

**Rapport final du Conseil communal au sujet du postulat n° 97 (2021-2026)
de Mme et MM. Jean-Thomas Vacher, Caroline Revaz (Le Centre/PVL),
Laurent Woeffray (PS), Raphaël Casazza (PLR) et Gérald Collaud (CG-PCS)
demandant d'étudier la possibilité de s'appuyer sur les éoliennes à axe vertical
pour contribuer à la transition énergétique**

En séance du 31 mai 2023, le Conseil général transmettait au Conseil communal le postulat n° 97 de Mme et MM. J.-T. Vacher, C. Revaz, L. Woeffray, R. Casazza et G. Collaud lui demandant d'étudier la possibilité de s'appuyer sur les éoliennes à axe vertical pour contribuer à la transition énergétique.

Résumé du postulat

Comme toutes les énergies renouvelables, les technologies liées à l'éolien ont connu de nombreuses évolutions. Si les éoliennes dites à axe horizontal posent de nombreux problèmes en termes d'acceptation par la population, de bruit et de biodiversité, les éoliennes à axe vertical ne présentent quant à elles pas ce genre de problème. Elles sont silencieuses et de plus, elles peuvent être plus petites, ce qui évite les difficultés liées à la protection du paysage. Par les nombreux atouts que les éoliennes verticales présentent, elles ont l'avantage de pouvoir être disposées dans des emplacements urbains. Ce postulat demande au Conseil communal d'étudier les opportunités d'installer des éoliennes verticales [...] sur le territoire communal afin de combler le manque de production énergétique hivernal. L'étude se penchera également sur le modèle à promouvoir selon les surfaces envisagées pour la pose de telles éoliennes. Elle analysera également la forme que pourrait prendre le développement de ce type de projet dans le cadre de la nouvelle société d'investissement en faveur des projets de transition énergétique, créée lors de la séance du Conseil général du 14 février 2023. Selon les conclusions du postulat, une grande attention sera portée concernant l'acceptation des concitoyennes et concitoyens qui pourraient être directement impactés.

Réponse du Conseil communal

Préambule

Contexte général

La Suisse dépend actuellement de l'étranger pour l'approvisionnement en énergie. Cette dépendance a principalement lieu en hiver, période à laquelle la consommation dépasse les capacités de production nationales. Afin d'accroître la production d'électricité indigène en hiver, le développement de l'éolien fait partie des solutions possibles.

Selon Suisse Eole: "Selon les perspectives énergétiques 2050, l'énergie éolienne pourrait couvrir 7 à 10 % de la consommation suisse d'électricité d'ici à 2050. La planification des sites destinés à l'exploitation de l'énergie éolienne est de la compétence des cantons. Dans leurs plans directeurs, ils déterminent les emplacements susceptibles d'accueillir ou non des installations éoliennes. Lors de la planification d'installations éoliennes, il est tenu compte des zones à exclure ou faisant l'objet de réserves ainsi que du raccordement au réseau routier et électrique."¹

Selon Suisse Energie: "Les grandes éoliennes sont plus rationnelles et plus écologiques que les petites. Grâce aux progrès techniques accomplis dans ce secteur, les grandes installations éoliennes permettent de récolter beaucoup plus d'électricité que plusieurs petites turbines. Pour une même quantité d'électricité, il faut donc beaucoup moins d'installations, l'impact sur le paysage est bien moindre et on utilise moins de surface de terrain. En outre, les pales des grandes installations tournent plus lentement, ce qui rend ces éoliennes plus paisibles. [...] En doublant la longueur des pales, on peut produire quatre fois plus d'électricité."²

Egalement en rapport avec la taille, les éoliennes de grande taille (env. 150 m de haut) sont plus productives, car moins perturbées par les facteurs environnants tels que les bâtiments, collines et forêts.

"Pour produire autant d'électricité qu'une seule grande éolienne, on aura théoriquement besoin de plus de 2000 petites éoliennes."³

Selon Suisse Eole, "seul l'apport hivernal de l'énergie éolienne permettra de maintenir les importations de courant étranger à leur niveau actuel"⁴. En effet, "le déficit d'énergie hivernale ne pourra pas être compensé par le développement accru du solaire photovoltaïque seul"⁵.

"En Suisse, les éoliennes produisent deux tiers de leur électricité en hiver, période au cours de laquelle les besoins en énergie pour le chauffage et l'éclairage sont plus élevés. L'énergie éolienne complète ainsi de manière idéale les installations hydroélectriques et solaires, dont la production est plus élevée en été."⁶ Ceci est illustré dans le graphique ci-dessous représentant les profils de production des énergies hydrauliques, solaires et éoliennes en Suisse:

¹ <https://www.wind-data.ch/windkarte/>, consulté le 5 décembre 2023

² Brochure "Vive le vent d'hiver !" de Suisse Energie, pp. 14-15.

³ Brochure "Vive le vent d'hiver !" de Suisse Energie, p. 15.

⁴ Suisse Eole, "Plan éolien pour le climat: la solution énergétique hivernale. Analyse et actualisation du potentiel de l'énergie éolienne en Suisse", 12 juin 2020, p. 6.

⁵ Suisse Eole, "Plan éolien pour le climat: la solution énergétique hivernale. Analyse et actualisation du potentiel de l'énergie éolienne en Suisse", 12 juin 2020, p. 31.

⁶ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/energies-renouvelables/energie-eolienne.html/>, consulté le 5 décembre 2023.

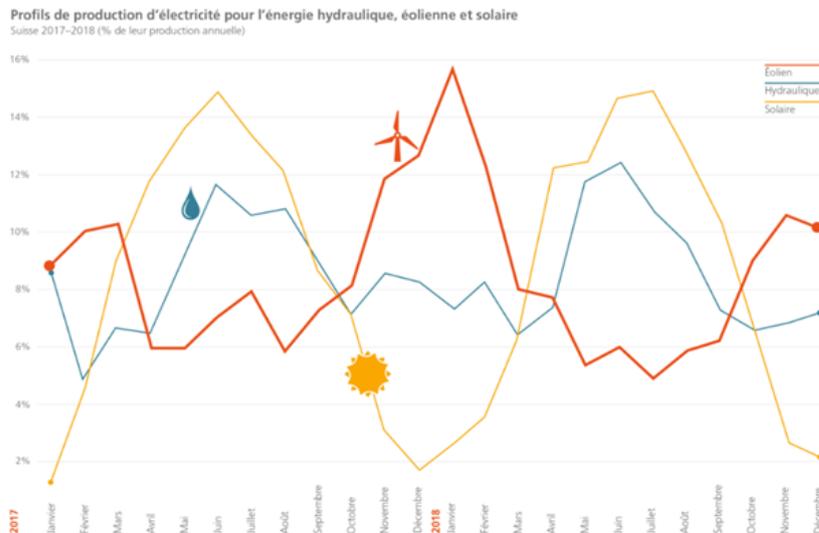


Figure 1: Profils de productions des énergies hydrauliques, solaires et éoliennes en Suisse en 2017 et 2018, Suisse Energie

Contexte particulier et planification directrice cantonale

Dans le cadre de la planification directrice cantonale, une prospection a été réalisée dans le canton pour les éoliennes "classiques". À l'échelle du canton, différents sites ont été identifiés pour l'installation de grandes éoliennes.

Dans la liste des principes relatifs à l'énergie éolienne de la planification directrice cantonale, un point particulier concerne les petites éoliennes hors des zones à bâtir⁷:

"Autoriser les éoliennes de moins de 30 m de hauteur totale en dehors des zones à bâtir uniquement si elles remplissent l'ensemble des conditions suivantes:

- conformité du lieu de l'installation avec le principe P6 de la Conception énergie éolienne de la Confédération⁸: "En dehors des zones à bâtir, il n'est en principe possible de réaliser des petites installations que dans des situations particulières (par exemple en cas d'absence de raccordement à un réseau). Ni leur mise en place, ni leur exploitation ne répondent à un intérêt public supérieur";
- l'installation est destinée à une maison non raccordée ou non raccordable au réseau électrique existant;
- la production d'énergie attendue est, sur une période de 15 ans, au moins deux fois plus élevée que l'énergie grise nécessaire à la réalisation de l'installation;
- les critères environnementaux définis pour les grandes éoliennes sont respectés et font l'objet d'une notice d'impact sur l'environnement.

L'installation de petites éoliennes dans le milieu bâti n'est ainsi pas considérée dans la planification cantonale".

⁷ Planification directrice cantonale, Section C / T121, Energie éolienne, 19 août 2020, p. 4.

⁸ Conception énergie éolienne, Office fédérale du développement territorial, 25 septembre 2020

Considérant le déploiement du petit éolien en milieu urbain, Saskia Bourgeois, spécialiste en énergies renouvelables au Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, complète dans ce sens:

"Les petites éoliennes peuvent être utiles dans des endroits très bien ventés et sans raccordement au réseau, par exemple dans des chalets d'alpage. Mais la plupart du temps, les petites éoliennes ne sont pas très efficaces à proximité des habitations pour les raisons suivantes:

- L'énergie cinétique contenue dans le vent augmente à la troisième puissance de la vitesse du vent, c'est-à-dire qu'une vitesse de vent deux fois plus élevée signifie huit fois plus d'énergie. Comme le vent est ralenti par la topographie, les bâtiments et la végétation, et qu'il perd donc de l'énergie, les éoliennes modernes sont construites aussi haut que possible afin de pouvoir utiliser le vent en altitude, qui est riche en énergie. Les petites éoliennes installées à proximité du sol ont toujours le problème de ne disposer que de vitesses de vent relativement basses et donc de peu d'énergie.
- L'énergie utilisable par une éolienne est directement liée à la surface balayée par le rotor, c'est-à-dire la hauteur multipliée par la largeur: une surface deux fois plus grande peut produire deux fois plus d'énergie. Les grandes éoliennes modernes avec un diamètre de rotor de 140 m et plus couvrent une surface de 15'000 m², ce qui correspond à la surface de deux terrains de football. Pour pouvoir produire autant d'énergie avec des éoliennes alternatives, ces dernières devraient également présenter une surface similaire.

Pour les ménages privés, l'investissement dans une installation photovoltaïque est généralement la meilleure option. Le marché des petites éoliennes est actuellement très vaste et difficile à suivre. On sait toutefois que de nombreuses petites éoliennes sont vendues, qui promettent plus qu'elles ne peuvent tenir. Ce sont les raisons pour lesquelles les petites éoliennes ne sont pas d'intérêt national et ne peuvent donc bénéficier d'aucun soutien financier [...]."

La situation actuelle du vent en ville de Fribourg

Selon la planification cantonale directrice, le territoire de la Ville de Fribourg ne fait pas partie des zones à potentiel éolien qui pourraient être examinées, comme le montre l'extrait de carte ci-après:

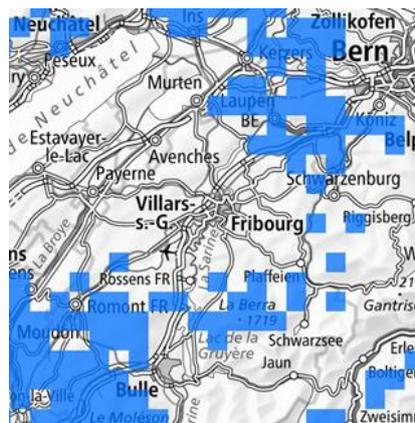


Figure 2: Extrait d'une carte du potentiel éolien du canton de Fribourg issu de la planification directrice

L'essentiel du territoire communal présente une vitesse de vent inférieure à 4 m/s à une hauteur de 50 m du sol. Ci-dessous les endroits potentiels où les vents se situent entre 4 et 4,5 m/s: terrains de sport du Guintzet, la colline du Torry, une zone au Schoenberg en dessus de la Vallée du Gottéron, Bourguillon. Les caractéristiques du site n'invitent donc pas à exploiter la force du vent.

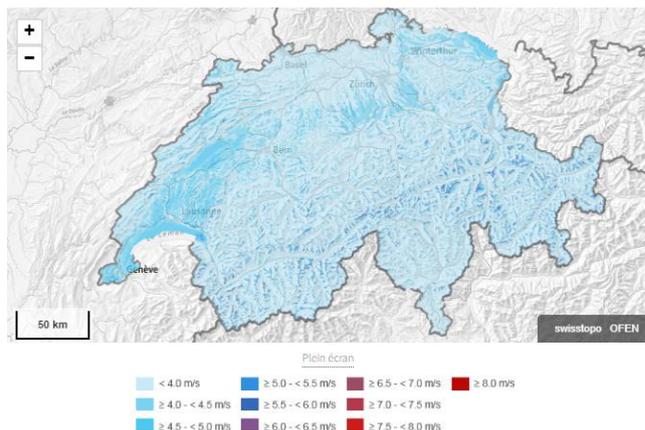


Figure 3: Atlas des vents de la Suisse, moyenne annuelle modélisée de la vitesse à 50 m de hauteur, <https://www.wind-data.ch/windkarte>

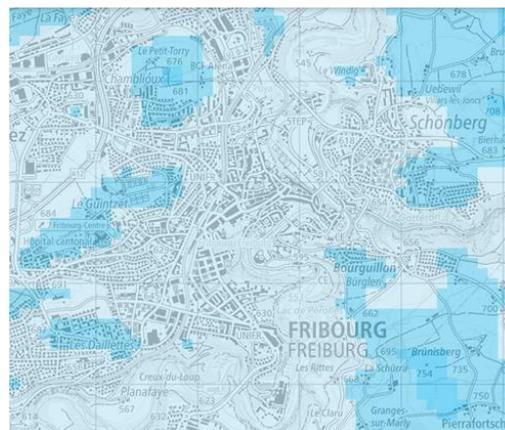


Figure 4: Atlas des vents de la Suisse, moyenne annuelle modélisée de la vitesse et de la direction du vent à 50 m du sol (Office fédéral de l'énergie OFEN)

Il convient de préciser que les cartes ci-dessus ne présentent qu'une estimation sommaire des conditions de vent. S'il y a un intérêt à développer un site, alors des mesures devraient être effectuées sur place. En l'absence de données précises sur le vent en ville de Fribourg, il est difficile d'assurer à quel endroit l'implantation d'une éolienne pourrait être pertinente. Afin d'obtenir des données précises sur le comportement du vent en ville de Fribourg, une étude complémentaire devrait être réalisée afin d'obtenir des données spécifiques.

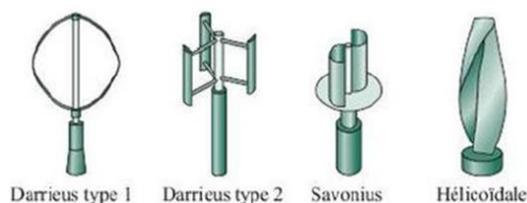
Etat de l'art et modèles d'éoliennes à axe vertical

Les petites éoliennes sont définies par une norme IEC (International Electrotechnical Commission) et ont en général une hauteur totale inférieure à 30 m. Elles doivent en premier lieu se conformer au principe P6 de la Conception énergie éolienne de la Confédération. Elles doivent ensuite respecter les mêmes critères environnementaux que les grandes éoliennes, mais doivent en plus faire l'objet d'une démonstration de leur rentabilité énergétique pour obtenir un permis d'installation. En règle générale, les petites éoliennes ne doivent entrer en ligne de compte que dans des situations particulières, par exemple en cas d'absence de raccordement au réseau électrique.⁹

Typologie d'éolienne

Les mini éoliennes ont pour elles l'avantage de pouvoir tirer profit de vents plus faibles et venant de toutes les directions. Dans la typologie d'éolienne, il existe quatre modèles principaux de mini éoliennes:

Darrius type 1, Darrius type 2, Savonius, et hélicoïdale. Ceux-ci sont illustré ci-après:



⁹ Planification directrice cantonale, Section C / T121, Energie éolienne, 19 août 2020, p. 11.

Les caractéristiques commerciales indiquent que celles-ci sont capables de produire de l'énergie dès que le vent atteint une vitesse de 1.3 m/s, pour les cas les plus favorables.

Rentabilité

Il n'existe pour l'heure pas d'études ou d'exemples à grande échelle démontrant que l'installation de telles infrastructures est rentable économiquement, ni favorable d'un point de vue environnemental.

A titre d'exemples isolés, on peut cependant mentionner la première éolienne hélicoïdale domestique de Suisse (installée à Estavayer en 2017¹⁰) ainsi que l'arbre à vent installé à Genève. Leurs caractéristiques ainsi que le coût de revient de l'énergie sont présentés dans le tableau ci-après:

		Hélicoïdale		Arbre à vent		Solaire	
Production d'énergie	[kWh/an]	4300		3600		4300	
Durée de vie	[An]	20	30	20	30	20	30
Production totale	[kWh]	86'000	129'000	72'000	108'000	86'000	129'000
Coûts installation	[CHF]	80'000		30'000		18'000	
Coût du kWh	[CHF/kWh]	0.93	0.62	0.42	0.28	0.21	0.14

En terme d'ordre de grandeur, un calcul sommaire démontre que le coût de l'énergie éolienne se situe entre 62 ct/kWh et 93 ct/kWh pour l'exemple de l'éolienne hélicoïdale et de 28 ct/kWh à 42 ct/kWh pour l'arbre à vent, pour des durées de vie respectives de 20 et 30 ans. En comparaison, le prix de revient du kWh d'une installation solaire (hors subvention) d'une production similaire (4'300 kWh/an) se situe entre 14 et 21 ct/kWh pour les mêmes durées de vie. Le coût de l'électricité provenant du réseau se monte quant à lui à 32.4 ct/kWh en 2024 pour une consommation de 4'500 kWh¹¹.

En terme d'énergie renouvelable, on peut donc constater que les coûts de l'énergie des deux modèles d'éoliennes évoqués sont largement supérieurs aux coûts d'une installation solaire d'une production similaire. Cette dernière est donc favorable économiquement. Comparativement à l'énergie du réseau, on peut constater que la solution apportée par l'arbre à vent se situe dans le même ordre de grandeur, tandis que le modèle hélicoïdal est largement supérieur. Il convient cependant de préciser qu'il ne s'agit que de cas isolés et que le développement actuel ne permet pas de généraliser ces exemples.

Intégration en milieu urbain

La question de l'intégration architecturale est plus subjective et mériterait d'être approfondie au cas par cas si l'intérêt d'installer de telles infrastructure se manifestait. Afin de se représenter l'envergure et l'allure de telle installations, les deux modèles d'éoliennes évoqués précédemment sont illustrés ci-dessous:

¹⁰ <https://soleol.ch/s/fr/a-propos/notre-batiment/eolienne>

¹¹ Selon liste de prix de groupe E pour l'année 2024



Figure 5: Eolienne hélicoïdale de 9 m, installée devant l'entreprise Soleol à Estavayer-le-Lac, photo de Soleol



Figure 6: Arbre à Vent de 10 m, installé devant la Banque Piguet Galland, photo de Pierre Abensur

Il s'agit de modèles de taille relativement importante qu'il faut parvenir à insérer dans le paysage urbain, avec toutes les contraintes que cela peut comporter en terme d'acceptabilité et de validité environnementale. En effet, un arbre éolien artificiel, bien que produisant de l'énergie, n'offre pas les avantages apportés par de la végétation en terme d'ombre, rafraîchissement et espace pour la biodiversité. Dans un contexte où l'on souhaite actuellement lutter contre les îlots de chaleur et la surchauffe de bâtiment, ces solutions n'apportent pas de réelles plus-values hormis la production d'électricité.

Dans la pondération entre mesures à mettre en œuvre dans la perspective de la transition énergétique et protection du patrimoine et du paysage, la capacité d'un site à intégrer des installations de production énergétique doit être évaluée finement.

La ville de Fribourg se développe sur un périmètre modeste d'approximativement 3,5 sur 4 km qui se caractérise notamment par de forts dénivelés topographiques. On y trouve des points de vue surélevés, comme le Guintzet, le Schoenberg, la colline du Torry, l'observatoire de Lorette, qui offrent des vues dégagées sur la structure urbaine et le paysage, en arrière-fond. Depuis le centre-ville, de nombreuses perspectives se dégagent vers des vues caractéristiques comme le boulevard de Pérolles en direction du Cousimbert, le parc des Grand-Places en direction de la Maigrauge, de Lorette ou du Schoenberg, ou encore le dégagement vers la vallée du Gottéron et la plaine de la Sarine depuis le pont de Zaehringen. Il ne s'agit là que de quelques exemples illustrant les perspectives et autres dégagements caractéristiques de notre ville.

Dans ce contexte sensible, qui se traduit également au niveau du Plan d'aménagement local développé sur la base de l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale (ISOS), l'intégration d'installations de production énergétique, même réduites comme c'est le cas pour les éoliennes à axe vertical, s'avère un exercice extrêmement délicat.

Au vu des multiples procédures mises en œuvre et des jurisprudences développées dans le cadre de demande d'autorisation pour la pose de l'installation de production énergétique alternatives, les réflexions développées ci-dessus mettent en évidence la complexité dans la détermination d'un site idoine pour l'implantation d'éoliennes à axe vertical. À cela s'ajoute la nécessité de solliciter les Commissions fédérales compétentes en la matière pour préavis dans le cadre demandes d'autorisation de construire.

Au vu des arguments développés notamment concernant le faible potentiel de production énergétique des éoliennes à axe vertical, de la pesée des intérêts et des enjeux contradictoires décrits précédemment, il apparaît que l'issue de toute procédure de demande d'autorisation demeure très incertaine, pour ne pas dire fortement compromise.

Acceptation des habitants

En terme d'acceptabilité des habitants concernant l'implantation de petites éoliennes en ville, différents obstacles peuvent être évoqués et mériteraient d'être étudiés de manière approfondie. Par conséquent, ces questions ne sont pas traitées de manière détaillée dans cette présente réponse au postulat, mais quelques freins potentiels sont évoqués ci-après:

- bruit réel de telles installations en milieu urbain;
- esthétique et modification de l'environnement urbain;
- pertinence de l'implantation d'éoliennes par rapport à d'autres ouvrages (mobilier urbain, végétation);
- impact sur le prix de l'immobilier à proximité;
- ressenti de la population par rapport à des objets supplémentaires en mouvement.

Développement du projet dans le cadre de la société d'investissement Particip SA

La Ville de Fribourg s'engage en faveur des énergies renouvelables à travers la société Particip SA. Actuellement, une vingtaine de projets solaires sont planifiés à plus ou moins long terme. Les projets solaires sélectionnés sont des projets aux risques très limités tant en terme financier que d'infrastructure car il s'agit d'installations éprouvées et prévisibles.

L'état de développement actuel des petites éoliennes, les conditions cadres quant à leur installation ainsi que le manque de données quant à leur rentabilité rendent ces types de projets trop risqués et incertains aujourd'hui pour les envisager. Cependant, tant la Ville de Fribourg que Particip SA continueront à observer le développement du secteur du petit éolien, celui-ci offrant encore une marge de progression comme le montre une récente étude de l'EPFL¹².

Conclusion

Si le contexte général plaide en faveur du développement de l'énergie éolienne afin de limiter l'importation de courant d'origine fossile en hiver, il apparaît que le contexte particulier de la ville de Fribourg ne se prête actuellement pas pour les petites éoliennes. De compétence cantonale, la planification de l'éolien du Canton de Fribourg par sa planification directrice cantonale actuelle n'intègre pas son développement en milieu bâti tel qu'en ville de Fribourg. En effet, le petit éolien y est décrit comme favorable uniquement dans des contextes de bâtiments isolés et hors du réseau. En effet, en milieu bâti, le vent déjà peu présent en ville de Fribourg serait encore ralenti et rendrait les éoliennes peu efficaces.

¹² <https://actu.epfl.ch/news/le-machine-learning-devoile-le-potentiel-des-eol-2/>

En termes de rentabilité, il a également été constaté que les solutions de petit éolien n'étaient en termes de coûts au mieux que comparable à l'énergie électrique provenant du réseau en 2024, et ceci seulement pour un cas isolé. En comparaison avec des installations solaires, il a été démontré que le coût de l'énergie éolienne était largement moins compétitif que celui offert par le solaire. De plus, le marché du petit éolien n'est actuellement pas assez mature et assez peu étudié à relativement grande échelle afin d'y obtenir des garanties de rentabilité satisfaisantes tant d'un point de vue économique qu'environnemental.

En termes d'intégration dans l'environnement bâti de la Ville de Fribourg, il conviendrait d'étudier de manière plus approfondie la faisabilité et le souhait d'intégrer ce genre d'infrastructures sur le territoire communal. Si les éoliennes ont l'avantage d'apporter de l'énergie, cela se ferait au détriment d'autres plus-values que peut offrir notamment de la végétation naturelle. Une pesée d'intérêts devrait donc avoir lieu si ces deux types d'implantations venaient à être mises en concurrence, surtout dans le contexte de la chaleur en milieu urbain.

L'acceptabilité de telles infrastructures par la population est difficile à appréhender ou mesurer sans études dédiées. Une réflexion quant à l'impact de tels ouvrages par rapport à la valeur de l'immobilier à proximité pourrait également être étudiée.

Compte tenu de ce qui précède, le Conseil communal ne souhaite pour l'heure pas promouvoir ou s'appuyer sur le petit éolien sur le territoire communal et privilégiera le développement des projets solaires déjà actuellement planifiés. En effet, l'état de développement actuel des éoliennes, les conditions cadres ainsi que le manque de données quant à leur rentabilité rendent ce type de projets trop risqués et incertains aujourd'hui pour les envisager. Cependant, le Conseil communal continuera à observer le développement du secteur du petit éolien.

Afin de compenser le manque de production hivernal qui reste problématique, la Ville de Fribourg privilégiera l'étude d'autres solutions, telles que l'installation d'infrastructures solaires en façade, rendues plus favorables aujourd'hui notamment grâce à la baisse générale du coût des installations solaires. Si ce type d'installations a une production globale annuelle moindre qu'une installation en toiture, elle a l'avantage d'être plus productive durant l'hiver grâce à un positionnement en façade plus adapté au soleil rasant hivernal.

Le postulat n° 97 est ainsi liquidé.