



Goblet Lavandier & Associés
Ingénieurs-Conseils S.A.

Potentiel photovoltaïque du réseau autoroutier luxembourgeois

Étude de faisabilité

14 mai 2025

Bureaux d'études	Goblet Lavandier & Associés, BEST
Ingénieurs	Fränk Steichen, Alessandro Venturini, Géraldine Beffort, Elisabeth Majerus
N° de projet	P24-038
Client	Ministère de l'Économie – Direction générale de l'Énergie





Table des matières

1	Résumé analytique.....	5
2	Introduction.....	7
3	Méthode de travail	9
4	Solutions techniques.....	10
4.1	Protection contre le bruit avec intégration de solutions PV	10
4.2	Protection écologique contre le bruit provenant des sources d'autoroutes	12
4.3	Différents types d'installations photovoltaïques au sol	14
4.4	Batteries NAS à haute température	17
4.5	Exemple de champ photovoltaïque sans poste de transformation	18
5	Limitations.....	19
5.1	Contraintes environnementales.....	19
5.2	Autres planifications	20
5.3	Raccordement électrique.....	20
5.4	Infrastructure routière	21
5.5	Surfaces exclues de l'analyse	22
6	Identification des sites potentiels	23
6.1	Surfaces imperméables/artificielles	23
6.2	Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	23
6.3	Surfaces à l'extérieur de l'autoroute.....	24
6.4	Zones vertes longeant les autoroutes.....	25
7	Autoroute A1.....	27
A1/1.	Surfaces imperméables/artificielles.....	27
A1/2.	Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	29
A1/3.	Surfaces à l'extérieur de l'autoroute	30
A1/4.	Zones vertes longeant les autoroutes.....	30
A1.	Tableau récapitulatif	31
8	Autoroute A3.....	32
A3/1.	Surfaces imperméables/artificielles.....	32
A3/2.	Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	35
A3/3.	Surfaces à l'extérieur de l'autoroute	38
A3/4.	Zones vertes longeant les autoroutes.....	39
A3.	Tableau récapitulatif	40
9	Autoroute A4.....	41
A4/1.	Surfaces imperméables/artificielles.....	41
A4/2.	Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	44
A4/3.	Surfaces à l'extérieur de l'autoroute	46
A4/4.	Zones vertes longeant les autoroutes.....	47
A4.	Tableau récapitulatif	48
10	Autoroute A6.....	49
A6/1.	Surfaces imperméables/artificielles.....	49
A6/2.	Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	55
A6/4.	Zones vertes longeant les autoroutes.....	56



A6. Tableau récapitulatif	57
11 Autoroute A7	58
A7/1. Surfaces imperméables/artificielles.....	58
A7/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	60
A7/4. Zones vertes longeant les autoroutes.....	61
A7. Tableau récapitulatif	62
12 Autoroute A13	63
A13/1. Surfaces imperméables/artificielles.....	63
A13/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute	67
A13/3. Surfaces à l'extérieur de l'autoroute	68
A13/4. Zones vertes longeant les autoroutes.....	70
A13. Tableau récapitulatif	71
13 Conclusions.....	73
13.1 Potentiel photovoltaïque global.....	73
13.2 Projets prioritaires	75
13.3 Rôle du pouvoir public	75
14 Annexes.....	76

1 Résumé analytique

Le présent rapport illustre les résultats de l'étude de faisabilité confiée par le Ministère de l'Économie (MECO) aux bureaux d'ingénieurs-conseils Goblet Lavandier & Associés et BEST concernant le potentiel de développement d'installations photovoltaïques du réseau autoroutier luxembourgeois.

Pour donner suite à la publication d'une première partie de l'étude ayant pour objet l'autoroute A3 en septembre 2024, ce rapport reprend et complète le précédent avec l'analyse des autoroutes A1, A4, A6, A7 et A13.

L'étude couvre les points suivants :

- exemples de solutions techniques applicables dans le contexte autoroutier ;
- évaluation des sites potentiels d'un point de vue technique, de sécurité et environnemental ;
- évaluation pragmatique des possibilités de raccordement au réseau électrique ;
- détermination de l'accessibilité aux installations sans perturbation du trafic routier ;
- estimation approximative des puissances installables et des coûts d'investissement y relatifs.

Les sites analysés sont répartis entre surfaces déjà scellées, surfaces longeant immédiatement les autoroutes et surfaces à l'extérieur de la clôture. Pour ces dernières, l'étude a intégré les parcelles étatiques ainsi que les terrains privés jusqu'à une distance de 200 m des voies de circulation.

L'étude a permis de mettre en évidence **65 sites répartis le long des différents axes autoroutiers, dont le potentiel d'installation vaut globalement 104 MWp. Parmi ces sites, 20 projets avec un potentiel cumulé de 42 MWp ont été évalués comme mesures d'intervention prioritaires** qui semblent les plus adaptées à démontrer la faisabilité des projets d'installations photovoltaïques le long des autoroutes.

En outre, l'analyse des surfaces à côté du tracé autoroutier (**modèle « Seitenrandstreifen »**) résulte en un **potentiel théorique de 820 MWp pour la bande jusqu'à 100 m (dont 191 MWp sur des parcelles étatiques) et un potentiel théorique de 793 MWp pour la bande de 100 à 200 m (dont 117 MWp sur des parcelles étatiques).**

En ce qui concerne la **réalisabilité de ce potentiel théorique**, il convient de déterminer le potentiel « réaliste » tout en prenant en considération un certain nombre de facteurs comme la propriété privée, la faisabilité de l'Agri-PV sur les surfaces en collaboration avec les agriculteurs impliqués qui engendre une approche au cas par cas, de même que l'acceptabilité au niveau de l'aménagement du territoire et de l'impact visuel, et de déterminer le cas échéant un pourcentage maximal de remplissage de ces corridors avec des installations PV .

Certaines de ces mesures demanderaient une **intervention politique** pour promouvoir, soit directement soit par l'exemple, la réalisation de ces installations, pour adapter la législation existante ainsi qu'introduire de nouvelles normes afin de simplifier la réalisation des installations PV dans le contexte particulier des autoroutes et leurs alentours immédiats.



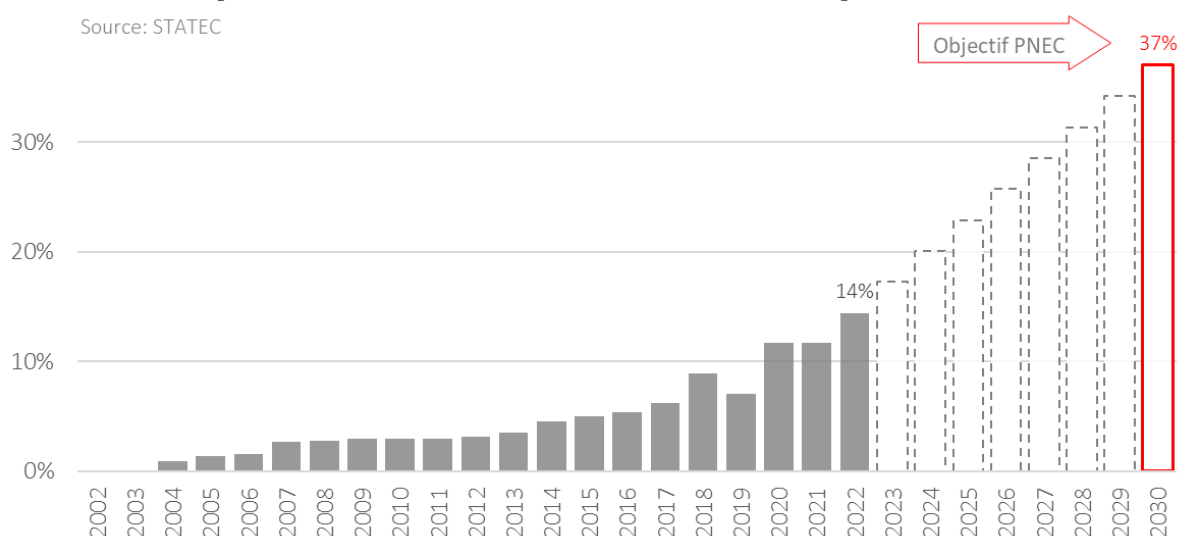
2 Introduction

Le Luxembourg, en tant que membre de l'Union Européenne, s'est engagé dans un processus de transition écologique qui a pour objectif de ralentir le changement climatique en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre. Le gouvernement luxembourgeois s'est doté d'un *Plan national intégré en matière d'énergie et de climat* (PNEC) qui traduit en pratique la politique énergétique et climatique du Luxembourg avec des objectifs et mesures détaillés pour la période 2021-2030.

Entre autres, un des objectifs visés par le PNEC est d'atteindre un taux de 37% d'énergie renouvelables sur la consommation finale brute à l'horizon 2030. Cette valeur était de 14% en 2022 (dernière donnée disponible).

Part des énergies renouvelables dans la consommation finale totale d'énergie

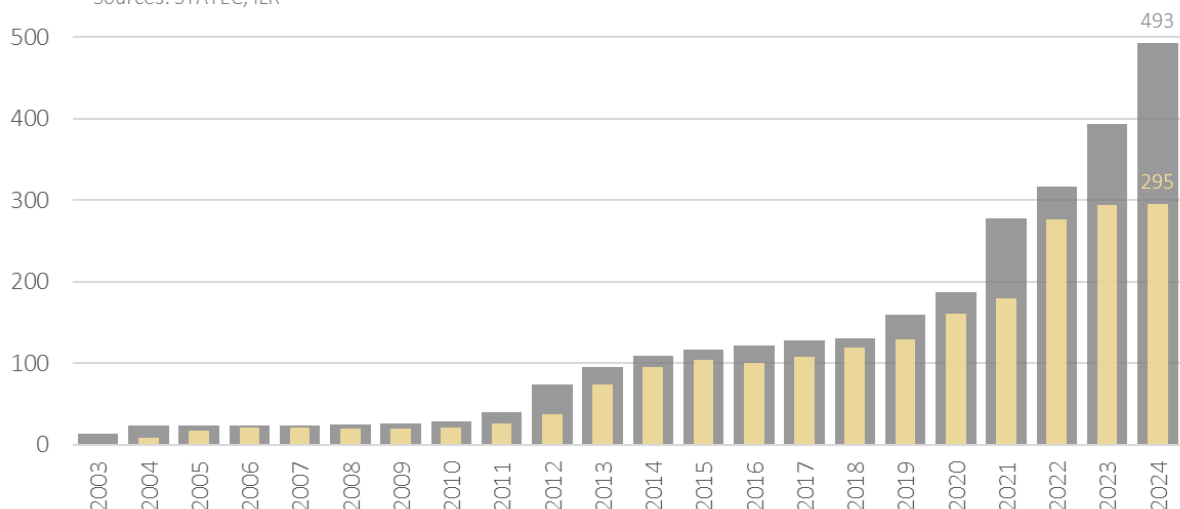
Source: STATEC



La production d'énergie photovoltaïque peut jouer un rôle fondamental dans la réalisation de ces objectifs. L'intérêt pour le potentiel de développement de cette technologie le long du réseau autoroutier luxembourgeois, qui fait l'objet de la présente étude, s'inscrit donc dans le cadre plus large de la transition écologique.

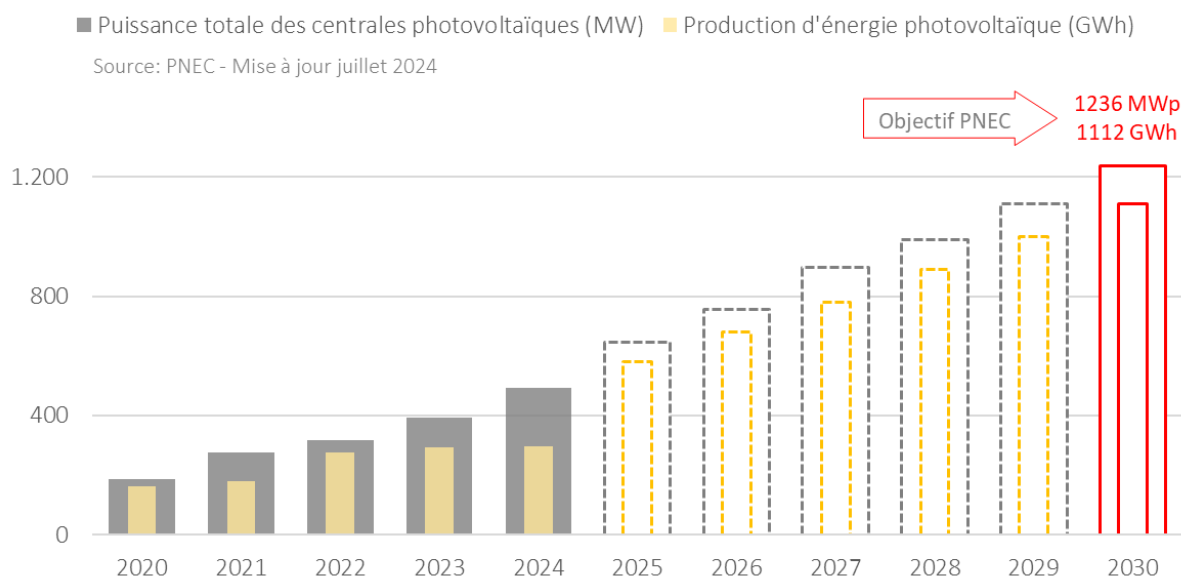
■ Puissance totale des centrales photovoltaïques (MW) ■ Production d'énergie photovoltaïque (GWh)

Sources: STATEC, ILR



Pour référence, le diagramme ci-dessus montre la progression de la puissance photovoltaïque totale installée au pays et la production correspondante d'électricité à partir de 2003. En 2024 la puissance installée était de 493 MWp et la production énergétique de 295 GWh.

La production énergétique photovoltaïque préconisée par le PNEC devrait augmenter linéairement pour atteindre en 2030 les 1.112 GWh, ce qui correspondrait à une puissance installée de 1.236 MWp¹. Le déficit de puissance à combler dans les prochaines années est donc de l'ordre de 740 MWp.



Le réseau autoroutier, avec ses 165 km de longueur totale, représente une portion non négligeable du territoire du pays et comprend souvent dans ses alentours des surfaces imperméabilisées ou à faible valeur écologique. Le but de cette étude est d'évaluer le potentiel de ces surfaces pour y développer des installations photovoltaïques, en prenant en compte la faisabilité technique, l'aspect économique et les éventuelles contraintes environnementales ou de sécurité applicables.



¹ Source : Plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030 - Mise à jour juillet 2024 – Tableaux 7 et 8

3 Méthode de travail

L'analyse des sites potentiels pour le développement photovoltaïque a été menée selon la méthode suivante :

- Le périmètre d'analyse a été défini comme un couloir d'une largeur de 200 m de chaque côté suivant le tracé des autoroutes.
- A l'intérieur de cette surface, les zones protégées telles que le cadastre des biotopes protégés des milieux ouverts et forestiers, les zones Natura 2000, les zones de compensation, ainsi que les secteurs urbanisés et les Zones d'Activité Économique (ZAE), ont été localisés. Ces zones, qui présentent déjà une affectation définie ou des mesures de forte protection écologique, ont été exclues de l'analyse ou placées en « dernier rang » quant à leur potentiel photovoltaïque.
- D'autres zones d'exclusion ont été déterminées sur base d'exigences de sécurité ou de faisabilité technique restreinte. Ces limitations sont illustrées dans le chapitre 5.
- Les surfaces résultantes de cette procédure « par exclusion » sont celles sur lesquelles il serait à priori possible d'implanter des installations PV. Le potentiel effectif de ces surfaces a donc été évalué selon un ensemble de critères tels que :
 - l'exposition au soleil et les ombrages ;
 - l'accessibilité pour l'installation et l'entretien ;
 - l'utilisation actuelle (surface artificielle/zone verte/surface construite...) ;
 - la possibilité de raccorder l'installation au réseau électrique existant ;
 - la puissance électrique installable et la production d'énergie potentielle ;
 - l'économicité de l'installation.

Il faut prendre en compte que le but de cette analyse est l'évaluation d'une faisabilité globale au niveau de l'ensemble du réseau autoroutier et sans prétention d'exactitude relativement à chaque site analysé. L'estimation du potentiel des puissances crête installables ainsi que des coûts prévisibles d'investissement ne peut donc être qu'approximative.

Cette analyse est illustrée dans le chapitre 5.5.

- Au vu de la grande diversité des situations examinées et des spécificités de l'infrastructure autoroutière, une exposition des principales solutions techniques examinées figure dans le chapitre 4.

4 Solutions techniques

4.1 Protection contre le bruit avec intégration de solutions PV

Les éléments de protection contre le bruit garantissent une isolation acoustique en combinaison avec une production d'énergie solaire.

Le long des autoroutes, les éléments antibruit disposent du côté « autoroute » d'une absorption classe A3 suivant DIN EN 1793-1 ainsi qu'une absorption classe A1 suivant DIN EN 1793-1 du côté des éléments photovoltaïques.

La classe concernant l'isolation aux bruits suivant DIN EN 1793-2 est B3.

Une combinaison avec une production photovoltaïque et une isolation acoustique se compose entre autres par les éléments suivants :

- Élément de protection acoustique standardisé avec des éléments de 3.960 x 1.000 mm ou 3.960 x 1.250 mm ;
- système d'isolation grillagée absorbant des deux côtés (GDS) ;
- prévention au vol des éléments PV ;
- remplacement facile en cas d'avarie ;
- structures poteaux en HE 160-220.

Données techniques des panneaux solaires

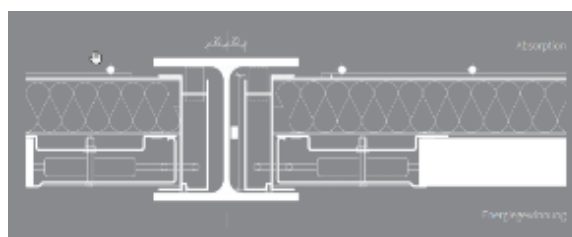
- Modules PV encadrés avec des performances suivant les dispositions du marché.
- 2 éléments peuvent fournir une puissance de 615 Wp pour 4 m² resp. 800 Wp pour 5 m² de surface de mur antibruit.

Murs antibruit existants

Les modules PV peuvent être installés sur les murs antibruit en ce qui concerne des solutions existantes et pour des solutions de modernisations.



Source (cette image et les suivantes) :
Kohlhauer Lärmschutzsysteme (Kohlhauer VOLTA OPAK)



Solutions solaires architecturales comme mesure antibruit le long des autoroutes

Une solution architecturale avec une protection contre le bruit, la vue et le vent suivant les éléments ci-dessous :

format : 1960 x 3000 mm
puissance : > 140 Wp/m²

absorption : A1 (DIN EN 1793-1)
isolation bruit : B3 (DIN EN 1793-2)

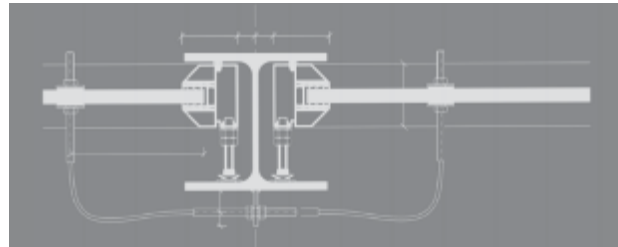
verre : 2 x 8 mm ou 2 x 10 mm en ESG
avec PV-Wafer

transparence : 10% - 30% possible

structure poteau : HE 160-220



Source : Kohlhauer Lärmschutzsysteme (Kohlhauer VOLTA THRU)



4.2 Protection écologique contre le bruit provenant des sources d'autoroutes

Le mur antibruit photovoltaïque peut être installé à n'importe quel site et s'adapte à n'importe quel endroit. La structure de base est remplie de sable avec une couche de gravier et peut atteindre une hauteur de 10 - 12 m.

Les panneaux photovoltaïques sont posés sur la paroi inclinée extra-large. Il est possible d'installer jusqu'à deux rangées de panneaux solaires.

Avantages : peu d'entretien après la végétalisation complétée ; les déblais de construction existants peuvent être utilisés pour remplir le mur ; support flexible adapté à chaque taille de module.

Évaluation acoustique :
classification d'expertise selon
ZTV-Lsw 06

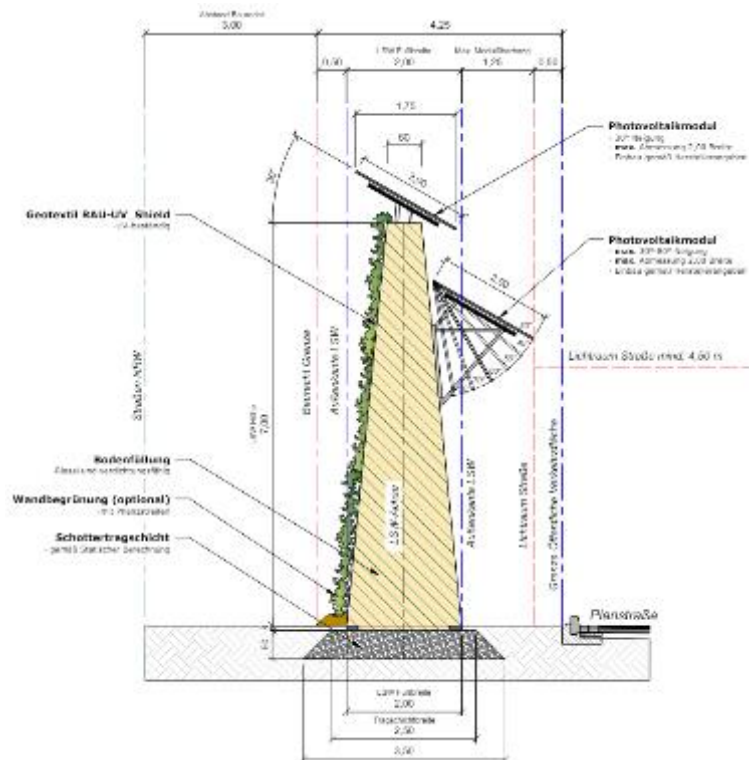
Avec une isolation aux bruits aériens $DLR = 67$ dB, ce mur répond aux exigences de la norme ZTV-Lsw 06 en matière d'isolation acoustique et doit être classée dans la catégorie B4 (catégorie représentant la meilleure isolation aux bruits aériens selon la norme DIN EN 1793-2)

Avec une absorption acoustique d'une valeur $DL\alpha=18$ dB de la catégorie A5 (catégorie avec l'absorption acoustique la plus élevée selon DIN EN 1793-1), ce mur est donc classé comme un mur *hautement absorbant* selon ZTV-Lsw 06.

Mesures de protection des espèces sur les murs antibruit

- Lieu de chasse et de cachette, lieu de repos et de reproduction ainsi que de thermorégulation pour le lézard des murailles (*Podarcis muralis*).

- Les espèces d'oiseaux qui nichent dans les bois et dans les bâtiments trouvent dans les murs antibruit des habitats de reproductions appropriés.



Source : RAU.de (Grüne Lärmschutzwände)



- Création d'habitats pour les chauves-souris.
- Possibilité d'installer différents types d'hôtels à insectes et de nichoirs à abeilles sauvages, de blocs de nidification ou d'habitations et de les intégrer dans le mur antibruit. Cela sert non seulement de base alimentaire à la faune, mais les insectes pollinisent également les plantes grimpantes, favorisent la fructification et remplacent l'habitat naturel de plus en plus rare ou perdu.

En résumé : Une perte d'habitat des espèces animales vivant sur place peut être compensée en grande partie par un mur antibruit dont les particularités ont été fabriquées dans les règles de l'art et adaptées aux espèces cibles. Les différents types de construction du mur antibruit peuvent jouer un rôle important dans la mise en réseau des biotopes.



4.3 Différents types d'installations photovoltaïques au sol

Centrale photovoltaïque

Les centrales au sol sont implantées sur de vastes espaces, généralement plusieurs hectares, et dépendent dans leur conception avant tout de la place au sol, du budget de l'investisseur de départ et des attentes en termes de production.

Les installations au sol garantissent une production maximale en énergie solaire. Sauf entretien, aucune forme de production agricole n'est possible en dessous de ce type d'installation.



Source : réalisation par ELECTRO-CENTER s.à r.l. à Grevenmacher

AGRI – PV

L'agrivoltaïque (ci-après « agri-PV ») est la combinaison de la production agricole en tant qu'utilisation primaire et de la production d'électricité à partir d'un système photovoltaïque en tant qu'utilisation secondaire sur une même surface. L'association de la production d'électricité à la production agricole permet de limiter l'empreinte au sol et d'éviter des conflits d'usage. L'efficacité d'utilisation des terres est plus élevée par rapport à une séparation des deux types de production.

L'agri-PV peut présenter des impacts sur le rendement des cultures et les conditions microclimatiques. En viticulture et en horticulture, les systèmes permettent également de protéger les plantes contre des événements météorologiques. Des projets pilotes en France et en Allemagne ont montré que l'ombrage des panneaux peut avoir un impact positif sur le rendement de la culture dans les périodes avec des déficits pluviométriques : l'humidité est mieux conservée dans le sol grâce à la couverture partielle des cultures par les panneaux PV.

Pour préserver un rendement agronomique suffisant, il est important que le choix de la



Source : présentation AGRI-PV par la Direction de l'énergie (Webinaire)



Source : lafranceagricole.fr



Source : agripv-solutions.com/geisenheim

culture et du système soit compatible avec cette coproduction.

Combiné avec l'élevage ovin ou bovin, l'ombrage des panneaux peut être bénéfique pour le bien-être animal et la production du bétail.

L'agri-PV peut également se combiner avec des mesures favorisant le développement de la biodiversité (conservation ou création d'habitats) et permettant ainsi de créer des synergies entre la production agricole, la production électrique et la biodiversité.

D'un point de vue technique, on distingue plusieurs systèmes agri-PV. Les systèmes dotés d'une structure surélevée à grande hauteur permettent une production agricole sous le système ; les systèmes dotés d'une structure surélevée plus proche du sol permettant une production agricole entre les rangées.



Source : Freiflächenphotovoltaik mit Fokus auf Agri-Photovoltaik²

Carports sur les parkings et P&R

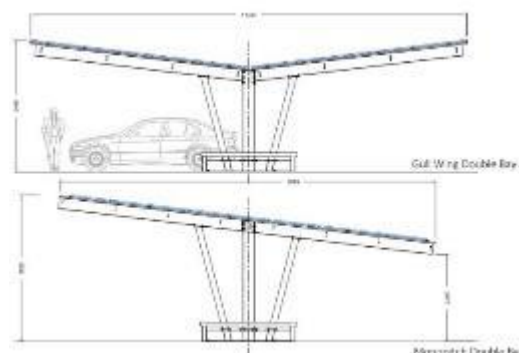
L'installation des carports photovoltaïques sur les surfaces des parkings et P&R existants permet d'atteindre des performances photovoltaïques élevées sur des surfaces limitées.

Les carports photovoltaïques avec des systèmes de stockage d'énergie en combinaison avec des éléments d'électromobilité (bornes de recharge) peuvent augmenter considérablement l'autosuffisance en énergie électrique entre les périodes avril/mai - septembre/octobre, d'autant plus qu'un carport protège les voitures contre le soleil pour éviter la surchauffe ainsi que d'autres intempéries.

En utilisant les panneaux solaires bifaciaux, les surfaces photovoltaïques peuvent être utilisées également par le bas, c'est-à-dire ils captent la réflexion et le rayonnement générés par les voitures et le sol.



Source : Photo Greenhomenergy



Source : www.voestalpine.com

² Dr. Tim PESCHEL, Dipl.-Biol. Rolf PESCHEL, Dag FRERICHs: *Konzepte für zukünftige Pilotprojekte im Bereich reiflächenphotovoltaik mit Fokus auf Agri-Photovoltaik*, 14/01/2021

Panneaux solaires bifaciaux

Les panneaux photovoltaïques bifaciaux sont des panneaux solaires qui peuvent produire de l'électricité aussi bien avec la face avant qu'avec la face arrière. Les cellules solaires sont modifiées pour que les photons puissent pénétrer à l'arrière, c. à d. les contacts sont imprimés sur la face arrière des cellules - au lieu des surfaces continues dans les cellules standard. Afin de garantir la pénétration de la lumière des deux côtés, les cellules des modules PV bifaciaux sont intégrées dans du verre solaire trempé, c. à d. deux couches transparentes par panneau solaire.

L'avantage est que ces modules bifaciaux permettent d'atteindre un rendement électrique supplémentaire pouvant aller jusqu'à 30% avec un coefficient de température des cellules bifaciales inférieur à celui des modules traditionnels. Ceci signifie que les pertes de puissance sont moins importantes en cas de températures élevées par rapport aux panneaux standards. Un autre avantage est la grande robustesse des panneaux grâce à leurs deux couches de verres trempés.

Le pouvoir de réflexion du support sur le lieu d'installation, appelé scientifiquement « **Albedo** » est un facteur décisif. Plus la surface d'installation est claire, plus l'albedo est élevé.

Les panneaux bifaciaux sont utilisés pour les toits de terrasses et les carports, ou encore pour les clôtures solaires respectivement pour les installations en agri-PV. En revanche, une installation avec des panneaux bifaciaux sur les toits inclinés en tuiles foncées ne donne pas les rendements exigés.



Source : Solitek

Fiche technique : SOLID_Framed_B60_370W, avec les charges d'essais max. (vent/neige) de 10500 pa/5400pa (1050 kg/540kg) et avec une certification « overhead glazing »

Valeurs Albedo ; facteurs de réflexion des surfaces
(valeur max : 1,0)

neige	0,8 – 0,9
toiture avec couleur claire	0,6 – 0,7
prairie	0,2 – 0,4
champ	0,2 – 0,4
tuiles en toiture	0,1 – 0,35
asphalte	0,05 – 0,15

4.4 Batteries NAS à haute température

Un des désavantages des sources d'énergie renouvelables est que leur disponibilité est soumise à d'importantes fluctuations. Lors des journées nuageuses ou sans vent, seules de très petites quantités d'énergie peuvent être produites. En revanche, lors des jours ensoleillés ou venteux, il est possible de produire plus d'énergie que nécessaire.



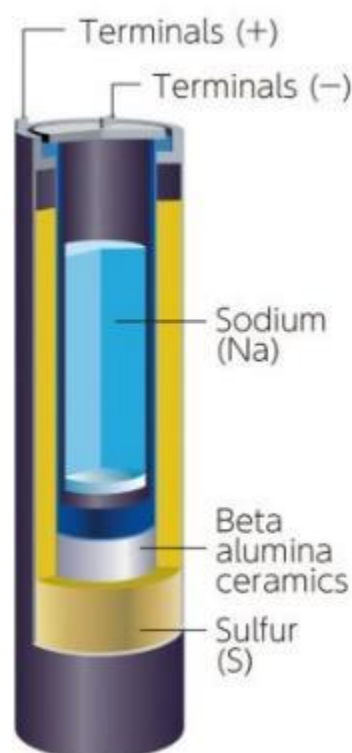
Source : BASF Deutschland

C'est pourquoi il existe un besoin de solutions qui permettent de compenser ces fluctuations et de garantir un approvisionnement en électricité constant et fiable. Le stockage stationnaire de l'énergie par des systèmes de batteries longue durée est l'une des technologies les mieux adaptées pour résoudre ce problème.

Comparée à d'autres technologies de batteries, la batterie NAS dispose de :

- une capacité plus élevée ; intercepte les décharges lentes ainsi que les pics de puissance ;
- une densité énergétique plus élevée ;
- une durée de vie plus longue (7.300 cycles ; 20 années) ;
- une grande disponibilité de la matière première avec une production moins coûteuse.

La batterie NAS peut supporter aussi bien des puissances élevées que des décharges lentes. Elle permet de réagir rapidement sur des pics de puissances importantes. Elle convient donc particulièrement bien aux applications stationnaires, contrairement aux batteries lithium-ion par exemple, dont le point fort est de fournir une puissance élevée sur une durée plus courte.



4.5 Exemple de champ photovoltaïque sans poste de transformation

Plusieurs infrastructures concernant des installations basse tension (230/400 V) se trouvent le long des autoroutes, c. à d. il existe un réseau 230/400 V. Cependant, à la rédaction de cette étude, tous les détails y relatifs ne sont pas connus.

Le réseau électrique propre de l'APC, qui est un réseau indépendant du réseau public de CREOS, ne peut pas être utilisé pour l'injection d'électricité photovoltaïque.

De façon générale, conformément aux prescriptions CREOS, une installation photovoltaïque peut injecter dans un réseau BT en respectant une puissance d'injection ne dépassant pas 60 kVA.

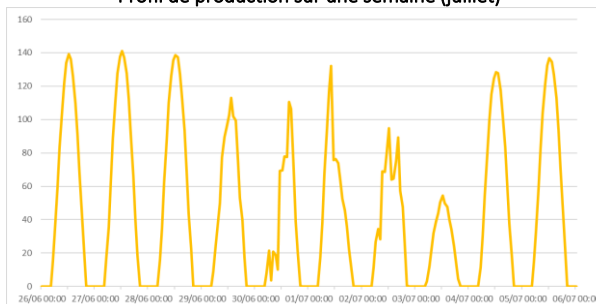
Pour les petites installations photovoltaïques entre +/-200-300 kWc et pour lesquelles l'accès au réseau MT fait défaut ou pour lesquelles les coûts d'une installation d'un poste de transformation seraient trop importants, une installation photovoltaïque pourrait injecter toute l'énergie produite journalière à l'aide d'une station de batteries appropriée.

L'énergie produite durant la journée sera injectée dans le réseau avec une limitation de puissance de 60 kVA. Le surplus en énergie sera stocké dans une batterie appropriée. Cette énergie sera injectée dans le réseau lors de la soirée et la nuit. Une déconnexion automatique du réseau serait à prévoir ; cette protection serait réalisée à l'aide d'un relais de découplage approuvé et garantirait la stabilité du réseau en question à tout moment.

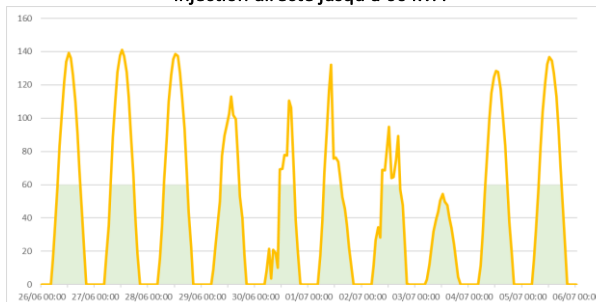
Exemple d'une installation photovoltaïque de 200 kWc (orientation : 50% est + 50 % ouest) Batterie capacité : 550 kWh

Lors d'une bonne journée :
1.285 kWh/jour (production totale)
772 kWh injectés
513 kWh stockés dans la batterie ; injectés pendant la nuit

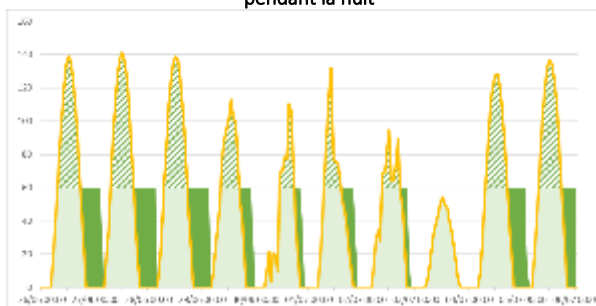
Profil de production sur une semaine (juillet)



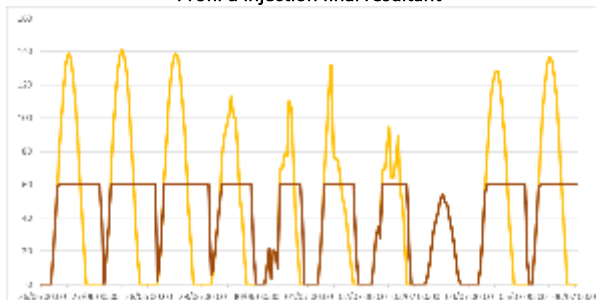
Injection directe jusqu'à 60 kVA



Stockage de l'excédent dans la batterie (550 kWh) et injection pendant la nuit



Profil d'injection final résultant



5 Limitations

5.1 Contraintes environnementales

Dans le cadre de l'identification des zones potentielles, divers aspects environnementaux doivent être pris en compte.

Biotopes protégés

Un aspect important à considérer est le cadastre des biotopes, où une grande partie des biotopes protégés du milieu ouvert et forestier est répertoriée.

Conformément à l'article 17 de la loi sur la protection de la nature (loi PN)³, il est *interdit de réduire, de détruire ou de détériorer les biotopes protégés, les habitats d'intérêt communautaire ainsi que les habitats des espèces d'intérêt communautaire pour lesquelles l'état de conservation des espèces a été évalué non favorable*. Cependant, il convient de noter que le cadastre des milieux ouverts ne prend pas en compte tous les biotopes protégés. Cela inclut des biotopes faciles à reconnaître tels que les haies, les buissons et les arbres.

Habitats d'espèces (Art. 17 / Art. 21 de la loi PN)

Conformément aux articles 17 et 21 de la loi PN, les habitats des espèces d'intérêt communautaire sont également protégés. Cette étude ne traite pas en détail des espèces spécifiques, mais des indications sont données s'il existe un potentiel de présence.

Zones protégées d'intérêt national et communautaires

Au Luxembourg, on distingue deux types de zones de protection : les zones protégées d'intérêt communautaire (Natura 2000) et les zones protégées d'intérêt national (ZPIN). Les ZPIN représentent des zones à protection stricte. Selon l'art. 32 de la loi PN *tout plan ou projet non directement lié ou nécessaire à la gestion d'une zone Natura 2000 mais susceptible d'affecter cette zone de manière significative, individuellement ou en conjugaison avec d'autres plans et projets, fait l'objet d'une évaluation des incidences sur cette zone eu égard aux objectifs de conservation de cette zone*.

Zones de compensation

Différentes parcelles sont déjà planifiées pour la mise en œuvre de mesures de compensation. Toute intervention dans ces zones nécessiterait une nouvelle compensation. Les données des surfaces affectées ont été fournies par l'ANF. En général, il s'agit de plantations ou de modes de gestion spécifiques favorables pour la biodiversité qui sont peu ou pas compatibles avec une installation photovoltaïque.

Herbages sensibles

La cartographie de ces prairies concerne des zones présentant une certaine diversité d'espèces. Une implantation d'une installation entraînera très probablement une modification de la composition des espèces. En cas d'intervention, des mesures appropriées devraient être prises.

Zones de protection d'eau potable

Selon l'annexe I du règlement grand-ducal du 9 juillet 2013 relatif aux mesures administratives dans l'ensemble des zones de protection pour les masses d'eau souterraine ou parties de masses d'eau souterraine servant de ressource à la production d'eau destinée à la consommation humaine, toute

³ Loi modifiée du 18 juillet 2018 concernant la protection de la nature et des ressources naturelles.

construction, extension, transformation substantielle et exploitation d'installations avec interventions dans la nappe phréatique est interdite dans les zones de protection rapprochées et éloignées. Dans les zones de protection éloignées, toute construction, extension, transformation substantielle et exploitation d'installations avec interventions dans le sous-sol au-dessus de la nappe phréatique est soumis à autorisation conformément à l'article 23 de la loi modifiée du 19 décembre 2008 relative à l'eau.

Zones inondables

Les zones à risque d'inondation (HQ10 à HQ extrême) ont été exclues des sites potentiels, même si en fonction du niveau de risque et de la hauteur attendue de l'eau en cas d'inondation, certaines installations pourraient y être réalisées avec les nécessaires précautions.

5.2 Autres planifications

En plus des restrictions environnementales, d'autres restrictions s'imposent par les constructions existantes. Ainsi, les couloirs pour le chemin de fer, les échangeurs autoroutiers et les autoroutes sont considérés comme ne pouvant pas accueillir d'installations photovoltaïques.

Les zones d'habitations (HAB-1, HAB-2, MIX-v et MIX-r) des plans d'aménagements généraux ne font pas non plus parties des zones à potentiel photovoltaïques.

5.3 Raccordement électrique

Les informations concernant le réseau CREOS moyenne tension (20 kV) le long des autoroutes ont été fournies par le gestionnaire de réseau en question. À quelques exceptions près, un point d'injection au réseau pour les différentes surfaces photovoltaïques identifiées est toujours disponible.

Le réseau MT-20kV avec les câbles d'alimentations et les différentes puissances se compose de la manière suivante :

Puissance de production : 12 MW avec une section de câble en ALU de 240 mm²

Puissance de production : 14 MW avec une section de câble en ALU de 400 mm²

Puissance de production : 19 MW avec une section de câble en ALU de 630 mm²

En règle générale, le réseau MT -20kV de CREOS est réalisé avec une section de câbles de 240 mm². Les réalisations des centrales de production avec des puissances de plusieurs MW doivent être analysées au fond par le gestionnaire de réseau.

Poste de transformation 20 kV / 400 V

Mêmes dans le cas où des postes de transformation le long des autoroutes soient déjà existants, les puissances disponibles ne peuvent être vérifiées ni réservées à ce stade de l'étude. C'est pourquoi l'élaboration des prévisions budgétaires des installations photovoltaïques potentielles a été faite en intégrant les coûts de réalisation de postes de transformations adéquats.

Réseau basse tension 400 V

Le gestionnaire de réseau accepte une injection directe d'une puissance photovoltaïque maximale de 60 kVA au réseau basse tension de 400 V. Une telle injection directe < 60 kVA dans le réseau du gestionnaire doit être réalisée par l'intermédiaire d'un relais de découplage conforme à la réglementation du gestionnaire de réseau (TAB ; technische Anschlussbedingungen). En cas de défaut de l'installation sur le réseau, la protection de découplage a pour objet d'éviter d'alimenter un défaut

et de laisser une installation sous tension lors d'une défaillance d'un ouvrage électrique ainsi que de ne pas alimenter d'autres installations raccordées à une tension ou à une fréquence anormale.

5.4 Infrastructure routière

Les autoroutes, en tant qu'infrastructures dédiées à la circulation des véhicules, présentent des caractéristiques telles à limiter les possibles configurations d'éventuelles installations photovoltaïques. La fonctionnalité et la sécurité des autoroutes doivent en tout cas être garanties et primer sur toute considération énergétique ultérieure.

Des échanges avec l'Administration des Ponts et Chaussées (APC) ont permis d'établir un nombre de contraintes et de limitations à l'installation de panneaux PV le long des autoroutes qui sont résumées dans la liste suivante :

- Une *bande de sécurité* d'une largeur de 12 m de chaque côté à partir du bord de la chaussée doit être laissée libre de toute construction (condition qu'on peut retrouver identique par exemple en France ou en Wallonie) ;
- La *zone non aedificandi* de 25 m à l'extérieur de l'autoroute, à compter de la limite du domaine public, est en l'état actuel de la législation (loi relative au Fonds des routes) non constructible. Selon les ministères et l'APC, une modification législative pourrait être envisageable pour le cas spécifique d'installations photovoltaïques (analyse en cours) ;
- L'accessibilité aux installations (pour la mise en œuvre ou l'entretien périodique) doit pouvoir se faire par l'extérieur de l'autoroute, de façon à ne pas entraver la circulation normale des véhicules ;
- Le réseau électrique propre de l'APC pour l'alimentation de l'éclairage, etc., qui est un réseau indépendant du réseau public de CREOS, ne peut pas être utilisé pour l'injection d'électricité photovoltaïque ;
- Toute installation PV visible de l'autoroute doit être réalisée de façon à éviter la possibilité d'éblouissement des conducteurs lorsque le soleil se reflète sur les panneaux ;
- L'éventuelle installation de panneaux sur les murs antibruit doit être compatible avec leur capacité statique (à vérifier au préalable) ainsi que ne pas en dégrader la performance d'absorption acoustique ;
- L'éventuelle installation de panneaux sur les ouvrages d'art doit laisser la possibilité d'inspecter et d'intervenir sur la structure pour son entretien ; les considérations relatives au risque d'éblouissement et à l'accessibilité restent valides ;
- Il faut tenir en compte que toute équipement à proximité de la circulation est sujet à un encrassement (poussière, smog) très intense qui demande des interventions d'entretien/nettoyage à une fréquence plus élevée que la normale.

Finalement, il ne faut pas oublier que plusieurs projets de modification/élargissement/réaménagement concernent le réseau autoroutier (p.ex. troisième voie de circulation sur l'A3, tram rapide sur l'A4, corridor de transport public sur l'A1, ...). Tous ces nouveaux aménagements font partie du Plan Sectoriel Transports (PST) qui définit sur la carte un « corridor » réservé au développement de ces infrastructures, dont l'emprise sera tenue en compte dans la détermination des zones disponibles pour des futures installations photovoltaïques.

5.5 Surfaces exclues de l'analyse

Dans l'analyse des sites présentant un intérêt potentiel pour l'implantation d'installations photovoltaïques, certaines surfaces ont été écartées pour des raisons techniques ou réglementaires :

- Zones frappées par une mesure de protection environnementale : zone Natura 2000, biotopes protégés, zones de compensation, etc. (cf. § 5.1) : la réglementation interdit d'installer dans ces zones des panneaux PV afin de protéger la valeur écologique des écosystèmes. Étant donné que la production d'énergie renouvelable est par elle-même une protection de l'environnement (réduction des émissions de CO₂), cela n'aurait pas de sens de détruire un écosystème protégé pour y implanter une installation photovoltaïque, car le résultat net pour l'environnement serait probablement négatif.
- Zones d'habitation des PAG existants (cf. § 5.2) : les habitats, même à proximité de l'autoroute, ne rentrent pas dans le périmètre de cette étude. Les installations photovoltaïques en toiture des bâtiments sont une pratique désormais très courante ainsi que subventionnée par un régime d'aides étatiques. Les zones artisanales/industrielles sont, quant à elles, évaluées au cas par cas.
- Pour les zones où une installation serait réalisable mais le raccordement au réseau MT de Creos non possible ou très complexe, une injection dans le réseau BT par le biais d'une batterie limitant la puissance à 60 kVA comme illustré au § 4.5 pourrait être envisagée.
- Des solutions techniques de type expérimental telles que les chaussées photovoltaïques ou les systèmes suspendus au-dessus de la voirie n'ont pas été examinées car leur application pratique semble être encore assez loin, comme déjà déterminé par les études APC/TR Engineering/LuxAuTec de 2015 et APC de mai 2024.

6 Identification des sites potentiels

En tenant compte des critères et limitations illustrés dans les chapitres précédents, les sites répertoriés comme présentant un potentiel intéressant pour des installations photovoltaïques sont listés dans la suite du rapport, par axe autoroutier dans l'ordre numérique (A1, A3, A4, A6, A7, A13).

Pour une meilleure organisation, ils sont repartis pour chaque autoroute selon quatre catégories :

1. Surfaces imperméables/artificielles (toiture des bâtiments existants, surfaces de parking, etc.) ;
2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute (zone non aedificandi, clôtures, barrières, etc.) ;
3. Surfaces à l'extérieur de l'autoroute (zones libres en dehors de l'autoroute) ;
4. Zones vertes longeant les autoroutes (bandes de 100 et 200 m d'une part et d'autre).

À la fin de chaque chapitre, un tableau récapitulatif reprend les informations essentielles pour chaque site traité ainsi qu'une évaluation avec une note globale indiquant de façon synthétique le degré de faisabilité et l'intérêt pour une potentielle réalisation à court terme :

- ★ projet prioritaire
-  projet qui mérite des études supplémentaires
-  projet à revoir ultérieurement

6.1 Surfaces imperméables/artificielles

Ces zones représentent des surfaces scellées et anthropisées qui n'ont donc pas de valeur écologique qui pourrait être mise en cause par une installation photovoltaïque. La réalisation de centrales PV dans ces zones nécessite généralement l'intégration avec l'utilisation préexistante des surfaces (p.ex. parking aérien, toiture avec installations techniques, ...) qui peut s'avérer plus ou moins complexe selon le cas. En revanche, le raccordement électrique ne pose normalement pas de problème car un réseau est généralement déjà présent sur le site.



6.2 Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

La périphérie immédiate du domaine autoroutier comprend souvent des surfaces de transition entre la chaussée et les parcelles extérieures qui pourraient dans certains cas être exploitées pour l'implantation d'installations photovoltaïques. Ces surfaces sont majoritairement larges de quelques mètres et longent le tracé de l'autoroute ; c'est pourquoi pour ces zones des configurations d'installations de type linéaire sont considérées plutôt que de surfaces disponibles.



Exemples des talus et clôtures en principe exploitables pour l'installation de panneaux PV (chantier A3 – 22.06.2024)

Les types d'installations qu'on peut considérer pour ces zones sont essentiellement deux : les installations verticales (barrières antibruit, clôtures : cf. § 4.1 et 4.2) et les installations inclinées (talus, merlons, etc.).



Exemples de deux typologies d'installations à proximité de l'autoroute (source : Kohlhauser)

Les installations de type vertical peuvent intégrer typiquement 1 à 2 panneaux standards ou bifaciaux sur une même rangée, les puissances spécifiques installables sont donc de l'ordre de 0,3 – 0,5 kWp/m linéaire. Les installations sur talus en revanche peuvent intégrer plusieurs rangées des panneaux (comme sur l'exemple montré en photo) en fonction de la largeur disponible, les puissances installables peuvent donc atteindre les 0,8 - 1,2 kWp/m linéaire.

Comme expliqué au § 5.4, la proximité de ces infrastructures aux voies de circulation pose certaines criticités qu'il convient de prendre en considération, notamment :

- L'occupation de la *bande de sécurité* (12 m) et de la *zone non aedificandi* (25 m) ;
- L'accessibilité pour l'installation et l'entretien périodique ;
- L'encrassement des modules PV à cause de la production élevée de poussière et smog.

6.3 Surfaces à l'extérieur de l'autoroute

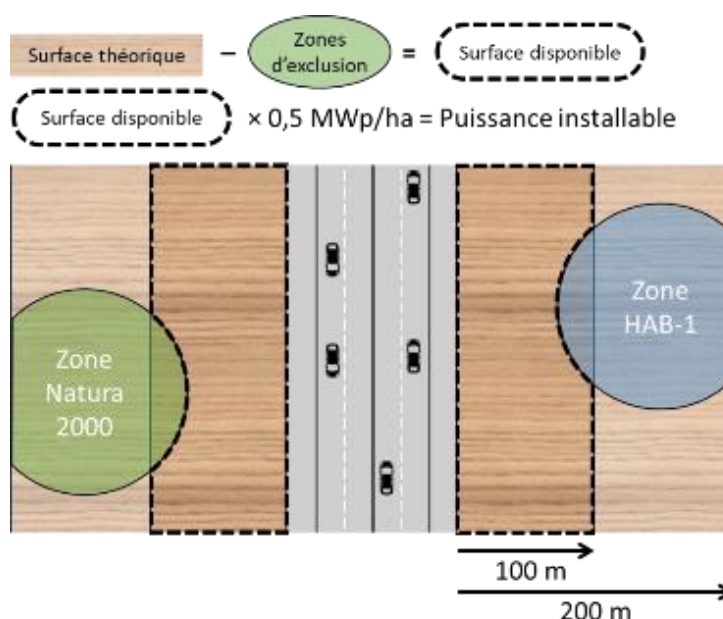


Il s'agit essentiellement de parcelles actuellement vertes ou généralement non construites, en dehors du domaine autoroutier en sens propre, qui par leur forme ou situation sont jugées comme adaptées à recevoir une installation PV.

6.4 Zones vertes longeant les autoroutes

Sur demande du Ministère de l'Économie, les surfaces potentiellement disponibles en dehors du tracé de l'autoroute ont été analysées. Ceci en reprenant l'exemple de la législation allemande (EEG 2017) qui a introduit des facilitations pour l'implantation d'installations PV qui se trouvent dans un couloir de 110 m longeant les autoroutes et chemins de fer (« Seitenrandstreifen ») ; couloir élargi d'abord à 200 m (EEG 2021) puis même à 500 m dans la version actuelle du « Erneuerbare-Energien-Gesetz » de 2023. Dans la suite, les potentiels ont été évalués sommairement pour des distances jusqu'à 100 m, ainsi que jusqu'à 200 m. La distance de 500 m semble trop contraignante à mettre en pratique au Luxembourg.

La surface théorique (calculée de façon géométrique) est réduite selon les zones d'exclusion décrites au § 5.5 pour donner la **surface effectivement disponible**. La surface de la zone non aedificandi a été en revanche incluse et son potentiel indiqué séparément.



Ces surfaces sont pour la plupart des parcelles privées actuellement cultivées. Il n'est donc pas réaliste, dans un premier temps, de considérer la totalité de ces surfaces adaptées pour des installations photovoltaïques. On peut plutôt imaginer de pouvoir promouvoir, par des incitations financières et/ou des simplifications administratives, l'utilisation mixte de ces parcelles (installations du type agri-PV) ou alors l'utilisation énergétique intensive d'une fraction plus restreinte de la surface globalement disponible. Dans le deuxième cas, on considérerait que la surface effective de panneaux PV équivalente à une configuration agri-PV ne serait pas dépassée.

Dans le cadre de l'appel d'offres pilote pour des installations agri-PV, la puissance spécifique moyenne installée était de 0,72 MWp/ha (donnée fournie par le Ministère de l'Économie). Pour cette étude, une valeur plus prudente de **0,50 MWp par ha de surface disponible** est utilisée.

Cette puissance installable est à considérer comme « puissance théorique », car seule la fraction de terrains étatiques serait à considérer comme pouvant être mobilisée dans des délais assez brefs. En outre, il faut considérer que cette approche ne tient pas compte de

- l'impact paysager si effectivement toutes les surfaces le long des autoroutes sont mobilisées ;
- du fait qu'une large partie des projets agri-PV sont susceptibles d'être réalisés sur des surfaces de pâturage comme les concepts sur les surfaces arables sont plus exigeants.

Une approche plus « réaliste » consiste à considérer dans un premier temps seulement **la moitié des surfaces disponibles** comme directement utilisables à des fins énergétiques (pourcentage arbitraire qui pourrait être redéterminé après d'autres analyses plus approfondies).

Un tableau comme le suivant (avec des valeurs fictives d'exemple) est repris pour chaque autoroute, où apparaît également la puissance installable sur les parcelles appartenant à l'État (calculée comme 0,5 MWp/ha de surface étatique) et le potentiel de la seule surface correspondant à la zone non aedificandi (ZNA) :

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	1.000.000 m ² (dont 600.000 m ² étatiques) (ZNA : 80.000 m ²)	800.000 m ² (dont 500.000 m ² étatiques)
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	50 MWp (ZNA : 4 MWp)	40 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	25 MWp	20 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	30 MWp (60 ha x 0,5 MWp/ha) (ZNA: 1,2 MWp)	25 MWp (50 ha x 0,5 MWp/ha)

*Bande de sécurité excluse

7 Autoroute A1

A1/1. Surfaces imperméables/artificielles

A1/1.1. Hangars Luxair Cargo

Localisation	 Point de repère km 12,5
Description	Toitures des bâtiments existants du Cargo Center
Surface approximative disponible	72.000 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	5.000 kWp (en tenant compte des coupoles présentes)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Station de transformation existante de 2,5 MVA, avec la possibilité d'ajouter encore 2,5 MVA avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	900-1.150 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Hangars appartenant à l'exploitant du Cargo Center et présentant de nombreuses coupoles et fenêtres de toit. Une vérification statique préalable est nécessaire pour garantir la stabilité des toitures. Pour tout ce qui est de de l'enceinte de l'aéroport, le Ministère de l'Economie est en contact avec Lux-Airport.

A1/1.2. Parking multi-étages Cargo Center

Localisation	 Point de repère km 13,0
Description	Couverture du dernier étage du parking pour voitures
Surface approximative disponible	5.500 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture plate ou carport solaire
Potentiel PV	750 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par le parking existant
Raccordement électrique	✗ Station de transformation existante de 2,5 MVA, avec la possibilité d'ajouter encore 2,5 MVA avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.000-2.600 €/kWp hTVA

Contraintes/remarques	Les carports pourraient venir couvrir le dernier étage du parking, actuellement à ciel ouvert. Une vérification statique préalable est nécessaire pour garantir la stabilité de la construction.
-----------------------	--

A1/1.3. Toitures Zone d'activités Syrdall

Localisation	 Point de repère km 16,0
Description	Toitures des bâtiments existants et autres surfaces scellées
Surface approximative disponible	350.000 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture des bâtiments existants
Potentiel PV	1.200 kWp (~30 kWp par bâtiment)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	Raccordements BT et MT des bâtiments existants
Coût d'installation (estimation sommaire)	Variable selon chaque situation
Contraintes/remarques	Plusieurs toitures ou surfaces scellées peuvent être équipées avec des installations PV. On considère faisable et économiquement intéressant une installation de 30 kWp par chaque bâtiment.

A1/1.4. Aire de Wasserbillig (toitures)

Localisation	 Point de repère km 35,5
Description	Toitures des bâtiments et auvents existants
Surface approximative disponible	4.320 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	500 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les surfaces existantes
Raccordement électrique	✗ Le réseau MT est présent dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.250-1.600 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable est nécessaire pour garantir la stabilité des toitures.

A1/1.5. Aire de Wasserbillig (parkings)

Localisation	 Point de repère km 35,5
Description	Carports sur les surfaces de parkings pour voitures
Surface approximative disponible	11.000 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires
Potentiel PV	600 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les surfaces existantes
Raccordement électrique	✗ Le réseau MT est présent dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.100-2.700 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Grande surface potentiellement disponible mais avec des limitations de sécurité et environnementales dues à l'activité de la station-service et la distribution des carburants (p.ex. pour il faut garantir l'étanchéité de l'asphalte contre le risque de dispersion d'hydrocarbures). Les parkings pour camions ne sont pas inclus dans la surface calculée, seulement les parkings pour voitures. Le projet du nouveau P+R pourra être intégré dans les installations.

A1/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

A1/2.1. Zone non aedificandi à Potaschbiert

Localisation	 Point de repère km 26,0
Description	Zone non aedificandi entre autoroute et bâtiments existants
Surface approximative disponible	4.000 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	450 kWp
Exposition	Sud-est (possible ombrage partiel par des arbres)

Accessibilité	Par les routes existantes
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.950-2.500 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface en zone non aedificandi libre de végétation importante, donc sans autre destination. Les bâtiments de la zone sont en grande partie déjà équipés avec PV en toiture.

A1/3. Surfaces à l'extérieur de l'autoroute

A1/3.1. Futur raccordement A1-Contern

Localisation	 Point de repère km 5,0	
Description	Projet PST : Raccordement de la zone logistique de Contern au réseau autoroutier - Future connexion entre Contern et l'A1	
Surface approximative disponible	900 m linéaires x 10 m de profondeur = 9.000 m ²	
Type d'installation possible	Installation au sol	
Potentiel PV	1.000 kWp	
Exposition	N/S – adapté pour panneaux orienté Sud	
Accessibilité	A prévoir dans la planification du futur échangeur	
Raccordement électrique	Une nouvelle ligne MT sera posée le long de la nouvelle route	
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.050 €/kWp hTVA	
Contraintes/remarques	L'intégration des panneaux PV dans une phase précoce de la planification peut permettre de concevoir des solutions innovantes respectant toutes les contraintes de sécurité et d'accessibilité nécessaires. Ces installations peuvent servir comme exemple et cas d'étude pour les futurs chantiers de réaménagement des infrastructures routières. Une installation au sol en talus (versant sud) peut être envisagée.	

A1/4. Zones vertes longeant les autoroutes

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	3.385.000 m ² (ZNA : 466.000 m ²)	3.507.000 m ²
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	169 MWp (ZNA : 23 MWp)	175 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	85 MWp	88 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	27,8 MWp (ZNA : 9,4 MWp)	10,7 MWp

*Bande de sécurité excluse

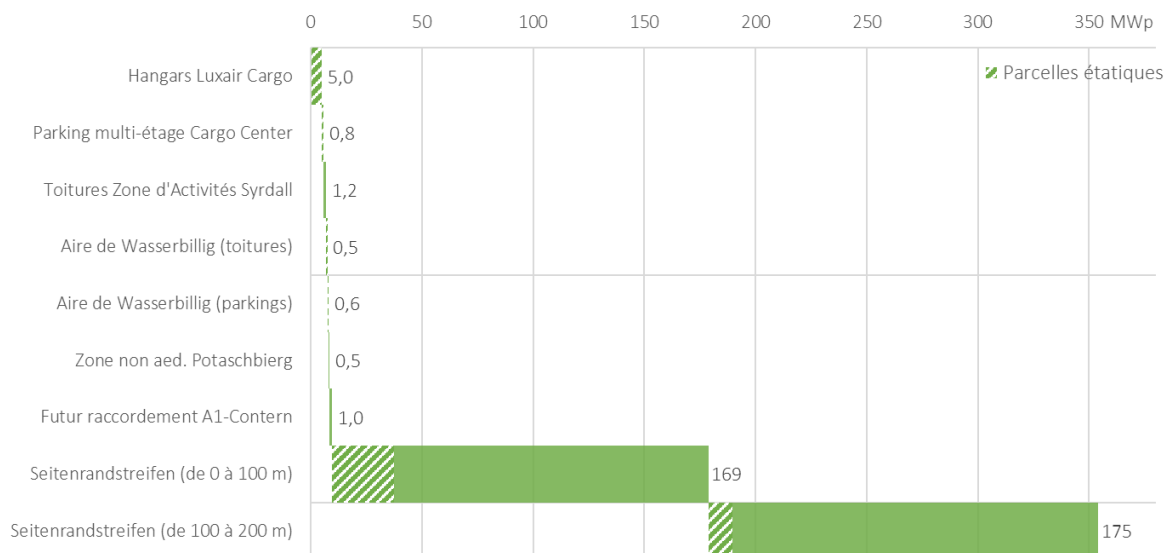
A1. Tableau récapitulatif

- ★ projet prioritaire
- 🔍 projet qui mérite des études supplémentaires
- ⌚ projet à revoir ultérieurement

Note globale	Zone	Potentiel PV* (kWp)	Coût spécifique* (€/kWp)
★	A1/1.1. Hangars Luxair Cargo	5.000	900-1.150
🔍	A1/1.2. Parking multi-étage Cargo Center	750	2.050-2.600
⌚	A1/1.3. Toitures Zone d'activités Syrdall	1.200	Selon le cas
★	A1/1.4. Aire de Wasserbillig (toitures)	500	1.250-1.600
⌚	A1/1.5. Aire de Wasserbillig (parkings)	600	2.100-2.700
★	A1/2.1. Zone non aedificandi à Potaschbiurg	450	1.950-2.500
★	A1/3.1. Futur raccordement A1-Contern	1.000	1.600-2.050
★	A1/4.1 Seitenrandstreifen (de 0 à 100 m)	169.000 max 85.000 réaliste 27.800 terr. état.	1.650-2.100
★	A1/4.2 Seitenrandstreifen (de 100 à 200 m)	175.000 max 88.000 réaliste 10.700 terr. état.	1.650-2.100

*estimation approximative à préciser en phase de planification. Ne comprend pas les coûts éventuels de réalisation des clôtures ou barrières anti-bruit.

Cumul du potentiel photovoltaïque pour l'autoroute A1



8 Autoroute A3

A3/1. Surfaces imperméables/artificielles

A3/1.1. P+R Lux Sud B

Localisation	 Point de repère km 0,5
Description	Parking aérien P+R Lux Sud
Surface approximative disponible	12.500 m ²
Type d'installation possible	Carport solaire à double rangée
Potentiel PV	2.150 kWp
Exposition	NE/SO, sans ombrages
Accessibilité	Par le parking
Raccordement électrique	✗ réseau 20kV avec 6MT et réseau 400V avec 16TU
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.850-2.350 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques. Rentabilité de la mesure à vérifier selon le planning du Masterplan Midfield qui prévoit la suppression des parkings pour y réaliser de nouvelles constructions.

A3/1.2. P+R Lux Sud A

Localisation	 Point de repère km 1,0
Description	Parking aérien P+R Lux Sud
Surface approximative disponible	17.500 m ²
Type d'installation possible	Carport solaire à double rangée
Potentiel PV	2.600 kWp
Exposition	NO/SE, sans ombrages
Accessibilité	Par le parking
Raccordement électrique	✗ Réseau 20kV avec 6MT vers transfo « CTR DEDOUANEMENT »
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.800-2.300 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Mêmes remarques que pour le site précédent. Rentabilité de la mesure à vérifier selon le planning du Masterplan Midfield qui prévoit la suppression des parkings pour y réaliser de nouvelles constructions.

A3/1.3. - A3/1.4. Aire de Berchem (toitures et surfaces de parking)

Localisation	
	Point de repère km 5,5
Description	Aire de Berchem (station-service + parkings aériens)
Surface approximative disponible	60.000 m ² , dont 8.500 m ² de toitures
Type d'installation possible	Carport solaires, toitures des bâtiments existants, projets pilotes (p.ex. couverture des voies d'accès)
Potentiel PV	1.000 kWp sur les toitures existantes, 3.000 kWp globalement
Exposition	Principalement horizontale
Accessibilité	Par les accès de la station-service
Raccordement électrique	✖ réseau 20kV avec 3MT poste transfo SHELL AIRE DE BERCHEM ✖ réseau 400 V BT ✖ poste SUPERCHARGY ✖ réseau 20kV avec 3 MT poste transfo AIRE DE BERCHEM P&CH ✖ réseau 20kV avec 6 MT poste transfo AIRE DE BERCHEM CFL
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.350-1.750 €/kWp hTVA (1.000 kWp en toiture), 1.800-2.300 €/kWp hTVA (3.000 kWp global)
Contrainte/remarques	Grande surface potentiellement disponible mais avec des limitations de sécurité et environnementales dues à l'activité de la station-service et la distribution des carburants (p.ex. il faut garantir l'étanchéité de l'asphalte contre le risque de dispersion d'hydrocarbures). Les toitures existantes et l'éventuel agrandissement des abris peuvent être des pistes de plus simple réalisation (sous réserve d'une vérification statique des structures).

A3/1.5. Parking Parc Merveilleux

Localisation	
	Point de repère km 9,0
Description	Parking aérien terrains de sport / Parc Merveilleux à Bettembourg
Surface approximative disponible	7.500 m ²
Type d'installation possible	Carport solaire à double rangée
Potentiel PV	1.000 kWp
Exposition	NO/SE, sans ombrages
Accessibilité	Par le parking
Raccordement électrique	✖ réseau 20kV avec 3MT poste de transformation CITE DU SOLEIL — réseau 20kV avec 3MT — réseau 400V
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.000-2.550 €/kWp hTVA

Contraintes/remarques	Surface imperméabilisée partiellement (parking de type écologique), la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques. Propriétaire : commune.
-----------------------	---

A3/1.6. ZAE Wolser

Localisation	 Point de repère km 10,0-11,0
Description	Zones d'activité
Surface approximative disponible	50.000 m ² (potentiel théorique)
Type d'installation possible	Carports solaire, PV en toiture
Potentiel PV	2.500 kWp (potentiel théorique)
Exposition	Principalement horizontale
Accessibilité	Par les surfaces artificielles
Raccordement électrique	✗ Réseau 20kV avec 3MT ; ligne poste de transformation DOUANE
Coût d'installation (estimation sommaire)	à définir (situation trop vague)
Contraintes/remarques	Sur les parcelles de la ZAE Wolser, une grande partie des bâtiments accueille déjà des installations PV en toiture. Il existe toujours des surfaces libres (parking aériens, surfaces de circulation, terrains vagues et autre surfaces scellées) qui pourraient encore être exploitées à cette fin. Ces installations doivent être compatibles avec la fonctionnalité économique de la zone. Selon le MECO, des projets sont encore en cours d'être réalisés (toitures et parkings).

A3/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

A3/2.1. Installations à la limite de la bande de sécurité

Localisation	 Points de repère km 2,5 à 3,0 / 3,5 à 4,5 / 5,7 à 6,2																
Description	Zones en chantier ou futurs élargissements de la A3																
Surface approximative disponible	Au total environ 2,3 km de longueur																
Type d'installation possible	Installation sur clôture antibruit																
Potentiel PV	850 kWp																
Exposition	E/O – spécialement adapté pour panneaux bifaciaux																
Accessibilité	Par chemins ruraux existants ou à prévoir en phase chantier																
Raccordement électrique	Réseau MT actuellement pas disponible, mais possible de réaliser un raccordement aux postes de transformation les plus proches																
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.400-1.500 €/ml hTVA (Lärmschutzwand) 800-1.050 €/kWp hTVA (installation PV)																
Contraintes/remarques	Ces zones sont actuellement en chantier ou sont privées de grands arbres et se prêtent pour des projets pilotes de différentes technologies. Une étude dans ce sens a déjà été commandée par l'APC concernant la zone autour du passage de la N13.  <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Autoroute A3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lieu</td> <td>Livange/Bettendorf</td> </tr> <tr> <td>Stat</td> <td>Projet</td> </tr> <tr> <td>Surface</td> <td>Mur</td> </tr> <tr> <td>Emplacement</td> <td>Mur antibruit (500m-1.300m)</td> </tr> <tr> <td>Cont</td> <td>2 variantes étudiées</td> </tr> <tr> <td>Capacité</td> <td>180-440 kWc</td> </tr> <tr> <td>Remarques</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Projet lié à l'élargissement de l'A3 (branche C2 Livange/Bettendorf) Début prévisible de la réalisation: mi-2025 Cf. en cours d'approbation	Autoroute A3		Lieu	Livange/Bettendorf	Stat	Projet	Surface	Mur	Emplacement	Mur antibruit (500m-1.300m)	Cont	2 variantes étudiées	Capacité	180-440 kWc	Remarques	
Autoroute A3																	
Lieu	Livange/Bettendorf																
Stat	Projet																
Surface	Mur																
Emplacement	Mur antibruit (500m-1.300m)																
Cont	2 variantes étudiées																
Capacité	180-440 kWc																
Remarques																	

A3/2.2. Futur échangeur de Livange

Localisation	 Point de repère km 6,5
--------------	--

Description	Futur agrandissement de l'échangeur entre A3 et N31
Surface approximative disponible	~1 km des voies d'accélération et talus y attenants
Type d'installation possible	Des installations intégrées dans les futures infrastructures peuvent être déjà prises en compte dans la planification du nouvel échangeur, p.ex. : talus, murs antibruit, installations au sol
Potentiel PV	800 kWp
Exposition	Principalement E/O
Accessibilité	A prévoir dans la planification du futur échangeur
Raccordement électrique	✗ Réseau 20kV en 3MT (au-dessus de la croix de l'autoroute)
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.300-2.500 €/ml hTVA (Lärmschutzwand) 850-1.050 €/kWp hTVA (installation PV)
Contraintes/remarques	L'intégration des panneaux PV dans une phase précoce de la planification peut permettre de concevoir des solutions innovantes respectant toutes les contraintes de sécurité et d'accessibilité de l'autoroute, ainsi que les mesures de compensation déjà prévues. Ces installations peuvent servir comme exemple et cas d'étude pour les futurs chantiers de réaménagement des infrastructures routières.

A3/2.3. Zone non aedificandi à Bettembourg

Localisation	 Point de repère km 8,5
Description	Zone tampon entre autoroute et habitat de Bettembourg
Surface approximative disponible	340 m
Type d'installation possible	Installation au sol de type linéaire
Potentiel PV	150 kWp
Exposition	Ouest. Zone en pente avec ombrage important arbres côté est.
Accessibilité	Par la piste cyclable existante
Raccordement électrique	✗ Réseau basse tension
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.250-2.900 €/kWp hTVA ~1.000.000 € pour système de batterie
Contraintes/remarques	Une installation au sol de type linéaire pourrait être implantée le long de l'actuelle piste cyclable, dans la zone tampon (zone non aedificandi) entre l'autoroute et les maisons. En alternative, l'intégration d'une installation PV peut être planifiée dans l'ensemble des futurs travaux d'élargissement de l'autoroute (merlons, murs antibruit, etc.). Le raccordement au réseau électrique pourra se faire en basse tension en limitant la puissance injectée à 60 kVA par le biais d'un système de stockage (cf. § 4.5).

A3/2.4. Chantier A3 / Ligne ferroviaire Lux-Bettembourg

Localisation	
	Point de repère km 4,5
Description	Zone actuellement en chantier (élargissement de l'A3 et construction de la nouvelle voie ferrée Luxembourg-Bettembourg) à nord de l'aire de Berchem
Surface approximative disponible	30.000 m ² , dont environ 26.000 m ² de terrains étatiques
Type d'installation possible	Installation au sol ou intégrée dans les clôtures
Potentiel PV	3.500 kWp
Exposition	Principalement E/O
Accessibilité	Par les accès techniques de l'autoroute ou du chemin de fer
Raccordement électrique	Réseau 20kV en 3MT au niveau du passage à faune (§0)
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.550-1.950 €/kWp hTVA avec poste de transformation et tranchée jusqu'au raccordement MT
Contraintes/remarques	Terrain intéressant car de forme allongée et étroite, délimité par l'autoroute et la future voie ferrée, donc négligeable d'un point de vue écologique, et quasi-entièrement appartenant à l'État. Représentation exemplaire du concept de <i>benachteiligtes Gebiet</i> , se prête à être exploité pour la production d'énergie renouvelable. La ligne MT la plus proche se trouve au niveau du passage à faune indiqué dans le point précédent, une tranchée devra être prévue pour la connexion à cette boucle.

A3/2.5. Chantier A3 / Ligne ferroviaire Lux-Bettembourg

Localisation	
	Point de repère km 6,0
Description	Zone actuellement en chantier (élargissement de l'A3 et construction de la nouvelle voie ferrée Luxembourg-Bettembourg) à sud de l'aire de Berchem et à nord de l'échangeur de Livange
Surface approximative disponible	90.000 m ² , dont environ 55.000 m ² de terrains étatiques
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	Limité à 5.000 kWp pour pouvoir se raccorder en MT
Exposition	Principalement E/O, sans ombrage sauf futur végétalisation
Accessibilité	Par les accès techniques de l'autoroute ou du chemin de fer
Raccordement électrique	✓ Réseau 20kV avec 3MT
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.450-1.850 €/kWp hTVA

Contraintes/remarques	Terrain délimité par l'autoroute et la future voie ferrée, plus large que l'exemple précédent, dont plus que la moitié appartient au domaine de l'État. Une surface étatique supplémentaire d'environ 12.000 m² et tombant dans la catégorie « herbages sensibles » pourrait encore être éventuellement mobilisée en appliquant des mesures de protection adéquates. Le potentiel théorique du site est très élevé, mais pour une installation de plus que 5 MVA Creos demande un raccordement direct à la haute tension, dont le réseau se trouve quelques 5 km plus au nord. Les coûts de cette connexion ne semblent pas justifiés, c'est pourquoi une limitation à 5.000 kWp est proposée.
-----------------------	---

A3/3. Surfaces à l'extérieur de l'autoroute

A3/3.1. Station d'épuration STEP

Localisation	 Point de repère km 7,5
Description	Site de la station d'épuration du Syndicat Intercommunal STEP
Surface approximative disponible	13.000 m ² de surfaces actuellement libres
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	2.000 kWp
Exposition	Principalement horizontale, sans ombrages
Accessibilité	Par la station d'épuration
Raccordement électrique	✗ réseau 20kV sur la route de Peppange (Bettembourg)
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.000 €/kWp hTVA (installation au sol)
Contraintes/remarques	Le site de la station d'épuration contient des parcelles à ce jour libres de constructions et d'arbres. Dans le cas d'une expansion du site avec des nouvelles constructions, les toitures des nouveaux bâtiments pourraient être exploitées avec des panneaux photovoltaïques. Le raccordement au réseau MT devra être fait sur la boucle si situant de l'autre côté de l'autoroute.

A3/3.2. Chantier A3 / Piste cyclable

Localisation	 Point de repère km 3,5
Description	Zone actuellement en chantier (élargissement de l'A3 et construction d'un nouveau passage à faune, continuation de la piste cyclable Luxembourg-Bettembourg)
Surface approximative disponible	Longueur de ~1,5 km de périmètre
Type d'installation possible	Installation au sol ou intégrée dans une clôture



Potentiel PV	400 kWp
Exposition	Principalement E/O ; ombrages à déterminer en fonction de la pente du talus et de la végétation prévue
Accessibilité	Par la piste cyclable ou les chemins agricoles
Raccordement électrique	✗ Réseau 20kV
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.050-2.600 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Terrain actuellement vague et en chantier. Un concept de photovoltaïque intégré pourra être développé tout au long de la nouvelle piste cyclable ensemble avec la planification de la future végétalisation de cette surface (identifiée comme zone de compensation). L'installation PV ne doit en aucun cas entraver le bon fonctionnement du passage à faune.

A3/4. Zones vertes longeant les autoroutes

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	1.227.000 m ² (ZNA : 202.000 m ²)	1.410.000 m ²
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	61 MWp (ZNA : 10 MWp)	71 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	31 MWp	35 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	20,8 MWp (ZNA : 1,7 MWp)	25,5 MWp

*Bande de sécurité excluse

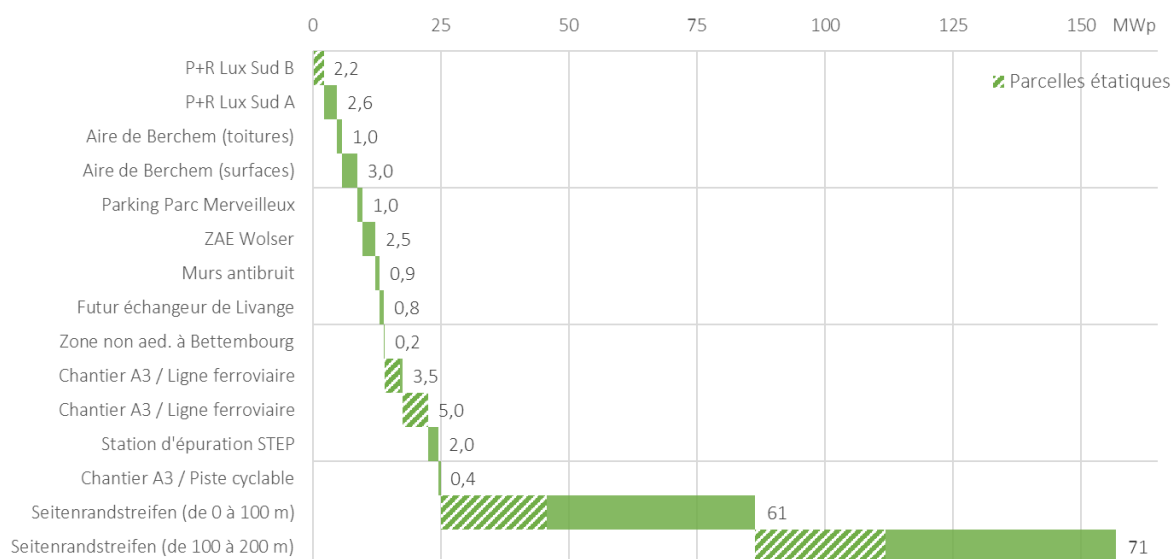
A3. Tableau récapitulatif

- ★ projet prioritaire
- 🔍 projet qui mérite des études supplémentaires
- 🕒 projet à revoir ultérieurement

Note globale	Zone	Potentiel PV* (kWp)	Coût spécifique* (€/kWp)
🕒	A3/1.1. P+R Lux Sud B	2.150	1.850-2.350
🕒	A3/1.2. P+R Lux Sud A	2.600	1.800-2.300
🕒	A3/1.3. Aire de Berchem (toitures)	1.000	1.350-1.750
🕒	A3/1.4. Aire de Berchem (surfaces)	3.000	1.800-2.300
🔍	A3/1.5. Parking Parc Merveilleux	1.000	2.000-2.550
🕒	A3/1.6. ZAE Wolser	2.500	Selon le cas
★	A3/2.1. Murs antibruit	850	800-1.050
🔍	A3/2.2. Futur échangeur de Livange	800	850-1.050
🔍	A3/2.3. Zone non aedificandi à Bettembourg	150	2.250-2.900
★	A3/2.4. Chantier A3 / Ligne ferroviaire	3.500	1.550-1.950
★	A3/2.5. Chantier A3 / Ligne ferroviaire	5.000	1.450-1.850
🔍	A3/3.1. Station d'épuration STEP	2.000	1.600-2.000
🕒	A3/3.2. Chantier A3 / Piste cyclable	400	2.050-2.600
★	A3/4.1. Seitenrandstreifen (de 0 à 100 m)	61.000 max 31.000 réaliste 20.800 terr. état.	1.650-2.100
★	A3/4.2. Seitenrandstreifen (de 100 à 200 m)	71.000 max 35.000 réaliste 25.500 terr. état.	1.650-2.100

*estimation approximative à préciser en phase de planification. Ne comprend pas les coûts éventuels de réalisation des clôtures ou barrières anti-bruit.

Cumul du potentiel photovoltaïque pour l'autoroute A3



9 Autoroute A4

A4/1. Surfaces imperméables/artificielles

A4/1.1. Zone industrielle Am Bann

Localisation	 Point de repère km 3,5
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	-/-
Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	200 kWp (~30 kWp par bâtiment)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Possibilité de connexion sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	Variable selon chaque situation
Contraintes/remarques	Plusieurs toitures des ateliers et hangars existants peuvent être équipées avec des installations PV. On considère faisable et économiquement intéressant une installation de 30 kWp par chaque bâtiment, même si certaines toitures pourraient probablement accueillir des puissances plus importantes.

A4/1.2. Toitures des bâtiments rue de la Poudrerie

Localisation	 Point de repère km 5,0
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	-/-
Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	400 kWp (~30 kWp par bâtiment)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants

Raccordement électrique	✗ Branchements des installations PV sur les branchements basse et moyenne tension des bâtiments existants
Coût d'installation (estimation sommaire)	Variable selon chaque situation
Contraintes/remarques	Plusieurs toitures des halls et bâtiments existants peuvent être équipées avec des installations PV. On considère faisable et économiquement intéressant une installation de 30 kWp par chaque bâtiment, même si certaines toitures pourraient probablement accueillir des puissances plus importantes.

A4/1.3. Aire de Pontpierre (toitures)

Localisation	 Point de repère km 8,5
Description	Toitures des bâtiments et auvents existants
Surface approximative disponible	900 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	100 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Possibilité de connexion sur les transformateurs existants avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	700-900 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation.

A4/1.4. Zone d'activités Foetz

Localisation	 Point de repère km 12,0
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	-/-

Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	900 kWp (~30 kWp par bâtiment)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	Raccordements BT et MT des bâtiments existants
Coût d'installation (estimation sommaire)	Variable selon chaque situation
Contraintes/remarques	Plusieurs toitures des halls et bâtiments existants peuvent être équipées avec des installations PV. On considère faisable et économiquement intéressant une installation de 30 kWp par chaque bâtiment, même si certaines toitures pourraient probablement accueillir des puissances plus importantes.

A4/1.5. Parking centre commercial Foetz

Localisation	 Point de repère km 12,0	
Description	Parking aérien	
Surface approximative disponible	22.100 m ²	
Type d'installation possible	Carports solaires double rangée	
Potentiel PV	3.000 kWp	
Exposition	Horizontale	
Accessibilité	Par le parking	
Raccordement électrique	✗ Possibilité de connexion sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire	
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.800-2.300 €/kWp hTVA	
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.	

A4/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

A4/2.1. Zone non aedificandi rue de la Poudrerie

Localisation	 Point de repère km 5,0
Description	Zone non aedificandi libre entre autoroute et bâtiments existants
Surface approximative disponible	10.000 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	1.150 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les chemins entre les bâtiments
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.050 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface en zone non aedificandi libre de végétation importante, donc sans autre possible destination. Autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie. Zone marquée comme herbage sensible.

A4/2.2. Couloir du tram rapide Luxembourg-Belval

Localisation	 Point de repère km 5,0-15,0
Description	Couloir du futur tram rapide et piste cyclable longeant l'autoroute entre Luxembourg Ville et Belval
Surface approximative disponible	9.500 m linéaires
Type d'installation possible	Installation sur clôture entre le tram et l'autoroute
Potentiel PV	3.550 kWp
Exposition	Globalement NE/SO
Accessibilité	Par les chemins d'accès techniques du tram
Raccordement électrique	Un réseau privé est projeté le long la ligne du futur tram (gestionnaires impliqués : CREOS et Ville d'Esch/Alzette).
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.400-1.500 €/ml hTVA (Lärmschutzwand) 800-1.050 €/kWp hTVA (installation PV)
Contraintes/remarques	La largeur du couloir formé par l'autoroute et la ligne du tram présente une bonne situation pour l'installation de panneaux solaires. Une étude dans les phases précoces de la planification peut faciliter la mise en œuvre de l'installation. Validation requise, concertation entre autorités compétentes lors de la planification.

A4/2.3. Échangeur Pontpierre

Localisation	 Point de repère km 10,0
Description	Zones libres sans destination apparente
Surface approximative disponible	10.900 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	1.250 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les routes avoisinantes
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible depuis le réseau MT projeté pour le nouvel échangeur
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.550-2.000 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Terrains étatiques actuellement libres qui pourraient accueillir des installations au sol. Disponibilité à vérifier dans le cadre du chantier du futur tram rapide. Validation requise, concertation entre autorités compétentes lors de la planification.

A4/2.4. Barrière antibruit Foetz

Localisation	 Point de repère km 10,5
Description	Barrière existante à équiper avec PV
Surface approximative disponible	500 m
Type d'installation possible	Installation sur clôture

Potentiel PV	350 kWp
Exposition	SE/NO
Accessibilité	Par la route
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.300-2.500 €/ml hTVA (Lärmschutzwand) 1.050-1.350 €/kWp hTVA (installation PV)
Contraintes/remarques	Analyse de la faisabilité, concertation entre autorités compétentes lors de la planification.

A4/2.5. Zone non aedificandi Belval

Localisation	 Point de repère km 16,5
Description	Zones libres sans destination apparente
Surface approximative disponible	26.600 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	1.250 kWp
Exposition	Sud
Accessibilité	Par les routes de chantier
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.500-1.900 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Terrains étatiques actuellement libres qui pourraient accueillir des installations au sol. Disponibilité à vérifier en concertation avec le chantier du futur tram rapide.

A4/3. Surfaces à l'extérieur de l'autoroute

A4/3.1. Terrain libre (Foetz)

Localisation	 Point de repère km 12,0
Description	Zones libres sans destination apparente
Surface approximative disponible	6.000 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol

Potentiel PV	700 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les routes existantes
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone (vérifier possible conflit avec le passage de la future ligne du tram rapide)
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.750-2.200 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Terrains étatiques actuellement libres qui pourraient accueillir des installations au sol. Disponibilité à vérifier en concertation avec le chantier du futur tram rapide.

A4/3.2. Terrain libre (Schifflange)

Localisation	 Point de repère km 13,0	
Description	Zones libres sans destination apparente	
Surface approximative disponible	13.500 m ²	
Type d'installation possible	Installation au sol	
Potentiel PV	1.500 kWp	
Exposition	Horizontale	
Accessibilité	Par les routes existantes	
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone (vérifier possible conflit avec le passage de la future ligne du tram rapide)	
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.550-1.950 €/kWp hTVA	
Contraintes/remarques	Terrains étatiques actuellement libres qui pourraient accueillir des installations au sol. Disponibilité à vérifier dans le cadre du chantier du futur tram rapide et/ou éventualité terrains de compensation.	

A4/4. Zones vertes longeant les autoroutes

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	2.219.000 m ² (ZNA : 297.000 m ²)	1.849.000 m ²
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	111 MWp (ZNA : 15 MWp)	92 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	55 MWp	46 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	29,5 MWp (ZNA : 5,2 MWp)	13,8 MWp

*Bande de sécurité excluse

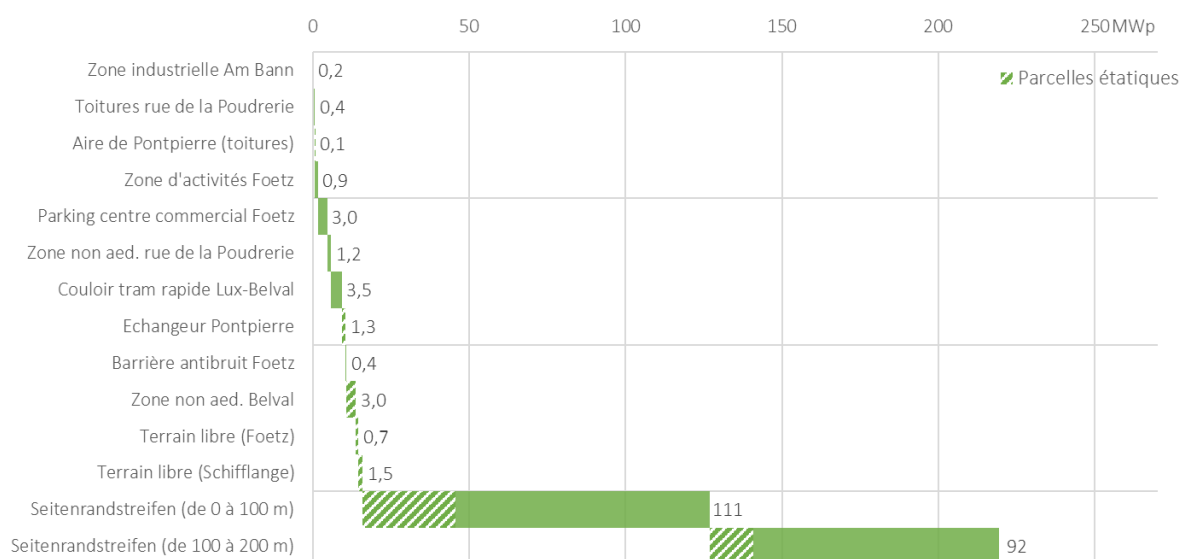
A4. Tableau récapitulatif

- ★ projet prioritaire
- 🔍 projet qui mérite des études supplémentaires
- ⌚ projet à revoir ultérieurement

Note globale	Zone	Potentiel PV* (kWp)	Coût spécifique* (€/kWp)
🔍	A4/1.1. Zone industrielle Am Bann	200	selon le cas
🔍	A4/1.2. Toitures des bâtiments rue de la Poudrerie	400	1.400-1.800
★	A4/1.3. Aire de Pontpierre (toitures)	100	700-900
🔍	A4/1.4. Zone d'activités Foetz	900	1.000-1.300
🔍	A4/1.5. Parking centre commercial Foetz	3.000	1.800-2.300
⌚	A4/2.1. Zone non aedificandi rue de la Poudrerie	1.150	1.600-2.050
★	A4/2.2. Couloir tram rapide Luxembourg-Belval	3.500	800-1.050
★	A4/2.3. Échangeur Pontpierre	1.250	1.550-2.000
⌚	A4/2.4. Barrière antibruit Foetz	350	1.050-1.350
★	A4/2.5. Zone non aedificandi Belval	3.000	1.500-1.900
🔍	A4/3.1. Terrain libre (Foetz)	700	1.750-2.200
★	A4/3.2. Terrain libre (Schifflange)	1.500	1.550-1.950
★	A4/4.1. Seitenrandstreifen (de 0 à 100 m)	111.000 max 55.000 réaliste 29.500 terr. état.	1.650-2.100
★	A4/4.2. Seitenrandstreifen (de 100 à 200 m)	92.000 max 46.000 réaliste 13.800 terr. état.	1.650-2.100

*estimation approximative à préciser en phase de planification. Ne comprend pas les coûts éventuels de réalisation des clôtures ou barrières anti-bruit.

Cumul du potentiel photovoltaïque pour l'autoroute A4



10 Autoroute A6

A6/1. Surfaces imperméables/artificielles

A6/1.1. Toiture Stade de Luxembourg

Localisation	 Point de repère km 0,5
Description	Surface de couverture des tribunes
Surface approximative disponible	8.500 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	950 kWp
Exposition	Principalement horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.000-1.300 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation.

A6/1.2. Parking Stade

Localisation	 Point de repère km 0,5
Description	Parking aérien
Surface approximative disponible	5.800 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires double rangée
Potentiel PV	800 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par le parking
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.000-2.550 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.

A6/1.3. Parking aérien P+R Stade

Localisation	 Point de repère km 1,0
Description	Parking aérien
Surface approximative disponible	13.500 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires double rangée
Potentiel PV	1.800 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par le parking
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.000-2.550 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.

A6/1.4. Parking couvert P+R Stade

Localisation	 Point de repère km 1,0
Description	Toiture parking P+R
Surface approximative disponible	6.000 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	700 kWp
Exposition	Principalement horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.050-2.600 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation.

A6/1.5. Toiture bâtiment Post

Localisation	 Point de repère km 0,5
Description	Toiture bâtiment existant
Surface approximative disponible	14.500 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	1.650 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	950-1.250 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation.

A6/1.6. Hangars Cessange

Localisation	 Point de repère km 2,0
Description	Toitures bâtiments existants
Surface approximative disponible	6.000 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	700 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.100-1.400 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation. D'autres installations de 30 kWp peuvent aussi trouver place sur les plus petites toitures.

A6/1.7. Zone d'activités Bourmicht

Localisation	 Point de repère km 6,0
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	-/-
Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	400 kWp (~30 kWp par bâtiment)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	Raccordements possibles sur les postes BT et MT des bâtiments
Coût d'installation (estimation sommaire)	Variable selon chaque situation
Contraintes/remarques	Plusieurs toitures des halls et bâtiments existants peuvent être équipées avec des installations PV. On considère faisable et économiquement intéressant une installation de 30 kWp par chaque bâtiment, même si certaines toitures pourraient probablement accueillir des puissances plus importantes.

A6/1.8. Magasin Hornbach

Localisation	 Point de repère km 6,0
Description	Toitures bâtiments existants
Surface approximative disponible	8.000 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	900 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants

Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.000-1.300 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation.

A6/1.9. Zone d'activités Capellen (toitures)

Localisation	 Point de repère km 13,0
Description	Toitures bâtiments existants
Surface approximative disponible	27.100 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	1.500 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.000-1.250 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des surfaces d'installation.

A6/1.10. Zone d'activités Capellen (parkings)

Localisation	 Point de repère km 13,0
Description	Parking aérien
Surface approximative disponible	8.400 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires double rangée
Potentiel PV	1.150 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par le parking

Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.900-2.450 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.

A6/1.11. Aire de Capellen (toitures)

Localisation	 Point de repère km 16,0
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	1.400 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture plate
Potentiel PV	150 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.500-3.200 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique préalable et aussi nécessaire pour garantir la stabilité des toitures. Les ombrages des arbres ainsi que la présence de différents équipements techniques sur les toitures peuvent limiter le nombre de modules PV effectivement installables.

A6/1.12. Aire de Capellen (parkings)

Localisation	 Point de repère km 16,0
Description	Parking aérien pour voitures
Surface approximative disponible	2.300 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires
Potentiel PV	150 kWp

Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par le parking
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.550-3.300 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface potentiellement disponible mais avec des limitations de sécurité et environnementales dues à l'activité de la station-service et la distribution des carburants (p.ex. pour il faut garantir l'étanchéité de l'asphalte contre le risque de dispersion d'hydrocarbures). Les parkings pour camions ne sont pas inclus dans la surface calculée. A noter que les auvents des pompes d'essence ont déjà été équipés avec des modules PV.

A6/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

A6/2.1. Croix de Cessange

Localisation	 Point de repère km 1,0-5,0
Description	Projet PST : Sécurisation / Optimisation de la Croix de Cessange et de l'échangeur Helfenterbrück
Surface approximative disponible	2.700 m linéaires
Type d'installation possible	Installation sur clôture ou barrière anti-bruit
Potentiel PV	2.000 kWp
Exposition	Variée
Accessibilité	A prévoir dans la planification du futur échangeur
Raccordement électrique	A analyser
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.400-1.500 €/ml hTVA (Lärmschutzwand) 900-1.150 €/kWp hTVA (installation PV)
Contraintes/remarques	Analyse de la faisabilité, concertation entre autorités compétentes lors de la planification.

A6/2.2. Zone non aedificandi Capellen

Localisation	
--------------	--



	Point de repère km 13,0
Description	Zone non aedificandi entre autoroute et bâtiments existants
Surface approximative disponible	6.000 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	700 kWp
Exposition	Sud (possible ombrage partiel par les arbres)
Accessibilité	Par les chemins entre les bâtiments
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.750-2.200 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface en zone non aedificandi libre de végétation importante, donc sans autre possible destination. Autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie

A6/4. Zones vertes longeant les autoroutes

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	2.688.000 m ² (ZNA : 374.000 m ²)	2.520.000 m ²
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	134 MWp (ZNA : 19 MWp)	126 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	67 MWp	63 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	12,4 MWp (ZNA : 1,8 MWp)	5,2 MWp

*Bande de sécurité excluse

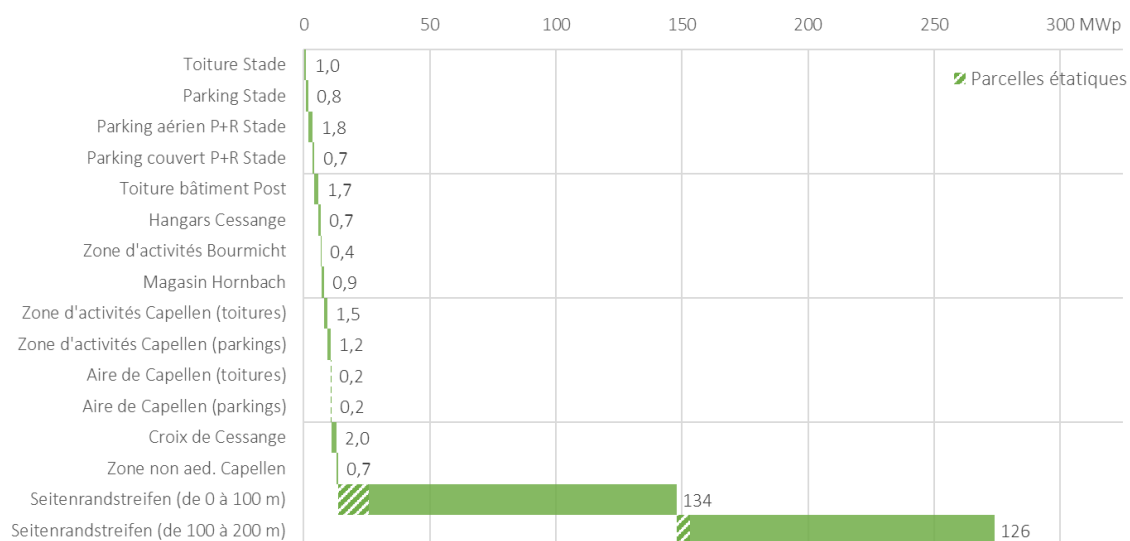
A6. Tableau récapitulatif

- ★ projet prioritaire
- 🔍 projet qui mérite des études supplémentaires
- ⌚ projet à revoir ultérieurement

Note globale	Zone	Potentiel PV* (kWp)	Coût spécifique* (€/kWp)
★	A6/1.1. Toiture Stade de Luxembourg	950	1.000-1.300
🔍	A6/1.2. Parking Stade	800	2.000-2.550
🔍	A6/1.3. Parking aérien P+R Stade	1.800	1.900-2.400
🔍	A6/1.4. Parking couvert P+R Stade	700	2.050-2.600
★	A6/1.5. Toiture bâtiment Post	1.650	950-1.250
🔍	A6/1.6. Hangars Cessange	700	1.100-1.400
🔍	A6/1.7. Zone d'activités Bourmicht	400	Selon le cas
🔍	A6/1.8. Magasin Hornbach	900	1.000-1.300
🔍	A6/1.9. Zone d'activités Capellen (toitures)	1.500	1.000-1.250
🔍	A6/1.10. Zone d'activités Capellen (parkings)	1.150	1.900-2.450
⌚	A6/1.12. Aire de Capellen (toitures)	150	2.500-3.200
⌚	A6/1.12. Aire de Capellen (parkings)	150	2.550-3.300
⌚	A6/2.1. Croix de Cessange	2.000	900-1.150
🔍	A6/2.2. Zone non aedificandi Capellen	700	1.750-2.200
★	A6/4.1 Seitenrandstreifen (de 0 à 100 m)	134.000 max 67.000 réaliste 12.400 terr. état.	1.650-2.100
★	A6/4.2 Seitenrandstreifen (de 100 à 200 m)	126.000 max 53.000 réaliste 5.200 terr. état.	1.650-2.100

*estimation approximative à préciser en phase de planification. Ne comprend pas les coûts éventuels de réalisation des clôtures ou barrières anti-bruit.

Cumul du potentiel photovoltaïque pour l'autoroute A6



11 Autoroute A7

A7/1. Surfaces imperméables/artificielles

A7/1.1. Zone industrielle Am Seif (parkings)

Localisation	 Point de repère km 19,5
Description	Parkings aériens
Surface approximative disponible	7.100 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires
Potentiel PV	950 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les parkings existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.950-2.500 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permet d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.

A7/1.2. Zone industrielle Am Seif (toitures)

Localisation	 Point de repère km 19,5
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	6.800 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	300 kWp

Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.050 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Toiture avec une géométrie complexe, l'espace pour les panneaux est réduit. Une vérification statique et des ombrages est à réaliser au préalable.

A7/1.3. Toitures Roost

Localisation	 Point de repère km 20,0
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	5.000 m²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	550 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible sur le transformateur existant avec l'accord du propriétaire (modification du poste à prévoir)
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.200-1.550 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Une vérification statique est à réaliser au préalable.

A7/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

A7/2.1. Portail nord du tunnel Grouft (Lorentzweiler)

Localisation	 Point de repère km 9,5
Description	Terrains libres entre chemins d'accès technique
Surface approximative disponible	20.300 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	2.300 kWp
Exposition	Sud
Accessibilité	Par les routes existantes
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.550-1.950 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surfaces partiellement en zone non aedificandi libre de végétation importante, donc sans autre destination. Autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie

A7/2.2. Terrain libre (Am Seif)

Localisation	 Point de repère km 19,5
Description	Zone non aedificandi entre autoroute et route nationale
Surface approximative disponible	5.800 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	650 kWp
Exposition	Horizontal
Accessibilité	Par les routes existantes
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.750-2.250 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface en zone non aedificandi libre de végétation importante. Un cours d'eau est présent sur le site. En outre, la construction

	d'un rond-point est prévue a cet endroit, la surface disponible pourrait donc s'avérer réduite voire nulle. Autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie.
--	--

A7/2.3. Viaducs Colmar-Berg et Schieren

Localisation	  Point de repère km 24,0-26,0
Description	Barrières latérales des viaducs à équiper avec panneaux PV
Surface approximative disponible	800 m linéaires (400+400)
Type d'installation possible	Installation sur clôture
Potentiel PV	600 kWp
Exposition	NE/SO
Accessibilité	Par la route
Raccordement électrique	Raccordement théoriquement possible sur le réseau MT Ponts et Chaussées existant
Coût d'installation (estimation sommaire)	2.300-2.500 €/ml hTVA (Lärmschutzwand) 950-1.200 €/kWp hTVA (installation PV)
Contraintes/remarques	Viaducs avec barrière existante. Cette barrière pourrait être rénovée en remplaçant les panneaux existants par des panneaux PV, tout en gardant la structure actuelle. Pour l'instant, les multiples défis liés aux exigences spécifiques des ouvrages d'art de ce type rendent très difficile une installation PV comme celle proposée. Une veille technologique pourra permettre de repérer des produits ou des solutions techniques adaptées pour une éventuelle intégration future, sous réserve d'une analyse de faisabilité.

A7/4. Zones vertes longeant les autoroutes

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	1.593.000 m ² (ZNA : 196.000 m ²)	1.428.000 m ²
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	80 MWp (ZNA : 10 MWp)	71 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	40 MWp	36 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	18,6 MWp (ZNA : 3,0 MWp)	12,1 MWp

*Bande de sécurité excluse

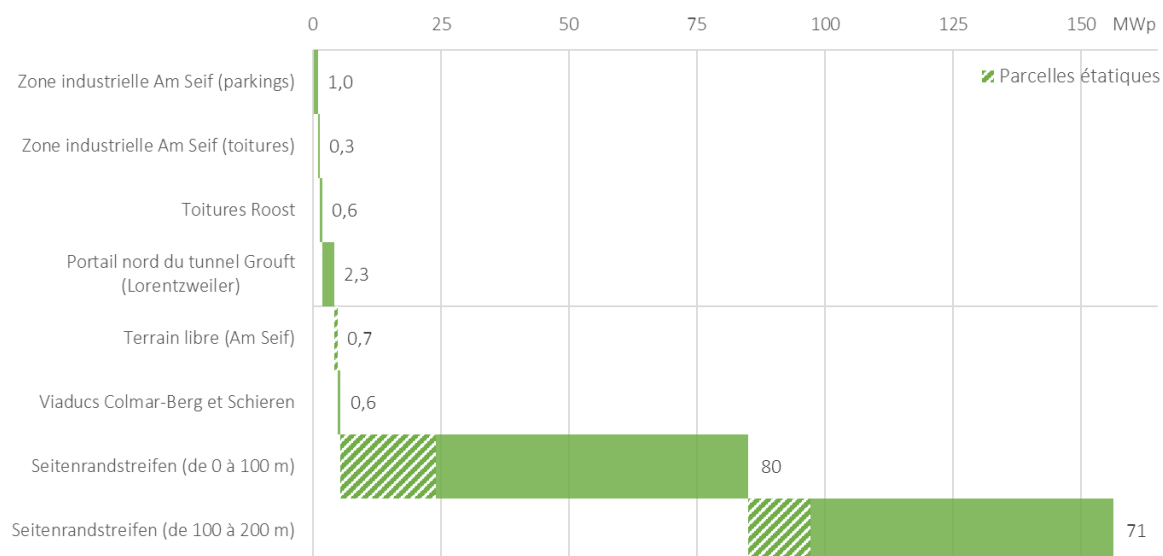
A7. Tableau récapitulatif

- ★ projet prioritaire
- 🔍 projet qui mérite des études supplémentaires
- ⌚ projet à revoir ultérieurement

Note globale	Zone	Potentiel PV* (kWp)	Coût spécifique* (€/kWp)
🔍	A7/1.1. Zone industrielle Am Seif (parkings)	950	1.950-2.500
⌚	A7/1.2. Zone industrielle Am Seif (toitures)	300	1.600-2.050
⌚	A7/1.3. Toitures Roost	550	1.200-1.550
★	A7/2.1. Portail N du tunnel Grouft (Lorentzweiler)	2.300	1.550-1.950
⌚	A7/2.2. Terrain libre (Am Seif)	650	1.750-2.250
⌚	A7/2.3. Viaducs Colmar-Berg et Schieren	600	950-1.200
★	A7/4.1 Seitenrandstreifen (de 0 à 100 m)	80.000 max 40.000 réaliste 18.600 terr. état.	1.650-2.100
★	A7/4.2 Seitenrandstreifen (de 100 à 200 m)	71.000 max 36.000 réaliste 12.100 terr. état.	1.650-2.100

*estimation approximative à préciser en phase de planification. Ne comprend pas les coûts éventuels de réalisation des clôtures ou barrières anti-bruit.

Cumul du potentiel photovoltaïque pour l'autoroute A7



12 Autoroute A13

A13/1. Surfaces imperméables/artificielles

A13/1.1. Zone commerciale Bascharage

Localisation	 Point de repère km 0,5
Description	Surfaces scellées du parking Cactus
Surface approximative disponible	16.300 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires
Potentiel PV	2.200 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les surfaces existantes
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible depuis le branchement moyenne tension « Cactus » existant (autorisation du propriétaire requise).
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.850-2.350 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permettrait d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.

A13/1.2. ZARE Ehlerange

Localisation	 Point de repère km 8,0
--------------	--

Description	Zone d'activités économiques
Surface approximative disponible	31.000 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture des bâtiments existants
Potentiel PV	900 kWp (~30 kWp par bâtiment)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	Raccordements BT et MT des bâtiments existants
Coût d'installation (estimation sommaire)	Variable selon chaque situation
Contraintes/remarques	Plusieurs toitures ou surfaces scellées peuvent être équipées avec des installations PV. On considère faisable et économiquement intéressant une installation de 30 kWp par chaque bâtiment.

A13/1.3. ZAE Op Herbett (parkings)

Localisation	 Point de repère km 12,0
Description	Surfaces scellées de parking
Surface approximative disponible	8.000 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires
Potentiel PV	1.100 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les surfaces existantes
Raccordement électrique	✗ Raccordement possible depuis le branchement moyenne tension « Batiself » existant (autorisation du propriétaire requise).
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.900-2.450 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surface déjà imperméabilisée, la couverture avec un carport solaire permettrait d'augmenter le confort pour les utilisateurs (ombrage, protection des intempéries, ...) ainsi que d'intégrer l'éventuelle installation de bornes de recharge pour véhicules électriques.

A13/1.4. Zone industrielle Wolser B

Localisation	 Point de repère km 17,0
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	55.000 m ²
Type d'installation possible	Installations en toiture
Potentiel PV	6.200 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	Branchements des installations PV sur les branchements basse et moyenne tension des bâtiments existants (chaque installation doit être inférieure à 5 MVA)
Coût d'installation (estimation sommaire)	850-1.100 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Les surfaces considérées sont des exemples de toitures qui ne sont à ce jour encore équipées d'installations PV. La zone appartient entièrement à l'Etat.

A13/1.5. Zone industrielle Wolser A

Localisation	 Point de repère km 18,5
Description	Toitures des bâtiments existants
Surface approximative disponible	8.200 m ²
Type d'installation possible	Installations en toiture
Potentiel PV	900 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les bâtiments existants
Raccordement électrique	✗ Branchements des installations PV sur les branchements basse et moyenne tension des bâtiments existants (chaque installation doit être inférieure à 5 MVA)
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.000-1.300 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Les surfaces considérées sont des exemples de toitures qui ne sont à ce jour encore équipées d'installations PV. La zone appartient en grande partie à l'Etat.

A13/1.6. Parking aérien Eurohub Sud

Localisation	 Point de repère km 19,0
Description	Surfaces scellées de parking de camions et remorques
Surface approximative disponible	140.000 m ²
Type d'installation possible	Carports solaires
Potentiel PV	9.450 kWp (Max. 5.000 kWp en MT)
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les surfaces existantes
Raccordement électrique	✗ Branchement possible sur poste de transformation existant pour une puissance < 5 MVA
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.800-2.300 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Zone déjà imperméabilisée présentant une surface très grande. La réalisation de carports se présente difficile car la hauteur doit être adaptée aux camions, ne doit pas gêner le passage des engins pour charge/décharge, ni obstruer la vue des caméras de sécurité... La zone appartient entièrement à l'Etat.

A13/1.7. Futur P+R Frisange

Localisation	 Point de repère km 26,0
Description	Toiture du futur parking P+R
Surface approximative disponible	14.300 m ²
Type d'installation possible	Installation en toiture
Potentiel PV	1.600 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par le futur bâtiment
Raccordement électrique	✗ Branchement possible via la connexion du futur parking
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.900-2.450 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Toiture du futur P+R à équiper avec installation PV

A13/2. Surfaces à proximité immédiate de l'autoroute

A13/2.1. Talus Hellange

Localisation	 Point de repère km 22,0
Description	Talus orienté sud
Surface approximative disponible	19.500 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol (en pente)
Potentiel PV	2.200 kWp
Exposition	Nord/Sud
Accessibilité	Par chemins ruraux existants
Raccordement électrique	Point de raccordement le plus proche à 800 m (tranchée à réaliser, non comprise dans les coûts ci-bas). Evaluer la possibilité d'injecter l'énergie sur le réseau APC.
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.550-1.950 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Talus orienté sud bien exposé, actuellement non boisé. La surface considérée reste en dehors de la bande sécurité. Autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie, et/ou vérifier éventualité terrains de compensation.

A13/2.2. Zone non aedificandi ZAE "Le triangle vert"

Localisation	 Point de repère km 34,5
Description	Surfaces libres entre zone d'activités et autoroutes
Surface approximative disponible	10.700 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	1.200 kWp
Exposition	SO
Accessibilité	Par les routes existantes
Raccordement électrique	✗ Branchement possible sur le réseau de la ZAE
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.000 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Zone non aedificandi, autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie.

A13/3. Surfaces à l'extérieur de l'autoroute

A13/3.1. ZAE Op Herbett (futures constructions)

Localisation	
	Point de repère km 12,0
Description	Surfaces actuellement libres mais réservées pour une future extension de la ZAE.
Surface approximative disponible	31.500 m ²
Type d'installation possible	Installations en toiture
Potentiel PV	1.750 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par les futurs bâtiments
Raccordement électrique	Raccordement possible depuis les branchements basse ou moyenne tension des futurs bâtiments.
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.000 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Surfaces libres pour futures constructions. Les installations PV pourront être implantées en toiture ou alors au sol.

A13/3.2. Terrain libre (Schiffflange)

Localisation	
	Point de repère km 13,5
Description	Terrain actuellement libre entre l'autoroute et le chemin de fer
Surface approximative disponible	15.500 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	1.750 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par la route existante

Raccordement électrique	Raccordement MT possible par le nouveau quartier en construction directement à l'ouest du terrain.
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.000 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Terrain intéressant car délimité par l'autoroute d'un côté et la voie ferrée de l'autre côté. Autorisation selon législation en vigueur concernant les permissions de voirie

A13/3.3. Surfaces libres zone industrielle Wolser A

Localisation	 Point de repère km 18,0
Description	Surfaces libres entre la zone industrielle et l'autoroute
Surface approximative disponible	16.000 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol
Potentiel PV	1.800 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	Par la route existante
Raccordement électrique	✗ Réseau MT disponible dans la zone
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.600-2.000 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Terrain actuellement vague, à confirmer si d'autres projets de construction n'existent pas sur cette parcelle.

A13/3.4. Tunnel Mondorf

Localisation	 Point de repère km 33,0
Description	Terrains au-dessus de l'autoroute
Surface approximative disponible	35.500 m ²
Type d'installation possible	Installation au sol



Potentiel PV	4.000 kWp
Exposition	Horizontale
Accessibilité	A définir
Raccordement électrique	Le poste moyenne tension pourra être raccordé depuis le réseau existant privé (accord du propriétaire nécessaire) ou sur le futur poste haute tension Creos prévu pour 2031-2032
Coût d'installation (estimation sommaire)	1.500-1.950 €/kWp hTVA
Contraintes/remarques	Analyse de la faisabilité.

A13/4. Zones vertes longeant les autoroutes

Distance de l'autoroute	de 0 à 100 m*	de 100 à 200 m
Surface disponible	5.288.000 m ² (ZNA : 645.000 m ²)	5.141.000 m ²
Puissance installable (0,5 MWp/ha)	264 MWp (ZNA : 32 MWp)	257 MWp
Puissance « réaliste » (50% p. installable)	132 MWp	129 MWp
Puissance installable sur parcelles étatiques	82,3 MWp (ZNA : 17,5 MWp)	50,1 MWp

*Bande de sécurité excluse

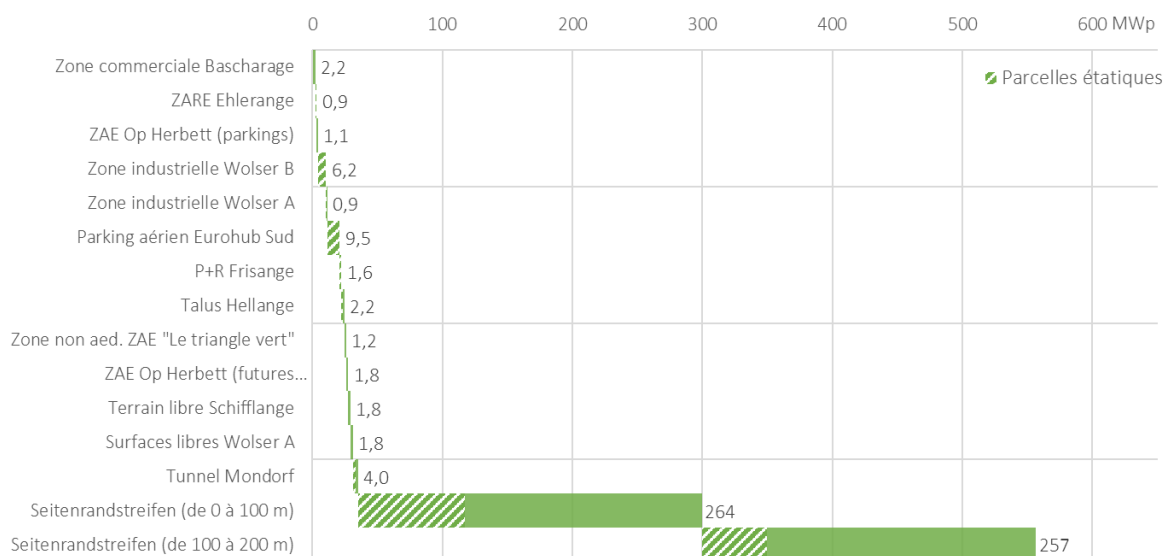
A13. Tableau récapitulatif

- ★ projet prioritaire
- 🔍 projet qui mérite des études supplémentaires
- ⌚ projet à revoir ultérieurement

Note globale	Zone	Potentiel PV* (kWp)	Coût spécifique* (€/kWp)
🔍	A13/1.1. Zone commerciale Bascharage	2.200	1.850-2.350
🔍	A13/1.2. ZARE Ehlerange	900	Selon le cas
🔍	A13/1.3. ZAE Op Herbett (parkings)	1.100	1.900-2.450
★	A13/1.4. Zone industrielle Wolser B	6.200	850-1.100
★	A13/1.5. Zone industrielle Wolser A	900	1.000-1.300
⌚	A13/1.6. Parking aérien Eurohub Sud	9.450	1.800-2.300
★	A13/1.7. P+R Frisange	1.600	1.900-2.450
⌚	A13/2.1. Talus Hellange	2.200	1.550-1.950
★	A13/2.2. Zone non aedificandi ZAE "Le triangle vert"	1.200	1.600-2.000
🔍	A13/3.1. ZAE Op Herbett (futures constructions)	1.750	1.600-2.000
🔍	A13/3.2. Terrain libre à Schifflange	1.750	1.600-2.000
★	A13/3.3. Surfaces libres zone industrielle Wolser A	1.800	1.600-2.000
⌚	A13/3.4. Tunnel Mondorf	4.000	1.500-1.950
★	A13/4.1 Seitenrandstreifen (de 0 à 100 m)	264.000 max 132.000 réaliste 82.300 terr. état.	1.650-2.100
★	A13/4.2 Seitenrandstreifen (de 100 à 200 m)	257.000 max 129.000 réaliste 50.100 terr. état.	1.650-2.100

*estimation approximative à préciser en phase de planification. Ne comprend pas les coûts éventuels de réalisation des clôtures ou barrières anti-bruit.

Cumul du potentiel photovoltaïque pour l'autoroute A13





13 Conclusions

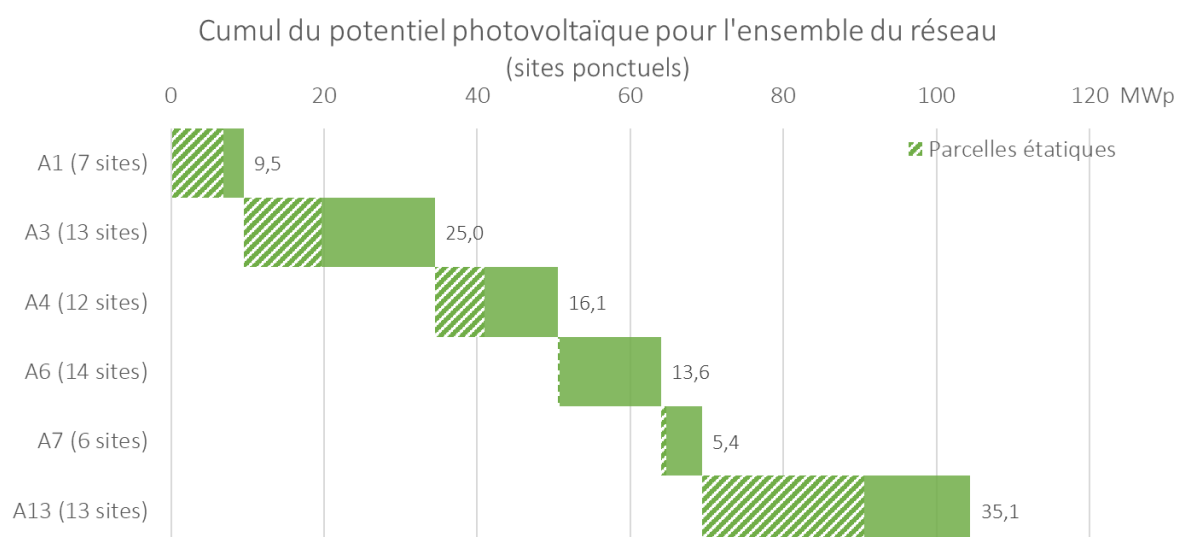
13.1 Potentiel photovoltaïque global

L'étude illustrée dans ce rapport représente une première évaluation du potentiel d'installation photovoltaïque le long du réseau autoroutier luxembourgeois.

Le travail effectué par les bureaux d'études Goblet Lavandier & Associés et BEST a comporté, d'un côté, la recherche des solutions techniques photovoltaïques les plus adaptées au contexte très particulier de l'installation en milieu routier, et de l'autre côté une étude détaillée des différentes contraintes – environnementales, techniques, d'aménagement – qui s'appliquent à la portion de territoire analysée.

De la superposition de ces concepts ressort un nombre de sites avec un potentiel d'installation photovoltaïque, décrits en détail dans les chapitres précédents et résumés dans les tableaux récapitulatifs pour chaque autoroute.

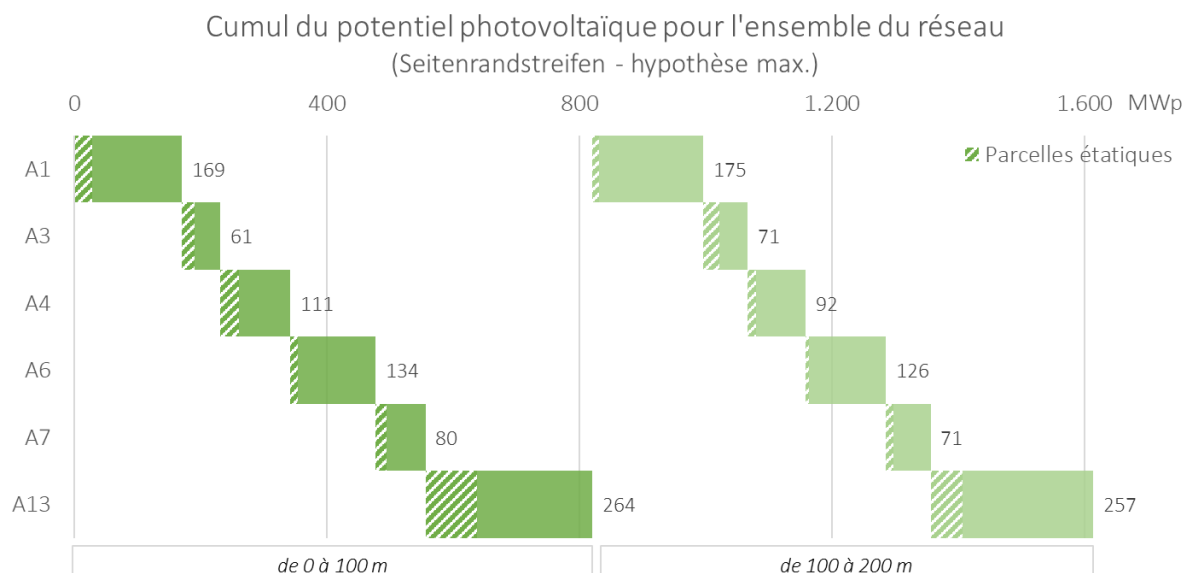
Pour l'ensemble du réseau, l'étude a répertorié 65 sites ponctuels avec un potentiel théorique d'installation total de 104 MWp, dont 46 MWp concernant des terrains étatiques.



Sites ponctuels	Potentiel total (MWp)			Potentiel terrains étatiques (MWp)		
	★	🔍	⌚	★	🔍	⌚
A1	7,0	0,8	1,8	5,5	0,8	0,6
A3	9,4	4,0	11,7	8,1	0,0	2,2
A4	9,4	5,2	1,5	5,9	0,7	0,0
A6	2,6	8,7	2,3	0,0	0,0	0,3
A7	2,3	1,0	2,1	0,0	0,0	0,7
A13	11,7	7,7	15,7	8,1	0,9	12,2
Somme	42,3	27,2	35,0	27,5	2,4	15,9
		104,5			45,7	

En plus de cela, l'analyse a porté sur les surfaces disponibles comprises dans les bandes latérales de 100 et 200 m d'une part et d'autre des axes autoroutiers, en prenant soin de soustraire de cette surface toute les zones d'exclusion tombant sous les catégories décrites au chapitre 5.

Pour l'ensemble du réseau, le potentiel théorique d'installation cumulé pour les *Seitenrandstreifen* s'élève à 820 MWp (dont 191 MWp sur des parcelles étatiques) pour la bande de 0 à 100 m, respectivement 793 MWp (dont 117 MWp sur des parcelles étatiques) pour la bande de 100 à 200 m.



Seitenrandstreifen	Potentiel total (MWp)			Potentiel terrains étatiques (MWp)		
	Zone non aedificandi	0-100 m (ZNA incluse)	100-200 m	Zone non aedificandi	0-100 m (ZNA incluse)	100-200 m
A1	23,3	169,3	175,4	9,4	27,8	10,7
A3	10,1	61,4	70,5	1,7	20,8	25,5
A4	14,9	111,0	92,5	5,2	29,5	13,8
A6	18,7	134,4	126,0	1,8	12,4	5,2
A7	9,8	79,7	71,4	3,0	18,6	12,1
A13	32,3	264,4	257,1	17,5	82,3	50,1
Somme	109,0	820,0	792,8	38,7	191,3	117,3
		1.613			309	

En ce qui concerne la réalisabilité de ce potentiel théorique, il convient de prendre en considération un certain nombre de facteurs comme la propriété privée, la faisabilité de l'Agri-PV sur les surfaces en collaboration avec les agriculteurs impliqués qui engendre une approche au cas par cas, de même que l'acceptabilité au niveau de l'aménagement du territoire et de l'impact visuel, et de déterminer le cas échéant un pourcentage maximal de remplissage de ces corridors avec des installations PV.

Dans cette approche plus prudente effectivement réalisable à court ou moyen terme seulement un certain pourcentage de ces installations est faisable (hypothèse « réaliste »), ce qui donnerait un potentiel certes important, mais à définir ultérieurement après des analyses approfondies.

13.2 Projets prioritaires

Le potentiel global apparaît donc très important si comparé aux objectifs de production d'énergie renouvelable établis par le PNEC. Dans le but de faciliter le passage de ces projets de la case « potentiel » au statut de réalisation concrètes, les auteurs et autrices de cette étude ont marqué comme *prioritaires* certains projets qui répondent à un ou plusieurs des critères suivants :

- ★ les sites comprenant des **surfaces étatiques**, car dans ce cas la volonté politique pourrait contribuer à mobiliser directement les ressources nécessaires à la concrétisation rapide des installations proposées ;
- ★ les projets qui s'inscrivent dans des **réaménagements planifiés de l'infrastructure de transport** (p.ex. élargissement de l'A3, couloir du tram rapide sur l'A4), puisqu'ici une intervention dans une phase préliminaire de planification permettrait de trouver des solutions d'intégration intelligente ainsi que de réduire les coûts ;
- ★ quelques projets qui prévoient l'installation des panneaux PV en guise de **clôture ou de barrière anti-bruit** sur une longueur limitée de tracé. Ces projets pourraient représenter des cas d'études précieux pour tester les solutions techniques disponibles ainsi que la collaboration entre les différents organismes et administrations concernés. Il serait important que de tels projets soient réalisés dans un délai raisonnable afin de montrer qu'il existe une volonté politique de poursuivre les objectifs énergétiques que le pays s'est donné, ainsi que pour tester l'acceptance de ce genre d'installation auprès de la population ;
- ★ les parcelles bien exposées et enfermées entre deux routes ou entre autoroute et chemin de fer, donc en principe perdues à d'autres fins utiles et qui seraient en revanche adaptées pour des installations photovoltaïques au sol ;
- ★ finalement, **les zones incluses dans les *Seitenrandstreifen*** ont été considérées pour toutes les autoroutes comme prioritaires au vu de leur potentiel très élevé (y compris celui des seules parcelles étatiques). Une analyse de la réalisabilité de ce potentiel doit tout de même être menée.

13.3 Rôle du pouvoir public

Il est clair que l'objectif du PNEC représente un facteur additionnel de potentielle utilisation du sol dans un petit pays, comme le Luxembourg, qui connaît déjà une énorme pression sur son territoire en raison de la demande toujours croissante d'espace pour son développement économique et démographique.

Pour répondre à ce défi, les conclusions de cette étude indiquent comme fondamentale l'intervention de l'État sous de multiples facettes :

En premier lieu comme promoteur direct de la réalisation d'installations photovoltaïques sur les surfaces appartenant à son domaine public ou privé, saisissant ainsi l'occasion de **jouer un rôle d'exemple**, afin d'inciter les propriétaires privés à suivre la même démarche.

Deuxièmement, au cas où un programme sur le modèle du *Seitenrandstreifen* allemand serait envisagé au Luxembourg, afin de mobiliser pour l'exploitation photovoltaïque les parcelles longeant les autoroutes, le législateur devrait veiller à définir soigneusement les zones potentiellement intéressantes et les typologies d'installations y autorisées, afin de **réduire pour autant que possible la friction avec les autres utilisations possibles des mêmes terrains** (agriculture, construction, industrie, ...). La réalisation d'installations PV pour les propriétaires privés des parcelles longeant l'autoroute devrait être incitée de façon à ne pas porter un préjudice financier à l'utilisation actuelle de

ces mêmes parcelles. Les terrains appartenant à l'État pourraient servir d'exemple avec la réalisation de projets démonstratifs et mobilisables dans de plus brefs délais.

Finalement, en ce qui concerne les installations dans le milieu autoroutier, une **concertation entre les acteurs publics impliqués** (entre autres, Ministère de l'Économie et Ministère de la Mobilité et des Travaux publics) pourrait permettre de clarifier les limites techniques et réglementaires encadrant la réalisation de telles installations tout en respectant les exigences de sécurité et la fonctionnalité du réseau autoroutier (p.ex. murs antibruit, bande de sécurité de 12 m, zone non aedificandi, utilisation du réseau électrique APC, etc.).

14 Annexes

- Plans de repérage des sites potentiels (13 planches numérotées de P24-038-P01 à -P13, Goblet Lavandier & Associés, 28.01.2025)
- Plans reprenant les restrictions environnementales et les parcelles étatiques sur une bande de 100 m / 200 m des autoroutes (21 planches numérotées 241052-19-007902, -007903 et de - 007905 à -007923, BEST Ingénieurs-conseils, 28.06.2024 et 24.01.2025)