

Interprétation des données satellitaires du Service de gestion des ravageurs forestiers

1. CONTEXTE

Ce document constitue un guide sommaire sur l'interprétation des données satellitaires produites par le Service de gestion des ravageurs forestiers (SGRF) de la Direction de la protection des forêts (DPF).

Les données satellitaires peuvent être compilées et présentées sous plusieurs formes. Ce guide se limite à l'interprétation du produit NBR (Normalized Burned Ratio) et de ses produits dérivés développés par le SGRF.

2. Produit NBR

2.1 Introduction aux produits de télédétection

Pour la production de l'indice NBR, le SGRF utilise les données fournies par les satellites Landsat (NASA) et Sentinel-2 (Agence Spatiale Européenne) regroupées dans le produit satellitaire intégré « Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set » conçu par la NASA. Ces capteurs satellitaires mesurent la lumière à des fréquences précises nommées bandes spectrales. La lumière visible aux yeux humains correspond aux bandes spectrales rouges, bleues et vertes telles que captées par un appareil photo ou une caméra standard. De plus, ces capteurs satellitaires offrent l'avantage de mesurer des fréquences infrarouges qui sont invisibles à l'œil humain, ce qui élargit les possibilités d'observer les phénomènes naturels sous des caractéristiques différentes.

Lors du passage d'un satellite au-dessus du Québec, seule une partie du Québec est mesurée. Les ondes mesurées par Landsat et Sentinel-2 sont bloquées par les nuages ou par de fortes pollutions atmosphériques telles que la fumée d'un feu de forêt. Ainsi, pour obtenir un portrait complet de la forêt du Québec pour une saison donnée, il est nécessaire de combiner les acquisitions de plusieurs dates différentes. La période d'acquisition pour les produits du SGRF s'étend du 15 juillet jusqu'au 15 septembre. Il s'agit d'une période qui optimise l'observation des dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Les produits sont livrés dans le système de coordonnées de référence « Québec Lambert » (EPSG : 32198). De plus, pour ne conserver que les observations sur des territoires forestiers, un masque a été appliqué utilisant l'attribut « CO_TER = Null » de la cartographie écoforestière du Québec ainsi qu'un masque pour retirer les routes et chemins forestiers.

2.2 Description du NBR

Le NBR est un indice de végétation issue d'une opération mathématique simple. Il est basé sur les mesures de deux bandes spectrales infrarouges, soit le proche infrarouge (NIR) et l'infrarouge court (SWIR2), qui sont très sensibles à la vigueur et à la présence d'eau dans la végétation, respectivement. Dans un contexte de protection des forêts, le NBR est un indicateur utilisé dans

le but de localiser les incendies de forêts et les épidémies de ravageurs forestiers. Le NBR est présentement utilisé par le SGRF en tant qu'indice satellitaire principal afin de suivre l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE).

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$$

Dans les produits partagés par le SGRF, les valeurs d'indices se situent majoritairement dans un gradient de 0.1 à 0.9. Par exemple (Figure 1), un peuplement forestier dense et vigoureux possède en général des valeurs supérieures à 0.7. Un terrain dénudé, une route ou une coupe forestière totale posséderont des valeurs inférieures à 0.2. Les dommages annuels causés par la TBE font diminuer graduellement le NBR au fil des années. Dans le cas où il y a absence de dommages annuels ou qu'un peuplement précédemment affaibli regagne du feuillage, l'indice NBR sera stable ou augmentera.

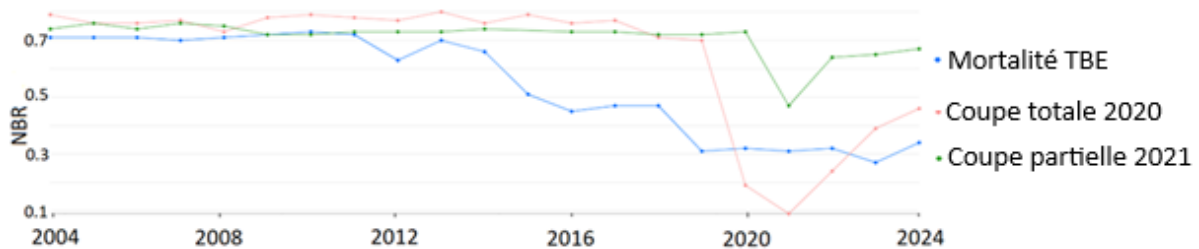


Figure 1 : Séries temporelles de NBR entre 2004 et 2024 avec exemple d'un peuplement subissant de la mortalité causée par la TBE (bleu), une coupe totale en 2020 (orange) et une coupe partielle en 2021 (vert).

2.3 Résolution spatiale

Le produit couvre l'ensemble des forêts du Québec à l'intérieur de la limite des forêts attribuables. Il offre une donnée de NBR médiane pour la saison estivale (15 juillet au 15 septembre) pour chaque surface (pixel) de 30 mètres par 30 mètres par année. Cette valeur représente tous les éléments contenus dans cette surface (sol à découvert, végétation de tous les types confondus, etc.). Ainsi, un pixel contenant strictement des arbres morts devrait atteindre une valeur NBR très faible (par exemple, en-dessous de 0.3), tandis qu'un pixel contenant un mélange de feuillus vigoureux et d'arbres morts peut avoir des NBR plus élevés (par exemple, entre 0.5 et 0.6).

2.4 Comment interpréter l'indice NBR

L'indice NBR est un bon indicateur de la vigueur de la forêt (croissante, dépérissant, affectée ou brûlée). Une valeur NBR variant de 0.8 à 0.4 indique qu'une perturbation anthropique ou naturelle s'est produite (Figure 1). Un déclin annuel de 50% est le signe potentiel d'une perturbation majeure. Ces perturbations sont habituellement une intervention sylvicole (partielle ou totale), un feu de forêt, un chablis, etc. Si cette baisse est graduelle et successive, une perturbation telle que la TBE ou encore un dépérissement.

Pour visualiser les valeurs de NBR dans une carte via un logiciel d'information géographique (SIG) tel que QGIS ou ArcGIS Pro, le code de couleur de la Figure 2 est recommandé. La signification des couleurs est approximative et peut demander à être ajustée selon les caractéristiques des peuplements. Afin d'aider à l'interprétation, il est conseillé de comparer le NBR d'un peuplement écoforestier à sa valeur lors d'une année pré-épidémique où il était considéré en vigueur avant l'arrivée d'une défoliation annuelle. Cette comparaison peut se faire grâce aux fichiers de séries temporelles, également fournies par le SGRF, décrits à la section 2.5. Les informations contenues dans les couches écoforestières de la direction des inventaires forestiers (DIF) et à la carte de défoliation annuelle du SGRF permettent également de mieux comprendre les variations interannuelles de NBR.

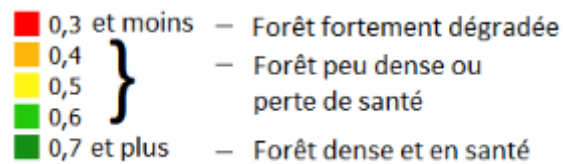


Figure 2 : Code de couleur recommandé par le SGRF pour l'interprétation du NBR dans un logiciel géographique

Dans le contexte de l'épidémie de la TBE, la croissance du NBR entre deux années peut être expliquée par différents phénomènes.

Voici quelques exemples :

1. Diminution de la sévérité de l'épidémie pendant 1 ou plusieurs années :
Les années où il y a absence de défoliation annuelle ou une défoliation légère suivant des années graves, comme en 2018 et 2022 au Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie, peuvent faire croître l'indice NBR.
2. Le couvert arborescent susceptible et vulnérable très affecté.
Si la défoliation de certains arbres devient si forte que d'autres types de végétations en bénéficient, par exemple du sous-bois ou un arbre compétiteur, l'indice NBR peut également croître.
3. Reprise d'une sous-végétation post-épidémique.
La croissance des semis et des gaulis suivant la mortalité de l'étage dominant peut entraîner une baisse de l'indice.
4. L'épidémie se résorbe et la forêt reprend du feuillage et de la vigueur.

Dans ce cas, il est important de surveiller les autres indicateurs avant de déclarer que l'épidémie est terminée dans le secteur (couche de prévision des populations issue de l'étude des L2)

Il est important de noter que **l'indice NBR ne permet pas à lui seul de quantifier le niveau de défoliation ou la présence de mortalité d'un peuplement**. L'interprétation du produit NBR devrait toujours se faire avec une connaissance suffisante du secteur étudié, soit par des inventaires forestiers et par la combinaison d'autres produits (ex. : couche de défoliation cumulative, couche de défoliation annuelle, images satellitaires de couleurs naturelles (RGB)).

2.5 Fichiers séries temporelles

Le SGRF rend accessibles les séries temporelles complètes de NBR, de dNBR (section 3.1) et de dNBR pré-épidémie (section 3.2), couvrant une période de 2004 jusqu'à l'année en cours. Les séries sont dans des fichiers en format « .NC4 » possédant l'indication « SerieTemp » dans son nom. Dans ces produits, chaque couche d'information correspond à une année. QGIS et ArcPro possèdent des fonctionnalités permettant de choisir rapidement l'année affichée sur la carte ainsi que d'efficacement faire le tracé de graphiques des séries temporelles des pixels en observation. Les documents « Guide_produits_DPF_avec_ArcPro » et « Guide_produits_DPF_avec_QGIS » fournis par le SGRF expliquent pas à pas comment utiliser ces fichiers.

3. Produits dérivés et autres

3.1 dNBR

Le « d » signifie différence, soit la différence de valeur NBR entre deux années. Pour ce produit, la valeur NBR de l'année d'observation en cours (ex. : 2024) est soustraite par de la valeur NBR de l'année précédente (ex. : 2023). L'objectif de cette opération est de calculer la diminution de l'indice NBR par rapport au niveau de NBR l'année précédente pour mettre en évidence les changements annuels.

Lors de l'affichage de ce produit dans un SIG, le code de couleur à la Figure 3 est recommandé. La couleur bleue représente un dNBR stable ou en croissance, donc pas de signe de perturbation. De très faibles dNBR entre -0.03 et 0 ne sont pas nécessairement une indication de perturbation et peuvent être reliés à la différence de conditions climatiques entre deux années ou d'autres phénomènes amenant une incertitude dans la donnée. En deçà de -0.03 et avec des dNBR plus fortement négatifs, il devient plus probable de bien mettre en évidence une perturbation de plus ou moins grande intensité.

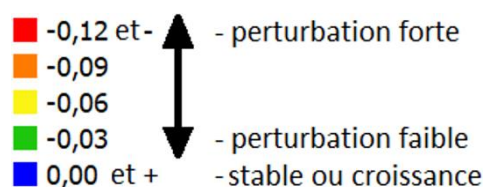


Figure 3 : Code de couleur recommandé par le SGRF pour l'interprétation du dNBR dans un logiciel géographique

3.2 dNBR_pre-epidemie

Ce produit est une différence entre le NBR de l'année en cours par rapport à un NBR de référence qui correspond à la valeur maximale de chaque pixel avant le début de l'épidémie de TBE actuelle. Cette différence est exprimée en pourcentage (%) par rapport à la valeur NBR de référence de chaque pixel. Cette couche est un bon outil indicateur pour évaluer les dommages cumulatifs des perturbations. Pour la TBE, la défoliation se fait graduellement sur plusieurs années. Le pourcentage de déclin évoluera en conséquence en passant graduellement de faible à forte sur

quelques années (Figure 4). En cas d'absence de dommage et de régénération du feuillage, l'indice croîtra et peut atteindre des pourcentages positifs. Dans tous les cas, une valeur de -50% est une perturbation majeure.

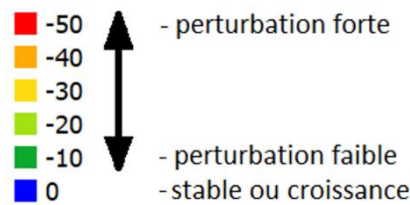


Figure 4 : Code de couleur recommandé par le SGRF pour l'interprétation du dNBR_pre-epidemie dans un logiciel géographique

3.3 Mos_RGB (REG-GREEN-BLUE)

Il s'agit d'une mosaïque du Québec en couleur naturelle dans une résolution de 30m. Les teintes de couleurs rouges, brunes et grises que prennent les peuplements défoliés peuvent aider à évaluer le niveau de dommage. Les mosaïques RGB des années antérieures seront prochainement disponibles. La comparaison entre les années peut améliorer notre interprétation des phénomènes observés. À noter que les SIG offrent des réglages de luminosité, de saturation et de contraste. Il est donc possible de rehausser les teintes de couleurs selon les préférences personnelles et les différences régionales.

3.4 Mos_Infrarouge

Cette mosaïque est une image semblable à la mosaïque RGB, mais elle utilise des fréquences infrarouges au lieu de la lumière bleue et verte. Ces fréquences permettent de mettre en évidence certaines propriétés de la forêt, dont la distinction entre peuplement de résineux, de feuillus et mixtes, l'intensité de défoliation, coupe forestière, etc. Le code de couleurs peut sembler peu intuitif initialement, mais quelques validations sur le terrain aident à démontrer son efficacité à discerner différents phénomènes. Les principales couleurs sont présentées à la Figure 5:

- Jaune = feuillu en santé
- Brun = conifère en santé
- Entre jaune, orange et brun = forêt mixte en santé
- Vert = début de défoliation dans le conifère
- Turquoise foncé = Défoliation sévère
- Turquoise clair = Terrain dénudé / coupe forestière

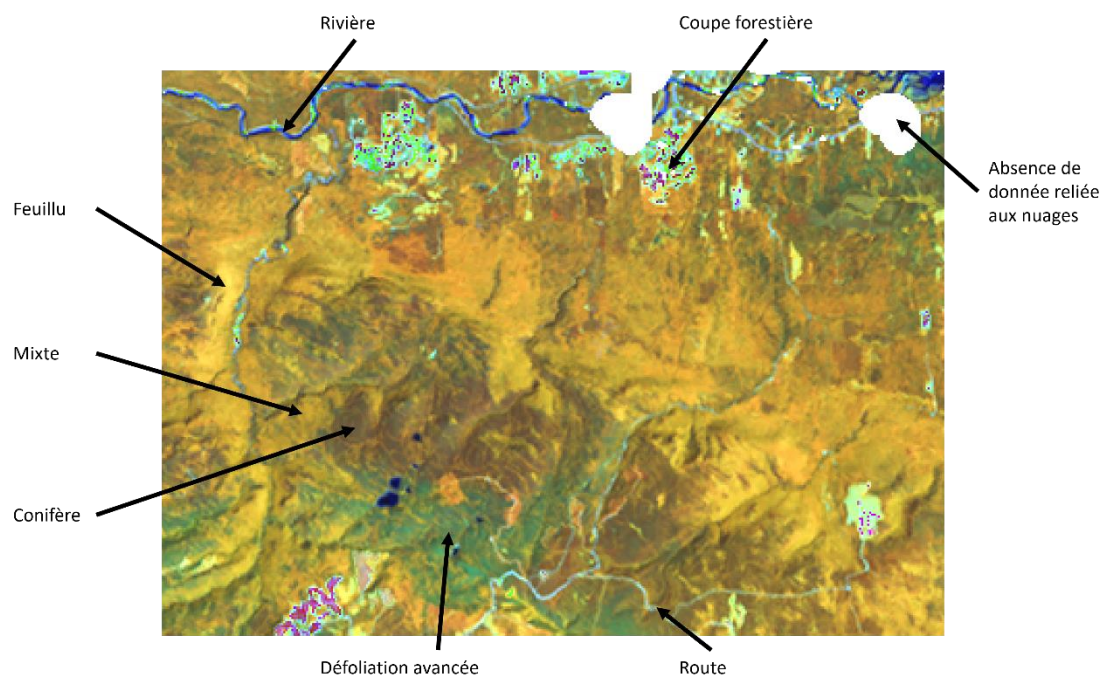


Figure 5 : Exemple d'image infrarouge avec annotations des éléments observés