

*Utilisation de Winbugs pour la calibration
d'une nouvelle méthode de mesure
d'exposition à des fibres d'amiante.*

Pascal Wild

Contexte : l'amiante

- L'amiante est une famille de minéraux fibreux présents à l'état naturel
- Deux familles d'amiante : les amphiboles et le chrysotile (silicate)
- L'amiante est caractérisée par sa structure cristalline monodimensionnelle. Une fibre d'amiante se casse dans le sens de la longueur et donne des fibres de même longueur mais plus fines.
- Une autre caractéristique de l'amiante est sa faible biosolubilité (moins vrai pour le chrysotile)
- Les mêmes minéraux peuvent exister sous forme amiante et sous d'autres formes cristallines ou amorphes.

l'amiante (suite)

- L'amiante a été très utilisé en particulier dans le bâtiment en particulier comme isolant mais aussi dans les freins, les joints...
- Il y a peu de bâtiments construits entre 1960 et 1977 qui ne contiennent pas d'amiante. (en 1965 l'amiante est encore massivement importée pour un total équivalent à 80 kg par habitant.)
- L'amiante est un cancérogène
 - Le mésothéliome de la plèvre (létal à 6 mois) est un cancer spécifique de l'exposition à l'amiante.
 - Cancer du poumon- non spécifique mais potentialisé par le tabac.
- Les premières études épidémiologiques qui ont montré ces liens datent des années 1960. Dans une étude cas-témoins KC poumon que j'ai menée dans le Nord Lorraine (Wild et al. BJC 2012), nous avons estimé que la fraction des cancers du poumon attribuable à l'amiante était > 20%

l'amiante aspects réglementaires

- En France : L'amiante blanche et bleue (amphiboles) sont classées cancérogènes en France et un décret est publié pour l'usage contrôlé de l'amiante (1977).
- En 1997, l'usage de l'amiante est interdit.
- En 1983, les valeurs limites d'exposition étaient entre 0.3f/mL et 1 f/mL, en 1996 abaissé à 0.1f/mL puis à 0.05f/mL. Cette VL va être baissée 10f/L en 2015.
- Actuellement, l'exposition est essentiellement dans les chantiers de désamiantage (enlèvement de l'amiante dans les bâtiments publics). Ces chantiers sont sévèrement contrôlés - cagoules ventilées et mesures systématiques de l'exposition.
- Mais étant l'ubiquité de l'amiante, il est vraisemblable qu'une exposition professionnelle subsiste parmi les artisans du bâtiment. (second œuvre)

Mesure de l'exposition

- La méthode normalisée de l'exposition consiste à équiper le travailleur d'une pompe à débit contrôlé située près des voies respiratoires reliée à un filtre (cassette 37mm) sur lequel se déposent les fibres d'amiante.
- Le volume de prélèvement V est calculé en multipliant la durée de prélèvement (en général sur une journée de travail) par le débit.
- Dans un deuxième temps, on compte par microscopie électronique le nombre de fibres sur un certain nombre de champs du filtre (on s'arrête de compter soit après un nombre maximal de champs ou quand on en a compté un nombre maximal fixé à l'avance). Le résultat est une surface comptée S_c et un nombre de fibres n .
- La concentration en f/L est estimée par $n.S/(V.S_c)$

Mesure alternative de l'exposition

- Le problème avec la mesure normalisée est le coût du matériel (pompe), la calibration de celle-ci. Surtout elle nécessite la présence d'un technicien pour équiper le travailleur. Cette mesure n'est pas applicable pour des artisans.
- L'alternative est par le port par le travailleur d'échantillonneurs passifs constitués de deux électrets de 25 mm de diamètre et d'un couvercle de protection permettant d'empêcher les passages d'air lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Les particules sont donc collectées par des forces électrostatiques.
- Ces échantillonneurs sont envoyés aux travailleurs qui les retournent après les avoir portés un ou plusieurs jours.
- Le nombre de fibres est déterminé avec la même procédure de comptage.
- Mais quid du volume ?



Notion de débit équivalent

- Prélèvement conventionnel = filtre (nombre de fibres) + pompe (volume d'air)
- La concentration en fibres d'amiante dans l'air s'exprime en nombre de fibres par volume d'air (F/L)
- Badge Passif = autonome pas de pompe permettant de connaître le volume d'air prélevé
- **Volume = Débit x Durée**



Estimation du débit équivalent

✓ Démarche:

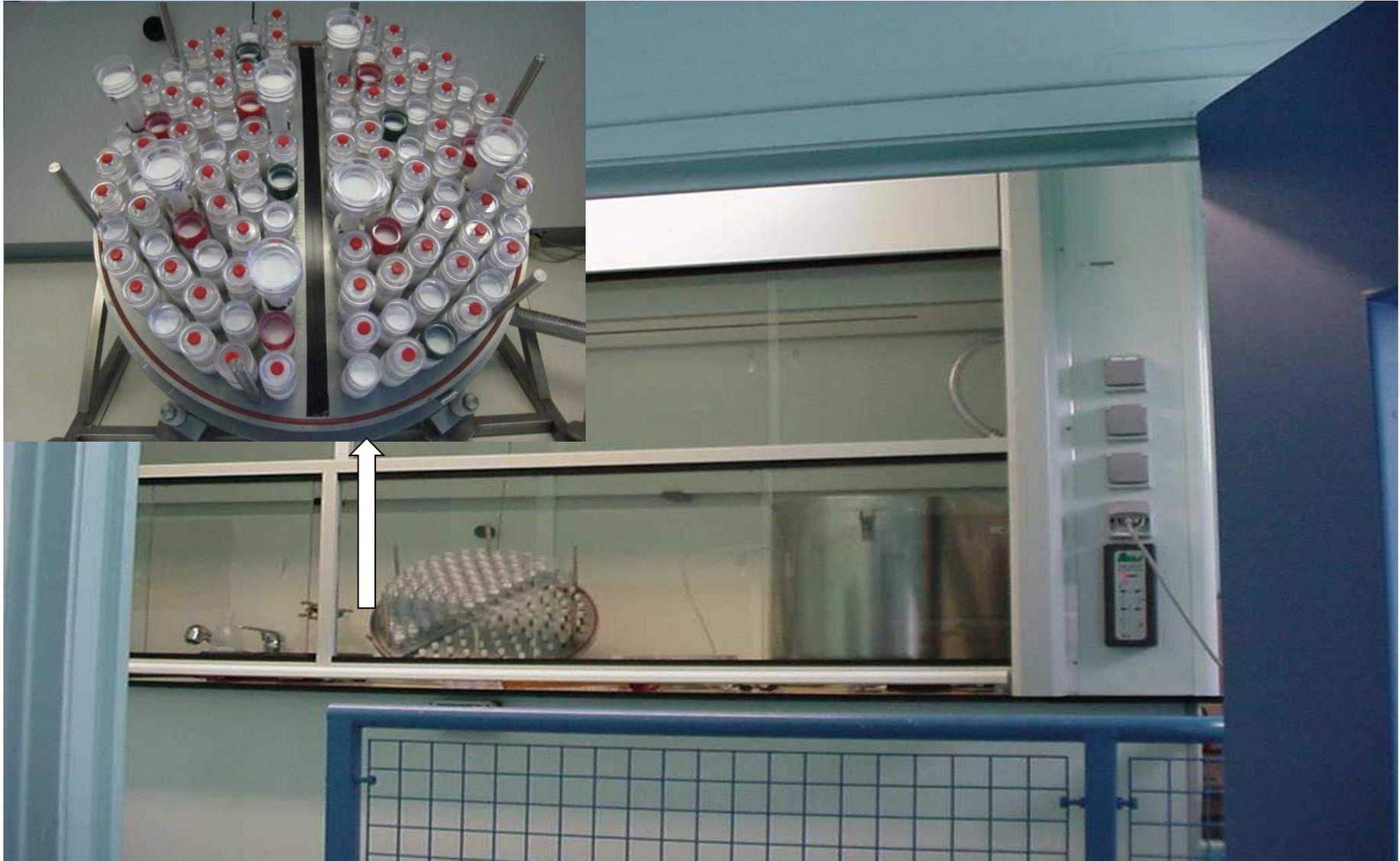
- Utilisation du Banc Sputnic adapté avec un système d'humidification
- Étude de l'influence :
 - *de la charge*
 - **de la concentration en amiante-chrysotile**
 - **de l'Humidité Relative [20% - 50%]**
 - **de la vitesse d'air [0,3m/s – 0,03m/s]**
- Prélèvements simultanés
7 Cassettes (= $C_{\text{Réf}}$) / 7 Badges (1 Témoin)

✓ Analyses par Microscopie Electronique (META) – Méthode indirecte normée:

- Densité en fibres réglementaires
(Fibres $L > 5\mu\text{m}$, $D < 3\mu\text{m}$ et $L/D > 3$)



Banc de génération « Sputnik »



Détails de l'étude expérimentale

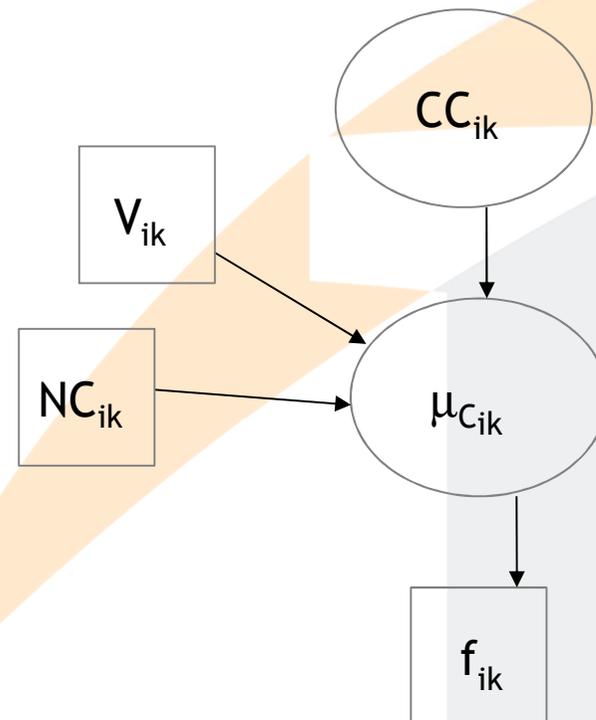
- Le banc Sputnik dédié à l'origine à l'organisation des campagnes de comparaisons analytiques inter-laboratoires a été adapté. Il est constitué d'un cylindre en inox à base conique, avec, en son sommet, une grille de prélèvements comportant 114 orifices critiques de diamètre 0,4 mm environ, permettant d'effectuer simultanément des prélèvements à débits voisins de 1,8 L/min. Ces orifices sont répartis sur 6 couronnes concentriques. Les fibres d'amiante, Chrysotile UICC canadien type B, sont générées à l'aide d'un générateur à lit fluidisé.
- Le système d'injection des aérosols dans le banc a été conçu pour créer une forte turbulence afin d'homogénéiser les aérosols, puis une partie rectiligne permet ensuite de stabiliser le flux d'air.

Plan d'expérience et premiers calculs

- 10 expériences ont été réalisées: les générations ont été réalisées pour deux gammes d'humidité relative, soit 20 et 50% et pour deux gammes de débits, correspondant à des vitesses d'air de 0,03 m/s pour un débit de 1,8 L/min et de 0,3 m/s pour un débit de 19 L/min ainsi que différentes charges des électrets et concentrations de fibres.
- Pour chaque expérience, 7 cassettes 37mm (prélèvement standard) ont été introduits dans le banc ainsi que 7 électrets.
- On peut estimer la concentration à partir de chaque cassette et globalement en prenant la moyenne géométrique de ces concentrations.
- Le volume équivalent a été estimé en divisant la moyenne géométrique du nombre estimé de fibres sur les 7 filtres issus des badges par la concentration de fibres obtenues à partir des cassettes.

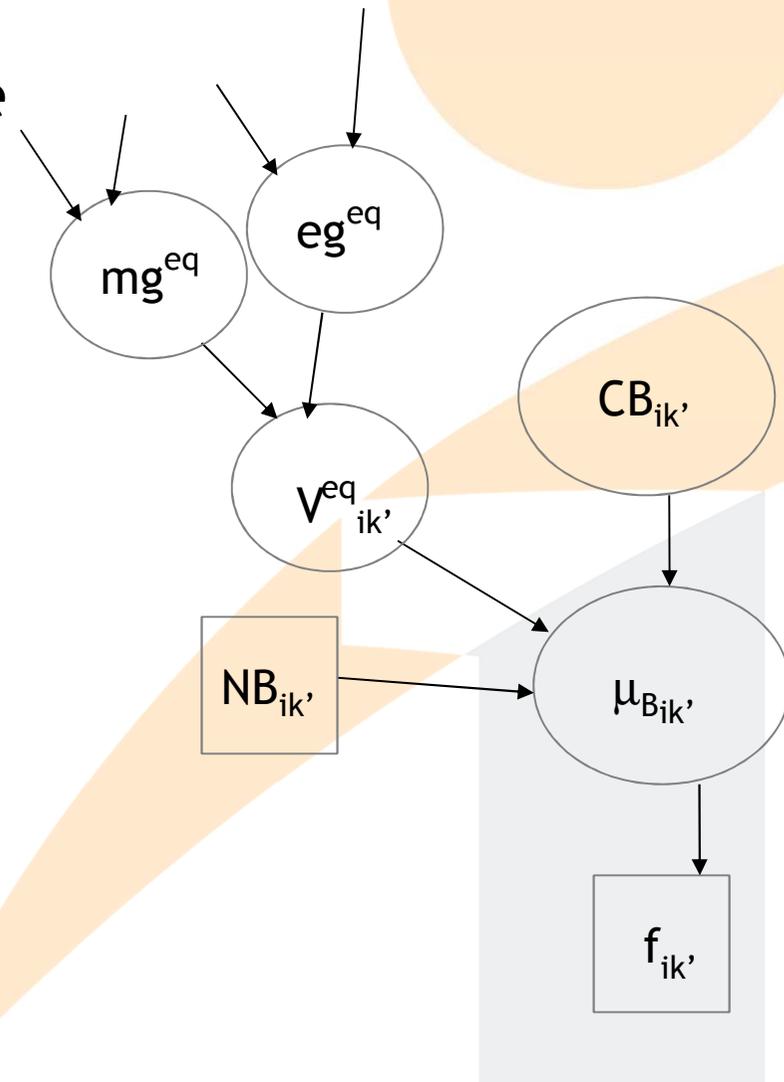
Modèle de mesure pour les cassettes

- Pour la mesure de la cassette k de l'expérience i , le nombre de fibres f_{ik} comptées est une réalisation d'une loi de Poisson de paramètre $\mu_{C_{ik}}$.
- $\mu_{C_{ik}}$ dépend du volume d'air prélevé V_{ik} , du nombre de champs comptés NC_{ik} de l'aire du champ S_{CC} , de l'aire de la cassette S_C et de la concentration CC_{ik} .
- $\mu_{C_{ik}} = V_{ik} \cdot NC_{ik} \cdot CC_{ik} \cdot S_{CC} / S_C$
- NB : $V_{ik} = D_{ik} \cdot T$, mais la durée étant constante, j'ai fait l'inférence sur le volume et non le débit.



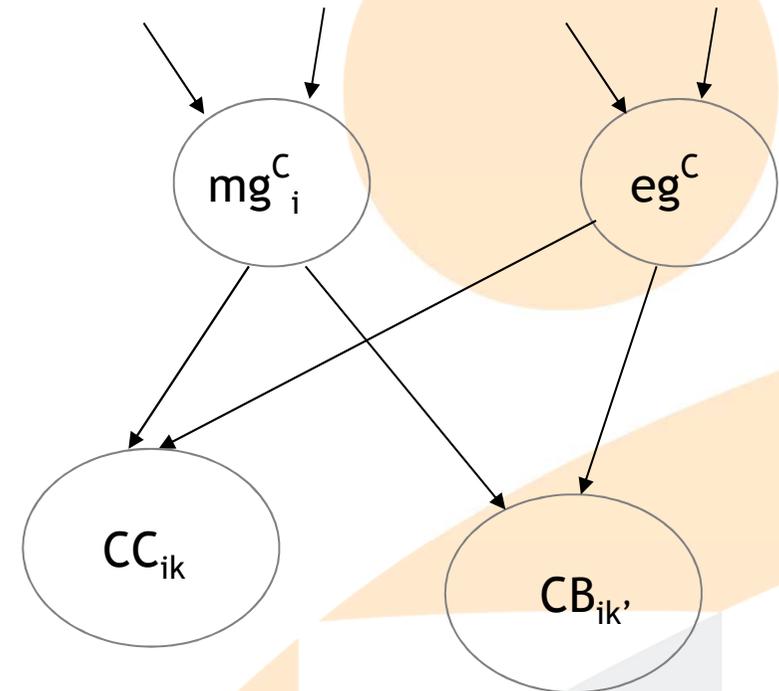
Modèle de mesure pour les badges passifs

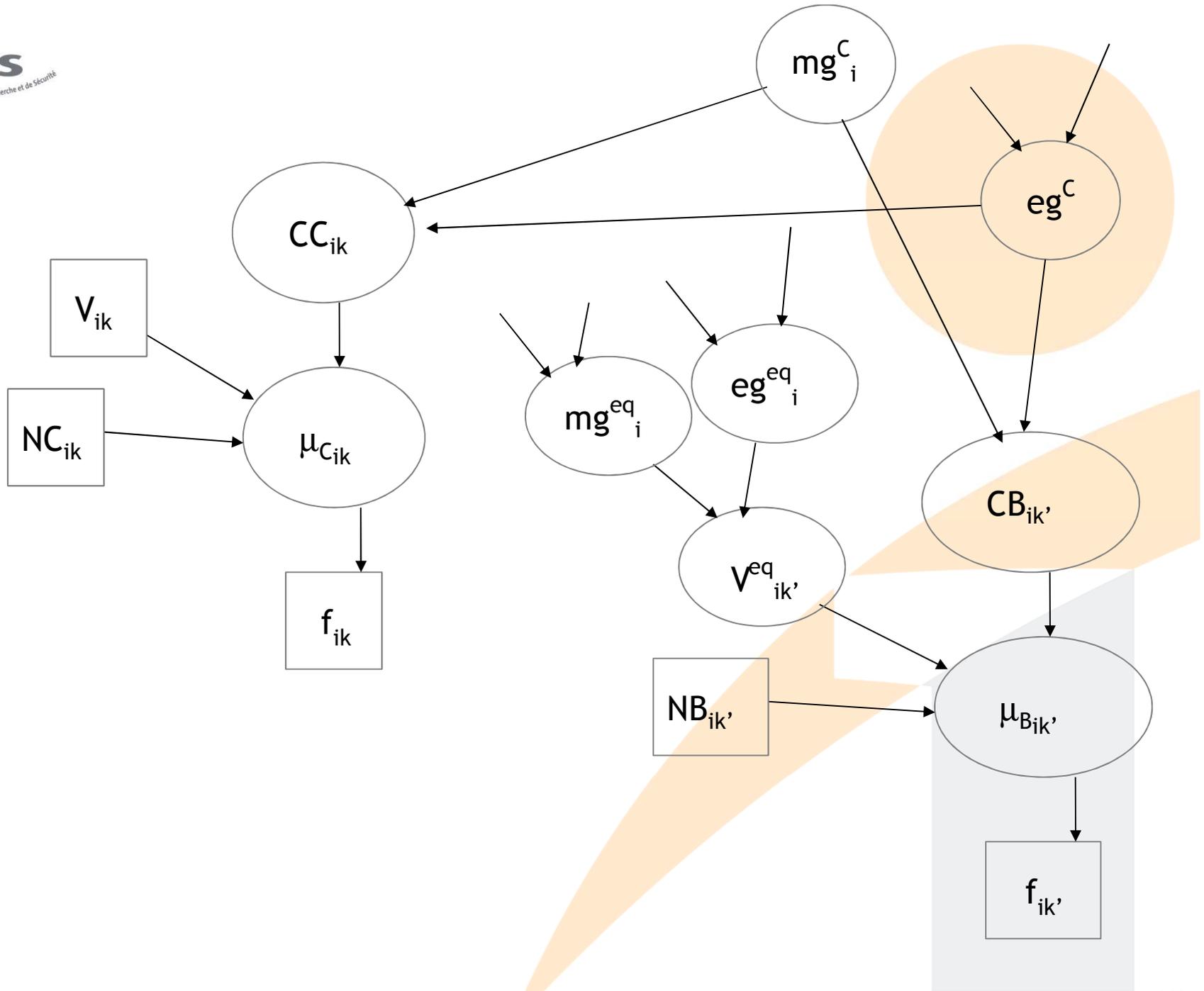
- $\mu_{B_{ik'}} = V_{ik'}^{eq} \cdot NB_{ik'} \cdot CB_{ik'} \cdot S_{BC} / S_B$
- Pour les badges passifs, le volume équivalent est inconnu et est en fait l'objet de la modélisation. On considère que ce volume (en fait le débit) est distribué selon une loi log-normale.
- $V_{ik'}^{eq} \sim LN(mg^{eq}, eg^{eq})$
- L'effet des différents paramètres (humidité relative, charge initiale) a été « testée » avec un modèle de régression linéaire sur $\log(V_{ik'}^{eq})$



Modèle pour les concentrations

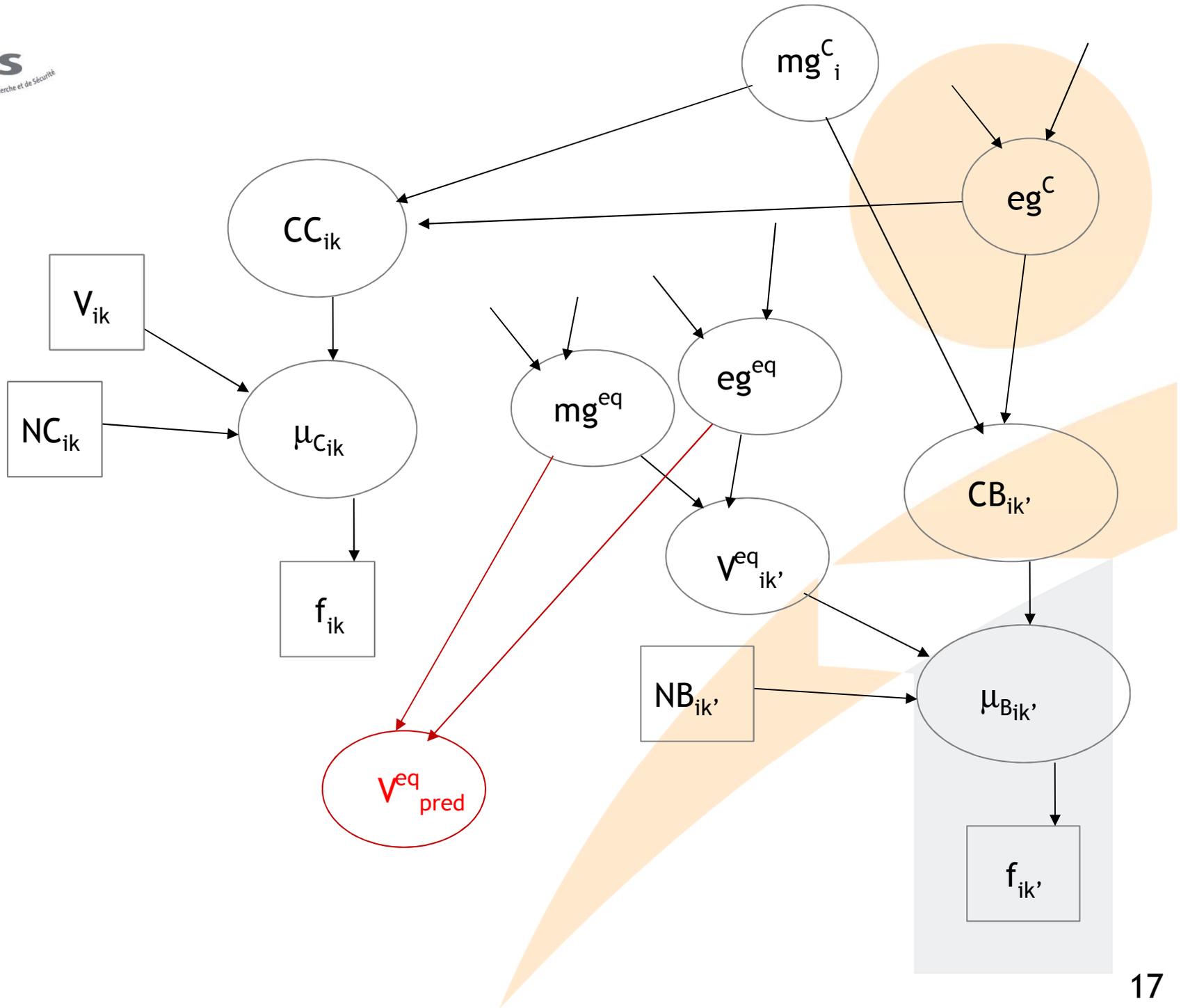
- Il est usuel en hygiène industrielle de considérer que les concentrations de polluants suivent des distributions log-normales. Cela parce qu'empiriquement cela colle assez bien mais il y a aussi qq raisons plus théoriques, les turbulences ont des effets multiplicatifs.
- Les EG sont souvent rapportés dans cette littérature comme mesures de dispersion (la norme EN689 donne EG=3 comme limite pour une situation homogène au travail).
- Dans notre modélisation, on va supposer que l'EG est le même pour toutes les expériences





Rendu du résultat

- Les questions étaient :
 - Quel est le volume équivalent à utiliser pour estimer la concentration de fibres pendant le port du badge passif ?
 - Quelle est mon incertitude sur ce volume équivalent ?
- La réponse est donnée par le tirage au sort d'un volume équivalent dans la distribution log-normale avec les paramètres tirées de la loi a posteriori conjointe de mg^{eq} et eg^{eq}



Résultats:

- ✓ Décroissance importante de la charge au cours des premiers jours –
Pas de lien entre niveau de charge initiale et niveau de décharge
- ✓ Variation de la concentration moyenne entre 0,11 et 0,36 f/cm³
- ✓ Variation du débit équivalent entre 0,11 et 0,26 L/min
- ✓ Modélisation Bayésienne: **pas d'effet significatif de HR, vitesse d'air, charge et concentration sur le débit équivalent**

Débit équivalent:

0,15 L/min*

avec un intervalle de crédibilité à 95% de 0,11 à 0,21 L/min

(* HSL: 0,0225 L/min – sur Badge métallique à 1 seul électret – *sans intervalle de confiance*)

Résultats enquête de terrain chez des plombiers-chauffagistes indépendants

- Au total, 63 Badges ont été analysés et 22 (soit 35%) ont mis en évidence la présence d'amiante :
- 6 badges présentant au moins 4 fibres d'amiante de longueur $> 5\mu\text{m}$, dont 5 avec présence conjointe de FCA (fibres courtes amiante);
- 12 badges avec 1, 2 ou 3 fibres d'amiante de longueur $> 5\mu\text{m}$ et présence conjointe de FCA ;
- 4 badges avec présence uniquement de FCA.
- Les variétés d'amiante analysées ont majoritairement été le chrysotile mais amosite, crocidolite et trémolite ont également été détectées.

Résultats enquête de terrain

Concentration L>5µm (F/L)	Nature Fibres d'amiante	Etat Electrets
4,4 (0-12)	Chrysotile	Décollés
8,6 (0-21,8)	Chrysotile	Charges résiduelles
9 (0-24)	Chrysotile	Charges résiduelles
28,9 (2,31-61,6)	Chrysotile & Crocidolite	Charges résiduelles
57 (7,9-110,6)	Crocidolite & Amosite	Décollés
>> 634	Chrysotile	Charges résiduelles