



Evaluation du potentiel PV des infrastructures routières du canton de Neuchâtel

Rapport d'étude

Septembre 2023



Luc Humberset – Responsable de projet énergies renouvelables

Laurent De Block – Superviseur de projet



A. Éléments principaux

1. Contexte et objectifs de l'étude
2. Méthodologie
3. Sélection des objets à analyser
4. Résultats
5. Conclusion

B. Rapport détaillé

1. Méthodologie détaillée et hypothèses
2. Résultats détaillés sur la sélection des objets à évaluer
3. Résultats détaillés sur l'évaluation du potentiel PV
4. Conclusion et limites de l'étude

Lecture du rapport

| Nom | Définition |
|-----------------|--|
| Objet | Elément de l'infrastructure routière à analyser, réparti selon types : ouvrages, murs de soutènement, parkings et bâtiments d'exploitation |
| Objet potentiel | Objet respectant les critères de sélection génériques et spécifiques à chaque type d'objet. |
| Objet évalué | Objet évalué technico-économiquement, suite à l'analyse visuelle et à la sélection des objets. |
| Ouvrage | Groupement de plusieurs types d'objets routiers : pont, tunnel, tranchée, passage supérieurs, etc. (cf. rapport détaillé). Ne comprend pas les murs de soutènement qui sont classés à part. |
| Coût spécifique | Coût rapporté à la puissance PV installée (unité en CHF / kW) |
| LCOE | <i>Levelized cost of electricity</i> : coût de production actualisé complet sur la durée de vie de l'installation. Intègre l'ensemble des composantes des coûts et la production sur l'ensemble de la durée de vie. |

| Abréviation | Définition |
|-------------|--|
| MNC | Modèle Numérique de Canopée. Fourni par le Canton, ce modèle fournit la présence et la hauteur de l'ensemble de la végétation du Canton sur une maille 1m x 1m. |
| PV | Photovoltaïque. |
| SITN | Système d'Information du Territoire Neuchâtelois. |
| PVGIS | Logiciel <i>PhotoVoltaic Geographical Information System</i> fourni par la Commission Européenne permettant l'estimation du productible solaire. |
| GRD | Gestionnaire du Réseau de Distribution d'électricité. Ils sont aux nombres de 4 sur le territoire neuchâtelois. |

Le code couleur suivant est utilisé pour l'ensemble des graphiques de résultat du rapport. Les ouvrages sont parfois regroupés entre eux pour la lisibilité des graphiques :

| | | | | |
|------------|---------------------|------------------|-----------|----------|
| ■ Murs | ■ Ouvrages | ■ Parkings | ■ Toiture | ■ Façade |
| ■ Pont | ■ Passage supérieur | ■ Tunnel | ■ Viaduc | |
| ■ Tranchée | ■ Buse | ■ Encorbellement | ■ Autre | |
| ■ Ponceau | ■ Passage inférieur | ■ Voûtage | | |

1^{ère} partie

Eléments principaux de l'étude

1. Contexte et objectifs de l'étude
2. Méthodologie
3. Sélection des objets à analyser
4. Résultats
5. Conclusion

Contexte, objectifs & méthodologie

Contexte & objectifs

- Le canton de Neuchâtel souhaite évaluer le potentiel de production solaire photovoltaïque de ses infrastructures routières.
- Les sites à analyser sont :
 - Ouvrages à proximité des routes
 - Murs de soutènement
 - Parkings publics
 - Bâtiments d'exploitation des routes (toitures et façades)
- L'étude comporte deux principales étapes :
 - 1. Catégorisation, évaluation du potentiel et classification
 - 2. Etude de faisabilité pour les sites jugés prioritaires.

La première étape est l'objet du présent rapport.

Approche méthodologique

Pour l'ensemble des différents objets étudiés (ouvrages, mur, parkings et bâtiments), le processus méthodologique schématisé ci-dessous a été appliqué (le détail de cette chaque étape méthodologique est fourni en deuxième partie du rapport).

Après une première **compréhension des données** à l'aide des experts du Canton, des **filtres** ont été appliqués pour estimer les objets potentiels, en premier lieu des filtres génériques à l'ensemble des données puis des critères spécifiques à chaque type d'objet. Ces objets potentiels ont été **analysés visuellement**, puis, pour ceux présentant un potentiel réaliste, ils ont été **évalués techniquement et économiquement**. Enfin **une priorisation des objets** a été réalisée sur base de l'ensemble des données et hypothèses.

Collecte et analyse des données à disposition

- Discussion avec les personnes de contact.
- Recherche de données utiles sur le SITN.

Application des filtres génériques

- Exclusion des objets situés en zone de danger, protection naturelle, paysagère et agricoles
- Prise en compte des ombrages des arbres (via le MNC 2022)

Application des filtres spécifiques à chaque catégorie

- Voir détails dans le rapport détaillé.
- Exemple : exclusion des parkings situés à plus de 150m des routes.

Si besoin: nettoyage «à la main» des objets. Basé sur analyse visuelle

- Analyse Photo360 et Google Street View
- Utilisation d'un formulaire pour homogénéiser les données.

Calcul automatisé de productible (scripts)

- Script python
- API avec PVGIS

Analyse technico-économique et priorisation

- Voir détails et hypothèses dans le rapport détaillé

Analyse visuelle

- L'analyse visuelle permet de construire **une base de données sur la faisabilité d'un projet photovoltaïque** sur les objets étudiés :
 - Orientation et pente des panneaux
 - Facilité d'accès et facilité de mise en œuvre de l'installation
 - Difficulté de mise en œuvre : impossibilité de mettre des panneaux, présence de trottoir, réduction du gabarit de la route, etc.
 - Obstacles et végétalisation présente sur la surface
 - Ombrages proches
 - Risques d'éblouissement
 - Nombre de panneaux / surface PV
 - Estimation du % de mur que l'on peut recouvrir de PV en prenant en compte obstacle, ombrage, etc.
- Les données sont aussi utilisées pour **la quantification du potentiel technique** et pour **l'évaluation économique**.



Exemple d'analyse visuelle

L'analyse visuelle se fait principalement à l'aide de Photo360 (le service du canton), et de Google Street View.

Evaluation technico-économique

- L'**objectif** de l'analyse technico-économique est de construire pour chaque objet évalué les indicateurs suivants :

| Indicateur | Unité |
|----------------------------------|---------|
| Puissance PV | kWc |
| Production | kWh |
| Note de faisabilité technique | - |
| Coût d'investissement spécifique | CHF/kWc |
| LCOE | CHF/MWh |
| LCOE avec subvention Pronovo | CHF/MWh |

- Les coûts **diffèrent selon les types d'ouvrages**, la taille de l'installation et la faisabilité technique.
- A partir de critères de notation (voir rapport détaillé), les objets sont **notés techniquement et économiquement**, puis **classifier selon priorité**.

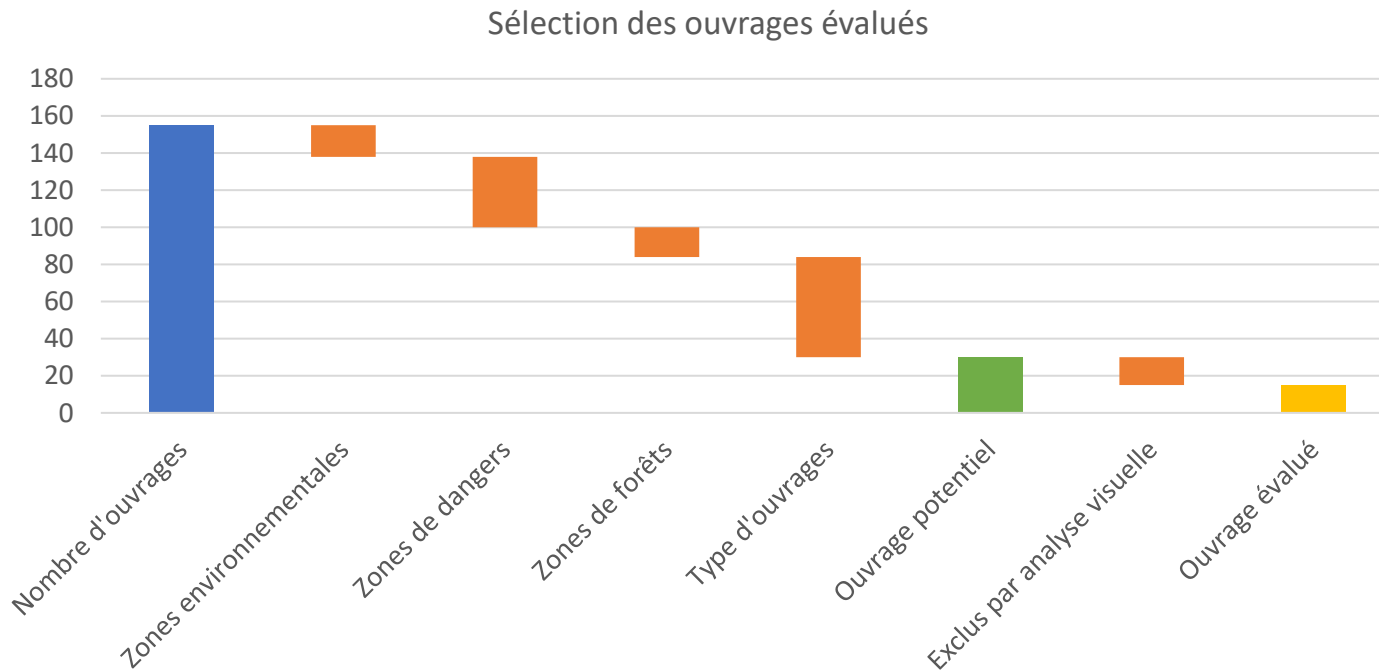
Résultats

Sélection des objets

Ouvrages à proximité des routes

Sélection des objets à évaluer

- Sur les 155 ouvrages routiers du canton (hors murs de soutènement), **125 sont exclus** à cause de leur localisation (présence en zone de dangers, forêt, de protection, etc.) ou à cause de leur typologie. Soit 30 objets analysés visuellement.
- 15 autres objets sont exclus sur analyse visuelle, l'analyse technico-économique se porte sur les **15 objets** restants.

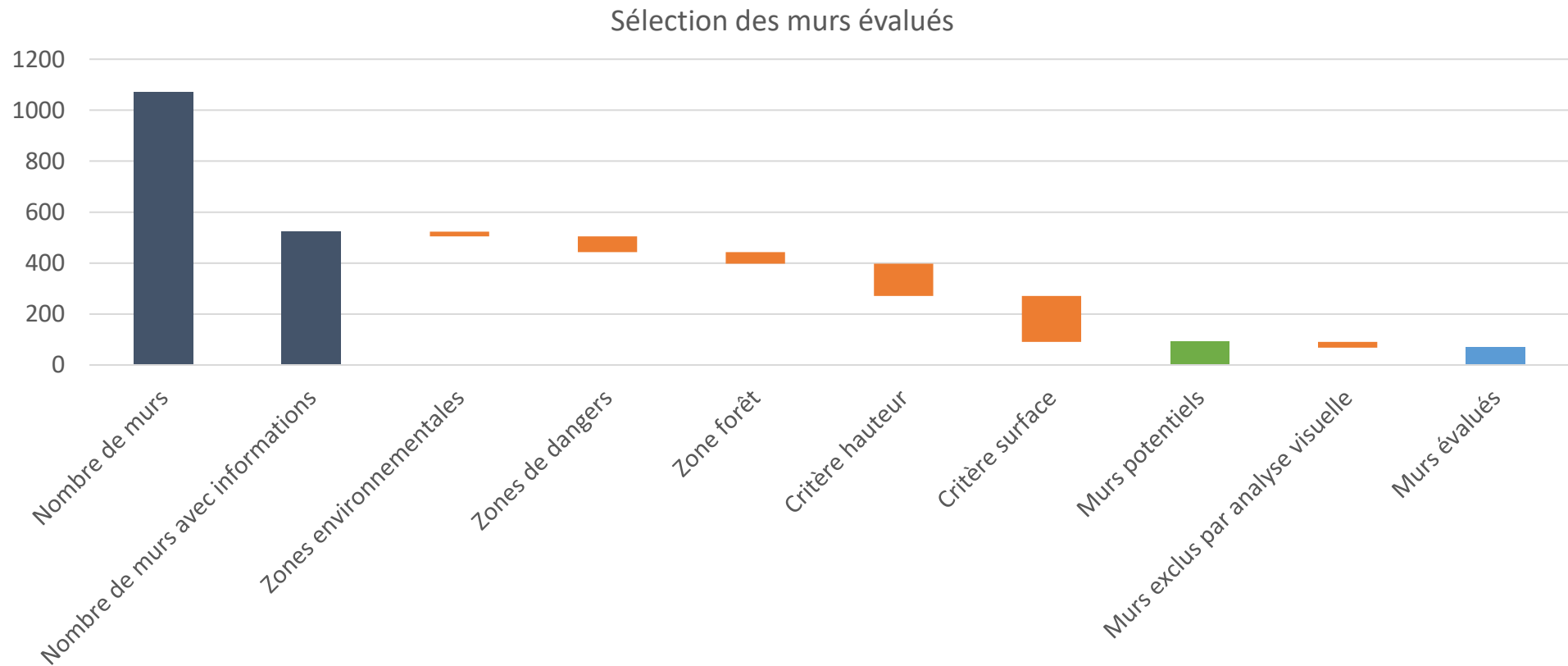


| Ouvrages évalués |
|--|
| Pont de Meudon |
| Passage supérieur du Quarre |
| Tranchée de Corcelles |
| Passage supérieur piéton Tranchée de Corcelles |
| Pont du Morguenet |
| Grand-Pont de Cornaux, sur voies CFF |
| Grand Pont, La Chaux-de-Fonds |
| Pont de Biaufond, La Chaux-de-Fonds/France |
| Passage supérieur route cantonale, Peseux |
| Tunnel de St.-Aubin |
| Pont de Bayerel, Engollon |
| Passage supérieur CFF de la Maigroge, St-Blaise |
| Viaduc sur la Sorge, Valangin |
| Passage supérieur RC Vaumarcus |
| Passage supérieur à piétons du Nid-du-Crô, Neuchâtel |

Murs de soutènement

Sélection des objets à évaluer

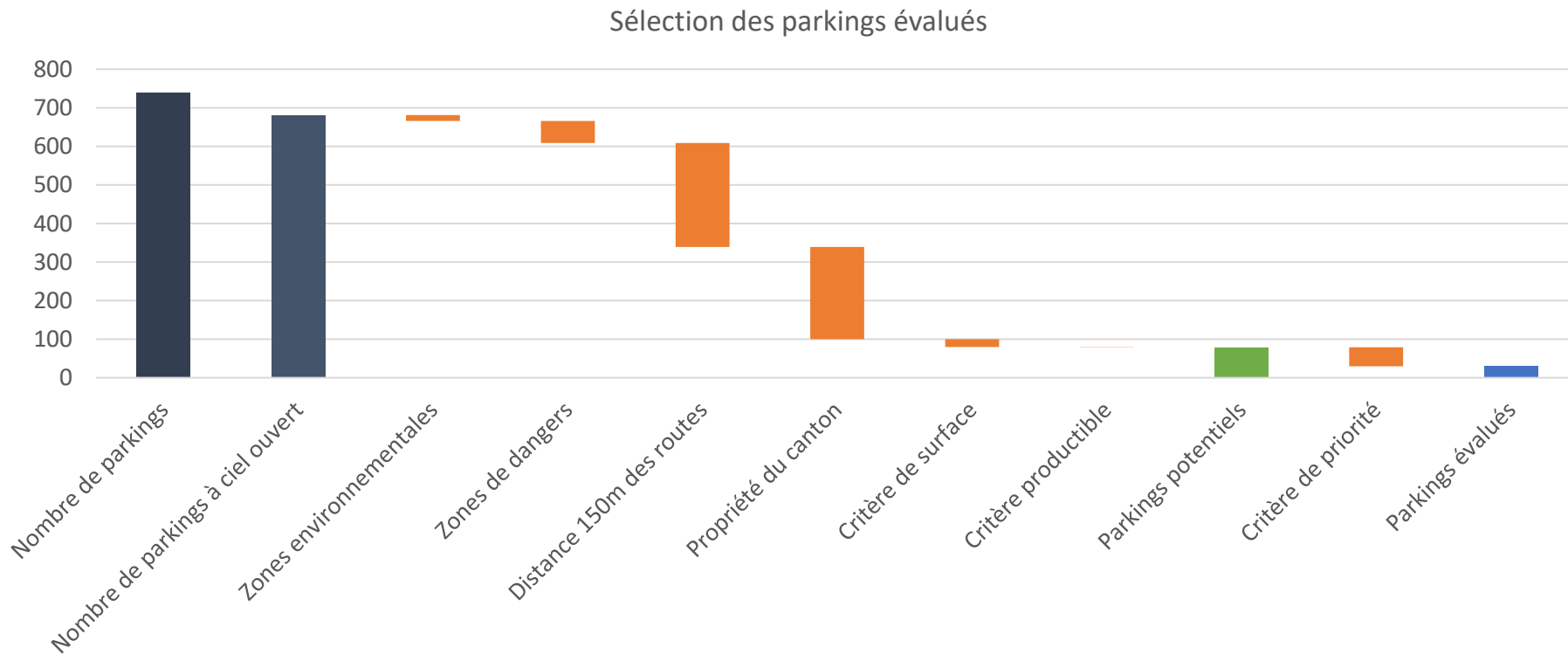
- Sur 1070 murs, environ **la moitié sont exclus** faute d'informations (coordonnées GPS, longueur, hauteur, etc.).
- 125 murs supplémentaires sont exclus à cause de leur localisation, et 308 à cause de leurs dimensions (hauteur ou surface), ce qui porte à 90 le nombre de murs analysés visuellement.
- 22 murs supplémentaires sont exclus après analyse visuelle (impossibilité évidente de mettre des panneaux solaires) : l'analyse technico-économique se porte sur les **68 murs restants évalués**.



Parkings

Sélection des objets à évaluer

- Sur les **681 parkings à ciel ouvert** du canton, 72 sont exclus à cause de leur localisation, et 530 parkings supplémentaires sont exclus car ne respectant pas une contrainte spécifique (distance à la toute, propriété du canton, taille et productible solaire).
- Sur les **79 parkings potentiels** restants, les **30 plus grands sont évalués**.

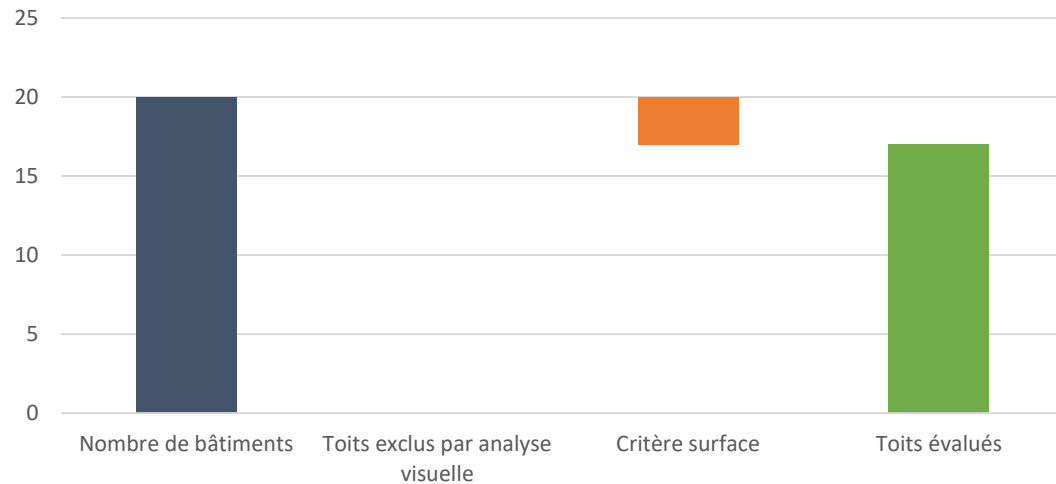


Bâtiment lié à l'exploitation des routes

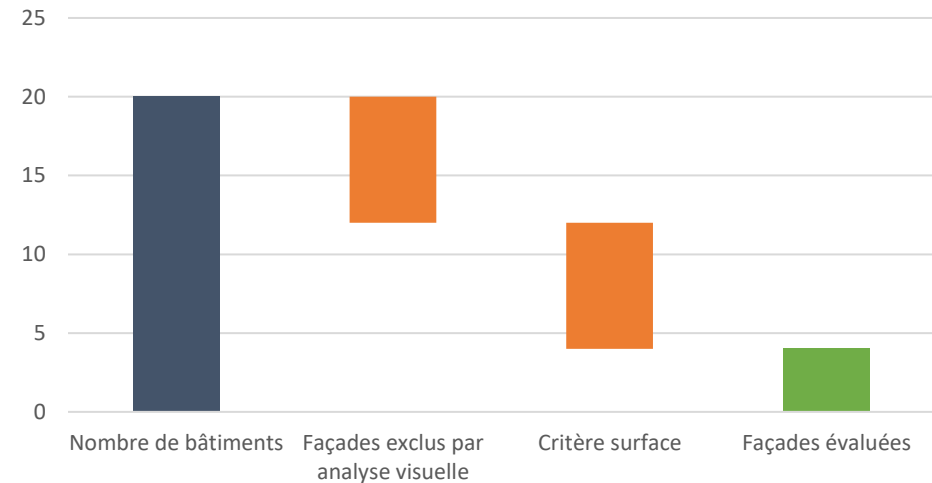
Sélection des objets à évaluer

- Sur les 20 bâtiments dédiés à l'exploitation des routes cantonales, aucune toiture n'est exclue par l'analyse visuelle mais 8 façades le sont. 3 toits de bâtiments sont exclus à cause de la surface disponible, et 8 façades supplémentaires.
- Au total, **17 toits et 4 façades sont évalués.**

Sélection des toits



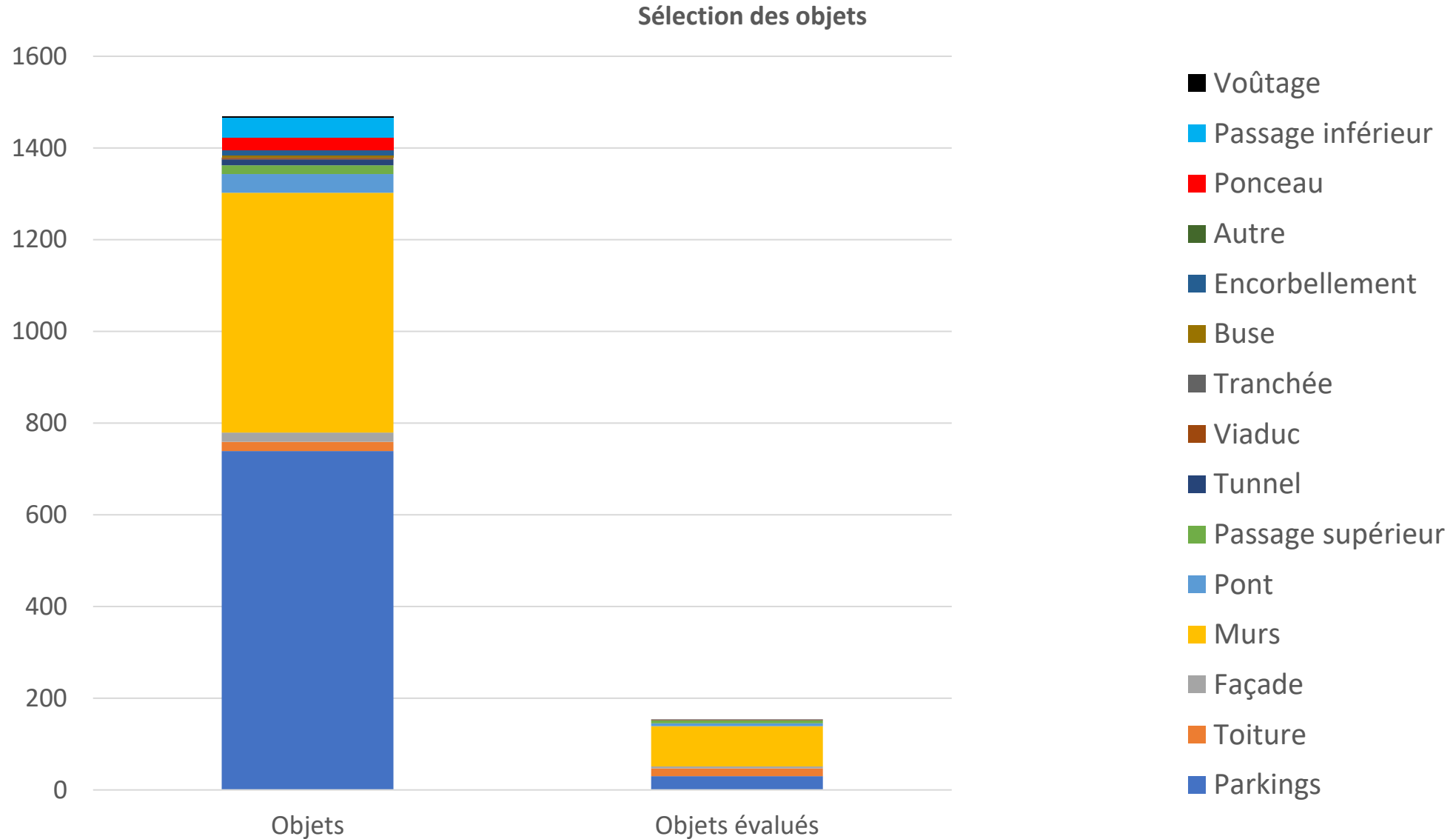
Sélection des façades



- NB: les toits et façades sont évalués séparément alors qu'en pratique un projet PV pourrait avoir lieu sur les deux objets. Cela s'explique par le fait qu'un projet PV façade est rarement rentable.

Bilan sur la sélection des objets

- 154 objets sont évalués et sont catégorisés par priorité :



Résultats

Evaluation technico-économique

Evaluation technique

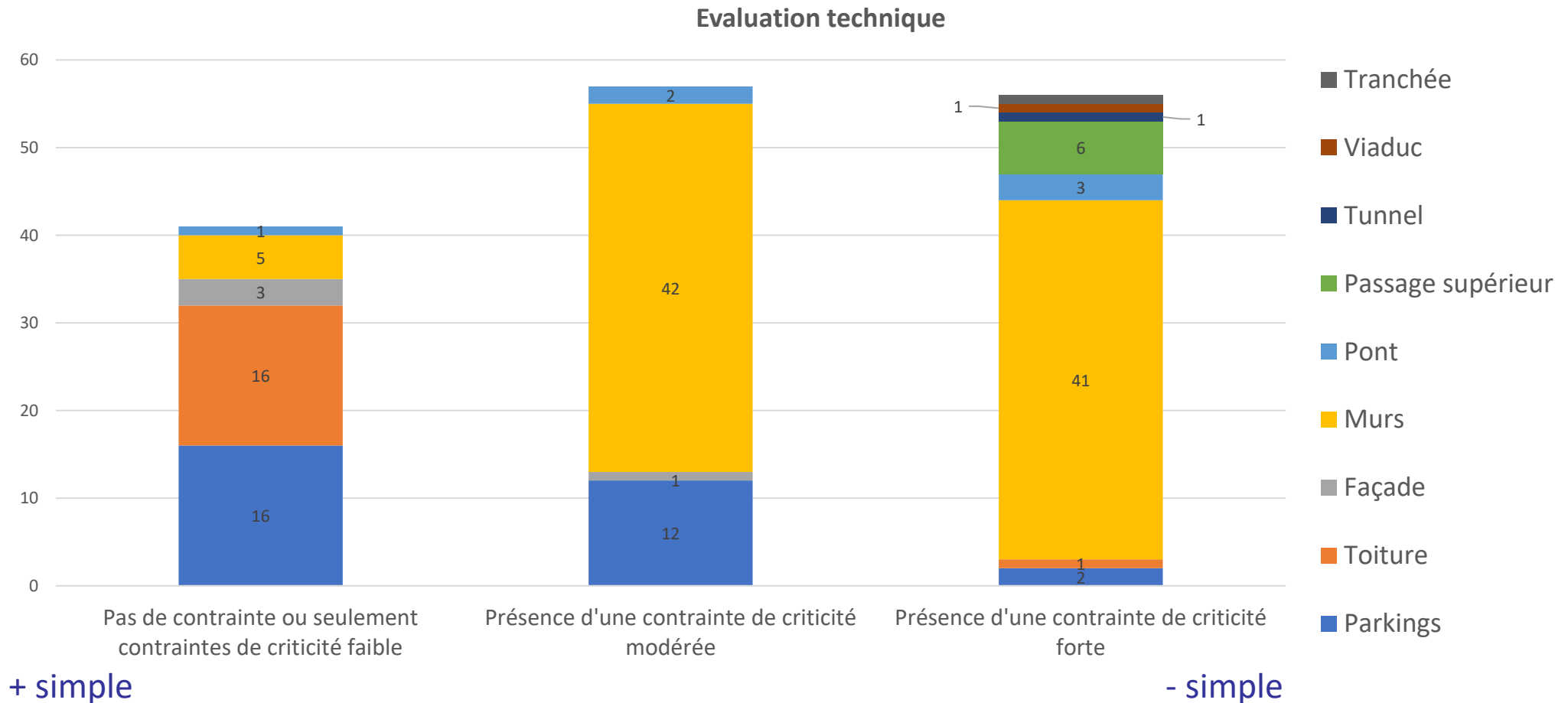
Faisabilité technique

L'analyse de faisabilité consiste à évaluer visuellement si les objets présentent des contraintes à l'installation PV. Les contraintes sont classées par degré de criticité (voir le détail des contraintes dans le rapport détaillé).

Sur les 154 objets évalués, une quarantaine ne présente pas de contraintes techniques modérées ou fortes : ce sont notamment les toitures et une partie des parkings.

Les murs ont pour la moitié une contrainte forte, et pour l'autre moitié une contrainte modérée (principalement accès pour la maintenance du à la route). 5 murs n'ont que peu de contraintes

Pour les ouvrages, seulement 3 ponts n'ont pas de contrainte forte.

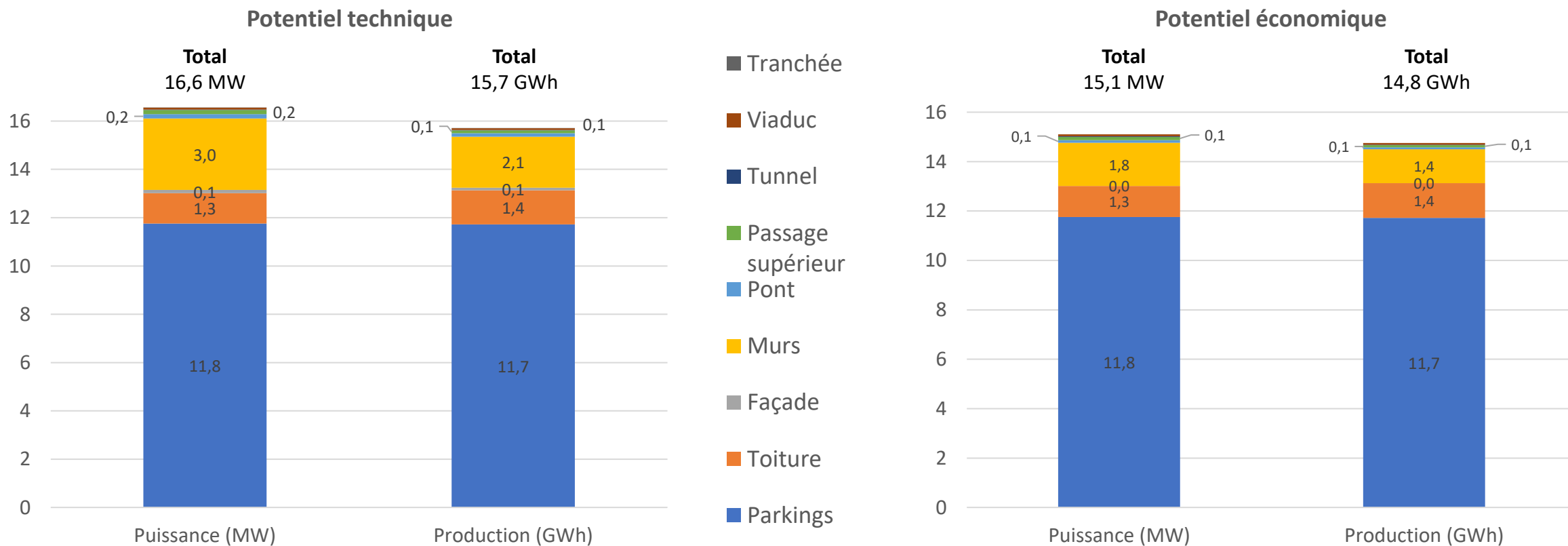


Potentiel photovoltaïque

Le potentiel solaire *technique* des infrastructures routières du Canton est principalement sur toitures des bâtiments, parkings et murs de soutènement.

Le potentiel solaire *économique* est défini pour les objets permettant une installation de plus de 20 kWc, avec un LCOE de moins de 300 CHF/MWh soit 30 centimes/kWh :

- L'ensemble du potentiel des toitures et parkings est aussi pertinent économiquement. Pour les murs, 60% du potentiel technique est pertinent d'un point de vue économique.
- Un potentiel faible, mais existant, est disponible sur certains pont, viaduc, passage supérieur, voire même tunnel.



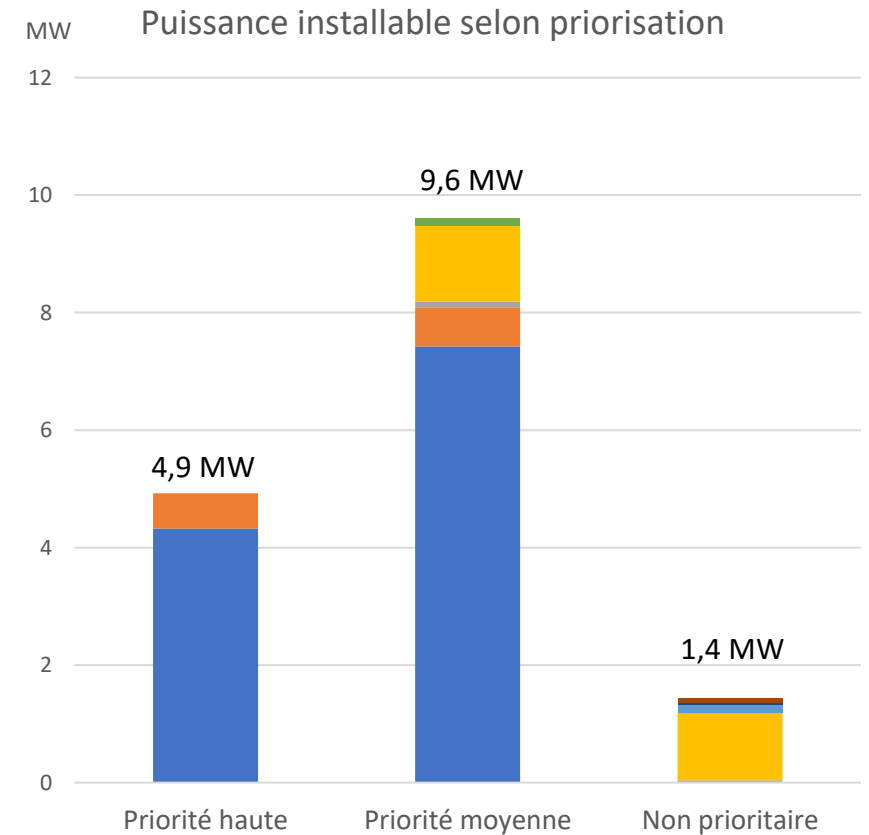
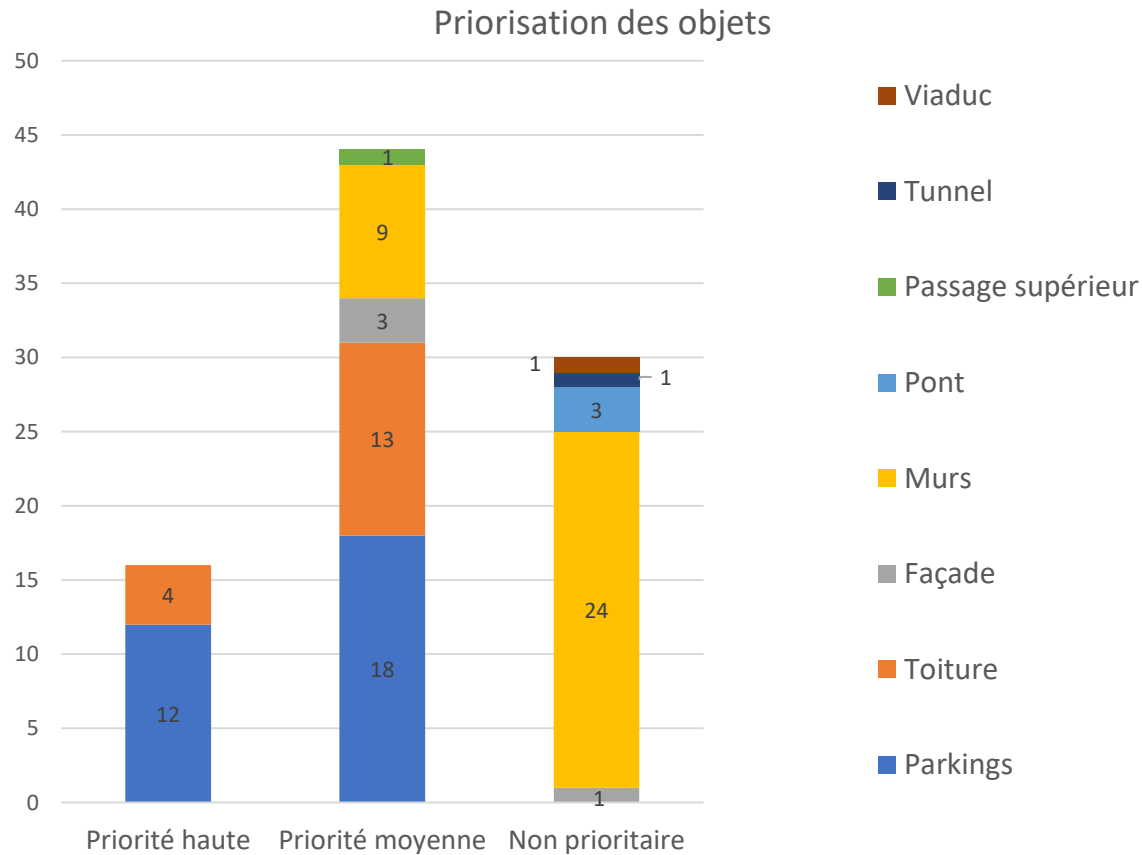
Conclusion

Priorisation des objets (1/2)

16 objets sont à prioriser en premier, dont 12 parkings et 4 toitures de bâtiments, avec un potentiel total de 5 MW.

Le reste des parkings et des toitures est à mobiliser en second, ainsi que 13 objets supplémentaires (9 murs, 3 façades et 1 passage supérieur).

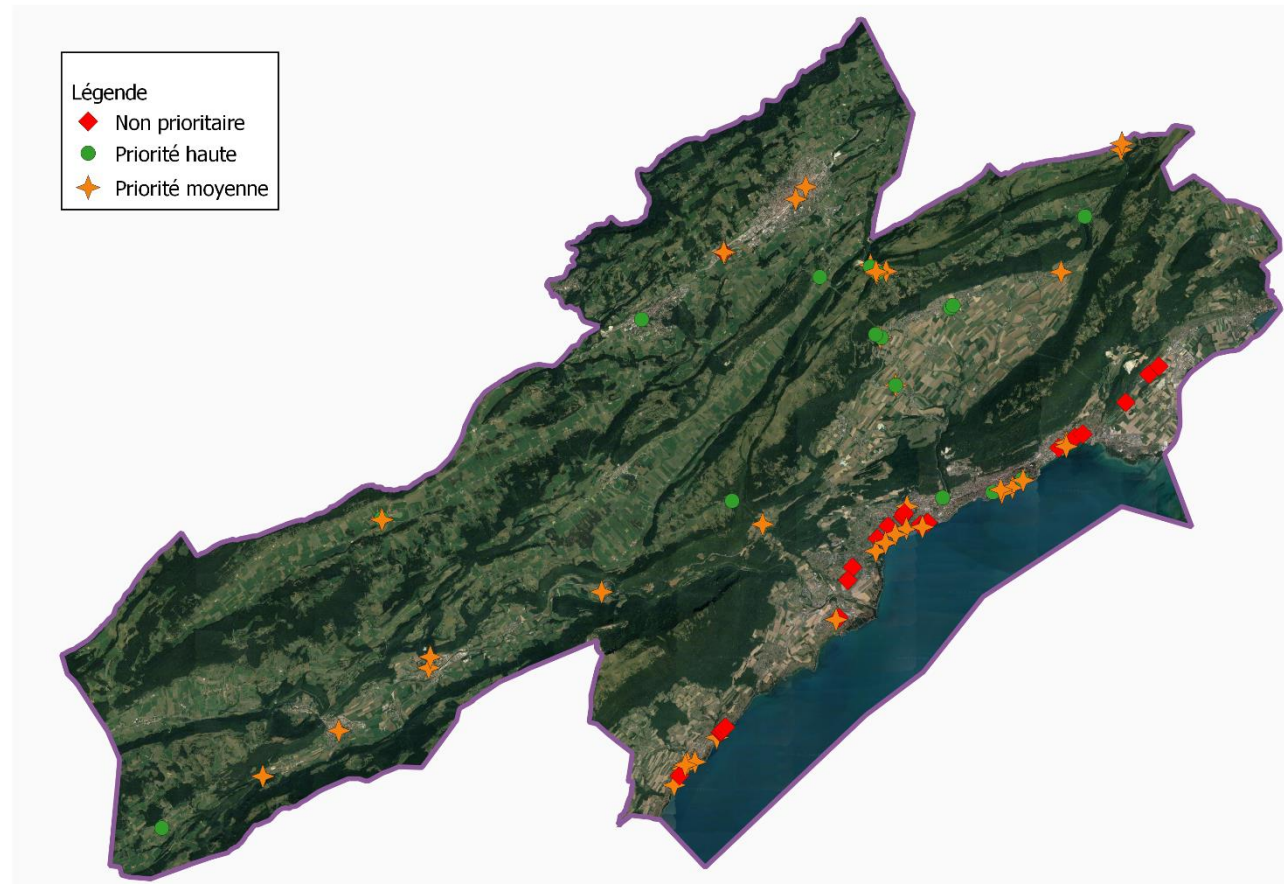
La plupart des ouvrages et murs ne sont pas prioritaires par rapport aux toitures et parkings.



Priorisation des objets (2/2)

Liste des objets à prioriser

Un fichier Excel listant la priorisation des objets est fourni avec ce rapport. La carte ci-dessous indique la localisation de ceux-ci.



Priorisation des objets routiers

(les objets à ne pas considérer ne sont pas représentés afin de ne pas surcharger la carte)

Messages principaux

- La **majorité** du potentiel photovoltaïque des infrastructures routières du Canton sont sur **parkings**, suivi des **bâtiments** d'exploitation des routes
 - Les parkings sont les objets ayant le plus de surface disponible, mais les toitures des bâtiments sont les plus économiques.
 - Ces deux types d'objet ne présentent généralement pas de contraintes bloquantes pour une installation PV.
- Les **murs de soutènement** possèdent aussi un fort potentiel technique, mais ils sont globalement plus durs à mettre en œuvre et moins économiques. Certains murs bien spécifiques sont toutefois intéressants pour le développement d'une installation PV.
- Les autres **ouvrages routiers** ont un faible potentiel technique, une mise en œuvre compliquée et un coût plutôt élevé. Ils ne sont dans l'ensemble pas à prioriser, excepté quelques objets particuliers.
- Cette étude vise à évaluer globalement le potentiel solaire des infrastructures routières, et à dresser des premières priorisations de site. Cette évaluation doit s'accompagner par des études de faisabilité précisant la faisabilité technique et la rentabilité financière d'une installation PV.

2^{ème} partie

Rapport détaillé

1. Méthodologie détaillée et hypothèses
2. Résultats détaillés sur la sélection des objets à évaluer
3. Résultats détaillés sur l'évaluation du potentiel PV
4. Limites de l'étude

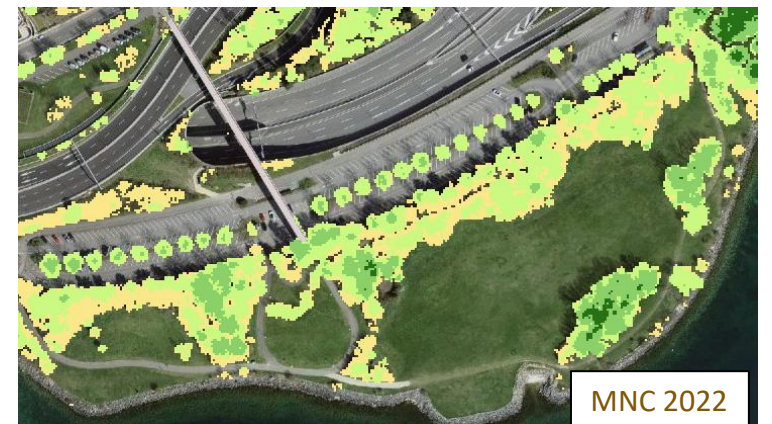
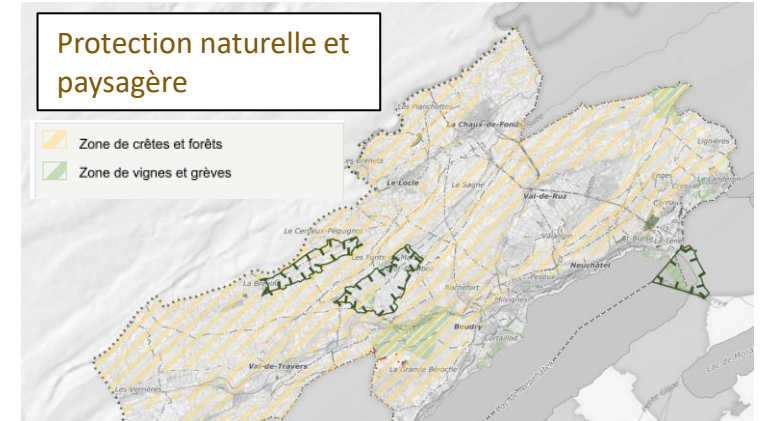
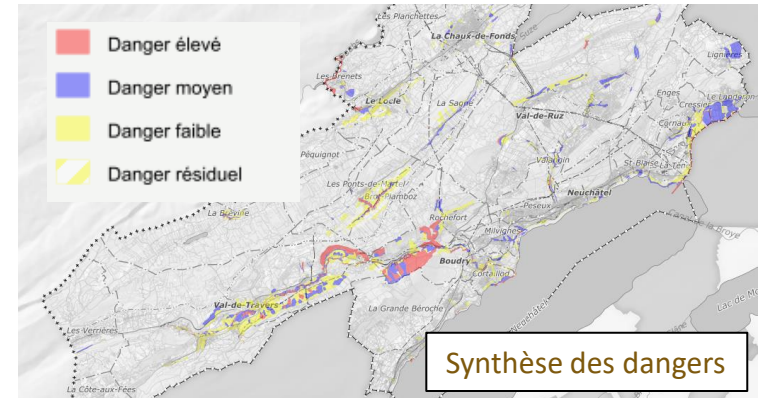
Méthodologie détaillée et hypothèses

Etude préliminaire des données

| Données | Type de données | Personne/entreprise de contact | Discussion | Décision |
|---|---|--------------------------------|--|---|
| Objets des infrastructures routières | | | | |
| Routes | Polygones SIG des routes et du DP cantonal. | M. Vaucher | Echanges téléphoniques et transfert de données supplémentaires par mail. | Seulement les gabarits de route sont disponibles, et il n'est pas possible d'installer du PV. La catégorie n'est pas évaluée. |
| Ouvrages | Points SIG avec données de type | Mme. Otter (SPCH) | | Certains types d'ouvrage ne peuvent pas accueillir du PV et sont éliminés. |
| Murs de soutènement | Points SIG avec données géométriques | Mme. Otter (SPCH) | Précisions sur le contenu des données. | Au vu de la temporalité et des données, les murs sont inclus dans l'analyse. |
| Parkings | Polygones SIG avec données de propriété et surface | M. Malta e Sousa (SITN) | | La nouvelle couche complète de données est utilisée. |
| Bâtiment | Points SIG | M. Proserpi | - | - |
| Autres données | | | | |
| Photos360 | Couche SIG avec actions liens internet. | M. Vaucher | Echange téléphonique et tutoriel. | |
| Modèle de canopée | Raster SIG de la canopée | M. Riedo (SITN) | Echange et transfert des données par mail. | Utilisé pour les ombrages de la végétation. |
| Autres données cartographiques | Polygones SIG des zones de danger et des plan d'affectations. | SITN | Récupération directe sur site. | - |
| Réseau électrique | Points SIG des transformateurs et armoire électriques | Viteos, Groupe-E, Eli10 | Echange et transfert des données par mail. | Données confidentielles. |

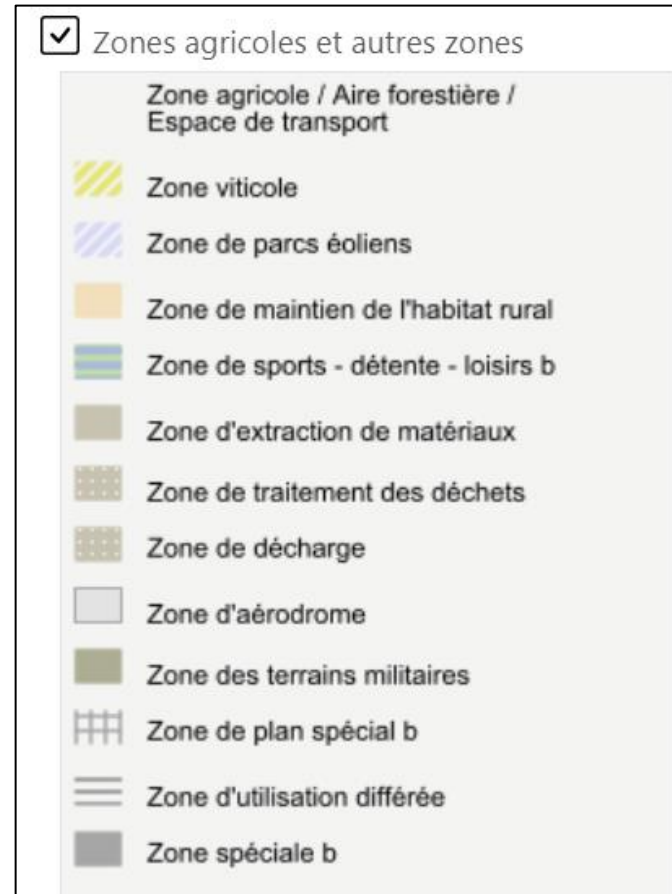
Critères d'exclusion génériques (1/2)

- Zone de danger
 - Carte de synthèse des dangers disponible sur le SITN
 - Sont exclues les zones de danger **élevé, moyen et faible**. Les zones de danger résiduel sont conservées.
- Les surfaces suivantes du *Plan d'affectation des zones* sont exclues :
 - Périmètre de protection des **sites bâtis**
 - Zone de **protection naturelle et paysagère** (zones à protéger, marécages, crêtes et forêts, vignes, biotopes, réserves naturelles, rives, périmètre particulier)
 - Zone **agricole** et autres zone (militaire, décharge, zone spéciales, zone de sport, etc. (cf. slide suivante)).
- Prise en compte des arbres et ombrages associés, via le modèle de canopée du canton
 - Exclusion des zones où la **hauteur des arbres est > 2m**
 - Exclusion des **zones ombragées par des arbres**, en utilisant un algorithme de calcul d'ombrage disponible dans QGIS (donc dépendant de la taille des arbres).



Critères d'exclusion génériques (2/2)

Les surfaces «Zone agricole et autres zone » du *plan d'affectation des zones* sont exclues, ce groupement contient les zones suivantes :



Critères d'exclusion spécifiques (1/4)

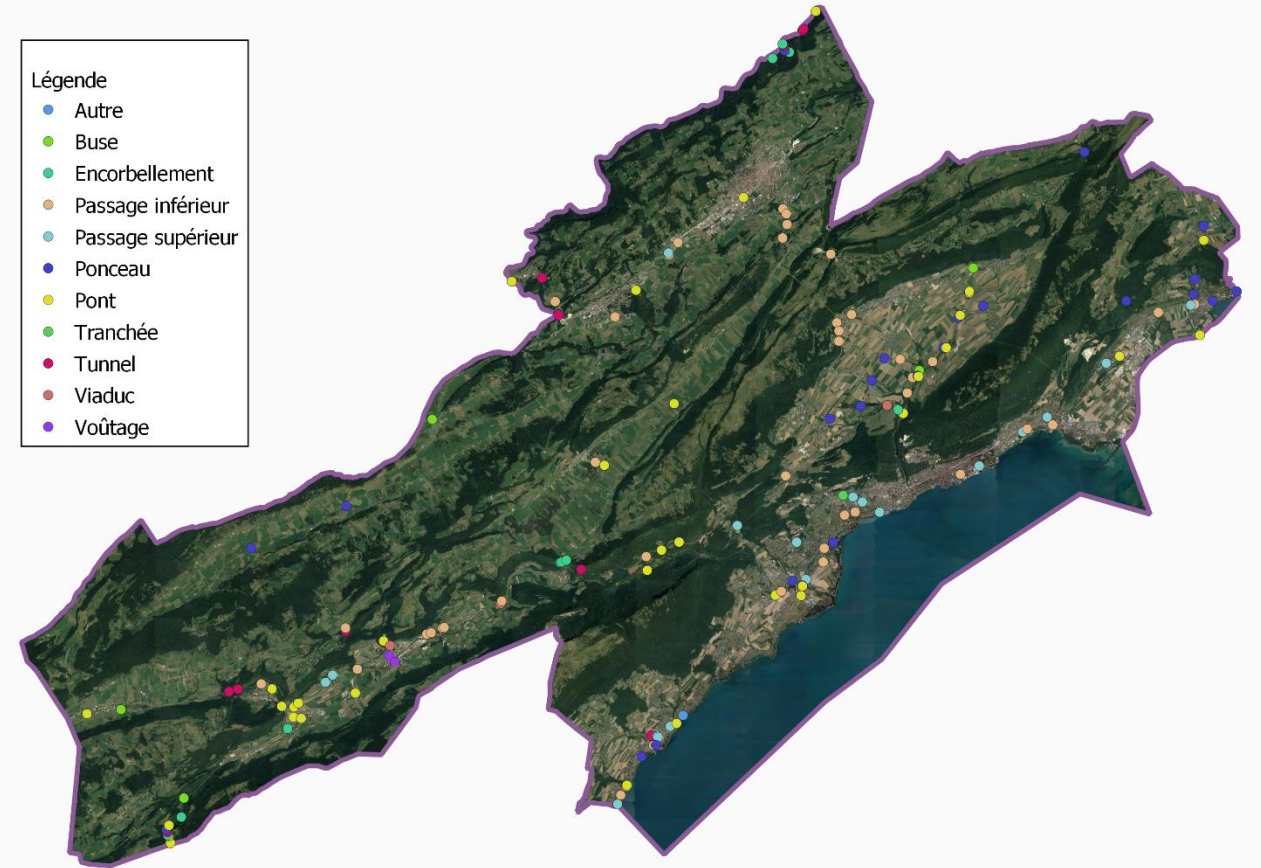
Ouvrages

- Filtre sur les types d'ouvrages selon le tableau ci-dessous

| Type d'ouvrage | Exclusion |
|--------------------------|-----------------------|
| Buse | Oui |
| Passage inférieur bétail | Oui |
| Passage inférieur piéton | Oui |
| Passage supérieure | |
| Tunnel | |
| Encorbellement | Oui |
| Galerie | |
| Pont | |
| Passage à niveau | Oui |
| Passerelle piéton | |
| Ponceau | Oui |
| Tranchée | |
| Viaduc | |
| Voutâge | Oui |
| Autre | A voir au cas par cas |

Légende

| | |
|---|-------------------|
| ● | Autre |
| ● | Buse |
| ● | Encorbellement |
| ● | Passage inférieur |
| ● | Passage supérieur |
| ● | Ponceau |
| ● | Pont |
| ● | Tranchée |
| ● | Tunnel |
| ● | Viaduc |
| ● | Voûtage |



Localisation des ouvrages

Filtre établi par Mme Otter, technicienne en ouvrage d'art du canton.

Critères d'exclusion spécifiques (2/4)

Murs de soutènement

- Environ **la moitié des murs** n'ont ni coordonnées GPS, ni informations géométriques (longueur, hauteur, etc.). Ces murs sont exclus de l'analyse.
- Hypothèses d'exclusion supplémentaires :
 - Hauteur minimale de **1,5m**
 - Surface disponible de **100m²**



Localisation des murs de soutènement
(dont la localisation est disponible)

Critères d'exclusion spécifiques (3/4)

Parkings

- Filtre sur les types de parkings selon le tableau ci-joint.
- Hypothèses d'exclusion supplémentaires :
 - Distance maximale de **150m** des routes cantonales
 - Surface disponible de **200m²** (en prenant en compte les ombrage)
 - Productible minimum de **950 kWh/kWc**
 - Le canton doit être propriétaire d'au **moins 50%** du parking

| Type de parkings | Nombre | Exclusion |
|---------------------|--------|-----------|
| A ciel ouvert | 680 | |
| A plusieurs niveaux | 30 | Oui |
| Couvert | 5 | Oui |
| Souterrain | 14 | Oui |
| Autre | 9 | Oui |



Données parkings

Critères d'exclusion spécifiques (4/4)

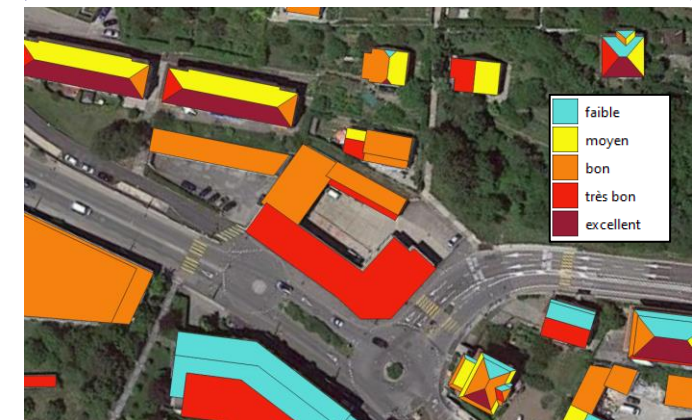
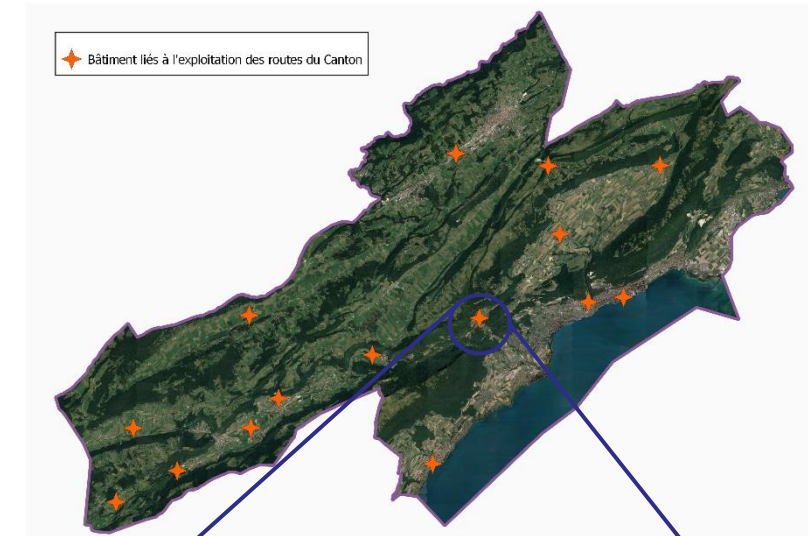
Bâtiment lié à l'exploitation des routes

- Au vu du nombre de bâtiments (20), l'ensemble des toitures et des façades sont analysés visuellement.
- Hypothèses d'exclusion supplémentaires :
 - Les toitures et façades avec un potentiel « bon » sont pris en compte pour l'évaluation de la surface et du potentiel PV (**> 1000 kWh/m².an** pour les toitures et **> 800 kWh/m².an** pour les façades)
 - Surface PV disponible de **100m²**

| Catégorie | Toitures | Façades |
|-----------|---|---|
| Faible | < 800 kWh / m ² .an | < 600 kWh / m ² .an |
| Moyen | > 800 et < 1000 kWh / m ² .an | > 600 et < 800 kWh / m ² .an |
| Bon | > 1000 et < 1200 kWh / m ² .an | > 800 et < 1000 kWh / m ² .an |
| Très bon | > 1200 et < 1400 kWh / m ² .an | > 1000 et < 1200 kWh / m ² .an |
| Excellent | > 1400 kWh / m ² .an | > 1200 kWh / m ² .an |

Catégorie PV pour les toitures et façades

Localisation des bâtiments



Potentiel PV des bâtiments

Evaluation technico-économique

Analyse économique

- L'**objectif** de l'analyse économique est de construire les 3 indicateurs suivants :
 - Coût spécifique (CHF/kWc)
 - LCOE (CHF/MWh)
 - LCOE avec subvention Pronovo (CHF/MWh)
- Les **catégories** de coût pris en compte sont ;
 - Dépenses d'investissement (module, structure, onduleur, matériel et main d'œuvre)
 - Raccordement réseau
 - Logistique et sécurité (selon la difficulté d'accès/mise en œuvre/présence de routes/piétons).
 - Planification
 - Surcoût végétalisation des objets
 - Surcoût éblouissement
 - Dépenses d'entretien
- Les coûts **diffèrent selon les types d'ouvrages**, la taille de l'installation et la faisabilité technique.

Evaluation technico-économique

Hypothèses techniques

Les hypothèses suivantes ont été utilisées pour l'évaluation technique :

| Objet | Paramètre description | Valeur | Unité |
|----------|--|--------|-------|
| Tous | Largeur des panneaux solaires | 1,1 | m |
| Tous | Hauteur des panneaux solaires | 1,8 | m |
| Tous | Rendement des panneaux solaires | 215,2 | W/m2 |
| Tous | Durée de vie | 30 | ans |
| Tous | Facteur de dégradation de la production des panneaux | 0,5% | %/an |
| Parking | Surface d'une place de parking | 11,5 | m2 |
| Parking | Taux de couverture des panneaux sur les surfaces potentielles des carports | 70% | % |
| Parking | Inclinaison panneaux sur carports | 0 | ° |
| Murs | Taux de couverture des panneaux sur les surfaces potentielles des murs | 90% | % |
| Tous | Supplément distance de raccordement (cf. méthodologie slide dédiée) | 30% | % |
| Bâtiment | Amélioration de l'efficacité des modules p/r à la base de données Toit Solaire | 1,2 | |
| Tous | Taux d'actualisation | 3% | % |

Evaluation technico-économique

Hypothèses de coût

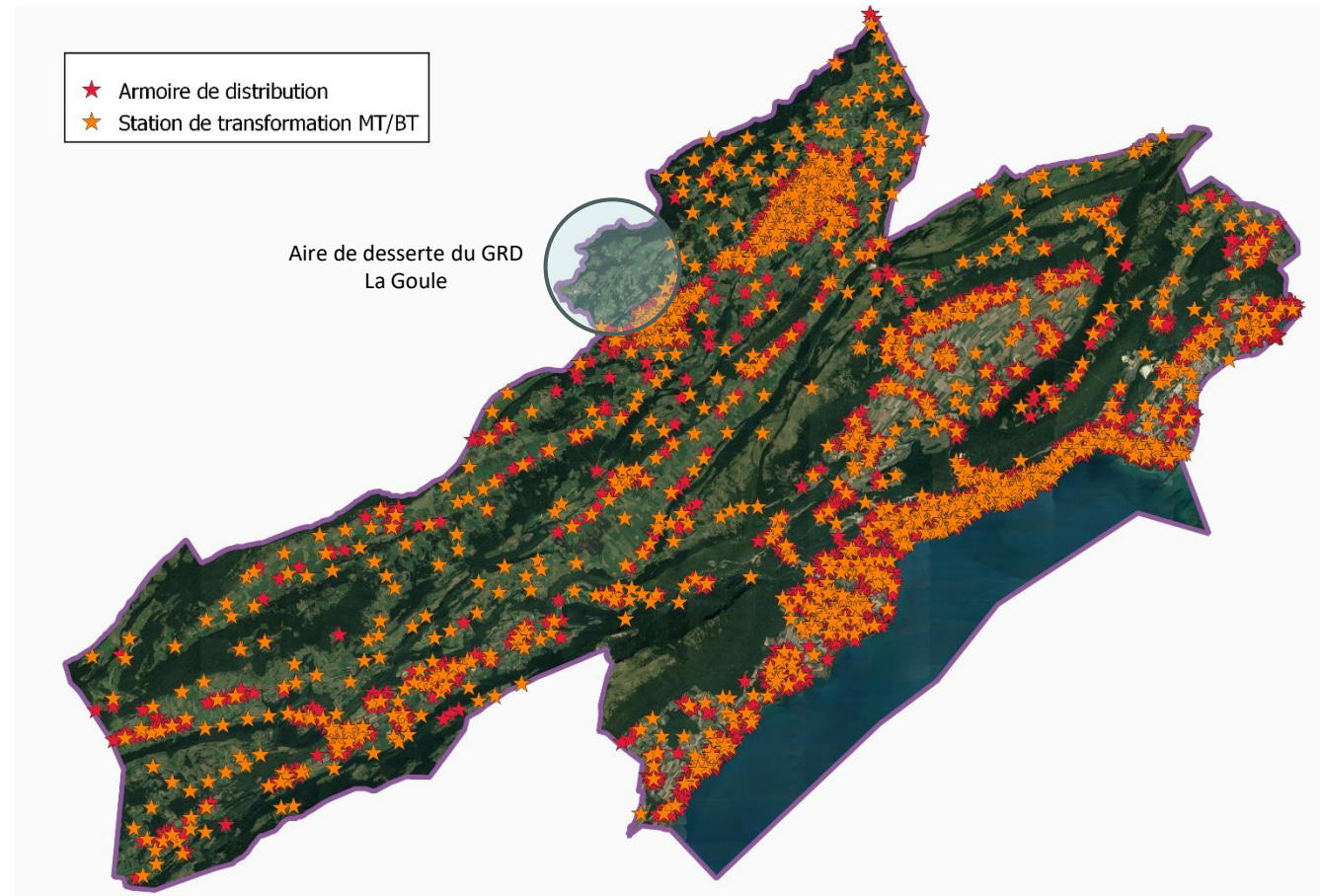
| Objet | Coût installation PV* (CHF/kW) | |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | Puissance entre 20 kW et 150 kW | Puissance > 150 kW |
| Taille de l'installation | | |
| Mur | 1744 | 1368 |
| Pont | 1744 | 1368 |
| Passage supérieur | 1744 | 1368 |
| Tranchée | 1390 | 1140 |
| Tunnel | 1390 | 1140 |
| Viaduc | 1744 | 1368 |
| Parkings | 2990 | 2300 |
| Toiture | 1490 | 1150 |
| Façade | 3725 | 2875 |

*inclut module, structure, onduleur, matériel et main d'œuvre

| Type de coûts | Objets | Valeur |
|---|---|-----------------------|
| Coût logistique et sécurité | Mur, ouvrages et parkings avec un accès ou mise en œuvre <i>facile</i> | 80 CHF/kW |
| | Mur, ouvrages et parkings avec un accès ou mise en œuvre <i>difficile</i> | 110 CHF/kW |
| | Toitures et façades | 100 CHF/kW |
| Coût planification PV | Mur, ouvrages et parkings | 150 CHF/kW |
| | Toitures et façades | 60 CHF/kW |
| Surcoût végétalisation de l'objet | Faible végétalisation | 8 CHF/m ² |
| | Importante végétalisation | 15 CHF/m ² |
| Surcoût clôture | Tous | 50 CHF/m |
| Eblouissement : surcoût étude | Tous | 3000 CHF |
| Eblouissement : surcoût modules teintés | Tous | 70 CHF/kW |
| Coût entretien | Tous avec un accès ou mise en œuvre <i>facile</i> | 30 CHF/kW/an |
| | Tous avec un accès ou mise en œuvre <i>difficile</i> | 60 CHF/kW/an |

Coût de raccordement (1/2)

- Les coûts de raccordement sont estimés à partir des distances des objets avec l'armoire de distribution ou la station de transformation la plus proche.
- La localisation des postes électriques a été possible en regroupant les données des différents GRD (sauf La goule).
- Hypothèses supplémentaires :
 - Pour les tunnels, une distance de raccordement de **50m** a été pris en compte
 - Pour la zone couverte par le GRD La Goule, la **moyenne des distances** de raccordement par type d'objet a été pris en compte.
 - Pas de raccordement pour les bâtiments



Les distances de raccordement étant calculés en ligne droite, elles sont probablement sous-estimées. Ainsi un supplément de **30%** a été pris en compte sur l'ensemble des distances de raccordement.

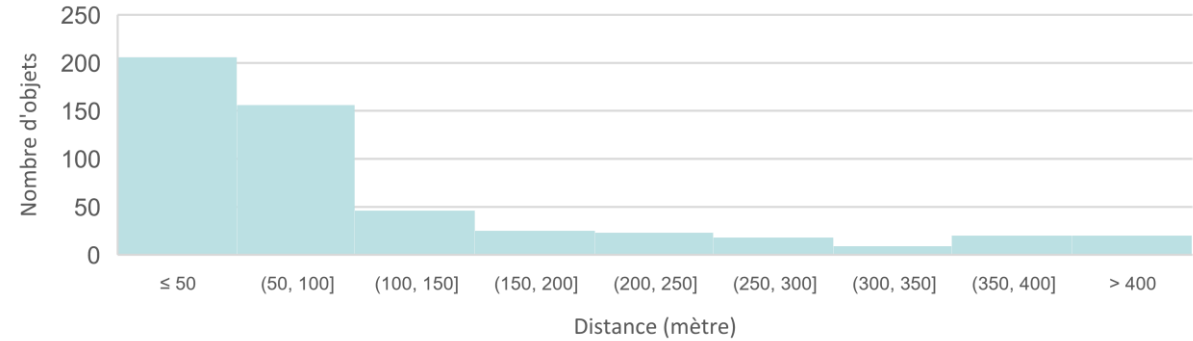
Coût de raccordement (2/2)

- Bilan sur la proximité avec le réseau :

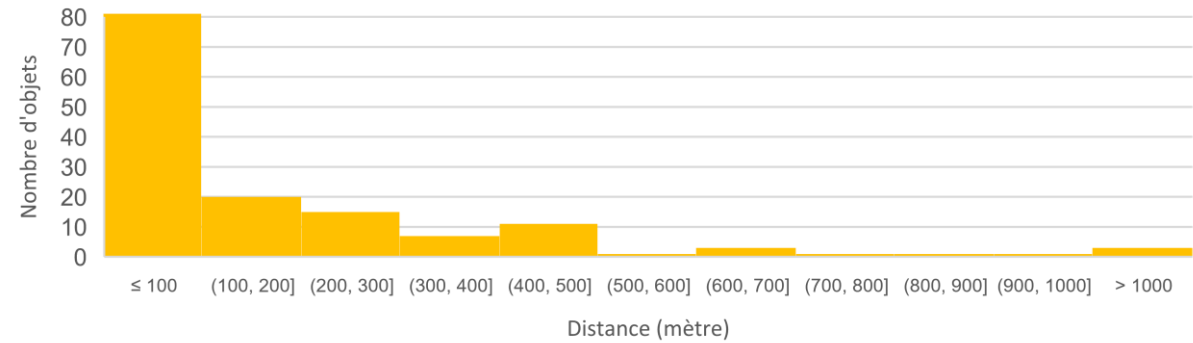
| Objets | Distance moyenne de raccordement |
|----------|----------------------------------|
| Murs | 110 m |
| Ouvrage | 180 m |
| Parkings | 40 m |

- Les coûts sont estimés à partir de l'expertise Planair en projet solaire PV (notamment inclus un coût de fouille de 200 CHF/m).

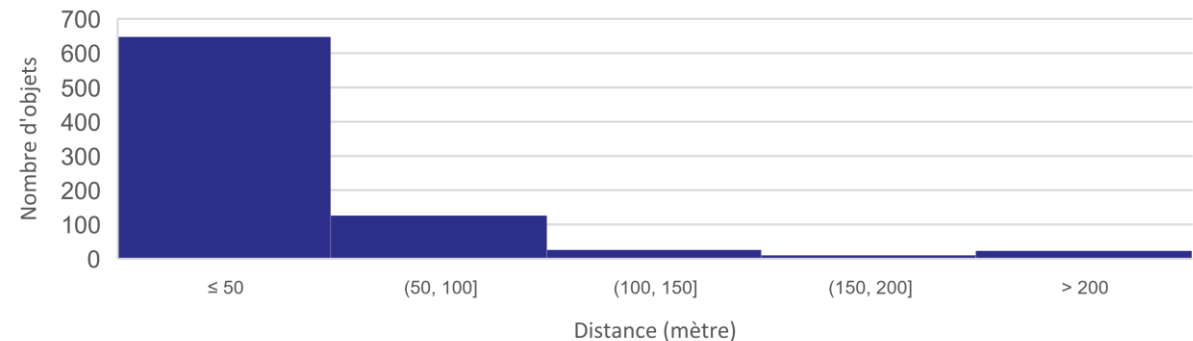
Distance murs vs réseau



Distance ouvrages vs réseau



Distance parkings vs réseau



Priorisation des objets (1/2)

- Les objets sont affectés de 3 notes allant de 1 (meilleure note) à 4 (moins bonne note) :

Note sur la puissance installable

| Note | Critère |
|------|---------------------|
| 1 | > 100 kWc |
| 2 | Entre 50 et 100 kWc |
| 3 | Entre 20 et 50 kWc |
| 4 | < 20 kWc |

Note sur le coût de production (LCOE)

| Note | Critère |
|------|--------------------------|
| 1 | < 200 CHF/MWh |
| 2 | Entre 200 et 300 CHF/MWh |
| 3 | Entre 300 et 400 CHF/MWh |
| 4 | > 400 CHF/MWh |

Note sur la faisabilité technique

| Note | Critère |
|------|--|
| 1 | Pas de contrainte ou seulement contraintes de criticité faible |
| 2 | Présence d'une contrainte de criticité modérée |
| 3 | Présence d'une contrainte de criticité forte |
| 4 | Objet non évalué ou impossible de mettre des modules PV |

| Contraintes | Criticité |
|---|------------|
| Accès travaux | Importante |
| Accès maintenance | Modérée |
| Risque d'éblouissement | Faible |
| Végétalisation de la surface | Modérée |
| Distance à la route | Modérée |
| Proximité des infrastructures piétonnes | Faible |
| Réduction du gabarit de la route | Importante |
| Autres | Faible |

Priorisation des objets (2/2)

- Une note finale de priorisation est affectée à partir des 3 notes techniques et économiques :

Note de priorisation

| Note | Evaluation | Critère |
|------|---------------------|---|
| 1 | Priorité haute | Objets ayant obtenu la meilleure note pour chaque évaluation |
| 2 | Priorité moyenne | Objets ayant obtenu au moins une meilleure note dans une évaluation |
| 3 | Non prioritaire | Objets n'ayant pas obtenu de meilleure note dans une évaluation |
| 4 | A ne pas considérer | Objets ayant obtenu au moins une note de 4 dans une évaluation |

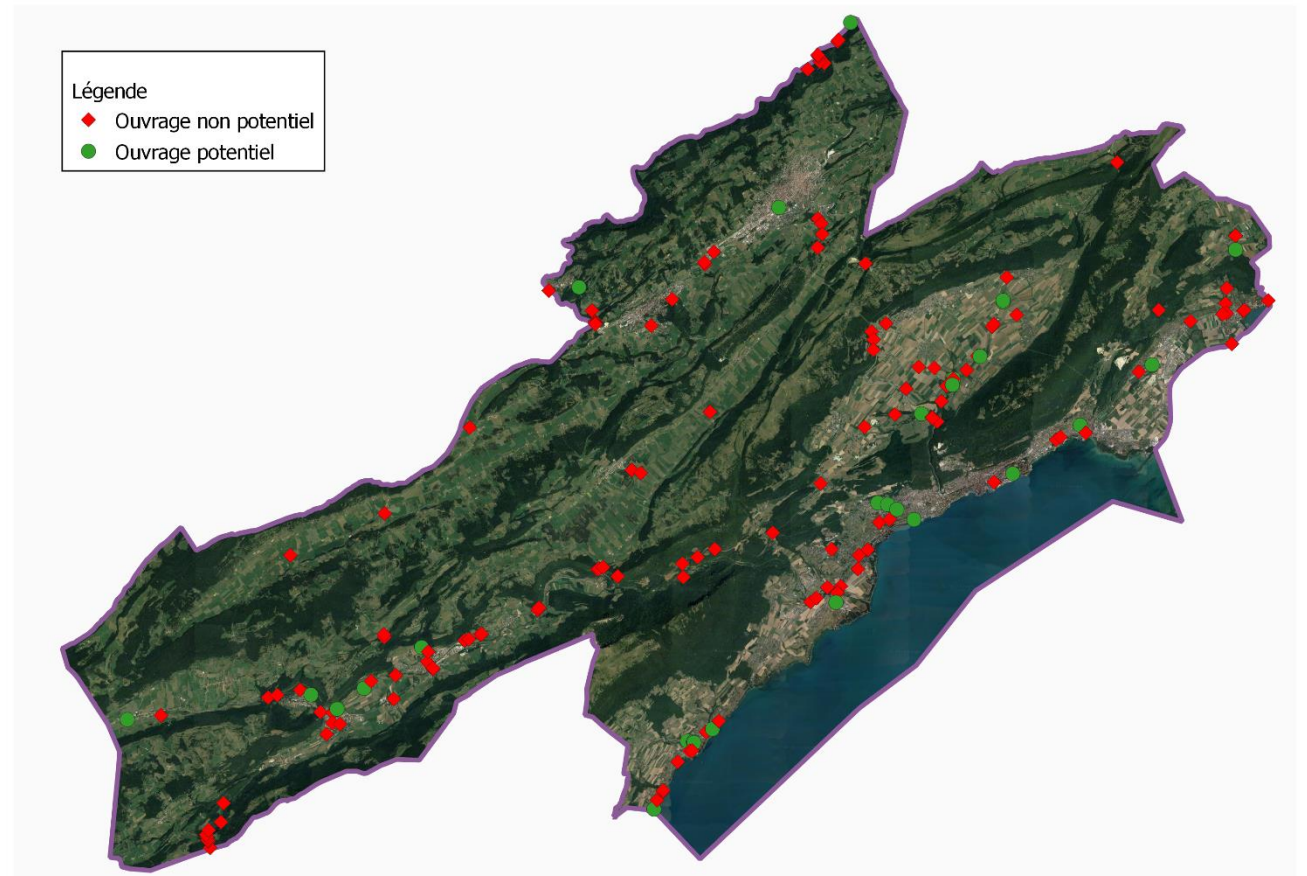
Résultats détaillés

Sélection des objets à évaluer

Localisation des objets potentiels (1/3)

Ouvrages

- Après application des critères d'exclusions génériques et spécifiques, **30 ouvrages routiers** sont des objets potentiels pour la production PV.
- 15 objets supplémentaires sont exclus par analyse visuelle.

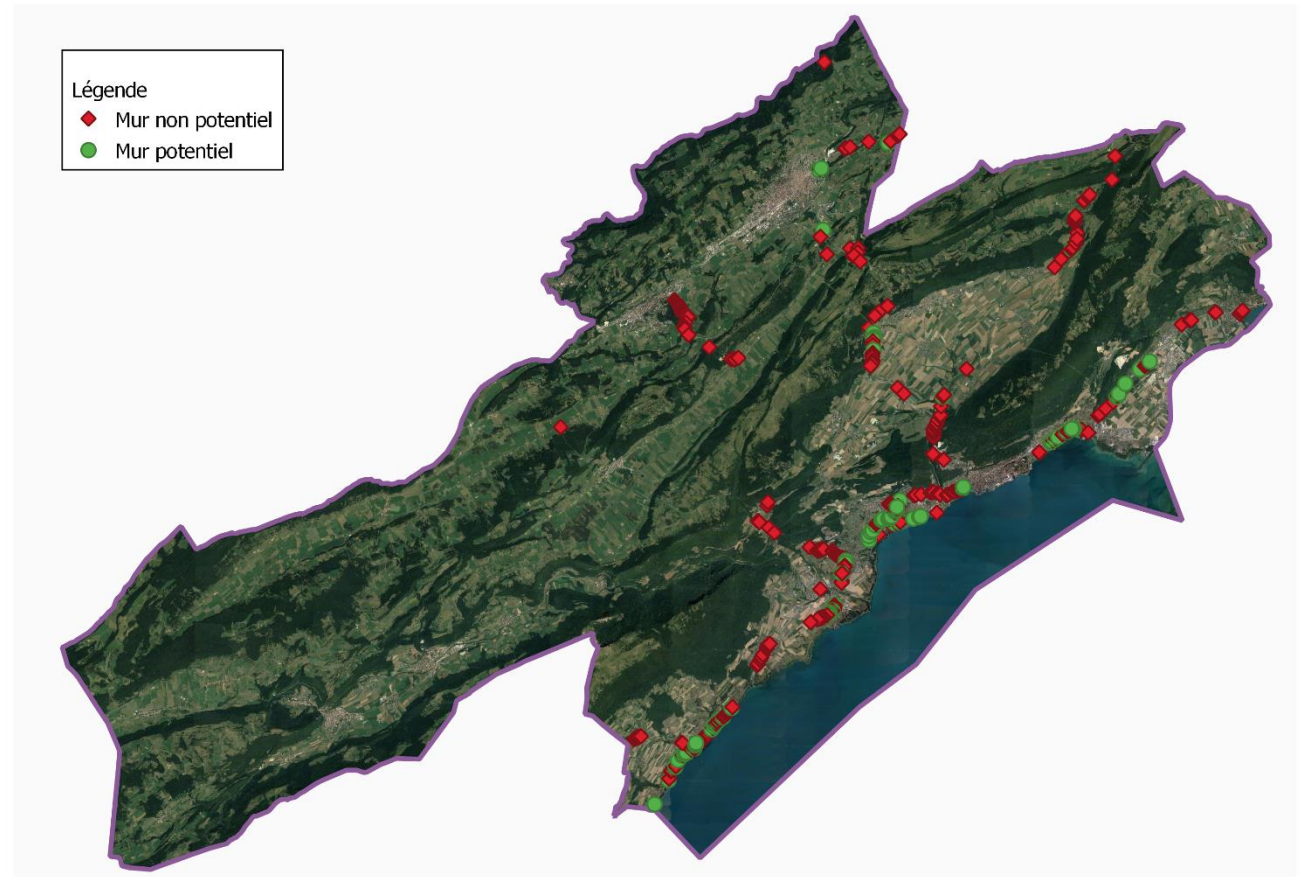


Localisation des ouvrages potentiels

Localisation des objets potentiels (2/3)

Mur de soutènement

- Après application des critères d'exclusions génériques et spécifiques, **90 murs de soutènement** sont des objets potentiels pour la production PV.
- 22 objets supplémentaires sont exclus par analyse visuelle, portant à **68** le nombre de murs analysés.
- Lors de l'analyse visuelle, certains murs ont été re-intégrés à l'évaluation technico-économique car ils peuvent être combinés à d'autres murs (cas spécifique de 20 murs)



Localisation des murs de soutènement potentiels

Localisation des objets potentiels (3/3)

Parkings

- Après application des critères d'exclusions génériques et spécifiques, **79 parkings cantonaux** sont des objets potentiels pour la production PV.
- Puisque seulement 30 objets sont évalués par type, il a été choisi de sélectionner les 30 parkings les plus grands, correspondant aux parkings de priorité 1 et 2 sur la figure ci-joint.
- Potentiellement, les 49 parkings restants (correspondant aux parkings de priorité 3 sur la figure) peuvent aussi être des bons candidats pour une installation PV.



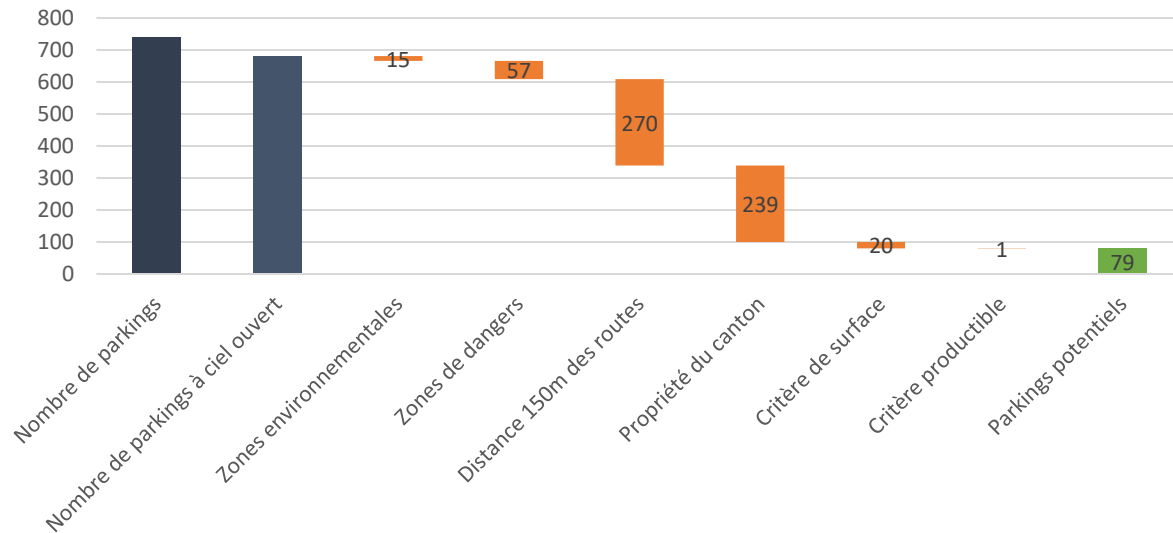
Localisation des parkings potentiels

Focus sur les parkings

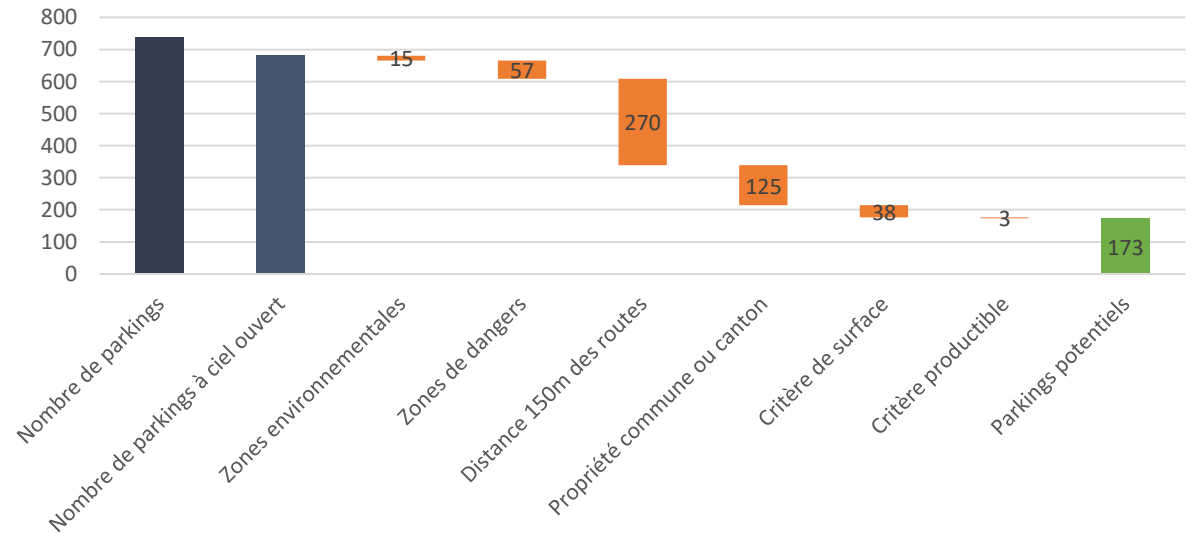
Variante sur la propriété des parkings

- Seulement les parkings appartenant à plus de 50% au Canton sont sélectionnés pour évaluation
- La prise en compte des parkings appartenant aux Communes ajoute **94 parkings potentiels supplémentaires** : le nombre total de parking intéressant évolue de 79 à 173 dans cette variante.

Sélection des parkings
Critère sur **la propriété seulement du Canton**



Sélection des parkings
Critère sur **la propriété appartenant aux Communes ou Canton**



Résultats détaillés

Evaluation technico-économique

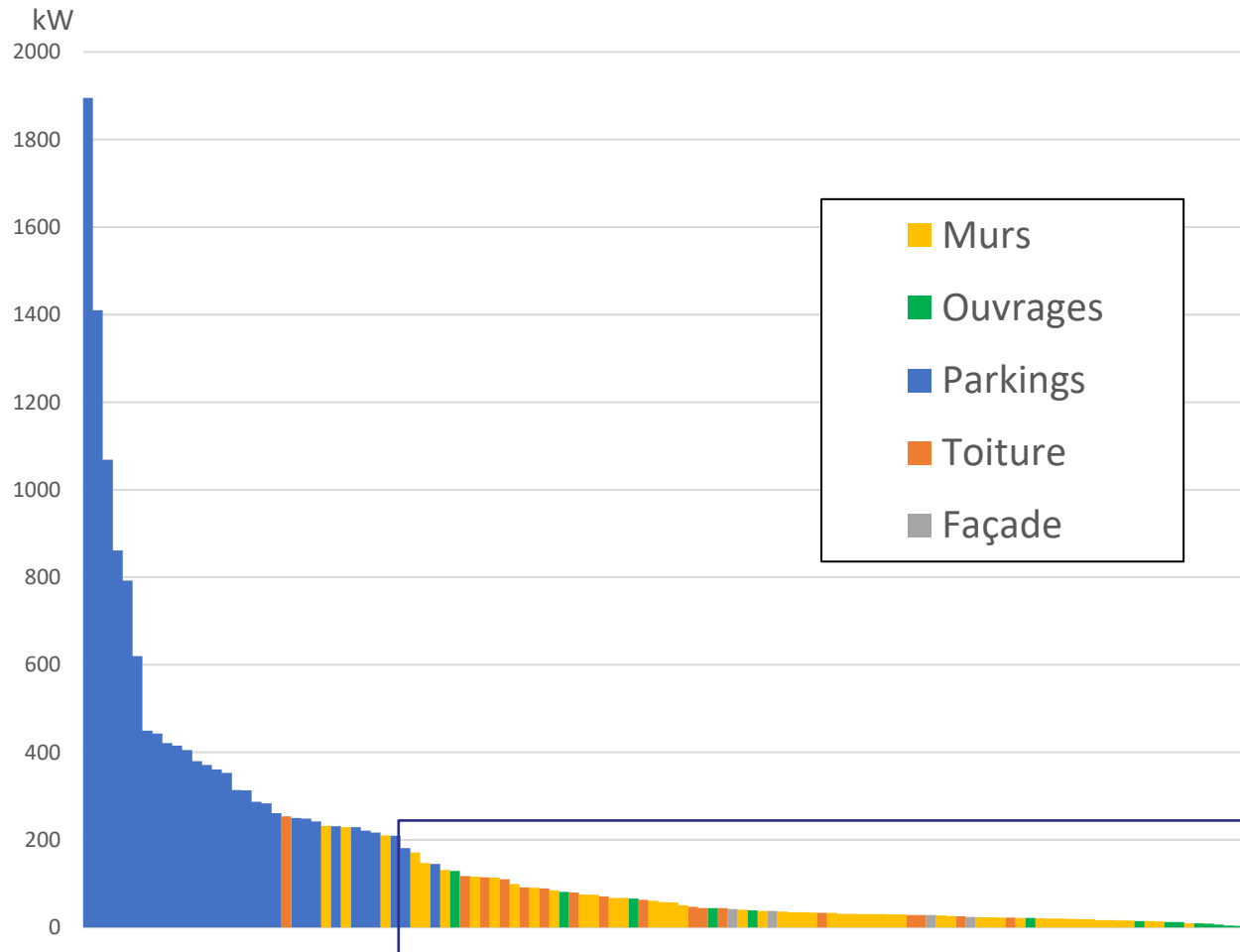
Evaluation technique

Capacité installable

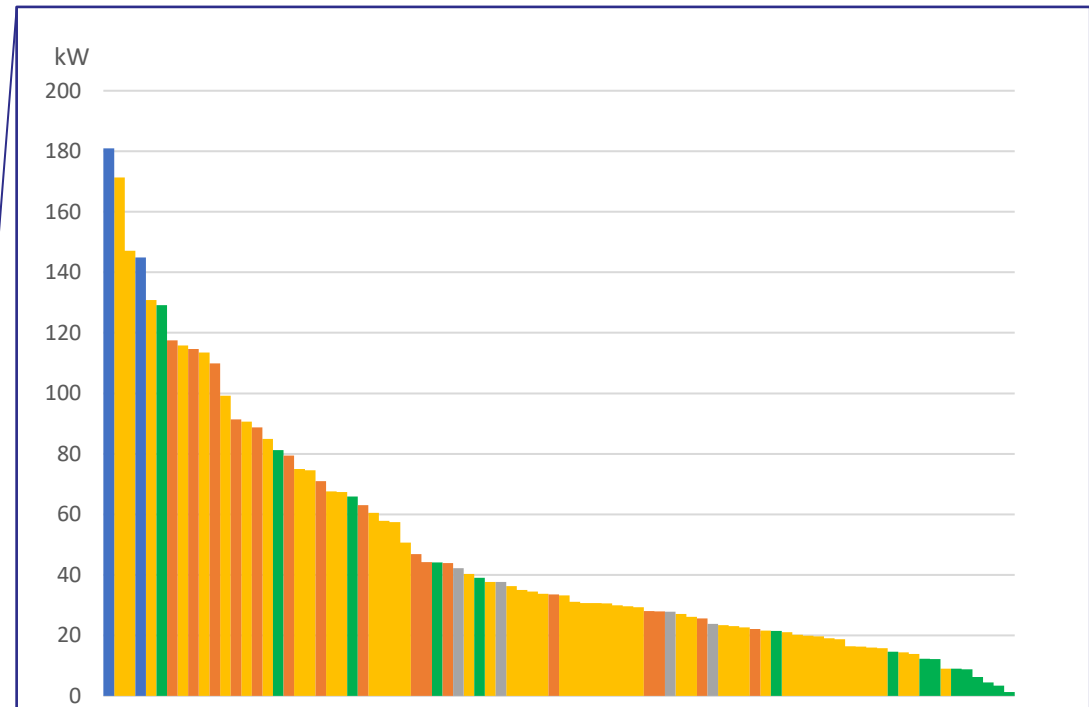
Le graphique présente les puissances PV de l'ensemble des objets évalués, classés de manière décroissante (1 barre pour chaque objet).

Les parkings représentent la majorité du potentiel PV exploitable sur les infrastructures routières, avec notamment les possibilités de grosses installations (>200 kWc).

La plupart des murs et toitures s'échelonnent entre 20 et 200 kWc. Quelques murs et la majorité des ouvrages sont dessous les 20 kWc.



Classement des puissance PV de chaque objet évalué



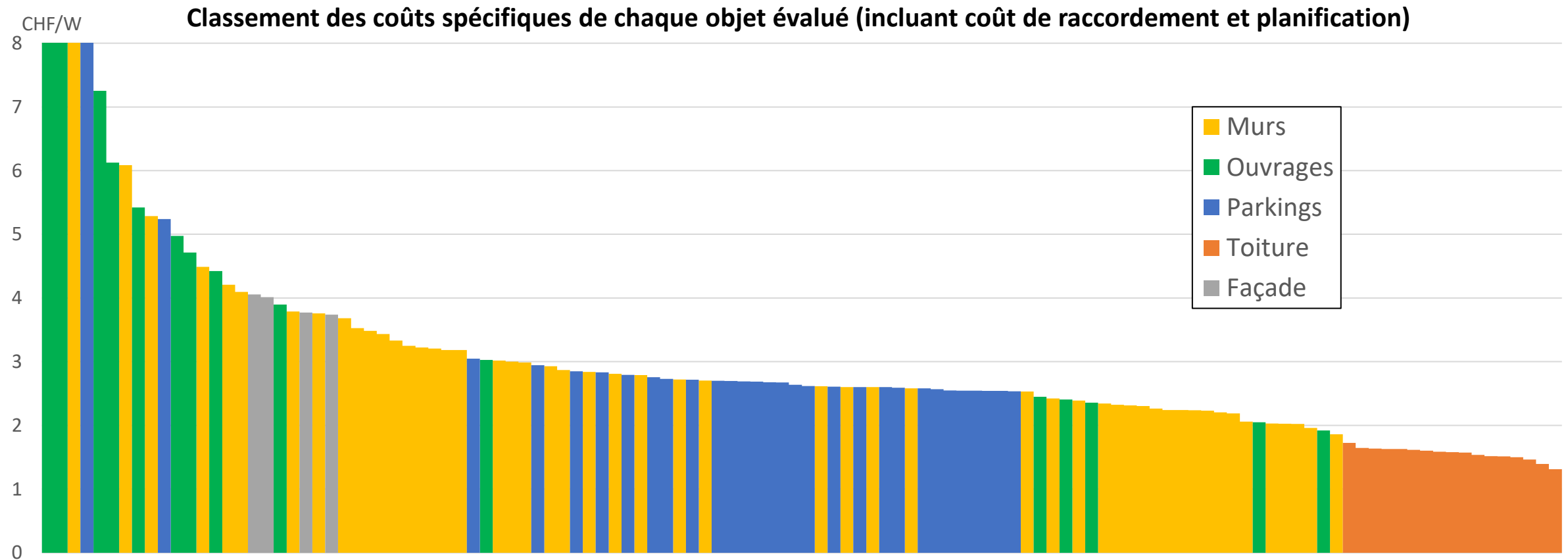
Evaluation économique (1/3)

Coût spécifique (CHF/W)

Les toitures sont les surfaces potentielles avec le coût spécifique le plus bas (entre 1 et 1,8 CHF/Wc).

Pour les murs et ouvrages, il y a beaucoup de disparités sur les coûts d'investissements, notamment dus à la distance avec le réseau et le coût de raccordement.

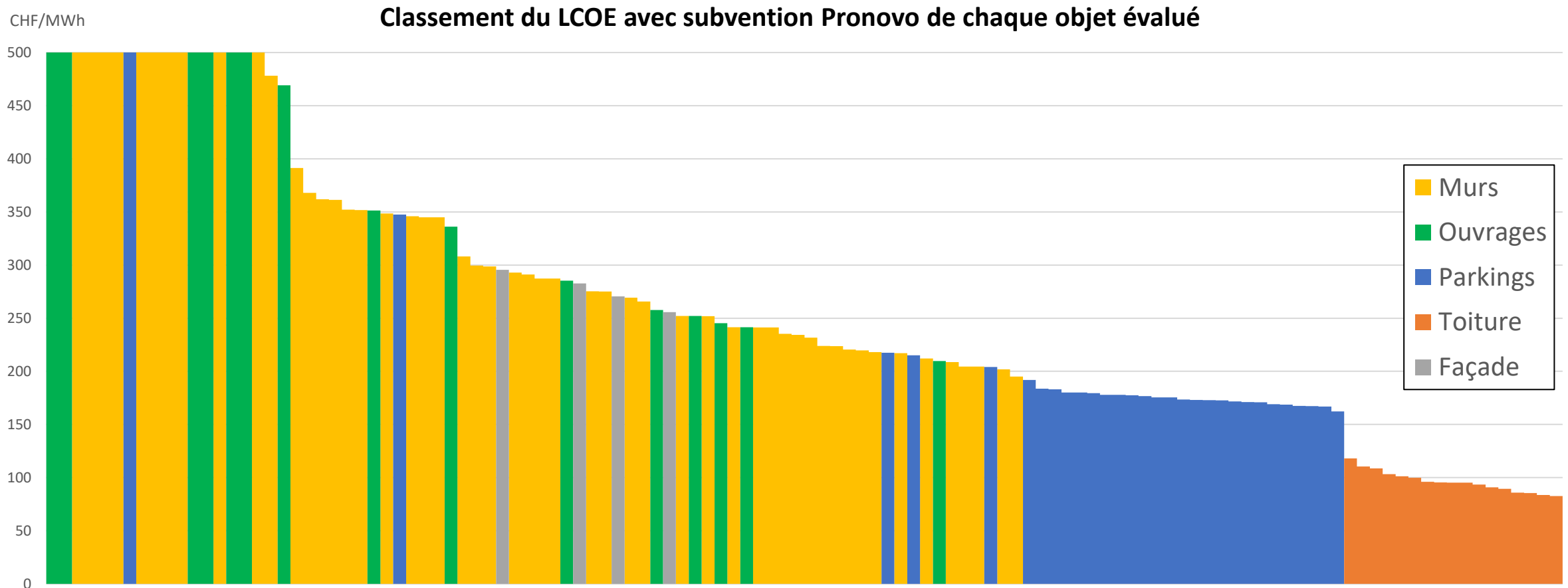
Les parkings et les façades ont des coût spécifiques stables, entre 2,5 et 3 CHF/Wc pour les parkings et 3,8 et 4 CHF/Wc pour les façades.



Evaluation économique (3/3)

LCOE avec subvention Pronovo (CHF/MWh)

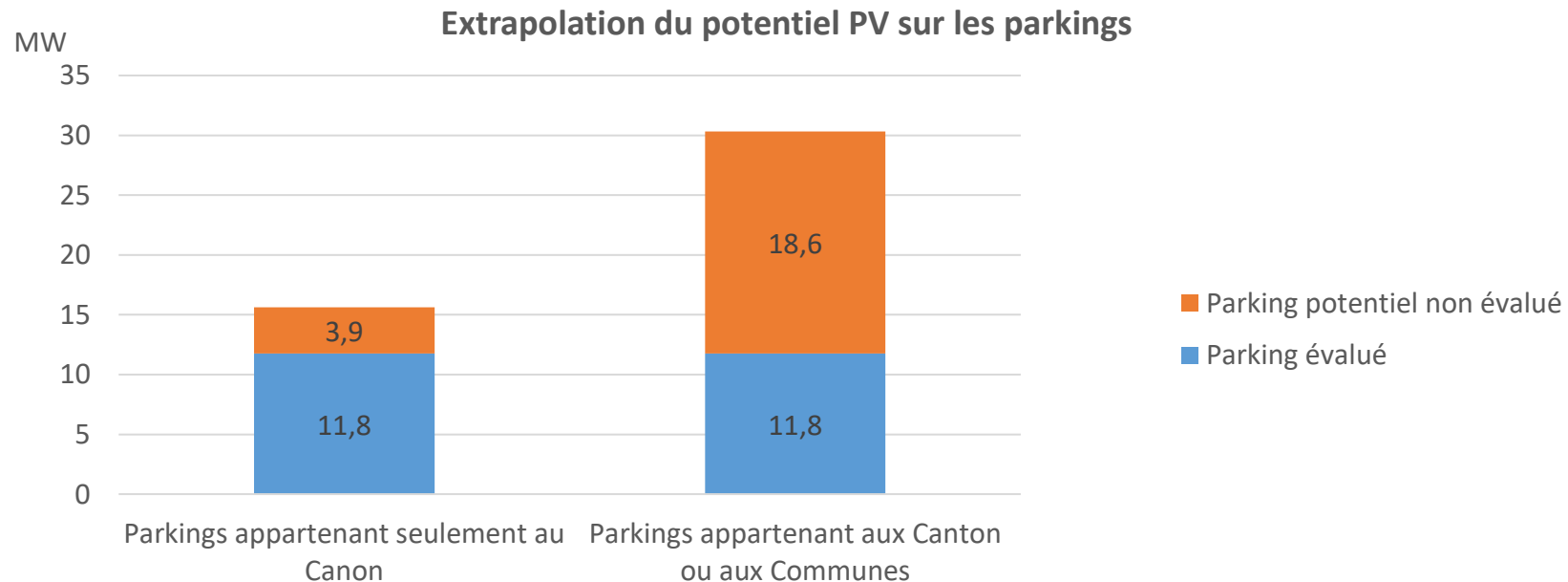
En prenant en compte les subventions Pronovo, le coût de production des installations diminue, mais l'ordre de classement des objets ne change que très peu.



Focus sur les parkings

Potentiel technique solaire des parkings

- Sur les 79 parkings potentiels du Canton, seulement 30 ont été évalués techniquement, avec un **potentiel solaire estimé à 11,8 MW**. L'évaluation technique a montré qu'en moyenne, 73% de la surface des parkings peuvent être équipée de panneaux PV (arbres, végétation, ombrages, voies, etc.)
- En extrapolant ce % de surface « solarisable » à l'ensemble des parkings cantonaux, il est estimé que **3,9 GW** supplémentaires peuvent être déployés sur ces objets.
- En prenant en compte les parkings appartenant aux Communes, ce sont **14,7 GW** supplémentaires qui peuvent être installés.
- Ces résultats sont estimés à titre indicatif, et doivent être confirmés par des analyses plus précises.



Limites de l'étude

Limites de l'étude

- Analyse économique et rentabilité :
 - L'approche économique n'est pas une analyse financière, elle ne prend en compte que le coût de production.
 - Elle ne permet pas de quantifier la rentabilité de l'installation PV. Cela nécessite le potentiel d'autoconsommation et des hypothèses supplémentaires (évolution future des tarifs de reprise, tarif d'achat, etc.)
 - Elle ne prend pas en compte les potentiels synergies
 - Parkings : infrastructure de recharges pour véhicules électriques
 - Tunnels : autoconsommation pour ventilation, éclairage, etc.
 - Bâtiments : autoconsommation du site, rénovation de la toiture, etc.

- Coût de raccordement :
 - Une méthodologie unique a été appliquée, alors que la distance et les coûts de raccordement sont bien souvent spécifiques à chaque projet.
 - La méthodologie peut surdimensionner les distances et coûts, ce qui peut limiter la priorisation de certains sites.

- Effets "locaux"
 - Bien que chaque objet ait été analysé visuellement, la viabilité technique d'une installation PV n'est pas assurée.
 - Les études de faisabilité viendront préciser ces éléments.

Merci pour votre attention

PLANAIR

Ingénieurs conseils en énergies et environnement

Luc Humberset

Responsable de projets énergies renouvelables

Rue Galilée 6

CH-1400 Yverdon-les-Bains - Suisse

T +41 (0)24 566 52 34

luc.humberset@planair.ch

Laurent De Block

Directeur de projets

Rue Galilée 6

CH-1400 Yverdon-les-Bains - Suisse

T +41 (0)24 566 62 36

luc.humberset@planair.ch

