

# L'orniérage dans les CPRS et dans les autres coupes de régénération

Méthode de mesure utilisée en 2001

Alain Schreiber, technicien de la faune  
Jean-Pierre Jetté, ingénieur forestier  
Isabelle Auger, statisticienne, M.Sc.

**Ministère des Ressources naturelles  
Direction de l'environnement forestier**

Québec, juin 2002

DEF-0201

**Diffusion :**

Direction des communications  
Ministère des Ressources naturelles  
5700, 4<sup>e</sup> Avenue Ouest, bureau B-302  
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1  
Téléphone : (418) 627-8600 ou 1 866 CITOYEN  
1 866 248-6936  
Télécopieur : (418) 643-0720  
Adresse de courriel : [service.citoyen@mrn.gouv.qc.ca](mailto:service.citoyen@mrn.gouv.qc.ca)  
Site Internet : [www.mrn.gouv.qc.ca](http://www.mrn.gouv.qc.ca)

©Gouvernement du Québec  
Ministère des Ressources naturelles, 2002  
Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2002  
ISBN : 2-550-39561-1

Code de diffusion : 2002-3085

# Table des matières

---

Introduction .....	1
1. Objectif.....	3
2. Stratégie d'échantillonnage.....	5
a) Dans l'ensemble du Québec .....	5
b) Dans l'unité de gestion.....	6
3. Photo-interprétation .....	7
a) Détermination des limites d'une assiette de coupe.....	7
b) Évaluation du taux d'orniérage d'une assiette de coupe .....	7
4. Échantillonnage sur le terrain .....	11
a) Sélection des assiettes de coupe à visiter .....	11
b) Plan d'échantillonnage.....	11
c) Prise de données sur le terrain.....	13
d) Validation des superficies des zones orniérées de façon systématique.....	14
5. Autre scénario d'évaluation .....	15
6. Compilation des résultats.....	17
a) Répartition des assiettes de coupe.....	17
b) Pourcentage moyen d'orniérage des assiettes de coupe .....	20
c) Nombre des zones orniérées de façon systématique ayant plus d'un hectare .....	22
Conclusion .....	23
Annexe 1 Grille de photo-interprétation .....	25
Annexe 2 Grille de plan d'échantillonnage.....	29
Annexe 3 Formulaire de prise de données.....	33
Bibliographie .....	37

## Liste des tableaux

---

Tableau 1	Exemple du fichier de compilation des résultats de photo-interprétation.....	8
Tableau 2	Objectifs de répartition des assiettes de coupe à visiter par classe de taux d'orniérage.....	11
Tableau 3	Critères de profondeur des ornières .....	13

## Liste des figures

---

Figure 1	Degré d'orniérage dans les unités de gestion entre 1997 et 1998.....	5
Figure 2	Schéma de photo-interprétation d'une assiette de coupe.....	9
Figure 3	Exemple de couverture systématique au moyen d'une grille .....	12
Figure 4	Mesure de la profondeur d'une ornière.....	13
Figure 5	Processus de compilation des résultats .....	18
Figure 6	Représentation graphique de la distribution des assiettes de coupe avec leur intervalle de confiance .....	20
Figure 7	Résultats de la classification des assiettes de coupe par rapport au seuil de 20 %.....	21
Figure 8	Pourcentage moyen d'orniérage avec intervalle de confiance.....	22

## Introduction

---

Lorsque la circulation de la machinerie lourde dans les milieux forestiers humides engendre la formation d'un trop grand nombre d'ornières, la capacité productive des sols peut être affectée. De plus, lorsque les ornières sont situées en pente, les risques d'érosion et de transport de sédiment dans le réseau hydrique augmentent avec la fréquence de l'orniérage. Étant donné que la conservation des sols et de l'eau ainsi que le maintien de la productivité des écosystèmes forestiers sont des critères de l'aménagement forestier durable (CCMF, 2000), le ministère des Ressources naturelles (MRN) du Québec a retenu l'orniérage comme un des indicateurs de perturbation physique du sol (MRN, 2001).

Dès 1994, dans la Stratégie de protection des forêts, il avait été déterminé que les sols forestiers humides constituent un milieu forestier fragile. Des travaux ont donc été entrepris afin que la question de leur protection soit bien documentée et que soit mise au point une méthode d'évaluation de l'orniérage dans les CPRS (Cartier, 1997). Un projet pilote a ensuite été réalisé dans le Nord-Ouest québécois, en 1997, afin de rendre opérationnelle cette méthode et d'évaluer la fréquence de l'orniérage dans cette région (Schreiber et Jetté, 1998). En 1998, le MRN a entrepris un suivi dans le but d'obtenir une vue d'ensemble, à l'échelle provinciale, de la situation dans les coupes de régénération<sup>1</sup>. Ces travaux ont permis de dresser un premier bilan de la situation (Schreiber et autres, 2000) et d'évaluer, au moyen d'un bulletin remis à chaque compagnie par le MRN, la performance individuelle des bénéficiaires de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF). De plus, pour résoudre les problèmes d'orniérage, le MRN est à mettre en place un mécanisme de gestion par objectifs. Celui-ci obligerait les bénéficiaires de CAAF à atteindre des objectifs de performance dans la protection des sols, tout en disposant d'une certaine marge de manœuvre dans le choix des moyens pour y parvenir.

Tout d'abord, le suivi comprend une évaluation du taux d'orniérage de chaque assiette de coupe obtenue à l'aide de photographies aériennes. Cette étape permet d'évaluer, à faible coût, le degré de perturbation de toutes les superficies récoltées durant une année. Par la suite, lorsque cette étape révèle des problèmes d'orniérage fréquents, une validation des résultats sur le terrain, dans un certain nombre d'assiettes de coupe choisies au hasard, est entreprise. Finalement, on compile les résultats et on traite, sur le plan statistique, les données acquises autant par la photo-interprétation que sur le terrain. Cette dernière étape permet d'obtenir une répartition des assiettes de coupe par classe de perturbation, un pourcentage moyen d'orniérage et une évaluation de la dimension des zones orniérées de façon systématique.

Le présent document décrit les méthodes utilisées, à chacune des étapes du suivi, soit la photo-interprétation, la prise de données sur le terrain ainsi que la compilation et le traitement statistique. Cette méthode de mesure permet d'évaluer le degré d'orniérage dans les coupes de régénération où le couvert est absent après coupe (CPRS, CB, CPE finale). En effet, comme les ornières doivent être visibles sur la photographie aérienne, cette méthode ne peut être utilisée dans les coupes partielles telles les coupes de jardinage. Actuellement, ces coupes ne font pas l'objet d'un suivi, car peu de problèmes d'orniérage y ont été observés jusqu'à maintenant. Cela s'explique, d'une part, par le fait que les peuplements qui font l'objet d'une coupe de jardinage sont habituellement bien drainés et, d'autre part, par le fait que la densité du réseau de sentiers de débardage est plus faible. Étant donné l'impact potentiel de l'orniérage sur le système racinaire des arbres résiduels dans ce type de coupe, le MRN devra, ultérieurement, faire une évaluation plus complète de la situation.

---

1. Coupe de régénération : tout enlèvement d'arbres destiné à provoquer la régénération ou à favoriser la régénération déjà présente. La coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), la coupe progressive d'ensemencement (CPE), la coupe avec réserve de semenciers (CRS) et la coupe par bandes (CB) sont des coupes de régénération (MRN, 1998).

# 1. Objectif

---

Le suivi entrepris par le MRN depuis 1998 a pour objectif d'évaluer, pour chaque bénéficiaire, le degré de perturbation du sol par les ornières dans les parterres de coupe de régénération. Pour y parvenir, il faut déterminer la proportion des assiettes de coupe qui ont subi de l'orniérage au point d'affecter leur productivité à long terme. Ce seuil est considéré comme ayant été atteint lorsque 20 p. 100 de la longueur du réseau de sentiers d'une assiette de coupe présente des ornières de plus de 4 m de long sur plus de 20 cm de profondeur (Jetté et autres, en préparation).

Dans un premier temps, la méthode permet d'estimer le taux d'orniérage de chacune des assiettes de coupe. Le taux d'orniérage correspond à la proportion de la longueur du réseau de sentiers d'abattage et de débardage ayant subi de l'orniérage. Par la suite, il s'agit de répartir l'ensemble des assiettes de coupe dans les classes de perturbation suivantes :

- **Assiettes de coupe peu ou non perturbées** : assiettes où le taux d'orniérage est statistiquement inférieur à 20 p. 100 ;
- **Assiettes de coupe très perturbées** : assiettes où le taux d'orniérage est statistiquement supérieur à 20 p. 100 ;
- **Assiettes de coupe moyennement perturbées (cas limites)** : assiettes qui ne peuvent être classées avec certitude dans l'un ou l'autre des groupes précédents. Il s'agit d'assiettes de coupe pour lesquelles l'intervalle de confiance autour du taux d'orniérage recoupe le seuil de 20 p. 100.

Au cours de l'interprétation des résultats, il est essentiel de tenir compte du fait que l'objectif du suivi n'est pas de mesurer, de façon précise, le taux d'orniérage pour chacune des assiettes de coupe, mais bien d'évaluer le pourcentage des assiettes de coupe dans chaque classe de perturbation pour l'ensemble des coupes de régénération. Le suivi fournit un outil de gestion fiable qui permet au MRN de mesurer le degré d'orniérage dans chaque aire commune et de fixer des objectifs de protection des sols.

## 2. Stratégie d'échantillonnage

### a) Dans l'ensemble du Québec

À la suite de l'évaluation de la situation réalisée en 2000, les unités de gestion ont été classées en trois catégories selon le degré d'orniérage, soit élevé, modéré ou faible (Figure 1). Les unités dont le degré est modéré et élevé font l'objet d'un suivi aux deux ans, couvrant une année de coupe. Un suivi pourrait également être fait si, entre-temps, des problèmes importants étaient détectés. Ce suivi est fait par le personnel de la région ; il nécessite une photo-interprétation et une validation sur le terrain.

Pour les unités de gestion dont le degré d'orniérage est faible, un suivi est effectué tous les cinq ans et couvre une année de coupe sur deux. Il est fait par le personnel de la Direction de l'environnement forestier. Un suivi sur le terrain est réalisé seulement si un degré d'orniérage suffisant est détecté.

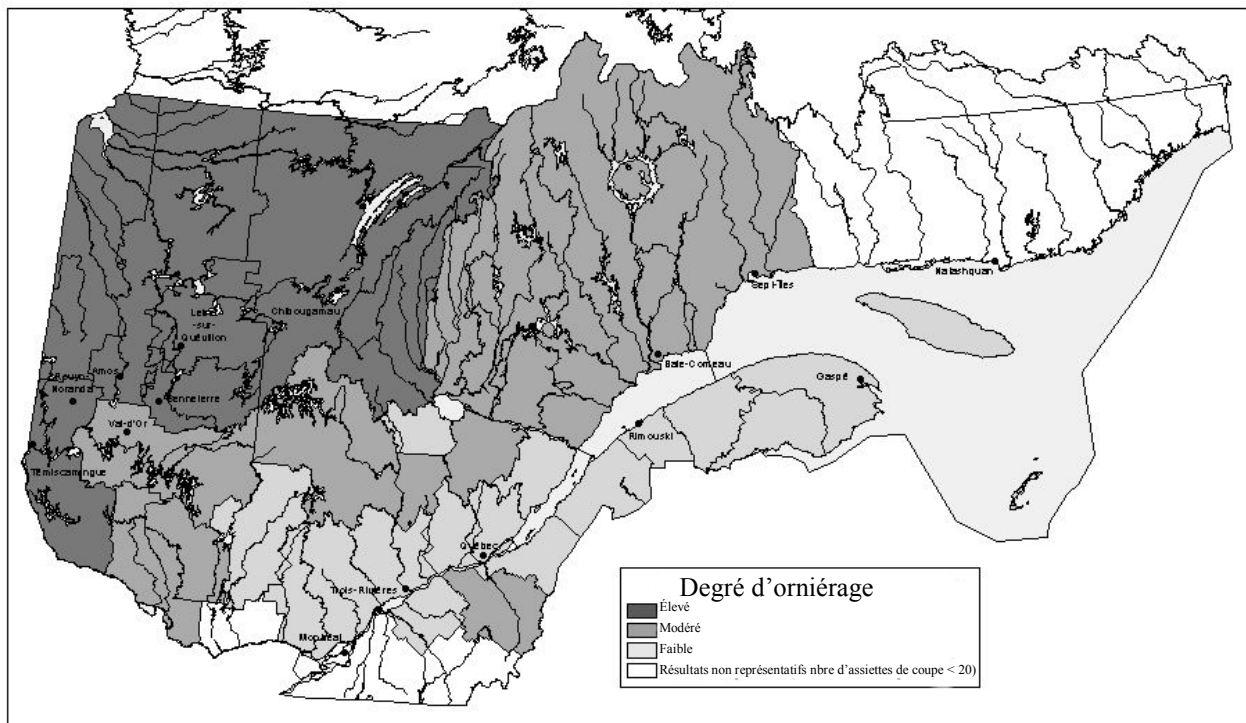


Figure 1 Degré d'orniérage dans les unités de gestion entre 1997 et 1998

## b) Dans l'unité de gestion

Comme il a été mentionné précédemment, les efforts de suivi à l'échelle de l'unité de gestion sont modulés en fonction du degré des perturbations subies. Dans un premier temps, la **photo-interprétation** sert à tracer le portrait de chacune des assiettes de coupe des bénéficiaires de CAAF. Cette étape permet de vérifier, à faible coût, le degré des perturbations dans l'ensemble des coupes et d'évaluer si des contrôles supplémentaires seront nécessaires pour valider les résultats obtenus.

Lorsque l'examen des photographies aériennes indique que les problèmes d'orniérage sont peu fréquents, la précision des résultats obtenus par la photo-interprétation se révèle suffisante pour affirmer que le degré de perturbation est peu préoccupant dans cette unité de gestion. Les problèmes sont considérés comme peu fréquents lorsque moins de 10 p. 100 des assiettes de coupe d'une unité de gestion présentent des perturbations notables<sup>2</sup>. Lorsque plus de 10 p. 100 des assiettes de coupe sont perturbées, le degré de perturbation paraît suffisamment important pour nécessiter une **validation sur le terrain** des résultats de la photo-interprétation. Cette validation permet de traiter sur le plan statistique l'ensemble des données, en vue d'obtenir des résultats dont le degré de certitude est suffisant et à partir desquels la performance des bénéficiaires sera évaluée.

---

2. Nous considérons que les perturbations sont notables quand le taux d'orniérage mesuré au moment de la photo-interprétation est supérieur à 10 p. 100.



### 3. Photo-interprétation

---

La photo-interprétation a pour buts d'évaluer les perturbations de l'ensemble des assiettes de coupe et de cibler celles qui nécessitent une validation des résultats.

Le personnel chargé de la photo-interprétation doit posséder une bonne acuité visuelle et travailler avec minutie. En effet, la précision et la constance durant cette première étape déterminent, en grande partie, la qualité des résultats finaux. La méthode d'évaluation s'applique aux photographies aériennes dont l'échelle est de 1/15 000. Sur les photographies, les ornières sont repérées au moyen d'un stéréoscope.

#### a) Détermination des limites d'une assiette de coupe

L'unité sur laquelle le taux d'orniérage est évalué est l'assiette de coupe. L'assiette de coupe est définie comme une aire de coupe d'un seul tenant comprise dans les limites de séparateurs. Selon les modalités actuelles de coupe au Québec, la superficie des assiettes de coupe varie de 1 ha à 150 ha. Pour ne pas donner un poids trop important aux petites aires de coupe, les assiettes de moins de 5 ha sont regroupées avec les assiettes adjacentes pour former une unité d'échantillonnage.

Depuis 2001, la bande de 40 mètres de chaque côté des chemins d'hiver et d'été est incluse dans les superficies faisant l'objet de la photo-interprétation.

#### b) Évaluation du taux d'orniérage d'une assiette de coupe

Sur les parterres de coupe, deux principaux types d'ornières peuvent être observés : les ornières humides contenant de l'eau et les ornières sèches n'en contenant pas. Parce que les ornières sèches situées en pente peuvent engendrer des problèmes d'érosion, elles sont incluses dans le taux d'orniérage ; cependant, il est plus difficile de les détecter au cours de la photo-interprétation. On reconnaît les ornières (ornières > 4 m) par la présence d'un trait net sur la photographie aérienne. Habituellement, ce trait est foncé lorsqu'il s'agit d'une ornière humide et, plus pâle, lorsqu'il s'agit d'une ornière sèche. Un apprentissage est nécessaire pour apprendre à reconnaître les ornières sur une photographie aérienne.

Un coup d'œil permet de classer facilement les assiettes de coupe en deux catégories :

- *Catégorie A – Les assiettes de coupe peu perturbées.* De façon évidente, ces assiettes sont peu perturbées. Aucune ornière n'est visible ou très peu de sentiers présentent des ornières (moins de 5 p. 100 de la longueur du réseau de débardage) ;
- *Catégorie B – Les assiettes de coupe à vérifier.* De nombreuses ornières sont facilement visibles. Ces assiettes requièrent une photo-interprétation plus détaillée (calcul du taux d'orniérage). Certaines d'entre elles feront l'objet d'une visite sur le terrain.

Le taux d'orniérage du réseau de sentiers de débardage de chaque assiette de coupe classée dans la catégorie B est mesuré à l'aide d'une grille composée de cercles de 1 mm de diamètre qui est superposée à la photographie aérienne (Annexe 1). Dans les limites de l'assiette de coupe, on évalue le nombre de cercles à l'intérieur desquels on peut voir des ornières. Le taux d'orniérage est calculé en divisant le nombre de cercles où les ornières sont présentes par le nombre total de cercles.

$$\text{Taux d'orniérage d'une assiette de coupe} = \frac{n^{bre} \text{ de cercles avec les ornières}}{n^{bre} \text{ total de cercles de l'assiette de coupe}} \times 100 \%$$

Un exemple de compilation des résultats, telle qu'elle a été effectuée en 2001, est présenté dans le tableau 1. Les ornières sèches et les ornières humides sont compilées séparément au moment de la photo-interprétation. Le suivi sur le terrain permettra de vérifier la précision obtenue au cours de la photo-interprétation pour chaque type d'ornière et de dénombrer les phénomènes d'érosion associés à une fréquence élevée d'ornières en pente.

- Ornières humides

Pour les ornières humides, la compilation des résultats vise non seulement à évaluer le taux d'orniérage, mais également à évaluer la dimension des zones orniérées de façon systématique. Par « zone orniérée de façon systématique », on entend une « zone d'un seul tenant dont 90 p. 100 des sentiers sont orniérés » (Figure 2). Une telle observation correspond, le plus souvent, à la présence d'une cuvette humide sur le terrain. Pour évaluer la dimension des zones orniérées de façon systématique, on entoure les cercles qui font partie d'une même zone orniérée. Par la suite, on dénombre les différents regroupements de cercles (cercle seul, groupes de deux, de trois, etc.). Le total de chaque groupe est inscrit dans le fichier informatique sur la ligne correspondant au secteur et dans la colonne correspondant au type de regroupement, dans la section « N<sup>bre</sup> de groupes de n cercles » (Tableau 1). Pour les regroupements de 10 cercles et plus, le nombre réel de cercles est noté dans les colonnes : a ou b. Une fois l'opération terminée, le fichier informatique calculera automatiquement le nombre total de cercles avec ornières humides.

- Ornières sèches

Pour les ornières sèches, la compilation des résultats vise à évaluer seulement le taux d'orniérage. En utilisant un symbole différent (par exemple, un X au lieu d'un trait), on repère les ornières sèches en même temps que les ornières humides. Le nombre de cercles avec ornière sèche est inscrit dans la colonne correspondante du fichier de photo-interprétation.

**Tableau 1 Exemple du fichier de compilation des résultats de photo-interprétation**

		Compagnie: Compagnie 1	Aire com. 08610	Saison 2000-2001	IDENTIFICATION													POURCENTAGE %			Classe finale	REMARQUES			
Région MICT	Compagnie :	Aire commune	Feuille	Identification de l'assiette de coupe	Super RAIF	Nbre cercles Total	Ornières humides (seulement)										Total de cercles humides	Total de cercles sèches	Om. humides	Om. sèches			Om. totales		
							Nbre de groupes de n cercles																		
							a	b	9	8	7	6	5	4	3	2	1								
1	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-14-1-340	110									1	2	3	11	0	10,0%	0,0%	10,0%			
2	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-14-2-341	230				2					1	2	7	28	4	12,2%	1,7%	13,9%			
3	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-14-3-342	315			1						1		1	13	0	4,1%	0,0%	4,1%			
4	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-15-1-121	145											0	0	12	0,0%	8,3%	8,3%			
5	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-15-2-122	205	22							1	3	3	5	47	0	22,9%	0,0%	22,9%			
6	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-15-3-123	280											0	0	8	0,0%	2,9%	2,9%			
7	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01123-15-4-124	170			2	3	1	1		4	6	4	78	0	45,9%	0,0%	45,9%				
8	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-44-1-140	215									1	3	3	17	0	7,9%	0,0%	7,9%			
9	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-44-2-141	225			1						1		4	16	2	7,1%	0,9%	8,0%			
10	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-44-3-142	335											0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%			
11	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-45-1-143	280							1					5	0	1,8%	0,0%	1,8%			
12	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-45-2-144	170				2		4		5	7	3	66	10	38,8%	5,9%	44,7%				
13	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-45-3-145	115								5	2	4	28	0	24,3%	0,0%	24,3%				
14	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-47-1-187	85									1	2	32	42	0	49,4%	0,0%	49,4%			
15	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01221-47-2-188	75				1						4	5	21	5	28,0%	6,7%	34,7%			
16	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-145-1-11	340							3		5	9	39	0	11,5%	0,0%	11,5%				
17	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-145-2-12	445	32			1	1		4		4	6	8	99	0	22,2%	0,0%	22,2%			
18	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-145-3-13	225									3	4	5	12	52	3	23,1%	1,3%	24,4%		
19	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-145-4-14	195							8		7	4	6	75	2	38,5%	1,0%	39,5%			
20	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-146-1-23	340											0	0	1	0,0%	0,3%	0,3%			
21	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-146-2-24	130				1		1		2	3	7	31	0	23,8%	0,0%	23,8%				
22	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01198-146-3-25	1												0	0	0,0%	0,0%	0,0%			
23	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01230-44-1-453	35												0	0	0,0%	0,0%	0,0%			
24	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01230-44-2-454	54												0	0	0,0%	0,0%	0,0%			
25	08	Compagnie 1	08610	32K11NE	Q01230-44-3-455	1												0	0	0,0%	0,0%	0,0%			

2 regroupements de 9 cercles ou 1,8 ha (5 cercles/ha)

Voir figure 2 pour exemple de photo-interprétation de l'assiette Q01221-44-2-141

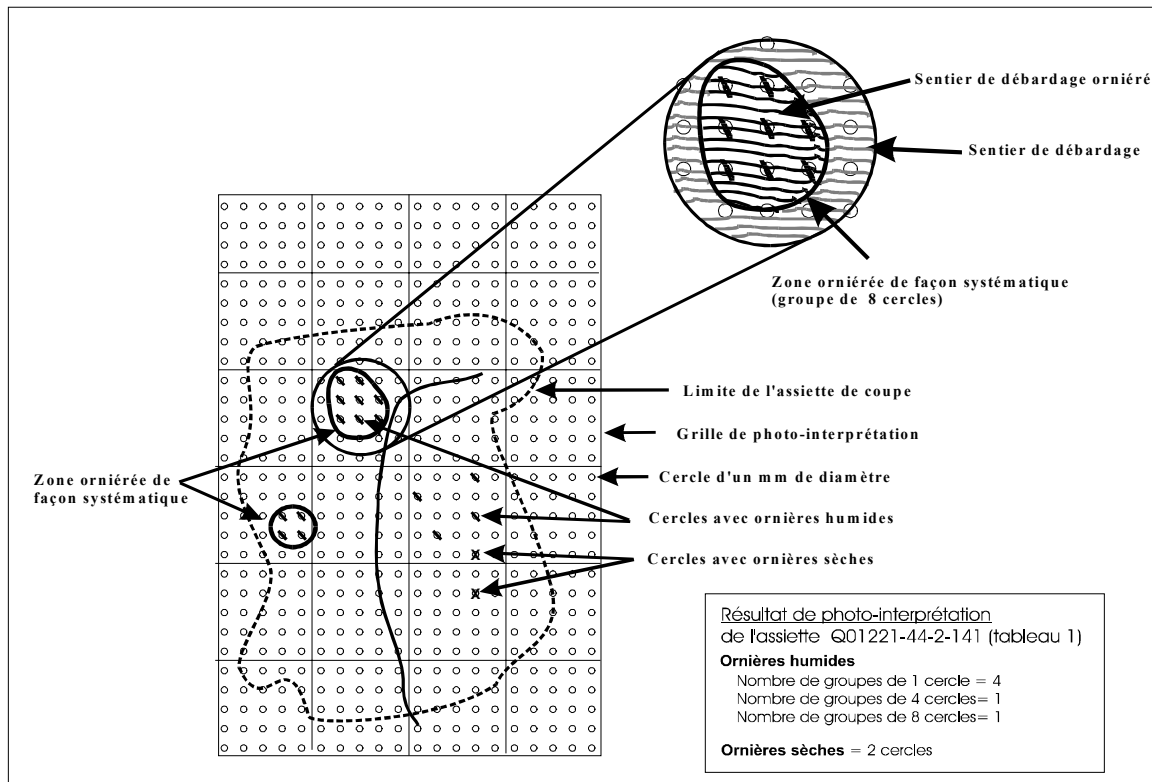


Figure 2 Schéma de photo-interprétation d'une assiette de coupe

## 4. Échantillonnage sur le terrain

---

### a) Sélection des assiettes de coupe à visiter

Dix assiettes de coupe par unité de gestion feront l'objet d'un contrôle sur le terrain. Pour les besoins du traitement statistique des données, les assiettes de coupe sont choisies au hasard parmi celles dont le taux d'orniérage est compris entre 5 p. 100 et 40 p. 100.

La sélection des assiettes de coupe doit se faire selon certains critères. Tout d'abord, bien que l'on puisse éliminer certains secteurs difficilement accessibles, il est important de ne pas retenir uniquement ceux dont l'accès est facile ou ceux qui sont peu éloignés. Les assiettes de coupe à visiter doivent être réparties entre les détenteurs de CAAF, proportionnellement à leur nombre respectif d'assiettes de coupe orniérées de 5 p. 100 à 40 p. 100. La sélection des secteurs à visiter doit aussi se faire proportionnellement à la répartition géographique des assiettes de coupe orniérées (de 5 p. 100 à 40 p. 100) dans l'unité de gestion. De plus, le nombre de secteurs sélectionnés doit respecter la répartition visée par classe de perturbation présentée dans le tableau 2.

**Tableau 2 Objectifs de répartition des assiettes de coupe à visiter par classe de taux d'orniérage**

% d'orniérage	Nombre de secteurs
$5 \leq \text{et} < 20$	4
$20 \leq \text{et} < 30$	3
$30 \leq \text{et} \leq 40$	3
Total	10

### b) Plan d'échantillonnage

Une fois les assiettes de coupe sélectionnées, il faut préparer un plan d'échantillonnage pour faciliter la prise de données et les déplacements sur le terrain. Le plan doit inclure un dispositif systématique comprenant entre 55 et 70 points d'échantillonnage répartis sur l'assiette de coupe (Figure 3). Cette méthode s'inspire des travaux de Geist et autres (1990) et de Curran et Thompson (1991).

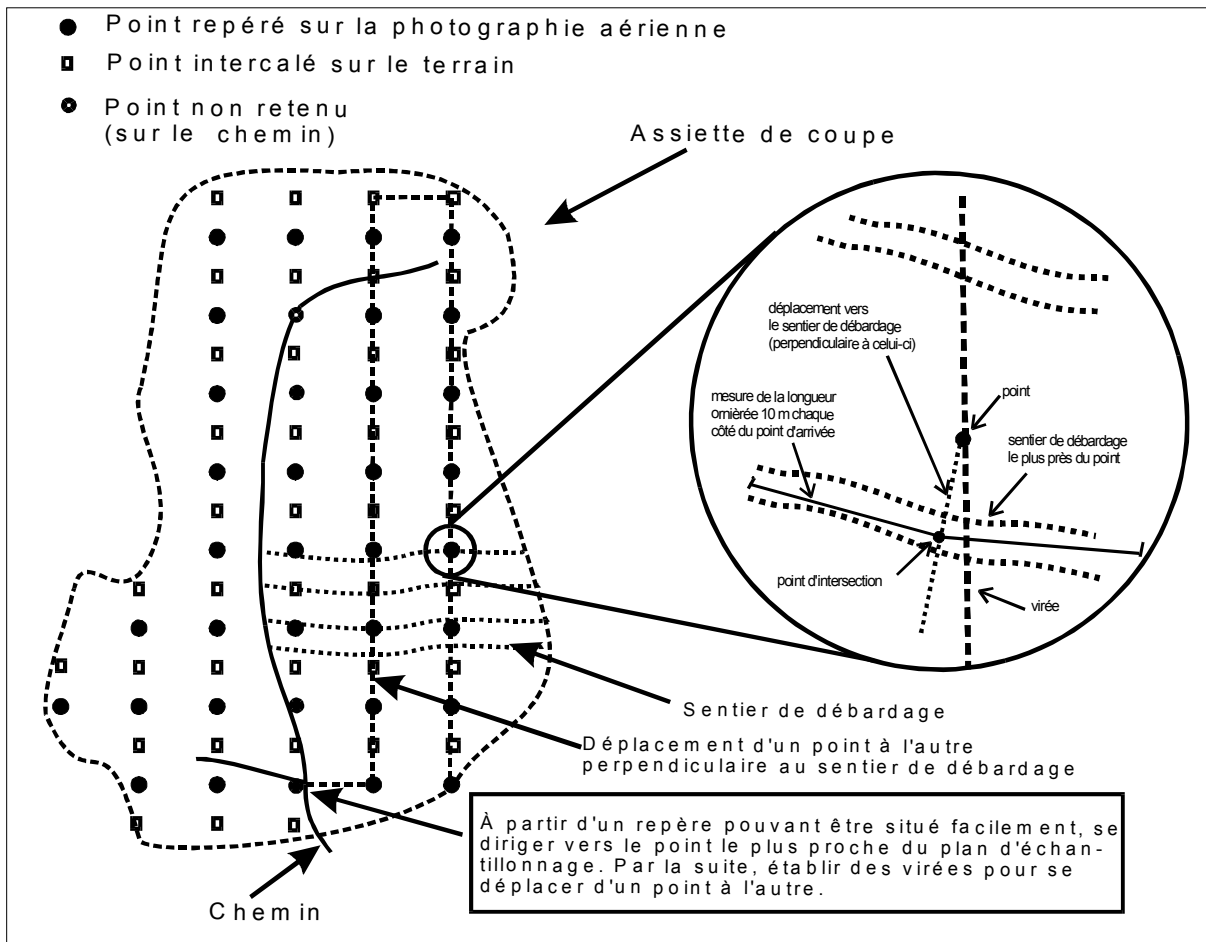


Figure 3 Exemple de couverture systématique au moyen d'une grille

Pour réaliser ce plan, on utilise une grille de points transparente (voir exemple à l'annexe 2) que l'on place sur la photographie aérienne. La grille est choisie en fonction de la superficie de l'assiette de coupe évaluée. La dimension du quadrillage correspond à l'équidistance calculée (l'échelle étant de 1/15 000 pour la photographie aérienne) à l'aide de la formule suivante (arrondie à cinq mètres près) :

$$\text{Équidistance (m)} = \sqrt{\frac{\text{superficie de l'assiette de coupe (ha)} \times 10\,000}{35 \text{ (nombre de points de départ)}}$$

On s'assure qu'entre 28 et 35 points sont situés dans l'assiette de coupe. Dans le cas contraire, on utilise une grille de dimension supérieure ou inférieure, selon le cas. Sur le terrain, d'autres points seront ajoutés entre ceux déjà repérés sur la photographie, de façon à obtenir entre 55 et 70 points d'échantillonnage.

### c) Prise de données sur le terrain

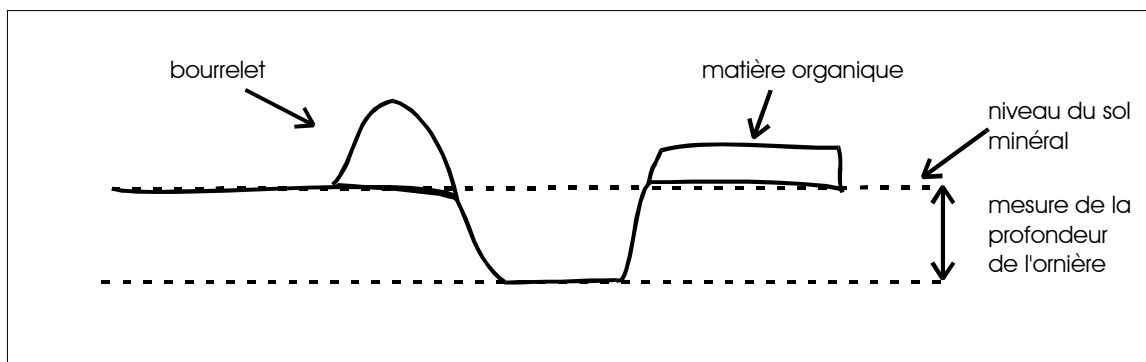
La personne qui prend les données sur le terrain (l'évaluateur) localise les points à l'aide d'une boussole et d'un mesureur à fil perdu (topofil). Dans un premier temps, l'évaluateur se dirige, à partir d'un repère facilement identifiable sur la photographie (par exemple, un chemin), vers le point le plus proche localisé sur le plan d'échantillonnage. Il se déplace ensuite d'un point à l'autre du plan en effectuant des virées. Ce faisant, il intercale un point entre ceux déjà repérés sur le plan pour parvenir au nombre requis de points.

À partir de chacun des points qu'il localise sur le terrain, l'évaluateur se dirige directement vers le sentier de débardage le plus près, de façon à le croiser perpendiculairement (Figure 3). Les données suivantes sont alors récoltées, puis notées sur le formulaire présenté à l'annexe 3.

Dans les dix mètres de chaque côté du point d'intersection avec le sentier, la *longueur de sentier présentant des ornières dans l'une ou l'autre des traces de machinerie* est mesurée, et ce, sur toute la largeur du sentier. Pour être retenues, les ornières doivent mesurer au moins quatre mètres de long et être suffisamment profondes pour perturber l'écoulement de l'eau. Les critères de profondeur des ornières sont énoncés dans le tableau 3 et illustrés par la figure 4. Sur le formulaire (Annexe 3), les mesures sont inscrites dans la section intitulée « humide », lorsque les ornières contiennent de l'eau, et dans la section « sèche », lorsqu'elles n'en contiennent pas. À partir de la compilation des ornières humides et sèches, la *validation* de la photo-interprétation est effectuée, ce qui permet d'obtenir le *taux d'orniérage* global pour l'assiette de coupe.

**Tableau 3 Critères de profondeur des ornières**

Type de sol	Critère
Organique	Tapis végétal déchiré ou ornière plus profonde que le seuil d'enracinement
Minéral	Profondeur de l'ornière > 20 cm à partir du début du sol minéral ou plus profonde que le seuil d'enracinement



**Figure 4 Mesure de la profondeur des ornières**

Lorsqu'un point d'échantillonnage se trouve en bordure de la coupe, l'évaluateur ne le déplace pas. Il n'évalue que les ornières présentes dans la coupe et note la longueur réelle du sentier où la donnée a été prise. Le même raisonnement s'applique pour les points en bordure du chemin.

#### d) Validation des superficies des zones orniérées de façon systématique

Pour chaque groupe de 10 assiettes de coupe retenues pour la validation du taux d'orniérage, on sélectionne 10 zones orniérées dont les dimensions varient entre 0,6 ha et 4 ha, tout en les répartissant entre ces limites. Pour chacune de ces zones, les étapes suivantes doivent être franchies.

Au moment de la préparation du plan d'échantillonnage, on trace directement le pourtour de la zone sur la photographie aérienne et on calcule sa superficie au planimètre. Sur le terrain, on vérifie les limites de la zone orniérée en suivant le pourtour et en délimitant cette zone au moyen d'un ruban forestier. On mesure sa superficie en utilisant un GPS. Simultanément, on vérifie si le pourtour tracé sur la photographie aérienne est valide. Si les observations sur le terrain modifient, de façon significative, la dimension de la zone, on note les nouvelles limites sur la photographie, et on justifie les modifications sur le formulaire.

## 5. Autre scénario d'évaluation

---

Comme on l'a vu précédemment, la méthode décrite dans le présent document se déroule en deux étapes : la photo-interprétation d'abord, la validation des résultats sur le terrain ensuite. Ce scénario est le plus simple et le moins coûteux pour ce qui est des ressources humaines nécessaires. Ces deux outils peuvent, cependant, être utilisés de façon différente selon les circonstances et les contraintes opérationnelles.

En effet, bien que ce scénario facilite la sélection des assiettes de coupe à vérifier sur le terrain, cette façon de procéder peut entraîner des contraintes opérationnelles occasionnées par la disponibilité des photographies aériennes. Pour contourner cette difficulté, le suivi sur le terrain peut commencer avant l'étape de la photo-interprétation. Le choix des assiettes de coupe se fait alors selon les critères énoncés précédemment (voir la *section 4a*) et parmi les secteurs qui, à première vue sur le terrain, semblent avoir un taux d'orniérage entre 5 p. 100 et 40 p. 100. Par contre, cette façon de faire occasionne des frais supplémentaires significatifs. En effet, la sélection des assiettes de coupe à visiter est beaucoup plus longue et les secteurs choisis peuvent se situer en dehors des limites fixées par la méthode pour la sélection des secteurs de terrain (de 5 p. 100 à 40 p. 100 de perturbation).



## 6. Compilation des résultats

---

La compilation des résultats de la photo-interprétation et des données recueillies sur le terrain vise à obtenir, pour chaque bénéficiaire :

- une ***répartition des assiettes de coupe*** par classe de perturbation (peu perturbées, très perturbées et moyennement perturbées [cas limites]) ;
- un ***pourcentage moyen d'orniérage*** de l'ensemble des assiettes de coupe ;
- un ***nombre de zones orniérées de façon systématique ayant plus d'un hectare***.

Notez que ces trois éléments font partie du bulletin annuel de performance remis par le MRN à chaque bénéficiaire de CAAF ayant fait l'objet d'un suivi.

### a) Répartition des assiettes de coupe

Dans une unité de gestion, lorsque les perturbations sont peu fréquentes ou absentes, c'est-à-dire lorsque moins de 10 p. 100 des assiettes de coupe ont un taux d'orniérage notable, les résultats obtenus par la photo-interprétation se révèlent suffisamment précis pour servir d'indicateur. Les données obtenues sont alors compilées sans traitement supplémentaire.

Par contre, lorsque les problèmes sont plus fréquents, une évaluation plus poussée des performances des compagnies en cause s'impose. Les assiettes de coupe orniérées font alors l'objet d'un échantillonnage sur le terrain, ce qui permettra d'établir une droite de régression entre les données de la photo-interprétation et celles obtenues sur le terrain. En transformant chaque donnée de photo-interprétation en une valeur de taux d'orniérage sur le terrain, la droite de régression permet de corriger, en partie, l'erreur qui s'est glissée au moment de la photo-interprétation.

Afin de limiter l'envergure du suivi sur le terrain, on part de l'hypothèse voulant que toutes les compagnies d'une même unité de gestion aient la même droite de régression, c'est-à-dire que les photographies sont interprétées de la même façon d'une compagnie à l'autre. De cette manière, une seule régression, établie à partir d'un minimum de dix assiettes de coupe évaluées sur le terrain, est utilisée pour chaque unité de gestion. Notons que, si cette hypothèse se révèle inexacte, la répartition des assiettes par classe de perturbation est faussée puisqu'elle s'appuie sur des valeurs prédites et des plages d'incertitude provenant de la droite de régression. Compte tenu des frais liés au suivi systématique de chaque compagnie sur le terrain, la précision obtenue avec une régression basée sur dix données de terrain pour chaque unité de gestion paraît suffisante pour nous permettre de gérer adéquatement le problème de l'orniérage.

Le processus utilisé pour obtenir la répartition des secteurs par classe de perturbation comprend trois étapes (Figure 5).

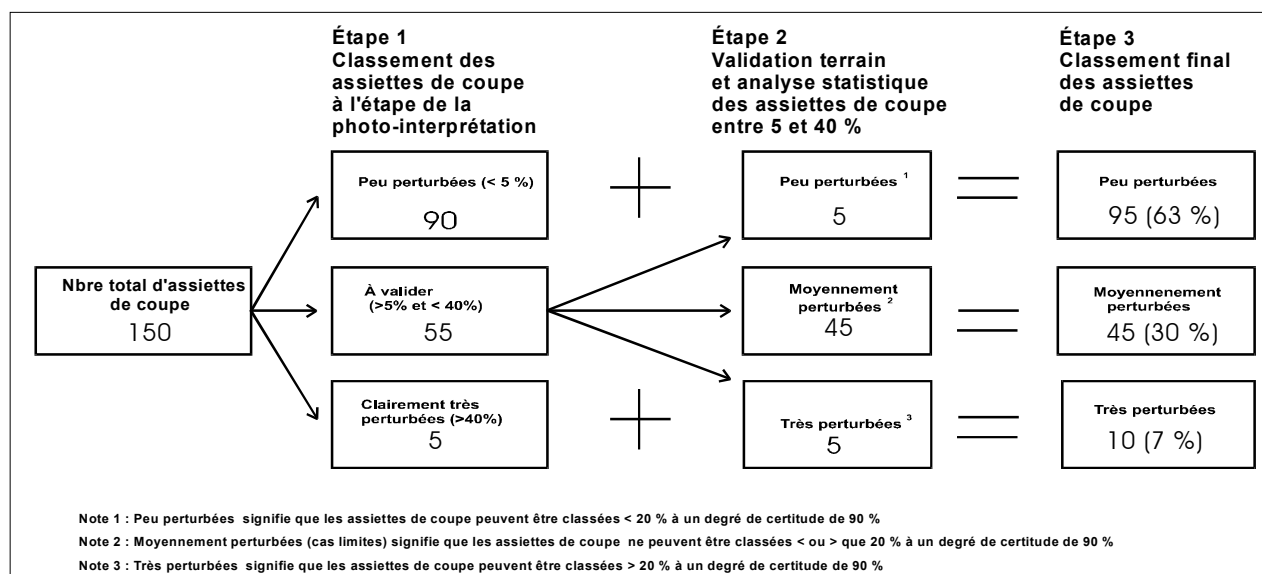


Figure 5 Processus de compilation des résultats

À la **première étape**, le pourcentage d'ornières de chaque assiette de coupe d'une compagnie est estimé à partir de photographies aériennes. Les assiettes de coupe dont la photo-interprétation donne un taux d'orniérage inférieur à 5 p. 100 sont automatiquement considérées comme « peu perturbées » et celles dont le taux est supérieur à 40 p. 100 sont classées parmi les « très perturbées ».

La **deuxième étape** consiste à déterminer, à l'aide d'une analyse statistique, le nombre d'assiettes de coupe peu et très perturbées parmi celles dont le pourcentage d'orniérage a été évalué entre 5 p. 100 et 40 p. 100 lors de la photo-interprétation, en se basant sur les mesures prises sur le terrain.

Tout d'abord, il est souhaitable de limiter le nombre d'assiettes de coupe à traiter individuellement à l'aide d'une analyse statistique. Par conséquent, un taux d'orniérage à la photo-interprétation garantissant à 90 p. 100 un taux sur le terrain inférieur à 20 p. 100, est déterminé, ce qui permettra, sans analyse plus poussée, de classer certaines assiettes comme peu perturbées. La détermination d'un tel seuil est faite avec une régression sur les valeurs mesurées sur le terrain en fonction des estimations des photographies aériennes. Les observations de toutes les unités de gestion sont mises en commun afin d'obtenir un nombre assez élevé d'observations avec un taux d'orniérage à la photo inférieur à 20 p. 100. Ensuite, un intervalle de confiance (unilatéral) à 90 p. 100 est construit autour de la valeur photo fournie par l'équation de régression, lorsqu'un taux d'orniérage terrain de 20 p. 100 est mis dans l'équation (régression inverse, Draper et Smith [1981]). En 2001 par exemple, un taux d'orniérage de 12 p. 100 obtenu au cours de la photo-interprétation nous assure, à 90 p. 100, que le taux sur le terrain est réellement inférieur à 20 p. 100 et que l'assiette de coupe peut être classée comme étant peu perturbée.

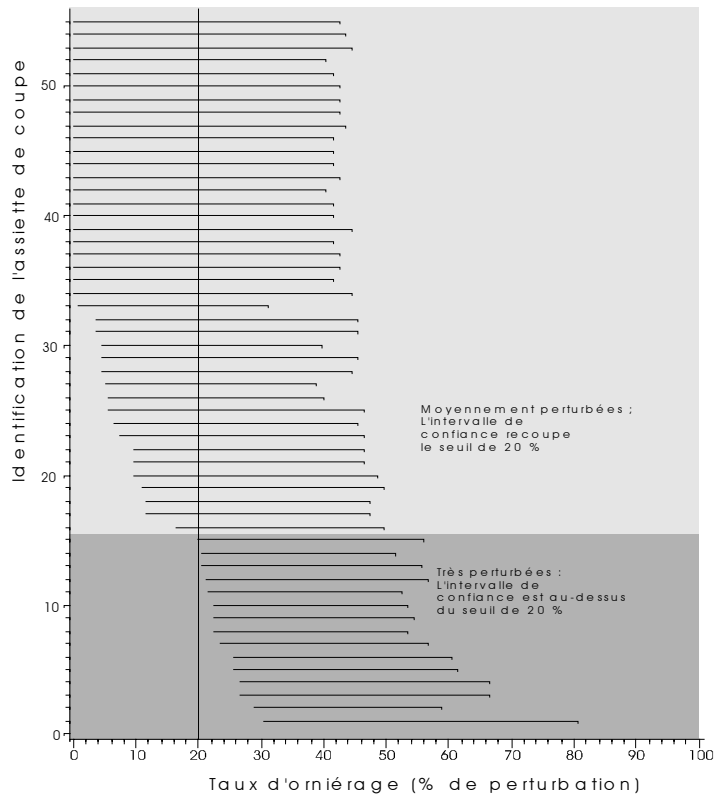
Ensuite, une analyse par unité de gestion est faite pour déterminer le nombre d'assiettes de coupe peu et très perturbées parmi celles avec un taux d'orniérage à la photo s'échelonnant entre 5 p. 100 et 40 p. 100. Une droite de régression est établie entre les taux d'orniérage estimés au cours de la photo-interprétation et ceux mesurés sur le terrain (à partir des ornières sèches et humides). À l'aide de l'équation de régression, le taux d'orniérage sur le terrain est prédit pour chacune des assiettes de coupe photo-interprétées. Afin de classer l'assiette de coupe dans la catégorie peu ou très perturbée, il faut déterminer si le taux d'orniérage prédit est inférieur ou supérieur au seuil de 20 p. 100, en tenant compte de l'incertitude autour de cette prédiction. Pour ce faire, le calcul des probabilités de respect et de non-respect du seuil de 20 p. 100 associées à chaque assiette de coupe est ensuite fait à l'aide de la

méthode du « bootstrap » (Efron, 1982). Cette dernière permet d'évaluer la plage d'incertitude associée à une valeur prédite tirée de la droite de régression de façon non paramétrique.

Puisque l'objectif est de prédire, avec un degré de confiance de 90 p. 100, le nombre d'assiettes de coupe d'un même bénéficiaire respectant le seuil de 20 p. 100, le degré de confiance obtenu sur le classement en peu ou en très perturbées doit être extrêmement élevé pour chacune d'elles. La méthode de Holm (Hancock et Klockars, 1996) détermine le degré de confiance associé à chaque assiette de coupe, et ce, à partir des probabilités de respect et de non-respect du seuil de conformité de 20 p. 100 de l'ensemble des assiettes de coupe, permettant de conserver un degré de confiance global de 90 p. 100. Ainsi, cette méthode fournit le seuil  $\alpha$  à utiliser pour chaque assiette de coupe afin de déterminer si le taux d'orniérage prédit est significativement inférieur ou supérieur à 20 p. 100. Un intervalle de confiance est ensuite déterminé pour chaque assiette de coupe en fonction du degré de confiance obtenu avec la méthode de Holm, et ce, de façon non paramétrique à partir de la distribution générée par le « bootstrap ». Une assiette de coupe sera « très probablement » peu ou non perturbée (ou très perturbée) lorsque la totalité de son intervalle de confiance se situe au-dessous (ou au-dessus) du seuil de conformité fixé à 20 p. 100. Dès qu'un intervalle de confiance comprend la valeur de 20 p. 100, on considère ce secteur comme étant incertain puisqu'on ne peut affirmer s'il est peu perturbé ou très perturbé. Ce secteur sera qualifié de moyennement perturbé (cas limite) car il présente un degré de perturbation se rapprochant de 20 p. 100.

La figure 6 donne un exemple de graphique utilisé pour classer les assiettes de coupe. Les intervalles de confiance des assiettes 1 à 15 sont clairement au-dessus du seuil de 20 p. 100 ; ces assiettes sont donc classées comme telles. Pour les assiettes s'échelonnant de 15 à 54, les intervalles de confiance recourent le seuil de 20 p. 100. Par conséquent, elles ne peuvent être classées de façon certaine au-dessous ou au-dessus du seuil de 20 p. 100 avec un degré de certitude de 90 p. 100. La largeur des intervalles de confiance présentés dans la figure 6 permet de visualiser le degré d'incertitude de chacune des assiettes de coupe.

**À la troisième et dernière étape**, les résultats des deux premières étapes sont compilés afin d'obtenir un résultat global pour la compagnie (Figure 5).



**Figure 6 Présentation graphique de la distribution des assiettes de coupe avec leur intervalle de confiance**

### b) Pourcentage moyen d'orniérage des assiettes de coupe

Ce deuxième élément est considéré comme un estimateur du pourcentage moyen d'orniérage des réseaux de sentiers de débardage sur l'ensemble des assiettes de coupe d'une compagnie.

Il s'agit d'un complément à la répartition des assiettes de coupe par classe de perturbation. Il a été mis au point dans le but d'évaluer l'amélioration des performances d'une compagnie d'une année à l'autre. En effet, l'intervalle de confiance obtenu autour du pourcentage moyen d'orniérage, permet d'évaluer plus facilement à court terme les variations de performance d'une compagnie.

Pour calculer le taux moyen d'une compagnie, on sépare les assiettes en deux groupes : celles dont le pourcentage d'ornières à la photo-interprétation est inférieur à 5 p. 100 ( $n_1$ ) et celles dont le pourcentage est supérieur à 5 p. 100 ( $n_2$ ). Dans le premier groupe, on considère que le pourcentage d'ornières est nul, leur moyenne est donc de 0. Dans le deuxième groupe, on prédit le pourcentage d'ornières de chaque assiette à partir de la régression de l'unité de gestion ; on fait ensuite la moyenne des valeurs prédites. Le taux moyen global de la compagnie correspond à la moyenne pondérée des deux groupes :

$$\bar{Y} = \frac{n_1 \bar{y}_1 + n_2 \bar{y}_2}{n_1 + n_2}$$

où  $n_i$  est le nombre d'observations dans le groupe  $i$  et  $\bar{y}_i$  est la moyenne des valeurs du groupe  $i$ .

La variance du taux moyen global d'une compagnie est calculée avec la formule suivante :

$$Var[\hat{Y}] = \left( \frac{n_2}{(n_1 + n_2)^2} \right) Var(\hat{Y}_2)$$

où  $Var(\hat{Y}_2)$  est la variance des valeurs prédites par la régression. Un intervalle de confiance à 90 p. 100 autour du taux moyen global est ensuite calculé à partir de cette variance.

Les figures 7 et 8 présentent, sous forme graphique, deux exemples de résultats obtenus pour chacun des éléments.

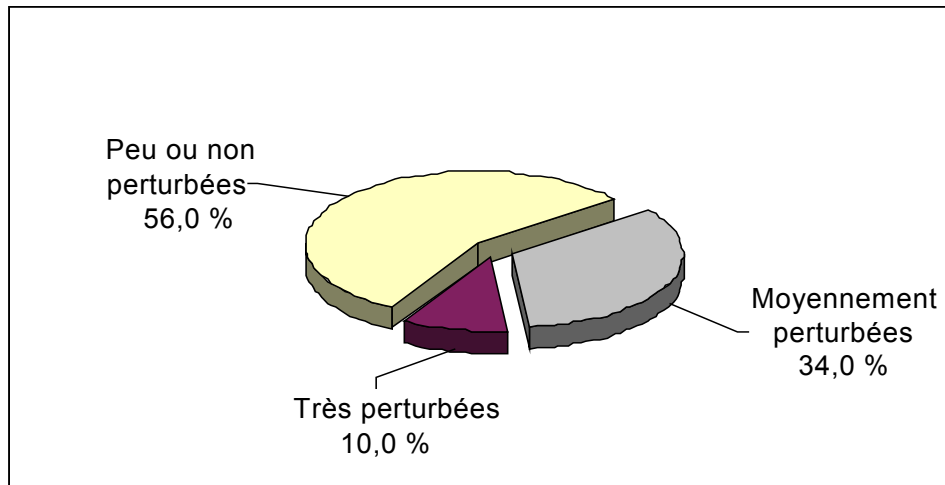


Figure 7 Résultats de la classification des assiettes de coupe par rapport au seuil de 20 %

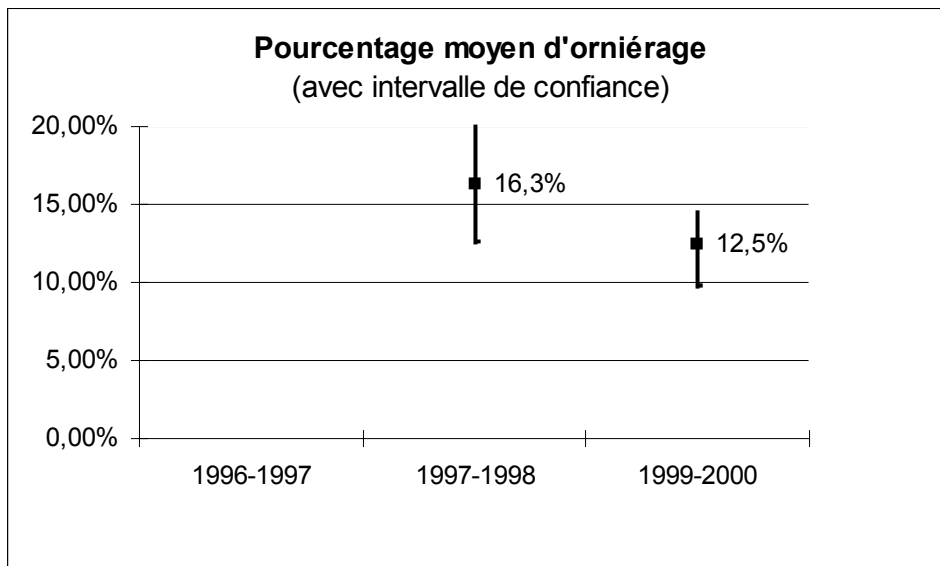


Figure 8 Pourcentage moyen d'orniérage avec intervalle de confiance

### c) Nombre de zones orniérées de façon systématique ayant plus d'un hectare

La méthode de mesure du nombre de zones orniérées de façon systématique ayant plus d'un hectare est actuellement en développement. Tout d'abord, la superficie des zones est estimée à partir des photographies aériennes seulement. Par la suite, une validation est faite avec les valeurs mesurées sur le terrain. Elle servira à déterminer quelle valeur mesurée au cours de la photo-interprétation assure une zone d'au moins un hectare sur le terrain. Cette opération sera effectuée par la méthode de la régression inverse, telle que la section 6a la présente.

## Conclusion

---

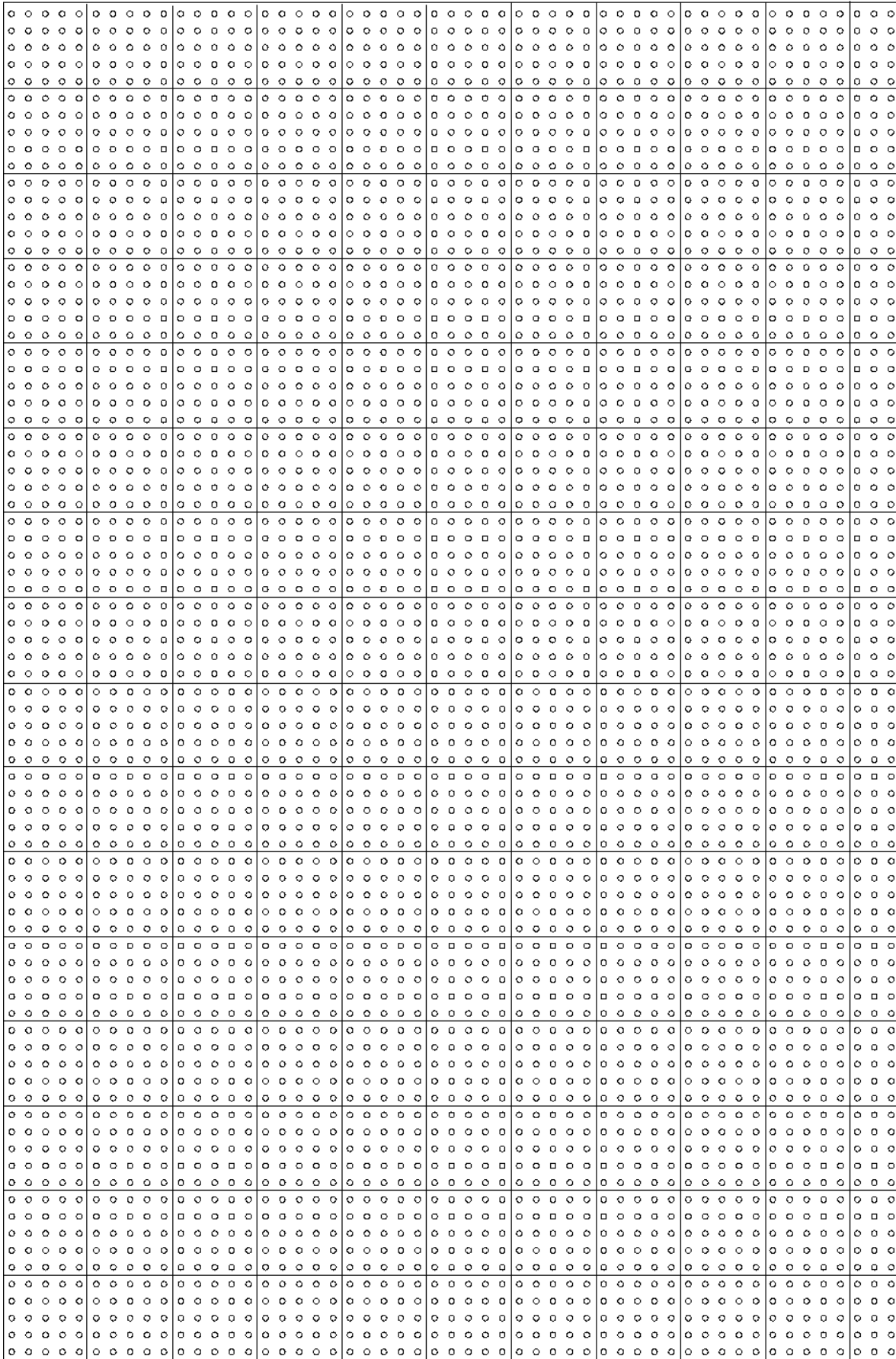
La vue d'ensemble obtenue avec la méthode de mesure décrite dans le présent document fournit un indicateur de performance fiable qui permet de gérer, à différentes échelles, le problème de l'orniérage. Grâce au suivi fait à partir de la photo-interprétation, il est possible de déterminer, à faible coût, les unités de gestion où les problèmes d'orniérage sont peu fréquents. Dans les unités de gestion, où les problèmes sont plus fréquents, un suivi sur le terrain permet d'obtenir des résultats plus précis, validés par une analyse statistique.

Depuis 1998, la méthode de mesure a été appliquée de façon opérationnelle sur l'ensemble des coupes de régénération telles que la CPRS, la CB et les CPE finales. Les résultats obtenus sont utilisés dans une approche de gestion par objectifs auprès des bénéficiaires de CAAF ; ce mode de gestion laisse aux industriels le choix des moyens pour résoudre les problèmes d'orniérage, tout en les obligeant à atteindre les objectifs fixés par le MRN.

## Annexe 1

### Grille de photo-interprétation





**Grille de photo-interprétation**

Distance entre les points : 45 m

Un carré = 25 points (15 mm \* 15 mm) ou 225 m \* 225 m = 50 625 m<sup>2</sup> = 5,06 ha

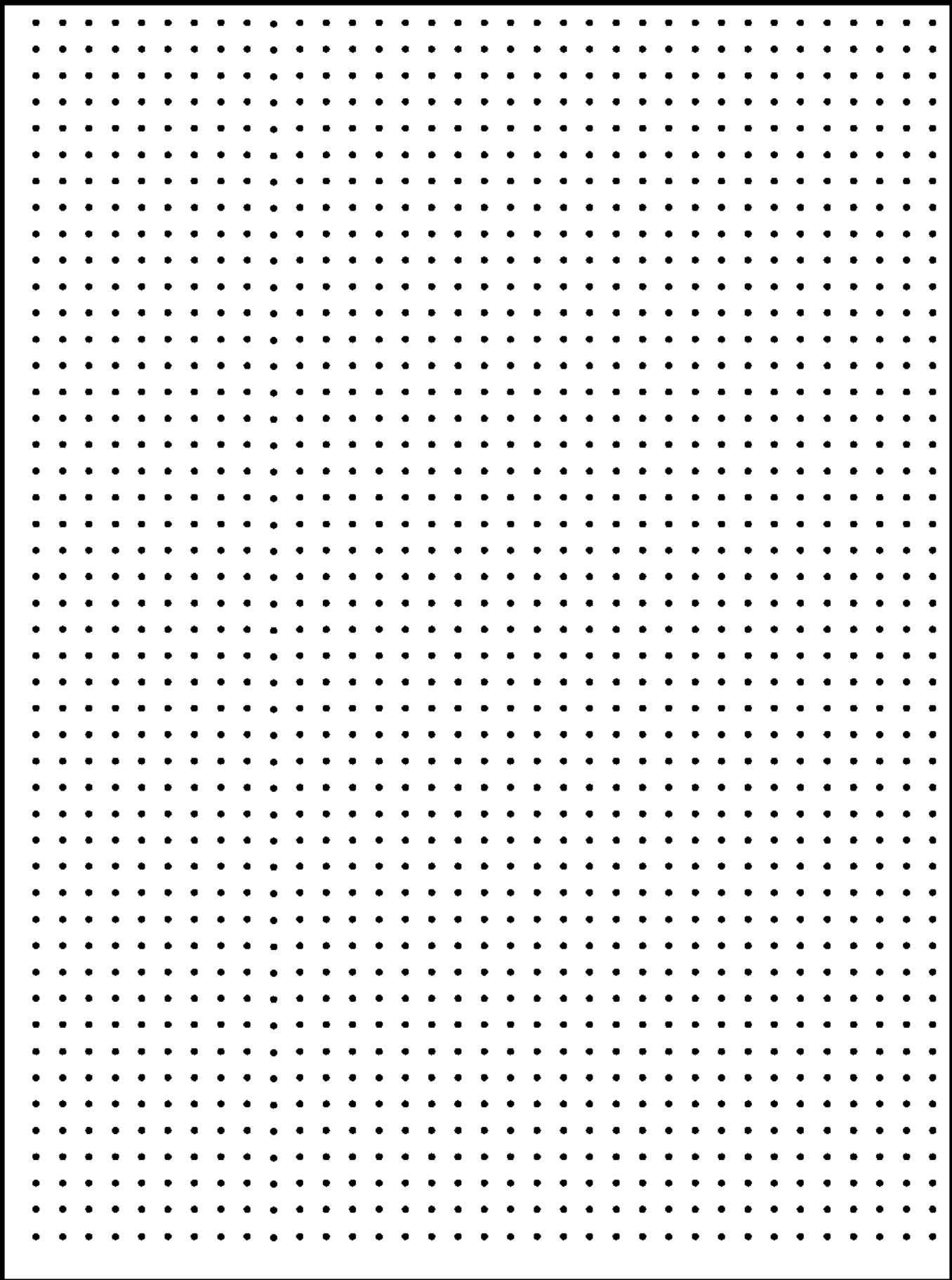
Un point = 5,06 ha / 25 = 0,2025 ha ou 5 points à l'hectare

## Annexe 2

### Grille de plan d'échantillonnage

Grille de plan d'échantillonnage Échelle : 1/15 000

Distance entre les parcelles : 75 m en ligne droite, 106 m en diagonale



## Annexe 3

### Formulaire de prise de données

AC \_\_\_\_\_ Obs: \_\_\_\_\_ Date visite : \_/ \_/ \_ . Durée prise de donnée : \_\_\_\_\_  
 Bénéficiaire : \_\_\_\_\_ N° assiette de coupe : \_\_\_\_\_ Feuillet : \_\_\_\_\_ N° photo : \_\_\_\_\_

# par	Humide								Sèche								Dépla. total
	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin			
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																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56																	
57																	
58																	
59																	
60																	
61																	
62																	

63																			
64																			
65																			
66																			
67																			
68																			
69																			
70																			
71																			
72																			
73																			
74																			
75																			
76																			
77																			
78																			
79																			
80																			

Données d'opération (si elles sont connues)

Procédé de récolte : _____	Type de machinerie : _____
Date d'opération (AA/MM) : ____ / ____	Couverture de neige : OUI ____ NON ____
Coupe sur sol gelé : OUI ____ NON ____	
Type de milieu :	
Principal Organique ____	Minéral humide ____
Secondaire Organique ____	Minéral sec ____
Minéral humide ____	Minéral sec ____
Dépôt de surface : <input type="checkbox"/> LACUSTRE (limon, argile) <input type="checkbox"/> TILL <input type="checkbox"/> ORGANIQUE (>40 cm) Classe de drainage (1-6) : ____	

Diagnostic de l'observateur

Y a-t-il des phénomènes particuliers qui expliquent les perturbations observées ? OUI ____ NON ____ Expliquez : _____
Y a-t-il présence de zone inondée sur le parterre de coupe ? OUI ____ NON ____
Y a-t-il présence de phénomène d'érosion sur le parterre de coupe ? OUI ____ NON ____
Si les phénomènes d'érosion correspondent à un des événements d'érosion suivants, notez le nombre d'observations
<input type="checkbox"/> Langues de sédiments situées à moins de 20 m d'un cours d'eau
Plus de 3 m <sup>3</sup> de matériel érodé situé à plus de 20 m d'un cours d'eau
<input type="checkbox"/> Rigoles d'érosion, sur le parterre de coupe, de plus de 50 cm de profondeur sur plus de 25 m de longueur
<input type="checkbox"/> Rigoles de plus de 1 m de profondeur sur 7 m de longueur
<input type="checkbox"/> Autres types de rigoles avec plus de 3 m <sup>3</sup> de matériel érodé
Ya-t-il des conditions rendant la photo-interprétation difficile ? OUI ____ NON ____
Expliquez : _____
Commentaires : _____

## Bibliographie

---

- CARTIER, P., 1997. *Les milieux humides forestiers : développement d'un indicateur environnemental et validation du guide de reconnaissance*, Unité de recherche et de développement forestiers de l'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 22 p.
- CCMF, 2000. *Critères et indicateurs de l'aménagement durable des forêts au Canada*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, 124 p.
- CURRAN, M. et S. THOMPSON, 1991. *Measuring Soil Disturbance Following Timber Harvesting*, Land Management Handbook, Field Guide Insert, BC, Ministry of Forest, 25 p.
- DRAPER, N. R. et H. SMITH, 1981. *Applied Regression Analysis*, New York, John Wiley and Sons, 709 p.
- EFRON, B., 1982. *The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans*, Philadelphie, Society for industrial and applied mathematics, 92 p.
- GEIST, J. M., R. T. MEURISSE et T. MAX, 1990. *Monitoring Soil Disturbance Following Timber Harvesting*, Land Management Handbook, Field Guide Insert, BC Ministry of Forest, 25 p.
- HANCOCK, G. R. et A. J. KLOCKARS, 1996. « The Quest for  $\infty$  Developments in Multiple Comparison Procedures in the Quarter Century Since Games (1971) », *Review of Educational Research*, 66 (3), p. 307-322.
- JETTÉ, J.-P., V. ROY et F. TROTTIER, (en préparation). *Guide des saines pratiques dans les milieux forestiers humides du Québec*, Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 1998. Manuel d'aménagement forestier 3<sup>e</sup> édition, Québec, gouvernement du Québec, 122 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 2001. *L'aménagement durable des forêts : Guide de référence*, Québec, gouvernement du Québec, 66 p.
- SCHREIBER, A. et J.-P. JETTÉ, 1998. *L'orniérage après coupe dans les milieux forestiers humides : le suivi au moyen d'un indicateur de perturbations physiques des sols*, Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 4 p.
- SCHREIBER, A., N. LAFONTAINE et J.-P. JETTÉ, 2000. *L'orniérage dans les coupes avec protection de la régénération et des sols : État de la situation au Québec et plan d'action*, Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 4 p.