



**NORMES INTERNATIONALES POUR LES
MESURES PHYTOSANITAIRES**

NIMP n° 31

MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE DES ENVOIS

(2008)

REVOUQUÉ

Produit par le Secrétariat de la Convention internationale pour la protection des végétaux

REVOQUE

TABLE DES MATIÈRES

ACCEPTATION

INTRODUCTION

CHAMP D'APPLICATION

RÉFÉRENCES

DÉFINITIONS

RÉSUMÉ DE RÉFÉRENCE

CONTEXTE

OBJECTIFS DE L'ÉCHANTILLONNAGE DES ENVOIS

EXIGENCES

1. **Identification des lots**
2. **Unité d'échantillonnage**
3. **Méthodes d'échantillonnage statistiques et autres méthodes**
 - 3.1 Échantillonnage fondé sur des critères statistiques
 - 3.1.1 Paramètres et concepts apparentés
 - 3.1.1.1 Niveau d'acceptation
 - 3.1.1.2 Niveau de détection
 - 3.1.1.3 Niveau de confiance
 - 3.1.1.4 Efficacité de la détection
 - 3.1.1.5 Taille de l'échantillon
 - 3.1.1.6 Niveau de tolérance
 - 3.1.2 Liens entre les paramètres et le niveau de tolérance
 - 3.1.3 Méthodes d'échantillonnage fondées sur des critères statistiques
 - 3.1.3.1 Échantillonnage aléatoire simple
 - 3.1.3.2 Échantillonnage systématique
 - 3.1.3.3 Échantillonnage stratifié
 - 3.1.3.4 Échantillonnage progressif
 - 3.1.3.5 Échantillonnage en grappes
 - 3.1.3.6 Échantillonnage d'une proportion fixe
 - 3.2 Échantillonnage non fondé sur des critères statistiques
 - 3.2.1 Échantillonnage programmé
 - 3.2.2 Échantillonnage aveugle
 - 3.2.3 Échantillonnage sélectif et biaisé
 4. **Choix d'une méthode d'échantillonnage**
 5. **Détermination de la taille d'un échantillon**
 - 5.1 Distribution individuelle de l'organisme nuisible dans le lot
 - 5.2 Distribution agrégée de l'organisme nuisible dans le lot
 6. **Niveau variable de détection**
 7. **Résultat de l'échantillonnage**

APPENDICE 1

Formules utilisées dans les appendices 2 à 5

APPENDICE 2

Calcul de la taille de l'échantillon pour les lots de petite taille: échantillonnage basé sur la distribution hypergéométrique (échantillonnage aléatoire simple)

APPENDICE 3

Lots de grande taille: échantillonnage basé sur la distribution binomiale ou la distribution de Poisson

APPENDICE 4

Organismes nuisibles présentant une distribution agrégée: échantillonnage basé sur la loi bêta binomiale

APPENDICE 5

Comparaison des résultats de l'échantillonnage basé sur la distribution hypergéométrique et de l'échantillonnage d'une proportion fixe

REVOQUÉ

ACCEPTATION

La présente norme a été acceptée par la Commission des mesures phytosanitaires en avril 2008.

INTRODUCTION

CHAMP D'APPLICATION

La présente norme a pour objet d'aider les organisations nationales de protection des végétaux (ONPV) à choisir des méthodes d'échantillonnage adaptées au processus d'inspection ou d'analyse des envois afin de vérifier la conformité aux exigences phytosanitaires.

La présente norme ne donne pas d'indication pour le prélèvement d'échantillons sur le terrain (par exemple, qui sont nécessaires pour la surveillance).

RÉFÉRENCES

- Analyse du risque phytosanitaire pour les organismes de quarantaine, incluant l'analyse des risques pour l'environnement et des organismes vivants modifiés*, 2004, NIMP n° 11, FAO, Rome
- Analyse du risque phytosanitaire pour les organismes réglementés non de quarantaine*, 2001, NIMP n° 21, FAO, Rome.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. Troisième édition. New York, John Wiley & Sons, 428 p.
- Directives pour l'inspection*, 2005, NIMP n° 23, FAO, Rome.
- Directives pour un système phytosanitaire de réglementation des importations*, 2004, NIMP n° 20, FAO, Rome
- Glossaire des termes phytosanitaires*, 2008, NIMP n° 5, FAO, Rome.
- Principes phytosanitaires pour la protection des végétaux et l'application de mesures phytosanitaires dans le cadre du commerce international*, 2006, NIMP n° 1, FAO, Rome

DÉFINITIONS

Les définitions des termes phytosanitaires employés dans la présente norme peuvent être trouvées dans la NIMP n° 5 (*Glossaire des termes phytosanitaires*).

RÉSUMÉ DE RÉFÉRENCE

Les méthodes d'échantillonnage utilisées par les ONPV pour l'inspection des envois de marchandises faisant l'objet d'échanges commerciaux internationaux sont fondées sur un certain nombre de concepts relatifs à l'échantillonnage, au nombre desquels des paramètres comme le niveau de confiance, le niveau de détection, le niveau de confiance, l'efficacité de la détection et la taille de l'échantillon.

L'application de méthodes fondées sur des critères statistiques telles que l'échantillonnage aléatoire simple, l'échantillonnage systématique, l'échantillonnage stratifié, l'échantillonnage progressif ou l'échantillonnage en grappes donnent des résultats avec un niveau de confiance statistique. D'autres méthodes d'échantillonnage non fondées sur des critères statistiques comme l'échantillonnage pragmatique, l'échantillonnage à l'aveuglette ou l'échantillonnage sélectif peuvent donner des résultats valables pour déterminer la présence ou l'absence d'un ou de plusieurs organismes réglementés, mais ne permettent pas de tirer des conclusions statistiques. Les contraintes opérationnelles auront des incidences sur les aspects pratiques de l'échantillonnage avec l'une ou l'autre de ces méthodes.

En ayant recours à ces méthodes d'échantillonnage, les ONPV acceptent la probabilité plus ou moins grande que des lots non conformes puissent ne pas être détectés. Une inspection menée à l'aide de méthodes d'échantillonnage fondées sur des critères statistiques peut donner des résultats avec un certain degré de confiance seulement mais ne peut pas prouver l'absence d'organismes nuisibles dans un envoi.

CONTEXTE

La présente norme fournit les éléments statistiques de base et complète la NIMP n° 20 (*Directives pour un système phytosanitaire de réglementation des importations*) et la NIMP n° 23 (*Directives pour l'inspection*). L'inspection des envois de produits réglementés faisant l'objet d'échanges commerciaux constitue un élément essentiel de la gestion des risques phytosanitaires et c'est la procédure phytosanitaire la plus fréquemment employée de par le monde pour établir la présence ou non d'organismes nuisibles et/ou la conformité aux exigences phytosanitaires à l'importation.

Il n'est souvent pas réalisable d'inspecter un envoi tout entier, si bien que l'inspection phytosanitaire porte généralement sur des échantillons issus de l'envoi. Signalons que les concepts relatifs à l'échantillonnage énoncés dans la présente norme peuvent aussi s'appliquer à d'autres procédures phytosanitaires, en particulier à la sélection d'unités aux fins de l'analyse.

L'échantillonnage des végétaux, des produits végétaux et d'autres produits réglementés peut intervenir avant l'exportation, au moment de l'importation ou à d'autres stades qui auront été décidés par les ONPV.

Il est important que les procédures établies et utilisées par les ONPV en matière d'échantillonnage soient documentées et transparentes et respectent le « principe de l'impact minimal » (NIMP n° 1: *Principes phytosanitaires pour la protection des végétaux et l'application de mesures phytosanitaires dans le cadre du commerce international*), d'autant plus qu'une inspection faisant appel à l'échantillonnage est susceptible d'entraîner le refus de délivrer un certificat phytosanitaire, le refoulement, le traitement ou la destruction de la totalité ou d'une partie de l'envoi.

Les méthodes d'échantillonnage utilisées par les ONPV dépendront des objectifs de l'échantillonnage (par exemple, l'échantillonnage aux fins de l'analyse); elles peuvent être fondées exclusivement sur des critères statistiques ou bien tenir compte de certaines contraintes opérationnelles. Les méthodes mises au point pour atteindre les objectifs de l'échantillonnage en tenant compte des contraintes opérationnelles risquent de ne pas produire les mêmes niveaux statistiques de confiance que les méthodes répondant uniquement à des considérations statistiques, mais elles peuvent néanmoins donner des résultats valables selon l'objectif que l'on aura attribué à l'échantillonnage. Si l'échantillonnage a pour seul objet d'augmenter les chances de trouver un organisme nuisible, les méthodes d'échantillonnage sélectif ou biaisé sont également valables.

OBJECTIFS DE L'ÉCHANTILLONNAGE DES ENVOIS

Il est procédé à l'échantillonnage des envois aux fins d'inspection et/ou d'analyse, afin de:

- détecter des organismes nuisibles réglementés
- donner l'assurance que le nombre d'organismes nuisibles réglementés ou d'unités infestées dans un envoi ne dépasse pas le niveau de tolérance spécifié de cet organisme nuisible
- attester de l'état phytosanitaire général d'un envoi
- détecter des organismes pour lesquels il n'a pas encore été déterminé de risque phytosanitaire
- avoir une probabilité optimale de repérer des organismes nuisibles réglementés particuliers
- maximiser l'utilisation des ressources disponibles en matière d'échantillonnage
- recueillir d'autres informations pour permettre, par exemple, le suivi de la filière
- vérifier la conformité aux exigences phytosanitaires
- déterminer le rapport d'infestation d'un envoi.

Il est bon de noter que les modalités d'inspection et/ou d'analyse faisant appel à l'échantillonnage comportent toujours une part d'erreur. L'acceptation d'une probabilité plus ou moins grande que des organismes nuisibles soient présents est inévitable quand on utilise des procédures d'échantillonnage pour l'inspection et/ou l'analyse. Une inspection et/ou une analyse conduite à l'aide de méthodes d'échantillonnage fondées sur des critères statistiques peuvent dire avec un certain niveau de confiance que l'incidence d'un organisme nuisible se situe en dessous d'un certain niveau, mais elle ne prouve pas qu'un organisme nuisible est effectivement absent d'un envoi.

EXIGENCES

1. Identification des lots

Un envoi peut comprendre un ou plusieurs lots. Lorsqu'un envoi compte plus d'un lot, l'inspection visant à établir la conformité devra peut-être donner lieu à plusieurs examens visuels distincts, ce qui implique d'échantillonner les lots séparément. Dans ces cas, les échantillons relatifs à chaque lot devraient être isolés et identifiés de manière à ce que le lot concerné puisse être clairement repéré si une inspection ou une analyse ultérieure montre qu'il n'est pas conforme aux exigences phytosanitaires. Le choix de procéder ou non à l'inspection ou à l'analyse d'un lot devrait se fonder sur les facteurs énoncés dans la NIMP n° 23 (*Directives pour l'inspection*) à la Section 1.5.

Aux fins de l'échantillonnage, un lot devrait être un ensemble d'unités provenant d'une même marchandise, reconnaissable d'après un certain nombre de caractéristiques homogènes, telles que:

- l'origine

- le producteur
- le site d'emballage
- l'espèce, la variété ou le degré de maturité
- l'exportateur
- la zone de production
- les organismes nuisibles réglementés et leurs éléments caractéristiques
- le traitement à l'origine
- le type de transformation.

Les critères utilisés par l'ONPV pour distinguer les lots devraient être appliqués de manière systématique aux envois similaires.

Le regroupement, pour des raisons de commodité, de marchandises variées au sein d'un seul lot risque de rendre impossible toute interprétation statistique des résultats de l'échantillonnage.

2. Unité d'échantillonnage

L'exercice d'échantillonnage commence par l'identification de l'unité d'échantillonnage la mieux indiquée (par exemple, fruit, tige, bouquet, unité de poids, sac ou carton). Le choix de l'unité d'échantillonnage est conditionné par des éléments tels que l'homogénéité de la répartition des organismes nuisibles dans la marchandise, le caractère sédentaire ou mobile des organismes nuisibles, la façon dont l'envoi est emballé, l'utilisation prévue et des questions opérationnelles. Par exemple, si l'on tient compte uniquement de la biologie de l'organisme nuisible, il se peut que l'unité d'échantillonnage la plus appropriée soit un exemplaire du végétal ou du produit végétal dans le cas d'un organisme à très faible mobilité, mais qu'un carton ou un autre type de conditionnement des marchandises soit préférable si l'on a affaire à un organisme mobile. Cela étant, quand l'inspection vise plus d'une catégorie d'organismes nuisibles, d'autres considérations peuvent entrer en jeu (par exemple, la possibilité pratique d'utiliser des unités différentes). Les unités d'échantillonnage devraient être définies de manière cohérente et être indépendantes les unes des autres. Cela permettra aux ONPV de simplifier le processus d'induction entre l'échantillon et le lot ou l'envoi dont il provient.

3. Échantillonnage fondé sur des critères statistiques ou non statistiques

La méthode d'échantillonnage est le processus approuvé par l'ONPV pour sélectionner les unités en vue de l'inspection et/ou de l'analyse. L'échantillonnage aux fins de l'inspection phytosanitaire des envois ou des lots consiste à prélever des unités de l'envoi ou du lot, sans remettre les unités sélectionnées¹. Les ONPV peuvent opter pour des méthodes fondées ou non sur des critères statistiques.

L'échantillonnage fondé sur des méthodes statistiques ou des méthodes biaisées vise à faciliter la détection d'un ou de plusieurs organismes nuisibles dans un envoi et/ou un lot.

3.1 Échantillonnage fondé sur des critères statistiques

Les méthodes d'échantillonnage fondées sur des critères statistiques supposent de fixer un certain nombre de paramètres liés entre eux et de choisir la méthode la mieux adaptée.

3.1.1 Paramètres et concepts apparentés

L'échantillonnage fondé sur des critères statistiques vise à détecter un certain pourcentage ou une proportion d'infestation avec un niveau de confiance particulier et les ONPV doivent par conséquent fixer les paramètres suivants qui sont liés entre eux: niveau d'acceptation, seuil de détection, niveau de confiance, efficacité de la détection et taille de l'échantillon. L'ONPV peut également déterminer un niveau de tolérance pour certains organismes nuisibles (par exemple les organismes réglementés non de quarantaine).

3.1.1.1 Niveau d'acceptation

Le niveau d'acceptation est le nombre d'unités infestées ou le nombre d'exemplaires d'organismes nuisibles que l'on tolère dans un échantillon d'une taille donnée avant d'engager une action phytosanitaire. De nombreuses ONPV auront tendance à fixer le niveau à zéro pour les organismes de quarantaine. Par exemple, si le critère d'acceptation est zéro et qu'une unité infestée est détectée dans l'échantillon, des mesures phytosanitaires seront alors prises. Il est important de noter que le fait d'accepter zéro organisme dans un échantillon n'implique pas à un niveau de tolérance zéro pour l'ensemble de l'envoi. Même si aucun organisme nuisible n'est détecté dans l'échantillon, la probabilité qu'un organisme soit présent, même à un très faible niveau, dans le reste de l'envoi demeure.

¹ L'échantillonnage sans remise consiste à choisir une unité dans un envoi ou un lot sans replacer l'unité dans l'envoi avant d'avoir sélectionné les unités suivantes. L'échantillonnage sans remise ne signifie pas qu'un article sélectionné ne pourra pas être réintégré dans l'envoi (sauf dans le cadre d'un échantillonnage entraînant la destruction); cela signifie seulement que l'inspecteur devrait s'abstenir de replacer l'article dans l'envoi avant d'avoir sélectionné le reste de l'échantillon.

Le niveau d'acceptation est lié à l'échantillon. Le niveau d'acceptation est le nombre d'unités infestées ou le nombre d'exemplaires d'organismes nuisibles que l'on tolère dans un échantillon, tandis que le niveau de tolérance (voir la section 3.1.1.6) concerne l'état de l'envoi dans sa totalité.

3.1.1.2 Niveau de détection

On entend par niveau de détection le pourcentage le plus bas ou la proportion minimale d'infestation repérés en utilisant une méthode d'échantillonnage avec le degré d'efficacité et le niveau de confiance particuliers que l'ONPV veut donner à la détection d'un envoi.

On pourra définir un niveau de détection pour un organisme nuisible, pour un groupe ou une catégorie d'organismes nuisibles, ou pour des organismes nuisibles non spécifiés. Le choix du niveau de détection peut être le résultat:

- d'une décision fondée sur une analyse du risque phytosanitaire visant à détecter un degré d'infestation bien précis (infestation dont on a établi qu'elle représente un risque inacceptable)
- d'une évaluation de l'efficacité des mesures phytosanitaires appliquées avant l'inspection
- d'une décision reposant sur des considérations opérationnelles, à partir du constat que l'intensité d'inspection au-delà d'un certain niveau pose des problèmes pratiques.

3.1.1.3 Niveau de confiance

Le niveau de confiance est la probabilité de détecter un envoi présentant un degré d'infestation supérieur au niveau de détection. Il est courant d'avoir un niveau de confiance de 95 pour cent. L'ONPV peut souhaiter peut-être exiger des niveaux de confiance différents selon l'utilisation prévue du produit. Par exemple, un niveau de confiance plus élevé de détection peut être exigé pour les végétaux destinés à être plantés que pour les marchandises destinées à la consommation et le niveau de confiance peut aussi varier selon la rigueur des mesures phytosanitaires appliquées et les faits connus de non-conformité. Il devient vite difficile d'obtenir un niveau de confiance très élevé et les valeurs plus basses auront moins d'utilité pour la prise des décisions. Un niveau de confiance établi à 95 pour cent signifie que les conclusions tirées des résultats de l'échantillonnage permettront de repérer un envoi non conforme, en moyenne, 95 fois sur 100, et on peut donc considérer que 5 pour cent en moyenne des envois non conformes ne seront pas détectés.

3.1.1.4 Efficacité de la détection

L'efficacité de la détection est la probabilité que l'inspection ou l'analyse d'une ou de plusieurs unités infestées permette de détecter un organisme nuisible. On ne peut généralement prétendre être efficace à cent pour cent. Il se peut, par exemple, que l'on ait affaire à des organismes nuisibles difficiles à repérer visuellement; que les végétaux ne présentent aucun signe de maladie (infection lente); que l'efficacité peut être diminuée du fait d'une erreur humaine. Il est possible d'inclure des taux d'efficacité plus bas (par exemple, 80 pour cent de chances de détecter l'organisme nuisible dans le cadre de l'inspection d'une unité infestée) dans le choix de la taille de l'échantillon.

3.1.1.5 Taille de l'échantillon

La taille de l'échantillon est le nombre d'unités provenant du lot ou de l'envoi qui seront inspectées ou analysées. Des orientations sur la détermination de la taille de l'échantillon sont fournies à la section 5.

3.1.1.6 Niveau de tolérance

Le niveau de tolérance est le pourcentage d'infestation d'un envoi dans sa totalité ou d'un lot à partir duquel des mesures phytosanitaires sont prises.

On peut établir des niveaux de tolérance pour les organismes réglementés non de quarantaine (tel qu'indiqué dans la NIMP n° 21 *Analyse du risque phytosanitaire des organismes réglementés non de quarantaine*, Section 4.4); mais aussi concernant l'état d'éléments liés à d'autres exigences phytosanitaires à l'importation (par exemple, l'écorce du bois ou la terre entourant les racines des végétaux).

La plupart des ONPV appliquent un niveau de tolérance zéro pour tous les organismes de quarantaine, compte tenu de leur présence probable en dehors des unités d'échantillonnage, tel qu'indiqué à la section 3.1.1.1. Toutefois, une ONPV peut décider d'établir un niveau de tolérance pour un organisme de quarantaine sur la base d'une analyse du risque phytosanitaire (tel qu'expliqué dans la NIMP n° 11 : *Analyse du risque phytosanitaire pour les organismes de quarantaine, incluant l'analyse des risques pour l'environnement et des organismes vivants modifiés*, section 3.4.1) et fixer ensuite des taux d'échantillonnage à partir du niveau décidé. Par exemple, les ONPV peuvent fixer un niveau de tolérance plus élevé que zéro parce que des organismes de quarantaine en petits nombres peuvent être acceptables si l'on considère que leurs possibilités d'établissement sont faibles ou si l'usage final prévu du produit (par exemple, fruits et légumes frais importés aux fins de transformation) limite l'éventualité que l'organisme pénètre dans les zones menacées.

3.1.2. Liens entre les paramètres et le niveau de tolérance

Il existe une corrélation statistique entre les cinq paramètres (niveau d'acceptation, niveau de détection, niveau de confiance, efficacité de la détection et taille de l'échantillon). Compte tenu du niveau de tolérance établi, l'ONPV devrait déterminer l'efficacité de la méthode de détection utilisée et fixer le niveau d'acceptation dans l'échantillon; sur les trois paramètres restants, deux peuvent également être choisis, les paramètres restants dépendant des valeurs attribuées aux autres.

Si l'on a un niveau de tolérance supérieur à zéro, il faudrait que le seuil de détection retenu soit égal (ou inférieur, si le critère d'acceptation n'est pas nul) au niveau de tolérance, de manière à pouvoir repérer les envois présentant un niveau d'infestation supérieur au niveau de tolérance avec le niveau de confiance voulu.

Si l'on ne détecte pas d'organismes nuisibles dans l'unité d'échantillonnage, le seul constat que l'on peut dresser concernant le pourcentage d'infestation de l'envoi est que celui-ci est inférieur au seuil de détection au niveau de confiance défini. Si l'on ne repère pas l'organisme nuisible avec la taille d'échantillon appropriée, le niveau de confiance indique la probabilité selon laquelle le niveau de tolérance n'est pas dépassé.

3.1.3 Méthodes d'échantillonnage fondées sur des critères statistiques

3.1.3.1 Échantillonnage aléatoire simple

Avec l'échantillonnage aléatoire simple, toutes les unités d'échantillonnage ont la même probabilité d'être choisies dans le lot ou l'envoi. L'échantillonnage aléatoire simple consiste à tirer les unités d'échantillonnage à l'aide d'instruments tels que les tables de nombres aléatoires. L'emploi d'un processus préétabli de randomisation évite qu'on différencie cette méthode de l'échantillonnage à l'aveuglette (décrit à la section 3.2.2).

C'est une méthode utilisée quand on connaît mal la distribution des organismes nuisibles ou le taux d'infestation. L'échantillonnage aléatoire simple peut être difficile à appliquer correctement dans des situations opérationnelles. Avec cette méthode, chaque unité devrait avoir la même probabilité d'être choisie. Lorsqu'un organisme nuisible n'est pas réparti de manière aléatoire dans le lot, cette méthode n'est pas forcément la meilleure. L'échantillonnage aléatoire simple peut nécessiter des ressources plus importantes que d'autres méthodes d'échantillonnage. Son application peut dépendre du type et/ou de la composition de l'envoi.

3.1.3.2 Échantillonnage systématique

L'échantillonnage systématique consiste à tirer un échantillon d'unités dans le lot à intervalles fixes préalablement arrêtés. Toutefois, il faudra obligatoirement sélectionner la première unité au hasard dans le lot. Les résultats risquent d'être biaisés si les organismes nuisibles sont répartis d'une manière semblable à l'intervalle choisi pour l'échantillonnage.

Cette méthode comporte notamment deux avantages, à savoir que le processus d'échantillonnage peut être confié à des machines, et que seule la sélection de la première unité exige un processus de randomisation.

3.1.3.3 Échantillonnage stratifié

L'échantillonnage stratifié consiste à décomposer le lot en subdivisions distinctes (ou strates), puis à tirer des unités d'échantillonnage de chaque subdivision. Dans chaque subdivision, les unités d'échantillonnage sont prélevées selon une méthode particulière (systématique ou aléatoire). On peut, dans certaines circonstances, tirer un nombre d'unités d'échantillonnage différent dans chacune des subdivisions – par exemple, le nombre d'unités d'échantillonnage peut être proportionnel à la taille de la subdivision, ou s'appuyer sur une connaissance préalable de l'infestation des subdivisions.

Pour autant qu'il soit possible, l'échantillonnage stratifié améliorera presque toujours la précision de la détection. La variation plus faible associée à l'échantillonnage stratifié donne des résultats plus précis. Cela se vérifie notamment lorsque les niveaux d'infestation sont susceptibles de varier à l'intérieur d'un lot, en fonction des procédures de conditionnement ou des conditions d'entreposage. L'échantillonnage stratifié est la solution privilégiée quand on suppose que la répartition de l'organisme est connue et que les aspects opérationnels le permettent.

3.1.3.4 Échantillonnage progressif

L'échantillonnage progressif prévoit le tirage d'une série d'unités d'échantillonnage à l'aide d'une des méthodes susmentionnées. Chaque fois qu'un échantillon (ou un groupe) est tiré, les données sont cumulées et comparées avec des fourchettes prédéterminées, de façon à décider de l'opportunité d'accepter l'envoi ou de le refouler, ou de poursuivre l'échantillonnage.

On peut utiliser cette méthode lorsqu'un niveau de tolérance supérieur à zéro a été fixé et que la première série d'unités d'échantillonnage ne fournit pas d'informations suffisantes pour pouvoir se prononcer sur un éventuel dépassement du niveau de tolérance. On s'abstiendra d'utiliser cette méthode si le niveau d'acceptation dans un échantillon est nul

quelle que soit sa taille. L'échantillonnage progressif peut permettre de réduire le nombre d'échantillons nécessaires pour prendre une décision ou limiter l'éventualité de refouler un envoi conforme.

3.1.3.5 Échantillonnage en grappes

L'échantillonnage en grappes consiste à sélectionner des groupes d'unités sur la base de grappes de taille prédéfinie (par exemple, des caisses de fruits, des bouquets de fleurs) jusqu'à atteindre le nombre total requis d'unités d'échantillonnage provenant du lot. L'échantillonnage par grappes est plus simple à évaluer et plus fiable si les grappes ont la même taille. Cette méthode est utile si les ressources disponibles pour l'échantillonnage sont limitées, et donne de bons résultats quand on table sur une distribution aléatoire des organismes nuisibles.

L'échantillonnage en grappes peut être stratifié et la sélection des groupes peut être effectuée selon une méthode systématique ou aléatoire. De toutes les méthodes reposant sur des critères statistiques, c'est souvent la plus pratique à mettre en œuvre.

3.1.3.6 Échantillonnage d'une proportion fixe

L'échantillonnage d'une proportion fixe d'unités dans le lot (par exemple, 2 pour cent) donne des niveaux de détection ou des niveaux de confiance incohérents quand la taille du lot varie. Comme il est indiqué à l'Appendice 5, l'échantillonnage d'une proportion fixe modifie les niveaux de confiance pour un niveau de détection donné, ou modifie les seuils de détection pour un niveau de confiance donné.

3.2 Échantillonnage non fondé sur des critères statistiques

D'autres méthodes d'échantillonnages non fondées sur des critères statistiques, telles que l'échantillonnage pragmatique, l'échantillonnage à l'aveuglette, l'échantillonnage sélectif ou biaisé, peuvent donner des résultats valables pour établir la présence ou l'absence d'un ou de plusieurs organismes nuisibles réglementés. Ces méthodes ci-après sont susceptibles d'être utilisées pour des raisons opérationnelles particulières, ou s'il s'agit uniquement de détecter des organismes nuisibles.

3.2.1 Échantillonnage pragmatique

L'échantillonnage pragmatique consiste à choisir dans le lot des unités les plus commodées (par exemple, les plus faciles d'accès, les moins coûteuses et les plus rapides à obtenir), sans qu'il y ait de sélection des unités de manière aléatoire ou systématique.

3.2.2 Échantillonnage à l'aveuglette

Il consiste à sélectionner des unités arbitraires sans passer de véritable processus de randomisation. C'est un échantillonnage qui peut souvent passer pour aléatoire, l'inspecteur n'ayant pas conscience d'introduire un biais dans la sélection. Or, un biais inconstant peut exister et l'on ne saura donc pas dans quelle mesure l'échantillon est représentatif du lot.

3.2.3 Échantillonnage sélectif ou biaisé

L'échantillonnage sélectif ou biaisé consiste à sélectionner volontairement des échantillons provenant des parties du lot les plus susceptibles d'être infestées, ou d'unités manifestement infestées, pour avoir de plus grandes chances de détecter un organisme nuisible réglementé spécifique. On peut s'en remettre à des inspecteurs qui connaissent bien la marchandise et la biologie de l'organisme nuisible. Le choix de cette méthode peut également être motivé par une analyse des risques ayant permis d'identifier une partie du lot ayant une plus forte probabilité que les autres d'être infestée (par exemple, les parties humides du bois sont plus susceptibles d'abriter des nématodes). L'échantillon étant sélectif et, par là, statistiquement biaisé, on ne pourra pas dresser de constat probabiliste concernant le niveau d'infestation dans le lot, mais la méthode reste valable si l'échantillonnage a pour seule finalité d'accroître les chances de trouver un ou plusieurs organismes nuisibles réglementés. Des échantillons séparés de la marchandise pourront peut-être être nécessaires si l'on veut atteindre le niveau de confiance général pour ce qui est de la détection d'autres organismes réglementés. Le recours à l'échantillonnage sélectif ou biaisé peut limiter la possibilité d'obtenir des informations sur le niveau général d'infestation dans le lot ou l'envoi car l'échantillonnage est ciblé sur les parties de lot les plus susceptibles d'être infestées et pas sur le reste du lot ou de l'envoi.

4. Choix d'une méthode d'échantillonnage

En règle générale, le choix d'une méthode d'échantillonnage appropriée dépend nécessairement des informations disponibles concernant l'incidence et la distribution de l'organisme nuisible dans l'envoi ou le lot, et des conditions opérationnelles de l'inspection. Dans la plupart des applications phytosanitaires, c'est au regard des contraintes opérationnelles que l'on jugera de l'intérêt pratique de recourir à telle ou telle méthode d'échantillonnage. On en établira ensuite la validité statistique des méthodes pratiques, ce qui réduira le champ des possibilités.

La méthode d'échantillonnage finalement retenue par l'ONPV devrait être réalisable d'un point de vue opérationnel et optimale d'un point de vue technique pour atteindre l'objectif et décrite de manière à assurer la transparence. Il est clair que la faisabilité opérationnelle dépend de l'appréciation portée sur certaines caractéristiques spécifiques de la situation mais on devrait toujours en tenir compte.

Si l'échantillonnage est entrepris pour augmenter les chances de détecter un organisme nuisible spécifique, mieux vaut utiliser l'échantillonnage sélectif (décrit à la section 3.2.3), à condition que les inspecteurs soient en mesure d'identifier la ou les parties du lot les plus susceptibles d'être infestées. En l'absence de ces informations, il sera plus judicieux d'avoir recours à l'une des méthodes fondées sur des critères statistiques. Par ailleurs, avec les méthodes non fondées sur des critères statistiques, chaque unité n'a pas la même probabilité d'être comprise dans l'échantillon et le niveau de confiance et le niveau de détection ne peuvent pas être quantifiés.

Les méthodes fondées sur des critères statistiques conviendront si l'échantillonnage vise à obtenir des informations sur l'état phytosanitaire général d'un envoi, à détecter différents organismes nuisibles de quarantaine ou à vérifier la conformité aux exigences phytosanitaires.

Pour choisir une méthode parmi celles qui sont fondées sur des critères statistiques, on pourra éventuellement tenir compte de la façon dont se sont déroulés la récolte, le tri et l'emballage de l'envoi, et de la probable répartition d'un ou de plusieurs organismes nuisibles dans le lot. Il est possible de combiner plusieurs méthodes d'échantillonnage: il peut y avoir, par exemple, dans un échantillon stratifié une sélection aléatoire ou systématique des unités d'échantillonnage (ou grappes) à l'intérieur des strates.

Si l'on s'agit d'établir si un niveau spécifique de tolérance n'étant pas égal à zéro a été dépassé, on aura peut-être intérêt à utiliser un échantillonnage progressif.

Une fois qu'une méthode d'échantillonnage a été choisie et correctement appliquée, il n'est pas acceptable de procéder à un ré-échantillonnage pour obtenir un résultat différent. L'échantillonnage ne devrait pas être renouvelé sauf si des raisons techniques particulières l'exigent (par exemple, si l'on soupçonne que la méthode d'échantillonnage a été mal appliquée).

5. Détermination de la taille de l'échantillon

Pour fixer le nombre d'échantillons à prélever, l'ONPV devrait établir un niveau de confiance (par exemple, 95 pour cent), un niveau de détection (par exemple, 80 pour cent) et un niveau d'acceptation (par exemple, zéro) et déterminer l'efficacité de la détection (par exemple, 80 pour cent). C'est à partir de ces valeurs et de la taille du lot que l'on pourra calculer la taille de l'échantillon. Les appendices 2 à 5 exposent les principes mathématiques essentiels pour déterminer la taille de l'échantillon. La section 3.1.3 de cette norme donne des orientations sur la méthode d'échantillonnage basée sur des critères statistiques la plus appropriée en fonction de la distribution des ravageurs dans le lot.

5.1 Distribution indépendante de l'organisme nuisible dans le lot

Étant donné que l'échantillonnage se fait sans remise et que la population a une taille finie, il serait souhaitable d'utiliser la distribution hypergéométrique pour déterminer la taille de l'échantillon. Ladite distribution donne une probabilité de détecter un certain nombre d'unités infestées dans un échantillon d'une certaine taille, prélevé dans un lot d'une certaine taille, quand il existe un nombre spécifique d'unités infestées dans le lot (voir Appendice 2). Le nombre d'unités infestées dans le lot est estimé en multipliant le niveau de détection par le nombre total d'unités dans le lot.

Quand la taille du lot augmente, la taille de l'échantillon requise pour un niveau de détection et un niveau de confiance donnés se rapproche d'une limite supérieure. Quand elle représente moins de 5 pour cent de la taille du lot, la taille de l'échantillon peut être calculée à l'aide d'une distribution binomiale ou d'une distribution de Poisson (voir Appendice 3). Ces trois distributions (hypergéométrique, binomiale, Poisson) aboutissent à des tailles d'échantillon quasiment identiques à un certain niveau de confiance et à un certain niveau de détection pour des lots de grande taille, mais la distribution binomiale et la distribution de Poisson sont plus faciles à calculer.

5.2 Distribution agrégée de l'organisme nuisible dans le lot

La plupart des populations d'organismes nuisibles sont plus ou moins agrégées sur le terrain. Il peut arriver que les marchandises soient récoltées et conditionnées sur le terrain, sans être classées ni triées, si bien que la distribution des unités infestées dans le lot est susceptible d'être organisée en grappes ou agrégée. L'agrégation des unités infestées dans une marchandise fera toujours baisser la probabilité de trouver une infestation. Les inspections phytosanitaires visent cependant à détecter les unités infestées et/ou de faibles niveaux de présence d'un ou de plusieurs organismes nuisibles. Dans la plupart des cas, l'agrégation des unités infestées influe peu sur l'efficacité de la détection d'un échantillon et sur la taille requise de l'échantillon. Lorsque les ONPV établissent qu'il y a une forte probabilité d'agrégation des unités infestées dans le lot, le recours à une méthode d'échantillonnage stratifié peut augmenter les chances de détecter une infestation agrégée.

Quand les organismes nuisibles sont agrégés, l'idéal serait de calculer la taille de l'échantillon à l'aide d'une distribution bêta binomiale (voir Appendice 4). Or, c'est un calcul pour lequel on a besoin de connaître le degré d'agrégation, que l'on ignore en général, de sorte que ce type de distribution pourrait ne pas se prêter pas à un usage courant. On pourra se tourner vers l'une des autres distributions (hypergéométrique, binomiale ou Poisson); toutefois, le niveau de confiance de l'échantillonnage diminuera à mesure que le degré d'agrégation augmentera.

6. Niveau variable de détection

Le choix d'un niveau constant de détection peut donner un nombre variable d'unités infestées entrant avec les envois importés, car la taille des lots varie (par exemple, un niveau d'infestation de 1 pour cent dans 1 000 unités correspond à 10 unités infestées, tandis qu'un niveau d'infestation de 1 pour cent dans 10 000 unités correspond à 100 unités infestées). Dans l'idéal, il faudrait que le choix du niveau de détection tienne compte en partie du nombre d'unités infestées entrant avec tous les envois au cours d'une période déterminée. Si l'ONPV veut aussi gérer le nombre d'unités infestées entrant avec chacun des envois, elle pourra opter pour un niveau variable de détection. Cela suppose de définir un niveau de tolérance exprimée par un nombre d'articles infestés par envoi et de déterminer une taille de l'échantillon permettant d'avoir le niveau de confiance et le niveau de détection voulus.

7. Résultat de l'échantillonnage

Il se peut que le résultat des activités et des techniques liées à l'échantillonnage entraîne le déclenchement d'une action phytosanitaire (pour de plus amples informations, voir la NIMP n° 23 *Directives pour l'inspection*, Section 2.5).

REVOUQUÉ

APPENDICE 1

FORMULES UTILISÉES DANS LES APPENDICES 2 A 5²

Formule n°	Objet	Appendice n°
1	Probabilité de détecter i unités infestées dans un échantillon	2
2	Approximation de la probabilité de ne pas trouver d'unité infestée	2
3	Probabilité d'observer i unités infestées dans un échantillon de n unités (la taille de l'échantillon fait moins de 5 % de la taille du lot)	3
4	Probabilité de ne pas observer d'unité infestée dans un échantillon de n unités (distribution binomiale)	3
5	Probabilité d'observer au moins une unité infestée (distribution binomiale)	3
6	Formules 5 et 6 transformées pour déterminer n (distribution binomiale)	3
7	Version de la formule 6 (distribution binomiale) avec une distribution de Poisson	3
8	Probabilité de ne trouver aucune unité infestée (formule simplifiée) (distribution de Poisson)	3
9	Probabilité de trouver au moins une unité infestée (le niveau de confiance) (distribution de Poisson)	3
10	Détermination de la taille de l'échantillon pour n (distribution de Poisson)	3
11	Échantillonnage basé sur la loi bêta binomiale pour une distribution initiale agrégée	4
12	Probabilité de ne pas observer d'unité infestée après avoir inspecté plusieurs lots pour un seul lot (loi bêta binomiale)	4
13	Probabilité d'observer une ou plusieurs unités infestées (loi bêta binomiale)	4
14	Formules 12 et 13 transformées pour déterminer m (loi bêta binomiale)	4

REVOUQUÉ

² Le présent appendice ne fait pas partie intégrante de la norme. Il n'est donné qu'à titre d'information.

APPENDICE 2

**CALCUL DE LA TAILLE DE L'ÉCHANTILLON POUR LES LOTS DE PETITE TAILLE:
ÉCHANTILLONNAGE BASÉ SUR LA DISTRIBUTION HYPERGÉOMÉTRIQUE
(ÉCHANTILLONNAGE ALÉATOIRE SIMPLE)³**

La distribution hypergéométrique convient pour décrire la probabilité de trouver un organisme nuisible dans un lot de taille relativement petite. On parle de lot de petite taille quand la taille de l'échantillon fait plus de 5 pour cent de la taille du lot. Dans ce cas, quand une unité est prélevée dans le lot, la probabilité que la prochaine unité prélevée soit infestée change. L'échantillonnage sur base hypergéométrique est fondé sur un échantillonnage sans remplacement.

On part également du principe que la distribution de l'organisme nuisible dans le lot n'est pas agrégée et que l'on a recours à un échantillonnage aléatoire. Cette méthode peut être étendue à d'autres dispositifs tels que l'échantillonnage stratifié (on trouvera de plus amples informations dans Cochran, 1977).

La probabilité de détecter i unités infestées dans un échantillon est obtenue par la formule suivante:

$$P(X = i) = \frac{\binom{A}{i} \binom{N-A}{n-i}}{\binom{N}{n}} \quad \text{Formule 1}$$

Où:

$$\binom{a}{b} = \frac{a!}{b!(a-b)!} \quad \text{avec } a! = a(a-1)(a-2)\dots 1 \text{ et } 0! = 1$$

$P(X = i)$ est la probabilité d'observer i unités infestées dans l'échantillon, avec $i = 0, \dots, n$.

Le niveau de confiance est: $1 - P(X = i)$

A = nombre d'unités infestées dans le lot qui pourraient être détectées si l'on soumettait chaque unité du lot à une inspection ou à une analyse, compte tenu de l'efficacité de détection (niveau de détection $\times N \times$ efficacité, en gardant la partie entière du nombre)

i = nombre d'unités infestées dans l'échantillon

N = nombre d'unités dans le lot (taille du lot)

n = nombre d'unités dans l'échantillon (taille de l'échantillon)

Notamment, on peut utiliser l'approximation suivante de la probabilité de ne pas trouver d'unité infestée:

$$P(X=0) = \left(\frac{N - A - u}{N - u} \right)^n \quad \text{Formule 2}$$

Où $u = (n-1)/2$ (voir aussi Cochran, 1977).

Résoudre l'équation pour déterminer n est difficile arithmétiquement, mais l'on pourra y arriver par approximation ou par estimation de la probabilité maximum.

Les tableaux 1 et 2 présentent les tailles d'échantillon calculées pour un certain nombre de tailles de lot, de seuils de détection et de niveaux de confiance, le niveau d'acceptation étant de 0.

³ Le présent appendice ne fait pas partie intégrante de la norme. Il n'est donné qu'à titre d'information.

Tableau 1. Tailles minimales de l'échantillon pour des niveaux de confiance de 95 pour cent et de 99 pour cent à différents niveaux de détection, selon la taille du lot (distribution hypergéométrique)

Nombre d'unités dans le lot	P = 95 pour cent (niveau de confiance)					P = 99 pour cent (niveau de confiance)				
	% niveau de détection × efficacité de détection					% niveau de détection × efficacité de détection				
	5	2	1	0,5	0,1	5	2	1	0,5	0,1
25	24*	-	-	-	-	25*	-	-	-	-
50	39*	48	-	-	-	45*	50	-	-	-
100	45	78	95	-	-	59	90	99	-	-
200	51	105	155	190	-	73	136	180	198	-
300	54	117	189	285*	-	78	160	235	297*	-
400	55	124	211	311	-	81	174	273	360	-
500	56	129	225	388*	-	83	183	300	450*	-
600	56	132	235	379	-	84	190	321	470	-
700	57	134	243	442*	-	85	195	321	549*	-
800	57	136	249	421	-	85	199	321	549*	-
900	57	137	254	474*	-	86	202	321	615*	-
1 000	57	138	258	450	950	86	204	368	601	990
2 000	58	143	277	517	1553	88	216	410	735	1 800
3 000	58	145	284	542	1895	89	220	412	821	2 353
4 000	58	146	288	556	2108	89	222	431	821	2 735
5 000	59	147	290	564	2253	89	223	438	840	3 009
6 000	59	147	291	569	2358	90	223	442	852	3 214
7 000	59	147	292	573	2437	90	225	444	861	3 373
8 000	59	147	293	576	2491	90	225	446	868	3 500
9 000	59	148	294	579	2548	90	225	447	874	3 604
10 000	59	148	294	581	2588	90	226	448	878	3 689
20 000	59	148	296	581	2711	90	227	453	898	4 112
30 000	59	148	297	582	2850	90	228	455	905	4 268
40 000	59	149	297	584	2885	90	228	456	909	4 348
50 000	59	149	298	585	2907	90	228	457	911	4 398
60 000	59	149	298	586	2922	90	228	457	912	4 431
70 000	59	149	298	586	2932	90	228	457	913	4 455
80 000	59	149	298	586	2939	90	228	457	914	4 473
90 000	59	149	298	586	2945	90	228	458	915	4 488
100 000	59	149	298	586	2950	90	228	458	915	4 499
200 000+	59	149	298	597	2972	90	228	458	917	4 551

Les valeurs présentées au tableau 1 marquées d'un astérisque (*) ont été arrondies au nombre entier inférieur, car les scénarios prévoyant une fraction d'une unité infestée ne sont pas possibles (par exemple, 300 unités avec 0,5 pour cent d'infestation correspondent à 1,5 unité infestée dans l'envoi). Cela signifie que l'intensité de l'échantillonnage augmente légèrement et qu'elle sera peut-être plus forte pour un envoi dans lequel le nombre d'unités infestées est arrondi vers le bas que pour un envoi de plus grande taille dans lequel il y a un plus grand nombre calculé d'unités infestées (comparez, par exemple, les résultats pour un lot de 700 unités avec ceux d'un lot de 800 unités). Cela signifie également qu'il se pourrait que l'on détecte une proportion d'unités infestées légèrement plus basse que la proportion figurant dans le tableau, ou qu'il y a une plus grande probabilité de détecter l'infestation par rapport au niveau de confiance indiqué.

Les valeurs du tableau 1 signalés par un tiret (-) se réfèrent à des scénarios présentés qui ne sont pas possibles (moins d'une unité infestée).

Tableau 2: Taille de l'échantillon pour des niveaux de confiance de 80 pour cent et de 90 pour cent à différents niveaux de détection, selon la taille du lot (distribution hypergéométrique)

Nombre d'unités dans le lot	P = 80 pour cent (niveau de confiance)					P = 90 pour cent (niveau de confiance)				
	% niveau de détection × efficacité de détection					% niveau de détection × efficacité de détection				
	5	2	1	0,5	0,1	5	2	1	0,5	0,1
100	27	56	80	-	-	37	69	90	-	-
200	30	66	111	160	-	41	87	137	180	-
300	30	70	125	240*	-	42	95	161	270*	-
400	31	73	133	221	-	43	100	175	274	-
500	31	74	138	277*	-	43	102	184	342*	-
600	31	75	141	249	-	44	104	191	321	-
700	31	76	144	291*	-	44	106	196	375*	-
800	31	76	146	265	-	44	107	200	350	-
900	31	77	147	298*	-	44	108	203	394*	-
1 000	31	77	148	275	800	44	108	203	369	900
2 000	32	79	154	297	1106	45	111	217	411	1 368
3 000	32	79	156	305	1246	45	112	221	426	1 607
4 000	32	79	157	309	1325	45	113	223	434	1 750
5 000	32	80	158	311	1376	45	113	224	436	1 845
6 000	32	80	159	313	1412	45	113	224	437	1 912
7 000	32	80	159	314	1438	45	114	226	445	1 962
8 000	32	80	159	315	1458	45	114	226	447	2 000
9 000	32	80	159	316	1474	45	114	226	448	2 031
10 000	32	80	159	316	1486	45	114	227	449	2 056
20 000	32	80	160	319	1546	45	114	228	455	2 114
30 000	32	80	160	320	1567	45	114	229	456	2 216
40 000	32	80	160	320	1577	45	114	229	457	2 237
50 000	32	80	160	321	1584	45	114	229	458	2 250
60 000	32	80	160	321	1588	45	114	229	458	2 258
70 000	32	80	160	321	1591	45	114	229	458	2 265
80 000	32	80	160	321	1593	45	114	229	459	2 269
90 000	32	80	160	321	1594	45	114	229	459	2 273
100 000	32	80	160	321	1596	45	114	229	459	2 276
200 000	32	80	160	321	1603	45	114	229	459	2 289

Les valeurs présentées au tableau 2 marquées d'un astérisque (*) ont été arrondies au nombre entier inférieur, car les scénarios prévoyant une fraction d'unité infestée ne sont pas possibles (par exemple, 300 unités avec 0,5 pour cent d'infestation correspondent à 1,5 unité infestée dans l'envoi). Cela signifie que l'intensité de l'échantillonnage augmente légèrement, et que la probabilité sera peut-être plus forte pour un envoi dans lequel le nombre d'unités infestées est arrondi vers le bas, que pour l'envoi de plus grande taille dans lequel il y a un plus grand nombre calculé d'unités infestées (comparer, par exemple, les résultats pour un lot de 700 unités avec ceux d'un lot de 800 unités). Cela signifie également qu'il se pourrait que l'on détecte une proportion d'unités infestées légèrement plus basse que la proportion figurant dans le tableau, ou qu'il y a une plus grande probabilité de détecter l'infestation par rapport au niveau de confiance indiqué.

Les valeurs du tableau signalés par un tiret (-) se réfèrent à des scénarios présentés qui ne sont pas possibles (moins d'une unité infestée).

APPENDICE 3

LOTS DE GRANDE TAILLE: ÉCHANTILLONNAGE BASÉ SUR LA DISTRIBUTION BINOMIALE OU LA DISTRIBUTION DE POISSON⁴

Pour les lots de grande taille suffisamment mélangés, on pourra faire une approximation de la probabilité de trouver une unité infestée par des lois statistiques binomiales simples. La taille de l'échantillon est inférieure à 5 pour cent de la taille du lot. La probabilité d'observer i unités infestées dans un échantillon de n unités est donnée par la formule:

$$P(X=i) = \binom{n}{i} \phi p^i (1 - \phi p)^{n-i} \quad \text{Formule 3}$$

p est la proportion moyenne d'unités infestées (niveau d'infestation) dans le lot et ϕ représente le pourcentage d'efficacité de l'inspection divisé par 100.

$P(X = i)$ est la probabilité d'observer i unités infestées dans l'échantillon. Le niveau de confiance correspond à: $1 - P(X = i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$.

À des fins phytosanitaires, la probabilité de ne pas observer un spécimen d'organisme ou un symptôme dans l'échantillon est déterminée. La probabilité de ne pas observer d'unité infestée dans un échantillon de n unités est donnée par:

$$P(X=0) = (1 - \phi p)^n \quad \text{Formule 4}$$

La probabilité d'observer au moins une unité infestée est alors:

$$P(X>0) = 1 - (1 - \phi p)^n \quad \text{Formule 5}$$

L'équation peut être transformée pour déterminer n :

$$n = \frac{\ln[1 - P(X > 0)]}{\ln(1 - \phi p)} \quad \text{Formule 6}$$

La taille de l'échantillon n peut être déterminée avec cette équation quand le niveau d'infestation (p), l'efficacité (ϕ) et le niveau de confiance ($1 - P(X > 0)$) sont établis par l'ONM.

La distribution binomiale peut s'approcher de la distribution de Poisson. Plus n augmente et p diminue, plus l'équation de la distribution binomiale s'écarte plus haut vers l'équation de la distribution de Poisson, c'est-à-dire

$$P(X=i) = \frac{(n\phi p)^i e^{-n\phi p}}{i!} \quad \text{Formule 7}$$

où e est la valeur de la base du logarithme naturel.

La probabilité de ne trouver aucune unité infestée est simplifiée comme suit:

$$P(X=0) = e^{-n\phi p} \quad \text{Formule 8}$$

La probabilité de trouver au moins une unité infestée (le niveau de confiance) est donnée par:

$$P(X>0) = 1 - e^{-n\phi p} \quad \text{Formule 9}$$

La résolution de l'équation pour trouver n donne la formule ci-dessous, qui pourra être utilisée pour déterminer la taille de l'échantillon:

$$n = -\ln[1 - P(X>0)]/\phi p \quad \text{Formule 10}$$

Les tableaux 3 et 4 présentent les tailles de l'échantillon quand le niveau d'acceptation est de 0, calculées pour un certain nombre de seuils de détection, de taux d'efficacité et de niveaux de confiance, à l'aide de la distribution binomiale et de la distribution de poisson. Si l'on compare la ligne correspondant à une efficacité de 100 pour cent avec

⁴ Le présent appendice ne fait pas partie intégrante de la norme. Il n'est donné qu'à titre d'information.

les tailles d'échantillon du tableau 1 (voir Appendice 2), on s'aperçoit que les distributions binomiale et de Poisson donnent des résultats très proches de la distribution hypergéométrique quand n est grand et p petit.

Tableau 3: Taille des échantillons pour des niveaux de confiance de 95 pour cent et 99 pour cent à différents seuils de détection, selon les valeurs de l'efficacité quand le lot est de grande taille et suffisamment mélangé (distribution binomiale)

% d'efficacité	P = 95 pour cent (niveau de confiance)					P = 99 pour cent (niveau de confiance)				
	% niveau de détection					% niveau de détection				
	5	2	1	0,5	0,1	5	2	1	0,5	0,1
100	59	149	299	598	2 995	90	228	459	919	4 603
99	60	150	302	604	3 025	91	231	463	929	4 650
95	62	157	314	630	3 152	95	241	483	968	4 846
90	66	165	332	665	3 328	101	254	510	1 022	5 115
85	69	175	351	704	3 523	107	269	540	1 082	5 416
80	74	186	373	748	3 744	113	286	576	1 149	5 755
75	79	199	398	798	3 993	121	305	612	1 226	6 138
50	119	299	598	1 197	5 990	182	459	919	1 840	9 209
25	239	598	1 197	2 396	11 982	367	919	1 840	3 682	18 419
10	598	1 497	2 995	5 990	29 956	919	2 301	4 603	9 206	46 050

Tableau 4: Taille des échantillons avec des niveaux de confiance de 95 pour cent et 99 pour cent à différents niveaux de détection, selon les valeurs de l'efficacité quand le lot est de grande taille et suffisamment mélangé (distribution de Poisson)

% d'efficacité	P = 95 pour cent (niveau de confiance)					P = 99 pour cent (niveau de confiance)				
	% niveau de détection					% niveau de détection				
	5	2	1	0,5	0,1	5	2	1	0,5	0,1
100	60	150	300	600	2 996	93	231	461	922	4 606
99	61	152	303	606	3 026	94	233	466	931	4 652
95	64	158	316	632	3 152	97	243	485	970	4 848
90	67	167	333	666	3 329	103	256	512	1 024	5 117
85	71	177	353	705	3 525	109	271	542	1 084	5 418
80	75	188	374	749	3 745	116	288	576	1 152	5 757
75	80	200	400	800	3 995	123	308	615	1 229	6 141
50	120	300	600	1 199	5 992	185	461	922	1 843	9 211
25	240	600	1 199	2 397	11 983	369	922	1 843	3 685	18 421
10	600	1 500	3 000	5 992	29 958	922	2 303	4 606	9 211	46 052

APPENDICE 4

**ORGANISMES NUISIBLES PRÉSENTANT UNE DISTRIBUTION AGRÉGÉE: ÉCHANTILLONNAGE
BASÉ SUR LA LOI BÊTA BINOMIALE⁵**

S'il existe une agrégation spatiale de la distribution, on pourra la compenser en ajustant l'échantillonnage. Pour ce faire, on présumera que l'échantillonnage de la marchandise se fait par regroupement d'unités au sein de grappes (par exemple, des boîtes) et que chacune des unités d'une grappe considérée est examinée (échantillonnage en grappes). Dans ces cas de figure, la proportion d'unités infestées, f , qui n'est plus constante dans toutes les grappes, suivra une fonction de bêta densité.

$$P(X=i) = \binom{n}{i} \frac{\prod_{j=0}^{i-1} (f + j\theta) \prod_{j=0}^{n-i-1} (1 - f + j\theta)}{\prod_{j=0}^{n-1} (1 + j\theta)} \quad \text{Formule 11}$$

f est la proportion moyenne d'unités infestées (niveau d'infestation) dans le lot.

$P(X = i)$ est la probabilité d'observer i unités infestées dans un lot.

n = nombre d'unités dans un lot. .

\prod est la fonction produit.

θ mesure l'agrégation pour le j^{e} lot lorsque θ est $0 < \theta < 1$.

Il est fréquent que l'échantillonnage à des fins phytosanitaires s'attache surtout à la probabilité de ne pas observer d'unité infestée après avoir inspecté plusieurs lots. Pour un seul lot, la probabilité que $X > 0$ est

$$P(X > 0) = 1 - \prod_{j=0}^{n-1} (1 - f + j\theta) / (1 + j\theta) \quad \text{Formule 12}$$

et la probabilité que chacun des divers lots ne comporte pas d'unité infestée est égale à $P(X=0)^m$, où m est le nombre de lots. Quand f est petite, l'équation sera estimée par

$$\Pr(X=0) \approx (1 + n\theta)^{-(mf/\theta)} \quad \text{Formule 13}$$

La probabilité d'observer une ou plusieurs unités infestées est donnée par $1 - \Pr(X=0)$.

On pourra transformer l'équation de manière à déterminer m

$$m = \frac{-\theta}{f} \left[\frac{\ln(1 - P(x > 0))}{\ln(1 + \theta)} \right] \quad \text{Formule 14}$$

L'échantillonnage stratifié est une façon de réduire l'effet de l'agrégation. Les strates seront choisies de manière à réduire au minimum le degré d'agrégation à l'intérieur des strates.

Quand le degré d'agrégation et le niveau de confiance sont fixés, on peut déterminer la taille de l'échantillon. On ne peut pas déterminer la taille de l'échantillon si l'on ne connaît pas le degré d'agrégation.

Les valeurs de l'efficacité (ϕ de moins de 100 pour cent peuvent être incluses en substituant ϕf à f dans les équations.

⁵ Le présent appendice ne fait pas partie intégrante de la norme. Il n'est donné qu'à titre d'information.

APPENDICE 5

COMPARAISON DES RÉSULTATS DE L'ÉCHANTILLONNAGE BASÉ SUR LA DISTRIBUTION HYPERGÉOMÉTRIQUE ET DE L'ÉCHANTILLONNAGE D'UNE PROPORTION FIXE⁶

Tableau 5: Confiance dans les résultats de différents dispositifs d'échantillonnage pour un seuil de détection de 10 pour cent

Taille du lot	Échantillonnage basé sur la distribution hypergéométrique (échantillonnage aléatoire)		Échantillonnage d'une proportion fixe (2 pour cent)	
	Taille de l'échantillon	Niveau de confiance	Taille de l'échantillon	Niveau de confiance
10	10	1	1	0,100
50	22	0,954	1	0,100
100	25	0,952	2	0,191
200	27	0,953	4	0,346
300	28	0,955	6	0,472
400	28	0,953	8	0,573
500	28	0,952	10	0,655
1 000	28	0,950	20	0,881
1 500	29	0,954	30	0,959
3 000	29	0,954	60	0,998

Tableau 6: Niveaux les plus bas détectables avec un niveau de confiance de 95 pour cent pour différents dispositifs d'échantillonnage

Taille du lot	Échantillonnage basé sur la distribution hypergéométrique (échantillonnage aléatoire)		Échantillonnage d'une proportion fixe (2 pour cent)	
	Taille de l'échantillon	Niveau minimal de détection	Taille de l'échantillon	Niveau minimal de détection
10	10	0,10	1	1,00
50	22	0,96	1	0,96
100	25	0,78	2	0,78
200	27	0,53	4	0,53
300	28	0,39	6	0,39
400	28	0,31	8	0,31
500	28	0,26	10	0,26
1 000	28	0,14	20	0,14
1 500	29	0,09	30	0,09
3 000	29	0,05	60	0,05

⁶ Le présent appendice ne fait pas partie intégrante de la norme. Il n'est donné qu'à titre d'information.