



Potentiel et enjeux à propos de la création de puits de carbone en forêt boréale

Jean-François Boucher, biol., Ph.D.

En collaboration avec
Claude Villeneuve, Simon Gaboury, Nicole Huybens,
Réjean Gagnon et Daniel Lord

Les Midis de la Foresterie
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

2 février 2010



Menu

1. Contexte climatique

2. Réduction et atténuation des GES

- Secteur forestier en général
- Boisement de terrains dénudés boréaux

3. Travaux de recherche

4. Carbone boréal

- Fonctionnement et particularités

Il fait chaud comme jamais

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal

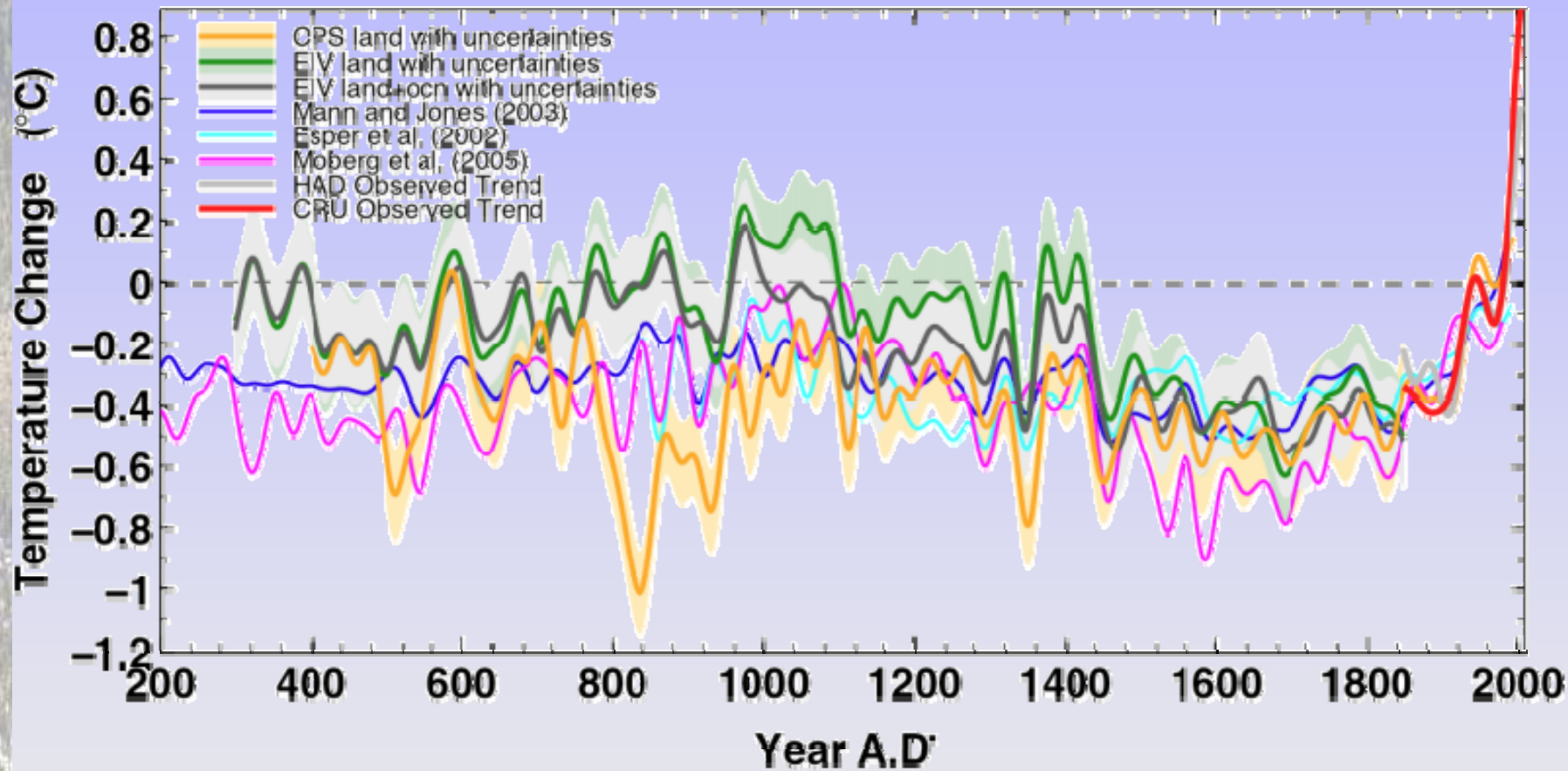


Figure 19: Reconstruction des changements de température (par rapport à 1850–1995) dans l'hémisphère nord depuis 200 AD

... et il fera de plus en plus chaud

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal

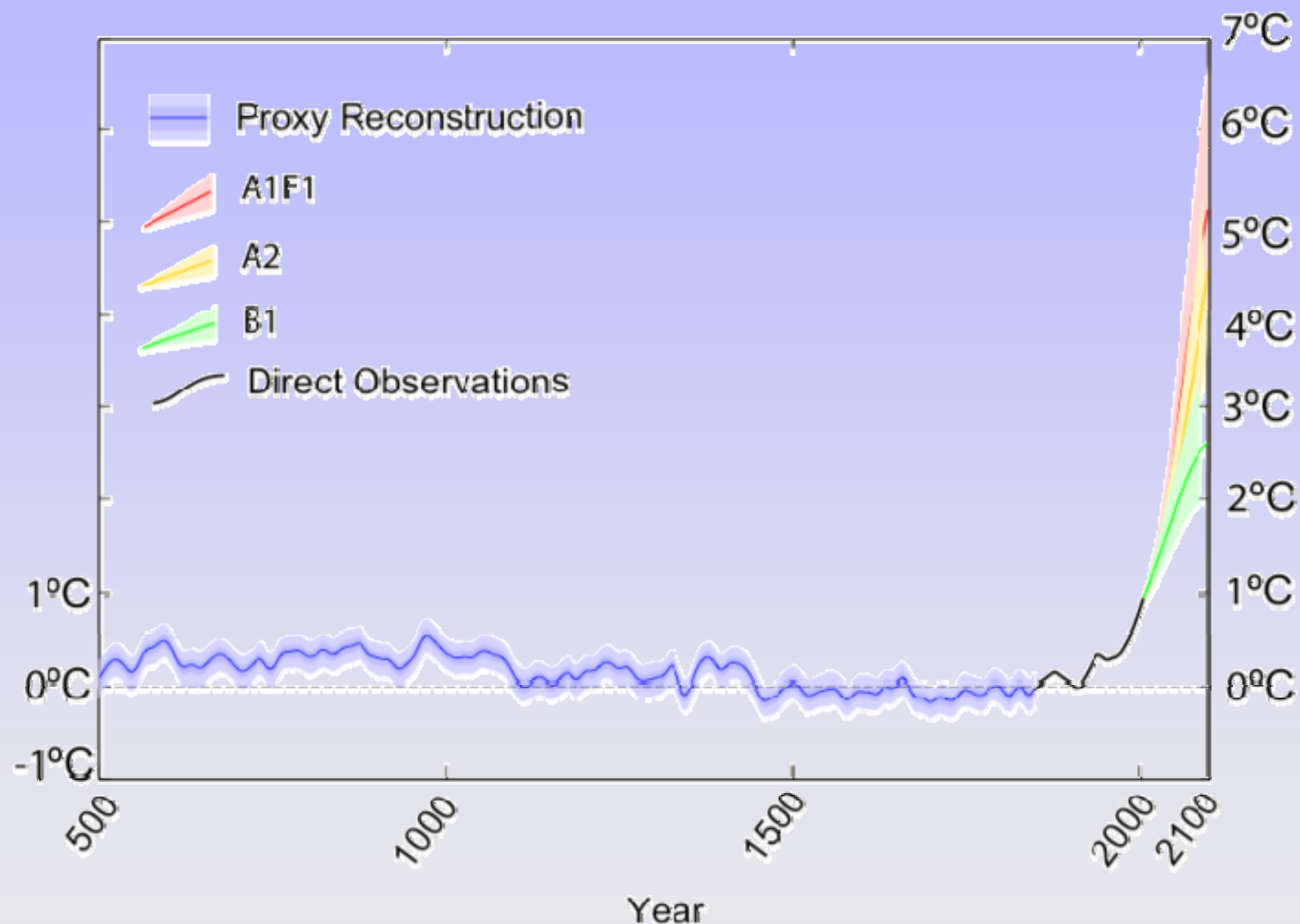


Figure 21: Réchauffement global reconstruit, observé et projeté en fonction de la moyenne 1800-1900

... et ça va faire mal!

**Montée du niveau
des océans**



Inondations



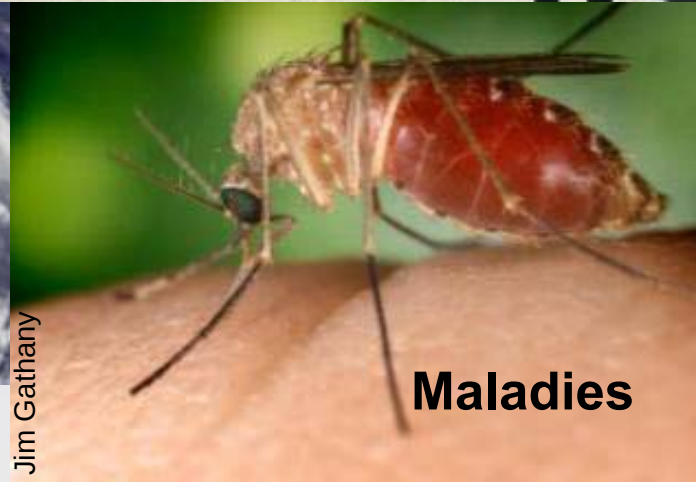
**Perturbations
écologiques**



**Dommages
par le vent**



Maladies



**Dommages
structuraux**



Le temps presse d'agir

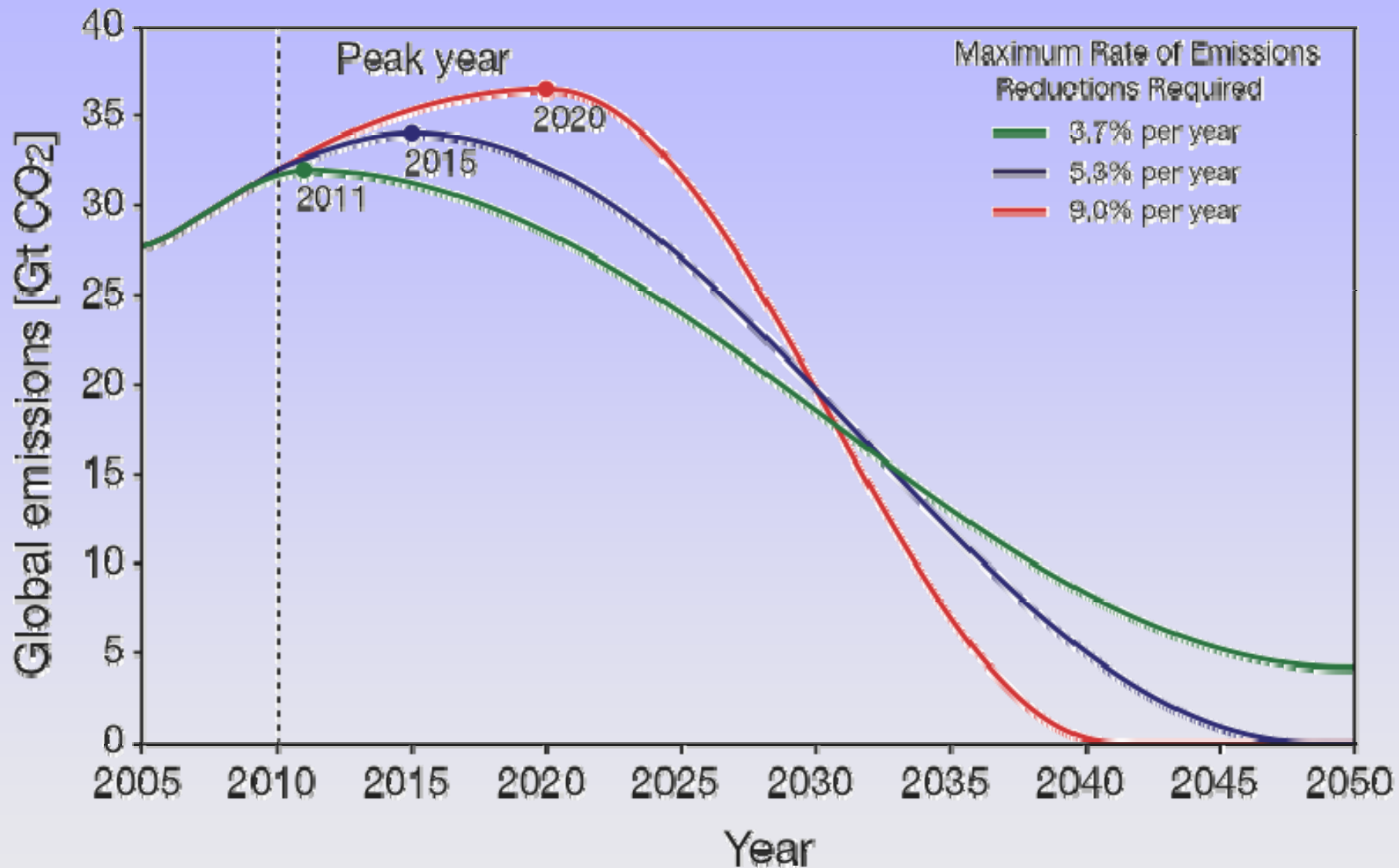
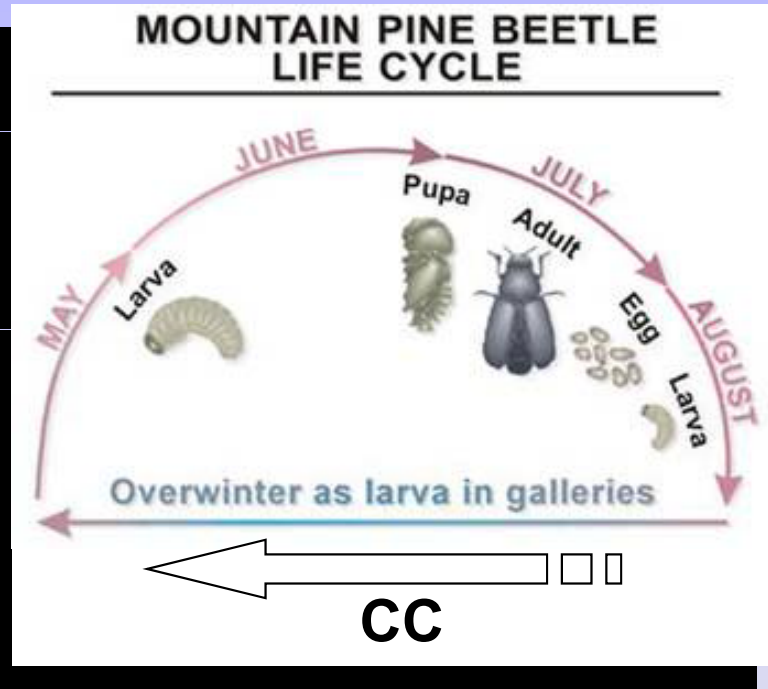


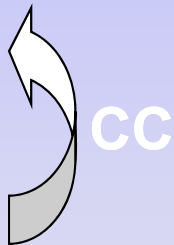
Figure 22: Scénarios d'émissions afin de se donner 75% de chance de limiter le réchauffement à 2°C

... sans compter le déclenchement des rétroactions positives (« tipping events »)

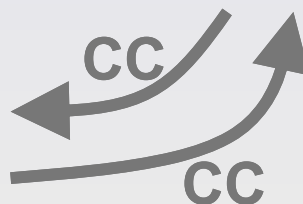
1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



Sustainable Resource Development Alberta



Science vol. 297, July 12, 2002



- Plusieurs événements naturels et anthropiques peuvent déclencher des rétroactions positives vers les CC (Flanigan et al. 2005; Kurz et al. 2008)

... et que les GES émis sont là pour longtemps

1. Contexte climatique

2. Réduction et atténuation

3. Travaux de recherche

4. Carbone boréal

1704–1709 | PNAS | February 10, 2009 | vol. 106 | no. 6

Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions

Susan Solomon^{a,1}, Gian-Kasper Plattner^b, Reto Knutti^c, and Pierre Friedlingstein^d

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 35, L04705, doi:10.1029/2007GL032388, 2008

Stabilizing climate requires near-zero emissions

H. Damon Matthews¹ and Ken Caldeira²

- **Constat accablant: Réduire au max et atténuer le plus possible!**



Menu

1. Contexte climatique

2. Réduction et atténuation des GES

- **Secteur forestier en général**
- **Boisement de terrains dénudés boréaux**

3. Travaux de recherche

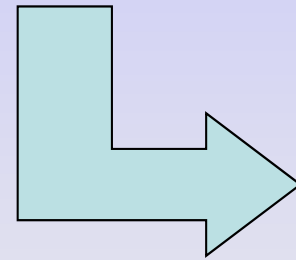
4. Carbone boréal

- Fonctionnement et particularités

Lutte mondiale contre les CC

- 1. Contexte climatique
- 2. Réduction et atténuation**
- 3. Travaux de recherche
- 4. Carbone boréal

**Consensus général:
réduction, atténuation, adaptation**

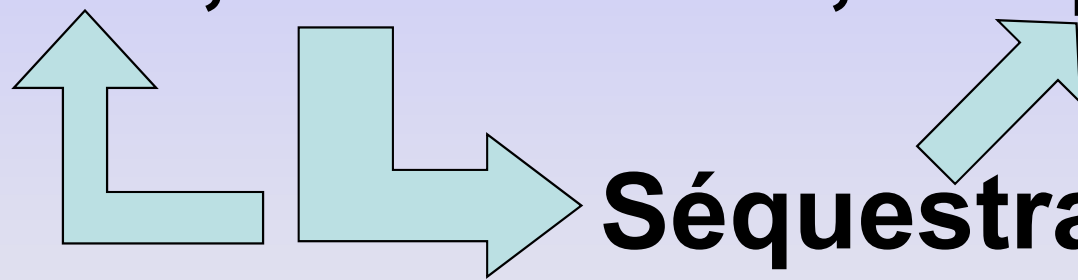


**Séquestration
du C (forêt)**

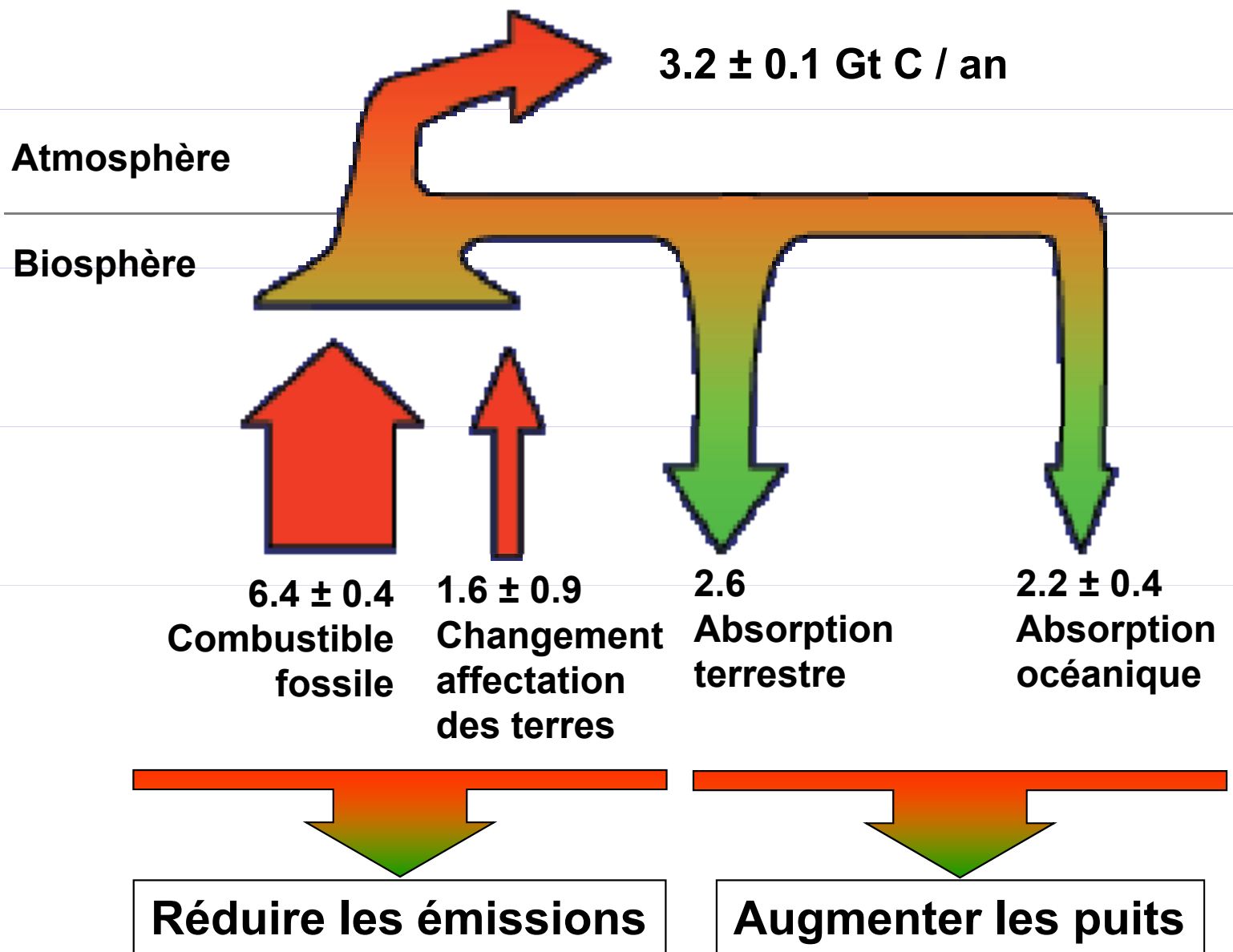
Lutte mondiale contre les CC

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal

**Consensus général:
réduction, atténuation, adaptation**

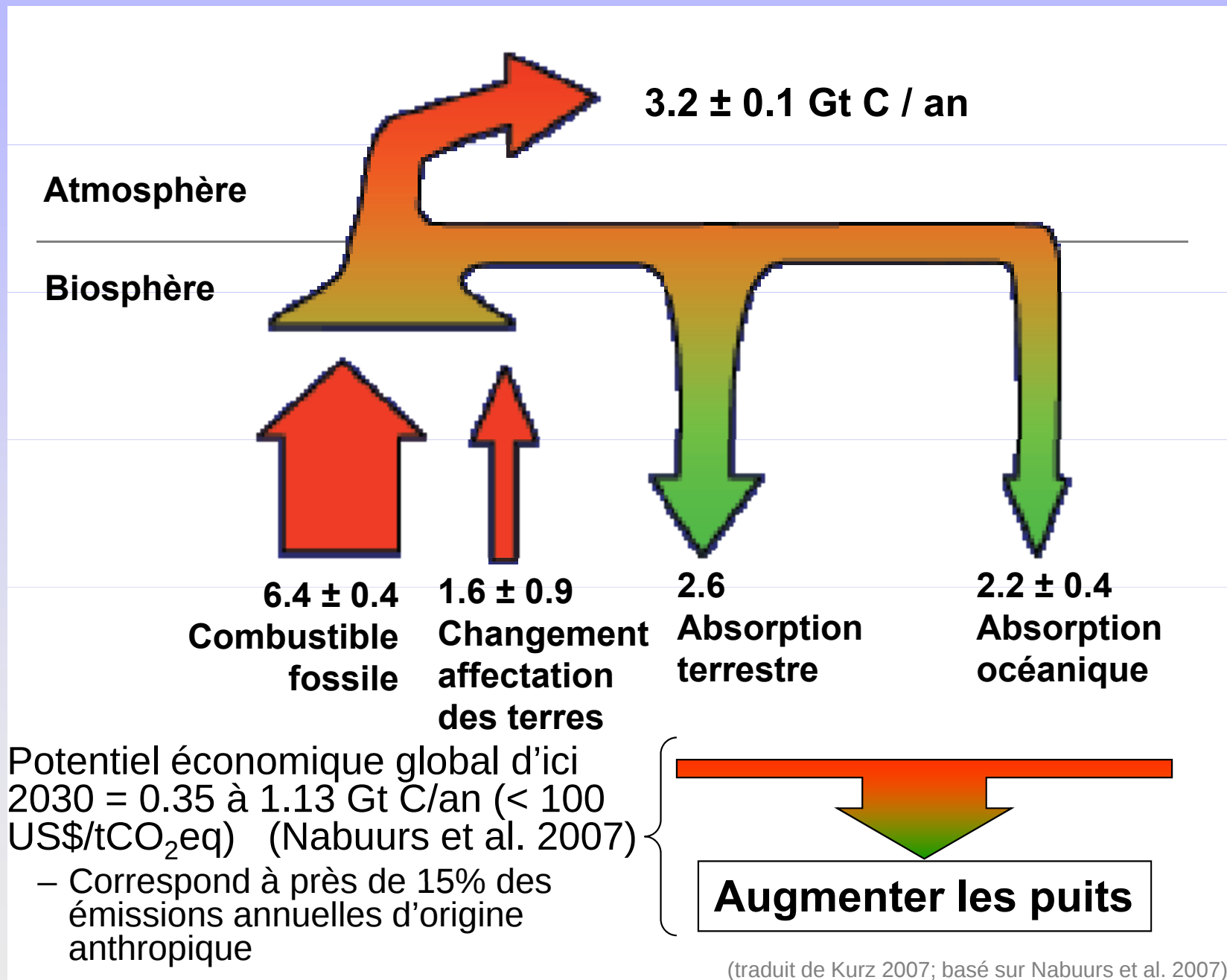
**Séquestration
du C (forêt)**

Des sources et des puits



(traduit de Kurz 2007; basé sur Nabuurs et al. 2007)

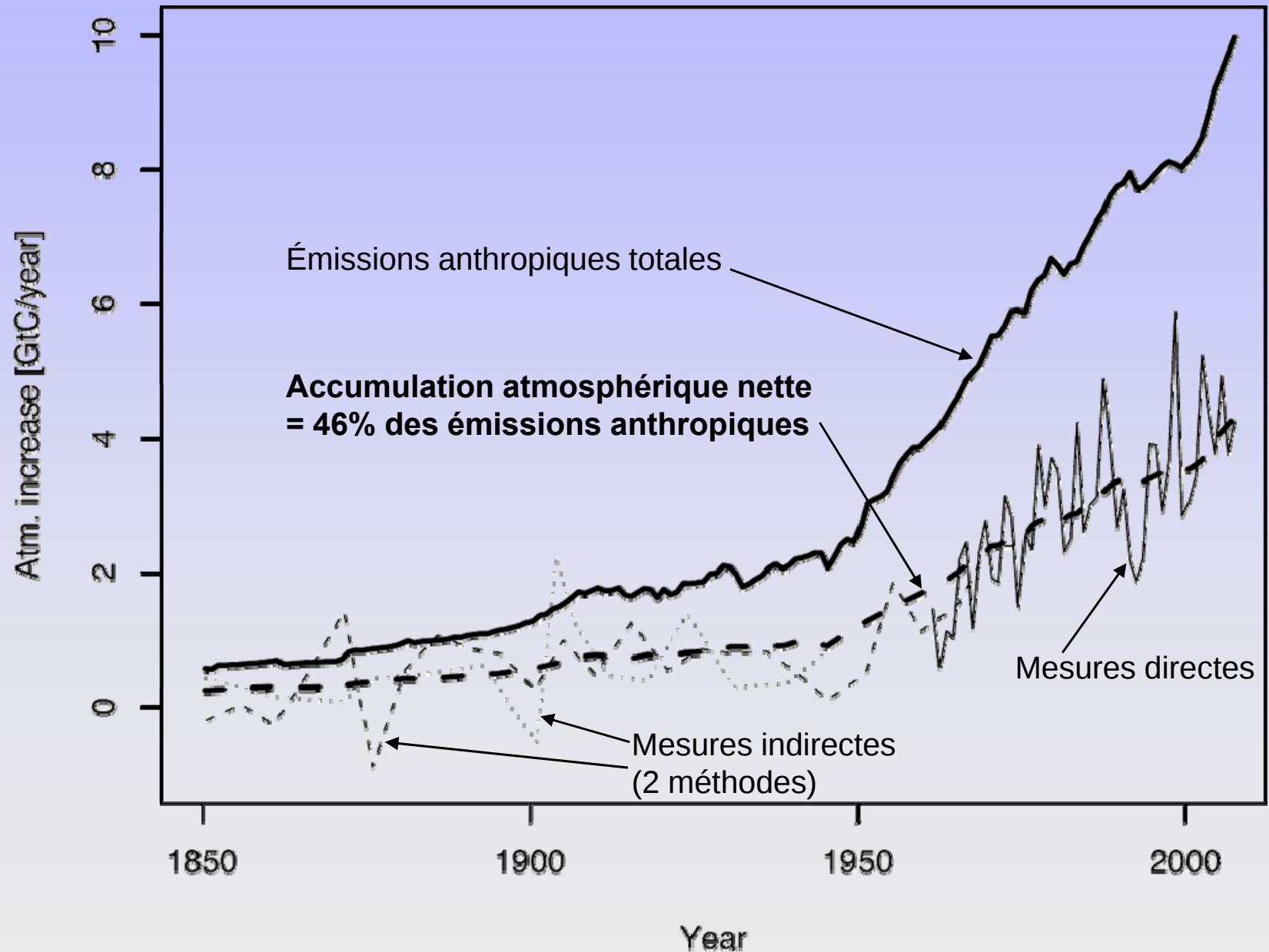
Des sources et des puits



(traduit de Kurz 2007; basé sur Nabuurs et al. 2007)

Émissions et absorptions historiques

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



Mesures d'atténuation dans le secteur forestier

	Types d'atténuation	Type d'impact	Durée de l'impact	Durée du coût
1A	Augmenter la superficie forestière (p.ex. nouvelles forêts)	↑		
1B	Maintenir la superficie forestière (p.ex. prévenir la déforestation)	↓		
2A	Augmenter la densité en C forestier (p.ex. aménagement intensif)	↑		
2B	Maintenir la densité en C forestier (p.ex. prévenir la dégradation)	↓		
3A	Augmenter les stocks de C (p.ex. aménagement durable)	↑		
3B	Maintenir les stocks de C (p.ex. réduire l'impact des perturb.)	↓		
4A	Augmenter le C dans les produits (p.ex. valoriser la filière bois)	↑		
4B	Augmenter la bioénergie (p.ex. substitution énergétique)	↓		

(traduit de Nabuurs et al. 2007)

Augmenter les puits = ↑

Diminuer les sources = ↓

Le Protocole de Kyoto

- Reconnaît les réductions d'émissions de CO₂
- Reconnaît la substitution des combustibles fossiles
- Reconnaît le carbone forestier:
 - Boisement (*afforestation*)
 - Conversion d'origine humaine d'un territoire qui n'a pas porté de forêt pendant au moins 50 ans (Forêt: 1ha; 25% de couverture; hauteur des arbres >5m)
 - Reboisement (*reforestation*)
 - Idem, mais le territoire en question a été déboisé entre 1950/1990
 - Déboisement (*deforestation*)
 - Conversion d'un territoire forestier en un autre type de territoire
 - Mesures de gestion des forêts
 - Territoires faisant l'objet de mesures spéciales depuis 1990
 - Inclure ou ne pas inclure le territoire sous aménagement = chaque pays signataire devait choisir avant 2008 (Canada = non!)
 - ...mais pas (encore) le matériau bois!

Le Protocole de Kyoto

- Reconnait les réductions d'émissions de CO₂
- Reconnait la substitution des combustibles fossiles
- Reconnait le carbone forestier:

- Boisement (*afforestation*)

- Conversion d'origine humaine d'un territoire qui n'a pas porté de forêt pendant au moins 50 ans (Forêt: 1ha; 25% de couverture; hauteur des arbres >5m)

- Reboisement (*reforestation*)

- Idem, mais le territoire en question a été déboisé entre 1950/1990

- Déboisement (*deforestation*)

- Conversion d'un territoire forestier en un autre type de territoire

- Mesures de gestion des forêts

- Territoires faisant l'objet de mesures spéciales depuis 1990
- Inclure ou ne pas inclure le territoire sous aménagement = chaque pays signataire devait choisir avant 2008 (Canada = non!)

- ...mais pas (encore) le matériau bois!

Article 3.4 Article 3.3
du PK du PK



Boisement de terrains forestiers boréaux naturellement déboisés

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal

• **Terrains naturellement déboisés** au sein de la zone boréale

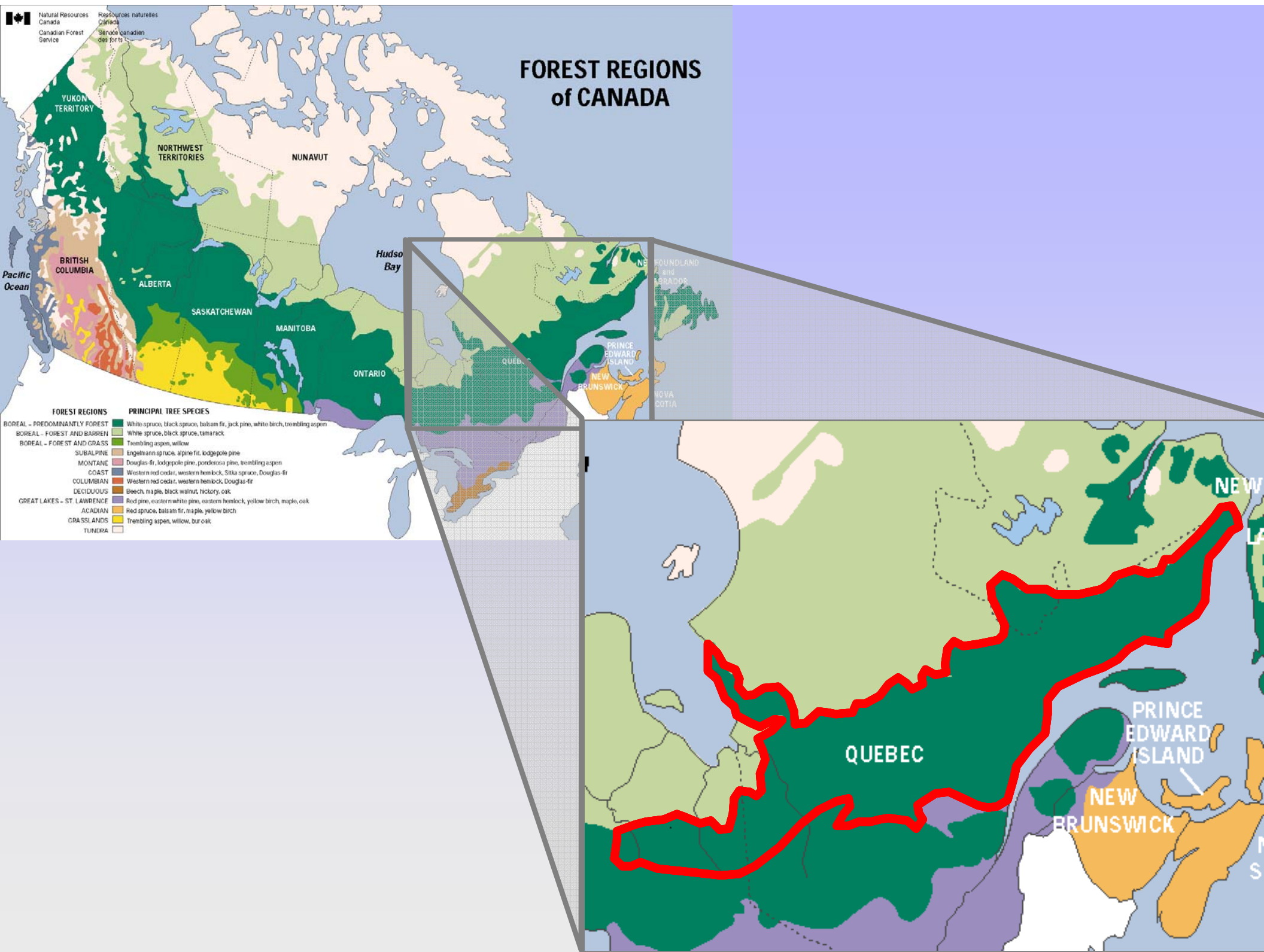
- Classés « improductifs » (les *dénudés secs* du MRNF)
- Respectent la notion de non-forêt (Article 3.3 du PK)
- État stable de la déforestation naturelle bien documenté...





Natural Resources
Canada
Canadian Forest
Service
Ressources naturelles
Canada
Service canadien
des forêts

FOREST REGIONS of CANADA



Régénération cyclique des pessières noires après feu



(Heinselman 1981, St-Pierre et al. 1992)

Exemple de mécanisme d'ouverture: Peuplement immature + feu



Feux rapprochés

(environ < 50 ans)



Recrutement déficitaire



Envahissement

par les lichens et
éricacées



Exemple de mécanisme d'ouverture: Épidémie de tordeuse + feu



Épidémie +
feu rapprochés

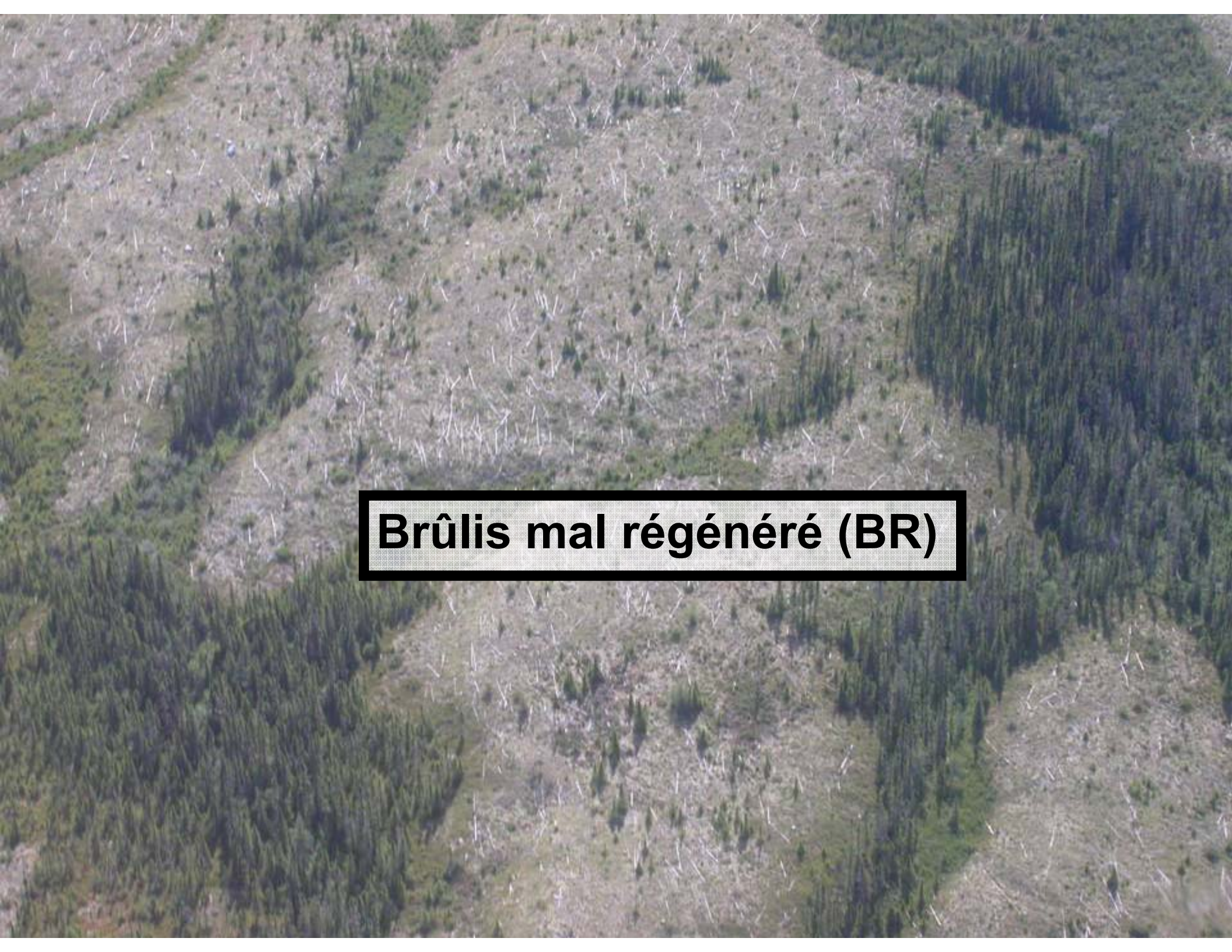


Recrutement
déficitaire

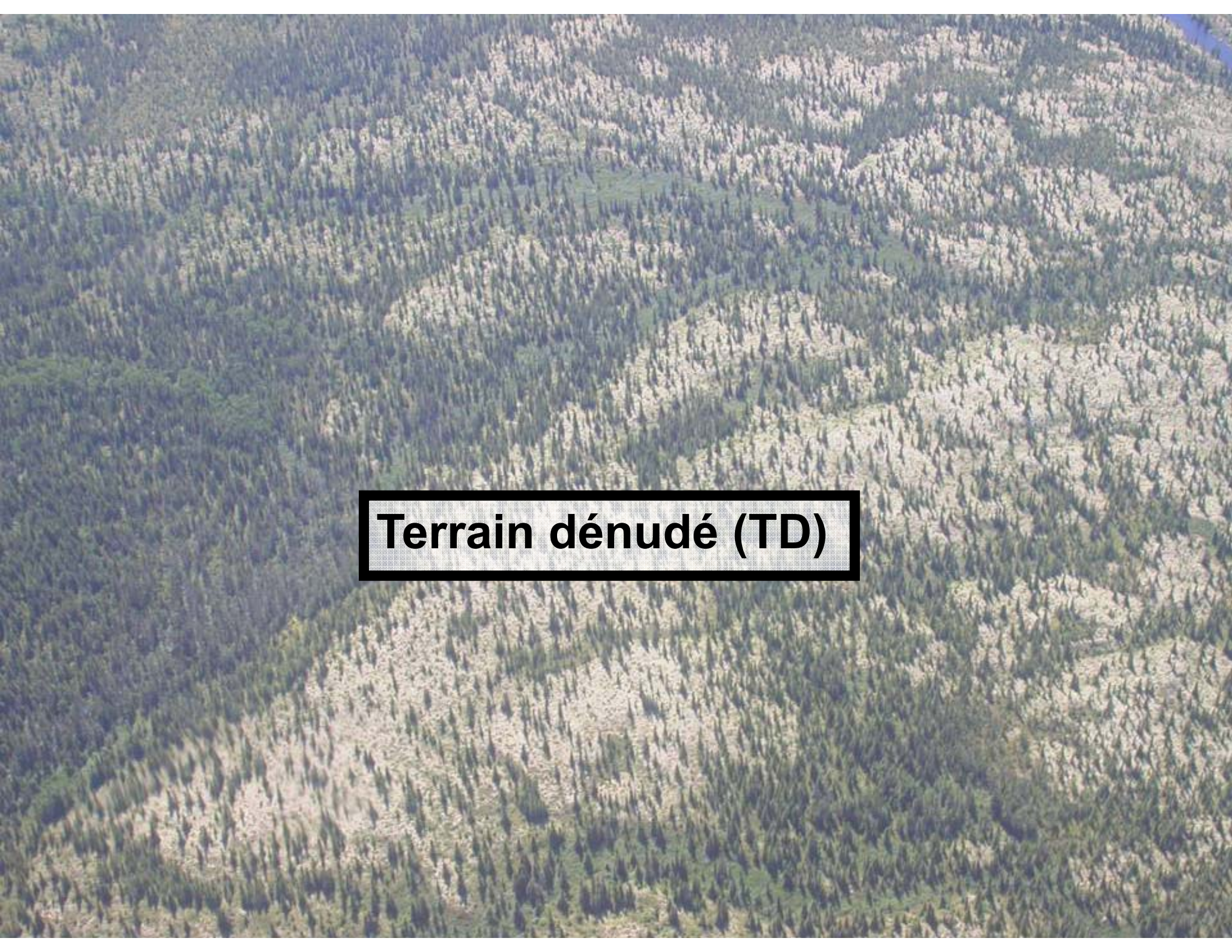


Envahissement
par les lichens et
éricacées





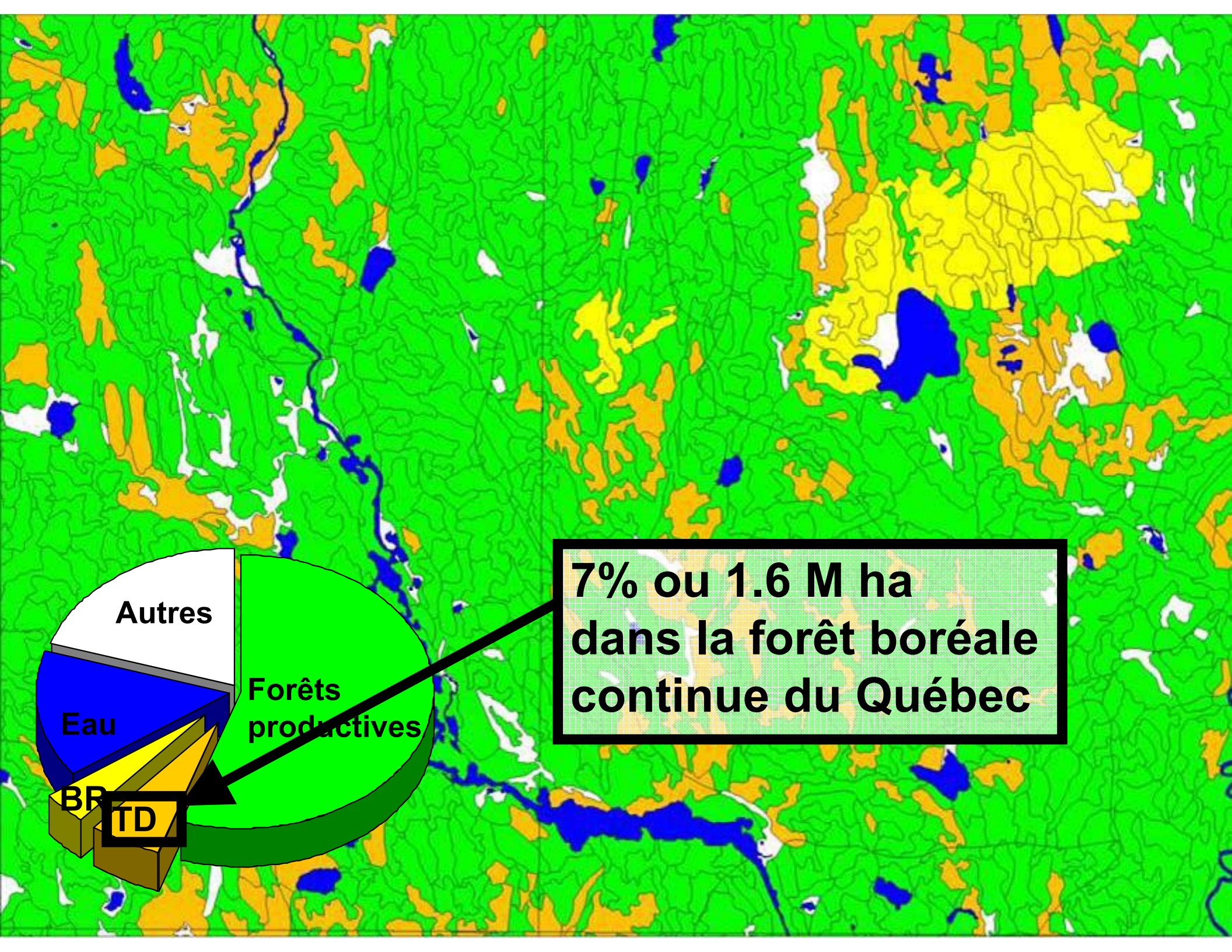
Brûlis mal régénéré (BR)

An aerial photograph of a mountain slope covered in dense evergreen forest. A large, irregularly shaped area in the center of the image is devoid of trees, appearing as a light-colored, textured patch. This area is surrounded by dark green forest. A black rectangular box with white text is overlaid on the image, centered horizontally and vertically.

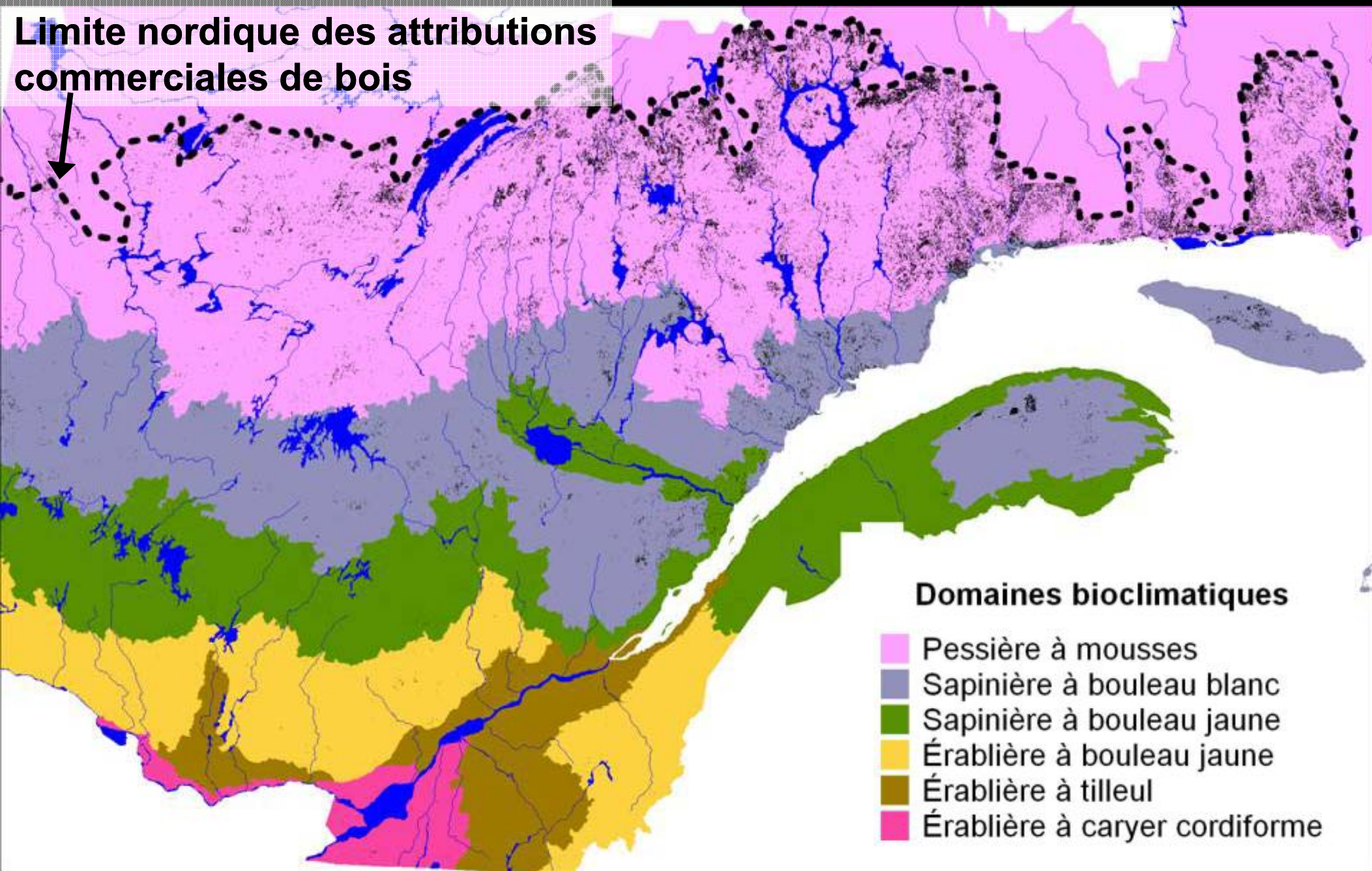
Terrain dénudé (TD)



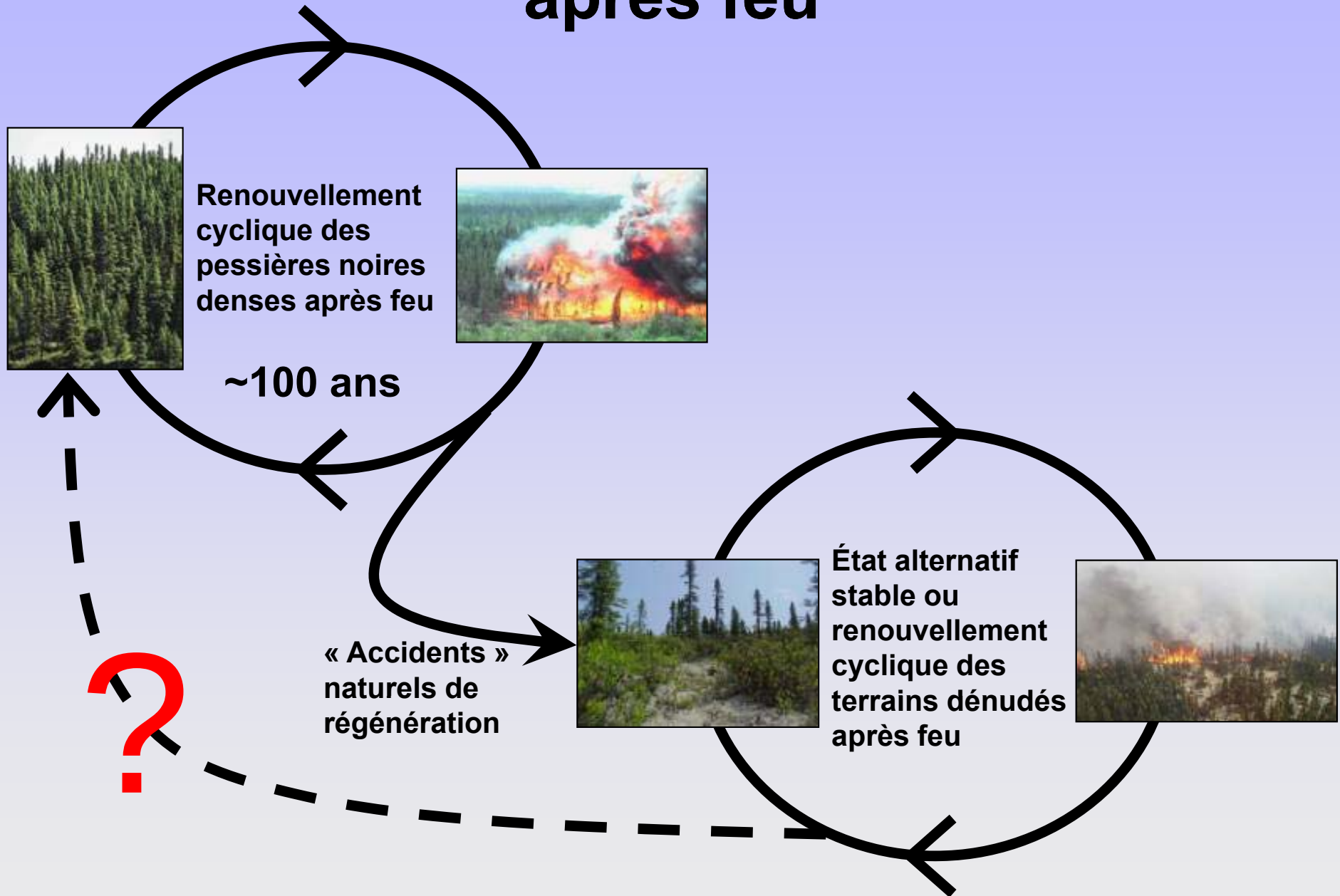
02/06/2005 08:03



**Limite nordique des attributions
commerciales de bois**



Régénération naturelle des pessières noires après feu



(Payette 1992, Gagnon et Morin 2001, Jasinsky et Payette 2005)

Potentiel de puits de C par le boisement ??

- 1. Contexte climatique
- 2. Réduction et atténuation
- 3. Travaux de recherche
- 4. Carbone boréal

- **Assises:**

- Larges territoires disponibles
- Méthode simple, à faible coût et à faible intensité carbonique
- Peu ou pas de perte d'opportunité (déplacement de terres arables, exploitation forestière, etc.)
- Bénéfices collatéraux (écologiques et sociaux)
- Davantage de réduction d'émissions grâce aux produits du bois utilisés en substitution de produits à forte intensité C

- **Question: Quel est le potentiel théorique de séquestration d'une opération de boisement d'un TD boréal??**

- M.Sc. de Simon Gaboury (2007), UQAC
- Gaboury et al. 2009 (Forest Ecology and Management)

Le bilan C du boisement d'un TD

- Approche par analyse de cycle de vie (ACV)
- Modèle CO2 FIX (Schelhaas et al. 2004; Maser et al. 2003)

Bilan C du boisement =

**Stocks de C
plantation**



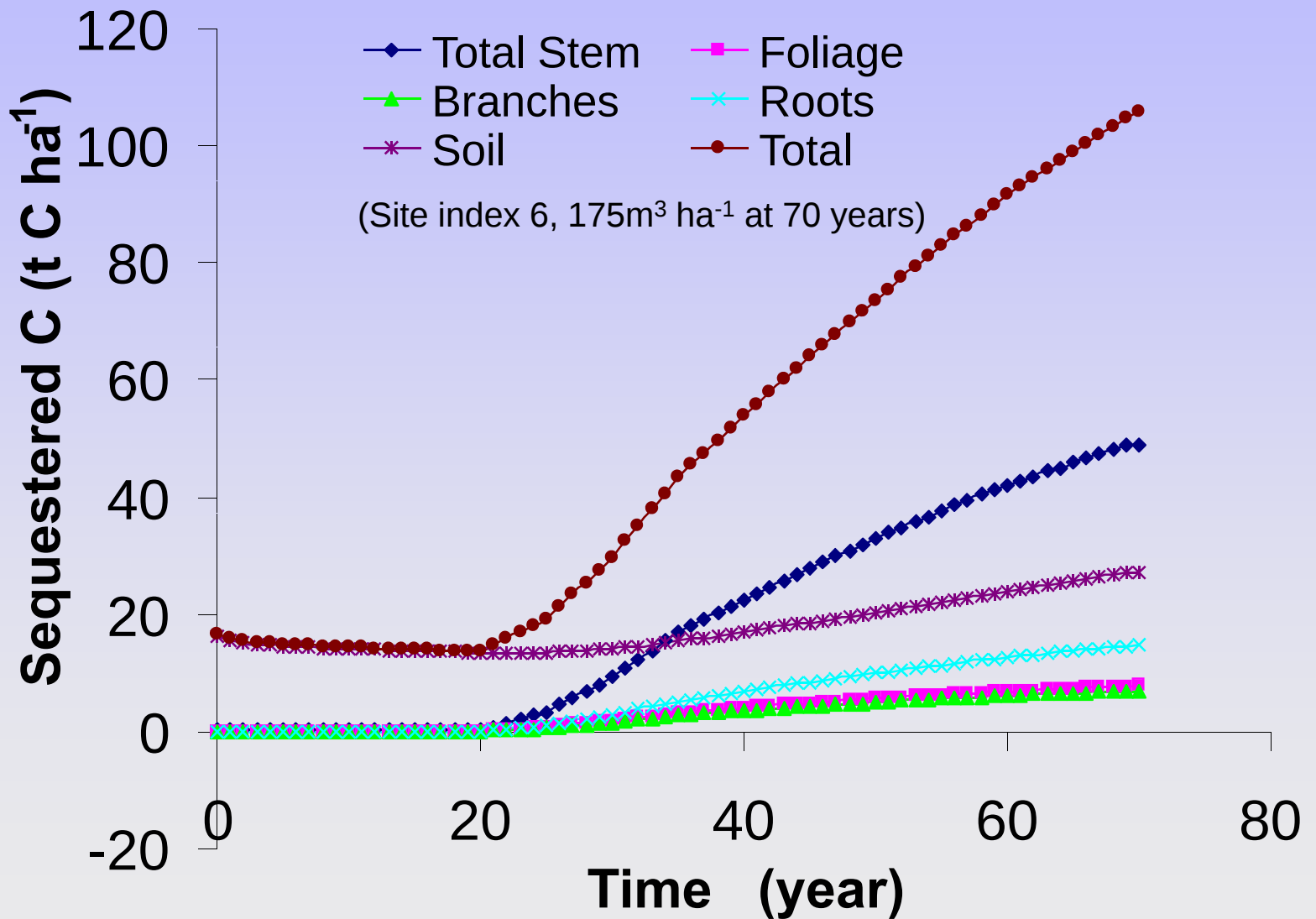
**Stocks de C
scénario de référence**



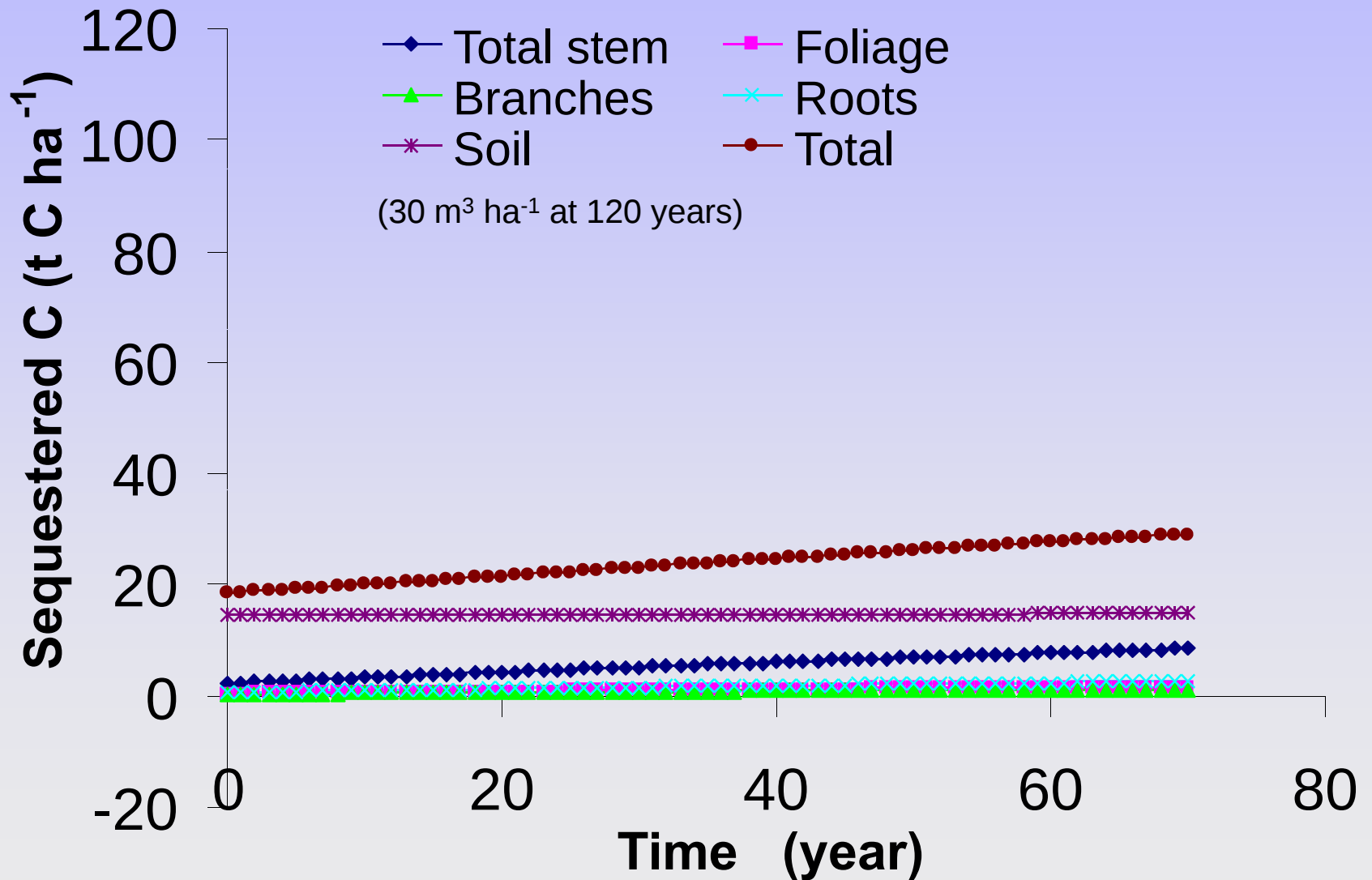
**Émissions
de C**



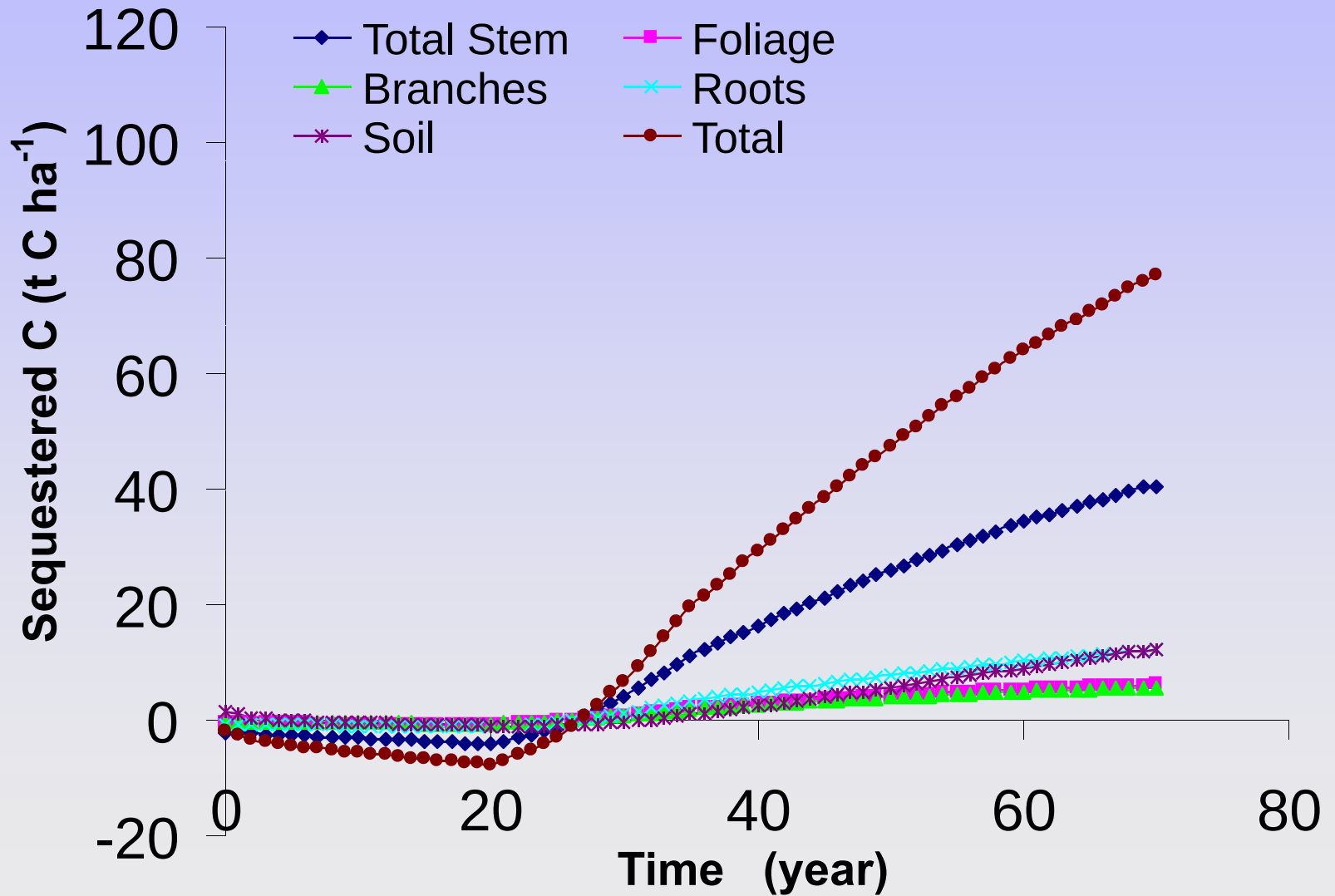
Plantation (scénario boisement)



Terrain dénudé (scénario de référence)



Séquestration nette = Plantation – TD



- 1. Contexte climatique
- 2. Réduction et atténuation
- 3. Travaux de recherche
- 4. Carbone boréal



Émissions associées aux opérations (Analyse de Cycle de Vie)

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal

Plantation



Production de graines



Croissance semis



Scarifiage



Bilan GES

Coupe



Transport et accès



Bilan du potentiel de séquestration nette

Stock de Carbone	Carbone séquestré (t/ha)			
	Scénario de référence	Scénario de boisement	Bilan C	Bilan CO ₂
	30 m ³ /ha	(IQS 6) 175 m ³ /ha		
Biomasse aérienne	11	64	53	194
Biomasse racinaire	3	15	12	43
Végétation sous-étage	na	na	na	na
Litière	12	15	3	11
Bois mort	2	7	5	18
Sol	1	5	4	15
Opérations	0	-0.3	-0.3	-1
Autres GES	0	0	0	0
Total après 70 ans	29	105	77	280
Total par année	0.4	1.5	1.1	4.0

Note: 4.0 t CO₂ par année correspondent grosso modo aux émissions annuelles d'une voiture sous-compacte (sur 24 000 km)

Stabilization 'Wedges':

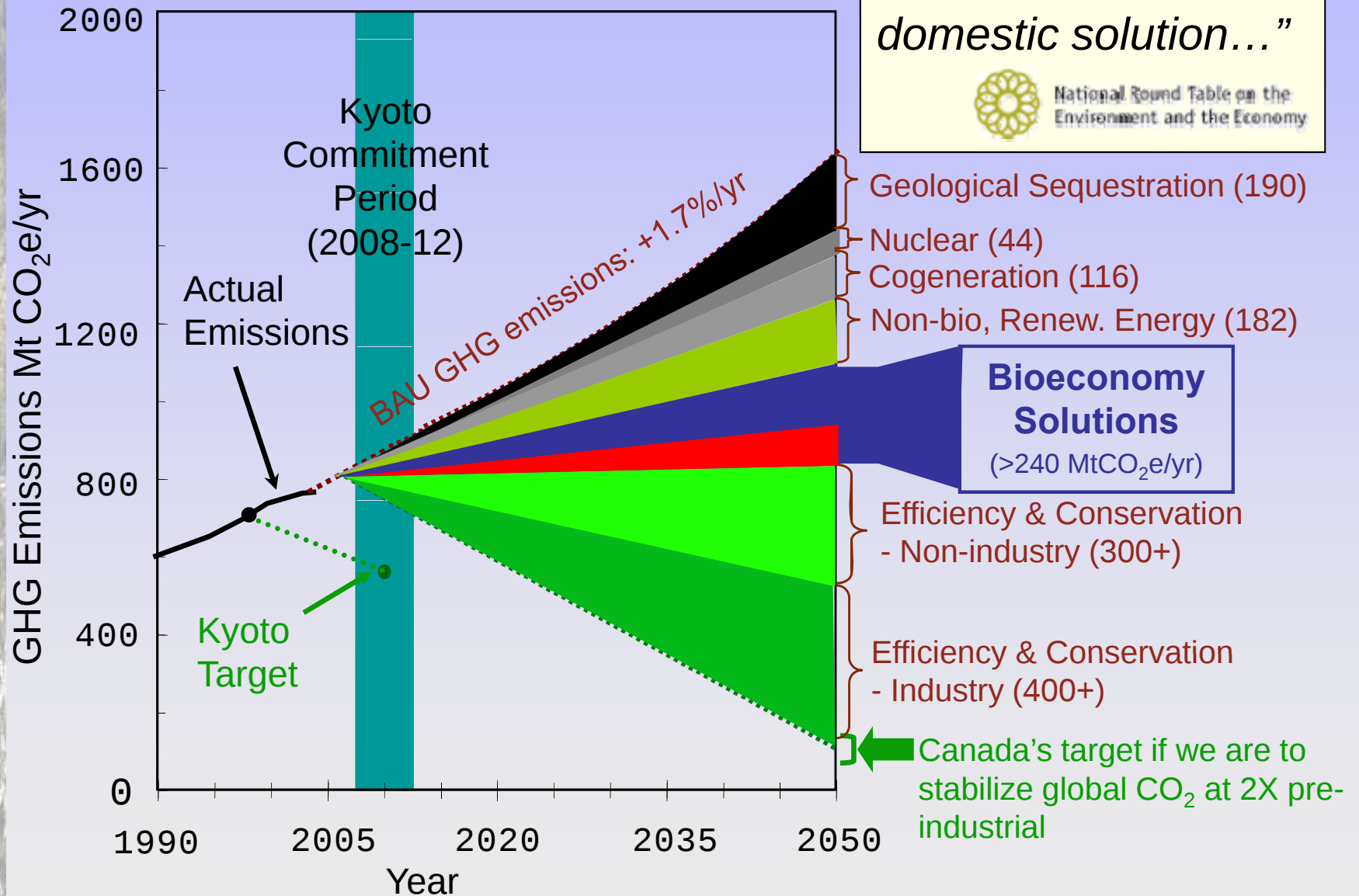
Modified from

National Round Table on the Environment & the Economy by Layzell (2007)

"There can be a domestic solution..."



National Round Table on the Environment and the Economy



* Modified from June 2006 "Advice on a long term strategy on Energy & Climate Change" NRTEE

Incertitudes (enjeux et défis)

•Quatre catégories:

– Capacité de support

- Rendement (IQS)
- Facteurs d'expansion de la biomasse
- Fertilité des sols

– Permanence de la séquestration

- Perturbations naturelles (feux, insectes, chablis)
- Utilisation de la biomasse (produits du bois et bois-énergie)

– Impacts non-carboniques

- Biodiversité
- Albedo
- Régime hydrique

– Enjeux socio-politiques

- Acceptabilité sociale
- Tenure des terres
- Coûts de la séquestration
- Propriété des crédits de C

Black spruce plantations

Volume yield table

Age total (y compris les années en précompte)

Classe d'âge (années)	Densité (tiges/ha)	Métr.	Age total (y compris les années en précompte)																															
			20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	
			Volume marchand total en mètres cubes par hectare																															
2 000	60	65	11	32	58	79	98	118	133	149	162	173	188	198	204	212	218	224	229	234	238	242	245	248	250	252	252	251	248	243	237	230		
		90	2	23	52	86	114	142	164	185	202	222	236	250	261	271	280	288	295	301	307	312	316	320	323	325	326	326	323	318	310	300	288	
		120	6	37	74	115	148	178	208	230	257	279	298	310	322	331	338	348	352	358	363	367	371	374	377	379	378	374	364	350	343			
		150	16	52	98	145	170	195	219	238	255	269	282	293	302	311	318	324	330	335	339	344	347	350	353	355	356	354	347	333	323	310		
2 500	60	45	25	79	121	163	192	217	238	255	270	282	292	301	309	315	321	326	331	334	338	341	344	347	349	350	349	347	342	335	327	318	303	
		70	8	30	57	77	97	115	133	149	162	173	188	198	204	212	218	224	229	234	238	242	245	248	250	252	252	251	248	243	237	230		
		90	23	52	86	114	142	164	185	202	222	236	250	261	271	280	288	295	301	307	312	316	320	323	325	326	326	323	318	310	300	288		
		120	6	34	73	115	148	178	208	230	257	279	298	310	322	331	338	348	352	358	363	367	371	374	377	379	378	374	364	350	343			





Menu

1. Contexte climatique

2. Réduction et atténuation des GES

- Secteur forestier en général
- Boisement de terrains dénudés boréaux

3. Travaux de recherche

4. Carbone boréal

- Fonctionnement et particularités

Capacité de support... sous tous ses angles

Depuis 2002:

Fonds de recherche
sur la nature
et les technologies

Québec



Fonds de la Recherche Forestière
du Saguenay-Lac-St-Jean



NSERC
CRSNG



ABITIBI
CONSOLIDATED



Consortium
de recherche
sur la forêt boréale
commerciale

Depuis 2009:

Rio Tinto Alcan



NSERC
CRSNG

Ressources naturelles
et Faune

Québec



abitibi
bowater



UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



Université du Québec
en Abitibi-Témiscamingue



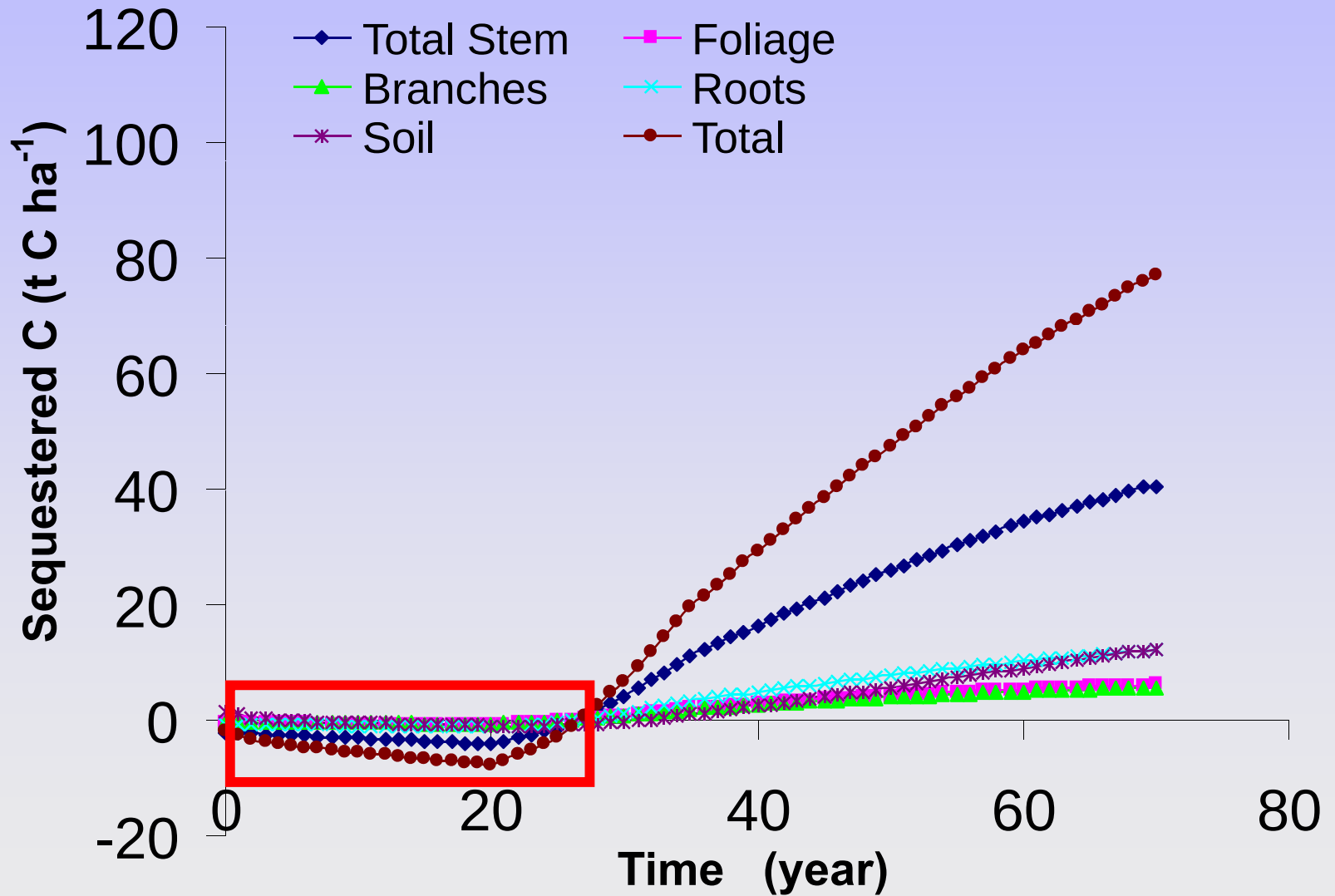
UNIVERSITÉ
LAVAL

Capacité de support... sous tous ses angles



Efficiency of sequestration...

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



Intégration des perturbations naturelles ou anthropiques

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
- 3. Travaux de recherche**
4. Carbone boréal

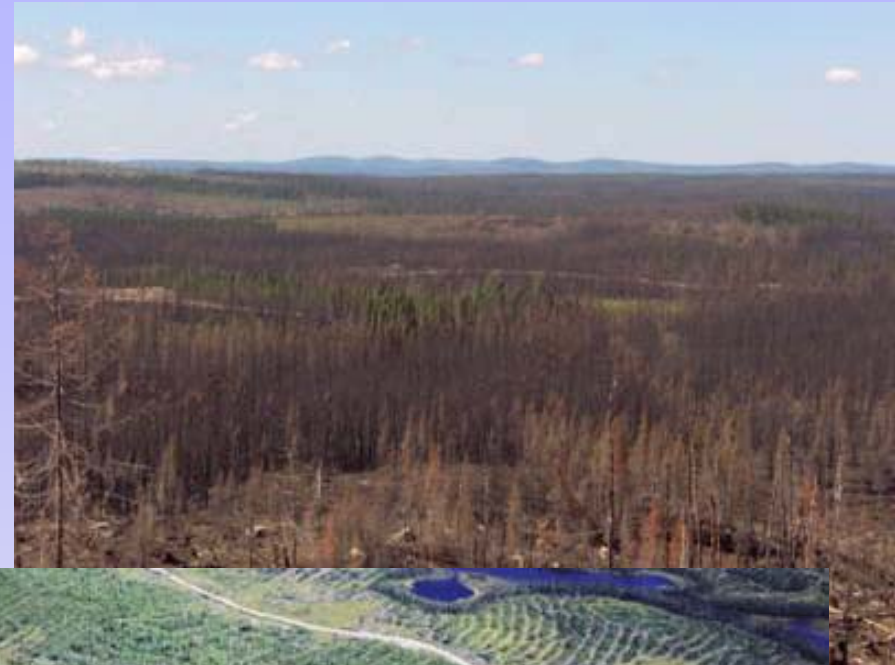


Impacts des perturbations majeures

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



Fraser Basin Council, BC



- Dendroctone du pin (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins, Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae)
- Tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clemens, Lepidoptera : Tortricidae)

- Feux de forêt
- Coupe forestière

Comment intégrer les feux??

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal

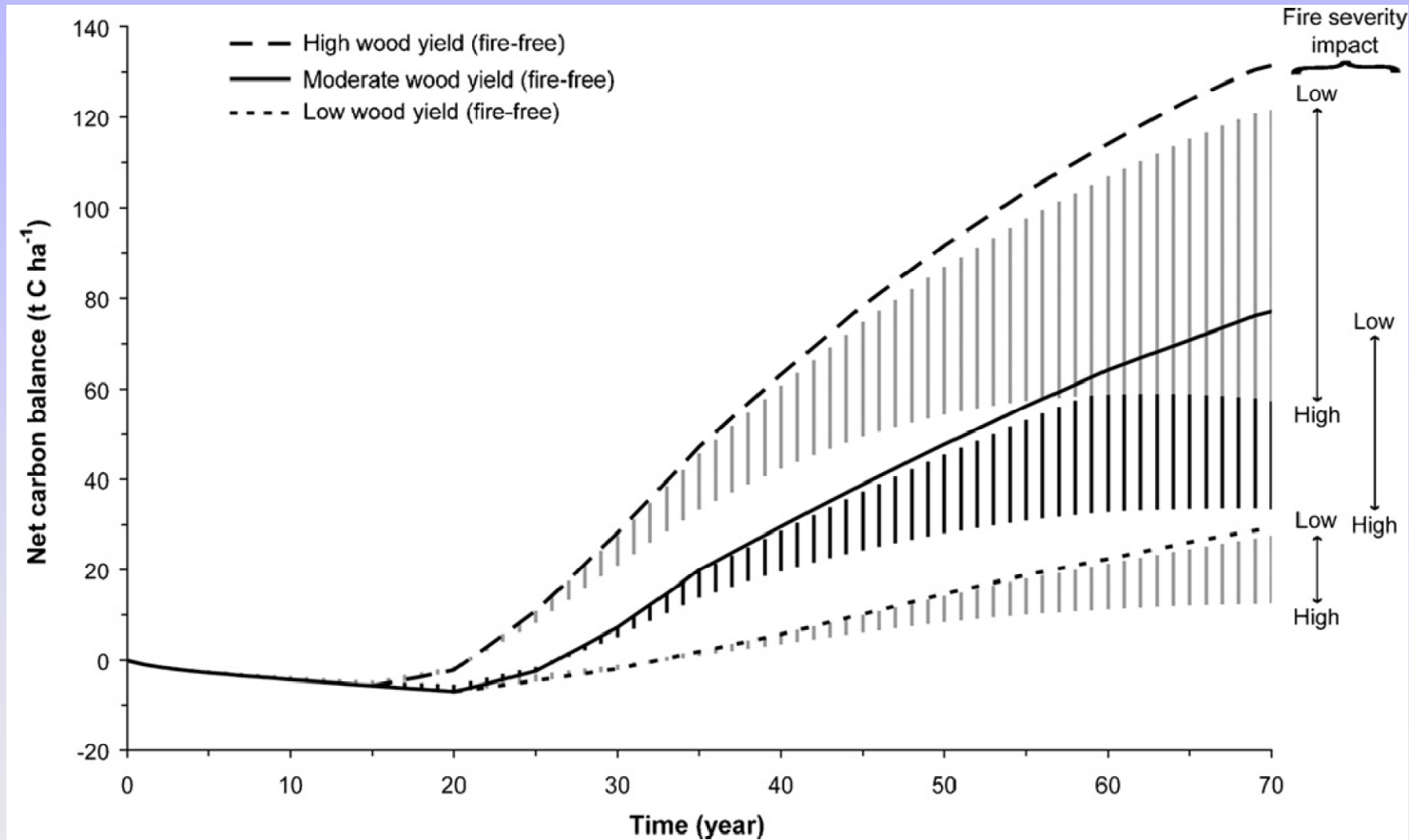
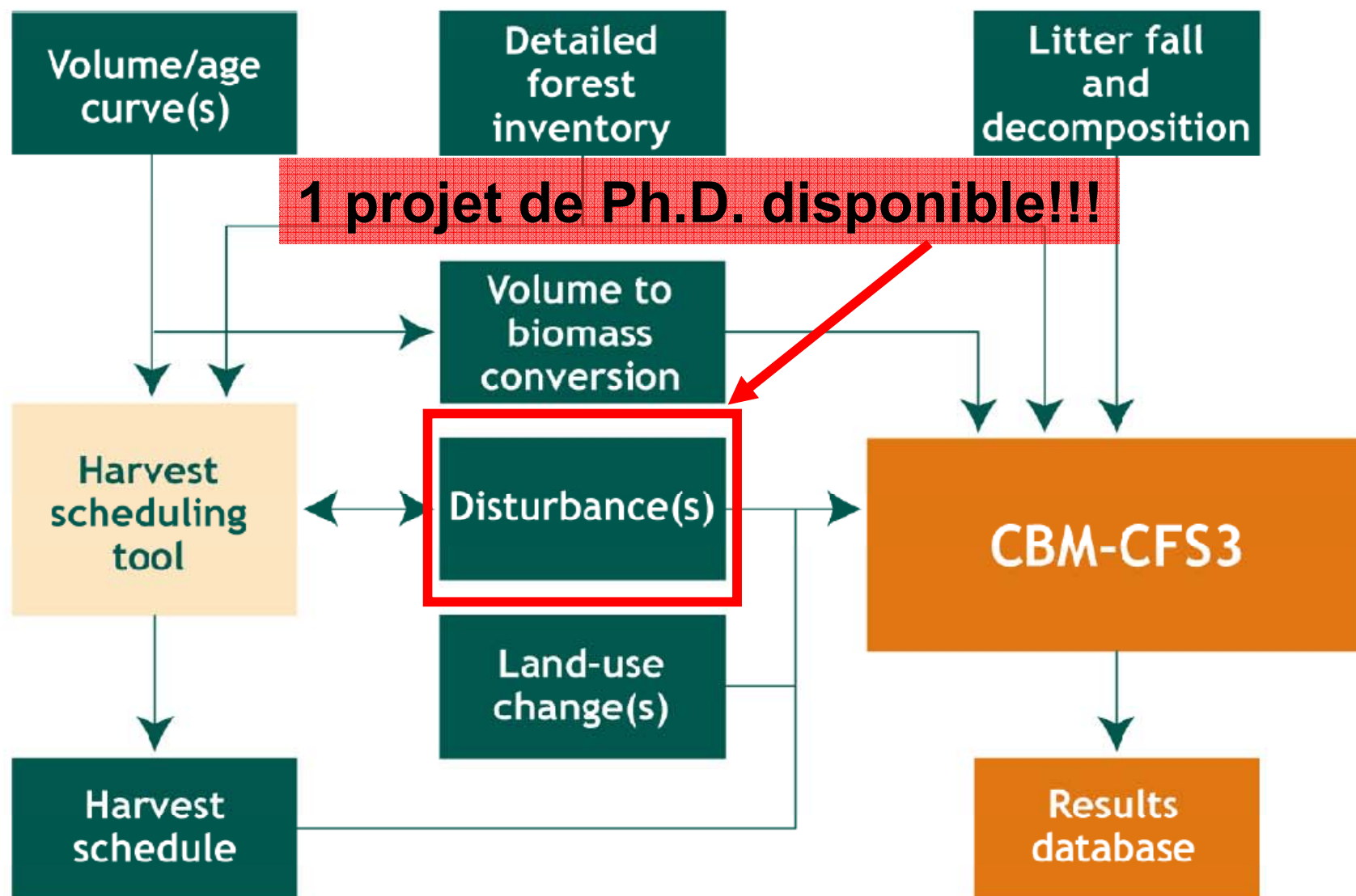


Fig. 5. Impacts of uncertainties related to fire and plantation wood yield on global C balance of an OW afforestation project. The fire severity impact is from Bergeron et al. (2004).

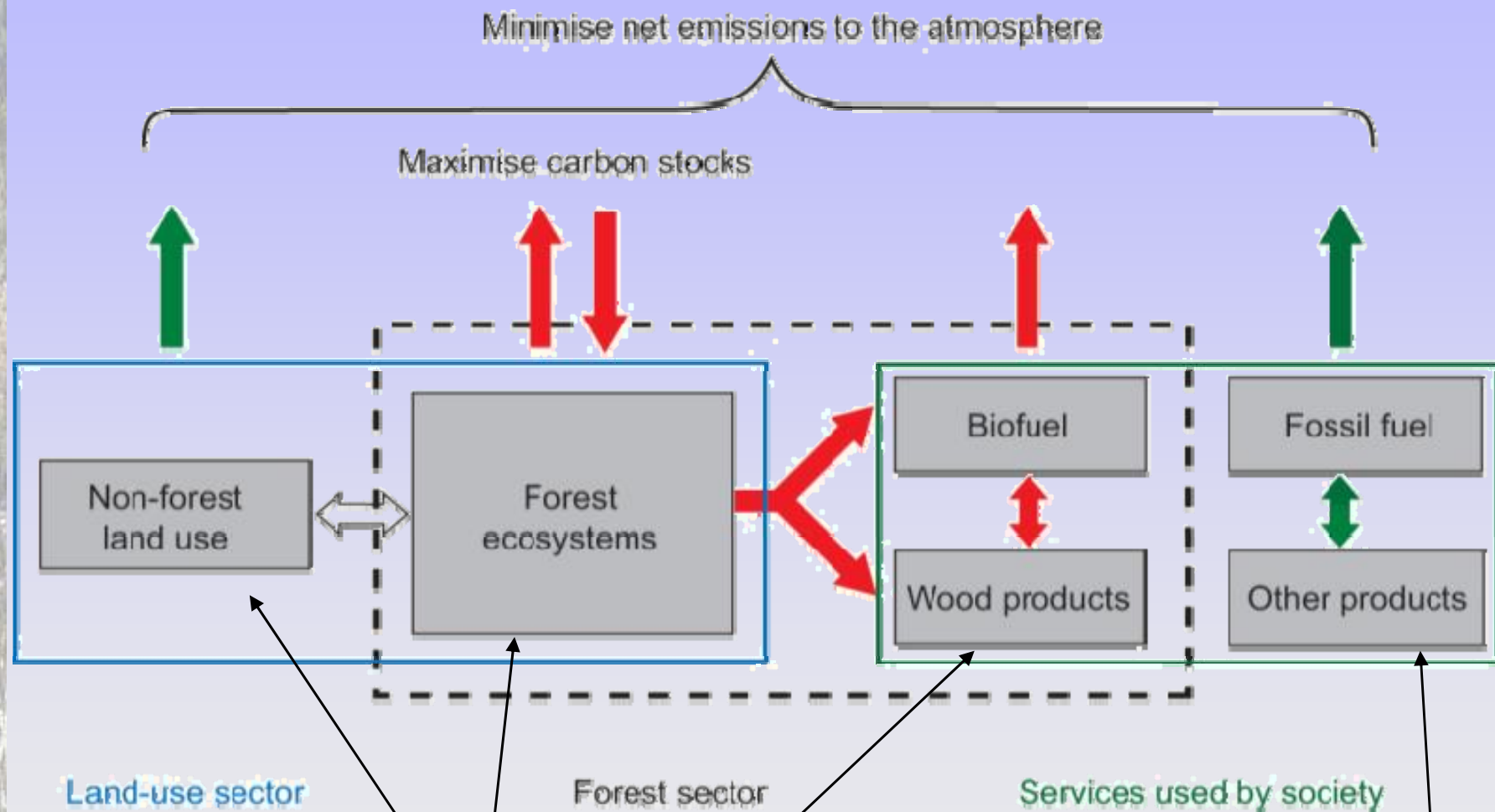
(Gaboury et al. 2009)

CBM-CFS3 Data Requirements



Les produits du bois

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



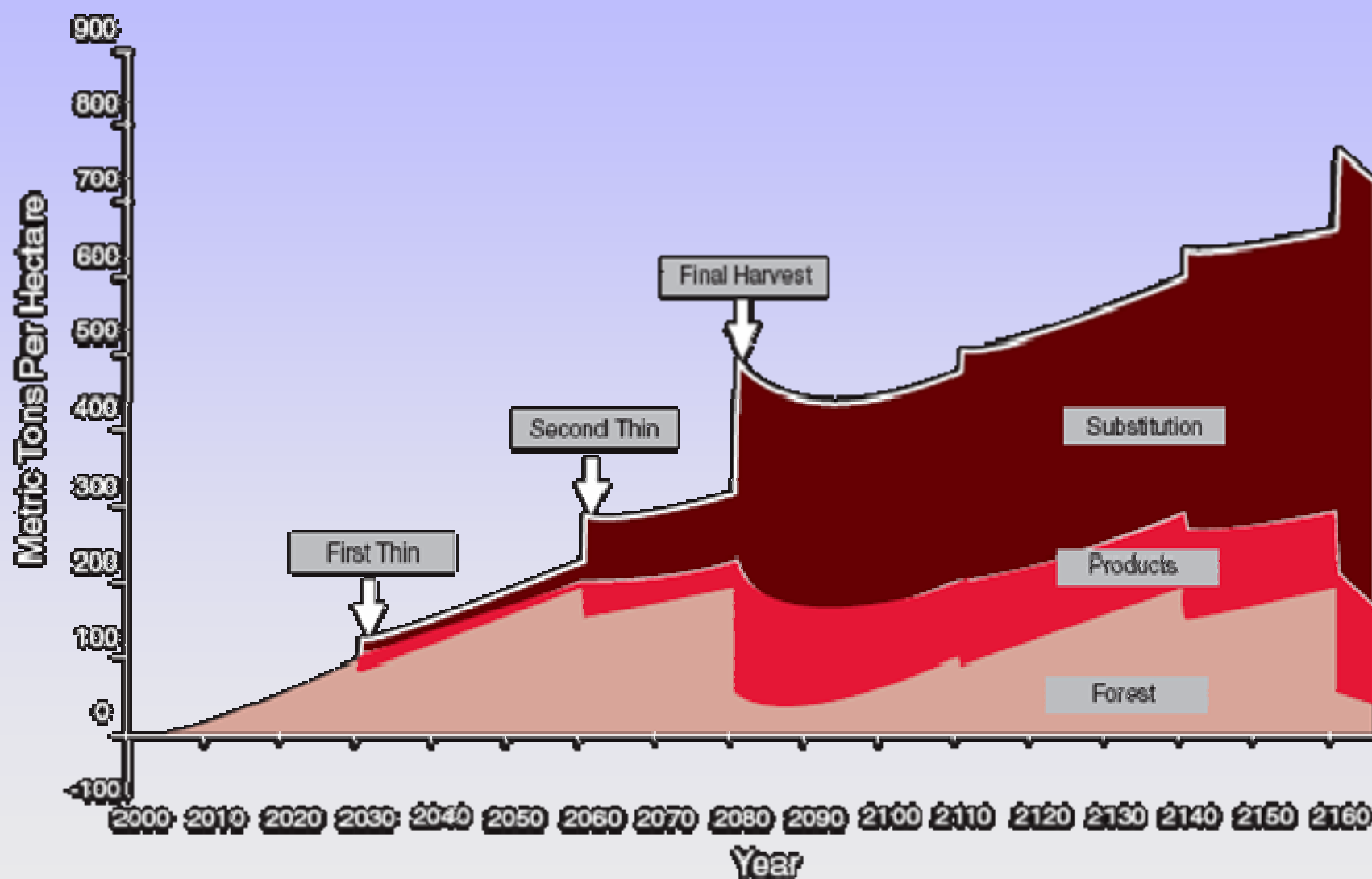
Cycles « courts » ou
« biogéniques » du C

Cycles « longs » ou
« géologiques » du C

(Nabuurs et al. 2007, Fig. 9.3)

Utilisation des produits du bois en substitution de produits à haute intensité carbonique

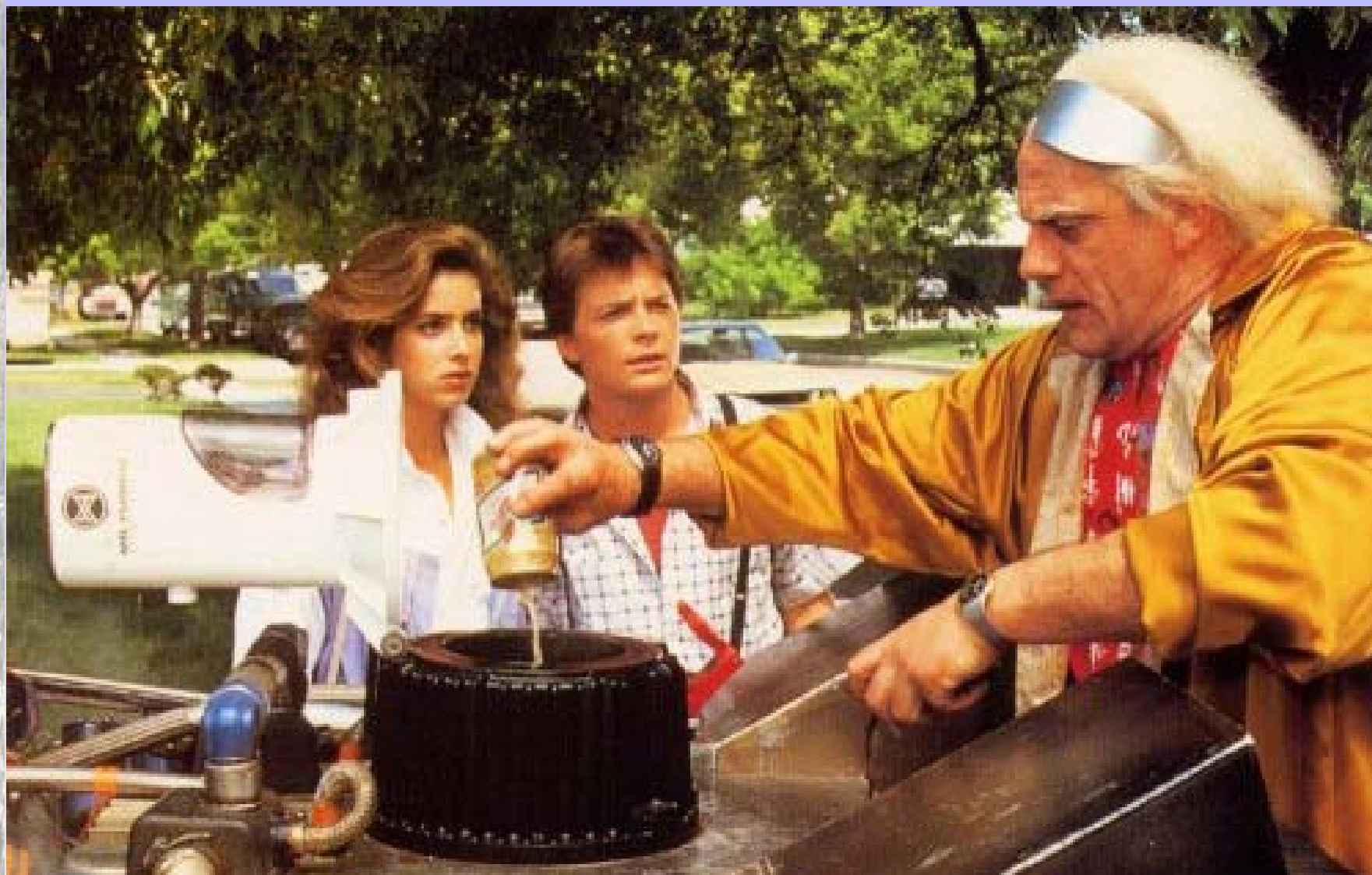
1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



(Source: CORRIM 2004)

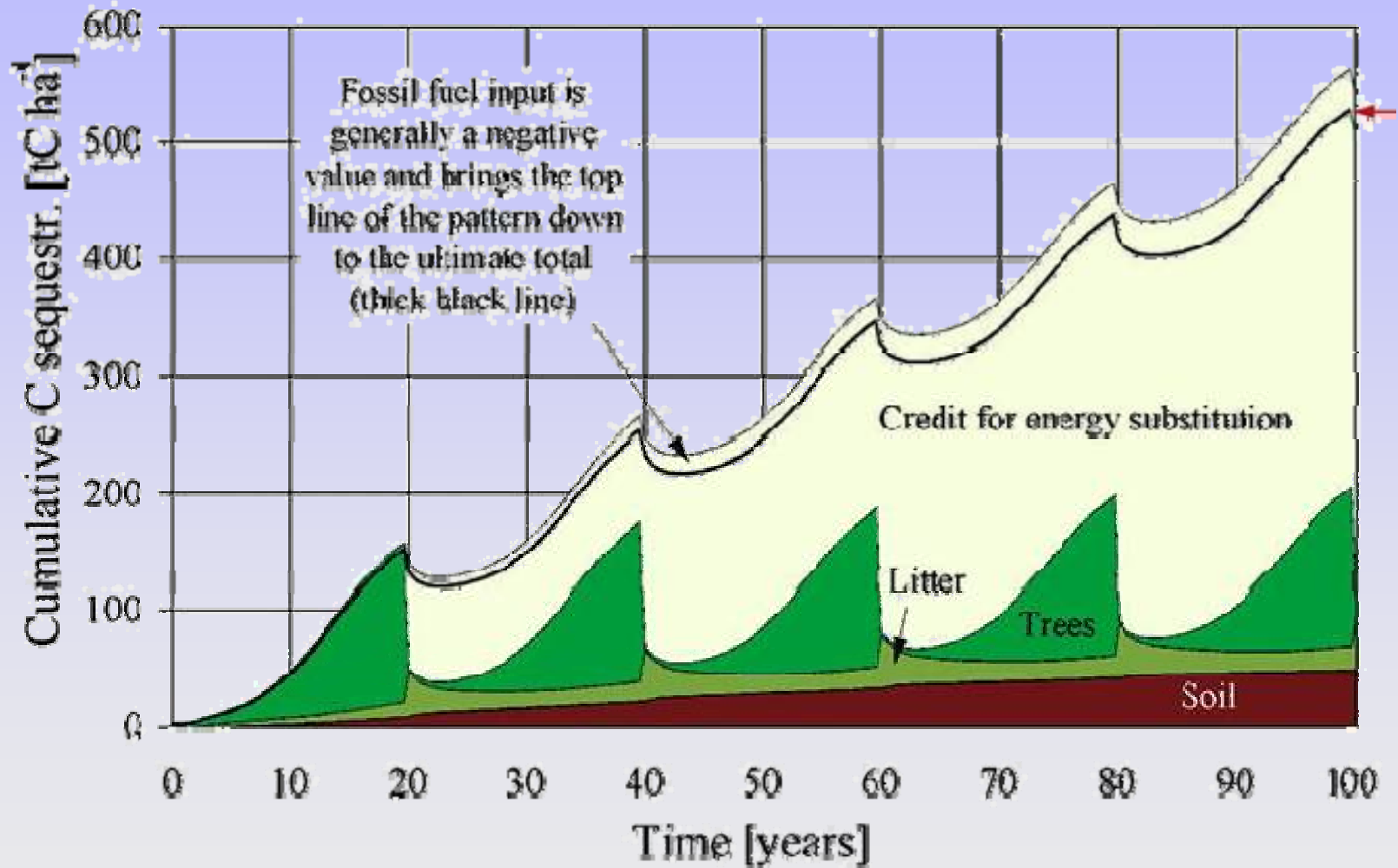
Utilisation de la bioénergie tirée de la biomasse

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
- 3. Travaux de recherche**
4. Carbone boréal



Bioénergie et substitution

Model results: fuelwood plantation on agricultural land



GORCAM output Source: IEA
Task 38

Récupération des résidus et bioraffinerie de 2^e génération...

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. Carbone boréal



Récupération de résidus

www.Cyclofor.com, La Sarre (Qc)



« 50 t biomass / Day Systems »

Advanced BioRefinery Inc., Ottawa (ON)



Menu

1. Contexte climatique

2. Réduction et atténuation des GES

- Secteur forestier en général
- Boisement de terrains dénudés boréaux

3. Travaux de recherche

4. Carbone boréal

- **Fonctionnement et particularités**

Nouvelle source de financement pour la recherche...

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
- 4. Carbone boréal**



carbone
boréal

Carbone boréal en bref

- Organisations responsables:



- Carbone boréal = **Programmation de recherche** de l'UQAC et **Programme de compensation** d'émissions de GES par plantation d'arbres.
- Permet d'offrir sur le marché des **crédits de C** visant à compenser des émissions de GES (« crédits compensatoires ») tout en finançant la recherche universitaire.
- Les plantations compensatoires sont réalisées selon des **protocoles scientifiques** sur des territoires naturellement dénudés de la forêt boréale québécoise.
- Carbone boréal sera enregistré dans le **Registre GES des EcoProjets™** de l'Association Canadienne de Normalisation.

Carbone boréal = d'une pierre quatre coups!

1. Permet une réelle absorption de CO₂
2. Émet des crédits compensatoires crédibles et vérifiés (BNQ) à prix concurrentiel (28\$ / tonne CO₂ ou 4\$ l'arbre)
3. Finance la recherche universitaire effectuée à l'UQAC sur des thématiques reliées au boisement de TD en forêt boréale
4. Permet la mise en place de plantations expérimentales en forêt boréale servant de dispositifs de recherche à long terme



Présentation

Compensez ici

Foire aux questions

Registre et photos

Nouvelles

Équipe de recherche

Préventif pour le climat

Comité Consultatif

Glossaire

English information

Documents à télécharger

Liens

UQAC
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
À CHICOUTIMI



COMPENSEZ

vos émissions de gaz à effet de serre

Programme de compensation de gaz à effet de serre par plantation d'arbres
Projet de recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi



Organisations responsables de Carbone boréal



Vue générale d'une forêt d'épinettes noires dans la forêt boréale (nord du Lac St-Jean, Qc, Canada).
Photo : Jean-François Boucher

Autres particularités

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. **Carbone boréal**

- **Réseau de plantations Carbone boréal** = Statut de « Forêts d'expérimentation » du MRNF = Les arbres plantés sont protégés de toute exploitation forestière.
- **Permanence des stocks de C** = Distribution spatiale des blocs expérimentaux (réduction des risques de pertes par perturbations naturelles) + Réseau de plantations de sécurité afin de compenser des pertes éventuelles.
- **Blocs expérimentaux** = Géoréférencés et enregistrés dans la documentation de Carbone boréal (disponible sur le site internet).
- **Boisement en zone boréale québécoise** = Peu ou pas de perte d'opportunité.
- **Plantations compensatoires** = Vérifiées selon la norme ISO 14064-3 par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ), une tierce partie indépendante et reconnue.

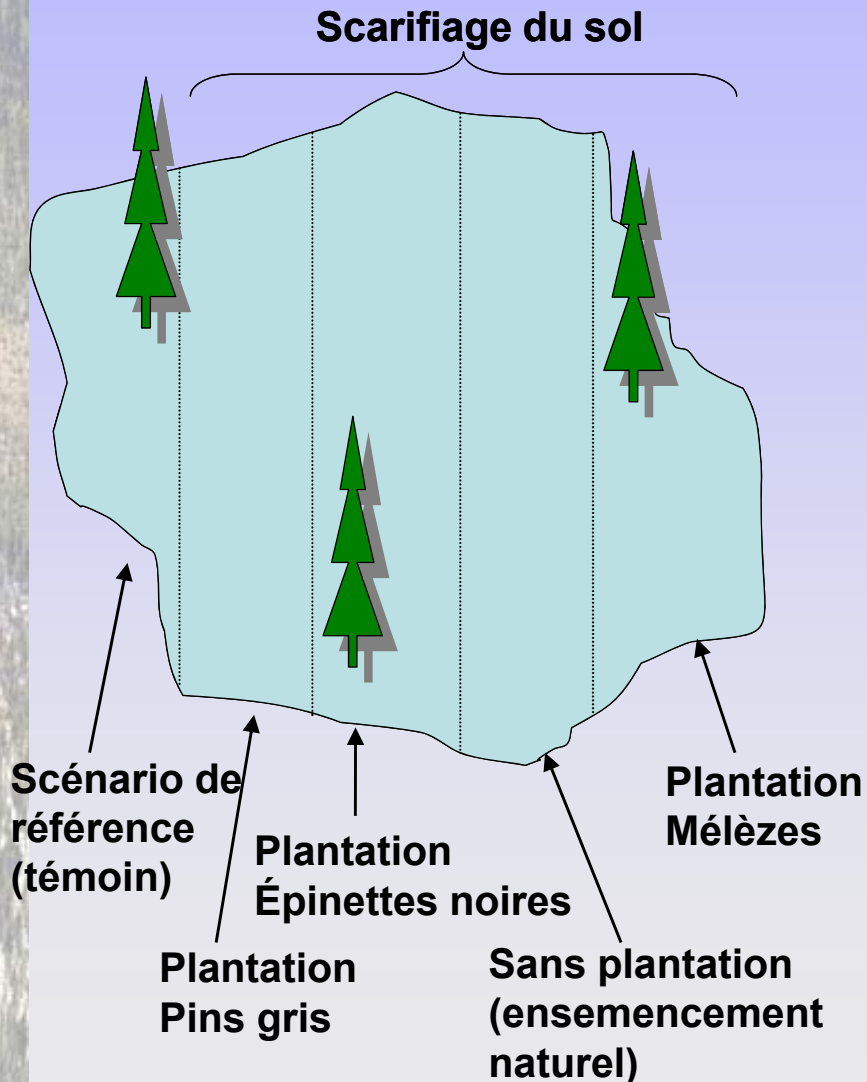
Comptabilisation du C dans Carbone boréal

1. Contexte climatique
2. Réduction et atténuation
3. Travaux de recherche
4. **Carbone boréal**

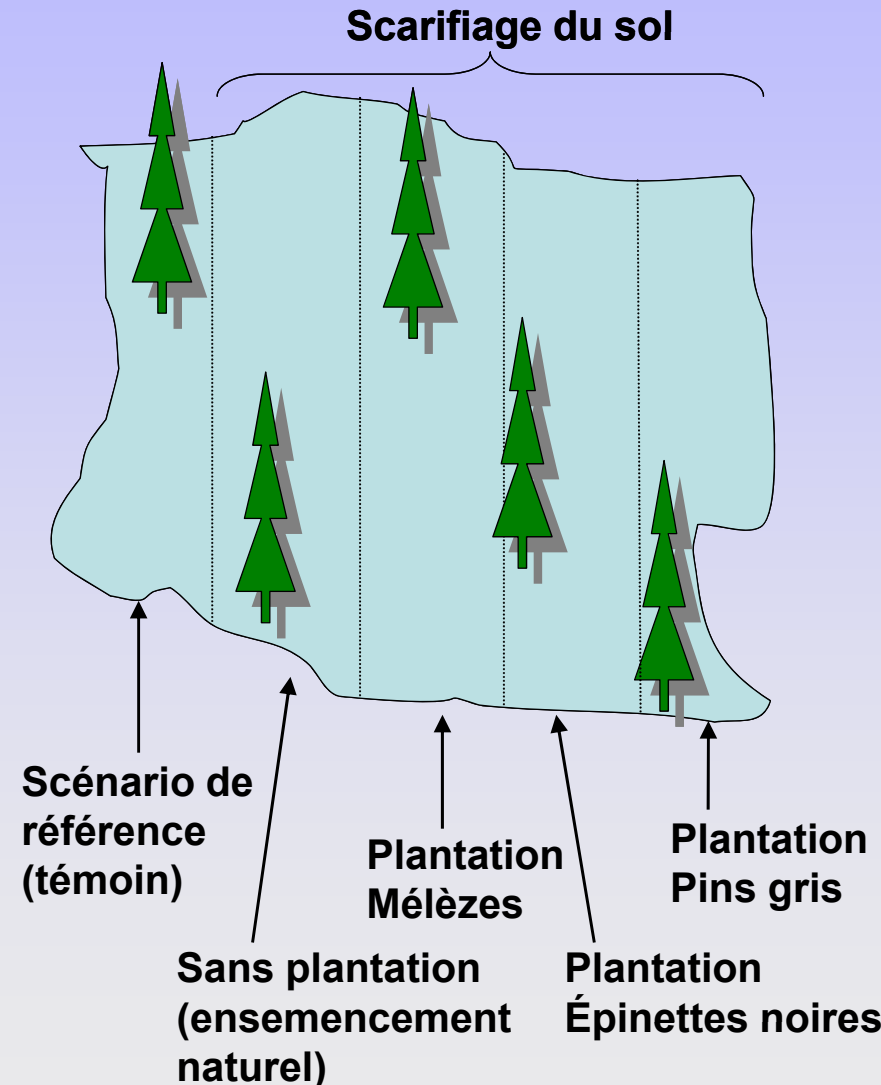
- Taux nominal de 140 kg de CO₂ par arbre après 70 ans, basé sur les estimations de Gaboury et al. (2009) pour l'épinette noire
- Validation-terrain de la séquestration pour valider les modèles et décliner les taux de séquestration selon diverses conditions de site, différentes essences, etc.
- Approche « par projet » où les 2 scénarios (plantation et de référence) sont comptabilisés

Exemple d'un bloc expérimental

**Terrain dénudé très ouvert
(<200 tiges / ha)**



**Terrain dénudé moins ouvert
(400-500 tiges / ha)**



1 bloc $\approx$ 20 hectares, à raison de 5 blocs (100 ha) par année X 3 ans

Programme de recherche prévu

- 1. Contexte climatique
- 2. Réduction et atténuation
- 3. Travaux de recherche
- 4. **Carbone boréal**

- **Capacité de support des TD pour le boisement**
 - Rendement (IQS)
 - Fertilité des sols
 - Résilience écologique (biodiversité végétale)
- **Permanence de la séquestration**
 - Impact et intégration des perturbations naturelles (feux, insectes, chablis)
- **Chaîne de création de valeur**
 - Alternatives d'utilisation de la biomasse (matériau bois et bois-énergie)
 - Coûts de la séquestration
 - Calculs des crédits de C
- **Enjeux socio-politiques**
 - Acceptabilité sociale
 - Vulnérabilité des communautés locales
 - Tenure des terres
 - Propriété des crédits de C
- **Autres impacts non-carboniques**
 - Biodiversité animale
 - Albedo
 - Régime hydrique

Approche adaptative et durable

Favoriser l'atténuation

- Augmentation de la séquestration et des stocks de C
- Séquestration à long terme
- Disponibilité accrue de matériau bois et de bioénergie
- Réduction des coûts

Augmenter l'adaptation

- Disponibilité accrue de forêts denses
- Protection contre les extrêmes climatiques
- Augmentation de la structure interne des peuplements
- Augmentation de la composition en espèces végétales

Projet de puits de C forestier

- Réduction de la vulnérabilité contre le feu et les insectes
- Diminution de la régression des pessières noires à mousses
- Protection du caribou forestier
- Pertes d'opportunité réduites (terres arables)
- Réduction de la vulnérabilité des systèmes socio-économiques locaux

Réduire la vulnérabilité

1.

2.

3.

4.

5.

6.

7.

8.

9.

10.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

21.

22.

23.

24.

25.

26.

27.

28.

29.

Questions??

