



## Évaluation de la précision des cartes des dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa produites à partir de données télédétectées

J.C. White, M.A. Wolfer, D. Grills

### Contexte

Il est possible d'utiliser des données télédétectées afin de déceler et de cartographier les dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) à diverses échelles spatiales. La précision des cartes finales des dommages au stade rouge devrait être évaluée et rapportée de façon transparente afin de permettre à l'utilisateur final d'appliquer les données de façon appropriée et de comparer les résultats obtenus selon différentes méthodes et sources de données.



### Importance stratégique

Une évaluation de la précision est la comparaison d'un document cartographique avec une autre source de données qui représente les conditions réelles du terrain (c.-à-d. la réalité de terrain ou les données de validation). Dans le contexte des dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa, on pourra comparer une carte finale produite à partir de l'analyse de données télédétectées à un échantillon de données des études sur le terrain (qui détermine sur le terrain les endroits connus de dommages au stade rouge). Un des avantages de l'utilisation des données télédétectées pour cartographier les dommages au stade rouge s'avère les économies d'échelle qui sont obtenues en cartographiant de très vastes zones; il est coûteux et souvent impossible sur le plan logistique de cartographier d'aussi grandes zones en utilisant des études sur le terrain. L'objectif d'une évaluation de la précision consiste par conséquent à comparer la carte des dommages au stade rouge obtenue à partir des données télédétectées à un petit échantillon de données très exactes sur le terrain, afin de déterminer la fiabilité du document cartographique. Non-seulement une évaluation de la précision indique-t-elle à l'utilisateur de la carte la fiabilité de celle-ci en termes de planification, d'analyse géospatiale et de modélisation, mais elle fournit également aux producteurs de la carte une mesure du succès de leurs méthodes ou de leurs choix

de données. Une matrice de confusion est un outil utile pour résumer cette comparaison entre les données réelles de terrain et la carte finale obtenue par télédétection. De plus, une matrice de confusion simplifiée le calcul des mesures de précision, permettant une évaluation quantitative de la carte produite. Un exemple d'une matrice de confusion simple à deux catégories (peuplements indemnes et peuplements attaqués) est présenté dans le tableau 1 et nous examinons le contenu de la matrice de confusion et le concept de l'évaluation de la précision dans la partie suivante.

Table 1. Sample error matrix with equal sample sizes per class.

Catégories		Carte finale produite à partir de données télédétectées				
		Peuple-ments indemnes	Peuple-ments attaqués	Somme	Précision du producteur	Erreur d'omission
Données de terrain	Peuplements indemnes	140	10	150	93%	7%
	Peuplements attaqués	60	90	150	60% 95% CI: 52%-67%	40%
	Somme	200	100	300		
	Précision de l'utilisateur	70%	90%	Précision générale : 77 %		
	Erreur de commission	30%	10%	Intervalle de confiance de 95 % : 72 % - 81 %		

### Comprendre le concept de l'évaluation de la précision

Dans l'exemple de la matrice de confusion du tableau 1, 300 échantillons ont été recueillis lors d'une étude sur le terrain (répartis de façon égale entre les catégories « peuplements indemnes » et « peuplements attaqués »). Dans chacun de ces lieux d'échantillonnage, un ou plusieurs arbres indemnes ou attaqués ont été mis en évidence par l'équipe sur le terrain et l'emplacement de l'arbre ou des arbres a été enregistré à l'aide d'un système mondial de localisation. La matrice de confusion est calculée en fonction de la catégorie prévue à partir des données télédétectées en haut et de la catégorie réelle (comme cela est indiqué par « données de terrain ») à gauche du tableau. Il y a trois mesures principales de la précision calculée à partir d'une matrice de confusion : la précision du producteur, la précision de l'utilisateur et la précision générale. La précision du producteur nous indique le nombre d'échantillons réels qui ont été marqués correctement sur la carte.

Dans l'exemple du tableau 1, 140 des échantillons réels indemnes ont été marqués indemnes sur la carte finale, soit une précision du producteur de 93 %. Réciproquement, seuls 90 des 150 échantillons sur le terrain attaqués ont été marqués correctement sur la carte, soit une précision du producteur de 60 % pour la catégorie des peuplements attaqués. L'erreur d'omission est la mesure corollaire de la précision du producteur et nous indique le nombre d'échantillons sur le terrain d'une catégorie en particulier qui ont été mal classés dans le document cartographique final (p. ex., 40 % des échantillons sur le terrain des peuplements attaqués dans le tableau 1 n'étaient pas classés comme peuplements attaqués).

La précision de l'utilisateur nous indique le nombre d'échantillons qui sont marqués dans une catégorie particulière sur la carte et qui appartiennent réellement à cette catégorie sur le terrain. En d'autres termes, si nous devons nous rendre sur le terrain avec la carte et visiter chacun des sites identifiés comme une catégorie particulière sur la carte, combien de sites visités appartiendraient réellement à la classe marquée sur la carte? Dans le tableau 1, nous constatons que sur 200 échantillons marqués comme indemnes sur la carte finale, seuls 140 étaient en fait indemnes sur le terrain, soit une précision de l'utilisateur de 70 % pour la catégorie des peuplements indemnes. De même, 90 des 100 échantillons marqués comme attaqués étaient réellement sur le terrain, soit une précision de l'utilisateur de 90 %. L'erreur de commission est le corollaire de la précision de l'utilisateur et nous indique le nombre d'échantillons placés dans une catégorie particulière sur la carte finale qui appartenaient en fait à une autre catégorie sur le terrain. Dans le tableau 1, nous constatons que seulement 10 % des échantillons classés comme attaqués sur la carte, étaient en fait indemnes sur le terrain.

La précision générale est une mesure du nombre total d'échantillons qui ont été classés correctement sur la carte, sans égard à la catégorie. Cette mesure s'obtient en ajoutant les données en diagonale de la matrice de confusion (en gris clair dans le tableau 1). Dans cet exemple, nous constatons que 230 échantillons (140 pour les peuplements indemnes et 90 pour les peuplements attaqués) ont été cartographiés correctement, représentant une précision générale de 77 %. La précision générale donne une indication d'ensemble de la précision de la carte si toutes les catégories sont d'importance égale. Si toutes les catégories ne sont pas d'importance égale, la précision générale peut représenter faussement la précision de la carte. Dans cet exemple, nous nous intéressons davantage à la précision avec laquelle notre carte met en évidence les zones attaquées. Si nous avions seulement rapporté la précision générale, nous aurions pu fausser nos résultats, étant donné que notre réussite de la cartographie de la catégorie des peuplements indemnes nous a permis de soutenir notre mesure de la précision générale. La précision du producteur donne une meilleure indication du bon fonctionnement de notre approche. Nous pouvons donc en conclure que nos méthodes omettent un nombre important de dommages au stade rouge (40 %).

D'un autre côté, la précision de l'utilisateur et l'erreur de commission pour la catégorie des peuplements attaqués nous indiquent que là où nous mettons en évidence des peuplements attaqués sur la carte, nous mettons en effet en évidence des peuplements attaqués sur le terrain et nous ne les confondons pas avec la catégorie des peuplements indemnes. Nous pourrions interpréter ces renseignements de deux façons pratiques. Tout d'abord, nous savons que nous pouvons améliorer la détection des dommages au stade rouge, et par conséquent, il se peut que nous souhaitions

modifier nos méthodes ou essayer une source différente de données télédéteectées afin d'augmenter la quantité de dommages que nous pouvons détecter et cartographier. Par exemple, certaines des méthodes utilisées pour cartographier les dommages au stade rouge à partir de données télédéteectées reposent sur l'établissement d'un seuil, qui distingue les dommages au stade rouge des autres types de perturbation. L'évaluation de la précision pourrait indiquer que le seuil sélectionné est inapproprié et requiert une révision. Il se peut que nous souhaitions également examiner la qualité des données de validation que nous avons sélectionnées. En second lieu, d'un point de vue opérationnel, une grave erreur de commission peut coûter très cher, étant donné que le déploiement d'équipes sur le terrain dans les zones faussement cataloguées attaquées par la carte est coûteux. Nous souhaitons par conséquent réduire non seulement nos erreurs d'omission, mais aussi, essayer de maintenir un faible taux d'erreur de commission.

L'exemple ci-dessus indique la valeur de l'information contenue dans une matrice de confusion. Le rapport de la précision générale seul n'indique pas tout le contexte à l'utilisateur final, notamment lorsque seulement deux catégories sont cartographiées. Nous recommandons par conséquent que la matrice de confusion dans sa totalité soit rapportée. Le tableau 2 illustre pourquoi cela est le cas; les précisions du producteur sont identiques à celles rapportées dans le tableau 1, mais dans ce cas, nous supposons que les échantillons réels n'ont pas été répartis de façon homogène entre les catégories (deux tiers des échantillons sur le terrain ont été recueillis à partir de la catégorie des peuplements indemnes). Dans cet exemple, nous constatons que bien que notre capacité à détecter les dommages au stade rouge n'ait pas changé (notre précision du producteur n'est toujours que de 60 %), notre précision générale a augmenté et atteint 82 %. Veuillez également noter que notre capacité à détecter la catégorie des peuplements indemnes ne s'est pas non plus forcément améliorée, mais parce que nous disposons de plus d'échantillons dans la catégorie des peuplements indemnes et étant donné que notre méthode de cartographie fonctionne bien pour détecter les peuplements indemnes, le résultat de la précision générale a augmenté.

**Tableau 2. Matrice de confusion avec des tailles d'échantillon inégales par catégorie**

Catégories	Carte finale produite à partir de données télédéteectées			Précision du producteur	Erreur d'omission
	Peuplements indemnes	Peuplements attaqués	Somme		
Peuplements indemnes	186	14	200	93%	7%
Peuplements attaqués	40	60	100	60% 95% CI: 50%-69%	40%
Somme	226	74	300		
Précision de l'utilisateur	82%	81%	Précision générale : 77 % Intervalle de confiance de 95 % : 77 % - 86 %		
Erreur de commission	18%	19%			

# Méthodes

## Sélectionner des données réelles de terrain

La sélection des données réelles de terrain est essentielle à toute évaluation de la précision. Les données recueillies sur le terrain par les équipes de l'étude sont souvent les données les plus souhaitables pour l'évaluation de la précision; toutefois, étant donné que les données de terrain sont également les données les plus coûteuses à recueillir, elles ne constituent pas toujours le choix le plus pratique. Une autre considération est le moment choisi pour mener l'étude. Idéalement, les données utilisées pour la validation sont acquises en même temps que les données télédéetectées utilisées pour produire la carte finale, ce qui peut constituer un défi si des images archivées sont utilisées. Tous ces facteurs entraînent invariablement certains compromis dans la sélection des données. Toutefois, il y a d'autres solutions viables que les études sur le terrain des dommages au stade rouge, et cela comprend la photographie aérienne (White et coll. 2005) et les levés GPS en hélicoptère (Nelson et coll. 2006).

Sans égard aux données utilisées pour la validation, plusieurs autres facteurs doivent être pris en compte lors de la sélection des échantillons de validation, dont le plus important est la taille de l'échantillon. Nous avons déjà démontré l'importance de l'utilisation de tailles d'échantillon égales pour chaque catégorie (mais nous reconnaissons que des tailles d'échantillon inégales peuvent être préférables pour d'autres applications). La taille de l'échantillon aura une incidence sur l'intervalle de confiance établi pour les estimations de la précision. La documentation sur la télédétection suggère un minimum de 50 échantillons par catégorie, tandis que nous suggérerions de recueillir entre 50 et 100 échantillons par catégorie. Plus il y a d'échantillons, plus l'utilisateur final a confiance en ce que les résultats sur la précision rapportés sont représentatifs du document cartographique. Par conséquent, nous recommandons que les intervalles de confiance soient calculés et rapportés pour la précision générale et pour la précision du producteur pour la catégorie des peuplements attaqués. Les échantillons de validation devraient également être sélectionnés afin de représenter spatialement la zone d'étude et doivent être indépendants des échantillons utilisés pour l'étalonnage de l'algorithme afin de classer les données télédéetectées.

## Une note sur les intervalles de confiance

Un intervalle de confiance fournit une marge estimée, calculée à partir des données des échantillons, qui comprend probablement les estimations de la précision. L'étendue de l'intervalle de confiance fournit des renseignements sur notre confiance vis à vis des estimations de la précision; plus l'intervalle de confiance est vaste, moins nous avons confiance dans les estimations de la précision. Plusieurs calculateurs de l'intervalle de confiance pour les proportions (c.-à-d. la distribution binomiale) sont disponibles sur Internet et présentent des approximations utiles pour l'établissement de rapports<sup>1</sup>. Dans les exemples présentés aux tableaux 1 et 2, nous pouvons constater que les intervalles de confiance associés à la précision générale ont la même étendue, puisque la taille globale des échantillons est la même. Toutefois, compte tenu de la plus petite taille des échantillons pour les peuplements attaqués dans l'exemple du tableau 2, l'intervalle de

confiance associé à la précision du producteur pour la catégorie des peuplements attaqués est plus grand que dans le tableau 1, indiquant une confiance moindre envers cette estimation. Toutefois, bien que les précisions du producteur soient identiques dans ces deux exemples, nous aurions une plus grande confiance en la carte des peuplements attaqués associée au tableau 1. Le tableau 3 démontre combien les intervalles de confiance varient en fonction de la taille de l'échantillon; lorsque la taille des échantillons augmente, l'intervalle de confiance diminue. Selon ce rapport entre la taille des échantillons et l'intervalle de confiance, les producteurs de la carte peuvent judicieusement décider du nombre d'échantillons nécessaires pour fournir le taux souhaité de confiance associé aux estimations de la précision, selon les ressources dont ils disposent pour recueillir les échantillons.

**Tableau 3. L'incidence de la taille des échantillons sur l'étendue de l'intervalle de confiance, en supposant le même niveau de précision**

Taille de l'échantillon	Précision du producteur = 85 % Intervalle de confiance de 95 %	
	Limite de confiance inférieure	Limite de confiance supérieure
500	0.82	0.87
250	0.80	0.89
100	0.77	0.91
75	0.76	0.92
50	0.74	0.93
25	0.63	0.95

## Mener une évaluation de la précision

La méthode pour mener une évaluation de la précision est simple grâce à la technologie moderne et très répandue des SIG. L'approche la plus simple consiste à disposer de données réelles de terrain comme un ensemble de données ponctuelles, puis de superposer ces données ponctuelles à la carte des peuplements indemnes et des peuplements attaqués produite à partir de données télédéetectées. Le résultat se traduira par la collecte de points ayant des attributs indiquant dans quelle catégorie les points ont été classés à partir des données de terrain et dans quelle catégorie les points ont été classés à partir des données télédéetectées. Ces renseignements peuvent ensuite être utilisés afin d'établir la matrice de confusion. Dans certains cas, l'éventualité d'une erreur planimétrique dans les données réelles ou sur la carte finale peut requérir l'utilisation de tampons ou d'autres mécanismes pour justifier les erreurs spatiales<sup>2</sup>. Le tableau 4 présente un résumé de la façon dont chacune des mesures de la précision sont calculées. Bien que la terminologie que nous avons utilisée dans le présent document (p. ex., précision du producteur) soit plutôt standard dans la documentation sur la télédétection, il se peut que le lecteur trouve des termes différents dans d'autres disciplines et nous avons fourni un résumé de ces termes (dans le contexte des dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa) dans le tableau 5. À l'aide de ces outils et des exemples présentés ci-dessus, le lecteur devrait pouvoir examiner de façon éclairée les résultats des évaluations de la précision associées à la détection et à la cartographie des dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa, ou réaliser une évaluation de la précision en utilisant ses propres documents cartographiques et données réelles de terrain.

<sup>1</sup> Pour obtenir un exemple, veuillez voir : <http://faculty.vassar.edu/lowry/prop1.html>

<sup>2</sup> Pour plus de renseignements sur l'utilisation des tampons pour justifier les erreurs planimétriques, veuillez vous référer à White et coll. (2005).

**Tableau 4. Calcul des estimations dans une matrice de confusion**

Carte finale produite à partir de données télédéteectées						
	Catégories	Peuple-ments indemnes	Peuple-ments attaqués	Somme	Précision du producteur	Erreur d'omission
Données de terrain	Peuple-ments indemnes	A	B	A+B	$A/(A+B)$	$B/(A+B)$
	Peuple-ments attaqués	C	D	C+D	$D/(C+D)$	$C/(C+D)$
	Somme	A+C	74	A+D		
	Précision de l'utilisateur	$A/(A+C)$	$D/(B+D)$	Précision générale : $(A+D)/(A+B+C+D)$		
Erreur de commission	$C/(A+C)$	$B/(B+D)$				

**Tableau 5. Un tableau pour la terminologie communément employée dans les rapports d'évaluation de la précision**

Terme de rechange	Quelle catégorie?	Terme courant
Taux de réussite réel	Peuple-ments attaqués	Précision du producteur
Taux de faux positifs	Peuple-ments indemnes	Erreur d'omission
Taux d'échec réel	Peuple-ments indemnes	Précision du producteur
Taux de faux négatifs	Peuple-ments attaqués	Erreur d'omission
Précision	Peuple-ments attaqués	Précision de l'utilisateur
Précision	Les deux	Précision générale

## Récapitulatif

Une évaluation de la précision est considérée comme le meilleur moyen de démontrer avec quelle efficacité les différentes sources de données et méthodes peuvent être utilisées pour cartographier les dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa à partir de données télédéteectées. Toutefois, le simple rapport de la précision générale ne fournit pas suffisamment de contexte pour évaluer le document cartographique et peut fausser la précision avec laquelle les dommages au stade rouge sont détectés et cartographiés. Les évaluations de la précision ne sont pas difficiles à entreprendre et ne devraient pas non plus être

### Personnes-ressources :

Dr. Mike Wulder  
Centre de foresterie du Pacifique, Service canadien des forêts,  
Ressources naturelles Canada  
506 West Burnside Rd Victoria (C.-B.) V8Z 1M5  
Téléphone : (250) 363-6090  
Courriel : [mwulder@nrca.gc.ca](mailto:mwulder@nrca.gc.ca)

Pour de plus amples renseignements sur le Service canadien des forêts, veuillez consulter notre site Web : [scf.nrca.gc.ca/regions/cfp](http://scf.nrca.gc.ca/regions/cfp)

### Acknowledgements:

Cette étude a été financée par le gouvernement du Canada, par l'intermédiaire de l'Initiative de lutte contre le dendroctone du pin, un programme de 40 millions de dollars échelonné sur six ans et géré par le Service canadien des forêts (Ressources naturelles Canada).

difficiles à interpréter. Nous avons fait plusieurs recommandations sur l'évaluation de la précision dans le contexte de la détection et de la cartographie des dommages au stade rouge causés par le dendroctone du pin ponderosa et elles sont résumées ci-dessous :

- Les études sur le terrain sont la meilleure source de données de validation pour les peuplements indemnes et les peuplements attaqués; toutefois, les photos aériennes et les levés GPS en hélicoptère sont des solutions de rechange viables.
- Sélectionner les échantillons de validation qui sont spatialement représentatifs et qui sont indépendants des données d'étalonnage utilisées pour le classement.
- Sélectionner au moins entre 50 et 100 échantillons par catégorie aux fins de validation. Plus il y a d'échantillons, plus la confiance est grande vis-à-vis des estimations de la précision rapportées.
- Utiliser des tailles d'échantillon égales pour les catégories des peuplements indemnes et des peuplements attaqués.
- Rapporter le contenu de la matrice de confusion dans sa totalité, et pas seulement la précision générale.
- Rapporter les intervalles de confiance de 95 % pour la précision générale et la précision du producteur pour les peuplements attaqués.

## Références et lectures supplémentaires

- Coops, N.C., M Johnson, M.A. Wulder et J.C White. Assessment of QuickBird high spatial resolution imagery to detect red-attack damage due to mountain pine beetle infestation, 2006 Remote Sensing of Environment 103:67-80.
- Nelson, T.; Boots, B.; Wulder, M.A. 2006. Representing large area mountain pine beetle infestations. Forestry Chronicle 82:243-252.
- Skakun, R.S.; Wulder, M.A.; Franklin, S.E. 2003. Sensibilité du capteur TM aux arbres au stade rouge endommagés lors d'infestations du dendroctone du pin ponderosa à partir de l'EWDI. Remote Sensing of Environment, 433-443.
- White, J.C., M.A. Wulder, D.Grills. 2006 Detecting and mapping mountain pine beetle red attack with SPOT imagery, British Columbia Journal of Ecosystems and Management 7:105-118.
- White, J.C.; Wulder, M.A.; Brooks, D.; Reich, R.; Wheate, R.D. 2005. Detection of Red Attack Stage Mountain Pine Beetle Infestation with Spatial Resolution Satellite Imagery. Remote Sensing of Environment 96:340-351.
- Wulder, M.A.; Dymond, C.C.; White, J.C.; Leckie, D.G.; Carroll, A.L. 2006. Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. Forest Ecology and Management 221: 27-41.

