

15 ans d'observation du brouillard au SIRT: analyse statistique des processus pilotant sa formation, évolution et dissipation

Cheikh DIONE, Jean-Charles DUPONT, Martial HAEFFELIN, Jean-François RIBAUD

LMD-SIRT

Context and objective

- **Brouillard** – phénomène météo à fort impact socio-économique
- Complexité de la prévision par les NWP
- Besoin de production de services pour la prévision immédiate



Retard de vols



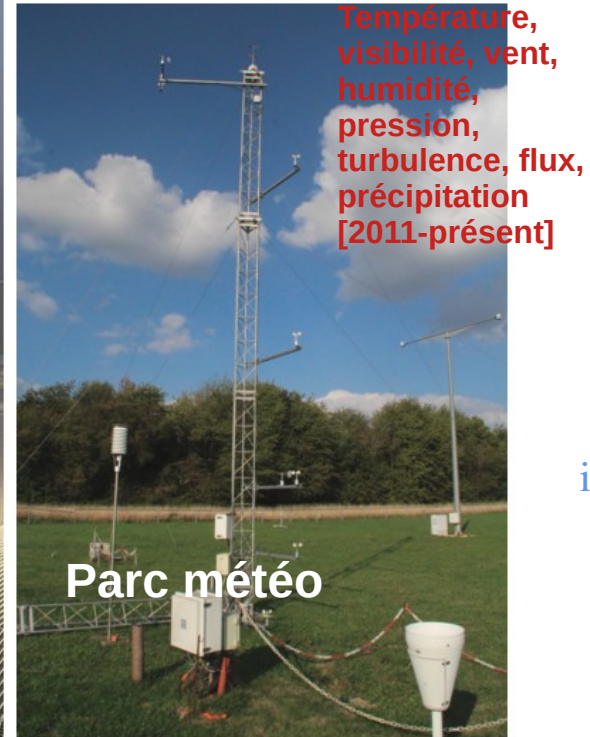
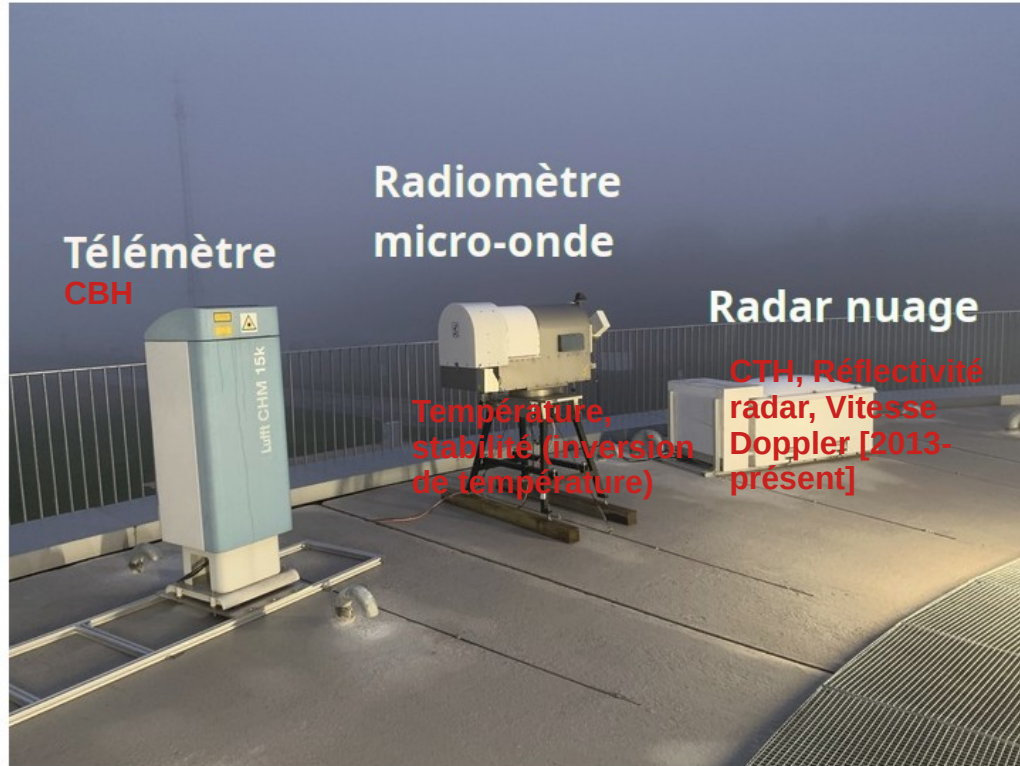
Accident routiers

Objectives:

- Identifier les différentes phases des brouillards
- Documenter les processus locaux et synoptiques pilotant les phases des brouillards
- Quantifier ces processus afin de produire un outil d'aide à la prise de décision pour la dissipation des brouillards – système d'alerte précoce de prévision du brouillard (Parafog v3)

Données

- Régimes de temps synoptiques + Stabilité (Radiomètre Hatpro) – **influence grande échelle**
- Synergie instrumentale – **processus locaux**)

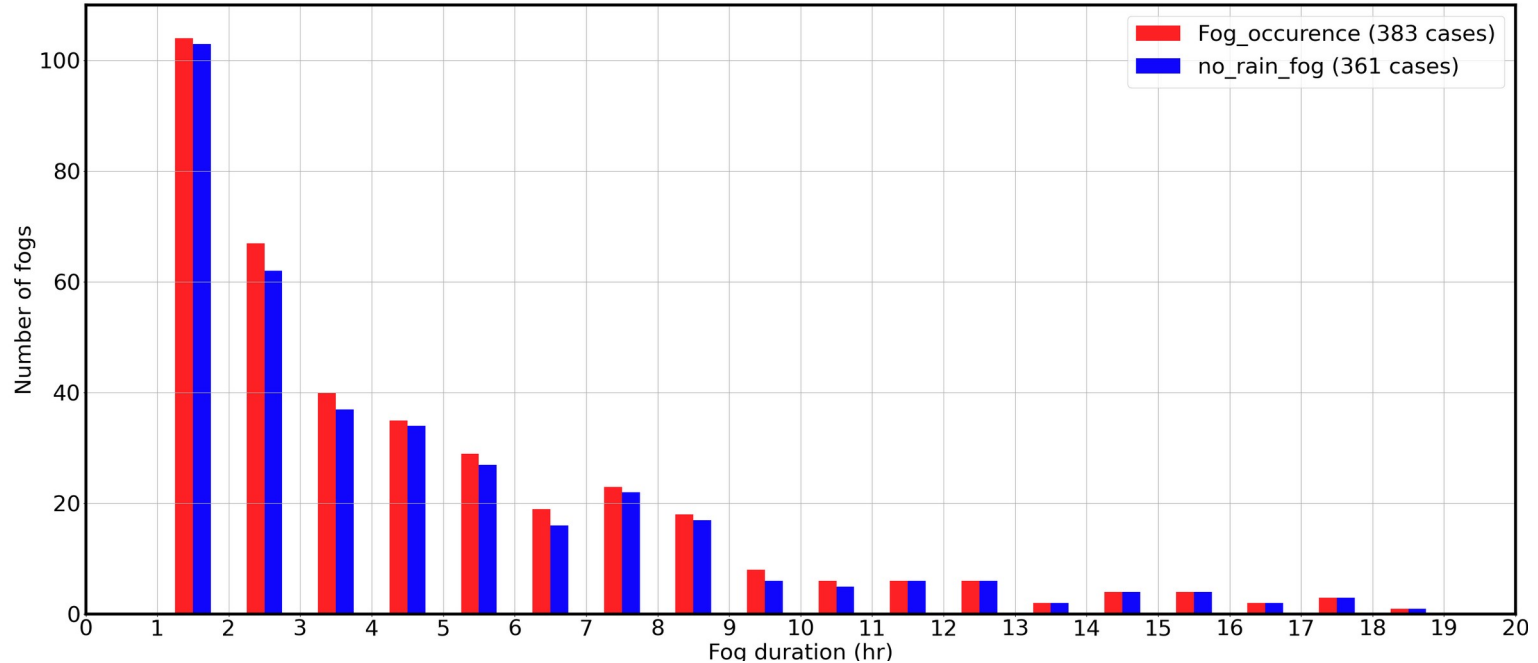


Synergie
instrumentale
2013-2023

Instruments in-situ et télédétection

Occurrence des brouillards

- Définition du brouillard – visibilité @ 4 m (*Tardif and Rasmussen (2007)*)
 - *Heures de formation et dissipation*



- 383 cas de brouillards observés au SIRTA
 - 22 cas de brouillards avec de la pluie pendant la vie du brouillard dont
 - 13 cas ayant une durée de vie < 4h
 - 2 cas ayant une durée de vie > 20h
- 6 cas ayant une durée de vie supérieure à 20h

Focus sur les brouillards radiatifs (RADs) et affaissements de stratus (STLs)

Occurrence des brouillards

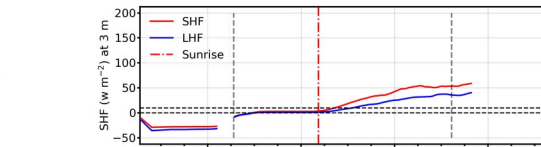
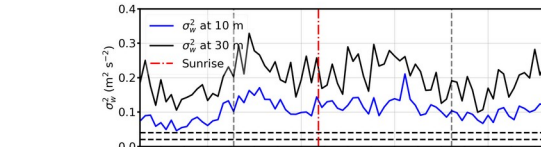
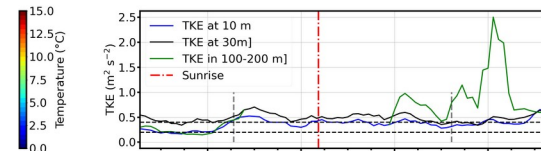
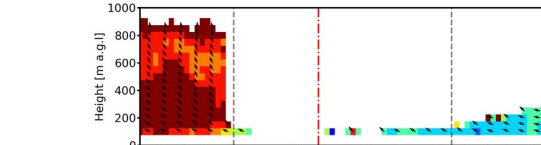
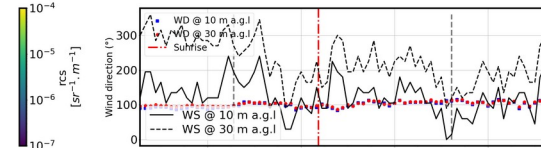
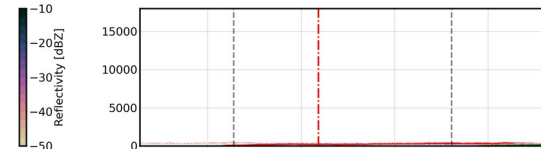
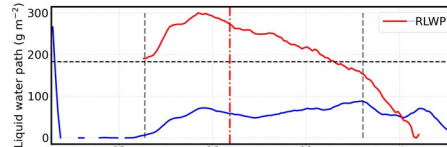
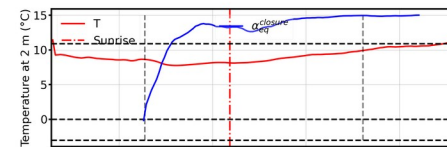
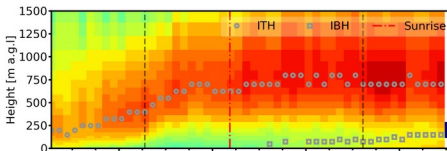
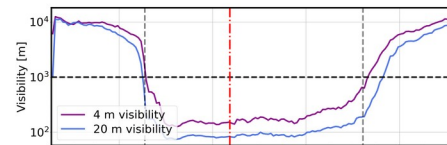
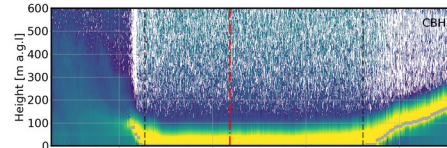
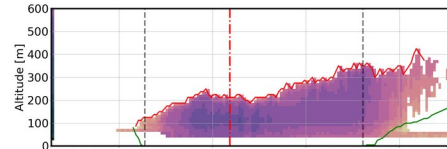
Radar
Basta

CL31

Visibilimètres
@ 4 & 20 m

MWR Hatpro

Modèle
conceptuel
Toledo et al., 2021



Météo : vent

Lidar vent

Météo :
turbulence

Flux de chaleur

26-10-2015

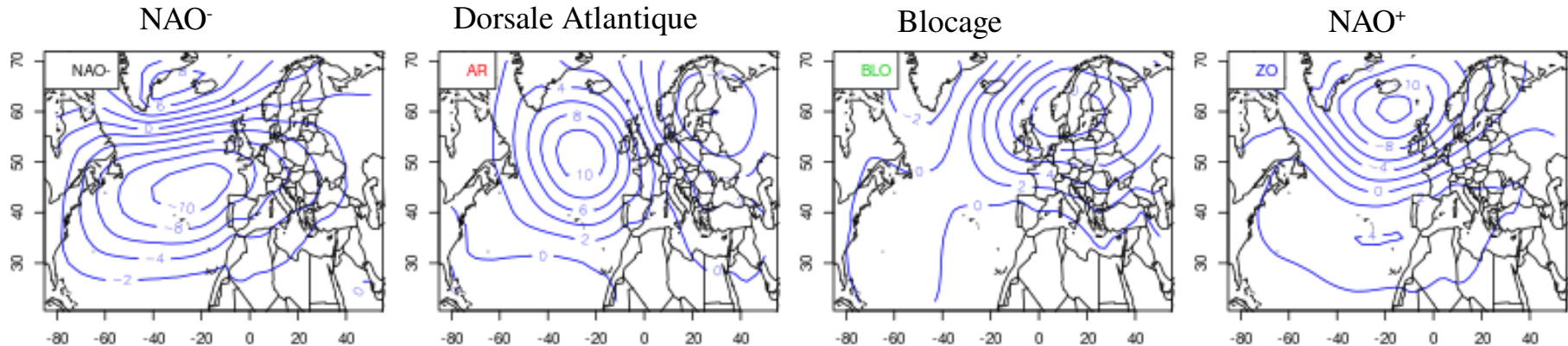
Identification type des brouillards

Influence de la grande échelle sur la vie des brouillards

Régimes de temps synoptiques

Définition des régimes basée sur [Yiou et al., 2004](#), anomalies de SLP réanalyses NCEP (2.5 x 2.5)

- Région Euro-Atlantique (80°W–30°E, 30°–70°N)
- Période 2011 - 2020



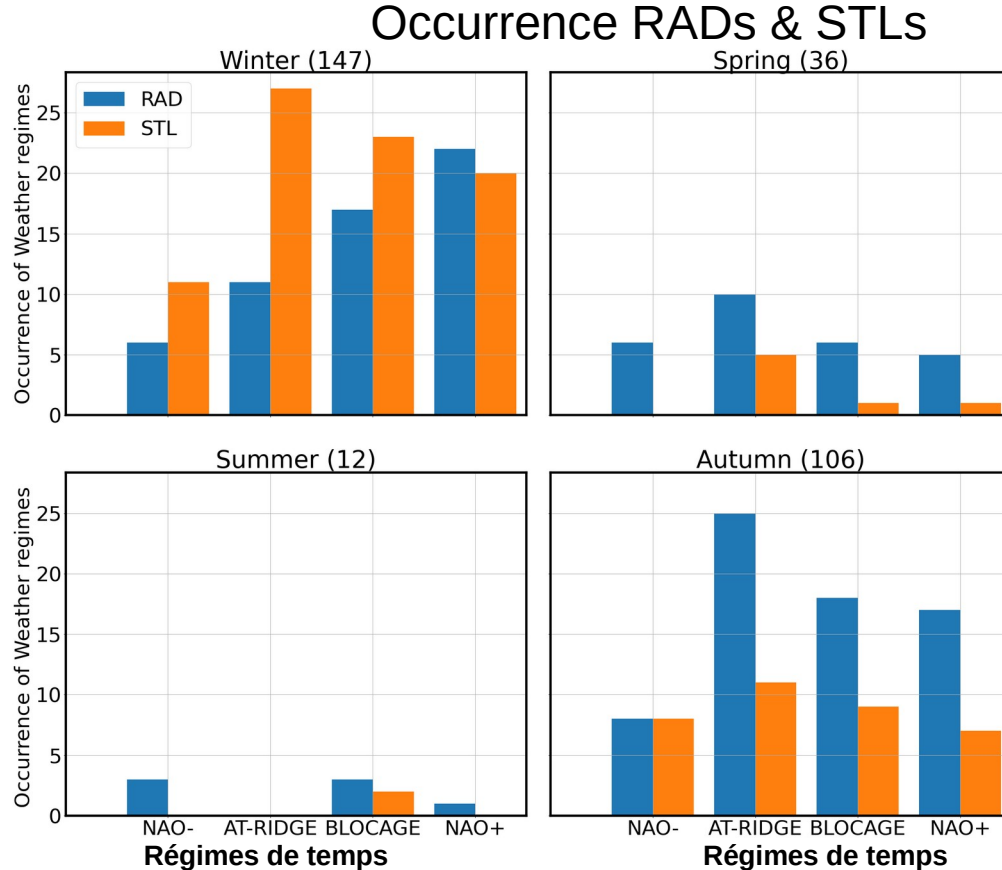
Quel influence des régimes sur la formation et durée de vie des brouillards au SIRTA ?

Influence de la grande échelle sur la vie des brouillards

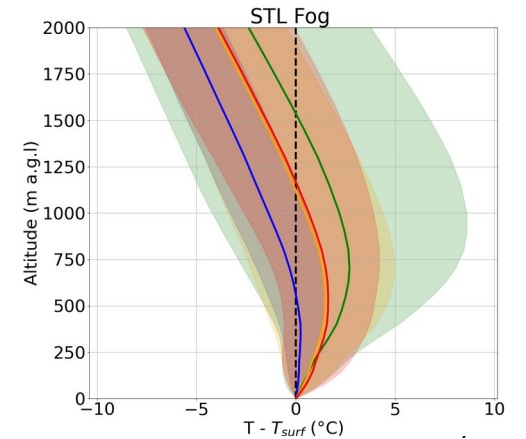
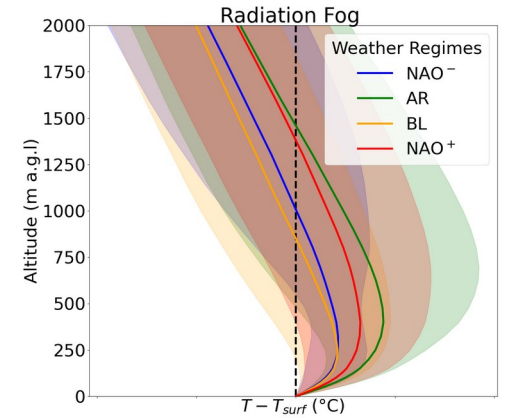
301 brouillards [2011-2020]

- Hiver 147 (48,8 %)
- Printemps (12%)
- Été (4 %)
- Automne (35,2 %)

- STLs plus fréquents en Hiver & Dorsale Atlantique
- RADs plus fréquents en Automne & Dorsale Atlantique – plus stable



Stabilité (2h avant brouillard)

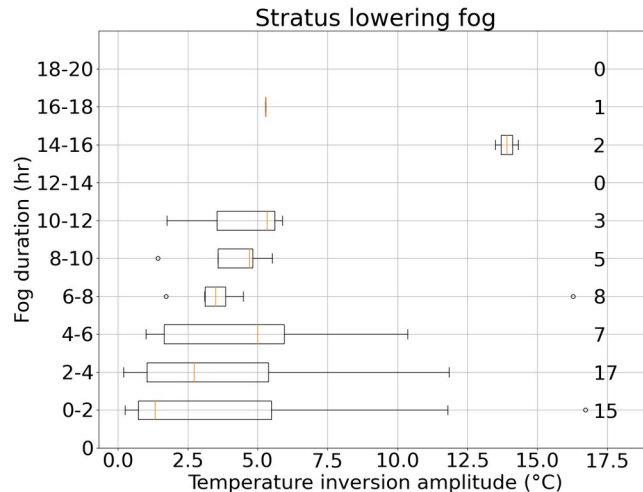
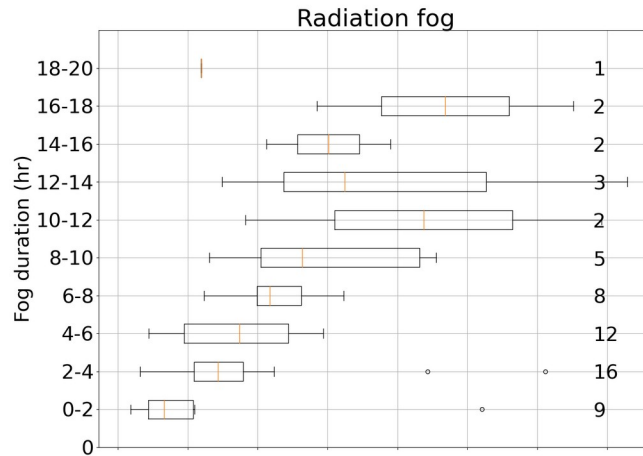


MWR Hatpro

Influence de la grande échelle sur la vie des brouillards

Lien entre inversion de température et durée de vie des brouillards

Automne & Hiver



- L'amplitude de l'inversion de température influence la durée de vie des brouillards radiatifs
- Régimes synoptiques pilotent l'amplitude de l'inversion de température – durée de vie du brouillard radiatif
- Lien complexe avec les STLs
- D'autres processus locaux ????

Influence des processus locaux sur la vie des brouillards

Type de formation

Brouillard radiatif (RAD)

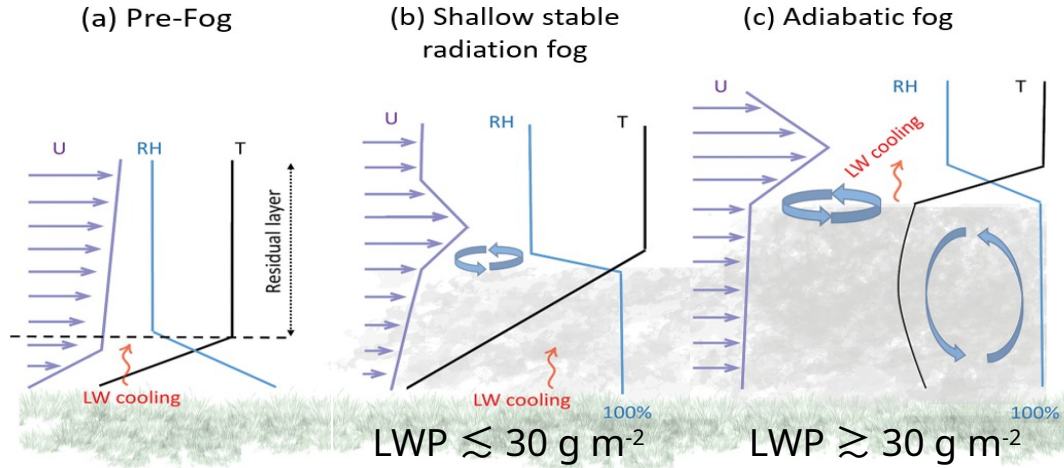
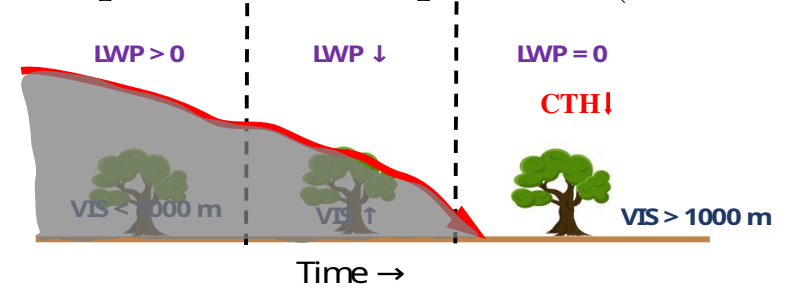


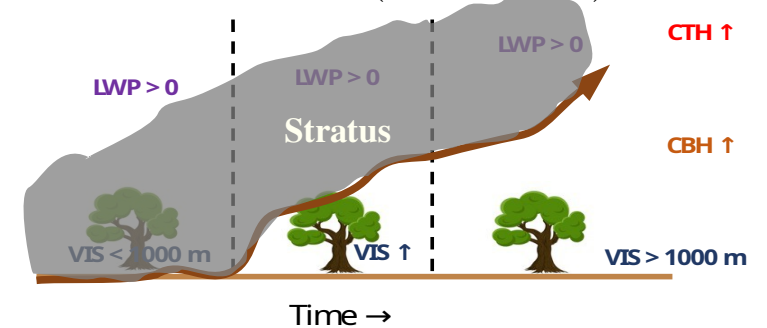
Figure adapted from Smith, D.K.E. et al., 2018

Type de dissipation

Déposition ou évaporation ($LWP=0$)



Élévation CTH: ($LWP > 0$)



Affaissement de stratus (STL)

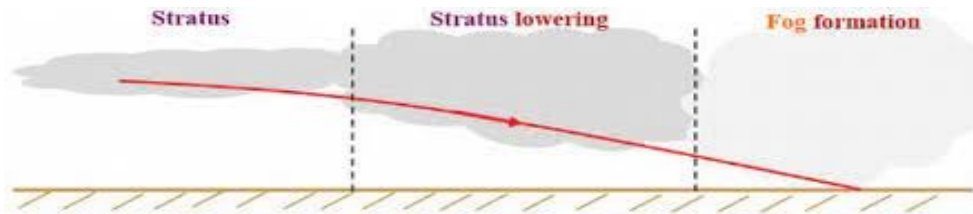


Figure from C. Lac (SOFOG-3D 2019)

Influence des processus locaux sur la vie des brouillards

Période 2013-2023

Type de brouillard	Occurrence	Dissipation diurne [06:00 – 18:00[Dissipation nocturne [18:00 – 06:00[
RAD très fin $CTH_{\max} \leq 75$ m	39	18	21
RAD fin $75 < CTH_{\max} \leq 150$ m	24	19	5
RAD épais $CTH_{\max} > 150$ m, transition stable/adiabatique	29	23	6
STL evaporating LWP =0 dissipation	15	5	10
STL lifting	84	51	33

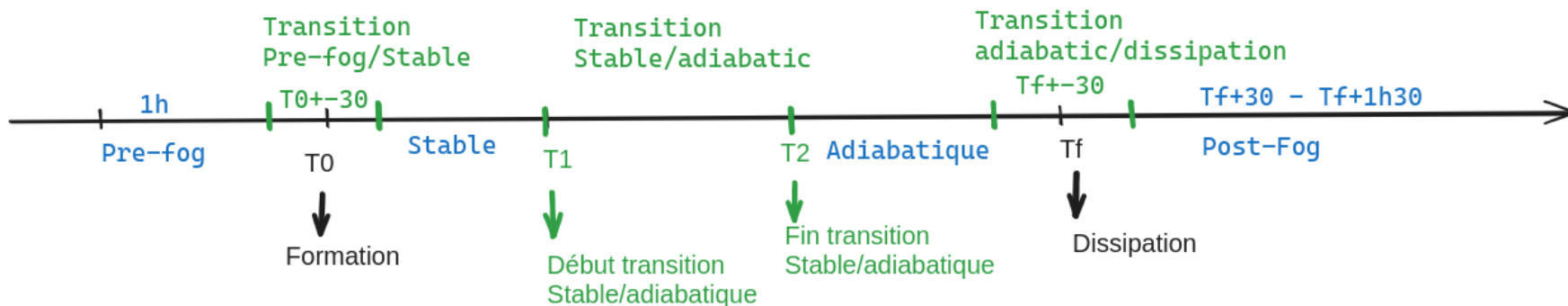
Total de 191 brouillards

Influence des processus locaux sur la vie des brouillards

Synergie instrumentale + Modèle conceptuel (Toledo et al., 2021) –
Réservoir (RLWP) et adiabaticité $\alpha_{eq}^{closure}$

Phases des brouillards (Dione et al., 2023 – ANR SOFOG3D)

- **RADs épais (CTH > 150 m)**



- **RADs fins et très fins**

5 phases

- Pre-fog
- Trans Pre-fog/stable
- **Stable**
- Transition Stable/dissipation
- Post-Fog

- **STLs (lifting & evaporating)**

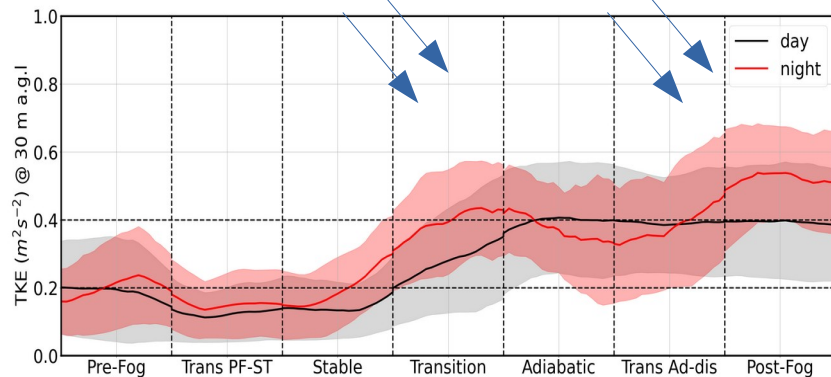
5 phases

- Pre-fog
- Trans Pre-fog/stable
- **Adiabatique**
- Transition adiabatique/dissipation₁₁
- Post-Fog

Influence des processus locaux sur la vie des brouillards

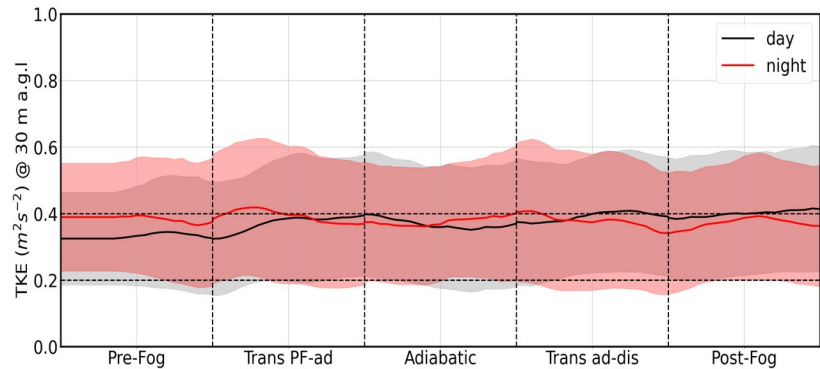
Évolution de la turbulence à 30 m

RADs épais



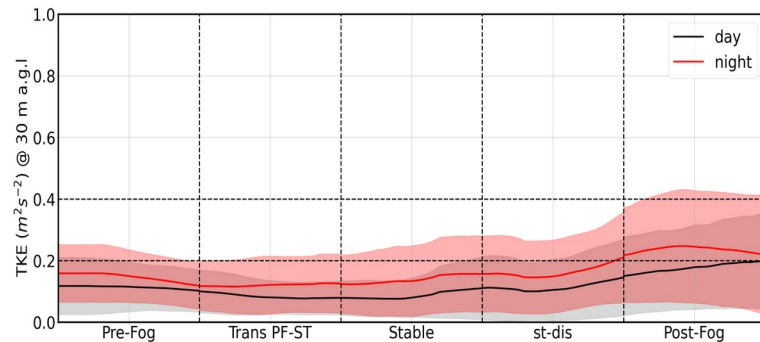
- Transition stable adiabatique $0,2 \leq TKE \leq 0,4 m^2/s^2$
- Dissipation diurne des RADs épais ; $TKE \sim 0,4 m^2/s^2$
- Dissipation nocturne des RADs épais ; $TKE > 0,4 m^2/s^2$

STLs lifting

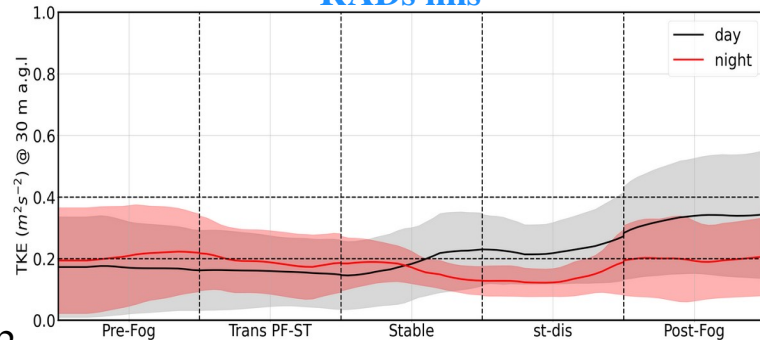


- RADs très fins ; $TKE \leq 0,2 m^2/s^2$
- Dissipation diurne des RADs fins ; $0,2 \leq TKE \leq 0,4 m^2/s^2$
- Dissipation nocturne des RADs fins ; $TKE \leq 0,2 m^2/s^2$
- $TKE \sim 0,4 m^2/s^2$ et constante pour les STLs

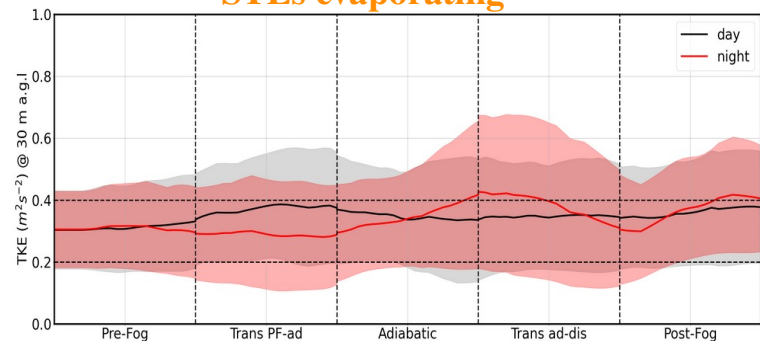
RADs très fins



RADs fins



STLs evaporating



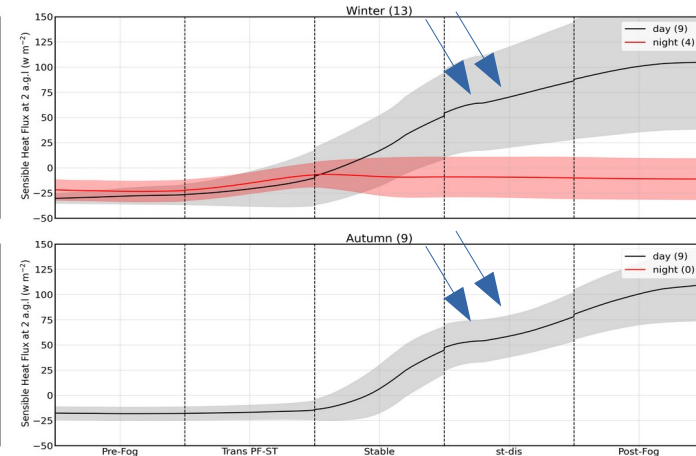
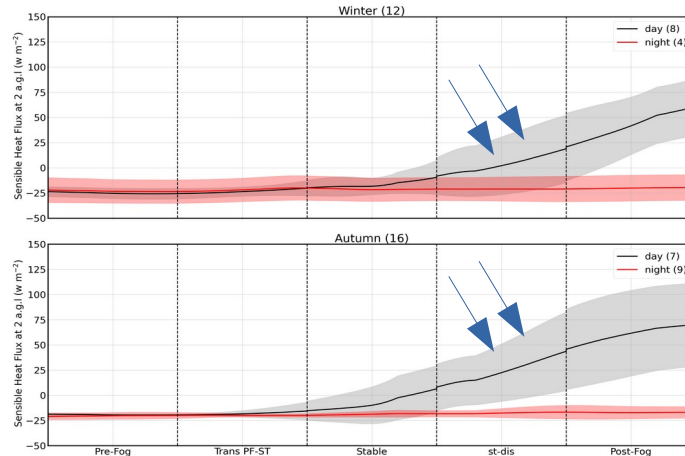
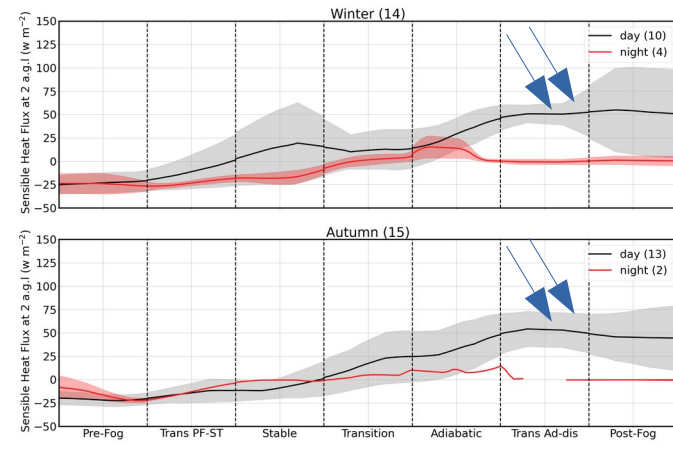
Influence des processus locaux sur la vie des brouillards

Évolution du flux de chaleur sensible (SHF)

- RADs épais (29 cas)

- RADs très fins (39 cas)

- RADs fins (24 cas)



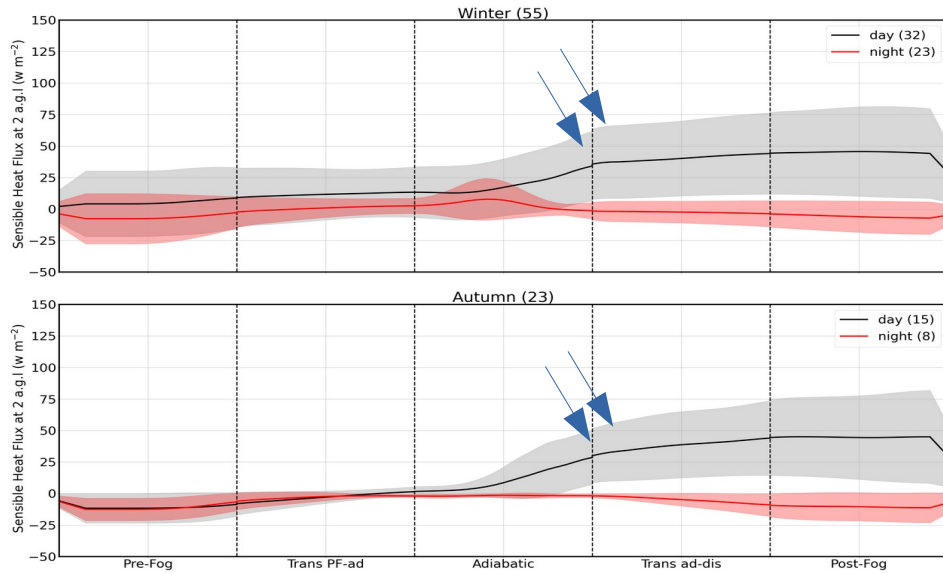
- Dissipation diurne des RADs épais et fins – $SHF > 50 W m^{-2}$
- Dissipation diurne des RADs très fins – $SHF > 25 W m^{-2}$

- Dissipation nocturne – SHF décroissant lors la phase adiabatique

Influence des processus locaux sur la vie des brouillards

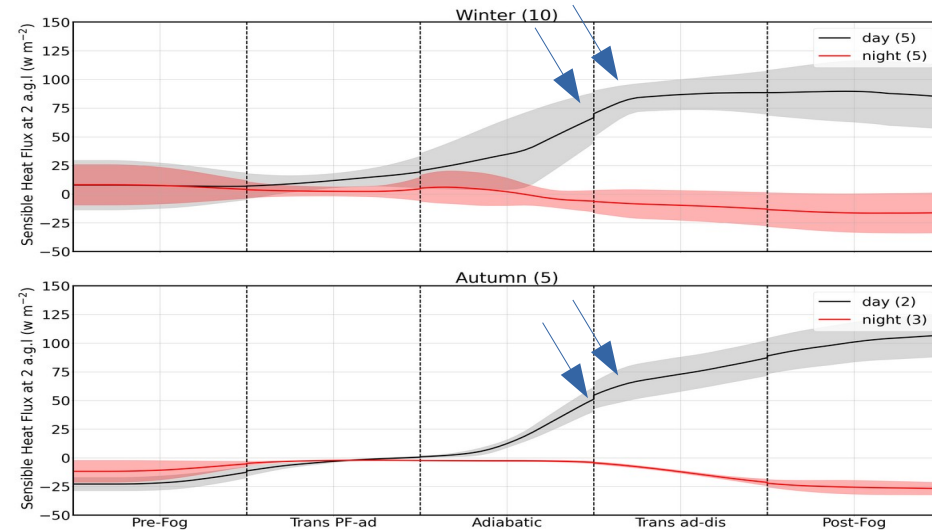
Évolution du flux de chaleur sensible

STLs lifting (84 cas)



- Dissipation diurne des STLs lifting associée à SHF > 25 w m⁻²
- Dissipation diurne des STLs lowering associée à SHF > 50 w m⁻²

STLs evaporating (15 cas)



- Dissipation nocturne – SHF décroissant lors de la phase adiabatique

Conclusions

- Les fortes stabilités sont dictées par le régime de dorsale Atlantique – couche d'inversion de température plus épaisse – favorisant des brouillards plus longs
- La transition stable adiabatique des RADs est pilotée par la turbulence (TKE $\sim 0,2-0,4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$)
- Les dissipations diurnes observées avec des seuils différents de SHF pour chaque catégorie de brouillard – RADs épais (50 W/m^2) et fins & STLs evaporating (75 W/m^2) & STLs lifting et RADs très fins (25 W m^{-2})
- Les dissipations nocturnes pilotées par la turbulence mécanique (advection)
- Les évolutions de la turbulence, SHF – proxy pour la prévision de la dissipation des brouillards – Parafog V3 – Projet ANR en préparation pour 2025

● Methodology

Fog conceptual model

- ◆ In situ and remote sensing data
- ◆ T, P, visibility, LWP, CTH

Fog **adiabatic**
conceptual model
Toledo et al., 2021

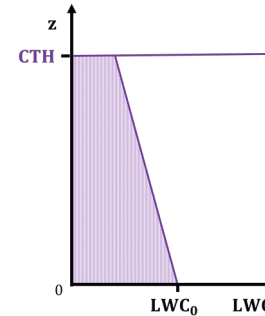
Fog key parameters:
equivalent adiabaticity
of closure & Reservoir

Equivalent adiabaticity by closure

$$\alpha_{eq}^{closure} = \frac{2(LWP - LWC_0 CTH)}{\Gamma_{ad}(T, P) CTH^2}$$

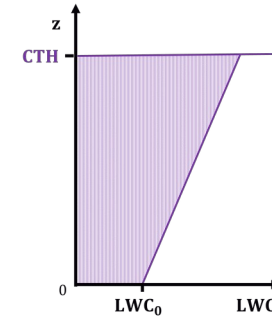
Transition from stable to
adiabatic fog

$\alpha_{eq} < 0$



LWC is higher in the
lower fog layers:
Shallow stable fog

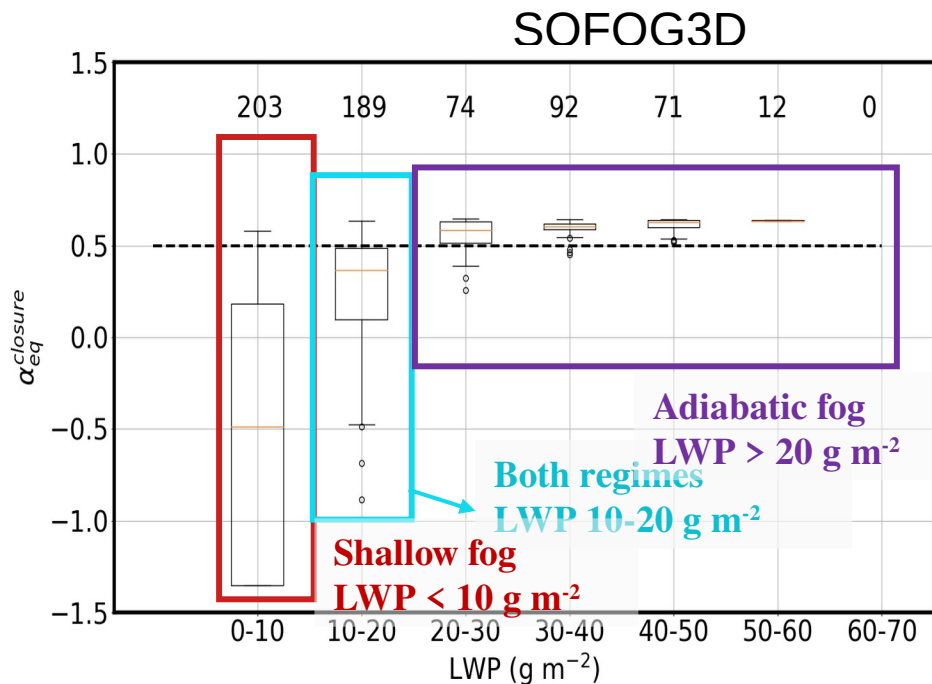
$\alpha_{eq} > 0$



LWC increases with height
→ Adiabatic fog
→ Fog is transitioning from
shallow to adiabatic

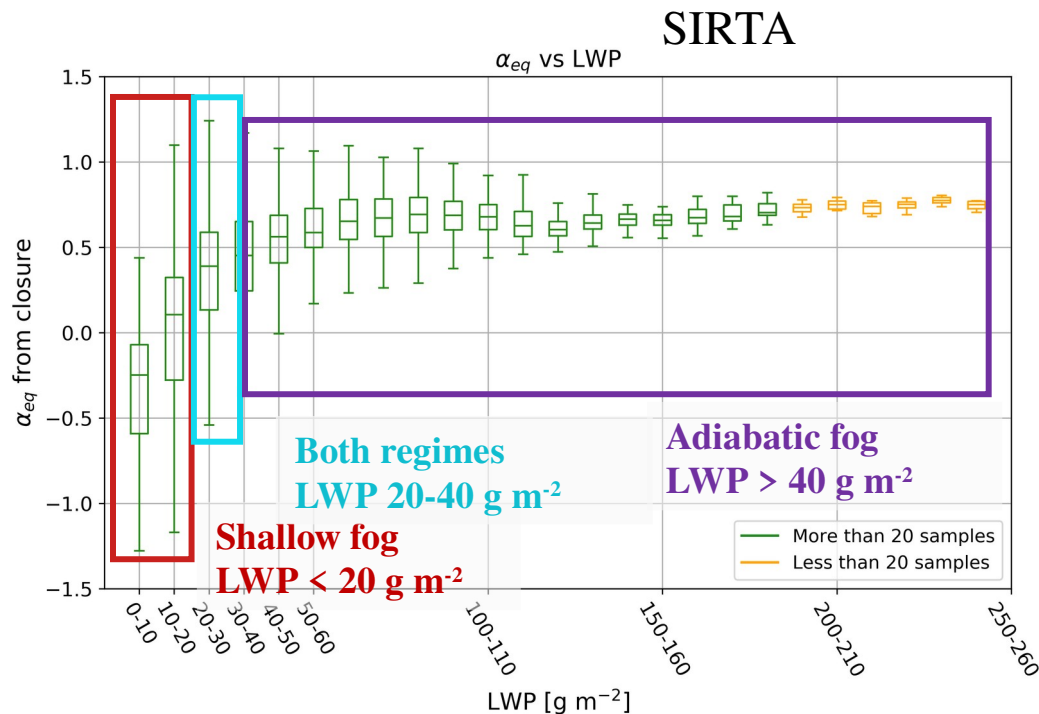
● Methodology

Fog conceptual model



Dione et al., 2023

- Low fog LWP at SOFOG3D
- Equivalent adiabaticity by closure consistent at both sites – transition stable/adiabatic fog



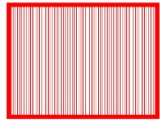
Toledo et al., 2021

- More fog LWP at SIRTA

● Methodology

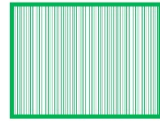
Fog conceptual model

Critical and Reservoir LWP



Critical LWP (CLWP)

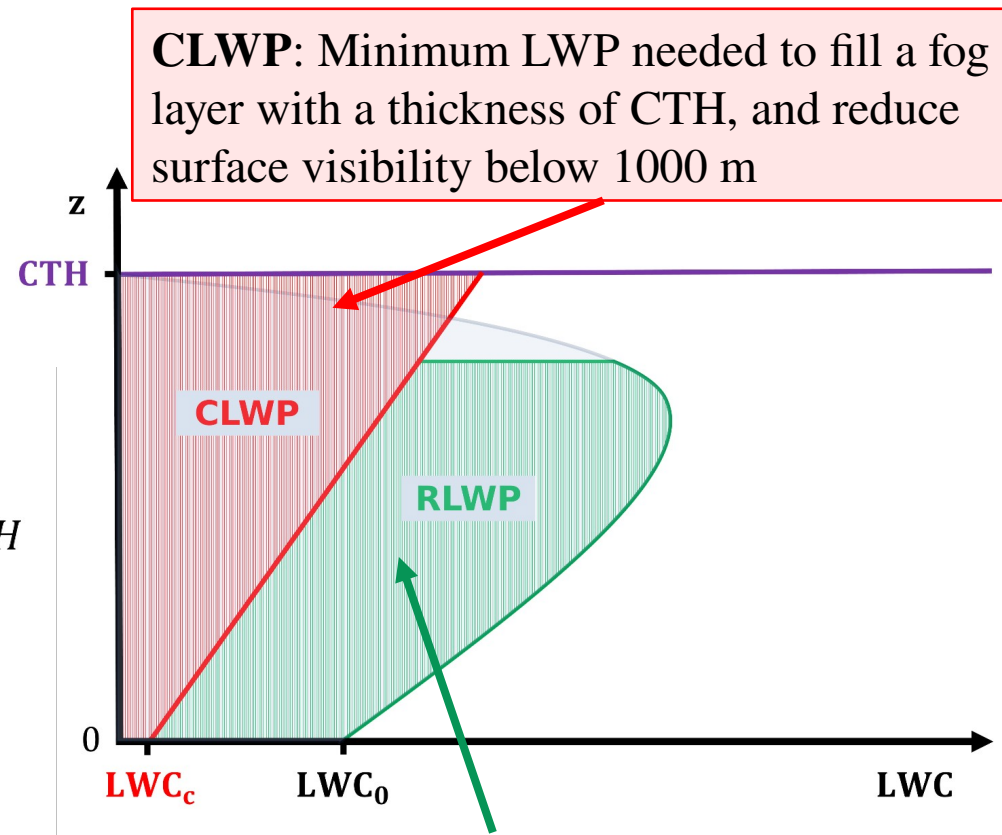
$$CLWP = \frac{1}{2} \alpha_{eq} \Gamma_{ad}(T, P) CTH^2 + LWC_c CTH$$



Reservoir LWP (RLWP)

$$RLWP = LWP - CLWP$$

$$RLWP = RLWP(LWP, CTH, T, P)$$



Toledo et al., 2021