

Evaluation de différentes méthodes d'estimation du taux de reprise des plantations

M. PUYAL (INRAE) /H. CHEVALIER (ONF) /J.-P. RENAUD (ONF)/J. PITAUD (ONF)

26/03/2021

| | |
|--|----|
| Introduction | 1 |
| Méthode | 2 |
| I. Indépendance de chaque plant (loi binomiale) | 4 |
| II. Autocorrélation spatiale partielle | 7 |
| III. Autocorrélation spatiale partielle et effet ligne | 10 |
| Conclusion..... | 12 |
| Bibliographie | 13 |

Introduction

Dans un contexte de recrudescence des reboisements faisant face à des risques notables d'échecs (sécheresses à répétition, hylobe, gibier, compétences et formation des intervenants, etc), le constat de reprise à l'issue de la première saison de végétation revêt toute son importance. Cette estimation du taux de survie des plants, le plus souvent dans un cadre contractuel, permet d'évaluer la réussite du chantier de reboisement mais aussi de dimensionner les regarnis nécessaires (et la responsabilité de leur prise en charge) en cas d'échec partiel. Force est de constater qu'il existe une certaine hétérogénéité des protocoles mis en œuvre entre opérateurs d'une filière plurielle. Le constat de reprise consiste généralement en un sondage qui examine l'état d'une partie des plants d'un chantier de reboisement. Cet état est *a minima* décrit en trois catégories : vivant, mort, mort ou absent pour des causes indépendantes de l'entreprise (cette dernière catégorie étant exclue du calcul pour l'application de la garantie contractuelle de reprise). En revanche les pratiques varient en termes de taux de sondage et de cheminement dans la parcelle.

De manière générale, le sujet bénéficie de peu de cadrages généraux récents. On peut citer par exemple [le guide du MAAF « Réussir les plantations forestières » \(chapitre 4.3, page 47\)](#) ou [le fascicule 34 du CCTG de marchés publics de travaux forestiers de boisement](#) qui apportent peu de détails de méthode et dont les fondements (et la précision attendue) ne sont pas indiqués. Ils préconisent dans le cas général des taux d'échantillonnage minimaux réduits (3 %) sans recommandation précise sur les règles de choix des plants à analyser ou les cheminements à réaliser.

Dans la pratique, certains opérateurs utilisent des grilles définissant des taux de sondages à appliquer pour différentes tranches de quantités de plants mises en œuvre. L'esprit de ces grilles est en général de préconiser un taux de sondage décroissant avec la taille du chantier (nombre total de plants installés) afin d'une part de ne pas échantillonner trop peu de plants dans les petits chantiers, et d'autre part d'alléger la charge de travail pour l'opérateur du comptage lors des gros chantiers. Les différentes combinaisons de taux de sondage, de seuils de nombres de plants et de cheminements (taux d'échantillonnage définissant simplement une proportion de lignes ou une combinaison de proportions de plants sur les lignes et des lignes) conduisent à une large diversité de protocoles.

L'objectif de notre étude est de mieux appréhender la qualité des différents protocoles existants notamment au regard de la précision des estimations du taux de reprise qu'ils fournissent. Ceci afin d'émettre des recommandations plus détaillées sur la réalisation des constats de reprise.

Méthode

Nous avons choisi de contribuer à cet objectif avec l'appui de méthodes de simulation. L'étude s'articule autour de très nombreuses simulations de plantations dont les plants sont aléatoirement morts ou vivants. Nous avons délibérément simplifié le problème en nous contentant uniquement de ces deux catégories parfois complétées dans la pratique (dégâts d'hylobe, de gibier, etc) mais ajoutant un certain nombre de complications théoriques à notre sujet ... Chacune de ces plantations simulées se voit appliquer 9 modèles de protocoles d'échantillonnage produisant chacun une estimation du taux de reprise qui peut être comparée au taux de reprise « réel » de l'ensemble du chantier (correspondant à un taux de sondage de 100 %). La multiplication des simulations nous permet alors d'approcher la variabilité des écarts entre estimation et « réalité » donc la précision apportée par chaque méthode de mesure du constat de reprise. L'ensemble des simulations cherche à couvrir une gamme diversifiée de situations. Ainsi, nous combinons :

- différentes tailles de chantiers : de 400 à 14 400 plants
- différents taux de reprise
- trois hypothèses de répartition spatiale des mortalités :
 - Indépendance de chaque plant
 - Autocorrélation spatiale partielle produisant des mortalités groupées dans l'espace
 - Autocorrélation spatiale partielle et effet « ligne »

Les résultats seront présentés dans l'ordre d'application de ces trois hypothèses.

Les méthodes d'échantillonnages testées sont :

Table 1. Caractéristiques des différentes méthodes d'échantillonnages testées (hors "cemagref")

| Nom | Taux_de_sondage | Cheminement |
|-------------|-----------------|--|
| taux_05 | 5 % | 1 ligne sur 20, tous les plants |
| taux_05_bis | 5 % | 1 ligne sur 10, 1 plant sur 2 sur la ligne |
| taux_10 | 10 % | 1 ligne sur 10, tous les plants |
| taux_10_bis | 10 % | 1 ligne sur 5, 1 plant sur 2 sur la ligne |
| taux_20 | 20 % | 1 ligne sur 5, tous les plants |
| taux_25 | 25 % | 1 ligne sur 4, tous les plants |
| taux_25_bis | 25 % | 1 ligne sur 2, 1 plant sur 2 sur la ligne |
| taux_50 | 50 % | 1 ligne sur 2, tous les plants |

A ces méthodes courantes s'ajoute un échantillonnage dit « cemagref », qui est une adaptation de l'échantillonnage défini par le Cemagref pour évaluer les dégâts de cervidés en plantation forestière (Hamard et Ballon, 2003). Le principe est d'observer des segments de lignes de plantation en cheminant en « diagonale » sur le chantier. A l'intérieur de chaque segment, 1 plant sur 2 est observé. L'observateur se décale ensuite d'une ligne à la fin de chaque segment (couvrant ainsi l'ensemble des lignes). Les segments alternent entre des séries de 2 et de 3 plants observés. Cette méthode propose aussi un taux de sondage dépendant de la taille du chantier visant à assurer un minimum de 100 plants examinés dans la plupart des situations.

Table 2. Méthode d'échantillonnage « cemagref » en fonction de la taille du chantier de plantation (nombre de plants)

| Nom | Taille_du_chantier | Taux_de_sondage | Cheminement |
|---------------|-----------------------|-----------------|----------------------------------|
| Taux_cemagref | de 1 à 400 plants | 50 % | 1 plant sur 2, toutes les lignes |
| Taux_cemagref | de 401 à 600 plants | 25 % | 1 plant sur 2, 1 ligne sur 2 |
| Taux_cemagref | de 601 à 1100 plants | 16 % | 1 plant sur 2, 1 ligne sur 3 |
| Taux_cemagref | de 1101 à 2500 plants | 10 % | 1 plant sur 2, 1 ligne sur 5 |
| Taux_cemagref | 2501 plants et + | 5 % | 1 plant sur 2, 1 ligne sur 10 |

Pour illustrer la méthode « cemagref », vous pouvez voir ci-dessous le cheminement de l'échantillonnage sur une parcelle de 1 600 plants :

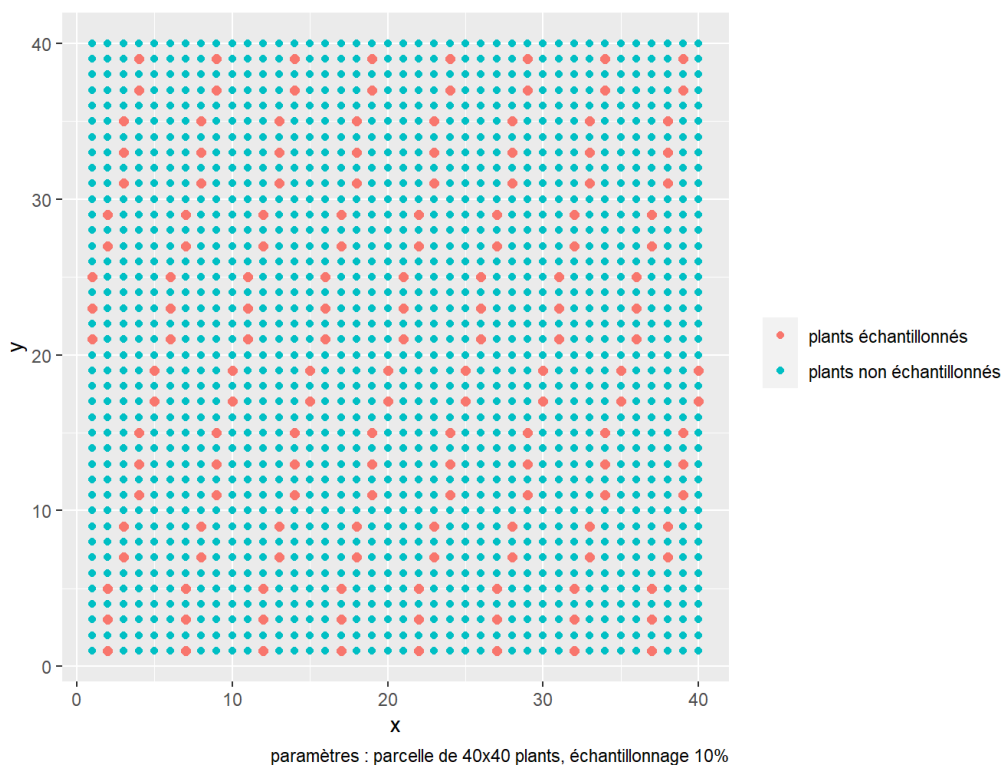


Fig 0. Exemple de cheminement dans une parcelle de 1 600 plants pour un échantillonnage de type « cemagref »

Nous simulons des schémas de plantation simples où les plants sont équidistants sur la ligne et entre les lignes dans des parcelles « carrées » (autant de lignes que de plants sur la ligne). Il s'agit d'une simplification dans le cadre de cet exercice purement théorique qui conserve une dimension générique. Les résultats des simulations qui suivent sont totalement extrapolables à des schémas plus divers de plantation (3 m x 2 m, 4 m x 2,5 m, etc). En revanche, l'influence de la forme du chantier (plutôt « en longueur » ou « en largeur ») sur la précision des méthodes d'échantillonnage n'est pas évaluée. On peut supposer qu'elle est négligeable sans introduction d'un effet « ligne » sur la reprise des plants.

Enfin, nous rappelons que l'estimation du taux de reprise doit être réalisée par espèce dans le cas de plantations mélangées. Nous avons choisi de ne simuler que des plantations monospécifiques par souci de simplicité. Les résultats s'entendent donc pour une essence donnée mais il semble possible d'élargir les résultats qui suivent aux cas de plantations mélangées dès lors que chaque essence est traitée indépendamment. Le schéma d'implantation du mélange pourra fortement jouer sur les hypothèses de répartition spatiale des mortalités à retenir pour une même espèce selon son degré de dissémination dans la parcelle.

I. Indépendance de chaque plant (loi binomiale)

Pour cette première partie, on considère que chaque plant a une probabilité p d'être vivant ou mort. Aucun autre facteur ne vient influencer le résultat et chaque plant est indépendant des autres. Spatialement, on obtient une mortalité aléatoire sur la parcelle répartie de manière homogène.

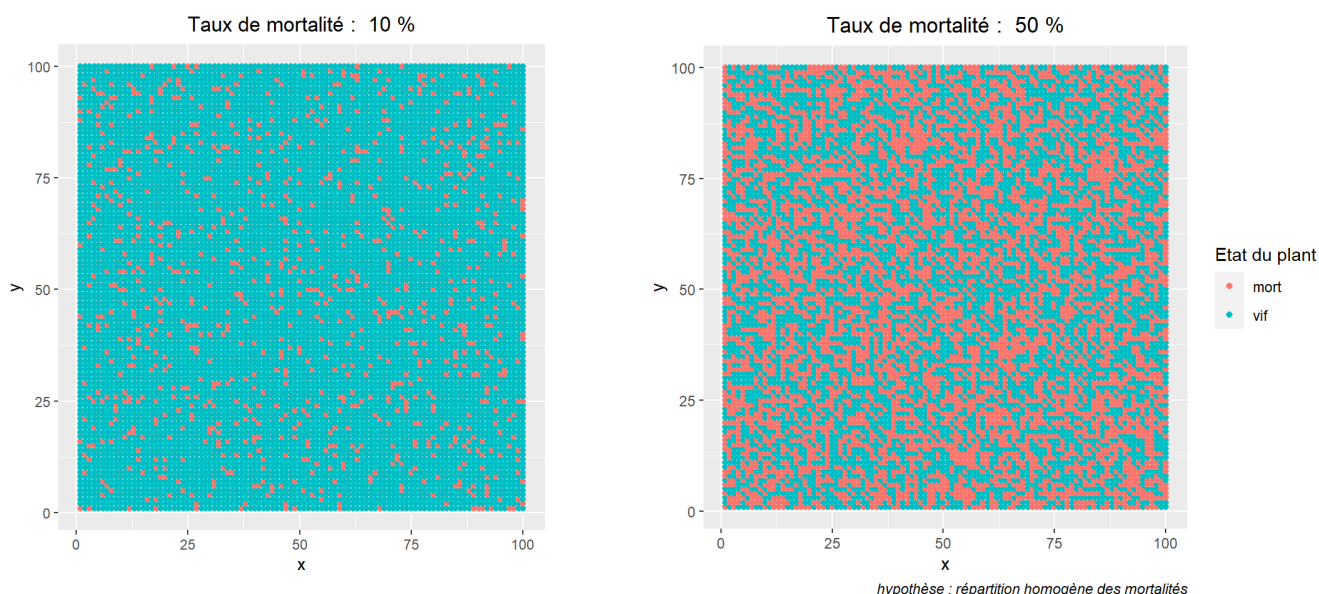


Fig 1.1. Exemples de représentations spatiales d'une mortalité simulée aléatoirement dans une parcelle de 10 000 plants

On applique les différentes méthodes d'échantillonnage présentées en introduction sur un grand nombre de chantiers de plantation simulés aléatoirement. Nous obtenons ainsi des premiers résultats :

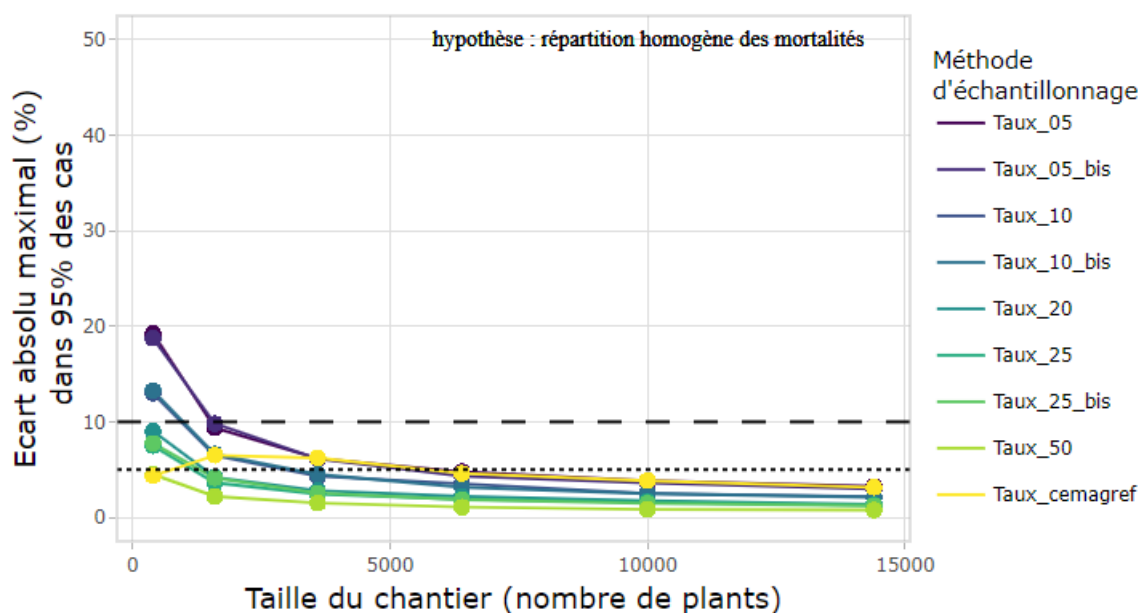


Fig 1.2. Ecart absolu maximal d'estimation en points de pourcentage (dans 95 % des cas) selon la méthode d'échantillonnage et la taille du chantier de plantation (nombre de plants). Les lignes horizontales représentent un écart absolu d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (lignée brisée).

Lecture du graphique : pour des chantiers de 6 400 plants, si on applique un protocole qui échantillonne 5 % des plants (Taux_05, Taux_05_bis), l'écart entre le taux de reprise obtenu et le taux réel de l'ensemble de la plantation est inférieur à 5 points de pourcentage dans 95 % des cas. Par exemple, dans ce cas de figure, on peut considérer qu'une estimation d'un taux de reprise de 65% correspond en réalité à un taux de reprise du chantier compris entre 60 % et 70 % à 95% de confiance.

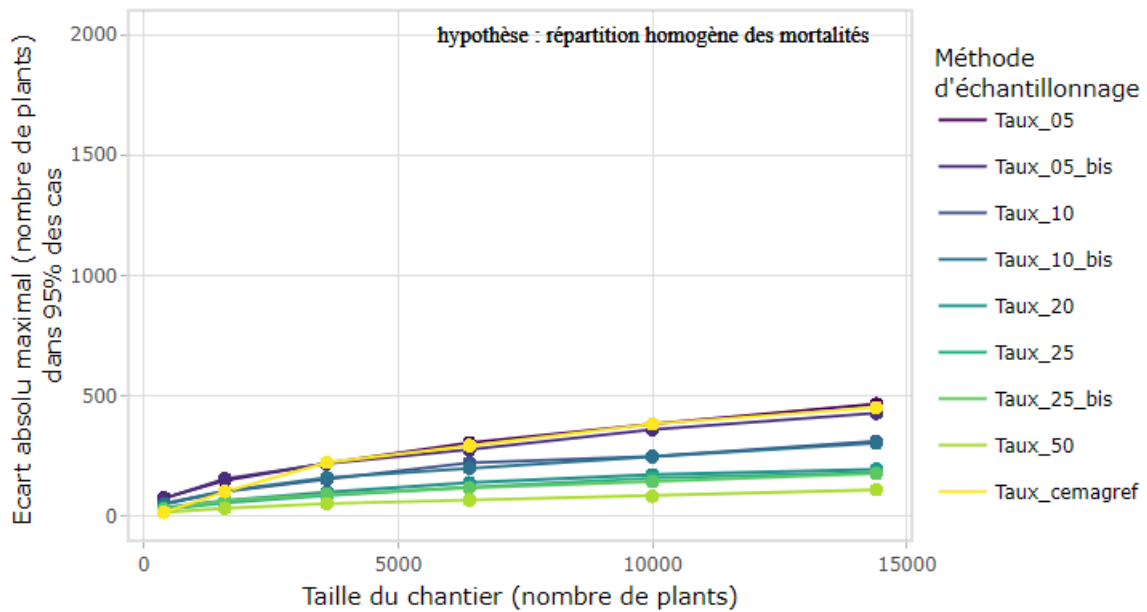


Fig 1.3. Ecart absolu maximal d'estimation en nombre de plants (dans 95 % des cas) selon la taille du chantier de plantation.

Lecture du graphique : Dans le cas de chantiers de 6 400 plants, lorsqu'on applique un taux de sondage de 5 %, l'erreur d'estimation du nombre total de plants morts est inférieure à environ 300 plants (en plus ou en moins) dans 95 % des cas. Pour un même taux de sondage, cette erreur monte à presque 500 plants dans une plantation de 14 400 plants.

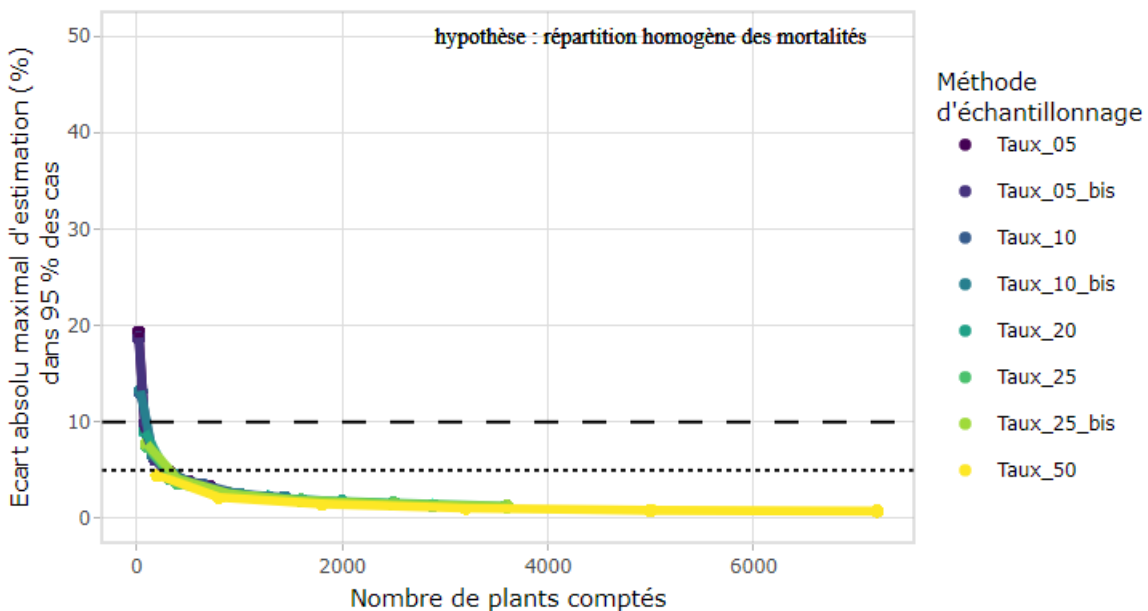


Fig 1.4. Ecart absolu maximal d'estimation en points de pourcentage (dans 95 % des cas) selon la taille de l'échantillon. Les lignes horizontales représentent un écart absolu maximal d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (ligne brisée).

Lecture du graphique : Dans les cas où le nombre de plants échantillonnés (= comptés) est supérieur à 300, l'écart entre le taux de reprise obtenu et le taux réel de l'ensemble de la plantation est inférieur à + 5 points de pourcentage dans 95 % des cas, pour les différentes méthodes d'échantillonnage.

Sous l'hypothèse où chaque plant a une probabilité de mourir indépendante de celle de ses voisins, c'est-à-dire que la mortalité se répartit de façon homogène dans la parcelle, différents résultats peuvent être énoncés :

- La précision de l'estimation du taux de reprise dépend exclusivement du nombre de plants examinés c'est-à-dire prenant part à l'échantillonnage. Plus il est important, plus l'erreur d'estimation est réduite. Cet effet est visible sur la figure 1.4 qui montre des erreurs d'estimation importantes pour de petits échantillons. Cette erreur diminue rapidement avec le nombre de plants comptés. Au-delà de 500 plants échantillonnés, l'erreur d'estimation est inférieure à 5 points de pourcentage dans 95 % des cas. Au-delà de 1 000 plants comptés, elle passe sous la barre des 2,5 points de pourcentage et la précision n'augmente plus que lentement avec la taille de l'échantillon.
- Le nombre de plants comptés résulte de la multiplication de deux paramètres : la taille du chantier et le taux d'échantillonnage appliqué par le protocole d'estimation. La précision de l'estimation dépend donc directement de la combinaison de ceux-ci. Il en résulte que pour conserver une bonne qualité d'estimation, les petites quantités de plants mises en œuvre doivent être fortement échantillonnées (50 % voire 100 %). De même, les grands chantiers peuvent être échantillonnés de manière plus lâche. Ces résultats justifient donc la mise en œuvre de grilles prescrivant des taux de sondage décroissants avec le nombre de plants installés.
- L'obtention d'une estimation correcte du taux de reprise a d'autant plus d'importance que le chantier est grand. En effet, une erreur de quelques pourcents d'estimation du taux de mortalité peut avoir des conséquences importantes par exemple sur le dimensionnement des commandes de regarnis. La figure 1.3 illustre l'importance des écarts d'estimation en nombre de plants. Ceux-ci augmentent avec la taille du chantier pour un même taux de sondage malgré une amélioration de la précision d'estimation du taux de reprise. C'est un aspect que l'observateur doit garder en tête et qui inciterait à ne pas trop réduire le taux de sondage pour des grands chantiers.
- Le cheminement et la configuration spatiale de l'échantillon qu'il produit n'influence pas la précision d'estimation sous l'hypothèse d'indépendance de chaque plant. Pour un même taux de sondage, compter les lignes entières ou 2 fois plus de lignes et un plant sur 2 le long des lignes sont des variantes équivalentes pour la qualité de l'estimation. De même, le cheminement du protocole « cemagref » n'apporte rien, à taux de sondage égal, par rapport à des cheminements plus classiques et simples qui s'appuient sur les lignes de plantation.

II. Autocorrélation spatiale partielle

Dans cette deuxième partie, nous ne considérons plus que les plants sont indépendants des autres. Nous ajoutons un effet d'autocorrélation spatiale qui implique que si un plant est mort, son voisin a une probabilité plus importante d'être mort. Ce type de configuration spatiale pourrait par exemple résulter de problèmes localisés de végétation, de sol, d'attaques de ravageurs, de différents lots de plants, etc. Spatialement, on simule alors des tâches de mortalité, définies aléatoirement sur la parcelle, comme les exemples suivants :

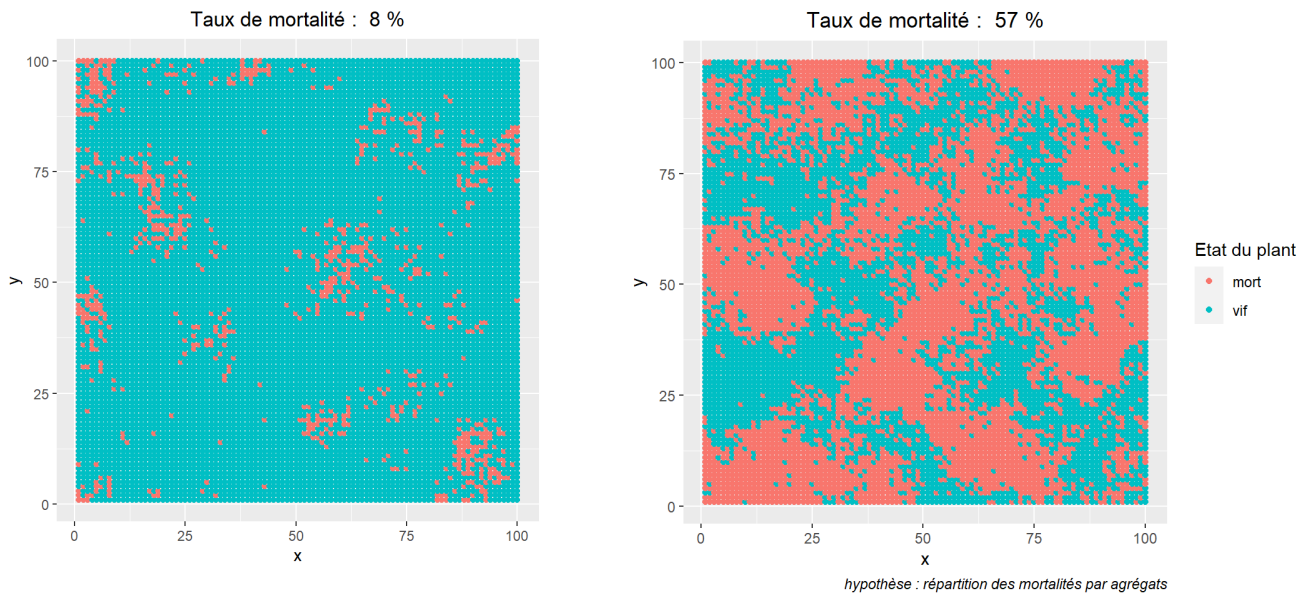


Fig 2.1. Exemples de représentations spatiales d'une mortalité simulée aléatoirement par agrégation dans une parcelle de 10 000 plants.

Les nombreuses répétitions de simulations aléatoires de mortalités partiellement agrégées, auxquelles nous appliquons les différents protocoles d'échantillonnage présentés en introduction produisent les résultats qui suivent.

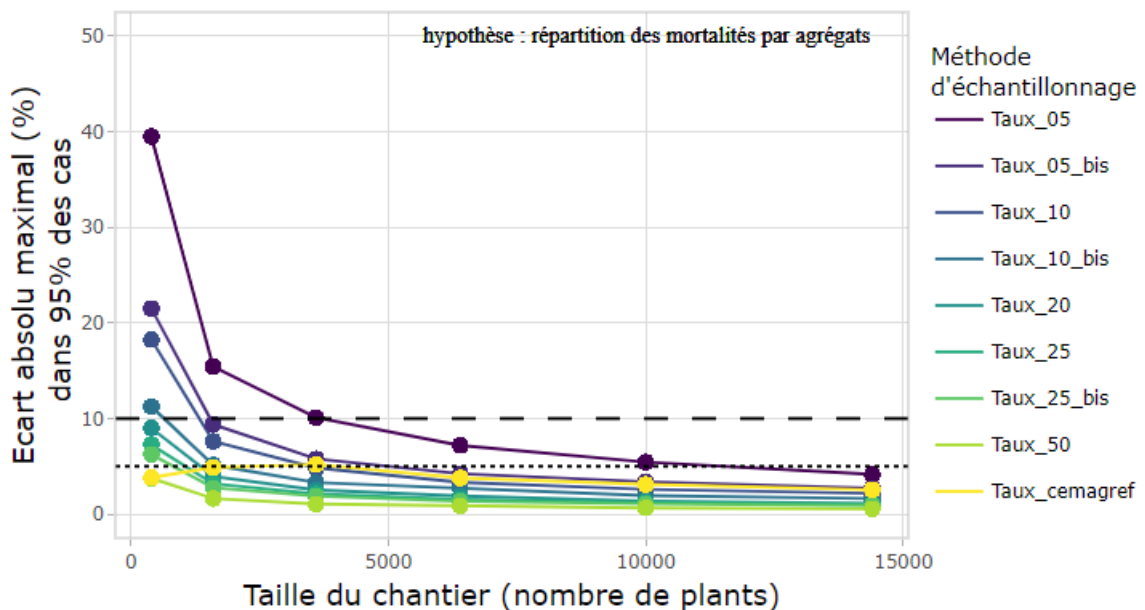


Fig 2.2. Ecart absolu maximal d'estimation en points de pourcentage (dans 95 % des cas) selon la méthode d'échantillonnage et la taille du chantier de plantation (nombre de plants). Les lignes horizontales représentent un écart absolu d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (ligne brisée).

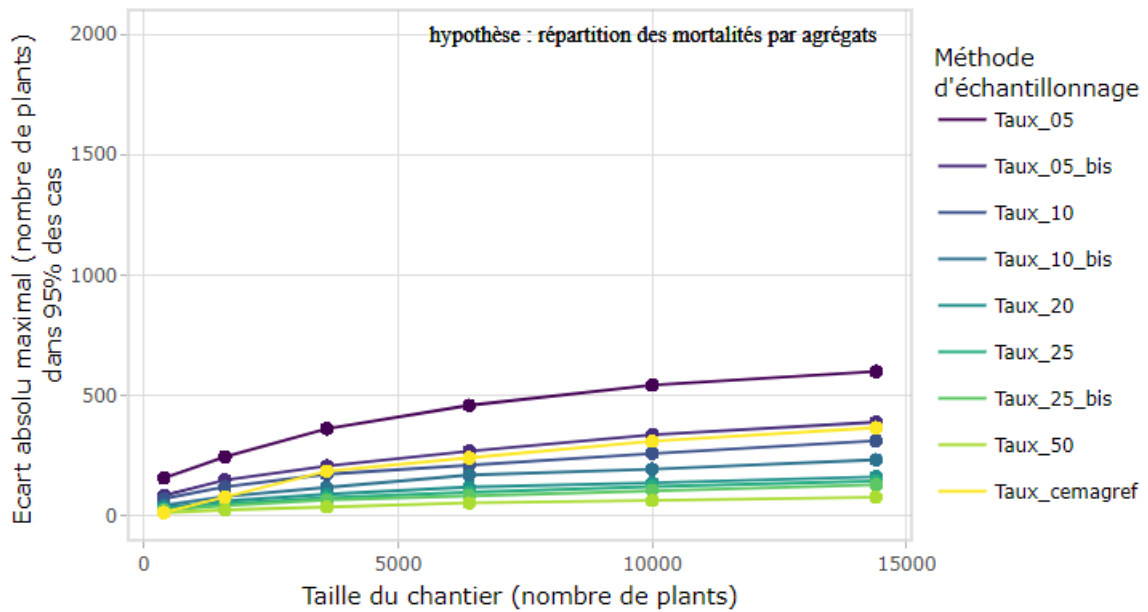


Fig 2.3. Ecart absolu maximal d'estimation en nombre de plants (dans 95 % des cas) selon la taille du chantier de plantation

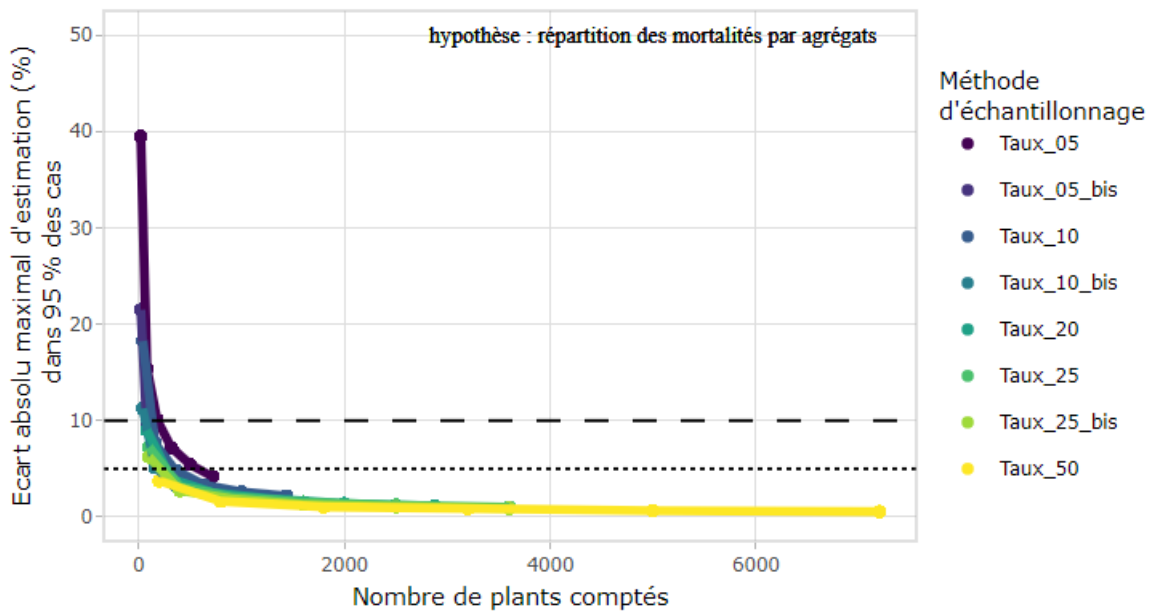


Fig 2.4. Ecart absolu maximal d'estimation en points de pourcentage (dans 95 % des cas) selon la taille de l'échantillon. Les lignes horizontales représentent un écart absolu maximal d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (ligne brisée).

Dans l'hypothèse où la mortalité de chaque plant dépend de ses proches voisins, de nouveaux résultats peuvent être énoncés :

- L'erreur d'estimation est plus importante que dans le cas d'une répartition homogène des plants morts. La structure spatiale agrégée ajoute une source de variabilité en créant un risque de « passer à côté » de concentrations de mortalité qui peuvent influencer l'estimation.
- L'allure des courbes reste identique. Les enseignements généraux sur l'influence de la taille de l'échantillon (nombre de plants examinés par le protocole) restent valides.
- Si on compare, pour un même taux de sondage, la méthode classique où on échantillonne tous les plants sur la ligne, et sa variante (« bis ») où on échantillonne deux fois plus de lignes mais qu'un plant sur deux sur la ligne, on montre cette fois-ci un apport de la méthode « bis ». L'erreur d'estimation est plus faible lorsque l'on utilise la méthode « bis », pour un même taux de sondage. En effet, les variantes permettent de parcourir la plantation sur une maille plus serrée et ainsi d'éviter de « passer à côté » de groupes de plants morts.
- Le cheminement en diagonale proposé par le protocole « cemagref », qui permet d'échantillonner dans chaque ligne de plantation, ne semble pas apporter ici de gain significatif de précision, à taux de sondage identique, par rapport aux échantillonnages équivalents (1 plant sur 2 d'une même ligne).

Pour conclure, lorsque l'on prend l'hypothèse que la mortalité d'un plant dépend en partie de celle de ses voisins, on augmente l'erreur d'échantillonnage pour une même méthode et un même taux d'échantillonnage. De plus, les cheminements privilégiant une répartition spatiale plus régulière de l'échantillon de plants examinés en parcourant plus de lignes (et notant moins de plants sur chaque ligne) offrent une meilleure précision, à taux de sondage constant, que les cheminements qui examinent des lignes complètes plus espacées.

III. Autocorrélation spatiale partielle et effet ligne

Pour cette troisième partie, nous conservons un patron de base de distribution des mortalités avec autocorrélation spatiale partielle auquel nous ajoutons un effet « ligne » marqué. Cela vise à modéliser (de façon théorique et probablement caricaturale) une part de détermination de la mortalité orientée selon les lignes qui organisent généralement les travaux de plantation – préparation du sol, mise en terre des plants – donc possiblement la variabilité de leur qualité qui peut influencer la reprise. Graphiquement, on simule aléatoirement des zones de mortalité groupées ainsi que des lignes plus susceptibles de contenir des plants morts que leurs voisines, dont voici deux exemples :

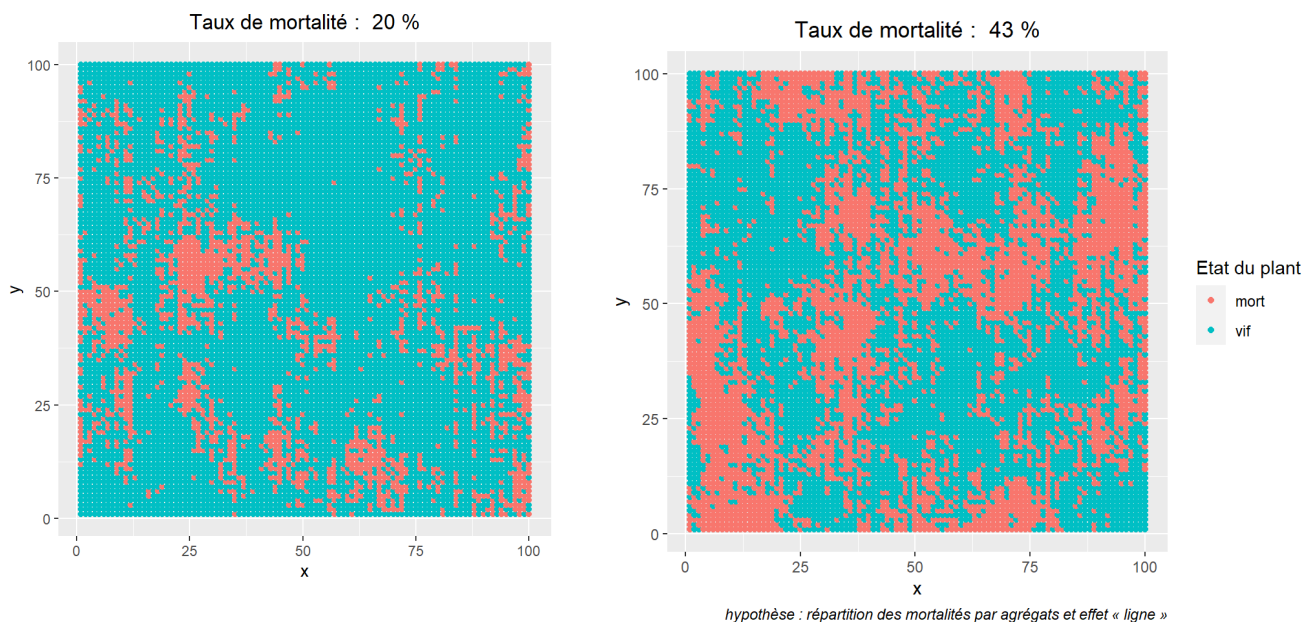


Fig 3.1. "Exemples de représentations spatiales d'une mortalité simulée aléatoirement par agrégation et avec un effet « ligne » dans une parcelle de 10 000 plants

Les nombreuses répétitions de simulations aléatoires de mortalités ainsi produites, auxquelles nous appliquons les différents protocoles d'échantillonnage présentés en introduction produisent les résultats qui suivent.

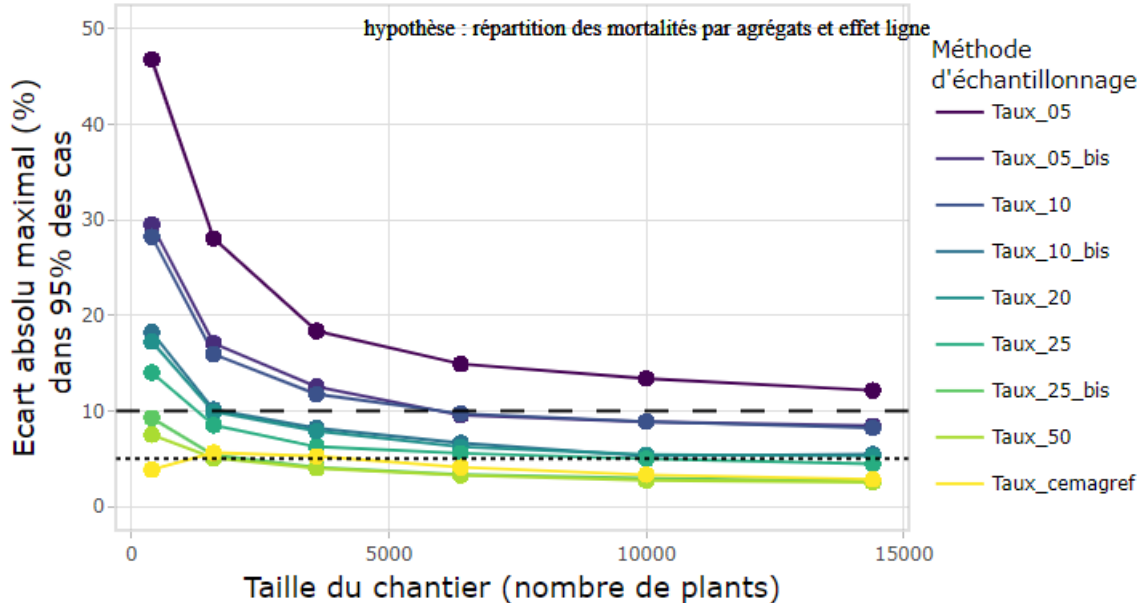


Fig 3.2. Ecart absolu maximal d'estimation en points de pourcentage (dans 95 % des cas) selon la méthode d'échantillonnage et la taille du chantier de plantation (nombre de plants). Les lignes horizontales représentent un écart absolu d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (ligne brisée).

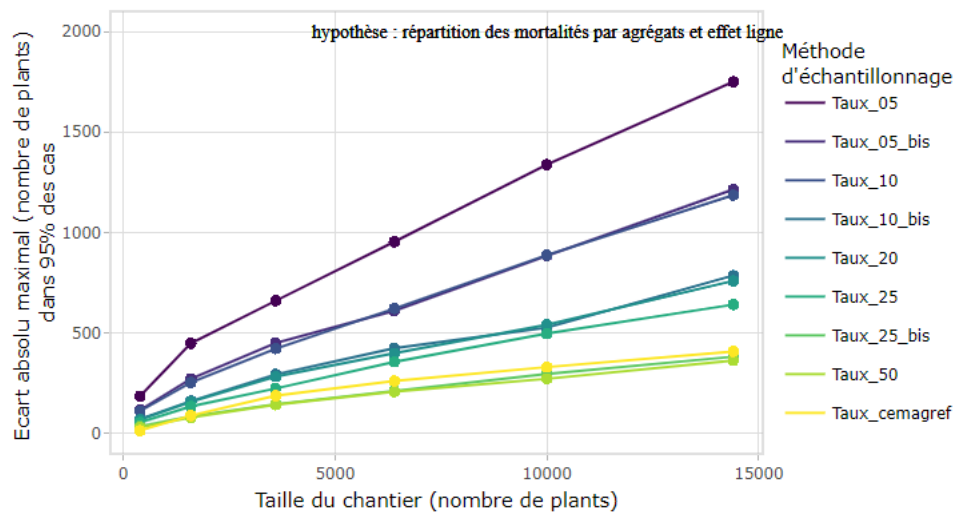


Fig 3.3. Ecart absolu maximal d'estimation en nombre de plants (dans 95 % des cas) selon la taille du chantier de plantation. Les lignes horizontales représentent un écart absolu d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (ligne brisée).

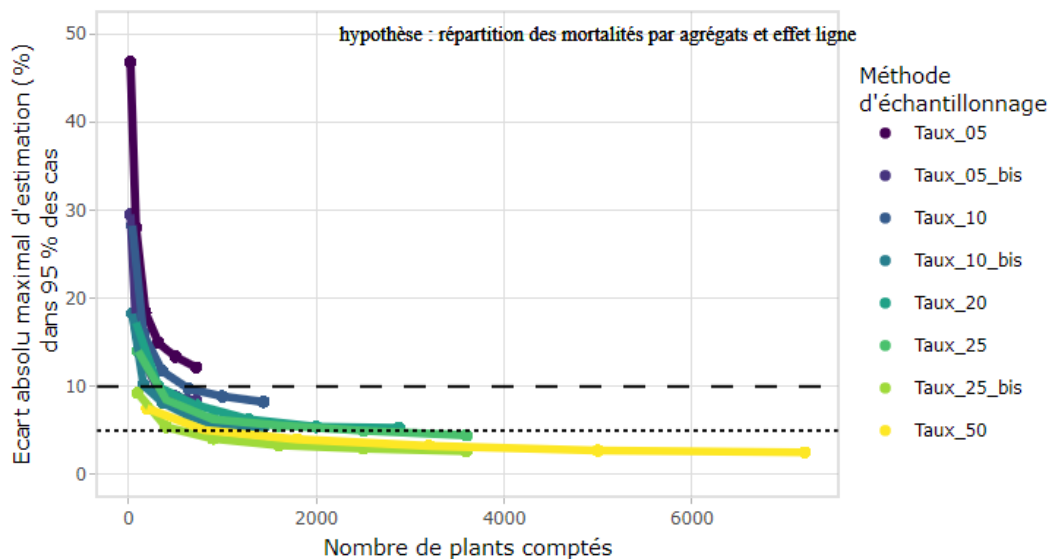


Fig 3.4. Ecart absolu maximal d'estimation en points de pourcentage (dans 95 % des cas) selon la taille de l'échantillon. Les lignes horizontales représentent un écart absolu maximal d'échantillonnage de 5 % (pointillées) et 10 % (ligne brisée).

Sous l'hypothèse que la mortalité de chaque plant dépende de celle de ses proches voisins et de la ligne où il se situe, de nouveaux résultats peuvent être énoncés :

- L'erreur d'échantillonnage est encore augmentée sous ces hypothèses.
- Là encore, les variantes « bis » sont plus précises et permettent d'obtenir des précisions équivalentes aux cheminements qui examinent les mêmes lignes de façon exhaustive plutôt qu'un plant sur deux. Par exemple, la méthode Taux_5_bis offre une précision similaire à Taux_10 (malgré le double de plants examinés). Idem pour le couple Taux_10_bis et Taux_20 ou le couple Taux_25_bis et Taux_50. Sous les hypothèses testées ici, il semble donc d'autant plus important de viser un cheminement qui parcourt un maximum de lignes quitte à réduire le nombre de plants examinés sur chacune. A ce titre, le protocole « cemagref » qui chemine en diagonale et parcourt l'ensemble des lignes est particulièrement performant. Sa précision est équivalente, pour des chantiers de plus de 2 500 plants, à l'échantillonnage d'une ligne sur deux (50 %) ou une ligne sur deux et un plant sur deux (25 %) qui examinent pourtant 5 à 10 fois plus de plants.

Conclusion

En conclusion, notre travail confirme l'influence majeure de la taille de l'échantillon de plants examinés sur la précision de l'estimation du taux de reprise (figures 1.4, 2.4, 3.4). L'erreur d'estimation diminue d'abord assez rapidement avec la taille de l'échantillon puis, au-delà de quelques centaines de plants, l'amélioration est plus lente. La taille de l'échantillon résulte du produit de la taille du chantier (nombre de plants total installés) et du taux de sondage appliqué. Nous pouvons donc recommander, afin de conserver des précisions acceptables, de veiller à examiner un nombre minimum de plants quelle que soit la taille du chantier. En ce sens, les protocoles appliquant des taux de sondages décroissant avec la taille du chantier semblent tout à fait judicieux dès lors qu'ils veillent à préserver une taille minimale d'échantillon (cas du protocole « cemagref » par exemple). Une attention particulière doit être portée dans la construction des grilles autour des discontinuités formées par les seuils de nombres de plants afin de s'assurer que la taille de l'échantillon reste suffisante à proximité d'un seuil de réduction du taux de sondage. A noter que nous avons évalué, par simplicité, un nombre limité de taux de sondages mais il est tout à fait possible de concevoir des protocoles proposant des taux intermédiaires (par exemples $1/12 = 8,5 \%$, $1/9 = 11 \%$, $1/8 = 12,5 \%$, $1/7 = 14 \%$, $1/3 = 33 \%$).

Toutefois, lorsqu'on examine la précision de l'estimation du nombre de plants morts (figures 1.2, 2.2, 3.2) et pas uniquement de leur proportion dans le chantier, il apparaît que l'erreur potentielle s'accroît avec la taille du chantier. Ceci d'autant plus que le taux de sondage est modéré. Le besoin de maîtriser cette imprécision qui impacte directement le dimensionnement correct des regarnis doit inciter les opérateurs à ne pas trop réduire les taux de sondage même dans les chantiers importants. Le taux de sondage de 3 % recommandé dans les cadrages nationaux apparaît ici comme un minimum relativement peu exigeant en terme de précision.

Par ailleurs, le type de répartition spatiale des mortalités influence également la précision des protocoles de constat de reprise (mais dans une moindre mesure que la taille de l'échantillon). Celle-ci peut être plus ou moins homogène ou regroupée en fonction de déterminants structurés dans l'espace. On retrouve par exemples la répartition du travail entre équipes, l'utilisation de différents lots de plants, des hétérogénéités de microclimat, du sol ou de la végétation concurrente, des attaques localisées de ravageurs ou de gibier. Nos résultats montrent qu'en cas de répartition irrégulière dans l'espace, les cheminements qui parcourent une plus grande part de la plantation offrent une meilleure précision, à taux de sondage constant. En effet, pour un même taux de sondage, la précision est meilleure lorsqu'on parcourt deux fois plus de lignes en n'examinant qu'un plant sur deux le long des lignes plutôt qu'en appliquant le taux de sondage aux lignes et en comptant tous leurs plants. Dans ce sens, la pratique d'un sondage de deux lignes voisines (de part et d'autre d'un cloisonnement par exemple) plus espacées des suivantes plutôt que d'examiner des lignes équidistantes est à éviter car elle ménage de plus grandes plages de surface non parcourues. D'ailleurs, un parcours plus serré de la plantation (quitte à ne noter qu'une proportion des plants sur le chemin) offre au forestier une observation plus détaillée de celle-ci. Il peut alors détecter plus facilement les zones qui concentreraient des problèmes de reprise et donc les zones à regarnir en priorité.

De manière générale, le cheminement en diagonale (type « cemagref ») semble avoir un intérêt limité par rapport à des cheminements plus simples s'appuyant sur les lignes. Il permet tout de même des gains notables de précision, à taux de sondage constant, dans le cas où la répartition spatiale de la reprise est particulièrement structurée par les lignes (par exemple sous l'effet d'une qualité de travail hétérogène d'une ligne à l'autre).

Les résultats que nous partageons ici constituent une aide à la décision pour le forestier. Pour une taille de chantier donnée et un niveau de précision exigé (erreur tolérable dans 95 % des cas), nos résultats permettent de distinguer rapidement quel taux de sondage minimal appliquer (combiné à un type de cheminement). Les résultats permettent ainsi à chacun d'évaluer la pertinence de ses pratiques *a priori* (« les mercuriales de taux de sondage que j'applique sont-elles conformes à mes exigences de précision ? ») et *a posteriori* (« quelle était la précision du protocole réalisé et éventuellement contesté ? »). La structure spatiale des mortalités n'étant pas connue *a priori*, il conviendrait d'envisager les hypothèses les plus défavorables (répartition agrégée et éventuellement structurée selon les lignes de plantation) afin de s'assurer d'atteindre la précision attendue.

Nous assumons le choix de ne pas recommander en conclusion un protocole en particulier afin de laisser au lecteur la liberté d'arbitrer lui-même entre ses exigences de précision et le temps qu'il est prêt à consacrer au constat de reprise (qui sera d'autant plus important qu'il souhaitera une bonne précision).

NB : Rappelons que dans les plantations à espacement définitif (cas du peuplier, noyer par exemple), le [Guide du MAAF](#) recommande d'examiner la totalité des plants installés, quelle que soit la surface de la plantation.

Bibliographie

1. Hamard, Jean-Pierre, et Philippe Ballon. « Appréciation des dégâts de cervidés en milieu forestier (3ème tranche): observatoire national des dégâts de cervidés en forêt: aspects méthodologiques: rapport final ». Nogent-sur-Vernisson: CEMAGREF. Unité de recherche écosystèmes forestiers et paysages, 2003.