



HAL
open science

Rapport technique sur la constitution d'un système d'information géographique à l'échelle de l'Europe, dans le cadre du projet SLAM-B : Volet données climatiques

Hugo Senges, Helene Raynal, Hugues Clivot, Julie Constantin

► **To cite this version:**

Hugo Senges, Helene Raynal, Hugues Clivot, Julie Constantin. Rapport technique sur la constitution d'un système d'information géographique à l'échelle de l'Europe, dans le cadre du projet SLAM-B : Volet données climatiques. Inrae. 2025, 28 p. <hal-04920051>

HAL Id: hal-04920051

<https://hal.inrae.fr/hal-04920051v1>

Submitted on 25 Feb 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ETALAB - Open licence



PROGRAMME
DE RECHERCHE
CARBONE ET
ÉCOSYSTÈMES
CONTINENTAUX



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

INRAE



Rapport technique : Analyse des séries climatologiques grillées, au pas de temps journalier, à l'échelle de l'Europe

Travail préparatoire à l'extension du modèle STICS à l'échelle de l'Europe sur la période 1990-2050

-

Programme Fair'Carbon – Projet SLAM-B - Groupe de travail n°3

27 Septembre 2024

Hugo Senges, ⁽¹⁾, Hélène Raynal ⁽¹⁾, Julie Constantin ⁽¹⁾, Hugues Clivot ⁽²⁾

⁽¹⁾ Université de Toulouse, INRAE-ENSAT, UMR AGIR, F-31320 Castanet-Tolosan, France

⁽²⁾ Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A 614, Reims, France

Remerciements : Renan Le Roux, Guillaume Jego

Pour citer ce rapport :

Senges H., Raynal H., Constantin J., Clivot H., 2024. Rapport technique sur la constitution d'un système d'information géographique des données pédologiques à l'échelle de l'Europe, dans le cadre du projet ANR-22-PEXF-0003 – projet SLAM-B

"Ce travail s'inscrit dans le projet du programme de recherche exploratoire FairCarboN et a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-22-PEXF-0003 – projet SLAM-B »

"This work is part of project SLAM-B of the exploratory research program FairCarboN and received government funding managed by the Agence Nationale de la Recherche under the France 2030 program, reference ANR-22-PEXF-0003 – projet SLAM-B]"

Table des matières

Table des illustrations	2
1. Cadre	3
2. Protocole de comparaison	4
3. Descriptif des produits climatiques	6
4. Analyse comparative des produits climatiques.....	7
4.1. Ecart relatif produit climatique - donnée de contrôle :.....	7
4.2. Analyse longitudinale	9
4.3. Analyse transversale.....	12
5. Analyses complémentaires.....	19
Bibliographie.....	21
Annexes	22
Annexe 1 : Corrections intermédiaires des indicateurs.....	22
Annexe 2 : Corrections des données de vitesse du vent	26
Annexe 3 : Spécifications techniques du produit E-Obs	27
Annexe 4 : Panoptique des principaux modèles climatiques prévisionnels	28

Table des illustrations

- Figure 1 : Carte de localisation des stations de contrôles investiguées	5
- Tableau 1 : Descriptif des jeux de données	6
- Tableau 2 et 2bis : Statistiques agrégés et comparative entre les jeux de données, par variable...7	
- Figure 2 : Répartition des jeux de données autour de la moyenne par variable	8
- Graph 1 à 7 : Histogrammes des valeurs par jeux de données et par saison, selon les différentes variables. Approche longitudinale	9 - 10
- Graph 8 à 12 : Diagrammes en violons, présentant la distribution des valeurs par mois (toutes années de la chronique confondus) et par jeux de données , selon les différentes variables. Approche transversale	12 – 16
- Graph 13 : Diagramme en radar des écarts (en valeur absolue) des valeurs moyennes, selon les différents jeux de données, et variable par variable, aux valeurs de contrôle par site ...17	
- Graph 14 : Diagramme en radar des écarts des valeurs moyennes, selon les différentes variables, et jeux de donnée par jeux de données, aux valeurs de contrôle par site	18
- Tableau 3 et 3bis : Nombre de jours moyens sans pluie par an, pour certaines grandes villes, puis pour la chronique étudiée, par jeux de données	19
- Tableau 4 et 4bis : Nombre de jours de gel par an en moyenne	20

1. Cadre

Les objectifs de neutralité carbone à 2050 et de durabilité nécessitent de développer une bioéconomie répondant simultanément aux enjeux de production et transformation alimentaires et non alimentaires et de préservation des ressources naturelles. Pour cela, des approches territoriales combinant agroécologie, valorisation fine des ressources, action collective et développement d'interdépendances vertueuses (économie circulaire, lien rural-urbain...) sont à favoriser.

Les approches de modélisation et évaluation intégrées (*Integrated Assessment and Modelling* - IAM) sont reconnues pour leur capacité à accompagner les acteurs dans la conception d'organisations territoriales des activités humaines telles que celles de la bioéconomie. Elles permettent d'intégrer dans des modèles les connaissances pluridisciplinaires génériques et celles empiriques des acteurs et d'utiliser ces modèles pour simuler et évaluer, ex ante, des scénarios d'organisation des territoires sous hypothèses de changements endogènes ou exogènes. Le projet SLAM-B (PC2 de FairCarboN) vise à structurer la communauté de recherche française qui développe et applique des approches IAM pour soutenir le développement d'une bioéconomie durable basée sur l'agroécologie. SLAM-B prend en compte les différentes composantes de la bioéconomie notamment, la diversité des systèmes de production, des matières premières et produits finis, des bioraffineries, des boucles de recyclage, et des organisations de filières. SLAM-B vise à relever trois grands défis scientifiques :

- développer des approches IAM génériques pour simuler les transitions bioéconomiques et anticiper leurs conséquences,
- démontrer la pertinence et la légitimité de ces approches IAM via leur application au sein de Living Labs à portée prospective, appelés Scenario Labs,
- produire des connaissances sur mesure pour les décideurs publics à l'échelle nationale et européenne.

Pour relever ces défis, SLAM-B est organisé en trois groupes de tâches (GT) interconnectés. Le GT3 vise à développer et appliquer des approches IAM, à l'échelle de la France et de l'Europe, pour générer des connaissances sur la quantité de résidus de culture et de couverts intermédiaires mobilisables par différentes filières de la bioéconomie, le potentiel de l'intensification écologique des forêts et de l'agriculture et le potentiel de production de biogaz. Il vise essentiellement le support à la décision publique, tant via le développement d'indicateurs sur mesure pour l'implantation et l'investissement dans des filières bioéconomiques sur les territoires (T.3.1), que de solutions applicables à grande échelle pour mobiliser et utiliser durablement de la biomasse agricole et forestière additionnelle et séquestrer du carbone dans les sols (T3.2-3.7).

Suite aux premières avancées de ce GT3, les tâches T3.2 (Couverture des sols nus), T3.3 (Interactions résidus de culture et bioéconomie) et T3.7 (Niveau potentiel et conséquences de la production de biogaz), ont été réunies dans une tâche de modélisation des systèmes de cultures à l'échelle de l'UE, sur la base du modèle STICS (entre autres), et du cadre conceptuel développé durant l'étude 4p1000¹.

L'alimentation de ce travail de modélisation en données est l'objet du présent rapport. L'objectif général est de mettre à disposition les données climatologiques suffisantes pour le compartiment climat de STICS. La compilation de ces données à l'échelle européenne passe ainsi par la collecte d'une chronique climatique journalière de 1990 à 2020, puis d'une série simulée des années 2020 à 2050.

¹ Pellerinet *al.*, 2020.

Ces deux jeux de données relativement indépendants sont aux pas journalier. L'objectif est de produire les fichiers climatiques STICS correspondant aux unités de simulations telle que définies dans le document sur les données pédologiques².

Ci-dessous quelques points de précision sur l'emprise étudiée :

- La France sert de cas d'études dans le présent rapport afin de tester la disponibilité et la qualité des données. La démarche sera ensuite étendue à l'ensemble de l'échelle communautaire.
- Après arbitrage il est décidé de conserver le Royaume-Uni dans l'emprise étudiée, car disposant de données pouvant permettre une meilleure calibration du modèle.
- Le territoire considéré est celui couvert par des activités agricoles, au sens large, bien qu'excluant *a priori* les forêts et les cultures pérennes, dont les logiques ne sont pas modélisables grâce au modèle STICS.
- Les prairies permanentes, initialement non-retenues au sein de l'espace « cultivé » visé par l'étude, sont considérées à part du reste des emprises cultivées (hors-forêts). Leur dynamique spatiale (extension ou réduction) pourra faire l'objet de scénarios qui à ce titre viendrait impacter les sorties du modèle.

2. Protocole de comparaison

Pour pouvoir apprécier les avantages et inconvénients relatifs à chacun des produits climatiques, le présent document développe une analyse comparative fondée sur les paramètres suivants. Pour simplifier les étapes de calculs et la lisibilité des graphiques les années retenues pour cette comparaison sont les années 2017-2022.

Du point de vue climatiques, les variables d'intérêts (au nombre de 7) qu'il s'agit de rassembler au pas de temps journalier, sont les suivantes (les alias sont donnés entre parenthèses) :

- Températures moyenne/maximale/minimale en °C (T_Moy, T_Max, T_Min)
- Radiation d'onde courte au sol en MJ/m² (Radiation)
- Pression de vapeur en mbar ou hPa (Vapour)
- Vitesse moyenne du vent en m/s (Wind)
- Cumul des précipitations en mm ou kg/m² (Pluie)

Les produits climatiques sur lesquels s'appuie le travail présenté dans ce rapport sont les suivants :

- E-OBS est un ensemble de données observationnelles quotidiennes sur le sol en Europe.
- L'ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project), fournit un cadre pour la compilation d'un ensemble de simulations d'impact climatique cohérentes, multisectorielles et à plusieurs échelles.
- Les données grillées ERA5 sont un produit de réanalyse climatique mondial du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT).
- Les données météorologiques Agri4Cast, basées sur des observations et interpolées d'après une grille de mailles carrées de 625 km², sont produites par le Joint Research Center (JRC), en soutien à la mise en œuvre de la politique agricole commune (PAC).

² Cf. Senges H., Raynal H., Constantin J., Clivot H., 2024. Rapport technique sur la constitution d'un système d'information géographique des données pédologiques à l'échelle de l'Europe, dans le cadre du projet ANR-22-PEXF-0003 – projet SLAM-B

En plus de ces sources précédentes qui permettent d'obtenir des valeurs continues dans le temps (jour par jour) et dans l'espace, on y adjoint le produit suivant :

- CLIMATIK : une application web pour la mise à disposition des données du réseau INRAE de stations agroclimatiques d'INRAE.

En croisant les valeurs obtenues depuis les produits climatiques grillés avec les données ponctuelles relevées dans CLIMATIK, on peut estimer les écarts relatifs des produits entre eux, variable par variable, mais aussi leurs écarts absolus aux mesures relevées sur les stations météo INRAE. Cette comparaison ponctuelle s'effectue sur 9 stations INRAE choisies pour représenter la diversité des climats et de conditions agro-paysagères françaises :

- Auzeville
- Avignon
- Colmar
- Fagnières
- Gif-sur-Yvette
- Le Rheu
- Lusignan
- Mons
- Saint-Genès

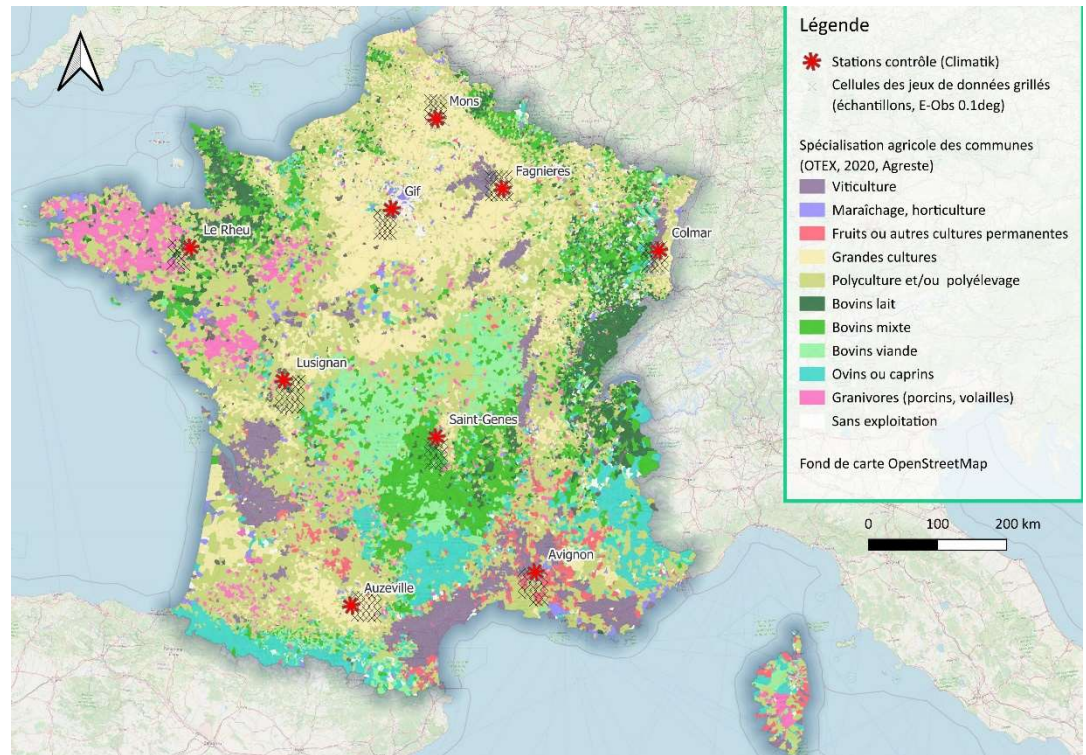


Figure 1 : Carte de localisation des stations météo retenues pour l'étude comparative

A noter toutefois qu'une telle comparaison entraîne des effets spatiaux difficiles à quantifier, liés à la complexité des étapes d'interpolation spatiale de chacun des produits grillés. Comparer des valeurs de températures ou de vitesse de vents moyennées pour l'ensemble d'une maille d'une grille avec celle relevée le même jour sur une station météo contenu dans cette maille, cela expose à des biais liés aux effets d'exposition au vent, d'altitude ou d'ensoleillement. Ces effets pouvant varier significativement d'une station météo à l'autre (par exemple positionnées sur une crête ou en plaine) on verra par la suite que certains des écarts aux valeurs des mailles correspondantes peuvent y trouver une explication.

Ci-après sont explicités les différents produits climatiques en fonction de ces différentes variables, de leurs formatages et de leurs éventuelles limites.

3. Descriptif des produits climatiques

Chacun des produits climatiques suivants est présenté en ligne. Les variables d'intérêts le sont en colonnes. Pour chaque couple produit-variable, la moyenne (en colonne n°3) est donnée pour l'ensemble du pas de temps investigué (2017-2022), tous sites confondus. Le formatage renseigne sur les éventuels facteurs de conversion à appliquer aux valeurs des variables pour pouvoir comparer les produits entre eux. Lorsque la vapeur est renseignée comme formatée « R-HT-PV » cela signifie que la variable n'est nativement pas présente dans le produit et doit être calculée via la Relation humidité/température-pression de vapeur (cf. p.8).

Jeux de données et résolution spatiale			Pluie	Vent	Vapeur	Radiation	Températures	Commentaire
Climatik	Données ponctuelles	Moyenne	1,73 mm/j	3,25m/s	11,7 mbar	13,4 MJ.m ⁻²	12,7/17,6/7,8 °c	Données « Contrôle ». Quelques mois sans données sur Gif. Données résumées sur un mois (moyenne, cumul ou extrema)
		Formatage	53mm, cumul mensuel : / 30,5	2,15mm/s en mesure à 2m = 66% du vent à 10m	R-HT-PV	Cumul mensuel en daJ.cm ⁻² : / 305	Résumé mensuel : moyenne/ max/min	
E-Obs (0,10 ou 0,25 deg)	Taille de la maille : 9,5km, soit 90km ² , et 70km, soit 500km ² , respectivement	Moyenne	1,88 - 1,98 mm/j	3,2 – 3,3m/s	11,5 mbar	12,1 MJ.m ⁻²	11,8/16,7/7,3 °c	Données grillées de Copernicus. Livrées par variable, certains fichiers contiennent des trous ponctuels. A priori valeur de référence.
		Formatage	-	-	R-HT-PV	W.m ⁻² : x 8,64.10 ⁻²	-	
ISIMIP	Taille de la maille : 44,75km, soit 2000km ²	Moyenne	2,40 mm/j	3m/s	11,1 mbar	12,4 MJ.m ⁻²	11,4/15,6/6,7 °c	Données issues de modèles, redressées par les observations AgEra.
		Formatage	2.10 ⁻⁵ kg.m ⁻² .s ⁻¹ : x8,64. 10 ⁻⁴	-	R-HT-PV	W/m ⁻² : x 8,64.10 ⁻²	°K : -273,15	
AgEra5	Taille de la maille : 9,5km, soit 90km ²	Moyenne	2,28 mm/j	3,5m/s	10,8 mbar	13,0 MJ.m ⁻²	12,3/16,6/8,1 °c	Données dérivées d'observations. Indicateurs agroclimatiques.
		Formatage	-	-	-	kJ.m ⁻² : /1000	-	
Agri4Cast	Taille de la maille : 25km, soit 625km ²	Moyenne	1,79 mm/j	3,2m/s	11,2 mbar	12,9 MJ.m ⁻²	13,1/17,8/8,3 °c	Données agroclimatiques du JRC
		Formatage	-	-	-	J.m ⁻² : x10 ⁻⁶	-	

Tableau 1 : Caractéristiques des différents produits climatiques comparés

4. Analyse comparative des produits climatiques

4.1. Ecart relatif produit climatique - donnée de contrôle* :

*toutes stations et toutes périodes confondues (en % de la moyenne contrôle)

Source	T_Moy	T_Max	T_Min	Vapour	Radiation	Wind	Wind corrigé ³	Pluie
AgEra	-3,5	-5,61	3,35	-7,32	-0,9	64,67	8,6822	33,64
Agri4Cast	1,83	1,39	3,07	-4,89	-3,07	43,97	-4,9798	5,33
E-Obs_0-1	-5,05	-4,65	-6,02	-0,73	-6,88	54,58	2,0228	9,8
E-Obs_0-25	-5,78	-5,61	-6	-1,53	-7,11	50,67	-0,5578	14,39
ISIMIP	-6,12	-8,39	-9,23	-3,36	-3,42	57,47	3,9302	41,22

Soit, une fois moyennés sur l'ensemble des variables, les écarts suivant (en vert les écarts les plus faibles) :

Source	AgEra	Agri4Cast	E-Obs_0-1	E-Obs_0-25	ISIMIP
Total	12,05	6,8	5,86	5,58	9,74
Total, vent corrigé	4,05	-0,19	-1,64	-1,74	2,09
Total, hors vent	3,28	0,61	-2,26	-1,94	1,78
Total, hors vent et pluie	-2,8	-0,33	-4,67	-5,21	-6,1

Tableau 2 et 2bis : Résumé statistique agrégé sur la période et les stations

Remarques :

- En plus du vent (même après correction), la pluie est également sous-évaluée dans les données contrôle. Dans les deux cas ce sont des phénomènes qui connaissent des déterminants locaux pouvant faire varier les intensités mesurées au sein d'une même maille. Eu égard aux données « grillées » qui donnent la valeur moyenne « homogène » au sein d'une aire qui va de 90km² à 2000km², ces écarts trouvent peut-être une explication
- Si l'on considère toutes les données, c'est le produit E-Obs-25 qui colle le mieux aux données contrôle, suivi de près par le E-Obs-10 (ce qui semble cohérent). Agri4Cast et surtout AgEra5 sont les plus éloignés.
- En revanche si l'on retranche les données de vents, alors c'est Agri4Cast qui devient le meilleur produit, et ce, que l'on compte ou pas, dans un second temps, les données de pluviométrie.
- AgEra et ISIMIP surestiment de beaucoup la pluviométrie par rapport au contrôle.
- AgEra surestime le vent même par rapport à la moyenne des autres données.
- Les produits E-Obs semblent sous-estimer la radiation mais sont les meilleurs quant à la pression de vapeur.

³ La vitesse journalière moyenne du vent (Wind) étant mesurée à 2m sur les stations INRAE sélectionnées sur la plateforme CLIMATIK pour constituer les stations de contrôles, on peut la corriger selon la relation semi-empirique du profil logarithmique de la vitesse du vent. Un graph produit grâce à un simulateur spécialisé est disponible en Annexe 2. Pour des besoins de simplifications on a retenu $V_{2m} = 0.66 \times V_{10m}$.

Voir https://www.researchgate.net/publication/29649958_Profil_vertical_de_la_vitesse_du_vent_dans_la_basse_couche_limite_atmosphérique

On rappelle ici que celle-ci est obtenu par dérivée des températures moyennes et humidités relatives selon R-HT-PV⁴. En appliquant la même formule, ISIMIP produit une sous-estimation.

- Concernant les températures (moyennes, maximales ou minimales) ISIMIP est le moins bon produit pour décrire les données contrôles. Ce sont Agera mais surtout Agri4Cast qui les décrivent le mieux

Si l'on prend en compte l'effet d'asymétrie des échelles d'analyse entre les données contrôle qui relèvent du point sur la carte, et les séries étudiées qui couvre des surfaces (les mailles) pour laquelle elle donne des valeurs spatialement moyennées, alors on peut comparer les valeurs renseignées dans ces mailles entre elles, et non plus avec les données contrôle. On remarquera toutefois que, même dans ce cas, la comparaison est biaisée par l'extension différente des mailles de chacun de ces produits, et de leur recouvrement au mieux partiel :

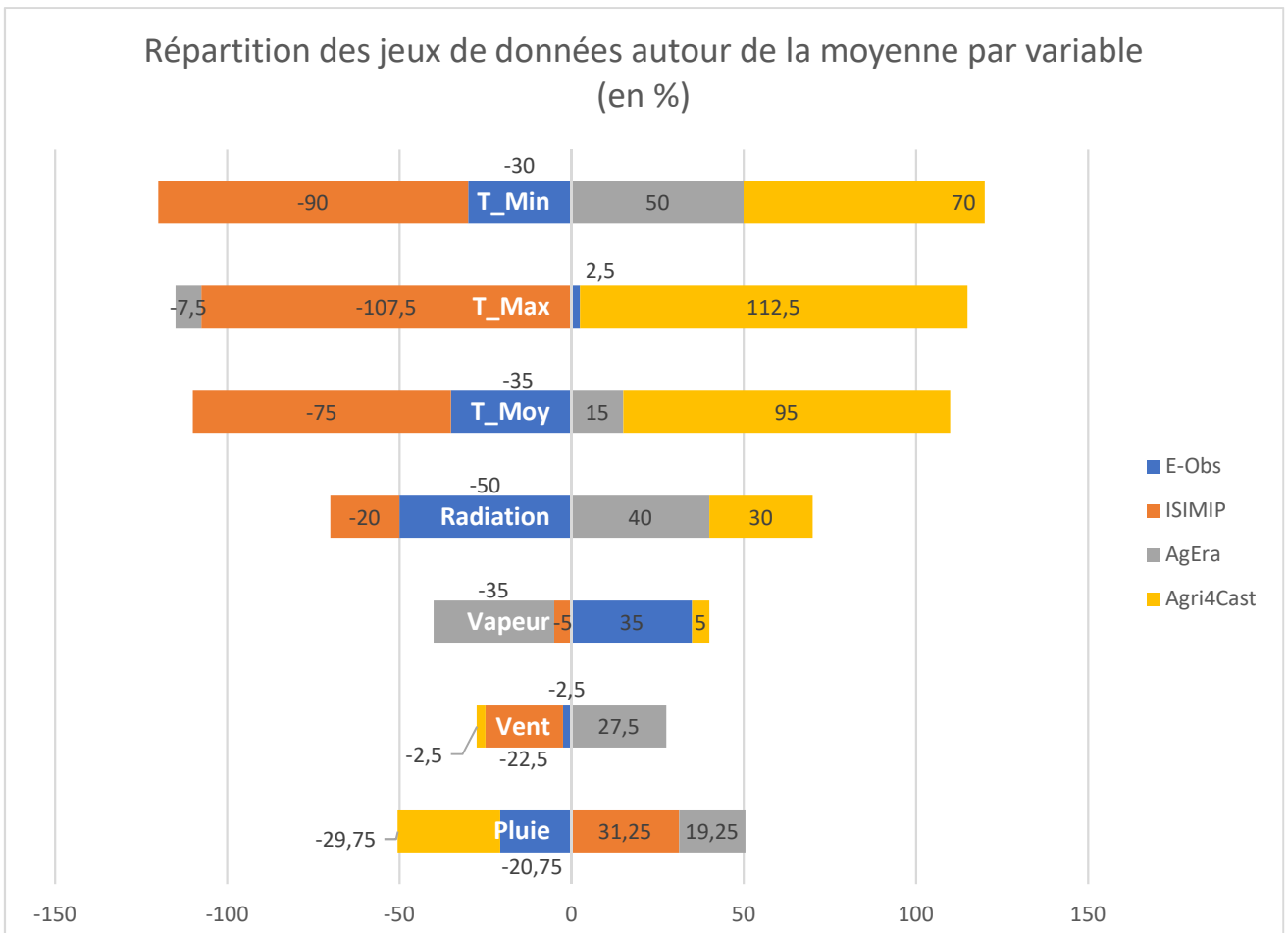


Figure 2 : Histogramme de contribution des produits à la variance

On observe sur cet histogramme que, si l'on enlève ISIMIP des séries étudiées⁵, alors les écarts supportés par Agri4Cast se rapprochent de la norme par effet de composition de la moyenne. En « tirant » les valeurs de température et de radiation vers le bas, ce jeu de données contribue à étirer l'écart-type toutes séries confondues.

⁴ R-HT-PV : Relation humidité/température-pression de vapeur :

$$\text{"Humid"} / 100 * (0.618 * \exp(17.27 * \text{"T_Moy"} / (237.3 + \text{"T_Moy"}))) * 10$$

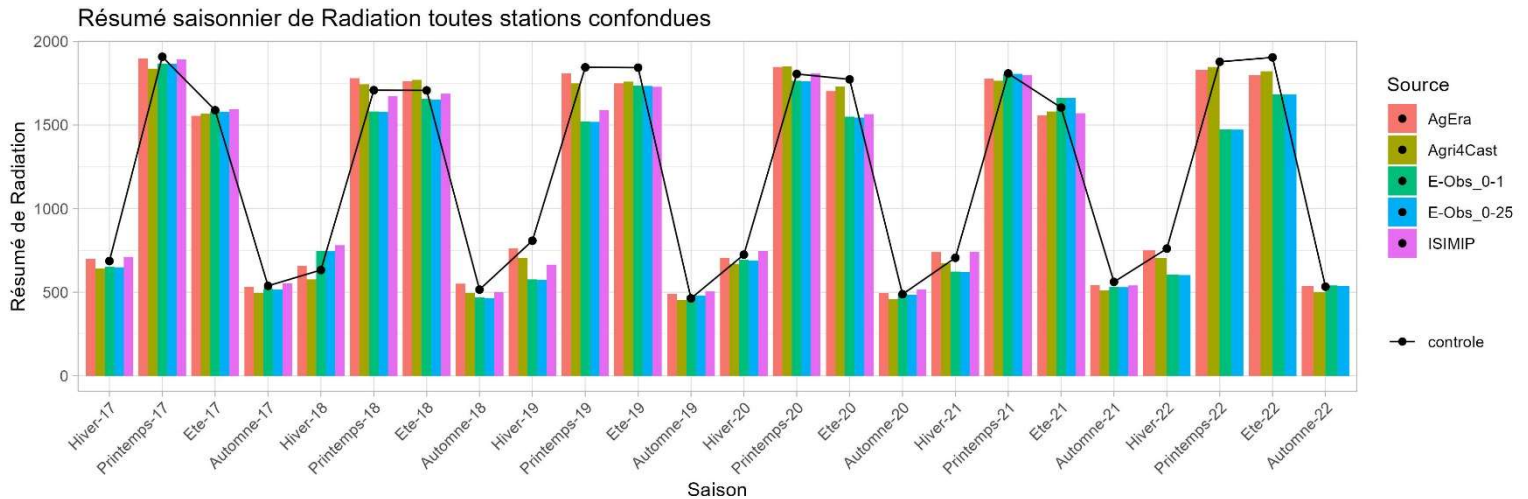
Source : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096323000487>

⁵ On verra dans la suite du document pourquoi ce jeu de donnée semble le moins bon candidat sur lequel s'appuyer pour poursuivre notre étude.

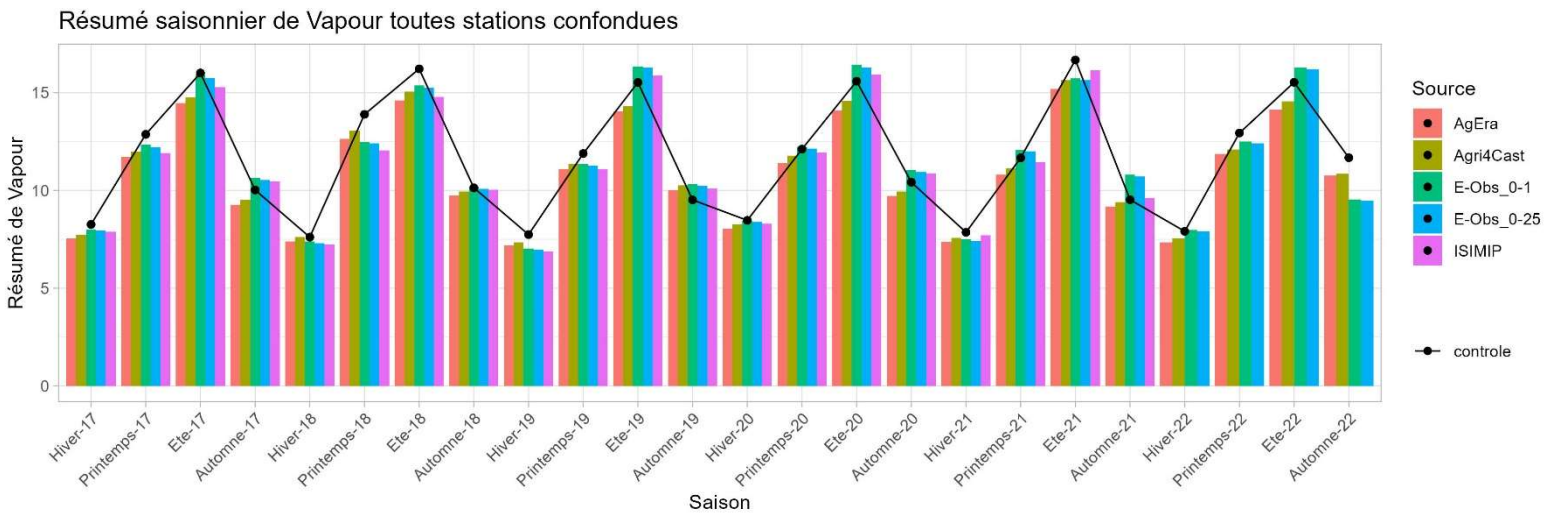
4.2. Analyse longitudinale

Le « résumé » saisonnier est la moyenne des valeurs journalières, sauf pour les pluies et la radiation qui se cumulent.

En ce qui concerne les températures minimales et maximales, les données mensualisées de Climatik donnent des moyennes et non pas des extrema, contrairement à ce à quoi on aurait pu s'attendre. Voir la planche « Extrema ou moyennes » à ce sujet

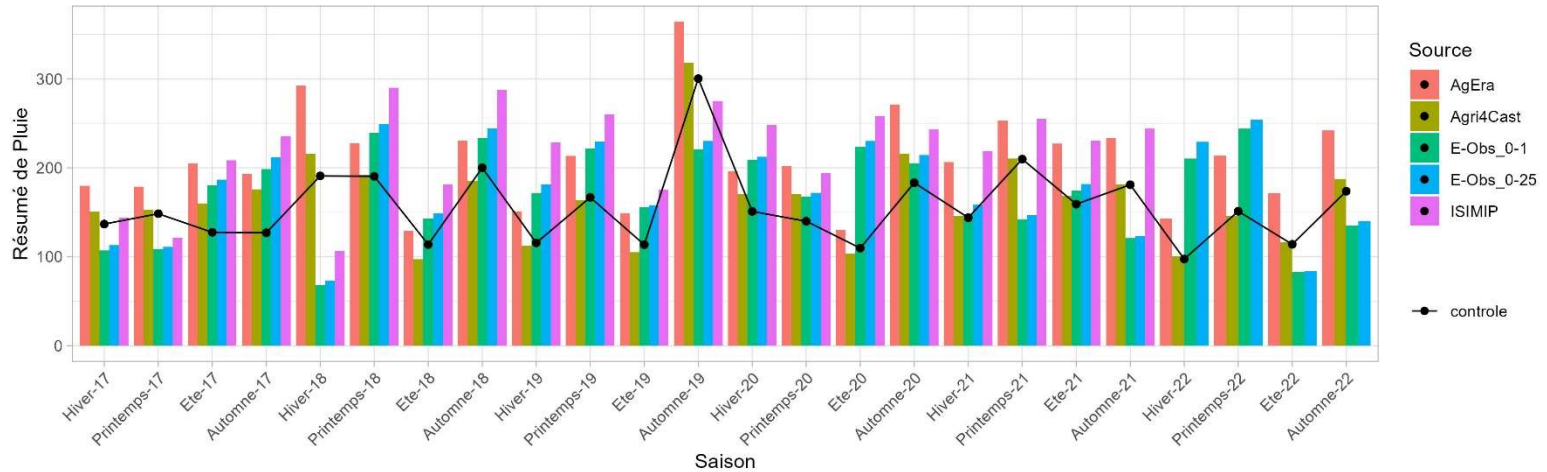


- Bonne dynamique même si les E-Obs sous-estiment souvent. Logiquement la Radiation est une grandeur saisonnière mais à la variance interannuelle faible, d'où la périodicité observée.



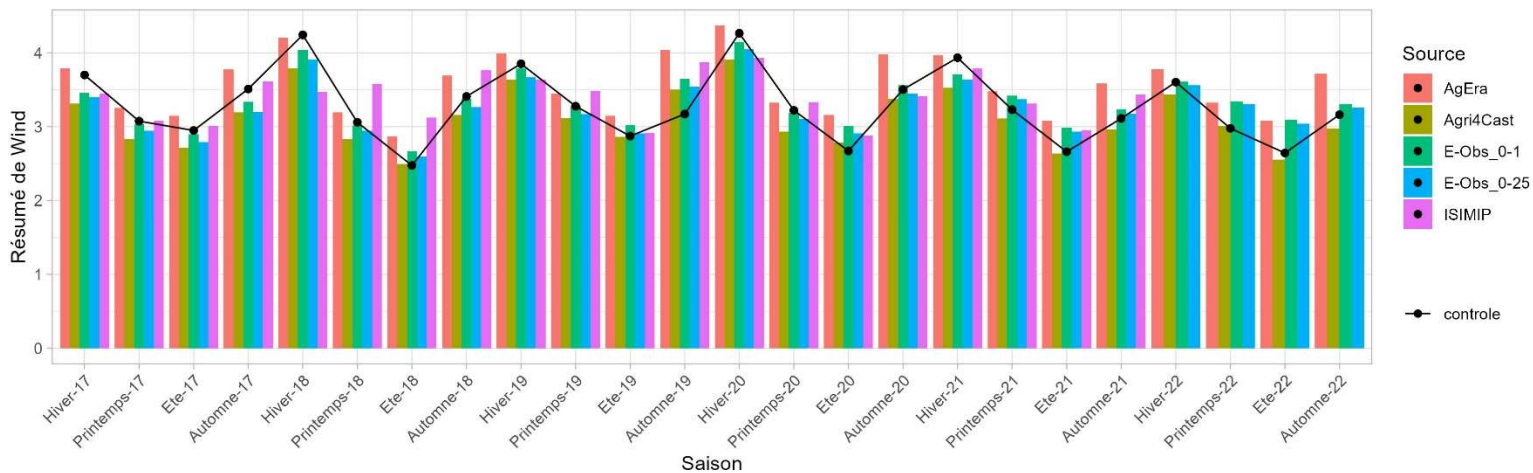
- Ici aussi bonne périodicité. AgEra et Agri4Cast sous-estiment légèrement. E-Obs et ISIMIP sur-estiment légèrement.

Résumé saisonnier de Pluie toutes stations confondues



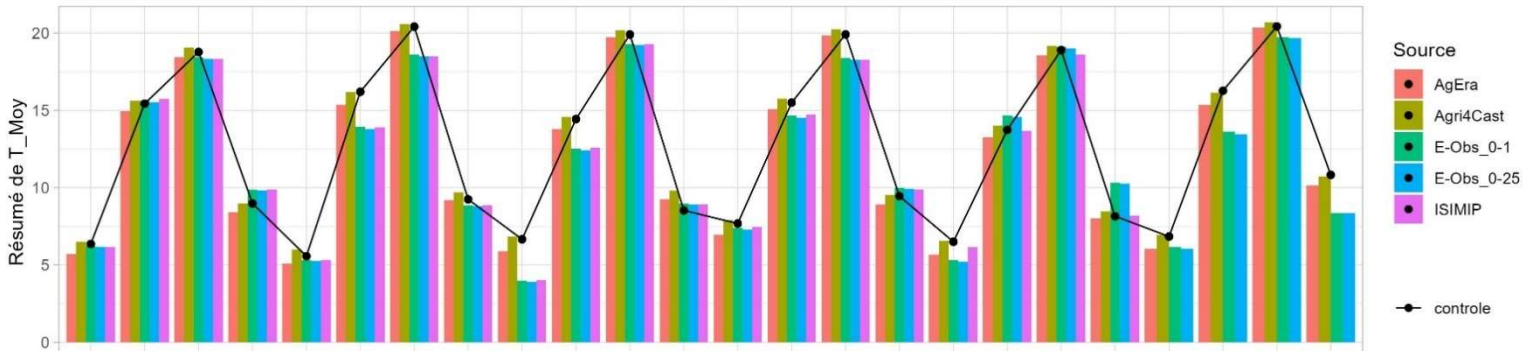
- Variabilité importante. E-Obs et ISIMIP semblent mal répondre au pic observé en Automne 2019. AgEra même s'il surestime a de bons sens de variation (erreur systématique). Agri4Cast colle presque partout.

Résumé saisonnier de Wind toutes stations confondues

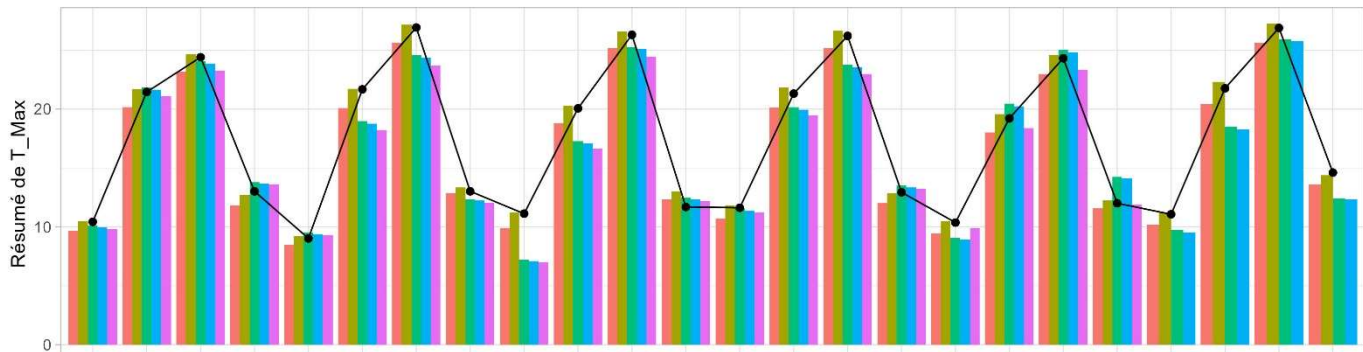


- La donnée contrôle est régulièrement sous-estimée. Difficile de caler le facteur de correction des données de mesure (2m de haut) aux données des série (10m de haut). En l'état AgEra reste largement au-dessus, Agri4Cast légèrement en-dessous. Mais le changement d'une décimale sur ce facteur de correction de 66% suffit pour faire changer ces erreurs systématiques. Initialement on avait pris 70% comme facteur de conversion, et c'était alors AgEra le meilleur produit. Hors ce facteur, selon le modèle de Moni-Obukov ne dépend pas que de la hauteur de mesure mais également de la rugosité du terrain. Sans pousser plus avant, on considérera simplement la donnée contrôle de vent comme ayant une trop grande incertitude pour arbitrer entre les différentes données, qui malgré des erreurs systématiques différentes, restent toutes bien corrélées dans la dynamique.

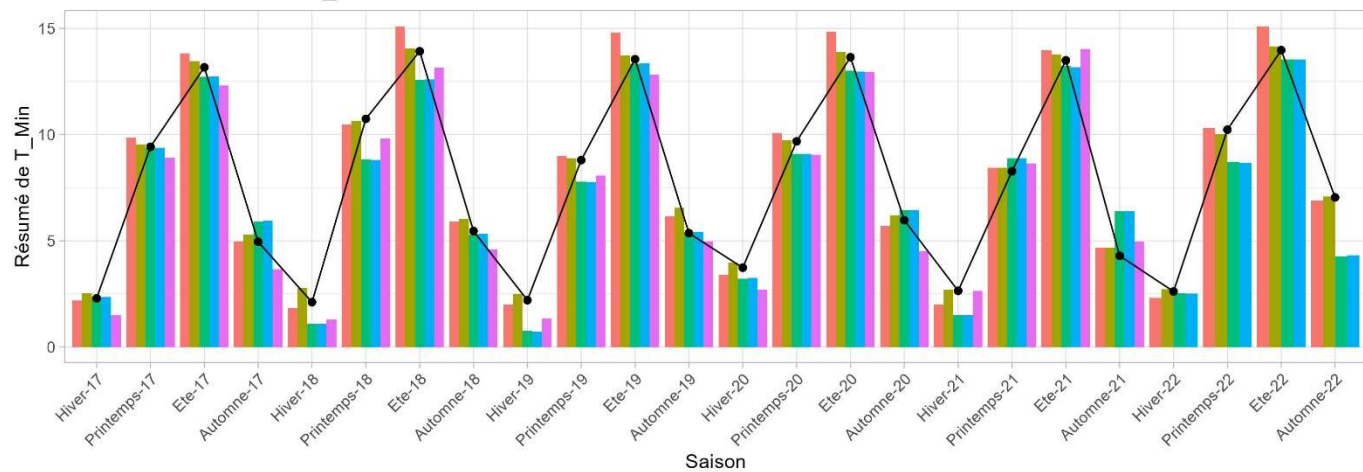
Résumé saisonnier de T_Moy toutes stations confondues



Résumé saisonnier de T_Max toutes stations confondues



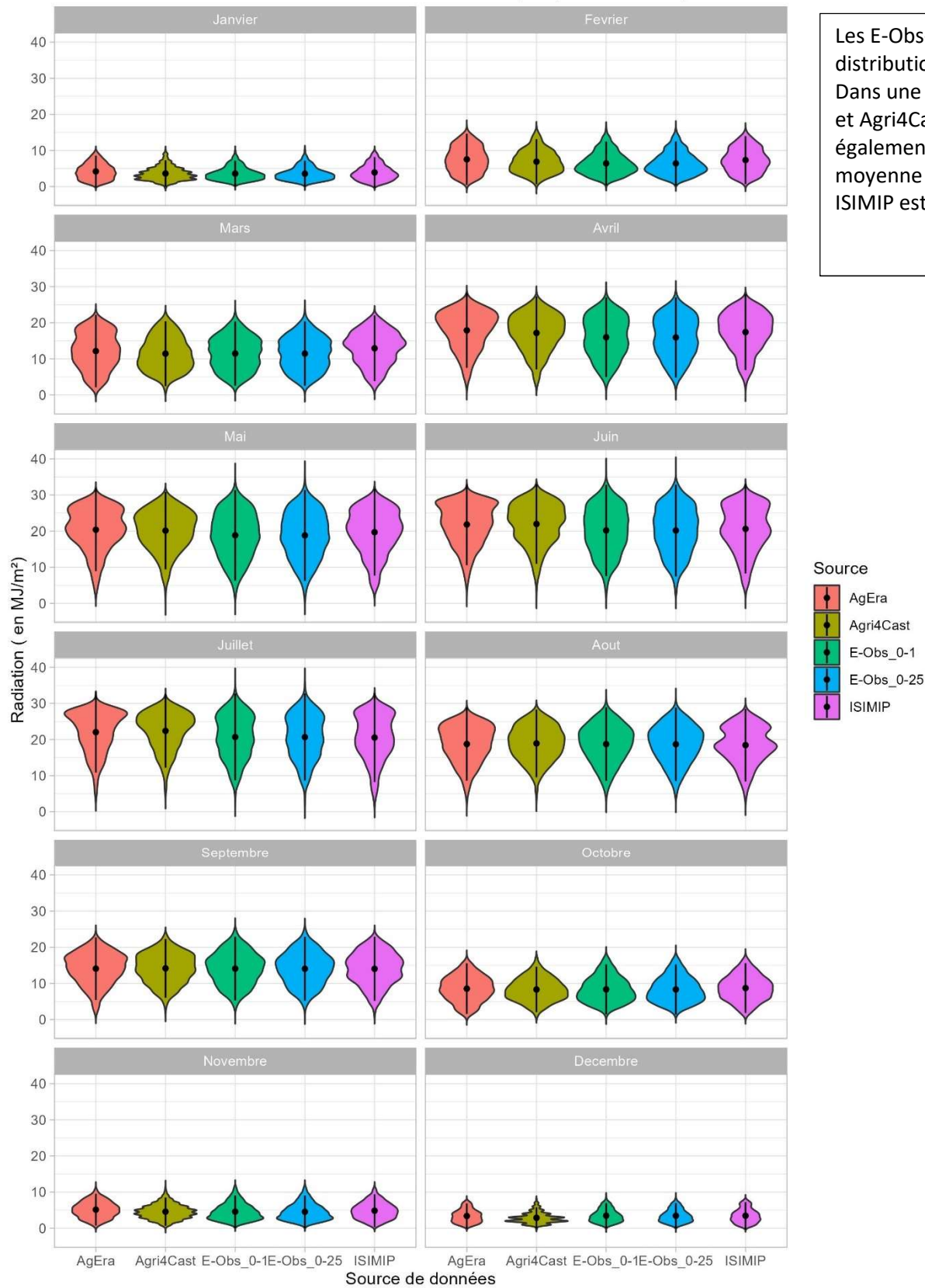
Résumé saisonnier de T_Min toutes stations confondues



- Périodicité respectée. Anomalie froide en Hiver 2018 et 2019, chaude en Automne 2021 pour E-Obs/ISIMIP. Agri4Cast semble le meilleur.

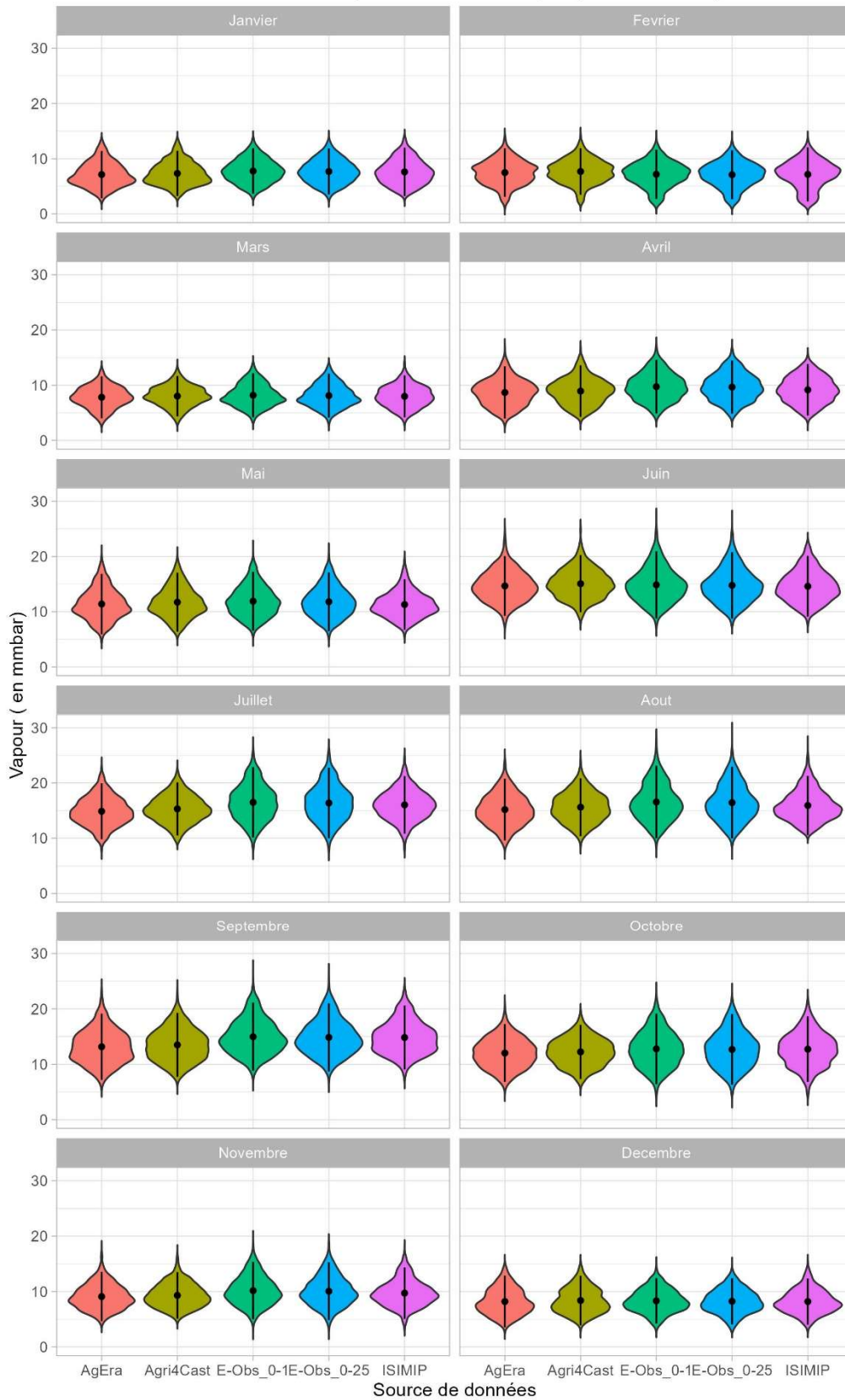
4.3. Analyse transversale

Distribution des valeurs de Radiation sur la chronique (2017 - 2022)

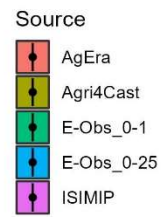


Les E-Obs-10 & 25 ont des distributions très similaires. Dans une moindre mesure AgEra et Agri4Cast se ressemblent également. En Juin et Juillet, leur moyenne est plus élevée. ISIMIP est singulier.

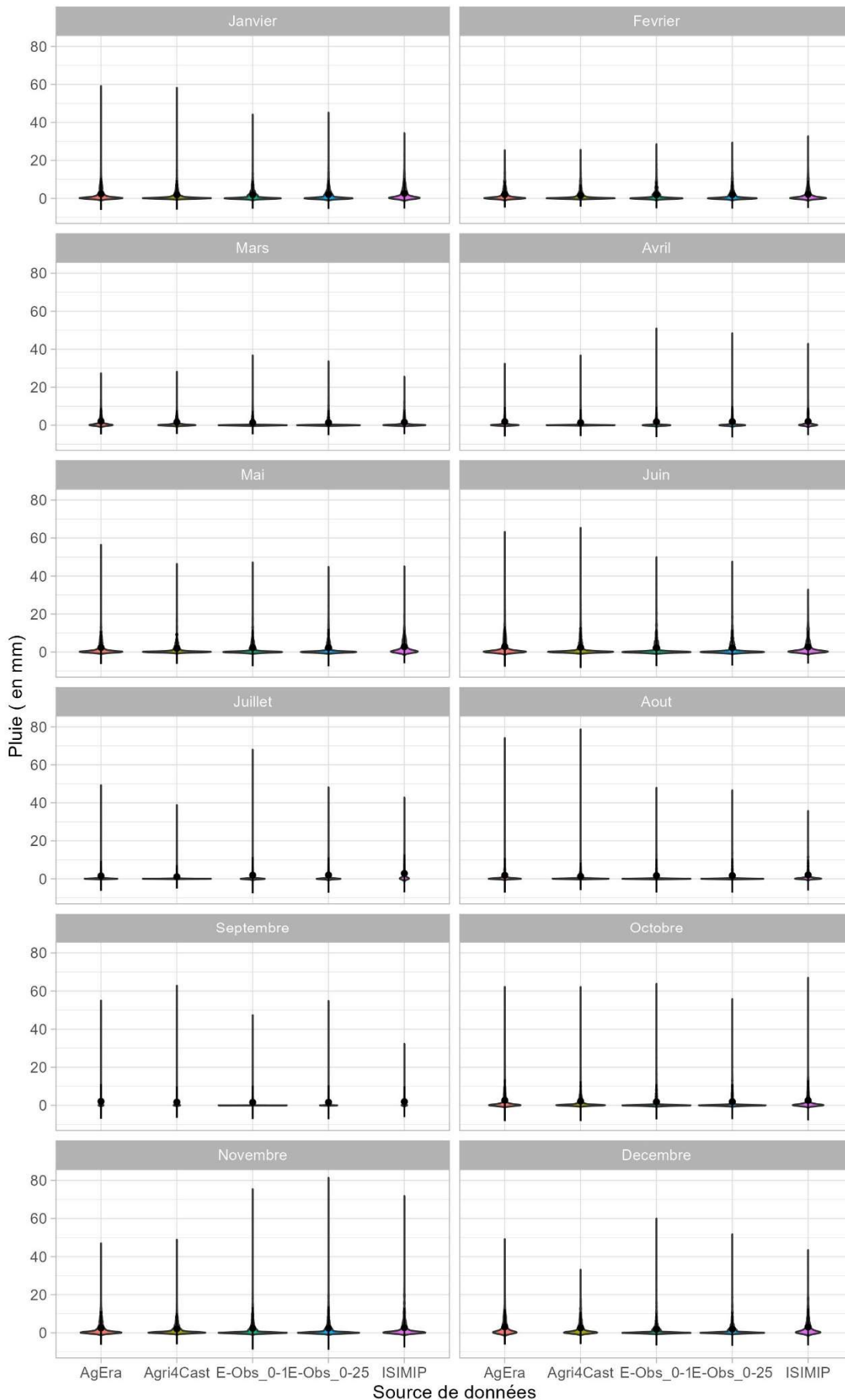
Distribution des valeurs de Vapour sur la chronique (2017 - 2022)



Très peu de disparités observables, si ce n'est un léger décrochage vers le haut des données de pression E-Obs en été.
Par rapport à la Radiation, on voit une variance intra - mensuelle plus faible.



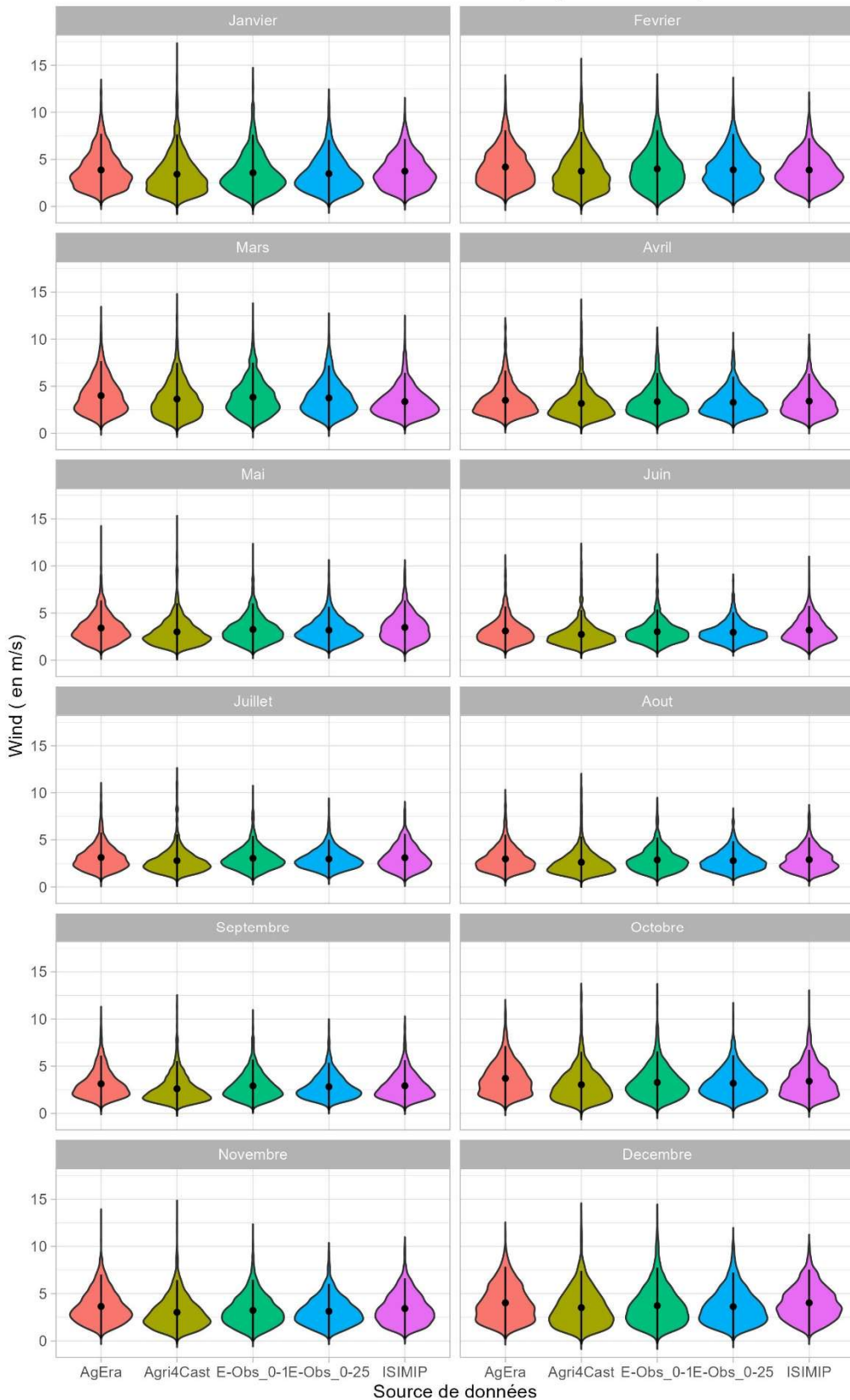
Distribution des valeurs de Pluie sur la chronique (2017 - 2022)



On observe des plus grosses précipitations en Janvier, Août et Octobre pour AgEra et Agri4Cast
 Et plus en Juin et Novembre pour les E-Obs.
 Une anomalie en Septembre où le E-Obs-10 connaît de plus fortes valeurs que le E-Obs-25.
 Les « assiettes » à 0 correspondent aux jours sans pluies et montre l'absence de « lissage » des données pluviométriques.

Agri4Cast sur la pluie est meilleur en longitudinal (il colle au pic de 2019) et en transversal (l'assiette des violins est plus large)

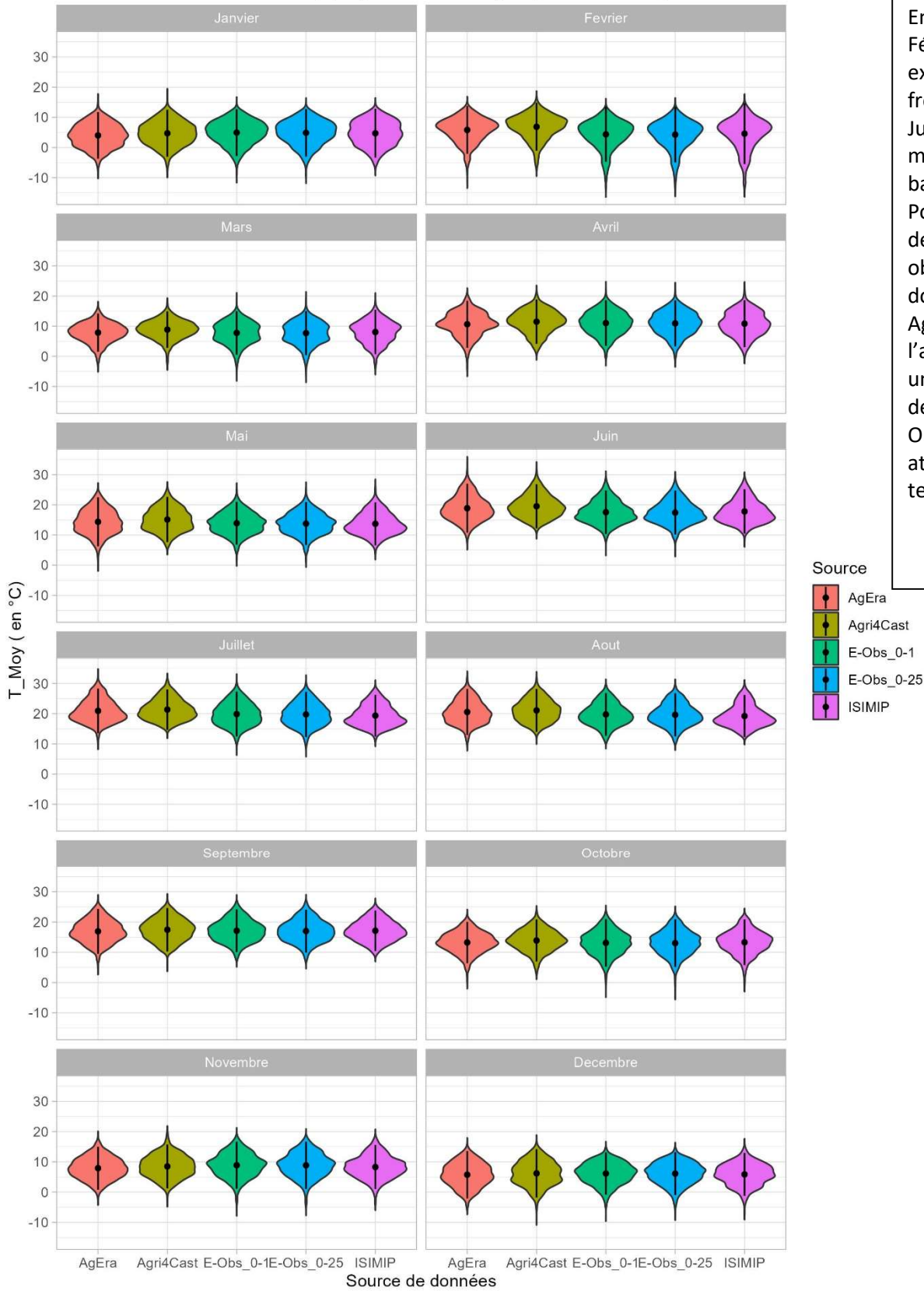
Distribution des valeurs de Wind sur la chronique (2017 - 2022)



On observe des valeurs extrêmes plus fortes en Janvier, Avril, Mai et Novembre pour Agri4Cast et dans une moindre mesure AgEra. La forme caractéristique avec la moyenne supérieure à une « norme » basse qui forme une bombance. Elle correspond aux jours de vents faibles.

- Source
- AgEra
 - Agri4Cast
 - E-Obs_0-1
 - E-Obs_0-25
 - ISIMIP

Distribution des valeurs de T_Moy sur la chronique (2017 - 2022)

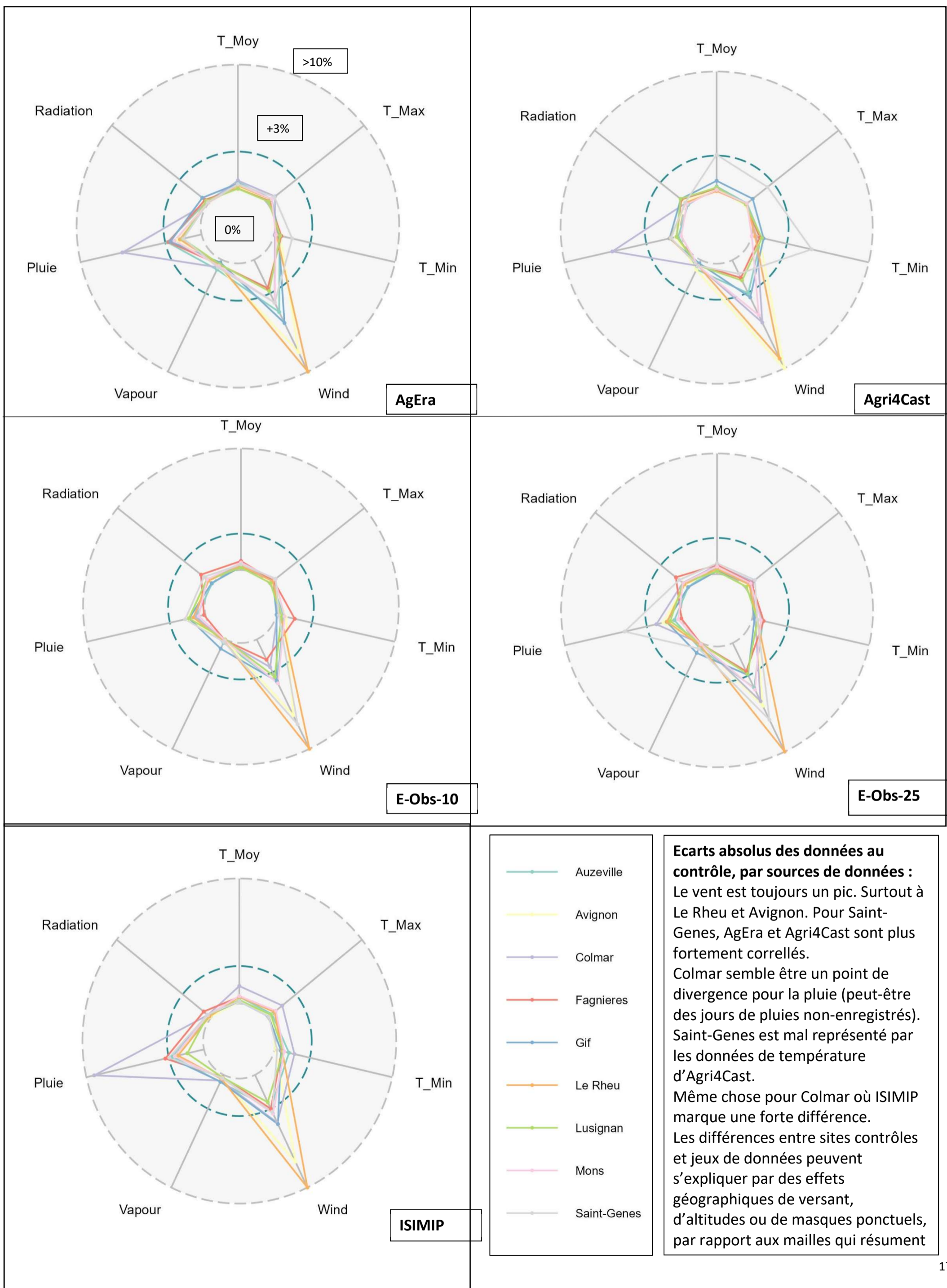


En Hiver (surtout en Février) les valeurs de froids extrêmes sont plus fréquentes pour E-Obs. En Juin c'est la moyenne des minimales qui est plus basse pour E-Obs. Pour les maximales, un pic des valeurs extrêmes est observé en Juin pour les données AgEra et Agri4Cast. Tout au long de l'année, Agri4Cast présente une moyenne mensuelle des maximales plus élevée. On retrouve ces effets atténués dans la série de température moyenne

- Source
- AgEra
 - Agri4Cast
 - E-Obs_0-1
 - E-Obs_0-25
 - ISIMIP

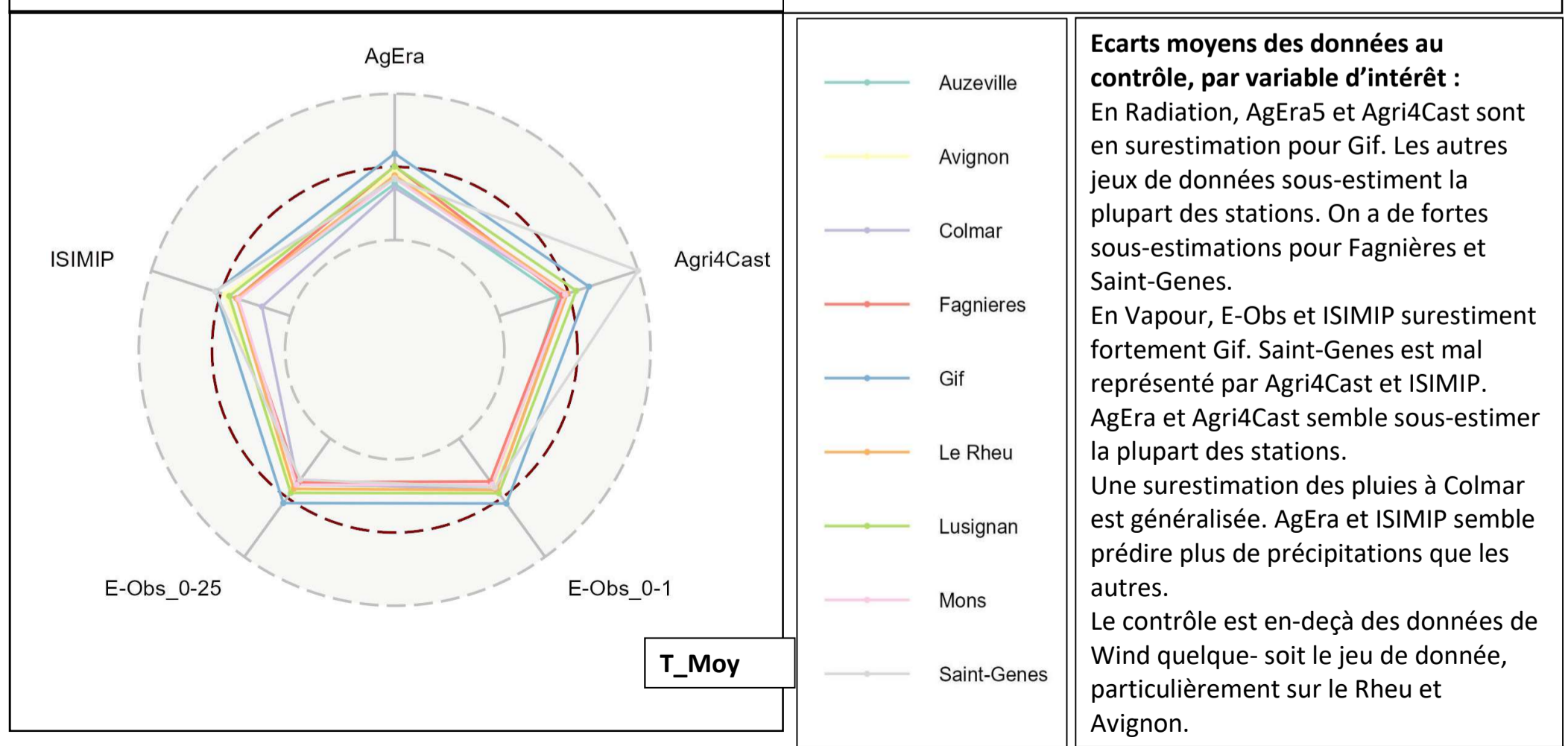
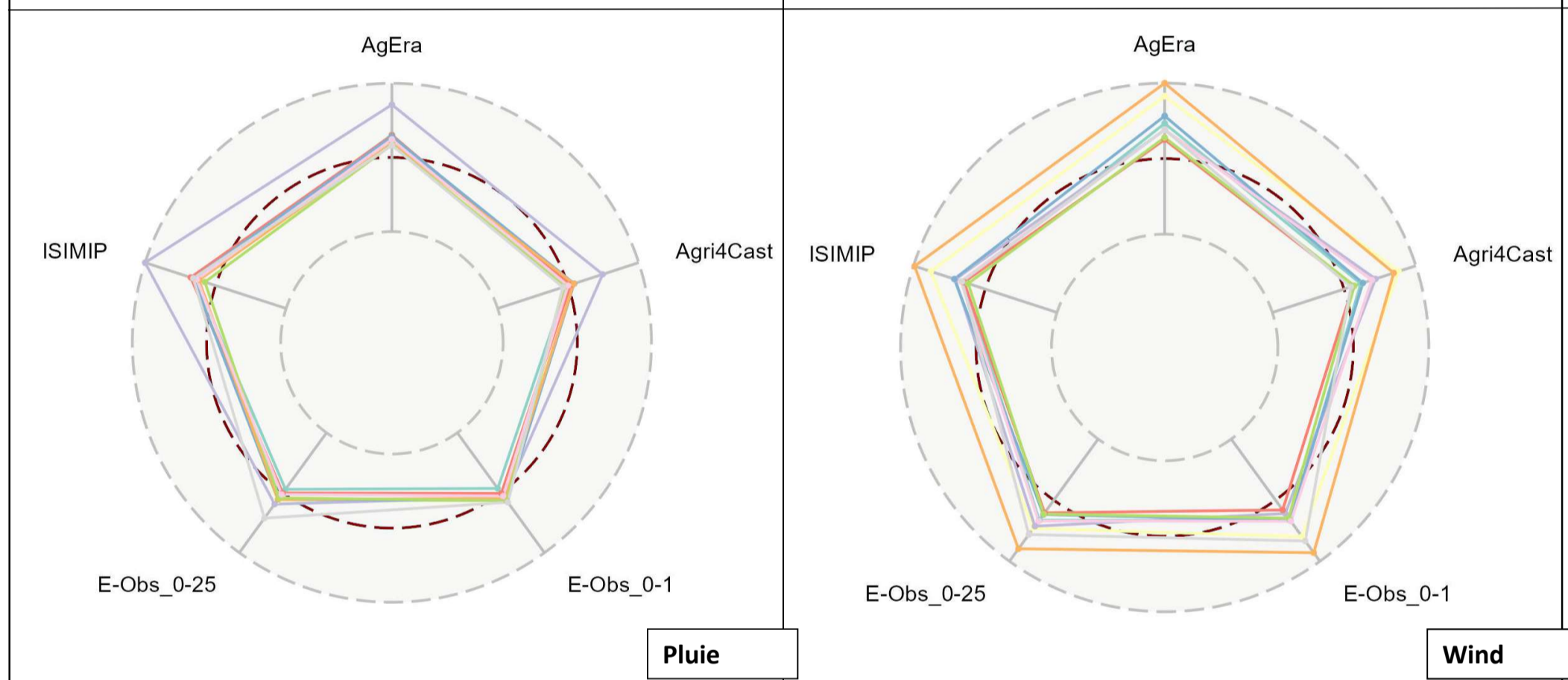
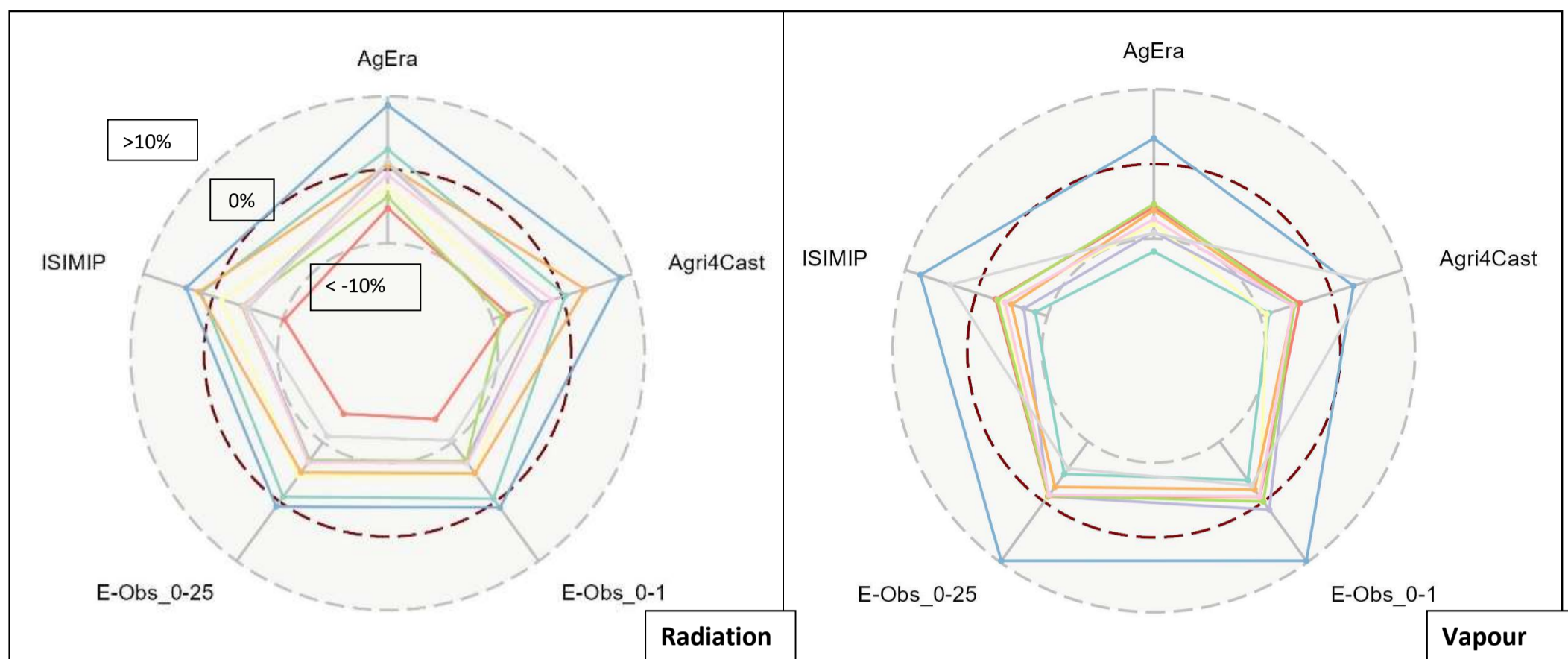
Clé de lecture : Chacun des graphiques représente, pour une source de donnée, la répartition des écarts observés aux données contrôle, sur l'ensemble de la chronique. Chaque rayon est un axe sur lequel est projeté, pour une variable, l'écart moyen (en valeur absolue) constaté entre la série observée et les données Climatik, normalisé en pourcentage par rapport à la valeur moyenne Climatik pour cette variable. La série est ventilée par station géographique considérée, représentée par les segments de couleurs. Les segments croisant le cercle intérieur donnent un écart de 0%, ceux croisant le cercle intermédiaire en bleu donne un écart de 3% et ceux croisant le cercle extérieur renseignent un écart égal ou supérieur à 10%.

Exemple : Entre 2017 et 2021, les données AgEra5 donnent un écart moyen (en valeur absolue) de précipitation à Colmar de plus de 5% par rapport aux données de la station de contrôle.



Clé de lecture : Chacun des graphiques figure, pour une variable d'intérêt, les écarts observés entre données de contrôle et différents jeux de données, sur la période 2017-2021. Chaque rayon est un axe sur lequel est projeté, pour une source de données, l'écart moyen constaté entre la série observée et les données Climatik, normalisé en pourcentage par rapport à la valeur moyenne Climatik pour cette variable. La série est ventilée par station géographique considérée, représentée par les segments de couleurs. Les segments croisant le cercle intérieur donnent un écart égal ou inférieur à -10%, ceux croisant le cercle intermédiaire en bleu donne un écart de 0% et ceux croisant le cercle extérieur renseignent un écart égal ou supérieur à 10%.

Exemple : Entre 2017 et 2021, les données E-Obs-25 sous-évaluent de plus de 10% la Radiation à Fagnières par rapport aux données de la station de contrôle.



5. Analyses complémentaires

L'un des biais induit par les données grillées, c'est qu'elles contiennent des parcelles suffisamment éloignées pour que des précipitations frappent distinctement certaines d'entre elles et pas d'autres. On se retrouve alors au niveau territorial à agréger ces précipitations hétérogènes en un indicateur : le cumul de précipitation journalier (moyenné sur la maille).

Or, si l'on trie nos jeux de données pour estimer le nombre de jours de pluie par an, ce biais induit plus de jours pluvieux par an par rapport à des références ponctuelles. Or si ce lissage cartographique est « exact » en géostatistique, il éloigne les valeurs de précipitations d'un profil « naturel » à l'échelle d'une parcelle, qui est celle sur laquelle la logique de STICS est construite.

En agrégeant les données des villes les plus proches de nos 9 stations contrôles on trouve la moyenne de 208 jours sans pluie/an sur notre zone d'étude.

De ce point de vue ce sont donc les données E-Obs qui semble les plus proches de la chronique. Attention cependant, certaines statistiques considèrent comme un jour sans pluie une journée où les précipitations sont inférieures à 0.1mm. On considèrera préférable un profil pluviométrique le moins lissé possible.

Nombre de jours de pluie par année

Depuis ce site : https://www.metweb.fr/Statistiques/Stat_pluie/statistiques_pluie_nbjours.htm

Référence	Nombre de jours avec pluie	Nombre de jours sans pluie
Toulouse	145	220
Nîmes	96	269
Poitiers	166	199
Rennes	172	193
Mulhouse	170	195
Clermont	151	214
Paris	170	195
Reims	171	194
Cambrai	172	193
Moyenne	157	208

Dataset	Jours sans pluies (en % du total)	Soit en jours/an
E-Obs-10	65,98	241
E-Obs-25	61,38	224
ISIMIP	30	110
AgEra	35,99	131
Agri4Cast	41,56	152

Tableau 3 et 3bis : Nombres de jours moyens de pluies en France

Si l'on élimine ISIMIP et AgEra5 d'après la faiblesse du nombre de jours sans pluie (données trop lissées, pas assez discontinues), on a alors à départager E-Obs et Agri4Cast et cela peut se faire sur les écarts de températures extrêmes.

On a déjà vu que les données de températures d'Agri4cast sont souvent un peu supérieures au reste des données étudiées. Toutefois c'est aussi la plus grande variabilité interne du modèle qui pourrait expliquer en partie cet effet de « pics » plus fréquents en chaleur.

Ainsi le tableau suivant montre la sur-représentation des journées de fortes chaleurs ($T_{Max} > 35^{\circ}C$) : Agri4Cast en dénombre plus du double par rapport aux données E-Obs.

Dataset	Jours où $T_{Max} > 35^{\circ}C$ (en % du total)	Soit en jours/an
E-Obs-10	0,538	1,96
E-Obs-25	0,435	1,59
ISIMIP	0,114	0,42
AgEra	0,867	3,16
Agri4Cast	1,335	4,87

On peut également prendre comme indicateur le nombre de jour de gel par année (on s'accordera sur un $T_{MIN} < -1^{\circ}C$ comme critère de définition du gel⁷).

Dataset	Jours où $T_{Min} < -1^{\circ}C$ (en % du total)	Soit en jours/an
E-Obs-10	7,83	29
E-Obs-25	8,3	30
ISIMIP	10,54	38
AgEra	7,6	28
Agri4Cast	6,38	23

Tableau 4 et 4bis : Moyennes du nombre jours de gel par an en France

Agri4Cast est significativement en-dessous de la moyenne de ce point de vue. Toutefois l'écart est beaucoup moins prononcé que pour l'indicateur de chaleur. Dès lors on considèrera moins « lissées » les données Agri4Cast : elles embarquent plus de jours « extrêmes » que les données E-Obs, globalement moins variables et plus fraîches. Cela pourrait révéler l'influence du scénario RCP embarqué dans E-Obs, qui serait mal adapté aux années récentes et particulièrement chaudes.

Toutefois, la mise en avant d'Agri4Cast induit un risque sur le lissage avec les données du futur. Puisqu'ISIMIP semble peu corrélées à Agri4Cast relativement aux E-Obs, il est probable que la mobilisation d'Agri4Cast induirait une discontinuité assez nette entre la chronique historique et les modèles climatiques projetés. Cela demanderait à être confirmé.

⁶ Akter & Islam montrent bien dans leur méta-study que l'effet de ces $35^{\circ}C$ sur le blé est l'inhibition de la biosynthèse de la chlorophylle.

⁷ Voir l'article de Soualiou *et al.* à ce sujet.

Bibliographie

- Akter N. & Islam R., Heat stress effects and management in wheat. A review, 2017, *Agronomy for Sustainable Development*
- Allen R. G. & Wright J.L., Translating Wind Measurements from Weather Stations to Agricultural Crops, 1997, *Journal of Hydrologic Engineering*
- Brown D., de Sousa K. & van Etten J., ag5Tools: An R package for downloading and extracting agrometeorological data from the AgERA5 database, 2023, *SoftwareX*
- Cornes R. C., van der Schrier G., van den Besselaar E. J. M. & Jones P. D., An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets, 2018, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*
- Liakopoulou K.S. & Mavromatis T., Evaluation of Gridded Meteorological Data for Crop Sensitivity Assessment to Temperature Changes: An Application with CERES-Wheat in the Mediterranean Basin, 2023, *Climate*
- Mavromatis T. & Voulanas D., Evaluating ERA-Interim, Agri4Cast, and E-OBS gridded products in reproducing spatiotemporal characteristics of precipitation and drought over a data poor region: The Case of Greece, 2020, *International Journal of Climatology*
- Qian B., N Smith W.N., Jing Q., Kim Y.M., Jégo G. *et al.*, Climate conditions in the near-term, mid-term and distant future for growing soybeans in Canada, 2022, *Canadian Journal of Plant Science*
- Quénot H., de Cortazar Atauri I.G., Bois B., Sturman A., Le Roux R. *et al.*, Which climatic modeling to assess climate change impacts on vineyards, 2017, *OENO One*
- Saadi S., Pattey E., Jégo G. & Champagne C., Prediction of rainfed corn evapotranspiration and soil moisture using the STICS crop model in eastern Canada, 2022, *Field Crops Research*
- Soualiou S., Duan F., Li X. & Zhou W., Crop production under cold stress : An understanding of plant responses, acclimation processes, and management strategies, 2022, *Plant Physiology and Biochemistry*
- Sturman A., Zawar-Reza P., Soltanzadeh I., Katurji M., Le Roux R. *et al.*, The application of high-resolution atmospheric modelling to weather and climate variability in vineyard regions, 2017, *OENO One*
- Tappi M., Carucci F., Gatta G., Giuliani M.M., Lamonaca E. & Santeramo F.G., Temporal and design approaches and yield-weather relationships, 2023, *Climate Risk Management*

Sitographie complémentaire

- Les modèles météorologiques - Cours météo, Météo Contact, <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/les-modeles-meteo>
- E-OBS: High-resolution gridded mean/max/min temperature, precipitation and sea level pressure for Europe & Northern Africa, Climate data guide, <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/e-obs-high-resolution-gridded-meanmaxmin-temperature-precipitation-and-sea-level>

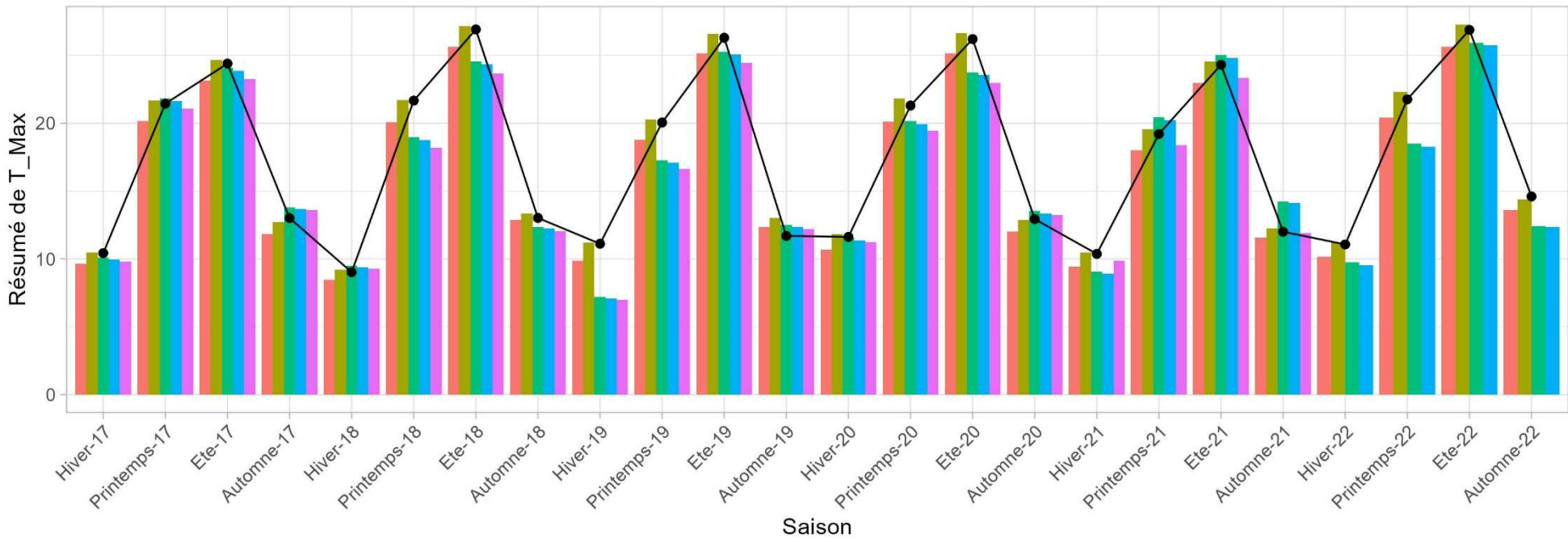
Annexes

Annexe 1 : Corrections intermédiaires des indicateurs

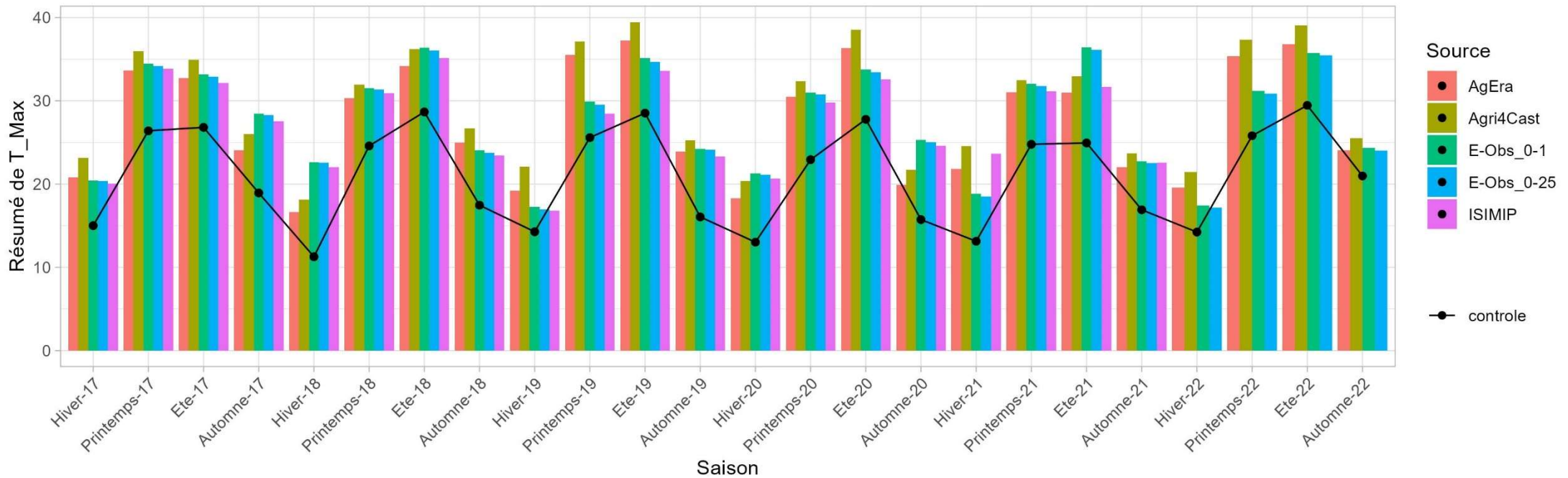
La série de trois double-graphiques présentée ci-après donne à voir les différentes corrections effectuées au cours du travail de comparaison des jeux de données. Les trois variables concernées (Wind, T_Max et T_Min) ont en effet produit initialement des écarts anormaux lors de l'agrégation au pas saisonnier. Le but de cette remontée à la saison était de pouvoir observer les positions relatives des jeux de données par rapport aux données contrôle de Climatik. Or les indicateurs fournis sur cette plateforme n'ayant pas été bien interprétés, des erreurs ont été générées, qui sont présentées dans les graphiques du bas, marqués par de forts écarts avec les valeurs contrôle. Pour redresser ces écarts (représentés dans les graphes supérieurs) les corrections ont été apportées de la façon suivante :

- Les données de températures minimales et maximales étaient mal résumées dans un premier temps. Initialement on extrayait la valeur extrême pour chaque mois, puis pour chaque saison. Les graphes inférieurs montrent donc, pour les données comparées, les valeurs minimales et maximales de toute une saison. En regard, les données Climatik, nativement agrégées au mois, donnent les valeurs moyennes sur chaque mois des températures minimales et maximales journalières. D'où des valeurs moins extrêmes que celles des jeux de données agrégés.
Correction faite, lorsque l'on représente bien la moyenne des valeurs quotidiennes de température minimale et maximale, on observe une très bonne corrélation de ces données de températures avec les chroniques contrôle.
Il est à noter que cette opération de résumé statistique par mois, fournit pour ces deux variables par Climatik, n'est pas spécifiée sur les tables livrées. L'opération a été déduite a posteriori.
- Les données de vitesse moyenne du vent présentaient initialement un biais systématique qui montrait une sous-estimation de cette variable dans la chronique contrôle. L'explication est trouvée à travers le profil logarithmique de la vitesse des vents (voir Annexe 2). Les instruments de mesure du vent des stations INRAE retenus pour constituer la chronique contrôle sur Climatik sont en effet situés à 2m de haut et fournissent de ce fait une vitesse de vent structurellement plus faible que les estimations de cette vitesse à 10m de haut, comme celle proposée par les différentes données grillées.

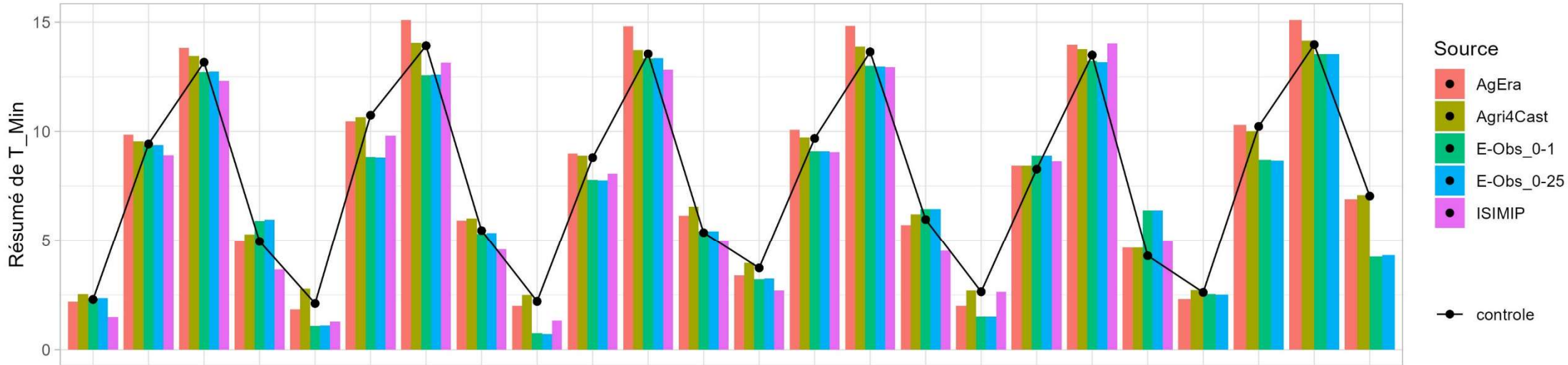
EXTREMA ou MOYENNE : les données contrôle sont inchangées, les données « Sources » sont extrémisées d'abord, moyennées ensuite



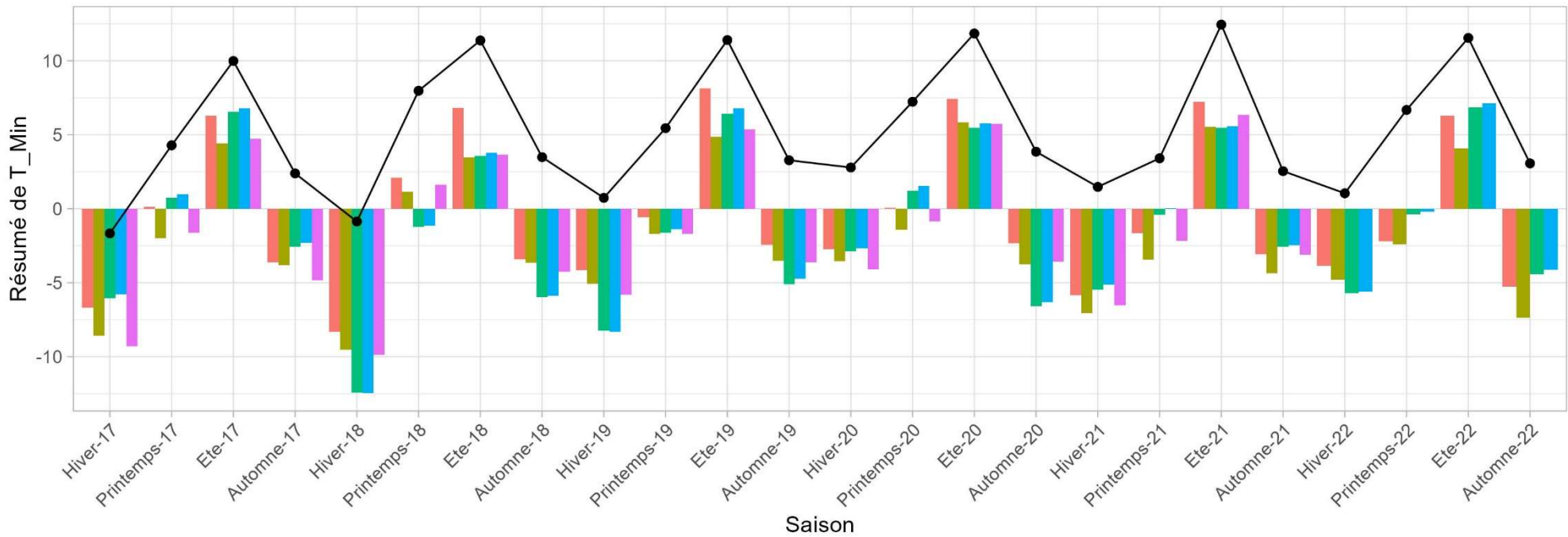
Résumé saisonnier de T_Max toutes stations confondues



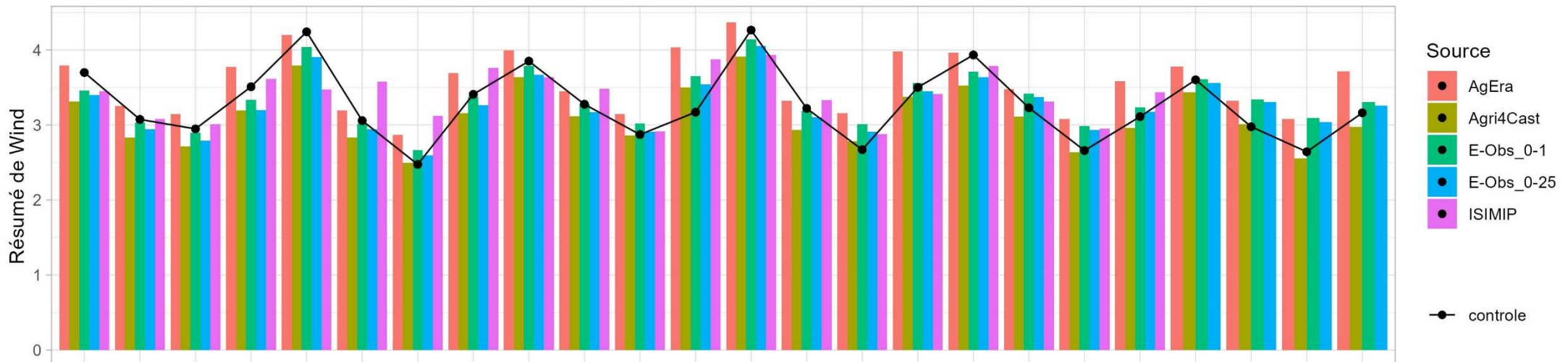
EXTREMA ou MOYENNE : les données contrôle sont inchangées, les données « Sources » sont extrémisées d'abord, moyennées ensuite



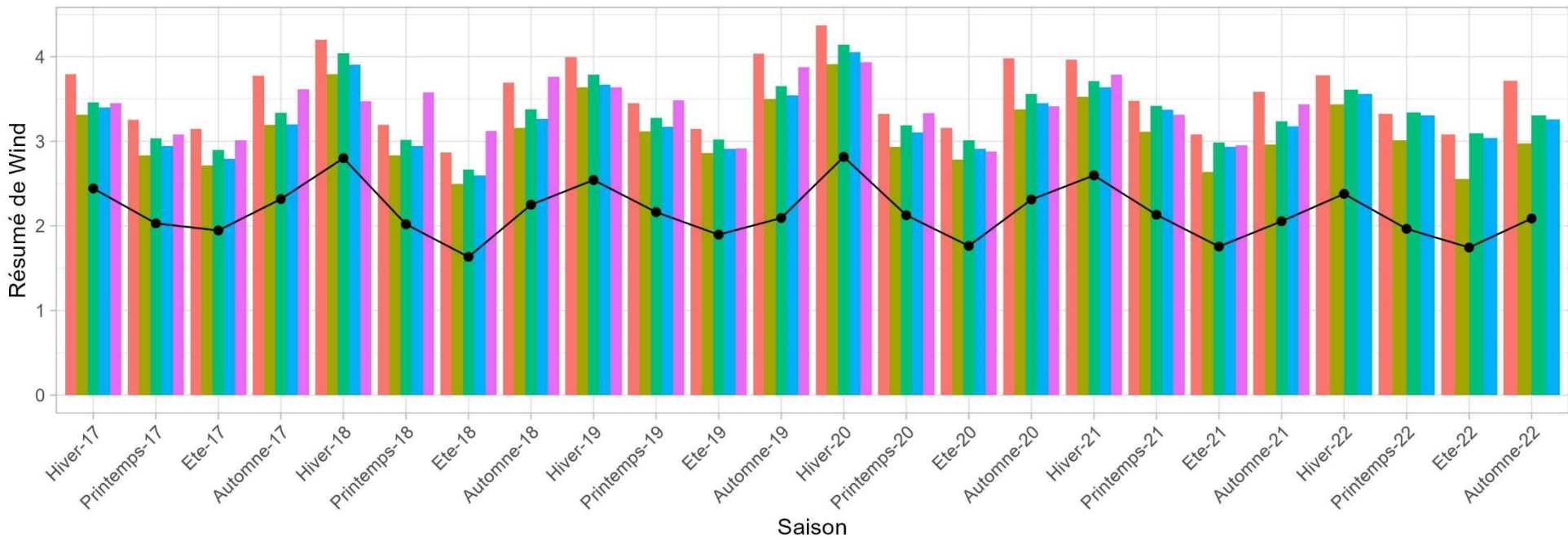
Résumé saisonnier de T_{Min} toutes stations confondues



EXTREMA ou MOYENNE : les données contrôle sont inchangées, les données « Sources » sont extrémisées d'abord, moyennées ensuite



Résumé saisonnier de Wind toutes stations confondues



Saison

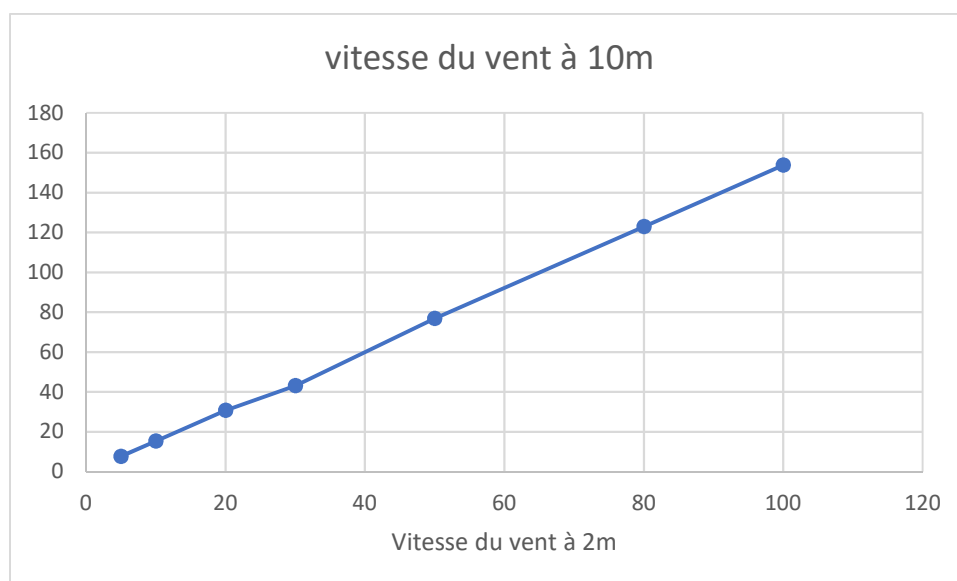
Annexe 2 : Corrections des données de vitesse du vent

Le vent est la variable sur laquelle le contrôle est le plus éloigné de tous les jeux de données. Une vérification est effectuée en tirant depuis Climatik un tableau récapitulatif de l'année 2017 sur Auzeville au pas journalier. La comparaison jour à jour avec la chronique E-Obs-10 donne ceci (on s'attardera sur le Radar_Vent pour plus détail) :

Vitesse moyenne du vent	Hiver 2017	Printemps 2017	Eté 2017	Automne 2017
Climatik	2,5	2,4	2,166	2,166
E-Obs-01	3,5	3,11	3,07	3,13
Ecart relatif (%)	+ 40	+29,58	+41,74	+44,51

Ce n'est donc pas un problème de mensualisation de la série Climatik. Après recherche cette approximation est due à l'augmentation de la vitesse des vents en passant d'une altitude de 2m à 10m.

Réalisé d'après la théorie de Moni-Obukov, sur un simulateur spécialisé⁸, pour un indice de rugosité de $z_0=0.1$ (« Terrains agricoles avec quelques bâtiments et des haies de 8 m de hauteur distantes d'env. 500 m ») :



On prend comme approximation $V_{2m} = 0.66 \times V_{10m}$

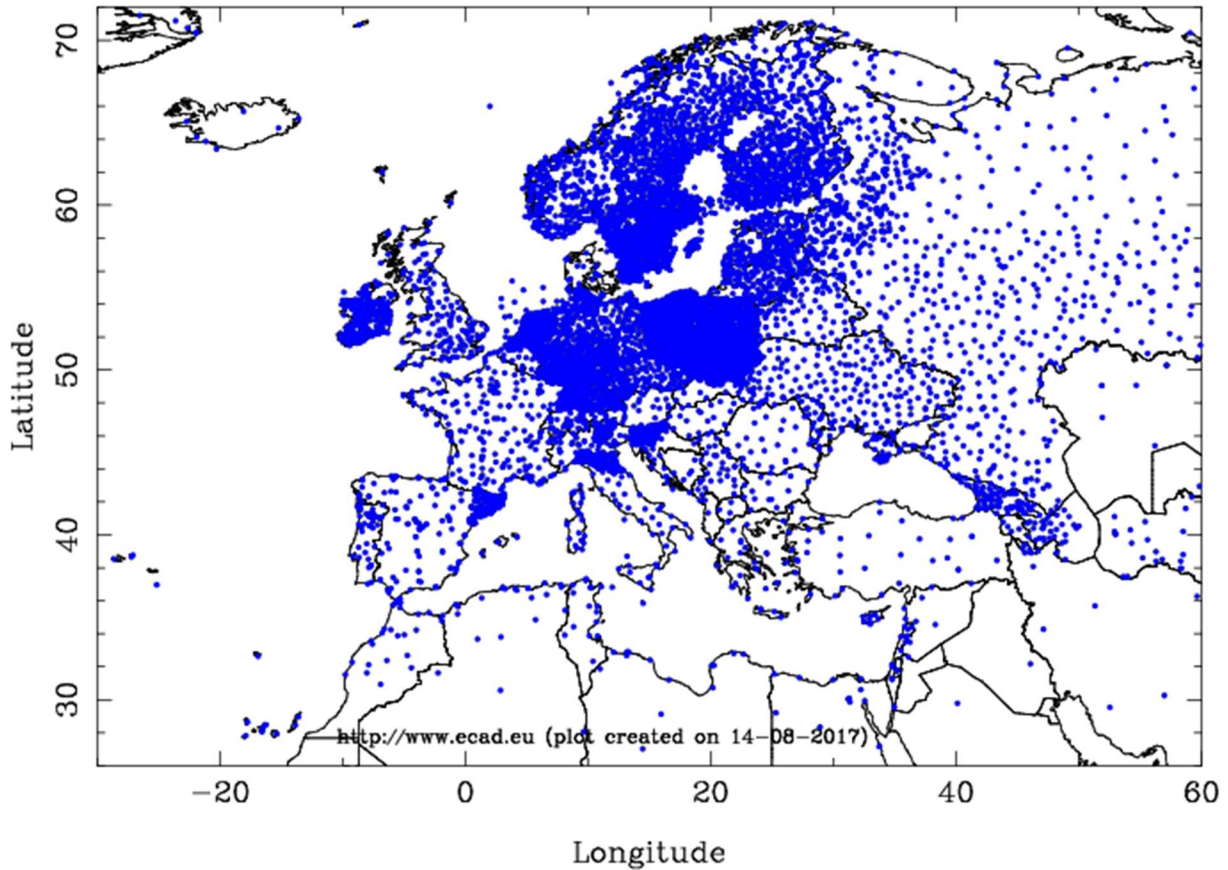
A noter : La vitesse moyenne des vents étant calculée en agrégeant des vents de direction différentes, l'information supporte mal les passages d'échelle imposés par la comparaison de données grillées et de données contrôle ponctuelles. Au sein de mailles différentes des vents de directions éparses et parfois contraires peuvent venir faire changer de façon significative l'indicateur global de la vitesse moyenne des vents au sein des dites mailles.

⁸ <https://wind-data.ch/tools/profile.php?h=2&v=20&z0=0.1&abfrage=Actualiser>

Annexe 3 : Spécifications techniques du produit E-Obs

Source : E-OBS: High-resolution gridded mean/max/min temperature, precipitation and sea level pressure for Europe & Northern Africa, Climate data guide, <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/e-obs-high-resolution-gridded-meanmaxmin-temperature-precipitation-and-sea-level>

“The station network is not homogeneous in space - with areas particularly in Europe's south east and northern Africa poorly represented.”



Annexe 4 : Panoptique des principaux modèles climatiques prévisionnels

Acronyme	GFS	ECMWF-CEPMMT	WRF	ARPEGE	AROME	CFS
Provenance	USA	UE	USA	UE	FR	USA
Nom	Global Forecast System	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	Weather Research and Forecasting	Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle	Application of Research to Operations at Mesoscale	Seasonal Climate Forecast
Producteur	National Centers for Environmental Prediction (NCEP) - partie du National Weather Service (NWS). Héberge l'Environmental Modeling Center (EMC) qui développe particulièrement le modèle GFS.	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme	National Weather Service	CRNRM & CEP	Meteo-France	National Centers for Environmental Prediction (NCEP) et NOAA
Horizon de prévision	384h (16 jours)	10 jours	2 jours	4 jours	36 heures	tendances à six mois
Résolution horizontale	27 km jusqu'à 192h et 70 km de 192 à 384 h	9 km using 137 layers in the vertical	de 2 et 15 km	fluctuante selon les zones - 7.5 km en moyenne en Europe	1.3 km	56 km
Fréquence	4 runs/jour : run 00z – run 06z – run 12z – run 18z.	2 run/jour : run 00z – run 12z.	4 run/jour : run 00z – run 06z – run 12z – run 18z	4 run/jour : run 00z – run 06z – run 12z – run 18z.	4 run/jour : run 00z – run 06z – run 12z – run 18z.	4 run/jour : run 00z – run 06z – run 12z – run 18z.
Remarques	Libre et gratuit	Une grande partie des paramètres du modèle CEPMMT ne sont pas accessibles gratuitement.	Modèle libre et gratuit	Capacité de bascule pour changer la position du pôle et étirer pour augmenter la résolution dans une zone d'intérêt	Prévision en France	Prend en compte les situations du passé et statistiques d'évolution, El Nino, La Nina, l'Oscillation Nord Atlantique ou encore l'évolution des masses d'air des dernières semaines