
IKEA – MAGASIN DE STRASBOURG

26, PLACE DE L'ABATTOIR

SYNTHESE DE LA FAISABILITE POUR L'IMPLANTATION D'OMBRIERES PHOTOVOLTAIQUES



Rédaction

Date

J-L HEURGON

19/04/2024

ELAN – Conseil en immobilier

Siège :

- 1 avenue Eugène Freyssinet
- 78061 Saint-Quentin-en-Yvelines cedex
- www.elan-france.com

Agence Grand Est :

- 30 avenue du Rhin
- 67000 Strasbourg
- Tel. +33(0)3 57 63 63 30

SOMMAIRE :

1	OBLIGATIONS LEGALES	3
1.1	Obligations réglementaires nationales	3
1.2	Obligations réglementaires locales	4
2	CALCUL DE LA SURFACE D’OMBRIERES PHOTOVOLTAÏQUES A INSTALLER	6
2.1	Calcul de la surface assujettie aux dispositifs d’ombrages	6
2.2	Exonération de la surface de vide sanitaire	7
2.3	Stratégie de plantations d’arbres.....	15
2.4	Calcul de la surface d’ombrières photovoltaïques à installer	18
3	STRUCTURE ET IMPLANTATION DES OMBRIERES PHOTOVOLTAÏQUES	20
3.1	Choix de l’inclinaison de l’ombrière	20
3.2	Choix de la forme de l’ombrière.....	22
4	RECUPERATION ET TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES.....	30
4.1	Collecte et traitement des eaux pluviales (EP) sur les ombrières et la voirie associée	30
4.2	Infiltration des EP au niveau des places de stationnement ombragées par des arbres	32
4.3	Bilan du traitement des EP	32
5	CALCUL DU TAUX D’AUTOCONSOMMATION	33
6	ASPECTS REGLEMENTAIRES.....	35
6.1	Autorisations d’urbanisme	35
6.2	Autorisations environnementales	35
6.3	Tarif de rachat CRE	35
7	COUTS ESTIMATIFS	36
7.1	Détail des postes pris en compte	36
7.2	Estimation du montant des travaux	37
7.3	Temps de retour sur investissement actualisé	37
8	PLANNING	39

1 Obligations légales

1.1 Obligations réglementaires nationales

La construction ou la rénovation lourde de parkings extérieurs sont concernées par deux lois :

- la Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite « loi climat et résilience ». Cette loi a créé deux nouveaux articles :
 - L'art. L.171-4 du code de la construction et de l'habitation
 - L'art. L111-19-1 du code de l'urbanisme
- La loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables. Cette loi a modifié l'art. L.171-4 du code de la construction et de l'habitation créé par la loi précédente.

Plusieurs décrets et arrêtés sont venus préciser ces textes de loi. Ci-dessous ceux concernant les parkings extérieurs :

- Le décret n°2023-1208 du 18 décembre 2023 portant application de l'article L. 171-4 du code de la construction et de l'habitation et de l'article L. 111-19-1 du code de l'urbanisme. Il donne plusieurs définitions : rénovation lourde, surface assujettie, ombrage assuré par des arbres, cas d'exonération.
- Arrêté du 5 mars 2024 portant application du décret n° 2023-1208 du 18 décembre 2023 portant application de l'article L. 171-4 du code de la construction et de l'habitation et de l'article L. 111-19-1 du code de l'urbanisme régissant les parcs de stationnement. Il précise le mode de calcul d'un coût disproportionné pour les dispositifs d'ombrage et les dispositifs de gestion des eaux pluviales.

Dans la mesure où le parking existant va faire l'objet d'une rénovation lourde, impliquant le remplacement d'au moins 50% de son revêtement de surface, l'article L111-19-1 du Code de l'urbanisme s'applique comme l'explique le tableau ci-dessous :

Construction neuve, extension ou rénovation lourde					
Type de bâtiment	Bâtiments à usage commercial, entrepôts	Parkings couverts	Bâtiments de bureaux	Parking extérieur: -indépendants ouverts au public -ou associés à des bâtiments neufs (conditions ci-contre) -ou associés à des rénovations lourdes de bâtiments (conditions ci-contre) -ou faisant l'objet d'une rénovation lourde	
Textes	Art. L171-4 du code de la construction et de l'habitation		Art. L111-19-1 du code de l'urbanisme		
Seuil de surface	Emprise au sol > 500 m ²		Emprise au sol > 1000 m ²	Superficie > 500 m ²	
Obligation n°1: végétalisation et systèmes EnR	Installation de végétalisation ou de système EnR sur un % de surface créée ou renouvelée (y compris surface des ombrières). Au choix: -toiture végétalisée -panneaux solaires en toiture -ombrières PV sur parking			Installation de systèmes d'ombrages: -soit végétalisés (arbres à canopée large à raison d'un arbre pour 3 places) -soit ombrières PV	
	Date d'entrée en vigueur	Taux		Date d'entrée en vigueur	Taux
	1er janvier 2024 1er juillet 2026 1er juillet 2027	au moins 30% de la surface créée ou renouvelée au moins 40% de la surface créée ou renouvelée au moins 50% de la surface créée ou renouvelée		1er juillet 2023	50% de la superficie du parking
Obligation n°2: gestion des eaux pluviales pour les parkings	Sans objet			Dispositifs de gestion des eaux pluviales sur au moins 50% de la surface de parking	
Exonérations possibles	Raisons techniques, architecturales, de sécurité, patrimoniales, de coût disproportionné				

Pour le projet de rénovation lourde du parking, deux exigences issues de l'article L111-19-1 du code de l'urbanisme s'appliquent :

- Le traitement à la parcelle des eaux pluviales sur au moins 50% de la surface de parking, comprenant toutes les surfaces du parking sur lesquelles des véhicules circulent ou stationnent, hors zones dédiées au process du site (stockage, logistique...);
- L'installation de dispositifs d'ombrages sur au moins 50% de la surface de parking (même définition que pour le traitement des eaux pluviales). Ces dispositifs d'ombrages peuvent être soit des ombrières photovoltaïques, soit des arbres à large canopée, à raison d'un arbre pour 3 places de stationnement.

1.2 Obligations réglementaires locales

Le plan local d'urbanisme intercommunal (PLUi) de l'Eurométropole de Strasbourg (EMS) définit des exigences dans son article 13, alinéa 2.5, qui s'appliquent aux bâtiment ou parties de bâtiments neufs ou faisant l'objet d'une rénovation lourde (analyse réalisée sur la base de la modification 3, dont la version projetée de la modification 4 ne vient pas modifier la teneur) :

2.2. Travaux de transformation d'immeuble(s) existant(s)

- 2.2.1. Lorsque l'autorisation d'urbanisme porte sur la transformation ou l'amélioration d'immeuble(s) existant(s), les règles fixées en matière de stationnement des véhicules et des bicyclettes ne s'appliquent que dans le cas où la transformation du ou des immeubles sur lesquels porte la demande crée de nouveaux besoins de stationnement et aux seuls besoins supplémentaires, quelle que soit la destination de l'immeuble.
- 2.2.2. Cette règle s'applique également lorsque la transformation ou l'amélioration du ou des immeubles existants ne nécessite pas l'obtention d'autorisation d'urbanisme préalable.

2.5. Obligations en matière d'énergie pour le stationnement des véhicules motorisés

- 2.5.1. Toute réalisation de stationnement aérien supérieur à 300 places de stationnement doit être équipée d'ombrières photovoltaïques accueillant a minima 0,3 kWc de puissance photovoltaïque par place de stationnement.
- 2.5.2. Toute réalisation de parking aérien en ouvrage de plus de 300 places doit être équipée sur le dernier niveau soit d'ombrières photovoltaïques en cas de stationnement aérien, soit de panneaux solaires photovoltaïques, dans les conditions suivantes : a minima 0,1 kWc de puissance photovoltaïque par place de stationnement.
- 2.5.3. Ces deux dispositions ne s'appliquent pas dans les cas suivants, lorsqu'il est démontré :
- un faible ensoleillement de l'aire de stationnement ;
 - une impossibilité de raccordement au réseau électrique ou d'autoconsommation.

De ces articles du PLUi, on retient que l'obligation de solarisation des places de stationnement ne s'applique qu'aux parcs de stationnement neufs, ou aux extensions de parcs de stationnement existants qui seraient induites par la transformation d'un immeuble existant.

Dans le cas du site de Strasbourg, cet article s'appliquerait par exemple si l'extension projetée du magasin nécessitait l'agrandissement du parking existant. Les obligations s'appliqueraient uniquement aux nouvelles surfaces de parking.

En revanche, dans le cadre du projet d'extension tel que présenté, la surface de parking diminue par rapport à l'existant. Aucune obligation d'équipement en ombrière PV ne s'applique donc au parking existant.

Le PLUi de l'EMS ne génère aucune obligation d'installation d'ombrière photovoltaïque sur le parking existant dans le cadre du projet d'extension.

2 Calcul de la surface d'ombrières photovoltaïques à installer

2.1 Calcul de la surface assujettie aux dispositifs d'ombrages

Le plan et le tableau associés ci-dessous présentent le calcul de la surface de voirie et de stationnement assujettie à des systèmes d'ombrages, sans tenir compte d'éventuelles exonérations techniques ou financières liées au vide sanitaire :



Plan non définitif – Version phase étude

CALCUL DE LA SURFACE NON ASSUJETTIE				
Surface [m ²]		Surface terre-plein	Surface sur vide sanitaire	Total
Limite parcellaire				60 790
bâtiment		18 736	164	17 887
technique		3 000	360	4 373
verts arrière		974	0	974
on piétonne (dont voie pompier)		1 309	1 713	3 022
verts parking		12 536	714	13 251
Surface non assujettie		36 556	2 951	39 507

Sur les 60 790 m² de surface de la parcelle cadastrale, 39 507 m² ne sont pas assujetties à des dispositifs d'ombrage.

Les surfaces assujetties sont donc les suivantes :

CALCUL DE LA SURFACE DE VOIRIE ET DE STATIONNEMENT ASSUJETTIE A DES SYSTEMES D'OMBRAGES, HORS EXONERATIONS (m ²)			
Surface [m ²]	Surface terre-plein	Surface sur vide sanitaire	Total
Surface stationnement	6 619	3 815,0	10 434
Voirie	7 807	3 042	10 849
Surface assujettie à la réglementation	14 426	6 857	21 283

Hors considérations d'exonérations techniques ou financières potentielles, la surface potentiellement assujettie à des dispositifs d'ombrage sur le site de Strasbourg est de 21 283 m², dont 14 426 m² (67,7%) sur terre-plein et 6 857 m² (32,3%) sur vide-sanitaire.

2.2 Exonération de la surface de vide sanitaire

2.2.1 Présentation des contraintes liées au vide sanitaire

Les articles L. 171-4 du code de la construction et de l'habitation et L. 111-19-1 du code de l'urbanisme prévoient des cas d'exonération, tant pour les dispositifs de gestion des eaux pluviales que pour les dispositifs d'ombrage. Pour les parkings faisant l'objet d'une rénovation lourde, ces cas sont les suivants :

- contraintes techniques ;
- ensoleillement insuffisant
- contraintes de coûts.

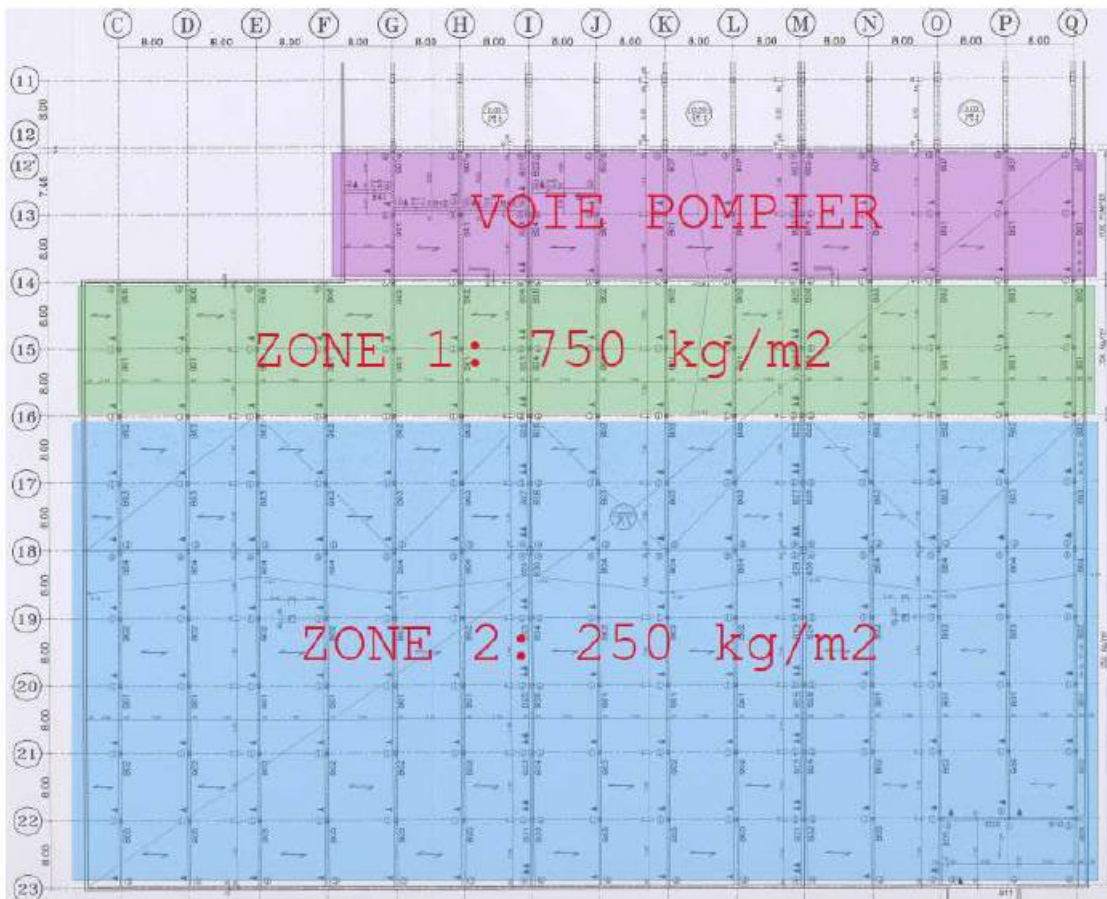
Or, le site est partiellement positionné sur un niveau de sous-sol servant de vide sanitaire au magasin et débordant sur l'avant du parking (zone délimitée par les pointillés rouges ci-dessous) :



*Repérage sur plan projet du « vide-sanitaire » et vue de la structure depuis celui-ci
(Plan non définitif – Version phase étude)*

Une étude de structure a ainsi été mandatée par IKEA afin de vérifier la capacité portante de la surface de parking sur vide-sanitaire ; celle-ci conclut :

Les vérifications menées sur les éléments structuraux constituant le plancher haut du vide sanitaire en dessous du parking du magasin IKEA Strasbourg sis 26 Place de l'Abattoir 67200 Strasbourg permettent de conclure sur ses capacités portantes qui sont les suivantes :



Toutefois, nous pouvons considérer les solutions suivantes afin d'amener des charges supplémentaires :

Zone 1 : Nous proposons de limiter l'accès des engins lourds à cette zone afin de réduire la charge d'exploitation à 250 kg/m² (soit la charge d'exploitation d'un parking classique) et ainsi pouvoir exploiter la réserve de charge disponible de 500 kg/m².

Zone 2 : les calculs de vérification de cette zone de plancher indiquent que la capacité portante du plancher est limitée par celle des dalles. Les poutres de cette zone sont semblables à celles de la zone 1 et sont donc en mesure de reprendre jusqu'à 750 kg/m². Nous proposons donc soit de faire reposer les charges supplémentaires directement sur les poutres soit de renforcer les dalles en sous-face par l'ajout de profilé métalliques afin d'augmenter leur capacité portante.

Extrait du rapport de diagnostic structurel du BET CapStructures en date du 23/02/2024

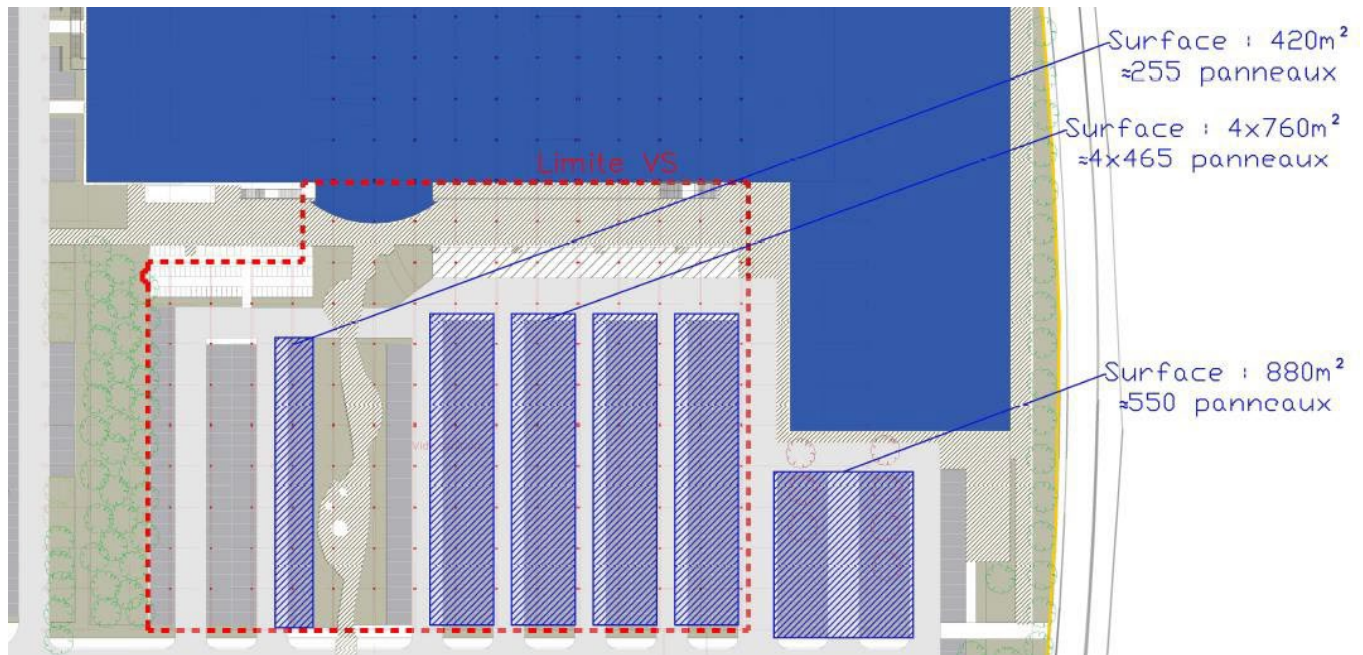
Deux solutions sont donc envisageables pour implanter des ombrières PV au niveau des zones 1 et 2 du parking situé au-dessus du vide sanitaire :

- solution 1 : implantation des poteaux des ombrières PV au droit des poteaux de la structure portante de la dalle de parking ;
- solution 2 : ajout de profilés métalliques afin de renforcer la capacité portante.

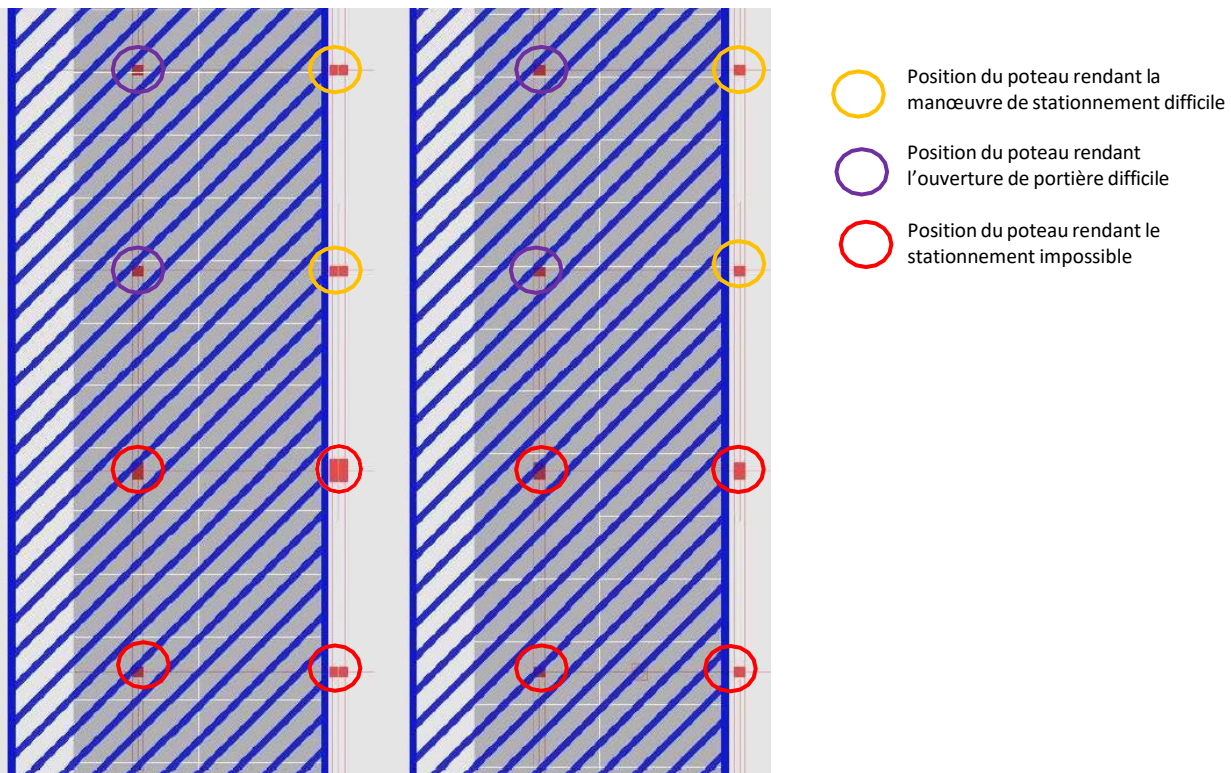
Ces deux solutions sont détaillées dans les paragraphes suivants.

2.2.2 Solution 1 : implantation des poteaux des ombrières au droit des poteaux de la structure portante de la dalle de parking

Pour cette solution, la trame des poteaux des ombrières est déterminée par la trame des poteaux de la structure portante de la dalle de parking sur vide sanitaire. Ceci conduit à envisager la disposition suivante :



Plus précisément, lorsque l'on zoome sur une trame de places, on constate que la position de la plupart des poteaux des ombrières conduirait soit à condamner la place, soit à rendre la manœuvre de stationnement très malaisée :

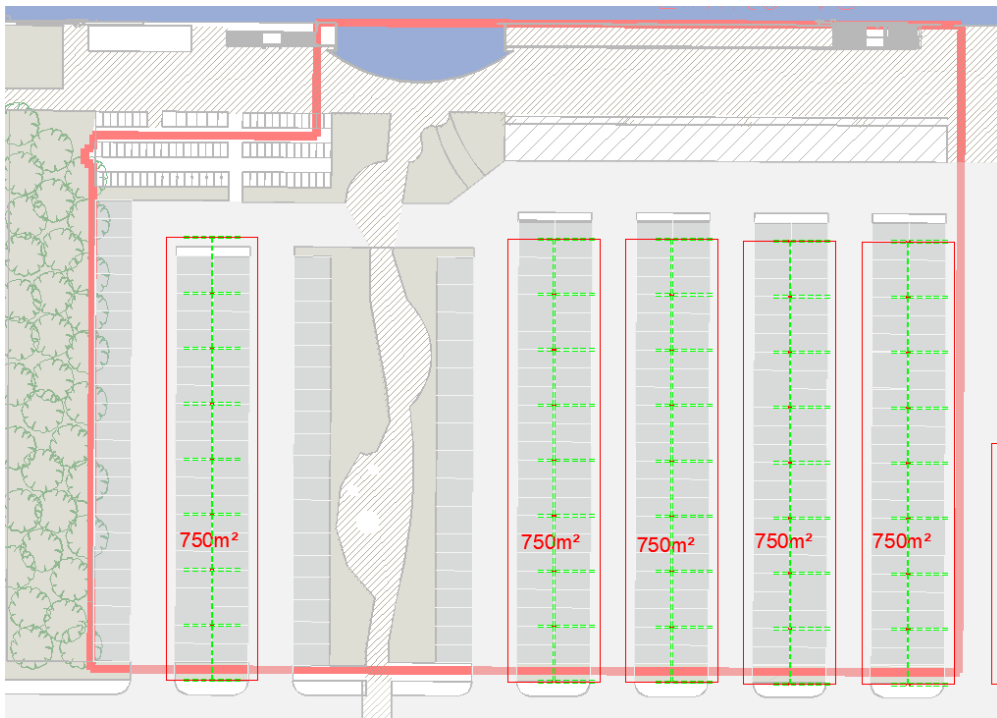


Sur les 48 places de l'extrait ci-dessus, 21 sont affectées par des difficultés ou des impossibilités de stationnement. A l'échelle du parking, ce sont donc plus de 40% des places de stationnement qui seraient affectées.

La solution d'implanter les poteaux des ombrières PV au droit des poteaux de la structure portante de la dalle de parking est en réalité inapplicable, car elle obère plus de 40% des places de stationnement disponibles au-dessus du vide sanitaire.

2.2.3 Solution 2 : ajout de profilés métalliques en sous-face de la dalle.

Cette solution consiste à ajouter des profilés métalliques entre les poteaux de la structure porteuse, à la fois dans le sens des poutres existantes en béton précontraint, mais aussi perpendiculairement à celles-ci. Ainsi, une structure secondaire portante de poutres métalliques est créée, qui permet de supporter les charges des ombrières et de les renvoyer vers les poteaux. Cette structure secondaire métallique est représentée en vert ci-dessous :

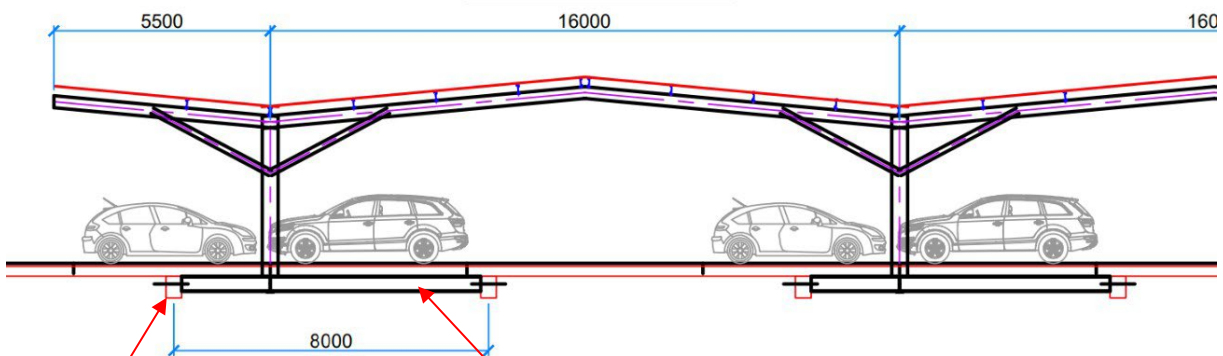


Plan non définitif – Version phase étude

Avec ce dessin actuel, l'implantation prévue des places de stationnement peu être conservée, car alors les poteaux des ombrières peuvent être positionnés sans contrainte particulière.

Ci-dessous la coupe du parking avec des ombrières en forme de Y

Proposition suivant le principe de la coupe ci-après :



Coupe d'une poutre existante en béton précontraint

Position des poutres métalliques ajoutées entre deux poteaux

A ce stade de l'étude, cette solution technique implique un surcoût de 60% sur le lot structure / gros œuvre, ce qui représente une plus-value de 80 € HT / m² d'ombrière PV installée sur vide sanitaire par rapport à une ombrière sur terre-plein.

2.2.4 Dispositifs d'ombrage par végétalisation

Compte tenu de l'absence de terre sous la dalle au droit du vide sanitaire, la plantation d'arbres sur la zone de parking concernée est bien entendu impossible.

2.2.5 Dispositifs de gestion des eaux pluviales à la parcelle

Compte tenu de l'absence de terre sous la dalle au droit du vide sanitaire, l'infiltration des eaux pluviales sur la zone de parking concernée est impossible.

Il pourrait néanmoins être étudié la récupération des eaux pluviales dans des cuves situées dans le vide sanitaire, notamment à des fins d'alimentation en eau des sanitaires. Ceci entraînerait néanmoins deux contraintes importantes :

- Une contrainte financière, car cela impliquerait de créer un autre réseau d'alimentation des sanitaires depuis le vide sanitaire ;
- Une contrainte forte en termes d'utilisation future du vide sanitaire : si celui-ci venait à être aménagé dans le futur, la présence d'une ou plusieurs cuves représenteraient une contrainte certaine.

2.2.6 Conclusion sur les contraintes engendrées par la présence du vide sanitaire

Concernant la surface de parking au droit du vide-sanitaire et son traitement vis-à-vis de l'article L111-19-1 du code de l'urbanisme, il apparaît :

Concernant la gestion des eaux pluviales :

- **Impossible** de traiter ces stationnements par un dispositif d'infiltration ;
- **Contraignant techniquement et financièrement** d'installer des cuves de récupération des EP.

Concernant la fonction d'ombrage :

- **Impossible** de traiter ces stationnements par un dispositif d'ombrage végétal ;
- **Contraignant financièrement** de créer une structure métallique secondaire permettant de supporter les ombrières.

Ces différents constats nous amènent à **poursuivre l'étude en tenant compte d'une exonération de la surface sur vide sanitaire dans le calcul de la surface assujettie aux dispositifs d'ombrages et de gestion des EP à la parcelle.**

La surface finalement assujettie à des dispositifs d'ombrages est donc **constituée des 14 426 m² de surface de stationnement et de voirie sur terre-plein**, comme indiqué dans le tableau du §2.1 et que l'on retrouve dans le tableau ci-dessous :

IKEA – étude de faisabilité sur les ombrières PV – IKEA Strasbourg (67)

2. Calcul de la surface d'ombrières photovoltaïques à installer

CALCUL DE LA SURFACE ASSUJETTIE EN TENANT COMPTE DE L'EXONERATION DE LA SURFACE DU VIDE SANITAIRE			
Surface [m ²]	Surface terre-plein	Surface sur vide sanitaire	Totale
Surface parcelle (Cadastrre.gouv)			60 790
Surface bâtiment	18 736	164	18 900
Espace technique	3 000	360	3 360
Espace verts arrière	974	0	974
Circulation piétonne (dont voie pompier)	1 309	1 713	3 022
Espace verts parking	12 536	714	13 251
Surface stationnement VS		3 815	3 815
Voirie VS		3 042	3 042
Surface non assujettie	36 556	9 809	46 364
Surface assujettie à des dispositifs d'ombrages	14 426	Exonération	14 426

2.3 Stratégie de plantations d'arbres

La loi prévoit que la fonction d'ombrage peut être assurée soit par des ombrières PV, soit par des arbres à canopée large à raison de 1 arbre pour 3 places de parking. Notre stratégie a consisté à maintenir les arbres existants dans les zones les plus densément arborées ainsi que sur les bordures, et à les supprimer au niveau des peignes lorsqu'ils étaient peu nombreux et gênaient l'implantation d'ombrières.

Ces choix figurent sur le plan ci-dessous :



Implantation des arbres et des ombrières (Plan non définitif – Version phase étude)

Avec cette implantation, le bilan des arbres supprimés, conservés et ajoutés est le suivant :

	Parking sur terre-plein
Nombre de places à ombrager par des arbres	289
Nombre d'arbres à fonction d'ombrage nécessaires (1 arbres pour 3 places)	96
Nbre d'arbres existants en bordure	38
Nbre d'arbres existants sur les peignes médians	31
Nbre d'arbres supprimés en bordure	-1
Nbre d'arbres supprimés dans peignes	-16
Nbre d'arbres existants conservés	52
Nbre d'arbres à fonction d'ombrage à ajouter	44
Nbre d'arbres ajoutés sur plan paysager en bordure	45
Nbre d'arbres ajoutés sur plan paysager en peigne	6
Nbre total d'arbres à fonction d'ombrage ajoutés	51

Le tableau ci-dessus signifie :

- Que 289 places de stationnement bénéficieront d'un ombrage réalisé par des arbres plutôt que par des ombrières PV, ce qui nécessite la présence d'au moins 96 arbres à fonction d'ombrage, c'est-à-dire en bordure de stationnement ou au milieu des peignes ;
- Que 52 arbres à fonction d'ombrage existants sont conservés ; seuls 16 arbres existants au niveau des peignes et 1 arbre existant en bordure sont supprimés ;
- Que 51 arbres à fonction d'ombrage sont ajoutés, ce qui porte leur total à 103 unités, pour un minimum de 96 requis par la réglementation.

103 arbres réaliseront la fonction d'ombrage pour 289 places de stationnement, soit 8 unités de plus que le nombre requis par la réglementation. Parmi ces 103 spécimens, 52 sont déjà existants et conservés, et 51 sont ajoutés dans le cadre du projet paysager.

Précisions sur la qualité des arbres supprimés

Le projet de réaménagement du parking ainsi que d'implantation des ombrières implique de supprimer 17 arbres existants, comme mentionné ci-dessous. Un relevé écologique des arbres existants réalisé par un écologue qualifié d'ELAN a permis de qualifier la valeur écologique de chaque spécimen. Cette indicateur est une synthèse de plusieurs critères caractérisant les spécimens, tels que la hauteur, la circonférence du tronc, le stage de développement et la vigueur.

Le résultat de cet indicateur ainsi que les spécimens qui seront supprimés (entourés en rouge) figurent sur le plan ci-dessous :



La valeur écologique des différents spécimens est détaillée ci-dessous :

N° de spécimen	Valeur écologique
13	1
14	2
15	1
16	1
27	2
28	2
29	2
30	2
31	2
32	2
33	2
34	2
83	3



84	1
85	3
86	2
113	1

Sur les 17 arbres supprimés dans le cadre du projet :

- 5 spécimens ont une valeur écologique de 1/5
- 10 spécimens ont une valeur écologique de 2/5
- 2 spécimens ont une valeur écologique de 3/5

2.4 Calcul de la surface d'ombrières photovoltaïques à installer

La loi ne précise pas comment mixer les exigences réglementaires entre ombrage réalisé par des arbres avec un ratio d'un arbre pour 3 places, et ombrage réalisé par des ombrières PV avec un ratio de 50% de la surface de voirie et de stationnement.

Nous avons considéré dans cette étude que lorsqu'une place de stationnement était ombragée par un arbre, cela incluait également le prorata de voirie servant à desservir cette place de stationnement. A l'échelle du parking du site, cela représente une surface de voirie de 14,8 m² par place.

Les 289 places ombragées par des arbres représentent donc les surfaces suivantes :

- 3 613 m² pour les places de stationnement, à raison de 12,5 m² par place de stationnement ;
- 4 265 m² pour la voirie, à raison d'un ratio de voirie de 14,8 m² par place de stationnement.

Le bilan de la surface d'ombrières à installer est donc le suivant :

SURFACE D'OMBRIERES PV A INSTALLER SUR TERRE-PLEIN SUR LE SITE DE STRASBOURG (m²)	
Réponse à l'Art. L111-19-1 du code de l'urbanisme par des arbres à canopée large	
Surface de stationnement ombragée par des arbres	3 613
Prorata de voirie liée aux stationnements ombragés par des arbres	4 265
Surface assujettie ombragée par des arbres	7 878
Réponse à l'Art. L111-19-1 du code de l'urbanisme par des ombrières PV	
Surface stationnement	3 006
Voirie	3 542
Surface assujettie pour le calcul de la surface d'ombrières PV	6 548
Surface de panneaux à mettre en place	3 274

En tenant compte de l'exonération sur le vide sanitaire, et en répondant à la réglementation pour l'ombrage de 289 places de stationnement par des arbres à canopée large, il reste 3 274 m² de panneaux photovoltaïques à installer sur des ombrières.

3 Structure et implantation des ombrières photovoltaïques

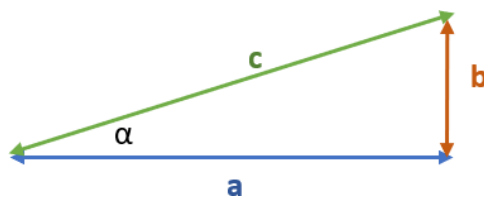
3.1 Choix de l'inclinaison de l'ombrière

Les fabricants de structures secondaires permettant de fixer les panneaux sur les structures principales autorisent une inclinaison entre 5 et 15°.

Le choix de l'angle dépend de plusieurs paramètres :

- Surface réelle développée par rapport à l'emprise au sol : augmente avec l'inclinaison
- Hauteur de la panne faîtière : augmente avec l'inclinaison
- Ombres portées sur les ombrières voisines : augmente avec l'inclinaison
- Encrassement : diminue avec l'inclinaison.

Afin d'évaluer les ordres de grandeur de ces paramètres pour différentes inclinaisons, nous avons réalisé la synthèse trigonométrique suivante :



a (m)	α (deg)	b (m)	c (m)	Surface en m ² avec des travées de		
				40 m	50 m	60 m
10	5	0,87	10,04	401,5	501,9	602,3
10	10	1,76	10,15	406,2	507,7	609,3
10	15	2,68	10,35	414,1	517,6	621,2
12	5	1,05	12,05	481,8	602,3	722,8
12	10	2,12	12,19	487,4	609,3	731,1
12	15	3,22	12,42	496,9	621,2	745,4



Cette analyse permet de constater :

- Que la surface réelle développée par rapport à un angle de 5%, à emprise au sol équivalente :
 - Est de 1,2% supérieure pour 10°
 - Est de 3,1% supérieure pour 15°
- Que la hauteur de la panne faîtière, pour une hauteur de panne à l'égout de 3m et une portée de 12m :
 - Est de 4,05 m pour un angle de 5%
 - Est de 5,12 m pour un angle de 10%
 - Est de 6,22 m pour un angle de 15%.

Par ailleurs, nous avons simulé les différents productibles pour une orientation sud à Strasbourg et différentes inclinaisons :

- 5° : 909 kWh/kWc/an
- 10° : 945 kWh/kWc/an
- 15° : 975 kWh/kWc/an

Pour une orientation sud, il y a donc 4% d'écart entre l'inclinaison 10° et celle à 5°, et 7% d'écart entre l'inclinaison 15° et celle à 5°.

L'inclinaison à 15° nous paraît exclue compte tenu de l'encombrement généré par une hauteur faîtière à plus de 6m de haut.

Entre une inclinaison à 5° et une à 10%, la différence de productible pour une orientation sud est de l'ordre de 5% ; cette différence sera vraisemblablement plus faible pour des orientations ouest, est ou mixées entre les deux.

Nous privilégions donc l'orientation de 5° qui permet de minimiser la hauteur au faîte, et ainsi :

- De minimiser l'impact visuel et les ombres portées
- De minimiser la quantité de métal utilisée pour les poteaux, et en conséquent de minimiser également la taille et donc le coût des fondations.




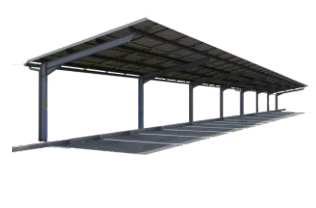



Le seul inconvénient concerne l'encrassement, qui sera plus rapide avec une pente moindre. Le nettoyage des panneaux devra donc être plus fréquent.

L'inclinaison avec une pente à 5° est selon nous la plus avantageuse du point de vue technico-économique.

3.2 Choix de la forme de l'ombrière

Nous avons basé nos calculs de faisabilité sur des ombrières métalliques. Une variante en bois pourra être étudiée dans un second temps sur un type d'ombrières sélectionné, mais ceci amène à augmenter considérablement les sections des structures.

Il existe plusieurs formes d'ombrières métalliques comme le montrent les exemples ci-dessous :

			
A poteaux centrés	A doubles poteaux centrés	En Y	Déportée
			
En portique avec poteaux aux extrémités	En N	En W	

Sur Strasbourg, nous avons étudié trois variantes :

- A poteaux centrés ;
- En Y ;
- En W.

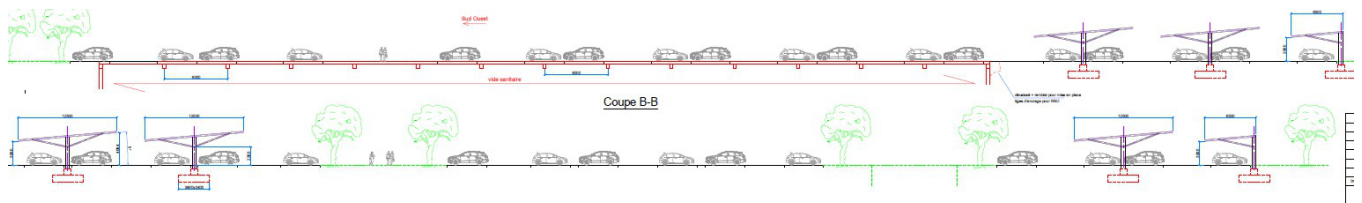
Les implantations correspondantes avec les coupes figurent ci-dessous (rectangle rouge = emplacement des poteaux avec emprise des fondation) :

A poteaux centrés :

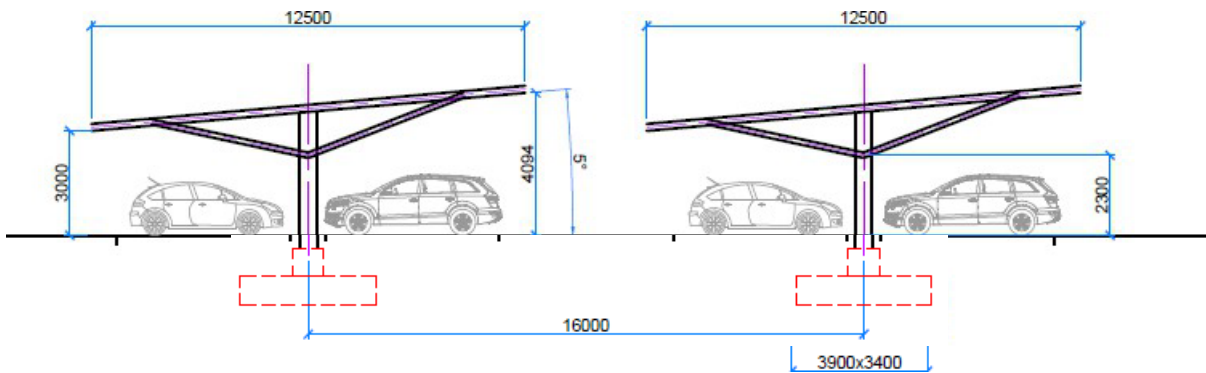


Plan non définitif – Version phase étude

Coupes A-A et B-B :



Détails des ombrières :



En Y :

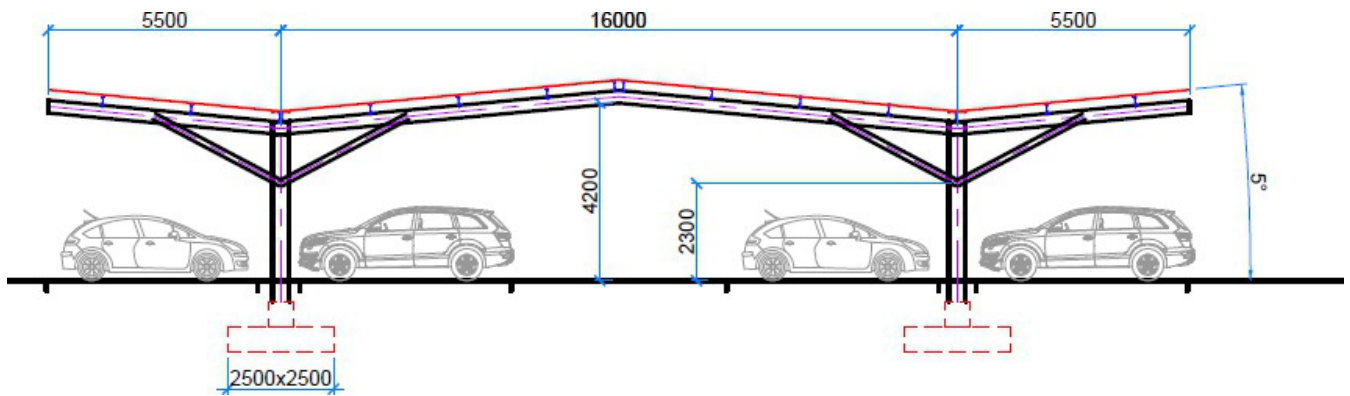


Plan non définitif – Version phase étude

Coupes A-A et B-B :



Détails des ombrières :

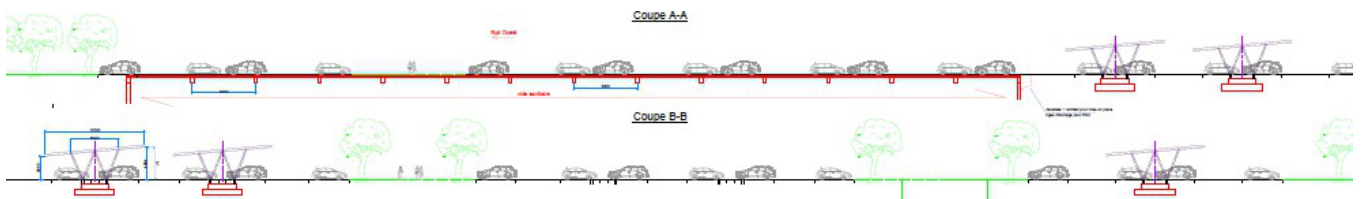


En W :

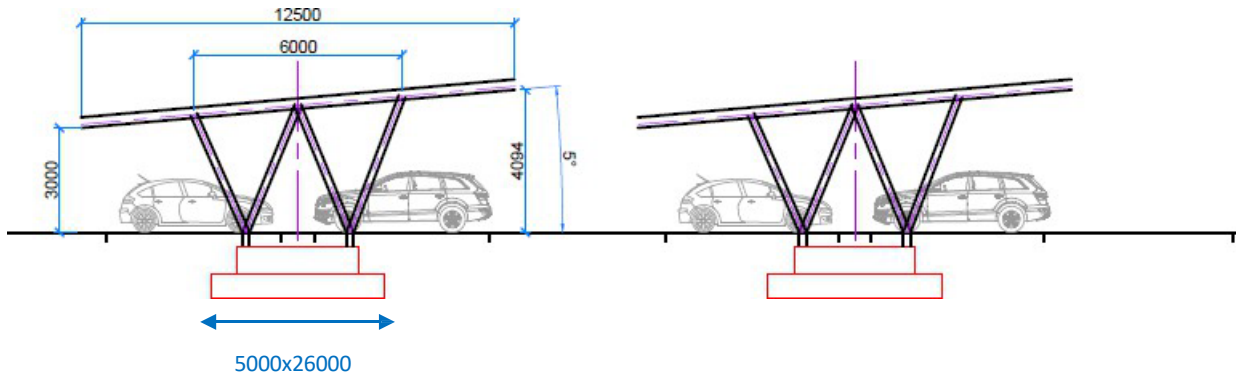


Plan non définitif – Version phase étude

Coupes A-A et B-B :



Détails des ombrières :



Ci-dessous une synthèse des différentes configurations :

	Poteaux centrés	Poteaux en Y	Poteaux en W
Surface PV terre-plein (rappel : min 3 274 m ²)	3 271 m ²	3 365 m ²	2 686 m ²
Ratio total structure terre-plein	170 €/m ² (dont fondations : 89 €/m ²)	126 €/m ² (dont fondations : 38 €/m ²)	173 €/m ² (dont fondations : 89 €/m ²)
Orientations des panneaux	Sud-ouest	Sud-Ouest / Nord-est	Sud-ouest
Facilité de circulation et de stationnement	Aisé : poteaux au niveau des bandes centrales des peignes ou en bordure	Aisé : poteaux au niveau des bandes centrales des peignes ou en bordure	Malaisé : poteaux dans la longueur du stationnement

Par ailleurs, nous avons simulé la différence de rendement entre une orientation sud-ouest (cas poteaux centrés et en W), et une double orientation sud-ouest / nord-est :

- Orientation sud-ouest : 950 kWh/kWc
- Orientation sud-ouest / nord-est : 920 kWh/kWc.

L'orientation des structures en Y est moins favorable que les deux autres en termes de rendement, du fait de l'orientation nord-est de la moitié des panneaux installés. Toutefois, cette perte ne représente que 3% du potentiel d'une orientation 100% sud-ouest.

La solution à poteaux centrés est plus onéreuse que celle à poteaux en Y, notamment du fait des fondations qui sont plus importantes, car les ombrières ne se contreventent pas les unes les autres.

La solution à poteaux en W est aussi onéreuse que celle à poteaux centrés, et par ailleurs elle présente de gros inconvénients en termes d'ouverture des portières. Par ailleurs, la surface requise sur terre-plein n'est pas atteinte avec cette configuration ; il faudrait la compléter avec des ombrières déportées sur les bords à droite du parking, comme dans la solution à poteaux centrés.

Pour l'ensemble des raisons évoquées ci-dessus, nous avons sélectionné la forme d'ombrières en Y pour le site de Strasbourg. Ceci permet d'installer 3 365 m² de panneaux, et ainsi de respecter le minimum réglementaire de 3 274 m² à installer.

4 Récupération et traitement des eaux pluviales

La loi impose une gestion des eaux pluviales (EP) à la parcelle pour au moins 50% de la surface du parking.

Pour la surface sur vide sanitaire, aucune infiltration n'est possible. Nous restons donc sur le traitement actuel par collecte dans le réseau EP cheminant en sous-face de la dalle haute du vide sanitaire et évacuation vers le réseau communal.

Pour la surface d'ombrières et la voirie directement associée, nous souhaitons mettre en place des jardins de pluie.

Pour les places de stationnement ombragées par des arbres, nous souhaitons mettre en place une surface infiltrante de type Evergreen®.

4.1 Collecte et traitement des eaux pluviales (EP) sur les ombrières et la voirie associée

Le système de collecte des eaux pluviales est fourni par le fabricant de la structure secondaire permettant de fixer les panneaux PV sur les ombrières. Toutes les EP sont collectées via un système de rigoles en sous-face de panneaux, puis collectées dans la gouttière de l'ombrière et acheminées en pied de poteau par une descente d'EP.

Les EP ainsi collectées sont envoyées vers une conduite souterraine à installer, qui débouche sur un jardin de pluie, via leur passage par un séparateur à hydrocarbures. Les jardins de pluie sont des bassins d'infiltration paysagers ; outre leur fonction infiltrante, ils sont source de fraîcheur pour le site et favorisent le développement de la biodiversité, comme le montre les inspirations ci-dessous :



Exemples de jardins de pluie

Ces jardins de pluie serviraient également au traitement des EP collectées sur les voiries directement associées aux stationnement ombragés par des ombrières PV, comme le montre le schéma ci-dessous :



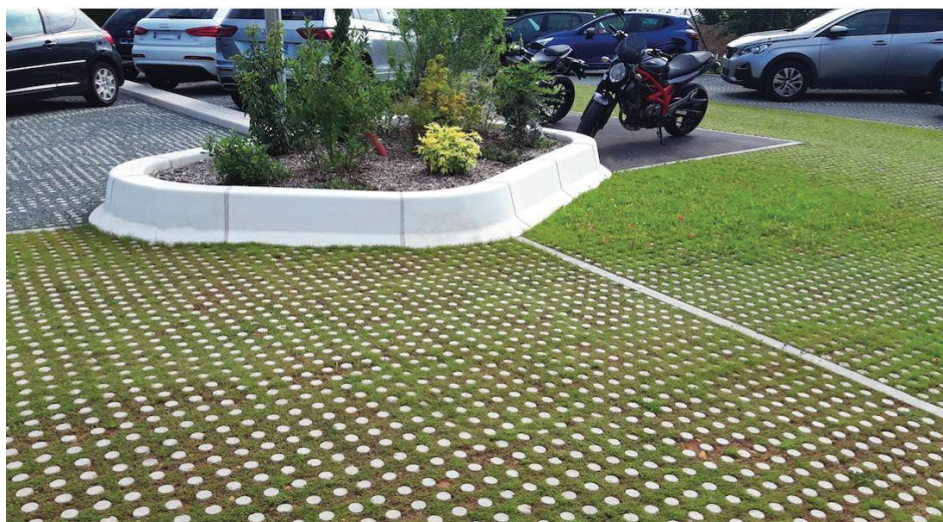
Plan non définitif – Version phase étude

- Emprises ombrières photovoltaïques
- Jardins de pluie
- Places Evergreen
- Voiries avec infiltration dans jardin de pluie

Les jardins de pluie sont dimensionnés avec une superficie de 5 à 10 % de la surface de collecte. Sur le plan ci-dessus, les jardins de pluie traitent les EP d'une surface de 4 142 m². Pour le site, nous avons en 1^{ère} approche prévu trois bassins totalisant une surface de 556 m², ce qui permet d'avoir de la marge de manœuvre selon les capacités infiltrantes réelles du sol.

4.2 Infiltration des EP au niveau des places de stationnement ombragées par des arbres

Pour ces places de stationnement, nous souhaitons un traitement par infiltration grâce à un revêtement de type Evergreen :



4.3 Bilan du traitement des EP

Le traitement des EP par les jardins de pluie et par les places en Evergreen permet de dresser le bilan suivant :

STRATEGIE DE TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES A LA PARCELLE (m ²)	
Ombrières PV: traitement par infiltration dans les jardins de pluie	3 365
Surface de voirie directement associée aux ombrières et traitée par infiltration dans les jardins de pluie	777
Stationnement ombragé par des arbres: traitement par infiltration dans les surfaces en Evergreen	3 613
Total de surface avec une gestion des EP à la parcelle	7 755
Total de surface voirie + stationnement assujettie	14 426
% de surface traitée par infiltration	53,8%

La stratégie adoptée pour le traitement des eaux pluviales permet de respecter le seuil réglementaire d'au moins 50% de la surface traitée à la parcelle par infiltration.

5 Calcul du taux d'autoconsommation

5.1.1 Définition

Taux d'autoconsommation

Il s'agit de la **part de l'électricité photovoltaïque produite qui est consommée directement par le bâtiment et qui n'est pas réinjectée sur le réseau.**

Dans notre cas, on calcule ici la part de l'électricité photovoltaïque produite par le champ PV qui est autoconsommée pour subvenir aux besoins électriques du magasin.

$$\frac{\text{électricité PV consommée}}{\text{électricité PV totale produite}}$$

5.1.2 Calcul du taux d'autoconsommation

Les simulations sur le productible solaire ont été effectuées avec les paramètres suivants :

- Panneau solaire JINKO 435 BIFACE et onduleur SOFAR
- Ombrières en forme de Y, orientées sud-ouest / nord-est et inclinées à 5°(voir chapitre 3)
- Prise en compte du fichier de puissance 10' transmis par ES-SE sur les trois dernières années, modifié de la manière suivante :
 - Intégration des travaux de remplacement des chaudières par des pompes à chaleur (travaux terminés en juillet 2024), ce qui implique des consommations d'électricité supérieures en hiver ;
 - Intégration de la future extension, ce qui implique des consommations électriques supplémentaires (éclairage, local de charge)
- Prise en compte du productible solaire des panneaux solaires installés sur 40% de la toiture de l'extension, à raison d'une puissance-crête installée de 404 kWc ;
- Non prise en compte des consommations aux bornes de recharge pour véhicules électriques, faute d'information et de modèles fiables sur ce point. Les résultats présentés ci-après seront donc vraisemblablement plus élevés en termes de taux d'autoconsommation, mais plus faibles en termes de taux d'autoproduction.

Les consommations du site ont été modélisées grâce à une simulation thermique dynamique réalisée avec le logiciel Pléïades-Comfie. Le productible solaire a été modélisé grâce au logiciel PVSYST.

Les résultats sont les suivants :

		Unité	STRASBOURG
Surface panneaux	Surface de panneaux PV installés sur ombrières	m ²	3 365
	Surface de panneaux PV installés sur toiture		1 950
	Surface totale de panneaux PV ombrières + toiture		5 315
Puissance-crête	Puissance crête installée sur ombrières	kWc	731
	Puissance crête installée sur toiture		404
	Puissance-crête totale ombrières + toiture		1 135
Indicateurs Energie	Consommations totales du site	kWh/an	2 052 865
	Productible solaire PV estimé		1 051 405
	Energie autoconsommée		751 955
	Energie revendue en surplus		299 450
Indicateur %	Taux d'autoconsommation	%	72%

Dans le cas étudié, et en tenant compte des panneaux solaires installés sur la toiture de la future extension, le taux d'autoconsommation du site serait de 72%.

A noter que cette estimation ne prend pas en compte les consommations aux bornes de recharge pour véhicules électriques. En incluant ces consommations, le taux d'autoconsommations serait ainsi plus élevé.

6 Aspects réglementaires

6.1 Autorisations d'urbanisme

Selon l'article R421-14 du code de l'urbanisme, la construction d'ombrières d'une emprise au sol de plus de 20 m² (40 m² en secteur U du PLU) sont soumises à **l'obtention préalable d'un permis de construire**.

6.2 Autorisations environnementales

Selon l'annexe à l'art R.122-2 du code de l'environnement, les ombrières PV sur parking **ne sont pas soumises à évaluation environnementale** :

30. Installations photovoltaïques de production d'électricité (hormis celles sur toitures, ainsi que celles sur ombrières situées sur des aires de stationnement)	Installations d'une puissance égale ou supérieure à 1 Mwc, à l'exception des installations sur ombrières	Installations d'une puissance égale ou supérieure à 300 kWc
---	--	---

6.3 Tarif de rachat CRE

Pour les installations d'une puissance supérieure à 500 kW, il est nécessaire de participer à un appel d'offre Autoconsommation organisé par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE).

Une des conditions de la participation à cet appel d'offre est que le taux d'autoconsommation soit supérieur à 50% :

La CRE vérifie **la compatibilité** des offres au regard des conditions d'admissibilité :

- Installations **situées** en France métropolitaine continentale (tous AO sauf ZNI) / dans les ZNI (si concerné) ;
- Respect de **l'objet de l'appel d'offres** (familles de candidatures et seuils de puissance) ;
- Respect des **règles de distances** pour les AO avec des volumes réservés ou des seuils d'éligibilité ;
- **Empreinte carbone** inférieure au seuil fixé par le cahier des charges ;
- Installations **n'ayant pas été désignées lauréates** auparavant ;
- Taux minimum d'autoconsommation pour l'AO autoconsommation (50%).

Ce taux minimal de 50% est respecté dans le cas étudié, car il atteint 72%.

7 Coûts estimatifs

7.1 Détail des postes pris en compte

Pour estimer le montant des investissements liés à l'installation des ombrières, nous avons pris en compte les postes suivants :

STRUCTURE :

- Charpente métallique
- Pannes
- Gros-œuvres (fondations), compris ouverture de la voirie existante ;
- Renforcements structurels en vide sanitaire dans le cas de la variante

ELECTRICITE :

- Etudes et installation de chantier
- Adaptations nécessaires du poste de transformation HTA/BT existant dans le magasin
- Poste de transformation préfabriqué BT/HTA dédié à l'installation solaire sur ombrières, installé sur le parking
- TGBT solaire dans le poste préfabriqué
- Panneaux solaires et onduleurs
- Structure secondaire supportant les panneaux
- Collecte des EP jusqu'en pied de poteau des ombrières
- Tranchées et câblages HTA, BT et courant faible
- Communication : reporting des informations, comptage
- Eclairage extérieur sous ombrières

AUTRES COÛTS :

- Fondations pour le poste préfabriqué : forfait de 10 000 €
- Raccordement des descentes d'EP au réseau d'EP enterré du parking : estimation selon implantation des ombrières (environ 5000 € pour 1500 m² d'ombrières)

COÛTS NON COMPRIS DANS L'ESTIMATION :

- Réfection de l'enrobé suite à ouverture pour les fondations, les tranchées électriques et les tranchées vers le réseau EP, et plus généralement tout ce qui concerne la remise en état du parking suite aux travaux
- Aspects paysagers des travaux : plantation d'arbres, dispositifs de gestion des EP à la parcelle

7.2 Estimation du montant des travaux

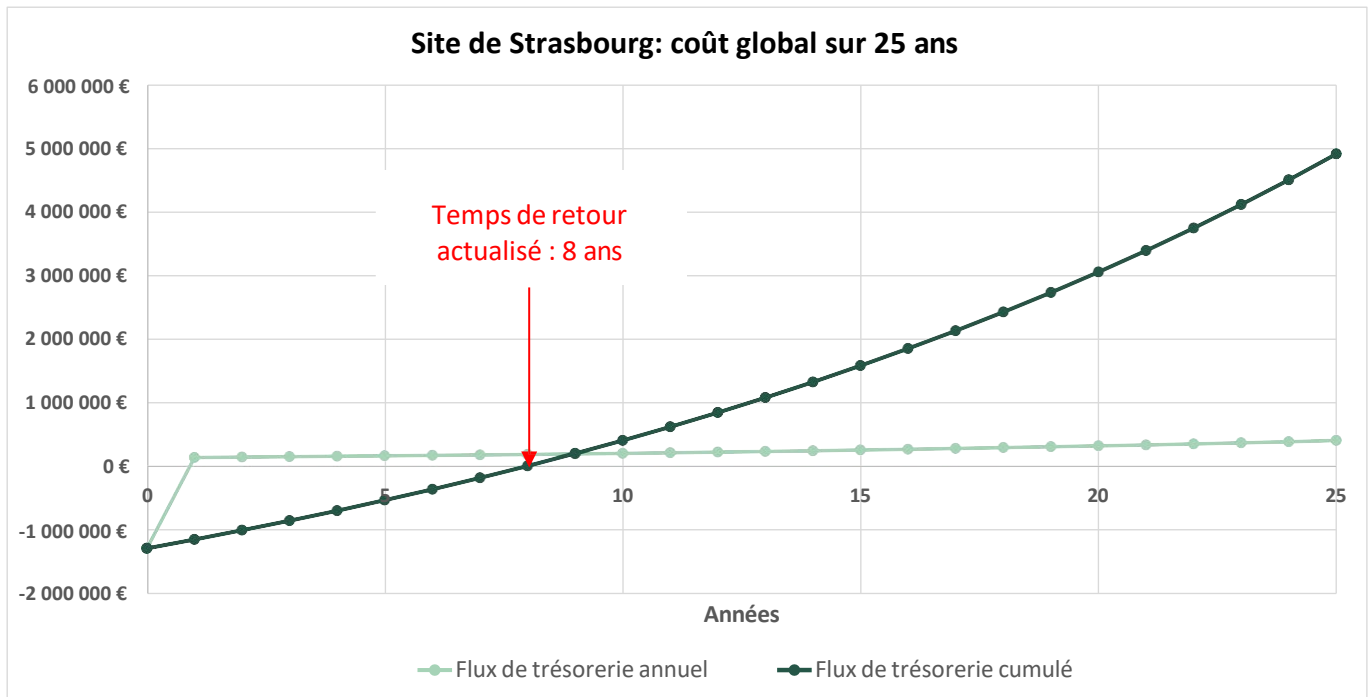
		Montants en € HT		
		Montant total	Ratio €/m ² panneau PV	Ratio € / kWc
Structure	Fondations / G-O	129 500	38,5	177,2
	Structure métallique	295 900	87,9	404,8
	Sous-total Structure	425 400	126,4	581,9
Electricité	Adaptations du poste de transformation existant	32 750	9,7	44,8
	Poste de transformation PV et autres travaux électriques	436 307	129,7	596,9
	Structure secondaire	106 029	31,5	145,0
	Panneaux PV, onduleurs et câblages	262 389	78,0	358,9
	Sous-total Electricité	837 474	248,9	1 145,7
Autres travaux	Socle poste transfo préfa	10 000	3,0	13,7
	Raccordement au réseau EP	15 000	4,5	20,5
	Sous-total autres travaux	25 000	7,4	34,2
Total général		1 287 874	382,7	1 761,8

7.3 Temps de retour sur investissement actualisé

Hypothèses :

- Coût du kWh payé par le magasin : 0,16 € HT / kWh
- Montant du kWh exporté via un appel d'offre CRE : 0,1045 € HT / kWh (tarif issu de la dernière session de l'AO CRE)
- Coût de la maintenance annuelle : 5 € HT / kWc / an
- Inflation du coût de l'énergie hors inflation courante : 5% par an
- Taux d'actualisation financière : 0%

Pour le cas présenté dans cette étude, le temps de retour actualisé est de 8 ans :



Le temps de retour actualisé pour le site de Strasbourg serait de l'ordre de 8 ans.

8 Planning

En comptant 4 mois d'études et de consultation, nous estimons que les travaux s'étaleraient sur environ 8 mois, plus la réfection du parking dont la durée dépend de la nature des travaux réalisés.

Ci-dessous une estimation du planning avec un début fictif au 01/01/2025 :

