

ARMETTA Anthony

Stagiaire au LTHE
Encadrants : Gilles Molinié
Alexis Berne

**Etude bibliographique des appareils de
mesures de précipitations installés au Col de
Porte**

Juillet à Septembre 2006

Sommaire

1. Intro : Comment se forme les précipitations ?

La formation des précipitations, qu'elles soient sous forme de pluie, grêle ou neige, est dépendante de nombreuses propriétés microphysiques et thermodynamiques. Sa formation s'effectue de la manière suivante :

Après évaporation, la vapeur d'eau s'élève, se condense (si les conditions thermodynamiques comme la pression ou la température le permettent) pour former des gouttelettes liquides nuageuses, la suspension dans l'air des particules nécessitant un support comme les aérosols. La taille des gouttelettes nuageuses croît ensuite grâce à de nombreux processus microphysiques (coalescence, autoconversion, accréation, effet Bergeron...), jusqu'à que leur masse devienne suffisante pour précipiter (le poids des gouttes devient alors supérieur à leur flottabilité).

La taille des gouttes d'eau précipitantes varie donc de 0.1 mm à 7 mm environ, la limite supérieure provenant du phénomène d'instabilité de la goutte qui, arrivée à une certaine taille, se déforme puis se fractionne. La limite inférieure est par contre encore mal définie. La taille des cristaux précipitants (neige, grésil, grêle) varie de 2 mm à quelques centimètres.

La représentation de la pluie est complexe : les tailles des gouttes sont distribuées de manière aléatoire, ne sont pas tout à fait sphériques et sont soumises aux phénomènes de turbulences de l'environnement (vent, courants ascendants...) qui les font dévier de leur trajectoire purement verticale. Ces 3 paramètres vont évidemment significativement compliquer les mesures des appareils situés au sol, faisant apparaître des erreurs qui doivent être évaluées pour chaque instrument, comme les disdromètres qui tiennent avant tout compte du diamètre et/ou vitesse de la goutte,.

2. Présentation rapide des instruments

Les appareils de mesure que nous allons étudier sont installés dans le massif de la Chartreuse, à une vingtaine de kilomètres au nord de Grenoble, sur le site du col de Porte (alt. 1326 m), dans un parc instrumental appartenant à Météofrance (Centre d'Etude de la Neige). Les instruments nous concernant sont :

- **Deux disdromètres optiques** de la société **Parsivel**, un appartenant à EDF et l'autre au LTHE. (celui du LTHE ayant déménagé depuis fin août à Alès)
- **Un disdromètre optique** de la société **Thiès Clima**
- **Une station météo Vaïjala WXT 510**
- **Un radar doppler** de la société **Lufft**
- Un pluviomètre PG2000 à augets basculants qui fera office de référence pour nos mesures.

Voici un aperçu du site du col de Porte avec les différents instruments présentés ci-dessus :

Nous allons par la suite détailler le fonctionnement physique, les mesures et les caractéristiques techniques de chaque appareil, sans oublier la bibliographie sur les études scientifiques réalisées pour chaque type d'instruments.

Pour mesurer les propriétés de la pluie, on va donc distinguer 3 types d'instrumentation selon leur méthode de mesure : tout d'abord, **des instruments se focalisant sur les distributions de taille et de vitesse de chaque goutte (disdromètres optiques)**, d'autres analysant **l'impact de la goutte (RAINCAP Vaïjala, disdromètre mécanique)** et enfin **le radar Doppler** de la société **Lufft**.

3. Caractéristiques et fonctionnement des appareils de mesure

A. Mesures à partir des distributions de taille et de vitesse : Les disdromètres optiques

1. Historique des disdromètres optiques

Le principe de mesures des diamètres et vitesses à l'aide d'un capteur optique fut introduit par Picca et Trouilhet en 1964. Un premier spectropluviomètre fut développé en 1969 par Donnadiou et al. mais cette première version instrumentale ne mesurait que le spectre général des vitesses et diamètres, il était encore impossible d'assigner à chaque goutte sa vitesse et

son diamètre. De nouveaux instruments (spectropluviomètres) furent testés dans les années 70 et 80, Donnadiou participant aux améliorations successives de ces instruments (1974, 1978, 1980) de nombreuses études scientifiques comparant leurs mesures brutes à d'autres disdromètres (à impacts) comme le célèbre disdromètre mécanique de Joss-Waldvogel, « paired –pulsed » disdromètre ou le 2 dimensional video disdrometer (2DVD) qui ont des principes de fonctionnement qui diffèrent des disdromètres optiques.

Nous allons présenter dans un premier temps les caractéristiques techniques et mesures associées des deux disdromètres optiques

2. Le disdromètre Parsivel : caractéristiques techniques et mesures



Dimension du laser : 180 mm de long, 30 mm de large,
et 1 mm d'épaisseur.

Caractéristiques techniques

Section : 54 cm²

Spectre mesuré : 0.2 à 5 mm pour liquides
0.2 à 25 mm pour solides

Intensité: 0.2 à 1200 mm/h

Précision pluie : 10% LTHE et 7.5% EDF (info François Laurent de OTT) puis 5% après réparation.

Mesures effectuées par EDF

Cumul pluie, Intensité pluie, réflectivité radar, type précipitations (code synop et métar), visibilité et énergie cinétique, taille et vitesse des hydrométéores (LTHE)

3. Le disdromètre Thiès Clima : caractéristiques techniques et mesures



Dimension du laser : 230 mm de long, 20 mm de large et
0.75 mm d'épaisseur.

Caractéristiques techniques

Section : 46 cm², lumière pulsée de 173 GHz

Spectre mesuré : 0.16 à 7 mm

Intensité : 0 à 250 mm/h

Précision pluie : ≤ 15% (info manuel technique)
et neige ≤ 30%

Mesures effectuées par (EDF)

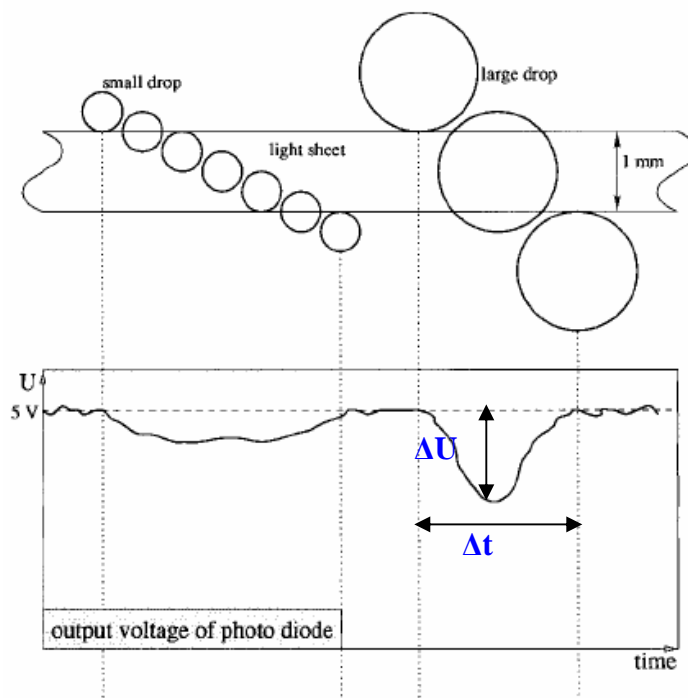
Cumul pluie, Intensité pluie, type de précipitation et nombre de particules (différenciées en grêle, solide et pluie).

4. Principe de fonctionnement des disdromètres optiques

Ces appareils mesurent la vitesse et le diamètre des gouttes grâce à un système optique que l'on détaillera par la suite, les autres paramètres de sortie (cumul, intensité et réflectivité radar par exemple) étant des valeurs intégrées de ces données brutes. Les instruments concernés sont le disdromètre optique de chez Parsivel et celui de Thiès Clima dont les caractéristiques techniques diffèrent mais le principe de fonctionnement reste le même.

Ces capteurs optiques de précipitation émettent un faisceau laser horizontal entre un émetteur et un récepteur (photo diode) dans le domaine proche- infrarouge (785 nm).

En l'absence de particules, le récepteur reçoit un signal de 5V. Les hydrométéores, interceptant le laser, réduisent alors la tension du signal reçu (ΔU) au niveau du récepteur, pendant un temps Δt par un phénomène d'atténuation comme le montre la figure 1 suivante. La mesure ΔU dépend donc linéairement de la fraction de lumière qu'intercepte la particule (rapport section interceptée par la goutte/section total du laser, Martin Loffler-Mang, 2000)



**Figure 1 : a) particules traversant le faisceau laser IR,
b) signal correspondant reçu**

(M.L Mang, 2000)

De ce fait, après des algorithmes d'inversion, d'amplifications et de filtrages, le disdromètre Parsivel attribue l'atténuation ΔU du signal à un diamètre (conversions déduits expérimentalement) et la durée d'interception de l'hydrométéore et du laser (Δt) correspond à une estimation de la vitesse de la particule comme le montrent les figures 2 ci dessous :

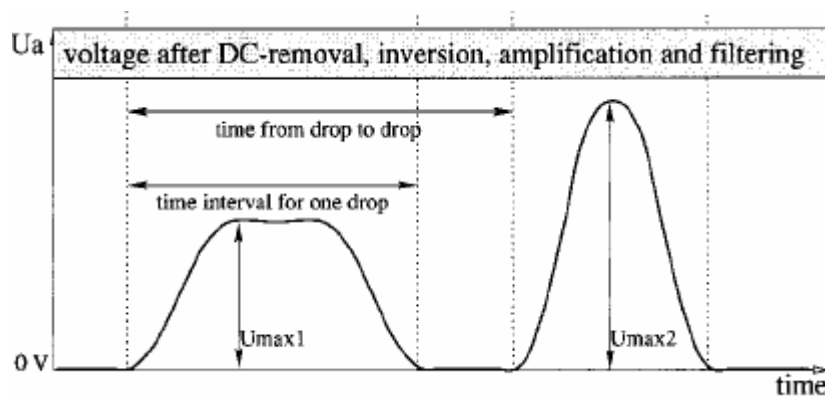


Figure 2 : courbes obtenues après traitement de la situation de la figure 1 (M.L.Mang, 2000)

Chaque particule analysée est donc placée dans une classe de diamètres et vitesses (de largeurs imposées par le constructeur) , analysables avec le logiciel ASDO. Toutes les autres données (intensité, cumul, réflectivité) sont dépendantes de ces deux informations (diamètre et vitesse). Voici pour illustrer (figure 3) le principe de fonctionnement de détection du type de précipitations (schéma simplificateur) :

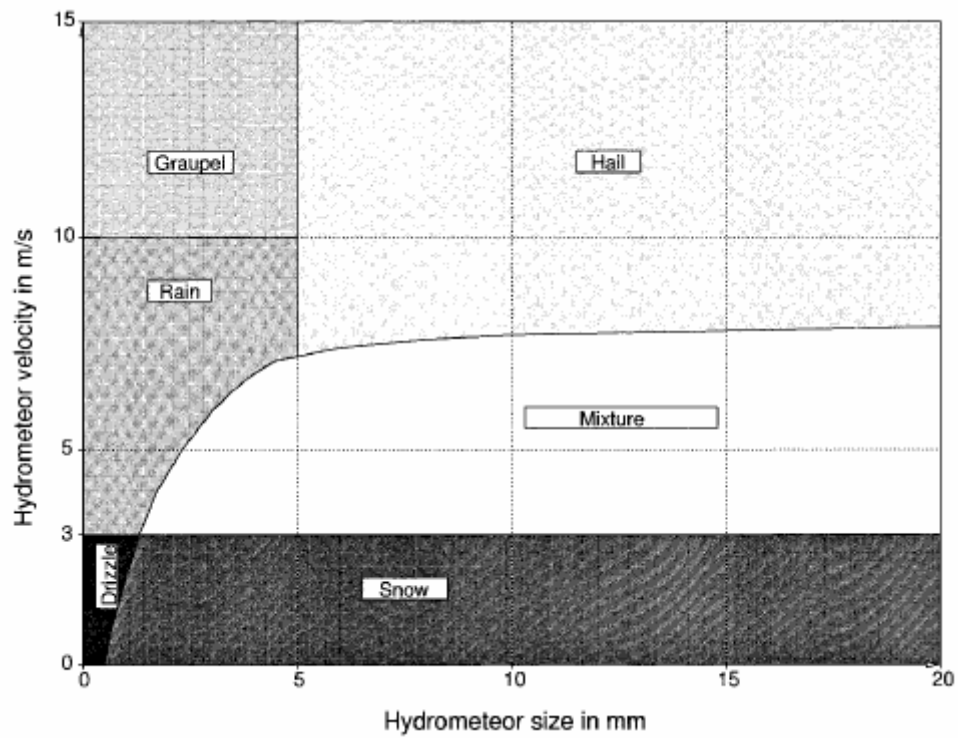


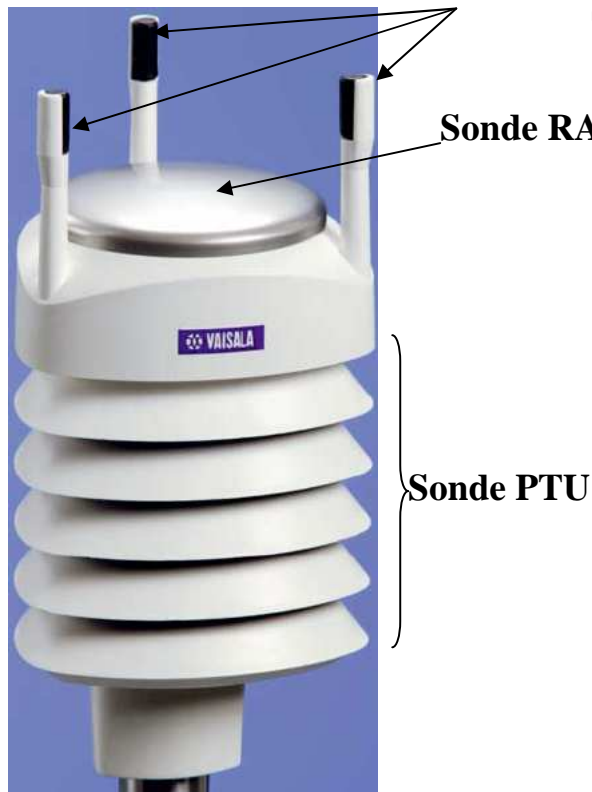
Figure 3 : Reconnaissance des hydrométéores grâce aux données brutes pour le disdromètre Parsivel (M.L.Mang, 2000)

Dans la réalité, la détection des précipitations se cale sur les codes métar ou synop permettant de répertorier une grande variété d'hydrométéores.

B. Mesures à partir de l'impact de la goutte : la station Vaisala

1. Composition de la station et caractéristiques techniques

Cette station météorologique est divisée en trois capteurs représentatifs de l'état de l'atmosphère (capteur PTU), de la mesure de la pluie (capteur RAINCAP) et du vent (capteur WINDCAP).



Sonde WINDCAP

WINDCAP

Intensité : 0 à 60 m/s

Précision intensité : + ou - 3 m/s

Précision direction : + ou - 2°.

RAINCAP

Section capteur pluie : 60 cm²

Spectre : non précisé

Intensité : 0 à 200 mm/h

Mesures effectuées (EDF) : quantité pluie, durée pluie, intensités min et max.

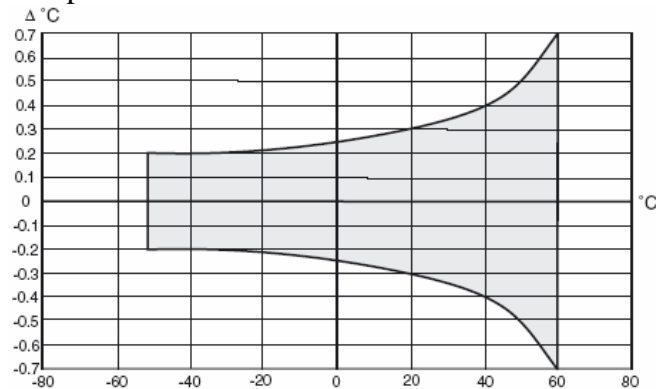
Précision : 5% (sans tenir compte de l'effet du vent)

Sonde PTU

Pression barométrique : + ou - 0.5 hpa pour 0 à +30°C.

+ ou - 1 hpa de -52°C à 0°C et +30°C à +60°C.

Température :



Humidité :

+ ou - 3% entre 0 et 90%

+ ou - 5% de 90 à 100%

2. Fonctionnement des différents capteurs

a) La sonde PTU (pression, température et humidité)

Elle est située dans un abri à coupelles et mesure la pression, la température et l'humidité.

b) La sonde WINDCAP

Elle est composée de 3 capteurs sensoriels placés en triangle équilatéral comme le montre la figure 4 suivante :

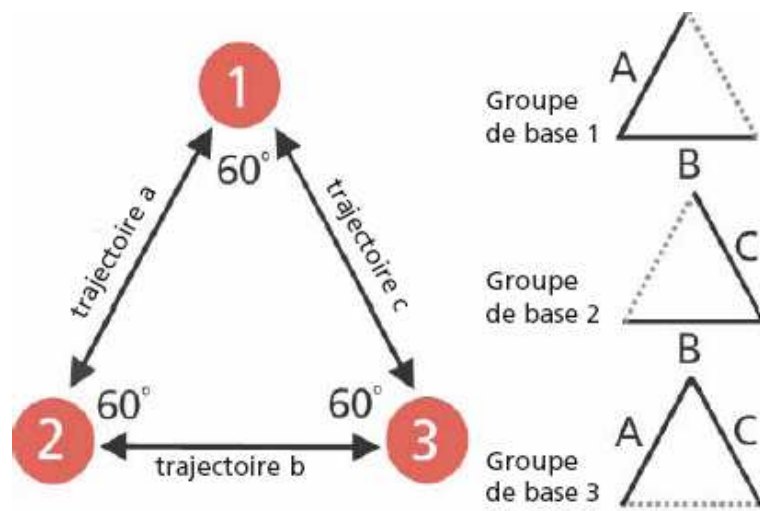


Figure 4 : organisation des 3 capteurs du WINDCAP de la station Vaisala (doc technique Vaisala)

Les composantes de la vitesse du vent parallèles à chacune des trois trajectoires sont déduites des temps de vol d'une impulsion entre deux capteurs (figure 5) :

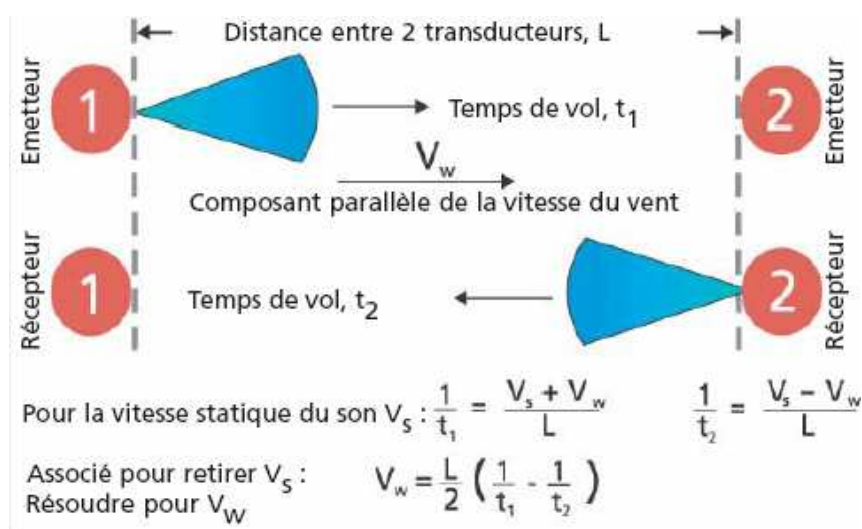


Figure 5 : Calcul des temps de vol pour WINDCAP à l'aide de deux transducteurs (doc technique Vaisala)

Nous avons alors trois groupes de vecteur de base donnant des mesures bidirectionnelles sur les trois trajectoires A,B,C, le capteur 1 étant préalablement placé vers le nord lors de l'installation de l'appareil.

c) La sonde Raincap

Son fonctionnement est basé sur la détection de l'impact de chaque goutte. Le signal résultant de l'impact de la goutte est proportionnel à son volume et on peut ainsi déduire (après intégration de toutes les gouttes) le cumul pluviométrique total et la durée de chaque évènement précipitant (le décompte s'effectuant dès l'impact de la première goutte).

Voici un schéma (figure 6) permettant d'expliquer plus en détail son fonctionnement (Salmi et al., 2005) :

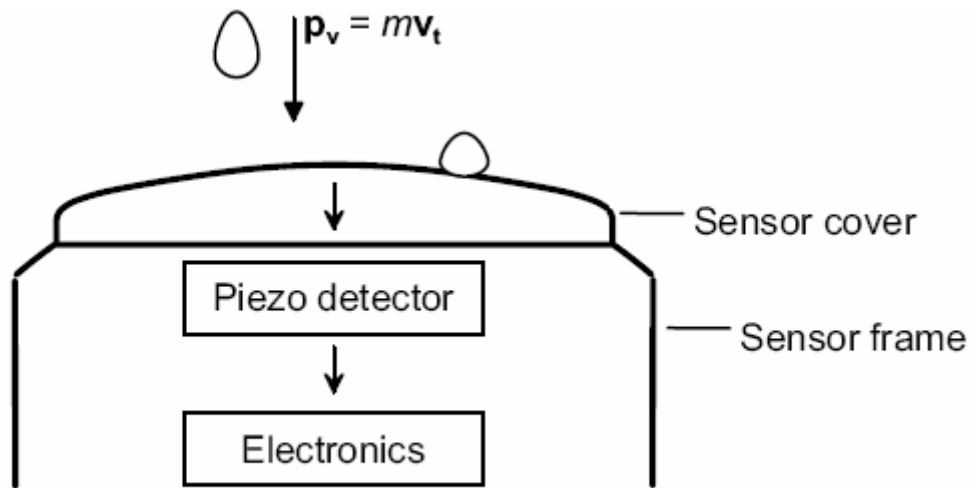


Figure 6 : Fonctionnement physique du RAINCAP de la station Vaisala (Salmi et al, 2005)

La goutte tombe sur le couvercle avec une quantité de mouvement horizontale (p_h) et vertical (p_v) :

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_v + \mathbf{p}_h$$

La quantité de mouvement verticale s'écrit de la façon suivante :

$$\mathbf{p}_v = m\mathbf{v}_v = m(\mathbf{v}_t + \mathbf{v}_{wv})$$

Où m est la masse de la goutte, \mathbf{v}_t la vitesse de cette goutte et \mathbf{v}_{wv} la vitesse verticale du vent. Le vent vertical étant négligeable devant toutes les autres variables, nous pouvons alors conclure :

$$\mathbf{p}_v = m\mathbf{V}_t$$

De la même façon, pour la quantité de mouvement horizontal :

$$\mathbf{p}_h = m\mathbf{V}_{wh}$$

qui est très inférieur au moment vertical **sauf en cas de vent** (impliquant de ce fait des erreurs de mesures). **L'appareil considérera donc que le mouvement vertical \mathbf{p}_v** (il ne tient donc pas compte des déviations horizontales du vent).

L'impact de la goutte sur le couvercle piézoélectrique génère une onde élastique, provoquant une tension proportionnelle à la variation temporelle de la quantité de mouvement reçue :

$$U(t) = c \frac{dp(t)}{dt}$$

Le logiciel interne distingue ainsi l'impact de chaque goutte et analyse son signal et la durée du signal correspondant à un volume, soit d'une goutte soit de la grêle comme le montrent les figures 7 et 8 suivantes :

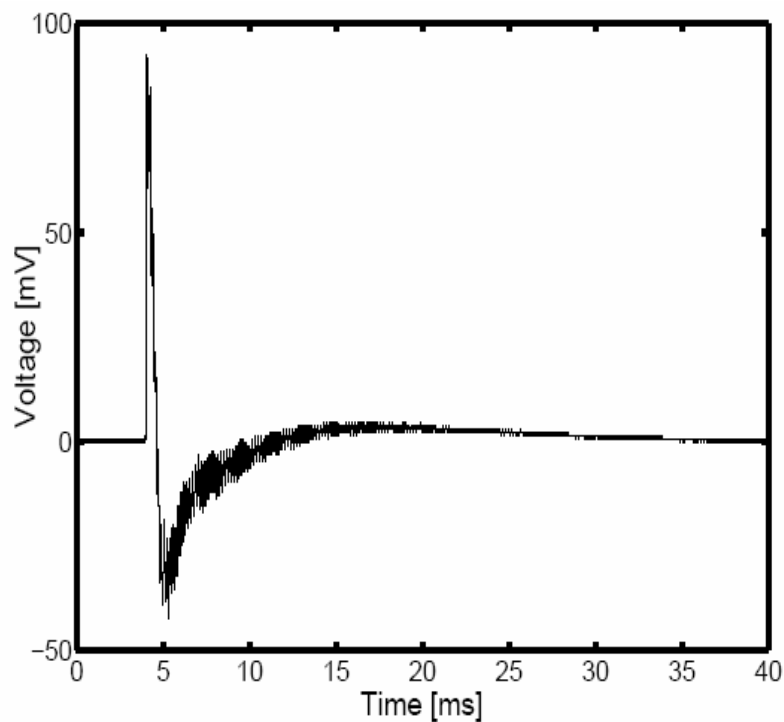


Figure 7 : Signal typique de l'impact d'une goutte de pluie pour RAINCAP (Salmi et al, 2005)

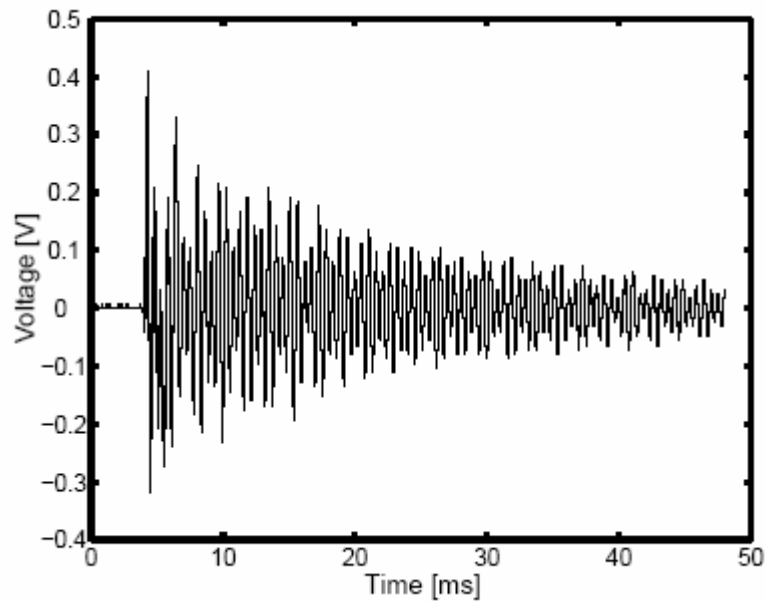


Figure 8 : Signal typique de l'impact d'un grêlon pour RAINCAP (Salmi et al, 2005)

Il est à noter que l'algorithme permettant de passer de la tension au volume de la goutte est confidentiel.

De même, étant donné le fonctionnement de cet appareil, il ne peut détecter les cristaux de neige et est donc **inadaptable pour des mesures en périodes hivernales ou en haute montagne.**

C. Le radar Doppler Luft

Ce radar, dont on dispose de très peu d'informations, fonctionne avec une fréquence de 24 Ghz. Il déduit, grâce à l'effet Doppler, la vitesse des particules. A l'aide d'une relation statistique, il relie ces vitesses aux diamètres des particules. L'intégration des vitesses et diamètres permet le calcul des cumuls et la détection des types de précipitations.



Fréquence : 24 GHz

Volume d'échantillonnage : non précisé

Angle d'ouverture du faisceau : non
précisé

Spectre mesuré : 0.3 à 5 mm

Mesures effectuées par EDF : cumul pluie
et type précipitations

4. Bibliographie des disdromètres optiques

A. Calcul des valeurs intégrées pour le disdromètre Thies Climatac

Durant l'année 2003 et début 2004, Météofrance (Do Khac et al., 2004) a implanté le disdromètre Thies Climatac dans son parc instrumental de Trappes.

Les formules utilisées par cet appareil pour le calcul des valeurs intégrées sont répertoriées, déduites des classes de diamètres et vitesse de l'instrument (Do Khac et al., 2005). Le disdromètre Thies Climatac divise son spectre de mesure en 20 classes de diamètres liées à 20 classes de vitesses.

a. Intensité des précipitations

Voici la formule nécessaire pour calculer l'intensité des précipitations. Le nombre de particules de la classe i ($N(D_i)$), le diamètre moyen au cube de cette classe i (D_i^3) et sa largeur ΔD_i étant pris en compte pour les 20 classes de diamètre que comporte le Thies Climatac.

$$I = \rho * \pi/6 * \sum_{i=1}^{i=20} D_i^3 N(D_i) \Delta D_i$$

ρ est la densité de l'hydrométéore égal à 1 pour la pluie, entre 0.05 et 0.4 pour la neige.

b. Densité de particules par classe de diamètre

Cette formule tient compte des vitesses de chute des hydrométéores de diamètre D_i ($v(D_i)$), de la surface du laser S et du pas de temps d'échantillonnage choisi pour les mesures (τ).

$$N(D_i)(mm^6 m^{-1}) = n_i / (v(D_i) * S * \tau * \Delta D_i)$$

c. Réflectivité radar

La réflectivité radar est calculée en intégrant le diamètre des particules à la puissance 6 avec le nombre de particules et la largeur de chaque classe de diamètre.

$$Z(mm^6 m^{-3}) = \sum_{i=1}^{i=20} D_i^6 N(D_i) \Delta D_i$$

B. Comparaison des mesures avec des théories existantes

Météofrance a aussi soumis le disdromètre Thies Climax à des comparaisons avec quelques théories existantes. Dans un premier temps, ils comparent 4 événements pluvieux à deux théories d'Atlas reliant le diamètre des gouttes à leur vitesse (figure 9). Les théories sont les suivantes :

$V(D) = 9.65 - 10.3e^{-0.6D}$ (Atlas, 1973) : Atlas 1 sur le graphique suivant

$V(D) = 3.866D^{0.67}$ (Atlas et Ulbrich, 1984) : Atlas 2 sur le graphique suivant

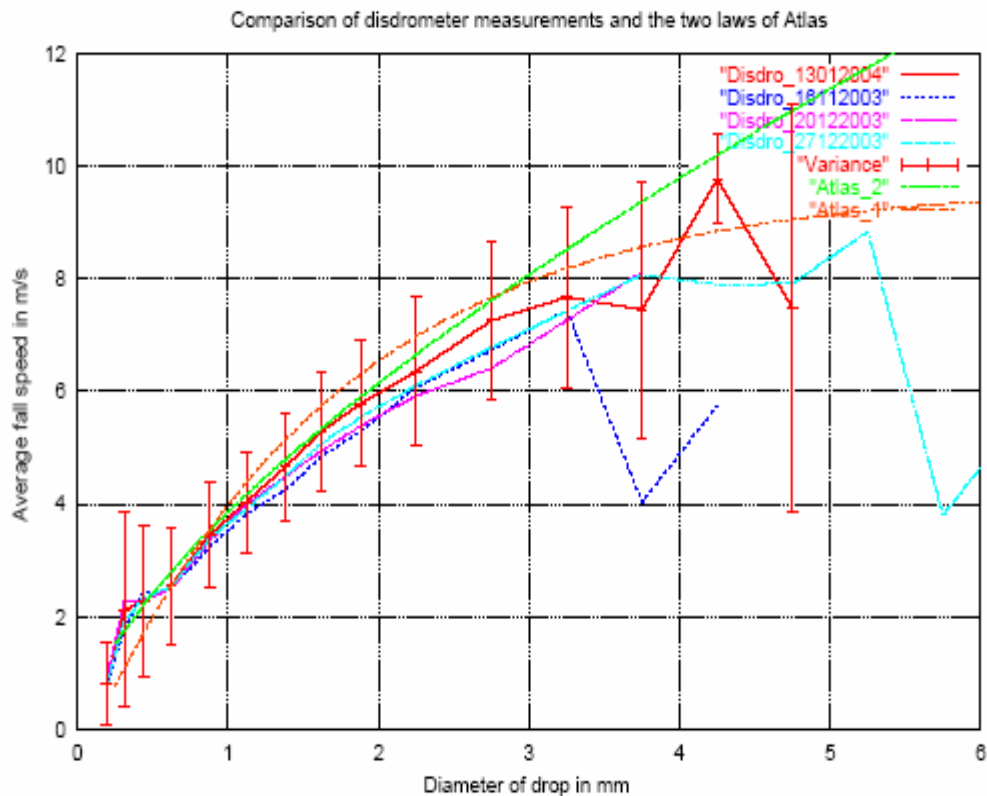


Figure 9 : comparaison données brutes du Thiès Clima avec les lois d'Atlas (Do Khac et al, 2004)

On peut donc voir sur la figure 9 les deux théories d'Atlas tracés en rouge (pointillés) et en vert confrontées à quatre séries de mesures du disdromètre Thiès Clima. On remarque que les mesures sont bien corrélées avec la deuxième théorie d'Atlas (1984) pour des diamètres situés en dessous de 3 mm. Au delà, le faible nombre de gouttes détectés n'est pas statistiquement significatif permettant d'émettre des conclusions sur une sous-estimation des vitesses ou diamètres.

Salles et Creutin (2003) ont aussi étudié les mesures brutes en comparaison avec 2 théories pour un spectropluviomètre proche de nos deux disdromètres optiques (figure 10) : celle de Beard établies à 18°C et 1013 hPa (1976) et celle de Gunn et Kinzer (1949)

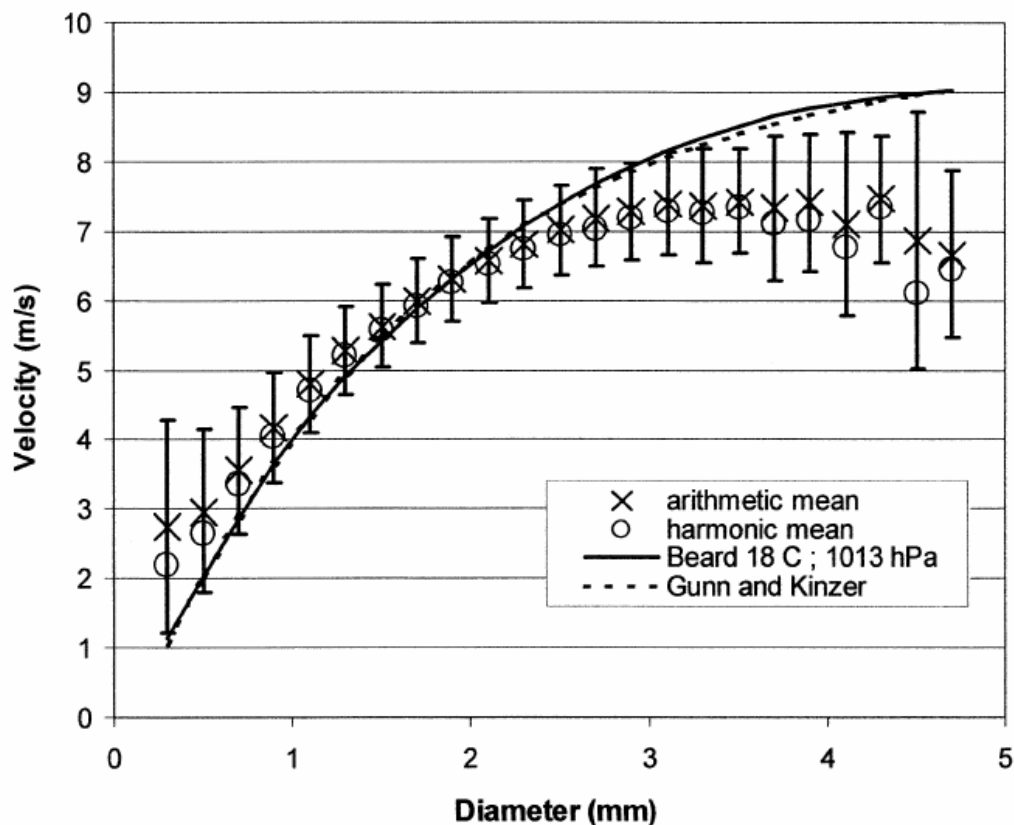


Figure 10 : Comparaison des données brutes d'un OSP avec les lois de Beard et Gunn et Kinzer (Salles et Creutin, 2003)

On observe, encore une fois, que les mesures suivent la théorie jusqu'à 3 mm. Au-delà, il semble toujours avoir une sous-estimation des mesures brutes de l'instrument par rapport à la théorie malgré leur faible occurrence.

De même, Martin Löffler Mang s'intéresse aux données brutes. il trace la vitesse en fonction du diamètre mesuré par le Parsivel et nous montre que ces mesures sont proches de la théorie de Atlas (1973) et Gunn et Kinzer (1949), les légères différences étant probablement dues une nouvelles fois au vent. (figure 11, un point représente une mesure d'une goutte) :

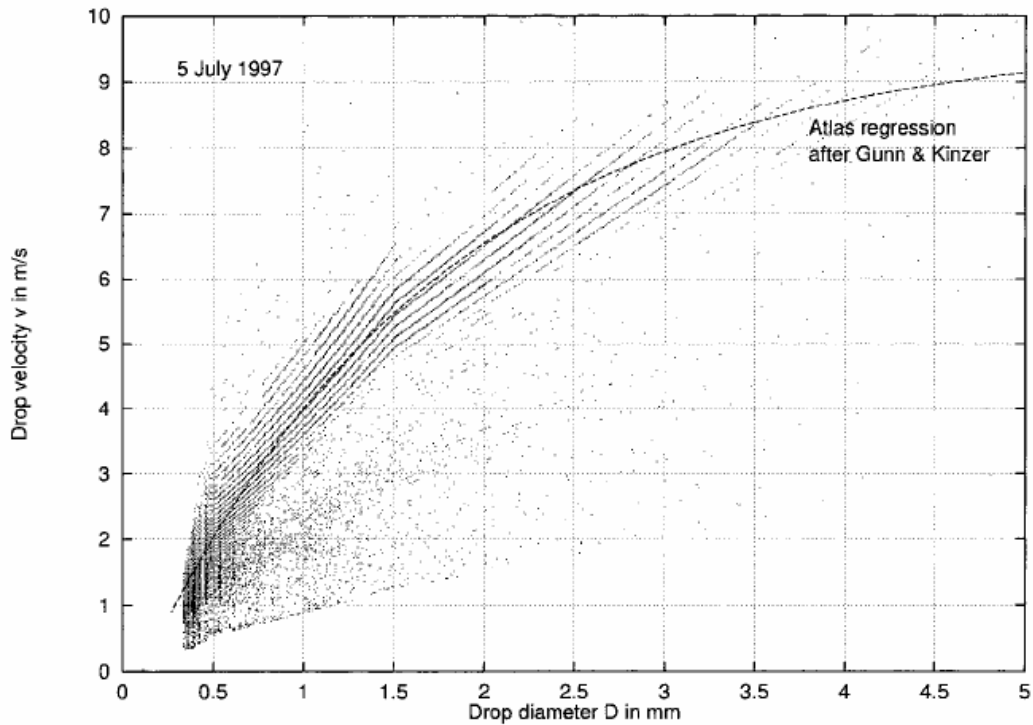


Figure 11 : Comparaisons des données brutes avec les théories d'Atlas et Gunn et Kinzer, (M.L.Mang, 2000)

Dans un second temps, l'étude de Météofrance se penche sur le nombre de gouttes par classe de diamètre, les théories reliant ces deux paramètres étant les suivantes :

$$N(D) = N_0 e^{-yD} \text{ avec } y = aR^b \quad (\text{Marshall-Palmer, 1948})$$

$$N(D) = N_0 D^\mu e^{-\gamma D} \quad (\text{Ulbrich, 1983})$$

$$N(D) = cN_0 * D^\mu e^{-(3.67+\mu)D/D_0} \quad (\text{Illingworth et Blackman, 1999})$$

Les 2 graphiques suivants (figure 12 et 13) comparent des mesures du disdromètre avec les 3 théories, soit pour une intensité de 1.6 mm/h soit pour une intensité de 6.3 mm/h :

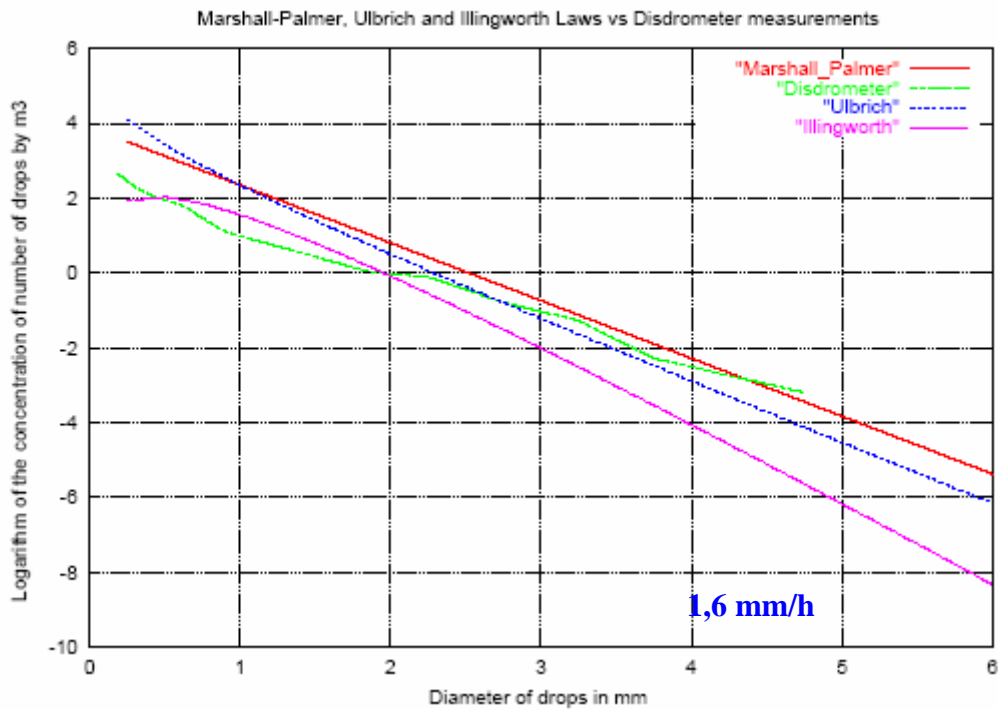


Figure 12 : Comparaison de la distribution des gouttes du Thiès Clima avec des lois théoriques, par classe de diamètre, pour une intensité de 1.6 mm/h (Do Khac et al, 2004)

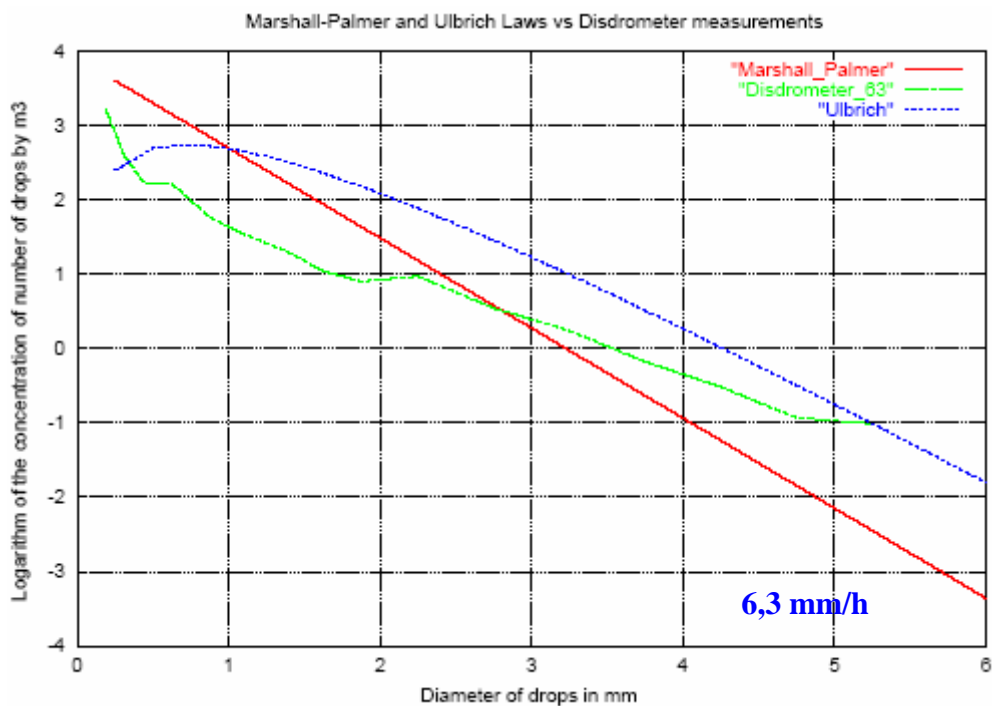


Figure 13 : Comparaison de la distribution des gouttes du Thiès Clima avec des lois théoriques, par classe de diamètre et pour une intensité de 6.3 mm/h (Do Khac et al, 2004)

On peut donc surtout s'apercevoir d'une sous-estimation du nombre de particules par classe de diamètre par rapport aux différentes théories existantes en dessous de 2 mm, semblant augmenter avec l'intensité des précipitations.

C. Erreurs caractéristiques des disdromètres optiques

De nombreux articles scientifiques font état de l'étude de disdromètres optiques, ayant le même principe de fonctionnement que le Parsivel et le Thiès Clima. Nous avons sélectionné les plus représentatifs. Les principales sources d'erreurs de ces appareils sont répertoriées comme les suivantes :

- Ces instruments peuvent montrer une certaine sensibilité à la partie IR du rayonnement solaire (sous estimation le jour)
- La localisation de l'interception faisceau laser- hydrométéore peut être déterminant pour les mesures
- La multiplicité des interceptions avec le faisceau laser peut entraîner des erreurs de mesure.
- Les fausses détections à cause du vent en temps clair entraînent une surestimation du cumul de pluie
- La troncature de la taille du spectre de la pluie peut aussi emmener des incertitudes sur les mesures.
- **Le vent et la turbulence (très sensible pour les gouttes de petites tailles) qui est majoritairement l'erreur de mesure la plus rencontrée et la plus systématique.**

Nous allons maintenant expliquer et détailler ces sources d'erreur en s'appuyant sur le travail passé de quelques scientifiques sur différents disdromètres optiques.

a) Interception de la partie IR du rayonnement solaire

Les disdromètres optiques semblent donc **sensibles à la partie IR du rayonnement solaire** avec de ce fait, une légère **sous estimation** des diamètres et vitesses des particules le jour (**Christian Salles et al., 1998**). En effet, C.Salles utilise lors de son expérience un spectropluviomètre optique ayant le même principe de fonctionnement que ceux installés au col de Porte. Le récepteur du disdromètre interceptant la lumière IR solaire, Les rayons du soleil ont donc une influence sur le phénomène d'atténuation lors du passage des gouttes à travers l'optique de l'instrument. C.Salles (1998) note alors, en utilisant l'instrument pour des

mêmes mesures le jour et la nuit, une sous-estimation de 6% des diamètres des gouttes. Le problème semble résolu en changeant la transmission du laser continu en lumière pulsée, l'appareil de mesure pouvant ainsi distinguer entre deux pulsions le rayonnement IR naturel et ainsi, le soustraire lors des mesures. Pour confirmer ces propos, la documentation technique du Thiès Clima nous confirme que l'erreur due à la partie IR du soleil est négligeable du fait de la lumière pulsée du disdromètre. Le disdromètre Parsivel produisant un laser de manière continu, il serait quant à lui probablement beaucoup plus affecté par la source naturelle solaire.

b) Lieu d'interception du faisceau laser par l'hydrométéore

Le lieu d'interception du faisceau laser par l'hydrométéore peut aussi être déterminant. En effet, une légère baisse de l'intensité du signal est observée sur les bords du laser, ayant pour conséquence une faible erreur de mesure sur les diamètres (3%) d'après l'étude de D.Hauser (1984). M.L.Mang (2000) effectue une expérience simple pour caractériser cette source d'erreur : il provoque la chute de billes de différentes tailles à un endroit ciblé au milieu du laser puis dans un second temps, ces billes chutent aléatoirement le long de ce même laser. En effectuant plusieurs fois l'opération, il observe ainsi une différence de 3 à 5% des mesures de diamètres, prouvant que la différence de quelques millivolts est susceptible de provoquer des changements de mesures.

Grossklaus et al.(1997) nous fait entrevoir sur les deux graphiques suivants (figure 14 et 15) la différence enregistrée par un spectropluviomètre optique lors du passage d'une sphère métallique de 2 mm et lorsque cette sphère passe frôle le laser.

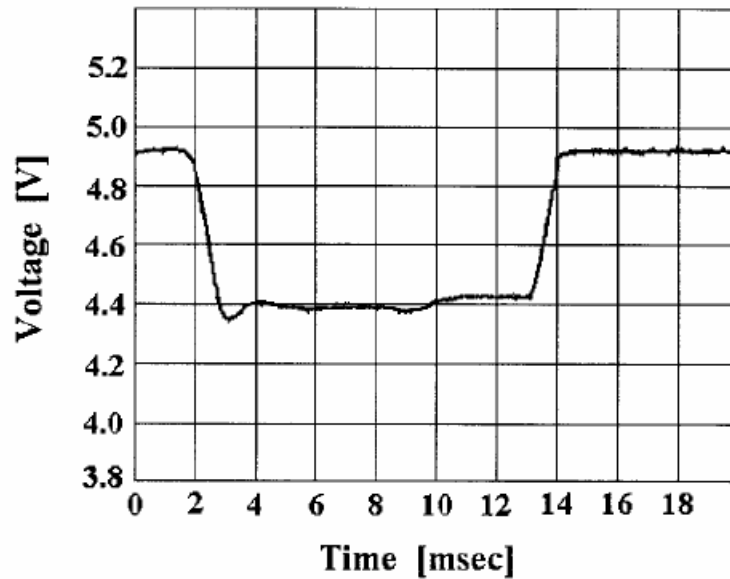


Figure 14 : Signal résultant du passage d'une sphère métallique de 2 mm à travers le laser d'un OSP (Grossklaus et al, 1997)

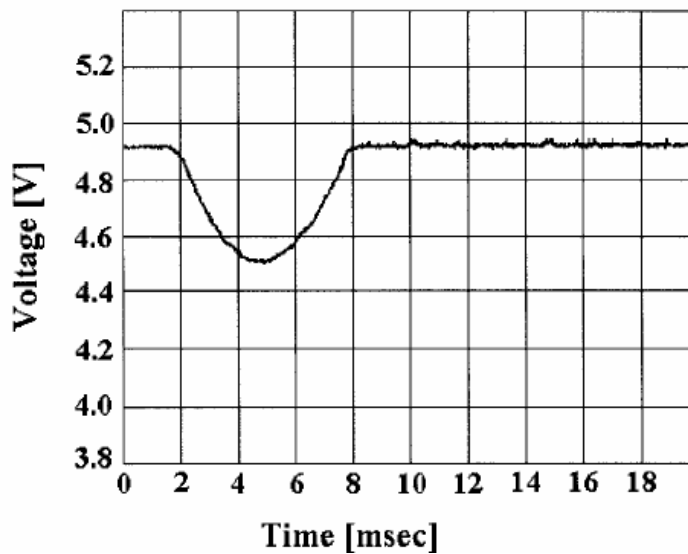


Figure 15 : Signal résultant du passage d'une sphère métallique de 2 mm frôlant le laser d'un OSP (Grossklaus et al, 1997)

Très logiquement, en ce qui concerne la sphère frôlant le laser, seulement une partie de cette sphère est détecté par l'appareil qui la transforme en une sphère plus petite et surtout de vitesse bien plus négligeable.

c) Multiplicité des interceptions avec le laser de l'appareil optique

D.Hauser (1984) nous fait aussi part dans son article du problème de **la multiplicité des interceptions avec le laser de l'appareil optique**. La figure 16 suivante nous présente, lors

d'une simulation numérique pour une intensité de 10 mm/h, les pourcentages d'erreurs calculés sur les diamètres et liés soit à la multiplicité des interceptions avec le laser, soit à la baisse d'intensité aux bords du laser (cf. paragraphe précédent) soit aux deux erreurs combinées.

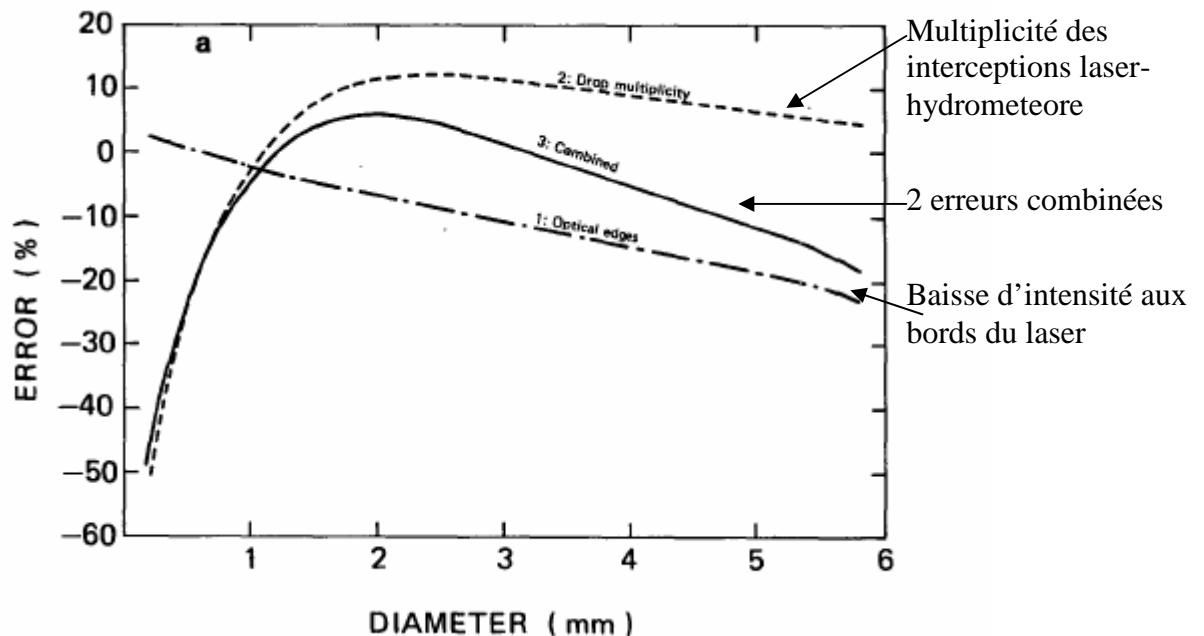


Figure 16 : Erreur sur l'estimation du diamètre des gouttes pour un OSP, par rapport à la multiplicité de gouttes interceptant le laser, à la baisse d'intensité aux bords du laser et aux deux effets combinés (D.Hauser, 1984)

Le fait marquant de ce graphique est la sous estimation importante des plus petits diamètres que provoque le passage simultané de plusieurs gouttes à travers le laser, erreur qui se répercute sur la courbe représentant la combinaison des deux erreurs.

Illingworth et al. (1987) a aussi déduit une perte de 18% des gouttes détectées lors d'une intensité de 100 mm/h, provenant du fait des nombreuses interceptions multiples mal gérés par le disdromètre optique pour de telles intensités.

Enfin, Grossklaus et al.(1997) fait chuter deux sphères au même moment à travers le laser, de taille respective de 3.2 et 2 mm. Le signal reçu est alors le suivant (figure 17) :

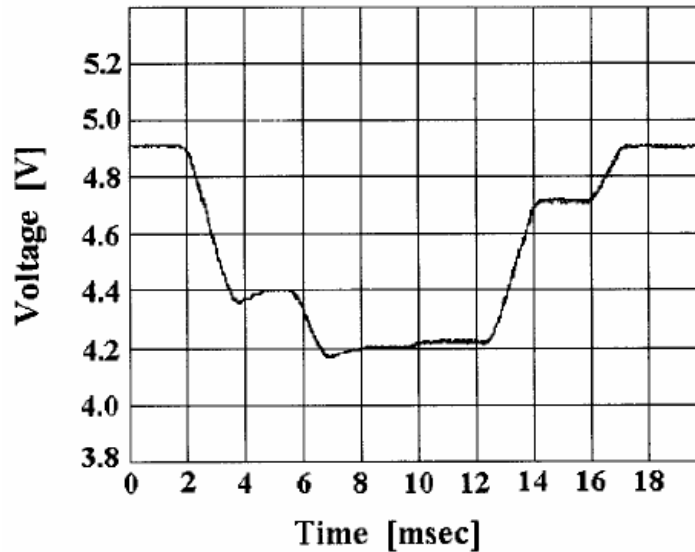


Figure 17 : Signal d'un OSP résultant du passage de deux sphères métalliques de 2 et 3.2 mm, interceptant le laser au même moment (Grossklaus et al, 1997)

Le disdromètre est alors perturbé par le passage simultané des deux sphères et de ce fait, l'appareil ne détecte qu'une sphère de 3.5 mm.

d) Fausses détection à cause du vent en temps clair

Une caractéristique propre des disdromètres optiques sont les **fausses détections à cause du vent en temps clair** (Do Khac et al, 2004). L'article scientifique sur l'étude du disdromètre de Thiès Clima écrit par le personnel de Météofrance à Trappes a souligné le fait que l'instrument détectait des précipitations sans qu'il y ait de pluie observée, essentiellement dans les deux premières classes de diamètre et de vitesse. Ceci peut surestimer à long terme le cumul total des précipitations, Météofrance nous indiquant qu'il serait plus judicieux, lors d'épisodes pluvieux, de recalculer les paramètres intégrés en éliminant ces deux premières classes de diamètres soumises à confusion.

e) Troncature du spectre de la pluie

Le spectre mesuré par les appareils tend à une certaine **sous estimation**. En effet, comme il est indiqué dans les caractéristiques techniques, le disdromètre Parsivel mesure un spectre liquide de 0.2 à 5 mm et le Thiès Clima de 0.16 à 7 mm. Ulbrich (1985) a étudié numériquement les erreurs possibles sur les paramètres intégrées par rapport aux limites D_{min} et D_{max} du spectre de mesure. On peut tout de même s'apercevoir du fait que cette erreur sera probablement moins importante pour le disdromètre de Thiès Clima que pour le disdromètre Parsivel, étant donné son spectre de mesure plus étendu.

f) Le vent

Le vent est la principale source d'erreur des disdromètres optiques, notamment pour les gouttes de petites tailles qui sont très sensibles aux paramètres environnementaux. (Christian Salles et al., 1998 ; Grossklaus et al., 1997...). **Le vent**, en modifiant l'angle de chute des gouttes (oblique au lieu d'être verticale), modifie alors leur temps de passage à travers le laser et donc le calcul de la vitesse de chute de ces mêmes gouttes. Voici un graphique (figure 18) issu d'une simulation numérique, relatant les erreurs sur les intensités pour un vent de $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ pour le spectropluviomètre utilisé (C.Salles et al., 1998) :

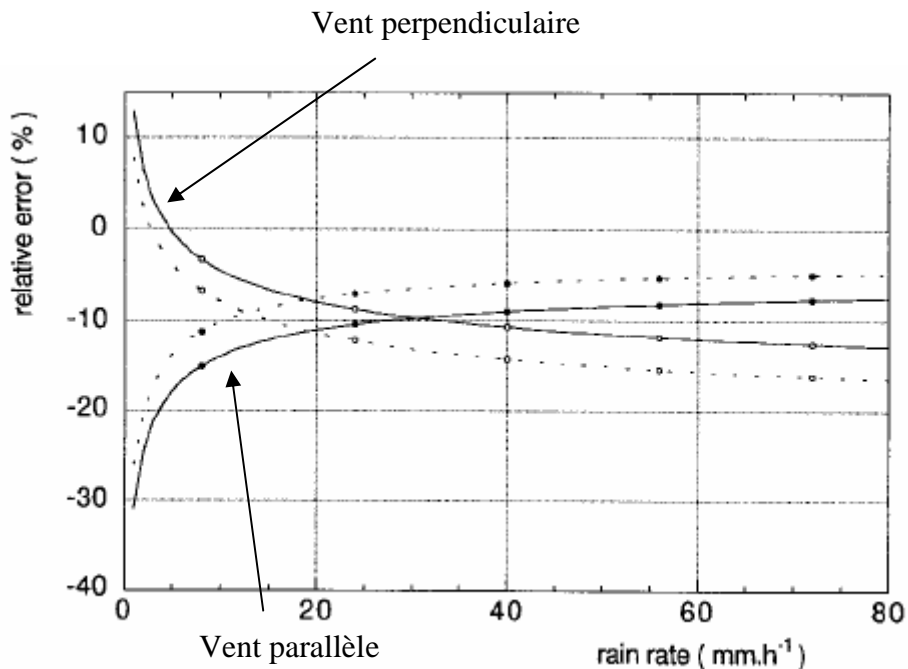


Figure 18 : Erreur relative d'un OSP sur les intensités de pluie par rapport à un vent de 10m/s (simulation numérique). Les lignes continues sont corrélées avec la relation de Marshall Palmer (1948) et les lignes brisées avec une relation Gamma. (C.Salles, 1998)

On peut donc remarquer le fait que le vent soit parallèle ou perpendiculaire au laser, son apparition provoque la plupart du temps une sous estimation des intensités, pouvant aller jusqu'à 30% pour les plus faibles pluies (la turbulence sur les gouttes de petites tailles engendre plus d'effet sur la trajectoire du fait de leur faible densité).

Plus récemment, **Krajewski et al. (2006)** émettent des comparaisons et corrélations sur les intensités, les spectres mesurés, les vitesses de chute pour un radar, un DBS (dual beam spectropluviometer) et le disdromètre Parsivel aux Etats Unis. Pour cette étude, il est clairement indiqué que le Parsivel reporte souvent un nombre supérieur de petites gouttes pour les plus grandes intensités de pluie, surtout entre 0.2 et 0.4 mm, apparents à du bruit comme le montre le graphique suivant (figure 19) :

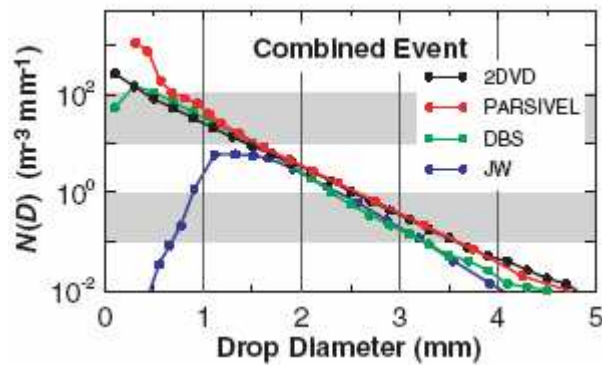


Figure 19 : Densité de gouttes par classe de diamètre entre le JW, le DBS, le 2DVD et le Parsivel (Krajewski et al, 2006)

De même, il semble surestimer assez largement les intensités de pluie, ayant une incidence directe sur la mesure de cumuls trop élevés (cf. figure 20 en exemple ci-dessous)

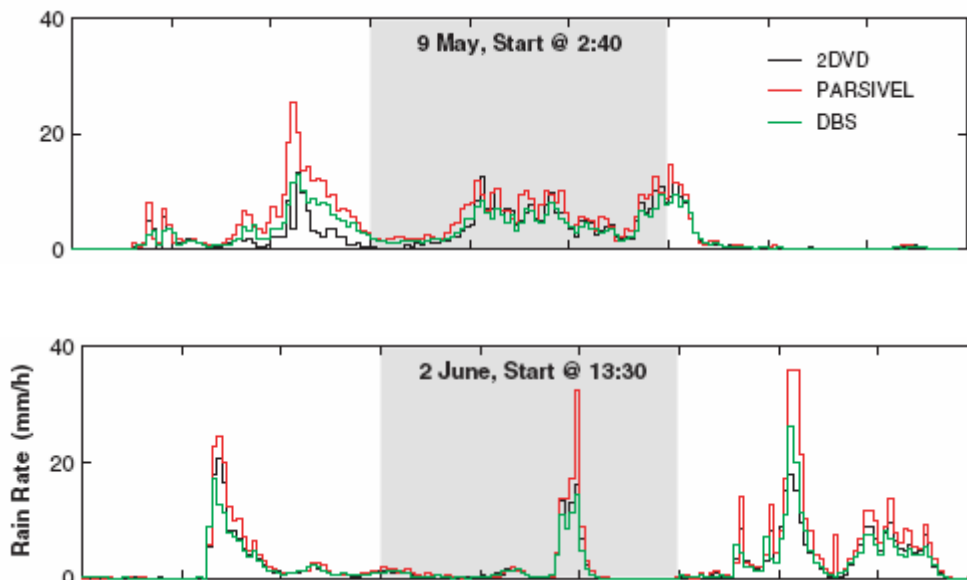


Figure 20 : Intensité relatée par le disdromètre Parsivel, le 2DVD et le DBS pour deux évènements pluvieux (Krajewski et al, 2006)

Il semble sur ces deux graphiques que le Parsivel surestime les plus grandes intensités de pluie, phénomène expliqué par la présence de vent lors de certains passages pluvieux coïncidant donc les plus grandes dispersions de mesures des intensités.

D. Autres études ou comparaisons intégrant le disdromètre Parsivel

En 1999, Martin Loffler Mang fut le premier à concevoir une première version du disdromètre optique Parsivel. L'appareil fut amélioré durant les années 2000 (perfectionnement des composants électroniques et algorithmes) tout comme les stations d'acquisitions (Logosens) et le logiciel ASDO (2005) seul capable d'enregistrer les images des spectres des gouttes

a) Martin Loffler Mang, premier prototype du Parsivel

Martin Loffler-Mang, étudia la première version du Parsivel en nous présentant dans un premier temps les caractéristiques de l'appareil optique dans son article intitulé « **An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors** » (2000). Dans une seconde partie, il compare cet instrument avec le disdromètre mécanique de Joss-Waldvogel lors d'épisodes pluvieux à Karlsruhe. Il étudie plus spécifiquement la densité de particule par classe de diamètre et l'intensité des précipitations pour les deux appareils (figure 21) :

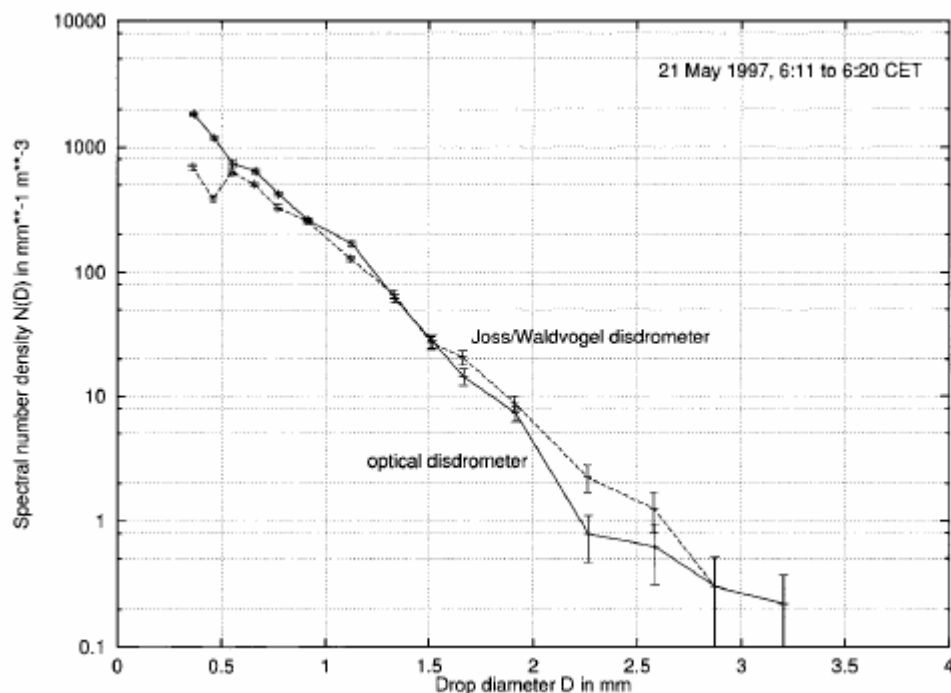


Figure 21 : Densité de particules par classe de diamètre pour le disdromètre Parsivel et Joss-Waldvogel

il nous montre clairement que les deux appareils possèdent des similitudes pour des diamètres entre 0.7 et 2 mm, les différences les plus importantes se situant pour les plus petites gouttes, car les deux instruments réagissent probablement très différemment selon les conditions environnementales comme le vent. Au dessus de 2 mm, les barres d'erreur sont trop importantes pour émettre toute interprétation.

Enfin, les intensités des deux appareils de mesure sont représentées par le graphique suivant :

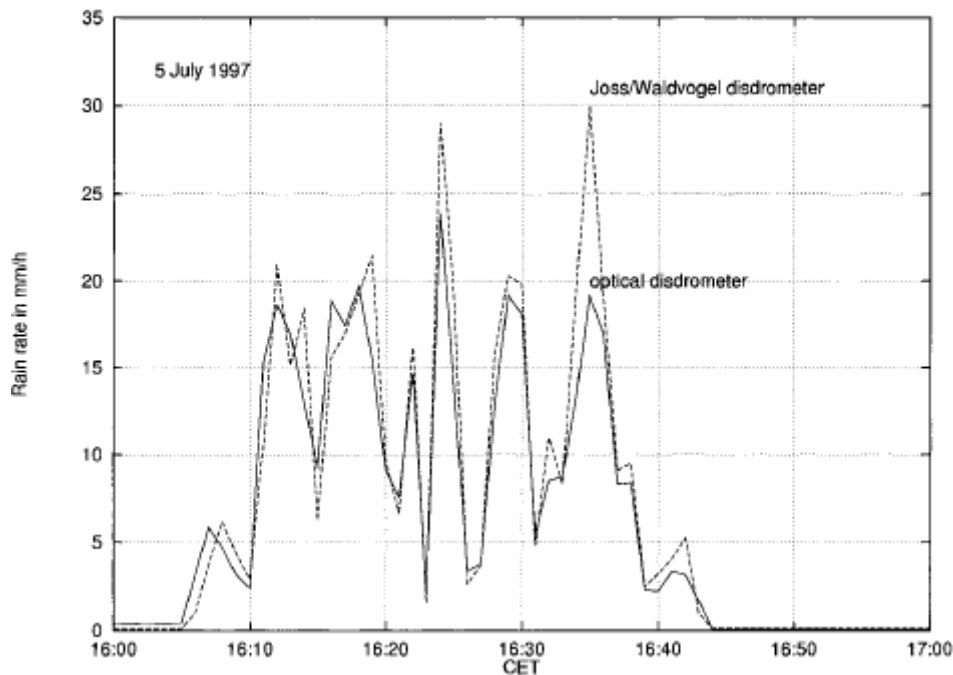


Figure 22 : Intensité des pluies sur un évènement pluvieux, pour le disdromètre Parsivel et Joss-Waldvogel (M.L.Mang, 2000)

Pour cette étude, le disdromètre de Joss-Waldvogel a tendance à trouver systématiquement des intensités plus élevées que le disdromètre Parsivel, se répertoriant forcément sur les cumuls.

Enfin, Martin Löffler-Mang se penche sur les mesures de la neige, et compare les données brutes obtenues et les réflectivités radar équivalentes lors d'épisodes neigeux dans les Alpes suisses, avec un radar doppler et un spectromètre (figure 23 et 24) :

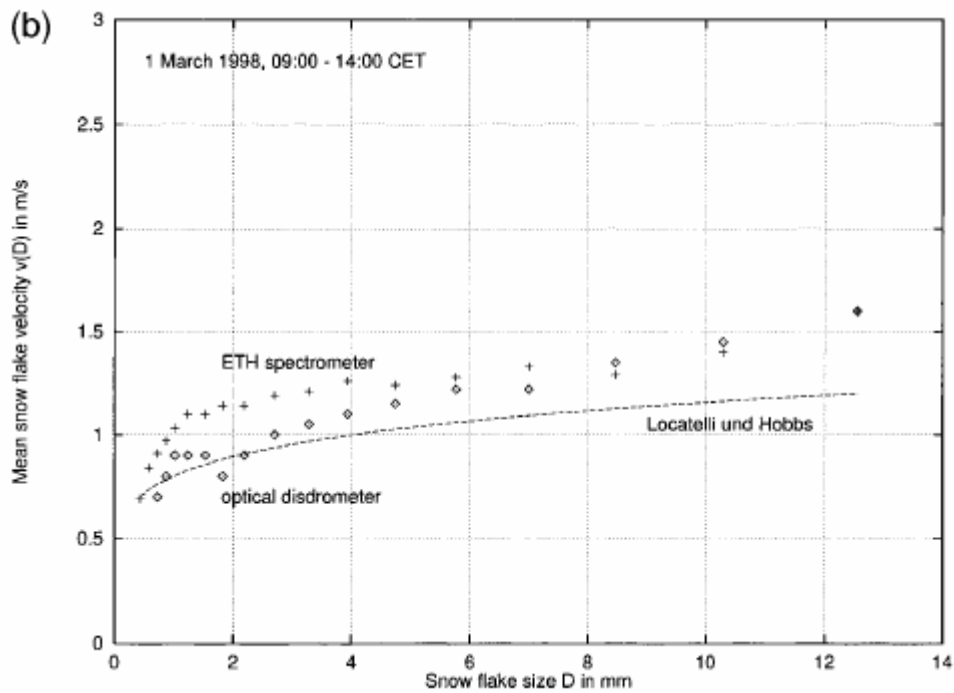


Figure 23 : Comparaison des données brutes du Parsivel et d'un spectromètre avec la théorie de Locatelli et Hobbs (1974) lors d'un évènement neigeux (M.L.Mang, 2000)

La courbe en pointillé représente la théorie de Locatelli et Hobbs (1974), les ronds les mesures du Parsivel et les croix celles d'un autre spectromètre. On peut s'apercevoir d'une légère surestimation pour les particules supérieures à 3 mm en comparaison avec cette théorie.

Enfin, on remarque d'après le graphique ci-dessous (figure 24), une légère différence de mesure de réflectivité radar entre le Parsivel, le radar et le spectromètre, les mesures du disdromètre Parsivel étant légèrement inférieures pour les plus fortes réflectivités :

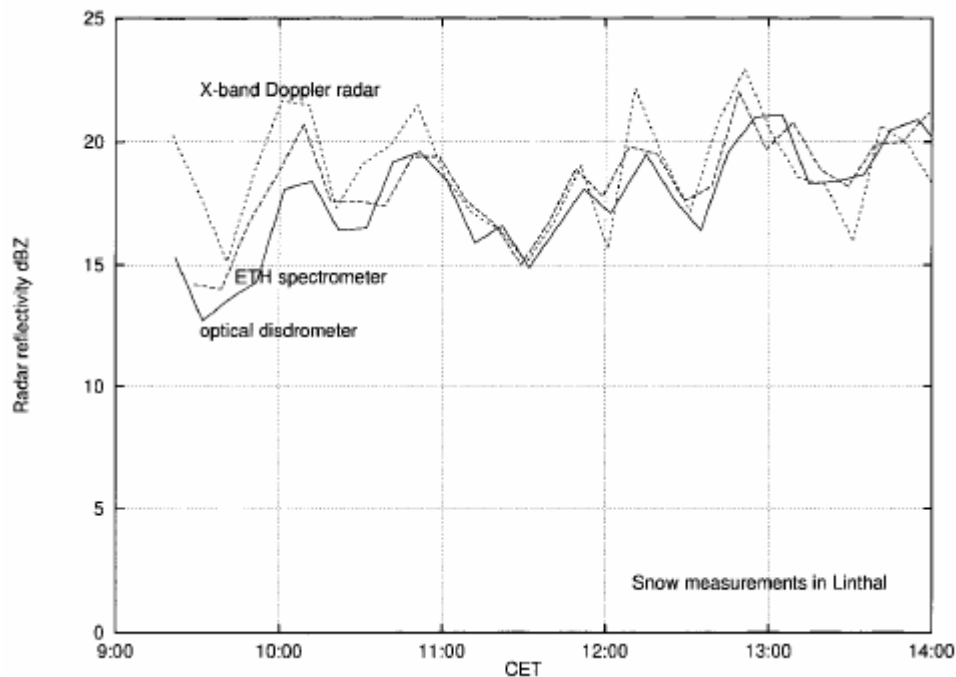


Figure 24 : Comparaison des réflectivités radar d'un spectromètre, du Parsivel et du radar bande X lors d'un épisode neigeux (M.L.Mang, 2000)

Enfin, lors d'un autre article « **Estimation of the Equivalent Radar Reflectivity Factor from Measured Snow Size Spectra** » (2001), Martin Loffler-Mang confronte la réflectivité radar d'un radar bande C et du Parsivel, pour des épisodes pluvieux et neigeux. La comparaison montre que le Parsivel a tendance dans l'ensemble à sous-estimer la réflectivité radar du au modèle de calcul incomplet ne tenant pas compte de la complexité des formes possibles de la neige.

b) Autres articles scientifiques

- **Tokay et al. (2004)** étudie les vitesses de chute et la réflectivité calculée par le Parsivel, le disdromètre de Joss-Waldvogel et un 2DVD (dimensional video disdrometer). Il nous fait remarquer lors de son étude que le Parsivel sous estime la vitesse de chute par rapport au 2DVD pour des diamètres supérieurs à 1.5 mm et que cette sous-estimation peut évidemment avoir une influence directe sur la mesure de la réflectivité radar (cf. formule).

- **Salles et Creutin (2003)** nous parle des vitesses qui sont calculés linéairement sans tenir compte des effets du vent, cet oubli étant la principale source d'erreur (beaucoup plus que le calcul du diamètre ou son spectre) des calculs de réflectivité radar surtout pour les diamètres supérieures à 3 mm ou la différence vitesse mesurée-vitesse théorique est la plus importante.

- Enfin, **Yuter et al. (2006)** ont effectué des mesures des spectres des particules grâce au Parsivel, lors d'épisodes pluvio-neigeux dans un parc instrumental en Oregon.

5. Bibliographie sur la station Vaisala

En ce qui concerne les ancêtres des disdromètres mécaniques sensoriels, Nysuten (2001) nous présente dans son article la théorie de mesure de la pluie grâce aux vibrations sensorielles et notamment en analyse de fréquence, pour nous donner une idée de l'algorithme utilisé pour ce genre de phénomène acoustique. D'autres articles scientifiques nous font état de différents appareils et théories de la mesure acoustique des gouttes de pluie (Kinnell, 1972; Madden et al, 1998; Nystuen, 2001).

Les seuls articles que l'on peut trouver sur la station Vaisala sont tous finlandais.

Un article se distingue des autres, intitulé « **PIEZOELECTRIC PRECIPITATION SENSOR FROM VAISALA** » de Atte Salmi (2005) qui nous présente en détail la sonde de pluie RAINCAP et son principe de fonctionnement, comme il a été décrit auparavant. De même, les mesures de la sonde Vaisala sont comparées avec d'autres pluviomètres lors d'épisodes pluvieux en Finlande.

Ce phénomène à impact « piézoélectrique » est ré expliqué plus en détails par Förster et al. (2004), l'appareil diffère quelque peu car optimisé pour l'application en mer mais le principe reste le même.

Enfin, cet appareil est utilisé en Finlande grâce au projet Helsinki Testbed (Saltikoff, 2005), la station Vaisala étant implanté sur le territoire finlandais dans le but d'élaborer une série climatique de données météorologiques.

6. Conclusion

Cette étude essentiellement bibliographique des capteurs pluviométriques installés au col de Porte, situé en moyenne montagne, nous fait rendre compte de l'incertitude des appareils pour mesurer les propriétés de la pluie avec précision, les sources d'erreurs possibles étant nombreuses selon le type instrumental de fonctionnement. De même, la principale difficulté lors de cette étude fut le faible nombre de sources, réduisant la marge d'interprétation de mesures des appareils, excepté pour le disdromètre optique Parsivel. En effet, pour illustrer de fait, le contact avec les fournisseurs étant très difficile voire impossible avec les personnes de Lufft, les informations sur le fonctionnement et les caractéristiques techniques du radar sont rares, tout comme la bibliographie encore inexistante étant donné la récente fabrication de l'appareil.

La sensibilité du système optique des disdromètres Parsivel et Thiès Clima, étant en contact direct avec les paramètres environnementaux, elle provoque des déviations parfois importantes pour les mesures des données brutes. De ce fait, un nouveau concept de disdromètre optique est récemment né, le DBS (dual beam spectrometer), fabriqué par le CETP de Vélizy (78) et permettant des mesures de spectres plus étendu (jusqu'à 0.1 mm). Son principe de fonctionnement reste le même que les disdromètres Parsivel et Thiès Clima, Delahaye et al. (2006) nous explique toutefois que la présence des deux lasers réduit les problèmes liés aux facteurs environnementaux. (cf. schéma figure 25 ci dessous).

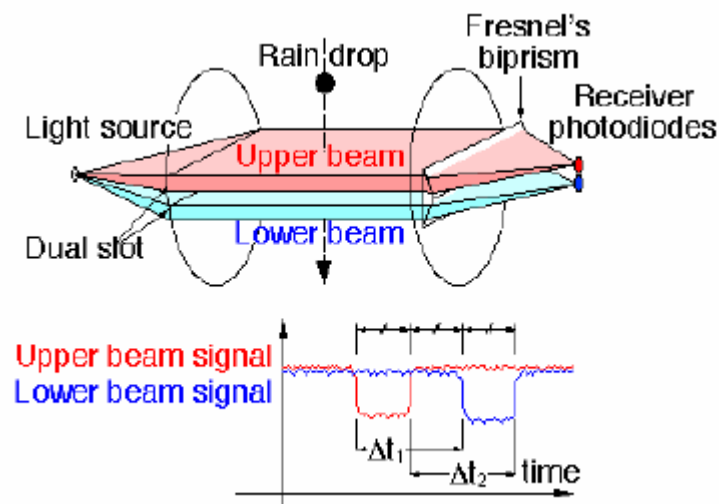


Figure 25 : schéma du DBS et représentation schématique du signal résultant du passage d'une goutte à travers les 2 lasers (Delahaye et al, 2006)

Il reste donc encore des études à réaliser sur ces instruments, les mesures enregistrées au col de Porte, dans cette optique, compléteront l'étude de ces appareils, peut être pour confirmer les différentes sources d'erreur répertoriés tout au long de ce rapport.

7. Bibliographie générale

A. Disdromètres optiques

1. Parsivel

Krajewski W. F., A.Kruger, C.Caracciolo, P.Gola, L.Barthes, J.D.Creutin, J.Y.Delahaye, I.E Nikolopoulos, F.Ogden and J.P.Vinson, 2006 : DEVEX-disdrometer evaluation experiment: Basic results and implications for hydrologic studies. *Advances in Water Resources, Volume 29, Issue 2, February 2006, Pages 311-325.*

Loffler-Mang M., J.Joss, 2000 : An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol 17, n°2, pp 130-139.*

Loffler-Mang M., U.Blahak, 2001: Estimation of the Equivalent Radar Reflectivity Factor from Measured Snow Size Spectra. *Journal of Applied Meteorology, vol 40, n°4, pp 843-849.*

Tokay A., K.R.Wolff, P.Bashor, O.K.Dursun, 2004 : On the Measurement Errors of the Joss-Waldvogel Disdrometer. *31th International conference on Radar Meteorology, P3A.2.*

Yuter S., D.E. Kingsmill, L.B.Nance, M.Loffler Mang, 2006 : Observations of Precipitation Size and Fall Speed Characteristics within Coexisting Rain and Wet Snow. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, jan 2006.*

2. Thiès Clima

Do Khac K., F.Zanghi, P.Tabary (Météofrance), 2004 : Radar-Disdrometer Comparison. *Proceedings of ERAD(2004) : 272-277, Copernicus GmbH 2004.*

3. Autres disdromètres optiques

Delahaye J-Y, L. Barthes, P. Gole, J. Lavergnat, J.P. Vinson, 2006 : A dual-beam spectropuviometer concept. *Journal of Hydrology, in press, corrected proof.*

Grossklaus M., K.Uhlig, L.Hasse, 1998 : An Optical Disdrometer for Use in High Wind speeds. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol 15, n°4, pp 1051-1059*

- Hauser D., P.Amayenc, B.Nutten, P.Waldteufel, 1984 : A New Optical Instrument for Simultaneous Measurement of Raindrop Diameter and Fall Speed Distributions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 1, n°3, pp 256-269.
- Illingworth A.J, C.J Stevens, 1987 : An Optical Disdrometer for the Measurement of Raindrop Size Spectra in Windy Conditions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 4, n°3, pp 411-421.
- Salles C., J.D.Creutin, 2003 : Instrumental Uncertainties in Z–R Relationships and Raindrop Fall Velocities, *Journal of Applied Meteorology*, Volume 42, Issue 2 (February 2003) pp. 279–290.
- Salles C., J.D.Crutin, D.Sempere-Torres, 1998 : The Optical Spectropluviometer Revisited. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 15, n°5, pp 1215-1222.**
- Sheppard B.E., P.I. Joe, 1994 : Comparison of Raindrop Size Distribution Measurements by a Joss-Waldvogel Disdrometer , a PMS 2DG Spectrometer and a POSS Doppler Radar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 11, n°4, pp 874-887.
- Tokay A., A.Kruger, W.F Krajewski, 2001 : Comparison of Drop Size Measurements by Impact and Optical Disdrometers. *Journal of Applied Meteorology*, vol 40, n°11, pp 2083-2097.

4. Théories existantes

- Beard K.V., 1976 : Terminal Velocity and Shape of Cloud and Precipitation Drops Aloft. *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol 33, n°5, pp 851-864.
- Gunn R., G.D.Kinzer, 1949 : The Terminal Velocity of Fall for Water Droplets in Stagnant air. *Journal of the Atmospheric sciences*, vol 6, n°4, pp 243-248.
- Marshall, J. S. and Palmer W. M. K, 1948: The distribution of raindrops with size, *J. Meteor*, 5, 165–166
- Ulbrich C.W, 1985 : The Effects of Drop Size Distribution Truncation on Rainfall Integral Parameters and Empirical Relations, *Journal of Applied Meteorology*, vol 24, Issue 6, pp 580-590.

Ulbrich, C.W, 1983.: Natural variations in the analytical form of drop size distribution, *J. Climate, Appl Meteor.*, 22, 1764–1775.

B. Disdromètres mécaniques

1. Vaisala

Salmi A., J.Ikonen, 2005 : Piezoelectric Precipitation Sensor from Vaisala. 19th conference on Hydrology

Saltikoff E., W.F.Dabberdt, J.Poutiainen, J.Koistinen, H.Turtiainen, 2005 : The Helsinki Testbed : A Four-Season Mesoscale Research and Development Facility. 13th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, 6.1.

2. Autres Disdromètres mécaniques

Förster, J., G. Gust, and S. Stolte, 2004: A piezoelectrical rain gauge for application on buoys. *J. Atmos. Oceanic.Technol.*, 21, 179-193.

Kinnell P.I.A, 1972 : The Acoustic Measurement of Water-Drop Impacts. *Journal of applied meteorology*, vol 11, n°4, pp 691-694.

Nystuen J.A., 2001 : Listening to Raindrops from Underwater : An Acoustic Disdrometer. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 18, n°10, pp 1640-1657.

Tokay A., P.G.Bashor, K.R.Wolff, 2005 : Error Characteristics of Rainfall Measurements by Collocated Joss-Waldvogel disdrometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 22, n°5, pp 513-527

