

AIDE AU DIAGNOSTIC DÉPASSEMENT/NON-DÉPASSEMENT DE LA VLEP DANS L'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Cette fiche vient en complément de la fiche méthodologique Métropol A1 (dont la lecture préalable est conseillée) et présente un résumé des différentes options pour établir un diagnostic d'exposition par rapport à une VLEP.

Le plus souvent l'exposition professionnelle aux agents chimiques à un poste de travail est très variable d'un jour à l'autre du fait des variations du procédé de fabrication, des variations du niveau de production, des variations de conditions de ventilation de l'atelier etc.

La solution idéale pour avoir une connaissance du niveau d'exposition serait certainement de mesurer l'exposition de tous les opérateurs tous les jours travaillés mais cette approche est bien entendu impossible à mettre en œuvre en particulier pour des raisons de coût dans l'état actuel des techniques de mesurage. Devant cette impossibilité, il est nécessaire de faire appel à des outils statistiques permettant d'évaluer l'exposition à partir d'un nombre limité de mesurages mais suffisant malgré tout pour pouvoir prendre en compte les variations d'un jour à l'autre de l'exposition. Des campagnes de mesurages devraient donc être effectuées si possible plusieurs fois dans l'année pour pouvoir estimer l'étendue des variations. Il faut noter qu'une fois ces campagnes faites et en l'absence de changement notable du procédé et du poste de travail on dispose alors des caractéristiques de la distribution des données d'exposition ce qui permet de limiter ensuite le nombre des mesurages à réaliser pour le contrôle des expositions.

Cette distribution, sans entrer ici dans le détail des aspects statistiques, obéit le plus souvent à une loi log normale [1]. Cette hypothèse de log normalité permet d'estimer les paramètres statistiques de la distribution : moyenne arithmétique, moyenne géométrique, écart type géométrique et de calculer une probabilité de dépassement d'une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle VLEP (ici une valeur moyenne d'exposition sur 8 H - VME). Ces aspects statistiques ont été décrits par ailleurs [1] [2] [3] [6].

OBJECTIFS

L'objectif de cette démarche est de pouvoir juger si potentiellement, chaque jour, on est dans une situation où l'exposition est inférieure ou supérieure à la valeur limite :

- si le mesurage donne des résultats supérieurs à la valeur limite¹, on doit envisager des mesures de prévention,
- si les mesurages sont inférieurs à la valeur limite, le problème est d'être certain, du fait de la variabilité de l'exposition notamment dans le temps, que ces résultats sont bien représentatifs de la situation de tous les jours et que la VLEP n'est pas parfois dépassée.

On notera l'importance de pouvoir réaliser rapidement un diagnostic permettant la prise de décision, avec un nombre souvent limité de résultats d'exposition, sans attendre les résultats de campagnes de mesurages complémentaires.

Le diagnostic dépassement ou non de la VLEP est effectué à partir de l'estimation de la probabilité de dépassement qui doit être la plus faible possible. Par exemple une probabilité de dépassement de 5% signifiera que sur 100 jours travaillés on peut s'attendre à ce que l'on ait un dépassement de la VME pendant 5 jours. Le calcul de cette probabilité et de son intervalle de confiance [2] [3], prend en compte le nombre de mesures et la dispersion de ces mesures, (l'on peut calculer un intervalle de confiance sur cette probabilité qui va dépendre notamment du nombre de mesurages effectués). Cette probabilité peut être calculée relativement facilement à partir d'une série de résultats et il existe des logiciels permettant d'effectuer directement les calculs nécessaires [4].

LES "GRILLES D'ÉVALUATION"

APPROCHE PROBABILISTE DE LA NORME EN 689 (ANNEXE D) [5]

On compare la valeur estimée de la probabilité de dépassement à deux seuils conventionnels :

- Lorsque la probabilité obtenue est inférieure ou égale à 0,1 % on se trouve dans une situation d'exposition inférieure à la VLEP.
- Lorsque la probabilité est supérieure ou égale à 5 % on se trouve dans une situation d'exposition supérieure à la VLEP.
- Lorsque l'on se trouve entre 0,1 et 5 %, il est précisé que l'exposition "semble" inférieure à la valeur limite mais ceci doit être confirmé par des mesurages périodiques [5].

¹ Une valeur limite ne doit en principe jamais être dépassée. Il faut remarquer que la notion de VME (valeur limite de moyenne d'exposition sur 8 heures) s'applique à une période de référence de 8 heures et devrait être respectée tous les jours travaillés. Il n'est donc pas possible ici pour évaluer l'exposition d'utiliser la moyenne d'une série de résultats pouvant masquer des situations d'exposition très contrastées. Par exemple si le lundi l'exposition donne un résultat de mesurage de 0,1 mg/m³ et le mardi 1,5 mg/m³, la moyenne 0,8 mg/m³ ne peut pas être utilisée pour qualifier l'exposition. Si la valeur limite est de 1 mg/m³ on peut seulement dire ici que la VME est parfois dépassée de manière significative puisqu'après deux mesures, on observe un dépassement important et que donc des mesures de prévention sont à prendre. De fait cette approche "moyenne" peut être utilisée sur le long terme pour évaluer une exposition utile à l'épidémiologiste ou au toxicologue pour en déduire par exemple une dose reçue. L'hypothèse de log normalité de la distribution peut être utilisée pour une meilleure estimation de cette moyenne et de son intervalle de confiance et pour mieux caractériser la distribution elle-même [1], [2], [3].

Il faut remarquer que cette troisième situation est ambiguë car si la probabilité de dépassement réelle (mais inconnue) est effectivement comprise entre 0,1 % et 5 %, cette approche conduit à réaliser indéfiniment des mesurages sans aboutir à une conclusion sur le dépassement ou non de la VLEP.

En fait on peut considérer ici que l'on est entre 0,1 et 5 % dans une zone d'incertitude quant au diagnostic, due à l'incertitude sur la probabilité estimée. Cette incertitude peut être prise en compte dans une procédure basée non sur l'estimation de la probabilité elle-même, mais sur la borne supérieure de l'intervalle de confiance (pour un niveau de confiance spécifié) [2] [4]

APPROCHE PROBABILISTE BASEE SUR L'INTERVALLE DE CONFIANCE

On propose ici de comparer la borne supérieure de l'intervalle de confiance de l'estimation de la probabilité de dépassement au seuil conventionnel (5 %) :

- Lorsque la borne supérieure de l'intervalle de confiance est inférieure ou égale à 5 % on se trouve dans une situation d'exposition inférieure à la VLEP.
- Lorsque la borne supérieure de l'intervalle de confiance est supérieure à 5 % on se trouve dans une situation d'exposition supérieure à la VLEP.

Si le niveau de confiance est très élevé, l'intervalle est généralement très large, ce qui risque de conduire presque systématiquement à un diagnostic de dépassement (lorsque l'on dispose de peu de mesures). De ce fait un seuil de confiance de 70 ou 80 % pour l'intervalle de confiance unilatéral (au lieu des 90 ou 95 % souvent utilisés) permet un bon compromis pour avoir un diagnostic mieux équilibré. Ce point est détaillé en annexe.

GRILLE D'EVALUATION DE L'ANNEXE C DE LA NORME EN 689

La grille d'évaluation suivante est proposée dans la norme EN 689 (annexe C) :

- si la mesure en fraction de VME est $\leq 0,1$ VME l'exposition est inférieure à la valeur limite,
- si 3 mesures sont chacune $\leq 0,25$ VME l'exposition est inférieure à la valeur limite,
- si 3 mesures sont chacune ≤ 1 VME et la moyenne géométrique (médiane) est $\leq 0,5$ VME l'exposition est inférieure à la valeur limite,
- si une mesure est supérieure à 1 VME l'exposition est supérieure à la valeur limite.
- pour tous les cas qui ne rentrent pas dans le schéma ci-dessus la procédure ne fournit pas de décision

Ces conditions sont pour certaines d'entre elles en bon accord avec l'approche statistique et les fractions de VME proposées dans une approche probabiliste en supposant un écart type géométrique de 2 [1]. Seule la proposition concernant la moyenne géométrique $MG \leq 0,5$ VME apparaît discutable car correspondant à un écart type géométrique plus faible². Par ailleurs, cette procédure présente l'inconvénient de ne pas conduire à une décision dans toutes les situations.

² Elle correspond à un écart-type géométrique de 1,5 pour une probabilité de 5 %.

APPROCHES "CONVENTIONNELLES"

Cette approche utilise la grille d'évaluation suivante :

- si les mesures sont $\leq 0,3$ VME l'exposition est inférieure à la valeur limite,
- si une mesure est supérieure à 0,3 VME l'exposition est supérieure à la valeur limite.

Cette approche dite "conventionnelle" car elle utilise par convention des valeurs prédéfinies de l'écart-type géométrique de la distribution log normale des valeurs d'exposition, peut permettre d'éviter de multiplier les mesurages. Le prix à payer est :

- de comparer alors la valeur d'exposition obtenue, non plus à la VME mais à une fraction de cette VME qui sera d'autant plus faible que l'écart type géométrique sera grand (c'est à dire une dispersion des résultats importante) et une probabilité de dépassement acceptable faible.
- Fiabilité médiocre du diagnostic, en particulier lors de "détection de dépassement".

On peut d'ailleurs noter l'analogie sur le plan du principe qui peut être établie entre les facteurs de sécurité appliqués pour l'établissement des VME par les toxicologues pour les conversions à l'homme des résultats de toxicologie expérimentale, et le facteur de sécurité appliqué à la VME pour tenir compte ici de l'incertitude liée à l'échantillonnage.

La valeur de comparaison à 0,3 VME initialement proposée en France par l'INRS et le Ministère du travail suppose un écart-type géométrique de 2 et une probabilité de dépassement de 5 %. Bien que très utilisés ces critères restent cependant arbitraires.

Pour améliorer l'approche, on peut utiliser la valeur de l'écart-type géométrique trouvée dans les bases de données d'exposition professionnelle et obtenue à partir d'études d'exposition effectuées dans une branche d'activité donnée ; la valeur estimée de l'écart-type géométrique caractérisant une situation d'exposition dans une branche donnée pourra être utilisée systématiquement dans l'interprétation des résultats pour des mesurages réalisés dans cette branche.

Cet écart-type géométrique varie typiquement entre 2 et 4. On note donc que la valeur de 2 probablement sous estime, pour un certain nombre de situations, l'écart type géométrique réel. Il s'ensuit que la fraction de 0,3 est probablement elle-même théoriquement trop élevée et qu'une fraction de 0,1 dans cette approche conventionnelle devrait plutôt être retenue (fraction de 0,1 VME qui est proposée également dans la norme EN 689) pour diagnostiquer une exposition inférieure à la valeur limite.

On peut considérer ici que les bornes de fraction 0,1 et 0,3 VME correspondent en première approximation aux bornes de probabilité 0,1 et 5 %. Ces valeurs de fraction permettent d'harmoniser cette approche conventionnelle avec l'approche probabiliste proposée dans la norme EN 689 (annexe D) et décrite ci-dessus :

- si les mesures sont $\leq 0,1$ VME l'exposition est inférieure à la valeur limite.
- si une mesure est supérieure à 0,3 VME l'exposition est supérieure à la valeur limite.
- dans les autres cas, le diagnostic doit être affiné par des mesures supplémentaires et on effectuera le test de la probabilité de dépassement (décrit ci-dessus).

Lorsque l'on dispose de plusieurs mesurages on peut également utiliser en lieu et place des fractions 0,1 et 0,3 les fractions issues du maximum de la série de mesures données dans les tableaux 2 et 3 donnant pour les probabilités 0,1 et 5 % les fractions à ne pas dépasser (pour un écart type géométrique conventionnel $EG = 2$) [1] :

- si le maximum des mesures est \leq à la fraction de VME du tableau 3 correspondant au nombre de mesurages réalisés et à la valeurs choisie de l'écart-type géométrique, l'exposition est inférieure à la valeur limite.
- si le maximum des mesures est $>$ à la fraction de VME du tableau 2 correspondant au nombre de mesurages réalisés et à la valeurs choisie de l'écart-type géométrique, l'exposition est supérieure à la valeur limite.
- dans les autres cas, le diagnostic doit être affiné par des mesures supplémentaires en utilisant le test de la probabilité de dépassement.

Il est nécessaire de garder à l'esprit que ces approches conventionnelles si elles évitent de fait tout calcul, supposent une valeur prédéfinie de l'écart type géométrique (ici de 2) qui ne reflète pas toujours la réalité de l'exposition. Pour cette raison en particulier, l'utilisation de méthodes plus élaborées permettant (même si l'on ne dispose que d'un nombre limité de mesures) une estimation de l'écart type géométrique, de la probabilité et de son intervalle de confiance, se révéleront plus sûres pour établir le diagnostic.

TABLEAU D'AIDE A LA DECISION

Le **tableau 1**, ci-après, résume les différentes approches possibles. Ce tableau doit être considéré comme une aide à la décision pour un premier diagnostic sur une situation d'exposition. Comme signalé ci-dessus si l'on dispose de mesurages effectués sur des journées différentes à un poste de travail, il est préférable si on n'est pas dans le cas d'expositions extrêmes où le diagnostic n'est pas ambigu (supérieures à la VME ou $< 0,1$ VME), d'utiliser les approches non conventionnelles de type D ou E. Les approches "conventionnelles" B qui évitent tout calcul permettent un diagnostic immédiat, mais leur fiabilité dépendra fortement de la dispersion présumée d'un jour à l'autre de l'exposition c'est à dire de l'hypothèse faite sur l'écart-type géométrique.

APPROCHES NE PRENANT PAS EN COMPTE L'INCERTITUDE DES VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES

Si les approches présentées ci-dessus permettent la prise en compte de l'incertitude liée aux variations d'un jour à l'autre de la pollution, il peut exister d'autres approches utilisées plutôt dans un cadre de test de conformité ou de contrôle.

APPROCHE "WORST CASE"

Cette approche [5] consiste à essayer de mesurer pour un poste de travail donné, les situations d'exposition considérées a priori comme les plus élevées. Si ces dernières se révèlent être en dessous de la VLEP, a fortiori toutes les autres situations le seront. Tout le problème résidera justement à définir de façon objective les situations correspondant aux "worst cases" ce qui peut nécessiter également de nombreux mesurages. D'autre part on ne s'affranchit pas dans cette approche d'une mauvaise appréciation possible liée à des fortes variations d'exposition d'un jour à l'autre ou d'une période de l'année à l'autre.

CONTROLE

Le contrôle (qu'il soit réglementaire ou volontaire) peut obéir à une logique différente : un seul mesurage avec comparaison directe à la VLEP avec éventuellement une incertitude technique affectée à la mesure, liée à la précision du mesurage (on notera ici l'analogie avec par exemple des contrôles routiers de vitesse). Ce contrôle permet de vérifier que la VLEP était respectée (ou non) le jour du mesurage mais ne dit rien sur ce qui peut se passer les autres jours. Dans cette approche l'incertitude due à l'échantillonnage et à la variabilité dans le temps n'est a priori pas prise en compte. Il ne s'agit pas ici d'une véritable évaluation de l'exposition (qui elle devrait prendre en compte la variabilité dans le temps) mais uniquement d'un contrôle ponctuel qui peut supposer que l'étude d'évaluation de l'exposition a été faite préalablement en prenant en compte plusieurs mesures. Ce type de contrôle n'est représentatif que de la journée de travail étudiée. À noter que ce contrôle s'il n'est pas volontaire, devrait être inopiné pour être véritablement exploitable.

Ces 2 approches ci-dessus ne peuvent être conseillées si elles ne sont pas complémentaires à une véritable évaluation préalable de l'exposition basée sur un nombre suffisant de mesurages.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Michel GRZEBYK, Jean-Paul SANDINO - Aspects statistiques et rôle de l'incertitude de mesurage dans l'évaluation de l'exposition professionnelle aux agents chimiques. Hygiène et sécurité du travail. Cahiers de notes documentaires 200, p. 9, 2005.

- [2] Paul HEWETT, Gary H. GANSER - Simple procedures for calculating confidence intervals around the sample mean and exceedance fraction derived from lognormally distributed data. Appl. Occup. Environ. Hyg. 12(2), 132, 1997.

- [3] John R. MULHAUSEN, Joseph DAMIANO - A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures. Appendix VI. AIHA Press, 1998.

- [4] Logiciel ALTREX. Base de données Metropol. Téléchargeable sur www.inrs.fr (voir également fiche méthodologique A1 dans Métropol).

- [5] Norme EN 689 - Atmosphères des lieux de travail. Conseils pour l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques aux fins de comparaison avec des valeurs limites et stratégie de mesurage. Février 1995.

- [6] Fiche méthodologique A1 - Stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites. § 4.4.2 ; Base Métropol INRS www.inrs.fr.

Tableau 1
Aide à l'établissement du diagnostic d'exposition (dépassement ou non-dépassement de la VME)

Nombre de mesures et type d'approche	Test conditionnel	Diagnostic
A Quelque soit le nombre de mesures	Si une mesure (ou plus) supérieure(s) à la VME	Situation de dépassement de la VME.
B De 1 à 5 mesures Approche conventionnelle ($E_G = 2$) Comparaison du maximum des mesures aux fractions de la VME indiquées aux tableaux 2 et 3 (V et VIII dans [1]). Pour $n = 1$, fraction = 0,1 ($p = 0,1\%$) et fraction = 0,3 ($p = 5\%$) Pour $n = 3$ fraction 0,20 ($E_G = 2$ et $p = 0,1\%$).	Si $maximum \leq$ fraction du tableau pour $p = 0,1\%$	Non-dépassement de la VME.
	Si $maximum >$ fraction du tableau pour $p = 5\%$	Dépassement de la VME.
	Dans les autres cas	On ne peut conclure. Des mesurages complémentaires sont à mettre en place. Ces mesurages vont permettre d'utiliser une des autres approches ci-dessous (D ou E).
C De 1 à 5 mesures Approche probabiliste simplifiée [6]. Calcul des probabilités de dépassement de la VME (à partir d'au moins 2 mesures) Logiciel Altrex : Si série supérieure à 6, Calcul de la probabilité de dépassement et de son intervalle de confiance IC [2], [3], [4].	Si $probabilité \leq 0,1\%$	Non-dépassement de la VME.
	Si $probabilité \geq 5\%$	Dépassement de la VME.
	Si $0,1\% \leq probabilité \leq 5\%$	On ne peut conclure. Des mesurages complémentaires sont à mettre en place. Ces mesurages vont permettre une exploitation plus complète avec la méthode D ou E.
D Au moins 6 mesures Approche probabiliste EN 689 [6]. Calcul des probabilités de dépassement de la VME. Le logiciel Altrex peut être utilisé.	Si $probabilité \leq 0,1\%$	Non-dépassement de la VME.
	Si $probabilité > 5\%$	Dépassement de la VME.
	Si $0,1 < probabilité \leq 5\%$	On ne peut conclure. Des mesurages complémentaires sont à mettre en place. Ces mesurages vont permettre une exploitation plus complète avec la méthode E.
E Au moins 6 mesures Test de la probabilité de dépassement. Calcul de la probabilité de dépassement et de son intervalle de confiance IC [2], [3], [4]. Le logiciel Altrex peut être utilisé.	Si borne supérieure de l'intervalle de confiance $\leq 5\%$	Non-dépassement de la VME.
	Si borne supérieure de l'intervalle de confiance $> 5\%$	Dépassement de la VME

Tableau 2
Fraction de VLEP, en fonction de l'écart-type géométrique et du nombre de mesures,
que le maximum d'une série de mesures ne doit pas dépasser,
correspondant à une probabilité de dépassement inférieure ou égale à 0,05 [1]

Écart-type géométrique Nombre de mesures	1,1	1,5	2	2,5	3	4
1	0,85	0,51	0,32	0,22	0,16	0,10
2	0,90	0,63	0,45	0,35	0,29	0,21
3	0,92	0,70	0,54	0,45	0,38	0,30
4	0,93	0,75	0,61	0,52	0,46	0,37
5	0,95	0,79	0,67	0,59	0,53	0,45
6	0,95	0,82	0,71	0,64	0,59	0,51
7	0,96	0,85	0,76	0,69	0,64	0,57
8	0,97	0,87	0,79	0,74	0,69	0,63
9	0,97	0,89	0,83	0,78	0,74	0,68
10	0,98	0,91	0,86	0,81	0,78	0,73

Tableau 3
Fraction de VLEP, en fonction de l'écart-type géométrique et du nombre de mesures,
que le maximum d'une série de mesures ne doit pas dépasser,
correspondant à une probabilité de dépassement inférieure ou égale à 0,001 [1]

Écart-type géométrique Nombre de mesures	1,1	1,5	2	2,5	3	4
1	0,74	0,29	0,12	0,06	0,03	0,01
2	0,78	0,35	0,17	0,09	0,06	0,03
3	0,80	0,39	0,20	0,12	0,08	0,04
4	0,81	0,42	0,22	0,14	0,09	0,05
5	0,82	0,44	0,25	0,16	0,11	0,06
6	0,83	0,46	0,26	0,17	0,12	0,07
7	0,84	0,47	0,28	0,18	0,13	0,08
8	0,84	0,49	0,29	0,20	0,14	0,08
9	0,85	0,50	0,30	0,21	0,15	0,09
10	0,85	0,51	0,31	0,22	0,16	0,10

HISTORIQUE

Version	Date	Modification(s) faisant l'objet de la nouvelle version	Paragraphes concernés
A3/V01	1/06/2006	Création	
A3/V02	15/02/2008	Intervalle de confiance unilatéral Annexe : Fiabilité intrinsèque	1 ^{er} paragraphe page 3 Page 10

FIABILITE INTRINSEQUE DE L'APPROCHE PROBABILISTE BASÉE SUR L'INTERVALLE DE CONFIANCE

Dans cette approche, le diagnostic est basé sur la comparaison de la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral de la probabilité de dépassement de la valeur limite, estimée à partir de quelques mesures. On détermine la fiabilité intrinsèque de cette comparaison, c'est à dire celle imputable directement au choix des paramètres modifiables dans cette procédure, en supposant que les conditions suivantes sont réalisées :

1. les mesures sont représentatives de la situation d'exposition évaluée,
2. la distribution de l'exposition suit une loi log-normale.

Les paramètres modifiables dans la procédure étant :

1. le nombre de mesures, de 2 à 10 ;
2. le niveau de confiance de l'intervalle de confiance unilatéral : on choisira 70%, 80% et 95%.

Pour déterminer la fiabilité de l'approche probabiliste, on calcule le pourcentage de diagnostics de non-dépassement que l'on peut attendre en fonction du nombre de mesures, et du niveau de confiance retenu. On peut montrer que ce pourcentage ne dépend que de la probabilité de dépassement réelle de la situation d'exposition (ni de sa moyenne géométrique, ni de son écart-type géométrique).

De cette manière, on met en évidence les paramètres de la procédure (le nombre de valeur et le niveau de confiance) qui conduisent à un diagnostic fiable, c'est à dire à un diagnostic pour lequel les deux conditions suivantes sont remplies :

1. le pourcentage attendu de diagnostics de non-dépassement est élevé (au moins 80%) lorsque la probabilité de dépassement réel d'une situation d'exposition est faible (inférieure à 1%) ;
2. le pourcentage attendu de diagnostics de non-dépassement est faible (inférieur à 10%) lorsque la probabilité de dépassement réel d'une situation d'exposition est élevée (supérieure à 25%).

RESULTATS

Les pourcentages de diagnostics de non-dépassement attendus en fonction de la probabilité de dépassement réelle de la valeur limite lorsque le nombre de mesures réalisées est égal à 4, 5, 6 ou 10 pour un choix du niveau de confiance égal à 70%, 80%, et 95% sont représentés respectivement figures 1, 2, et 3. Ces résultats ont été obtenus par simulation. Pour chaque probabilité de dépassement testée p , chaque niveau de confiance α de l'intervalle de confiance unilatéral et chaque nombre de mesures N , 10 000 séries de N valeurs ont été tirées selon une loi log-normale dont la probabilité de dépassement est p . Les bornes supérieures de l'intervalle de confiance unilatéral au niveau de confiance α de ces 10 000 séries ont été calculées ; le pourcentage de diagnostics de non-dépassement s'en déduit comme le pourcentage de fois où ces bornes sont inférieures à 5%.

Ces figures amènent les remarques suivantes :

1. comme attendu, quel que soit le niveau de confiance choisi, l'augmentation du nombre de mesures augmente la fiabilité du diagnostic ;
2. le manque de fiabilité se traduit davantage par un biais dans le sens du dépassement (tendance à ne pas diagnostiquer des non-dépassements) ;

3. c'est en particulier le cas lorsqu'on utilise le seuil de 95% (figure 3) : le pourcentage de diagnostics de non-dépassement est trop faible même lorsque la probabilité de dépassement réelle est très faible. L'utilisation du seuil de 95% n'est pas adapté pour réaliser un diagnostic équilibré, on obtient un diagnostic biaisé dans le sens du dépassement.
4. l'utilisation d'un seuil plus faible limite ce biais et est plus apte à conduire à un diagnostic équilibré : par exemple pour 70% (figure 1) on observe que :
 - le risque de ne pas diagnostiquer comme un dépassement une situation dont la probabilité de dépassement réelle est supérieure à 20% est inférieur à 10%, lorsque le nombre de mesures est au moins égal à 4 ;
 - le risque de ne pas diagnostiquer comme un non-dépassement une situation dont la probabilité de dépassement réelle est inférieure à 1% est inférieur à 40%, lorsque le nombre de mesures est au moins égal à 5 ;

On obtient des conclusions intermédiaires avec le seuil de 80% (cf. figure 2).

RECOMMANDATIONS

La fiabilité du diagnostic basée sur l'intervalle de confiance va bien entendu dépendre du nombre de mesures effectuées. À ce titre l'utilisation si possible d'au moins 6 mesures comme précisé dans le tableau 1 doit être recommandé. Un nombre plus limité de mesures peut être envisagé au détriment de la fiabilité ; en particulier, cela entraîne une baisse importante du pourcentage de diagnostics de non-dépassement lorsque la probabilité de dépassement exacte est faible (par exemple <1%). Le niveau de confiance sur l'intervalle de confiance doit être aussi le plus élevé possible mais on a vu (figure 3) qu'une valeur élevée de 95% conduit à un diagnostic déséquilibré. Une valeur au contraire trop faible enlèvera toute crédibilité au diagnostic. Des valeurs de 70 ou 80 % (cf. figures 1 et 2) apparaissent comme un bon compromis.

Figure 1 Pourcentage de diagnostics « non-dépassement » lorsque l'on compare la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral au niveau de confiance de 70% de la probabilité de dépassement à la valeur de 5% en fonction de la probabilité de dépassement exacte de la situation d'exposition lorsque l'on utilise 4, 5, 6 ou 10 mesures d'exposition pour effectuer le diagnostic.

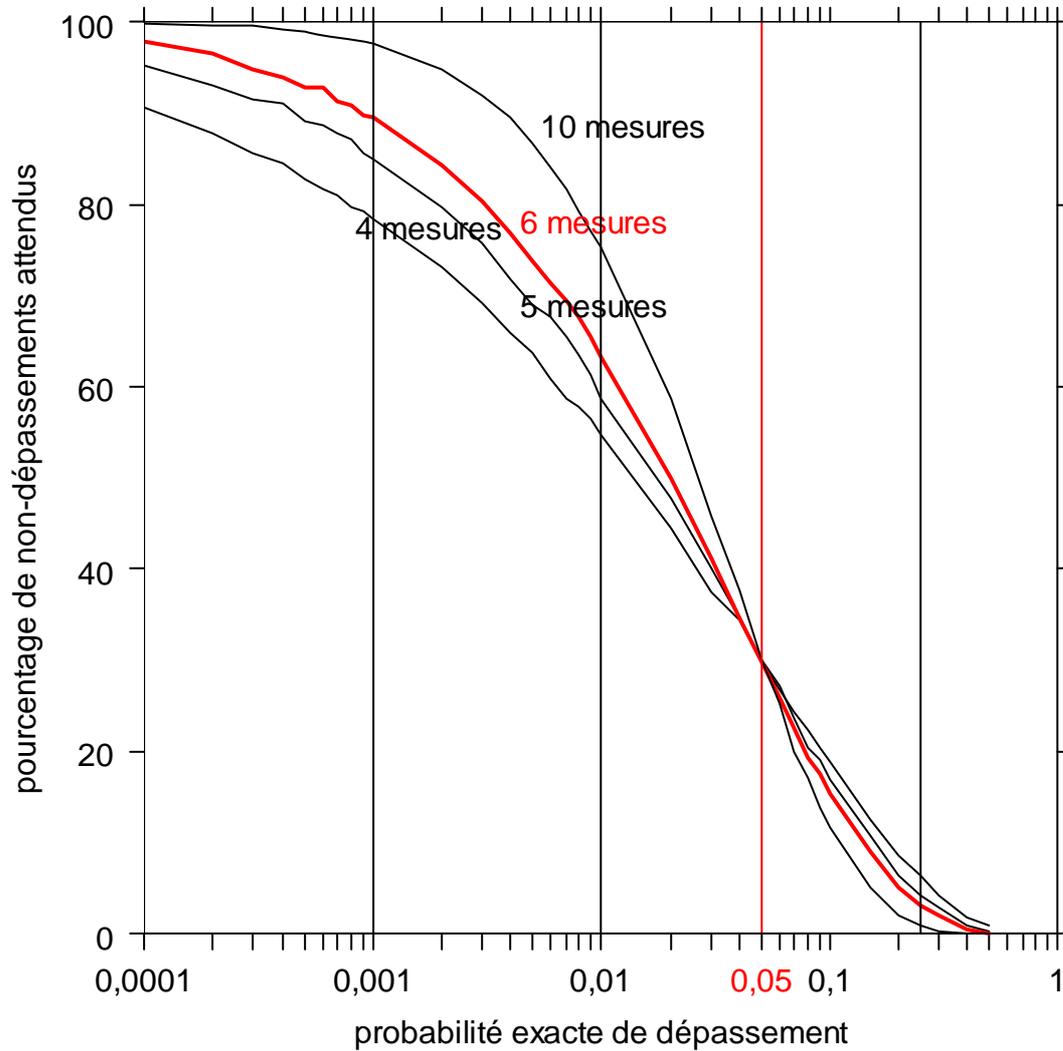


Figure 2 Pourcentage de diagnostics « non-dépassement » lorsque l'on compare la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral au niveau de confiance de 80% de la probabilité de dépassement à la valeur de 5% en fonction de la probabilité de dépassement exacte de la situation d'exposition lorsque l'on utilise 4, 5, 6 ou 10 mesures d'exposition pour effectuer le diagnostic.

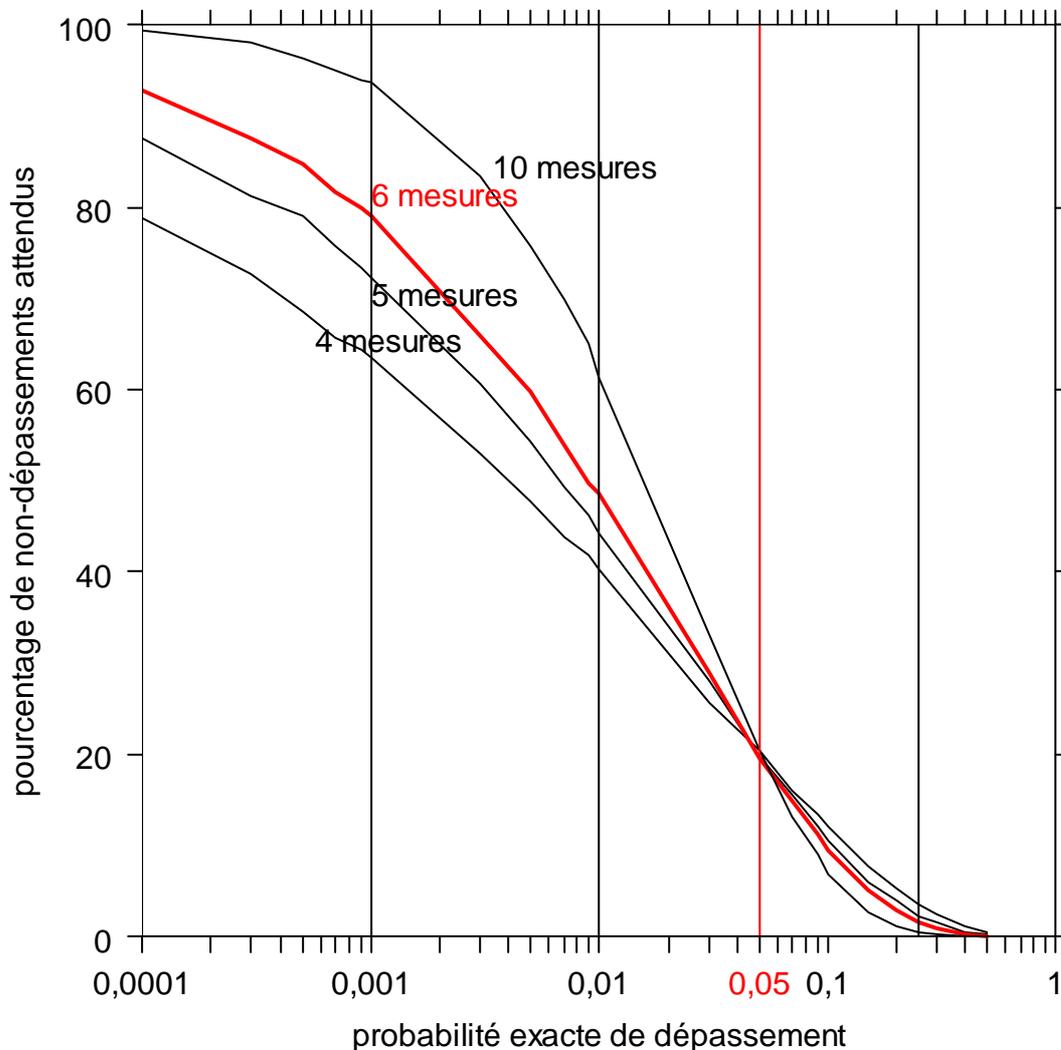


Figure 3 Pourcentage de diagnostics « non-dépassement » lorsque l'on compare la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral au niveau de confiance de 95% de la probabilité de dépassement à la valeur de 5% en fonction de la probabilité de dépassement exacte de la situation d'exposition lorsque l'on utilise 4, 5, 6 ou 10 mesures d'exposition pour effectuer le diagnostic.

