



# **INCERTITUDE DANS LES MODÈLES MATHÉMATIQUES : CARACTÉRISATION, DESCRIPTION ET REPRÉSENTATION**

---

David Makowski  
INRA

# Incertitude

1. Caractère de ce qui est incertain, douteux ou imprévisible.
2. Caractère de ce qui n'est pas d'une nature bien arrêtée, de ce qui est changeant, imprécis.
3. État d'une personne incertaine et inquiète de ce qui doit arriver.
4. État d'une personne irrésolue, indécise.

Dictionnaire Acad. française

*L'incertitude des événements, toujours plus difficile à soutenir que l'événement même* [[Massillon](#), Or. fun. Conty.]

## Différentes attitudes vis-à-vis de l'incertitude dans les activités scientifiques

- Ne pas analyser l'incertitude
- Analyser l'incertitude de manière qualitative
- Analyser l'incertitude de manière quantitative

# Différentes attitudes vis-à-vis de l'incertitude dans les activités scientifiques

- Ne pas analyser l'incertitude
- Analyser l'incertitude de manière qualitative
- Analyser l'incertitude de manière quantitative

## Ne pas analyser l'incertitude : une position intenable pour les scientifiques

Kuhn (1962) : « *la découverte commence avec la conscience d'une anomalie* »

Anne Fagot-Largeault : l'éthique du chercheur s'appuie sur  
« *le respect des faits et sur la lucidité sur le degré de validité des résultats* »

EFSA (2016) : « *assessors need to inform decision-makers about scientific uncertainty when providing their advice* »

# Ten Most Important Accomplishments in Risk Analysis, 1980–2010

Michael Greenberg, Charles Haas, Anthony Cox, Jr., Karen Lowrie, Katherine McComas, and Warner North

As part of the celebration of the 30th anniversary of the Society for Risk Analysis and *Risk Analysis, An International Journal*, a group of your editors engaged in a process to select the 10 most important accomplishments in risk analysis. The article that follows is the product of this process.

Some preliminary decisions were that we would reach out to the full membership for nominations, focus on the period 1980 to 2010, and accept nominations for contributions to theory, methods, and applications. Also, we focused on accomplishments that address health, safety, and the environment, which has been our tradition.<sup>(1)</sup> All the accomplishments have contributed to answering at least one of the six following risk analysis questions:<sup>(2–5)</sup>

1. What can go wrong?
2. What are the chances that something with serious consequences will go wrong?
3. What are the consequences if something does go wrong?

## TEN MOST IMPORTANT ACCOMPLISHMENTS IN RISK ANALYSIS, 1980–2010

### Theory

1. Understanding how affect and trust influence risk perception and behavior
2. Recognizing that personal decisions reflect different processes for valuing and combining anticipated and actual losses, gains, delays, and surprises.
3. Developing an environmental justice ethic and frameworks

### Methods

4. Using formal uncertainty analysis in risk assessment

## Différentes attitudes vis-à-vis de l'incertitude

- Ne pas parler d'incertitude
- Analyser l'incertitude de manière qualitative
- Analyser l'incertitude de manière quantitative

## Différentes attitudes vis-à-vis de l'incertitude

- Ne pas parler d'incertitude
- Analyser l'incertitude de manière qualitative
- Analyser l'incertitude de manière quantitative

## SCIENTIFIC OPINION

### **Risk assessment of *Gibberella circinata* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options<sup>1</sup>**

**EFSA Panel on Plant Health (PLH)<sup>2,3</sup>**

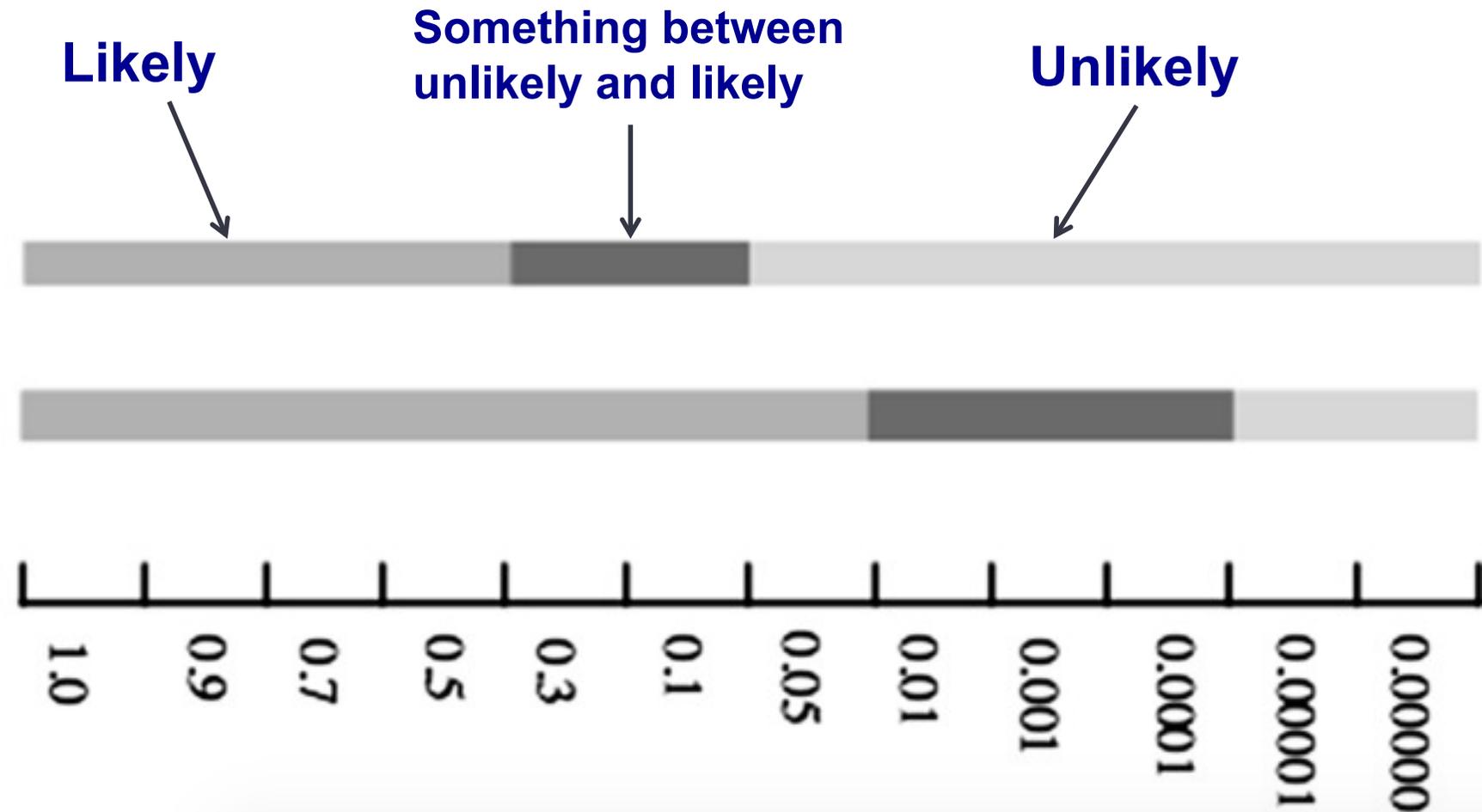
Effectiveness and uncertainty of the risk management options against *G. circinata*

Risk management options	Effectiveness	Uncertainty
<b><u>Entry</u></b>		
Import requirements for the consignment	High	Low
Inspection and sampling of the imported consignment	Very low	High
Testing of the imported consignment	High	Low
Removal of the pest from the imported consignment by treatments	Low to moderate	High
Limiting the use of the imported consignment	Moderate	Medium
Limiting the period of the imported consignment	Negligible	Low
Post-entry quarantine	High	Low
Inspection of passengers, machinery, vehicles, etc.	Very low	High
Cleaning/disinfection of passengers, machinery, vehicles, etc.	Very low	High



« Qualitative Uncertainty Words Are Not Sufficient »

Morgan (2014)



**Probability that the material is a human carcinogenic**

## Différentes attitudes vis-à-vis de l'incertitude

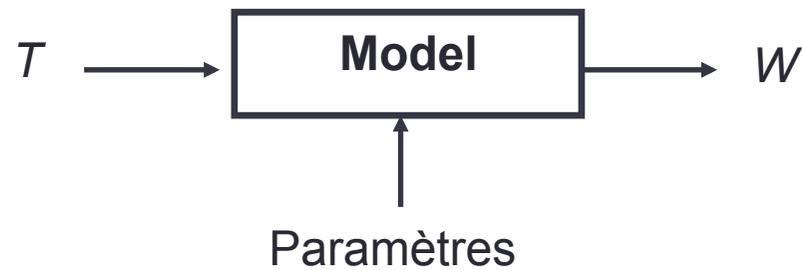
- Ne pas parler d'incertitude
- Analyser l'incertitude de manière qualitative
- Analyser l'incertitude de manière quantitative

# Analyse d'incertitude probabiliste

- i. Identification des incertitudes
- ii. Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité
- iii. Propagation des incertitudes vers la variable d'intérêt
- iv. Communication des résultats

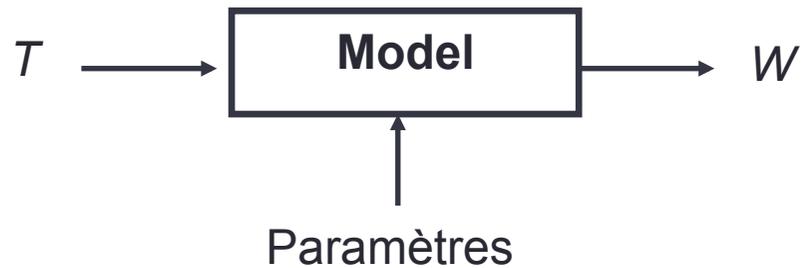
## Modèle pour calculer la durée requise d'humidité pour qu'un champignon puisse infecter une plante

(Magarey *et al.*, 2005)



$W$  = durée d'humidité requise (h)

$T$  = température moyenne (°C)



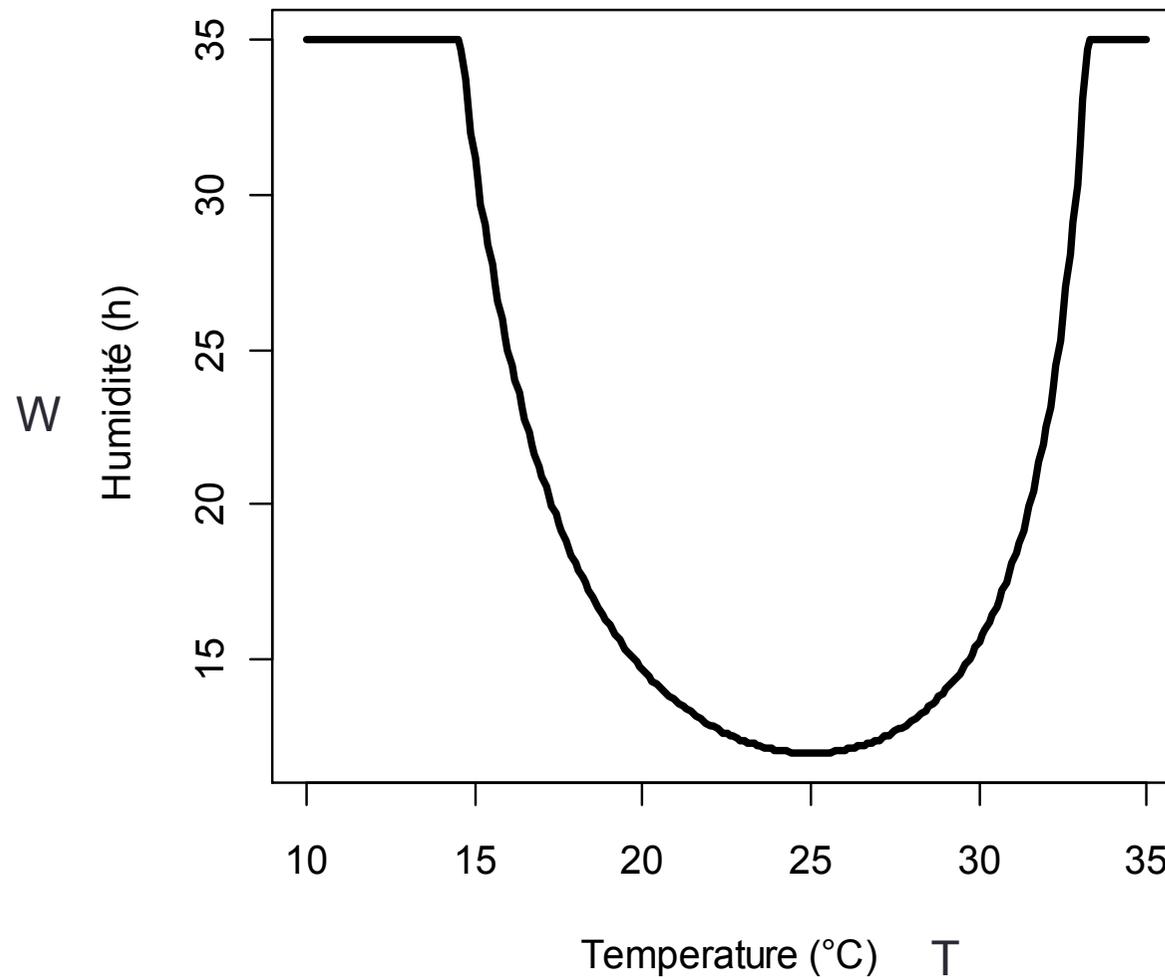
$$W = \frac{W_{\min}}{f(T)}, \text{ et } W \leq W_{\max}$$

$$f(T) = \left( \frac{T_{\max} - T}{T_{\max} - T_{opt}} \right) \left( \frac{T - T_{\min}}{T_{opt} - T_{\min}} \right)^{\frac{(T_{opt} - T_{\min})}{(T_{\max} - T_{opt})}}$$

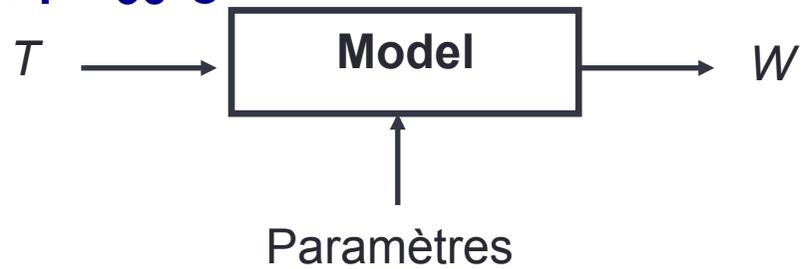
Cinq paramètres :  $T_{\min}$ ,  $T_{opt}$ ,  $T_{\max}$ ,  $W_{\min}$ ,  $W_{\max}$

Valeurs simulées de W avec les valeurs estimées de paramètres pour les pycnidiospores de *Guignardia citricarpa* Kiely

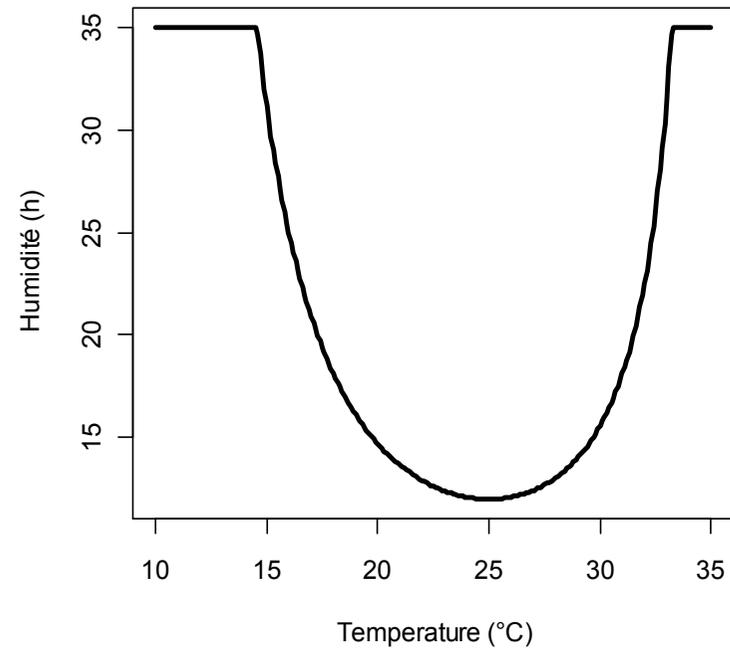
$T_{min}= 10\text{ °C}$ ,  $T_{opt}= 25\text{ °C}$ ,  $T_{max}=35\text{ °C}$ ,  $W_{min}=12\text{ h}$ ,  $W_{max}= 35\text{ h}$

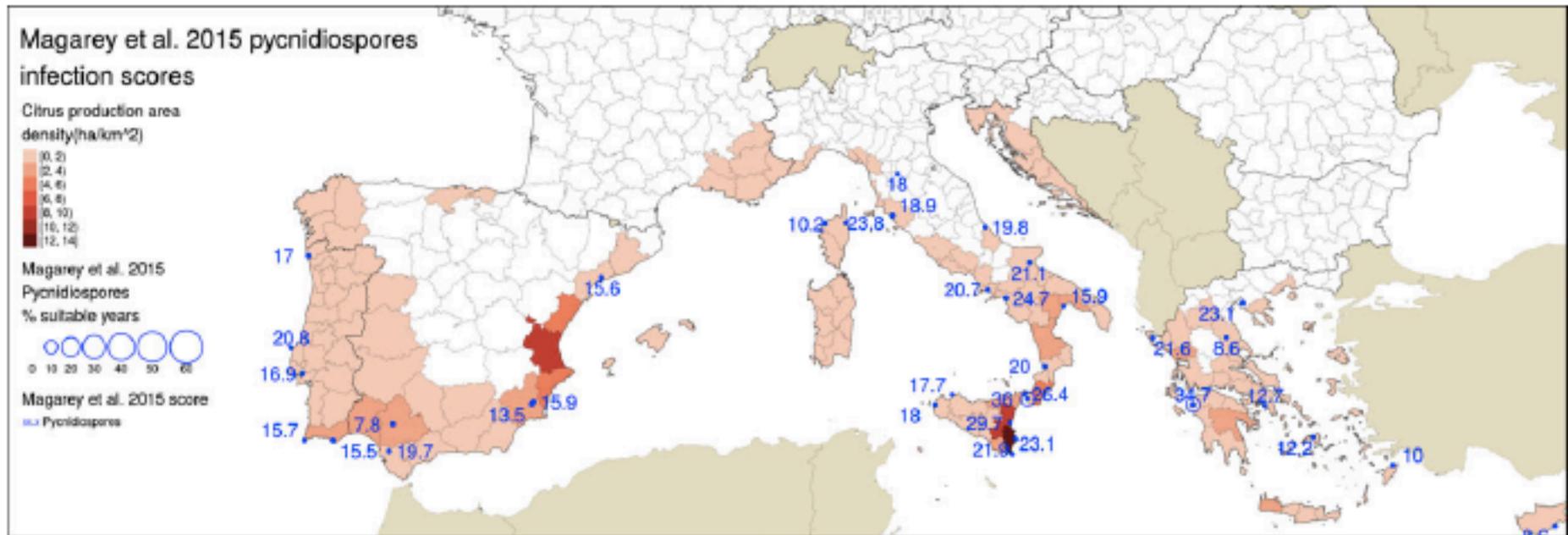


$10^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$



$T_{\min}= 10^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{opt}}= 25^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\max}=35^{\circ}\text{C}$ ,  
 $W_{\min}=12\text{ h}$ ,  $W_{\max}= 35\text{ h}$





Densité d'agrumes en Europe et proportions d'années favorables aux infections

EFSA, 2016

# Analyse d'incertitude probabiliste

- i. Identification des incertitudes
- ii. Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité
- iii. Propagation des incertitudes vers la variable d'intérêt
- iv. Communication des résultats

# Analyse d'incertitude probabiliste

## i. Identification des incertitudes

- Paramètres
- Variables d'entrée
- Equations

## ii. Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité

## iii. Propagation des incertitudes vers la variable d'intérêt

## iv. Communication des résultats

## Incertitudes dans les valeurs des paramètres

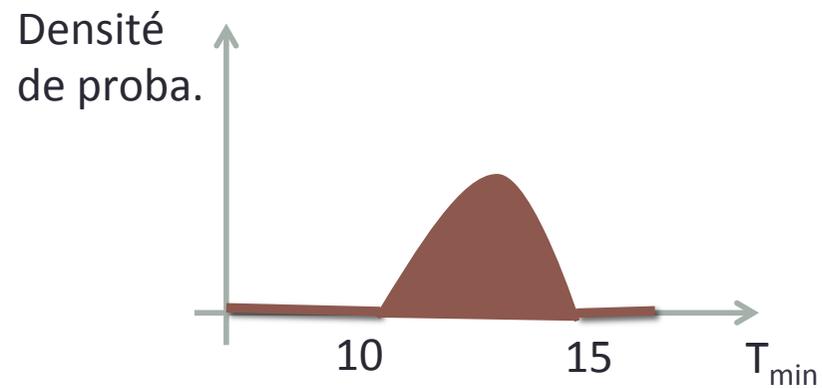
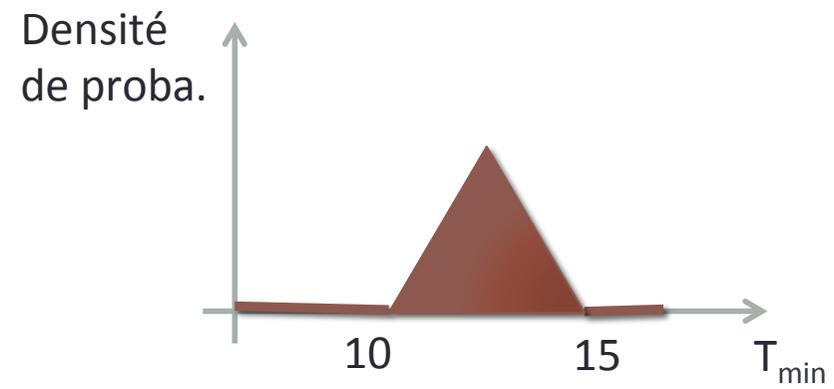
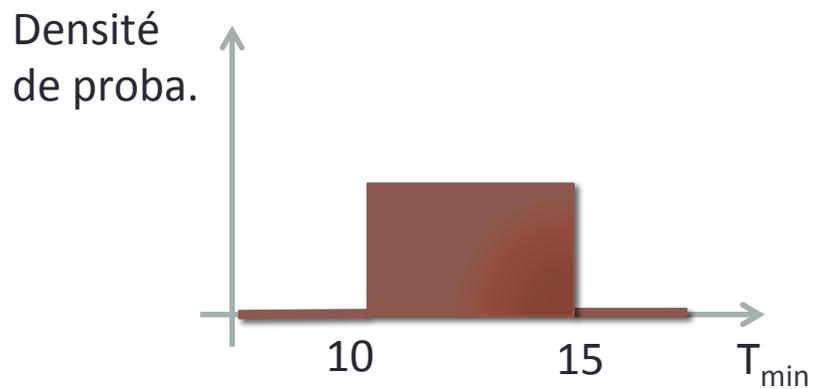
Gammes de valeurs des paramètres (d'après  
« Panel on Plant Health EFSA » 2008)

		Min	Max
Tmin	(°C)	10	15
Topt	(°C)	25	30
Tmax	(°C)	32	35
Wmin	(h)	12	14
Wmax	(h)	35	48

# Analyse d'incertitude probabiliste

- i. Identification des incertitudes
- ii. Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité
- iii. Propagation des incertitudes vers la variable d'intérêt
- iv. Communication des résultats

# Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité

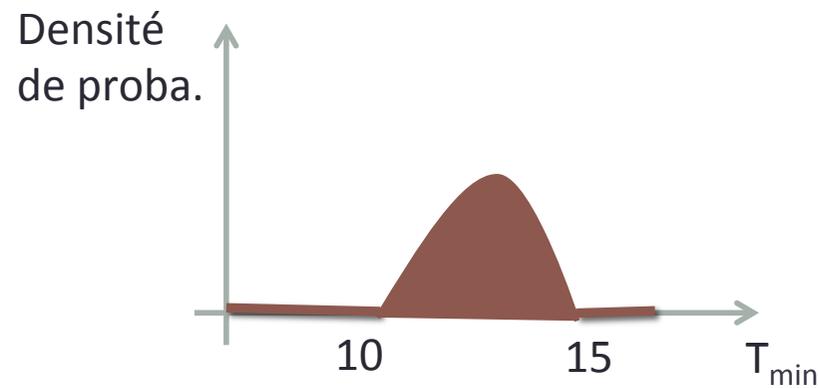
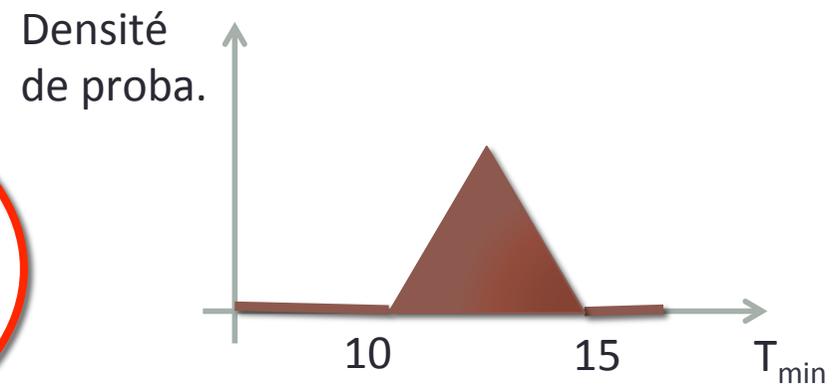
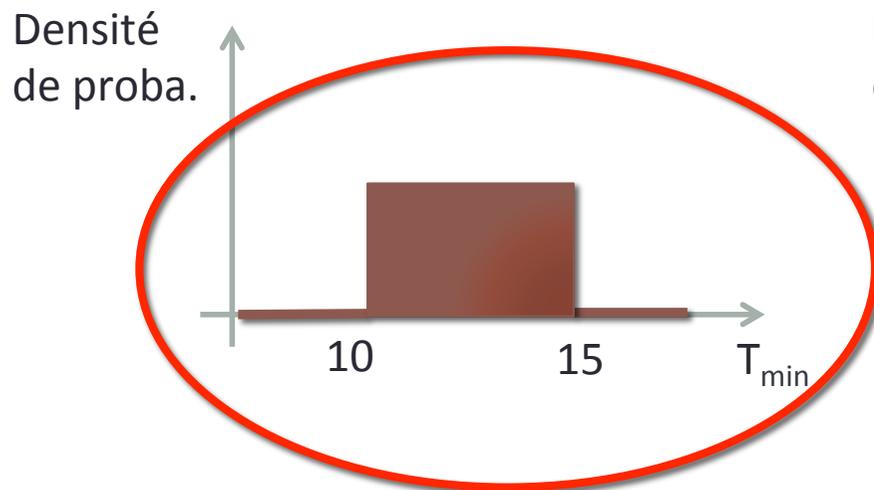




## Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité

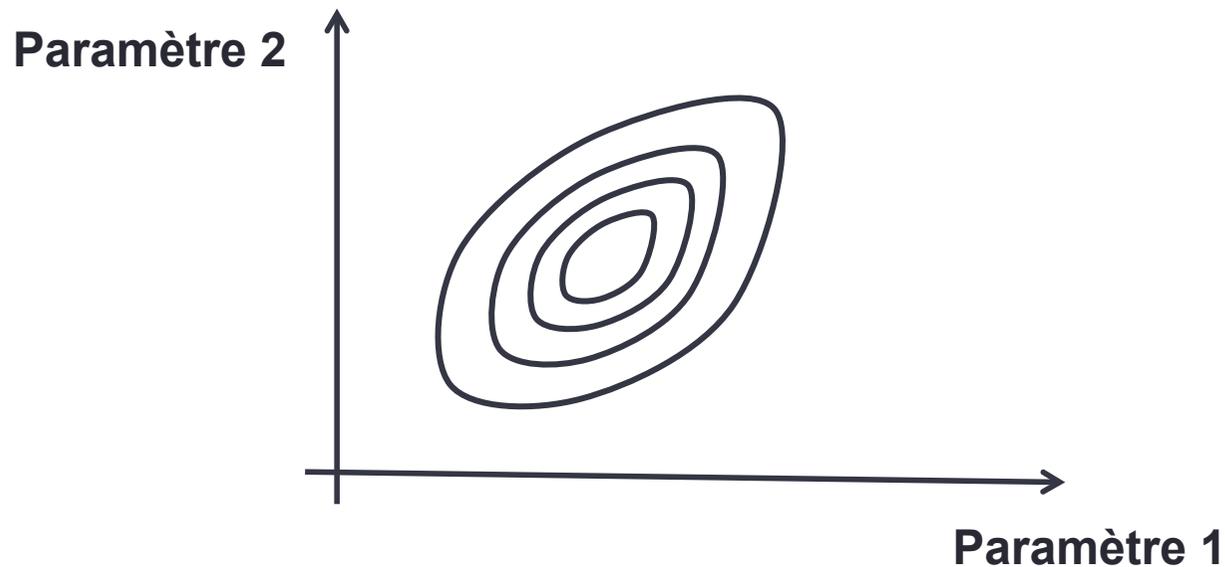
- Avis d'experts
- Elicitation des connaissances d'experts
- Etude expérimentale
- Méta-analyse d'un ensemble d'études
- Méthodes bayésiennes

# Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité

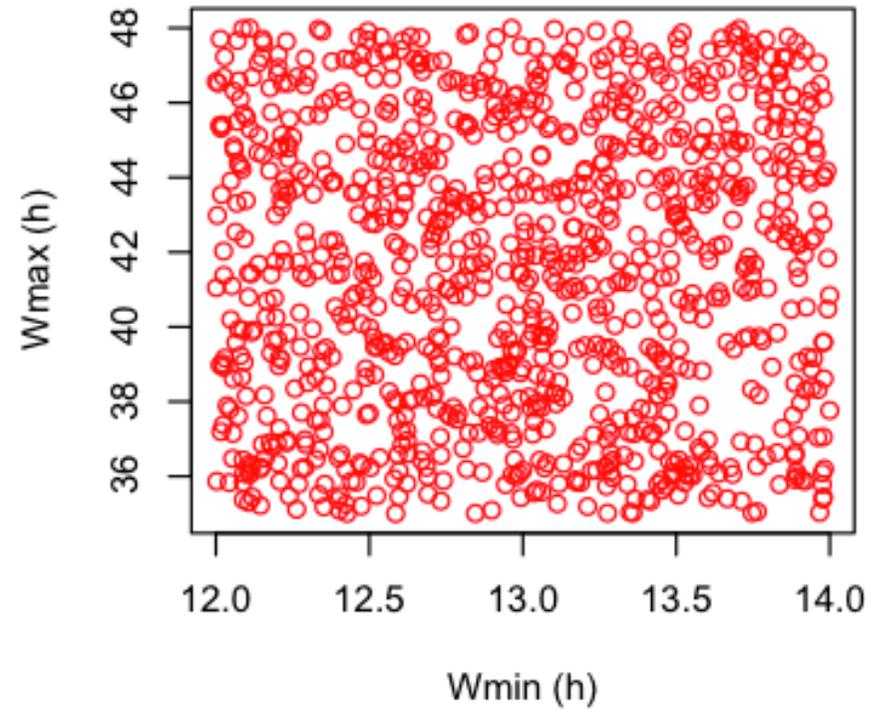
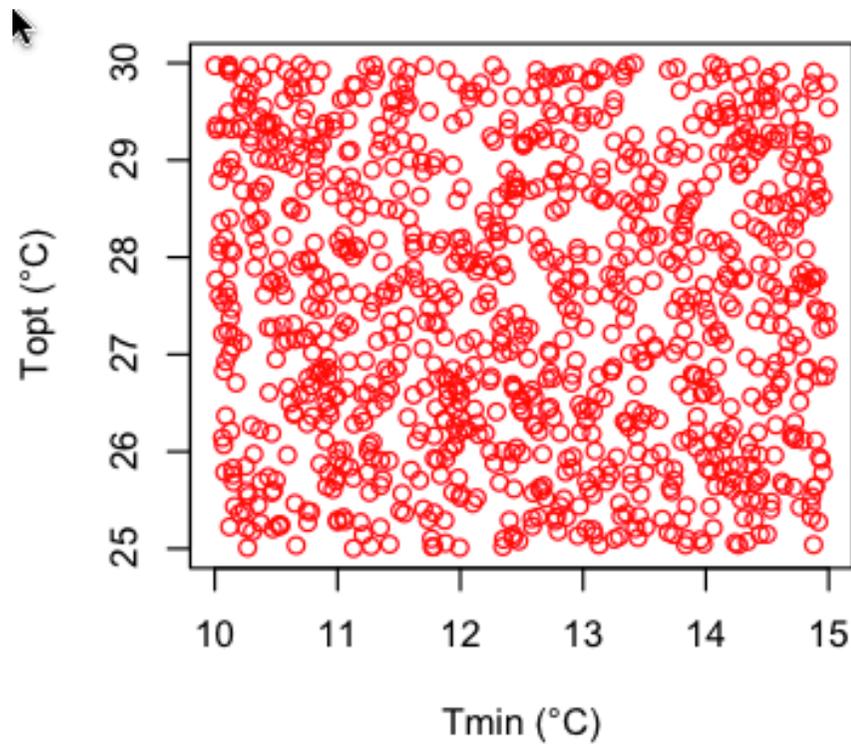


## Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité

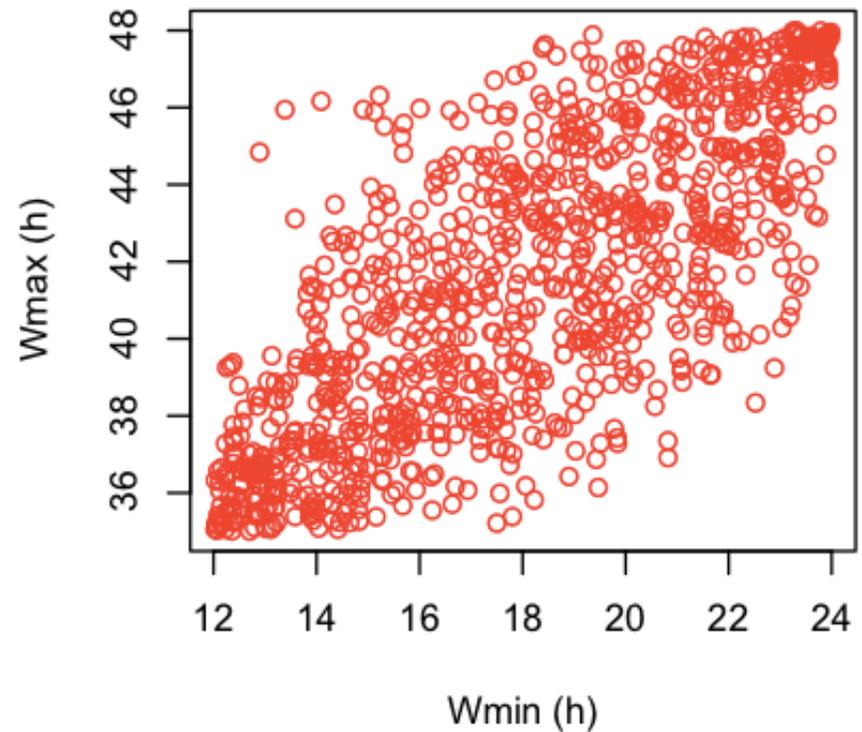
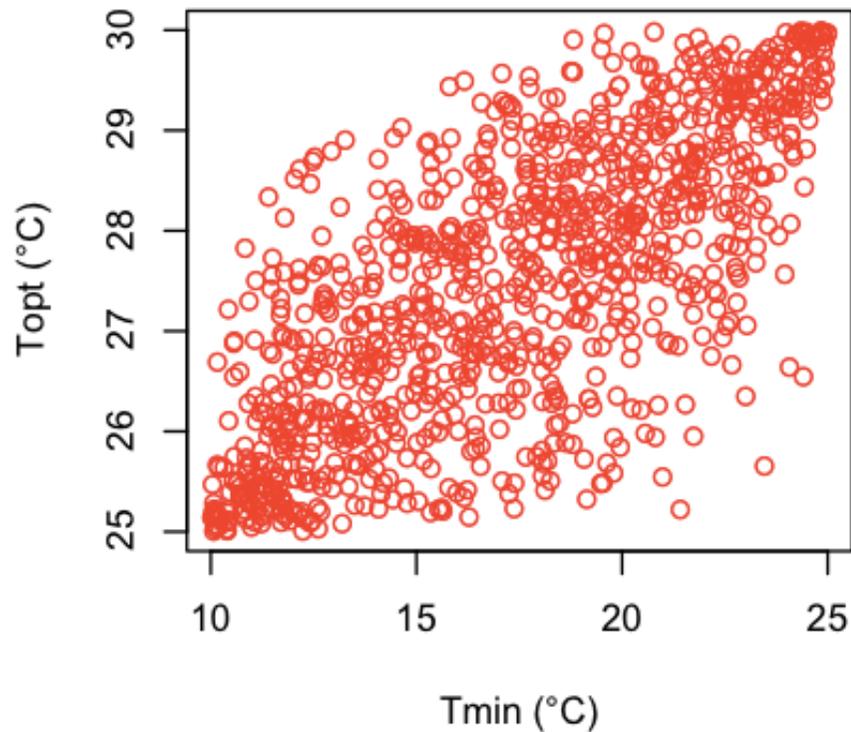
Indépendance ou dépendances entre les paramètres incertains ?



$N=1000$  (uniformes indépendantes)

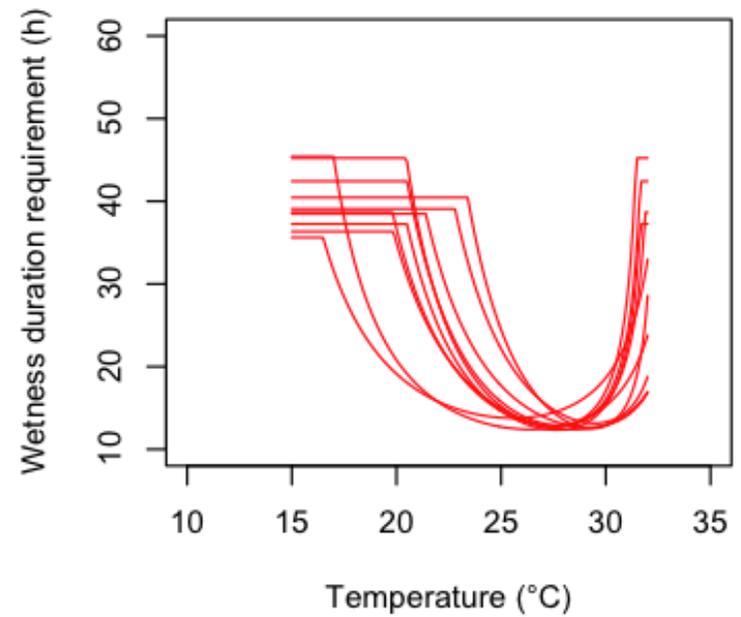
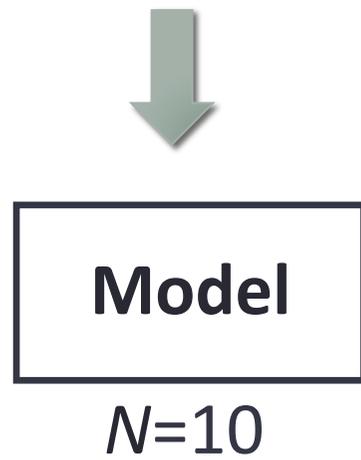
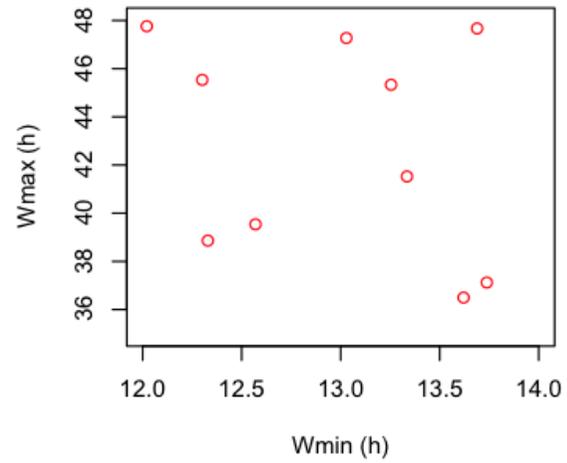
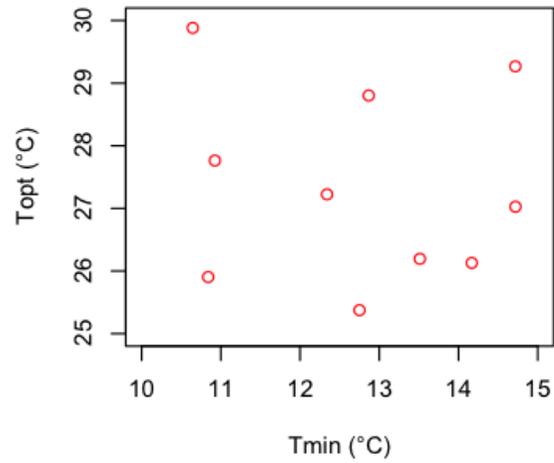


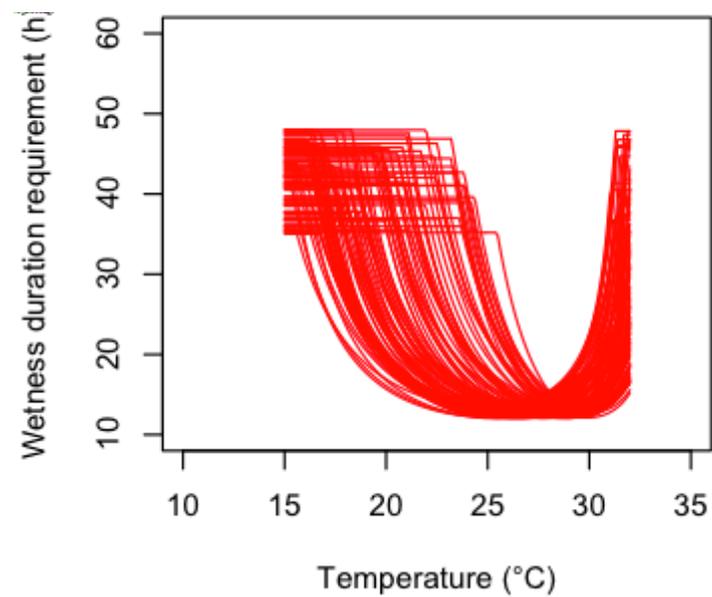
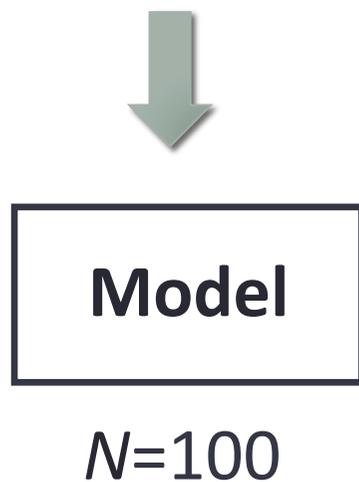
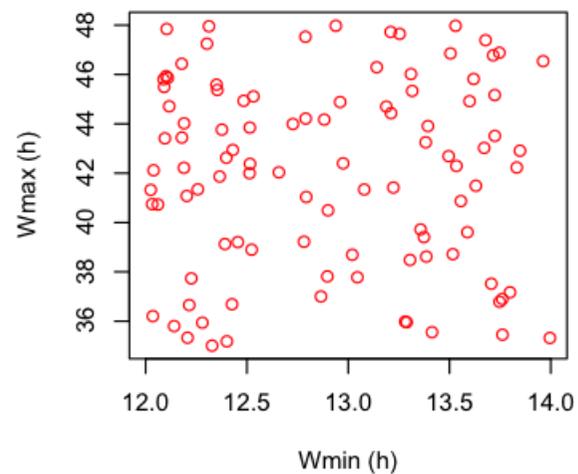
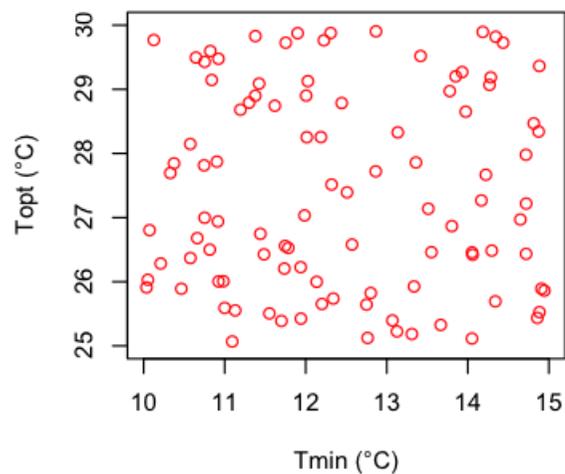
$N=1000$  (uniformes corrélées,  $+0.75$ )

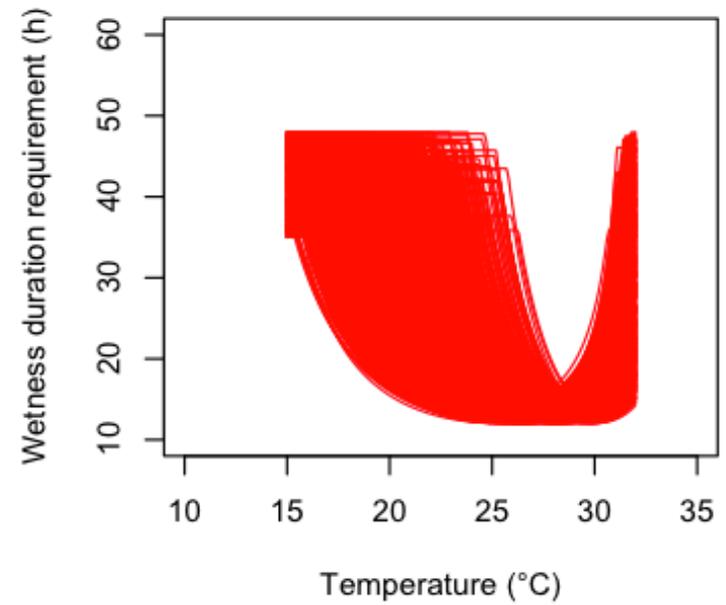
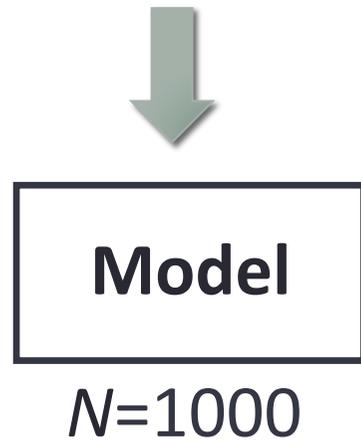
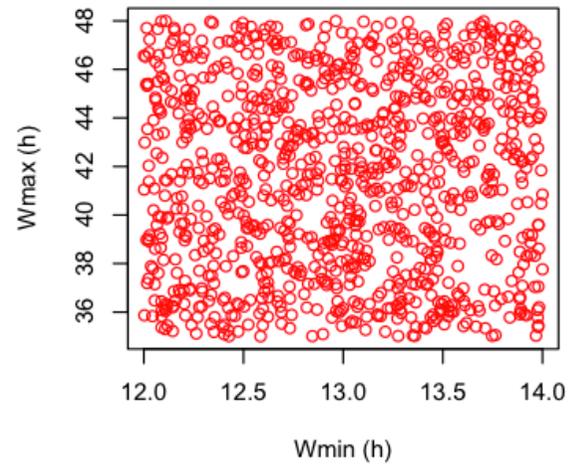
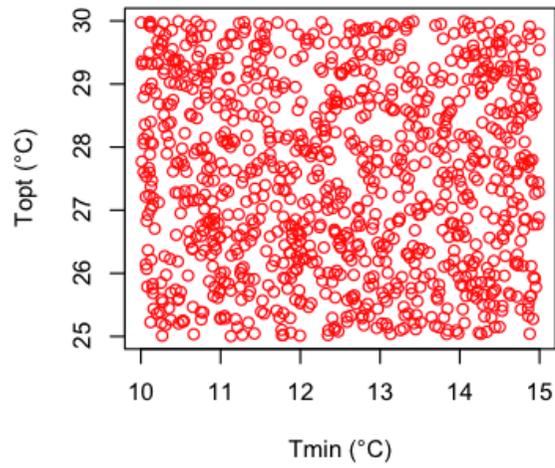


# Analyse d'incertitude probabiliste

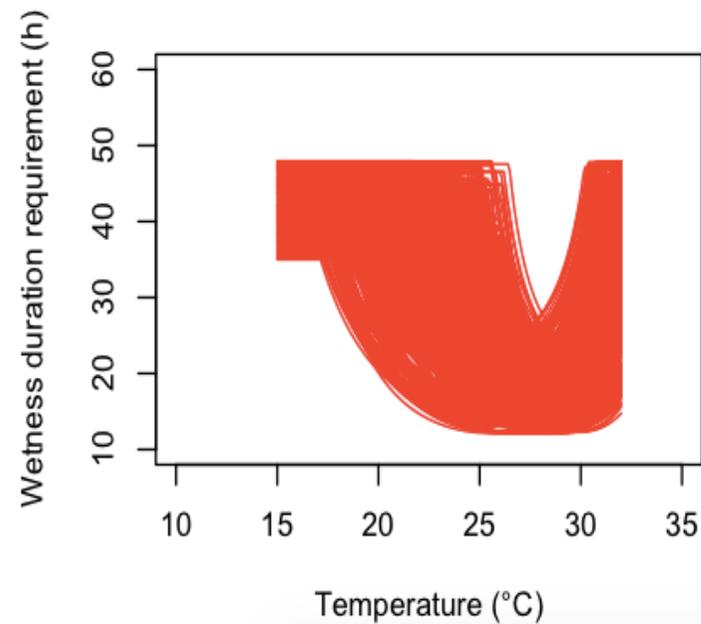
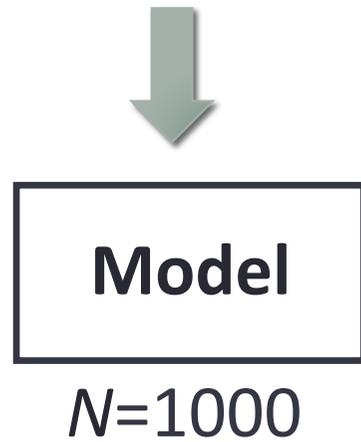
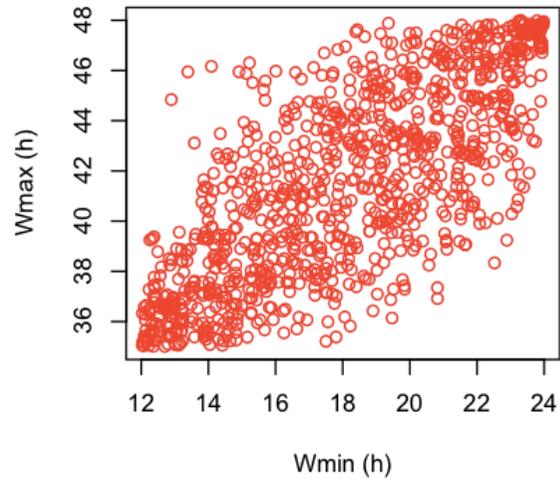
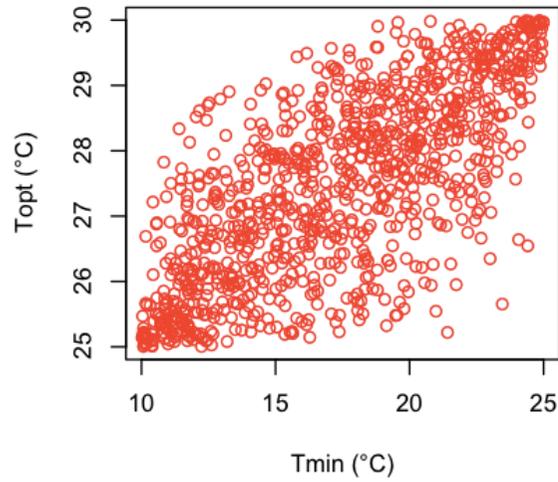
- i. Identification des incertitudes
- ii. Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité
- iii. Propagation des incertitudes vers la variable d'intérêt ( $W$ )
- iv. Communication des résultats





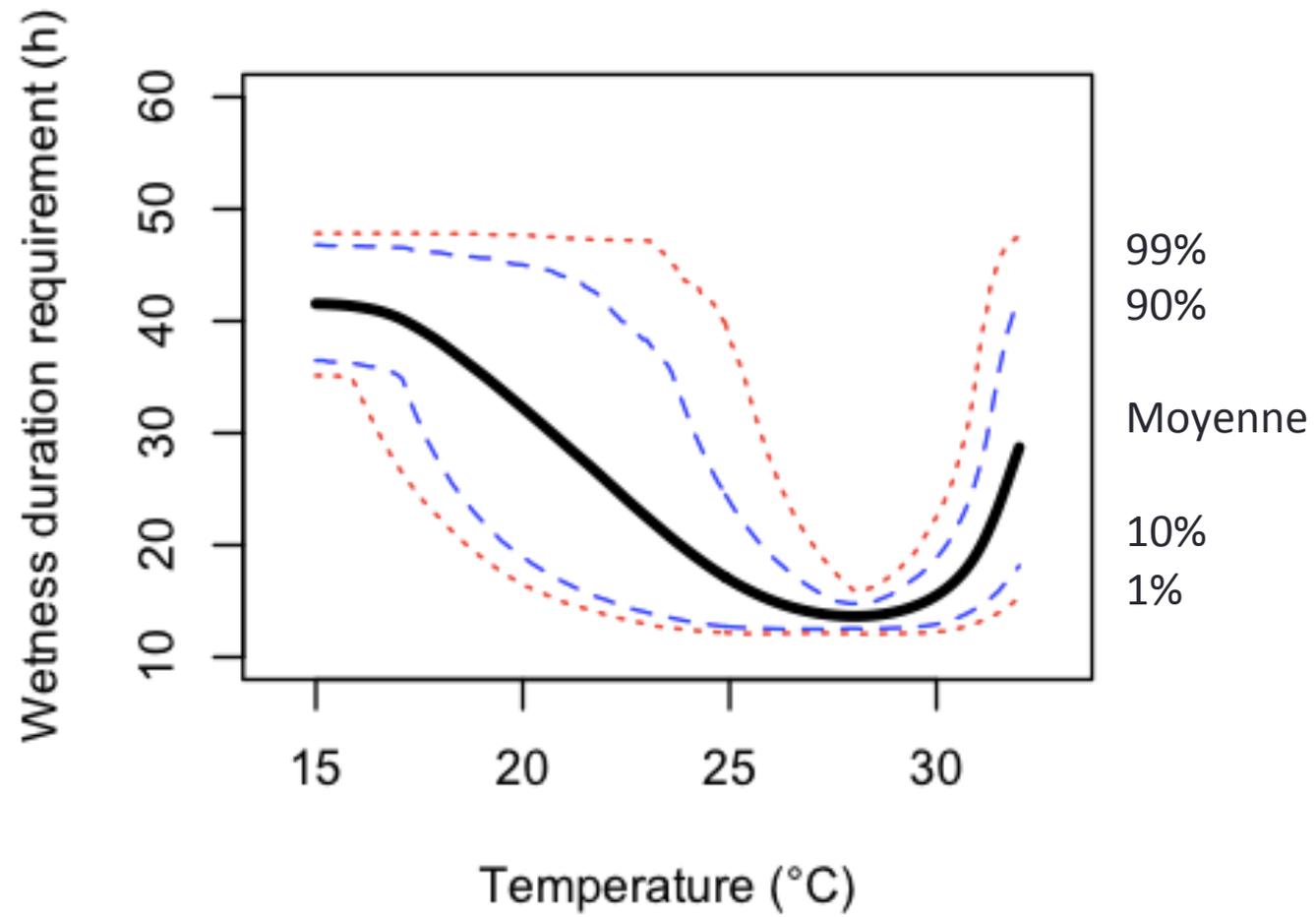


## Distributions corrélées (+0.75)

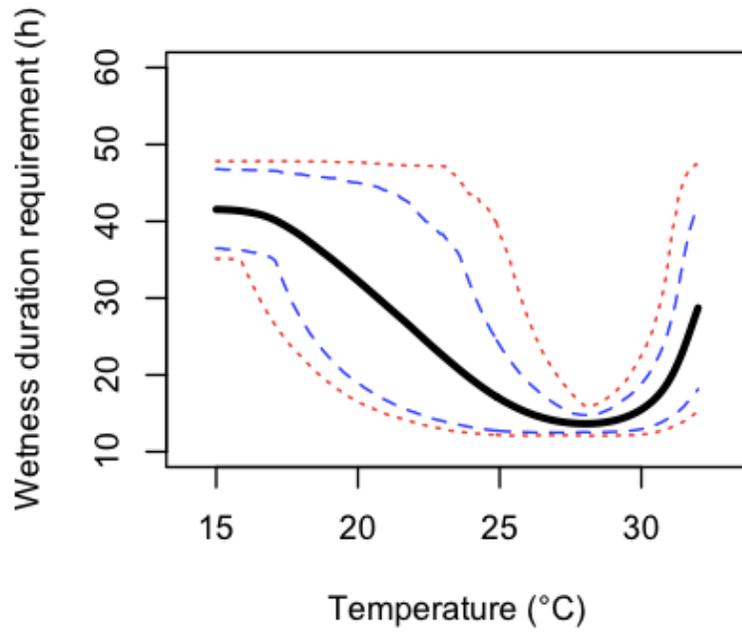


# Analyse d'incertitude probabiliste

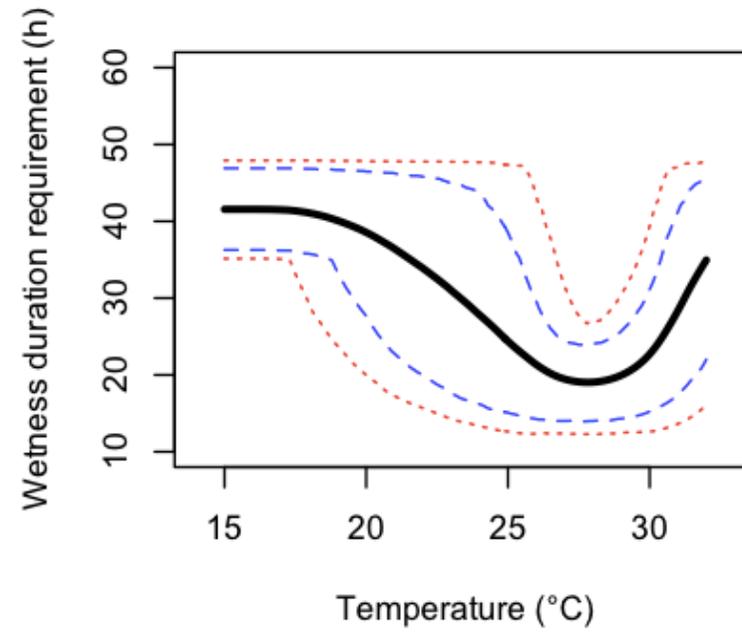
- i. Identification des incertitudes
- ii. Description des incertitudes à l'aide de distributions de probabilité
- iii. Propagation des incertitudes vers la variable d'intérêt ( $W$ )
- iv. Communication des résultats



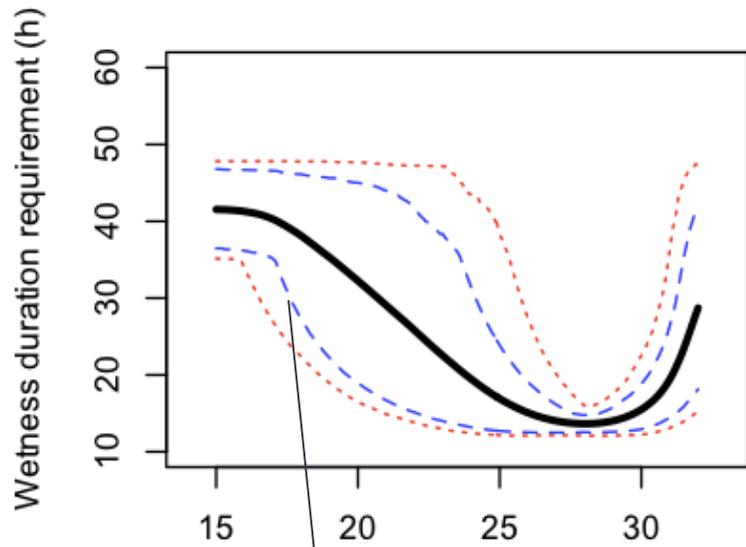
Distributions indépendantes



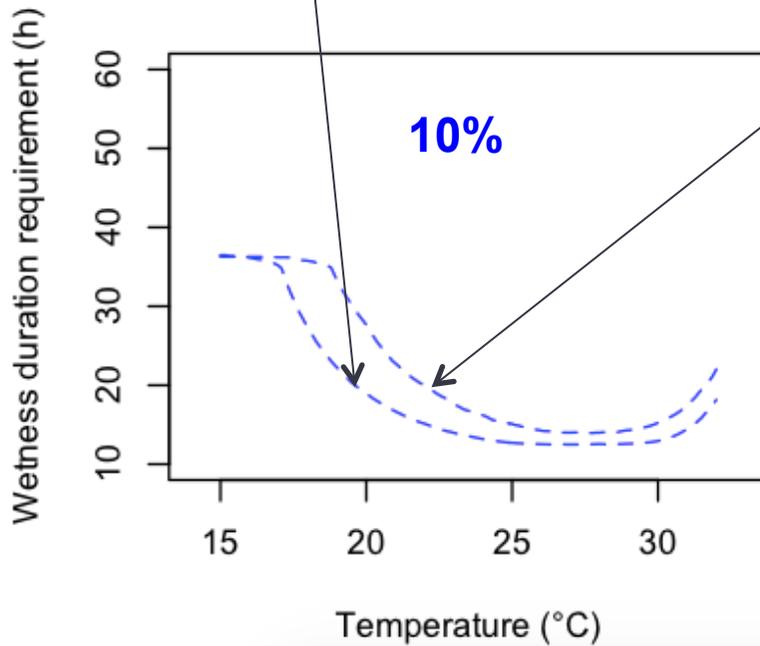
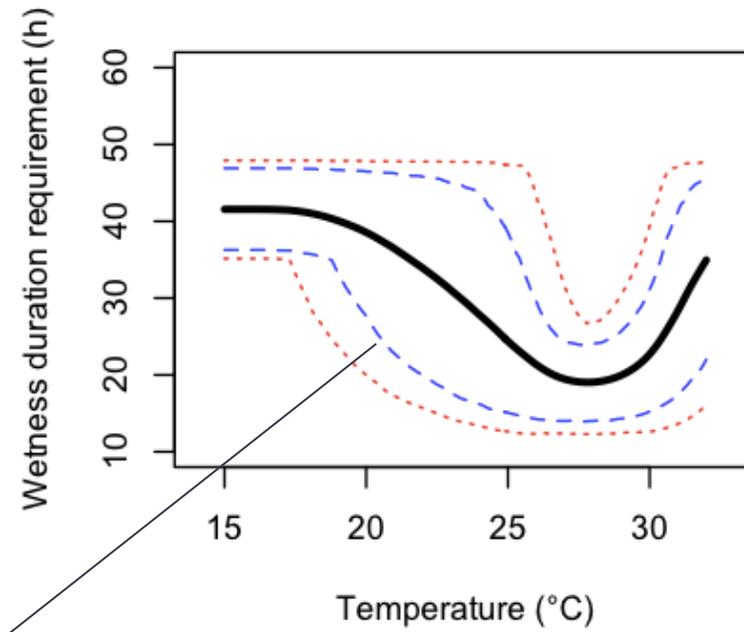
Distributions corrélées (+0.75)



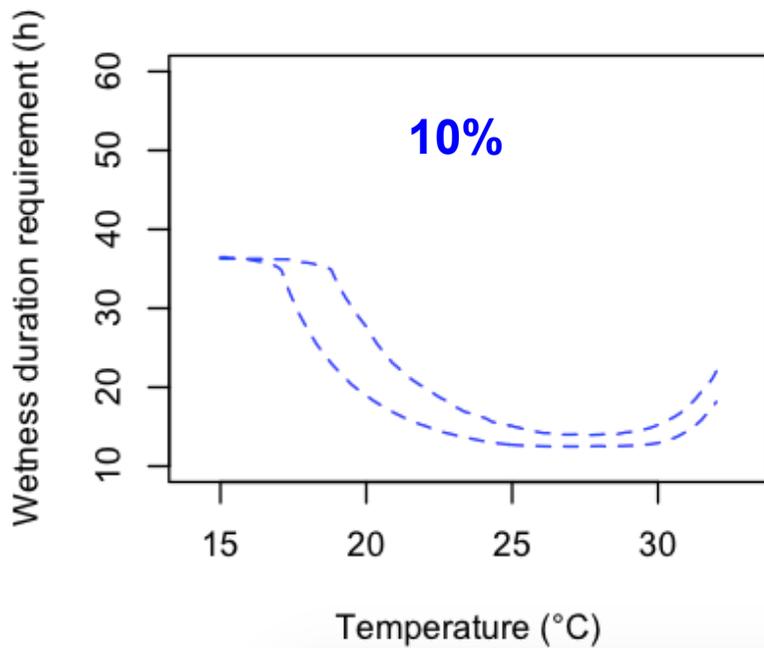
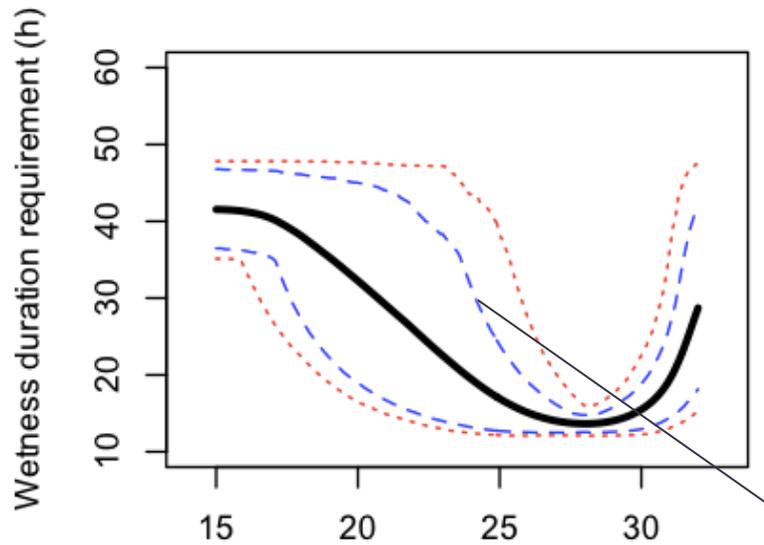
Distributions indépendantes



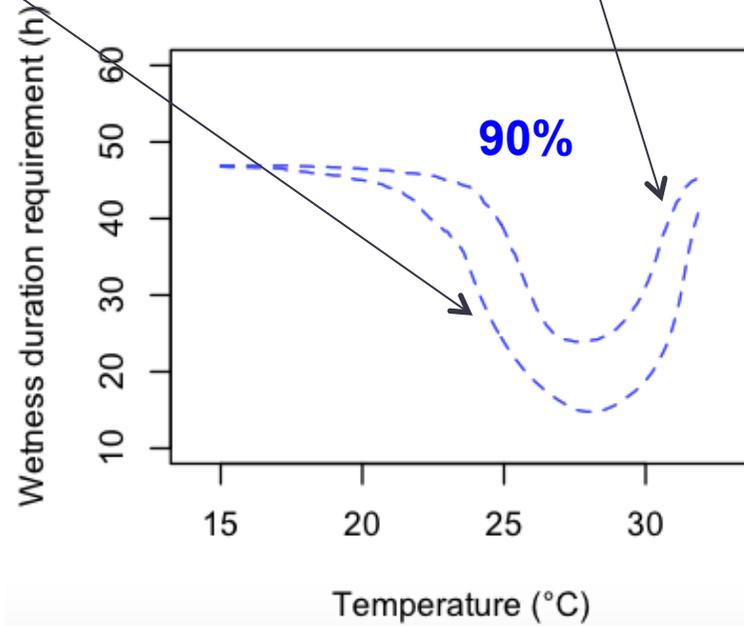
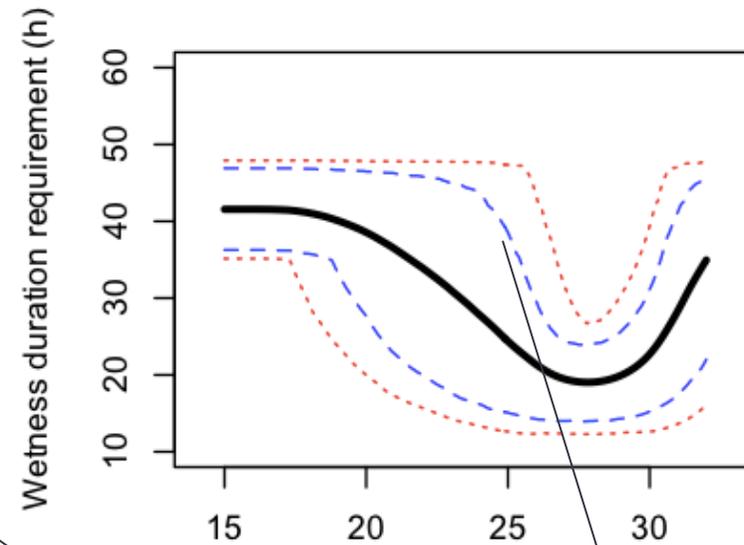
Distributions corrélées (+0.75)



## Distributions indépendantes



## Distributions corrélées (+0.75)



# Intérêt de l'analyse d'incertitude probabiliste

- Un enjeu important pour la recherche ET pour l'**expertise scientifique**
- Une approche utile, de plus en plus appliquée, notamment pour l'analyse des risques
- Une approche qui permet d'analyser globalement l'impact de différentes sources d'incertitude.

EFSA (2016) : « *Probability is the preferred measure for expressing uncertainty* »

# Points de vigilance

- Définir soigneusement les distributions de probabilité
  - Elicitation des connaissances d'experts
  - Méthodes statistiques classiques
  - Méthodes statistiques bayésiennes
  - Copules
- Gérer les temps de calcul
  - Outils informatiques
  - Méta-modèles