

# Mixité des forêts de la Suisse

Propriétaire des données: Office fédéral de la statistique  
Section Géoinformation

Traitement: Office fédéral de la statistique  
Section Géoinformation

---

## Table des matières

Brève vue d'ensemble

Description des données raster (grilles, ang. grids)

Description des données

- 1 Situation de départ
- 2 Méthode de relevé
  - 2.1 Données de base
  - 2.2 Classifications
  - 2.3 Evaluation des résultats de classification
- 3 Le jeu de données d'une résolution de 25m (WMG25)
- 4 Le jeu de données d'une résolution de 100m (WMG100)
- 5 Complètement des données des statistiques de la superficie 1979/85 et 1992/97 par les données sur la mixité des forêts
- 6 Mise à jour
- 7 Possibilités d'applications

H.4.2



## BREVE VUE D'ENSEMBLE

### Méthode de relevé / de saisie:

- Après avoir corrigé 11 scènes Landsat TM aux niveaux géométrique et radiométrique, on a établi, lors d'une première étape de classification, une distinction entre les catégories "forêt" et "non-forêt". Lors d'une seconde étape, on a déterminé 4 catégories de mixité: "forêt de résineux", "forêt mixte à prédominance de résineux", "forêt mixte à prédominance de feuillus" et "forêt de feuillus".

### Littérature:

- BFS  
2000 Einsatz der Satellitenfernerkundung für die Bodennutzungsstatistik Methoden und Resultate eines Forschungsprojektes
- BFS  
2001 Die Bodennutzung der Schweiz Walddifferenzierung mit digitalen Satellitendaten Grundlagen und Ergebnisse

### Base du relevé:

- Scènes Landsat-5 TM

### Date du relevé des données de base: -

- 1990/92

### Zone de relevé:

- Suisse

### Structure des données (géométrie) dans GEOSTAT: -

- Données raster (mailles de 25m et de 100m)

### Complément / Mise à jour:

- Dépendant de la demande, de la disponibilité de données et de l'importance des changements présumés (voir chapitre 6).

### Obligation légale:

- Aucune

### Propriétaire des données:

- Office fédéral de la statistique

### Conditions pour la remise des données:

- Indication correcte du propriétaire des données sur les publications
- Voir sous <http://www.geostat.admin.ch>

### Mention des sources / des données de base:

- Mixité des forêts, OFS GEOSTAT

## LISTES DES CATÉGORIES DE MIXITÉ

**Covername/Layername: WMG25 et WMG100**

<b>Catégorie</b>	<b>Brève description</b>
0	non-forêt
1	forêt de résineux
2	forêt mixte à prédominance de résineux
3	forêt mixte à prédominance de feuillus
4	forêt de feuillus
9	absence de classification

**Covername/Layername: WMGAS85 et WMGAS97**

<b>Catégorie</b>	<b>Brève description</b>
0	non-forêt
1	forêt de résineux
2	forêt mixte à prédominance de résineux
3	forêt mixte à prédominance de feuillus
4	forêt de feuillus
8	surfaces forestières non boisées

## DESCRIPTION DES DONNEES

### 1 Situation de départ

Les statistiques de la superficie 1979/85 et 1992/97 fournissent des données fiables tant pour les surfaces boisées que pour l'évolution de l'utilisation du sol du fait d'une méthode de relevé identique et de points d'échantillonnage permanents. Elles renseignent sur la densité de boisement et sur une éventuelle utilisation secondaire agricole des forêts moyennant la distinction entre les catégories "forêt buissonnante", "afforestation" et "surface forestière dévastée".

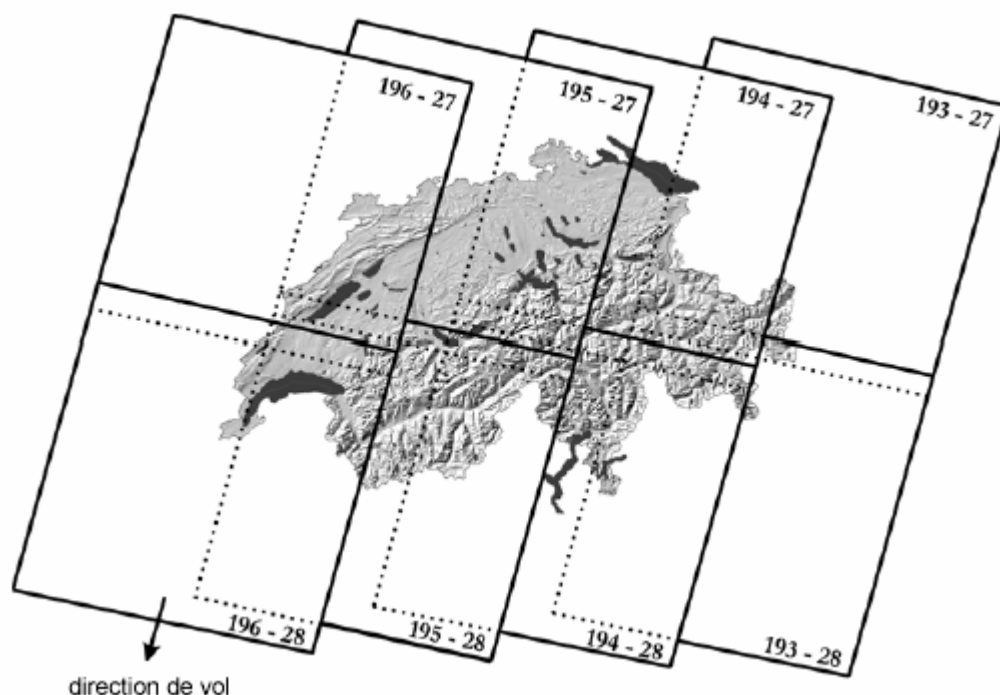
Une comparaison avec d'autres statistiques d'utilisation du sol européennes montre cependant que les surfaces boisées sont souvent classées en fonction de la mixité (forêt de résineux, forêt mixte, forêt de feuillus). Ces trois catégories de forêt figurent par exemple dans le "standard statistical information of landuse" de l'ECE (Economic Commission of Europe), dans les données relevées par l'Union Européenne ("CORINE Land Cover") ou encore dans les statistiques nationales d'utilisation du sol (Allemagne, France, etc.).

En 1996, l'Office fédéral de la statistique a lancé un projet de différenciation des types de forêt relevés dans la statistique de la superficie à l'aide de données satellites numériques. Ce projet avait pour but, d'une part, de créer une base de connaissances et d'expériences dans le domaine de la télédétection numérique et, de l'autre, d'enrichir la statistique de la superficie par des données statistiques fiables sur la distribution quantitative et géographique des forêts de feuillus, des forêts mixtes et des forêts de résineux. Pour répondre le mieux possible aux différents besoins des utilisateurs, on a en outre généré deux jeux de données suisses sur la base d'images satellites des années 1990-1992, dans lesquels la forêt a été répartie en "forêt de résineux", en "forêt mixte à prédominance de résineux", en "forêt mixte à prédominance de feuillus" et en "forêt de feuillus".

### 2 Méthode de relevé

#### 2.1 Données de base

Onze scènes Landsat-5 TM des années 1990-1992 constituaient les données de base. Les dates d'enregistrement se situent entre la mi-juillet et la mi-septembre.



Scènes TM	Date d'enregistrement	Nébulosité estimée sur le territoire suisse	Nombre de points de contrôle déterminés	Nombre de points de contrôle utilisés	Erreur moyenne de géocodage (RMS)
193-27	17.9.1992	-	58	20	23 m
194-27	7.8.1992	6%	72	52	24 m
194-27 (standard)	2.8.1990	8%	74	41	26 m
194-28	5.8.1991	5%	58	31	29 m
194-28 (standard)	7.8.1992	12%	28	24	23 m
195-27	9.8.1990	2%	61	43	31 m
195-27 (standard)	11.7.1991	20%	39	36	19 m
195-28	15.9.1992	4%	50	23	21 m
195-28 (standard)	9.8.1990	8%	31	30	19 m
196-27	5.8.1992	-	59	23	21 m
196-28	5.8.1992	-	52	17	22 m

*Par rapport aux scènes standard, les scènes non standard sont décalées de 30% vers le sud le long de la trace du satellite. Elles ont été commandées par le Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports (DDPS) pour constituer une mosaïque d'images satellites de la Suisse et peuvent être obtenues à des conditions spéciales auprès des archives nationales suisses, en passant par le NPOC (National Point of Contact, Office fédéral de topographie).*

Les zones scannées par le satellite Landsat-5 sont prédéfinies par sa trajectoire fixe et par son détecteur non inclinable. Ainsi, lorsqu'on achète un jeu d'image couvrant toute la Suisse, on dispose de différentes images couvrant les mêmes zones sans devoir acquérir plusieurs scènes d'un numéro donné. Les scènes sont d'abord

corrigées au moyen de points de contrôle et du modèle numérique d'altitudes DHM25 de l'Office fédéral de topographie. Puis on choisit des mailles de 25m x 25m pour rééchantillonner le tout. Enfin, on termine l'étape du prétraitement par une correction radiométrique.

Des informations plus détaillées sur le pré-traitement et les méthodes de classification utilisées figurent dans les ouvrages cités au point "Brève vue d'ensemble" (rubrique "Littérature").

## 2.2 Les classifications

Il a d'abord fallu numériser manuellement les pourtours des nuages et de leurs ombres afin d'éviter que ceux-ci ne faussent les résultats des classifications. Bien que la première série de huit scènes ait été complétée par trois scènes supplémentaires et que 90% de la Suisse ait finalement été couverte plusieurs fois, de petites surfaces restaient non classifiées. Ces surfaces totalisent 226 km<sup>2</sup> (0,5% de la surface de la Suisse), dont environ un quart est couvert de forêts selon la statistique de la superficie.

La première étape consistait à distinguer, au moyen des algorithmes dits de l'hyperboîte et du maximum de vraisemblance, la catégorie "forêt" de la catégorie "non-forêt" pour 26 régions de la Suisse. Les zones d'échantillonnage, nécessaires aux classifications du maximum de vraisemblance, ont été identifiées de visu sur les scènes Landsat-5 TM et affichées à l'écran en fausses couleurs. Les catégories 9 et 11 à 15 des surfaces boisées selon la statistique de la superficie 1992/97 ont servi de données de référence. Ensuite, on a déterminé pour chacune des régions la classification qui concordait le mieux avec les données de référence. Ces classifications optimales ont été combinées pour former une "grille de forêt" couvrant tout le territoire suisse, qui a été utilisée par la suite pour établir la grille de mixité WMG25.

La deuxième étape consistait à classer, pour les 11 scènes TM, la surface de la Suisse selon les quatre catégories suivantes: "forêt de résineux" (90-100% de résineux), "forêt mixte à prédominance de résineux" (50-90% de résineux), "forêt mixte à prédominance de feuillus" (10-50% de résineux) et "forêt de feuillus" (0-10% de résineux) en appliquant de nouveau les méthodes de classification de l'hyperboîte et du maximum de vraisemblance. Il est évident que la classification n'est pas pertinente pour la grande quantité des pixels de la catégorie "non-forêt". (C'est la raison pour laquelle le résultat intermédiaire constitué par la grille de mixité WMGCH n'est pas distribué.) La démarche choisie a cependant l'avantage de permettre un recouvrement avec d'autres masques de forêts. Des forêts de résineux et des forêts de feuillus ont été retenues à titre d'essai pour les zones d'échantillonnage. Les données de l'inventaire forestier suisse (IFS) 1982/86 ont servi de données de référence. Enfin, le jeu de données suisse a été optimisé par une approche régionale dans les zones couvertes par une seule scène et par une approche par pixel dans les autres zones.

## 2.3 Evaluation des résultats des classifications

La matrice de confusion et la précision globale (overall accuracy) sont souvent retenues pour évaluer les résultats des classifications. Les colonnes de la matrice de confusion correspondent aux données de référence, les lignes aux données des classifications. Les chiffres de la diagonale, marqués en caractères gras ci-dessous, donnent alors le nombre de pixels classés correctement par rapport aux données de référence. La précision globale est le nombre de pixels classés correctement divisé par le total des pixels classés.

Ci-dessous, la matrice de confusion, calculée à partir des 4'101'537 points de la statistique de la superficie au niveau de la Suisse, classés en "forêt" et en "non-forêt".

	Forêt selon la statistique de la super	Non-forêt selon la statistique de la superficie	Total
Forêt selon les classifications	<b>967'075</b>	167'959	1'135'034
Non-forêt selon les classifications	169'359	<b>2'797'144</b>	2'966'503
Total	1'136'434	2'965'103	4'101'537

Les données de référence provenaient de la statistique de la superficie 1992/97 dans la mesure où elles étaient disponibles au moment de la publication du tome 6 des résultats anticipés (environ 60% de la Suisse). Elles ont été complétées par les données de la statistique de la superficie 1979/85. **La précision globale est de 91.8%** selon la matrice de confusion. En comparaison avec d'autres études d'images satellites, ce résultat signifie une forte concordance entre les données de référence et la réalité au moment de l'enregistrement des images, car il faut tenir compte de quelques facteurs relativisant la concordance: les images satellites datent des années 1990 à 1992, tandis que les données de référence ont été enregistrées avec un décalage qui va jusqu'à 7 ans. Dans certaines régions, la surface boisée peut évoluer considérablement durant une telle période.

Par ailleurs, des imprécisions géométriques sont à l'origine de différences entre les données des classifications et les données de référence: un pixel de la lisière légèrement décalé risque d'être attribué différemment selon que les données proviennent de Landsat-5 TM ou de la statistique de la superficie. Enfin, une erreur de classification due à la présence d'ombres est malheureusement inévitable avec les méthodes actuelles. La comparaison avec la statistique de la superficie montre que plus de 20% des pixels des catégories "forêts buissonnantes" et "autres surfaces boisées" étaient classées en "forêts". Des pixels de cours d'eau et de biotopes humides étaient également attribués par erreur à la catégorie "forêt", à hauteur de 20%. En termes absolus, il manquait surtout de la "forêt normale" par rapport à la statistique de la superficie. En termes relatifs, il manquait, dans les données des classifications, 11% de "forêt normale", 30% de "forêt clairsemée" et 40% de "coins de forêt, petits bois" et de "forêt buissonnante".

L'inventaire forestier suisse (IFS) est mené conjointement par l'Institut fédéral de recherche Forêt, neige et paysage (FNP) et par la Direction fédérale des forêts de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Il consiste en un relevé périodique de l'état et de l'évolution de la forêt suisse. De nombreuses caractéristiques sont relevées pour tous les points d'intersection des coordonnées kilométriques (cartes nationales) qui sont situés en forêt. Une de ces caractéristiques est la "mixité des forêts". Le premier IFS a été réalisé pendant les années 1982-1986. Etant donné que cette période de relevé n'est pas trop décalée par rapport à la période des enregistrements des images Landsat-5 TM utilisées et que les données possèdent une distribution homogène dans toute la Suisse, l'inventaire a été utilisé en qualité d'échantillon de test pour les classifications de mixité. La matrice de confusion suivante permet d'évaluer la classification de mixité sur la base des 9007 points classés de l'IFS:



	Forêt de résineux	Forêt mixte à prédominance de résineux	Forêt mixte à prédominance de feuillus	Forêt de feuillus	Total
Forêt de résineux	<b>3443</b>	498	114	98	4153
Forêt mixte à prédominance de résineux	892	<b>667</b>	259	211	2029
Forêt mixte à prédominance de feuillus	270	380	<b>326</b>	479	1455
Forêt feuillus	76	108	236	<b>950</b>	1370
Total	4681	1653	935	1738	9007

La précision globale atteinte est de 59,8%. Cette valeur correspond à ce que nous pouvons attendre des données satellites et des possibilités de classification actuelles. Les données de l'IFS datent des années 1983-1985 et présentent donc un décalage d'au moins 5 ans par rapport aux dates d'enregistrement des images satellites. Une partie des différences s'expliquent là encore par des erreurs de géométrie. Il existe également une différence concernant les surfaces prises en compte pour déterminer la mixité des forêts: celles-ci mesurent 5 ares dans le cas de l'IFS, alors qu'un pixel des données classées correspond à 6¼ ares. Par ailleurs, les tons de gris des pixels classés ne reflètent pas seulement l'état des couronnes d'arbres, mais également les parties non couvertes du sol. Par conséquent, les ombres, surtout importantes dans le cas des peuplements clairsemés, réduisent les valeurs de réflexion et entraînent une surestimation des forêts de résineux. Il faut également tenir compte du fait que les pixels caractérisés par une mixité proche d'une limite de classe ont une plus forte probabilité d'être confondus avec une autre classe. Or, les pixels éloignés de plus d'une classe de la classe de mixité idéale représentent une petite part réduite du total (9.74%).

### 3 Le jeu de données d'une résolution de 25m (WMG25)

Les centres des pixels coïncident avec les points d'intersection des coordonnées de 25m des cartes nationales. Les pixels contiennent des valeurs si leurs centres se situent à l'intérieur des frontières nationales (état au 1<sup>er</sup> janvier 2000). L'attribution des pixels aux catégories "forêt" et "non-forêt" a été faite pour chacune des régions à partir de la classification qui présentait la plus grande précision globale par rapport à la statistique de la superficie. Ensuite, quelques pixels isolés classés "forêt" ont été attribués à la catégorie "non-forêt" lorsqu'ils se situaient dans un lac ou qu'ils se trouvaient loin de toute surface boisée selon la statistique de la superficie et les cartes-pixels. Enfin, on a réparti entre les différentes catégories de mixité les pixels classés "forêt".

### 4 Le jeu de données d'une résolution de 100m (WMG100)

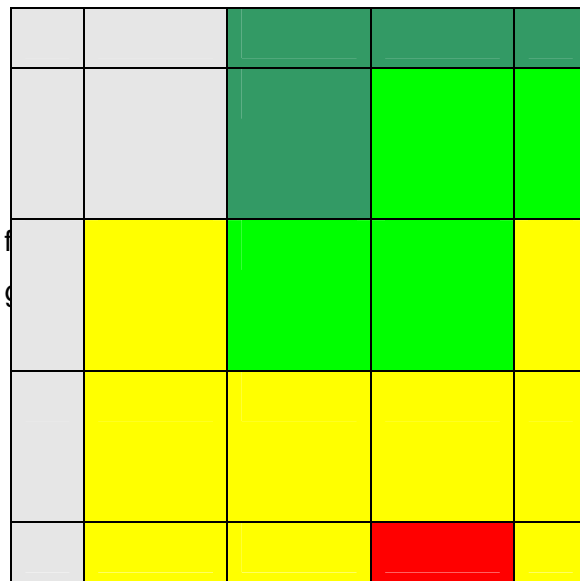
Les pixels de la grille WMG100 sont limités par les coordonnées de 100m des cartes nationales. Ils contiennent des valeurs si leurs centres se situent à l'intérieur des frontières nationales. La grille WMG100 a été obtenue par agrégation des pixels de la grille WMG25. La démarche comprenait plusieurs étapes: afin de faire coïncider les deux grilles, il fallait d'abord subdiviser les pixels de la grille WMG25 pour disposer de mailles de 12.5m. Chaque hectare contenait dès lors 64 nouveaux pixels qui servaient au calcul d'une valeur de la grille WMG100. Une valeur était attribuée au pixel de 100m à condition que plus de la moitié des pixels de 12.5m

présentât une classification valide (valeur différente de 9). Un pixel de 100m était attribué à la catégorie "forêt" si la moitié au moins des pixels classés de 12.5m étaient en zone de forêt. La mixité des pixels agrégés, classés en forêt, était calculée de la manière suivante: chacun des pixels de la grille WMG25 recevait d'abord une valeur qui indiquait la proportion des résineux. Les pixels classés "forêt de résineux" recevaient la valeur 1.0, la catégorie "forêt mixte à prédominance de résineux" obtenait une proportion de résineux de 0.7, la "forêt mixte à prédominance de feuillus" de 0.3 et la "forêt de feuillus" de 0.0. Les valeurs de proportion de résineux étaient ensuite pondérées par leurs surfaces respectives et agrégées au niveau des pixels de 100m par le calcul de la somme. La proportion moyenne de forêt de résineux ainsi obtenue permettait de déterminer la mixité du pixel de 100m de la manière suivante:

$m \geq 0.9$	Forêt de résineux
$0.9 > m \geq 0.5$	Forêt mixte à prédominance de résineux
$0.5 > m > 0.1$	Forêt mixte à prédominance de feuillus
$0.1 \geq m$	Forêt feuillus






Exemple:

Coordonnées de 100m



Un pixel de 100m est composé de 9 pixels entiers, de 12 demis-pixels et de 4 quarts de pixels de 25m.

← Coordonnées de 100m

		Pondération
	Forêt de résineux	1.0
	Forêt mixte à prédominance de résineux	0.7
	Forêt mixte à prédominance de feuillus	0.3
	Forêt de feuillus	0.0
	Non-forêt	

1) Décision forêt / non-forêt: 12.5 pixels de forêt – 3.5 pixels de non-forêt → **forêt**

2) Mixité:	Forêt de résineux	$2.25 * 1.0 = 2.250$
	Forêt mixte à prédominance de résineux	$3.50 * 0.7 = 2.450$
	Forêt mixte à prédominance de feuillus	$6.25 * 0.3 = 1.875$
	Forêt de feuillus	$0.50 * 0.0 = \underline{0.000}$
		<u>6.575</u>

$\underline{m} = 6.575 : 12.5 = 0.526$  → **Forêt mixte à prédominance de résineux**

## 5 Complètement des données de la statistique de la superficie 1979/85 et 1992/97 par les données sur la mixité des forêts

Outre les deux jeux de données mentionnés précédemment, les statistiques de la superficie 1979/85 et 1992/97 sont désormais disponibles en combinaison avec des indications sur la mixité (catégories 9, 11-15). Le complément de la statistique de la superficie a été obtenu par recouvrement de la grille de mixité WMGch au moyen des masques "forêt" de la statistique de la superficie (catégories 9, 11-15). On a recouru aux coordonnées exactes des points de la statistique de la superficie, qui ne coïncident pas toujours avec les coordonnées de 100m. C'est la raison pour laquelle le résultat est différent de celui produit par la superposition de la grille WMG25 aux coordonnées de 100m. Par ailleurs, la mixité de tous les points de la statistique de la superficie situés dans des zones non classifiées a été déterminée par interprétation à l'écran (1519 points au total ou 0.13% de tous les points de forêt). L'influence de la brume sur certaines parties des images satellites n'a pas posé de problème, sauf dans les cas où un point n'était visible sur aucune image satellite, de sorte que l'interprétation devait se faire à partir des classifications du voisinage immédiat. Les compléments sont disponibles sous le nom de grille WMGAS85 et de grille WMGAS97. Les deux grilles peuvent être combinées linéairement avec les grilles de la statistique de la superficie: la somme de la grille de la statistique de la superficie et de la grille de mixité multipliée par 100 donne des catégories de forêt codées en trois chiffres, où le premier chiffre correspond à la mixité et les deux autres à la catégorie de la statistique de la superficie.

## 6 Mise à jour

Une mise à jour de la classification de mixité par la même méthode n'est pas prévue ces prochaines années. En tous les cas, une évolution ne peut être mise en évidence que si elle dépasse de manière significatives les imprécisions due à la méthode de classification. D'une part, cela dépend de la qualité des images

satellites et des algorithmes de classification disponibles (résolution géométrique, nombre et potentiel de discrimination des canaux spectraux), d'autre part, cela est lié respectivement à l'importance des changements et au temps écoulé depuis le premier relevé. Une mise à jour de la mixité des forêts ne sera certainement pas faite avant la fin de la deuxième mise à jour de la statistique de la superficie, attendue pour la fin de la décennie.

## 7 Possibilités d'applications

Les possibilités d'application des données sur la mixité de forêt concernent surtout les domaines de la visualisation et des typologies de paysages. Le complètement de la statistique de la superficie par des données sur la mixité des forêts améliore par ailleurs la comparabilité avec d'autres données de couverture du sol européennes, où la forêt est d'ordinaire classée en fonction de la mixité. Le jeu de données à choisir dépend du type d'application envisagé. La mixité peut être définie pour différentes résolutions, mais elle n'est guère pertinente pour décrire un seul arbre. La grille WMG25 est préférable pour connaître les détails d'un espace réduit. Les personnes qui souhaitent par contre utiliser une mixité homogène sur des surfaces plus vastes utiliseront de préférence à la grille WMG100. Nous conseillons à celles qui recourent à la fois à la mixité et à la statistique de la superficie de choisir les grilles WMGAS85 et WMGAS97. A l'inverse, il est déconseillé d'utiliser ces deux jeux de données pour un autre type d'utilisation.

**Distribution de la mixité [en km<sup>2</sup>] pour les grandes régions statistiques et les régions biogéographiques de la Suisse:**

Régions	Forêt de résineux	Forêt mixte à prédominance de résineux	Forêt mixte à prédominance de feuillus	Forêt feuillus	Total Forêt	Non classifié
<b>Grandes régions statistiques</b>						
Région lémanique	955	414	278	226	1873	37
Espace Mittelland	1105	856	693	417	3070	80
Suisse du Nord-Ouest	108	167	229	149	654	-
Zurich	165	143	136	46	489	-
Suisse orientale	1708	494	361	231	2794	65
Suisse centrale	564	327	208	95	1195	19
Tessin	351	189	139	601	1279	26
<b>Régions biogéographiques</b>						
Jura et Randen	374	529	575	440	1918	0
Région lémanique et Région du Hochrhein	93	114	170	126	504	0
Mittelland occidental	338	290	244	105	978	-
Mittelland oriental	323	268	263	82	935	-
Préalpes	528	267	157	59	1010	10
Alpes septentrionales	1300	598	366	217	2481	103
Alpes centrales occidentales	569	150	53	39	812	34
Alpes centrales orientales	892	137	51	36	1116	36
Alpes méridionales	355	107	93	133	689	26
Tessin méridional	183	130	71	527	911	18
Suisse	4956	2589	2044	1764	11354	226