

Contribution du brouillard au dépôt atmosphérique de radionucléides

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire



Université
de Toulouse



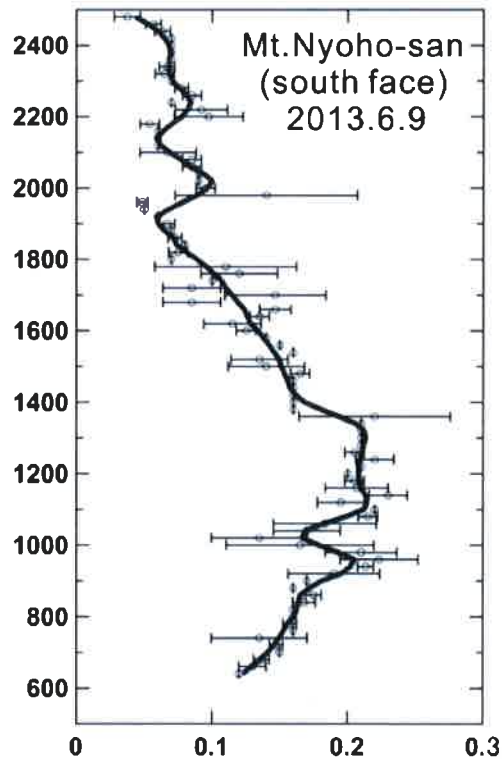
Toujours un temps d'avance



Jackie TAV, Olivier MASSON
et Frédéric BURNET

Contexte de l'étude : Fukushima

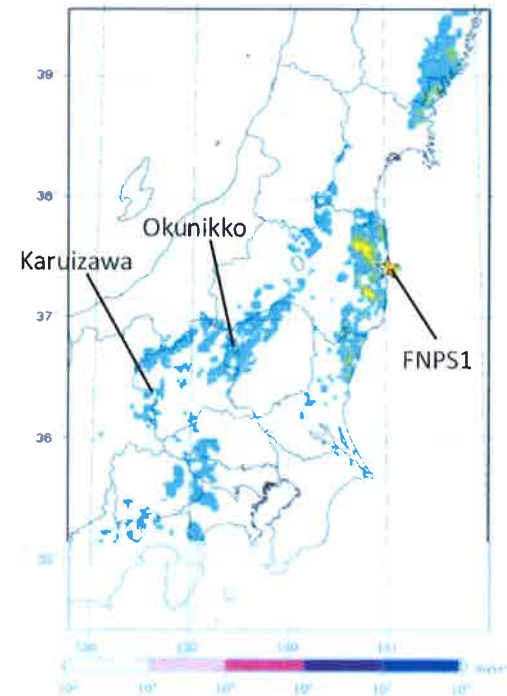
Observations : Kaneyasu et Hososhima, (2015)



Niveaux élevés de débit de dose
=> **interaction nuage /relief**

Modélisation : Katata *et al.*, (2014)

(a) Fog deposition of ^{137}Cs at 0:00 on 1 April 2011



Modèle simple de dépôt par brouillard => **diminution de l'écart modèle/mesure ^{137}Cs**

Objectifs de l'étude

- **Quantifier le dépôt occulte** selon différents types de brouillard et sur différentes végétaux (choux, colza, cyprès, herbe) grâce à la **méthode de pesée**.
- En supposant que les gouttelettes de brouillard se comportent comme des aérosols secs supermicroniques, détermination de **vitesse de dépôt**.
- Déterminer la **concentration en radionucléides** de l'eau de brouillard (comparaison avec l'eau de pluie) et **contribution du brouillard aux retombées totales**.



campagne 2015 : 2 épisodes
campagne 2016 : 7 épisodes

Plateforme OPE de l'ANDRA à Houdelaincourt (Meuse)



Equipements des sites de mesure :

- **Visibilimètre** : visibilité (m)
- **PVM Gerber** : Contenu en eau liquide dans l'air (LWC) en g/m^3
- **Fog Monitor (FM 120)** : distribution en taille des gouttelettes
- **Balances de précision** : masse d'eau déposée
- **Collecteurs de nuage/brouillard**



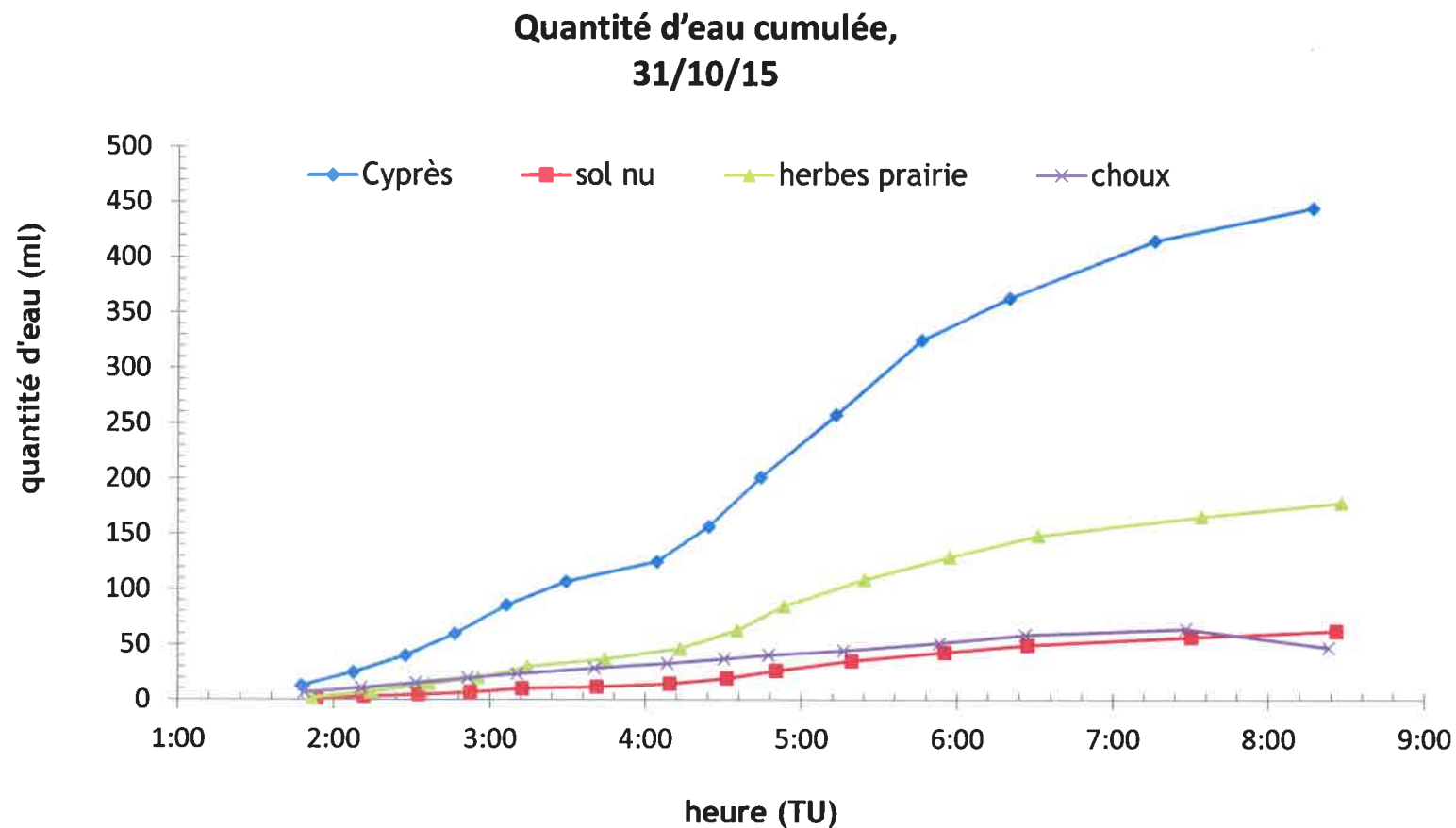
La méthode de pesée



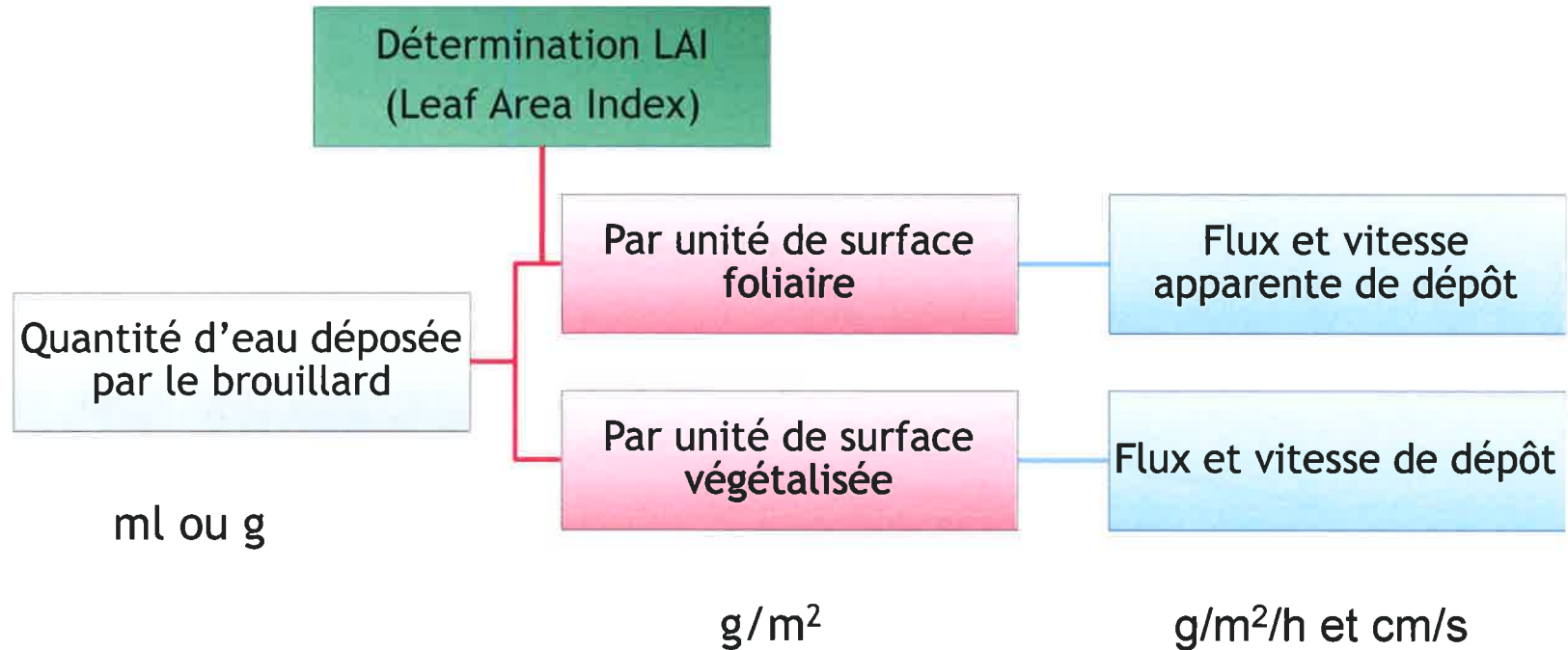
Pesée toutes les 10 minutes



Mesure de la masse d'eau déposée par brouillard sur les végétaux



$$LAI = \frac{\text{surface foliaire totale}}{\text{surface au sol}}$$



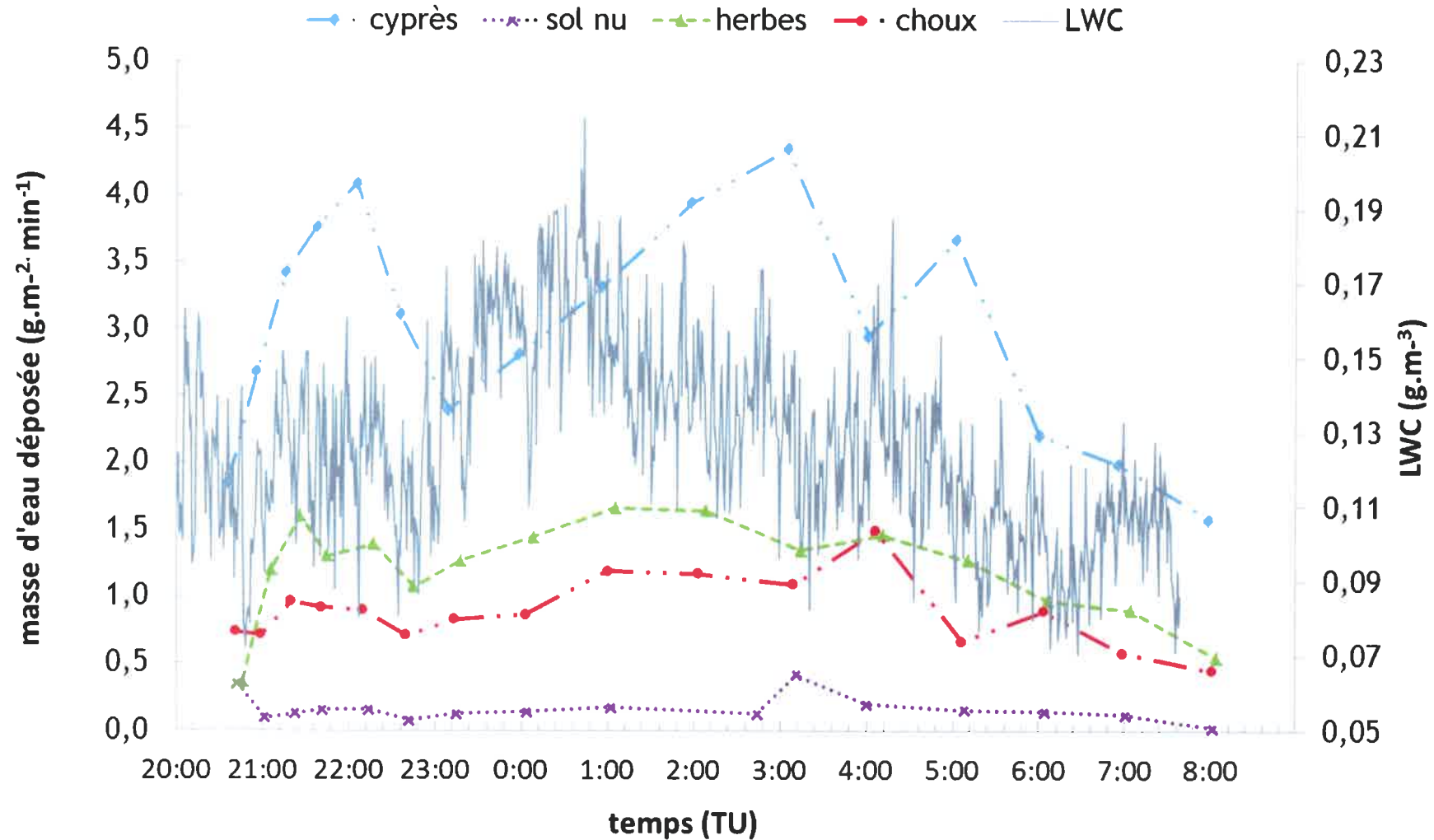
$$V_d = \frac{\text{Flux}}{LWC}$$

LWC = contenu eau liquide dans l'air (g.m⁻³)

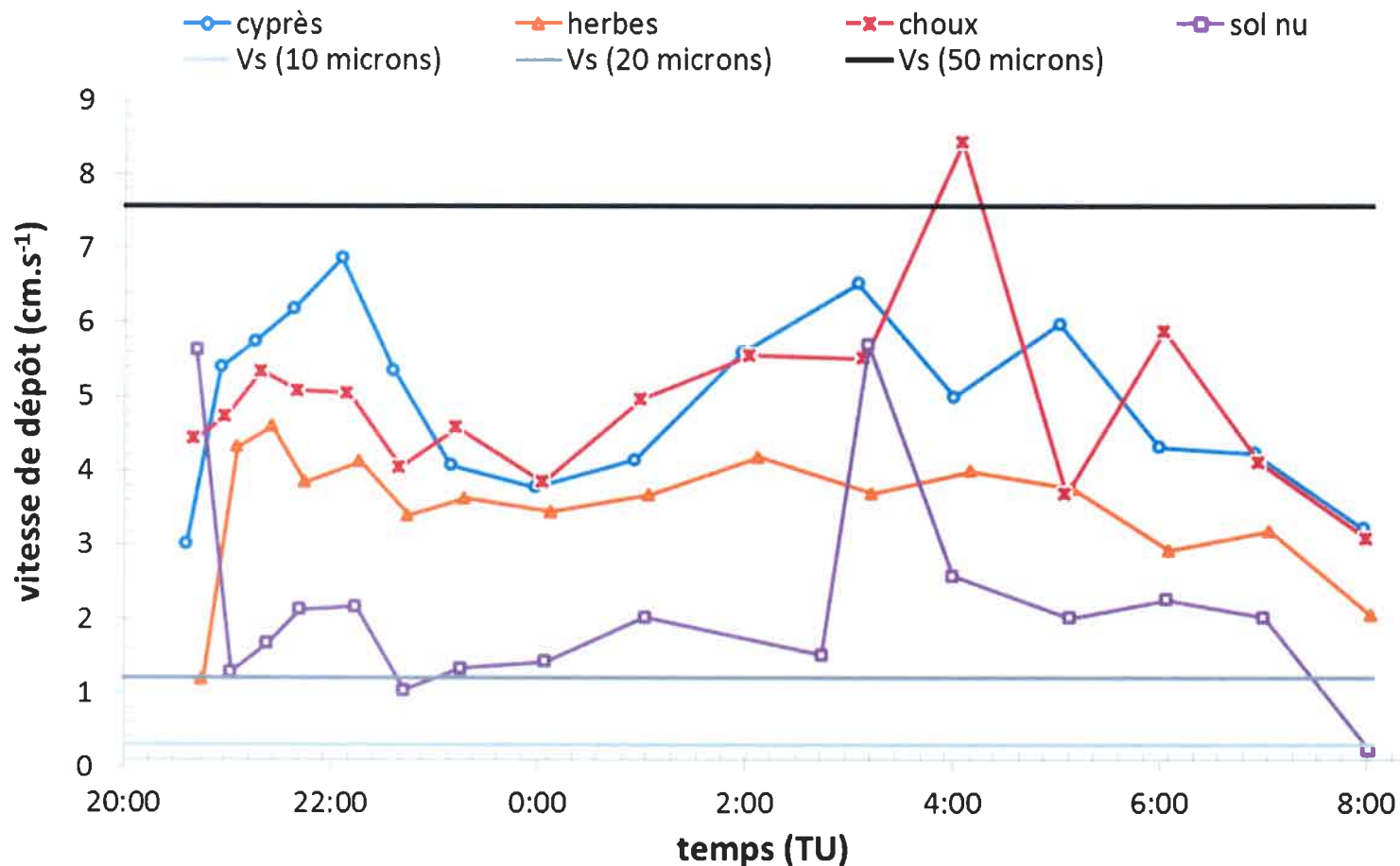
	LAI (m ² .m ⁻²)	Surface foliaire (m ²)	Références
Cyprès	20	4,9	Méthode directe : comptage du nombre de feuilles
Choux	2,4	0,6	Revue bibliographique et expertise des paramètres de transfert foliaire dans la biosphère, C. Colles et C. Madoz-Escande (Rapport IRSN)
Herbes	4,5	1	

Quantification du dépôt par brouillard

Quantité d'eau déposée **par unité de surface au sol** pour l'épisode de brouillard du 01/11/2015 au 02/11/2015, à Houdelaincourt



Vitesse de dépôt avec LAI pour l'épisode de brouillard du 01/11/2015 au 02/11/2015



$$V_d = V_s + V_t = \frac{Flux}{LWC}$$

Vitesse de dépôt des gouttelettes de brouillard

Valeurs de vitesse de dépôts des gouttelettes de brouillards obtenues par mesure et modélisation sur différentes espèces végétales (Katata, 2015)

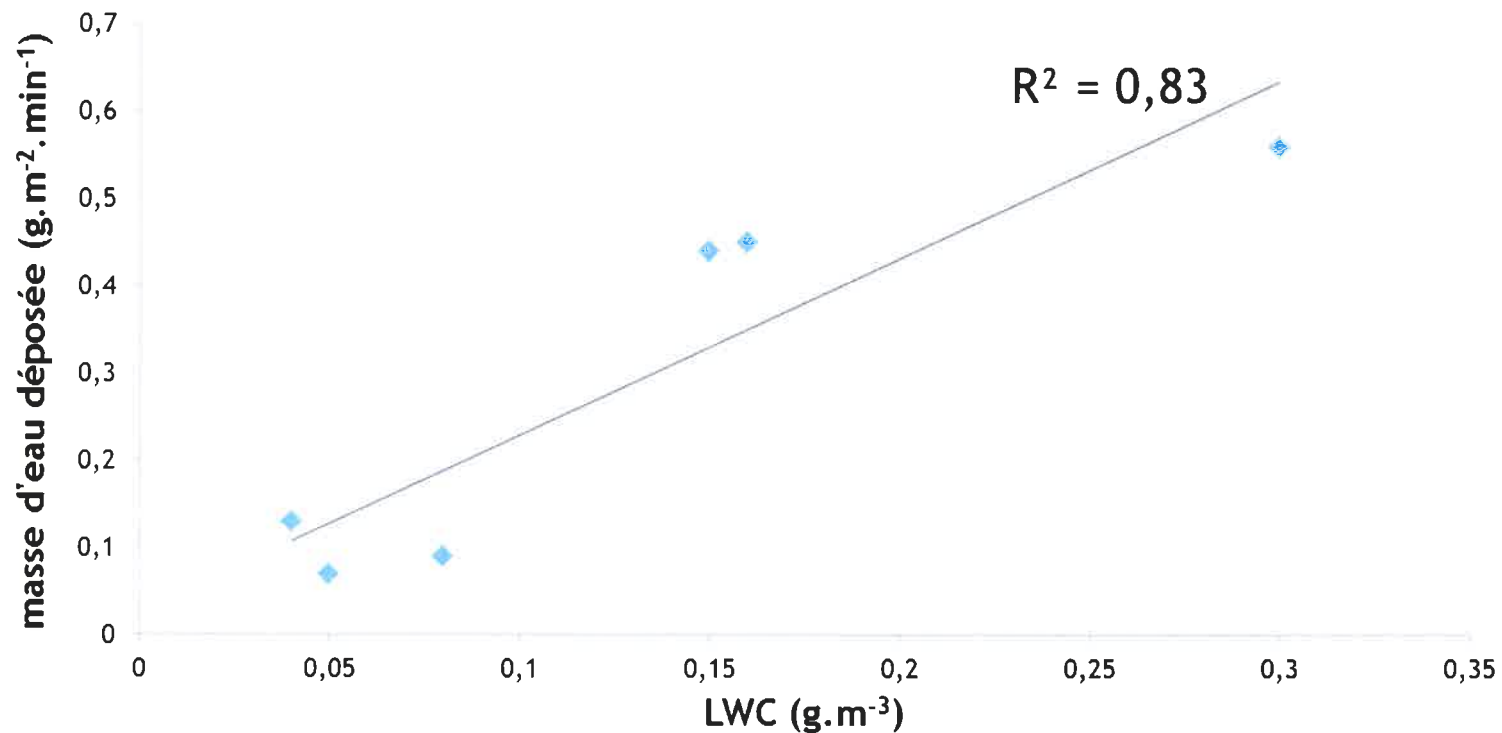
Table 3. Existing Measurements Related to Fogwater Deposition by Various Methods Over Different Vegetation Types^a

No.	References	Vegetation Species	Location/Method (Number of Collectors for TF and CWB) ^b	<i>h</i> (m)	Total LAF	Total LAD	<i>U</i> (m s ⁻¹)	LWC (g m ⁻³)	<i>d_{pm}</i> (μm)	<i>V_d</i> (cm s ⁻¹)	Removal Efficiency (A _r)
Grassland											
1g	<i>Dollard and Unsworth</i> [1983]	Grass	Mou					0.05–0.22	20	2.8–6.4	0.0166
2g	<i>Gallagher et al.</i> [1988]	Moorland						0–0.24	6–10	4.2–6.7	0.0078
3g	<i>Fowler et al.</i> [1990]	Moorland	Great Dun Fell, UK/WL+G	0.2	5	25	9.0	0.24–0.40	10	2.1–3.9	0.0033
4g	<i>Cameron et al.</i> [1997]	Tussock grass	Dunedin, New Zealand/WL	0.8	3	3.75	4–9	0.14	14	4.0–8.0	0.0092
5g	<i>Thalmann et al.</i> [2002]	Grass & crop	Kerzersmoos, Switzerland/EC	0.3	≈3	≈10	1.1	0.061	10–20	2.7	0.0245
Needle leaf forest											
1n	<i>Dasch</i> [1988]	Spruce-fir	Clingmans Peak, USA/TF (6)	10	6	0.6	3.7–4.5	0–0.28	> 6	7.7	0.0188
2n	<i>Dasch</i> [1988] ^d	Spruce-fir	Clingmans Peak, USA/TF (7)	10	6	0.6	3.7–4.5	0–0.28	> 6	52	0.127
3n	<i>Mueller et al.</i> [1991] ^d	Spruce	Mount Whitetop, USA/CWB (24)	15	2	0.13	7–11	0.17–0.26	–	34	0.0376
4n	<i>Mueller et al.</i> [1991]	Spruce	Mount Whitetop, USA/CWB (25)	17.5	3.6	0.21	4–7.5	0.05–0.25	–	62	0.108
5n	<i>Beswick et al.</i> [1991]	Spruce	Dunslair Heights, Scotland/EC	4.5	10	2.2	2.7–6.1	0.05–0.35	4.4–6.4	1.0–2.0	0.0034
6n	<i>Gallagher et al.</i> [1992]	Spruce	Dunslair Heights, Scotland/EC	4.5	10	2.2	2.7–6.1	0.2	5–9	10	0.0067
7n	<i>Pahl et al.</i> [1994]; <i>Wolrock et al.</i> [1994]	Spruce						0.34	8–12	19–39	–
8n	<i>Vong and Kowalski</i> [1995]	Fir	Ceeka Peak, USA/EC	6.8	7.0	1.03	4–10	< 0.4	15	1–3	0.0029
9n	<i>Vermeulen et al.</i> [1997]	Fir	Speulderbos, Netherlands/EC	20	11	0.55	1–4	< 0.4	20	0–10	0.020
10n	<i>Kowalski and Vong</i> [1999]	Fir	Ceeka Peak, USA/EC	6.8	7.0	1.03	2–10	0.2–1.0	15–19	0–8	0.0067
11n	<i>Kobayashi et al.</i> [2002] ^d	Cedar	Mount Rokko, Japan/TF (2)	13	4.5	0.35	2–8	0.1–0.3	–	92	0.154
12n	<i>Burkard et al.</i> [2002]; <i>Klemm and Wrzesinsky</i> [2007]	Spruce	Waldstein, Germany/EC	20	6.4	0.32	0–8	0.16	9–15	0–20	0.0242
13n	<i>Thalmann et al.</i> [2002]	Spruce	Waldstein, Germany/EC	20	6.4	0.32	3.3	0.066	9–15	7.5	0.0226
14n	<i>Beidenwieden et al.</i> [2008]	Spruce	Yuan Yang Lake, Taiwan/EC	10.3	6.3	0.61	1.5	0.18	5–25	4.4 ^e	0.0029
15n	<i>Katata et al.</i> [2011] ^f	Cedar	Mount Rokko, Japan/TF (2)	13	4.5	0.35	2–8	0.1–0.3	–	23–31	0.0452
Mixed and broad-leaved forests											
1b	<i>Burkard et al.</i> [2003] ^g	Beech, spruce, ash, etc.	Lägeren, Switzerland/EC	30	1.7–5.5	0.06–0.18	2.5	0.06	10	0.9	0.0036
2b	<i>Burkard et al.</i> [2003] ^h	Beech, spruce, ash, etc.	Lägeren, Switzerland/EC	30	1.7–5.5	0.06–0.18	0.6	0.14	14	4.8	0.080
3b	<i>Holwerda et al.</i> [2006]	Bignoniaceae etc.	Pico del Este, Puerto Rico/EC	3	2.1	0.7	6.3	0.08	13.8	14	0.022
4b	<i>Holwerda et al.</i> [2006]	Bignoniaceae etc.	Pico del Este, Puerto Rico/CWB (20)	3	2.1	0.7	6.3	0.08	13.8	83	0.131
5b	<i>Eugster et al.</i> [2006] ⁱ	Bignoniaceae etc.	Pico del Este, Puerto Rico/EC	3	2.1	0.7	6.3	0.08	13.8	72	0.116
6b	<i>Schmid et al.</i> [2011]	Epiphytes, etc.	Monte Verde, Costa Rica/EC	21	> 5	> 0.24	2.6	0.13	7–12	10.4	0.040
7b	<i>Yamauchi et al.</i> [2013] ^d	<i>Betula ermanii</i>	Lake Mashu, Japan/TF (3)	10	1.5	0.15	3.7–5.7	0.04–0.07	12–18	75	0.160

herbes $V_d = 1 \text{ à } 4 \text{ cm.s}^{-1}$

cyprés $V_d = 2 \text{ à } 4 \text{ cm.s}^{-1}$

Masse d'eau déposée en fonction du LWC

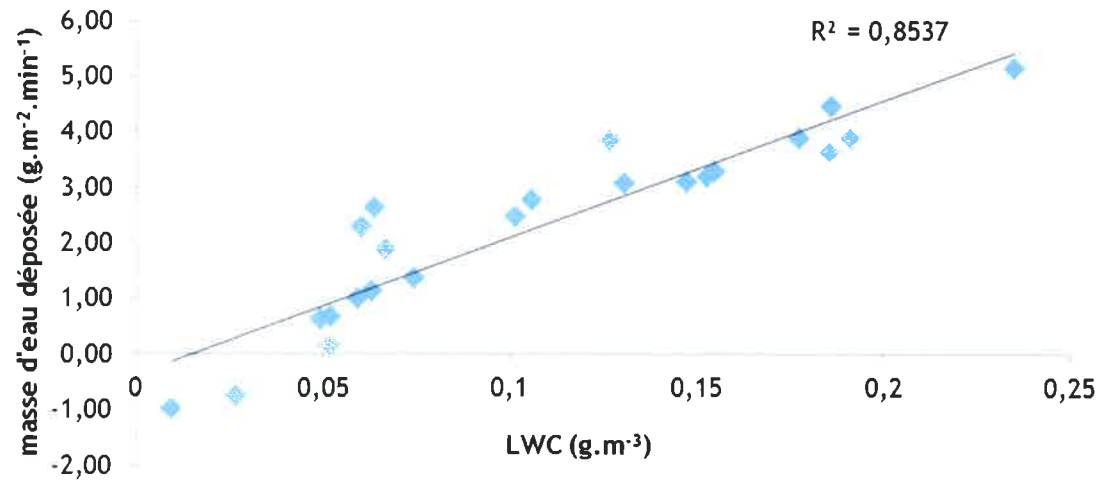


A partir du LWC, possibilité d'estimer le dépôt moyen pour un épisode de brouillard.

$$M \approx 2 \times \text{LWC}$$

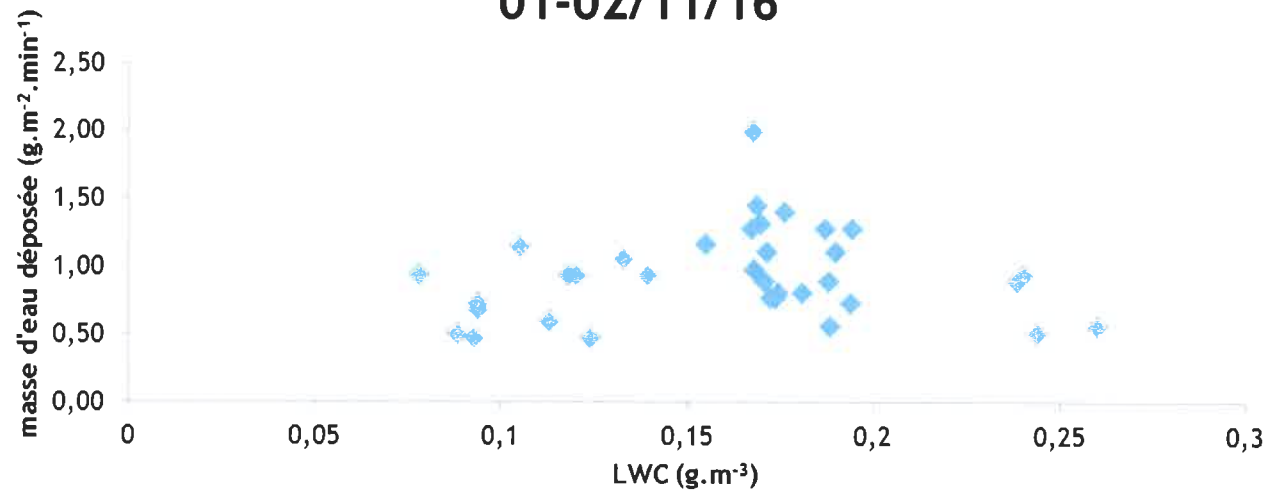
Résultats campagne 2016 : relation dépôt/LWC

04/10/16



Relation Dépôt/LWC au sein d'un même épisode variable d'un brouillard à un autre

01-02/11/16



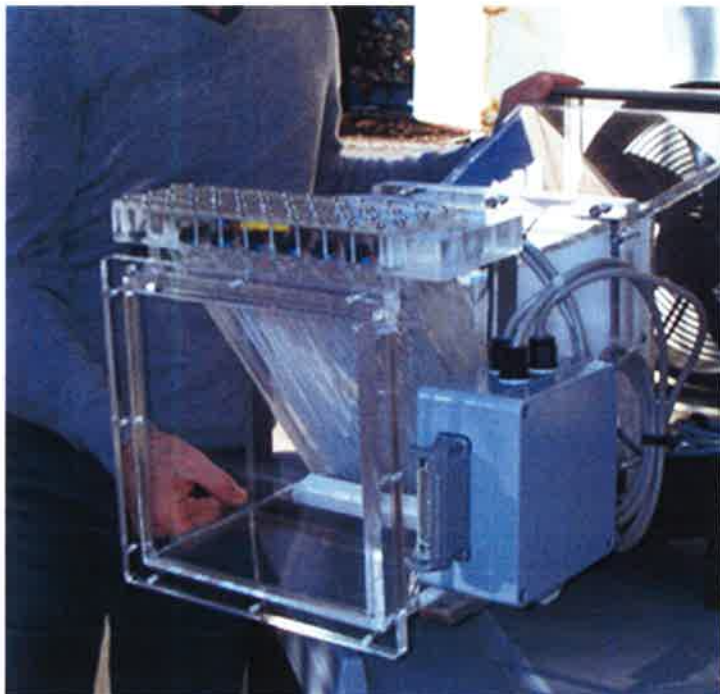
Résultats campagne 2016 : bilan sur les 7 épisodes

Date	Début et Fin	LWC moyen (g.m ⁻³)	N (#.cm ⁻³)	% de gouttelettes de 20 à 50 µm	Dépôt moyen (g.m ⁻² .min ⁻¹)
04 Oct. 2016	02:30-6:30	0,15 (0/0,57)	236 (84/525)	3 (0/10,5)	0,44
17-18 Oct. 2016	18:00-02:30	0,04 (0/0,3)	150 (0/555)	0,1 (0/2)	0,13
27 Oct. 2016	02:00-08:00	0,3 (0/0,9)	136 (2/329)	20 (0/72)	0,56
28 Oct. 2016	05:00-09:30	0,08 (0/0,3)	75 (0/367)	10 (0/56)	0,37
01 Nov. 2016	08:10-09:40	0,07 (0/0,18)	345 (0/608)	0,8 (0/5,8)	-0,3
01-02 Nov. 2016	18:00-02:00	0,16 (0,03/0,29)	313 (120/549)	2 (0,5/7)	0,45
02 Déc. 2016	06:00-10:00	0,05 (0/0,18)	286 (0/672)	0,5 (0/1,7)	0,07

Facteur influençant le dépôt : **LWC** via le nombre de très grosses gouttelettes (20 à 50 µm)

Collecte de l'eau de brouillard pour la mesure des activités volumique en radionucléides

- Débit maximum : 3410 m³/h



Collecteur d'eau de brouillard
au sein du LEREN, inspiré du
Active Strand Cloudwater
(CASCC) du California Inst
Technology

Comparaison du dépôt par le brouillard et du dépôt par la pluie (de novembre 2014 à février 2015)

	dépôt d'eau (L/m ²)	Concentration en ¹³⁷ Cs (mBq. L ⁻¹)	dépôt ¹³⁷ Cs (mBq/m ²)	dépôt ²¹⁰ Pb (mBq/m ²)
brouillard	2,4	0,92	2,0	3171,6
pluie	364,9	0,045	18,4	24018,2
rapport brouillard/pluie* brouillard/retombées totales **	<1*	X 20*	11%**	13%**

Durée brouillards enregistrés : 88 heures pour 18 épisodes

➤ Conclusions :

- Contribution non négligeable du brouillard au dépôt de radionucléides (~10% des retombées totales).
- La vitesse de dépôt dépend du type de surface, comportement similaire à des aérosols secs supermicroniques.
- Processus de dépôt important : sédimentation des très grosses gouttelettes (>20 μ m).
- Mise en évidence d'une relation linéaire entre le dépôt moyen et le LWC moyen : possibilité de modéliser le dépôt à partir du LWC.

➤ Perspectives :

- Influence de la turbulence sur la vitesse de dépôt ? En particulier sur les petites gouttelettes.
- Utilisation des valeurs de vitesse de dépôt dans un modèle de prévision des retombées en situation post-accidentelle (IRSN) et de prévision brouillard (Météo-France).

Références

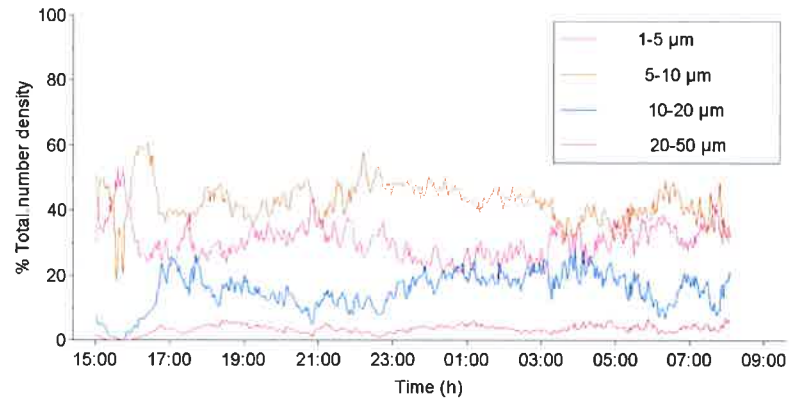
Hososhima M., Kaneyasu N., 2015. Altitude-dependent distribution of ambient gamma dose rates in a mountainous area of Japan caused by the Fukushima nuclear accident. *Environ Sci Technol.*, 2015, 49 (6), 3341-3348.

Katata, G., 2014. "Fogwater deposition modeling for terrestrial ecosystems: A review of developments and measurements." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119(13): 2014JD021669.

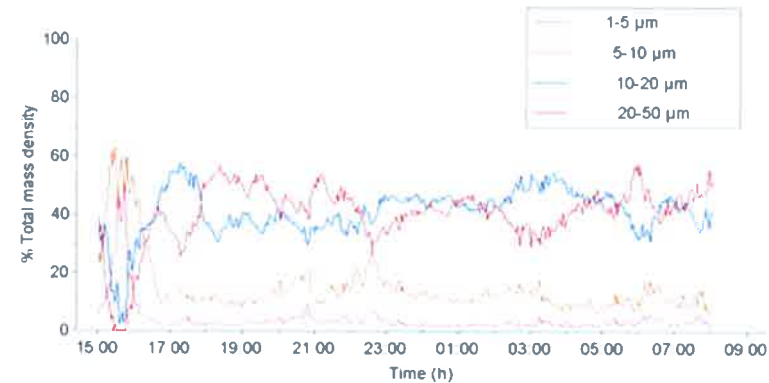


Merci de votre attention

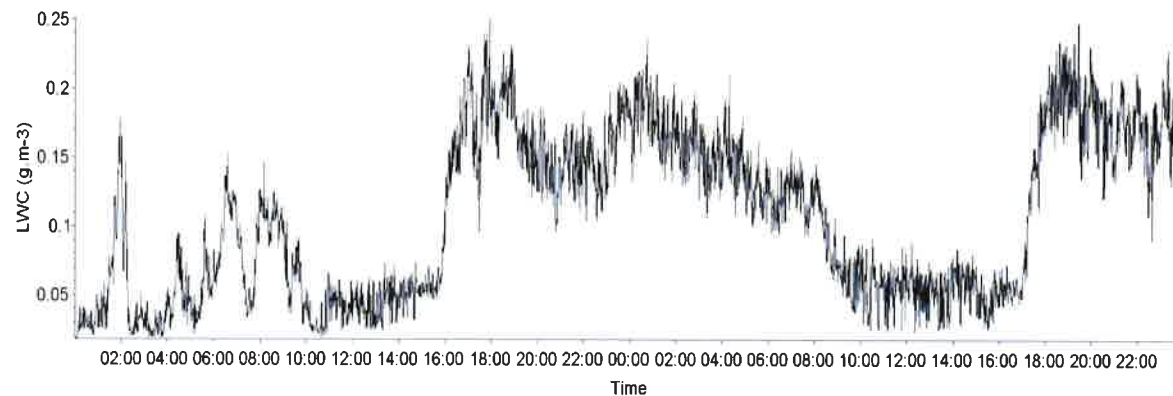
Caractéristiques du brouillard, 1-2 Novembre 2015



Contribution de différentes classes de taille de gouttelettes au nombre de gouttelettes



Contribution massique de différentes classes de taille de gouttelettes au LWC



Evolution du LWC