



Direction des inventaires forestiers

**GUIDE D'INTERPRÉTATION
DES MOSAÏQUES D'IMAGES SATELLITE LANDSAT**



Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Secteur des forêts
Mars 2015

Québec

RÉDACTION

Antoine Lebœuf, ing. f., *Ph.D*
Marie-Pierre Samson, t.a.a.g.
Audrey Paquet

COLLABORATION À LA COORDINATION

Isabelle Pomerleau, ing. f.

RÉVISION LINGUISTIQUE

Hélène D'Avignon, ing. f., rédactrice professionnelle

SECRÉTARIAT

Johanne Morin, agente de secrétariat

Pour obtenir des renseignements additionnels ou un exemplaire de ce document, veuillez communiquer avec le MFFP du Québec :

Direction des inventaires forestiers

5700, 4^e Avenue Ouest, local A-108
Québec (Québec) G1H 6R1
Téléphone : 418 627-8669
Sans frais : 1 877 936-7387

inventaires.forestiers@mffp.gouv.qc.ca
www.mffp.gouv.qc.ca/fr/forets/inventaire

Service à la clientèle

Téléphone : 418 627-8600
Sans frais : 1 866 CITOYEN (248-6936)
Télécopieur : 418 643-0720
service.citoyens@mffp.gouv.qc.ca

© Gouvernement du Québec

Dépôt légal –Bibliothèque et archives nationales du Québec 2013
ISBN pdf : 978-2-550-68461-9

Table des matières

Introduction.....	1
Principes généraux	2
Méthode de conception de la mosaïque Landsat	3
Repères généraux d'interprétation	5
Les teintes associées aux zones forestières	5
Les teintes associées aux coupes forestières	10
Les teintes associées aux épidémies d'insectes	11
Les teintes associées aux feux de forêt	11
Les teintes associées aux zones agricoles	13
Les teintes associées aux zones urbaines	13
Les teintes associées aux tourbières.....	15
Les teintes associées au réseau hydrographique	16
Les teintes associées aux affleurements rocheux.....	16

Liste des figures

Figure 1. Mosaïque Landsat 2012 produite par la Direction des inventaires forestiers du MFFP .	1
Figure 2. Exemple de teintes associées aux forêts de feuillues	5
Figure 3. Exemple de teintes associées aux forêts de conifères au stade de régénération.....	6
Figure 4. Exemple de teintes associées aux forêts résineuses à fond de mousses ou de lichens	7
Figure 5. Exemple de teintes associées aux pinèdes grises	7
Figure 6. Exemple de teintes associées aux forêts surannées	8
Figure 7. Exemples de teintes associées aux secteurs affectés par des chablis	8
Figure 8. Exemple de teintes associées aux landes à lichens.....	9
Figure 9. Exemples de teintes associées aux coupes forestières.....	10
Figure 10. Exemples de teintes associées aux épidémies d'insectes	11
Figure 11. Exemples de teintes associées aux feux de forêt	12
Figure 12. Exemple de teintes associées aux zones agricoles	13
Figure 13. Exemple de teintes associées aux zones urbaines	14
Figure 14. Exemples de teintes associées aux tourbières	15
Figure 15. Exemple de teintes associées aux affleurements rocheux	16

Introduction

La Direction des inventaires forestiers conçoit et diffuse annuellement des mosaïques d'images satellites du capteur Landsat. À titre d'exemple, la mosaïque Landsat 2012 du Québec a été conçue à partir de la combinaison de plusieurs tuiles d'images satellites Landsat adjacentes, acquises majoritairement durant l'été 2012. Le territoire couvert par la mosaïque comprend l'ensemble des terres québécoises au sud du 53^e parallèle. Ces images permettent d'avoir une vue d'ensemble de la végétation, de l'occupation du sol et des différentes perturbations naturelles qui ont eu lieu sur le territoire en question (épidémie d'insectes, feux de forêt, chablis). La mosaïque permet d'appuyer les fonctions de planification, de suivi et d'aménagement en lien avec ces différentes applications.



Figure 1. Mosaïque Landsat 2012 produite par la Direction des inventaires forestiers du MFFP

Sur la mosaïque 2012, on peut voir un effet de lignage sur certaines parties couvertes. Ce lignage est dû à la panne d'un miroir du satellite Landsat-7 en 2003. Suite à cette panne, seulement la partie centrale soit environ 30 kilomètres des tuiles Landsat-7 est exempte de cet effet de lignage. Afin de corriger ce problème et de limiter la perte d'information, on a superposé des images de différentes dates à l'image originale de Landsat-7. À certains endroits, on peut observer des différences subtiles d'homogénéité dans la mosaïque Landsat produite.

Le présent document décrit la méthode utilisée pour la création de mosaïque ainsi que les clés d'interprétation pour l'utilisation optimale de la mosaïque Landsat du Québec.

Principes généraux

Les satellites d'observation de la Terre offrent une vision incomparable de la surface terrestre. Équipés de capteurs multispectraux, ils saisissent des images de plus en plus précises et de plus en plus riches en information géographique. La série LANDSAT fait partie d'un groupe de satellites de résolution moyenne, adaptés à l'observation des ressources et de l'environnement.

Chaque bande spectrale des images LANDSAT apparaît en tons de gris; elle correspond à une portion du spectre électromagnétique. Pour produire une image de composé coloré (image de couleur naturelle), il suffit de superposer trois bandes spectrales avec des filtres de couleurs rouge, verte et bleue. Pour obtenir un composé coloré contrasté et riche en information, il faut également accentuer chaque bande spectrale en étalant les valeurs sur toute la gamme possible de tons de gris, soit sur 256 tons.

Les images Landsat-5 et Landsat-7 utilisées pour la création d'une mosaïque sont produites à partir des bandes et des filtres suivants :

- Bande 5 : moyen infrarouge appliqué au filtre rouge
- Bande 4 : proche infrarouge appliqué au filtre vert
- Bande 3 : rouge appliqué au filtre bleu

Tandis que les images Landsat-8 sont produites à partir des bandes et des filtres suivants:

- Bande 6 : infrarouge à ondes courtes appliqué au filtre rouge
- Bande 5 : proche infrarouge appliqué au filtre vert
- Bande 4 : rouge appliqué au filtre bleu

Les bandes spectrales du visible et du proche infrarouge sont très utilisées en télédétection, car elles apportent chacune des renseignements différents et complémentaires :

- Bande 5 (infrarouge moyen, 1,55 μm à 1,75 μm) des images Landsat-5 et Landsat-7 / Bande 6 (infrarouge à ondes courtes 1,57 μm à 1,65 μm) des images Landsat-8 – Sensible à l'humidité des sols et de la végétation, détecte la chlorophylle; bande très contrastée, peu sensible aux effets atmosphériques;
- Bande 4 (proche infrarouge, 0,76 μm à 0,90 μm) pour Landsat-5 et Landsat-7 / Bande 5 (proche infrarouge, 0,85 μm à 0,88 μm) – Sensible à la structure des couverts végétaux, distingue bien les résineux des feuillus, les milieux ravagés par le feu et même le trèfle du maïs;
- Bande 3 (rouge, 0,63 μm à 0,69 μm) pour Landsat-5 et Landsat-7 / Bande 4 (rouge, 0,64 μm à 0,67 μm) pour Landsat-8 – Portion de la lumière utilisée pour la détection de l'activité chlorophyllienne des végétaux; apporte de nettes distinctions entre les zones de végétation et celles qui en sont dépourvues. Une certaine pénétration dans l'eau permet de voir des nuances attribuables à des particules en suspension ou à des zones peu profondes.

Le composé coloré contrasté de la mosaïque du Québec permet de distinguer tous les types d'occupation du territoire : la forêt, les champs, les tourbières et les éléments anthropiques.

Les couleurs d'une image correspondent à la réflexion de la lumière par les objets à la surface du sol. Il y a peu ou pas de pénétration des ondes du visible et de l'infrarouge dans le sol. Par contre, les plus courtes longueurs d'onde, celles des bandes du visible, ont une certaine pénétration dans l'eau.

Chaque pixel d'une image a une couleur uniforme, mais peut représenter plusieurs éléments à la surface du sol. La couleur d'un pixel est donc la résultante ou la moyenne des réflectivités des objets présents à la surface correspondant à la résolution au sol de l'image utilisée. Par exemple, si le pixel de forêts résineuses comprend quelques arbres morts, la couleur du pixel sera affectée par ces arbres et donnera au pixel une teinte vert rougeâtre.

Méthode de conception de la mosaïque Landsat

Les étapes menant à l'obtention d'une mosaïque Landsat homogène sont : (i) le téléchargement des images satellites; (ii) la fusion des images (Landsat-8) (iii) le rehaussement des images individuelles, (iv) le découpage des zones utilisables, (v) la création de la mosaïque et (vi) la création de l'index des images utilisées.

Les images satellites sont téléchargées en format brut à partir du site Internet de l'USGS (U.S Geological Survey). Les images sont produites à partir des bandes spectrales du visible et de l'infrarouge des satellites Landsat-5, Landsat-7 (bandes 5-4-3) ou, depuis 2013, du Landsat-8 (bandes 6-5-4) qui ont une résolution de 30 mètres. La période d'acquisition d'images est favorisée lors du maximum de la végétation (fin mai/fin août). L'adresse Internet pour le téléchargement est la suivante : <http://glovis.usgs.gov/>.

Après le téléchargement, on effectue, dans le cas des images Landsat-8, un traitement de type *pansharpen* (mosaïque 2014 et suivante) afin d'augmenter leur résolution spatiale à 15 mètres. Il s'agit d'utiliser la bande 8, une bande panchromatique de 15 mètres de résolution captée au moment de l'acquisition et qui couvre un plus large spectre (longueurs d'ondes) pour y arriver. Ce traitement n'a pas été effectué dans le cas des images Landsat-5 en raison de la non disponibilité de la bande panchromatique et en raison de la défectuosité du capteur depuis 2003 dans le cas des images Landsat-7. Dans le cas de la mosaïque 2013, le traitement effectué était l'*IHS*. Cette étape de fusion d'images n'est pas appliquée aux mosaïques antérieures à 2013. Ensuite, on doit effectuer des rehaussements sur les images afin d'uniformiser les teintes des trois bandes spectrales entre les images de la mosaïque Landsat à créer. Le rehaussement permet aussi d'augmenter de beaucoup le contraste de couleur dans l'image, ce qui permet d'en faciliter le traitement et l'interprétation. Cette étape consiste à utiliser l'ensemble des valeurs possibles niveaux de gris (soit de 0 à 255 pour une image de 8 bits); elle est effectuée à partir des histogrammes de distribution des pixels de l'image selon les valeurs de niveaux de gris pour chaque bande. Une image ayant des pixels répartis sur une gamme de 100 niveaux de gris sera

beaucoup moins contrastée qu'une image ayant des pixels sur une gamme de 255 niveaux de gris, ce qui ne permettra pas de différencier de façon optimale les éléments sur l'image.

Lorsque toutes les images sont rehaussées, les zones non utilisables à l'intérieur de celles-ci sont éliminées du processus de mosaïque par numérisation manuelle. Ces zones sont généralement constituées de nuages, d'ombres de nuage ou de voiles atmosphériques.

L'agencement et la superposition de toutes les parties d'images utilisables permettent de générer la mosaïque. Le logiciel généralement utilisé est PCI Geomatica, bien que les logiciels Imagine et ArcGIS permettent aussi de produire des mosaïques.

Enfin, on met en commun chaque découpage de tuile afin de produire un fichier de forme d'index d'images utilisées dans la mosaïque. Ce fichier (ex. index_landsat_qc_2012_lcc_MRN.shp) comprend les informations sous forme vectorielle des différentes tuiles qui composent la mosaïque Landsat. Des informations sur le type de capteur utilisé (Landsat5/Landsat7/Landsat 8), le numéro de centre de l'image (orbite/rangée) et la date d'acquisition de l'image sont présentes dans le fichier en question.

Repères généraux d'interprétation

Une image satellite s'interprète comme une photo aérienne, c'est-à-dire à partir de ses teintes, mais aussi en tenant compte des formes, des textures et du contexte. Une bonne connaissance du milieu et du thème à exploiter permet aussi de mieux interpréter l'image.

Dans un composé coloré tel que celui choisi pour les mosaïques, les teintes et les couleurs sont toujours à peu près les mêmes. Leurs dominances varient toutefois en fonction des dates d'acquisition des images (printemps, été, automne), des grands milieux (forêt boréale, zone agricole, toundra, etc.) et des conditions atmosphériques lors du captage.

Les teintes associées aux zones forestières

Les zones où il y a présence de végétation seront caractérisées par une forte réflectance du proche infrarouge. Le proche infrarouge montre une sensibilité à la structure des végétaux ce qui permet de bien distinguer les feuillus des conifères. Une autre caractéristique de ces zones réside dans la faible réflectance du rouge; cette partie du visible marque la présence de chlorophylle dans les différentes plantes.

-Les forêts de feuillus :

- ✓ Les forêts de feuillus mûrs seront caractérisées par un vert jaune.
- ✓ Selon la densité de feuillus, la teinte de vert jaune sera plus ou moins prononcée. Par exemple, lors de la régénération de feuillus on pourra observer un jaune plus clair.



Figure 2. Exemple de teintes associées aux forêts de feuillues

-Les forêts de conifères :

- ✓ Les forêts de conifères mûrs seront caractérisées par un vert foncé. Les jeunes forêts auront un vert clair. Les jeunes sapinières pourront même avoir une teinte similaire aux peuplements de feuillus.
- ✓ Selon la densité de conifères, la teinte de vert sera plus ou moins prononcée. Par exemple, lors de la régénération de conifères, on pourra observer un vert plus clair.



Figure 3. Exemple de teintes associées aux forêts de conifères au stade de régénération

-Les résineux à fond de mousses ou de lichens :

- ✓ RmC pour les résineux denses (41 à 60%) à fond de mousses
- ✓ RmL pour les résineux épars (10 à 25%) à fond de mousses
- ✓ RcD pour les résineux denses (26 à 40%) à fond de lichens
- ✓ RcL pour les résineux épars (10 à 25%) à fond de lichens



Figure 4. Exemple de teintes associées aux forêts résineuses à fond de mousses ou de lichens

-Les pinèdes grises (peuplement de pins gris)

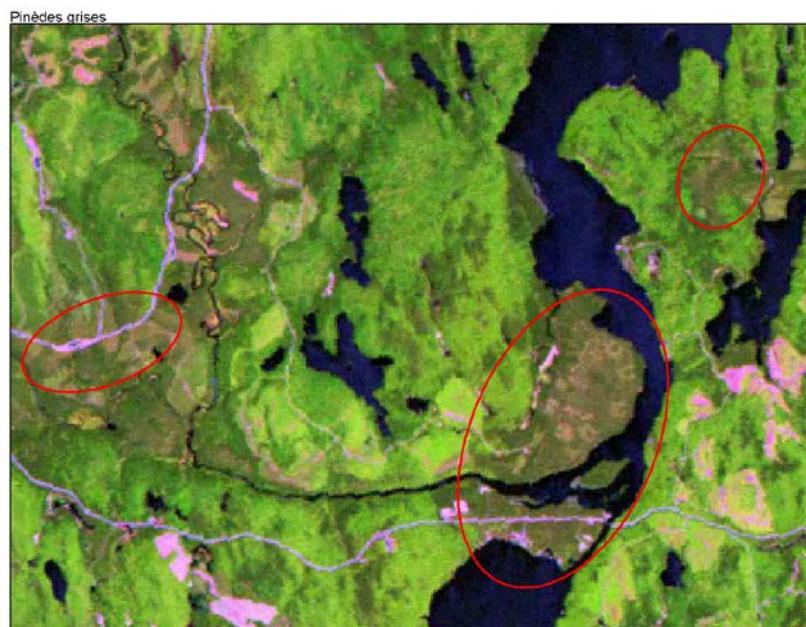


Figure 5. Exemple de teintes associées aux pinèdes grises

- Les forêts surannées :

- ✓ Les forêts surannées sont définies comme étant des peuplements qui ont atteint l'âge de maturité. Ces forêts vont avoir un taux de croissance à la baisse et les arbres présents sont sénescents.¹
- ✓ Dans le cas présent, il s'agit de peuplements âgés d'environ 90 ans (année d'origine 1923).

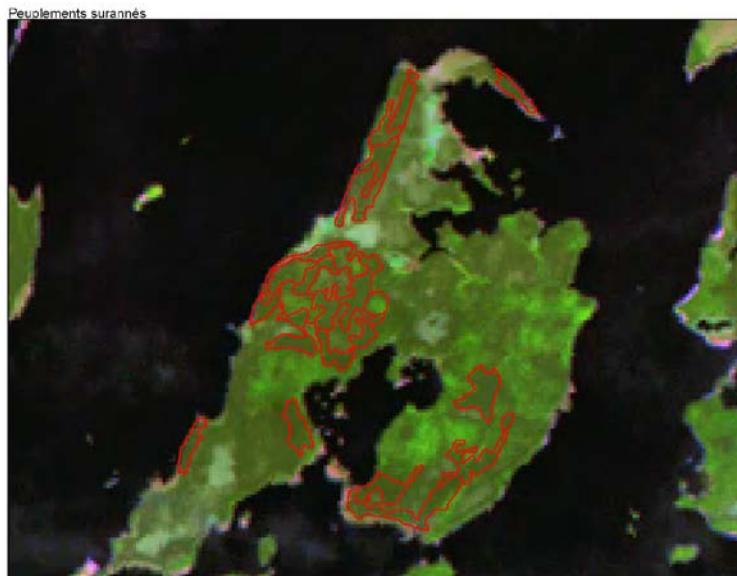


Figure 6. Exemple de teintes associées aux forêts surannées

-Les chablis :

- ✓ Les chablis sont des zones où il y a eu déracinement des arbres par l'action du vent. La végétation sur les lieux est morte; ces zones auront une teinte rosée sur l'image.

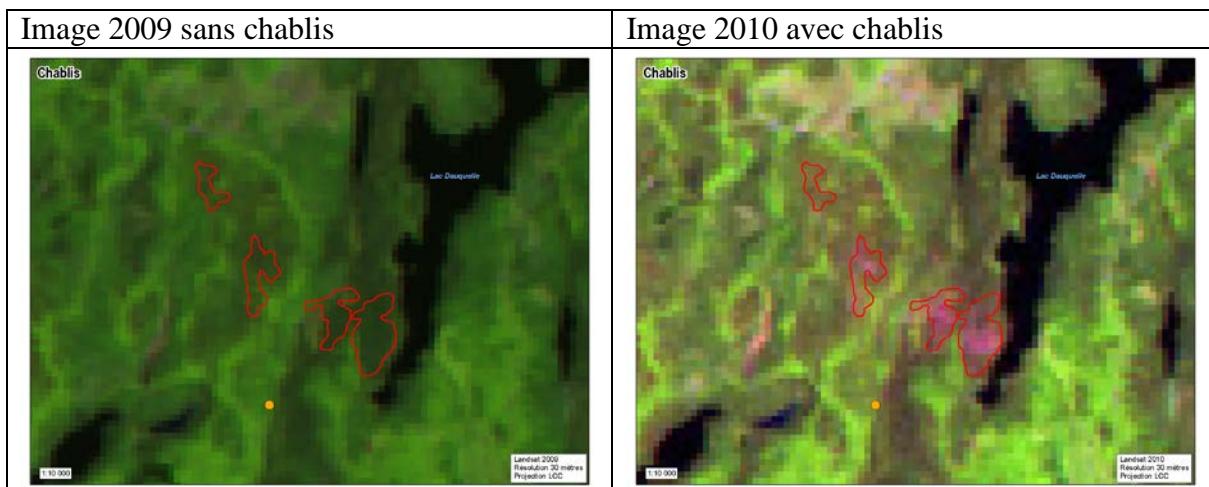


Figure 7. Exemples de teintes associées aux secteurs affectés par des chablis

¹ Base de données nationale sur les forêts, *Site officiel* [en ligne], Glossaire, dernière mise à jour en 2011, http://nfdp.ccfm.org/glossary_f.php, consulté le 12 février 2013.

-Le lichen :

- ✓ Le lichen est une symbiose entre champignon et algue, il contient très peu de chlorophylle et apparaît dans les teintes de bleu ou de mauve ou est parfois presque blanc. Le lichen aura une forte réflexion de la bande rouge (appliquée au filtre bleu) attribuable à la faible présence de chlorophylle.
- ✓ Les landes à lichens soulignées dans le cas présent sont des zones ouvertes avec une couverture de lichens supérieure à 30 %.



Figure 8. Exemple de teintes associées aux landes à lichens

Les teintes associées aux coupes forestières

Les différents sites de coupes forestières sont facilement reconnaissables à leur forme particulière en damier ou en bandes et à la présence adjacente de chemins forestiers.

- ✓ Dans les zones de coupe forestière récente, le rose très clair correspond aux coupes et aux chemins forestiers. Cette teinte s'expliquera par la présence d'un sol nu, celui-ci aura une plus faible réflexion du proche infrarouge et une plus forte réflexion du rouge et du moyen infrarouge – ce dernier étant sensible à l'humidité du sol.
- ✓ Dans les zones de coupe forestière plus âgées, on pourra observer des teintes plus vertes en raison de la présence de végétation qui va entamer le processus de régénération sur le site; il y aura un plus fort taux de chlorophylle qui viendra absorber les longueurs d'onde du rouge en plus forte proportion et la structure de la végétation présente viendra augmenter la réflexion dans le proche infrarouge.

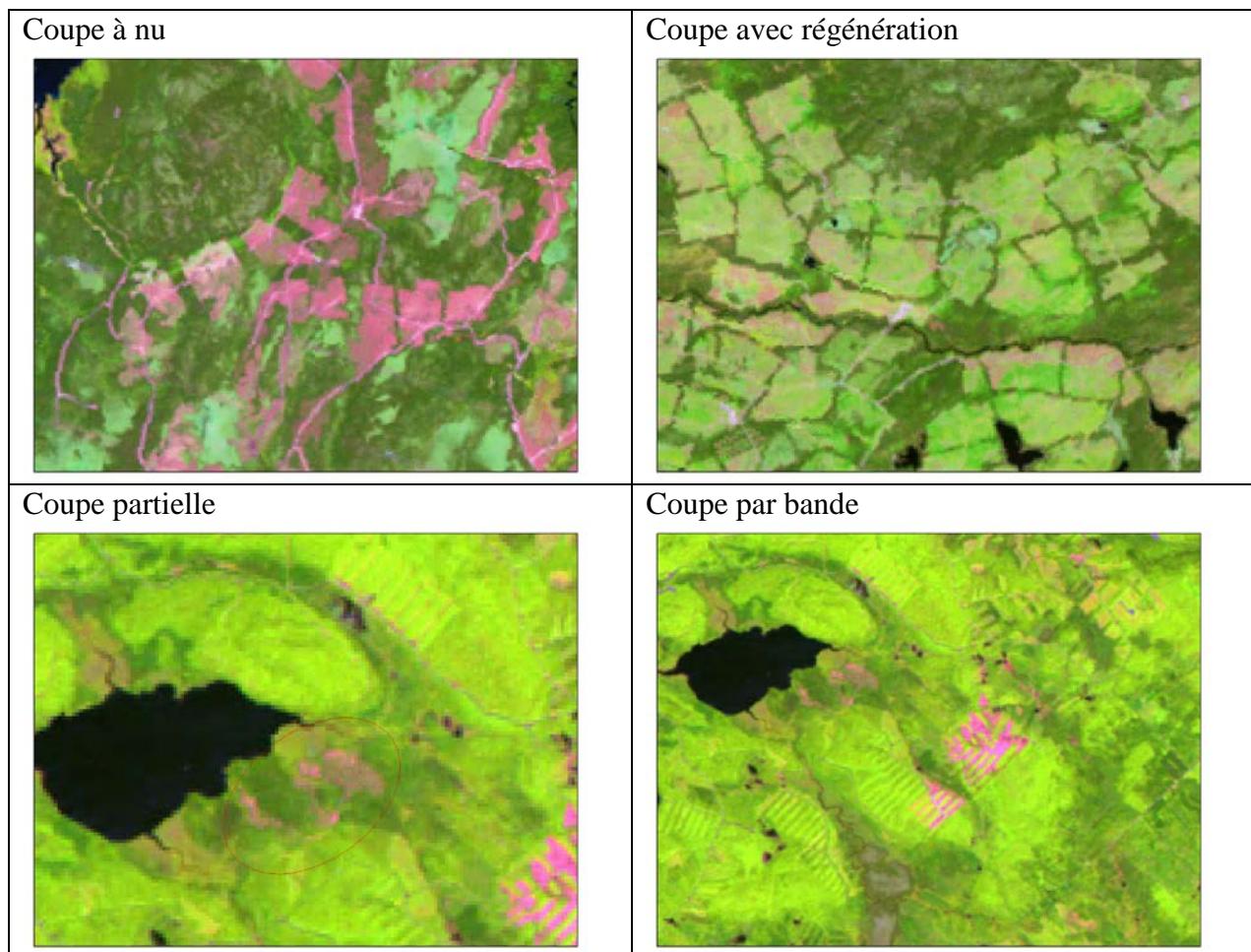


Figure 9. Exemples de teintes associées aux coupes forestières

Les teintes associées aux épidémies d'insectes

- ✓ La tordeuse des bourgeons de l'épinette

On pourra observer sur les sites affectés de la défoliation graduelle dans les résineux (de haut en bas). Cette défoliation est causée par la tordeuse qui se nourrit de la nouvelle pousse de l'arbre. La mort de l'arbre ne surviendra pas avant plusieurs années.² Selon la proportion d'arbres morts qu'aura causée la tordeuse, les scènes représentées par les épidémies auront une teinte rougeâtre s'il s'agit d'une grande proportion et une teinte brunâtre si la proportion d'arbres morts est moins grande.

- ✓ L'arpenteuse de la pruche

On pourra observer la rapidité de la défoliation sur l'ensemble de l'arbre : l'arpenteuse se nourrit du feuillage des années antérieures et la défoliation s'étend sur une courte période de temps soit environ 3 ans. Les zones forestières affectées par l'arpenteuse seront d'une teinte rougeâtre, qui sera plus facilement distinguable des autres éléments sur le territoire par sa répartition disparate.

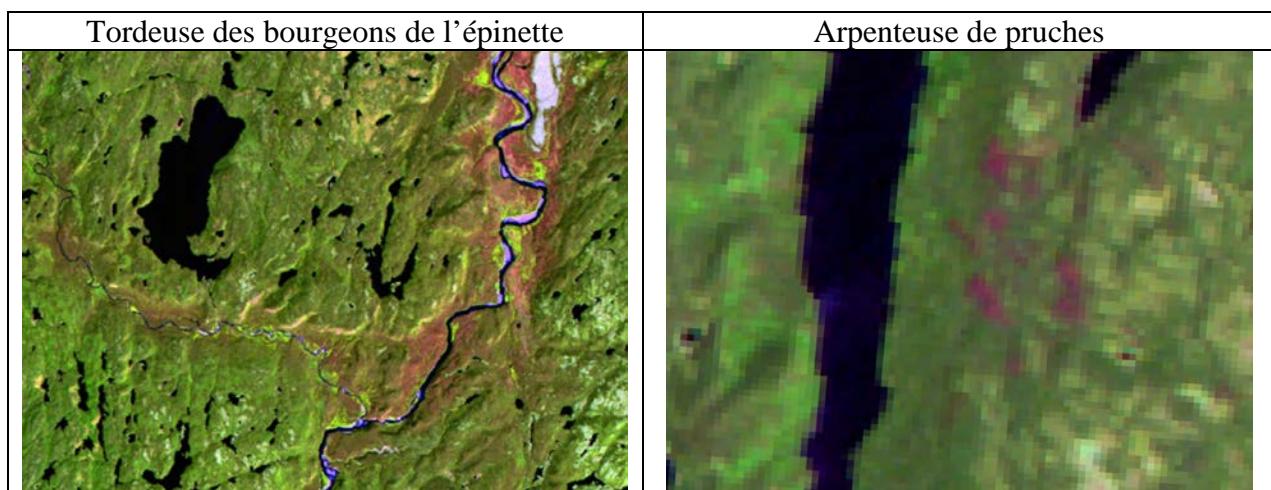


Figure 10. Exemples de teintes associées aux épidémies d'insectes

Les teintes associées aux feux de forêt

Les différentes zones affectées par les feux de forêt présentent une forme irrégulière et allongée. Les vents dominants soufflant lors des feux créent la forme allongée appelée flèche de feu sur les différents sites.

- ✓ Les feux de forêt récents seront caractérisés par une couleur bourgogne foncée, attribuable à l'absence de végétation. Il sera possible de caractériser les diverses teintes de la zone touchée selon les différentes affectations du feu sur la végétation :

² Ressources naturelles Canada, *Site officiel* [en ligne], Tordeuse des bourgeons de l'épinette, dernière mise à jour en 2012, <http://scf.rncan.gc.ca/pages/50>, consulté le 12 février 2013.

- Carbonisé : lorsque tout à été brûlé par le feu et qu'il ne reste plus rien. **Bourgogne foncé**;
 - Roussi : lorsque les aiguilles des arbres ont été brûlées par le feu. **Bourgogne clair**;
 - Affecté : lorsque le bas de la végétation a été affecté par le feu et que le haut est toujours en vie; cette végétation mourra à court terme. Des vérifications terrains ou aériennes seront effectuées afin de confirmer la présence de feu sous couvert. **Mélange entre le vert et le bourgogne**;
 - Vert : lorsque la végétation n'a pas été affectée. **Vert**.
- ✓ La régénération des feux de forêt évoluera vers le vert clair au cours des années, mais conservera la forme de la flèche de feu. Il sera alors possible de caractériser la régénération des différents feux au cours du temps.

Régénération d'un feu survenu en 2009 à partir des différentes mosaïques Landsat produites chaque année.

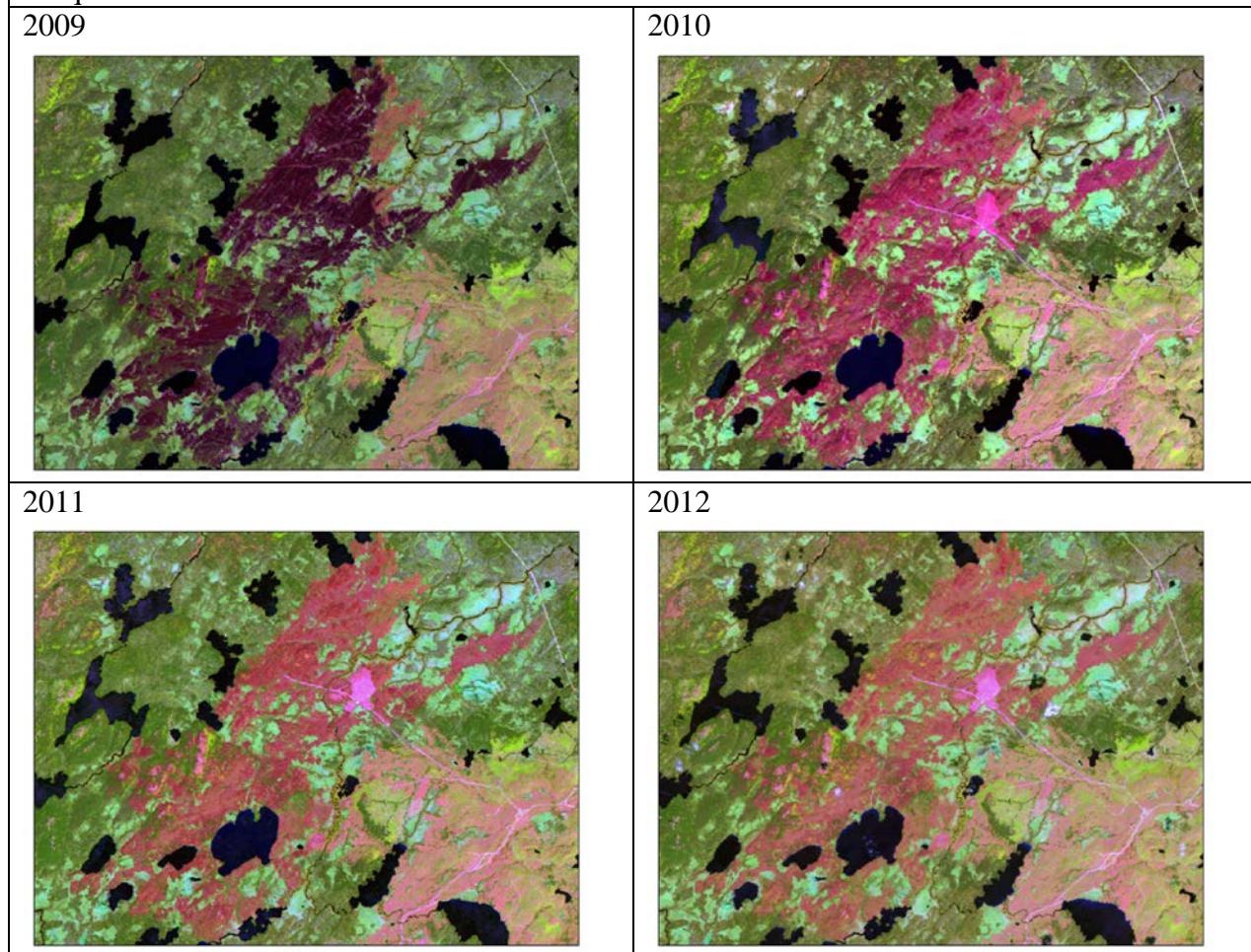


Figure 11. Exemples de teintes associées aux feux de forêt

Les teintes associées aux zones agricoles

Les zones agricoles seront facilement reconnaissables des autres éléments par leur forme rectangulaire et leur situation géographique.

- ✓ Les zones agricoles ayant des cultures plus denses sont représentées par la teinte de vert.
- ✓ Les champs ayant des cultures mûres auront une teinte violette; ces cultures n'auront plus de chlorophylle, ce qui entraînera une forte réflexion de la longueur d'onde du rouge par rapport à une culture en croissance.
- ✓ Les zones agricoles à nu auront une teinte rose clair (réflexion : forte du rouge et faible du proche infrarouge).
- ✓ Lorsqu'il y a présence d'une teinte orangée en milieu agricole, cela indique la présence de plantes fourragères, d'un pâturage ou d'un début de friche.
- ✓ Lorsque les plantes fourragères sont coupées, les champs prendront la teinte de jaune.



Figure 12. Exemple de teintes associées aux zones agricoles

Les teintes associées aux zones urbaines

Les différentes teintes des infrastructures urbaines seront expliquées par la forte réflectance de la bande 3 (partie du spectre du visible utilisée par la chlorophylle, alors en zone urbaine forte réflexion du rouge), la faible réflectance de la bande 4 (sensibilité aux végétaux) ainsi que la faible réflectance de la bande 5 (sensibilité à l'humidité des sols).

- ✓ Les différentes infrastructures urbaines telles que les routes, les pistes d'atterrissement, les zones urbaines apparaîtront en bleu ou en violet. Elles auront une plus forte réflectance dans le rouge vu le composé minéral des infrastructures.
- ✓ Certaines infrastructures urbaines comme les réservoirs de pétrole apparaissent en blanc.

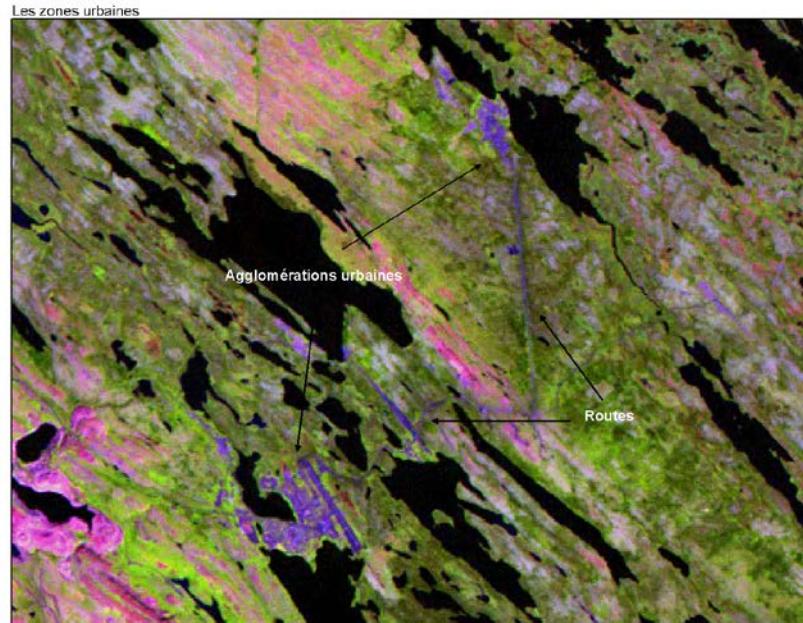


Figure 13. Exemple de teintes associées aux zones urbaines

Les teintes associées aux tourbières

- ✓ La réflectance des tourbières peut varier considérablement en fonction des types de tourbières aux caractéristiques différentes, entre autres l'humidité du sol ou la présence d'eau de surface (sensibilité de la bande 5), les différents végétaux présents; sphaignes, carex, arbustes, etc. (sensibilité de la bande 4) et le taux de chlorophylle (sensibilité de la bande 3).³ Cependant, de par leur mode de formation, elles présentent une forme soit concentrique, soit en lanières, soit encore qu'elles comportent des mares, structurées ou non.

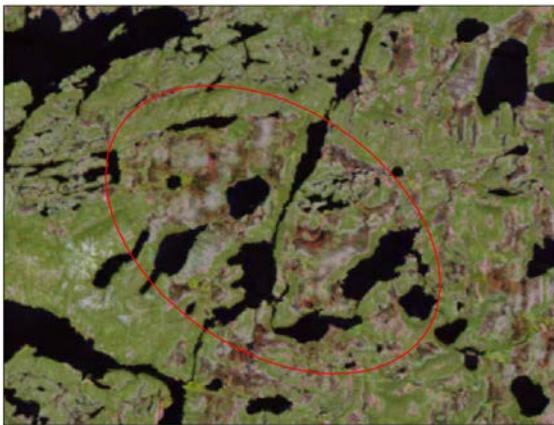
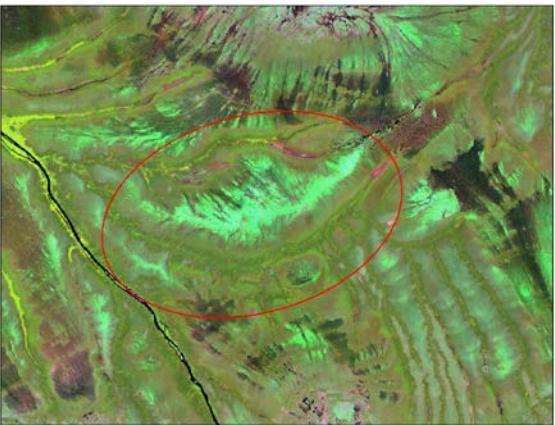
Tourbière minérothrophe structurée (TMS)	Tourbière mixte pennée (TMP)
	

Figure 14. Exemples de teintes associées aux tourbières

³ F. BONN. *Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone*, Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval, 1994, p. 108.

Les teintes associées au réseau hydrographique

- ✓ Le noir correspond à l'absorption des 3 bandes utilisées sans aucune réflexion. Les lacs et les rivières sont les seuls éléments qui apparaissent en noir sur la mosaïque, car ils absorbent toutes les longueurs d'onde des bandes utilisées. Lorsqu'un lac ou une rivière sont peu profonds ou contiennent beaucoup de matières en suspension, la présence des sédiments et de la matière en suspension crée plus de réflexion de la longueur d'onde du rouge. Ces derniers plans d'eau présentent donc une couleur bleutée.
- ✓ Le long des rivières et en bordure des lacs, les plages de sable apparaissent en rose.

Les teintes associées aux affleurements rocheux

- ✓ Les affleurements rocheux sont les endroits où le substrat rocheux est visible. Les affleurements rocheux et les champs de blocs apparaissent dans les teintes de mauve qui tirent parfois vers le rose. Lorsque le quartzite affleure, il prend la teinte de blanc sur l'image. Dans le cas des régions nordiques, les affleurements peuvent prendre des teintes rougeâtres, qui viennent de l'assemblage avec les mousses, les herbes et les arbustes. La composition des roches est le facteur qui vient influencer la couleur des affleurements sur les images.

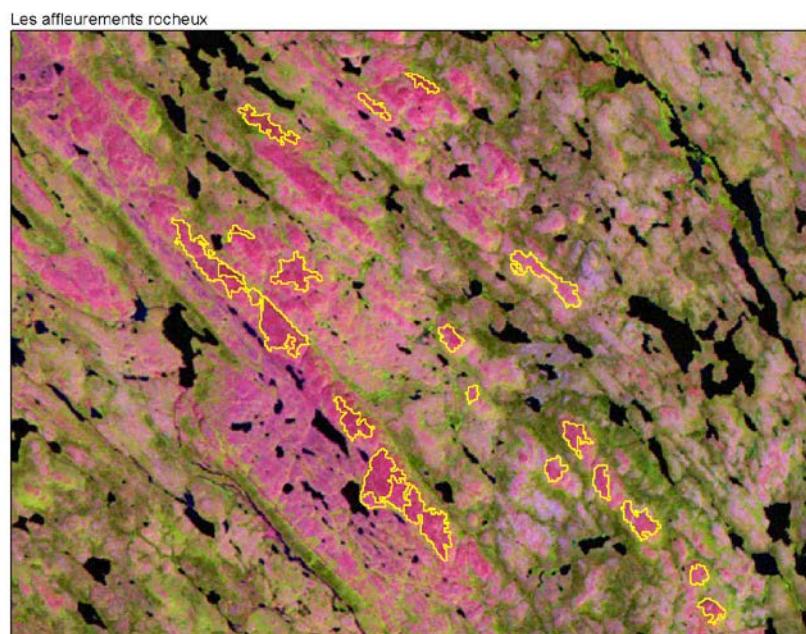


Figure 15. Exemple de teintes associées aux affleurements rocheux