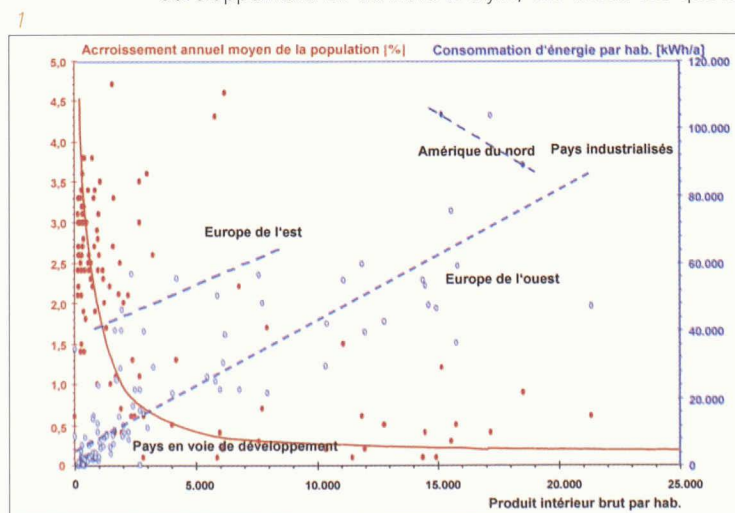
Basés sur le charbon et le pétrole, nos actuels modes de production d'énergie détériorent l'environnement et engloutissent des ressources non renouvelables. L'accès à de telles ressources est du reste hors de portée de bien des pays en développement. En dernière analyse, des fléaux tels que la

misère, l'explosion de la population et les migrations sont aussi les effets d'un approvisionnement énergétique insuffisant ou d'un coût excessif.

Une source d'énergie propre, assurée et disponible en quantité suffisante constitue une réponse concrète aux périls croissants qui menacent aujourd'hui l'humanité : son avenir dépendra en effet dans une large mesure de sa capacité à mettre à profit la technique pour réconcilier l'homme et la nature. L'exploitation à grande échelle de l'énergie solaire est susceptible d'apporter une contribution essentielle à cet objectif grâce à

- une gestion durable des ressources mettant fin à la destruction de l'environnement ;
- une élévation de la qualité de vie par le recours à une source d'énergie inépuisable, afin d'infléchir l'explosion démographique et la misère indigne qu'elle engendre dans les pays du tiers monde ;
- la création de nouveaux emplois dans le cadre d'une lutte globale contre les conflits sociaux, autrement dit, la mise en œuvre de l'Agenda 21.

Grâce à leur avance technologique, alliée à leurs traditions de protection de la nature et de prévoyance sociale, des pays tels que l'Allemagne et ses voisins devraient être à la pointe de tels développements.



Le principe de la centrale à courant d'air ascendant

Dans une centrale à courant d'air ascendant, l'électricité est produite à partir des rayons solaires chauffant l'air contenu sous un grand toit collecteur translucide. En raison de l'écart de densité qui se crée entre l'air environnant et l'air chauffé dans le collecteur, ce dernier se dirige radialement vers le centre du collecteur où un tube vertical ouvert lui permet de monter. Le courant d'air ainsi généré fait travailler un ensemble turbine - générateur placé au pied du tube, générant un courant électrique (fig. 2).

Grâce à des tuyaux scellés remplis d'eau et disposés sous le toit collecteur, on garantit en outre un turbinage en continu 24 heures sur 24, ce dispositif libérant durant la nuit la

Fig. 1 : Consommation d'énergie et accroissement de la population des pays en fonction du niveau de vie (produit intérieur brut par habitant)

Fig. 2 : Principe d'une centrale à courant d'air ascendant

Fig. 3 : Prototype d'une centrale à courant d'air ascendant à Manzanares, Espagne

Fig. 4a : Principe du stockage de chaleur à l'aide de tuyaux remplis d'eau disposés sous le toit collecteur de la centrale à courant d'air ascendant

Fig. 4b : Développement sur 24 heures de la puissance utile fournie par une centrale à courant d'air ascendant selon l'épaisseur de la couche d'eau pour le stockage d'énergie

Fig. 5 : Production annuelle d'énergie par des centrales à courant d'air ascendant, en fonction du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée

chaleur emmagasinée pendant la journée (fig. 4a et 4b). Quant aux besoins en eau, ils demeurent strictement limités au remplissage initial des tuyaux.

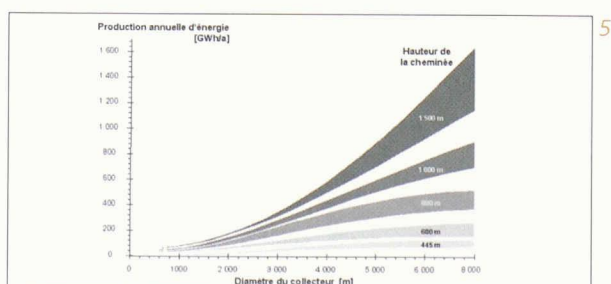
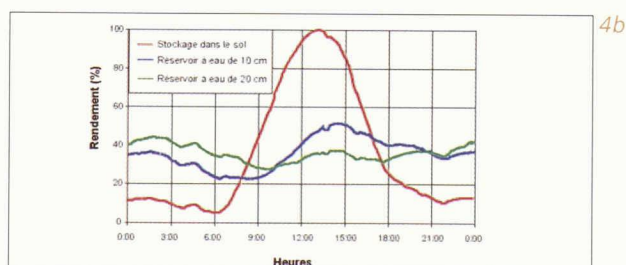
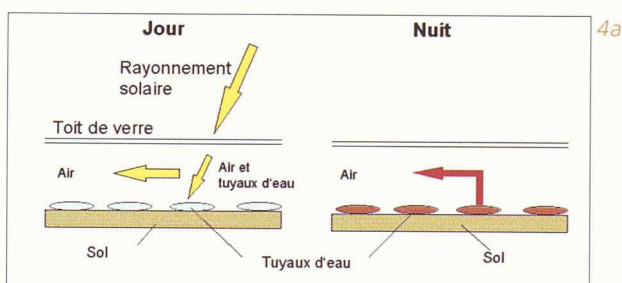
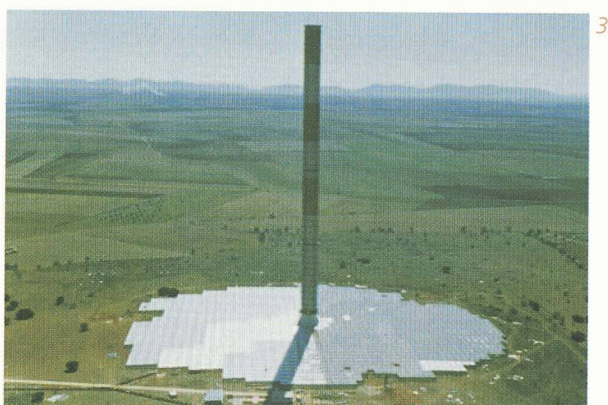
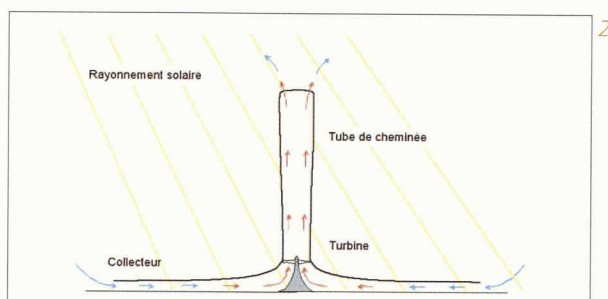
Outre la simplicité de sa construction et de son mode de fonctionnement - la turbine à gaz et le générateur constituant les seuls éléments mobiles -, la centrale à courant d'air ascendant offre toute une série d'avantages supplémentaires par rapport à d'autres types d'installations de production d'énergie (voir aussi encadré, p. 9) :

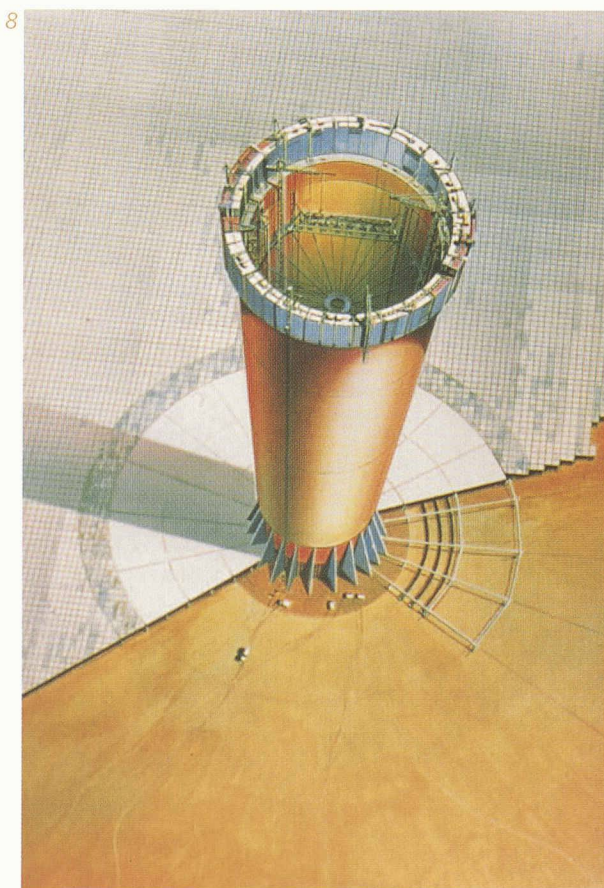
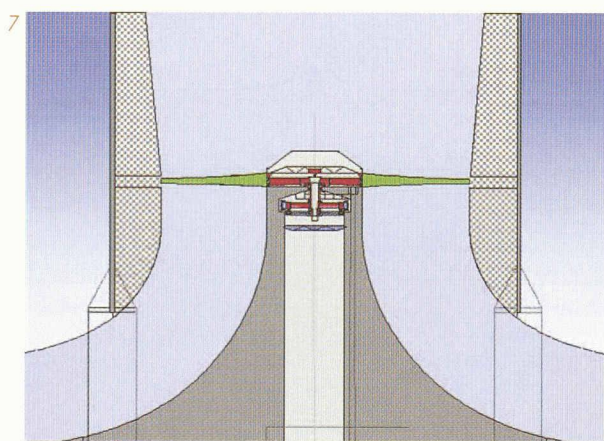
- le système fait non seulement appel au médium le plus naturel qui soit - l'air -, mais il se passe de tout apport réfrigérant. Ce point représente un avantage déterminant dans nombre de pays chauds, où l'alimentation en eau potable est déjà un problème majeur ;
- les rayons solaires n'y étant pas soumis à concentration, le rayonnement diffus suffit à assurer le réchauffement de l'air sous le toit, si bien que l'exploitation de la centrale demeure possible sous un ciel entièrement ou partiellement couvert - c'est là un autre élément essentiel dans les pays tropicaux, où une couverture nuageuse est fréquente ;
- le réservoir d'eau sous le toit collecteur fait office d'accumulateur d'énergie bon marché et garantit un service continu grâce aux seuls apports solaires, à l'exclusion de tout appoint thermique d'origine fossile.

Un premier prototype équipé d'une tour de 200 m de hauteur et d'une surface de collecteur de 44 000 m² a été réalisé au début des années huitante à Manzanares, en Espagne, sous l'égide du ministère allemand pour la recherche (fig. 3). Il a été exploité avec succès en service continu durant plusieurs années. L'objectif de ce projet expérimental était de préciser les relations thermodynamiques fondamentales, afin d'établir une base pertinente pour la conception de centrales plus importantes.

Centrales à courant d'air ascendant de grande puissance

La puissance d'une centrale à courant d'air ascendant est proportionnelle à l'intensité du rayonnement solaire global, à la hauteur de la tour et à la surface du collecteur. Autrement dit, on peut obtenir la même puissance avec une tour très haute associée à un collecteur relativement modeste, qu'avec une tour plus petite jointe à un grand collecteur (fig. 5). Tant que la multiplication de la hauteur par la surface livre un résultat inchangé, on atteint approximativement la même puissance. Ce sont finalement les coûts, liés aux différentes composantes de l'installation sur les divers sites d'implantation, qui déterminent le dimensionnement optimal d'une centrale.





Dotée d'une cheminée très élevée et d'une surface de verre suffisamment étendue, une installation unique peut délivrer une puissance de 100 à 200 MW. Un petit nombre de centrales à courant d'air ascendant suffisent donc déjà à remplacer une centrale nucléaire. Une giga-centrale de 200 MW exigera un toit en verre d'un diamètre de plusieurs kilomètres et une tour de 1000 m de hauteur environ, pour assurer une production annuelle de quelque 1500 GWh, en présence d'un rayonnement incident de $2300 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ (fig. 9).

Les matériaux nécessaires à la construction d'un tel ouvrage, soit du béton, du verre et de l'acier, sont partout disponibles en quantités suffisantes. Rien ne s'oppose donc à la réalisation, dès maintenant, de centrales à courant d'air ascendant dans des pays industriellement encore peu développés, car les industries déjà établies dans la plupart d'entre eux suffisent entièrement à répondre aux exigences qui s'y rattachent. Comme il n'est pas nécessaire d'investir dans des équipements de production de haute technologie, même des pays relativement pauvres sont en mesure de réaliser une grande centrale sans gaspiller des devises et en faisant appel à leurs propres ressources et main-d'œuvre. Une telle opération crée beaucoup d'emplois et se traduit par une baisse importante du coût de l'électricité.

Le toit en verre, qui représente environ 60% du coût total, est très simplement constitué d'éléments carrés suspendus (fig. 6), un système de construction qui a fait ses preuves durant plusieurs années sur le prototype réalisé en Espagne.

En ce qui concerne les turbines, leur régime étagé en fonction de la pression les rapproche davantage des turbines hydrauliques que des dispositifs pour éoliennes, dont les paliers sont fonction de la vitesse. Développées jusqu'aux plans d'exécution, elles ont été mises au point et calculées en collaboration avec des constructeurs de machines hydrauliques. On peut soit disposer plusieurs petites machines à axe horizontal sur le périmètre du pied de la cheminée, soit placer une seule turbine à axe vertical de 200 MW dans le profil de la cheminée, ce qui constitue une solution plus économique (fig. 7).

Pour l'érection du tube de cheminée, divers modes de construction et matériaux ont été comparés de manière approfondie pour aboutir à la conclusion qu'en principe, dans tous les pays désertiques susceptibles de réaliser un tel ouvrage, des tubes en béton armé promettaient une durée de vie maximale à un prix avantageux.

Du point de vue structurel, il s'agit d'une tour cylindrique de réfrigération à ventilation naturelle, dont la rigidité est assurée par des roues à rayons ajustées à l'intérieur. L'exemple présenté dans les figures 9 et 11 affiche un

Fig. 6 : Toit collecteur en verre d'une centrale à courant d'air ascendant

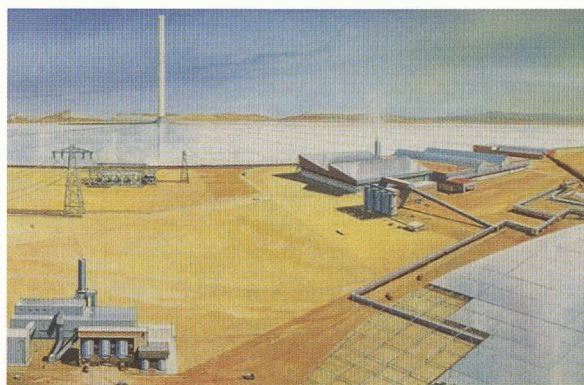
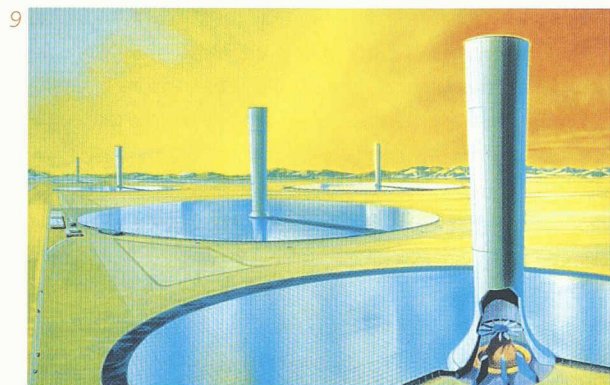
Fig. 7 : Turbine à axe vertical dans le tube d'une centrale à courant d'air ascendant

Fig. 8 : Construction d'un tube de 1000 m de haut

Fig. 9 : Giga-centrales à courant d'air ascendant dans le désert

Fig. 10 : Construction de centrales à courant d'air ascendant dans le désert

Tabl. I : Prix de revient actuel du courant pour différents types de centrales
(taux d'intérêt total : 10,7%)



Avantages économiques et écologiques des centrales à courant d'air ascendant

De nombreux avantages peuvent être énumérés à l'appui des centrales à air ascendant.

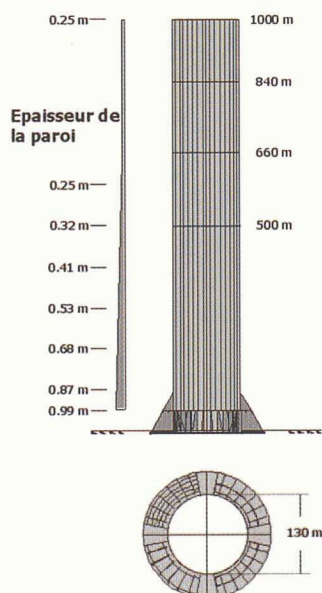
- L'absence de retombées nocives pour l'environnement. Par kWh produit, une centrale à courant d'air évite le rejet d'un kilo de CO₂ dans l'atmosphère; autrement dit, une installation d'une puissance de 200 MW éviterait d'en relâcher un total de 1,4 million de tonnes par an. Si l'on admet qu'une tonne de CO₂ non produite vaut 35 euros, le courant provenant d'une centrale à courant d'air pourrait être 3,5 cents/kWh plus cher que celui délivré par des installations recourant à des combustibles fossiles. L'énergie produite dans des centrales à courant d'air serait ainsi déjà plus avantageuse que celle obtenue avec du charbon ou du gaz (**tabl. I**).
- Une construction qui n'engloutit pratiquement aucune ressource. Essentiellement faites de béton et de verre, soit de sable et d'énergie (produite sur place), les centrales à courant d'air peuvent donc se multiplier dans le désert et constituer de ce fait une source d'énergie réellement durable (**fig. 9 et 10**).
- Des coûts d'investissement (élevés) presque exclusivement constitués de charges salariales. Cela procure des emplois assurant une création de valeur dans le pays même, ce qui dope les recettes fiscales et abaisse les coûts sociaux selon un cercle vertueux garant de davantage de dignité humaine et porteur de paix sociale.
- La suppression de coûteuses importations de charbon, pétrole et gaz. Tout particulièrement dans les pays en voie de développement, cela libère de précieuses devises qui peuvent être affectées à d'autres besoins.
- L'intégration dans l'économie mondiale de pays en voie de développement fortement peuplés, avec l'ouverture d'immenses nouveaux marchés pour l'industrie et les services des pays développés.

Quote - part	Courant d'air ascendant (cents/kWh)	Charbon (cents/kWh)	Gaz/vapeur (cents/kWh)
Investissement	5,79	1,99	1,08
Combustible	0,00	1,98	3,36
Personnel	0,05	0,40	0,16
Entretien	0,27	0,47	0,42
Assurance	0,01	0,14	0,06
Frais de fonctionnement	0,00	0,59	0,02
Impôts	1,07	0,35	0,19
Total	7,19	5,92	5,29
Mise en service en 2001 Puissance : 400 MW Heures de fonctionnement : 7445 h/a Energie annuelle : 2978 GWh			
1/3 de fonds propres à 13,5 % 2/3 de fonds de tiers à 8,0 % Taux d'intérêt total : 10,7 % Taux d'imposition : 30 %			

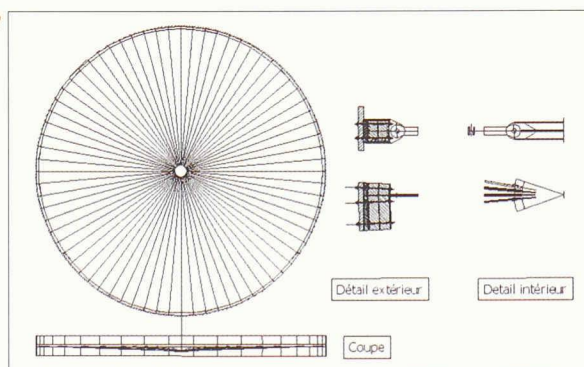
Projet australien

Un consortium australien envisage de construire une centrale à courant d'air ascendant d'une puissance de 200 MW près de Mildura/Victoria en Australie. Pour l'heure, les échanges entre Melbourne et Stuttgart vont bon train : on conçoit, on calcule et on fait travailler sa créativité. Quant à savoir si le projet verra le jour, autrement dit si « le jeu en vaut la chandelle », il faut bien admettre que sans un apport de fonds conséquent, la question reste ouverte. Mais même dans ce cas, le travail engagé demeure justifié : cet exercice approfondi n'aura en effet laissé dans l'ombre aucun problème technique, si singulier soit-il.

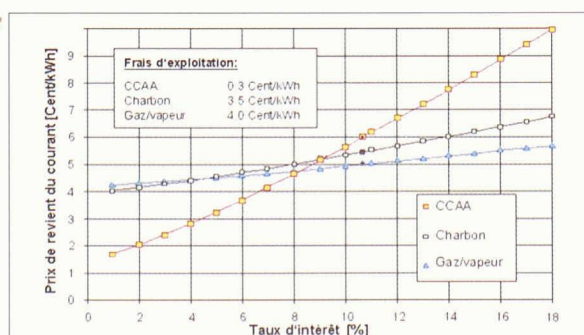
11



12



13



diamètre de 170 m et une hauteur de 1000 m pour une épaisseur de paroi allant de 99 cm à 25 cm.

Sous l'effet du vent et en particulier des succions qui agissent sur leurs flancs, de tels tubes à parois minces tendent à s'ovaliser, ce qui conduit à la création de contraintes méridiennes de traction et de compression très importantes par rapport aux contraintes flexionnelles du tube encastré calculé comme barre (fig. 14, graphique 1). Il en résulte une diminution de la rigidité due à des fissures ainsi que des problèmes d'instabilité, qui excluaient jusqu'ici des réalisations de ce type excédant 200 m. Or cette ovalisation peut être évitée grâce à la mise en place de roues à rayons qui fonctionnent comme raidisseurs tout en ne constituant qu'un obstacle minimal au passage du courant d'air. Avec des rayons constitués d'aciers plats disposés verticalement entre un anneau de compression dans la paroi du tube et un anneau de moyeu (fig. 12), une telle roue devient précontrainte par le seul effet de son poids propre et ses rayons résistent ainsi aux tractions comme aux compressions.

Les diagrammes de la figure 14 illustrent, en fonction de la hauteur et du rayon¹, la forte variation des contraintes méridiennes en l'absence de roues à rayons, puis leur forte atténuation dès l'application d'un tel dispositif au bord supérieur, jusqu'à disparition complète des contraintes de traction - alors contrecarrées par le poids propre du tube - avec l'ajout de roues supplémentaires en descendant dans le tube. Si on considère que le volume absolu ressortant de ces diagrammes de contraintes est corrélé avec les volumes de béton et d'armature nécessaires à la construction de la cheminée, l'avantage d'y introduire de telles roues à rayons devient évident.

A noter que les calculs ont été effectués sur la base d'un comportement élastique-linéaire. Pour le dimensionnement définitif, les non-linéarités physiques et géométriques ont en outre été prises en compte, mais leur influence est demeurée limitée en raison du raidissement décrit ci-dessus.

Coûts et économie

Avec le soutien des entreprises de construction, des fabricants de turbines et de l'industrie du verre, les coûts d'investissement de centrales type à courant d'air ascendant de 200 MW ont pu être calculés avec une bonne fiabilité. Le grand distributeur d'énergie allemand « Energie Baden-Württemberg (EnBW) » en a déduit le prix de revient du courant électrique et l'a comparé aux valeurs correspondantes pour des centrales à charbon et à gaz/vapeur sur la base de conditions d'exploitation analogues (tabl. I, page 9).

¹ Le rayon étant proportionnel au périmètre

Fig. 11 : Plan, coupe et élévation d'un tube vertical de 1000 m de haut et de 170 m de diamètre, avec position verticale des roues

Fig. 12 : Roues à rayons de fers plats disposés verticalement

Fig. 13 : Prix de revient du courant électrique provenant de différentes centrales, en fonction du taux d'intérêt

Fig. 14 : Contraintes méridiennes dans le tube de la figure 11 en fonction du nombre de roues à rayons raidisseurs

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)

En tenant compte d'un taux d'intérêt total voisin de 11% et une durée de construction de quatre ans (durant laquelle les coûts d'investissement augmentent de 30% !), un calcul strictement commercial aboutit à un coût de l'énergie produite dans une centrale à courant d'air ascendant n'excédant que de quelque 20% celle obtenue à partir du charbon. Dans le premier cas, le prix de revient du courant électrique n'inclut que les coûts d'investissement et les impôts, tandis que

pour les centrales à carburant fossile, ce dernier est le facteur déterminant.

Autrement dit, un abaissement du taux d'intérêt total à 8% suffirait dès aujourd'hui à rendre concurrentiel le courant produit par la centrale à courant d'air ascendant (fig. 13). De plus, dans les pays où la main-d'oeuvre est bon marché, on peut encore tabler sur une baisse des coûts de construction, notamment pour le toit en verre et le réservoir, éléments faciles à réaliser qui engendrent 57% des coûts de l'ensemble.

Conclusions

Il est urgent d'apporter une réponse concertée aux problèmes énergétiques, aux menaces pesant sur l'environnement et, surtout, à la situation dans laquelle se débattent des milliards de déshérités dans les pays du tiers monde. Or la solution ne réside pas dans des aumônes que nous récupérerons multipliées par l'intérêt de la dette, mais passe par un partage global du travail. Si nous achetons à ces pays de l'énergie solaire, ils pourront à leur tour acquérir nos produits.

Nous sommes en effet fermement convaincus qu'une économie énergétique globale, dans laquelle le soleil et la force hydraulique - combinées à des sources fossiles et nucléaires - jouent un rôle prépondérant, ne relève pas de l'utopie.

Si, dans une perspective immédiate, l'électricité d'origine solaire est certes encore plus chère que celle provenant du charbon et du gaz, cela n'est plus vrai lorsqu'on considère le problème globalement et à long terme. Compte tenu de l'importance de l'énergie pour la vie sur notre planète - et plutôt que de continuer à réunir de coûteuses et vaines conférences sur l'environnement -, nous devrions donc sans tarder promouvoir de nouveaux développements basés sur toutes les technologies envisageables dans le domaine des centrales solaires. En fait, il n'y en a que trois : les centrales à courant d'air ascendant², celles à rigole avec miroirs alignés et celles à héliostats disposés au sommet d'une tour. Leur faisabilité étant déjà prouvée, il ne reste qu'à construire des prototypes pour mettre en balance leurs avantages et inconvénients. Si nous ne voulons pas retourner aux cavernes, il faut viser de nouveaux horizons !

Jörg Schlaich, prof., dr ing. civil, dr honoris causa EPFL
Schlaich Bergmann und Partner
Hohenzollernstrasse 1, D - 70178 Stuttgart

² Pour en savoir plus, voir JÖRG SCHLAICH : « The Solar Chimney », Editions Axel Menges, Stuttgart, 1995

