

CARACTERISATION DES SITUATIONS METEOROLOGIQUES DE VENT FAIBLE AU



SITE INSTRUMENTAL DE RECHERCHE
PAR TÉLÉDÉTECTION ATMOSPHÉRIQUE

Etude réalisée par :

Eric DUPONT (CEREA - EDF)

Yannick LEFRANC (CEREA – EDF)

Les situations de vent faible

- **Pénalisantes pour la dispersion des polluants**

Stagnation des polluants, Concentrations élevées près des sources

- **Difficiles à modéliser**

Cadre de modélisation de la CLA plus valide quand $FF \rightarrow 0$, Hypothèses de représentation de la dispersion dans modèle panache gaussien invalides, Difficulté de traiter correctement la fermeture turbulente en CFD

- **Quasi impossible à reproduire en soufflerie**

Maintien d'une stratification thermique, Respect des règles de similitude

Pour autant elles doivent être prises en compte de manière réaliste dans les études d'impact (vents faibles fréquents sur certains sites) pour éviter soit une sous-estimation des risques soit un conservatisme excessif

Qu'est ce qu'un vent faible ?

- **Pas de définition unanime**

Peut être basée sur :

un seuil défini à partir d'une vitesse constante ($< 2\text{m/s}$)

un seuil défini à partir d'une vitesse variable (vitesse \leq écart type de cette vitesse)

- **Vents calmes sont mieux définis**

Vitesse $< 0,5\text{ m/s}$ et direction non définie (et souvent affectée à 0)

Classification

| | | | | | |
|---------|--------|---------|-----|---------|---------------|
| 0 m/s | \leq | vitesse | $<$ | 0,5 m/s | Vents calmes |
| 0,5 m/s | \leq | vitesse | $<$ | 1 m/s | Vents faibles |
| 1 m/s | \leq | vitesse | $<$ | 2 m/s | Vents faibles |
| 2 m/s | \leq | vitesse | $<$ | 7 m/s | Vents modérés |
| 7 m/s | \leq | vitesse | | | Vents forts |

Plan de la présentation

Caractérisation des épisodes de vent faible

Constitution du jeu de données

Proportion des différentes classes de vent à 10m et 80m

Cycle diurne et saisonnier

Variabilité de la direction du vent durant un épisode de vent faible

Proportion des catégories de vents en fonction de certaines grandeurs météo (précipitation, gradient de température, LMO, visibilité)

Occurrence des classes de Pasquill

Caractérisation de la turbulence durant les épisodes de vent faible

Caractérisation des écart-types des composantes du vent

Distribution de l'énergie cinétique turbulente et Intensité de turbulence

Détermination de l'échelle intégrale de turbulence

Constitution du jeu de données

➤ Données issues de la base SIRTA

- Instrumentation CERECA :
 - Anémomètre ultra sonique 10m sommital : U, V, W et T à 10 Hz
 - Lidar (40m-290m) : profil vertical vent et turbulence – 10 minutes
- Instrumentation autres laboratoires :
 - Gradient de température 10m-30m : toutes les minutes
 - Visibilimètre : visibilité toutes les minutes
 - Pluviomètre : précipitation toutes les minutes
- Période couverte : 7 années (2011 à 2017)

➤ Construction du jeu de données

- Intégration des données sur 10 minutes : 368 208 échéances
- Elimination des échéances « invalides » : échantillons < 80% pour sonic et lidar, hors gamme [-20°C;+20°C] pour le gradient de T°, status 990-991 pour le visibilimètre, direction vent de 300 à 80° pour lidar 40m (effets de la forêt)
- Construction d'un jeu de données hors critère visibilité : **147 216 échéances**
- Construction d'un jeu de données (sensibilité à la visibilité) : **270 629 échéances**



Proportion des différentes classes de vitesses de vent

| Classes de vent 10m | U10<0.5 | 0.5<=U10<1.0 | 1.0<=U10<2.0 | 2.0<=U10<7.0 | 7.0<=U10 | Total |
|-------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|----------|---------|
| Nb de cas | 2 226 | 7 059 | 29 478 | 105 499 | 2 954 | 147 216 |
| % de cas | 1.5 % | 4.79 % | 20.0 % | 71.7 % | 2 % | 100 % |

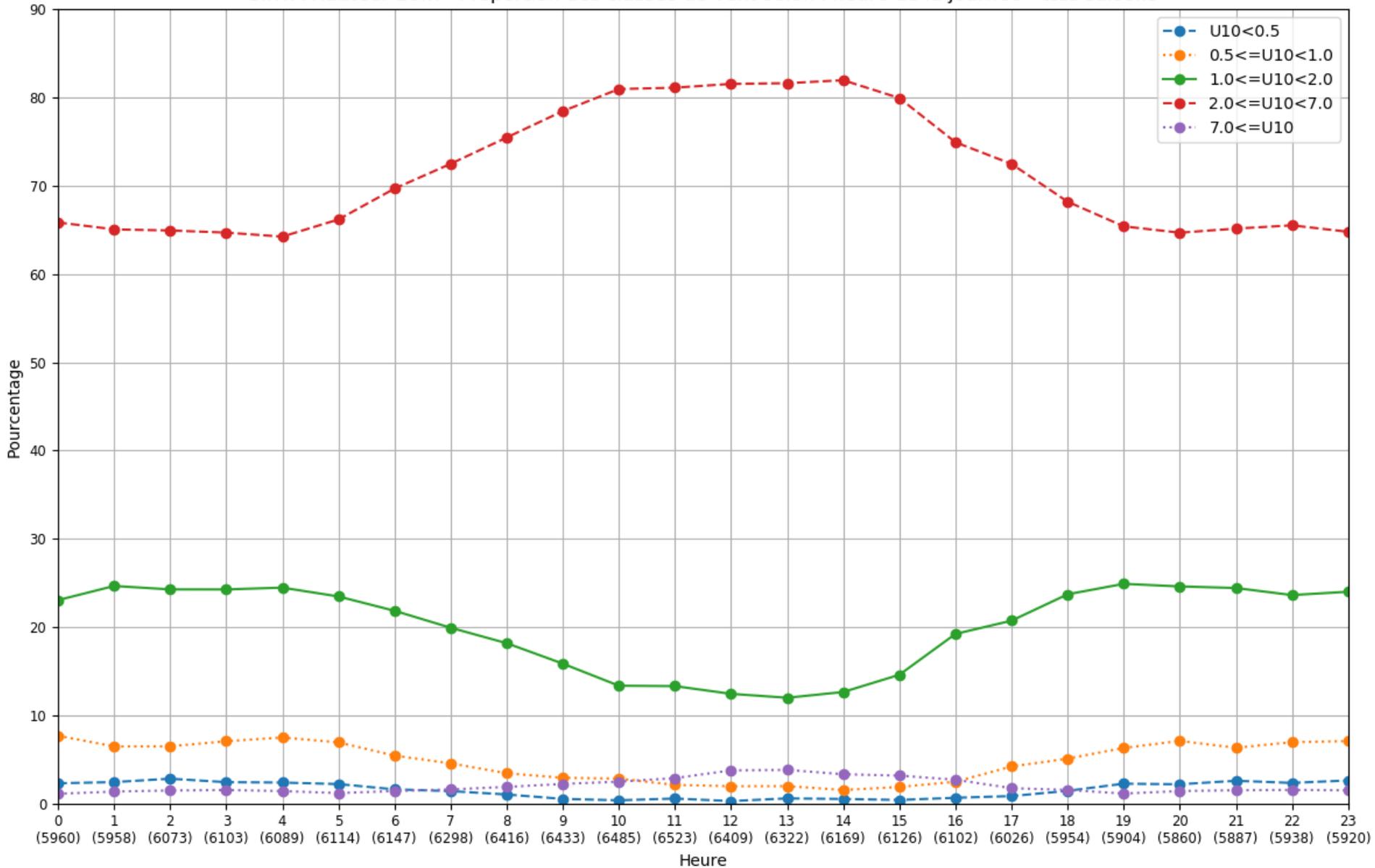
| Classes de vent 80m | U80<0.5 | 0.5<=U80<1.0 | 1.0<=U80<2.0 | 2.0<=U80<7.0 | 7.0<=U80 | Total |
|-------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|----------|---------|
| Nb de cas | 120 | 847 | 5 684 | 94 736 | 45 829 | 147 216 |
| % de cas | 0.1 % | 0.6 % | 3.9 % | 64.4 % | 31.1 % | 100 % |

Faible occurrence des vents calmes ou faibles (implantation sur plateau?)

- 10m : La période de 7 ans permet d'avoir suffisamment d'échantillons (2226 vents calmes, 7059 vents entre 0.5 et 1 m/s) pour établir des statistiques.
- 80m : population insuffisante de vent calme pour une étude de sensibilité aux autres grandeurs météorologiques.

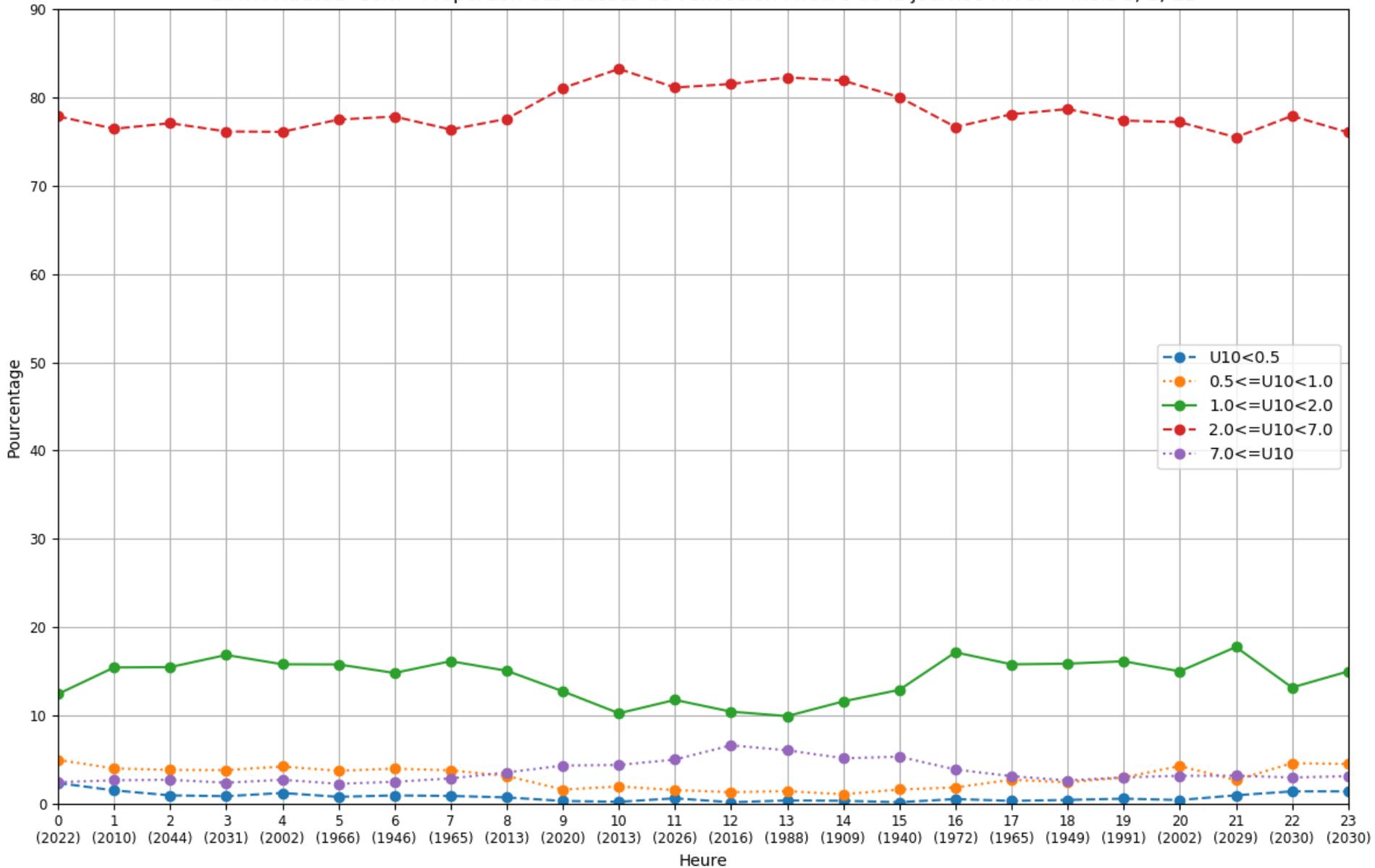
Cycle diurne et saisonnier

SIRTA Hauteur 10m - Proportion des classes de vent selon l'heure de la journée - ttes saisons



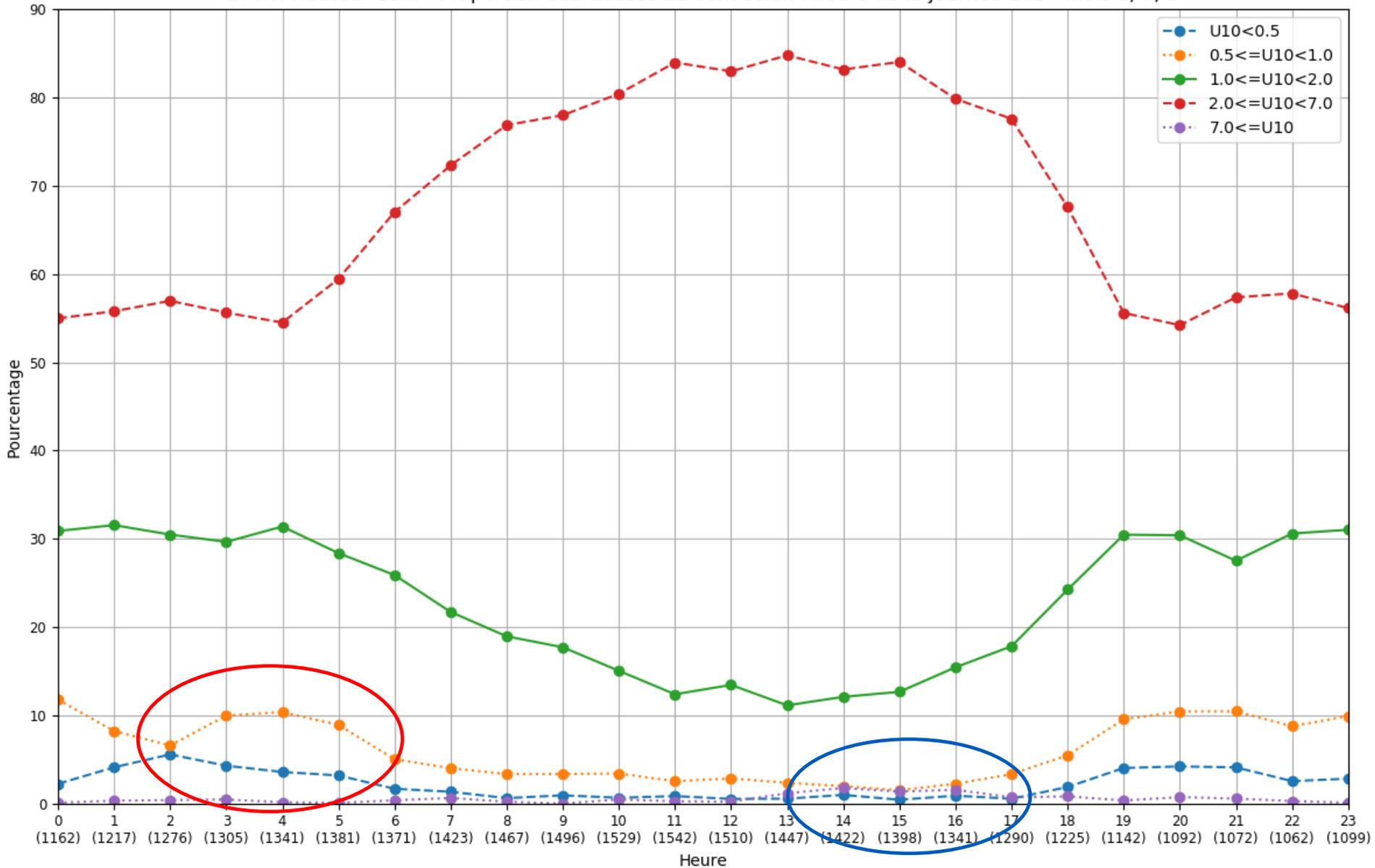
Cycle diurne et saisonnier

SIRTA Hauteur 10m - Proportion des classes de vent selon l'heure de la journée HIVER - mois 1, 2, 12



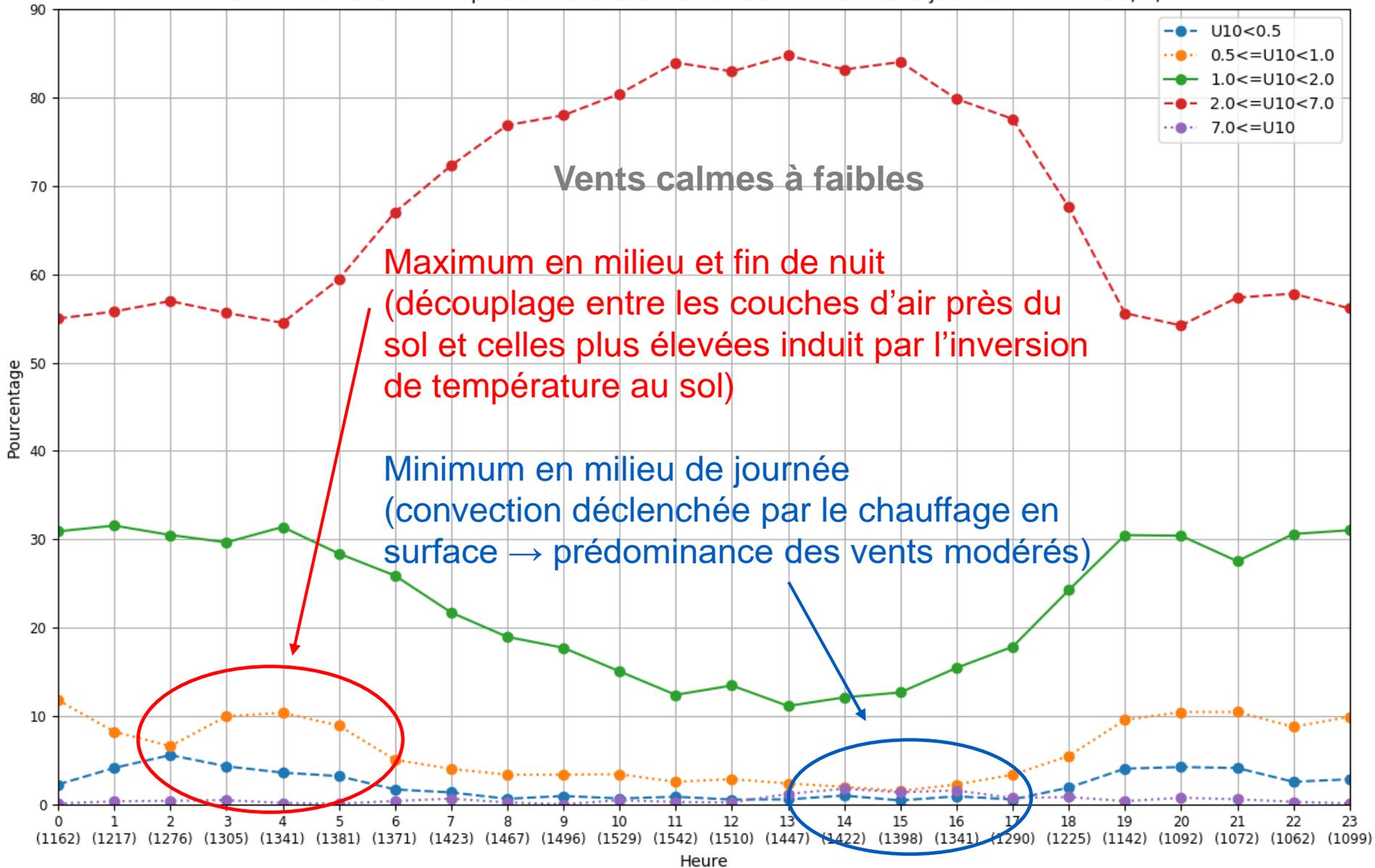
Cycle diurne et saisonnier

SIRTA Hauteur 10m - Proportion des classes de vent selon l'heure de la journée ETE - mois 6, 7, 8



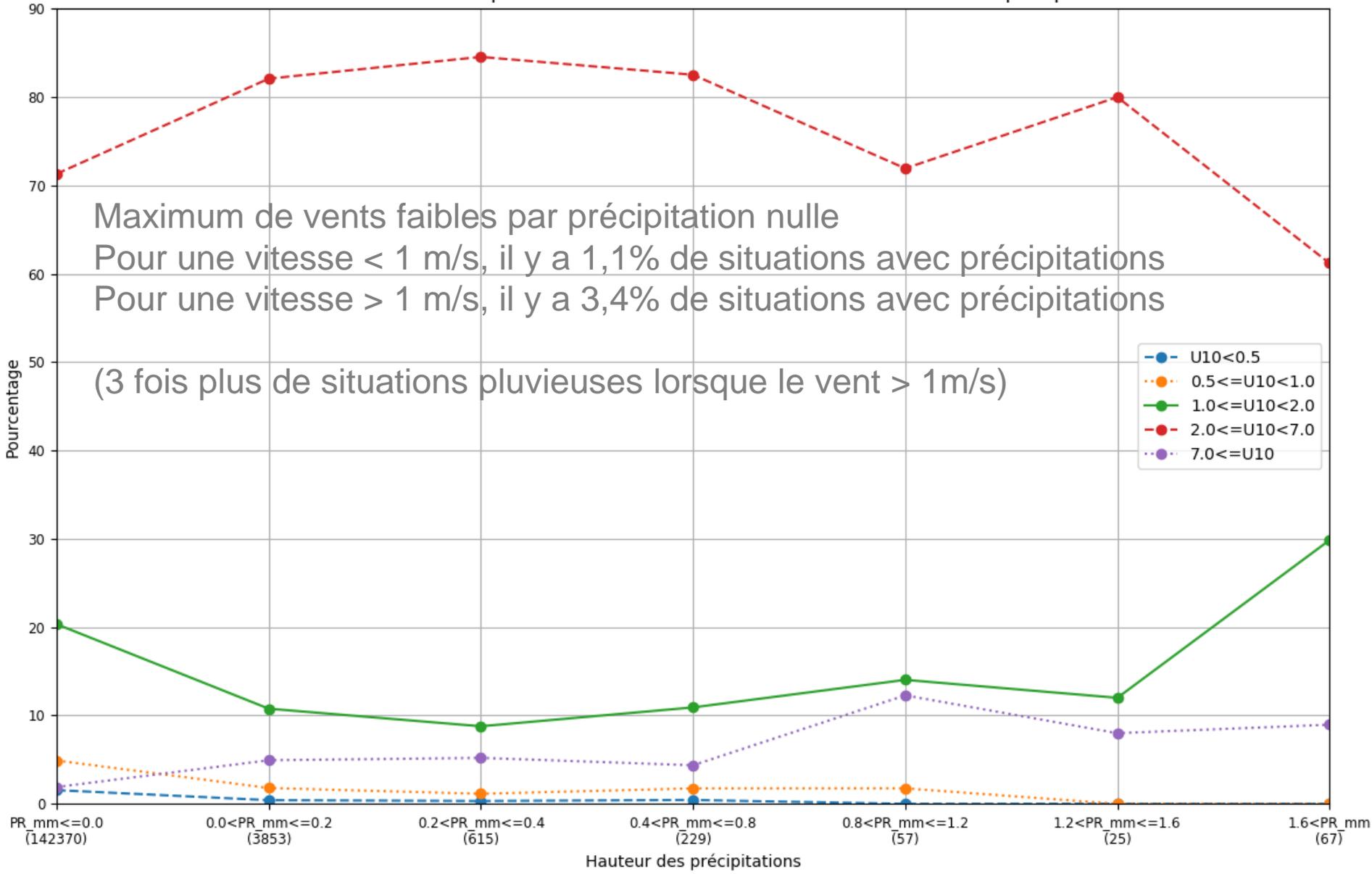
Cycle diurne et saisonnier

SIRTA Hauteur 10m - Proportion des classes de vent selon l'heure de la journée ETE - mois 6, 7, 8



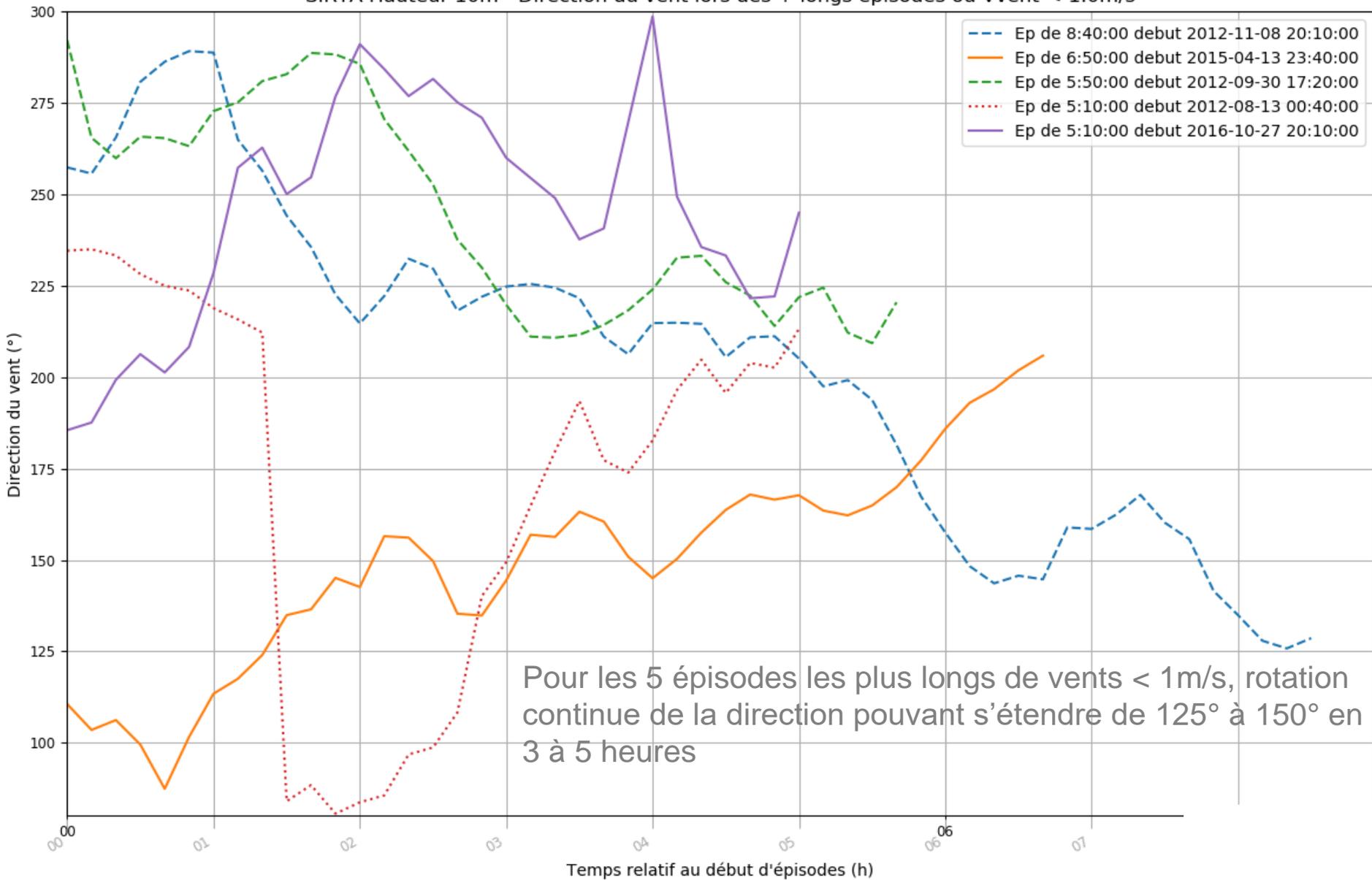
Proportion des classes de vent 10m en fonction de la précipitation

SIRTA Hauteur 10m - Proportion de classes de vent à 10m selon Hauteur des précipitations



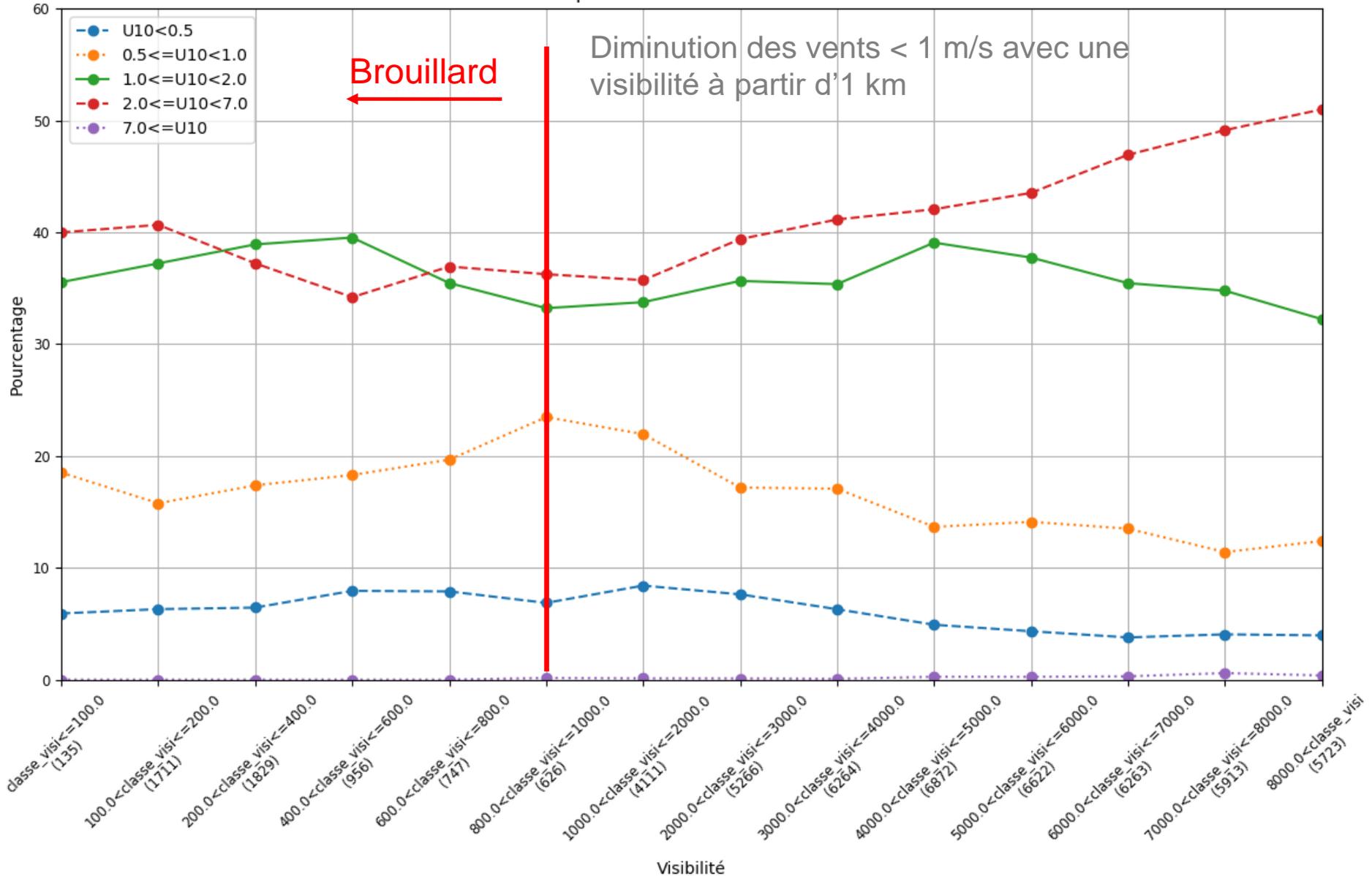
Variabilité de la direction du vent durant un épisode de vent faible

SIRTA Hauteur 10m - Direction du vent lors des + longs épisodes où Vvent < 1.0m/s



Proportion des classes de vent 10m en fonction de la visibilité

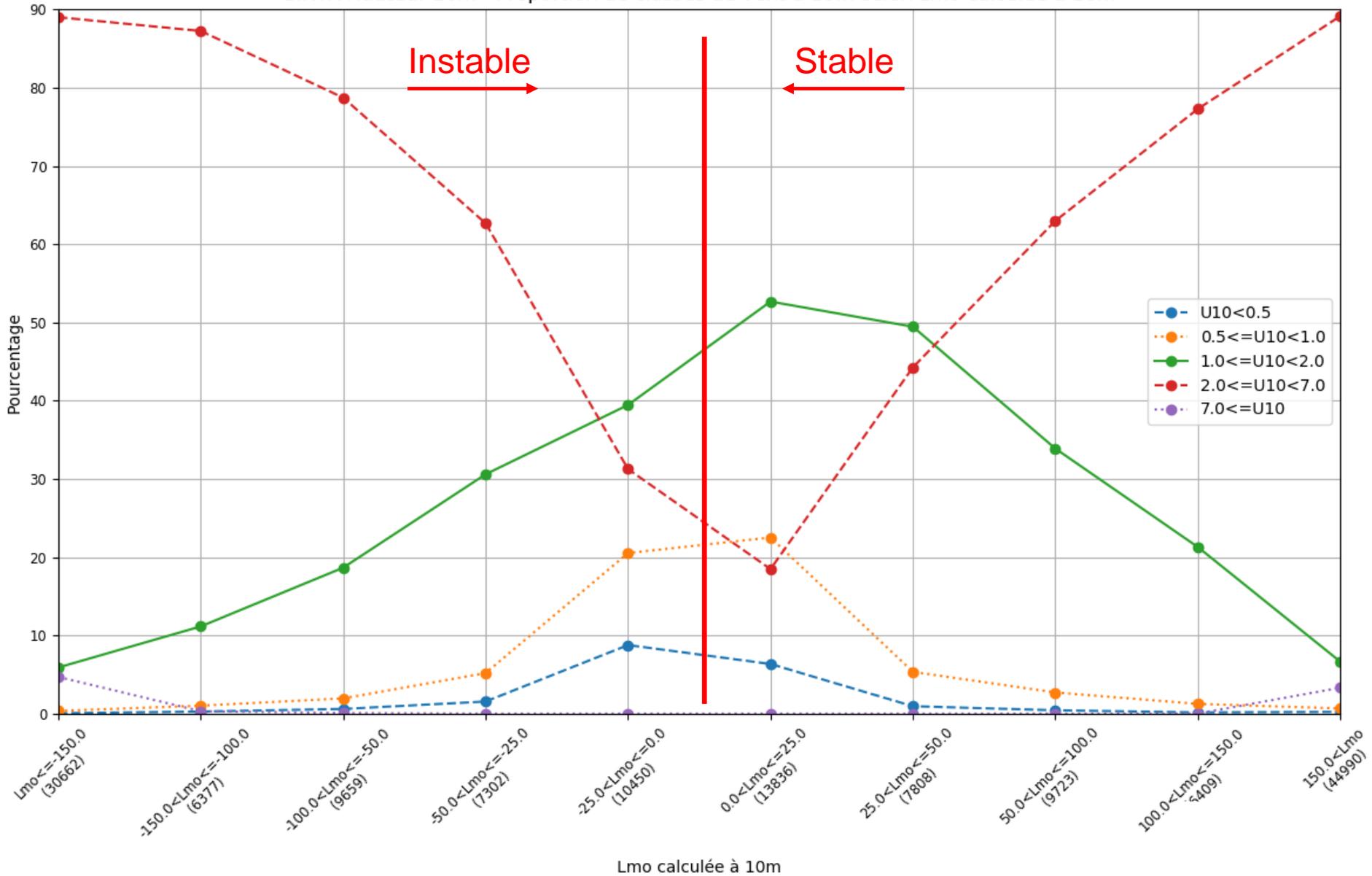
SIRTA Hauteur 10m - Proportion de classes de vent à 10m selon Visibilité



Remarque: A 80m seuls les vents les plus forts sont plus présents lors de situations de visibilité > 1 km

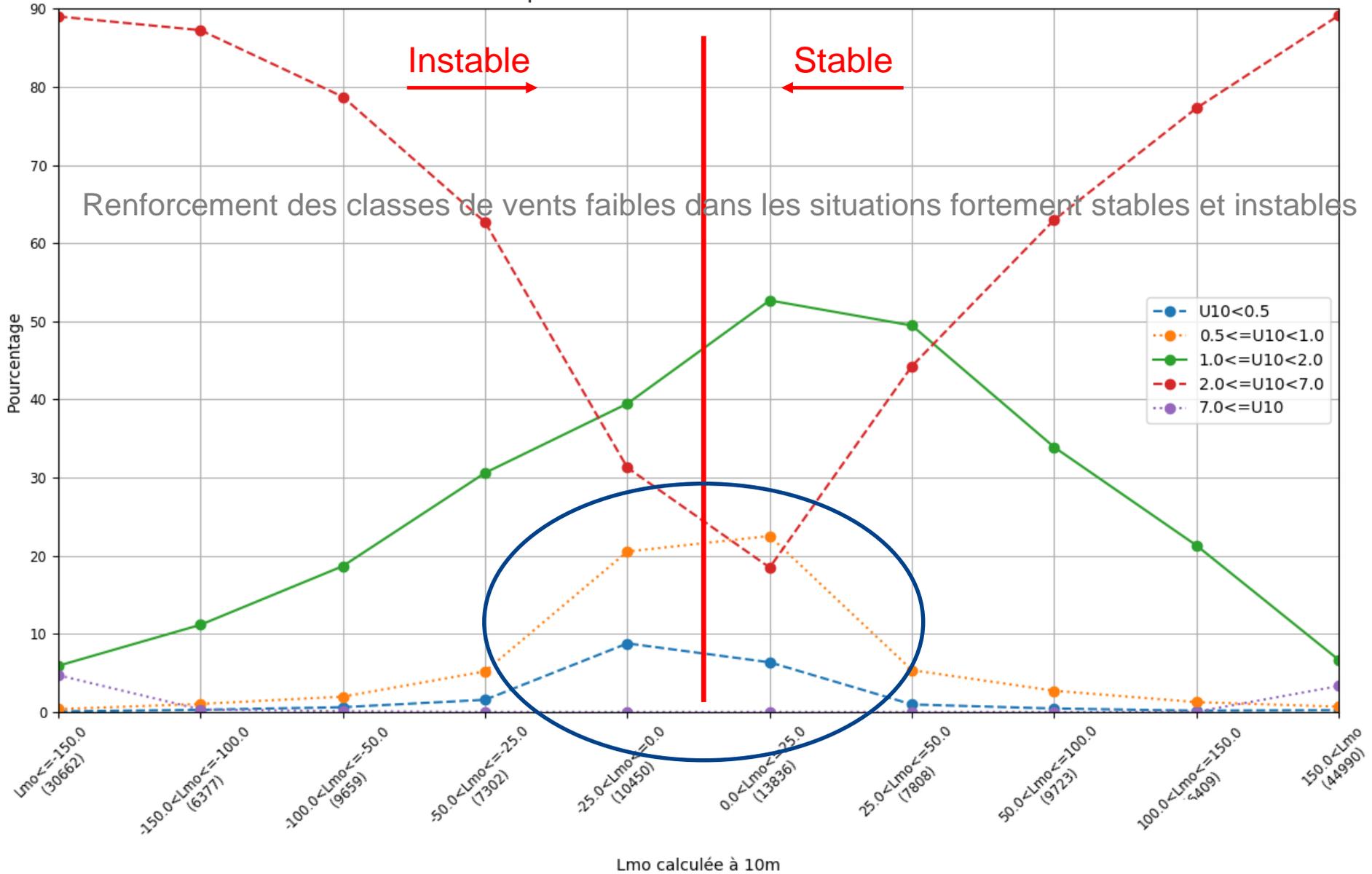
Proportion des classes de vent 10m en fonction de LMO calculée à 10m

SIRTA Hauteur 10m - Proportion de classes de vent à 10m selon Lmo calculée à 10m



Proportion des classes de vent 10m en fonction de LMO calculée à 10m

SIRTA Hauteur 10m - Proportion de classes de vent à 10m selon Lmo calculée à 10m



Calcul des pourcentages d'occurrence des classes de Pasquill

Caractérisation de la stabilité en fonction de la force du vent en utilisant les classes de Pasquill

La proportion de **situations neutres** augmente avec l'intensité du vent pour atteindre 100% à partir de 7m/s
Très forte proportion de cas stables pour les vents inférieurs à 1 m/s.

| sw10/U10 | U10<0.5 | 0.5<=U10<1.0 | 1.0<=U10<2.0 | 2.0<=U10<7.0 | 7.0<=U10 | Total |
|------------|---------|--------------|--------------|--------------|----------|-------|
| Pasquill A | 12.9% | 12.9% | 8.7% | 1.3% | 0.0% | 3.5% |
| Pasquill B | 0.7% | 0.8% | 3.4% | 3.1% | 0.0% | 2.9% |
| Pasquill C | 1.1% | 1.2% | 5.7% | 11.1% | 0.0% | 9.1% |
| Pasquill D | 25.2% | 28.6% | 35.3% | 72.0% | 100.0% | 62.4% |
| Pasquill E | 22.4% | 37.6% | 32.4% | 10.5% | 0.0% | 16.2% |
| Pasquill F | 37.7% | 18.8% | 14.5% | 2.1% | 0.0% | 5.8% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Caractérisation de la turbulence durant les épisodes de vent faible

Dans les modélisations la turbulence est directement liée au cisaillement, donc disparition lorsque la vitesse tend vers 0.

Objectif

Caractériser la décroissance de la turbulence pour les vents faibles et calmes
Identifier d'éventuelles différences de comportement entre les 3 composantes du vent

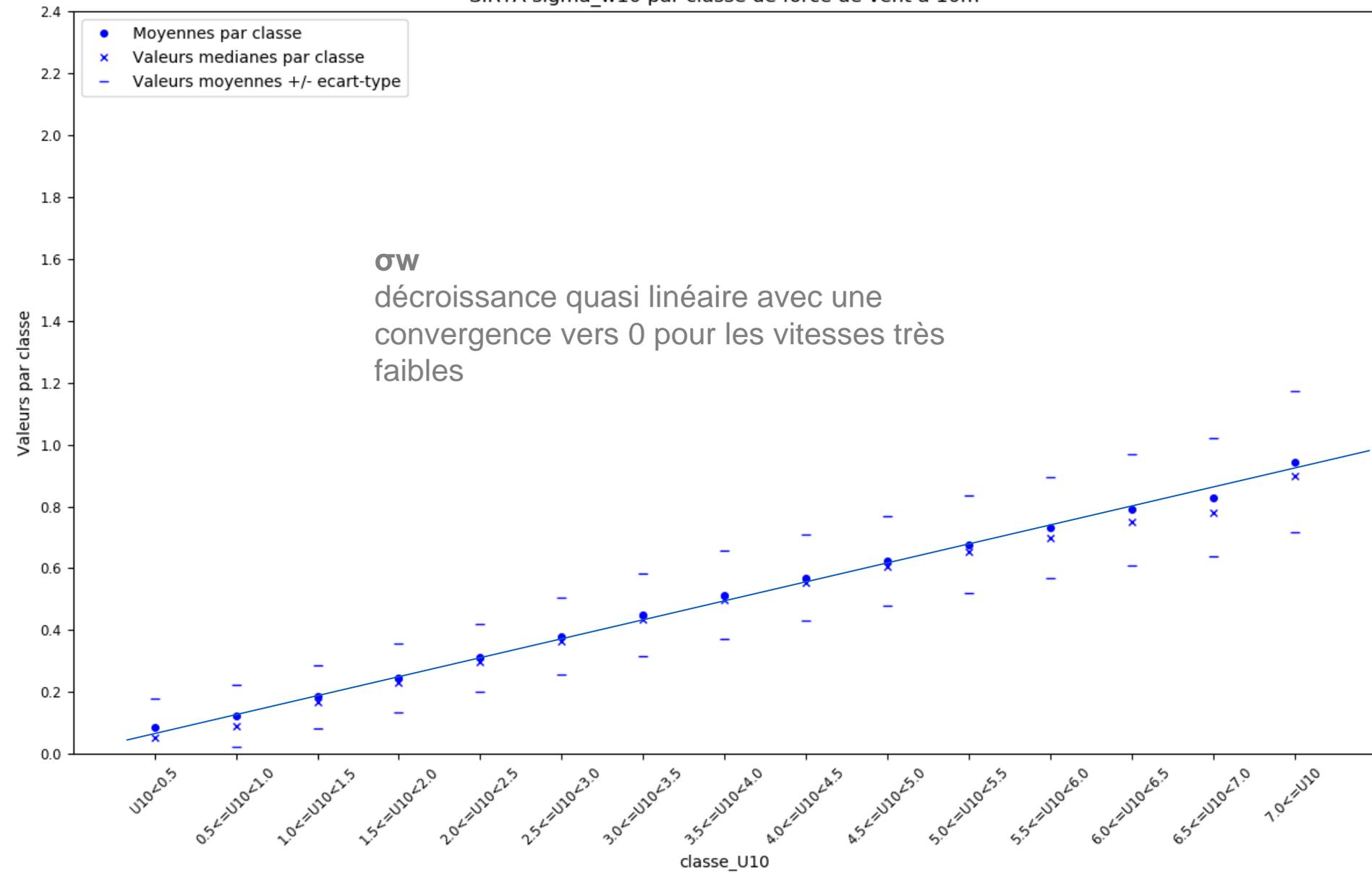
Méthodologie

A partir des données (U, V, W) 10Hz de l'anémomètre ultrasonique 10m :

- calcul du vent moyen par période 10 minutes
- détermination des composantes horizontales dans le référentiel du vent moyen
a et σ_a : composante longitudinale et son écart type
b et σ_b : composante transverse et son écart type
- détermination de l'écart type de la composante verticale σ_w

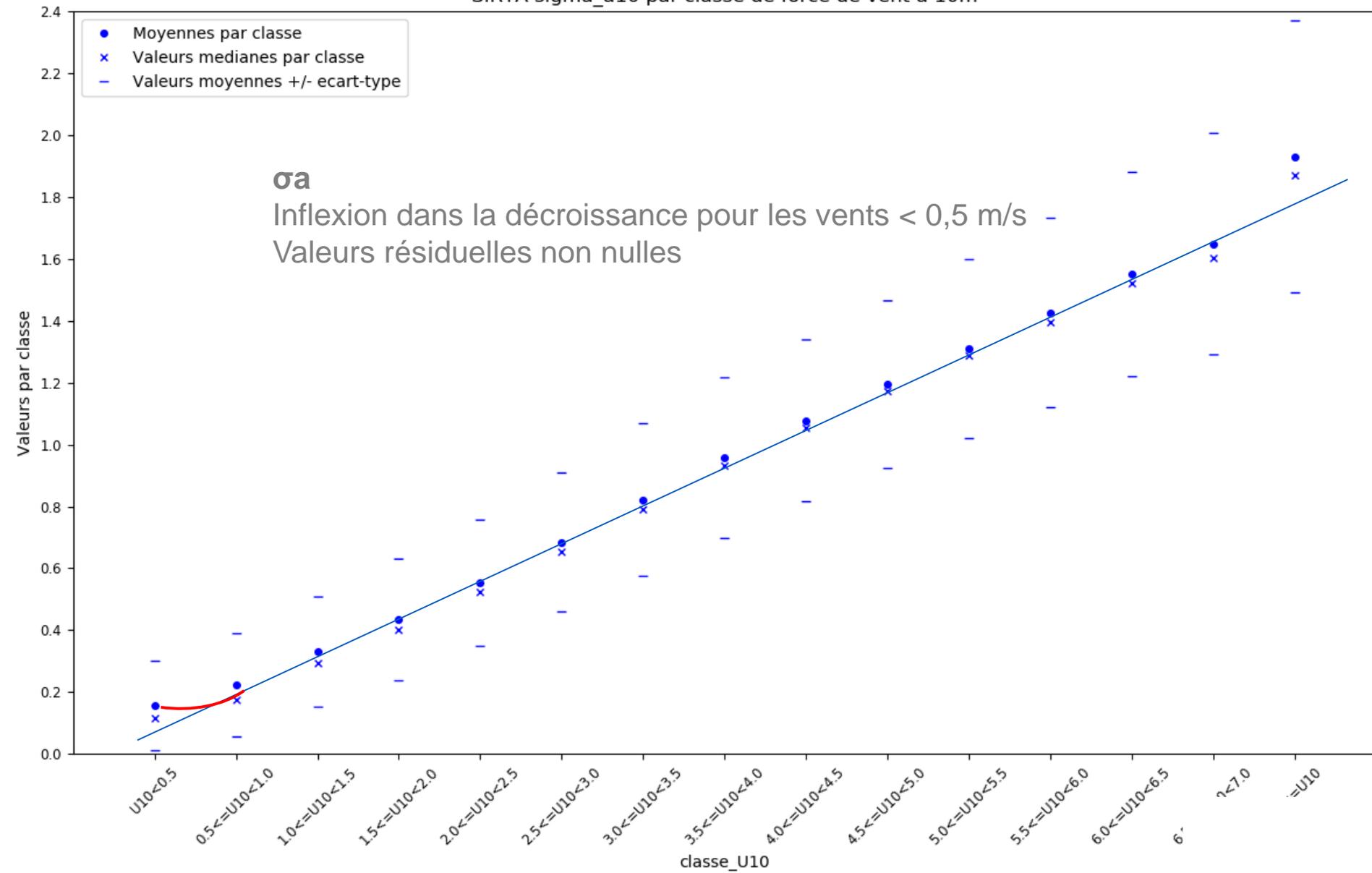
Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA sigma_w10 par classe de force de vent à 10m



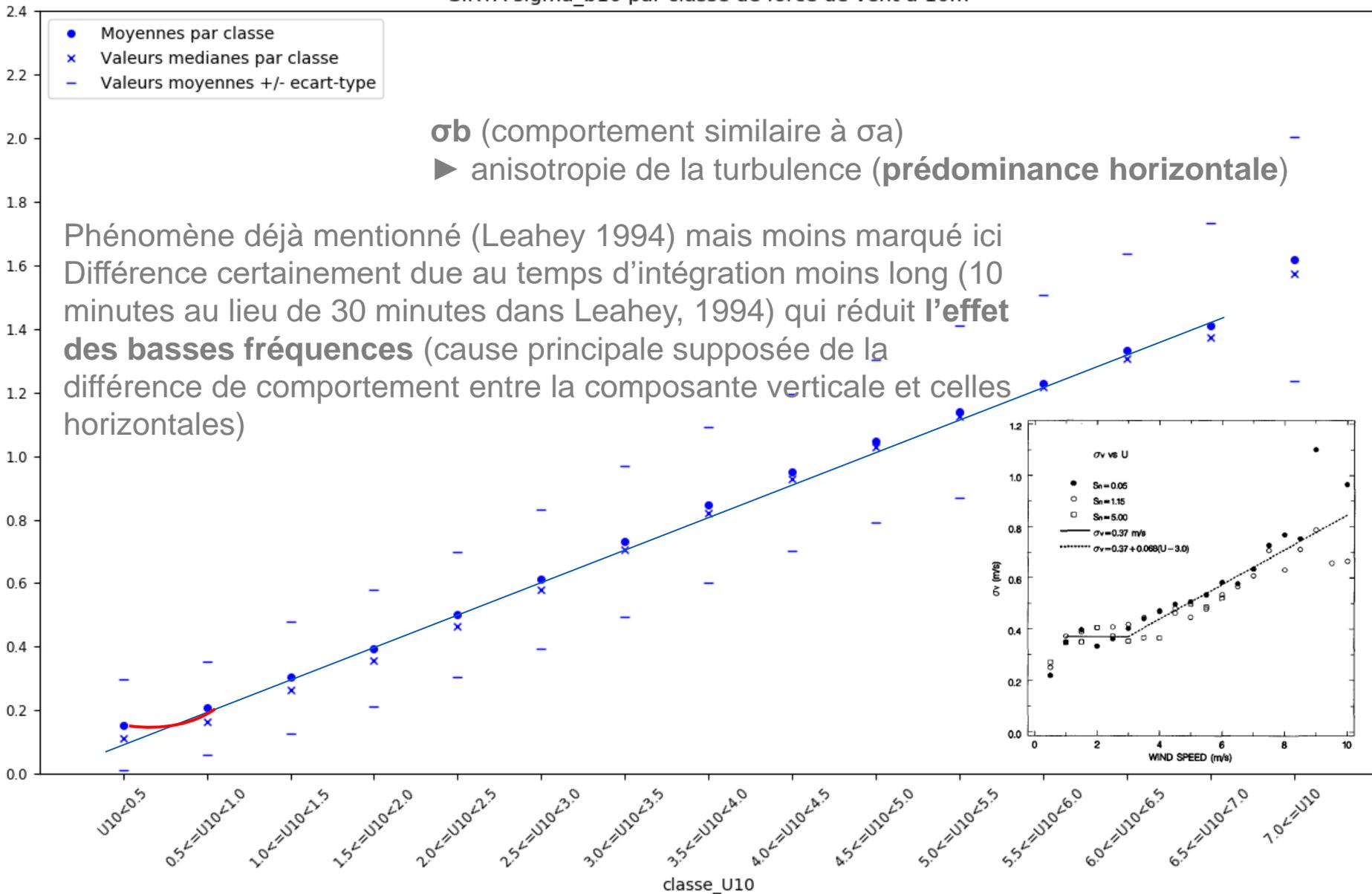
Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA sigma_a10 par classe de force de vent à 10m



Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA sigma_b10 par classe de force de vent à 10m



Caractérisation des écart-types des composantes du vent

Une autre illustration de l'anisotropie consiste à calculer la distribution des ratios ratios des écart types:

σ_a / σ_w ► maximum d'occurrence de l'ordre 1,7 à 2,1, conforme à un **terrain sans relief**

σ_b / σ_w

σ_b / σ_a ► maximum d'occurrence de l'ordre 0,8 conforme à un **terrain sans relief**

Constat

Avec la discrimination en fonction des classes de vents :

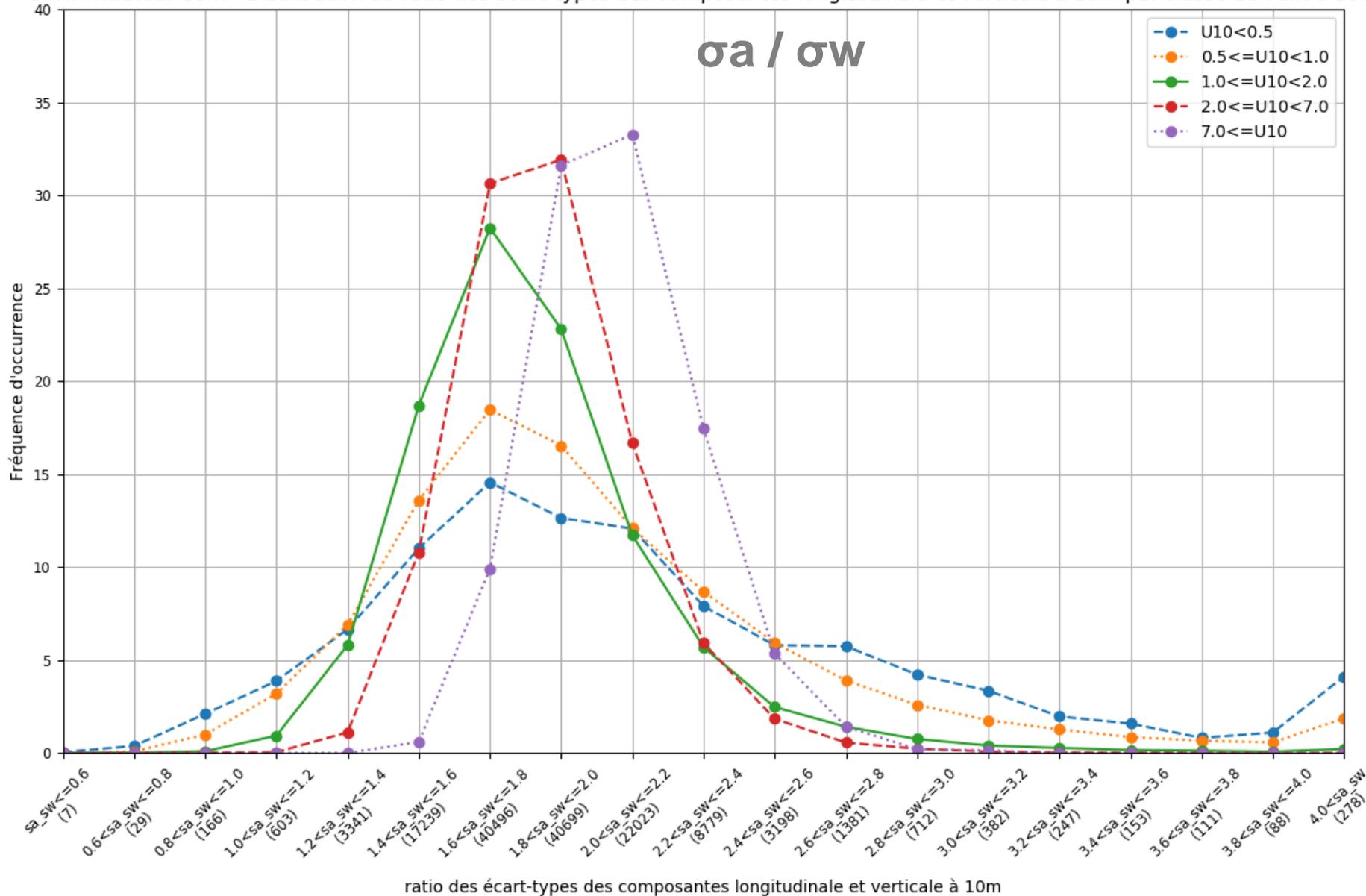
Renforcement de l'anisotropie (turbulence plus grande dans le plan horizontal) pour des vents $< 1\text{m/s}$

Importance relative plus forte de la composante transverse (phénomène de méandrement : oscillations basses fréquences de la direction du vent)

→ illustration

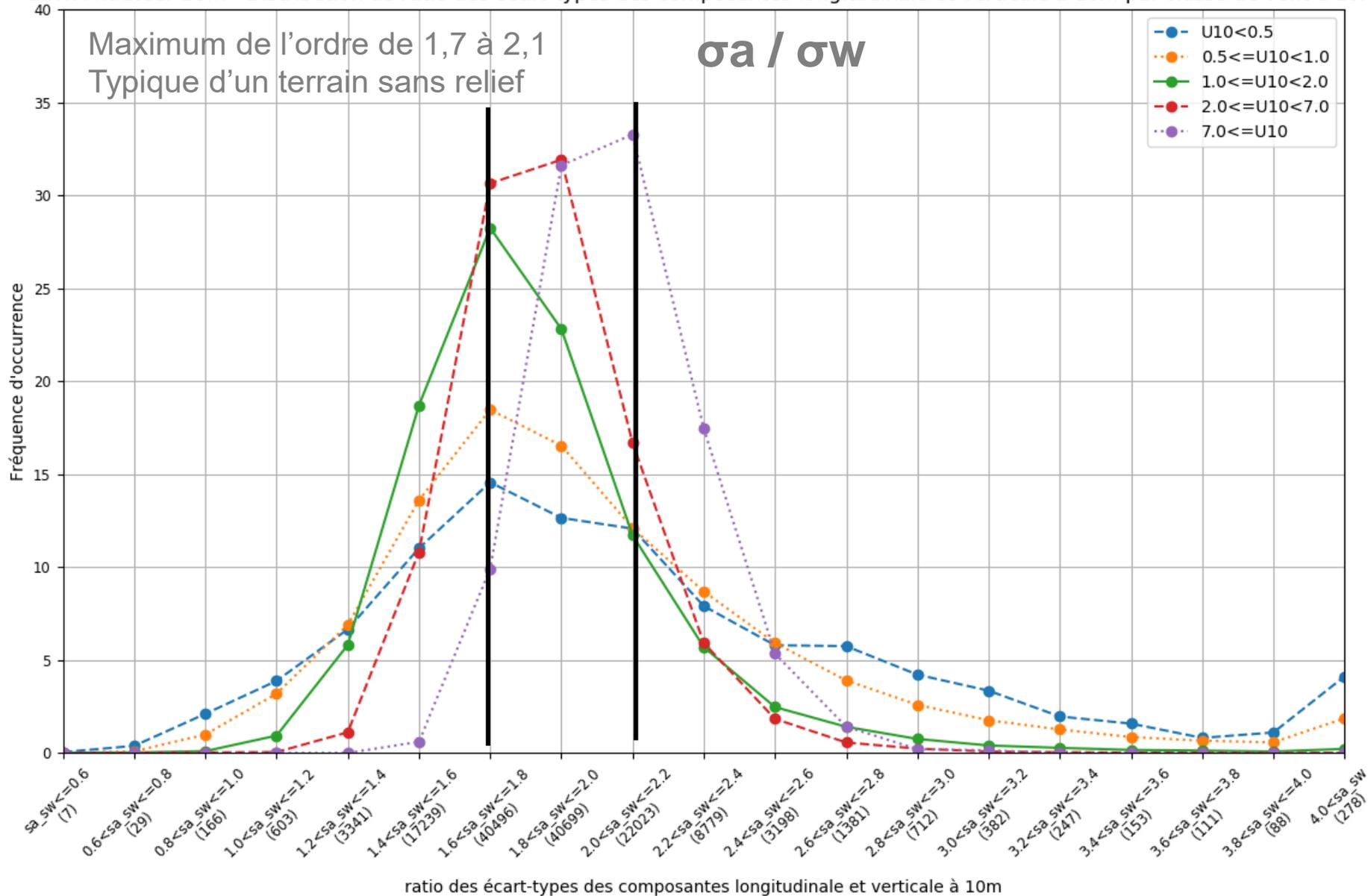
Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de ratio des écart-types des composantes longitudinale et verticale à 10m par classe de vent à 10m



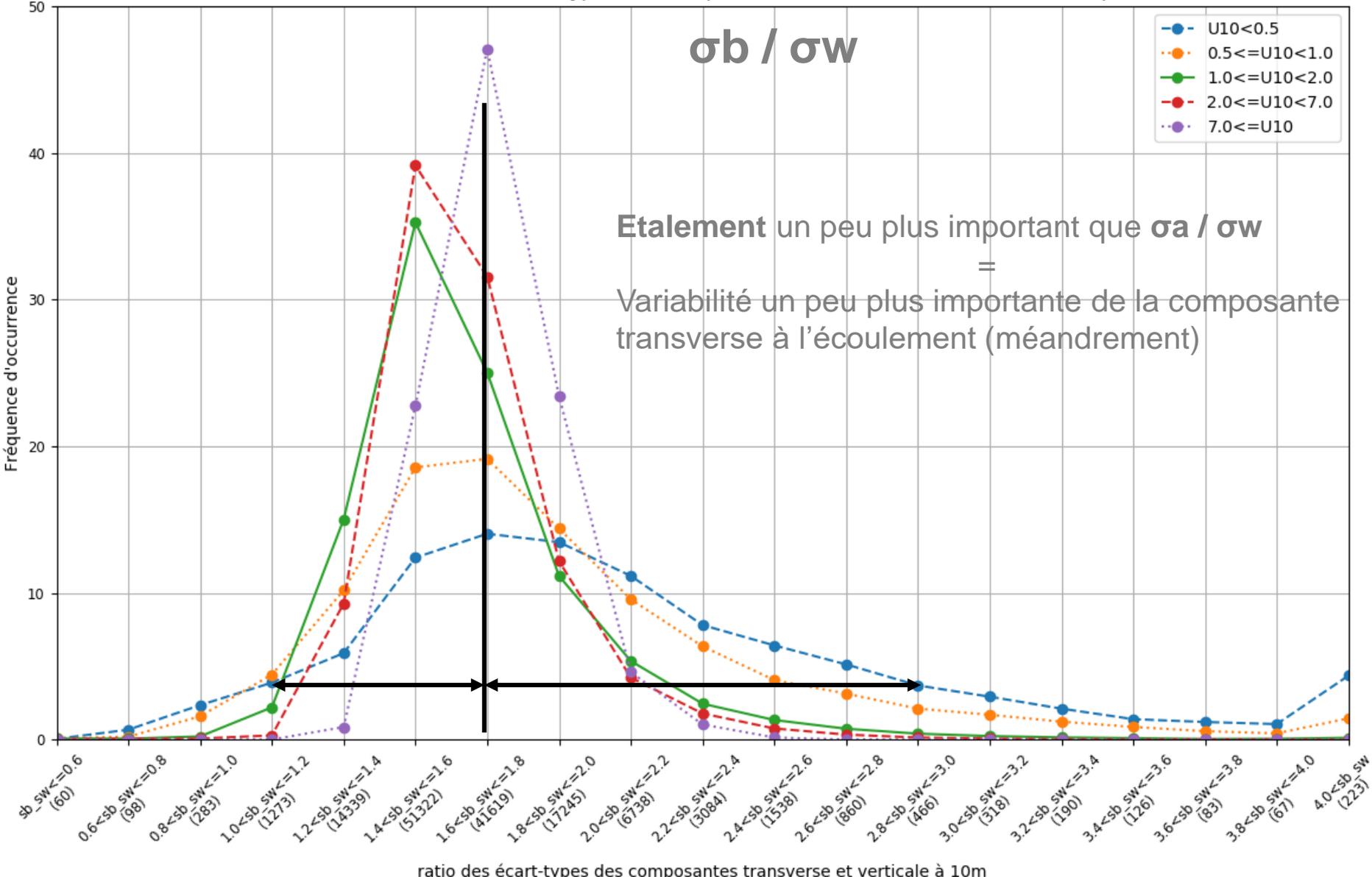
Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de ratio des écart-types des composantes longitudinale et verticale à 10m par classe de vent à 10m



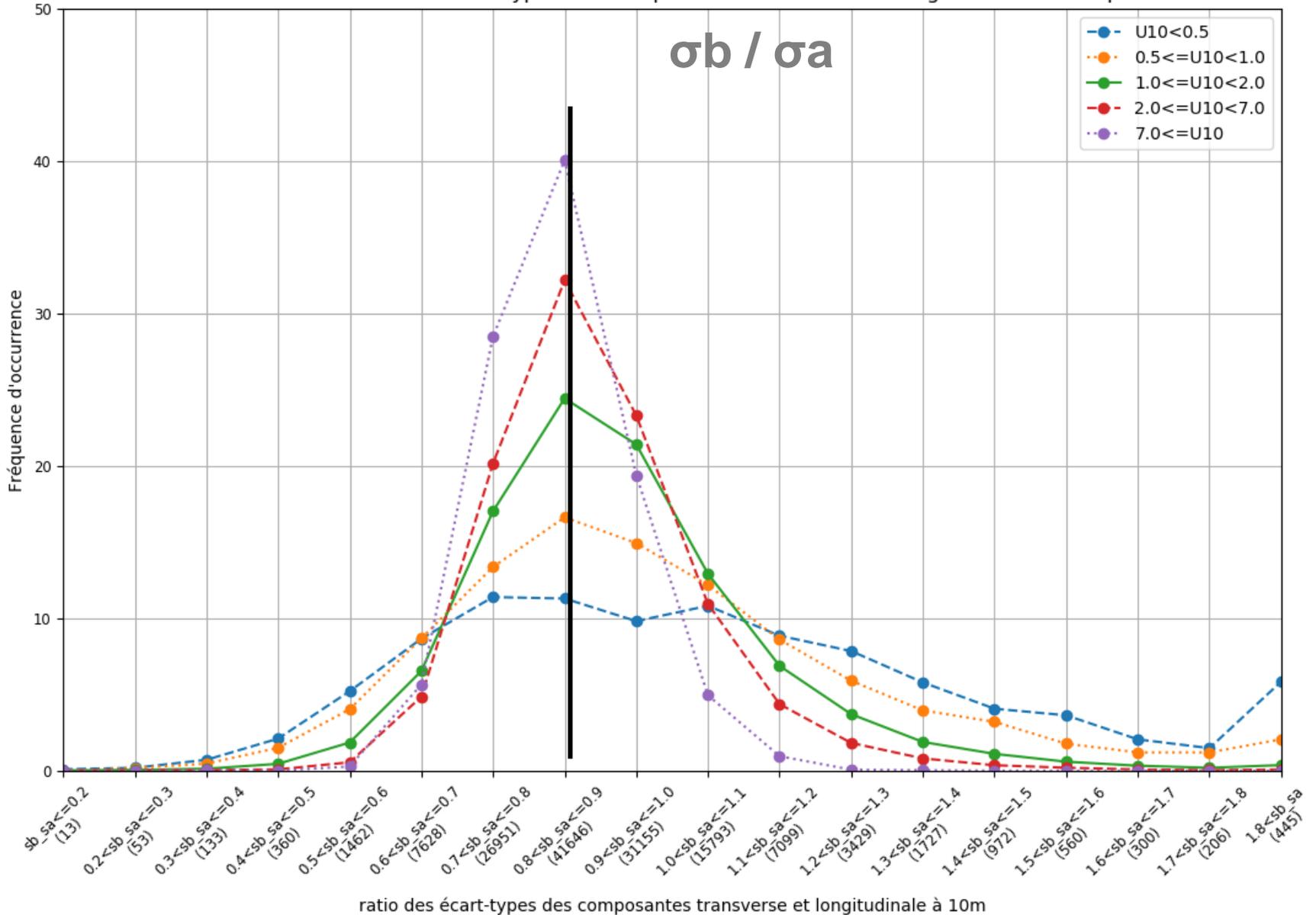
Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de ratio des écart-types des composantes transverse et verticale à 10m par classes de vent à 10m



Caractérisation des écart-types des composantes du vent

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de ratio des écart-types des composantes transverse et longitudinale à 10m par classes de vent à 10m



Distribution de l'énergie cinétique turbulente $ECT = \frac{1}{2} (\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_w^2)$

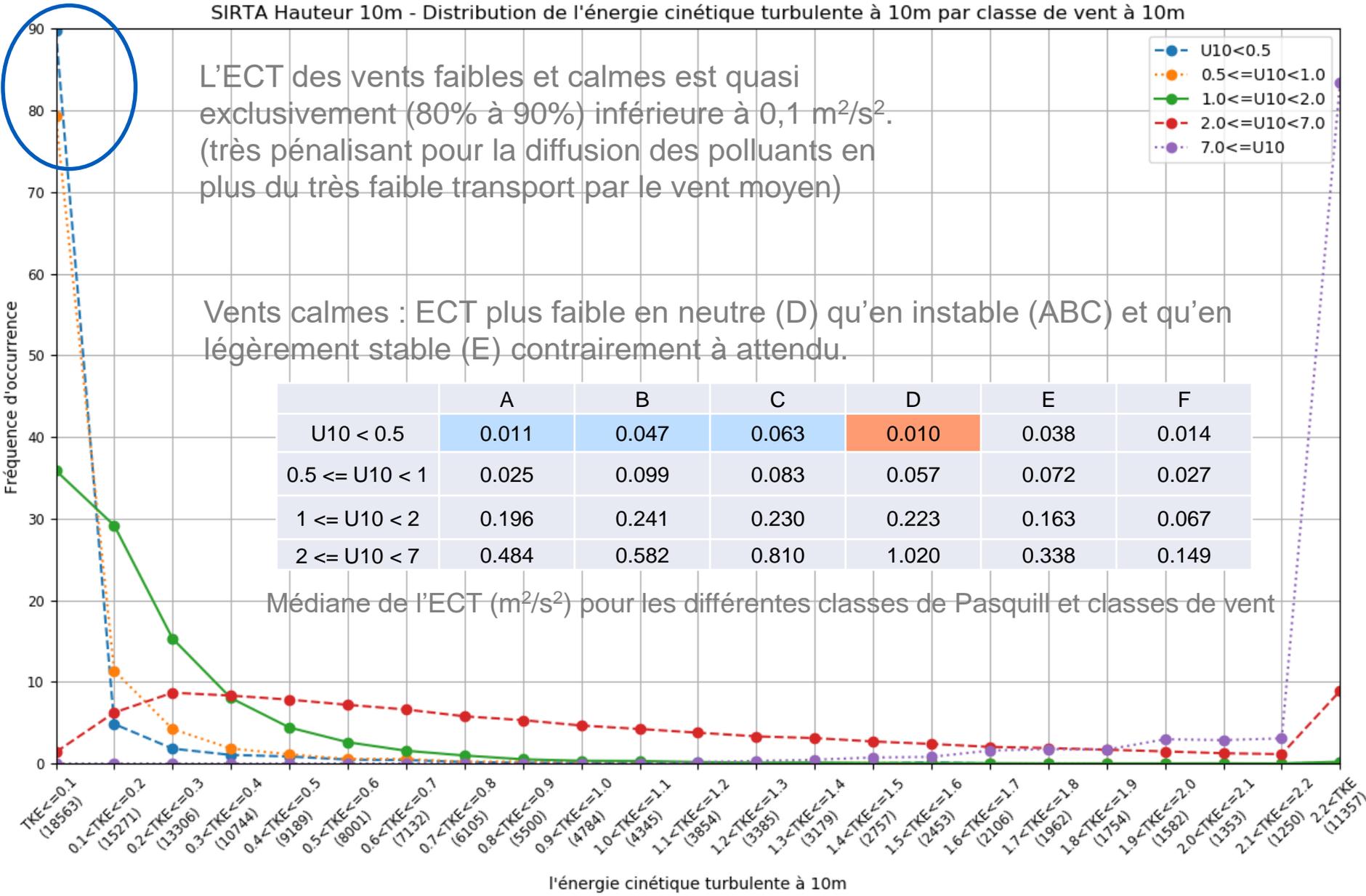
SIRTA Hauteur 10m - Distribution de l'énergie cinétique turbulente à 10m par classe de vent à 10m

L'ECT des vents faibles et calmes est quasi exclusivement (80% à 90%) inférieure à $0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$.
(très pénalisant pour la diffusion des polluants en plus du très faible transport par le vent moyen)

Vents calmes : ECT plus faible en neutre (D) qu'en instable (ABC) et qu'en légèrement stable (E) contrairement à attendu.

| | A | B | C | D | E | F |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U10 < 0.5 | 0.011 | 0.047 | 0.063 | 0.010 | 0.038 | 0.014 |
| 0.5 <= U10 < 1 | 0.025 | 0.099 | 0.083 | 0.057 | 0.072 | 0.027 |
| 1 <= U10 < 2 | 0.196 | 0.241 | 0.230 | 0.223 | 0.163 | 0.067 |
| 2 <= U10 < 7 | 0.484 | 0.582 | 0.810 | 1.020 | 0.338 | 0.149 |

Médiane de l'ECT (m^2/s^2) pour les différentes classes de Pasquill et classes de vent



Détermination de l'échelle de longueur intégrale de turbulence

Création d'un jeu de données spécifique à partir des données U, V, W 10Hz du sonic 10m

Calcul des deux composantes du vent horizontale dans le référentiel du vent moyen sur 30 minutes (a longitudinale et b transverse)

Conservation des périodes 30 minutes consécutives ou la vitesse de vent d'au moins 80% des échantillons reste dans la même classe de vent. Regroupement en quatre classes [0-1]; [1-2], [2-7]; >7 m/s,

► 52873 périodes de 30 minutes sur 7 ans

Calcul des échelles de longueur intégrales pour chaque période de 30 minutes et pour chaque composante (L_a longitudinale, L_b transverse et L_w verticale) à partir du coefficient d'autocorrelation

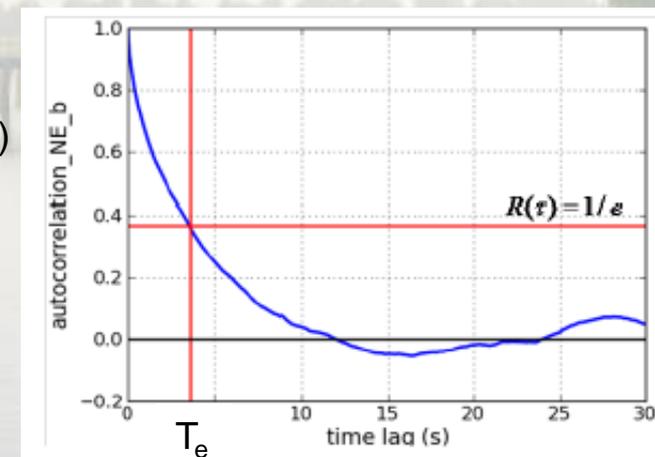
$$R_{aa}(\tau) = \frac{\overline{a'(t)a'(t+\tau)}}{\overline{a'^2}}$$

dont on déduit l'échelle de temps intégrale (valeur T_e où R devient $< 1/e$)

- $L_{_} = T_e \cdot$ vitesse moyenne longitudinale

NB : l'estimation T_e de n'est pas toujours possible

► 47311 périodes de 30 minutes (90%)



Détermination de l'échelle de longueur intégrale de turbulence

| Classe de force de vent | Indicateur | Echelle de longueur intégrale | | |
|---------------------------------|------------|-------------------------------|-------|------|
| | | L_a | L_b | L_w |
| Toutes classes (47311 périodes) | Médiane | 52,74 | 23,35 | 6,81 |
| U10<=1.0 (3063 périodes) | Médiane | 21,50 | 16,62 | 3,01 |
| 1.0<U10<=2.0 (2467 périodes) | Médiane | 29,11 | 13,27 | 3,10 |
| 2.0<U10<=7.0 (41519 périodes) | Médiane | 54,60 | 23,79 | 7,01 |
| 7.0<U10 (262 périodes) | Médiane | 110,02 | 41,67 | 7,61 |

Selon **les composantes** : Influence plus forte des petites structures dans la composante verticale (et transverse)

Selon **la classe de vent** : échelle de turbulence plus petite pour les vents faibles

Vents faibles:

Réduction de taille des échelles turbulentes + diminution ECT = affaiblissement de la diffusion des polluants

Conclusion & perspectives

Très bonne **qualité de la base** de données Sirta :

- longue durée : 7 ans de données à des fréquences élevées (10 minutes à 10 Hz)
 - multi-paramètres: des grandeurs physiques complètes (vent 10m + profil , pluviométrie, visibilité, gradient thermique)
- 147216 échéances 10 minutes, + 9000 cas de situations de vent < 1 m/s (dont 2200 calmes)

=> Statistiques représentatives

Pour les vents < 1m/s :

Présence d'un **cycle diurne** avec variations saisonnières

Occurrence relative plus forte en **l'absence de précipitations** et en **présence de brouillard**

Variation continue de la direction du vent pendant les épisodes de vent faible les plus longs

Forte proportion de cas très stables et relativement élevée de cas très instable (calcul par LMO)

Conclusion & perspectives

Différence de comportement de la **composante verticale** par rapport aux **composantes horizontales** (influence probable des basses fréquences de la turbulence)

Distribution des ratios des écart types : montrent un renforcement de l'écart-type de la composante transverse de l'écoulement (**méandrement**)

Distribution de l'**ECT** concentrée sur des valeurs très faibles **pénalisant la diffusion des polluants**

Echelle intégrale de turbulence tend à diminuer avec la vitesse du vent (réduction de diffusion des polluants)

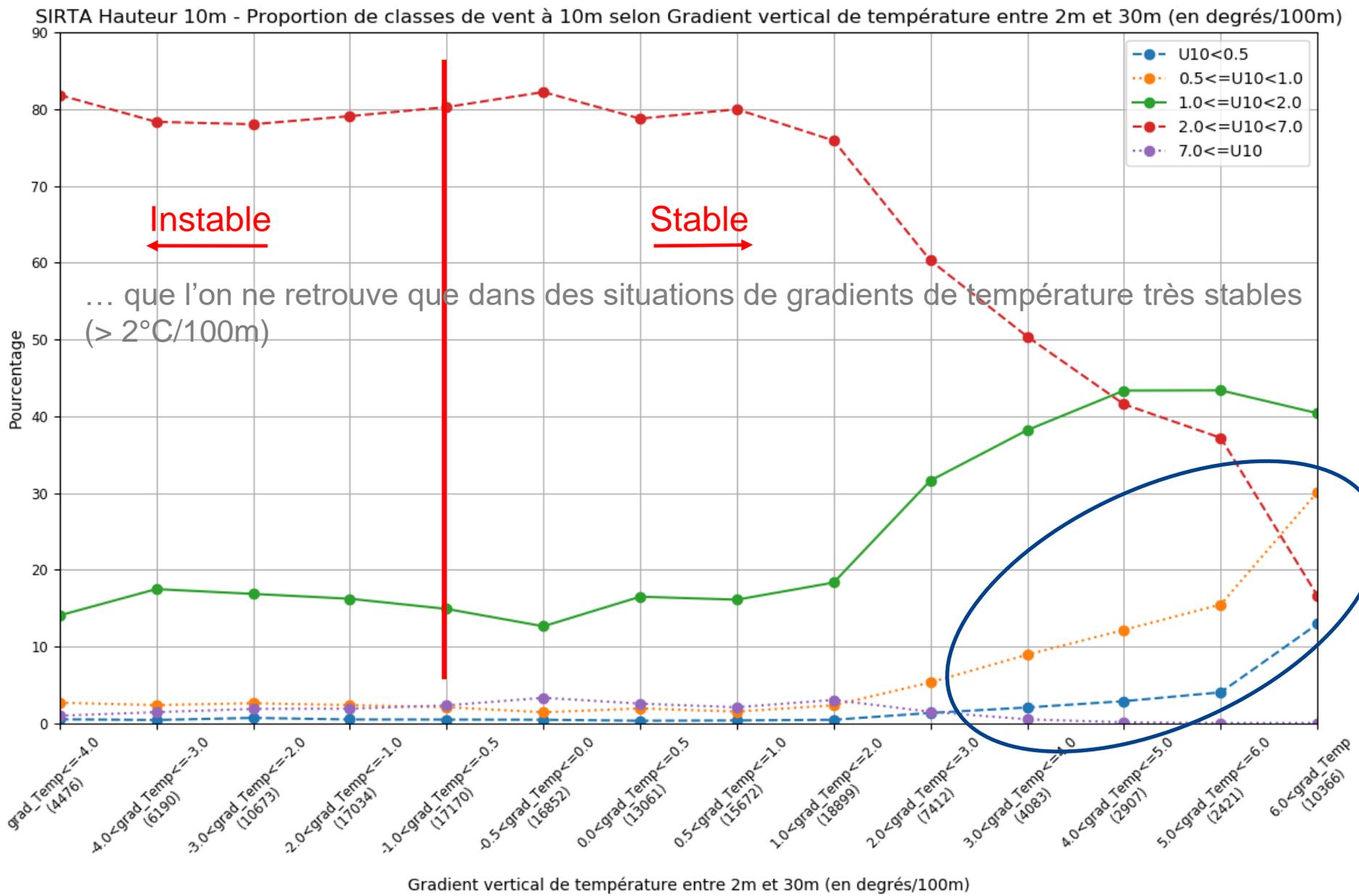
Présence de **plusieurs phénomènes qui s'opposent** dans la dispersion des polluants:

- Baisse de transport par la faiblesse du vent
- Effondrement de la turbulence réduisant la diffusion
- Méandrement qui favorise la dispersion transverse

Certaines études à mener avec des temps d'intégrations plus longs (de l'ordre de 30 minutes)

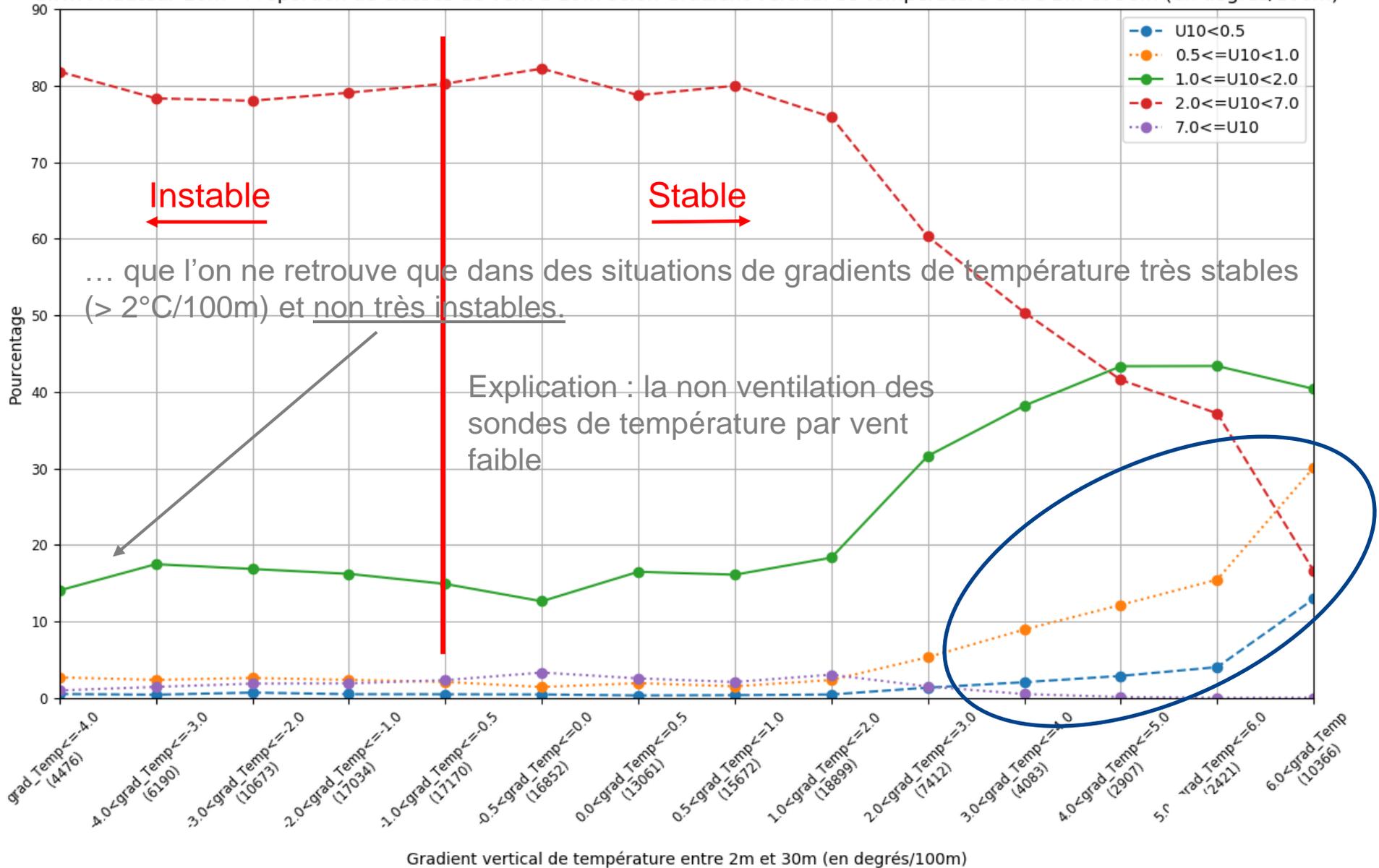


Proportion des classes de vent 10m en fonction du gradient vertical de T°



Proportion des classes de vent 10m en fonction du gradient vertical de T°

SIRTA Hauteur 10m - Proportion de classes de vent à 10m selon Gradient vertical de température entre 2m et 30m (en degrés/100m)



Calcul des pourcentages d'occurrence des classes de Pasquill

Les limites des classes de stabilité de Pasquill ont été déterminées à partir de trois grandeurs:

- La LMO (rugosité de 0,2m)
- Rapport : σ_{w10} / U_{10}
- Rapport : σ_{w80} / U_{80}

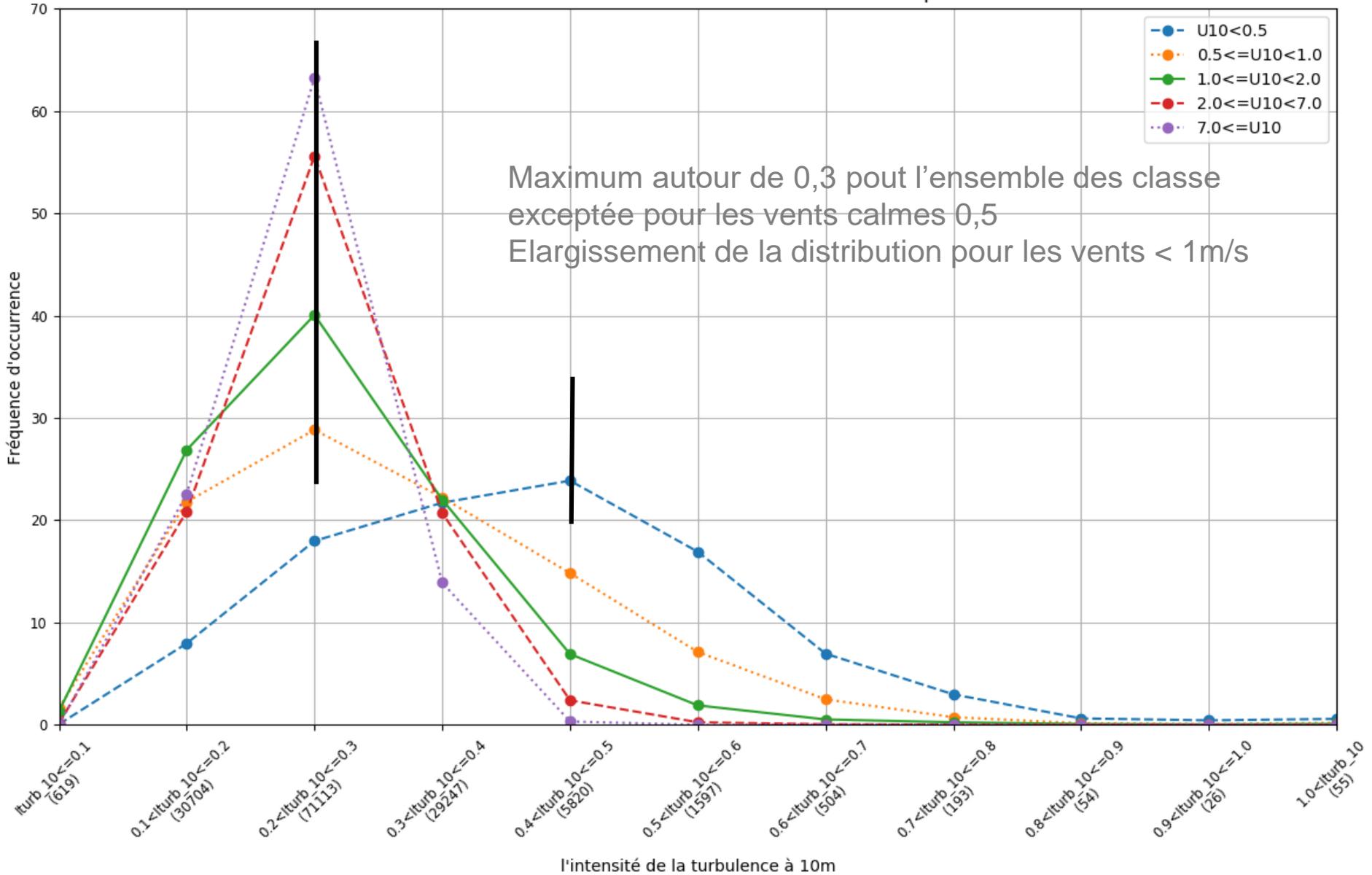
| | Classement par LMO | Classement par σ_{w10}/U_{10} | Classement par σ_{w80}/U_{80} |
|------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Pasquill A | 3.8 % (6) | 3.5 % (5) | 3.0 % (5) |
| Pasquill B | 6.2 % (5) | 2.9 % (6) | 1.0 % (6) |
| Pasquill C | 14.8 % (3) | 9.1 % (3) | 4.3 % (4) |
| Pasquill D | 47.1 % (1) | 62.4 % (1) | 55.1 % (1) |
| Pasquill E | 15.6 % (2) | 16.2 % (2) | 27.1 % (2) |
| Pasquill F | 12.5 % (4) | 5.8 % (5) | 9.4 % (3) |
| Total | 100 % | 100 % | 100 % |

Selon les trois méthodes de classification le rang de classement est peu impacté (ou bien dans les catégories minoritaires)

Le pourcentage contenu dans une classe peut subir des variations assez importantes (de 47% à 62% par ex)
 Globalement le jeu de données étudiés est dans une large majorité neutre (47% à 62%), puis stable à très stable (22% à 36,5%) et en enfin instable à très instable (8% à 25%)

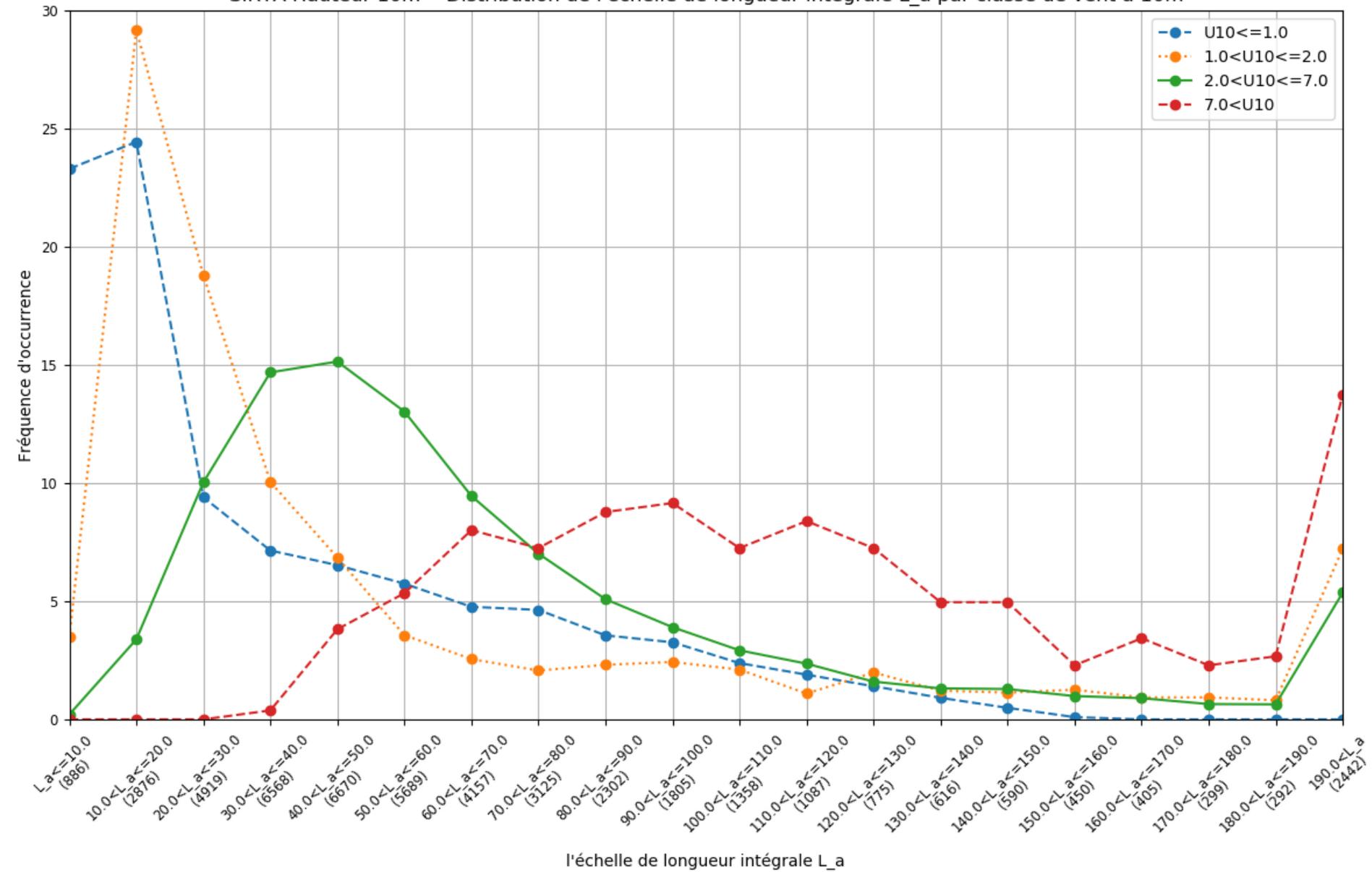
Distribution de l'intensité de la turbulence $I_{turb} = \frac{\sigma_{ff}}{ff}$

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de l'intensité de la turbulence à 10m par classe de vent à 10m



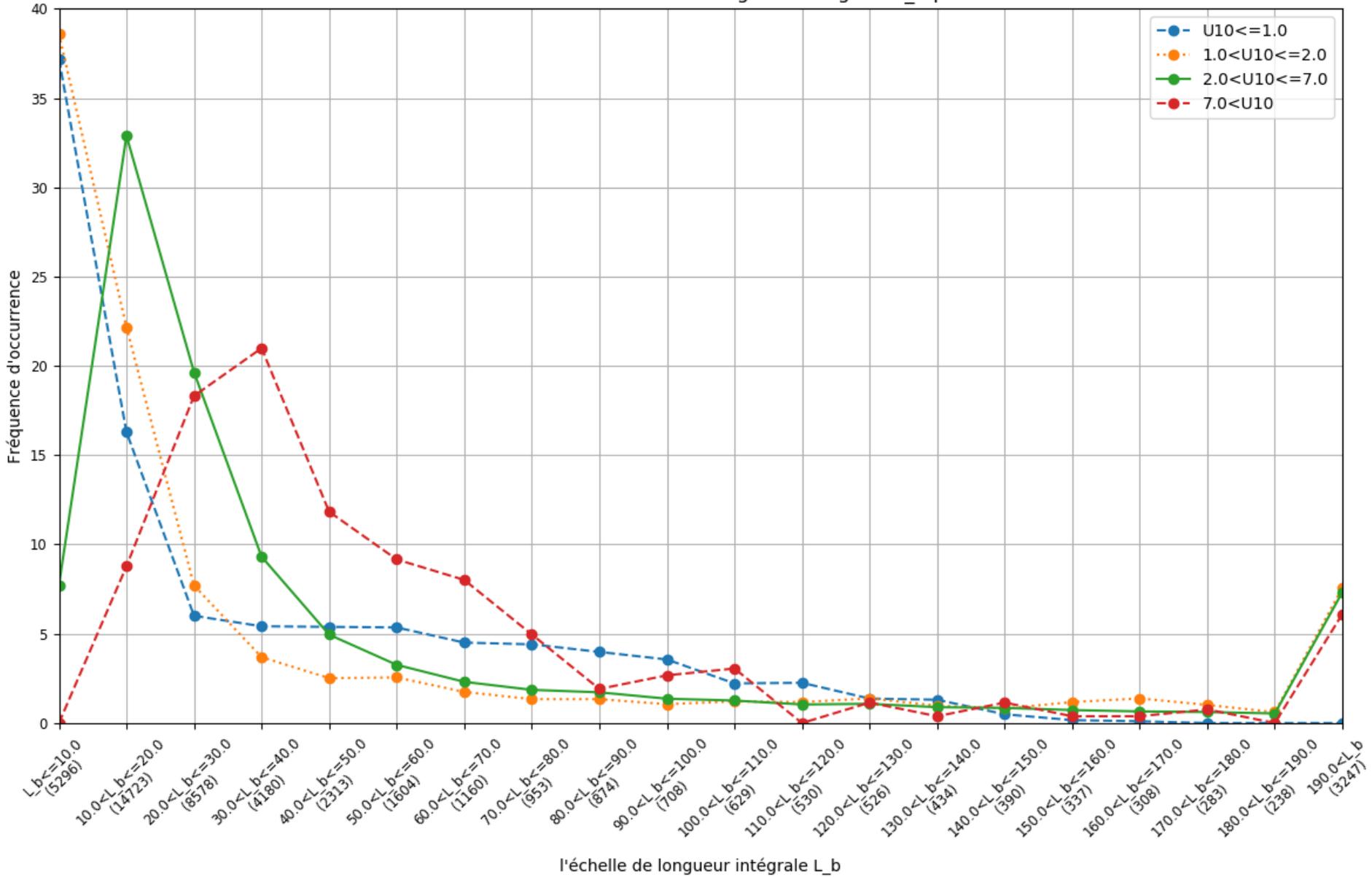
Distribution de l'échelle de longueur intégrale L_a

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de l'échelle de longueur intégrale L_a par classe de vent à 10m



Distribution de l'échelle de longueur intégrale L_b

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de l'échelle de longueur intégrale L_b par classe de vent à 10m



Distribution de l'échelle de longueur intégrale L_w

SIRTA Hauteur 10m - Distribution de l'échelle de longueur intégrale L_w par classe de vent à 10m

