

APPORT DE LA DISDROMETRIE LASER AU SERVICE DE LA CLIMATOLOGIE DES HYDROMETEORES.

**Michel ERPICUM, Xavier FETTWEIS, Nicolas JORION, Xavier PIRARD
et Arnaud SOUGNEZ**

Université de Liège, Laboratoire de climatologie et topoclimatologie
contact : Michel.erpicum@ulg.ac.be

Introduction et instrumentation

Les études climatologiques concernant les hydrométéores sont très nombreuses mais elles se limitent couramment à établir et à commenter différents paramètres statistiques des lames d'eau précipitées tels les totaux périodiques, les nombres de jours de précipitation correspondant à différentes classes de lame d'eau précipitées, l'équivalent en eau des précipitations neigeuses ou encore les fréquences de retour des précipitations selon toute une gamme de seuils de durée et d'intensité soigneusement sélectionnés. De nombreuses autres études sont focalisées sur la cartographie des lames d'eau ou la recherche des types de circulations atmosphériques associées aux types de temps pluvieux ou neigeux. Dans les pays intertropicaux, certaines études s'intéressent plus particulièrement aux variations temporelles du début et de la fin des saisons des pluies. Ces travaux sont certes très nombreux mais ils pâtissent encore trop souvent du non recours aux techniques de mesure modernes des hydrométéores.

De fait, les données pluviométriques utilisées dans ces travaux proviennent essentiellement de pluviomètres ou de nivomètres à relevés quotidiens ou semi-journaliers et/ou de pluviographes totalisateurs à siphonage ou à auget basculeur. Les pluviomètres et les nivomètres à relevés périodiques masquent évidemment le spectre temporel intra-journalier des précipitations et les pluviographes à auget basculeur ont malheureusement souvent une résolution d'enregistrement de 0.2 mm. Ils ne permettent donc pas d'analyses des lames d'eau aux pas de temps inférieurs à 10 minutes or l'agressivité et les conséquences des précipitations dépendent fortement de leur intensité de pointe et de leur persistance réelle.

Depuis la fin des années « soixante », des techniques optiques instrumentales automatisées ont progressivement été mises au point afin d'améliorer la discrimination des différents types d'hydrométéores (brume, pluie, neige, grêle) et de quantifier de façon plus fine leur intensité. Ces techniques ont été mises au point, testées et/ou améliorées par une série d'auteurs dont notamment Donnadieu *et al* (1969), Klaus (1977), Illingworth *et al* (1987), Löffler-Mang *et al* (2000), Delahaye *et al* (2006). Diverses comparaisons d'instruments ont ainsi déjà été effectuées comme celles d'Armetta (2006) et de Boudevillain *et al* (2007).

Toutefois, nous démontrerons ci-après que contrairement au constat négatif émis par Boudevillain *et al* (2007) au col de Porte à propos du test de validité du disdromètre à laser (Thies), nous avons constaté, en climat tempéré océanique frais, l'excellente qualité des mesures effectuées avec cet instrument à partir d'une base de données d'enregistrement menée de 2005 à 2011 à Liège – Sart Tilman (alt 240m) et de 2010 à 2011 au Mont Rigi (alt 674 m). Voilà donc l'objectif de cette contribution dédiée à la communauté des géographes-climatologues français (CFNG-Commission « Climat et société) et à tous les autres scientifiques intéressés par les techniques nouvelles appliquées à la climatologie.

Il est utile de rappeler que la Belgique connaît entre 150 et 250 jours de précipitation par an mais son taux annuel de durée réelle des précipitations oscille seulement autour de 10% à Liège-Sart Tilman pour un total annuel moyen d'environ 800 mm et autour de 30% au Mont Rigi pour un total annuel moyen d'environ 1400 mm, ces deux lieux n'étant distants l'un de l'autre que de 37 km à vol d'oiseau.

Dans cette étude, deux disdromètres à laser Thies (à faisceau infrarouge horizontal de longueur d'onde de 785 nm et photo diode de 700nm) ont permis de détecter et mesurer les particules de diamètre compris entre 0.16 et 8.2 mm et de comptabiliser la durée des précipitations d'intensité supérieure ou égale à 0.005 mm/h. L'enregistrement de la durée réelle des périodes de précipitations et de leur profil temporel des intensités horaires (mm/h) a été enregistré au pas de temps de la minute. La reconstitution de leur distribution fréquentielle a été obtenue selon leur type (brume, pluie, neige, grêle et hydrométéores mixtes) de manière fine.

Lors de nos recherches récentes, nous avons eu l'opportunité de comparer les enregistrements de ces deux disdromètres (fig. 1 et 3) aux enregistrements de deux pluviographes à auget basculeur avec incrément de 0,2 mm (Précis Mécanique) et de deux pluviographes à pesée avec incrément de 0.03 mm (OTT) (fig. 2).

Nous limiterons sciemment cette contribution à la présentation de quelques exemples très intéressants en matière de climatologie dédiée à la discrimination temporelle des hydrométéores et à la détection fine de la variabilité de leurs intensités et de leurs durées réelles.



Figure 1: Disdromètre à laser (Thies). Photographie prise au parc météo (ULG) au Mont Rigi, Belgique.



Figure 2 : Pluviographe à pesée (OTT) avec écran casse-vent. Photographie prise au parc météo (ULG) au Mont Rigi, Belgique.

1. LE CAS D'UNE FAIBLE PRECIPITATION CONTINUE. EXEMPLE DU 14 FEVRIER 2011 AU SART TILMAN (ULG).

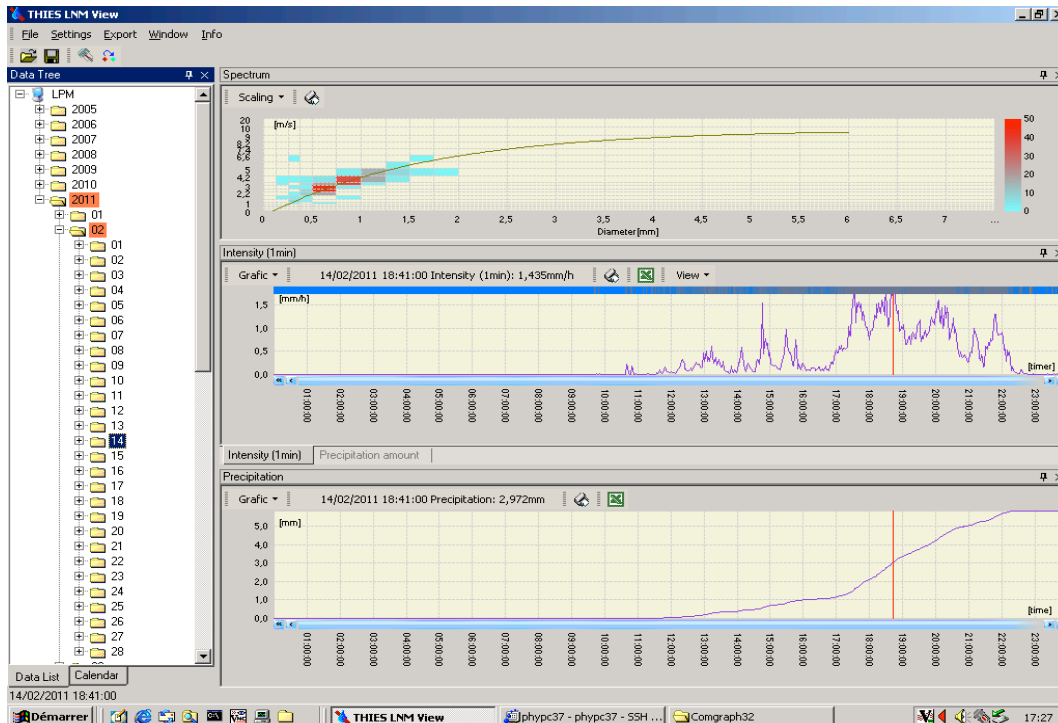


Figure 3 : Modèle d'écran obtenu avec le logiciel de visualisation du disdromètre à laser (THIES) - le cas du 14/2/2011, Sart Tilman-ULG.

Légende :

Partie supérieure de la figure : spectre des vitesses de chute des hydrométéores (entre 0 et 20 m/s) (selon axe vertical de gauche) et de leurs diamètres inférieurs à 7,5 mm (selon axe horizontal) pendant une minute (ici à 18h41) pour un cumul de précipitation équivalent à 1,435 mm/h estimé sur cette minute (cf trait rouge dans partie centrale de la figure) ; l'axe vertical coloré de droite correspond à la répartition du nombre de particules dénombrées dans chacune des cases de ce graphique.

Partie centrale de la figure (journée entière): variabilité intra-journalière de l'intensité des précipitations estimée de minute en minute (axe horizontal) ; les précipitations ont été continues de 10h30 à 22h30.

Partie inférieure de la figure (journée entière): cumul des précipitations obtenu de minute en minute (axe horizontal) depuis le début de la journée. Le trait rouge dans cette partie de la figure indique qu'il est tombé 2,972 mm d'eau depuis le début de la journée du 14/2/2011.

Les parties centrale et inférieure de la figure 3 doivent être comparées avec la figure 4. La journée analysée ici a été caractérisée au pas de temps de la minute par plus de 12 heures continues de fines précipitations pour un total journalier situé entre 6,5 mm (OTT) et 5,9 mm (THIES). La différence de cumul des précipitations entre les deux instruments a atteint au maximum 1,1 mm mais les deux instruments n'étaient malheureusement pas parfaitement synchronisés. La différence des cumuls en fin de précipitations était de 0,6 mm (soit environ 10 % d'écart entre les deux instruments).

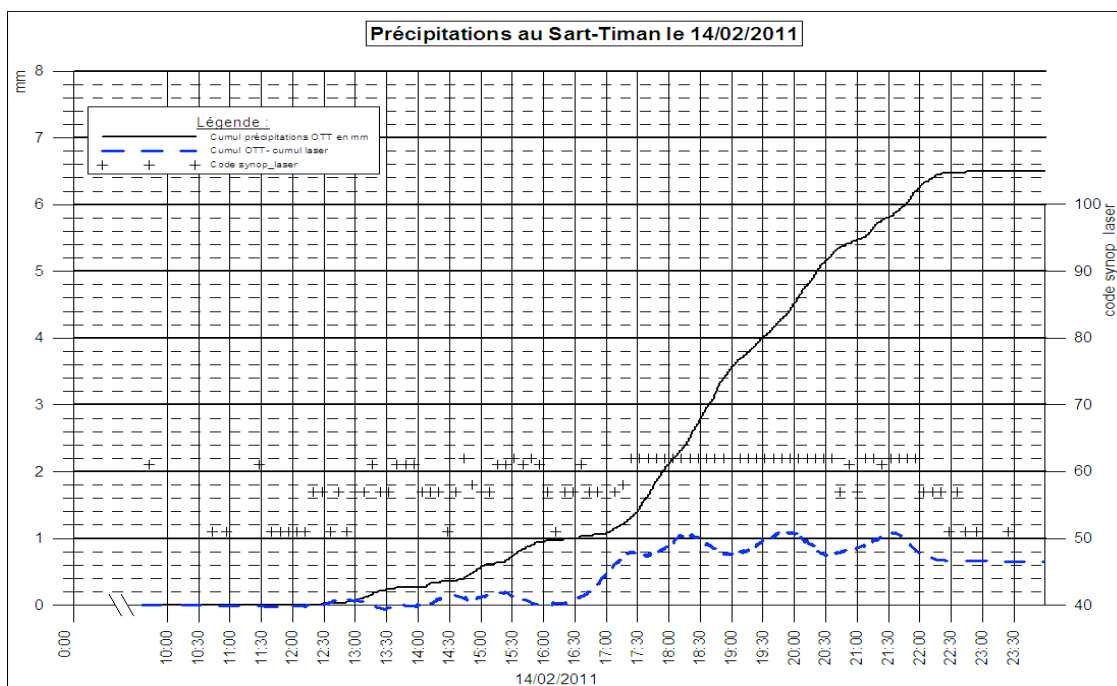


Figure 4 : Suivi temporel du cumul détaillé des précipitations. Le cas du 14/2/2011, Sart Tilman-ULG.

Courbe noire : cumul obtenu au pas de temps de la minute avec le pluviographe à pesée (OTT).

Courbe bleue : différence de cumul entre le pluviographe à pesée (OTT) et le disdromètre à laser (THIES). Lecture des valeurs des courbes noire et bleue sur l'axe de gauche (en mm)

Les croix indiquent le code synoptique OMM des hydrométéores (lecture du code sur l'axe de droite). Ce code est déduit du spectre des vitesses de chute et la taille des particules hydrométéorologiques et il est obtenu par le microprocesseur du disdromètre à laser. Sur cette figure : les codes de 50 à 59 concernent la bruine et les codes de 60 à 62 concernent la fine pluie.

2. LE CAS D'UN EPISODE PLUVIEUX DE DUREE CONTINUE (PRES DE 42 HEURES) OBSERVE DU 12 AU 14 NOVEMBRE 2010 DANS LA REGION LIEGEOISE. COMPARAISON DES ENREGISTREMENTS OBTENUS PAR DEUX DISDROMETRES A LASER INSTALLES DANS LES STATIONS METEO AUTOMATIQUES DU SART TILMAN ET DU MONT RIGI.

Le temps perturbé a progressé d'Ouest en Est. Les précipitations ont commencé en milieu de journée le 12 avec un léger décalage horaire. Pendant près de 42 heures, le front polaire s'est alors déplacé sur la région liégeoise au gré d'une alternance d'influences de fronts chauds et de fronts froids. Cf : http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html

Les *totaux de précipitation* associés à cet épisode pluvieux persistant ont été respectivement de 39 mm au Sart Tilman (alt : 240m) et de 90 mm au Mont Rigi (alt : 674m). *L'intensité maximale* (40 à 45 mm/h en une minute) a été enregistrée le 13 vers 12h au Sart Tilman et une heure après au Mont Rigi situé au SE (cf figures 5A, 5B).

Les *types d'hydrométéores* concernés sont des *pluies faibles* (codes synoptiques de 60 à 63) et des *bruines* (codes synoptiques de 50 à 59) (cf figures 6A, 6B).

Très rares sont les minutes sans précipitation alors que cet épisode pluvieux a duré plus de 42 heures.

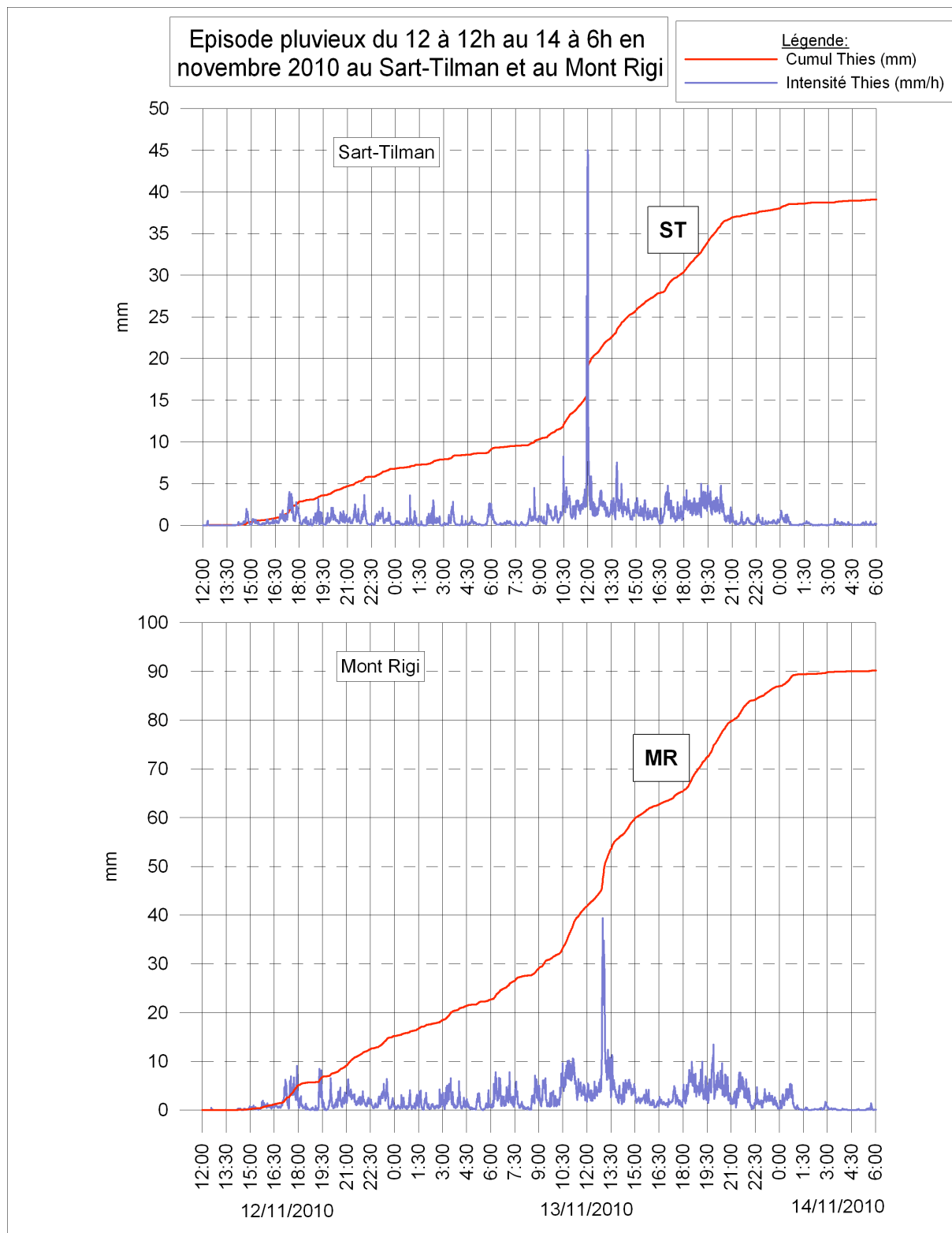


Figure 5A : Cumuls et intensités (mm/h) enregistrés de minute en minute à l'aide de 2 disdromètres à laser THIES installés dans 2 stations météo distantes de 37 km.

Le cas du passage d'une zone frontale sur la Belgique du 12 novembre 2010 à 12h (TU+1) au 14 novembre 2010 à 06h (TU+1).

Légende : **ST** : Sart Tilman (ULg) (alt= 240m)

MR : Station du Mont-Rigi (SSHf-ULg) (alt = 674 m)

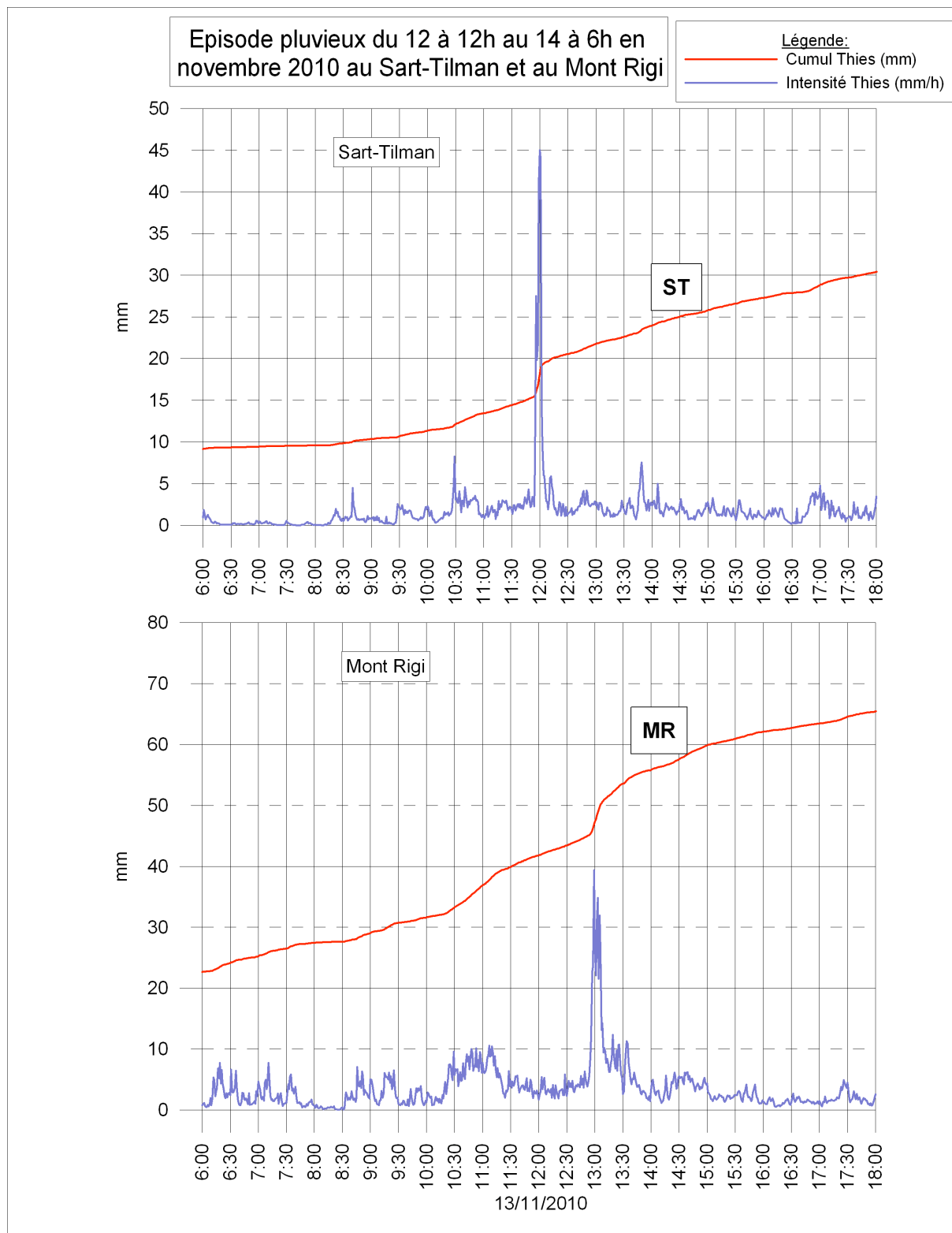


Figure 5B : Zoom de la figure 5A . Cumuls et intensités (mm/h) enregistrés de minute en minute à l'aide de 2 disdromètres à laser THIES installés dans 2 stations météo distantes de 37 km.

Le cas du passage d'une zone frontale sur la Belgique du 12 novembre 2010 à 12h (TU+1) au 14 novembre 2010 à 06h (TU+1).

Légende : **ST** : Sart Tilman (ULg) (alt= 240m)

MR : Station du Mont-Rigi (SSHf-ULg) (alt = 674 m)

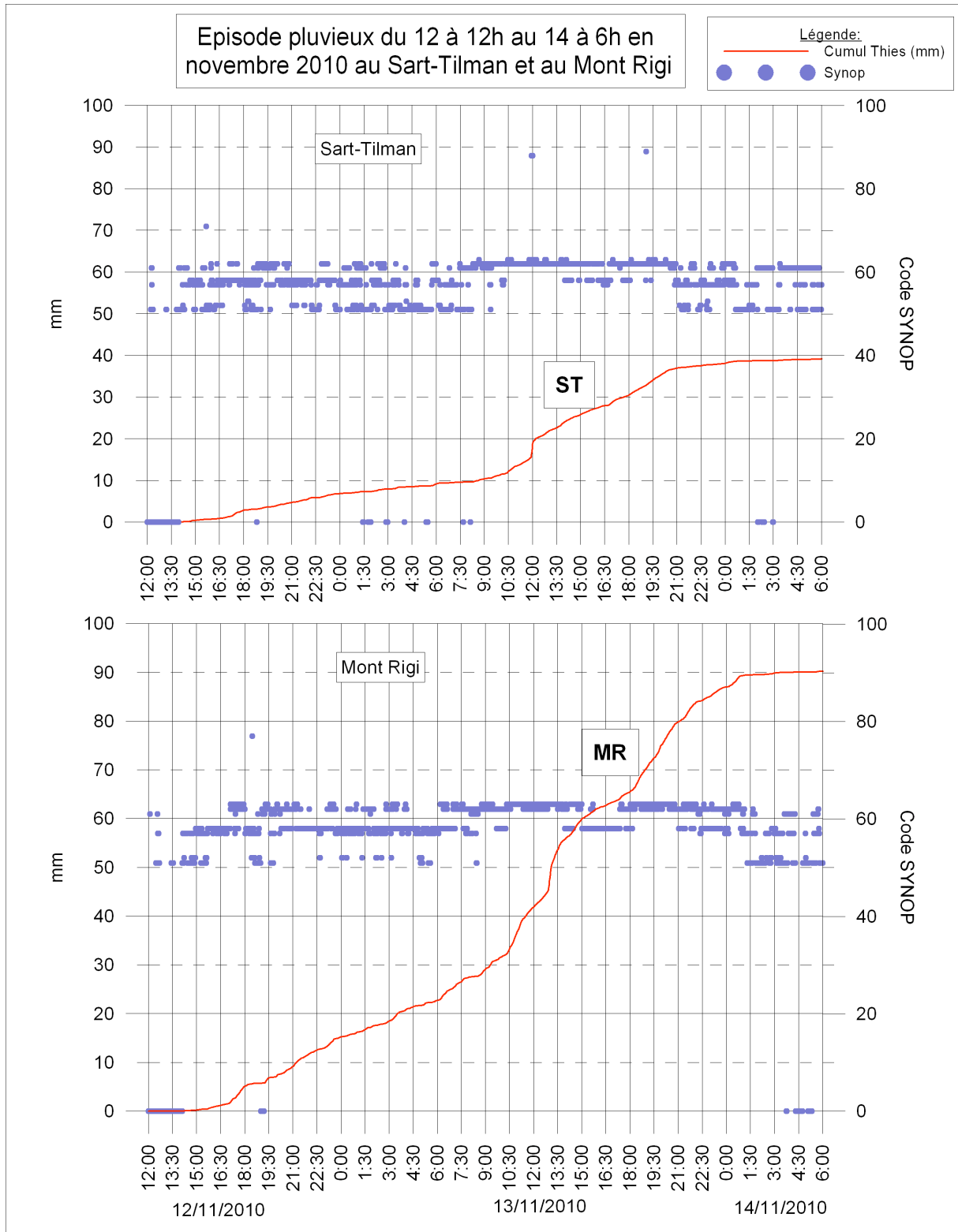


Figure 6A : Cumuls et types d'hydrométéores (codes synoptiques OMM) enregistrés de minute en minute à l'aide de 2 disdromètres à laser THIES dans 2 stations météo distantes de 37 km.

Le cas du passage d'une zone frontale sur la Belgique du 12 novembre 2010 à 12h (TU+1) au 14 novembre 2010 à 06h (TU+1).

Légende : **ST** : Sart Tilman (ULg) (alt 240m)
MR : Station du Mont-Rigi (SSHf-ULg) (alt = 674 m)

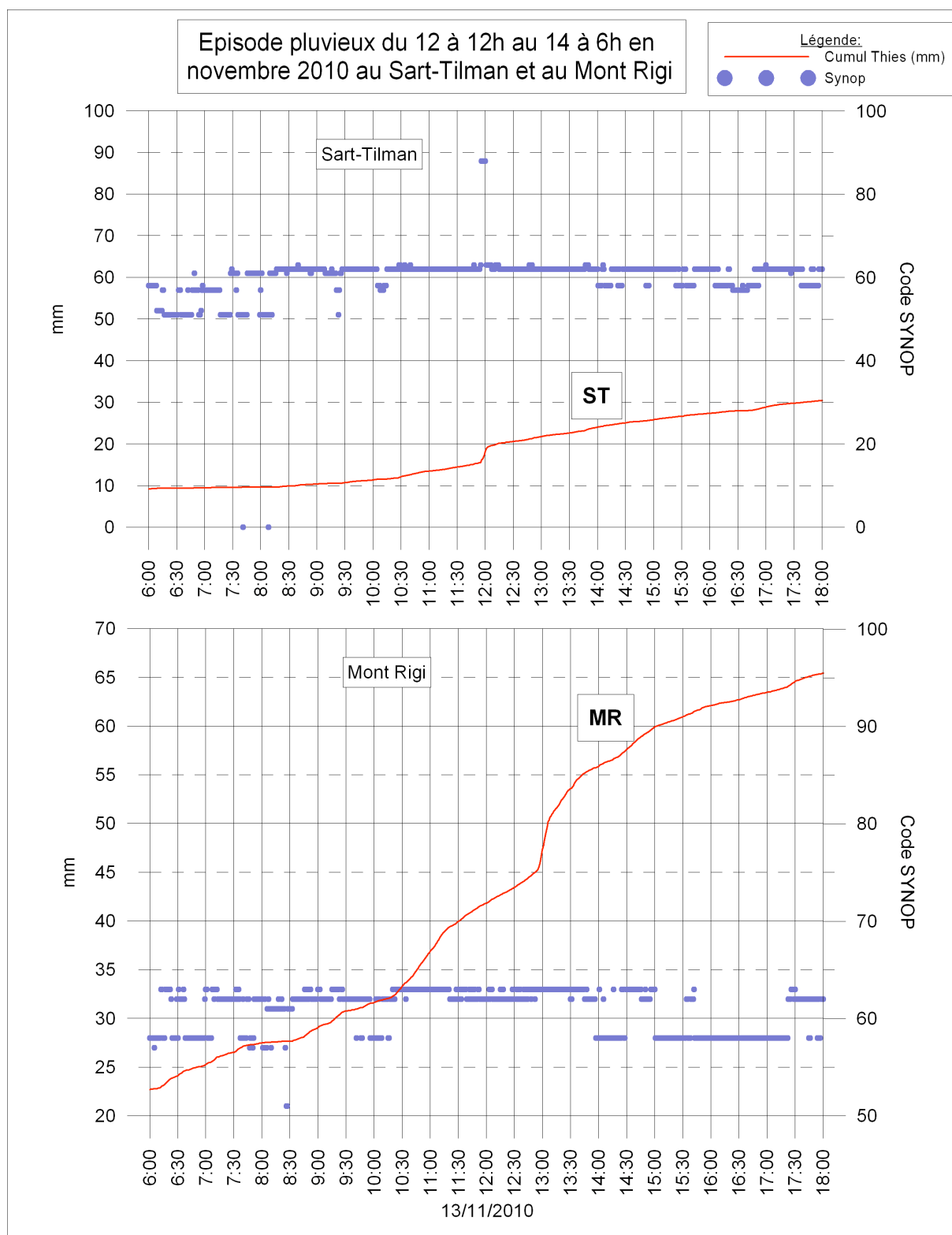


Figure 6B : Zoom de la figure 6A. Cumuls et types d'hydrométéores (codes synoptiques OMM) enregistrés de minute en minute à l'aide de 2 disdromètres à laser THIES dans 2 stations météo distantes de 37 km.

Le cas du passage d'une zone frontale sur la Belgique du 12 novembre 2010 à 12h (TU+1) au 14 novembre 2010 à 06h (TU+1).

Légende : **ST** : Sart Tilman (ULg) (alt 240m)

MR : Station du Mont-Rigi (SSHf-ULg) (alt = 674 m)

3. LE CAS D'UN EPISODE D'ENNEIGEMENT IMPORTANT ET PERSISTANT AU MONT-RIGI (ALT : 674M), PARC METEO ULG – SSHF.



Figure 7. Dossier photographique du 4 janvier 2011 après-midi

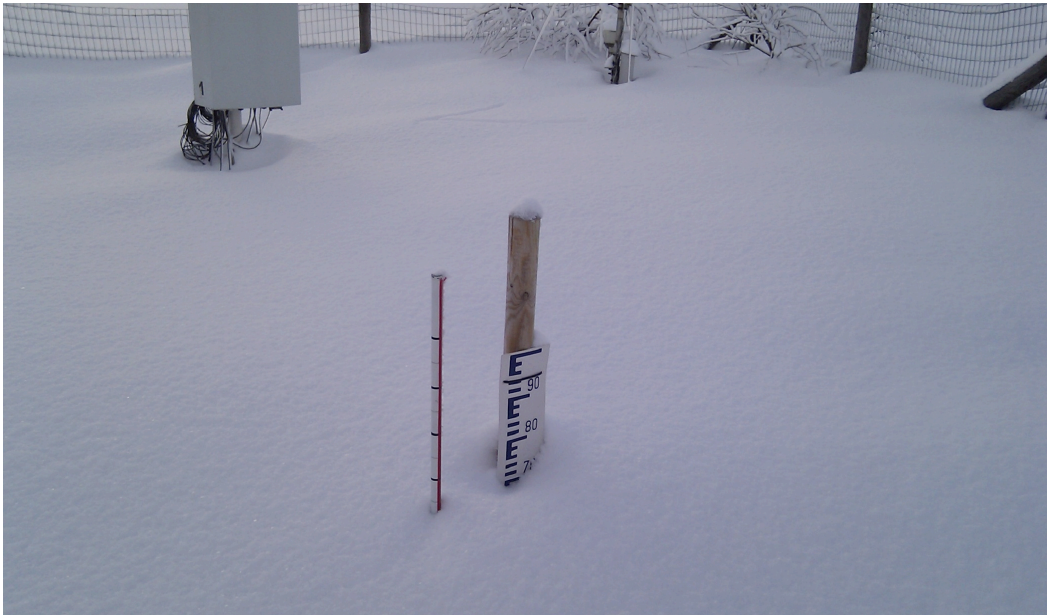


Figure 8. Echelle à neige IRM (mardi 4 janvier 2011 à 16h45) au Parc météo du Mont Rigi ULg - SSHF ; 75 cm de neige. Photos : M. Erpicum

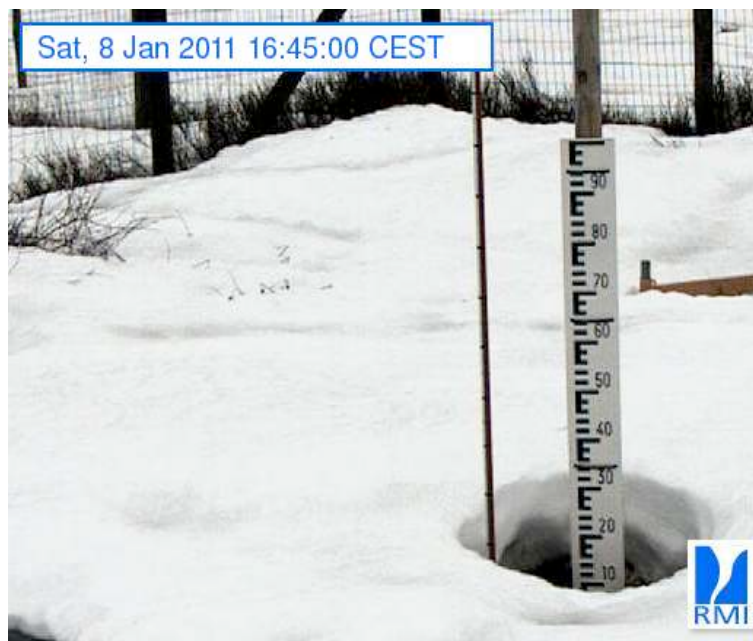


Figure 9 : Echelle à neige au Parc météo du Mont Rigi ; (samedi 8 janvier 2011 à 16h45) ; source : Webcam IRM, 4 jours après la journée concernée par les figures 7 et 8.



Figure 10 : Echelle à neige au Parc météo du Mont Rigi ; (mardi 11 janvier 2011 à 12h30) ; source : Webcam IRM (soit 1 semaine après la journée du 4).

L'échelle à neige testée par l'Institut Royal Météorologique (IRM) au Parc météo du Mont Rigi en combinaison avec la diffusion des images de sa Webcam de 15 en 15 minutes sur le site de cet Institut (cf : <http://www.meteo.be/meteo/view/fr/>) constitue un instrument idéal pour le suivi de l'épaisseur de l'enneigement du sommet du massif ardennais belge. Les photos des figures 8 à 10 ne sont que quelques exemples de l'intérêt de cet instrument visuel. Ces photos attestent de la fonte quasi complète du manteau neigeux au Mont Rigi entre le 6 et le 8 janvier 2011. Le 11 janvier, il restait toutefois encore 10 cm de neige au sol. La structure de la surface de la neige visible sur la figure 9 met bien en évidence que la fonte de la neige a été forcée par les pluies des jours précédents.

Cet épisode d'enneigement important a été fondu quasi entièrement en moins de 48 heures de précipitations liquides (cf figures 11A et 11B).

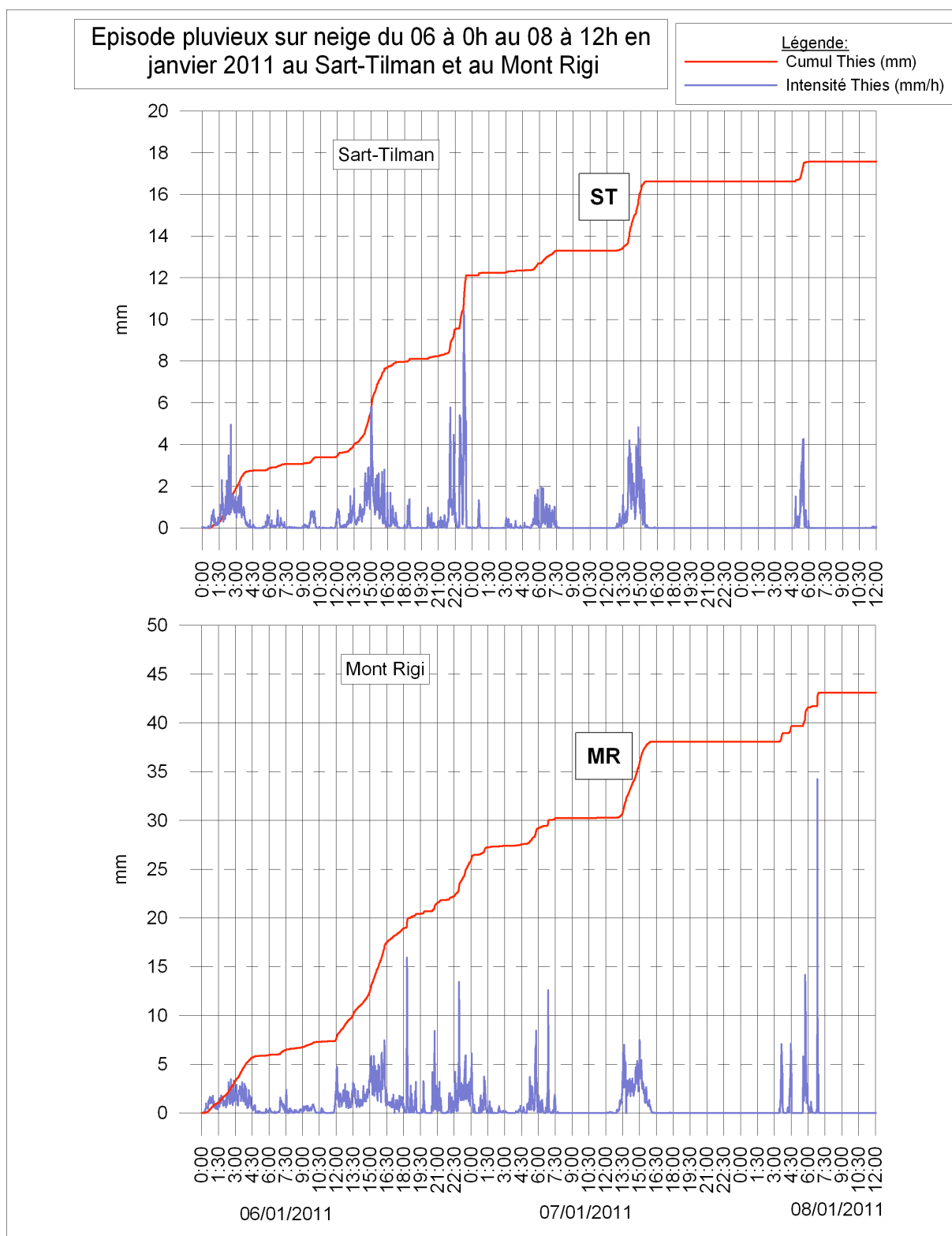


Figure 11A : Cumuls et intensités (mm/h) enregistrés de minute en minute à l'aide de 2 disdromètres à laser THIES installés dans 2 stations météo distantes de 37 km.

Le cas d'une zone de pluie sur neige en Haute Belgique du 6 janvier 2011 à 00h (TU+1) au 8 janvier 2011 à 12h (TU+1).

Légende : **ST** : Sart Tilman (ULg) (alt= 240m)
MR : Station du Mont-Rigi (SSHF-ULg) (alt = 674 m)

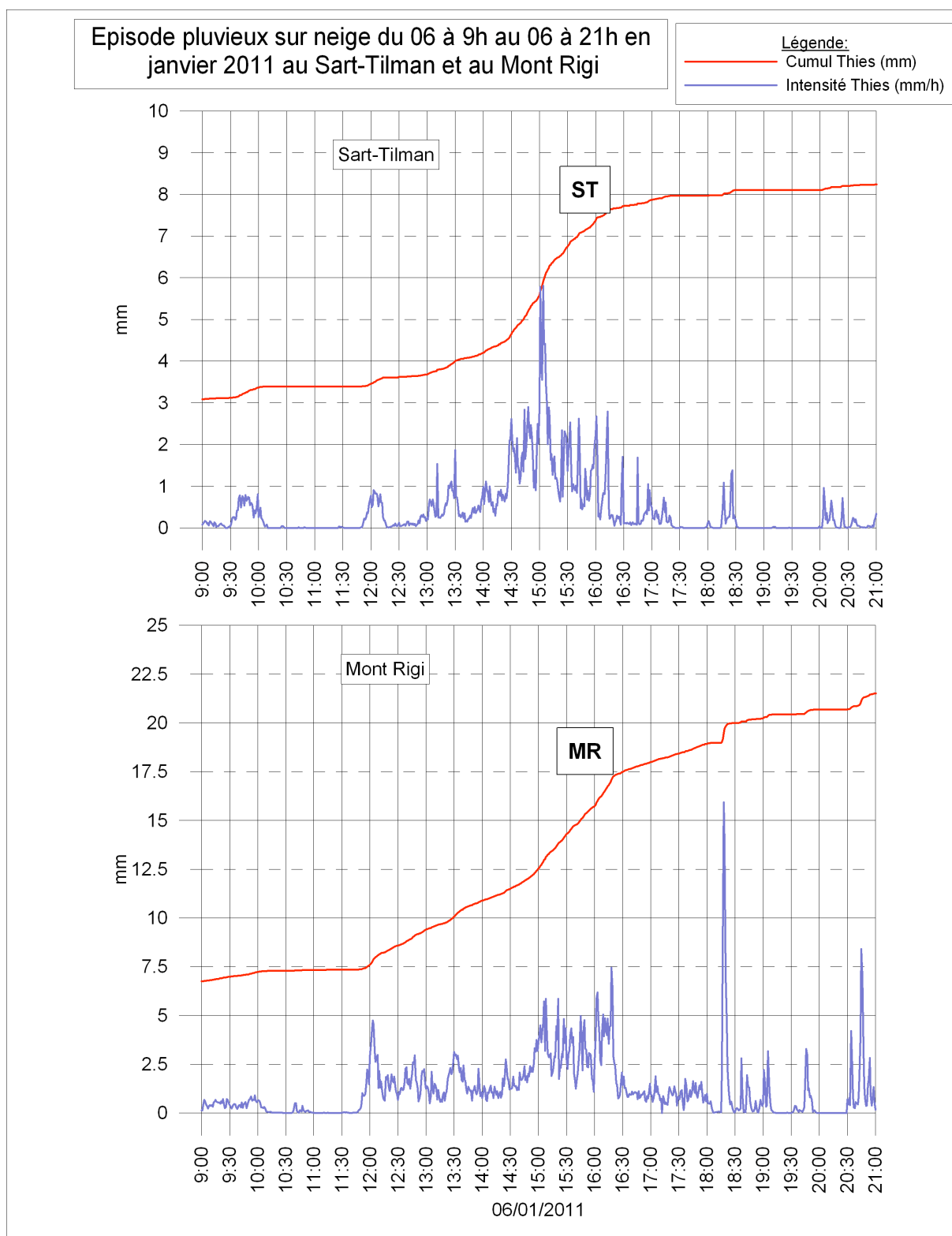


Figure 11B : Zoom de la figure 11. Cumuls et intensités (mm/h) enregistrés de minute en minute à l'aide de 2 disdromètres à laser THIES installés dans 2 stations météo distantes de 37 km.

Le cas d'une zone de pluie sur neige en Haute Belgique du 6 janvier 2011 à 00h (TU+1)
 au 8 janvier 2011 à 12h (TU+1).

Légende : **ST** : Sart Tilman (ULg) (alt= 240m)
MR : Station du Mont-Rigi (SSHF-ULg) (alt = 674 m)

4. LE CAS D'UN EPISODE PLUVIOMETRIQUE INTENSE ET COURT



Figure 12 : Le cas de la crue éclair du 29 mai 2008 à Renory, sur le versant droit de la Meuse au nord du plateau du domaine universitaire du Sart Tilman qui est situé au sud-est de Liège.

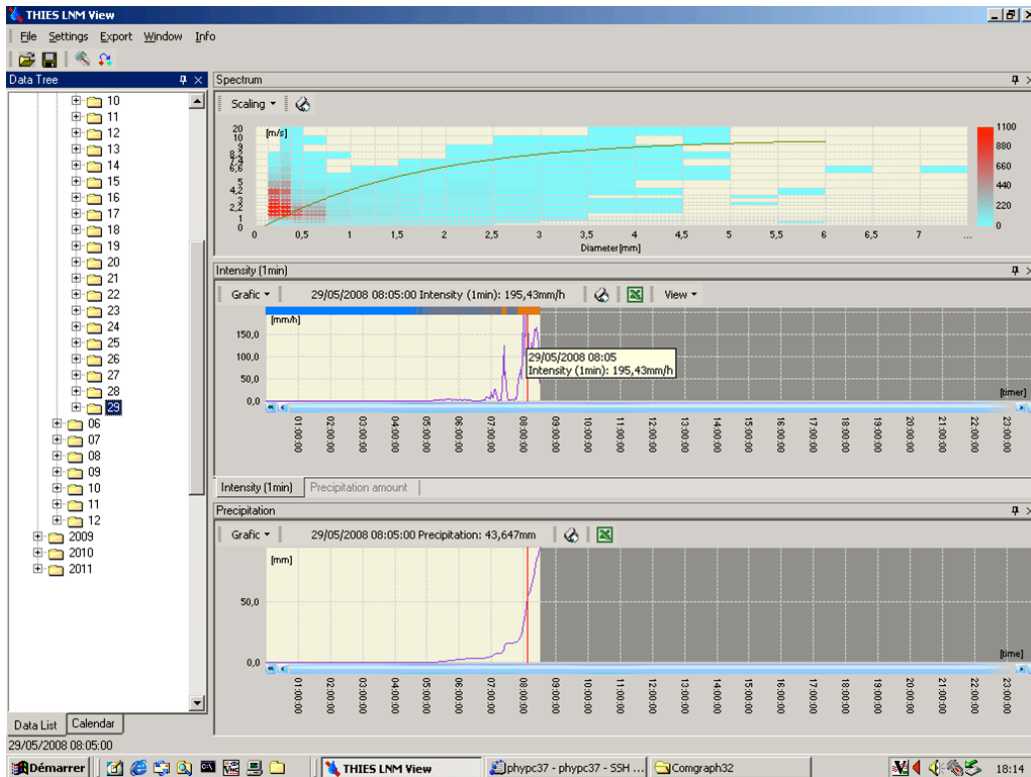


Figure 13 : Ecran obtenu avec le logiciel de visualisation du disdromètre à laser (THIES) - le cas du 29 mai 2008, Sart Tilman-ULG. Légende : cf figure 3

Tableau 1 : Suivi pluviographique des précipitations intenses et orageuses du 29 mai 2008 au matin, au Sart Tilman-ULG,

Heure TU+2	Pluviographe SETHY Sart Tilman	Pluviographe Météoroutes Sart Tilman	Disdromètre ULg-climato Sart Tilman
de 05 à 06 h	0 mm	0 mm	0 mm
de 06 à 07 h	2.5 mm	2.4 mm	2.4 mm
de 07 à 08 h	3.3 mm	3.0 mm	2.7 mm
de 08 à 09 h	24.2 mm	25.4 mm	26.2 mm
de 09 à 10 h	55.6 mm	60.2 mm	- de 61 mm*
de 10 à 11 h	0.9 mm	1.0 mm	-
de 11 à 12 h	4.9 mm	4.0 mm	-
de 12 à 13 h	0 mm	0 mm	-

* panne de courant suite à inondation du poste électrique dans le bâtiment de la géographie.

Le jeudi 29 mai 2008 a eu lieu en région liégeoise un événement pluvieux extrême qui a eu des conséquences (humaines et financières) douloureuses. Pour rappel, une pluie de courte durée, mais très intense (lame d'eau d'environ 90 litres par mètre carré en moins de 2 heures) sur le domaine du Sart Tilman a provoqué des inondations très soudaines (communément appelées « flash-floods ») aux abords des ruisseaux descendant du Sart Tilman vers la Meuse comme vers l'Ourthe (cf photo 6, figure 6 et tableau 1). De plus amples renseignements sur cet épisode peuvent être obtenus sur le lien : <http://hdl.handle.net/2268/104800>

Conclusion et recommandation

Le disdromètre à laser est un instrument de travail unique et complémentaire à d'autres moyens de mesures comme les radars car il permet de mesurer avec précision les précipitations de bruine, ce que le radar ne permet pas. Il permet en outre de mesurer les précipitations provenant de nuages très bas. Il est très utile pour les études d'ordres climatologiques et/ou hydrologiques à l'échelle locale et régionale s'il est utilisé en réseau de mesures. Il a démontré sa fiabilité tout au moins pour les situations que nous avons analysées et cela depuis plus de 6 ans.

Il est toutefois exigeant en équipement complémentaire (alimentation électrique et connexion ordinateur en continu).

De nombreuses recherches restent à mener avec ce type d'instrument dans les recherches menées par la communauté des climatologues de terrain.

Bibliographie sommaire

Aquapôle –ULg (09/2009), *Etude et modélisation des impacts hydrologiques de pluies exceptionnelles dans un environnement vallonné et boisé*. Rapport final - <http://hdl.handle.net/2268/104800>

ARMETTA, A. (2006), *Etude bibliographique des appareils de mesures de précipitations installés au Col de Porte*. Rapport de stage d'été au LTHE sous la direction d'Alexis Berne et Gilles Molinié.

BOUDEVILLAIN B., ARMETTA A., BERNE A., CARRIER P., CHAPON B., MOLINIE G., PAQUET E. ET QUIQUET A. (2007), *Etude comparée de la mesure granulométrique et volumétrique des précipitations. Rapport de synthèse*. Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) et Direction Technique Générale d'Electricité de France (DTG/EDF). Référence WEB : http://www.obs.ujf-grenoble.fr/risknat/pages/programme_dep/docs/lthe/2006_Boudevillain-rapport_final.pdf.

OFFLER-MANG M., JOSS J. (2000), *An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology (JTECH), American Meteorological Society (AMS), Boston, États-Unis, vol. 17, p. 130-139

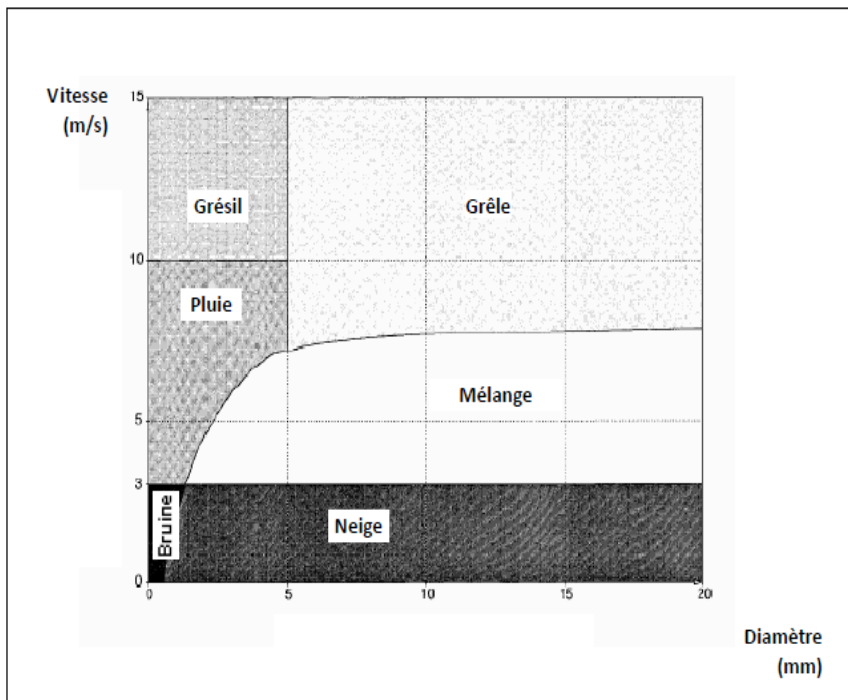
SOUGNEZ A. (2010), *Caractérisation des précipitations atmosphériques sur le campus universitaire du Sart Tilman, Liège. Utilisation d'un disdromètre à laser*. Mémoire de Master en Sciences Géographiques, orientation climatologie, Université de Liège, 113p.

THIES A. (Ed) (2004), **Laser Precipitation Monitor (LPM) version Instruction for Use 5.4110.X0.X00 - Software version 1.08 02/2004** (manuel d'utilisation du disdromètre à laser "Thies Clima"). Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen, Allemagne, 28 p.

ANNEXE

Particle diameter class			Particle speed class		
Class	Diameter [mm]	Class width [mm]	Class	Speed [m/s]	Class width [m/s]
1	=> 0.125	0.125	1	=> 0.000	0.200
2	=> 0.250	0.125	2	=> 0.200	0.200
3	=> 0.375	0.125	3	=> 0.400	0.200
4	=> 0.500	0.250	4	=> 0.600	0.200
5	=> 0.750	0.250	5	=> 0.800	0.200
6	=> 1.000	0.250	6	=> 1.000	0.400
7	=> 1.250	0.250	7	=> 1.400	0.400
8	=> 1.500	0.250	8	=> 1.800	0.400
9	=> 1.750	0.250	9	=> 2.200	0.400
10	=> 2.000	0.500	10	=> 2.600	0.400
11	=> 2.500	0.500	11	=> 3.000	0.400
12	=> 3.000	0.500	12	=> 3.400	0.800
13	=> 3.500	0.500	13	=> 4.200	0.800
14	=> 4.000	0.500	14	=> 5.000	0.800
15	=> 4.500	0.500	15	=> 5.800	0.800
16	=> 5.000	0.500	16	=> 6.600	0.800
17	=> 5.500	0.500	17	=> 7.400	0.800
18	=> 6.000	0.500	18	=> 8.200	0.800
19	=> 6.500	0.500	19	=> 9.000	1.000
20	=> 7.000	∞	20	=> 10.000	10.000

Classes des diamètres et vitesses des hydrométéores détectés par le disdromètre à laser THIES (manuel d'utilisation de l'instrument, p.21).



d'après Grossklaus *et al.*, 1998

Diagramme de discrimination des types d'hydrométéores (vitesse de chute et diamètre des particules).