

Comment optimiser l'utilisation de la Pompe à Chaleur géothermique de sorte d'en réduire la consommation, en réchauffant l'eau glycolée grâce à une petite éolienne artisanale de type Darrieus-Savonius

N.B. Le présent document est en ligne pour faciliter l'accès aux liens Internet (en bleu).
(www.retrouversonord.be/glycolee.pdf, ne pas mettre d'accent aigu)

L'avantage indéniable d'une éolienne Savonius combinée à une Darrieus H est de produire rapidement car elle s'actionne utilement avec des vents faibles (à partir de 6m/s ou 21 km/h). Via la mise en fonction d'une éolienne artisanale de ce type pour faire baisser significativement la consommation de la PAC (6.500 kWh en période de chauffe), on pourrait réchauffer en amont l'eau de captation du circuit primaire de la pompe à chaleur (PAC) géothermique : l'eau glycolée est ainsi contenue dans les 800 mètres de tuyaux horizontaux (équivalent à près d'un m³) à ca 1,5 mètre de profondeur :



(cf. www.retrouversonord.be/autarcie.htm#CHAUFFAGE)

Ces derniers jouent le rôle de capteurs de calories dans le sol (sous la pelouse centrale indiquée Géo sur le plan qui suit (N.B. S = suiveur photovoltaïque) :



Le réchauffement de l'eau glycolée peut se faire de deux façons, via :

1. un *réchauffeur* adéquat (avec production électrique) ;
2. un *système utilisant le principe de la machine de Joule* (sans production électrique).

Cela permettra à la PAC de consommer nettement moins d'électricité surtout en période de chauffe ; vu l'augmentation significative attendue de son COP ($^{\circ}$), on peut espérer faire diminuer les *ca* 6.500 kWh consommés par la PAC.

($^{\circ}$) COP veut dire coefficient de performance, par exemple, un COP de 3 veut dire que d'un kWh consommé, la PAC en produit l'équivalent de 3 en kWh calories (la PAC consomme alors trois fois moins qu'un chauffe-eau électrique dans les mêmes conditions).

De plus, la zone (argile) où se trouvent les tuyaux joue un excellent rôle de *thermos* et donc, ce qui y est stocké par exemple en bonne saison, se prête à être valorisé dès le début de l'automne, ce qui entraîne alors directement une moindre consommation de la PAC et ainsi de suite, vu le processus continu de réchauffement fourni par l'éolienne.

(Cf. "Le sous-sol, un énorme réservoir de stockage chaud" : www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/le-sous-sol-un-énorme-reservoir-de-stockage-chaud.23167)

1. Système utilisant un réchauffeur d'eau glycolée :

Voici les caractéristiques auxquelles devraient répondre ou s'adapter un *réchauffeur d'eau glycolée* couplé à une pompe :



Modèle Jeannot

<https://www.jeannot.fr/fiche-Rechauffeur+de+fluide-193.html>

- température d'entrée : de 0° à 16°
- température de sortie : maximum 20° (seuil maximal accepté par la PAC)
- débit de la pompe de la PAC a un débit de 3.045 l/h (débit volumétrique nominal dT 3K) et donc de $50,71 \text{ l}$ par minute. Il reste à trouver une pompe qui fournit un tel débit et avec une consommation modérée.
- pression : de 1 à $1,7 \text{ bar}$
- tension d'alimentation : 220 v
- diamètre intérieur du tuyau d'entrée : $2,5 \text{ cm}$ / extérieur : 3 cm
- temps nécessaire pour faire lever d'un degré la température générée par le réchauffeur d'eau glycolée du m^3 enterré : le Delta $T^{\circ}\text{C}$ apporté au fluide en circulation sera directement dépendant du débit de la pompe. Selon un calcul théorique fourni par le fabricant Jeannot du réchauffeur d'eau glycolée, un débit de 13 l/h permet aux 1000 l de s'élever de 1.14°K par heure de chauffe ; en conséquence, avec un débit de $50,71 \text{ l/h}$, les 1000 l seront élevés de $4,45^{\circ}\text{K}$ par heure de chauffe.

N.B. Ce calcul est valable quelque soit la température initiale du fluide, assure le fabricant.

Un dispositif devra être mis en place pour débrancher le réchauffeur dès que la température de l'eau glycolée amenée à la PAC atteindra 20° (limite supportée par la PAC).

Il faudra alors essayer de valoriser la production électrique excédentaire de l'éolienne d'une manière utile. On peut par exemple imaginer de pouvoir élever la température du réservoir tampon de la PAC (qui alimente directement les radiateurs) ou du boiler ECS...

N.B. Exemple de devis pour un réchauffeur d'eau glycolée avec les caractéristiques :

www.retrouversonnord.be/Devis_rechauffeur-eua-glycolee.pdf

- QUESTIONS EN SUSPEND (votre aide sera la bienvenue) :

- 1) Capacité de l'éolienne à produire sous contrainte d'une consommation continue de ca 2 kWh du dispositif de réchauffement ; autrement dit, quelle sera l'influence négative sur la vitesse de rotation de la relativement basse impédance de la résistance chauffante ; par rapport à l'impédance, le fabricant m'a répondu ce qui suit :
« 23.5 Ohm aux bornes du dipôle de 3 résistances en parallèle. Si le générateur sort du 380 V tri alors les résistances devront être couplées en étoile et la résistance équivalente entre 2 phases sera de +/-140 Ohm ».
- 2) Adéquation du voltage à la sortie du générateur de l'éolienne pour faire fonctionner la résistance chauffante (prévue pour fonctionner en 220 V ou en 380 V) en utilisant le moins possible d'adaptateurs électroniques pour y arriver.
- 3) Optimisation de l'endroit de la sortie de l'eau réchauffée ; possibilités :
 - a) sur le retour ou l'aller de l'eau glycolée (après son passage dans la PAC) en série ou en parallèle vers le collecteur du circuit enterré ;
 - b) dans un boiler qui stockera les calories de sorte d'être disponibles lors du fonctionnement de la PAC et dès la température de 19° atteinte, détournement de l'eau réchauffée comme ce qu'offre les possibilités en a).

Paramètres incontournables à prendre en compte :

A) *Température habituelle de l'eau glycolée* (circuit primaire) :

- plage de température de l'eau glycolée autorisée pour le bon fonctionnement de la PAC : de -10 à 20° ;
- températures mesurées effectivement : - 5° à 13° (temporairement à 22° maximum, mais elle baisse très vite dès que la PAC travaille : cela s'explique par le fait que l'eau est stockée un certain temps dans le conduit d'amenée juste avant la PAC et qui se trouve à l'intérieur de la maison (bénéfice de la chaleur du local).
Le COP varie alors entre 3 à > 4,7
N.B. Facteurs saisonniers : en été, l'eau captée est à > 13° (ce qui engendre un COP à 4,7 voire plus) ; en hiver, elle ne descend jamais en-dessous de -2° (COP de 3 environ), ce qui reste très rare (en fait, c'est suite à une période continue de gel intense).

D'après les relevés, le COP atteint le score de (ca) :

- 7,2 (16 kWh) (eau glycolée à 21°)
- 6,8 (15 kWh) (...19°)
- 6,3 (14 kWh) (...17°)
- 5,9 (13 kWh) (...16° ou 14°)
- 5,4 (12 kWh) (...13°)
- 5 (11 kWh) (...12° ou 11°)
- 4.5 (9 kWh) (...11° ou 10° ou 9°)
- 4 (9 kWh) (...7°)
- 3,7 (8 kWh) (...5 à 3°)
- 3,2 (7 kWh) (...2° à -1°)

N.B. La réactivité du sol dans la montée de sa température est remarquable : ainsi, en décembre 2017, vu le gel persistant, la température de l'eau glycolée à l'entrée de la PAC géothermique était tombée à 1° ; en janvier 2018, le sol s'étant réchauffé, elle a atteint > 3°, étant donné une météo un peu plus clémente ; fin janvier 2018, elle a atteint > 4° (pas de gel intense entretemps).

B) Consommations moyennes d'électricité de la PAC :

- extrêmes de l'échelle :
 - a) météo du jour le plus froid (hiver) : < 66 kWh/jour (température de l'eau captée à ca 0°) ;
 - b) météo la plus favorable (été) : < 4 kWh/jour température de l'eau captée à ca 16°)
- septembre : 7 kWh/jour et donc 210 kWh (COP 3,5, eau captée à 5°)
- octobre : 15 kWh/jour et donc 465 kWh (COP 3,5, eau captée à 6°)
- novembre : 28 kWh/jour et donc 840 kWh (COP 3 eau captée à 2°)
- décembre : 35 kWh/jour et donc 1.085 kWh (COP 3, eau captée à 1°)
- janvier : 40 kWh/jour et donc 1.240 kWh (COP 3, eau captée à 0°)
- février : 35 kWh/jour et donc 980 kWh (COP 3, eau captée à 4°)
- mars : 28 kWh/jour et donc 868 kWh (COP 4, eau captée à 7°)
- avril : 22 kWh/jour et donc 660 kWh (COP 4, eau captée à 7°)
- mai : 10 kWh/jour et donc 310 kWh (COP 4, eau captée à 7°)
- juin à août : 3 à 5 kWh/jour et donc par mois, entre 90 et 155 kWh

N.B. Lors d'une période de froid intense (-12°, ce qui n'est plus arrivé depuis février 2012), le COP n'est jamais descendu en-dessous de 3 ; c'est bien mieux que les autres systèmes de pompe à chaleur qui n'utilisent pas la géothermie et dont leur COP est alors redescendu au niveau minimal de 1 dès que la température extérieure descend seulement sous les 5° environ ; de tels systèmes de pompe à chaleur perdent toute utilité en pareilles circonstances car ils se comportent alors comme des énergivores chauffe-eau électriques.

Durant la période de chauffe (d'octobre à mai), la PAC consomme donc au maximum 6.500 kWh (ce sera encore moins à l'avenir, car depuis l'hiver dernier, nous avons diminué la température moyenne intérieure de la maison de 19° à 17°).

Conséquences (projection) du réchauffement de l'eau de captation par l'apport du réchauffeur d'eau glycolée :

On sait déjà que par rapport à la consommation totale (6.500 kWh) en saison de chauffe, l'accroissement de l'eau glycolée à un niveau constant de :

- 1°, permet d'augmenter le COP d'environ 9 % = 585 kWh d'économie totale
- 2°, permet d'augmenter le COP d'environ 18 % = 1.170 kWh d'économie totale
- 3°, permet d'augmenter le COP d'environ 27 % = 1.755 kWh d'économie totale
- 4°, permet d'augmenter le COP d'environ 36 % = 2.340 kWh d'économie totale
- 5°, permet d'augmenter le COP d'environ 45 % = 2.925 kWh d'économie totale
- et ainsi de suite

2. Système utilisant l'effet joule (chaleur produite par frein hydraulique)

Il s'agit de l'éolienne thermique, la grande et injustement oubliée pourrait-on dire !

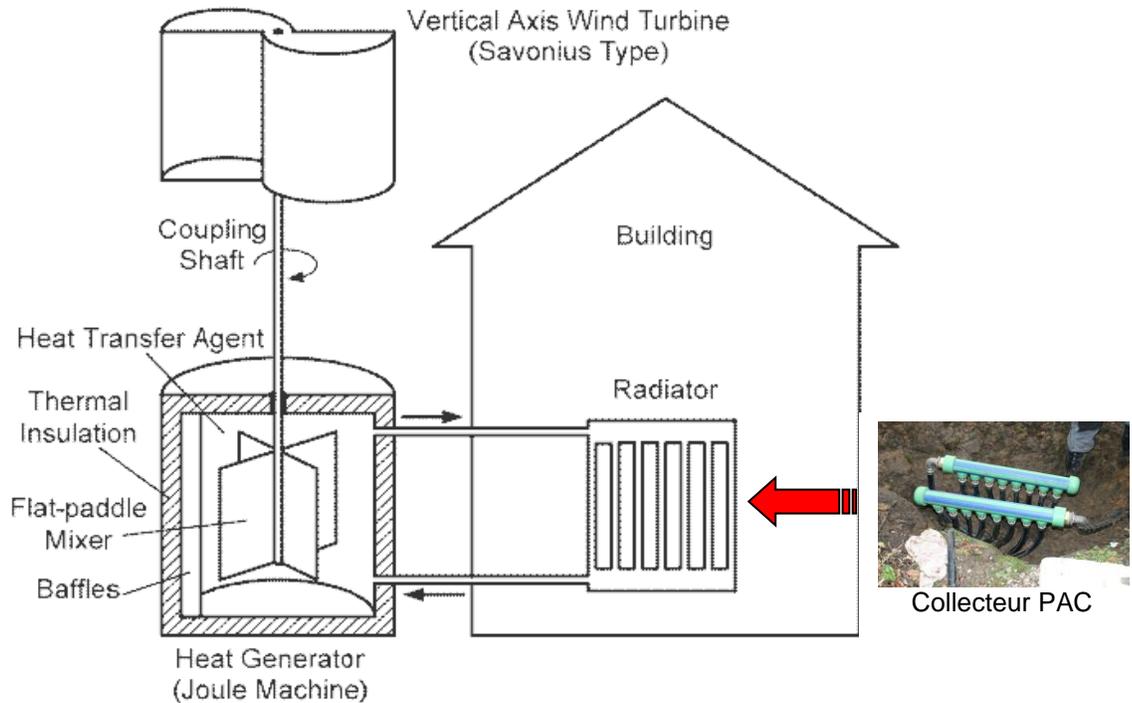
Voici le paradoxe actuel : « *La production d'énergie renouvelable est presque entièrement consacrée à générer de l'électricité. Pourtant l'énergie que nous utilisons le plus est sous forme de chaleur, laquelle ne peut être produite qu'indirectement par des panneaux photovoltaïques ou des aérogénérateurs moyennant en plus un rendement assez faible.* »

(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

Développée au Danemark après le premier choc pétrolier, une telle éolienne peut s'avérer la solution idéale à plusieurs points de vue.

En effet, comment comprendre qu'on en ait fait ainsi l'impasse sachant que « *L'aérogénérateur thermique est un système qui convertit l'énergie du vent en chaleur stockée, lorsque l'on n'en a pas besoin, dans un réservoir d'eau bien isolé. Ces systèmes constituent probablement de nos jours le moyen le plus pratique et le plus rentable d'utilisation de l'énergie éolienne dans un foyer domestique* » ? (Mise en couleur verte ajoutée).

(Cf. Mc Cutcheon, Sean, L'énergie éolienne, Ottawa, Bureau de la conservation et des énergies renouvelables, 1981, p. 14 : cité par <https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=&index=alt&srchtxt=WIND%20POWER%20HEATER>)



Cliquez [ici](#) pour agrandir l'image

NB. Image extraite de l'article accessible sous le lien

<https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>

Il faut donc remplacer "Radiator" par le collecteur du circuit de la PAC (cf. photo de droite) des 800 m de tuyaux capteurs de calories et enfouis à ca 1,5 m de profondeur. (cf. www.retrouversonnord.be/autarcie.htm#CHAUFFAGE)

« L'expérience de Joule ["Joule machine"] est une expérience consistant à agiter un fluide en lui fournissant un travail connu et à mesurer l'élévation de température qui en résulte par frottement visqueux [ou frein hydraulique].

Réalisée originellement par James Prescott Joule, le fluide étant de l'eau et le travail fourni par la rotation de pâles entraînées par la chute d'une masse [ici par le mouvement de l'éolienne], l'expérience a mesuré l'énergie qu'il fallait fournir à 1 g d'eau pour élever sa température de 1 °C. Plus généralement, elle a permis d'établir l'équivalence entre travail (énergie mécanique) et chaleur (énergie thermique). ».

(Cf. https://fr.wikipedia.org/wiki/Exp%C3%A9rience_de_Joule)

Application concrète à ParisTech : « Système de chauffage éolien sans conversion électrique » et qui a démontré qu'un tel système réalisé artisanalement s'amortit en un an pour l'ECS !

(Cf. <https://avenir-ingenierie.fr/wp-content/uploads/2022/09/HotEole.pdf>)

« Un générateur de chaleur basé sur ce principe s'apparente tout simplement à une roue à aube à énergie éolienne insérée dans un réservoir d'eau calorifugé. »

Ce qui est donc notre cas : « Il est également possible de **coupler une éolienne mécanique à une pompe à chaleur**, ce qui peut s'avérer moins coûteux que d'utiliser une chaudière à gaz ou une pompe à chaleur électrique alimentée par un aérogénérateur (éolienne dédiée à la production d'électricité). » (Mise en couleur rouge ajoutée)

(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

Ce système pourrait donc être branché en liaison souterraine (de sorte d'en améliorer le transfert calorifique) au collecteur du circuit d'eau glycolée (cf. photo ci-avant) ; il est accessible à environ 20 m de l'endroit où se trouve déjà un cubiveau qui servira(it) cette fois, non plus de réserve d'eau de pluie, mais de cuve calorifugée et supportant l'éolienne.

La chaleur ainsi produite est alors *directement* valorisée pour réchauffer l'eau glycolée du circuit géothermique de la PAC.

Une éolienne Savonius (à basse altitude *ca* 4 m) qui produit de la chaleur par le principe de la machine James Prescott Joule via le frein hydraulique exercé de cette façon, pourrait alors faire l'affaire.

L'accessibilité du système permettrait d'ailleurs de pouvoir après une première installation, d'une part, optimiser la hauteur du mat et, d'autre part, tenter d'y adjoindre judicieusement plus haut un rotor Darrieus H asynchrone (placé plus haut) pour en accroître au besoin le rendement (Cf. www.retrouversonnord.be/HYBRIDE-SAVONIUS-DARRIEUS.pdf).

MEILLEUR RENDEMENT (MOINS DE PERTES)

Sans l'intermédiaire (pénalisant) qu'est la production électrique pour produire de la chaleur, il y a dès alors nettement moins de pertes.

En effet, « [...] convertir l'énergie éolienne ou solaire directement en chaleur (ou en énergie mécanique) peut avoir un meilleur rendement que lorsqu'une conversion énergétique a lieu. Cela signifie qu'un nombre moins important de convertisseurs d'énergie solaire ou éolienne est nécessaire et par conséquent moins d'espaces et de ressources – pour fournir une quantité donnée de chaleur donnée. En bref, l'éolienne productrice de chaleur résout les principaux défauts de l'énergie éolienne, à savoir : sa faible densité en énergie et son intermittence. »

« [...] les éoliennes productrices de chaleur s'avèrent les plus performantes dans des installations décentralisées, dédiées à l'alimentation en chaleur d'un foyer hors-réseau ou idéalement un village, une petite ville, ou encore une zone industrielle. »

(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

MEILLEURE RENTABILITE et MEILLEURE DUREE DE VIE

« La production de chaleur directe améliore significativement la rentabilité et la pérennité de petites installations éoliennes. Des expériences ont montré que les petites éoliennes produisant de l'électricité ont de très mauvais rendements et ne produisent pas toujours assez d'énergie pour compenser celle nécessaire à leur fabrication. »

(Cf. https://elib.dlr.de/103317/1/20160224%20-%20Master%20Thesis_NITTO.pdf)

MOINS COUTEUX

Il y aussi moins d'équipements coûteux (générateur d'électricité, dispositifs électroniques de conversion, pompe, électrovannes... et tous, sources d'avaries potentielles).

« La génération de chaleur directe est moins coûteuse, peut avoir (selon les conditions) un meilleur rendement, et est plus durable que la génération de chaleur indirecte. »

« La méthode directe pour la production de chaleur s'avère beaucoup moins coûteuse et plus durable que la conversion d'électricité d'origine solaire ou éolienne en chaleur par l'intermédiaire d'appareils de chauffage électrique. »

« Pour le système hors-réseau (off-grid), le raccordement direct d'une éolienne à une pompe à chaleur mécanique est l'option la moins chère, la combinaison d'un aérogénérateur avec un chauffe-eau électrique revenant deux à trois fois plus cher. »

(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

« Un autre facteur important est la réduction du coût de stockage thermique, de l'ordre de - 60 à 70 % comparé à une solution sur batterie ou au recours ou à des générateurs de secours. »
(Cf. <https://www.grin.com/document/384572>)

« Les éoliennes productrices de chaleur sont aussi étudiées pour la production d'électricité renouvelable, principalement parce qu'elles offrent une meilleure solution pour stocker de l'énergie comparée à des batteries ou à d'autres technologies couramment utilisées. »
(Cf. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115003079>)

PLUS ECOLOGIQUE

« [...] Des expériences ont montré que les petites éoliennes produisant de l'électricité ont de très mauvais rendements et ne produisent pas toujours assez d'énergie pour compenser celle nécessaire à leur fabrication. »

(Cf. <http://theoildrum.com.s3-website-us-east-2.amazonaws.com/node/6954>)

« Par contre, utiliser des modèles similaires [éolienne thermique] pour produire de la chaleur permet de réduire leur "énergie grise" ('embodied energy' : énergie nécessaire lors de la vie d'un produit, hors utilisation (fabrication, transport, entretien, recyclage...)) et les coûts, ainsi que d'augmenter leur durée de vie et améliore leur rendement. »

« La production de chaleur directe permet ainsi d'économiser trois fois plus de combustibles fossiles et leurs émissions de gaz à effet de serre associées pour un même nombre d'éoliennes [...]. »
(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

N.B. Autre modèle utilisant cette fois une éolienne horizontale mais qui nécessite une hauteur de plus du double de celle projetée avec le modèle Savonius décrit plus haut et il faut aussi prendre en compte la perte d'énergie due au transfert du mouvement de l'horizontalité à la verticalité (reste à savoir comment le rotor arrive à rester face au vent malgré le transfert du mouvement d'horizontal à vertical) :

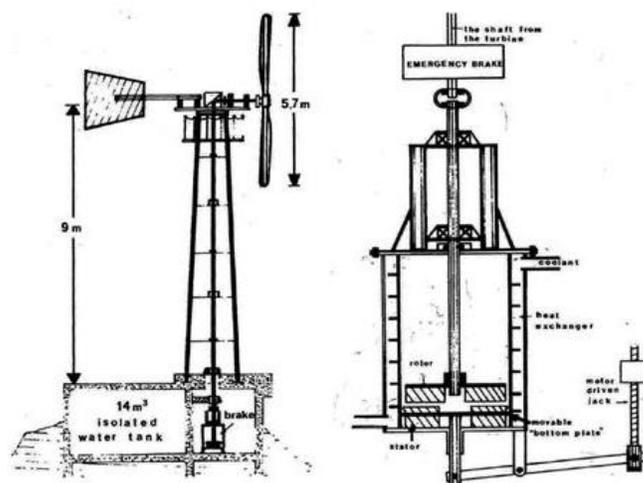


Figure 13.8 Water brake windmill developed by Ørn Helgason (left); water brake with variable load system (right) (Images: Ørn Helgason³).

“Moulin à vent à eau développé par O. Helgason (à gauche), frein à eau avec système de charge variable (à droite). Images de «Test at very high wind speed of a windmill controlled by a water brake», O. Helgason et A. S. Sigurdson, Institut des sciences, Université d'Islande”.
Source : “The Rise of Modern Wind Energy: Wind Power for the World”, Pan Stanford Publishing, 2013. Voir les chapitres 13 (“Water brake windmills”, Jørgen Krogsgaard) et le chapitre 16 (“Consigned to Oblivion”, Preben Maegaard).

N.B. Ce livre en anglais est accessible en partie sur Google Livres :

https://books.google.be/books?id=mEtBN5L1Q2UC&pg=PR3&dq=%E2%80%9CThe+Rise+of+Modern+Wind+Energy:+Wind+Power+for+the+World%E2%80%9D.&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwiyk_WTq8X-AhU4XqQEhQSMbVMQ6AF6BAgFEAE#v=onepage&q=%3A%20%E2%80%9CThe%20Rise%20of%20Modern%20Wind%20Energy%3A%20Wind%20Power%20for%20the%20World%E2%80%9D%2C&f=false

« L'ÉOLIENNE PRODUCTRICE DE CHALEUR RÉSOUT LES PRINCIPAUX DÉFAUTS DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE »

Pourtant et d'une manière surprenante quasi ignorée des instances et autres promoteurs des EnR, « *l'éolienne productrice de chaleur résout les principaux défauts de l'énergie éolienne, à savoir : sa faible densité en énergie et son intermittence* ». (Mise en couleur rouge ajoutée)
« [...] dans le cas de la micro-éolienne Savonius utilisée par les scientifiques comme modèle (rotor de diamètre 0,5 m, hauteur de mat 2 m), des calculs ont permis de déterminer que le diamètre optimal de l'hélice était de 0,388 m. » ; « [...] l'éolienne Savonius s'avère en revanche une très bonne candidate pour la production de chaleur : cette petite éolienne est parvenue à générer jusqu'à 1 kW de puissance thermique (à une vitesse de vent de 15 m/s). » (Mise en couleur rouge ajoutée)

(Détails : [https://www.researchgate.net/profile/Yuriy-](https://www.researchgate.net/profile/Yuriy-Vagapov/publication/265796144_Direct_conversion_of_wind_energy_into_heat_using_Joule_machine/links/5807f64308aefaf02a2c6587/Direct-conversion-of-wind-energy-into-heat-using-Joule-machine.pdf)

[Vagapov/publication/265796144_Direct_conversion_of_wind_energy_into_heat_using_Joule_machine/links/5807f64308aefaf02a2c6587/Direct-conversion-of-wind-energy-into-heat-using-Joule-machine.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yuriy-Vagapov/publication/265796144_Direct_conversion_of_wind_energy_into_heat_using_Joule_machine/links/5807f64308aefaf02a2c6587/Direct-conversion-of-wind-energy-into-heat-using-Joule-machine.pdf))

AMORTISSEMENT

Des étudiants d'une Haute Ecole parisienne (ParisTech) ont établi ce qui suit :

« On souhaite dans cette partie comparer le coût d'utilisation d'un chauffe-eau électrique classique et de notre système. On considère un ballon de volume [...]. En supposant un prix du kWh de 0,17€ (alors que le prix du kWh sera probablement supérieur dans un futur proche), l'utilisation du chauffe-eau électrique revient à un coût annuel de 745€.

Le coût d'une éolienne low-tech 200W est de l'ordre de 350€. En estimant la partie mélangeur au même coût, on arrive à un coût complet de notre système de 700€.

On obtient donc notre retour sur investissement en approximativement 1 an » et en fait, vu que le prix du kWh en Belgique est le triple, l'amortissement se fera en 4 mois pour l'ECS ! (Cf. https://www.retrouversonord.be/HotEole_Syst%C3%A8me-de-chauffage-eolien.pdf)

DETAILS

* « La production d'énergie renouvelable est presque entièrement consacrée à générer de l'électricité. Pourtant l'énergie que nous utilisons le plus est sous forme de chaleur, laquelle ne peut être produite qu'indirectement par des panneaux photovoltaïques ou des aérogénérateurs moyennant en plus un rendement assez faible. »

« La génération de chaleur directe est moins coûteuse, peut avoir (selon les conditions) un meilleur rendement, et est plus durable que la génération de chaleur indirecte ».

« L'énergie solaire thermique peut servir à la production d'eau chaude sanitaire, au chauffage ou à des procédés industriels. En outre, cette technologie un rendement 2 à 3 fois plus élevé comparée à la version indirecte, c'est-à-dire impliquant l'étape de conversion en électricité. »

« L'équivalent direct de l'énergie éolienne est le moulin, technique ancestrale connue de tous et vieille d'au moins 2000 ans. L'énergie de rotation issue du rotor était transmise directement à l'arbre d'une machine, qu'il s'agisse d'une scie à bois ou d'une meule à grains.

Bien qu'ancienne, cette méthode conserve toute sa pertinence de nos jours, notamment combinée à de nouveaux systèmes, en ce qu'elle offre un meilleur rendement qu'en convertissant l'énergie en électricité, puis à nouveau en énergie de rotation. »

« Un autre facteur important est la réduction du coût de stockage thermique, de l'ordre de - 60 à 70 % comparé à une solution sur batterie ou au recours ou à des générateurs de secours. »

« Ensuite, convertir l'énergie éolienne ou solaire directement en chaleur (ou en énergie mécanique) peut avoir un meilleur rendement que lorsqu'une conversion énergétique a lieu.

Cela signifie qu'un nombre moins important de convertisseurs d'énergie solaire ou éolienne est nécessaire et par conséquent moins d'espaces et de ressources – pour fournir une quantité donnée de chaleur donnée. En bref, l'éolienne productrice de chaleur résout les principaux défauts de l'énergie éolienne, à savoir : sa faible densité en énergie et son intermittence. »

« Enfin, la production de chaleur directe améliore significativement la rentabilité et la pérennité de petites installations éoliennes. Des expériences ont montré que les petites éoliennes produisant de l'électricité ont de très mauvais rendements et ne produisent pas toujours assez d'énergie pour compenser celle nécessaire à leur fabrication.

Par contre, utiliser des modèles similaires pour produire de la chaleur permet de réduire leur « énergie grise » ('embodied energy' : énergie nécessaire lors de la vie d'un produit, hors utilisation (fabrication, transport, entretien, recyclage...)) et les coûts, ainsi que d'augmenter leur durée de vie et améliore leur rendement. »

« Les performances d'une des premières petites éoliennes danoises productrices de chaleur furent officiellement testées. La Calorius type 37 – d'une hauteur de 9 mètres et équipée d'un rotor de 5 mètres de diamètre – produisait 3,5 kilowatts de chaleur pour une vitesse de vent de 11 m/s (forte brise, Beaufort 6). Ceci est comparable à la chaleur produite par les plus petites chaudières utilisées pour le chauffage de locaux. Entre 1993 et 2000, l'entreprise danoise Westrup a construit au total 34 éoliennes dont 17 étaient toujours en fonctionnement en 2012. » Malheureusement l'éolienne Calorius n'est plus fabriquée.

(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

Son concepteur Hans-Henrik Ekner qui l'a breveté figure parmi les lauréats du prix solaire européen en 2001. (Cf. <https://www.solaragentur.ch/fr/prix-solaire/prix-solaire-europeen>)

Il s'agit d'un « Moulin domestique à faible bruit Calorius est un moulin domestique silencieux de 15 mètres de haut avec deux ailes. Lorsque les ailes tournent avec le vent, l'eau à l'intérieur du rotor est fouettée et chauffée par les frottements. Cela permet d'acheminer l'eau de chauffage urbain du haut du moulin vers les maisons pour une utilisation dans les lave-linge, les lave-vaisselle et les radiateurs. » (Cf. <https://politiken.dk/oekonomi/art4942788/Varmem%C3%B8lle-er-i-modvind>)

« Une éolienne à frein hydraulique de plus grande dimension (7,5 mètres de diamètre, fut construite en 1982 par les frères Svaneborg et chauffait la maison de l'un des deux (tandis que l'autre avait opté pour un aérogénérateur et un système de chauffage électrique). Composée de 3 pâles en fibres de verre, l'éolienne produisait jusqu'à 8 kilowatts de chaleur, d'après des mesures non-officielles – ce qui est comparable à la puissance délivrée par la chaudière électrique d'une petite maison individuelle. »

(Cf. <https://www.lowtechmagazine.com/2019/02/heat-your-house-with-a-water-brake-windmill.html>)

« En 1974, Esra L. Sørensen a construit cette turbine de production de chaleur avec un rotor de 13,4 m de diamètre, près de la ville de Hedensted, Jutland. La hauteur du moyeu est de 18 mètres. »

« 1974 Ricard Matzen et Sonne Kofoed, Tåstrup, Copenhague. A l'Institut des Techniques Agricoles, le développement d'éoliennes se poursuivait dans les années 70. Deux chercheurs engagés, Sonne Kofoed et Ricard Matzen, ont mis au point deux prototypes de turbines pour la production de chaleur destinée aux exploitations agricoles. Un bon système de freinage à eau a été mis au point. Il ne s'agissait pas d'un projet de base, les chercheurs étant payés par leur institut, mais il s'agit d'un premier effort de développement des énergies renouvelables, motivé par l'engagement personnel des deux chercheurs.

L'idée du frein à eau n'a pas été commercialisée au début, mais des entreprises privées ont tenté de le faire : la "LOFA varmemølle" de Knud Berthou, et plusieurs années plus tard la turbine Calorius de 5 mètres de diamètre de Hans Henrik Ekner, produite de 1993 à 2007.[voir plus haut] »

« 1975 Jørgen Andersen possédait un atelier de métallurgie dans le nord du Jutland et construisit cette turbine pour la production de chaleur. Comme les turbines Matzen et Sonne, il utilisait un frein à eau, placé à l'intérieur du bas de la tour (réservoir rond isolé vu sous le petit toit). A l'intérieur de la maison, un réservoir d'eau de 20 000 litres a accumulé la chaleur produite par la turbine. Le prototype n'a jamais été mis en production en série. »
(Cf. <https://windsofchange.dk/WOC-selfbuilders.php>)

REMARQUES IMPORTANTES

Apparemment la seule à avoir industrialisé une éolienne thermique domestique, vous pourriez, par exemple être surpris par le fait que Westrup est la seule firme qui a produit en série 34 éoliennes Calorius 37 entre 1993 et 2000, a cessé ses activités en 2002, alors que vous aurez appris plus haut qu'un tel système Low tech est non seulement bien plus performant pour produire des calories que tout autre, mais aussi, comme démontré plus haut, nettement moins coûteux à monter, à entretenir et plus durable.

En fait, on sait que l'avènement des éoliennes thermiques au Danemark a été motivé par les conséquences du premier choc pétrolier : pour se chauffer d'une manière nettement plus économique.

En effet, il faut savoir qu' « En 1972 le Danemark était un des pays de l'OCDE les plus dépendants du pétrole (92 % de sa consommation énergétique totale) avec une consommation par habitant des plus élevées au monde ».

(Cf. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-26232-article-de-larochelambert-global-chance.pdf>)

Cependant, depuis 2013, l'installation de chauffage au fioul ou au gaz dans les bâtiments neufs est interdite au Danemark. « Depuis 2016, leur fonctionnement est également interdit dans les bâtiments anciens si le raccordement au réseau de chauffage urbain ou l'utilisation d'autres systèmes verts comme les pompes à chaleur est possible. D'ici 2030 au plus tard, tous les systèmes de chauffage au mazout devraient être remplacés au profit de solutions plus respectueuses de l'environnement. Même les radiateurs électriques peuvent ne plus être installés.

Ceux-ci ne fonctionnent actuellement que dans environ 6 % de tous les ménages.

D'ici la fin de l'année [2023], on s'attend à ce qu'un bon 60 % de tous les ménages soient approvisionnés en chauffage urbain. »

(Mai 2023 : cf. <https://www.nouvelles-du-monde.com/transition-thermique-au-danemark-la-ou-la-chaleur-vient-de-loin/>)

L'arrêt en 2002 de la production des seuls modèles fabriqués en série que sont les éoliennes thermiques Calorius 37, s'explique, d'abord par les problèmes techniques rencontrés (°) ; le fait d'avoir tout placé en hauteur a été une source de problèmes, alors qu'un système utilisant un rotor Savonius (cf. p.1) a le grand mérite de mettre tout à disposition au niveau du sol, ce qui permet non seulement un meilleur contrôle mais permet aussi d'anticiper les problèmes éventuels.

(°) Problèmes que le fabricant n'aurait pas résolus d'une manière satisfaisante comme en témoigne le cas suivant :

cf. <https://www.retrouversonnord.be/rapport-vindmssen-Calorius.pdf>

C'est pour cette raison qu'il vaut mieux recourir à un rotor Savonius (quitte à le doubler d'un rotor Darrieus H comme suggéré) et une disposition de la machine de joule dans le sol et non plus située en hauteur (cas de la Calorius).

D'autre part, ce qui a été mis progressivement en place au Danemark pour adopter des solutions collectives, certes plus économiques a sans doute freiné l'attrait pour l'éolienne thermique : il faut savoir que majorité des ménages danois bénéficieront du chauffage urbain (°), sans doute l'option la plus économique, qui n'a plus rendu aussi intéressant le recours à l'éolienne thermique.

(°) Au Danemark, « La production s'effectue principalement dans des centrales de production combinée de chaleur et d'électricité [provenant de la production d'électricité excédentaire des éoliennes], qui produisent simultanément de l'électricité et de la chaleur sous forme de vapeur. Dans un système qui ne produit que de l'électricité, seulement 40 % de l'énergie est utilisée, alors que dans le cas de la production combinée de chaleur et d'électricité, elle est de 90 %. »

(Cf. <https://www.nouvelles-du-monde.com/transition-thermique-au-danemark-la-ou-la-chaleur-vient-de-loin/>)

En l'absence du recours à la solution sans doute la plus économique qu'est le chauffage urbain, mais qui, en dehors du Danemark, ne semble pas avoir le vent en poupe, on peut alors raisonnablement estimer qu'en termes de retour sur investissement, on se retrouve dès lors ailleurs dans les mêmes conditions qu'a créées le premier choc pétrolier, rendant alors l'accès à l'éolienne thermique de nouveau attractif, mais cette fois, pour une période de non-retour à la situation ancienne du moindre coût de l'électricité.

C'est ainsi que chez nous, la crise énergétique actuelle a rebattu les cartes : « *Ce n'est pas exagéré que de dire que cette crise énergétique, ce choc énergétique de 2022, est comparable en intensité, en brutalité, au choc pétrolier de 1973.* » Elle devrait inciter à développer des systèmes économiques de production de chaleur comme le permettent les éoliennes thermiques.

(Cf. <https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/2022-03-31/comment-les-francais-ont-ils-fait-en-1973-pour-economiser-l-energie-face-au-choc-petrolier-ed5c5b08-8bc4-499f-8e2c-f172298093ab>)

Dans nos contrées, cette situation est aggravée par le fait qu'on assiste à l'absence criante de vision audacieuse et suffisamment proactive au niveau de l'Etat (et à l'inverse donc de la situation danoise et pas seulement sur le plan matériel, d'ailleurs), pour la mise en pratique des solutions les plus économiques, comme par exemple le chauffage urbain...

Vu l'impuissance endémique de l'Etat à implémenter à hauteur suffisante et d'une manière réaliste les solutions pour que les ménages (°) puissent réduire significativement leurs émissions à effet de serre, il faudrait que les citoyens qui en ont les possibilités (espace et budget) puissent par exemple s'équiper d'éoliennes thermiques en y arrivant par exemple grâce à des matériaux de récupération, comme ce fut le cas au Danemark (années 1970 – voir plus haut).

On peut aussi les judicieusement les coupler avec des panneaux solaires thermiques, des PAC (voir plus haut).

(°) « [03/2023] 44% des personnes interrogées déclarent retarder ou abandonner leurs projets d'achat ou de rénovation en raison d'un manque de moyens financiers. » Les objectifs européens de neutralité carbone risquent alors de ne pas être atteints dans les temps requis.

(Cf. <https://trends.levif.be/immo/les-projets-de-renovation-durable-des-belges-contrecarres-par-le-manque-de-moyens-financiers/>)

Pour ne citer qu'elle, par rapport au rôle citoyen dans le développement indispensable des énergies renouvelables, une des graves carences de l'Etat a été de supprimer le système de compensation (Net metering) dès le 1^{er} janvier 2031 pour les prosumers, non sans avoir instauré entretemps un incongru autant qu'unique "tarif" prosumer (pour faire payer les prétendus "frais" de réseau) et ainsi conduire à s'équiper de batteries stationnaires anti-écologiques, dont l'empreinte grise ne sera jamais compensée (ce qui est déjà le cas en Flandre) !

(Cf. https://www.retrouversonord.be/EVALUATION_DE_LA_PERTINENCE_DU_TARIF_PROSUMER.pdf)

Qu'on soit prosumer ou pas, le but de recourir à une éolienne thermique c'est de se permettre de tendre à devenir alors indépendant par rapport aux énergies fossiles pour le chauffage et l'ECS (en espérant que les services d'urbanisme ne viennent pas alors à en interdire la réalisation...). Rappel, la présence de PAC et/ou de panneaux solaires thermiques permettront de réduire la taille d'une éolienne thermique.

N.B. Il faut savoir qu'isoler à tous crins (dont les murs extérieurs) permettra à un habitat ancien tout au mieux de réduire de $\frac{3}{4}$ les frais de chauffage, sachant qu'il y aura tout de même une perte d'efficacité dans le temps et à terme, pour les murs extérieurs pour un coût entre 100^e et 200^e le m² et pour « une durée de vie de 50 ».

(Cf. https://uniso-isolation.fr/fr/faq/duree-de-vie-isolation-par-exterieur_32.html).

Rappel, une éolienne thermique pourrait couvrir au moins $\frac{3}{4}$ des besoins caloriques et donc en conséquence de leurs coûts.

De notre côté, nous avons seulement dépensé le tiers du budget dévolu à une isolation complète, mais en recourant à une isolation d'une manière ciblée, en ce compris l'installation d'un suiveur photovoltaïque qui couvre la totalité (e.a.) de nos besoins en chauffage !

De la sorte, nous avons pu faire accéder notre habitat ancien occupé jour et nuit (250m² habitables) à quatre façades au statut complet BePos depuis 2012 (eau, électricité, chauffage) ; cela aurait donc été impossible si nous avions suivi les prescriptions officielles et satisfait au dogme *sine qua non* du recours à l'isolation complète... (Cf. <https://www.retrouversonord.be/autarcie.htm>)

Nous avons le projet de réaliser une éolienne thermique avec un rotor Savonius (éventuellement boostée par l'adjonction d'un rotor Darrieus H), sur base de l'étude présentée (p. 1).

- Questions en suspend (votre aide sera la bienvenue) :

* *Raccordement le plus judicieux au collecteur :*



Collecteur PAC

Dans le but d'une efficacité optimale, le raccordement le plus judicieux au collecteur doit-il être réalisé en *série* ou en *parallèle* sur le retour ou sur l'aller (dans le but d'éviter d'apporter directement à la PAC une eau à une température qui serait trop haute) ?

En effet, rappel, la PAC n'accepte pas de l'eau glycolée à une température excédant 20°.

De ce fait, comment savoir si une telle température ne sera pas dépassée sachant qu'elle sera fonction de la température de l'eau glycolée stockée en permanence dans le réservoir calorifugé ? Certes du fait que l'eau réchauffée ira d'abord évacuer ses calories dans le terrain, il semble qu'il y ait peu de risque *a priori* pour qu'à la sortie, elle ait une température trop haute, sauf peut-être en bonne saison, du fait que la PAC ne sert alors que pour l'ECS (< 1/2 heure par jour).

En revanche, branchée sur l'aller, l'eau réchauffée risque alors d'avoir une température trop haute (certes, elle aura vu sa température un peu chuter du fait qu'il y a encore des tuyaux de 20 m certes enfouis et calorifugés ensuite vers le collecteur et la PAC).

Avec un raccordement en parallèle, une solution serait d'incorporer une vanne assujettie à un thermostat pour couper le circuit : cela permettrait donc de déconnecter/connecter automatiquement le système du collecteur lors du fonctionnement/arrêt de la PAC (de 10 à 30 minutes toutes les heures, en fonction de la demande en calories ; la question sera alors de savoir si la température du réservoir ne risquera alors pas de s'élever trop haut (est-il pensable qu'elle puisse venir à ébullition sous l'effet d'une séquence prolongée par très fort vent ?).

* *L'option du cubiveau comme réservoir calorigène :*

Difficultés à surmonter :

- a) assurer l'étanchéité (pression à près de 2 bar) complète ;
- b) pouvoir insérer par le haut (entrée limitée à 30 cm) 1° la roue à aube (comme dans un mixer) et 2° les montants verticaux pour favoriser la montée en température.

Autre option : une cuve en acier inoxydable à faire réaliser ou à acheter d'occasion (ce que propose, par exemple la firme BPS de Dottignies pour le prix modique de 720 €.)

* *Calorifugation* :

Options possibles :

- a) enterrer le réservoir avec un soubassement + les côtés en béton isolant (risque : absence de contrôle de l'étanchéité au fil du temps ;
- b) enterrer le réservoir avec un soubassement en béton isolant et le reste avec des plaques de polyuréthane avec un accès plus aisé du côté du branchement en bas.
- c) placer le réservoir sur le sol mais avec l'obligation de mettre un système de soutien additionnel (pour assurer sa stabilité...) et avec le disque d'un frein à la fluidité de l'eau glycolée dans le circuit, du fait de l'emplacement à une hauteur de > 2 m par rapport au circuit d'eau glycolée (dans le terrain).

Page explicative faisant partie de l'*Etude de cas (Baudouin Labrique- Fontaine-l'Evêque)*
(www.retrouversonord.be/Helecine.pdf)

Merci de me donner vos commentaires, avis et suggestions !

Baudouin Labrique, psychothérapeute, géobiothérapeute et épistémologue des sciences
Diplômé de la Faculté de Philosophie & Lettres (ULB -1977)
Auteur de *Quand les thérapeutes dérapent* (2011)
Mail : fb140104@skynet.be
Adresse : Bvd du Nord, 15 à 6140 Fontaine l'Evêque
Tél. : 0475/98.4321 – 071/84.70.71

« *Ne t'écarte pas des futurs possibles avant d'être certain que tu n'as rien à apprendre d'eux.* »
(Richard BACH)

« *Il y a ceux qui voient les choses telles qu'elles sont et qui se demandent pourquoi.
Moi, je les vois telles qu'elles pourraient être et je me dis : pourquoi pas !* »
(Sir Bernard Shaw)

« *Le futur appartient à ceux qui voient les possibilités avant qu'elles ne deviennent évidentes.* »
(Théodore Levitt).