

Influence de la stratégie d'échantillonnage sur l'évaluation de l'exposition.

M. GRZEBYK, R. VINCENT

Département Métrologie des Polluants, INRS, Avenue de Bourgogne, BP 27, F-54501 Vandoeuvre Cedex, France

INTRODUCTION

L'évaluation de l'exposition professionnelle aux agents chimiques est une opération délicate en raison à la fois de la variabilité spatio-temporelle de l'exposition, des contraintes techniques de mesurage et des aspects économiques liés au coût d'intervention. La manière de pratiquer les mesures d'exposition en termes de nombre de prélèvements, de durées de prélèvement et de période d'observation sont autant d'éléments qui contribuent à introduire une source d'erreur par rapport au diagnostic de respect ou de non-respect des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle VLEP.

L'influence de la stratégie de prélèvement sur des paramètres tels que l'exposition moyenne, les percentiles ou la probabilité de dépassement a été étudiée par de nombreux auteurs ([1,2] par exemple). Ces études montrent que, quand les prélèvements sont réalisés aux cours de journées consécutives, la variabilité de l'exposition est sous-estimée, ce qui entraîne une sous-estimation des percentiles ou de la probabilité de dépassement. Par ailleurs, le nombre de prélèvements nécessaires pour estimer l'exposition moyenne est étroitement lié à la précision désirée et à la variabilité de l'exposition [3].

L'objectif de cette étude est d'analyser, à partir de résultats collectés en entreprise, l'influence de différentes stratégies de prélèvement sur le diagnostic de dépassement ou non-dépassement de la VLEP.

DONNÉES D'EXPOSITION UTILISÉES

Des mesures d'exposition ont été réalisées dans un atelier d'imprimerie utilisant le procédé par héliogravure et des encres contenant uniquement du toluène ; le procédé de fabrication est stabilisé dans le temps et présente une mono-pollution ce qui limite les facteurs de confusion lors de l'interprétation des résultats. Quatre campagnes de mesures d'une durée de quatre jours ont été effectuées, réparties pendant une période d'observation d'une année.

Les salariés de chacun des Groupes d'Exposition Homogène (GEH) identifiés dans cet atelier ont été équipés d'un dispositif de prélèvement passif à charbon actif (badge GABIE) pendant la durée totale du poste de travail de l'après-midi (14h-22h). En parallèle et simultanément à ce prélèvement passif, trois prélèvements consécutifs sur Tube de Charbon Actif (TCA), d'une durée

approximative de deux heures ont été réalisés pour chaque salarié. La détermination de la quantité de vapeurs de toluène piégées sur chaque type de support a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse et étalonnage interne.

Comme les trois prélèvements sur tube effectués sur un salarié au cours d'un poste sont consécutifs, ils ont été regroupés pour simuler des prélèvements de 4 et 6 heures en calculant les moyennes pondérées par la durée de prélèvement de chaque tube. Le tableau 1 résume, le nombre de salariés suivis et le nombre total de prélèvements effectués dans chaque GEH.

GEH	nombre de salariés suivis	nombre de prélèvements	
		TCA (2 heures)	Badge GABIE (8 heures)
1er Conducteur	10	143	48
2nd Conducteur	10	131	46
Bobinier	12	144	49
Receveur	19	224	71

Tableau 1 Résumé des données d'exposition

En France, la Valeur limite de Moyenne d'Exposition (VME) du toluène est de 100 ppm (375 mg/m³) pour une durée d'exposition journalière de 8 heures.

ANALYSE DES STRATÉGIES DE PRÉLÈVEMENT

Définition des stratégies analysées

À partir des données d'exposition collectées, on simule des stratégies d'intervention par échantillonnage dans les mesures réalisées. Les stratégies mises en oeuvre consistent à fixer :

- la durée des prélèvements (tubes de 2, 4 ou 6 heures ou badges de 8 heures),
- le nombre de prélèvements effectués par jour (de un à trois ou 6 selon les GEH et la durée des prélèvements)
- le nombre de jours consécutifs aux cours desquels on réalise les prélèvements (de un à quatre)
- le nombre de périodes au cours desquelles on réplique les mesurages (de une à quatre).

Ce type de stratégies permet d'étudier l'influence de la durée des prélèvements ainsi que l'effet de la répartition des prélèvements dans une période d'une année. Dans la pratique des laboratoires de contrôle, les prélèvements sont le plus souvent concentrés sur une seule période et sur une ou deux journées consécutives.

Pour chacune de ces stratégies, on effectue le tirage de toutes les séries possibles de prélèvements par échantillonnage dans les mesures réalisées. Chaque série correspond à la simulation d'une intervention pour évaluer l'exposition d'un GEH en suivant une stratégie donnée.

Règles permettant d'établir un diagnostic de dépassement de la VLEP

Pour émettre un diagnostic de dépassement ou non-dépassement de la VLEP, deux techniques sont couramment employées en France : l'approche conventionnelle et l'approche probabiliste. Ces deux approches sont détaillées dans le guide METROPOL [4].

L'approche conventionnelle

Dans le cas où le nombre de mesures est peu important, inférieur ou égal à 6, le dépassement de la VLEP est diagnostiqué en comparant la valeur maximale d'une série de prélèvements par rapport au seuil de 0,3 VLEP. On conclut au dépassement si la valeur maximale est supérieure à 0,3 VLEP, au non dépassement si la valeur est inférieure à 0,3 VLEP.

L'approche probabiliste

Dans le cas où nombre de mesures serait supérieur à 6, le diagnostic est établi en calculant la probabilité de dépassement (P) de la VLEP à partir des paramètres de la distribution des résultats de mesure. Le logiciel ALTREX [5] permet d'appliquer ce type de méthodologie.

Si la probabilité P est inférieure ou égale à 0,1%, on considère que la VLEP n'est pas dépassée. Si la probabilité P est supérieure à 5%, on considère que la VLEP est dépassée. Si la probabilité P est comprise entre 0,1% et 5%, le diagnostic est incertain et la situation nécessite une analyse plus approfondie.

Deux autres règles ont été analysées, dérivées de l'approche conventionnelle en remplaçant la valeur maximale par la moyenne arithmétique ou la moyenne arithmétique sous hypothèse de distribution log-normale des valeurs mesurées. Ces règles sont appelées « règle de la moyenne arithmétique » et « règle de la moyenne logarithmique » par la suite. L'intérêt *a priori* de ces deux règles réside dans le fait que l'estimation de la moyenne est indépendante du nombre de valeurs utilisées en terme de biais, contrairement à la valeur maximale.

Procédure d'analyse des stratégies

Pour chaque GEH, le diagnostic de référence est déterminé en utilisant l'approche probabiliste et l'ensemble des mesures effectuées dans ce GEH. Le diagnostic de référence des GEH est donné au tableau 2.

GEH	Nombre de prélèvements	Médiane	Percentile 95%	Valeur maximale	Diagnostic de référence à 100 ppm
Conducteur 1	48	46,9	70,8	109,1	Incertain
Conducteur 2	46	49,9	156,8	224,8	Dépassement
Bobinier	50	24,1	41,4	47,0	Non-dépassement
Receveur	71	39,7	67,2	75,6	Incertain

Tableau 2 : Caractéristiques de l'exposition au toluène (en ppm) de chaque GEH déterminée à l'aide des badges GABIE sur 8 heures.

Pour chaque GEH et chaque stratégie analysée, les pourcentages de diagnostics corrects, c'est à dire identique au diagnostic de référence, sont calculés. Plus le pourcentage de diagnostics corrects est élevé, plus la stratégie (et la règle d'interprétation) est fiable.

Cette approche a été suivie en utilisant le diagnostic de référence établi à la VME effective de 100 ppm et pour des stratégies de prélèvements de moins de 12 prélèvements. Afin de diversifier les situations d'exposition, cette approche a été généralisée en faisant varier le VLEP (entre 40 et 200 ppm). Cette démarche permet de suivre l'évolution de la fiabilité des stratégies de prélèvement et des règles d'interprétation en fonction de la position de la VLEP par rapport à la distribution réelle des mesures.

Principaux résultats

Les GEH sont caractérisés par une variabilité de l'exposition modérée : les écarts-types géométriques varient entre 1,4 et 1.7 pour les prélèvements de 8 heures sur badges et de 6 heures sur tubes et entre 1.6 et 2.2 pour les prélèvements de 4 ou 2 heures sur tubes. Ces valeurs sont bien en deçà de la valeur de 3 généralement retenue pour définir un groupe d'exposition homogène (cf. EN 689). Elles sont aussi bien plus faibles que la valeur de 2,7 trouvée aux Pays Bas [1].

Par ailleurs la variabilité à long terme (inter période) et à court terme (inter journée) des mesures sur badges varie, selon les GEH, entre 0% et 26%.

Des tendances nettes se dégagent de cette analyse :

- la fiabilité des diagnostics augmente quand le nombre de prélèvements augmente (figure 1), sauf quand on utilise l'approche conventionnelle (figure 2);
- la fiabilité des diagnostics augmente quand la durée des prélèvements augmente (figure 3);

- pour un nombre total de prélèvements fixé, l'influence de la répartition en plusieurs jours ou en plusieurs périodes n'est pas systématique (figure 4), sauf pour le GEH « 2nd conducteur » pour lequel on observe une amélioration de la fiabilité quand les prélèvements sont répartis sur plusieurs périodes (figure 5);
- c'est quand la situation d'exposition réelle est effectivement incertaine que la fiabilité du diagnostic est faible, quelle que soit la stratégie et quelle que soit la règle d'interprétation (figure 6) ; même avec 12 prélèvements, le pourcentage de diagnostics corrects peut chuter à 40% avec l'approche probabiliste (elle peut chuter d'avantage avec les autres approches).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Bien que les situations d'exposition utilisées dans cette étude aient une variabilité relativement faible et à moins d'être dans une situation nette de dépassement ou de non dépassement de la VME, les résultats de l'évaluation de l'exposition présentent une variabilité importante pour une stratégie donnée : l'interprétation peut conduire à l'un ou l'autre des diagnostics, avec un risque important d'émettre un diagnostic erroné. Cependant, la stratégie de mesurage a une influence sur la fiabilité du diagnostic : celle-ci augmente lorsque la durée des prélèvements augmente et lorsque le nombre de prélèvements effectués pour émettre le diagnostic augmente. En particulier, l'étude montre que, émettre un diagnostic de dépassement d'une VME 8 heures à partir d'une série de moins de 6 prélèvements par GEH, chacun d'une durée inférieure à 4 heures, présente un risque d'erreur important. Il faut toutefois noter que, même avec 12 prélèvements, la fiabilité du diagnostic peut être faible.

Alors que la variabilité inter journée est souvent présentée comme un élément primordial pour évaluer l'exposition professionnelle, l'influence de la répartition des prélèvements dans le temps n'est pas mise en évidence de façon systématique. Cela provient sans doute du fait que la variabilité inter journée et à moyen/long terme des situations étudiées sont relativement faibles.

La fiabilité du diagnostic n'est pas la même selon que l'on utilise l'une ou l'autre règle d'interprétation. L'approche conventionnelle est biaisée car elle a tendance à conduire à un diagnostic de dépassement alors qu'il n'y en a pas ; ce biais augmente quand le nombre de prélèvements augmente ce qui rend cette approche contre-indiquée. L'approche probabiliste est sans doute celle qui, globalement, produit les résultats les plus acceptables, même lorsque le nombre de prélèvements est inférieur à 6. Les deux règles de la moyenne ne présentent pas d'intérêt supérieur à la règle de la probabilité : selon les situations et les stratégies, la fiabilité du diagnostic peut être meilleure ou bien pire qu'avec l'approche probabiliste.

Bibliographie

- [1] Buringh E., Lanting R., Exposure variability in the workplace: Its implications for the assessment of compliance. *AIHAJ Journal*: Vol **52**, N° 1, pp 6-13.
- [2] Peretz C., Goldberg P., Kahan E., Grady S. et Goren A. The variability of exposure over time : a prospective longitudinal study. *The Annals of Occupational Hygien.* Vol **41**, N° 4, pp 485-500.
- [3] Hewet P. Sample size formulae for estimating the true arithmetic or geometric mean of lognormal exposure distribution. *AIHAJ Journal*: Vol **56**, N° 3, pp 219-225.
- [4] METROPOL . Fiche méthodologique A : stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites. <http://www.inrs.fr/metropol/sommet.htm> et CD ROM INRS.
- [5] Vincent R., Wild P., Thiéry L., Leplay A., Marsenac F., Despres B.. Altrex : un logiciel pour l'analyse statistique et l'interprétation des résultants de mesures. Cas des expositions professionnelles aux agents chimiques et au bruit. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du travail*, 1998, N°**172**, pp 273-281.

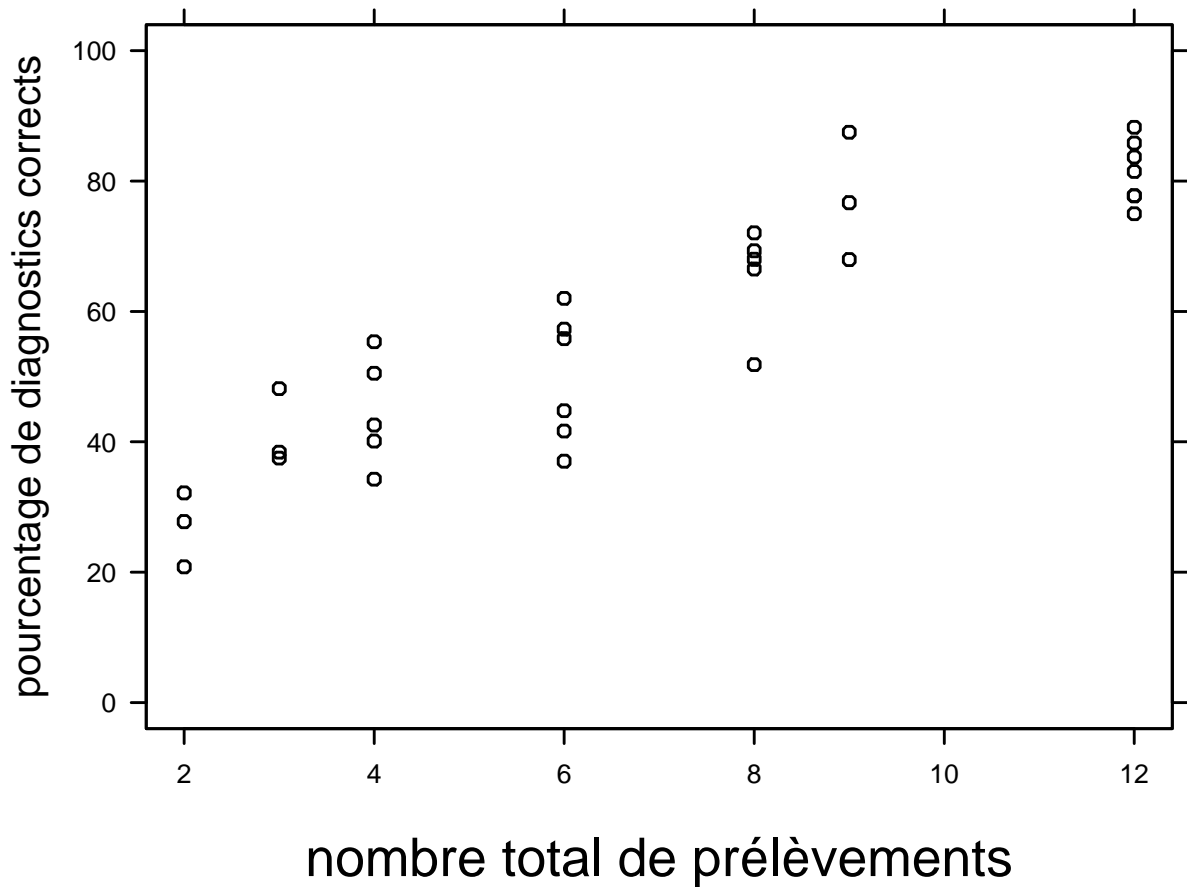


Figure 1 : Pourcentage de diagnostics corrects obtenus par l'approche probabiliste pour la VME de 100 ppm, avec les mesures sur badge du GEH « 1er Conducteur » en fonction du nombre total de prélèvements de la stratégie de mesurage. Chaque point représente le pourcentage obtenu avec une stratégie dont le nombre total de prélèvement figure en abscisse.

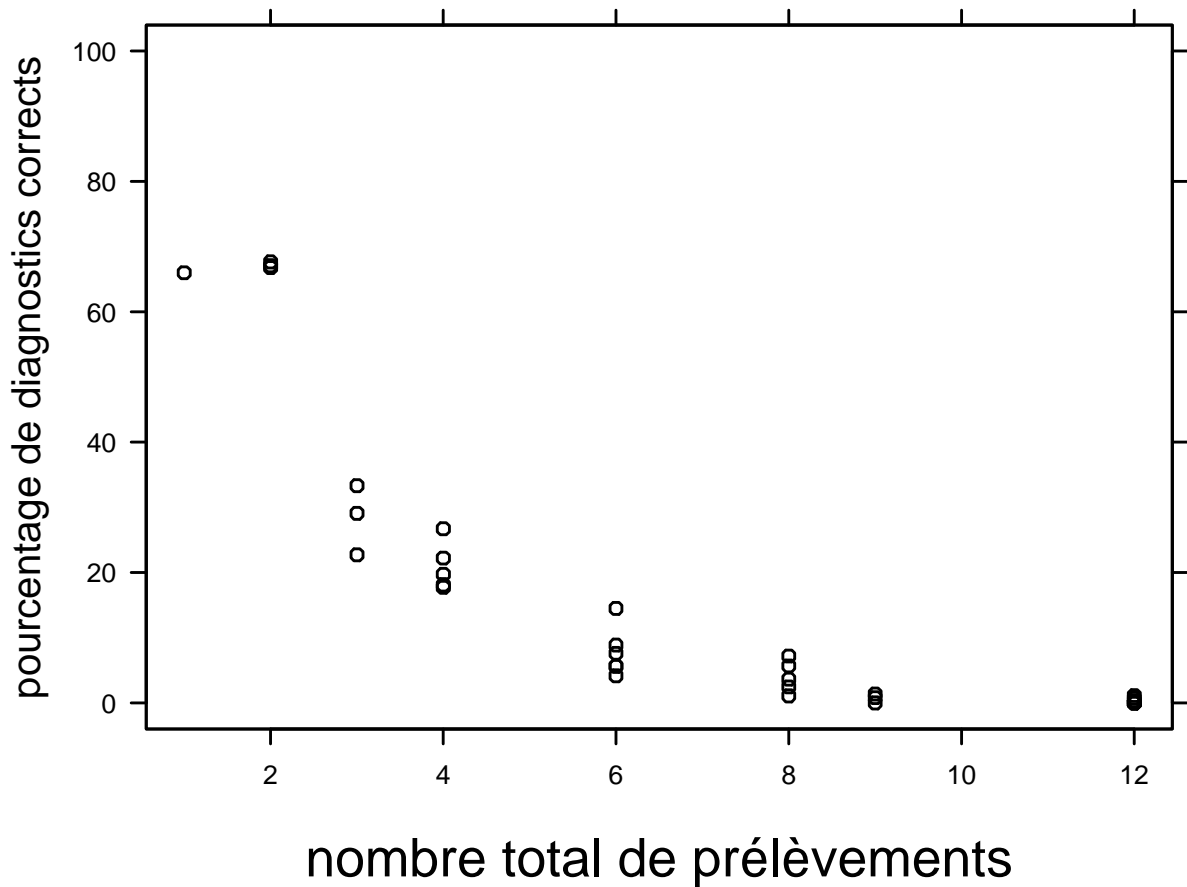


Figure 2 : Pourcentage de diagnostics corrects obtenus par l'approche conventionnelle pour la VME de 100 ppm, avec les mesures sur badge du GEH « Bobinier » en fonction du nombre total de prélèvements de la stratégie de mesurage. Chaque point représente le pourcentage obtenu avec une stratégie dont le nombre total de prélèvement figure en abscisse.

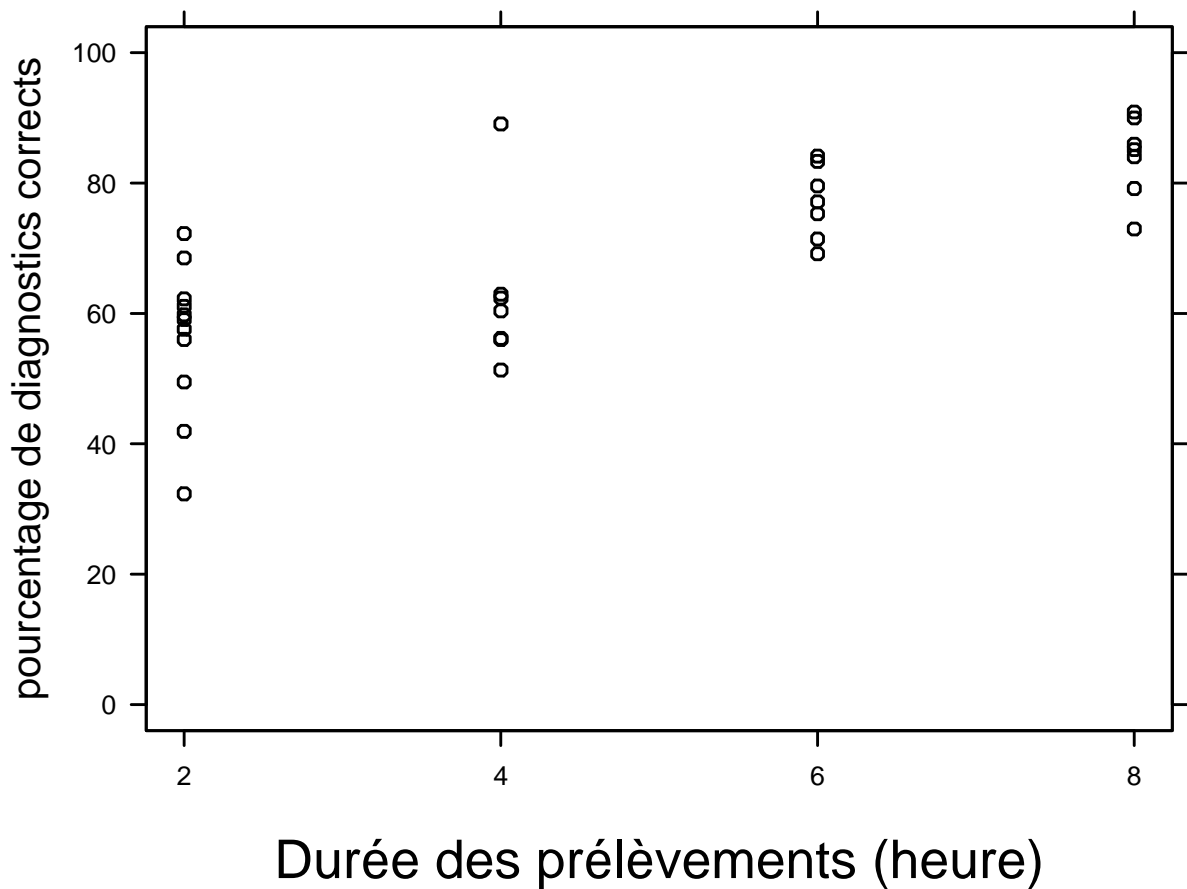


Figure 3: Pourcentage de diagnostics corrects obtenus par l'approche probabiliste pour la VME de 100 ppm, avec 12 mesures du GEH « Bobinier » en fonction de la durée des prélèvements de la stratégie de mesure. Chaque point représente le pourcentage obtenu avec une stratégie dont la durée de prélèvement figure en abscisse.

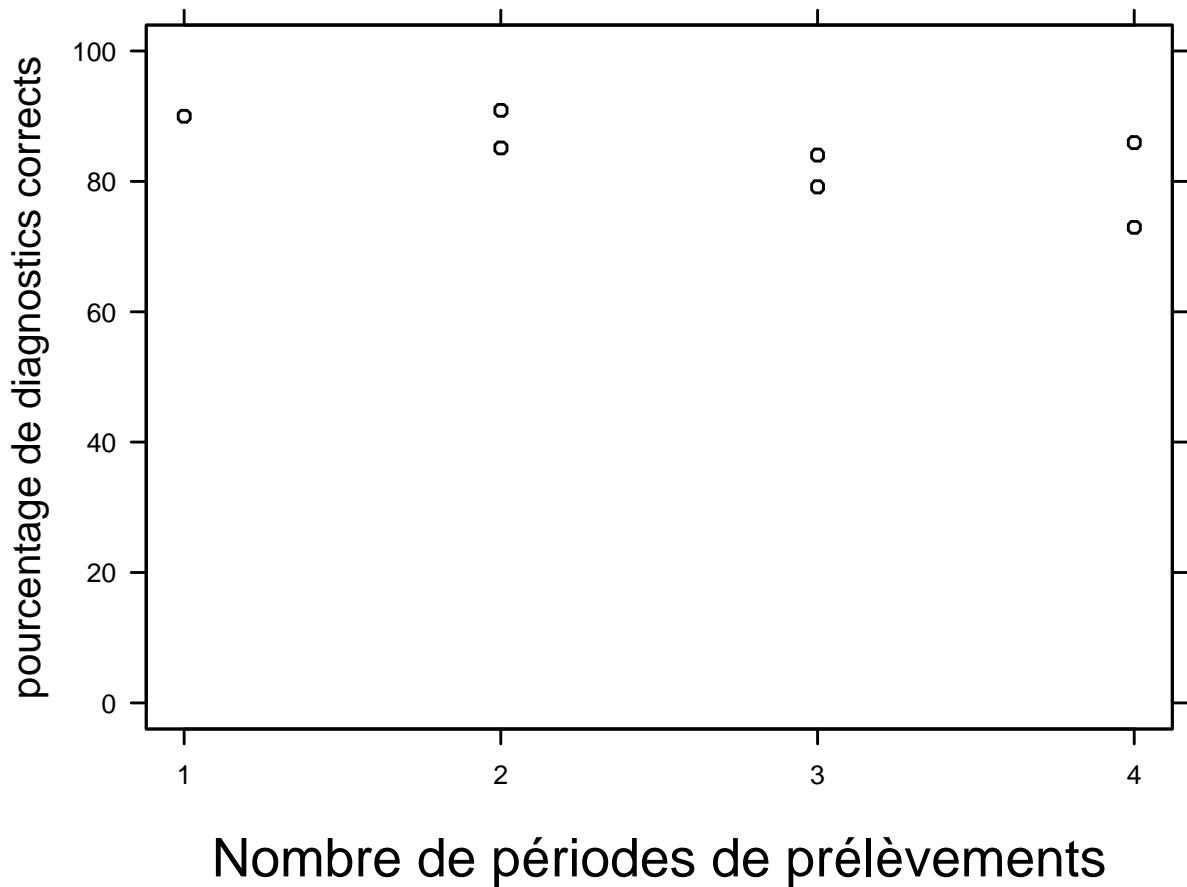


Figure 4 : Pourcentage de diagnostics corrects obtenus par l'approche probabiliste pour la VME de 100 ppm, avec 12 mesures sur badge du GEH « Bobinier » en fonction de la répartition des prélèvements dans l'année. Chaque point représente le pourcentage obtenu avec une stratégie dont le nombre de période de prélèvements figure en abscisse

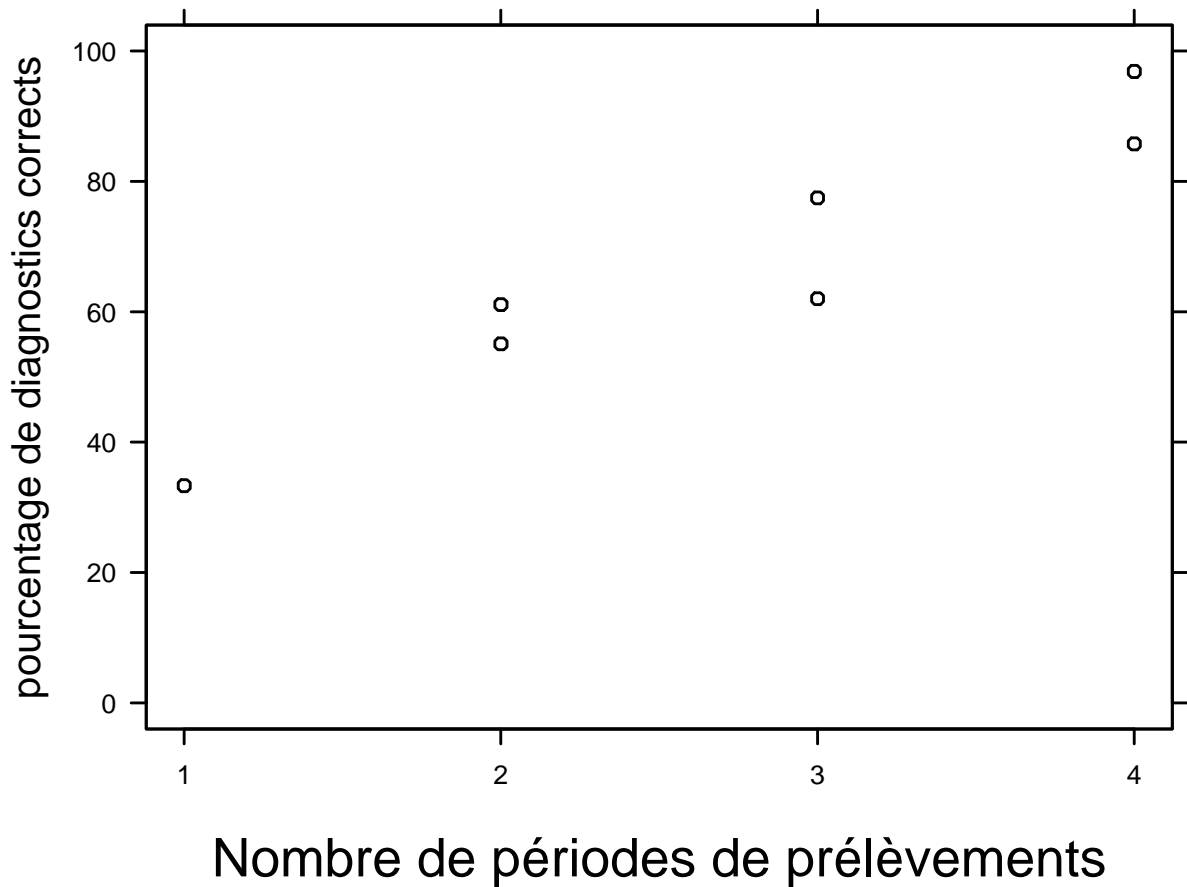


Figure 5 : Pourcentage de diagnostics corrects obtenus par l'approche probabiliste pour la VME de 100 ppm, avec 12 mesures sur badge du GEH « 2nd Conducteur » en fonction de la répartition des prélèvements dans l'année. Chaque point représente le pourcentage obtenu avec une stratégie dont le nombre de période de prélèvements figure en abscisse

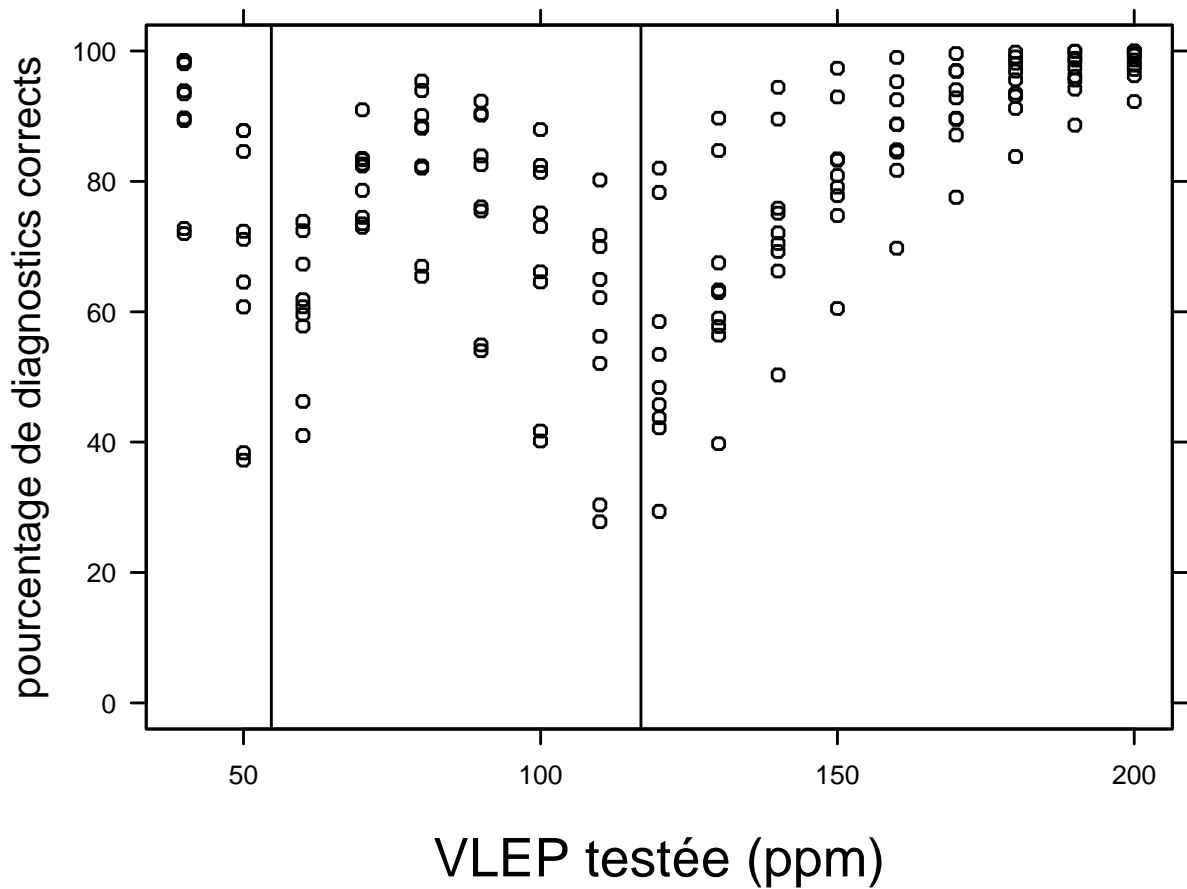


Figure 6 : Pourcentage de diagnostics corrects obtenus par l'approche probabiliste avec 12 mesures sur badge du GEH « Receveur » en fonction de la VLEP testée. Chaque point représente le pourcentage obtenu avec une stratégie et pour la VLEP indiquée en abscisse. Les 2 traits verticaux indiquent les valeurs limites de la VLEP avec lesquelles le diagnostic de référence passe de « dépassement » à « incertain » puis « non dépassement ».