

# Limites et potentiels de la production combinée de denrées alimentaires et d'électricité en Suisse

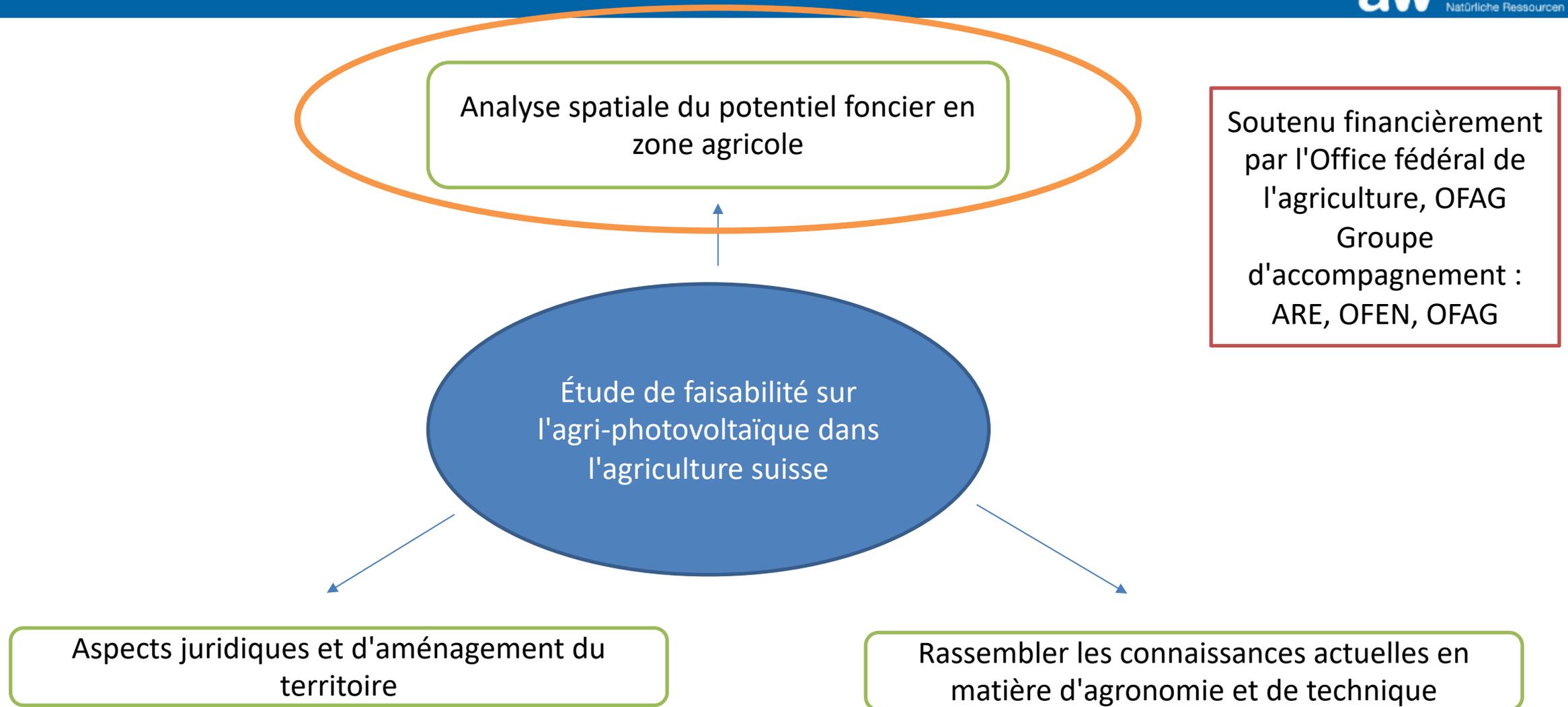
Résultats de l'étude de faisabilité agri-photovoltaïque dans l'agriculture suisse



Photo : Peter Schumacher, ZHAW

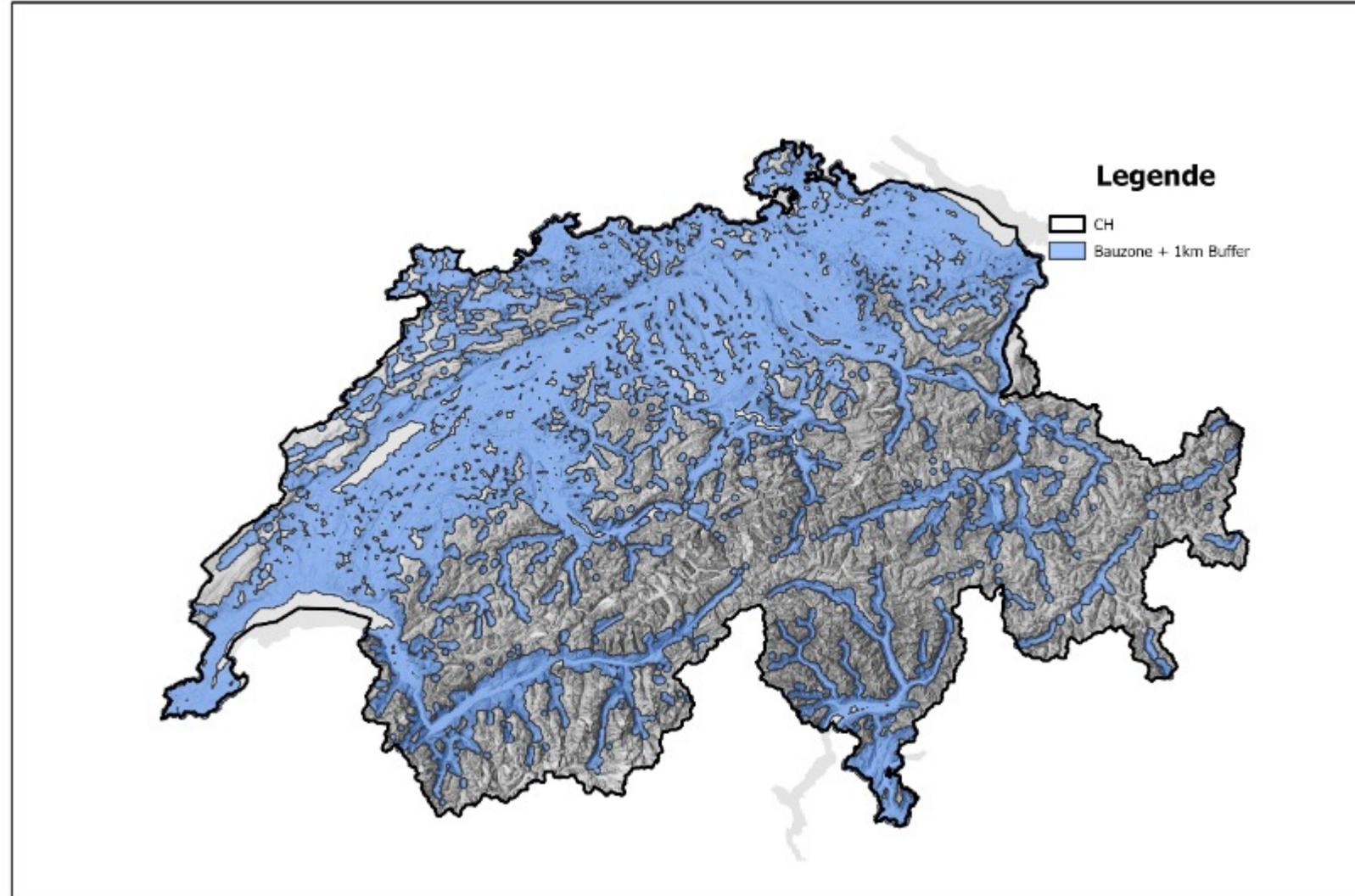
- ...un développement encore très récent en Suisse
- Les bases légales de l'aménagement du territoire ne sont "réglées" que depuis le 1er juillet 2022
- Les terres agricoles sont fortement protégées - si des constructions sont réalisées sur des terres agricoles, elles sont "liées au site" (étables, filets de protection et filets anti-grêle...)
- Les installations PV peuvent désormais être considérées comme "liées au site" si :  
(...) *elles présentent des avantages pour la production agricole dans des zones peu sensibles ou si elles servent à des fins d'expérimentation et de recherche.*
- Sur les surfaces d'assolement, l'installation Agri-PV doit conduire à un *rendement en nature plus élevé dans la production végétale.*
- La notion de "peu sensible" est notamment définie plus précisément comme *"contiguë à des zones à bâtir ou à des infrastructures existantes"* et, de manière générale, comme *"présentant le moins possible d'enjeux de protection opposés"*.
- Les installations Agri-PV sont toujours soumises à autorisation, soit au niveau du plan directeur, du plan d'affectation ou du permis de construire (dans cet ordre).

# Aperçu de l'étude de faisabilité



- Faire une estimation de la surface disponible pour l'agri-PV en Suisse et de son potentiel de production d'électricité.
- 2 scénarios : potentiel géographique sans critères d'exclusion (toutes les surfaces qui sont potentiellement appropriées), scénario B = potentiel géographique avec critères d'exclusion (toutes les surfaces qui sont potentiellement appropriées *moins* les zones protégées d'importance nationale *moins* les zones de protection des eaux *moins* les surfaces de promotion de la biodiversité)
- Potentiel en tenant compte du réseau électrique (en collaboration avec l'EPF de Zurich)
- Hypothèse de base : l'Agri-PV doit avoir lieu dans des zones "peu sensibles", ce qui peut être par exemple "contiguës" à la zone à bâtir (cf. rapport explicatif sur la révision de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire avril 2022)
- Trois systèmes d'utilisation des terres et trois types d'installations ont été comparés, avec des potentiels de production d'énergie différents pour : les terres arables ouvertes, les prairies permanentes et les cultures pérennes.

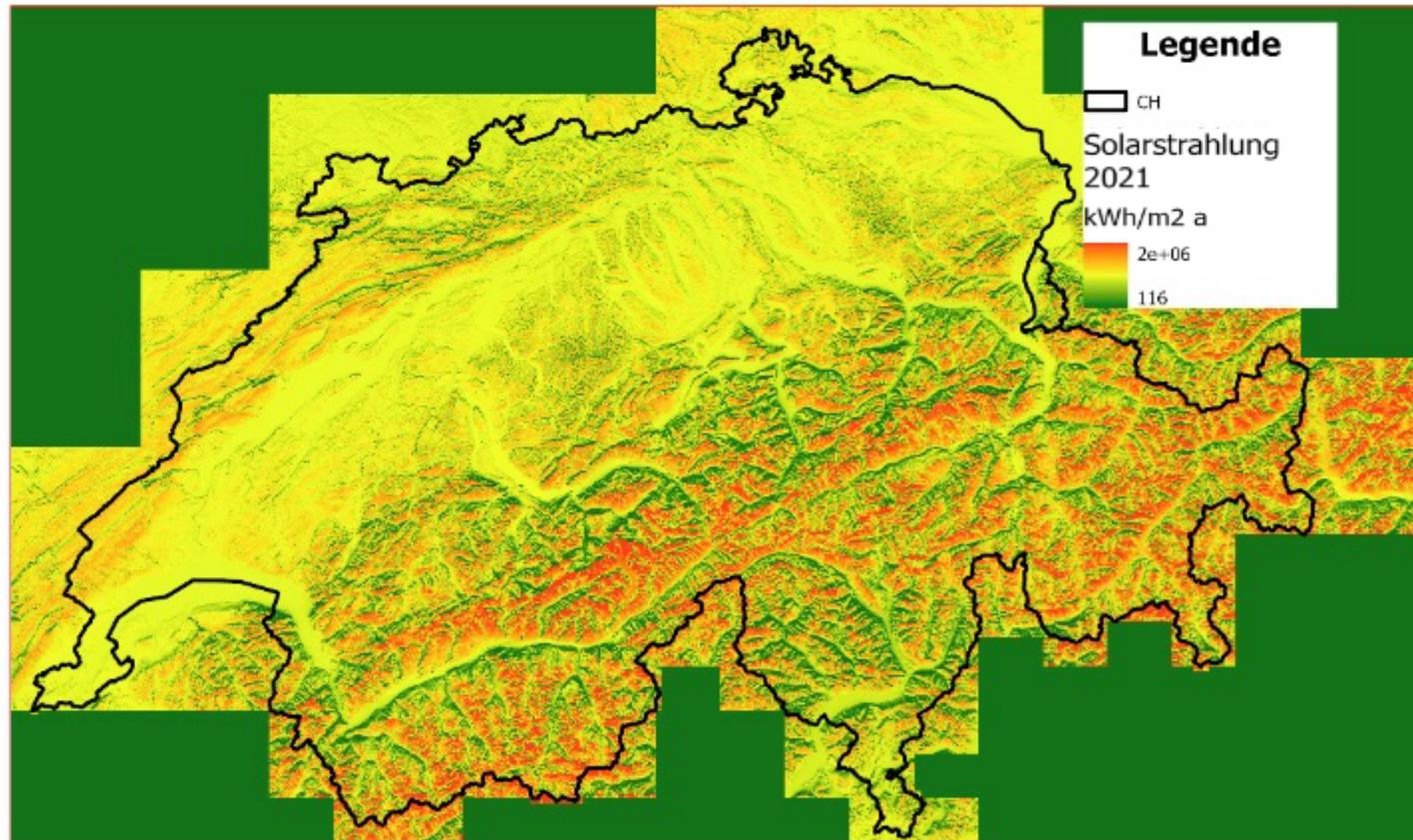
# 1ère étape : tampon autour des zones constructibles de Suisse



Données homogènes des zones à bâtir en CH (source. ARE) avec un tampon de 1km

Difficulté : le tampon de 1 km est choisi au hasard, les zones à bâtir changent constamment et ne sont pas disponibles de manière homogène pour chaque année.

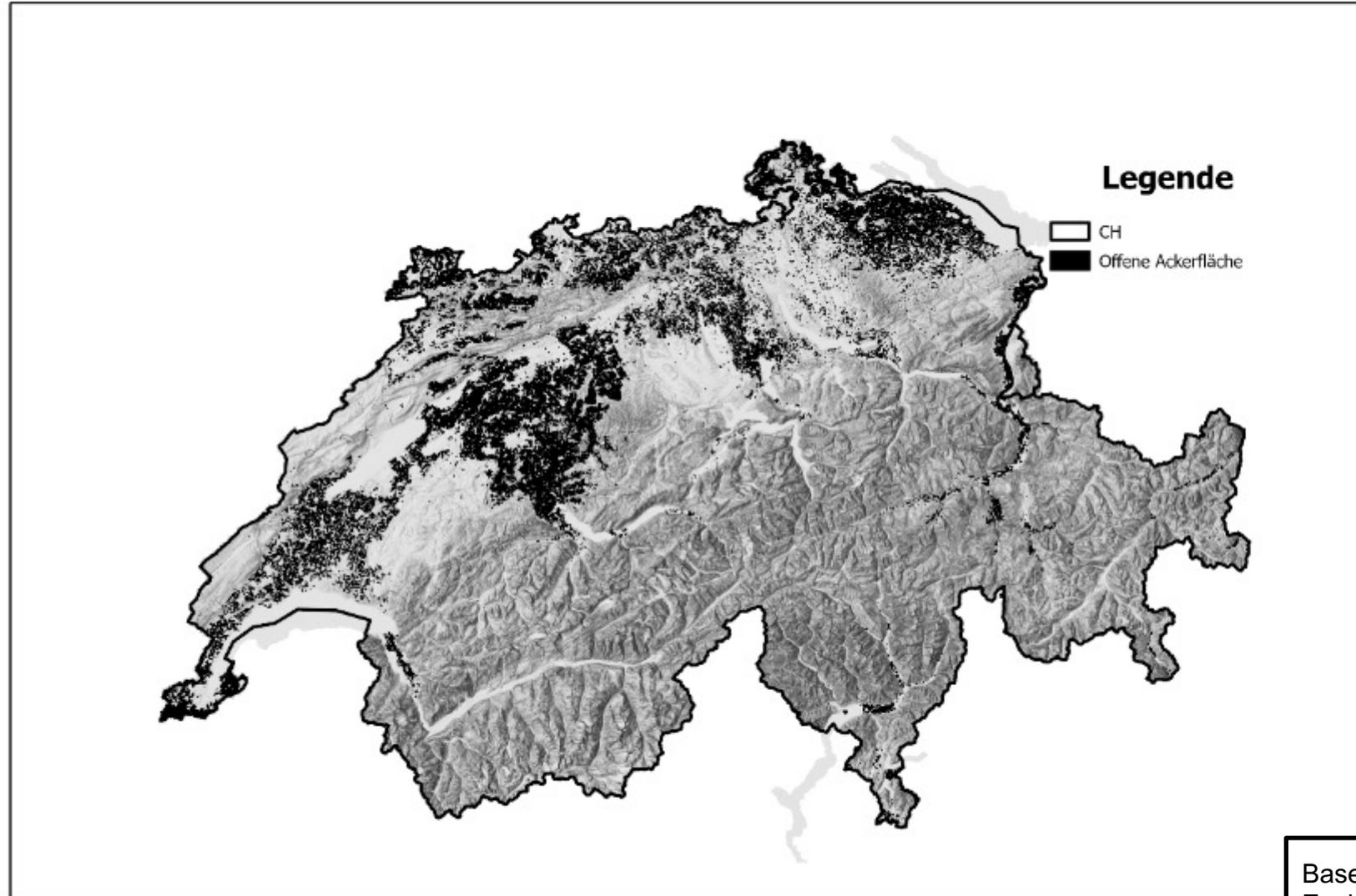
## 2e étape : rayonnement solaire



Rayonnement solaire en 2021 calculé à l'aide d'un modèle d'altitude avec une résolution spatiale de 25m. Base pour les rapports de rayonnement des différentes surfaces d'utilisation.

Source du modèle d'altitude :  
<https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-solar-radiation-is-calculated.htm>

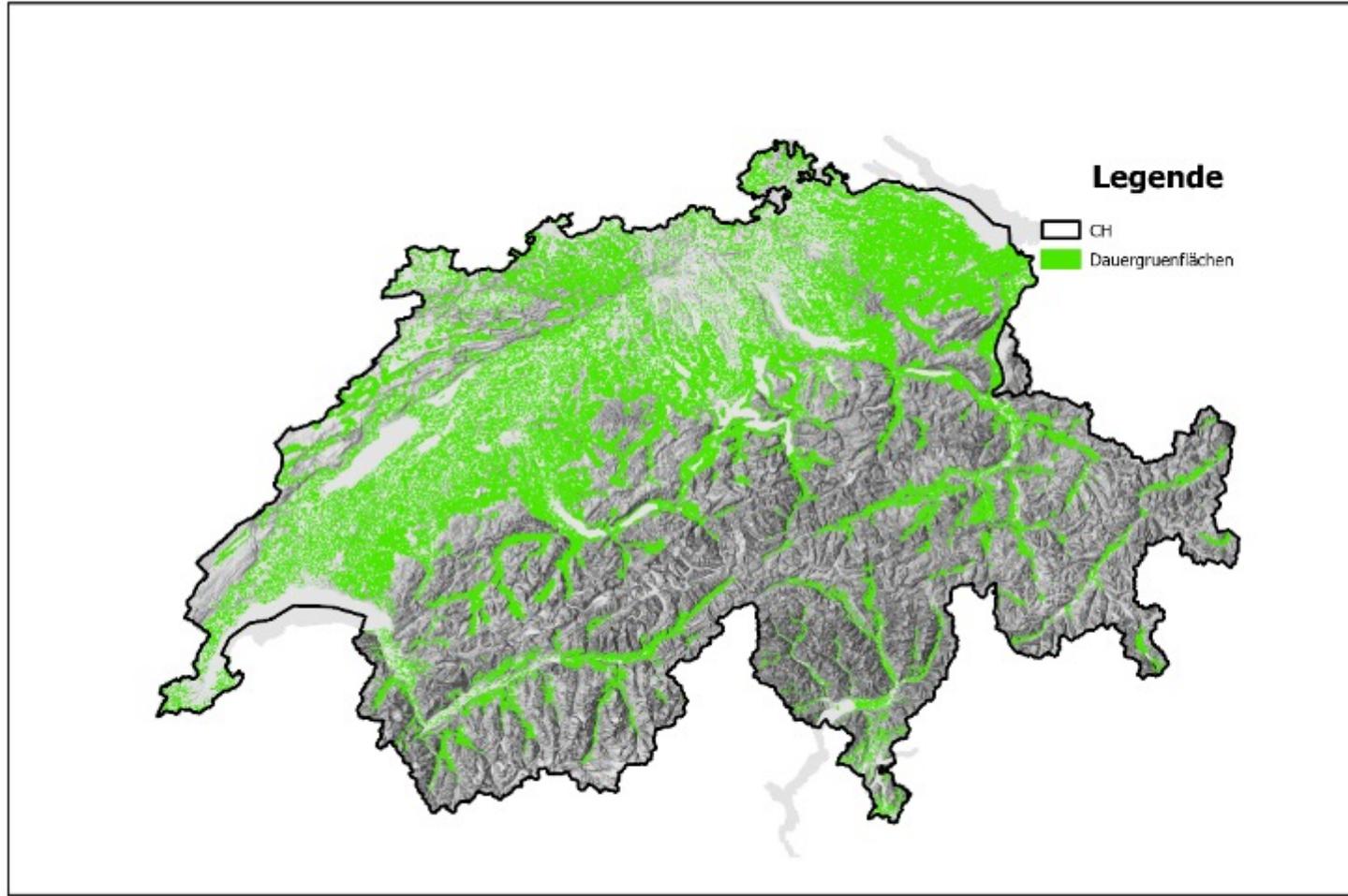
# Scénario A : potentiel géographique sans critères d'exclusion



Toutes les terres arables ouvertes dans un rayon de 1 km autour de la zone de construction. Cultures : toutes les grandes cultures courantes, ainsi que les prairies artificielles. Calcul une fois avec et une fois sans surface de maïs.

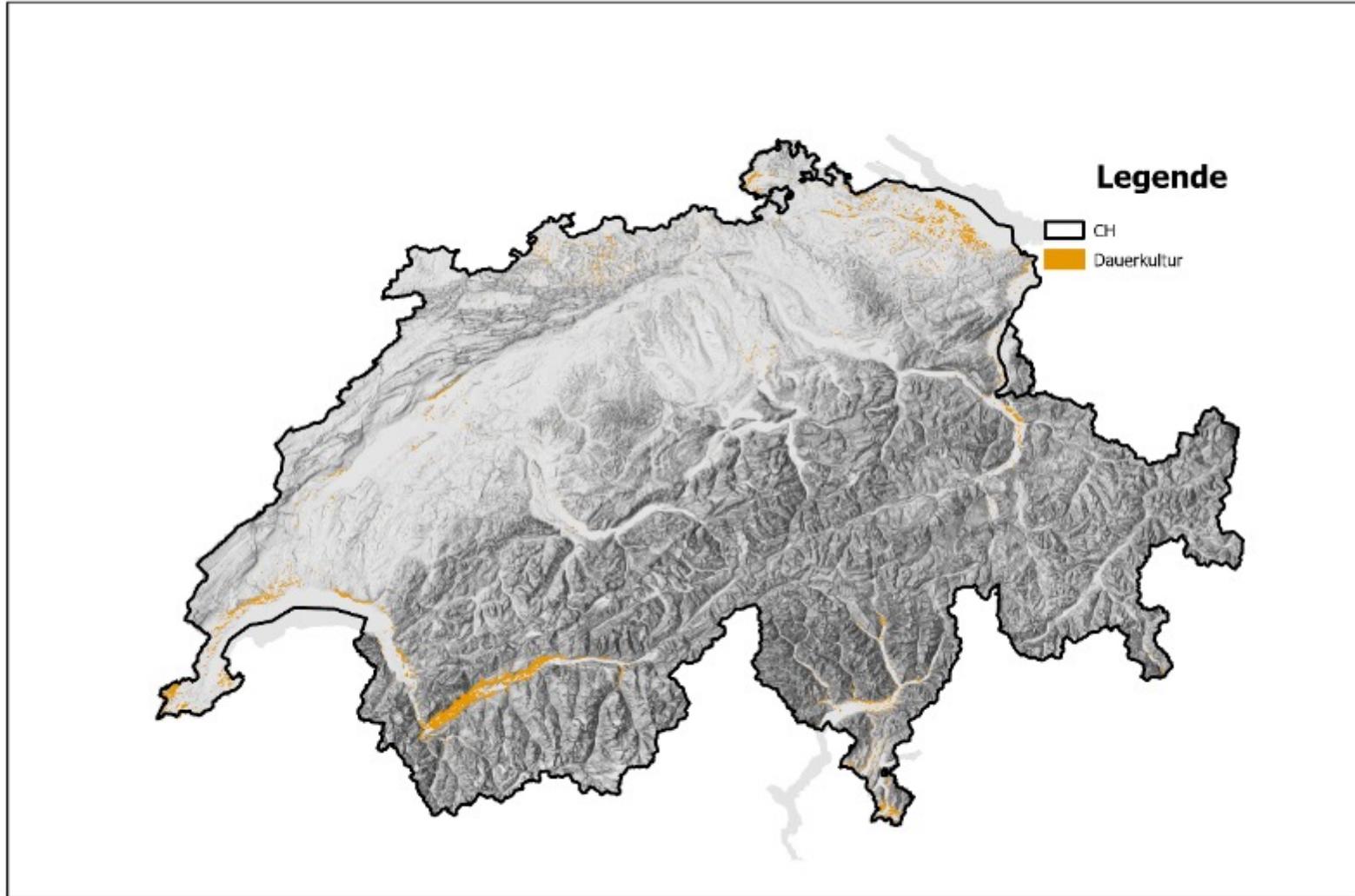
Base de données : modèles de géodonnées minimaux  
Exploitation agricole  
Année de référence 2022, Office fédéral de l'agriculture

# Scénario A : potentiel géographique sans critères d'exclusion



Toutes les surfaces de prairies permanentes (prairies permanentes et pâturages) dans un rayon de 1 km autour de la zone de construction

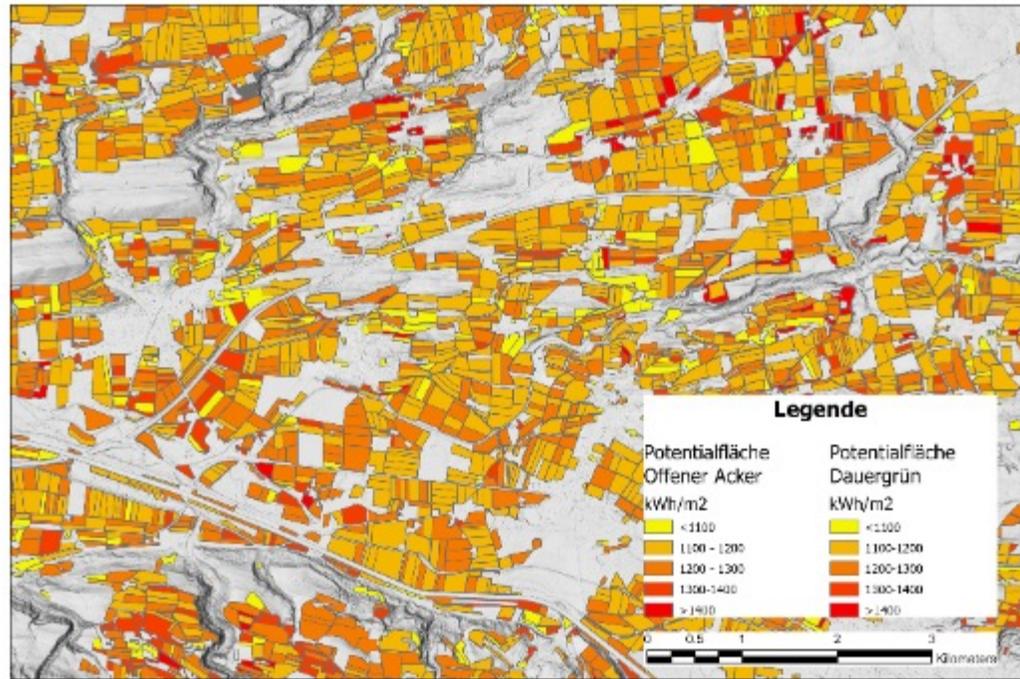
# Scénario A : potentiel géographique sans critères d'exclusion



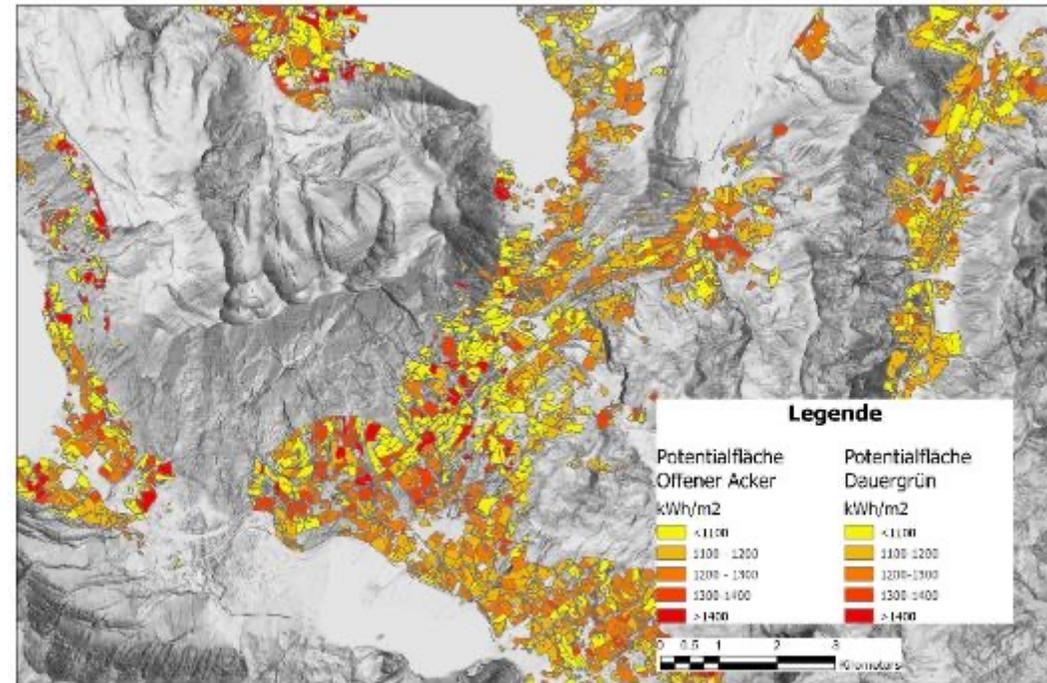
Toutes les surfaces de cultures pérennes (vignobles, vergers et baies, serres et tunnels en plastique) dans un rayon de 1 km autour de la zone de construction

# Comparaison des surfaces potentielles de cultures et de prairies dans deux communes sélectionnées

Commune de Märstetten, Thurgovie



Territoire de la commune de Steinen, Schwyz

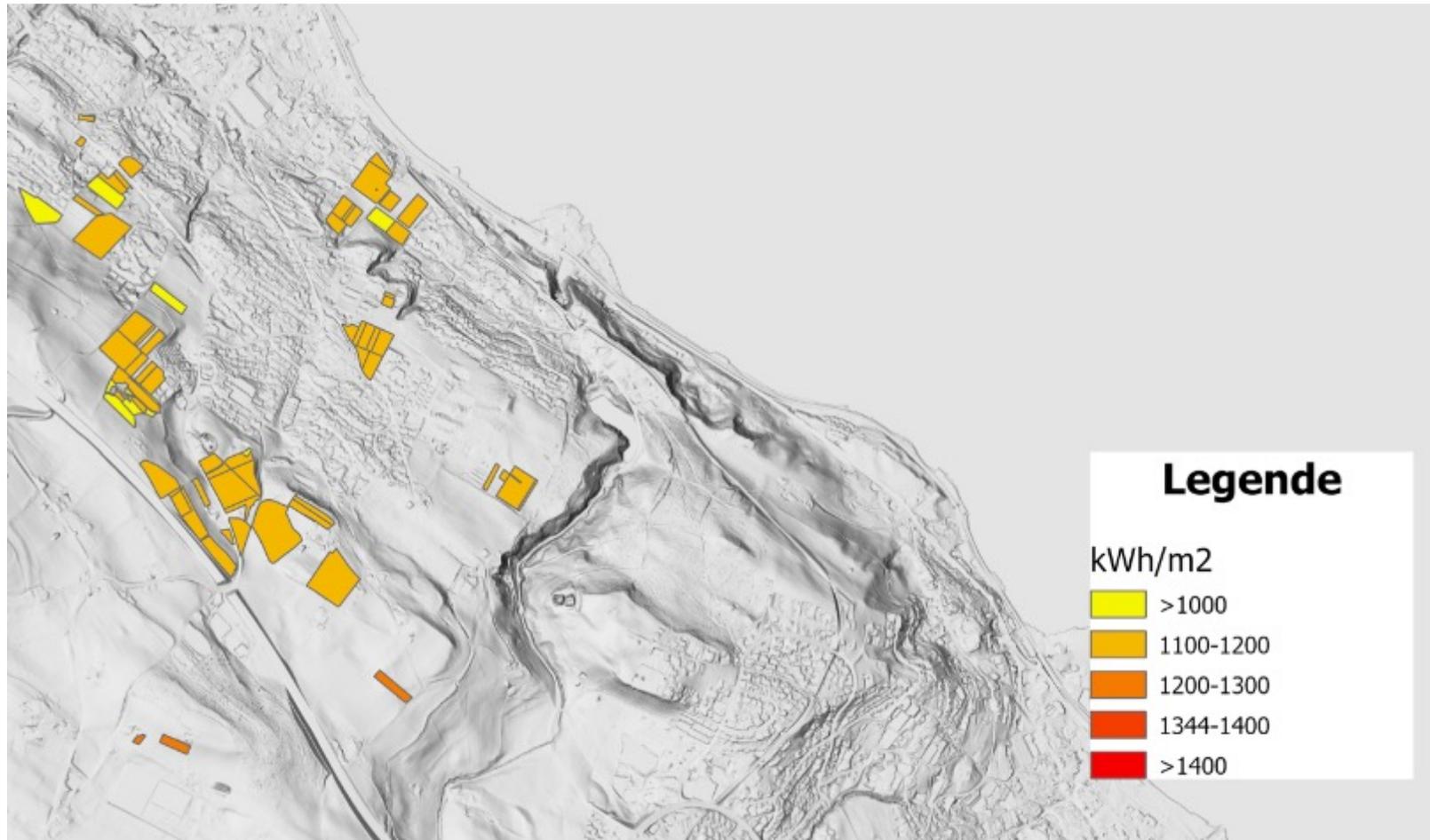


Les catégories représentées sont l'ensoleillement moyen sur une année (kWh/m2 a)

- <1100
- 1100-1200
- 1200-1300
- 1300-1400
- >1400

Pour les terres ouvertes et les prairies permanentes

Uniquement les surfaces de cultures pérennes, Wädenswil



## 3 types d'installations avec des performances différentes



**Grandes cultures** : le rendement annuel est simulé avec un angle d'inclinaison fixe de 20° et une orientation de 30° sud-ouest avec des modules bifaciaux. Puissance nominale : 612 kWp, rendement annuel spécifique de 1200 kWh/kWp, **rendement de surface de 735 MWh/ha.**



**Prairies permanentes** : modules verticaux montés d'est en ouest, puissance nominale de 293 kWp/ha. Puissance annuelle spécifique : 1000 kWh/kWp, **rendement de surface de 293 MWh/ha/a.**

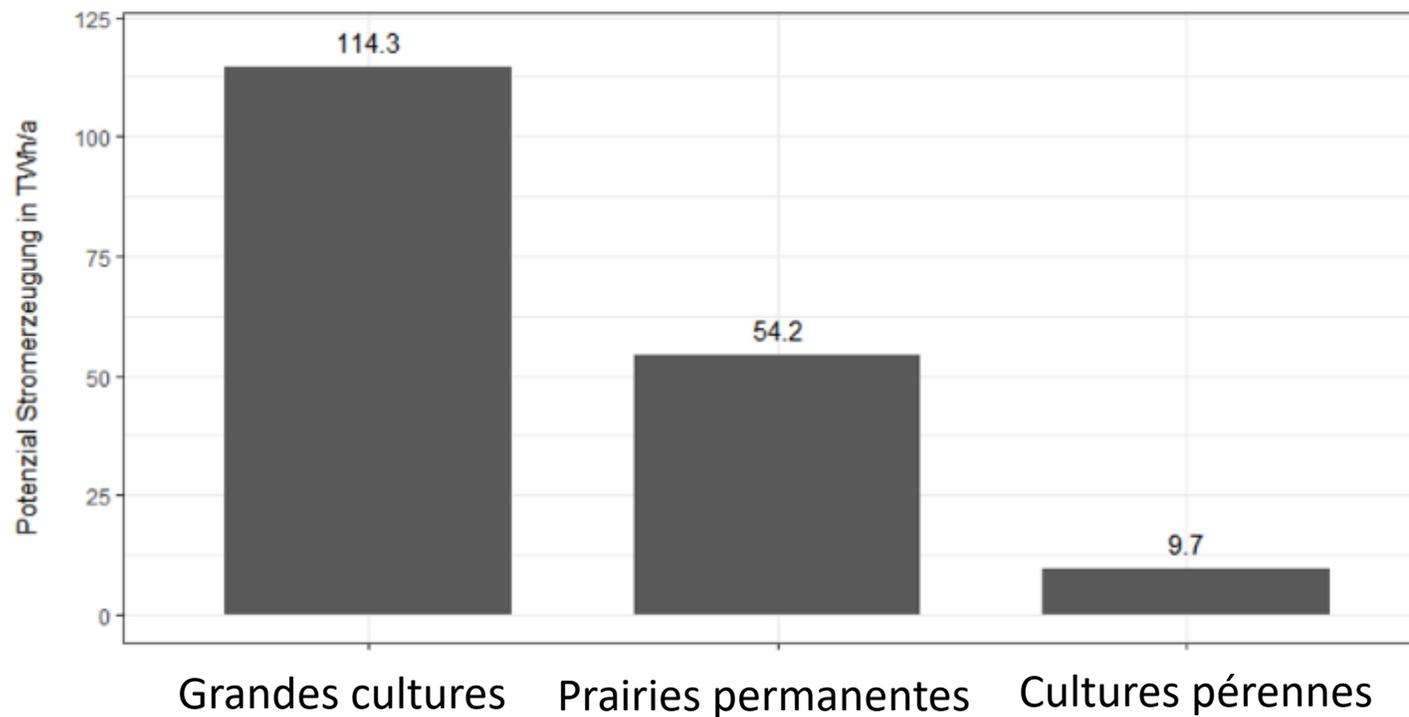


**Cultures pérennes** : installations avec modules semi-transparents. Puissance nominale : 737 kWp/ha. Puissance annuelle spécifique de 1170 kWh/kWp, **rendement de surface de 862 MWh/ha/a.**

Les rendements spécifiques, tels qu'ils ont ensuite été réutilisés dans l'analyse spatiale, ont pu être calculés à partir d'un site de référence à Zurich Kloten. Sur ce site, le rayonnement global annuel sur le plan horizontal est de 1163 kWh/m<sup>2</sup>. Les données de rendement pour l'APV couvert au-dessus de la culture pérenne se basent sur les données relatives à l'installation expérimentale au-dessus du verger de pommiers à Gelsdorf (D). La situation d'ensoleillement de chaque site a été prise en compte en mettant à l'échelle le rendement par unité de surface de l'installation de référence en fonction de l'ensoleillement du site.

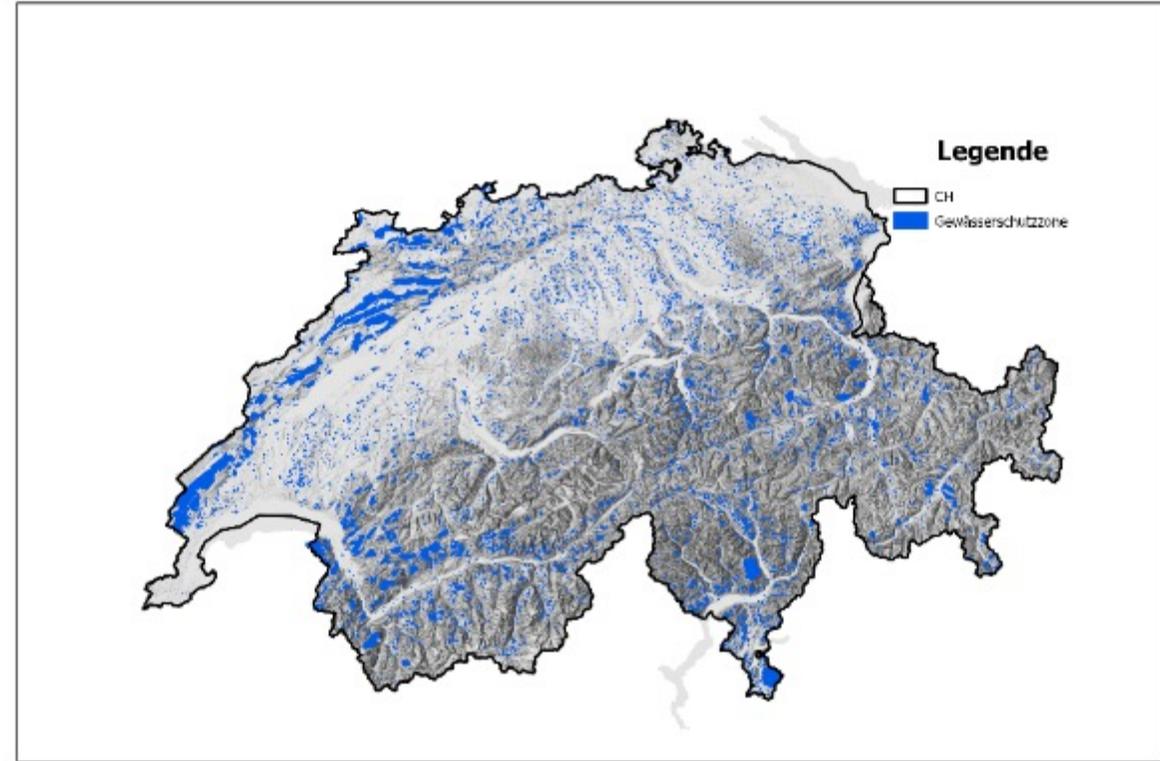
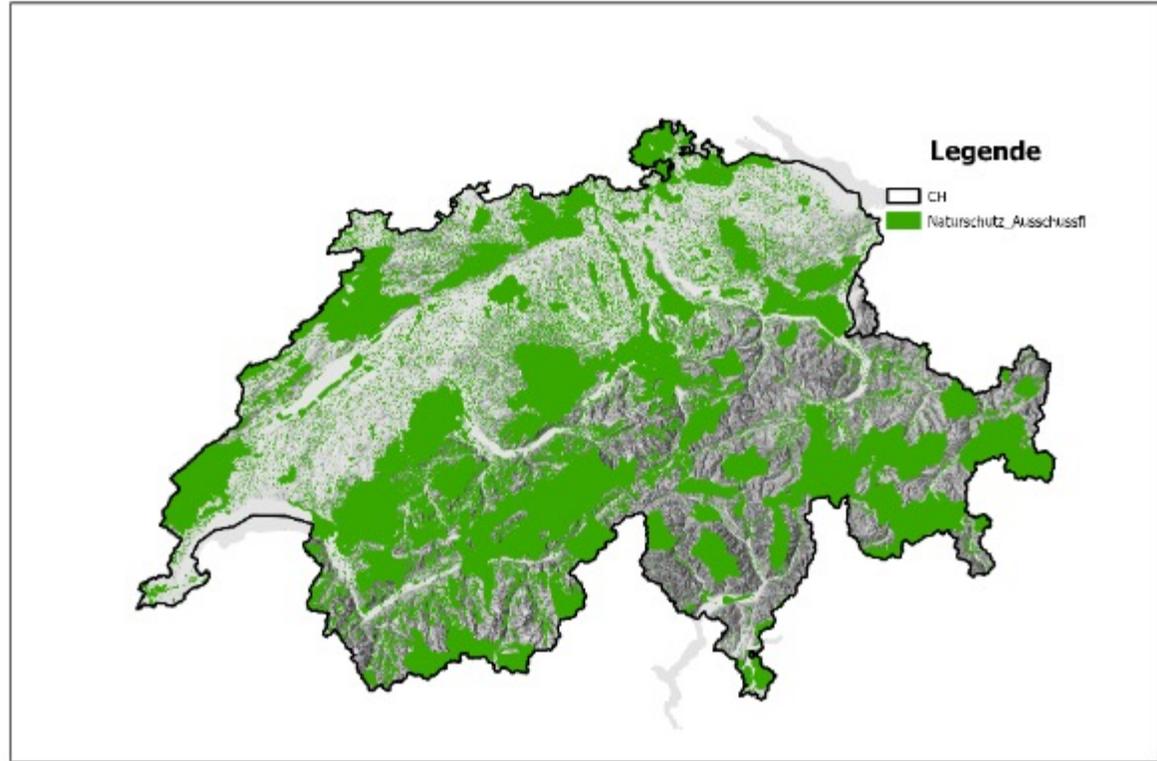
# Résultat potentiel géographique sans critères d'exclusion

Kulturgruppe	Surface en ha	Potentiel TWh/an	Rend. moyen par hectare en MWh/an	Part en %
Grandes cultures	165'652	114.3	689	64.1
Prairies permanentes	191'028	54.2	284	30.4
Cultures pérennes	11'731	9.7	829	5.5
Total	368'412	178.2		



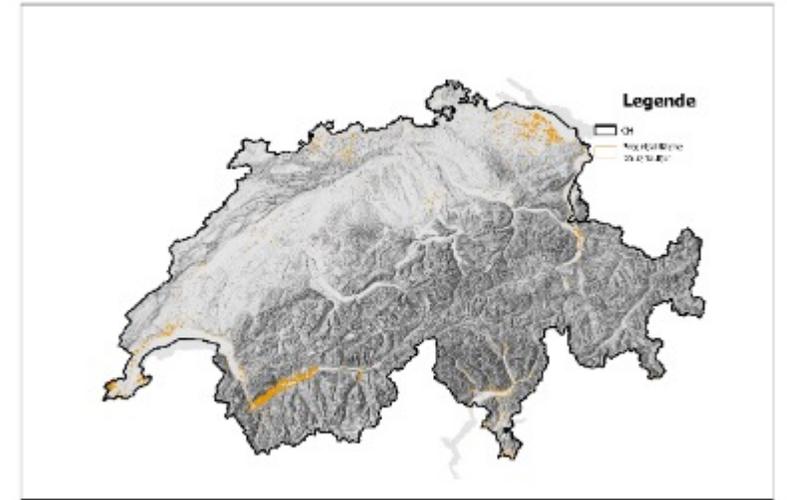
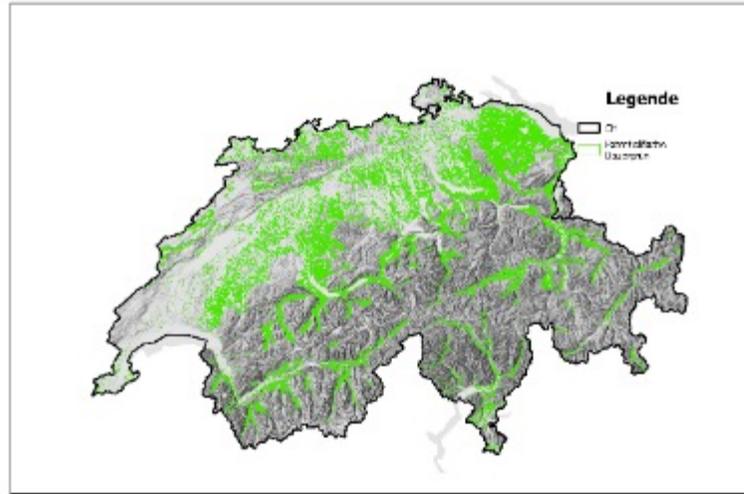
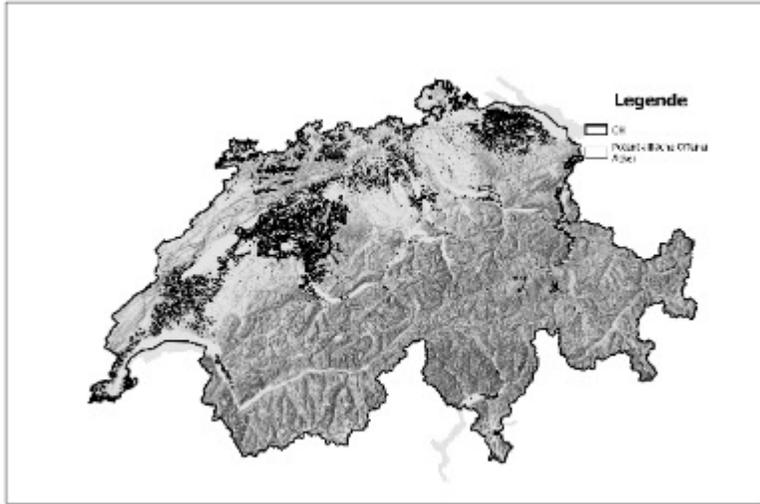
Actuellement, la consommation annuelle d'électricité en CH est d'environ 60TWh

# Scénario B : potentiel géographique avec critères d'exclusion

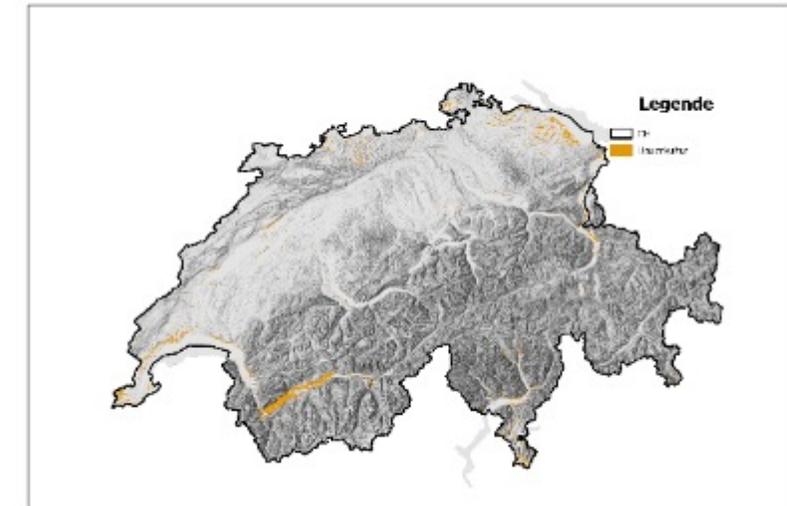
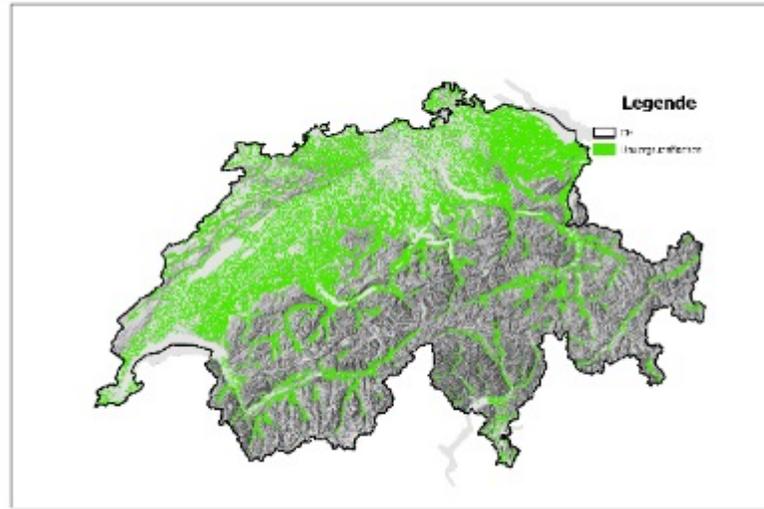
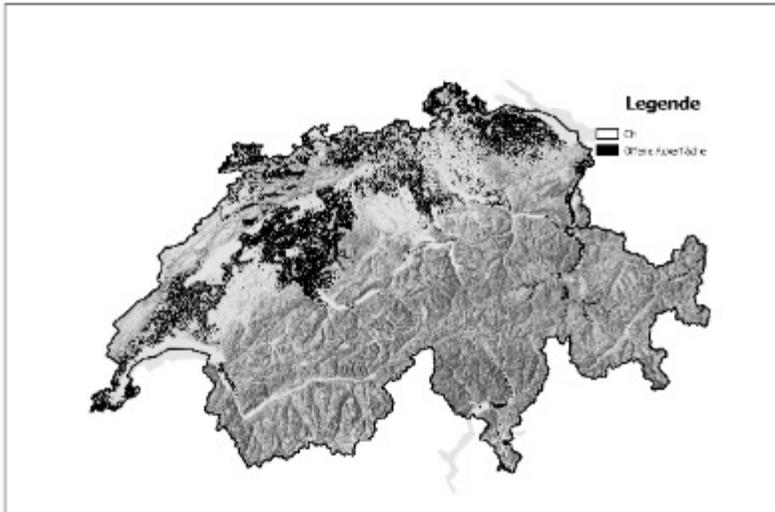


Critères d'exclusion : Zones protégées d'importance nationale (IFP, RAMSAR, SMARGD, parcs naturels, marais, zones de protection des amphibiens, etc.), zones de protection des eaux S1-S3, toutes les surfaces de promotion de la biodiversité (prairies permanentes, grandes cultures et cultures pérennes).

# Rapports de surface entre le scénario B (en haut) et le scénario A (en bas)



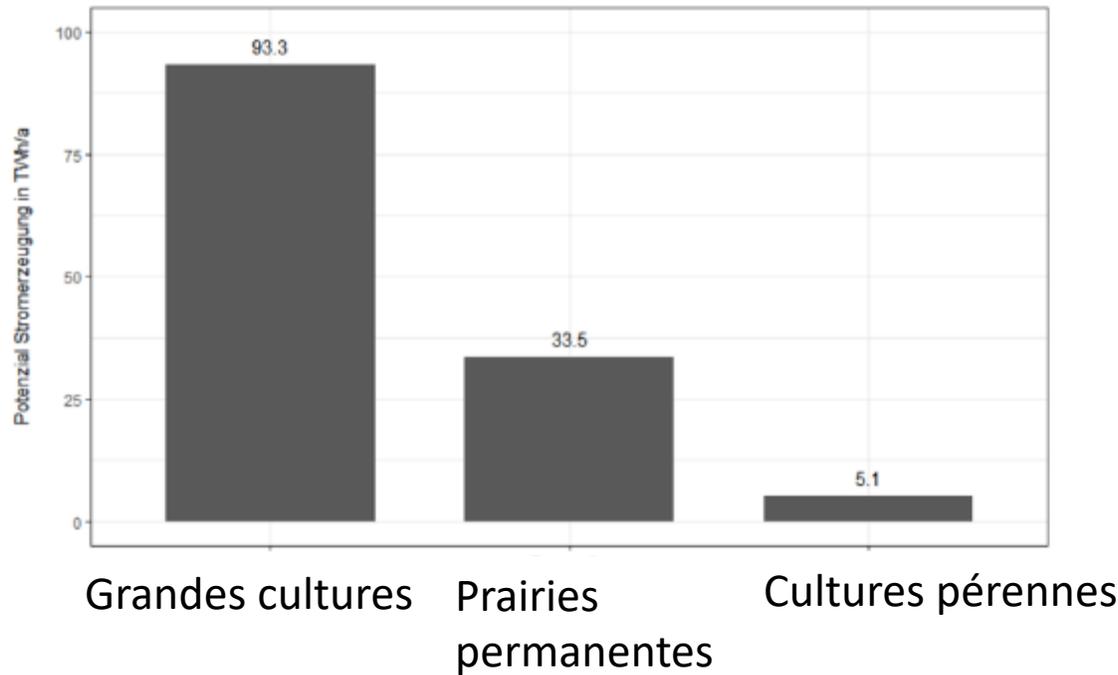
ur  
eic



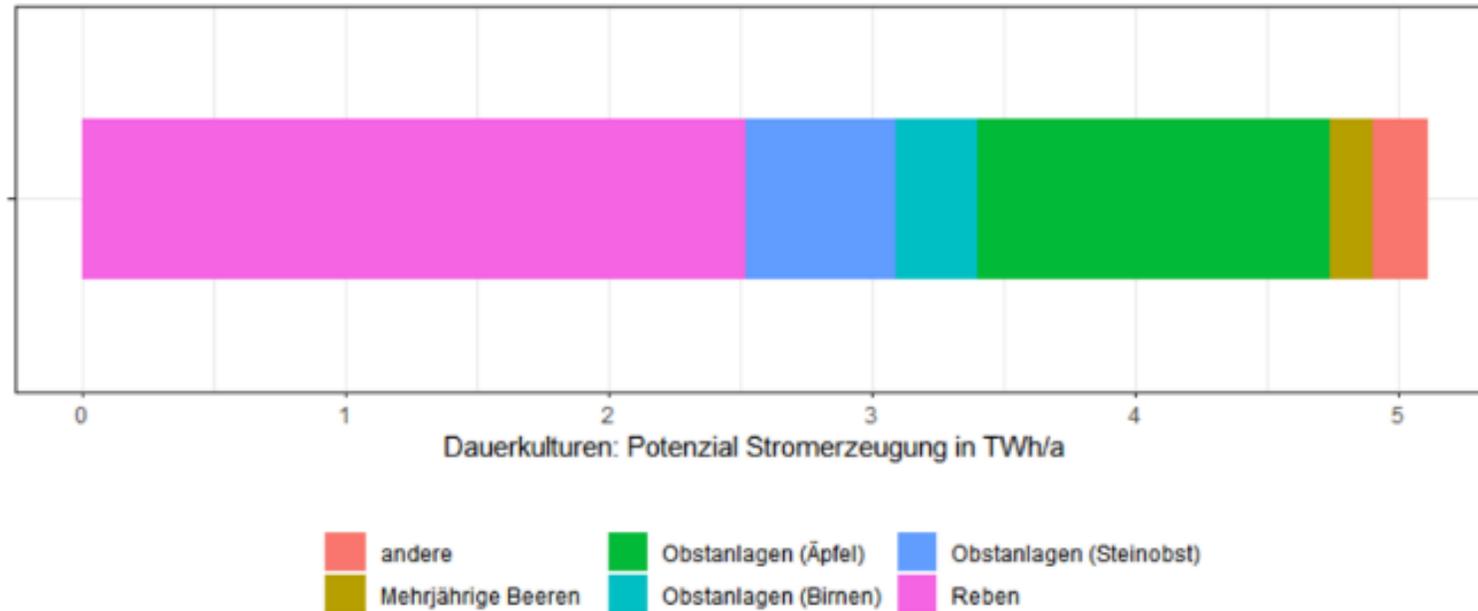
In  
M

# Comparaison du potentiel théorique avec le potentiel selon les critères d'exclusion

Kulturgruppe	Surface en ha	Potentiel TWh/an	Rend. moyen par hectare en MWh/an	Part en %
Grandes cultures	133'941 (111709 ohne Mais)	93.3 (77,8 ohne Mais)	696	70.7
Prairies permanentes	116'892	33.5	282	25.4
Cultures pérennes	6'148	5.1	834	3.9
	256'982	131.9		



# Discussion sur les cultures pérennes



Attention : selon nos calculs (scénario B), seuls environ 3000 ha de vergers et de baies sont adaptés à l'agri-PV. Seulement environ 50% des installations de fruits et baies sont couvertes en CH. Sur ce total, environ un quinzième est reconstruit chaque année.

- La question de savoir quelle quantité d'Agri-PV sera effectivement mise en œuvre en Suisse dépend de la surface qui peut être exploitée de manière rentable.
- La proximité de points de connexion appropriés au réseau électrique est inévitablement liée à la rentabilité de l'agri-PV.
- En collaboration avec l'EPF, la proximité du réseau électrique a été prise en compte dans l'analyse du potentiel.

# Prise en compte du réseau électrique dans l'analyse du potentiel

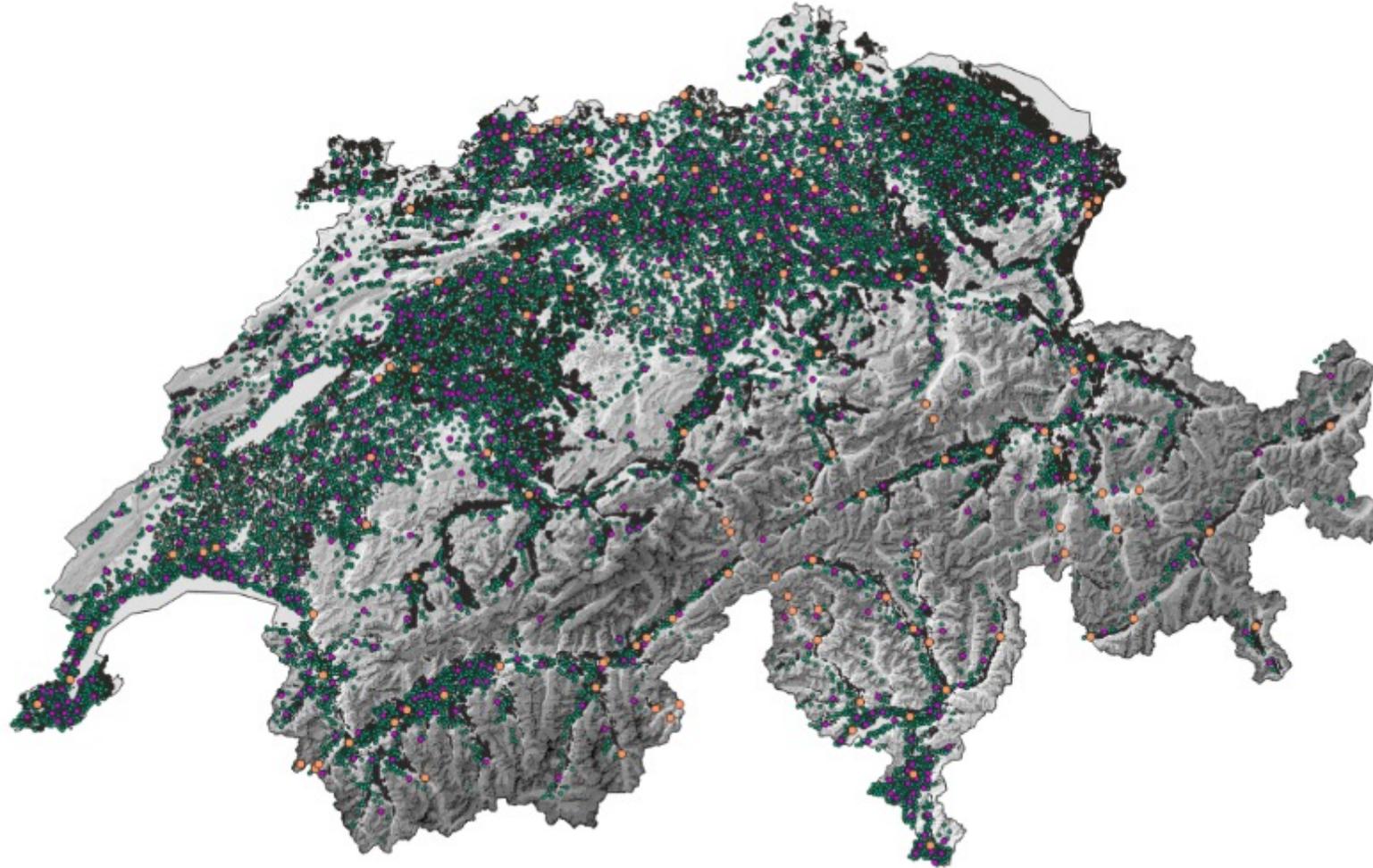
- 1-50 MW: Moyenne tension\*
- > 50 MW: Haute tension\*
- > 500 MW: Très haute tension

Pour les installations PV au sol en Suisse d'une taille prévue de 1 MVA à 150 MVA, les réseaux à moyenne tension et plus rarement à haute tension sont les niveaux de raccordement appropriés. Problème : les données du réseau sont confidentielles et ne sont pas disponibles publiquement. Seules les données des niveaux de réseau 1 et 2 sont publiques.

Tabelle 4: Überblick über die Netzebenen im Schweizer Stromnetz. Quelle: [Swissgrid. Grid-Levels](#)

Niveau du réseau	Description	
1	Höchstspannungsebene: 380 KV oder 220 KV	Très haute tension
2	Transformatorebene	Transformateur
3	Hochspannungsebene: 36 KV bis 150 KV	Haute tension
4	Transformatorebene	Transformateur
5	Mittelspannungsebene: 1 KV bis 36 KV	Moyenne tension
6	Transformatorebene	Transformateur
7	Niederspannungsebene: unter 1 KV	Basse tension

# Transformateurs du réseau de transport et de distribution



Source : Gupta et al., 2021, Applied Energy, *Countrywide PV hosting capacity and energy storage requirements for distribution networks : The case of Switzerland*

# Carte du réseau niveaux 1-2

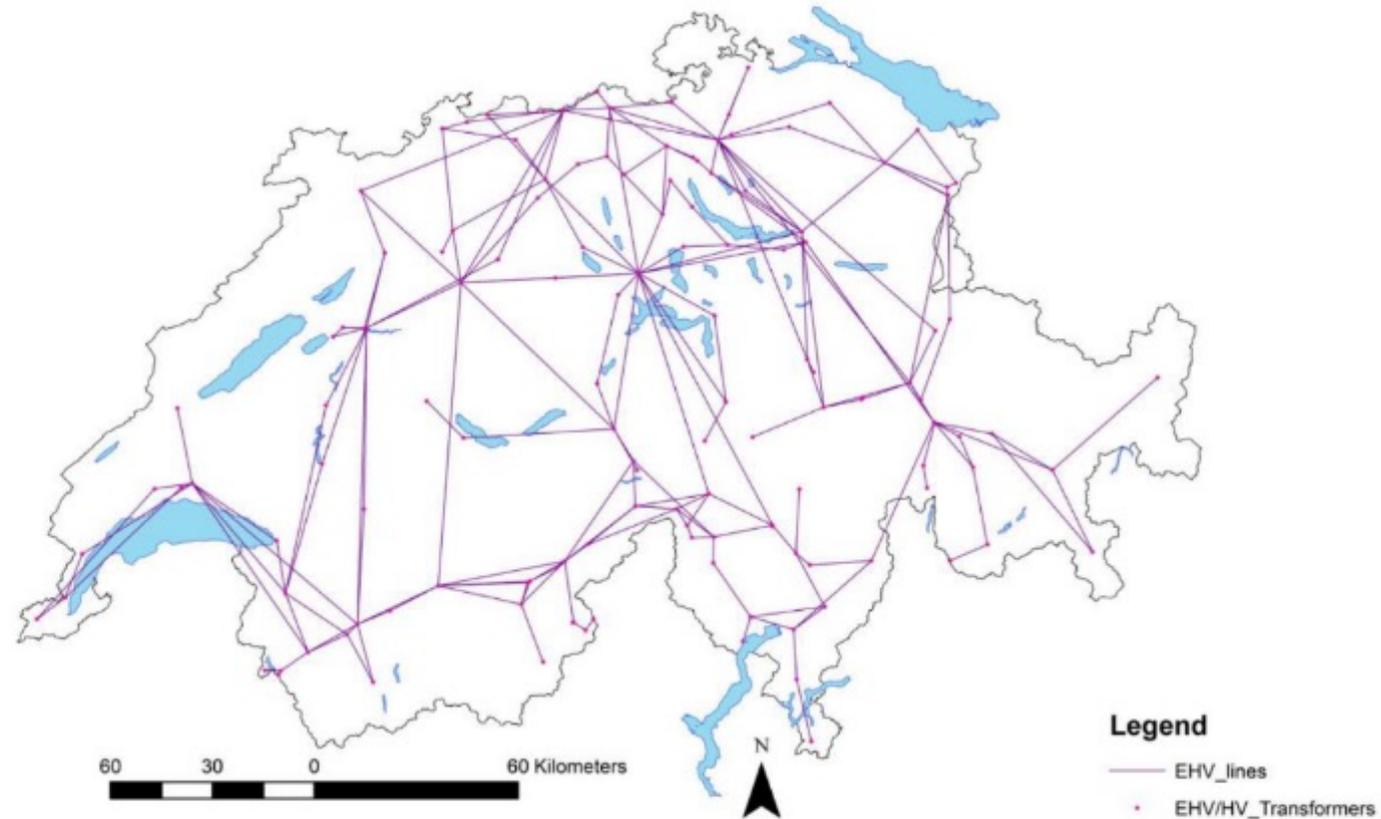


Abbildung 37: Karte des EHV-Netzes. Obwohl diese Netzebene auch Leitungen aus dem Ausland enthält, sind in dieser Karte nur inländische Leitungen enthalten (Wang, 2022).

# Carte du réseau niveaux 4-6

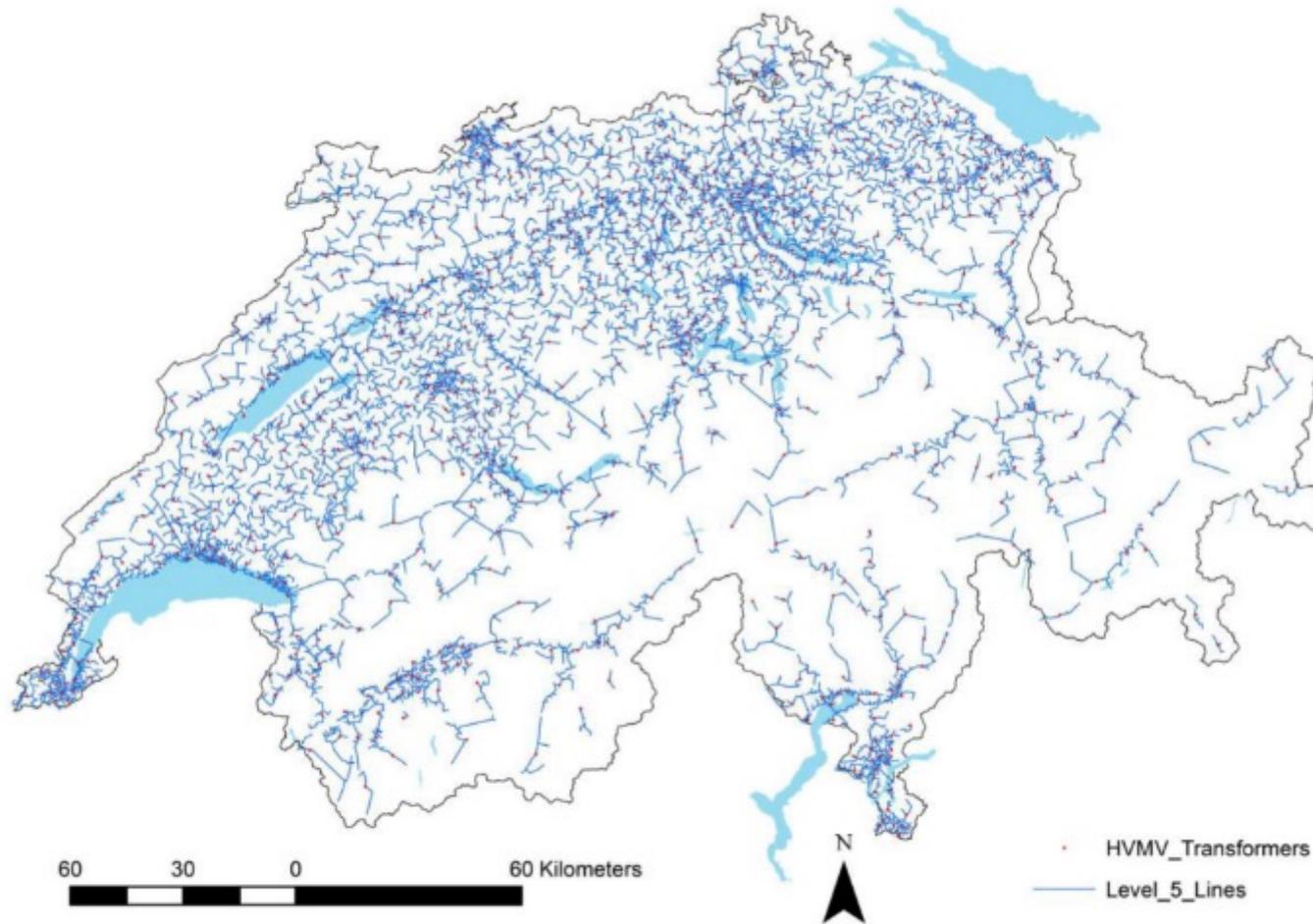


Abbildung 38: Karte des MV-Netzes, die auf der Grundlage der simulierten Daten von (Gupta et al., 2021) erstellt wurde. Für eine bessere Lesbarkeit des Diagramms werden die Transformatoren der Ebene 6 nicht an den End- und Verbindungspunkten der Level-5-Linien dargestellt (Wang, 2022).



- Étape 1 : Regroupement de toutes les surfaces directement contiguës du même type d'agri-PV = plus grande surface contiguë, plus grande puissance
- Étape 2 : recalculer la production d'électricité pour cette nouvelle surface totale sur la base du rayonnement solaire annuel pondéré.
- Etape 3 : Attribution de la surface au niveau de réseau sur la base de la taille de l'installation PV :
  - 1-50 MW : moyenne tension
  - > 50 MW : haute tension
  - > 500 MW : très haute tension
- Étape 4 : Affectation de la surface au transformateur le plus proche à l'intérieur d'une certaine distance (voir flèche bleue), c'est-à-dire que finalement les surfaces sont classées en 4 catégories en fonction de leur proximité avec un point de raccordement au réseau approprié.

\*Source : AES, Recommandation Raccordement au réseau pour les installations de production d'énergie

# Potentiel de production d'électricité en ha et TWh/ha avec l'agri-PV en tenant compte de la proximité du réseau

**Table 5:** Surfaces en hectares pour les différents types de surfaces avec la prise en compte du réseau électrique

	Très adaptées (<100m)	adaptées (100-300m)	Peu adaptées (300-500m)	Très peu adaptées (500-1000m)	
Cultures pérennes	856 (14%)	491 (8%)	290 (5%)	369 (6%)	2'005 (32%)
Prairies permanentes	16'714 (14%)	8'374 (7%)	6'566 (6%)	10'334 (9%)	41'988 (36%)
Grandes cultures	36'926 (27%)	18'704 (14%)	16'082 (12%)	21'185 (18%)	94'896 (71%)

**Table 6:** Potentiel de production électrique en TWh/an avec la prise en compte du réseau électrique

	Très adaptées (<100m)	adaptées (100-300m)	Peu adaptées (300-500m)	Très peu adaptées (500-1000m)	Total
Cultures pérennes	0.71 (14%)	0.41 (8%)	0.24 (5%)	0.31 (6%)	1.66 (33%)
Prairies permanentes	4.84 (14%)	2.43 (7%)	1.90 (6%)	3.00 (9%)	12.17 (36%)
Grandes cultures	25.02 (27%)	13.03 (14%)	11.20 (12%)	16.85 (18%)	66.1 (71%)

Si nous supposons que les besoins en électricité en Suisse passeront de 60TWh/a aujourd'hui à 80TWh/a d'ici 2050 et qu'environ 10% de ces besoins futurs devront être couverts par l'agri-PV, cela signifie concrètement que les besoins en surface seront plus importants :

- 11'486 ha de terres ouvertes (env. 1,1% de la SAU) **ou**
- 27'914 ha de prairies permanentes (env. 2,6% de la SAU) **ou**
- 9 643 ha de cultures pérennes (0,9% de la SAU)

En tenant compte de la proximité du réseau électrique et de la distance la plus courte au point d'alimentation le plus proche (<100m), cet objectif ne pourrait être atteint qu'avec les surfaces d'assolement. Ou bien sûr avec une combinaison de différents types d'utilisation du sol

- Pas d'exclusion de fait de certaines utilisations des terres pour l'agri-PV. En particulier sur les surfaces d'assolement, l'impact de ces installations sur des surfaces déjà dégradées ou des zones fortement touchées par le changement climatique devrait être rapidement étudié.
- Vérifier si les surfaces de promotion de la biodiversité dans les grandes cultures, mais aussi dans d'autres types d'utilisation des surfaces, doivent vraiment être exclues des systèmes APV, notamment lorsqu'il s'agit d'ensemencer certains mélanges, par exemple pour favoriser les auxiliaires. Dans ce cas, il faut toutefois considérer les différents types de SPB de manière très différenciée.
- Vérifier globalement dans quelle mesure les surfaces agricoles utiles peuvent obtenir une capacité de paiement direct dans le système Agri-PV. Cela vaut en particulier pour la situation où les exploitants ne sont pas les principaux investisseurs de l'installation PV.
- Promouvoir les projets photovoltaïques dans la zone agricole en tant qu'*installations énergétiques citoyennes*, c'est-à-dire avec la participation financière de la population locale, afin d'augmenter l'implication et l'acceptation sociale. Parallèlement, la sensibilisation de la population aux thèmes à l'intersection de la sécurité énergétique, de la production alimentaire et du changement climatique est renforcée.

**Merci de votre attention**

**[mareike.jaeger@zhaw.ch](mailto:mareike.jaeger@zhaw.ch)**



- 1) Trommsdorff et autres, "Agrivoltaics : Opportunities for Agriculture and the Energy Transition". Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, oct. 2020. Consulté : oct. 05, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>
- 2) Agrisolar, "Best Practices Guidelines". SolarPower Europe, mai 2021. Consulté : oct. 05, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/05/1721-SPE-Agrisolar-Best-Practices-Guidelines-02-mr.pdf>
- 3) Barron G.A. et al., 2019, Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands, Nature Sustainability, <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- 4) Wang, J. (2022). Assessment of Agrivoltaics for the Transition of the Swiss Electricity System [Semester project]. ETH Zurich
- 5) M. Trommsdorff et al., "Combining food and energy production : Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany", Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 140, p. 110694, avr. 2021, doi : 10.1016/j.rser.2020.110694
- 6) Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S. et al. Agrophotovoltaic systems : applications, challenges, and opportunities. Un examen de la situation. Agron. Sustain. Dev. 39, 35 (2019). doi:10.1007/s13593-019-0581-3
- 7) Trommsdorff, M. et al. Combining food and energy production : Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. Renewable and Sustainable Energy Reviews 140, 110694 (2021). doi:10.1016/j.rser.2020.110694
- 8) Graham, M. et al. Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. Sci Rep 11, 7452 (2021). doi : 10.1038/s41598-021-86756-4
- 9) Laub, M., Pataczek, L., et al., Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems : a meta-analysis Agronomy for Sustainable Development volume 42, Article number : 51 (2022) <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00783-7>
- 9) Jäger, M., et al. Etude de faisabilité Agri-Photovoltaïque dans l'agriculture suisse, 2022, Haute école des sciences appliquées de Zurich, <https://doi.org/10.21256/zhaw-25624>