

# PRÉ-ÉTUDE EN VUE D'UNE TYPOLOGIE DES STATIONS FORESTIÈRES DE LA TERRASSE WÜRMIENNE DE LA HARDT (ALSACE)



C.R.P.F.L.A.



CELLULE  
d'APPLICATION  
EN ECOLOGIE

UNIVERSITE  
DE BOURGOGNE



**OFFICE NATIONAL DES FORETS**

**Direction Régionale Alsace**

Cité administrative

2, rue de l'Hôpital militaire

67000 STRASBOURG

**CENTRE REGIONAL  
DE LA PROPRIETE FORESTIERE  
DE LORRAINE-ALSACE**

41, Avenue du Général de Gaulle

57050 LE BAN SAINT-MARTIN

**PREETUDE**  
**EN VUE D'UNE TYPOLOGIE**  
**DES STATIONS FORESTIERES**  
**DE LA TERRASSE WURMIENNE DE LA HARDT (67-68)**

---

Septembre 1995

Rédacteurs :

**D. OBERTI**

(Cellule d'Application en Ecologie)

**E. LEMAIRE**

(Cellule d'Application en Ecologie)

Responsable scientifique :

**A. BRETHERS**

(O.N.F. Département des Recherches Techniques)

Coordination :

**E. DURAND**

(O.N.F. Direction Régionale Alsace)

Avec la participation financière du  
**MINISTERE DE L'AGRICULTURE**  
et du **CONSEIL REGIONAL ALSACE**

35, Avenue de la Paix  
67000 STRASBOURG

**CELLULE D'APPLICATION EN ÉCOLOGIE**

Université de Bourgogne  
6, Bd Gabriel - 21000 DIJON  
Tél. : 80.39.62.49 / 80.39.62.25



UNIVERSITÄT  
DEIN PRÄSIDENT  
DE UNIVERSITÄT  
STADT SAINT-MARTIN

UNIVERSITÄT  
DEIN PRÄSIDENT  
DE UNIVERSITÄT  
STADT SAINT-MARTIN

DE LA THÈSE WRITENNE DU 1 A PART (67-68)  
DES STATIONS FORESTIÈRES  
EN VUE DE LA TYPOLOGIE  
PRETENDRE

Septembre 1995

avec la participation financière de  
MINISTÈRE DES SCIENCES ET DE LA  
RECHERCHE  
50 Avenue de la Paix  
67000 STRASBOURG

Recherches  
R. GENT  
Recherches Forestières Ecologiques  
et Forestières  
(Centre d'Aménagement Forestier)  
Recherches Forestières  
A. HUBERT  
(Centre de Recherche Forestière)  
Gent  
R. GENT  
(Centre de Recherche Forestière)

# SOMMAIRE

---

INTRODUCTION .....	1
--------------------	---

## PREMIERE PARTIE : LE MILIEU PHYSIQUE

---

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE .....	3
---------------------------------	---

① Le fossé rhénan .....	3
② La Hardt dans le fossé rhénan .....	3

---

II. CLIMATOLOGIE.....	4
-----------------------	---

① Généralités : le climat régional .....	4
② Les précipitations sur la région de la Hardt .....	4
2.1. Répartition mensuelle des précipitations.....	4
2.2. Variations des précipitations annuelles de 1961 à 1994 par rapport à la normale de quelques stations. ....	9
2.3. Variations des précipitations durant la période de végétation (mars-septembre) de quelques stations de 1961 à 1994 .....	9
2.4. Les précipitations neigeuses .....	10
2.5. Les orages .....	10
③ Les températures.....	10
3.1. Evolution saisonnière des températures.....	10
3.2. Ecart à la normale des températures moyennes annuelles des 6 dernières années .....	12
3.3. Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales.....	12
3.4. Les jours de gel.....	13
④ L'insolation.....	15
⑤ Les brouillards .....	15
⑥ Les vents .....	17
⑦ Relations précipitations - températures.....	21
7.1. Indice d'aridité de De Martone .....	21
7.1.1. Indice annuel d'aridité.....	21
7.1.2. Indice mensuel d'aridité.....	22
7.2. Bilan hydrique P-ETP .....	23
⑧ Conclusion.....	25

<b>III. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE .....</b>	<b>26</b>
① Le fossé rhénan .....	26
② La Hardt .....	27
<hr/>	
<b>IV. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DE LA PLAINE D'ALSACE .....</b>	<b>28</b>
① Généralités .....	28
② Succession des événements et faciès lithologiques .....	29
2.1. La formation du fossé rhénan .....	29
2.2. Le remplissage sédimentaire tertiaire du Fossé Rhénan .....	30
2.3. Evolution quaternaire et actuelle du Fossé Rhénan .....	30
③ Les unités structurales et sédimentaires du Fossé Rhénan ; position et formation de la basse terrasse alluviale de la Hardt (Carbiener, Vogt) .....	33
3.1. La Hardt du Rhin .....	33
3.2. L'Alsace des rieds .....	38
3.2.1. Le ried de la Thur .....	38
3.2.2. Le ried ello-rhénan .....	39
3.3. Les cônes alluviaux .....	43
3.4. Synthèse .....	43
<hr/>	
<b>V. LA NAPPE PHREATIQUE.....</b>	<b>47</b>
① Structure du réservoir .....	47
1.1. Orientation de la nappe .....	47
1.2. Epaisseur de la nappe .....	47
1.3. Profondeur de la nappe .....	49
② Dynamique de la nappe .....	53
2.1. Les fluctuations de la nappe .....	53
2.1.1. Les limnigrammes types de la nappe .....	53
2.1.2. Les éléments intervenant sur les fluctuations saisonnières du Rhin .....	54
2.2. L'abaissement de la nappe .....	55
<hr/>	
<b>VI. PEDOLOGIE.....</b>	<b>58</b>
① Modalités générales de la formation d'un sol : humification, pédogenèse, notion d'horizon.....	58
② Evolution de la matière organique .....	58
2.1. Ecologie de l'humification .....	59
2.2. Les différents types d'humus recensés .....	61
③ Pédogenèse .....	61

3.1. Processus liés à l'humification .....	63
3.2. Processus liés aux conditions physico-chimiques de la station .....	63
④ Facteurs principaux de la pédogenèse sur la basse-terrasse würmienne .....	64
4.1. Les matériaux parentaux .....	64
4.2. Climat et paléoclimat .....	65
⑤ Genèse des sols de la basse terrasse würmienne (source R. Marocke, 1964, 1973).....	66
5.1. Chronologie des phénomènes pédogénétiques .....	66
5.1.1. La rubéfaction .....	66
5.1.2. Le Poudingue calcaire .....	68
5.1.3. Signification paléodynamique et paléoclimatique du poudingue et de l'horizon rubéfié .....	70
5.2. Principaux types de sol de l'aire d'étude .....	70

## **DEUXIEME PARTIE : LE MILIEU BIOLOGIQUE**

<b>I. HISTOIRE ET SITUATION ACTUELLE DES FORETS .....</b>	<b>77</b>
① Historique (source R. Durst).....	77
② Situation actuelle des forêts de la basse-terrasse .....	78
2.1. Répartition et évolution des surfaces forestières (source I.F.N. 1988) .....	78
2.2. Répartition des surfaces forestières par type de propriété.....	79
③ Les types de peuplement ; surfaces forestières par essence .....	79
④ Boisement - reboisement - conversion.....	81
⑤ Répartition des surfaces forestières soumises au régime forestier.....	81
⑥ Santé des forêts de la Hardt (source D.E.R.F. - D.S.F., 1994) .....	82
6.1. Essences touchées par les phénomènes de dépérissements .....	83
6.2. Suivi du dépérissement .....	83
6.3. Facteurs éventuels de causalité du dépérissement .....	84
 <b>II. FLORE ET VEGETATION : ANALYSE ECOLOGIQUE .....</b>	 <b>85</b>
① Eléments de flore : caractère phytogéographique.....	85
② La végétation .....	87
2.1. Les causes de la diversification de la végétation .....	87
2.1.1. Facteurs écologiques à l'origine de la diversification de la végétation.....	88
2.1.2. Les unités phytoécologiques de la basse-terrasse würmienne.....	89
2.2. Synsystématique des groupements forestiers.....	93
③ Dynamique de la végétation.....	97
3.1. Les cycles sylvigénétiques ou évolution cyclique de la forêt.....	97

3.2. Dynamique linéaire ou ontogenèse du climax .....	99
3.2.1. Généralités.....	99
3.2.2. Exemple d'une série de végétation : dynamique des Chênes pubescent, pédonculé et sessile au sein de la chênaie sessiliflore-charmaie climacique de la Hardt .....	101
3.3. Quelques données et remarques sur les stades non forestiers.....	103
3.3.1. Généralités.....	103
3.3.2. Analyses .....	105
④ Les forêts de la Hardt dans le patrimoine naturel alsacien .....	108
⑤ Synthèse.....	108

### **TROISIEME PARTIE : CONCLUSIONS ET SYNTHESSES**

<b>CONCLUSION : REALISATION DU CATALOGUE .....</b>	<b>115</b>
① Constitution du plan d'échantillonnage .....	115
1.1. Le climat régional .....	115
1.2. Les sols .....	116
1.3. La nappe phréatique .....	116
② L'échantillonnage.....	116
③ Collecte des données sur le terrain : les relevés phytoécologiques.....	117
④ Exploitation des données floristiques.....	117
⑤ Exploitation des données stationnelles .....	118
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>121</b>

### **ANNEXES**

## ❖ CARTES

<u>Carte n°1</u> :	Situation de la Hardt dans le fossé rhénan, régions naturelles du Haut-Rhin. ....	2
<u>Carte n°2</u> :	Carte des isohyètes sur le département du Haut-Rhin (précipitations exprimées en mm). 6	
<u>Carte n°3</u> :	Direction des vents et des orages.....	18
<u>Carte n°4</u> :	Unités morphologiques principales de la plaine d'Alsace entre Mulhouse et Strasbourg. 45	
<u>Carte n°5</u> :	Surface piézométrique dans le Haut-Rhin - 10 janvier 1955.....	46
<u>Carte n°6</u> :	Carte des épaisseurs des alluvions quaternaires.....	48
<u>Carte n°7</u> :	Carte des profondeurs maxima de l'eau.....	50
<u>Carte n°8</u> :	Carte des profondeurs minima de l'eau. ....	51
<u>Carte n°9</u> :	Localisation des ZNIEFF de type I et II sur la terrasse würmienne de la Hardt.....	110

## ❖ SCHEMAS

<u>Schéma n°1</u> :	Clef de détermination des principales formes d'humus aérobies. ....	62
<u>Schéma n°2</u> :	Incidence des facteurs abiotiques sur la succession des associations d'essences forestières.....	90
<u>Schéma n°3</u> :	Succession des essences en fonction du milieu.....	103
<u>Schéma n°4</u> :	Synthèse des notions et de la démarche utilisées en typologie forestière. ....	119

## ❖ FIGURES

<u>Figure n°1</u> :	Diagrammes d'insolation en heures des stations de Meyenheim et Saint-Louis. ....	16
<u>Figure n°2</u> :	Diagrammes ombrothermiques de quelques stations de la plaine alsacienne.....	19-20
<u>Figure n°3</u> :	Diagrammes de bilan hydrique de quelques stations de la plaine alsacienne..	24
<u>Figure n°4</u> :	Unités structurales et sédimentaires du Fossé Rhénan. ....	29
<u>Figure n°5</u> :	Limites superficielles de la Basse Terrasse rhénane. ....	34
<u>Figure n°6</u> :	Coupe géologique schématique des terrains quaternaires de la plaine du Rhin. ....	36
<u>Figure n°7</u> :	Structure du Grand Ried ello-rhénan à hauteur de Marckolsheim (partie Sud). ....	42
<u>Figure n°8</u> :	Coupe schématique de la plaine rhénane dans le secteur des tresses et des anastomoses. .	44

<b>Figure n°9 :</b>	Limnigrammes types de la nappe de 1967 à 1973.....	52
<b>Figure n°10 :</b>	Variation comparée du niveau de la nappe à un tube piézométrique situé entre Hombourg et Petit-Landau et du niveau du fond du Rhin à Ottmarsheim.....	56
<b>Figure n°11 :</b>	Exemple de sol évolué ; le sol lessivé.....	58
<b>Figure n°12 :</b>	Evolution cyclique de la forêt naturelle (sylvigénèse). ....	98
<b>Figure n°13 :</b>	Ontogenèse du climax.....	99
<b>Figure n°14 :</b>	Comportement dynamique des chênes sessile, pédonculé et pubescent dans les successions forestières au sein des massifs reconstitués et gérés en taillis sous-futaie.....	100
<b>Figure n°15 :</b>	Clairière steppique de la Hardt. Coupe schématique théorique.....	106

## ❖ TABLEAUX

<b>Tableau n°1 :</b>	Répartition mensuelle des précipitations en mm de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	5
<b>Tableau n°2 :</b>	Variations des précipitations annuelles (en mm) de 1961 à 1994 par rapport à la normale de quelques stations de la plaine alsacienne.....	7
<b>Tableau n°3 :</b>	Variations des précipitations (en mm) de 1961 à 1994 en période de végétation (mars-sept.) de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	8
<b>Tableau n°4 :</b>	Evolution saisonnière des températures en degré celsius de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	11
<b>Tableau n°5 :</b>	Ecart à la normale des températures moyennes annuelles en degré celsius de 1989 à 1994 de quelques stations de la plaine alsacienne.....	12
<b>Tableau n°6 :</b>	Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales en degré celsius de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	12
<b>Tableau n°7 :</b>	Nombres moyens mensuels de jours de gel pour quelques stations de la plaine alsacienne. ....	13
<b>Tableau n°8 :</b>	Répartition des nombres mensuels de jours de gel pour la station de Meyenheim de 1971 à 1994. ....	14
<b>Tableau n°9 :</b>	Durées d'insolation moyennes mensuelles et annuelles en heures des stations de Meyenheim et Saint-Louis. ....	15
<b>Tableau n°10 :</b>	Indice annuel d'aridité de De Martone de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	22
<b>Tableau n°11 :</b>	Indice mensuel d'aridité de De Martone de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	22

<b><u>Tableau n°12</u></b> :	Valeurs moyennes d'ETP et de bilans hydriques P-ETP mensuelles et annuelles de quelques stations de la plaine alsacienne. ....	23
<b><u>Tableau n°13</u></b> :	Evolution paléogéographique de l'Alsace. ....	31
<b><u>Tableau n°14</u></b> :	Série stratigraphique des terrains de remplissage du fossé rhénan. ....	32
<b><u>Tableau n°15</u></b> :	Spectre pétrographique moyen. ....	38
<b><u>Tableau n°16</u></b> :	Composition de l'horizon holorganique.....	60
<b><u>Tableau n°17</u></b> :	Evolution des climats au cours des temps glaciaire et postglaciaire. ....	65
<b><u>Tableau n°18</u></b> :	Surface des formations boisées. ....	79
<b><u>Tableau n°19</u></b> :	Formations boisées de production; surfaces par types de propriétés. ....	79
<b><u>Tableau n°20</u></b> :	Formations boisées de production : surface par essence prépondérante.....	80
<b><u>Tableau n°21</u></b> :	Surface des boisements, reboisements et conversions feuillues. ....	81
<b><u>Tableau n°22</u></b> :	Surface couverte par les essences introduites, par classe d'âge, dans les boisements et reboisements.....	81
<b><u>Tableau n°23</u></b> :	Liste des surfaces forestières soumises au régime forestier. ....	82
<b><u>Tableau n°24</u></b> :	Caractéristiques des ZNIEFF de type I et II localisées sur la terrasse würmienne de la Hardt. ....	109

100	Table des matières
101	Table des matières
102	Table des matières
103	Table des matières
104	Table des matières
105	Table des matières
106	Table des matières
107	Table des matières
108	Table des matières
109	Table des matières
110	Table des matières
111	Table des matières
112	Table des matières
113	Table des matières
114	Table des matières
115	Table des matières
116	Table des matières
117	Table des matières
118	Table des matières
119	Table des matières
120	Table des matières
121	Table des matières
122	Table des matières
123	Table des matières
124	Table des matières
125	Table des matières
126	Table des matières
127	Table des matières
128	Table des matières
129	Table des matières
130	Table des matières
131	Table des matières
132	Table des matières
133	Table des matières
134	Table des matières
135	Table des matières
136	Table des matières
137	Table des matières
138	Table des matières
139	Table des matières
140	Table des matières
141	Table des matières
142	Table des matières
143	Table des matières
144	Table des matières
145	Table des matières
146	Table des matières
147	Table des matières
148	Table des matières
149	Table des matières
150	Table des matières

---

## INTRODUCTION

L'ensemble des partenaires concernés par la forêt alsacienne a ressenti le besoin de couvrir l'intégralité de la Région Alsace d'études scientifiques de typologie de stations forestières avant l'horizon 2000.

Sous l'impulsion de l'OFFICE NATIONAL DES FORETS (Direction Régionale Alsace), du CENTRE REGIONAL DE LA PROPRIETE FORESTIERE DE LORRAINE-ALSACE, de la DIRECTION REGIONALE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORET, avec le concours financier de la REGION ALSACE, il a été envisagé l'élaboration d'un catalogue des types de stations forestières sur la basse terrasse würmienne du Rhin dite "terrasse de la Hardt".

Cette étude sera la sixième du genre après la parution des catalogues :

- Plaine de Haguenau (*Dupouey, 1983*),
- Vosges alsaciennes (*3 vol., Oberti, 1990*),
- Ried ello-rhénan (*Carbiener, Madesclaire, Schnitzler et Sicard, 1992*),
- Collines sous-vosgiennes Est (*Delahaye Panchout, 1992*),
- Plaine de l'Ill (*3 vol. Oberti, 1993*),
- Jura alsacien (*Oberti, 1993*).

Elle s'inscrit dans un contexte particulier puisque depuis quatre ans environ, les gestionnaires de la forêt de la plaine alsacienne constatent des dépérissements très importants des peuplements ; ces dépérissements (avec morts de tiges, toutes essences confondues) s'observent en Plaine de Haguenau mais surtout sur la Hardt où près de 20% des charmes ont déjà péri.

On voit donc tout l'intérêt d'une étude approfondie sur les types de stations forestières et sur les relations stations-potentialités destinées à fournir aux gestionnaires forestiers, une connaissance objective du milieu naturel. Elle devra permettre de :

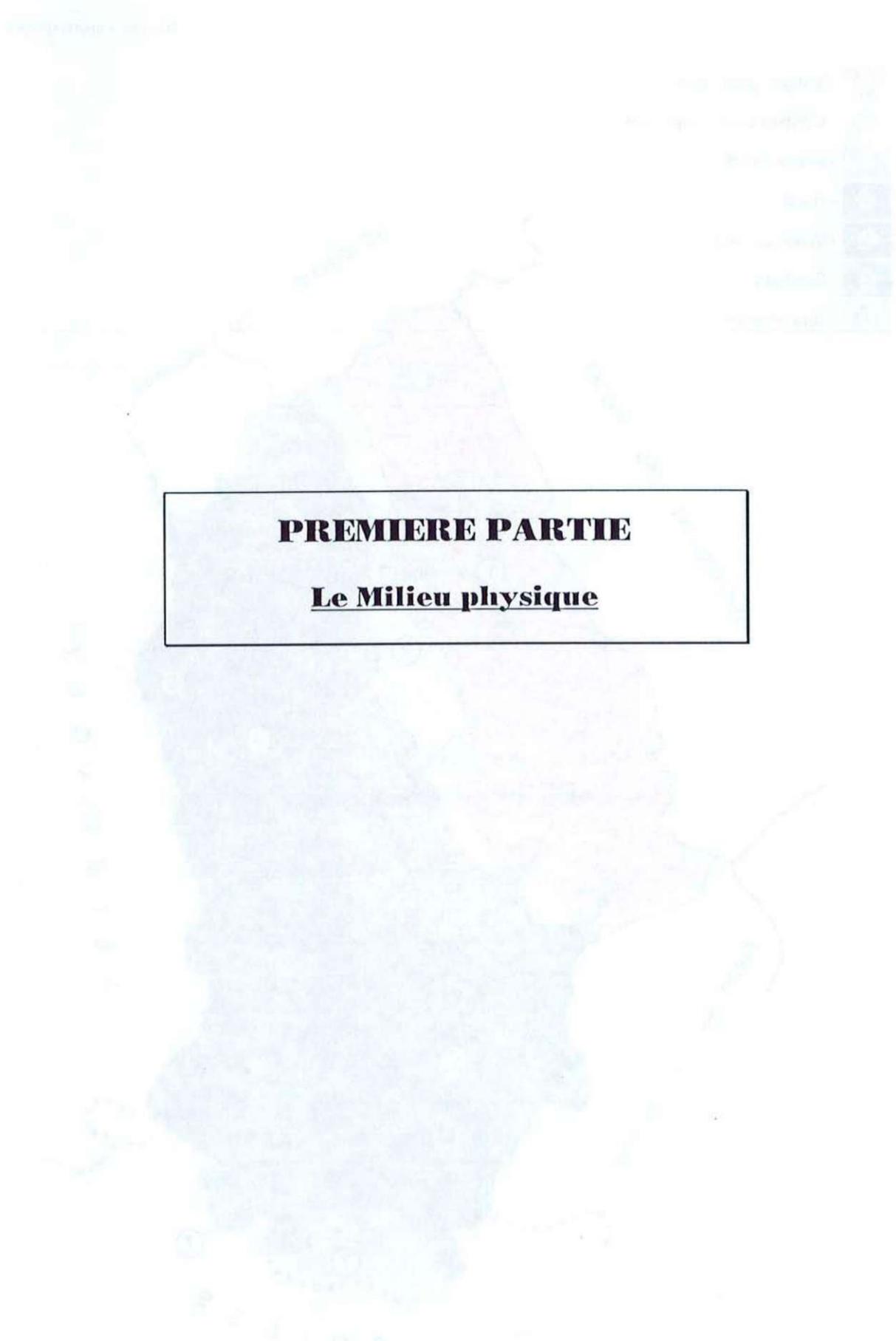
- délimiter au sein de la région naturelle "Hardt" des surfaces homogènes, identifiables à des types caractérisés pour certaines corrélations écologiques déterminées et possédant un ensemble de potentialités forestières clairement définies ;
- tirer des éléments de réflexion pour les orientations locales d'aménagement et adapter la sylviculture en conséquence.

Le présent travail représente une synthèse générale sur la basse terrasse würmienne de la Hardt et s'inscrit dans le cadre d'une préétude nécessaire à l'établissement d'une typologie forestière sur l'ensemble de la région Hardt.

Il se base sur des travaux bibliographiques spécialisés en climatologie, géologie, géomorphologie, pédologie, flore et végétation, sur l'expérience des gestionnaires forestiers en ce qui concerne les peuplements et les problèmes de gestion et sur des observations préalables de terrain.

Les résultats apportés par chacune de ces sources permettront d'aboutir :

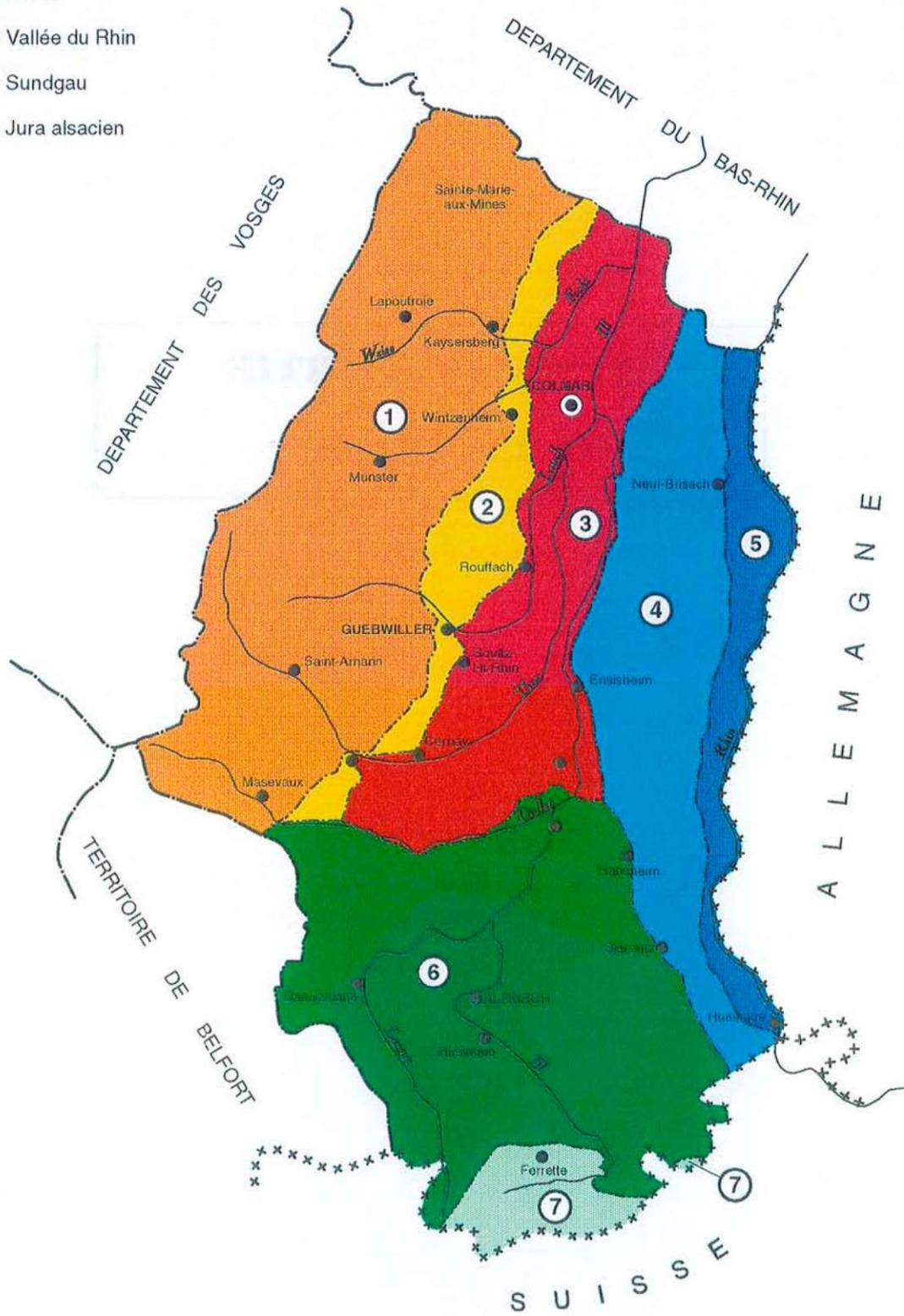
- à l'établissement d'une monographie sur les conditions écologiques avec hiérarchisation des facteurs en fonction de leur importance pour la production forestière ;
- au découpage de la région "Hardt" en zones relativement homogènes ;
- à la réalisation d'un plan d'échantillonnage prenant en compte les résultats de la monographie.



**PREMIERE PARTIE**

**Le Milieu physique**

- ① - Vosges granitiques
- ② - Collines sous-vosgiennes
- ③ - Plaine de l'Ill
- ④ - Hardt
- ⑤ - Vallée du Rhin
- ⑥ - Sundgau
- ⑦ - Jura alsacien



**Carte n°1** : Situation de la Hardt dans le fossé rhénan, régions naturelles du Haut-Rhin (source IFN 1988)

## I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

### ① Le fossé rhénan

La plaine d'Alsace fait partie d'une unité géographique qui se développe de Bâle (Suisse) au Sud à Mayence (Allemagne) au Nord, sur une distance de l'ordre de 300 km. Il s'agit du **fossé rhénan**, zone effondrée encadrée par les massifs cristallins des Vosges à l'Ouest et de la Forêt Noire à l'Est, distants d'une quarantaine de kilomètres.

La partie alsacienne, avec une superficie d'environ 4.000 km<sup>2</sup> couvre le tiers de la surface totale de la plaine rhénane, traversée par le Rhin dans sa partie centrale.

Entre Colmar et Strasbourg, le fossé rhénan est appelé **Grand-Reid ello-rhénan**.

### ② La Hardt dans le fossé rhénan

La région de la Hardt, d'une altitude moyenne de 220 m, se localise sur la basse terrasse würmienne du Rhin, entre les hautes terrasses de la plaine de l'Ill et la basse plaine alluviale du Rhin (*Voir Carte n°1*).

Elle est la continuation vers le Nord de la terrasse würmienne de la vallée Sundgovienne et du Rhin.

Située dans le département du Haut-Rhin, elle s'étend de Marckolsheim au Nord, à Saint-Louis au Sud et couvre une superficie de 49.920 ha.

Limitée à l'Est par la route départementale 468 puis par la départementale 9 au Nord, et à l'Ouest par la route nationale 422, elle s'étale jusqu'à 13 km de large à la hauteur de Hirtzfelden pour se rétrécir ensuite vers le Nord.

## II. CLIMATOLOGIE

### ① Généralités : le climat régional

La plaine d'Alsace est soumise à un **climat à tendance continental**. Située à l'Ouest de la plaine, la chaîne des Vosges fait obstacle aux influences océaniques venant de l'Ouest.

Cette barrière orographique oblige les masses d'air humides à s'élever et à se refroidir par détente. Sur les versants Ouest des Vosges, les précipitations augmentent avec l'altitude ; sur les versants Est au contraire, les hauteurs des précipitations diminuent rapidement, l'air est débarrassé d'une partie de sa vapeur d'eau et subit un mouvement descendant qui s'oppose à la condensation. Il en résulte une baisse très sensible des précipitations dans les secteurs de plaine situés au pied des Vosges (îlot xérothermique de Colmar avec moins de 550 mm de pluie par an).

Le régime pluviométrique est ainsi nettement **continental** avec un minimum hivernal et un maximum estival en juin et août (précipitations orageuses).

La situation confinée de la plaine, cuvette tectonique coincée entre Vosges et Forêt Noire est également responsable des originalités climatiques de l'Alsace. Cette situation explique que la plaine soit peu ventée. Ceci favorise la stagnation des masses d'air au fond de la cuvette, notamment les vents froids continentaux d'hiver qui peuvent rester stables plusieurs jours à plusieurs semaines, abaissant les minimas des températures hivernales et accentuant les contrastes thermiques saisonniers (phénomène continental).

Cependant, la situation de confinement adoucit les hivers (la température moyenne du mois le plus froid, janvier, ne s'abaisse jamais en-dessous de 0°) et accentue les chaleurs estivales (on observe souvent en juillet et août des périodes très chaudes, 30-35°, avec des orages fréquents).

### ② Les précipitations sur la région de la Hardt

#### *2.1. Répartition mensuelle des précipitations*

Le *tableau n°1* récapitule les valeurs moyennes des précipitations mensuelles et annuelles de quelques stations réparties sur la région de la Hardt du Nord au Sud.

Stations	Altitude en m	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total sur l'année
SUNDHOUSE 1972-1985	168	37.7	35.5	35.7	41.7	87.8	69.2	68.0	61.7	46.2	47.7	43.8	45.0	620.1
COLMAR 1950-1988	200	35.4	29.1	32.4	37.4	62.1	66.2	59.3	67.2	45.8	35.9	44.6	36.9	552.3
NEUF- BRISACH 1950-1989	195	36.3	31.4	36.5	45.1	76.9	83.1	67.6	81.9	53.6	40.0	46.7	36.3	635.4
MEYENHEIM 1956-1988	209	39.1	33.6	38.7	43.7	69.6	69.4	56.6	66.9	45.7	37.9	46.7	39.0	586.9
MULHOUSE 1954-1988	245	55.0	50.3	49.1	50.7	67.0	67.2	57.5	71.8	51.6	46.0	62.7	60.3	689.2
ST-LOUIS 40 années	267	54.4	48.0	48.2	55.6	73.7	72.9	64.8	84.4	57.0	48.0	58.9	53.4	719.3

**Tableau n°1** : Répartition mensuelle des précipitations en mm de quelques stations de la plaine alsacienne.

Sur la région de la Hardt, la pluviosité est moyenne à faible (550 mm par an à Colmar) et présente une certaine variabilité géographique. Elle augmente d'une manière non négligeable du Nord au Sud (environ 170 mm de plus à Saint-Louis par rapport à Colmar) - Voir Carte n°2 page 6.

L'allure des diagrammes ombriques (Voir Figure n°2 § II. 7.) confirme la tendance continentale du régime pluviométrique de la Hardt : maximum de précipitations en été dues principalement aux orages, minimum en hiver.

Ces écarts saisonniers sont un peu plus atténués pour les stations de Mulhouse et Saint-Louis où les précipitations sont plus abondantes : une tendance océanique se fait sentir dans la région Sud de la Hardt, influencée par les masses océaniques venant de l'Ouest pénétrant en Alsace méridionale par la trouée de Belfort.

Ces précipitations caractéristiques des climats continentaux semblent favorables à la végétation puisque les chutes les plus importantes ont lieu de mai à septembre, à une époque où les besoins en eau sont les plus importants. Malheureusement, ces pluies sont orageuses : l'évaporation que provoque la chaleur du sol et de l'atmosphère réduit leur efficacité et l'extrême perméabilité du sol facilite leur percolation dans le sous-sol. En fait, les terres de la Hardt s'assèchent rapidement en période de végétation.



Années	COLMAR	NEUF-BRISACH	MEYENHEIM	MULHOUSE
1961		-81.4	-47.6	-35.4
1962		-201.0	-181.6	-96.6
1963		+78.7	+62.5	+7.3
1964		-142.7	-99.4	-130.1
1965		+160.1	+190.7	+329.2
1966		+112.8	+74.9	+8.4
1967		-8.5	+52.9	-125.6
1968		+284.2	+166.1	+58.0
1969		+43.1	+49.7	-13.4
1970		+102.2	+52.9	+0.4
1971	-212.6	-67.3	-136.8	-225.6
1972	-37.6	-5.7	-49.8	-287.8
1973	-22.3	+100.0	-104.4	-117.3
1974	-52.3	-95.1	-112.0	-96.1
1975	+76.7	-23.2	+22.5	-134.9
1976	-57.0	-175.8	-91.9	-134.4
1977	+63.7	-34.6	+28.9	+181.4
1978	-65.4	-30.8	-4.4	+28.3
1979	+155.6	-12.9	+132.8	-40.2
1980	+39.4	-42.5	-66.6	+7.5
1981	+89.5	+44.0	+14.5	-385.6
1982	+119.1	+119.3	+95.1	+211.6
1983	+69.3	+4.4	+51.6	+183.6
1984	-21.3	-9.0	-97.9	+66.2
1985	-119.4	-120.7	-140.2	-36.4
1986	+97.0	+14.1	+20.5	+231.1
1987	+110.1	+160.0	+40.2	+115.2
1988	+91.2	+36.6	-17.0	+134.9
1989	+18.4	-37.1	+25.4	-28.6
1990	-6.7	-129.8	-81.3	+63.8
1991	-120.4	-138.8	-175.1	-180.4
1992	-100.1	-69.7	-97.7	-40.3
1993	-47.1	-89.7	-72.2	+40.5
1994	-34.6	-18.5	-2.9	+8.2
<b>Normale</b>	<b>370.4</b>	<b>444.7</b>	<b>390.6</b>	<b>414.9</b>

**Tableau n°2** : Variations des précipitations annuelles (en mm) de 1961 à 1994 par rapport à la normale de quelques stations de la plaine alsacienne.

Années	COLMAR	NEUF-BRISACH	MEYENHEIM	MULHOUSE
1961		-71.3	-55.3	-52.8
1962		-123.9	-131.3	-86.2
1963		+116.5	+78.0	+40.1
1964		-57.0	-18.4	+2.0
1965		+151.3	+101.2	+219.4
1966		+81.2	+19.3	-23.4
1967		-83.0	+52.3	-96.2
1968		+246.8	+158.6	+69.4
1969		+55.8	+56.9	+14.1
1970		+18.8	-18.6	-22.1
1971	-106.1	+10.1	-51.7	-99.3
1972	-29.1	-23.9	-33.6	-74.6
1973	+23.9	+138.7	-26.2	-25.9
1974	-78.7	-103.8	-102.8	-112.7
1975	+90.9	-9.6	+58.5	+27.2
1976	-60.9	-169.4	-90.3	-98.8
1977	-21.8	-82.0	-35.3	+32.7
1978	-6.9	+12.3	+12.0	+54.7
1979	+206.2	-29.8	+45.0	-74.6
1980	+23.4	-27.1	-41.4	-31.6
1981	-27.8	-48.7	-51.3	+43.1
1982	+29.0	+11.5	+43.1	+66.8
1983	+111.8	+80.4	+150.1	+228.8
1984	-42.2	-22.0	-86.7	-53.2
1985	-71.8	-73.5	-60.1	-8.0
1986	+75.3	+51.2	+57.4	+149.6
1987	+91.2	+133.5	+48.3	+173.8
1988	-0.8	-22.3	+47.3	+26.5
1989	-2.8	-74.4	+9.9	-28.7
1990	-83.0	-127.8	-95.3	-29.8
1991	-94.7	-136.4	-173.7	-130.4
1992	-88.6	-88.3	-84.0	-31.5
1993	-49.1	-81.5	-82.8	+21.7
1994	-35.4	-6.1	+4.6	-13.7
<b>Normale</b>	<b>370.4</b>	<b>444.7</b>	<b>390.6</b>	<b>414.9</b>

**Tableau n°3** : Variations des précipitations (en mm) de 1961 à 1994 en période de végétation (mars-septembre) de quelques stations de la plaine alsacienne.

## 2.2. Variations des précipitations annuelles de 1961 à 1994 par rapport à la normale de quelques stations.

L'analyse des écarts à la normale des précipitations annuelles des stations de Colmar, Neuf-Brisach, Meyenheim et Mulhouse de 1961 à 1994 (*Voir Tableau n°2*) met en évidence à partir de 1965 une alternance de **périodes** (3-4-5-6 années consécutives) **déficitaires** et **excédentaires** en eau sur l'ensemble de la Hardt.

Seule la région de Mulhouse, station la plus pluvieuse, ne suit pas tout à fait cette alternance. Elle est en général moins marquée par les périodes de sécheresse.

A priori, l'existence de périodes sèches en plaine d'Alsace, du fait du caractère continental du climat alsacien et de l'effet de foehn lié au massif vosgien, est classique (*L.M. NAGELEISEN, 1994.- Le point sur les dépérissements en Alsace in "la santé des forêts en 1993"*).

Cependant, il faut remarquer que les conditions climatiques des cinq dernières années ont constitué une séquence de sécheresse exceptionnelle : d'après les données et bilans de la météorologie nationale, la sécheresse qui s'est amorcée fin 1988 au niveau national n'a rien eu d'exceptionnel en Alsace en 1989 et 1990 par rapport à d'autres régions (Sud-Ouest notamment), mais elle s'est prolongée en 1991, 1992, 1993 et 1994, alors que pour les autres régions la situation était redevenue moins préoccupante.

## 2.3. Variations des précipitations durant la période de végétation (mars-septembre) de quelques stations de 1961 à 1994

D'une manière générale, on retrouve une alternance de périodes déficitaires et excédentaires en eau mais de plus courte durée par rapport aux périodes déficitaires et excédentaires calculées sur l'année. Ce sont dans ce cas des alternances de cycles de l'ordre de deux années déficitaires - deux années excédentaires (*Voir Tableau n°3*). Cette situation est à peu près identique sur toute la Hardt à partir de 1976.

Généralement, les périodes de sécheresse sont dues à des déficits de précipitations en mars-avril-septembre, et les périodes pluvieuses à des excédents en juin-juillet et août (précipitations orageuses importantes).

En analysant les données météorologiques de la station de Colmar-Meyenheim, on observe que de janvier 1988 à décembre 1993, 19 mois ont été secs au sens de Gaussen<sup>(1)</sup> dont 13

<sup>(1)</sup> un mois sec au sens de Gaussen est un mois où les précipitations exprimées en mm sont inférieures au double de la température exprimée en °C.

pendant la saison de végétation, alors que les normales trentenaires (1951-1980) ne révèlent aucun mois sec.

De même (*Voir Tableau n°11 § II 7.1.2.*), l'analyse de l'indice mensuel de DE MARTONE révèle que toutes les saisons de végétation depuis 1988 ont une séquence de plus de 3 mois consécutifs à indice inférieur à 30. Ceci correspond à une situation de stress. Pour les années normales (1951-1980), cet indice n'est inférieur à 30 qu'en avril, juillet, septembre et inférieur à 20 qu'en octobre.

Une telle séquence de cinq années à stress hydrique est unique dans les 20 dernières années. Cette situation, néfaste pour la végétation, est peut-être l'une des causes des dépérissements forestiers observés ces dernières années dans la plaine d'Alsace.

#### **2.4. Les précipitations neigeuses**

La durée moyenne annuelle du manteau neigeux s'élève à :

- 8 jours à Colmar (statistiques sur 38 années),
- 13 jours à Neuf-Brisach (sur 39 années),
- 25 jours à Meyenheim (sur 32 années),
- 16 jours à Mulhouse (sur 34 années),
- 23 jours à St-Louis (sur 40 années).

Ces précipitations neigeuses se répartissent de novembre à avril. Elles ne persistent que quelques jours en année normale.

#### **2.5. Les orages**

Les orages ont principalement une direction Sud, Sud-Ouest. Ils sont amenés par le vent très chauds du Sud (*Voir Carte n°3 § II 6*).

Ils sont très fréquents de mai à août et sont responsables des précipitations estivales.

### **③ Les températures**

#### **3.1. Evolution saisonnière des températures**

Le *tableau n°4* répertorie les valeurs moyennes mensuelles et annuelles des températures pour quelques stations de la Hardt.

Stations	Altitude en m	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
SUNDHOUSE 1981-1985	168	1.1	1.8	7.1	10.4	14.0	17.9	20.8	19.9	17.1	11.5	5.7	3.3	10.9
COLMAR 17 ans	200	1.1	2.1	6.0	9.0	13.3	16.8	19.0	18.4	15.4	10.1	5.0	2.4	9.8
MEYENHEIM 39 ans	209	0.8	2.4	5.9	9.8	13.8	17.1	19.2	18.7	15.9	10.8	5.4	2.0	10.1
MULHOUSE 34 ans	245	1.6	2.4	6.5	9.4	13.8	17.3	19.7	19.0	16.0	11.0	5.5	3.0	10.4
ST-LOUIS 42 ans	267	0.7	2.0	5.9	9.2	13.5	16.9	19.1	18.6	15.8	10.8	5.3	2.0	10.0

**Tableau n°4** : Evolution saisonnière des températures en degré celsius de quelques stations de la plaine alsacienne.

De Sundhouse à St-Louis, les températures tendent à s'égaliser sur toute la plaine. Elles ne semblent donc pas être responsables de climats locaux.

La température moyenne annuelle est d'environ 10° sur l'ensemble des stations.

Les mois d'hiver sont relativement cléments : la température moyenne du mois le plus froid ne s'abaisse que très rarement en dessous de 0°.

Les automnes sont assez chauds et ensoleillés (10-15°).

Le nombre de mois froids (mois pour lesquels la température est inférieure à 7°) est identique pour tous les postes : 5 mois de novembre à mars. Les hivers sont donc relativement longs et empiètent sur les intersaisons printanières et automnales.

Si l'on définit la saison de végétation comme la somme des mois de températures moyennes mensuelles supérieures à 10°, celle-ci s'étale globalement d'avril-mai à octobre sur l'ensemble de la plaine.

### 3.2. Ecart à la normale des températures moyennes annuelles des 6 dernières années

Stations	Altitude en m	1989	1990	1991	1992	1993	1994
COLMAR	200	+0.8	+1.2	-0.1	+1.1	+0.2	+2
MEYENHEIM	209	+0.5	+1.3	+0.1	+1.1	+0.5	+1.9
MULHOUSE	245	+0.4	+0.9	-0.3	+0.6	+0.1	+1.4
ST-LOUIS	267	+0.8	+1.6	+0.2	+1	+0.4	+1.8

**Tableau n°5** : Ecart à la normale des températures moyennes annuelles en degré celsius de 1989 à 1994 de quelques stations de la plaine alsacienne.

Globalement sur l'ensemble de la plaine, les 6 dernières années sont légèrement excédentaires en degré par rapport à la normale. Il semblerait donc qu'au déficit hydrique perçu depuis fin 1988, s'ajoute un léger réchauffement du climat.

### 3.3. Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales

Stations	Alt. m		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
COLMAR	200	T. maxi	4.1	5.5	10.5	14.1	18.5	22.2	24.9	24.3	21.1	14.7	8.8	5.6	14.5
		T. mini	-1.9	-1.3	1.6	3.9	8.2	11.4	13.1	12.6	9.6	5.6	1.3	-0.8	5.2
MULHOUSE	245	T. maxi	4.2	5.7	10.6	14.4	19.0	22.7	25.4	24.7	21.1	15.1	8.8	5.7	14.7
		T. mini	-1.0	-0.8	2.3	4.4	8.5	11.9	13.9	13.3	10.9	6.9	2.2	0.3	6.0
ST-LOUIS	267	T. maxi	3.7	5.7	10.5	14.3	18.9	22.3	24.8	24.0	21.0	15.2	8.7	4.9	14.5
		T. mini	-2.3	-1.7	1.2	4.2	8.2	11.6	13.5	13.1	10.6	6.3	1.9	-0.9	5.4

**Tableau n°6** : Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales en degré celsius de quelques stations de la plaine alsacienne.

Les postes de plaine révèlent des minimas des mois les plus froids parfois inférieurs à ceux des postes d'altitude (vosgiens). Cette différence s'explique par le **phénomène d'inversion de la pellicule froide**, particulière à la plaine alsacienne (une des composantes des inversions de température).

Cette inversion sépare l'air froid, lourd, stagnant dans les vallées, de l'air chaud qui le surmonte et qui bien souvent intéresse la partie supérieure des Vosges et du Jura.

Les inversions de pellicule froide sont durables et déterminantes pour les conditions climatiques de la plaine alsacienne, surtout en automne et en hiver, lorsque la couche d'air froid n'est pas trop épaisse.

Lorsque l'air froid est ainsi emprisonné en plaine sur une épaisseur de 400 à 900 m, le temps est extrêmement différent en plaine et en montagne : alors qu'en montagne le ciel est dégagé, en plaine l'air est froid et humide avec des brouillards tenaces, givrants en hiver et la couche de nuages bas et gris (stratus) ne se déchire que partiellement durant l'après-midi, ou peut même persister plusieurs jours.

Ceci implique des durées d'insolation faibles ou très médiocres, peu ou pas de vent, et la persistance de polluants atmosphériques près du sol.

### 3.4. Les jours de gel

Stations	Altitude en mètres	Nombre de jours de gel
COLMAR	200	83,6
MEYENHEIM	209	82
MULHOUSE	245	67,2
ST-LOUIS	267	76,4

**Tableau n°7** : Nombres moyens annuels de jours de gel pour quelques stations de la plaine alsacienne.

En moyenne dans la région de la Hardt, il gèle jusqu'à la fin du mois d'avril voire quelquefois en mai.

Le nombre moyen de jours de gelée varie de 67 jours à Mulhouse à 84 jours à Colmar.

	J	F	M	A	M	S	O	N	D	Année
1994	10	16	2	--	--	--	4	1	10	43
1993	9	18	18	1	--	--	2	15	6	69
1992	21	17	8	4	--	--	2	2	14	68
1991	15	24	4	6	1	--	1	8	20	58
1990	18	4	6	1	--	--	1	8	20	58
1989	20	14	6	2	--	--	1	1	19	63
1988	9	17	10	3	--	--	1	19	6	65
1987	27	18	19	5	1	--	1	4	14	89
1986	17	27	13	5	--	--	3	6	15	86
1985	25	18	10	2	1	--	8	20	10	94
1984	11	14	23	1	1	--	1	3	13	67
1983	13	20	7	--	--	--	2	13	18	73
1981	20	23	5	4	--	--	--	9	18	79
1980	22	13	7	5	--	--	--	17	21	85
1979	26	14	6	5	4	--	1	11	8	75
1978	15	19	5	5	--	--	1	12	16	73
1977	16	6	7	7	--	--	1	5	14	56
1976	15	20	18	6	--	--	1	7	22	89
1975	9	20	11	5	1	--	2	7	26	81
1974	13	9	8	6	--	--	3	6	8	53
1973	26	18	18	10	--	--	5	17	21	115
1972	23	13	13	3	--	1	12	9	23	97
1971	27	19	20	4	--	1	5	11	18	102

**Tableau n°8** : Répartition des nombres mensuels de jours de gel pour la station de Meyenheim de 1971 à 1994.

Le *tableau n°8* répertorie les nombres mensuels de jours de gel de 1971 à 1994 pour la station de Meyenheim.

Des gels hivernaux ont été relativement importants (plus de 80 jours de gel) en 1991, de 1985 à 1987 et de 1971 à 1973.

Des gels tardifs sont également observables en 1991, 1987, 1985, 1984, 1979 et 1975.

Selon L.M. NAGELEISEN (1994), le gel peut être l'un des paramètres climatiques qui pourraient contribuer aux problèmes de dépérissements forestiers dans la plaine d'Alsace.

Il précise que les gels hivernaux de 1985 et 1988 ont principalement été à l'origine de nombreuses lésions cambiales sur les végétaux et que le gel tardif de 1991 a eu l'effet d'une défoliation totale des forêts de la Hardt.

#### ④ L'insolation

Le *tableau n°9* répertorie les durées d'insolation moyennes mensuelles et annuelles en heures pour les stations de Saint-Louis (267 m d'altitude) et Meyenheim (208 m d'altitude).

Stations	MOYENNES DES DUREES D'INSOLATION EN HEURES													
	Alt. m	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
MEYENHEIM 5 ans	209	54.4	79.9	125.5	165.2	189.6	210.5	239.9	215.9	171.0	107.4	68.4	54.9	1682.6
ST-LOUIS 1966-1986	267	62.7	86.0	125.1	171.3	192.1	222.6	252.0	218.0	178.8	128.8	82.8	63.8	1784.0

**Tableau n°9** : Durées d'insolation moyennes mensuelles et annuelles en heures des stations de Meyenheim et St-Louis.

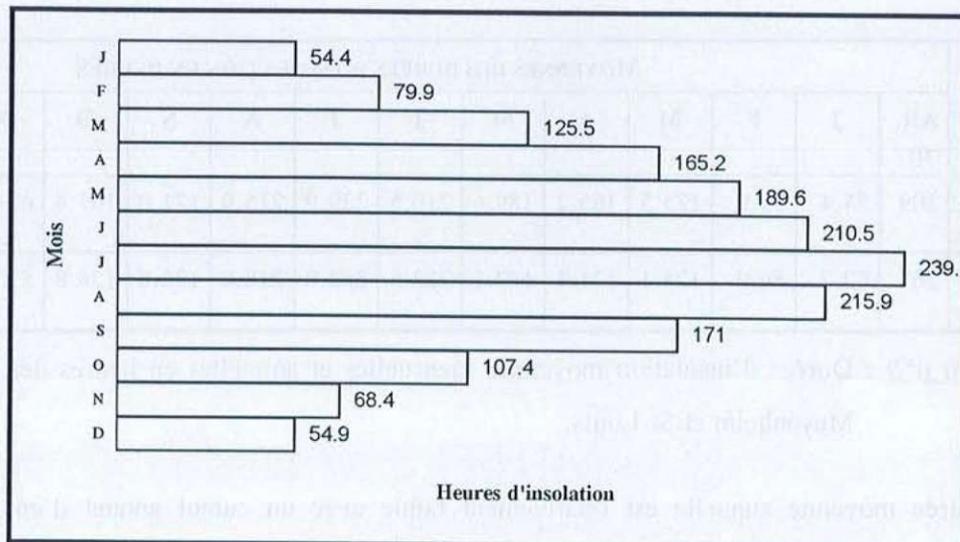
La durée moyenne annuelle est relativement faible avec un cumul annuel d'environ 1.780 heures à Saint-Louis et 1.680 heures à Meyenheim.

L'analyse de la *figure n°1* met en évidence un contraste entre un minimum hivernal très prononcé qui se manifeste le plus en décembre et janvier avec moins de 65 heures d'ensoleillement, et un maximum estival en juillet.

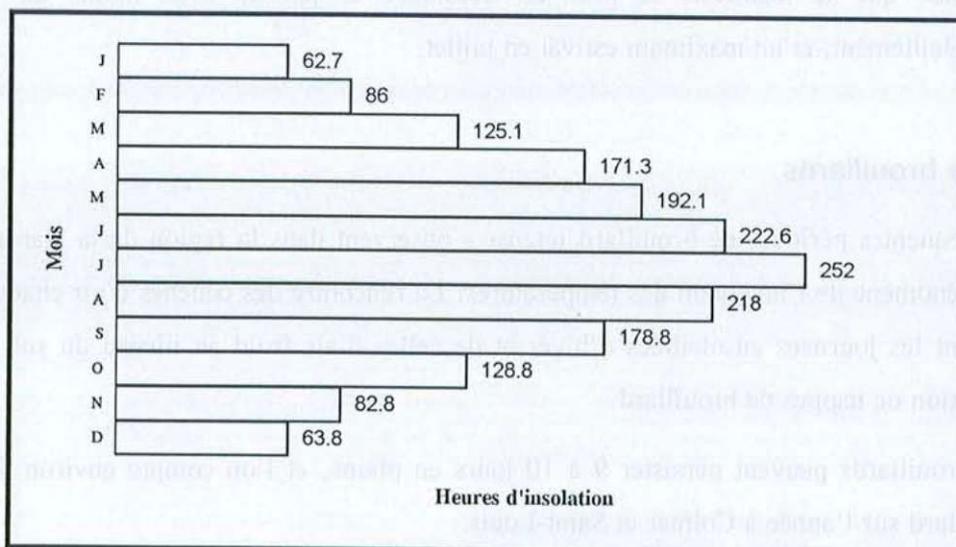
#### ⑤ Les brouillards

De fréquentes périodes de brouillard intense s'observent dans la région de la Hardt, par suite du phénomène de l'inversion des températures. La rencontre des couches d'air chaud d'altitude pendant les journées ensoleillées d'hiver et de celles d'air froid au niveau du sol entraîne la formation de nappes de brouillard.

Ces brouillards peuvent persister 9 à 10 jours en plaine, et l'on compte environ 59 jours de brouillard sur l'année à Colmar et Saint-Louis.



MEYENHEIM (période 1971-1993)



SAINT-LOUIS (période 1966-1986)

**Figure n°1** : Diagrammes d'insolation en heures des stations de Meyenheim et Saint-Louis

## ⑥ Les vents

La région de la Hardt est peu ventée, notamment de mai à septembre. Ces vents circulent selon 3 directions dominantes (*Voir Carte n°3*) :

- **Ouest-Sud-Ouest** : vents doux et humides, canalisés par la porte de Bourgogne. Ce sont les plus fréquents, notamment dans la région de Mulhouse.
- **Sud** : vents secs canalisés par le massif alpin et entretenus ensuite par le Jura (à l'origine du foehn). Ce sont des vents chauds qui amènent les orages.
- **Nord** : vents canalisés par le fossé rhénan. Vents de beau temps l'été, ils soufflent pendant plusieurs jours de suite, par période de 3 jours, avec renouvellement fréquent. Ce sont des vents forts qui dessèchent les cultures.

Ces vents se répartissent ainsi :

- Dans le Sud de la Hardt (station de Mulhouse-Bâle) les vents dominants sont ceux de direction Ouest Sud-Ouest et secondairement ceux de direction Nord Nord-Ouest.
- Ailleurs (station de Meyenheim et de Colmar), ce sont surtout des vents Sud-Ouest qui dominent ainsi que des vents du Nord Nord-Est.

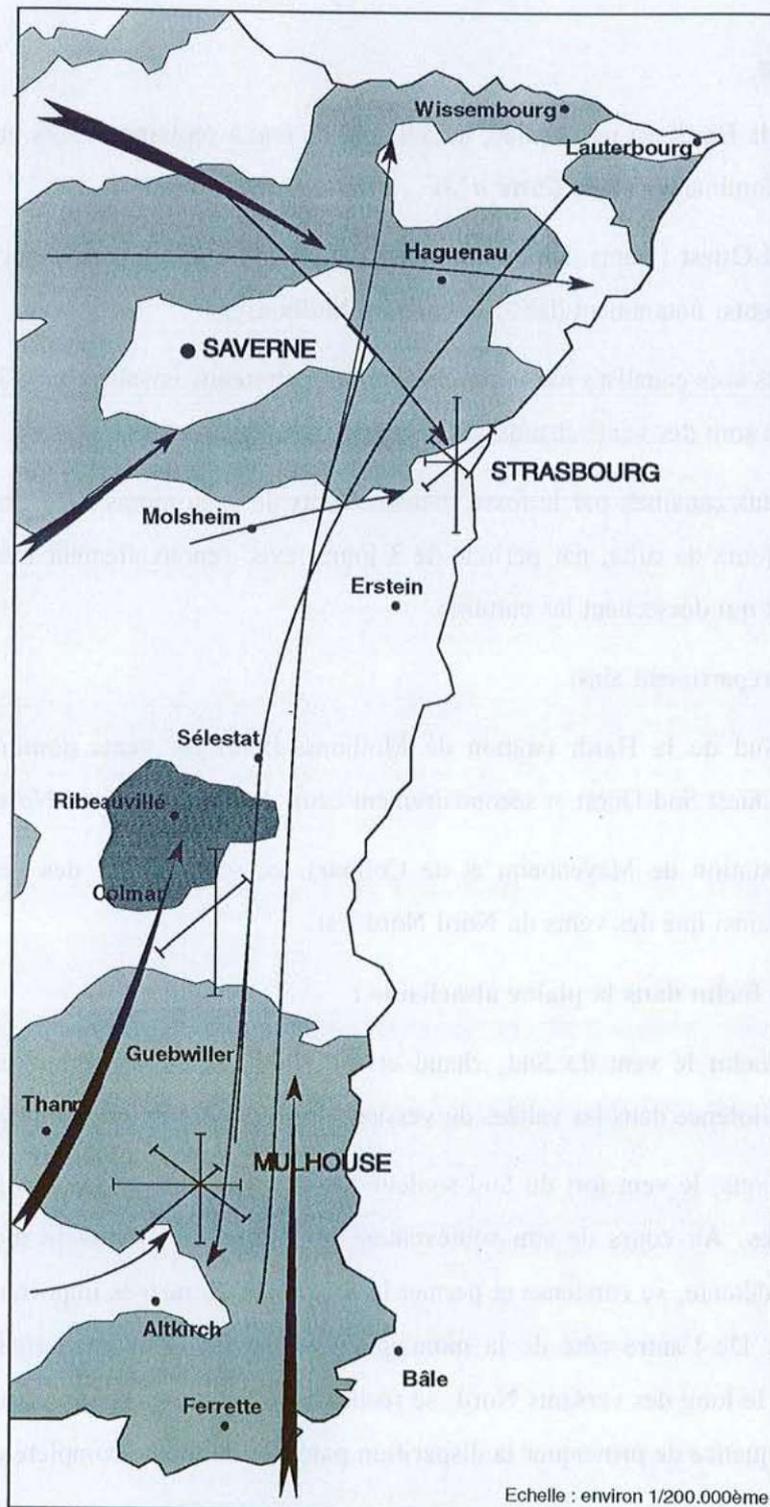
### ❖ L'effet de foehn dans la plaine alsacienne :

On appelle **foehn** le vent du Sud, chaud et sec, fréquent au printemps et en automne, qui souffle avec violence dans les vallées du versant Nord des Alpes, en Suisse ou en Autriche.

Dans ces régions, le vent fort du Sud soulève les masses d'air le long des pentes des versants Sud des Alpes. Au cours de son soulèvement pour franchir l'obstacle montagneux, l'air se refroidit par détente, se condense et permet la formation de nuages importants occasionnant de fortes pluies. De l'autre côté de la montagne, les masses d'air déchargés de leur humidité redescendent le long des versants Nord, se réchauffent par compression et se désaturent, ce qui a pour conséquence de provoquer la disparition partielle ou même complète des nuages.

Pour la plaine alsacienne, bien que les Vosges ne forment pas une barrière très élevée, l'orientation Nord-Sud du massif suffit, par vent fort de secteur Ouest, à atténuer très sensiblement les pluies sur la plaine et les collines sous-vosgiennes, alors qu'elles demeurent très importantes en montagne.

Par ailleurs, par fort vent de Sud accompagnant une perturbation venant de ce secteur, les Alpes et le Jura septentrional jouent un rôle analogue sur la partie Nord de la plaine haut-rhinoise et Sud bas-rhinoise.

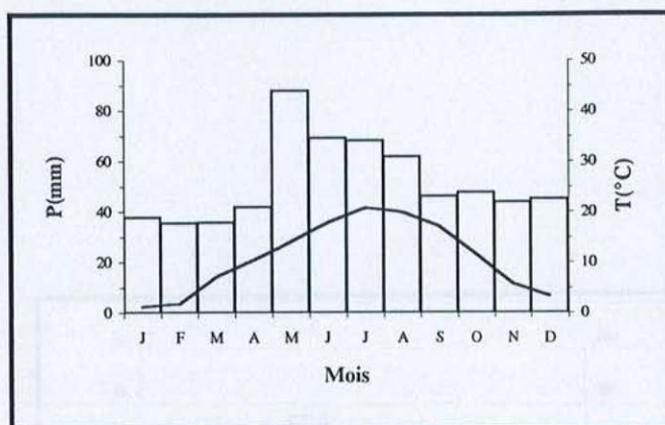


Zones de chutes croissantes de grêle



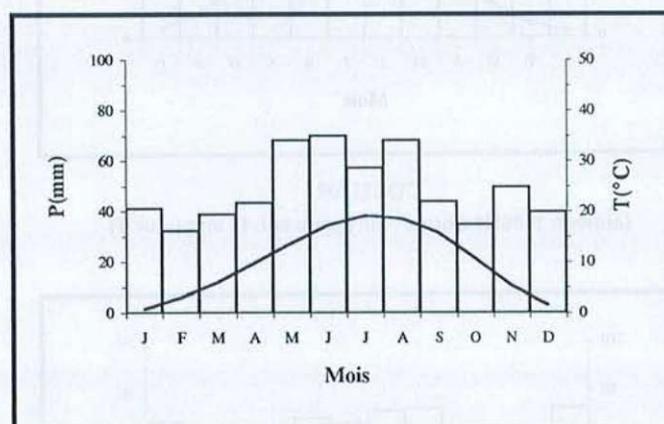
Principales trajectoires d'orages  
Principales directions des vents

**Carte n°3** : Direction des vents et des orages  
(d'après la Carte de Végétation de la France - n°28 Alsace)



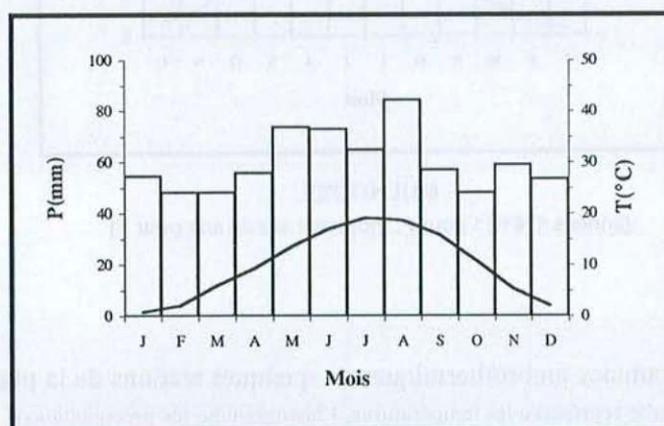
## SUNDHOUSE

(années 1972/85 pour P, 1981/85 pour T)



## MEYENHEIM

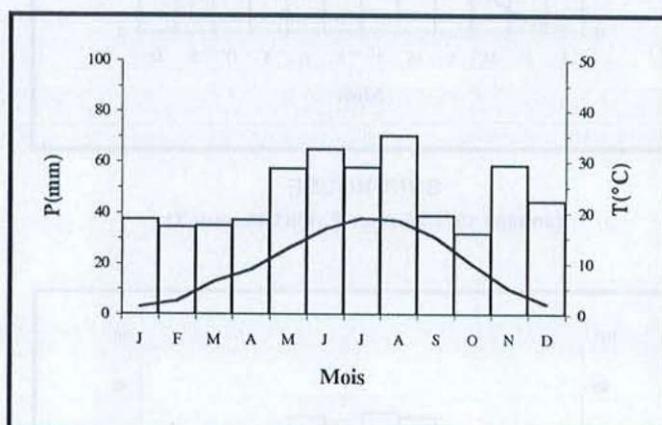
(années 1956/88 pour P, moyenne sur 39 ans pour T)



## SAINT-LOUIS

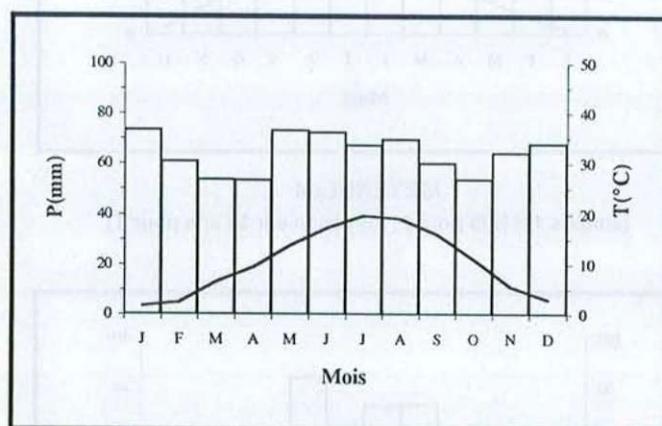
(moyenne sur 40 ans pour P, sur 42 ans pour T)

**Figure n°2.** : Diagrammes ombrothermiques de quelques stations de la plaine alsacienne  
(la courbe représente les températures, l'histogramme les précipitations)



COLMAR

(années 1950/88 pour P, moyenne sur 17 ans pour T)



MULHOUSE

(années 1961/81 pour P, moyenne sur 34 ans pour T)

**Figure n°2** : Diagrammes ombrothermiques de quelques stations de la plaine alsacienne  
(la courbe représente les températures, l'histogramme les précipitations)

Cette faiblesse des précipitations s'accompagne d'un ensoleillement supérieur à celui des régions ne bénéficiant pas de l'effet de foehn.

## ⑦ Relations précipitations - températures

Les diagrammes ombrothermiques de la figure n°2 définissent l'amplitude des variations climatiques de la région de la Hardt, du Nord au Sud.

Le climat de la Hardt ne présente apparemment pas de déficits hydriques réguliers tels qu'on les rencontre en climat aride.

Cependant, les courbes des précipitations et des températures sont relativement rapprochées pour Sundhouse, Colmar et Meyenheim ; des périodes sèches ponctuelles au sens de Gaussen sont possibles durant les mois estivaux pour ces stations.

L'eau peut être un facteur limitant susceptible d'influencer la distribution des espèces tant par son excès que par son déficit.

Le bilan de l'eau peut être approché de 2 façons :

- détermination empirique de l'aridité à l'aide d'un indice : l'indice de DE MARTONE,
- calcul du déficit hydrique à partir de l'ETP.

### 7.1. Indice d'aridité de De Martone

Cet indice permet de comparer l'aridité de différentes stations. Plus l'indice est faible, plus le climat est aride. L'interprétation de l'indice est la suivante :

$0 < A < 5$  climat aride

$20 < A < 30$  climat semi humide

$5 < A < 20$  climat semi aride

$30 < A < 55$  climat humide

#### 7.1.1. Indice annuel d'aridité

$$A = P / (T + 10)$$

P : précipitations moyennes annuelles en mm

T : températures moyennes annuelles en °C

Le *tableau n°10* récapitule l'indice annuel d'aridité pour quelques stations de la région de la Hardt du Nord au Sud.

	Altitude m	Préci. mm	Temp. °C	A	Type de climat
SUNHOUSE	168	620.1	10.9	29.6	semi-humide
COLMAR	200	552.3	9.8	27.9	semi-humide
MEYENHEIM	209	586.9	10.1	29.2	semi-humide
MULHOUSE	245	769.1	10.4	37.7	humide
ST-LOUIS	267	719.3	10	35.9	humide

**Tableau n°10** : Indice annuel d'aridité de DE MARTONE de quelques stations de la plaine alsacienne.

Le climat peut-être considéré comme semi humide jusqu'à Meyenheim, et humide jusqu'à Saint-Louis. Ces résultats paraissent surprenants notamment pour Colmar , considérée comme une ville très sèche. Les moyennes sur de longues périodes masquent en fait les phénomènes de variations climatiques plus ponctuelles.

### 7.1.2. Indice mensuel d'aridité

L'indice mensuel d'aridité est rendu comparable aux indices annuels par l'application au numérateur de 12 fois la moyenne pluviométrique du mois considéré. Cet indice est intéressant pour caractériser les mois d'été.

$$a = 12 p / (t + 10)$$

p : précipitations moyennes du mois en mm

t : températures moyennes du mois en °C

12 : facteur de correction permettant de comparer a à A

Le **tableau n°11** répartit les indices mensuels d'aridité pour différentes stations de la Hardt.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
SUNHOUSE	40.7	36.1	25.0	24.5	43.9	29.7	26.5	24.7	20.4	26.6	33.4	40.6
COLMAR	38.2	28.8	24.3	23.6	31.9	29.6	24.5	28.3	22.4	21.4	35.6	35.7
MEYENHEIM	43.4	32.5	29.2	26.4	35.1	30.7	23.2	27.9	21.1	21.8	36.3	39
MULHOUSE	75.8	58.8	38.9	33.0	36.9	31.7	27.2	28.8	27.7	30.6	49.7	62.5
ST-LOUIS	61.0	48	36.3	34.7	37.6	32.5	26.7	35.4	26.5	27.7	46.2	53.4

**Tableau n°11** : Indice mensuel d'aridité de DE MARTONE de quelques stations de la plaine alsacienne.

L'analyse des valeurs des indices montre que la formule de De Martone ne permet pas cependant de caractériser des phénomènes de sécheresse estivale pourtant assez courante sur la région de Colmar.

## 7.2. Bilan hydrique P-ETP

L'évapotranspiration potentielle ou ETP permet d'évaluer la demande en eau théorique de la végétation, demande variable selon la latitude, la température de l'air et son degré d'hygrométrie, et la vitesse du vent.

Le *tableau n°12* répartit les valeurs d'ETP mensuelles moyennes et les bilans hydriques P-ETP pour quelques stations allant du Nord au Sud de la région de la Hardt.

	Alt m		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
COLMAR	200	ETP	2.8	6.4	26.5	46.7	81.4	109.6	123.2	109.1	78.2	42.2	15.7	6.4
1972-1989		P-ETP	34.5	27.9	8.3	-9.5	-24	-44.8	-65.4	-39	-39.3	-10.4	43	38.15
MEYENHEIM	209	ETP	2.6	6.5	26.1	48.1	82.8	110.4	125.0	111.5	79.7	43.2	16.1	6.7
1971-1989		P-ETP	38.3	25.6	12.6	-4.7	-14.7	-40.5	-67.8	-43.4	-36	-8.5	33.5	33.1
MULHOUSE	245	ETP	3.8	7.3	26.6	46.3	82.2	112.0	126.1	111.9	80.0	43.4	17.1	7.0
1972-1989		P-ETP	69.5	53.5	27	7.1	-9	-39.7	-58.8	-42.3	-20	10.2	47.1	60.8
ST-LOUIS	267	ETP	2.6	7.1	25.2	46.1	80.7	108.4	124.1	110.9	79.3	44.3	16.9	6.7
1971-1989		P-ETP	51.8	40.9	23	9.5	-7	-35.5	-59.3	-26.5	-22.3	3.7	42	46.5

**Tableau n°12** : Valeurs moyennes d'ETP et de bilans hydriques P-ETP mensuelles et annuelles de quelques stations de la plaine alsacienne.

La *figure n°3* récapitule les bilans hydriques P-ETP de ces stations.

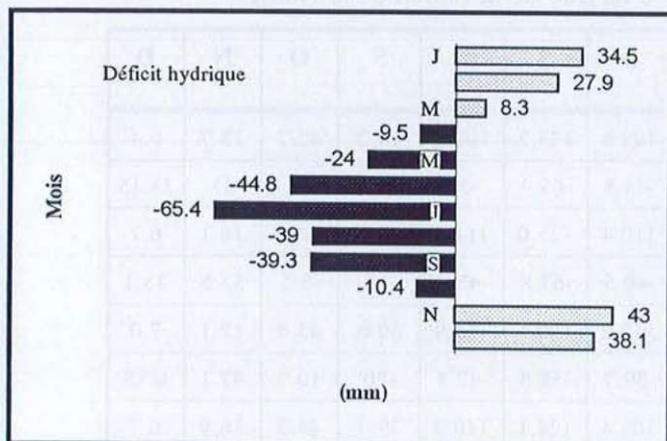
En moyenne, le bilan hydrique estival est négatif au niveau de Colmar : -232.4 mm et Meyenheim : -215.6 mm.

La période de déficit hydrique s'étale d'avril à octobre avec un pic très net en juillet (-65.4 mm à Colmar et -67.8 mm à Meyenheim).

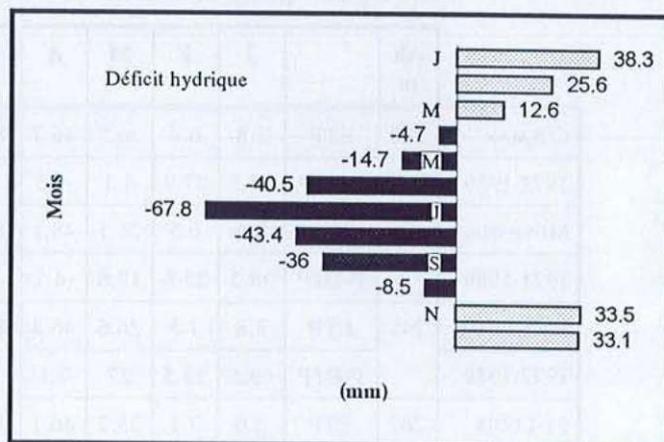
Au niveau des stations de Mulhouse et Saint-Louis, le bilan hydrique annuel est positif (+ 105.4 mm à Mulhouse et + 67 mm à Saint-Louis). Sur l'année, les précipitations sont toujours supérieures à l'ETP. Ceci est principalement dû, non pas à une variation d'ETP du Nord au Sud (*Voir Tableau n°12*) où les moyennes annuelles sont relativement constantes, mais au fait que les précipitations sont plus abondantes en allant vers le Sud (*Voir § II 2.1.*).

Un déficit hydrique important existe cependant en pleine période de végétation, de mai à septembre.

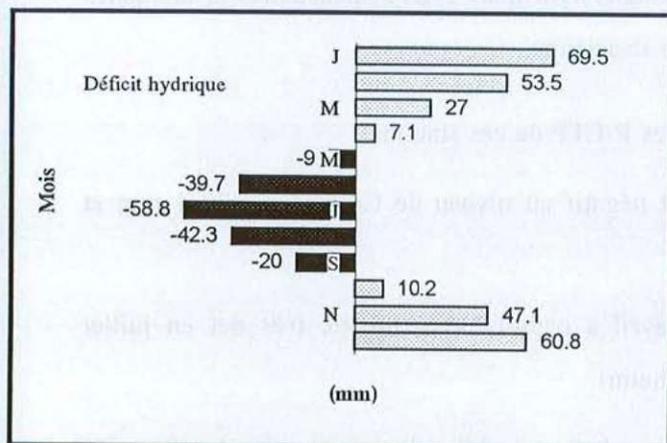
A la fin de l'année, les réserves en eau sont reconstituées.



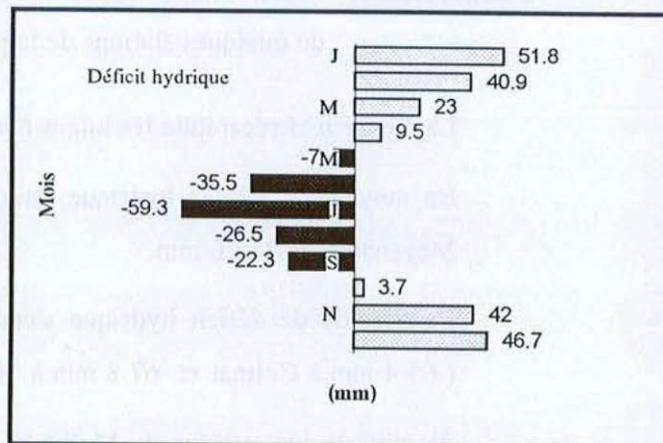
COLMAR (période 1972-1989)



MEYENHEIM (période 1971-1989)



MULHOUSE (période 1972-1989)



SAINT-LOUIS (période 1971-1989)

**Figure n°3** : Diagrammes de bilan hydrique de quelques stations de la plaine alsacienne

## ⑧ Conclusion

La Hardt est une région qui souffre de la **sécheresse**, non seulement à cause du sol mais également du climat : l'écran des Vosges met la plaine du Haut-Rhin à l'ombre de la pluie, et à l'abri des vents d'Ouest qui déchargent leur humidité sur les pentes de la montagne.

C'est un climat à **tendance continentale** (avec un maximum de pluie en été - orages - et un minimum en hiver) sur l'ensemble de la plaine, et à légère tendance océanique dans la région Sud au niveau de Saint-Louis.

Les **précipitations** relativement **faibles** (550 à 770 mm) augmentent de manière non négligeable du Nord au Sud de la Hardt. Cette situation peut avoir des conséquences à étudier sur la végétation.

De 1965 à 1994 a été observée une alternance de périodes déficitaires et excédentaires en eau. Une **sécheresse** amorcée fin 1988 semble persister en 1994 et la situation devient préoccupante pour la végétation.

Les **températures** de l'ordre de **10°** en moyenne semblent constantes sur toute la plaine et ne sont donc pas responsables de climats locaux. En légère augmentation depuis 1988, elles ne peuvent qu'accentuer la situation de sécheresse.

Les **vents** contribuent à ce climat sec : celui du Nord principalement, est un vent fort qui dessèche les sols. Celui du Sud, très chaud, amène les orages responsables d'une forte pluviosité l'été. On pourrait supposer que ces orages sont favorables en période de végétation mais leur efficacité est réduite par l'évaporation que provoque la chaleur, et la rapide percolation de l'eau dans le sol d'extrême perméabilité.

Les **bilans hydriques** sont négatifs au Nord de Meyenheim et positifs au Sud. Ceci est en relation directe avec les précipitations. La végétation est en stress hydrique environ 7 mois par an.

Le bilan hydrique est d'autant plus négatif que les stations considérées sont au Nord.

### III. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

#### ① Le fossé rhénan

Le réseau hydrographique de la plaine alsacienne est formé de deux systèmes : le système de l'Ill et celui du Rhin. Ces deux systèmes sont parallèles et cheminent vers le Nord à une dizaine de kilomètres de distance, jusqu'au-delà de Strasbourg où l'Ill rejoint le Rhin.

L'Ill prend sa source dans le Jura au Glasenberg et reçoit la presque totalité des rivières vosgiennes : la Doller, la Thur, la Lauch, la Fecht, le Giessen, l'Andlau et la Bruche.

Ces rivières sont en hautes eaux en hiver et au printemps et en basses eaux à la fin de l'été, début de l'automne. L'Ill est considérée comme la principale rivière d'Alsace tant par sa longueur (218 km au total) que par son débit ( $600 \text{ m}^3/\text{s}$  en crue centennale à Erstein).

Elle coule parallèlement au Rhin d'Illfurth à Strasbourg sur 180 km.

Des rebords du Sundgau à Colmar, l'Ill est parfois à sec (assèchement renforcé dû à l'affaissement du niveau de base rhénan depuis la dernière glaciation).

Quittant la terrasse würmienne de la Hardt, l'Ill s'installe dans la dépression marginale entre le cône de la Fecht et la terrasse rhénane. Sa pente qui était de 0,8% depuis son entrée dans la plaine, s'accroît brusquement jusqu'à 2%.

A l'aval de cette zone, la pente redescend de 0,8% jusqu'à Strasbourg.

C'est à partir de là que commence l'importante zone inondable de l'Ill qui couvre  $110 \text{ km}^2$  entre Colmar et Erstein.

**Le Rhin** prend sa source dans les Alpes et reçoit le long des 1.320 km de son cours des rivières qui drainent vers lui un bassin versant de l'ordre de  $100.000 \text{ km}^2$ .

Il bénéficie d'un régime alpin avec hautes eaux en été dues à la fonte des neiges, et basses eaux en hiver. Son débit oscille entre  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  en novembre et  $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$  en juin-juillet, la moyenne se situant autour de  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il ne reçoit en Alsace aucun affluent sur sa rive gauche depuis son entrée à Bâle jusqu'à Strasbourg.

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, d'importants travaux de rectification furent entrepris : le fleuve a été endigué et sa longueur réduite d'une centaine de kilomètres entre Bâle et Mayence. Ceci

provoqua le déclenchement de mécanismes d'érosion, et le Rhin a creusé son lit jusqu'à 8 m en 100 ans au niveau d'Ottmarsheim.

## ② La Hardt

La terrasse de la Hardt n'est sillonnée d'aucune rivière en tant que telle. Par contre, divers canaux la traversent :

- l'ancien canal du Rhône au Rhin,
- le canal de Colmar,
- le canal de Widensohlen au Nord de Neuf-Brisach et le canal de Vauban, transversal au Sud de Neuf-Brisach puis longeant l'Ill,
- le canal de la Hardt,
- le canal de Huningue.

Dans la région Nord entre Colmar et Marckolsheim, les eaux souterraines tangentent la surface du sol et donnent naissance à un réseau de petits ruisseaux : la Blind, l'Orchbach, le Lissgraben, la rigole de Widensohlen. Seule la rigole de Widensohlen entame réellement la terrasse würmienne du Rhin.

De même à l'Ouest d'une ligne reliant Sierentz à l'extrémité Sud de l'aérodrome de Mulhouse-Habsheim, la nappe affleure légèrement par suite de l'apport d'eau provenant des collines du Sundgau ainsi qu'à l'Est au niveau de Kembs (nappe de surface).

#### IV. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DE LA PLAINE D'ALSACE

La terrasse de la Hardt n'étant qu'une sous-unité naturelle de la plaine alsacienne, il convient de décrire l'ensemble des événements géologiques et historiques qui ont contribué à la mise en place du système plainière.

##### ① Généralités

Le fossé rhénan présente une morphologie due à l'épandage et aux déformations des alluvions du Rhin et de ses affluents.

Tout au long du Quaternaire, le Rhin et ses affluents ont accumulé leurs alluvions sur des épaisseurs considérables : 50 m près de Bâle, 100 à 150 m au Nord de Mulhouse, 250 m à hauteur de Neuf-Brisach, 195 m à l'Est de Sélestat.

La subsidence irrégulière du fossé ou le relèvement des Vosges et de la Forêt Noire ainsi que l'alternance d'époques froides et tempérées plus ou moins humides sont à l'origine des vagues successives de creusement et d'alluvionnement, d'où la disposition de ces alluvions en terrasses étagées.

Les terrasses fluviales sont souvent couvertes de limons loessiques plus ou moins épais amenés par le vent durant les périodes froides. On distingue :

- les loess récents et leur mince couverture de lehm (partie supérieure et décalcifiée d'une couche de loess), atteignant 15 m et datant du Würm,
- les loess et limons anciens, épais d'une vingtaine de mètres, qui datent du Riss.

Du point de vue de la morphologie et de son incidence sur les régions naturelles, plusieurs domaines sont ainsi distingués :

- **les hautes terrasses** couvertes de loess (zones de culture);
- **les cônes alluviaux** issus de l'arrivée des rivières vosgiennes dans la plaine;
- **les basses terrasses** se raccordant aux cônes alluviaux, sans couverture loessique. Ces terrains caillouteux et plus ou moins incultes portent des forêts dont celle de la Hardt;
- **les rieds** de la plaine alluviale, situés souvent en bordure des terrasses. Ces régions de prairies et de cultures correspondent aux méandres de l'Ill et de ses affluents;

- la basse plaine alluviale du Rhin ou ried du Rhin, large de 4 à 6 km, correspondant au lit d'inondation du Rhin avant la correction de son cours. Depuis, celui-ci surcreuse généralement son chenal en réponse aux nouvelles conditions hydrauliques ainsi créées. Les anciens méandres deviennent des bras morts, et le niveau de la nappe phréatique s'abaisse et assèche la surface des rieds de la plaine.

## ② Succession des événements et faciès lithologiques

### 2.1. La formation du fossé rhénan (Voir Figure n°4)

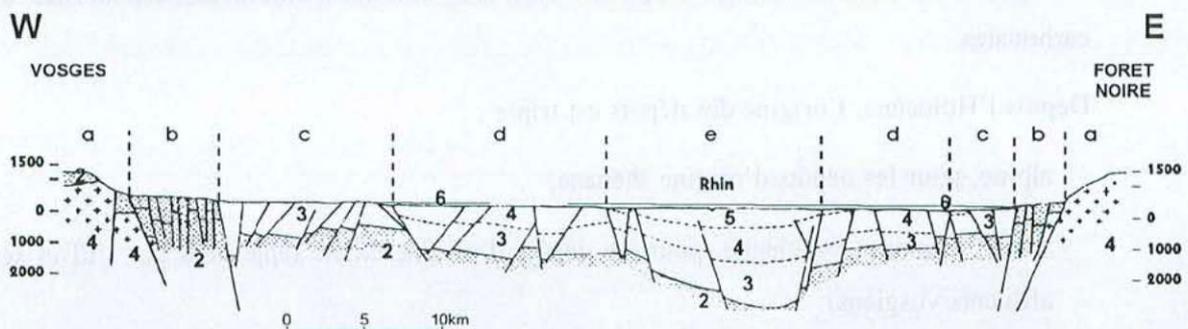
C'est à partir de l'époque triasique que le continent hercynien va être progressivement immergé d'Est en Ouest.

Aux transgressions marines du Buntsandstein (période des grès) succèdent les transgressions du Muschelkalk (grès, marnes, dolomies et calcaires) et du Keuper (sel gemme et anhydrite). Au Jurassique, la mer occupe en permanence l'Est de la France.

L'émersion définitive de la région Vosges-Forêt Noire se réalise après le dépôt des calcaires séquanais. Après avoir été exondée et basculée vers le Sud, cette région subit des déformations de grande amplitude, contre coups du plissement alpin.

Des dépressions subméridiennes, amorce de la gouttière rhénane, apparaissent à partir du Lutécien. A l'Eocène moyen débute donc l'histoire du Fossé Rhénan.

L'effondrement du fossé commence d'abord au Sud, à l'Eocène et à l'Oligocène inférieur et moyen. A l'Oligocène supérieur, au Miocène et au Pliocène, l'affaissement intéresse surtout le Nord du fossé.



1. Socle. - 2. Terrains secondaires. - 3 à 5. Oligocène inférieur (3), moyen (4) et supérieur (5). - 6. Plio-Quaternaire. - a/ Zones de bordure. b/ Champ de fractures. - c-e/ Zones marginales (c), moyennes (d) et centrale (e) du fossé.

**Figure n°4** : Unités structurales et sédimentaires du Fossé Rhénan (d'après J.P. VON ELLER, 1984)

Le *tableau n°13* résume l'évolution paléogéographique de l'Alsace.

### *2.2. Le remplissage sédimentaire tertiaire du Fossé Rhénan*

Les différentes étapes de ce remplissage sont résumées dans le *tableau n°14*.

### *2.3. Evolution quaternaire et actuelle du Fossé Rhénan*

L'alternance de périodes froides et tempérées au quaternaire a rythmé le dépôt des alluvions dans le Fossé Rhénan.

La plus grande partie de ces dépôts et les plus grossiers d'entre eux datent des périodes froides (Würm) dont les caractéristiques bioclimatiques ont permis l'élaboration d'un matériel de faciès périglaciaire ou fluvioglacière dit "Terrasses würmiennes" (J.P. VON ELLER, 1984). Les périodes tempérées sont marquées surtout par l'altération des formations déposées au würm et par des dépôts d'inondation (Rhin et affluents) plus fins (rieds).

Depuis le Quaternaire ancien, ces alluvions ont été essentiellement d'origine alpine, à sables gris et galets vers le centre du fossé, et d'origine vosgienne sur les bords.

Les alluvions alpines ont été déposées par les crues du Rhin qui submergeaient la plaine jusqu'au pied des Vosges. Sur le plan géochimique, les dépôts rhénans fluvioglaciers représentent un échantillonnage statistique de la géologie des roches dures du bassin alpin du Rhin. L'aspect essentiel de ces dépôts est leur richesse en carbonate de calcium (20 à 30% de carbonate).

Les galets et sables d'origine vosgienne sont des alluvions siliceuses, dépourvues de carbonates.

Depuis l'Holocène, l'origine des dépôts est triple :

- alpine, pour les dépôts d'origine rhénane,
- sungdovienne et vosgienne, pour les dépôts d'origine ellane (apportées par l'III et ses affluents vosgiens).

Tableau n° 13 : Evolution paléogéographique de l'Alsace (J.-P. Von Eller, 1984)

	Quaternaire	Agés (MA)	Evénements géologiques	Dépôts et lithologie	
TERTIAIRE	PLIOCENE	2	Relèvement des bordures - phénomènes glaciaires Affaissement du fossé : ouverture vers le N	Couverture loessique et lehmification Edification des terrasses fluviales	
		7-10	Régime continental : érosion Relèvement général du bloc rhénan et des bordures du fossé ..... <i>phase attique</i> .....	Accumulation détritiques fluvio-lacustres Ligne de partage des eaux au niveau du Kaiserstuhl	
	MIOCENE	24-26	"Mer morte" reléguée dans l'extrême N du fossé Emersion et érosion Relèvement du fossé méridional ..... <i>phase save</i> .....	Dépôts "marins" dans la partie Nord Dépôts continentaux fluviaux et lacustres Volcanisme (Kaisertuhl)	
			Dessalure progressive Extension du bras de mer et relation avec mer périalpine Invasion marine à partir du N	Dépôts lacustres et fluviaux : molasse Sédimentation marneuse uniforme	
	EOCENE	31-32	Ingressions marines brèves venues du S Effondrement progressif du fossé (failles, flexures) ..... <i>phase pyrénéenne</i> .....	Dépôts saumâtres à marins, argileux et évaporitiques (potasse)	
		37-38	Dépressions continentales discontinues Erosion, altération, remaniements ..... <i>phase laramienne</i> .....	Dépôts sidérolithiques, lacustres et palustres Volcanisme	
	SECONDAIRE	CRETACE	67	( <i>plissement de la surface prétertiaire</i> ) Emersion et érosion des surfaces mésozoïques ..... <i>phase néocimmérienne</i> .....	
			137	Tendance à l'émerision Mer plus ou moins profonde Régime marin avec périodes d'émerision partielle Invasion marine : mer assez profonde ..... <i>phase éocimmérienne</i> .....	Sédimentation carbonatée récifale Sédimentation argilo-marneuse Dépôts carbonatés (faciès argileux souabes dans le Nord) Sédimentation marneuse et argilo-schisteuse
		JURASSIQUE	195-200	Régression marine partielle Invasion marine - Mouvements épirogéniques Régime continental à saumâtre ..... <i>phase palatine</i> .....	Dépôts lagunaires sursalés avec évaporites Sédimentation calcaro-marneuse avec évaporites Dépôts détritiques fluviaux, estuariens ou deltaïques
				Régime continental <i>Fin de la tectogenèse hercynienne</i> ..... <i>phase saalienne</i> .....	Dépôts volcano-sédimentaires avec intrusions acides
TRIASS		225-230			
PERMIEN		250-260			



### ③ Les unités structurales et sédimentaires du Fossé Rhénan ; position et formation de la basse terrasse alluviale de la Hardt (CARBIENER, VOGT)

Lors de la dernière période froide, le Rhin balayait l'ensemble de la largeur de la plaine, déposant ses alluvions. C'est la combinaison des effets de la tectonique et l'évolution du réseau hydrographique qui détermine l'association des unités naturelles structurales suivantes du Sud au Nord (axe longitudinal) et d'Est en Ouest (axe transversal).

#### 3.1. La Hardt du Rhin

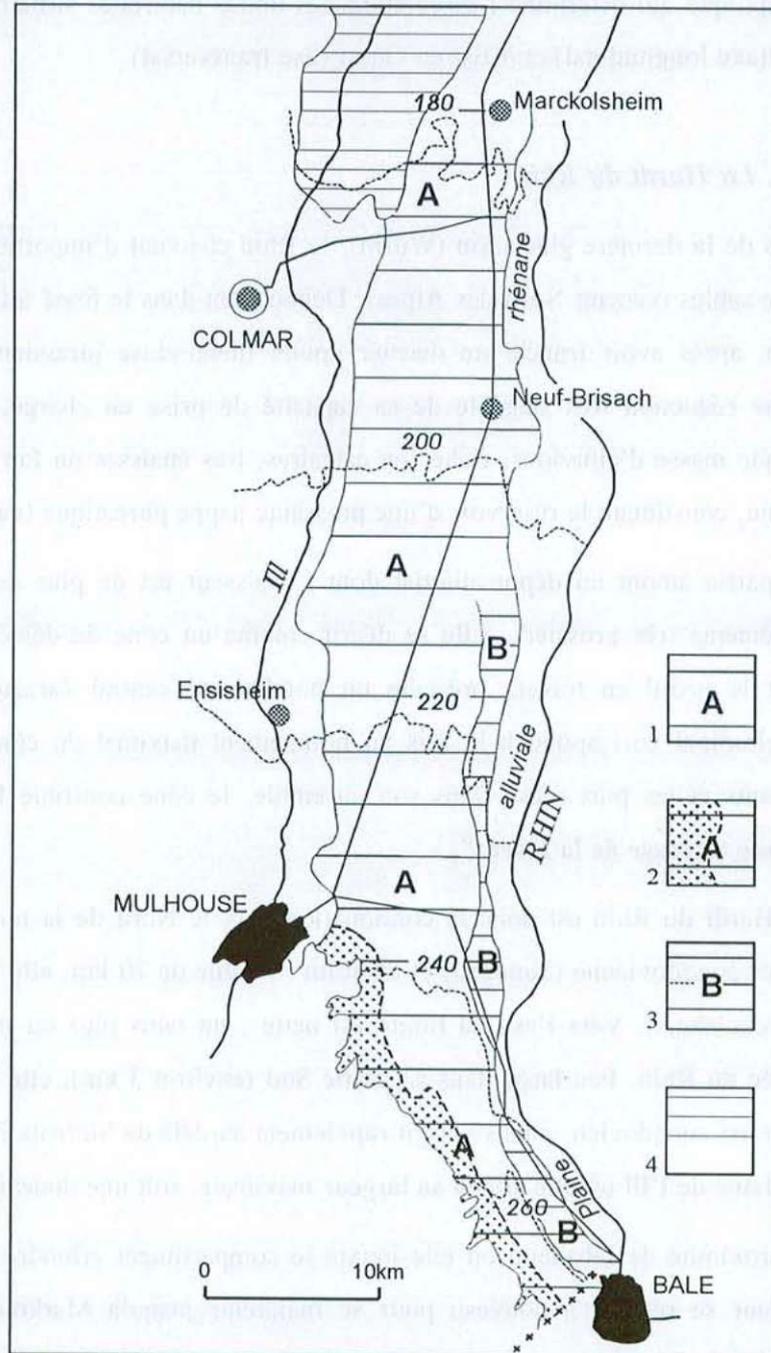
Lors de la dernière glaciation (Würm), le Rhin charriait d'importantes quantités de galets et de sables (versant Nord des Alpes). Débouchant dans le fossé à l'emplacement actuel de Bâle, après avoir franchi un dernier goulet (demi-cluse jurassienne), le fleuve, du fait d'une réduction très sensible de sa capacité de prise en charge, va alors déposer une grande masse d'alluvions, riches en calcaires, très épaisses du fait de la subsidence de la plaine, constituant le réservoir d'une puissante nappe phréatique (nappe alluviale rhénane).

La partie amont du dépôt alluvial dont l'épaisseur est de plus de 200 m est constituée d'éléments très grossiers. Elle se décrit comme un cône de déjection géant et surbaissé dont le profil en travers présente un bombement central caractéristique et dont l'axe longitudinal correspond à la fois au bombement maximal du cône et aux sols les plus filtrants et les plus secs. Dans son ensemble, le cône constitue la région naturelle dite "**basse terrasse de la Hardt**".

La Hardt du Rhin est donc la continuation vers le Nord de la terrasse würmienne de la vallée sungdovienne (Sundgau) et du Rhin : longue de 70 km, elle s'étend de Bâle jusqu'à Marckolsheim. Vers l'est, sa limite est nette ; un talus plus ou moins abrupt domine la vallée du Rhin. Peu large dans sa partie Sud (environ 3 km), elle bute au rebord oriental du horst sungdovien, puis s'élargit rapidement au-delà de Sierentz jusqu'à son contact avec la plaine de l'Ill où elle atteint sa largeur maximale, soit une douzaine de kilomètres.

A proximité de Jepsheim où elle jouxte le compartiment effondré du ried de Colmar, sa largeur se rétrécit à nouveau pour se maintenir jusqu'à Markolsheim à une valeur de l'ordre de 5 km.

**Figure n°5** : Limites superficielles de la Basse Terrasse rhénane



**A** : niveau d'érosion supérieur (en 2, ce niveau est recouvert par des colluvions loessiques)

**B** : 3, niveau d'érosion inférieur - 4, domaine des Rieds

Le bord interne de la terrasse domine la vallée majeure actuelle (ried) de 3 m à Niffer, de 2 m à Mumersheim et Blodelsheim, s'efface entre Heiteren et Geisswasser, tandis que l'altitude relative du centre de la nappe est de +10 m entre Niffer et Habsheim, de +5 m à Munchhouse ou entre Reguisheim et Blodelsheim, et de + 2m entre Sainte-Croix en plaine et Biesheim.

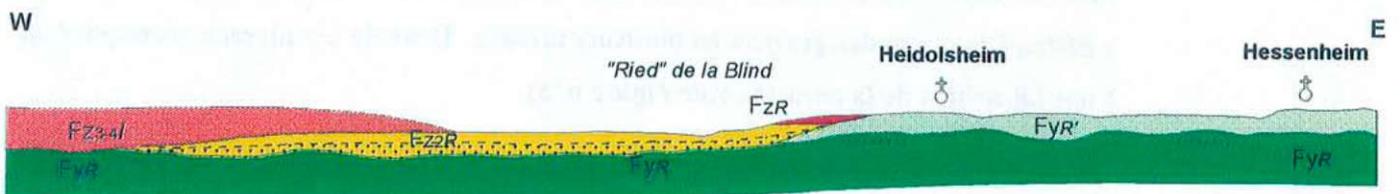
D'une façon générale, la surface de la nappe alluviale accuse une pente de 1,4% en direction Nord, tandis que celle de la plaine alluviale actuelle n'est que de 1,2%, de la sorte, la basse terrasse de la Hardt se rapproche progressivement de la plaine alluviale du Rhin.

Selon R. MAROCHE (1964), la terrasse laisse reconnaître divers gradins dus à l'érosion qui a découpé la masse des graviers en plusieurs niveaux. Deux de ces niveaux correspondent à une bipartition de la terrasse (*Voir Figure n°5*).

- ❖ **un niveau A** (niveau de Bourgfelden) qui porte la forêt de la Hardt. Ce gradin domine le niveau inférieur d'une dizaine de mètres. Plus au Nord, il s'étend sur une grande largeur. La majeure partie de ces matériaux est de nature grossière ; on observe toutefois un certain nombre de chenaux rhénans fossiles, comblés par des éléments fins, limoneux et sableux. Le niveau A se rattache aux moraines externes de la glaciation würmienne.
- ❖ **un niveau inférieur B** (niveau de Saint-Louis) : c'est un gradin d'érosion apparu au flanc de la Basse Terrasse. Il se présente sous la forme d'une bande allongée étroite, interrompue à hauteur de Loechleet qui se confond aux abords de Fessenheim avec le niveau supérieur de la terrasse. Son rebord oriental qui domine la plaine alluviale rhénane porte la route nationale 68. Ce niveau est sillonné par un réseau d'anciens chenaux comblés par des sédiments alluviaux fins.

Ces deux niveaux principaux se subdivisent dans la partie Sud de la terrasse, en un certain nombre de gradins de moindre importance ; ces derniers résultent du jeu de déplacement des méandres du Rhin au cours de phases de mouvement négatif (abaissement du plan d'eau sans temps d'arrêt) ; on obtient ainsi une succession de creusements de talus. La disposition de talus vers l'aval est en relation directe avec des phénomènes d'affaissement dont la plaine alsacienne fut le siège au Pléistocène (mouvements tectoniques).

**Figure n°6** : Coupe géologique schématique des terrains quaternaires de la plaine du Rhin  
(d'après carte géologique 1/50.000ème 342-343 Colmar-Artolsheim)



Cailloutis ("terrasse" dite holocène)

- Fz3-4l Limons post-romains et actuels de l'ILL
- Fz2R Gravier et limons, Préboréal et Atlantique ("Ried Noir" du Rhin)
- FzR Alluvions rhénanes postglaciaires à historiques : dépôt discontinu de chenal

Alluvions caillouteuses des vallées vosgiennes ("terrasses"), cailloutis d'origine alpine

- FyR Formation intacte ("basse terrasse du Rhin, Hardt rouge")
- FyR' Formation entamée au cours de l'Holocène ("Hardt grise")

A côté des phénomènes tectoniques proprement dits qui ont touché la Basse-Terrasse, on observe à la surface de cette dernière un certain nombre de déformations dont la plus importante correspond à un bombement de la terrasse à l'aplomb même de la longue crête dioptrique (dômes diapiriques) : (Voir § IV. 2.2.) exhaussement d'environ deux mètres au-dessus de l'altitude de la plaine ; on observe également des bombements transversaux.

Cependant, tous les éléments topographiques de la terrasse würmienne ne sont pas d'ordre tectonique, un certain nombre d'entre eux résultent de ravinements et autres actions érosives, de divers remaniements des matériaux de couverture ; ils se sont produits au cours de l'époque würmienne et flandrienne à la surface de cette terrasse.

La basse-terrasse de la Hardt n'est pas une entité homogène. En fonction de critères purement pédologiques, il convient de distinguer deux sous-unités (ces données seront reprises plus précisément dans le chapitre pédologie).

❖ **La "Hardt rouge"** : la partie sommitale est caractérisée par un paléosol de couleur brun-rouille situé au-dessus d'un encroûtement calcaire.

En-dessous se situe un dépôt sablo-limoneux mêlé de petits cailloux (2 à 4 cm) non altérés. Il s'agit de remaniements locaux postglaciaires de matériel würmien sous l'effet des crues du Rhin, antérieur à son incision.

❖ **La "Hardt grise"** : constitue un niveau d'entaille du Rhin holocène dans l'ensemble précédent avec traces de larges chenaux du Rhin commençant à entailler la surface primitive de la Hardt. Vers le Nord, la Hardt, perchée de 5 m au Sud, rejoint progressivement le niveau des rieds et dès Heiteren, la part de la Hardt grise s'étend sous l'effet de l'envahissement croissant par d'anciens lits du Rhin. L'incision du Rhin a déterminé ce niveau qui s'établit généralement au sommet de la croûte calcaire.

Plus au Nord, vers Colmar-Marckolsheim subsiste un lambeau d'alluvions rhénanes postglaciaires à historiques. Ce sont des alluvions sablo-limoneuses qui colmatent des réseaux plus ou moins continus de chenaux anastomosés. C'est par ces chenaux de direction SE-NW puis Sud-Nord, que les crues du Rhin dans les alluvions subactuelles ont mis fin à ces écoulements.

La coupe géologique transversale suivante (Voir *Figure n°6*), réalisée au Nord de Markolsheim entre Hessenheim et Heifolsheim montre l'agencement Hardt grise - Hardt rouge - alluvions rhénanes postglaciaires.

□ **Composition du matériel d'épandage :**

La basse-terrasse se compose :

- de lentilles graveleuses de 3 à 6 m d'épaisseur, dont les galets dépassent rarement 15 cm de diamètre, sans matrice sableuse ; certaines lentilles comportent des bancs de sable d'épaisseur très variable ;
- de niveaux à galets beaucoup plus grossiers à matrice sableuse.

Au sein des cailloutis würmiens existe un véritable poudingue, d'une épaisseur de 0,4 m à 2 m ; les galets sont cimentés par une croûte calcaire.

Le *tableau suivant* présente le spectre pétrographique moyen de 10 prélèvements effectués entre 2 et 3 m de profondeur en rive droite du Rhin (latitude de Kaiserstuhl).

Calcaires	Alpins, souvent gris sombre, dolomies rares, jurassiens et des collines sous-vosgiennes	48%
Grès	Calcareux en partie ; la plupart proviennent du Flysch alpin	6%
Roches siliceuses	Quartzites et grès du verrucano et du taveryannoz Radiolarites calcaires siliceux, cornéennes Quartz, origine alpine dominante	7 19 7 } 33%
Roches cristallines	Alpines : gneiss, amphibolites, granites (Forêt noire : gneiss, anatexites, granites, porphyres)	6 (7) } 13%
Roches du Kaiserstuhl	Roches volcaniques	6%

**Tableau n°15 :** Spectre pétrographique moyen

### 3.2. L'Alsace des rieds

#### 3.2.1. Le ried de la Thur

Situé entre les premiers contreforts des Vosges et la Hardt au Sud de la Fecht, le ried de la Thur est une bande de terrains marécageux avant le drainage artificiel, rapidement inondée par remontée de la nappe phréatique. Large de 5 km, il s'agit d'une zone d'affaissement tectonique récent qui guide les cours actuels de la Lauch et de la vieille Thur. Le ried s'étale largement au Nord de Rouffach.

### 3.2.2. Le ried ello-rhénan

Le ried ello-rhénan, pris au sens large du terme, représente le champ d'inondation du Rhin et de ses affluents (avant canalisation) dans la plaine d'Alsace. L'espace géographique concerné comprend la quasi-totalité de la largeur de la plaine entre Strasbourg et Colmar. La limite occidentale correspond approximativement au cours de l'Ill qui lui-même jouxte à partir de Colmar les cônes de déjections (cônes alluviaux), puis le rebord d'une terrasse würmienne au Nord, couverte de loess dite "terrasse d'Erstein".

La limite orientale est quant à elle constituée par le Rhin.

Le grand ried alsacien doit son existence au façonnement fluvial du fossé tectonique rhénan par le Rhin glaciaire (würmien : formation de la Hardt), puis le Rhin postglaciaire jusqu'à l'époque des endiguements et de la rectification du fleuve par Tulla au 19<sup>ème</sup> siècle.

La période postglaciaire a été marquée par une diminution de la charge alluviale du fleuve. Ceci a eu pour conséquence une réadaptation de son profil longitudinal qui est plus tendu que le profil würmien et l'individualisation de 3 secteurs.

#### □ Le secteur amont de Bâle à Neuf-Brisach :

Dans ce secteur, la dynamique accumulatrice glaciaire a fait place à une dynamique holocène érosive, ce qui a provoqué un entaillement linéaire du cône würmien (Hardt) de 4 à 12 mètres, l'entraînement en profondeur de la nappe phréatique et la fossilisation de la basse terrasse de la Hardt, qui depuis constitue une entité très sèche, isolée.

Le lit majeur holocène du Rhin, très rétréci (4 à 6 km de largeur) était très anastomosé. Ce lit fut fossilisé et asséché lors de la rectification (19<sup>ème</sup> siècle).

#### □ Le secteur Neuf-Brisach-Erstein :

Entre Markolsheim et Erstein, les cotes du Rhin actuel sont restées très semblables à ce qu'elles étaient à l'époque glaciaire. L'unité naturelle qui succède à la Hardt en aval d'une ligne Colmar-Markolsheim constitue, au contraire de la terrasse fossile de la Hardt, une région alluviale fonctionnelle. Le Rhin, qui ne se heurtait à aucune terrasse, présentait alors un champ d'inondation de 20 km environ.

A l'Holocène, du fait du piégeage des alluvions les plus grossières dans les forêts situées en bordure du fleuve, la zone axiale rhénane s'est légèrement bombée. Le Rhin dominant sa vallée a formé alors une vaste dépression marginale fluviale qui évoluera en milieu marécageux.

C'est dans cette dépression que l'Ill qui collecte l'ensemble des torrents vosgiens s'est individualisée. Depuis cette période, l'Ill coule parallèlement au Rhin car elle se trouve captive de la partie externe la plus déprimée de la dépression rhénane.

Comme le Rhin, l'Ill a édifié un système de levées sablo-limoneuses et a exhaussé son lit au-dessus du niveau moyen de la plaine.

Parallèlement, la dynamique fluviale très active du Rhin (et de l'Ill) a conduit à l'édification d'un système très complexe de levées de rives et de dépressions emboîtées, alternant avec des restes remaniés de la terrasse würmienne.

#### □ Le secteur aval : le ried Nord :

A partir de Strasbourg, le Rhin holocène s'entaille dans les terrasses alluviales sablo-siliceuses édifiées par les rivières vosgiennes au Quaternaire, recalibre sa vallée et limite son champ d'inondation.

#### **Le ried ello-rhénan et ses principales sous-unités :**

En fonction de la granulométrie des alluvions, du régime des eaux et de la topographie, l'espace géographique du ried peut se découper en bandes longitudinales parallèles au Rhin et à l'Ill.

Ces sous-unités naturelles se sont individualisées au cours de la période postglaciaire et s'échelonnent d'Est en Ouest comme suit :

#### □ L'axe fluvial :

Il est formé de sédiments grossiers déposés en milieux forestiers jusqu'au 19ème siècle par le Rhin. Ces alluvions sont surmontées de limons-sableux plus ou moins épais (0,5 à 2 m) qui correspondent à l'alluvionnement post-rectification.

#### □ Le ried blond rhénan :

Il correspond au lit majeur du Rhin sauvage avant les endiguements. La dynamique forte du fleuve à ce niveau explique que cette zone est hétérogène du point de vue

textural. On peut trouver des bancs de galets édifiés lors des grosses crues, des levées de rives des terrasses limono-sableuses, des dépressions marginales de décantation limoneuses à argileuses.

#### □ Le ried brun rhéan :

C'est une terrasse nettement individualisée, de limons et sables fins, parfois interrompue de chenaux et de bancs de graviers. Cette terrasse domine à l'Ouest le ried blond de 1 à 2 m et s'observe à partir de Marckolsheim. Son édification récente (2 ou 3ème siècle après J.C.) est due à des crues violentes de fréquence millénaire (période pluviale). Par la suite et bien qu'elle soit restée submersible jusqu'au 19ème siècle, cette terrasse ne fut que faiblement retouchée.

#### □ Le ried noir central :

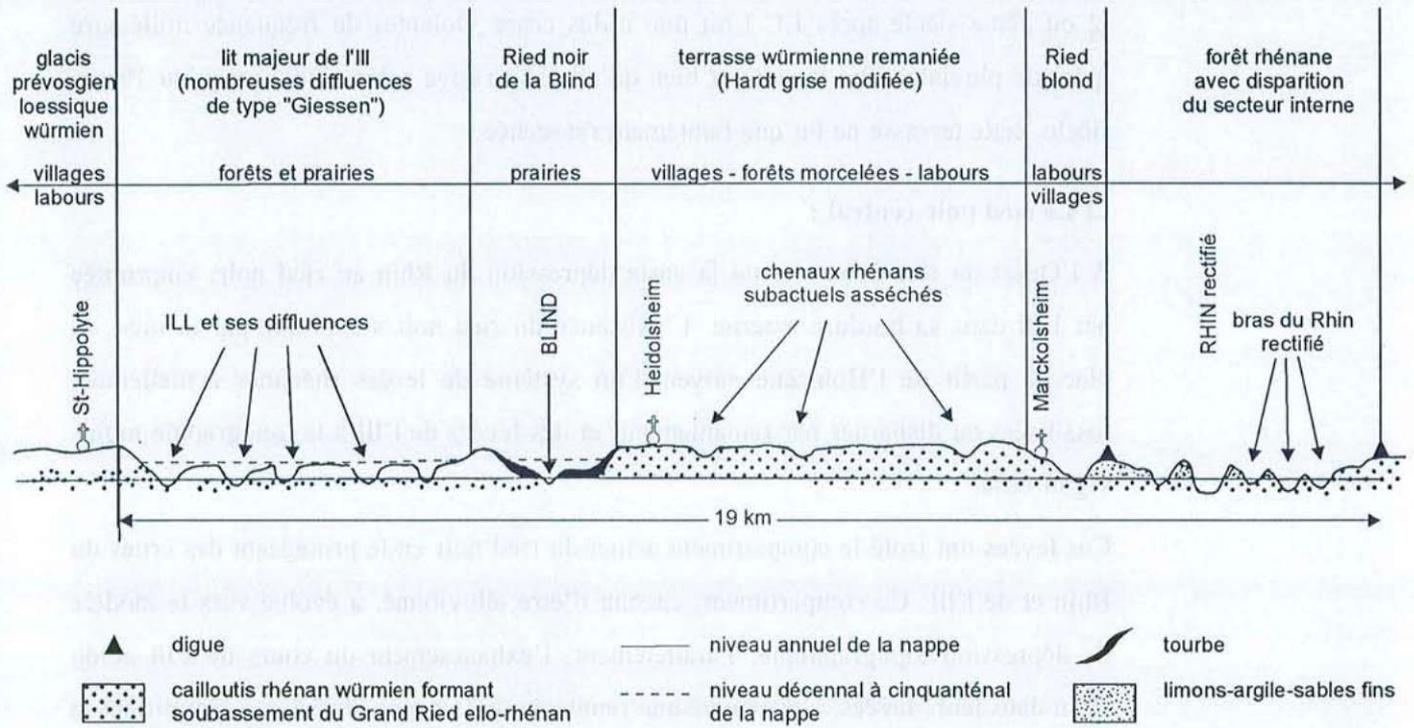
A l'Ouest du ried brun s'étend la vaste dépression du Rhin au ried noir, empruntée par l'Ill dans sa bordure externe. L'existence du ried noir s'explique par la mise en place à partir de l'Holocène moyen d'un système de levées rhénanes actuellement fossilisées ou disparues par remaniement, et des levées de l'Ill à la topographie moins vigoureuse.

Ces levées ont isolé le compartiment actuel du ried noir en le protégeant des crues du Rhin et de l'Ill. Ce compartiment, cessant d'être alluvionné, a évolué vers le modèle de dépression topographique. Parallèlement, l'exhaussement du cours de l'Ill et du Rhin dans leurs levées, a provoqué une remontée de la nappe phréatique, amplifiant le caractère marécageux du ried. Malgré une topographie aplanie, le ried noir présente des alternances de chenaux et de dépressions avec des levées, des bancs de graviers ou des petites terrasses. Deux sous-unités sont ainsi distinguées :

- le ried noir Sud, cuvette de 17 km de long sur 3 km de large, entre Jebnheim et Muttersholtz, parcourue au Sud par la rivière Blind,
- le ried noir Nord, à la latitude de Sélestat, parcouru par la rivière Zembs. Au Nord de cette zone, les levées rhénanes holocènes s'affirment et s'élargissent en vastes terrasses (ried brun) qui bordent les cuvettes du ried noir à l'Est.

Le ried noir de la Zembs est morcelé et dominé localement par des fragments de terrasse limités par des talus (1 à 2 m). Ces terrasses sont des résidus de la terrasse würmienne, remaniés au début de l'Holocène. Ces formations géomorphologiques, voisines de celle de la partie aval du cône de déjection du Rhin glaciaire désignée par le terme de "**Hardt grise**", ont été dénommées ried brun gris.

**Figure n°7 :** Structure du Grand Ried ello-rhénan à hauteur de Marckolsheim (partie sud)



### □ Le ried gris ou champ d'inondation de l'III :

Le champ d'inondation du lit majeur de l'III borde le lit de la rivière sans interruption de Colmar à Erstein, sur une largeur de 2 à 4 km, essentiellement sur la rive Est. La morphologie du champ d'inondation de l'III est très différente de celle de la région rhénane.

Le relief est très aplani, les talus et les chenaux peu marqués et les levées et les dépressions ne se manifestent que par de molles ondulations. Aussi, les crues de l'III s'étalent en un vaste plan d'eau d'allure lacustre. La dynamique des eaux de crues est faiblement accumulative dans l'ensemble.

Les alluvions holocènes de l'III comprennent principalement des matériaux fins, limoneux et argileux. Dans l'axe et à proximité des talwegs, actuels et anciens, on observe fréquemment des intercalations riches en sables et même en graviers.

### 3.3. Les cônes alluviaux

Ce sont des accumulations fluviales majoritairement vosgiennes, forcées par rupture et déposées par les torrents vosgiens, soit à la confluence, soit à l'arrivée dans la plaine.

On distingue du Sud au Nord de la plaine :

- les cônes alluviaux de la Doller et de la Thur, constitués d'une large nappe d'alluvions anciennes ou récentes, grossières, sans couverture loessique. Ces alluvions quaternaires recouvrent en discordance les dépôts tertiaires du Bassin Potamique de Mulhouse.
- les cônes alluviaux coalescents de la Fecht, de la Weiss et du Geissen, largement recouverts de limons d'inondations (III) et parfois de loess.

### 3.4. Synthèse

Les *figures n°7* et *n°8* et la *carte n°4* illustrent la disposition des unités naturelles de la plaine d'Alsace.

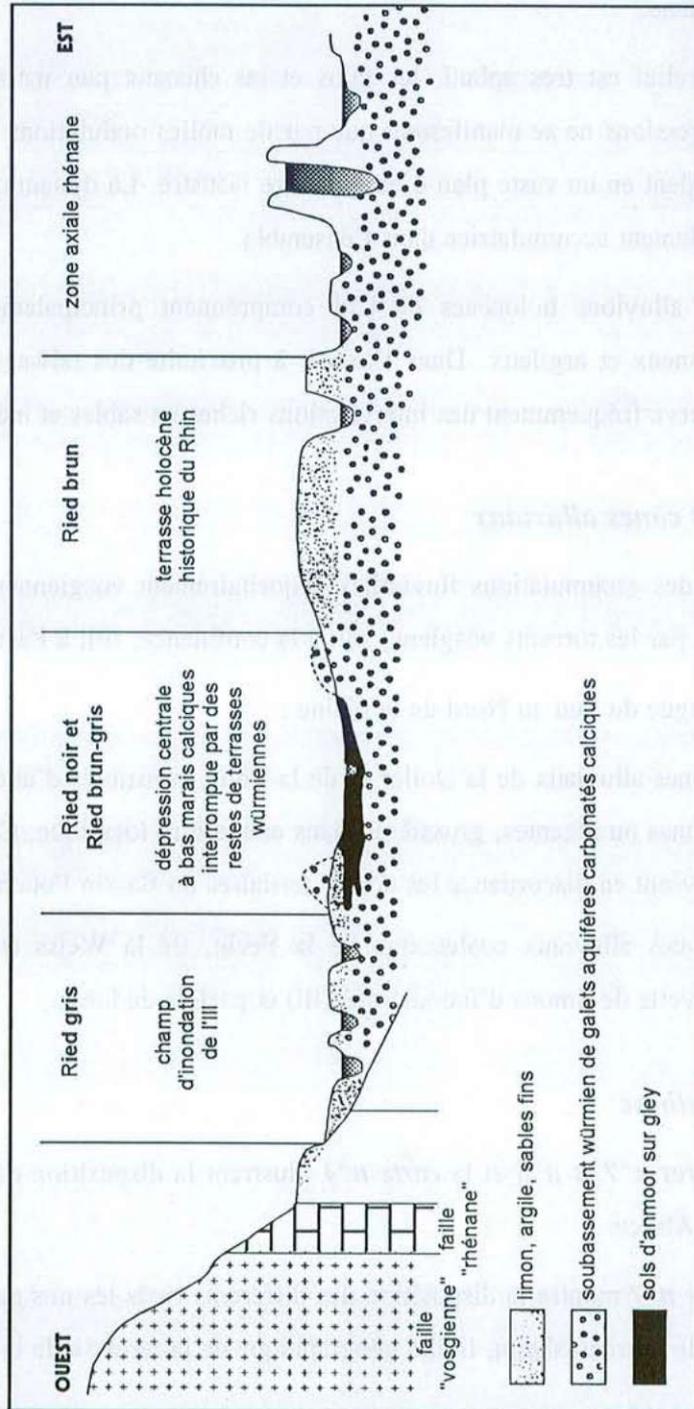
La *figure n°7* montre la disposition des différents rieds les uns par rapport aux autres à la hauteur de Marckolsheim, limite géographique de la terrasse de la Hardt.

La *figure n°8* représente une coupe schématique transversale de la plaine dans le secteur des anastomoses du Rhin.

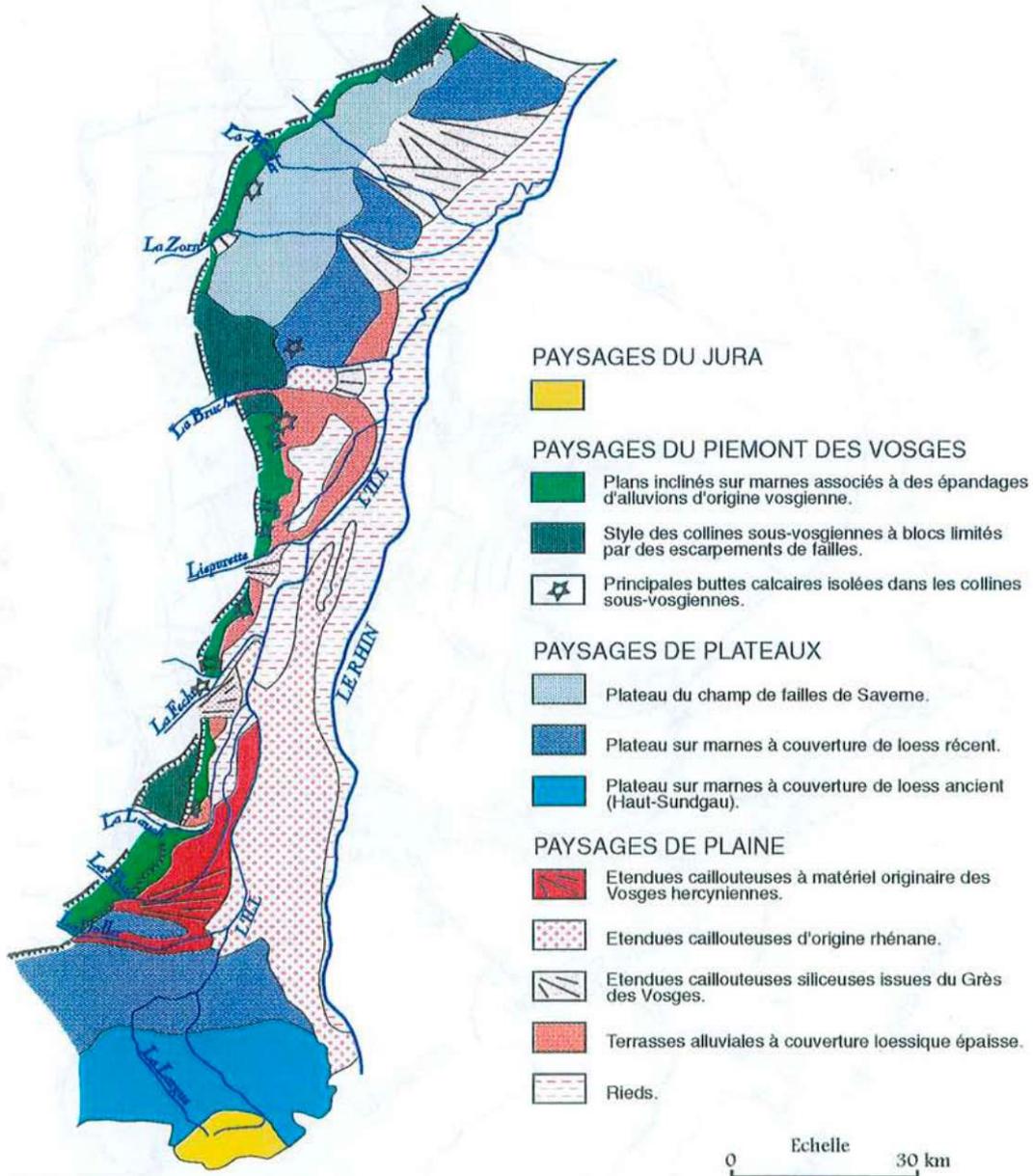
Enfin, la *carte n°4* est une carte schématique de la plaine reproduisant l'agencement longitudinal des différents compartiments morphologiques.

**Figure n°8** : Coupe schématique de la plaine rhénane dans le secteur des tresses et des anastomoses

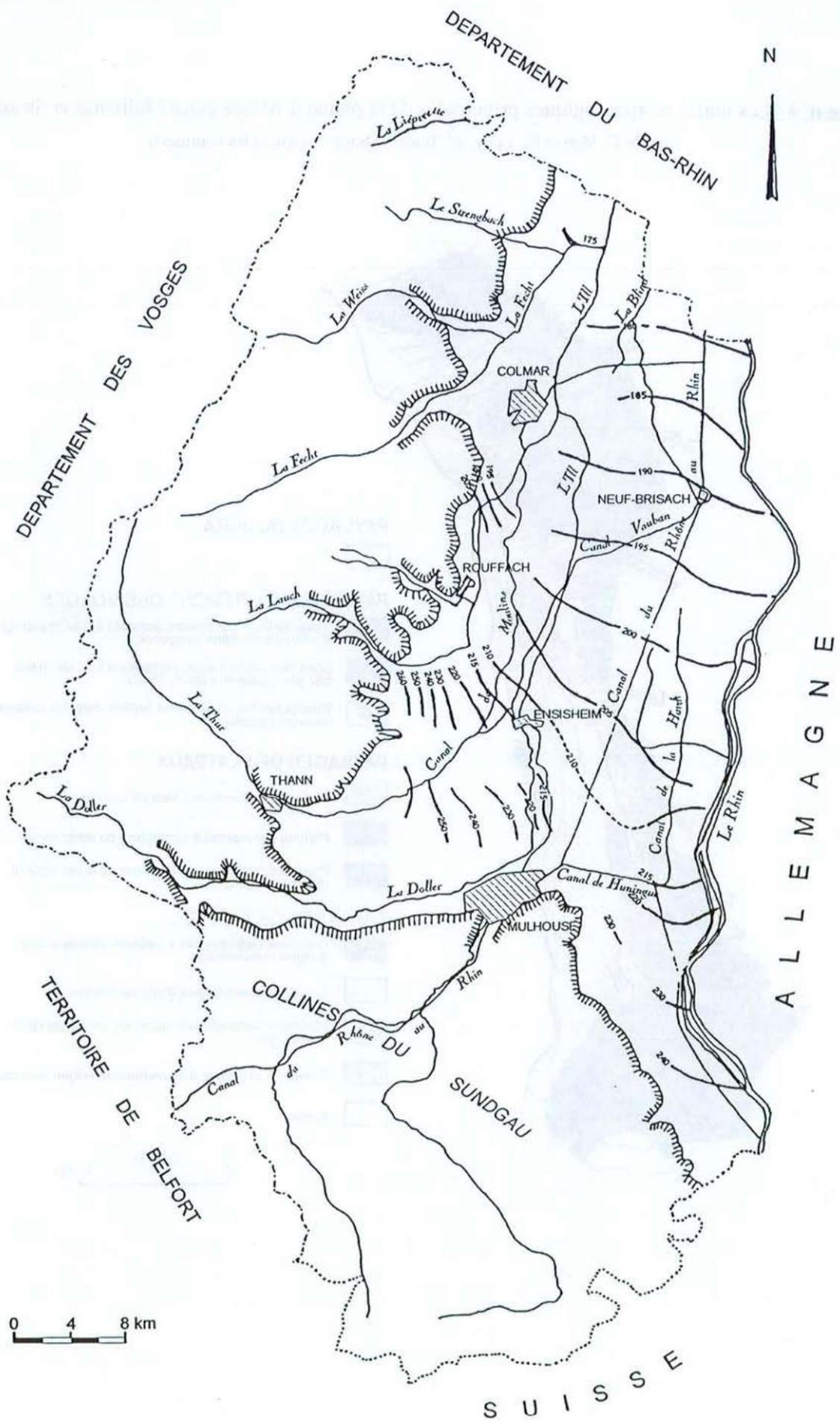
(d'après R. Carbiener, A. Madecclaire, A. Schmitzler, B. Sicard, 1990)



**Carte n°4** : Les unités morphologiques principales de la plaine d'Alsace entre Mulhouse et Strasbourg  
(d'après H. Vogt et M. Levy, in "Toute l'Alsace, la terre et les hommes")



**Carte n°5 : Surface piézométrique dans le Haut-Rhin - 10 janvier 1955**  
 (d'après Duprat, Simler, Valentin, 1979)



## V. LA NAPPE PHREATIQUE

La nappe phréatique de la région de la Hardt est située dans le complexe alluvionnaire du fossé rhénan, formé d'alluvions perméables qui se sont accumulées au cours des temps géologiques les plus récents (fin Tertiaire - début Quaternaire).

La plaine du Rhin, avec 12.000 km<sup>2</sup> de Bâle à Mayence et une épaisseur de 200 m, constitue l'une des réserves aquifères les plus importantes d'Europe.

### ① Structure du réservoir

#### 1.1. Orientation de la nappe

L'analyse de la carte de la surface piézométrique dans le Haut-Rhin (*Voir carte n°5*) montre que les courbes de niveau du toit de la nappe sont orientées d'Ouest en Est, soit perpendiculairement au Rhin sur la partie centrale, s'infléchissent très légèrement vers le Nord et se resserrent faiblement lorsque l'on se rapproche de la chaîne des Vosges.

Cela se traduit par des directions d'écoulement et des parties différentes sur chacun de ces domaines :

- l'écoulement est perpendiculaire à ces courbes c'est à dire du Sud au Nord au centre de la terrasse, et est légèrement infléchi du Sud-Ouest au Nord-Est au Nord de Mulhouse.
- pour les pentes, la "plus grande chute" existe depuis Mulhouse vers la forêt de la Hardt. Au contraire, de Mulhouse à Andolsheim, les eaux ont très peu de pente (0,1%).

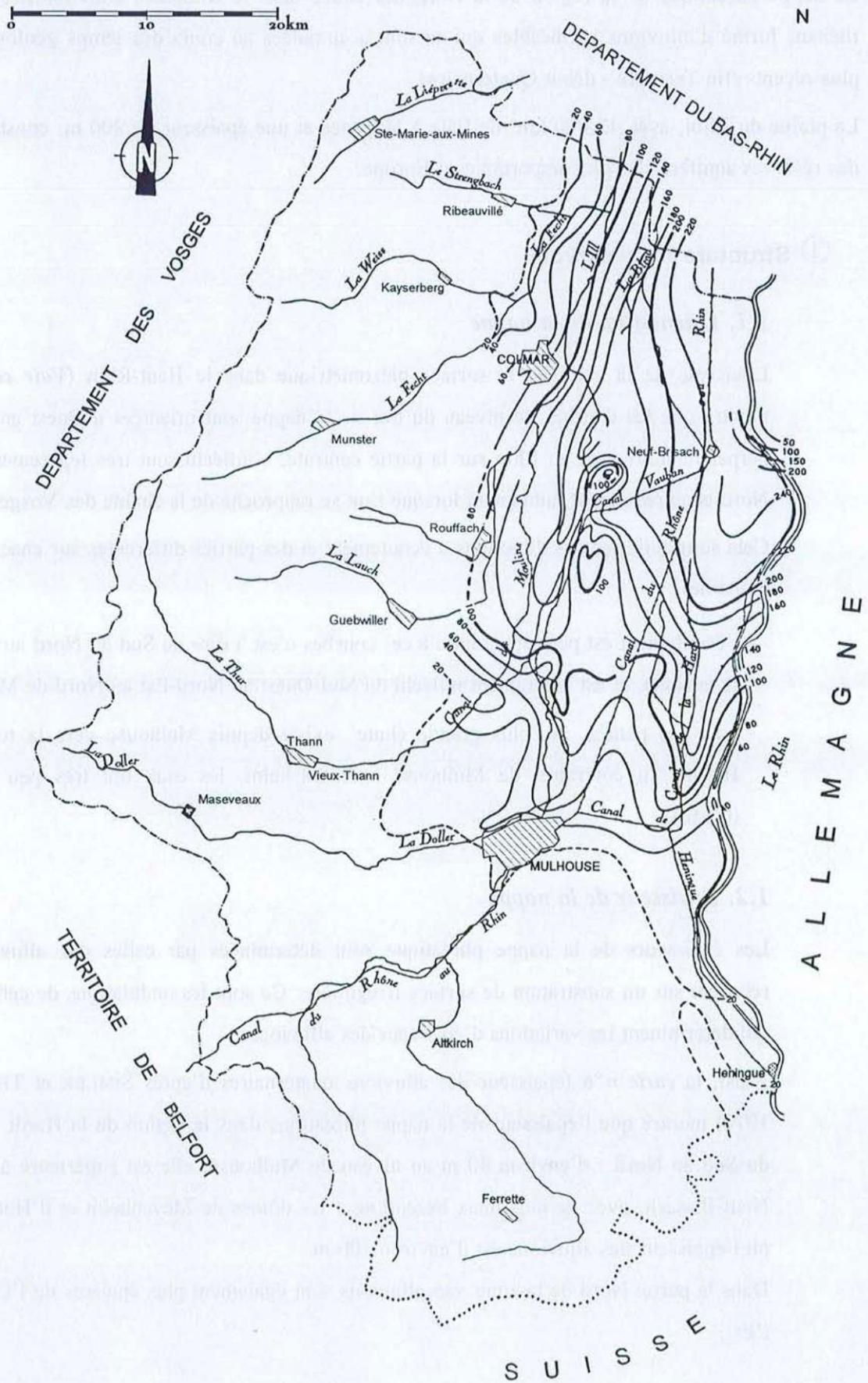
#### 1.2. Epaisseur de la nappe

Les épaisseurs de la nappe phréatique sont déterminées par celles des alluvions, qui reposent sur un substratum de surface irrégulière. Ce sont les ondulations de cette surface qui déterminent les variations d'épaisseur des alluvions.

Ainsi, la *carte n°6* (épaisseur des alluvions quaternaires d'après SIMLER et THEOBALD, 1970) montre que l'épaisseur de la nappe phréatique dans la région de la Hardt augmente du Sud au Nord : d'environ 40 m au niveau de Mulhouse, elle est supérieure à 200 m à Neuf-Brisach, avec de plus deux exceptions : les dômes de Meyenheim et d'Hettenschlag où l'épaisseur des alluvions est d'environ 100 m.

Dans la partie Nord de la zone, ces alluvions sont également plus épaisses de l'Ouest vers l'Est.

Carte n°6 : Carte des épaisseurs des alluvions quaternaires (d'après Simler et Théobald, 1970)



### 1.3. Profondeur de la nappe

Les cartes n°7 et n°8 retracent les profondeurs minimas et maximas de l'eau observées de 1928 et 1955.

Ces profondeurs sont relativement importantes dans la région Sud de la Hardt : la nappe phréatique au niveau de la forêt domaniale de la Hardt descend jusqu'à moins de 20 mètres de profondeur.

Par contre, en se dirigeant vers le Nord le toit de la nappe est de plus en plus proche du sol, d'environ -5 m à Neuf-Brisach, elle réapparaît en surface pour alimenter des petits cours d'eau : Blind, Giessen... au Nord d'une ligne Colmar - Neuf-Brisach.

Ainsi à priori, le rôle de la nappe pourrait être inexistant pour la végétation au Sud de Colmar, mais il pourrait prendre toute son importance au niveau du ried brun situé dans le Nord du département.

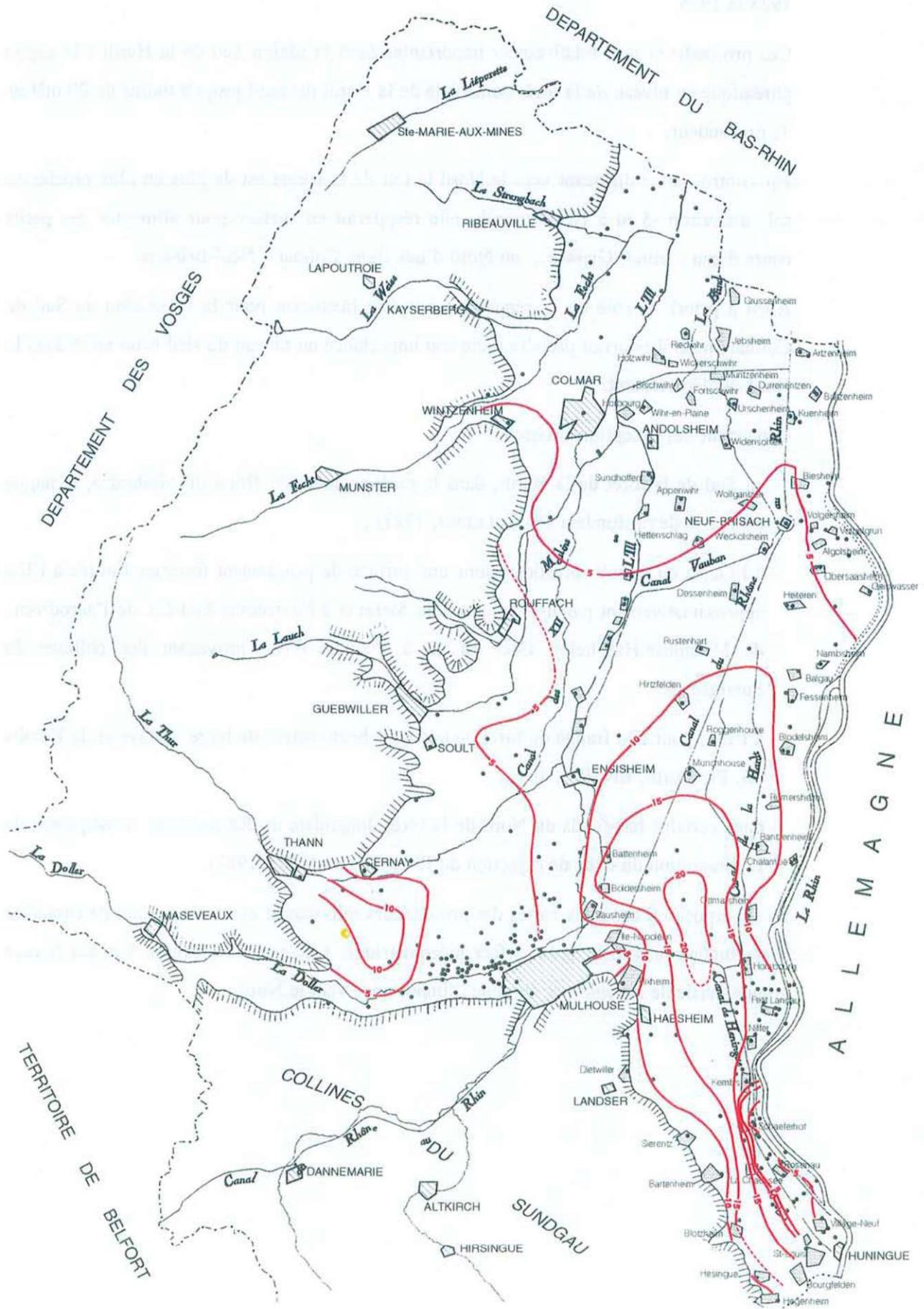
Cependant des exceptions existent :

- au Sud de la forêt de la Hardt, dans le prolongement du Horst de Mulhouse, la nappe est à 1 m de profondeur (E. SOLLERO, 1987) ;
- à l'Ouest du massif forestier : pour une surface de peuplement forestier limitée à l'Est approximativement par une ligne reliant Sierentz à l'extrémité Sud-Est de l'aérodrome de Mulhouse-Habsheim. Ceci est dû à l'apport d'eau provenant des collines du Sundgau ;
- à l'Est, pour une frange de forêt de quelques hectomètres de large au niveau de Kembs (G. PROTCHÉ, ENSPM, 1975) ;
- dans certains bas-fonds du Nord de la forêt domaniale du Kastenwald, conséquence de la diminution du cône de déjection du Rhin (E. SOLLERO, 1987).

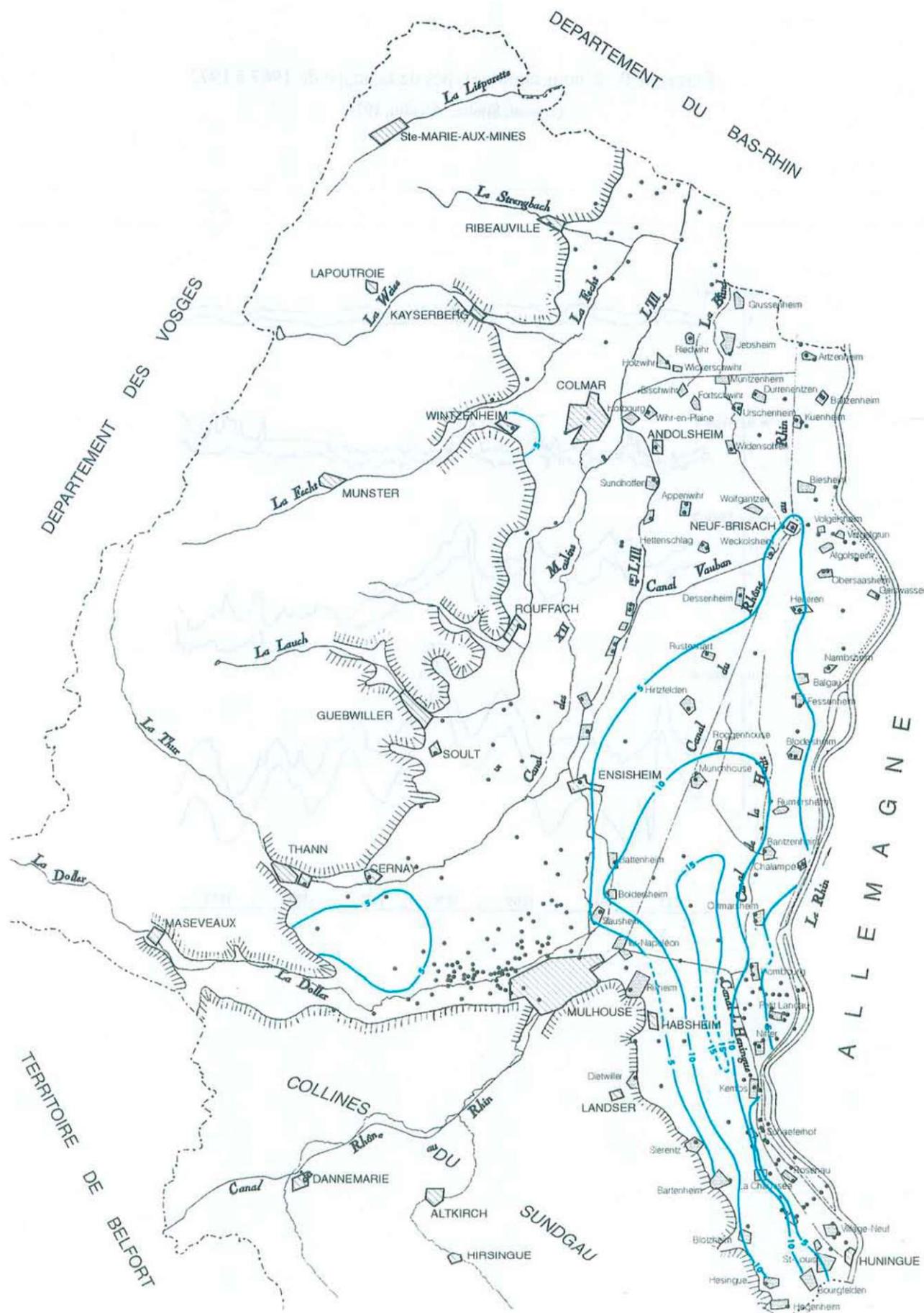
La superposition des deux cartes des profondeurs minimas et maximas permet de connaître la fluctuation maximale de la surface piézométrique. Elle est de l'ordre de 5 m sur la plus grande partie de la région et diminue d'importance vers le Nord.

**Carte n°7** : Carte des profondeurs maxima de l'eau - observations effectuées de 1928 à 1955 -  
 Echelle 1/200.000ème (d'après Duprat, Simler, Valentin, 1979)

NAPPE PHREATIQUE

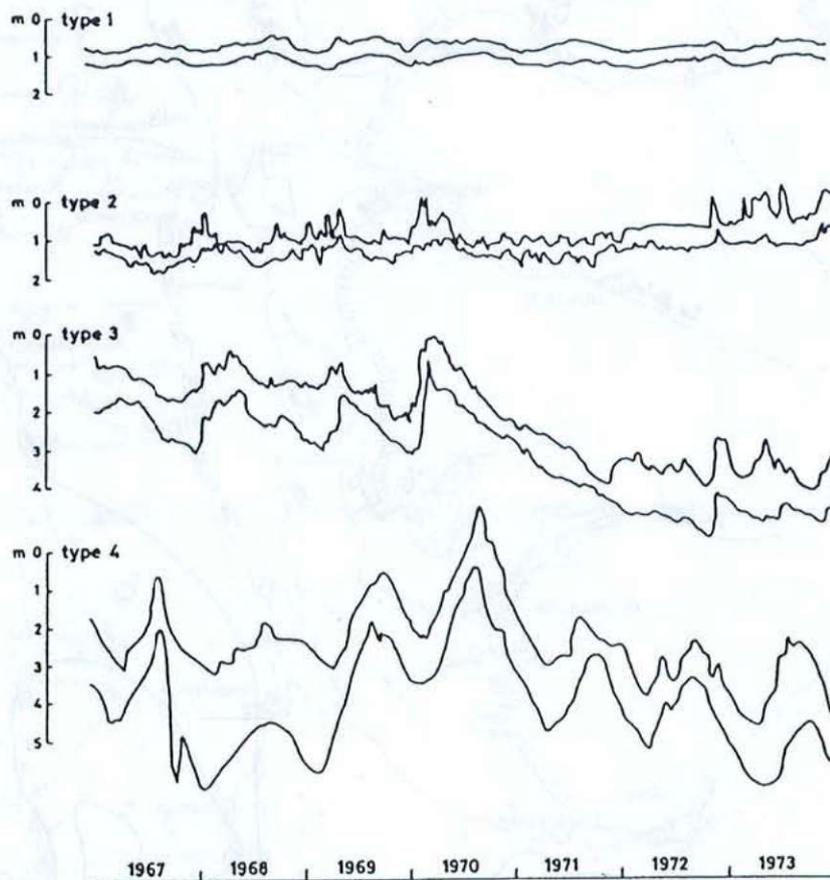


**Carte n°8** : Carte des profondeurs minima de l'eau - observations effectuées de 1928 à 1955 -  
 Echelle 1/200.000ème (d'après Duprat, Simler, Valentin, 1979)



**Figure n°9 : Limnigrammes types de la nappe de 1967 à 1973**

(Duprat, Simler, Valentin, 1970)



## ② Dynamique de la nappe

### 2.1. Les fluctuations de la nappe

#### 2.1.1. Les limnigrammes types de la nappe

Le niveau piézométrique de la nappe a été mesuré en diverses positions sur l'ensemble de la plaine, à une fréquence hebdomadaire entre 1967 et 1973 (BENERID, 1975) - *Figure n°9*. Le report de ce niveau en fonction du temps et la comparaison des limnigrammes ainsi obtenus permettent de distinguer 3 zones :

❖ **les limnigrammes de type 1**, montrent le comportement de la nappe sur toute la bande bordière du Rhin entre Chalampé et Neuf-Brisach. Ils traduisent une situation stable (différence de niveau de quelques décimètres seulement au cours des ans).

En 1942, MILLOT, GENDRIN et SIMLER (1957) signalaient que les fluctuations de nappe suivaient les variations saisonnières du Rhin.

Actuellement, la stabilité dans cette zone sensible semble être la conséquence des aménagements réalisés sur le fleuve : aménagements hydroélectriques, grand canal, contre-canal de drainage qui maintient la surface piézométrique de la nappe à un niveau sensiblement constant : ce n'est en fait plus le niveau du Rhin qui règle le niveau de la nappe mais celui du contre-canal qui amortit les fluctuations saisonnières de la nappe dues aux crues du Rhin.

❖ **les limnigrammes de type 2**, correspondent à la partie centrale de la plaine. Ce type se distingue du précédent par une allure en dents de scie extrêmement marquée. L'amplitude des mouvements de l'eau est parfois supérieure à 1.5 m.

Les variations sont de courte durée, inférieures à un mois. Les fluctuations de la nappe, concomitantes avec le régime hydraulique de l'Ill, montrent le rôle joué par la rivière.

❖ **les limnigrammes de type 3**, caractérisent la nappe sur la partie occidentale de la plaine, du côté des Vosges. Les écarts entre les hautes eaux et les basses eaux, généralement supérieurs à 1.5 m, sont plus accentués que les précédents. Les variations de niveau présentent l'allure de grands mouvements d'amplitude annuelle, avec un maximum au printemps et un minimum en automne et en hiver.

Là encore, les cours d'eau continuent d'exercer une certaine influence sur la nappe, en provoquant des variations de courte durée, liées aux périodes de crues. A partir de 1970, un abaissement général, régulier et progressif de plusieurs mètres du niveau de l'eau est observé, en relation avec une forte diminution de la pluviosité.

Ceci prouve que sur ce secteur de la plaine, la nappe est placée sous le contrôle direct des précipitations et qu'elle fléchit régulièrement en présence d'une longue période déficitaire en pluie comme ce fut le cas entre 1970 et 1973. Les cours d'eau ne parviennent plus à soutenir le niveau piézométrique tel qu'il était avant les années sèches.

❖ **les limnigrammes de type 4**, tout à fait anormaux par rapport aux autres, sont caractéristiques d'une distorsion engendrée par la proximité d'un système d'irrigation, destiné à mettre en valeur le secteur agricole de la plaine, principalement la région de la Hardt largement irriguée.

Par ailleurs, il semblerait que les variations du niveau piézométrique suivent un cycle quinquennal. On observe ainsi un niveau minimal très inférieur à la moyenne tous les 5 ans, de même qu'un niveau maximal très supérieur.

### 2.1.2. *Les éléments intervenant sur les fluctuations saisonnières du Rhin*

#### □ **La pluviosité**

La pluviosité intervient sur la nappe de façon directe par l'eau arrosant la plaine, et indirecte par les apports du bassin versant.

Pour la plaine, sur 700 mm de précipitations, 100 mm (600 mm évapotranspirés) rejoignent effectivement la nappe.

La pluviosité serait le régulateur permanent du rythme des variations de la nappe.

#### □ **Les cours d'eau**

Les rivières provenant des Vosges et du Jura alsacien (Ill) sont à l'étiage en été (avec des crues en hiver et au printemps), tandis que le Rhin est en crue à la même époque (régime nivéal, alimentation par la fonte des neiges). Le rôle du Rhin consiste alors à soutenir le niveau de la nappe à un moment où les apports locaux sont peu importants.

En période de crue, l'eau des rivières ou du Rhin pénètre dans le réservoir, sur une certaine distance qui varie suivant les caractéristiques locales du système hydrogéologique. Il se produit alors un barrage hydraulique qui s'oppose à l'écoulement normal de la nappe et provoque la remontée de son niveau. En période d'étiage, on assiste à un phénomène inverse, la nappe se trouvant drainée par les cours d'eau qu'elle alimente. Le mécanisme de vidange provoque l'abaissement de son niveau.

Ainsi, la pluviosité maintient le niveau de base de la nappe par les apports directs et indirects, alors que les cours d'eau agissent en redistribuant les débits.

#### □ Les interventions humaines

Les variations les plus importantes de la nappe sont le résultat des interventions de l'homme : modifications du réseau hydrographique, prélèvements (un prélèvement de l'ordre de 1.000 m<sup>3</sup>/h est susceptible de perturber la surface piézométrique initiale sur un rayon de 1.500 m, avec un rabattement dans le puits de 5 m), et irrigations. Les irrigations sont pratiquées depuis plus d'un demi-siècle dans le secteur de la Hardt, entre l'Ill et le Rhin. Un système de canaux quadrille la région et distribue l'eau du Rhin à la surface du sol graveleux où elle s'infiltre. Au cours des mois d'été, le niveau piézométrique remonte ainsi parfois de quelques mètres.

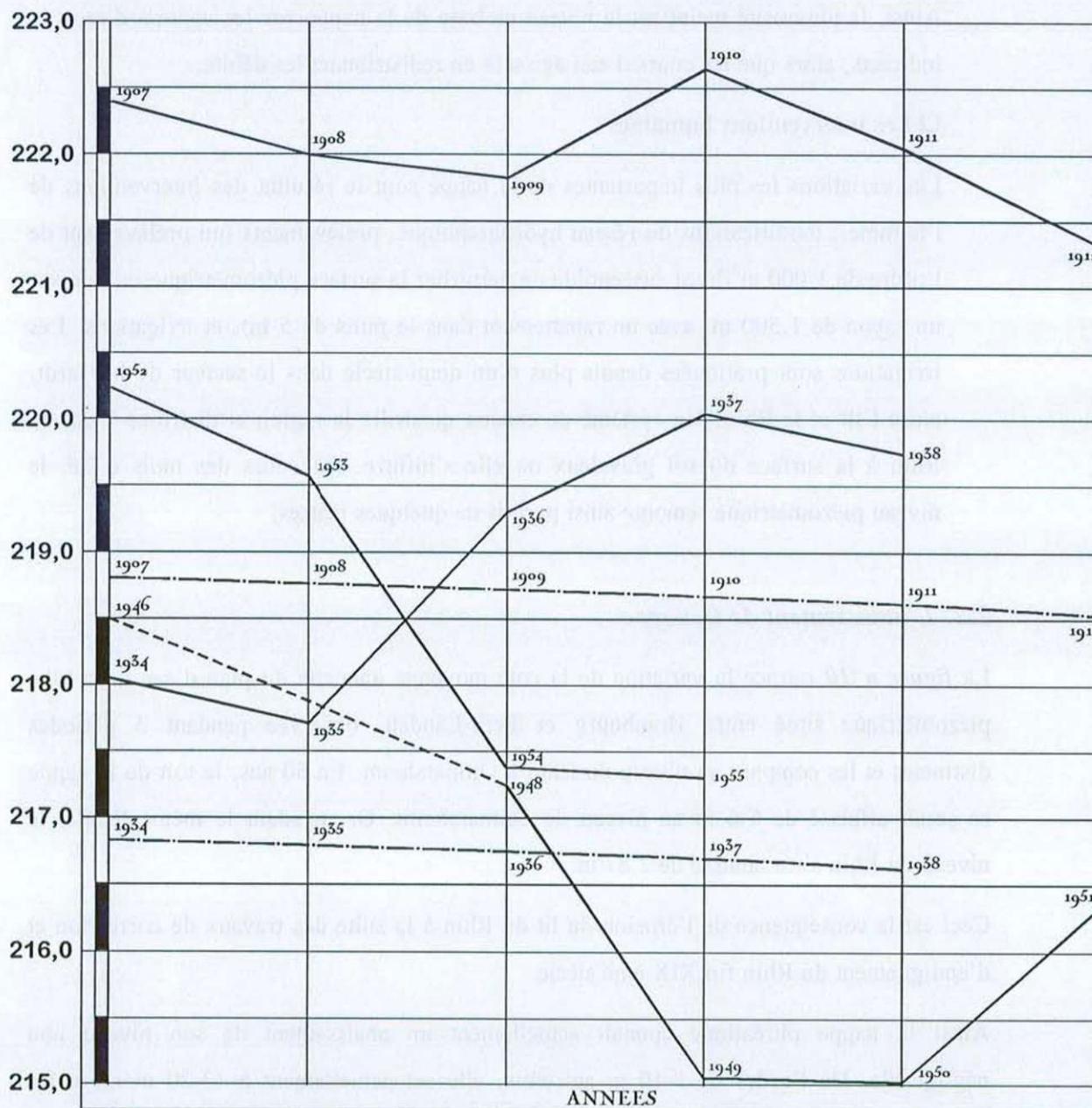
## 2.2. L'abaissement de la nappe

La *figure n°10* retrace la variation de la cote moyenne annuelle du plan d'eau à un tube piézométrique situé entre Hombourg et Petit-Landau, observée pendant 3 périodes distinctes et les compare au niveau du Rhin à Ottmarsheim. En 50 ans, le toit de la nappe se serait affaissé de 5-6 m au niveau de Ottmarsheim. Or, pendant le même temps, le niveau du Rhin s'est abaissé de 2.87 m.

Ceci est la conséquence de l'érosion du lit du Rhin à la suite des travaux de correction et d'endiguement du Rhin fin XIX ème siècle.

Ainsi la nappe phréatique connaît actuellement un abaissement de son niveau non négligeable. De l'ordre de 8-10 m autrefois, elle est actuellement à 12-20 m selon les endroits. GENDRIN et coll. (1957) concluent à un abaissement séculaire de l'ordre de 5-6 m à proximité du fleuve.

**Figure n°10** : Variation comparée du niveau de la nappe  
à un tube piézométrique situé entre Hombourg et Petit-Landau  
et du niveau du fond du Rhin à Ottmarsheim  
(d'après Gendrin, Millot, Simler, 1957)



———— Niveau de la nappe (cotes moyennes calculées)  
- - - - - Niveau du fond du Rhin

Dans la région mulhousienne, la valeur calculée est de 2-3 m. Plus au Nord, dans le ried de Colmar, cet abaissement semble n'avoir été que de quelques décimètres.

Cet abaissement séculaire du niveau de l'eau souterraine est un phénomène lent et irréversible. Il est essentiellement distinct des variations saisonnières qui sont rapides et réversibles. Il est indubitablement la conséquence du surcreusement du lit du Rhin à la suite de la correction du fleuve. Au contraire, les variations saisonnières dépendent de plusieurs facteurs : débits des rivières alsaciennes et du Rhin, irrigations, pluviosité.

Cet abaissement de la nappe n'est pas sans conséquence. Actuellement, ont pu être observés :

- un assèchement progressif des rivières pendant l'été : de mai à novembre 1953, l'III était à sec entre Colmar et Mulhouse,
- la disparition de ruisseaux qui existaient dans la Hardt en bordure de rivière (Muhlbach, Giessen...),
- l'approfondissement périodique des puits publics ou privés de la Hardt.

L'agriculture et la sylviculture sont également les principales victimes de cet abaissement de nappe. Elles sont atteintes par ce qu'on appelle la "steppisation" de la Hardt.

Cependant, il faut tenir compte du fait que la nappe n'est pas à la même profondeur sur toute la Hardt. En effet, sous le bombement de la forêt domaniale où la nappe est actuellement à 20 m de profondeur, il semblerait que cette nappe n'ait jamais été à portée des racines, donc l'abaissement n'a eu à priori aucun effet sur la végétation.

Par contre, en allant vers la Nord de la Hardt où la nappe est moins profonde, sur la frange de forêt au niveau de Kembs à l'Est, au niveau d'Habsheim à l'Ouest, on peut supposer que cet affaissement a eu un effet sur la végétation.

Cependant les avis divergent : selon G. PROTCHÉ (ENSPM, 1975), au niveau de Kembs et Habsheim, l'abaissement de la nappe n'a pas eu d'influence sur la production et la pérennité de la forêt, car il existe de toute manière un niveau imperméable aux racines constitué de concrétionnements calcaires situés entre 1 et 1.5 m de profondeur.

Les peuplements forestiers auraient ainsi été de tout temps isolés de la nappe.

## VI. PEDOLOGIE

Les facteurs intervenant dans la genèse des sols sont nombreux :

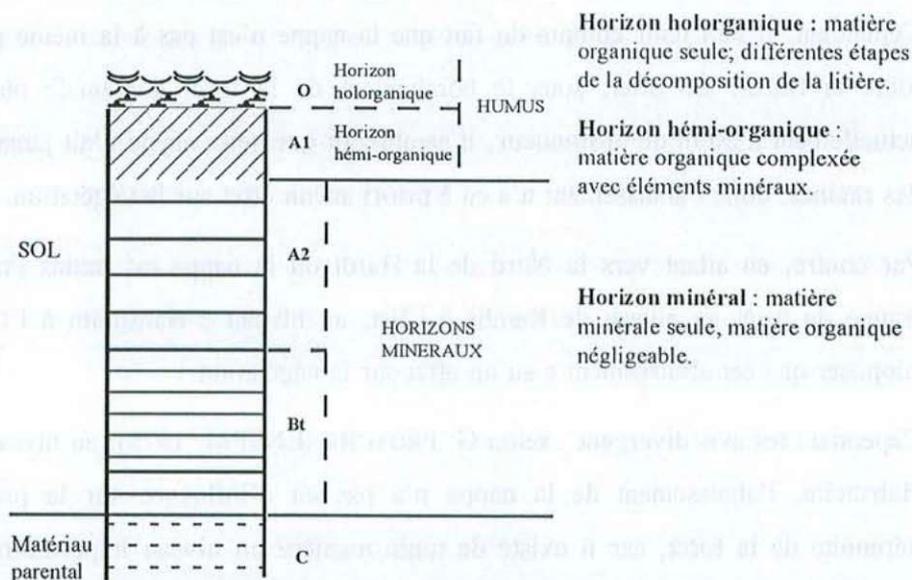
- le climat régional,
- le matériau parental,
- la topographie ou la microtopographie,
- la végétation, la pression anthropique...

### ① Modalités générales de la formation d'un sol : humification, pédogenèse, notion d'horizon

Les matériaux parentaux ont subi deux types d'évolution à l'origine des sols :

- sous l'action des communautés biologiques animales et végétales intervient une phase biologique d'humification, qui occupe les horizons supérieurs du sol (organique et organo-minéral) et conduit à la minéralisation de la matière organique ;
- le matériau minéral subit parallèlement une forte évolution chimique sous l'influence de la partie supérieure du sol et aussi en fonction des conditions de milieu.

En règle générale, le développement normal de ces processus conduit à une différenciation du sol en plusieurs horizons distincts (*Voir Figure n°11*).



**Remarque :** Dans la littérature, le terme de "limon" est utilisé dans deux sens distincts :

- pour désigner une des trois fractions minérales qui définissent la granulométrie des horizons (particules comprises entre 50 et 2  $\mu$ );
- pour dénommer une formation superficielle d'origine éolienne ou d'altération, masquant divers niveaux géologiques (ex. limons de plateaux). Celle-ci a joué le rôle de matériau parental à l'origine de plusieurs types de sols (lessivés notamment).

**Figure n°11 :** Exemple de sol évolué, le sol lessivé

Les processus d'humification et d'évolution des matières minérales sont interdépendants et liés aux conditions locales de leur développement. Que ce soit pour l'humification ou l'altération, deux grands groupes de facteurs interviennent :

- les **facteurs bioclimatiques généraux** et les **facteurs stationnels**.

## ② Evolution de la matière organique

Les connaissances actuelles (Référentiel pédologique) permettent d'établir des liens fonctionnels entre les états successifs pris par la matière organique. Le *tableau n°16* présente les différentes couches de matière organique rencontrée à la partie supérieure du sol.

L'identification de l'humus ne peut s'effectuer qu'en diagnostiquant les deux horizons O et A. L'examen des caractères, communs aux différents groupes d'humus semblables a amené les spécialistes à définir un ensemble de types morphologiques d'humus.

### 2.1. *Ecologie de l'humification*

Le développement d'un humus donné dépend :

- de la nature de la matière organique fraîche,
- du matériau parental,
- des conditions d'humidité,
- de l'action de l'homme.

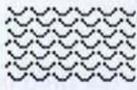
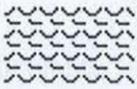
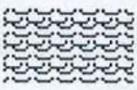
#### □ Influence de la nature de la matière organique fraîche :

On distingue classiquement deux grands types de litière ayant pour origine les essences feuillues et résineuses. Les organes foliaires des essences résineuses possèdent en général une composition organique qui est responsable d'une résistance à la décomposition et qui peut même conduire à un blocage de la minéralisation.

Ce constat démontre l'utilité de comparer les humus développés sous peuplements feuillus et résineux dans les mêmes conditions stationnelles.

#### □ Climat local ou mésoclimat :

Les conditions mésoclimatiques procurées par les expositions chaudes, humides et lumineuses sont favorables à une minéralisation active, donc à une diminution plus rapide de la couche OL. Sous climat chaud mais trop sec et sur sol acide, on observe des horizons O peu épais mais à activité biologique très lente.

HORIZON	SOUS-HORIZON		NATURE ET CARACTERISTIQUES
<b>OL</b>  Accumulation de débris végétaux non ou peu évolués	<b>OLn</b>		- "litière fraîche" - restes de végétaux n'ayant pas subi de transformations visibles à l'oeil nu (feuilles ou aiguilles entières)
	<b>OLv</b>		- débris végétaux modifiés depuis le début de leur chute, partiellement ou totalement décolorés, peu fragmentés - activité des champignons dominante
	<b>OLt</b>		- débris végétaux non nettement transformés (identiques à OLn), mais fortement fragmentés - activité des vers de terre dominante - sous-horizon reposant toujours directement sur A
<b>OF</b>  Résidus végétaux plus ou moins fragmentés, reconnaissables à l'oeil nu, en mélange avec des proportions plus ou moins importantes de matière organique fine	<b>OFr</b>		- horizon supérieur de OF avec faible proportion de matière organique fine (moins de 30 % en volume) et paquets résiduels de feuilles plus ou moins agglomérées
	<b>OFm</b>		- horizon comportant en quantités équivalentes des restes foliaires fragmentés et des amas de matière organique fine (30 à 70 % en volume)
<b>OH</b>  horizon contenant plus de 70 % de matière organique fine	non différencié ici		- de teinte rougeâtre à noire, à structure massive ou particulaire; assez cohérent, forme de boulettes fécales parfois reconnaissables à l'oeil nu (tache les doigts)
<b>A</b>  horizons contenant en mélange de la matière organique et de la matière minérale (horizons "organo-minéral" ou "hémiorganique", formés à la base des horizons holorganiques lorsqu'ils existent.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- horizon A biomacrostructuré, à forte activité biologique (vers de terre), à structure grumeleuse.</li> <li>- horizon A d'insolubilisation, à faible activité des vers de terre, relayée par une forte activité des champignons, à structure microgrumeleuse.</li> <li>- horizon A de juxtaposition, à faible activité biologique, sans activité notable de vers de terre; la limite avec l'horizon OH est graduelle.</li> </ul>		

Adapté d'après le Référentiel Pédologique : typologie des formes d'humus, A. BRETHES, J.J. BRUN, B. JABIOL, J.F. PONGE, F. TOUTAIN, 6ème version, 1992.

**Tableau n°16 : Composition de l'horizon holorganique**

### □ Action du matériau parental :

La composition de la fraction minérale oriente l'humification de façon déterminante :

- lorsque la teneur en fer libre et en argile dépasse un certain seuil, les conditions sont favorables au développement d'un mull sur une grande variété de sols ;
- lorsque le matériau d'origine possède une composition particulière, l'humification suit des voies divergentes de la précédente. Sur les matériaux pauvres en argile et en fer, il y a formation d'humus de type moder, ou dysmoder.

### □ Conditions d'humidité :

L'excès d'eau provoque une saturation des pores à l'origine de conditions asphyxiques qui ralentissent l'humification. On passe alors d'un humus aéré à un humus qui fonctionne en anaérobiose (non aéré).

### □ Action de l'homme :

Il s'agit dans le cas étudié d'évaluer l'effet de l'action indirecte qui résulte des modifications du couvert végétal. Les observations classiques montrent que les grandes ouvertures dans les peuplements provoquent une réaction à l'afflux de lumière parvenant à la surface du sol qui se caractérise par :

- la reprise de la minéralisation de la litière,
- une augmentation du taux d'azote (donc l'abaissement du rapport carbone sur azote).

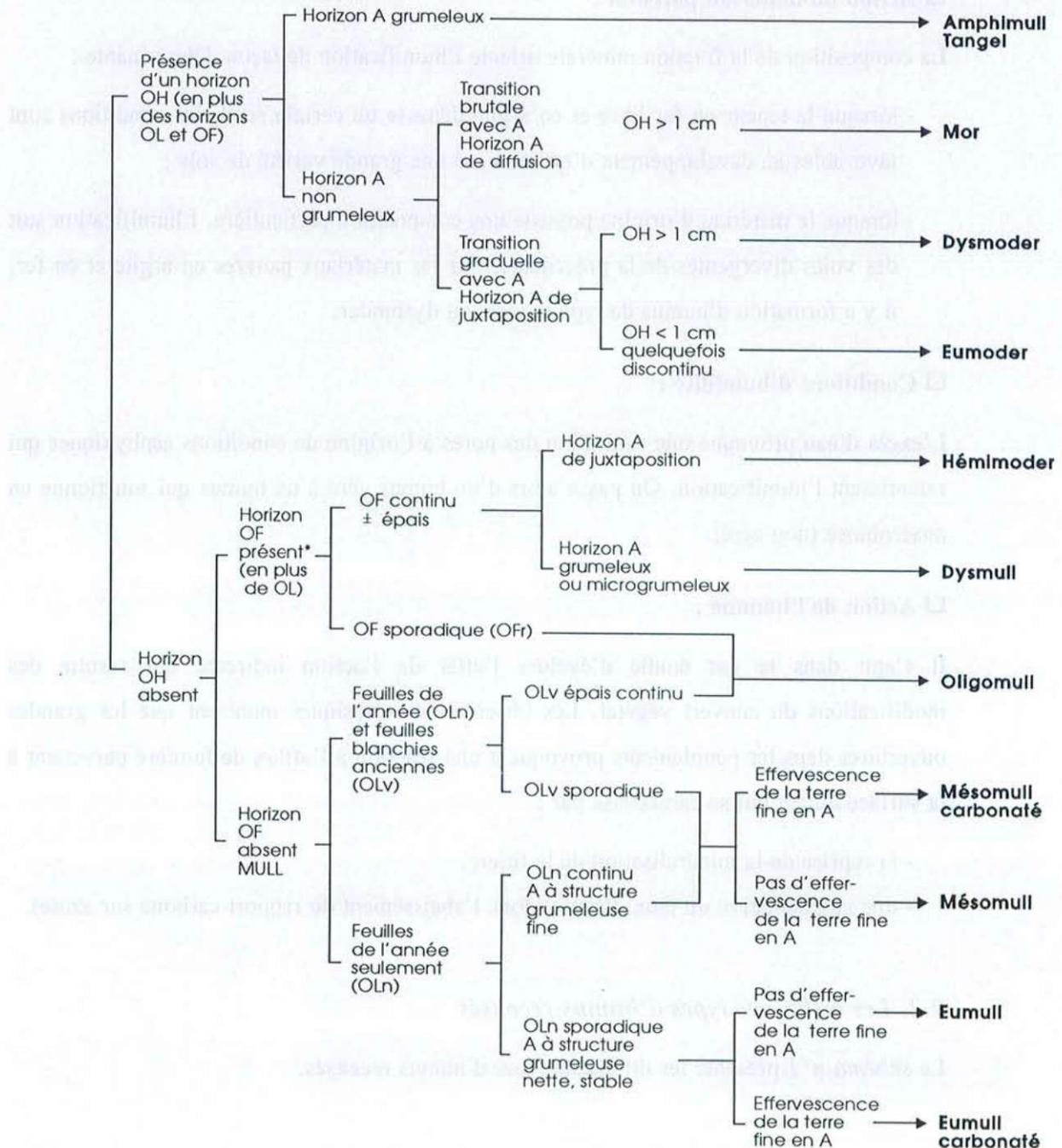
## 2.2. Les différents types d'humus recensés

Le schéma n°1 présente les différents types d'humus recensés.

### ③ Pédogenèse

Le milieu combiné au facteur temps est à l'origine des processus pédogénétiques se déroulant parallèlement et en relation avec l'humification. On reconnaît deux grands types :

- processus liés à l'humification,
- processus liés aux conditions physico-chimiques de la station.



\* Ne pas confondre quelques débris de feuilles non blanchis de l'année (horizon OLn) avec un véritable horizon OF à débris généralement blanchis et mêlés de quelques granules de matière organique (boulettes fécales).

**Schéma n°1** : Clef de détermination des principales formes d'humus aérobies (d'après B. Jabiol et A. Brethes, 1992, modifié C.A.E. 1993)

### 3.1. Processus liés à l'humification

#### □ Brunification

Sous forêts feuillues, en climat tempéré, sur matériaux bien drainés peu ou pas calcaires, le processus d'altération dominant provoque l'apparition sous l'humus d'un horizon d'altération S. La séquence verticale d'horizon A/S est caractéristique des sols bruns (ou brunifiés).

Sur matériaux très calcaires, le processus de brunification peut être bloqué soit complètement, soit partiellement. On observe alors des horizons A reposant directement sur le matériau parental (C ou R) peu ou pas altéré.

#### □ Lessivage

Il se superpose au processus de brunification sur certains matériaux sédimentaires et meubles contenant une certaine quantité d'argile : limons éoliens, alluvions...

On définit un indice d'entraînement avec le rapport argile de A / argile de S.

### 3.2. Processus liés aux conditions physico-chimiques de la station

Lorsque certains seuils écologiques sont dépassés (climatique, topographiques...), les caractères stationnels provoquent une évolution divergente de la pédogenèse. Ceci concerne le matériau d'origine : topographie et action de l'eau étant des facteurs de faible intensité sur le site de la basse-terrasse.

La connaissance des matériaux parentaux des sols permet de prévoir l'évolution de plusieurs paramètres :

- la dureté et la composition granulométrique et minéralogique de la roche influencent la rapidité de l'altération : la pédogenèse est lente sur roches dures ; elle progresse rapidement sur les matériaux perméables ;
- le lessivage de l'argile, se superposant à la brunification, dépend en grande partie du matériau : il est marqué sur les matériaux meubles, suffisamment perméables (limons).

#### ④ Facteurs principaux de la pédogenèse sur la basse-terrasse würmienne

Dans le cas de la pédogenèse des formations de la basse-terrasse würmienne, un rôle important revient à la nature des dépôts rhénans superficiels et plus particulièrement à leur âge respectif (MAROCKE, 1964). Ces considérations alliées à des notions d'ordre paléoclimatique peuvent expliquer la formation des grands types de sols rencontrés à la surface des alluvions de la basse terrasse rhénane.

##### 4.1. Les matériaux parentaux

Il s'agit surtout de matériaux alluvionnaires d'origine alpine dont la granulométrie et la composition pétrographique sont très hétérogènes.

##### □ Les alluvions de nature grossière :

Les dépôts de cailloutis constituent la majeure partie de la terrasse. De taille variable, ils sont déposés en lits plus ou moins réguliers, témoignant des fluctuations du régime fluvial. La nature lithologique de ces alluvions est complexe : on y rencontre toute la gamme des roches alpines (mélaphyres, diorites, granites, schistes, quartz, grès, calcaires...) à laquelle s'ajoute pour la partie Sud de la terrasse des matériaux d'origine sungdovienne.

La plupart de ces éléments sont issus du Flysh (sédiments éocènes comportant grès, brèches calcaires, conglomérats) et de la molasse (sédiments miocènes).

##### □ Les alluvions de nature fines :

Les matériaux de remplissage des interstices laissés par cette accumulation de graviers sont constitués de sables grès-calcaires, d'une granulométrie assez homogène. Une part importante de ces sables est constituée d'éléments siliceux (80%) : quartz, feldspaths, minéraux lourds... Les 20% restants sont de nature calcaire.

A la surface de la nappe de graviers, on trouve tout un réseau d'anciens chenaux rhénans qui présentent entre eux des solutions de continuité plus ou moins nettes et qui sont comblés par des dépôts fluviaux fins calcaires, sableux en profondeur, limoneux vers la surface ; il correspondent à un stade d'alluvionnement plus calme. Ces dépôts sont désignés sous le terme de Aulehms (limons d'inondation).

On observe par ailleurs dans la partie Nord de la basse-terrasse des matériaux de couverture : ce sont des alluvions constituées par des éléments fins à fraction sableuse prédominante. Au Sud des dépôts précédents, les matériaux de couverture sont plus

anciens et correspondent à des colluvions hétérocentimétriques. Ils recouvrent actuellement la majeure partie des alluvions grossières et des dépôts fluviatiles fins fossiles (chenaux).

Près du horst sungdovien, existe une zone peu large, où les alluvions rhénanes sont recouvertes par des limons loessiques remaniés : ces loess colluvionnaires ont été arrachés aux collines avoisinantes où leur gisement est autochtone.

Selon MAROCKE (1964), il n'y aurait pas eu de dépôts primaires de limons loessiques à la surface de la terrasse rhénane würmienne ; les dépôts seraient apparus ultérieurement (loess éoliens postglaciaires).

#### 4.2. Climat et paléoclimat

Depuis la formation de la basse-terrace au würm, toute une série de climats (paléoclimats) se sont succédés jusqu'à nos jours. Le *tableau n°17* résume l'évolution des climats au cours des temps glaciaire et postglaciaire.

Etiage	Phases climatiques	Chronologie	Caractéristiques du climat
WÜRM	Glaciaire	-80.000 à -15.000	Très froid et humide avec des interstades glaciaires permettant un net réchauffement du climat (chaud et humide)
H	Tardiglaciaire	-15.000 à -8.000	Réchauffement progressif
O	Préboréale	- 8.000 à -7.000	↓ ↓
L	Boréale	-7.000 à -5.500	
O	Atlantique	-5.500 à -3.500	Climat très doux : sec ou humide selon les secteurs
C			
E	Subboréale	-3.500 à 0	Refroidissement net : frais et humide
N	Subatlantique	0 - âge actuel	Réchauffement : climat doux et humide
E			

**Tableau n°17** : Evolution des climats au cours des temps glaciaire et postglaciaire.

L'alternance de périodes climatiquement contrastées (humidité-sécheresse, chaleur-fraîcheur), sur un temps relativement court peut être à l'origine de phénomènes pédogénétiques particuliers (*Voir § VI. 5.*).

⑤ **Genèse des sols de la basse terrasse würmienne (source R. Marocke, 1964, 1973; W. MOLL, 1970)**

Du Sud au Nord de la terrasse, on distingue habituellement deux zones pédologiques :

- une zone comprise entre Bâle et Neuf-Brisach où prédominent des "sols rouges" ou **rubéfiés**, issus d'alluvions anciennes, d'où la dénomination de "Hardt rouge" pour désigner ces secteurs ;
- une zone comprise entre Neuf-Brisach et Marckolsheim où la majorité des sols sont de couleur grise et issus d'alluvions récentes (Hardt grise).

Les "sols rouges" se caractérisent par une coloration intense, une teneur très élevée en gravier dont une partie a subi une profonde altération, une teneur nulle à faible en carbonate de calcium ; l'inverse est vrai pour les formations de sols gris.

Ces deux formations, tout en différant par la nature de leurs matériaux, leur âge et leur genèse reposent sur un **soubassement calcaire**, plus ou moins consolidé (poudingue ou encroûtement calcaire).

### *5.1. Chronologie des phénomènes pédogénétiques*

#### *5.1.1. La rubéfaction*

La rubéfaction est un processus de pédogenèse caractérisé par l'évolution du fer dans les sols fersiallitiques (sol des climats méditerranéens). Il s'agit d'une déshydratation des oxy-hydroxydes de fer libérés par l'altération fersiallitique et liés aux argiles, déshydratation provoquée par une dessiccation plus ou moins brutale. La rubéfaction confère au sol une couleur rouge vif. En saison humide, les argiles revêtues d'oxyde de fer incomplètement déshydraté, de teinte brun-rouge, restent dispersables et peuvent migrer. En saison sèche, la déshydratation complète du fer intervient et l'ensemble précipite en formant des agrégats stables ; c'est alors que la teinte devient très rouge.

Le lessivage reste possible tant que la rubéfaction n'est pas complète.

L'horizon rubéfié est donc défini comme un horizon d'accumulation en argile et en fer.

Dans les sols de la basse-terrasse, l'horizon rubéfié apparaît à plus ou moins grande profondeur. Selon R. MAROCKE, "l'horizon rubéfié de la Hardt appartient à un **ancien sol** et il ne constitue pas un horizon d'accumulation ; les fortes teneurs en fer

et en argile correspondent à des produits résiduels qui résultent de processus d'altération et de rubéfaction ayant eu lieu in-situ sous l'action de conditions climatiques particulières".

Pour cet auteur, de nombreux facteurs plaident en faveur de cette interprétation :

- absence d'horizon eluvial E au-dessus de l'horizon rubéfié,
- faibles teneurs en carbonate de calcium dans l'horizon rubéfié.

#### □ Genèse et datation de l'horizon rubéfié :

La genèse de l'horizon rubéfié nécessite :

- un climat caractérisé par deux phases saisonnières, l'une sèche et chaude, l'autre humide et chaude (précipitations annuelles moyennes : 1000 mm environ), soit des conditions proches de celles régnant dans les régions subtropicales.
- une composition lithologique adéquate du matériau parental : alluvions altérables produisant un matériau d'altération riche en argile et en complexe ferrique (cas des composants de la Molasse et du Flysch).

La rubéfaction proprement dite est précédée par un phénomène de décarbonation se produisant en régime humide. La dissolution du calcaire libère une quantité variable d'argile. Après élimination du calcaire intervient le phénomène de rubéfaction.

Le climat n'exerce aujourd'hui une influence directe sur les sols rubéfiés qu'à l'endroit où ils ne sont pas recouverts par des matériaux de couverture épais.

Les horizons rubéfiés évoluent alors vers la brunification.

Certains pédologues (dont R. MAROCKE) admettent que la rubéfaction s'est déroulée au cours du premier Interstade würm I/II (début du würm moyen), période de réchauffement très net avec des conditions climatiques idoines à la formation de sols rubéfiés.

Cette hypothèse découle des observations relatives aux gisements des sols rubéfiés par rapport à l'allure générale de la terrasse. La basse terrasse a subi des mouvements tectoniques débutant vers la fin du premier interstade. L'affaissement Sud-Nord de l'ensemble, consécutifs à ces mouvements, a affecté la masse des graviers de même que les sols dont les sols rubéfiés.

Au Nord de la terrasse, l'affaissement fut très marqué permettant la reprise de l'érosion fluviale du Rhin : les sols rubéfiés furent érodés jusqu'au poudingue calcaire (qui lui, par

sa dureté, a résisté à l'érosion). Par la suite, les parties abrasées furent recouvertes par de nouveaux dépôts alluviaux rhénans (Hardt grise).

D'autres auteurs situent la génèse des sols rubéfiés hardtiens à une époque postglaciaire.

Selon Wolfgang MOLL, la rubéfaction des sols de la terrasse würmienne de la Hardt aurait débuté sous climat atlantique (3000 ans av. J.-C.) et se poursuivrait sous climat actuel (subatlantique).

Cette hypothèse, qui s'oppose radicalement aux théories de MAROCKE et DUCHAUFOUR, repose sur plusieurs observations de terrain et tests en laboratoire. Elle semble la plus probable.

L'expérience la plus significative reproduit les conditions climatiques régnant actuellement sur la plaine alsacienne.

En laboratoire, W. MOLL a réussi à provoquer le processus de rubéfaction sur un échantillon de sol de la Hardt en soumettant ce dernier à une température comprise entre 16,6° et 17,7° sur une période de cinq mois, de juin à octobre, la rubéfaction a été observée jusqu'à 20 cm de profondeur.

On peut noter qu'à Colmar, entre juin et octobre, des températures moyennes de 53 à 5 cm ont été mesurées même très profondément (30 à 40 cm de profondeur).

Par ailleurs, des analyses sur des échantillons de profils de sols rubéfiés prélevés sur la Hardt, montrent qu'il y a rubéfaction de haut en bas du profil, certes faible dans l'horizon A, mais la couleur peut être masquée par d'autres phénomènes (matière organique par exemple). Cette rubéfaction n'est pas le fait de fortes chaleurs, mais d'un pH acide des sols qui entretient ce processus chimique de rubéfaction.

### 5.1.2. *Le Poudingue calcaire*

#### □ **Caractères généraux**

Les formations alluviales de la Hardt présentent des niveaux d'accumulation calcaire bien développés et constituant de véritables poudingues de l'épaisseur de quelques mètres. De nature tuffeuse, le ciment calcaire à texture plus ou moins poreuse consolide les matériaux alluvionnaires caillouteux et sableux.

L'encroûtement se situe dans la majorité des cas directement sous l'horizon rubéfié ; il en est parfois séparé par la présence de matériau alluvionnaire intact. Le contact

entre l'horizon rubéfié et le poudingue s'effectue le plus souvent dans un plan horizontal ; parfois, l'horizon rubéfié présente des apophyses pénétrant le poudingue.

La dureté et la résistance du poudingue dépendent avant tout de la profondeur à laquelle il se situe ; lorsqu'il est placé près de la surface ou en affleurement, la dissolution partielle du carbonate de calcium est possible et le poudingue se désagrège.

Contrairement aux horizons calcaires résultant d'un enrichissement d'ordre pédologique (horizon K), où la teneur en matières organiques est très faible (0 à 0,8%), les teneurs organiques totales du poudingue sont relativement fortes (1 à 2%).

#### □ Genèse de l'encroûtement calcaire (R. MAROCKE) :

La situation générale du poudingue à la base des horizons rubéfiés pourrait suggérer une accumulation calcaire d'origine pédologique (décarbonatation des horizons de surface, lessivage vertical et accumulation en profondeur).

Mais plusieurs éléments infirment cette hypothèse :

- ♦ la microstructure de l'encroûtement montre des cristaux de calcite limpide prenant naissance à la surface des galets, traversés perpendiculairement à leur axe de croissance par des liserés bruns d'hydroxyde de fer. Cet aspect est identique à celui de la calcite cristallisée artificiellement par congélation.

Une analyse de la matrice calcaire permet de distinguer des filaments entrelacés, des vides à sections circulaires tapissés de calcite microcristalline et de matière organique colloïdale. La taille des filaments et l'ornementation des vides s'apparentent à un enchevêtrement de rhizoïdes de mousses (structure travertineuse).

- ♦ l'horizon rubéfié s'est parfois développé en l'absence du poudingue car ces deux niveaux sont par endroits séparés par du matériel alluvionnaire non altéré. Cela suggère que les horizons rubéfié et calcaire sont génétiquement indépendants.

Pour R. MAROCKE, "le ciment est d'origine cryogénique, contemporain du dépôt dont la mise en place est würmienne. Les traces d'activité biologique (mousses) semblent antérieures à la congélation car elles sont emprisonnées dans les franges cristallines. Par contre, la partie supérieure et la plus massive de l'encroûtement ne présente pas de traces de gel, mais celles d'une activité biologique intense".

Le poudingue serait donc une accumulation calcaire syngénétique du dépôt würmien. Un sol rubéfié s'est ensuite développé dans le cailloutis de la terrasse würmienne. L'encroûtement calcaire est intervenu au moins partiellement dans la pédogenèse (apophyses de sol rubéfié pénétrant le poudingue) : lors de cette phase pédogénétique, il y a eu un léger enrichissement en calcaire du poudingue (microcristaux de calcite limpide secondaire dans les vides sédimentaires, visibles dans la microstructure).

### 5.1.3. *Signification paléodynamique et paléoclimatique du poudingue et de l'horizon rubéfié*

Lors de la mise en place de la nappe alluviale würmienne sous climat périglaciaire, des phénomènes de congélation n'allant pas jusqu'à la cryoturbation (phénomène de remaniement que l'on observe dans les sols gelés) ont intéressé la partie inférieure du dépôt : formation de franges de calcite cryogénique et de niveau de poudingue calcaire. Vers la fin de cette période se développe l'encroûtement tuffeux de plus en plus massif vers le haut ; ceci implique un changement thermique et un arrêt temporaire de l'alluvionnement. Celui-ci reprend ensuite, comme en témoignent les niveaux consolidés sur le poudingue. Après la fin de l'édification de la nappe, les sols rubéfiés se développent aux dépens des alluvions non cimentées et du poudingue calcaire.

R. MAROCKE attribue la phase périglaciaire et alluvionnaire au würm I, le sol rubéfié aux interstades würm I-II et II-III, alors que W. MOLL considère que la rubéfaction est un phénomène récent (post-glaciaire) et actuel.

## 5.2. *Principaux types de sol de l'aire d'étude*

### □ Les sols rubéfiés :

De tous les groupes de sols présents dans la Hardt, ce sont les plus fréquents. On les rencontre surtout sur éléments grossiers mais ils s'observent également sur alluvions rhénanes fines.

Leur profil peut se résumer comme suit :

- A** : horizon de surface épais (20 cm environ), gris-brun, plus ou moins humifère (mull à moder), présentant une quantité variable de graviers rhénans non altérés ; horizon décarbonaté.
- S** : horizon structural épais (30 à 50 cm), brun, décarbonaté à forte charge caillouteuse (graviers non altérés).
- FS** (fossile) : horizon rubéfié, de couleur rouge (5YR), argileux à forte teneur en graviers dont une partie est fortement altérée, généralement décarbonaté, épais (40 à 60 cm).
- Dca** : horizon fossile (poudingue), enrichi en calcium, épais (40 à 80 cm), gris-blanc, constitué de graviers intacts cimentés par un liant calcaire.
- D** : terrasse würmienne, calcaire, comportant des graviers et des sables rhénans, non altérés.

Les sols rubéfiés sur alluvions fines présentent une succession d'horizons dont la morphologie est analogue : toutefois, les matériaux grossiers sont absents.

Dans la nomenclature habituelle, ces sols sont qualifiés du fait de l'antériorité des horizons FS et Dca : **Sol brun polycyclique rubéfié**.

En de nombreux endroits, et surtout dans la partie Nord de la terrasse (Hardt grise), l'érosion postglaciaire holocène du Rhin a profondément entaillé la masse des graviers rhénans. Les sols rubéfiés würmiens ont été abrasés selon une intensité variable (jusqu'au poudingue ou jusqu'à l'horizon FS) puis recouverts de nouvelles alluvions. Le processus de pédogenèse s'est ensuite développé sur les dépôts.

Ces sols sont qualifiés de : **polycyclique tronqué**, au profil du type :

**A / S (peu épais) / FS (peu épais) / Dca / D**

Selon l'intensité de l'érosion, l'horizon FS peut avoir disparu.

#### Les sols des anciens chenaux comblés :

Le matériau parental est constitué de sables et de limons (Aulehms) qui comblent les anciens chenaux et bras-morts du Rhin fossile qui parcourait autrefois la terrasse. Il s'agit de sols moins évolués, dont la genèse s'est effectuée sous un climat proche du climat actuel. Les sols peuvent être fossiles, donc recouverts par des éléments de couverture plus récents (sols peu évolués). Lorsqu'ils affleurent en surface, leur stade évolutif est plus avancé. Cependant il s'agit souvent de profils rajeunis à la suite d'un décapage des horizons supérieurs.

**Profil type (exemple de R. MAROCHE) :**

**Aca** : mull carbonaté, gris-brun, caillouteux.

**Sca** : horizon structural carbonaté caillouteux.

**Aca fossile** : horizon fossile, brun-gris, caillouteux ; les graviers présentent un enduit de calcaire terreux néoformé issu des horizons sus-jacents (léger lessivage).

**Sca / Cca fossile** : horizon gris-blanc, exclusivement à éléments fins, calcaire, compacité.

**Cca fossile** : horizon très épais, gris-blanc, à éléments fins très calcaires (niveau d'enrichissement en calcaire issu des horizons supérieurs : Sca/Cca).

**D** : graviers de la basse terrasse rhénane.

La partie supérieure de ce profil (Aca/Sca) correspond à un sol plus récent issu de matériaux de couverture qui recouvrent le complexe fossile à éléments fins.

Ces sols s'apparentent par leur tendance évolutive aux **CALCOSOLS (sols bruns calcaires)**.

Sur le niveau supérieur de la terrasse, ces mêmes matériaux de comblement ne sont pas toujours recouverts de colluvions : ils furent soumis à l'influence des facteurs pédogénétiques et leur degré d'évolution est plus prononcé que celui des sols précédents (lessivage des carbonates des horizons supérieurs et accumulation en profondeur, rajeunissement des profils à la suite du tronquage des horizons supérieurs).

Les sols s'apparentent alors à des **CALCISOLS (sols bruns calciques)**.

**□ Les sols de couverture :**♦ Les sols de couverture ancienne :

Ce sont des sols développés sur alluvions grossières rhénanes, et qui à la suite de remaniements holocènes affectant la surface de la terrasse (érosion fluviale, ruissellement), recouvrent les anciennes formations rubéfiées et les matériaux fins comblant les chenaux.

Ils peuvent reposer directement sur le poudingue lorsque les paléosols ont été érodés.

Dans certains cas, le poudingue calcaire présente dans sa partie supérieure, un début de redissolution des carbonates.

L'épaisseur de ces sols est peu importante : généralement inférieure à 60 cm.

Selon le degré d'évolution, on peut observer :

- des **CALCOSOLS** aux profils variés : Aca / Sca / Dca (poudingue) / D  
Aca / Sca / FS / Dca / D
- des **NEOLUVISOLS** polycycliques : A / E / BT / Dca / D  
A / E / BT / FS / Dca / D

♦ Les sols de couverture récente :

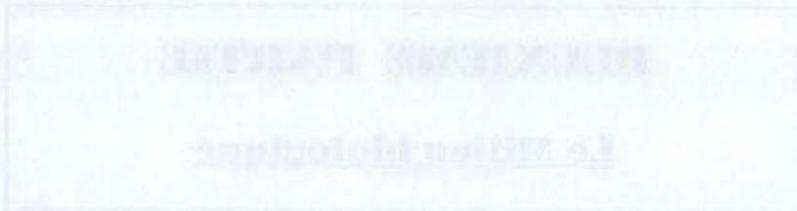
Ces sols sont issus de deux familles très différentes de matériaux parentaux.

- 1- dans la partie Nord de la terrasse, ils sont développés sur les alluvions rhénanes historiques. Ils reposent toujours directement sur le poudingue calcaire, seul témoin des anciennes formations fossiles érodées par le Rhin dans la partie la plus affaissée de la terrasse. Ce sont des **CALCOSOLS** sablo-graveleux d'épaisseur variable (20 à 100 cm). Le profil est de couleur grise, l'horizon supérieur peu humifère, gris foncé.
- 2- dans la partie extrême Sud de la terrasse, les sols sont issus de limons loessiques remaniés, arrachés aux collines avoisinantes du **SUNDGAU**. Les profils, peu évolués, sont caractéristiques des **BRUNISOLS** eusaturés.  
Les sols sont épais, non graveleux.



**DEUXIEME PARTIE**

**Le Milieu biologique**



## I. HISTOIRE ET SITUATION ACTUELLE DES FORETS

### ① Historique (source R. Durst)

Ancienne forêt impériale du Saint-Empire romain germanique, la Hardt fut incorporée au 13<sup>ème</sup> siècle dans l'apanage des archiducs d'Autriche. Le traité de Westphalie en 1648 la fit passer à la couronne de France. Elle est restée depuis forêt d'Etat (même sous l'annexion allemande). Malgré son statut domanial, la Hardt a souffert des emprunts des communes riveraines. Au 14<sup>ème</sup> siècle, une délimitation des districts périphériques fut faite, pour y cantonner contre redevance les prélèvements usagers des communautés riveraines. Mais au cours du temps, ces districts furent défrichés, cultivés puis annexés par les riverains (communes de Battenheim, Rixheim, Habsheim, Sierentz).

Les officiers de la Maîtrise des eaux et Forêts d'Ensisheim jugèrent la situation si grave qu'un décret de Louis XV en 1768 décida le bornage et la délimitation du domaine.

La contenance à laquelle aboutit cette délimitation était d'environ 15.832 ha. Cette opération d'abornement fit cesser complètement les empiètements des riverains.

Au 19<sup>ème</sup> siècle, le conflit entre forestiers et riverains s'est transposé sur le plan du régime appliqué à la forêt. Celle-ci fut menée sous le régime du taillis sous-futaie afin de satisfaire les besoins en chauffage des communautés avoisinantes.

Ce traitement, associé aux aménagements du Rhin par Tulla et plus récemment à la construction du grand canal eut un impact négatif très net sur la fertilité des sols, appauvrissant inexorablement la forêt.

Durant l'annexion allemande de 1870, les forestiers allemands ont extrait sur une période de 15 ans, une moyenne annuelle de 5.750 m<sup>3</sup> de bois d'oeuvre de Chêne, soit un total de 86.250 m<sup>3</sup> pour couvrir les besoins en traverses des chemins de fer alors en pleine expansion.

En contrepartie, entre 1885 et 1900, l'administration germanique a planté 1.600 ha de Pin sylvestre qui constituent actuellement après le Chêne, la principale richesse de la forêt.

En 1887, le Lapin de Garenne est introduit en Alsace. Son développement anarchique est très dommageable à l'ensemble des massifs forestiers, notamment la Hardt (dégâts racinaires, régénération avortée). En 1953, la mixomatose freine la pullulation des populations de lapin.

Au 20<sup>ème</sup> siècle, la forêt de la Hardt subit de nombreux bouleversements :

### ❑ Politiques :

Par sa position géographique stratégique, la Hardt pâtit des deux guerres mondiales. Entre 1914 et 1918, les dégâts sont surtout localisés le long des chemins ou sur les sites de cantonnement des troupes. La guerre de 1939-1945 abîme 4.000 ha de peuplements soit 200.000 m<sup>3</sup> détruits et 400.000 m<sup>3</sup> endommagés (mitraille).

### ❑ Urbanistiques :

En 1960, Peugeot S.A. emprunte à l'intérieur du massif, 230 ha de forêt domaniale pour l'implantation de son usine de montage, 88 ha en 1968 puis 60 ha après 1973 pour l'accès à l'entreprise (échangeur de l'Ile-Napoléon). En 1963, la construction de l'autoroute Habsheim-Bâle distrait 65 ha de peuplement et coupe définitivement le massif en deux parties Nord-Sud. A la même époque, la construction du canal de déversement dans le Rhin des saumures des Mines de potasse d'Alsace distrait encore 17 ha, créant cette fois-ci une coupure Est-Ouest du massif. Il faut ajouter à cette énumération les emprises EDF et SNCF, deux gazoducs, l'aérodrome d'Habsheim, les gravières...

Si les défrichements pris individuellement peuvent sembler parfois d'importance minime, la sommation de leurs emprises depuis 1914 atteint environ 1.100 ha : 300 ha de 1914 à 1960 et 800 ha depuis 1960. On constate donc une accélération du rythme qui est passé de 7 ha par an à 53 ha par an depuis 1960.

Le 30 mars 1972, dans le cadre du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme approuvé par arrêté préfectoral, la forêt domaniale de la Hardt a été intégralement classée en espace boisé à conserver.

## ② Situation actuelle des forêts de la basse-terrasse

### 2.1. Répartition et évolution des surfaces forestières (source I.F.N. 1988)

En 1988, la surface forestière de la basse terrasse de la Hardt était de 18.688 ha pour une superficie territoriale de 50.775 ha, ce qui correspond à un taux moyen de boisement de 36,82%. La superficie boisée est en nette régression depuis 10 ans comme le montre la comparaison des résultats de l'I.F.N. entre 1978 et 1988 (Voir *Tableau n°18*).

Région I.F.N. Hardt 50.755 ha	Surfaces des formations boisées en ha			Taux de boisement en %
	de production	autres	Total	
résultats 1978	18.930	450	19.380	38,8
résultats 1988	18.531	157	18.688	36,82

**Tableau n° 18** : Surface des formations boisées (d'après sources I.F.N. 1978 et 1988)

## 2.2. Répartition des surfaces forestières de production par type de propriété

Les types de propriétés se divisent en deux groupes :

- les forêts soumises au régime forestier (forêts domaniales et communales),
- les forêts non soumises au régime forestier.

Le **tableau n°19** indique pour chaque type de propriété les surfaces boisées e production :

On peut noter que 90% des forêts de la terrasse sont soumises au régime forestier (dont 70% de forêts domaniales).

Propriétés soumises en ha		Propriétés non soumises en ha
domaniale	communale	
12.986	3.804	1.284

**Tableau n° 19** : Formations boisées de production : surfaces par types de propriétés (source I.F.N. 1988)

### ③ Les types de peuplement ; surfaces forestières par essence

Plus de la moitié des massifs sont traités en taillis-sous-futaies (60%).

Le régime de la futaie régulière concerne 30% en surface des peuplements, localisés en majeure partie dans les forêts domaniales.

D'après le **tableau n°20**, les essences feuillues recouvrent plus de 85% des surfaces. Le Chêne sessile, le Chêne pédonculé et le Charme sont par ordre d'importance, les essences les plus représentatives des peuplements.

Parmi les résineux, le Pin sylvestre est l'essence la plus abondante.

TYPE DE PEUPEMENT		FORETS DOMANIALES SURFACE EN HA	FORETS COMMUNALES SURFACES EN HA	FORETS PRIVEES SURFACES EN HA
Futaie régulière	Chêne pédonculé	864		
	Chêne sessile	1.319	544	
	Chêne rouge	96		
	Charme	1.039		
	Pin sylvestre	1.029	266	
	Pin laricio	61		
	Pin noir	32	32	
	Mélèze d'Europe	32		
<b>Total des futaies</b>		<b>4.742</b>	<b>842</b>	
Mélanges futaie-taillis	Chêne pédonculé	2.092	1.480	202
	Chêne sessile	4.335	618	202
	Charme	603	252	
	Tilleuls	126		
	Erable champêtre		126	
	Pin sylvestre	454	257	62
	Epicéa commun	43		
	Pin laricio		32	
<b>Total des futaies-taillis</b>		<b>7.653</b>	<b>2.765</b>	<b>466</b>
Taillis simple	Charme	591		
	Chêne sessile		197	
	Chêne pubescent			176
	Robinier			642
<b>Total des taillis simples</b>		<b>591</b>	<b>197</b>	<b>818</b>
<b>TOTAL</b>		<b>12.986</b>	<b>3.804</b>	<b>1.284</b>

**Tableau n°20** : Formations boisées de production : surface par essence prépondérante (source I.F.N., 1988)

④ **Boisement - reboisement - conversion**

Depuis une quarantaine d'année, on assiste à un effort de conversion en futaie des anciens taillis sous-futaie et à des reboisements artificiels à majorité résineux (*Voir Tableaux n°21 et n°22*).

Le Pin sylvestre constitue la première essence de reboisement sur la Hardt.

Propriétés soumises au régime forestier			Propriétés non soumises au régime forestier		
Boisements artificiels (S <sup>2</sup> en ha)	Reboisements artificiels (S <sup>2</sup> en ha)	Conversions feuillues (S <sup>2</sup> en ha)	Boisements artificiels (S <sup>2</sup> en ha)	Reboisements artificiels (S <sup>2</sup> en ha)	Conversions feuillues (S <sup>2</sup> en ha)
32	1.463	2.641	--	--	--

**Tableau n°21** : Surface des boisements, reboisements et conversions feuillues (*source I.F.N., 1988*)

Essences introduites	Surface boisée ou reboisée en ha	Surface des essences introduites par classe d'âge en ha					
		0-4 ans	5-9 ans	10-14 ans	15-19 ans	20-29 ans	30-39 ans
Chêne pédonculé	217	153	64				
Chêne sessile	38		38				
Chêne rouge	32	32					
Pin sylvestre	1.057	253	58		187	311	248
Pin laricio	61	61					
Pin noir	58	32				26	
Mélèze d'Europe	32	32					
<b>TOTAL</b>	<b>1.495</b>	<b>563</b>	<b>160</b>		<b>187</b>	<b>337</b>	<b>248</b>

**Tableau n°22** : Surface couverte par les essences introduites, par classe d'âge, dans les boisements et reboisements (*source I.F.N., 1988*)

⑤ **Répartition des surfaces forestières soumises au régime forestier**

Le *tableau n°23* page 82 énumère la liste des surfaces forestières soumises au régime forestier

Domaine de l'état, communes ou groupements privés	Division de Colmar	Division de Guebwiller	Division de Mulhouse
Andolsheim	90,79		
Appenwihr	45,51		
Artzenheim	74,70		
Balgau	62,31		
Baltzenheim	60,57		
Biesheim	362,63		
Biltzheim		20,18	
Blodelsheim			57,48
Consistoire Protestant de Colmar	264,22		
Dessenheim	441,60		
Domaniale de la Hardt			13.116,51
Domaniale du Kastenwald	595,65		
Durrenentzen	160,88		
Eglise Protestante de Sundhoffen	2,09		
Eglise Catholique de Sundhoffen	3,59		
Ensisheim		27,23	
Fessenheim			103,57
Fortschwihr	28,00		
Grussenheim	3,96		
Hettenschlag	31,06		
Hirtzfelden		624,35	
Hospices Civiles de Colmar	89,89		
Kembs			12,03
Kunheim	103,60		
Jepsheim	4,72		
Meyenheim		117,79	
Munwiller		6,21	
Niederentzen		19,21	
Oberentzen		37,03	
Oberhergheim		193,43	
Reguisheim		184,40	
Sainte-Croix-en-Plaine	249,59		
Sundhoffen	27,68		
Urschenheim	103,93		
Weckolsheim	93,27		
Widensohlen	410,67		
Wolfgantzen	70,38		
<b>TOTAL</b>	<b>3.381,29</b>	<b>1.229,83</b>	<b>13.289,59</b>

**Tableau n°23** : Liste des surfaces forestières soumises au régime forestier.

⑥ **Santé des forêts de la Hardt (source D.E.R.F. - D.S.F., 1994)**

Depuis 1989, de nombreux cas de dépérissements forestiers sont observés en Plaine d'Alsace. La plupart des essences feuillues sont touchées à des degrés divers, dans des situations stationnelles et sylvicoles variées. La crise climatique récente (sécheresse) est certainement un

des facteurs explicatifs, mais la diversité et l'ampleur de ces dépérissements sont à l'origine de nombreuses difficultés de gestion.

A partir de l'automne 1991, le nombre de sites et le nombre d'essences atteintes ont nettement progressé. De plus, sur plusieurs sites et ce à partir de 1992, ce sont des dépérissements de peuplements dans leur globalité qui sont observés (Nord de la forêt domaniale de la Hardt).

### **6.1. Essences touchées par les phénomènes de dépérissements**

Le Chêne sessile est atteint de façon relativement massive en forêt de la Hardt. De même, les parquets de Chêne rouge manifestent aussi des dépérissements. Des mortalités sont également constatées sur les peuplements de Chêne pubescent du Sud de Colmar.

On peut signaler des dépérissements assez importants d'essences résineuses notamment de Pin sylvestre (plantations fin XIX ème et actuelles), de Mélèze d'Europe et de Douglas.

Les essences d'accompagnement des chênes présentent également des dépérissements. Le Charme, en taillis pur ou en mélange avec le Chêne sessile, est fortement touché (jusqu'à 20% des individus).

### **6.2. Suivi du dépérissement**

Suite à l'évolution des dépérissements, un certain nombre (103) de placettes permanentes d'observation ont été installées pour certaines essences (Chêne sessile, Chêne pédonculé, Chêne rouge...). Ces placettes sont implantées sur des sites où sont observés des dépérissements de l'essence concernée avec mortalités de tiges.

Chaque placette se compose en général de cinquante tiges numérotées. Les observations réalisées sur les arbres portent essentiellement sur l'aspect du houppier qui comprend cinq classes, de la classe 0 : absence de symptôme, à la classe 4 : houppier mort en totalité.

Ces placettes montrent une lente dégradation des notations d'année en année.

Sur quelques massifs, un suivi des récoltes a pu être établi sur une dizaine d'années, pour les chênes et le Charme. Sur la Hardt, la récolte importante de Charme, concomitante à celle des chênes entraîne une ouverture considérable du couvert forestier et par la même, une modification notable des cortèges floristiques.

### 6.3. Facteurs éventuels de causalité du dépérissement

Les cas de mortalité de tiges d'âge moyen sur des stations à priori convenables pour les essences concernées ne permettent pas de mettre en avant des facteurs prédisposants de manière simple. Les inconnues sur le rôle de certains champignons ou de certains insectes mis en évidence dans les dépérissements ne permettent pas systématiquement de les classer en facteurs aggravants. Si l'intensité de la sécheresse des cinq dernières années (*Voir § II. 2.2.3.*) est à l'évidence un facteur déclenchant majeur, il reste cependant les interrogations sur l'aspect exceptionnel et durable de la crise climatique récente, sur le caractère récurant des pullulations de défoliateurs ou sur les modifications anthropiques éventuelles de certains paramètres (modification du réseau hydrologique, pollutions...).

En outre, ces phénomènes aigus de dépérissement ne semblent pas nouveaux sur la Hardt. En 1847, l'inspecteur des forêts notait la quasi-absence d'arbres âgés de plus de 30 ans dans la forêt indivise de Weckolsheim et la faible vigueur des arbres de plus de 25 ans.

Toujours à Weckolsheim, le conseil municipal, pour faire face à de fortes dépenses, demandait autorisation en 1848 de couper des chênes dépérissants ("1000 arbres chêne sec, demi-sec et en dépérissement").

## II. FLORE ET VEGETATION : ANALYSE ECOLOGIQUE

La végétation d'une région est la résultante de l'action combinée dans le temps et l'espace de divers facteurs qui ont contribué plus ou moins directement à la structure des groupements forestiers actuels :

- présence d'un stock floristique (cortège floristique) ;
- conditions écologiques actuelles (facteurs stationnels) ;
- dynamique de la végétation avec l'ontogenèse des climax et la sylvigénèse ;
- pression anthropique : l'homme a substitué au cycle sylvigénétique naturel de nos forêts, un ensemble de cycles (sylvofaciès) qu'il contrôle et dirige par l'intermédiaire de traitements sylvicoles propres à chaque sylvofaciès ;
- les dégâts imputables au grand gibier (chevreuil, daim).

### ① Eléments de flore : caractère phytogéographique

L'analyse de la végétation d'une région montre que les espèces de cette région possèdent des centres de gravité différents.

Il est possible de grouper les espèces ayant des centres de gravité identiques : on arrive ainsi à la notion d'élément de flore ou **cortège floristique**, groupes d'espèces nées dans une même région et ayant subi des déplacements d'ensemble au cours des âges.

La végétation d'une région comportera un nombre variable selon les cas d'éléments de flore distincts ayant des centres de gravité pouvant être très éloignés les uns des autres. Préciser ces éléments permet de se faire une idée des influences écologiques qui ont régné sur la région.

La flore de la basse-terrace du Rhin est représentative du :

- **domaine médio-européen,**
- **secteur baltico-rhénan,**
- **district de la plaine alsacienne,**
- **sous-district de la Hardt,** caractérisé par des forêts sèches sur cailloutis (chênaies).

L'appartenance de la flore de la basse terrasse du Rhin au domaine médio-européen est soulignée par la présence d'espèces dont l'aire de répartition se situe en Europe tempérée.

<i>Geum urbanum</i>	Benoîte des villes
<i>Milium effusum</i>	Millet diffus
<i>Peucedanum alsaticum</i>	Peucedan d'Alsace
<i>Primula elatior</i>	Primevère élevée
<i>Pulmonoria obscura</i>	Pulmonaire à fleurs sombres
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes
<i>Sanicula europaea</i>	Sanicule d'Europe
<i>Ulmus minor</i>	Orme champêtre

L'influence continentale très marquée sur la plaine est révélée par :

<i>Acer platanoides</i>	Erable plane
<i>Aquilegia vulgaris</i>	Ancolie vulgaire
<i>Carex pilosa</i>	Laîche poilue
<i>Carpinus betulus</i>	Charme
<i>Daphne mezereum</i>	Joli bois
<i>Galium sylvaticum</i>	Gaillet des bois
<i>Poa chaixii</i>	Pâturin de Chaix
<i>Potentilla alba</i>	Potentille blanche
<i>Silene nutans</i>	Silène penché

L'influence océanique est peu marquée sur la basse-terrasse. Elle s'exprime surtout vers le Sud de la forêt de la Hardt, secteur moins protégé des masses d'air océanique par les contreforts de la montagne vosgienne.

<i>Carex digitata</i>	Laîche digitée
<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne élevé
<i>Lamium galeobdolon</i>	Lamier jaune
<i>Melica uniflora</i>	Mélique à une fleur
<i>Polygonatum multiflorum</i>	Sceau de Salomon
<i>Quercus petraea</i>	Chêne sessile
<i>Quercus robur</i>	Chêne pédonculé
<i>Ranunculus auricomus</i>	Renoncule tête d'or
<i>Ranunculus ficaria</i>	Ficaire
<i>Rosa arvensis</i>	Rosier des champs
<i>Stellaria holostea</i>	Stellaire holostée

Un important groupe d'espèces ayant une aire de répartition plutôt méridionale (voire supra-méditerranéenne) s'avance dans le fossé rhénan à la faveur de conditions pédoclimatiques privilégiées (sol superficiel calcaire, sécheresse climatique de la zone de Colmar) ; elles arrivent en limite d'aire et abondent dans les secteurs Nord de la Hardt, et dans les forêts du Kastenwald et de Rothleibe.

<i>Amelanchier ovalis</i>	Amélanchier
<i>Berberis vulgaris</i>	Epine vinette
<i>Colutea arborescens</i>	Baguenaudier
<i>Cornus mas</i>	Cornouiller mâle
<i>Coronilla emerus</i>	Coronille arbrisseau
<i>Dictamnus albus</i>	Fraxinelle
<i>Galium glaucum</i>	Asperule glauque
<i>Genista tinctoria</i>	Genêt des teinturiers
<i>Helleborus foetidus</i>	Hellébore fétide
<i>Melittis melissophyllum</i>	Mélitte à feuilles de mélisse
<i>Potentilla micrantha</i>	Potentille à petites fleurs
<i>Primula veris</i> sub sp <i>veris</i>	Primevère officinale
<i>Prunella laciniata</i>	Prunelle découpée
<i>Prunus mahaleb</i>	Cerisier de Sainte-Lucie
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent
<i>Rosa rubiginosa</i>	Rosier rouillé
<i>Silene vulgaris</i>	Silène commun
<i>Stachys germanica</i>	Epiaire d'Allemagne
<i>Tanacetum corymbosum</i>	Chrysanthème en corymbe
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Germandrée petit chêne

## ② La végétation

### 2.1. Les causes de la diversification de la végétation

Dans la plaine d'Alsace, la structuration de la végétation forestière peut se comprendre en regard de la diversité des conditions écologiques (climatologique, géomorphologique, pédologique et dans une moindre mesure hydrologique) sur lesquelles se surimposent des phénomènes de dynamique végétale d'origine anthropique (gestion) ou naturelle (impact du gibier, chablis, catastrophe naturelle).

### 2.1.1. Facteurs écologiques à l'origine de la diversification de la végétation

Dans le contexte phytogéographique subocéanique-subcontinental, la plaine d'Alsace présente une combinaison floristique originale due aux conjonctions favorables du climat local (mésoclimat : cuvette tectonique privilégiée sur le plan thermique permettant à la fois l'avancée de nombreuses plantes subméditerranéennes et continentales, trouvant en Alsace leur limite d'aire) et des caractéristiques édaphiques des sols.

La hiérarchisation de ces facteurs permet de diviser la basse-terrasse würmienne du Rhin en deux sous-unités pédoclimatiques :

- Une **zone Nord** qui s'étend de Marckolsheim à l'extrémité Nord de la forêt domaniale de la Hardt ("Hardt-grise"). Ce secteur est caractérisé par des faibles précipitations (500 mm par an), des déficits hydriques saisonniers importants et marqués durant la période de végétation.

Les sols observés sont de faible épaisseur, plus ou moins carbonatés, caillouteux, drainants et présentant à faible profondeur une zone d'induration (poudingue calcaire) qui fait obstacle à l'enracinement des essences forestières.

La Hardt grise forme ainsi une région pédoclimatiquement sèche qui montre toutefois des discontinuités d'ordres pédoclimatiques notamment au niveau des anciens chenaux holocènes du Rhin aujourd'hui comblés (sols relativement épais, à pédogenèse plus complexe).

- Une **zone Sud** qui s'étend de Munchhouse à Saint-Louis ("Hardt rouge") où les précipitations sont relativement plus élevées (600 à 700 mm à Saint-Louis). Le bilan hydrique est cependant négatif de mai à septembre, en pleine période de végétation.

Les sols, à pédogenèse complexe (rubéfaction et encroûtement calcaire fossile) sont généralement épais mais caillouteux et drainants. On note toutefois une hétérogénéité texturale à la faveur de placage de limons (secteur de la domaniale de la Hardt Nord entre Munchhouse et Bantzenheim).

Les biocénoses végétales semblent se calquer étroitement sur les deux compartiments pédoclimatiques de la basse terrasse würmienne.

Schématiquement, le long de l'axe Nord-Sud, on observe la succession des groupements forestiers suivants :

Chênaie pédonculée-frênaie ⇔ Chênaie sessiliflore-charmaie ⇔ Chênaie pubescente ⇔ Chênaie sessiliflore ⇔ Chênaie sessiliflore-charmaie.

Le schéma n°2 recense les principaux facteurs abiotiques qui régissent cette succession.

### 2.1.2. Les unités phytoécologiques de la basse-terrasse würmienne

#### □ La chênaie pubescente

Elle se présente sous la forme de bois clairs, gramineux, caractérisés par la prédominance de plantes xérophiles (*Anthoxantum odoratum*, *Vincetoxicum hirundinaria*, *Anthericum liliago*, *Brachypodium pinnatum*).

Le Chêne pubescent est le plus souvent accompagné du Chêne sessile, de l'Alisier blanc, du Sorbier domestique... La végétation arbustive, très riche, est structurée par l'Aubépine monogyne, le Troène, la Viorne lantane, la Ronce et l'Epine vinette.

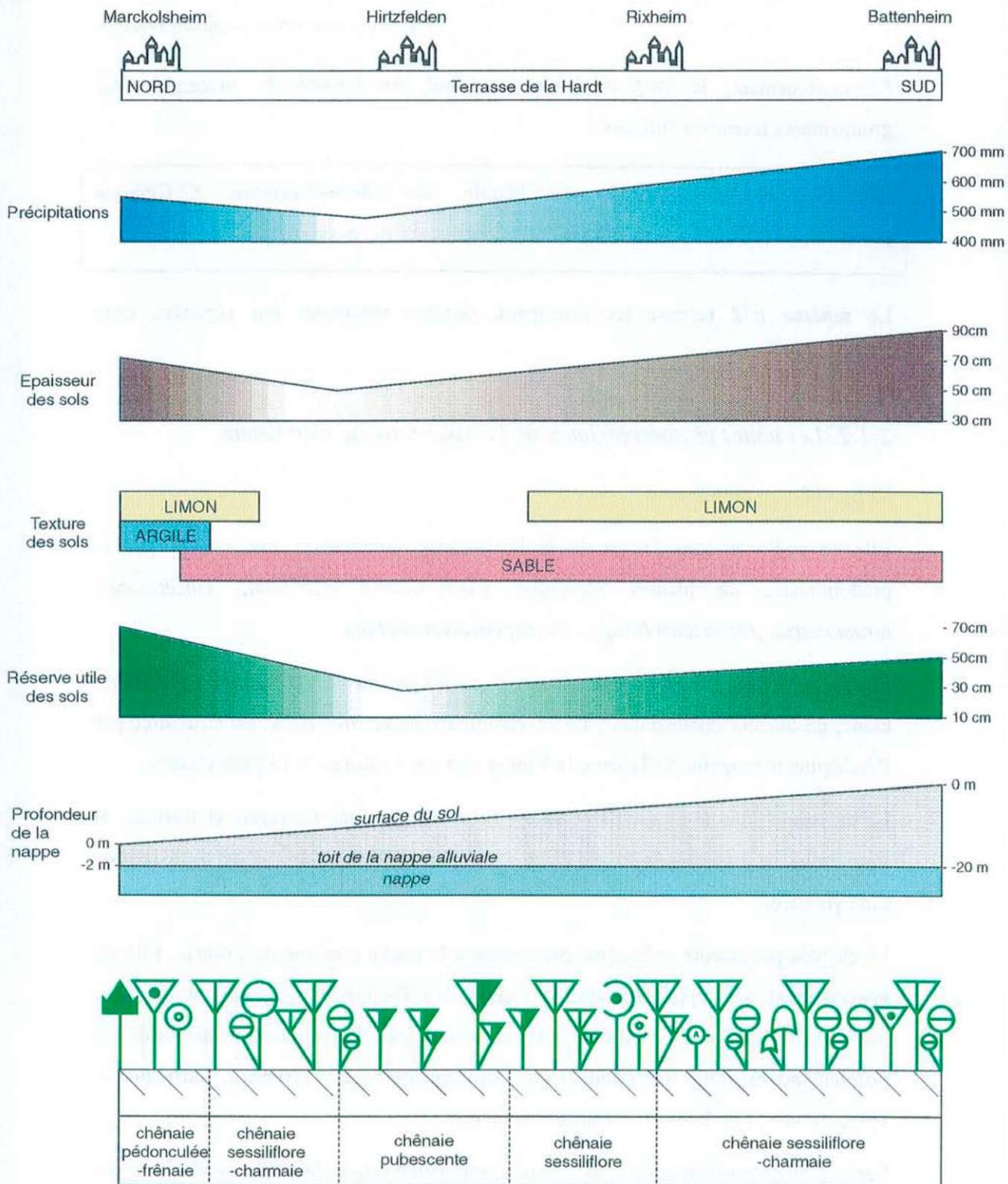
La croissance des chênes est très lente. Leurs troncs sont rabougris et torturés. Il s'agit souvent d'anciens taillis de chênes, en conversion plus ou moins enrésinés de Pin sylvestre.

La chênaie pubescente se localise étroitement à la poche d'aridité de Colmar. Elle est généralement développée sur des sols de faible épaisseur, présentant à moyenne profondeur (40/50 cm) un niveau induré carbonaté (poudingue). La potentialité de ces peuplements est donc très faible et les reboisements de Pin sylvestre, introduits au siècle dernier, ont donné des résultats médiocres.

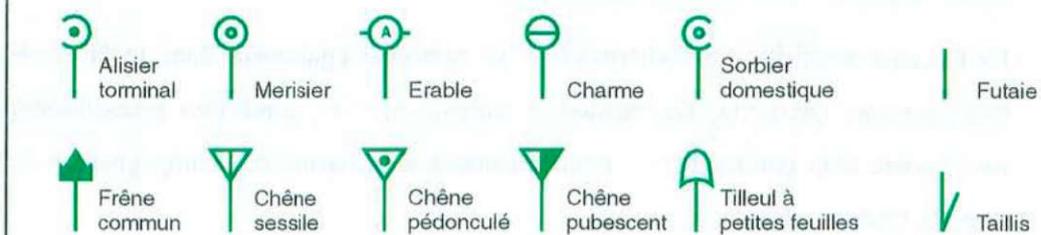
Sur le plan phytosociologique, la Chênaie pubescente relève de l'alliance du *Quercion pubescenti-petraeae*.

#### □ La chênaie sessiliflore xérothermophile

La Chênaie sessiliflore xérothermophile se cantonne également dans le Nord de la basse terrasse (Rixheim, Kastenwald, Rothleibe...). Les conditions pédoclimatiques sont encore trop contraignantes pour permettre au Charme d'accompagner en sous-étage le Chêne sessile.



Légende des représentations schématiques des essences forestières :



**Schéma n°2** : Incidence des facteurs abiotiques sur la succession des associations d'essences forestières

Comme pour le type précédent, les sols, qu'ils soient calcaires ou lessivés (plus ou moins tronqués) reposent tous sur un conglomérat calcaire (poudingue) présent à faible profondeur. Dans la strate arborescente, le Chêne sessile est accompagné de sorbiers, de rares pieds de Chêne pubescent, de tilleuls...

Les peuplements sont en général conduits en taillis ou taillis sous-futaie à faibles réserves.

La Chênaie sessiliflore de la Hardt est une chênaie très sèche, de faible potentialité mais de grande valeur biologique comme la Chênaie pubescente.

Sur le plan phytosociologique, ce groupement relève de l'alliance du *Carpinion*.

#### □ La Chênaie sessiliflore-charmaie

Si la partie Nord de la forêt domaniale de la Hardt, ainsi que les massifs qui lui succèdent en direction du Nord, correspondent au pôle de sécheresse de la plaine alsacienne, la plus grande partie de la forêt de la Hardt, moins sèche, est occupée par une forêt mésophile à base de Chêne sessile et de Charme qui relève également de l'alliance du *Carpinion*.

La chênaie-charmaie se présente comme un taillis sous-futaie plus ou moins vieilli et riche en réserves, mais aussi sous la forme de taillis simple de Charme ou de tilleuls.

Dans la strate arborescente, on peut rencontrer une relative variété d'essences : Chêne pédonculé, alisiers, sorbiers, érables, Merisier...

La strate arbustive est parfois très recouvrante mais peu variée : elle est surtout composée d'aubépines et de Troène commun.

La strate herbacée, recouvrante, dépend pour sa composition de la nature du substrat.

Cette variabilité tient surtout à la profondeur de décarbonatation, au degré de lessivage et au fait que le sol soit plus ou moins tronqué.

J. TIMBAL distingue ainsi quatre variantes :

- une *variante type à Pâturin de Chaix*, de loin la plus fréquente. Le Pâturin de Chaix qui peut former des tapis continus, est accompagné d'un cortège assez constant composé de : Millet diffus, Stellaire holostée, Pâturin des bois, Fétuque hétérophylle, Luzule poilue, Dactyle d'Ascherson.

Sur les sols légèrement lessivés, on peut noter la présence d'espèces acidiclinales telles que : *Luzule blanchâtre*, *Polytric élégant*.

Le caractère thermophile est souligné par quelques espèces subméditerranéennes : *Gesce noire*, *Mélitte à feuilles de Mélisse*, *Millepertuis des montagnes*.

Cette variante correspond à la chênaie sessiliflore-charmaie décrite par CUILLER et MERIAUX. Le sol est souvent du type polycyclique non tronqué (lessivage peu important). C'est un groupement de fertilité moyenne.

- une *variante acidiphile à *Leucobryum glauque**, développée sur des sols polycycliques non tronqués, assez lessivés. La désaturation des sols est révélée par la présence d'espèces acidiphiles, peu recouvrantes toutefois : *Leucobryum glauque*, *Polytric élégant*, *Luzule blanchâtre*, *Germandrée scorodoine*, *Mélampyre des prés*.

- une *variante calcicole à *Mercuriale pérenne** : elle se localise, soit dans la partie Nord de la terrasse würmienne, soit en plages isolées de faible superficie au sein du groupement à *Pâturin de Chaix*.

Dans la strate herbacée, les espèces thermophiles calcicoles sont nombreuses : *Mercuriale pérenne*, *Laïche des montagnes*, *Euphorbe faux-amandier*, *Brome de Beneken*, *Mélique penchée*.

- une *variante xérocalcicole à *Laïche blanche** : comme le type précédent, cette variante se localise soit dans la partie Nord de la terrasse où elle couvre des surfaces non négligeables, soit dans la partie Sud sous forme de petites taches, généralement d'anciens chenaux comblés, enclavées dans le type à *Pâturin de Chaix*.

Ce groupement correspond à la chênaie sessiliflore-charmaie calcicole à calcaricole de la Hardt de CUILLER et MERIAUX, développée soit sur un sol brun calcaire sur limons calcaires d'anciens chenaux, soit sur un sol polycyclique tronqué à poudingue calcaire présent à moyenne profondeur.

#### □ La chênaie pédonculée-charmaie thermophile

Selon TIMBAL, c'est une chênaie pédonculée-charmaie parsemée de *Chêne pubescent* et dans laquelle se rencontre un certain nombre d'espèces thermophiles du cortège floristique du *Chêne pubescent* comme : *Dompte-Vénin*, *Epiaire officinale*, *Campanule à feuilles de pêcher*...

On la rencontre dans les zones de transition entre la chênaie pédonculée-charmaie du ried ello-rhénan et la chênaie pubescente de la Hardt. Ce groupement est également proche spatialement et floristiquement de la chênaie sessiliflore-charmaie thermophile de la Hardt.

#### □ La chênaie pédonculée-frênaie

La chênaie pédonculée-frênaie présente une flore mésoneutrophile, nitratophile, dont la strate herbacée est dominée par le Lierre terrestre. CUILLER et MERIAUX la décrivent sous le terme de : chênaie pédonculée-frênaie sur sol polycyclique de type brun lessivé à brun eutrophe, dans l'extrême Sud du massif.

Ce type existe également dans le Nord de la terrasse (Marckolsheim) là où la nappe alluviale rhénane est relativement proche de la surface des sols (-2 m dans certains anciens chenaux comblés).

La chênaie pédonculée-frênaie relève toujours de l'alliance du *Carpinion*.

## 2.2. Synsystématique des groupements forestiers

La structuration de la végétation forestière sur des bases floristiques, écologiques et dynamiques conduit à un système hiérarchisé dont l'association végétale<sup>(1)</sup> représente l'unité fondamentale. Les unités supérieures (groupes d'associations occupant la même niche écologique dans des territoires différents) sont par ordre croissant : l'alliance (-ion) et la sous-alliance (-enion), l'ordre (-etalia) et le sous-ordre (-enalia), la classe (-etea) et la sous-classe (-enea).

Les milieux forestiers de la terrasse würmienne de la Hardt se rangent dans une seule classe.

#### ⇒ Classe des *Quercu-Fagetea*

- ◆ rassemble les forêts caducifoliées collinéennes ou montagnardes,
- ◆ *Acer campestre*, *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*,
- ◆ *Corylus avellana*, *Crataegus laevigata*, *Hedera helix*, *Ilex aquifolium*, *Lonicera xylosteum*, *Viburnus opulus*,

<sup>(1)</sup> L'association végétale est un concept abstrait qui se dégage d'un ensemble d'individus d'association possédant en commun à peu près les mêmes caractères floristiques, statistiques, écologiques, dynamiques, chorologiques et historiques.

- ♦ *Anemone nemorosa*, *Carex digitata*, *Carex sylvatica*...

- ◆ Ordre des *Fagetalia sylvaticae*

- ♦ forêts mélangées de Frêne et d'Aulne, de chênes et de Charme avec ou sans Hêtre, de Hêtre, de Hêtre et Sapin pectiné, d'érables, de tilleuls.
- ♦ *Acer campestre*, *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*,
- ♦ *Adoxa moschatellina*, *Allium ursinum*, *Anemone ranunculoides*, *Arum maculatum*, *Galium odoratum*, *Melica uniflora*, *Milium effusum*, *Paris quadrifolia*, *Scrophularia nodosa*...

- ❖ Sous ordre des *Alno-Ulmenalia*

- ♦ forêts riveraines ou de suintements,
- ♦ les inondations annuelles provoquent un blocage de la sylvigénèse avec la dominance des essences pionnières et nomades,
- ♦ *Alnus glutinosa*, *Ulmus minor*.

- Alliance de l'*Alno-Padion*

- ♦ *Alnus incana*, *Prunus padus*, *Ribes rubrum*,
- ♦ *Carex pendula*, *Carex remota*, *Carex strigosa*, *Circaea lutetiana*, *Gagea lutea*, *Veronica montana*.

- Sous-alliance de l'*Alnenion glutinosae-Incanae*

- ♦ Groupements des petites vallées et vallées moyennes (ex : rigole de Widensohlen), suintements,
- ♦ aulnaie-frênaie à *Prunus padus* et *Quercus robur*
- ♦ association régionale : *Pruno-Fraxinetum*

- ❖ Sous-ordre des *Carpino-Fagenalia*

- ♦ forêts collinéennes non acidiphiles et peu hydromorphes : hêtraies-chênaies-charmaies, chênaies sessiliflore-charmaies, chênaies pédonculées-charmaies...
- ♦ *Carpinus betulus*, *Prunus avium*, *Tilia cordata*, *Rosa arvensis*,

- ♦ *Stellaria holostea*, *Potentilla sterilis*, *Ranunculus auricomus*, *Campanula trachelium*, *Festuca heterophylla*.

□ Alliance du *Carpinion betuli*

- ♦ *Dactylis aschersoniana*, *Carex pilosa*, *Poa chaixii*, *Pulmonaria montana*.

■ Sous alliance du *Lonicera-Carpinenion*

- ♦ forêts à flore mésoacidiphile à mésoneutrophile,
- ♦ *Lonicera periclymenum*, *Polytrichum formosum*, *Atrichum undulatum*,
- ♦ *Carex umbrosa*, *Poa chaixii*
  - groupe d'associations dominé par *Quercus petraea*
  - groupe d'associations dominé par *Quercus robur*

■ Sous alliance du *Daphno-Carpinenion*

- ♦ forêts à flore calcicole à neutrophile
- ♦ *Daphne laureola*, *Daphne mezereum*, *Asarum europaeum*, *Mercurialis perennis*, *Scilla bifolia*

association régionale : *Galio-Carpinetum*

◆ Ordre des *Quercetalia robori-petraea* :

- ♦ chênaies, chênaies-hêtraies, hêtraies-chênaies acidiphiles,
- ♦ forêts représentées sur l'ensemble de la région eurosibérienne à l'étage collinéen,
- ♦ *Betula pendula*,
- ♦ *Melampyrum pratense*, *Pteridium aquilinum*, *Teucrium scorodonia*, *Deschampsia flexuosa*, *Leucobryum glaucum*, *Polytrichum formosum*, *Pleurozium schreberi*.

□ Alliance du *Quercion robori-petraea*

- ♦ *Holcus mollis*, *Carex pilulifera*, *Viola riviniana*.

◆ Ordre des *Quercetalia pubescenti-petraea* :

- ♦ forêts thermophiles dominées par le Chêne pubescent sur substrats neutres ou basiques,

- ♦ Climax stationnel sur la Hardt (conditions pédoclimatiques sèches et chaudes induisant un blocage de la sylvigénèse),
- ♦ végétation souvent ouverte, d'où la présence d'espèces de lisières (*Trifolio-Geranieta*) ou de fruticées (*Prunetalia*),
- ♦ *Quercus pubescens*, *Sorbus domestica*, *Cornus mas*,
- ♦ *Melittis melissophyllum*, *Hypericum montanum*, *Lathyrus niger*.

□ Alliance du *Quercion pubescenti-petraeae*

- ♦ Chênaies pubescentes médioeuropéennes généralement sur calcaire,
- ♦ *Calamintha sylvatica*, *Buglossoides purpureo-caerulea*, *Polygonatum odoratum*, *Vincetoxicum hirundinaria*, *Coronilla emerus*.

❖ Sous ordre des *Berberidenalia*

- ♦ groupements xérophiles et mésoxérophiles,
- ♦ *Berberis vulgaris*, *Rhamnus cathartica*, *Prunus mahaleb*, *Rosa rubiginosa*, *Viburnum lantana*.

□ Alliance de l'*Amelanchierion*

- ♦ ourlets à caractères xérophiles
  - Sous alliance du *Cotoneastro-Amelanchierenion*
    - ♦ en liaison avec les chênaies pubescentes

□ Alliance du *Ligustro-Prunienion*

- ♦ fourrés médioeuropéens
  - Sous-alliance du *Ligustro-Prunienion* :
    - ♦ évolution vers les chênaies thermophiles ou des chênaies-charmaies,
    - ♦ fréquence de *Ligustrum vulgare* et *Prunus mahaleb*.

### ③ Dynamique de la végétation

#### 3.1. Les cycles sylvigénétiques ou évolution cyclique de la forêt

Un groupement forestier en état d'équilibre apparent est en réalité le siège d'une évolution cyclique caractérisée par la succession dans le temps et l'espace, de différentes phases sylvigénétiques.

Ces phases reproduisent l'invariance de l'état initial tant que les conditions macroclimatiques restent constantes et tant que l'action de l'homme n'induit pas de modifications profondes pouvant conduire à un nouvel état d'équilibre.

Différentes étapes physiologiques (liées à la croissance des espèces) se succèdent dans le temps, se traduisant par des motifs structuraux qui s'agencent en mosaïque : taches ou bouquets d'arbres d'avenir, d'arbres du présent, d'arbres du passé...

L'ensemble des processus qui régissent le développement et l'organisation de cette mosaïque constitue la sylvigénèse.

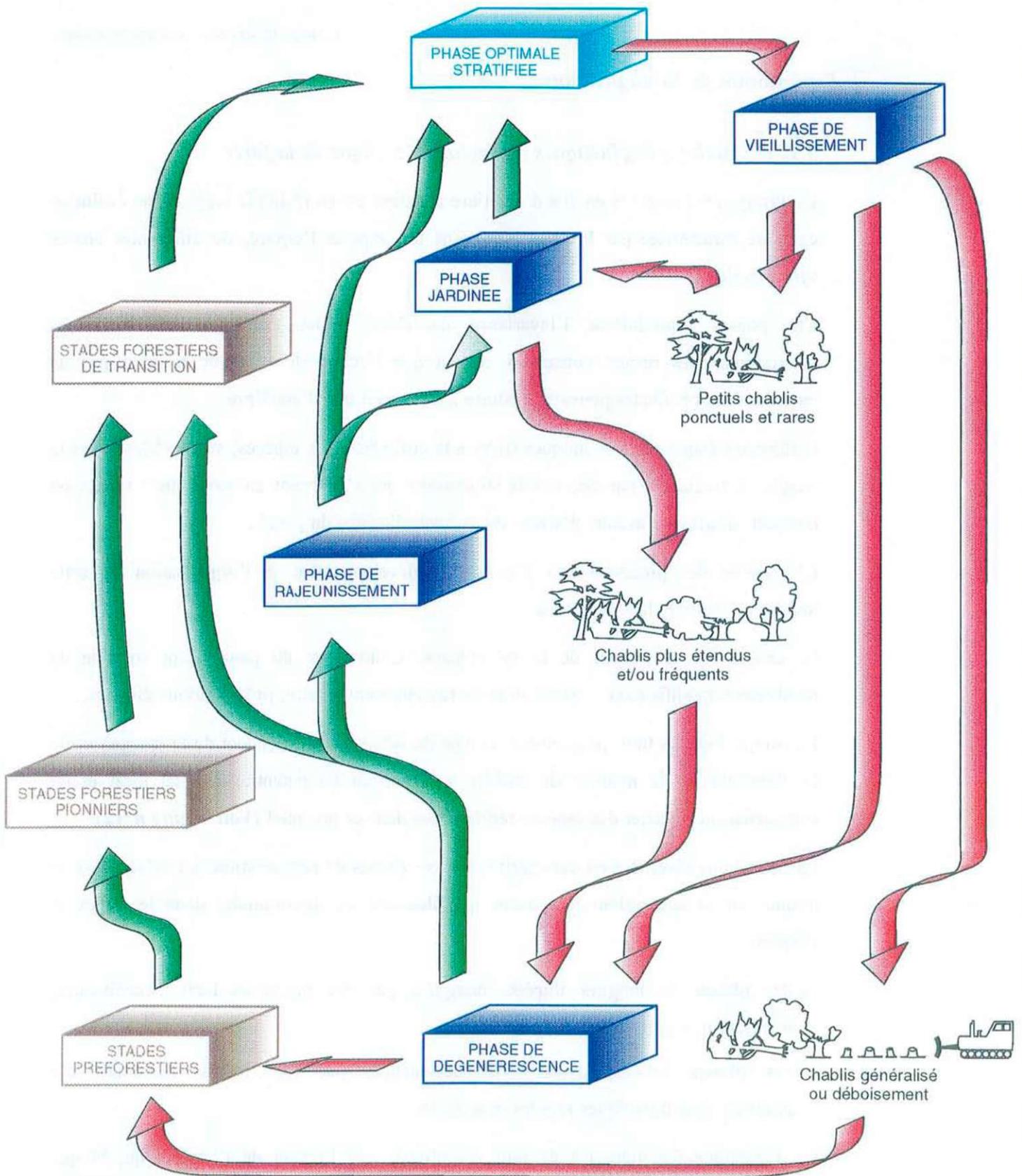
Le chablis est le moteur de la sylvigénèse. L'ouverture du peuplement entraîne de nombreuses modifications : pénétration du rayonnement solaire, précipitations directes...

La composition du futur peuplement, le type de sylvigénèse dépendent de la fréquence, de la dimension et du moment du chablis mais surtout du potentiel séminal local et du comportement forestier des espèces représentées dans ce potentiel (*Voir Figure n°12*).

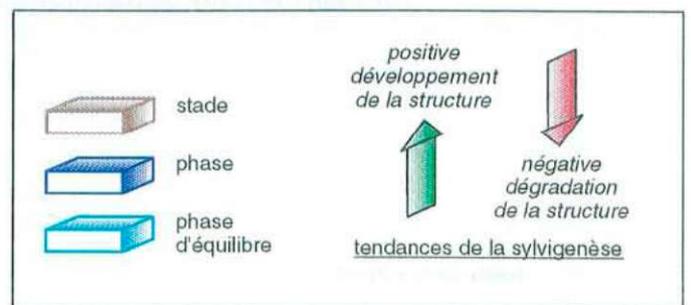
La dynamique forestière est caractérisée par ces phases de régénération. La sylvigénèse se traduit par la succession des phases qui alternent en discontinuité dans le temps et l'espace :

- des **phases de longues durées**, marquées par des processus lents : croissance, maturation, vieillissement du peuplement ;
- des **phases brèves**, dynamiques, déclenchées par les chablis entraînant des modifications floristiques rapides et accusées.

La dynamique forestière est de plus compliquée par l'action de l'homme qui bloque souvent l'évolution naturelle de la végétation. Le forestier a depuis longtemps remplacé le cycle sylvigénétique naturel par un ensemble de cycles (sylvofaciès) qu'il contrôle et dirige par l'intermédiaire de traitements sylvicoles : futaie, taillis sous-futaie, taillis.



**Figure n°12 :** Evolution cyclique de la forêt naturelle (sylvigénèse), Walter 1986 (d'après Leibundgut 1959, Zukrigl, Eckart, Nather 1963 et Oldeman 1976)



L'éclaircie ou la coupe en régime futaie provoquent une perturbation semblable au chablis à la différence qu'elles sont régulières et programmées à la phase de maturation du peuplement.

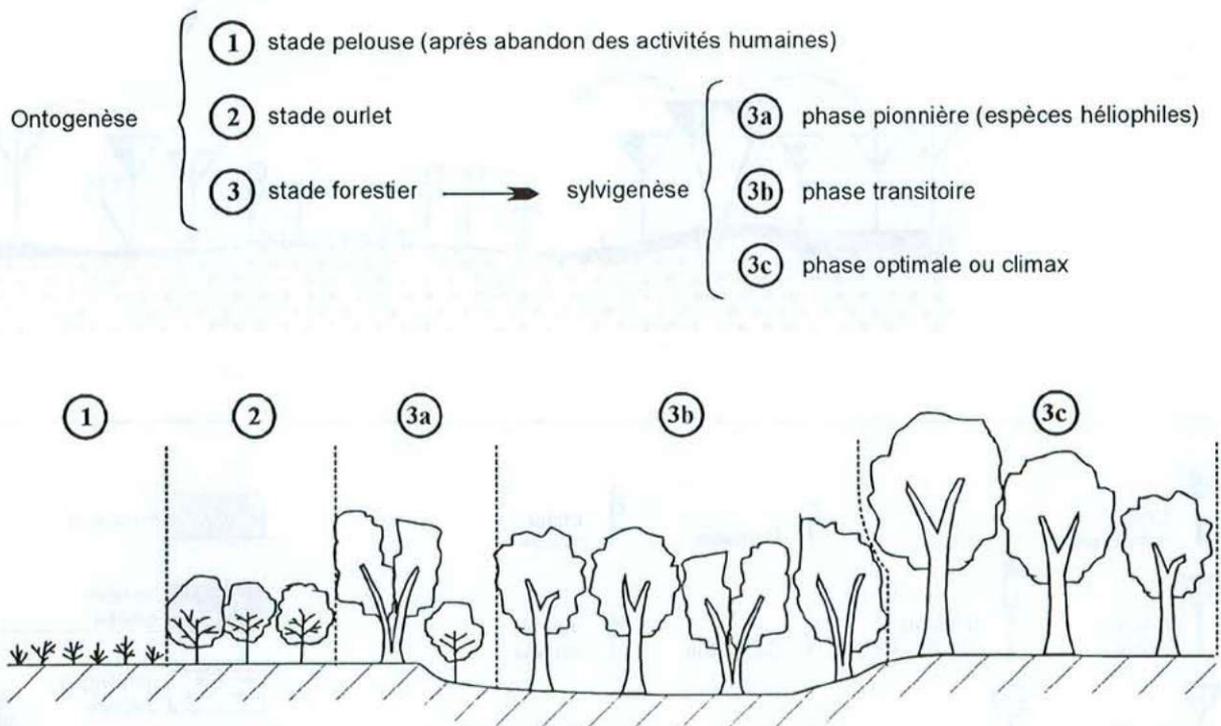
Le traitement en taillis sous-futaie s'écarte plus du schéma naturel. Les perturbations sont rapprochées mais partielles (15 à 30 ans) avec exploitation régulière du taillis et des réserves mûres.

Le taillis pur a une structure simple, dérivant de la dégradation d'un taillis sous-futaie, avec dans ce cas, développement fréquent d'essences aimant la lumière (ex : tilleuls), ou de la conduite volontaire du peuplement (taillis de Robinier).

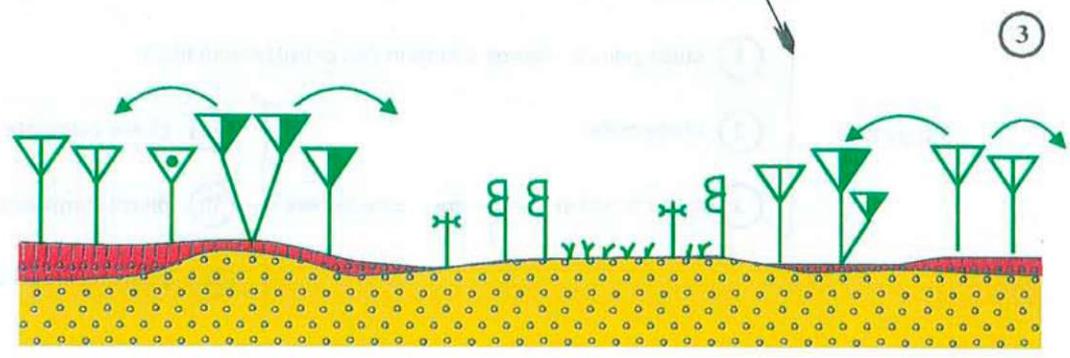
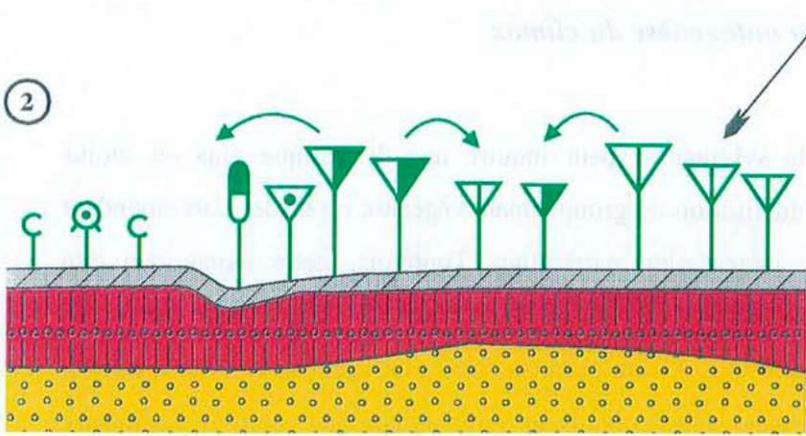
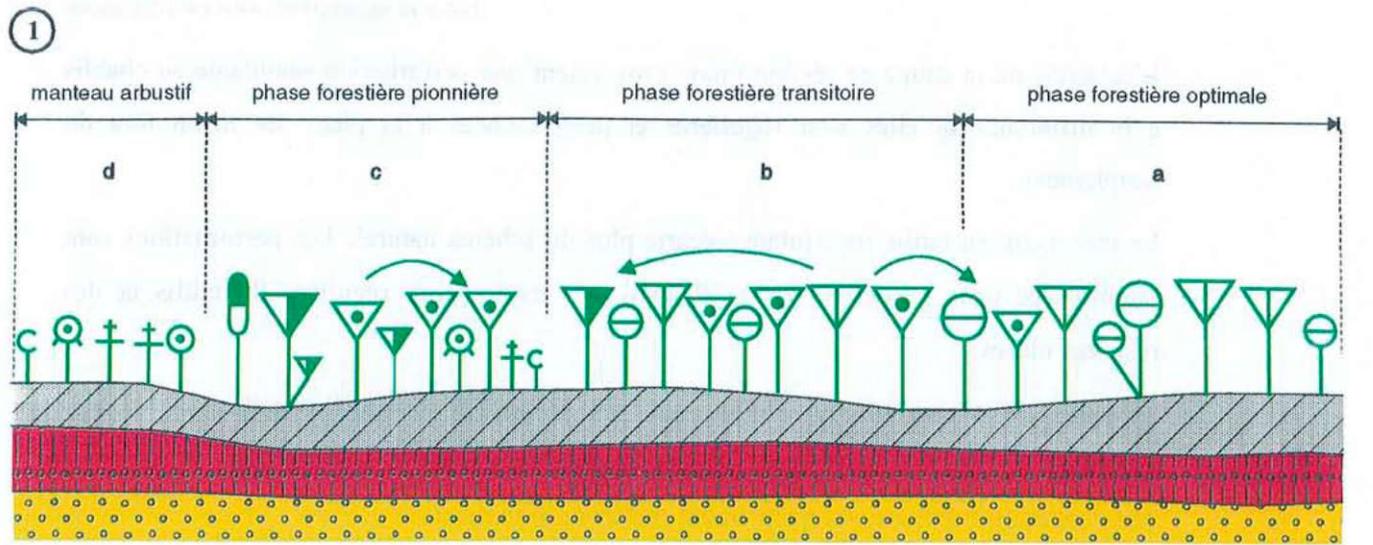
### 3.2. Dynamique linéaire ou ontogenèse du climax

#### 3.2.1. Généralités

Le chablis, moteur de la sylvigénèse peut induire une dynamique plus ou moins poussée amenant l'individualisation de groupements végétaux ou stades correspondant chacun à un niveau de dégradation particulier. Toutefois, cette dynamique dite "régressive" est le plus souvent le résultat de l'action de l'homme : exploitation des peuplements (coupe de taillis)... Si les perturbations sont menées à grande échelle (coupe rase de grande surface), elles conduisent à une dynamique qualifiée de linéaire (*Voir Figure n°13*).



**Figure n°13** : Ontogenèse du climax



	Chêne pubescent		Prunellier		Epine vinette		horizon A
	Chêne sessile		Bouleau verruqueux		Camerisier		horizon rubéfié
	Chêne pédonculé		Charme		Troène		poudingue calcaire
			Viome lantane		Pelouse naturelle dite "clairière steppique"		

1995

**Figure n°14** : Comportement dynamique des Chênes sessile, pédonculé et pubescent dans les successions forestières au sein des massifs reconstitués et gérés en taillis sous-futaie

Chaque stade stabilisé peut être à l'origine d'une dynamique "progressive" si les pressions extérieures le permettent avec retour plus ou moins rapide à la phase optimale ou "climax".

L'ensemble des stades constitue une succession ou série de végétation.

pelouse ⇨ ourlet extensif ⇨ fourrés-manteaux avec ourlets linéaires ⇨ phase forestière pionnière puis transitoire ⇨ phase optimale ou climax.

### 3.2.2. Exemple d'une série de végétation : dynamique des Chênes pubescent, pédonculé et sessile au sein de la chênaie sessiliflore-charmaie climacique de la Hardt

La *figure n°14* montre le mode de reconstitution de la Chênaie sessiliflore-charmaie de la Hardt à partir de manteaux arbustifs, sur différents types de substrats.

#### ① Dynamique des essences sur sol profond, rubéfié, non remanié (Hardt Sud) :

d- fourré arbustif à évolution plus ou moins bloquée : lisière forestière, exploitation agricole mitoyenne...

c- diminution de la pression, constitution d'une première enveloppe forestière (phase pionnière) composée de Chêne pubescent, Chêne pédonculé et Bouleau verruqueux. Le potentiel de semences est issu de la banque de graines du sol, des diaspores transportées par le vent sur de longues distances et par les animaux à partir des structures boisées non forestières.

b- progression de la première enveloppe forestière et apparition d'une deuxième enveloppe forestière (phase transitoire) lui succédant au contact du massif. Cette seconde enveloppe est composée surtout de Chêne pédonculé et dans une moindre mesure de Chêne sessile.

Par dégradation de la forêt, s'observent des phénomènes identiques : apparition des espèces pionnières dans les ouvertures (retour à la phase pionnière : exemple du contact c/b) ou développement des espèces héliophiles de la phase transitoire au niveau du taillis sous-futaie exploité.

a- massif constitué et géré en taillis-sous-futaie : phase forestière optimale, à base de Chêne sessile et de Charme.

Il existe plusieurs modèles de succession propres à la terrasse de la Hardt. Les processus varient d'une manière importante en fonction des climats locaux et des contraintes édaphiques.

- ② Sur les sols moins profonds et remaniés (l'horizon rubéfié apparaît alors très proche de la surface du sol) s'observent des successions moins complètes.

Dans les phases pionnières et transitoires, le Chêne pubescent supplante le Chêne pédonculé et la phase forestière optimale est constituée principalement de Chêne sessile.

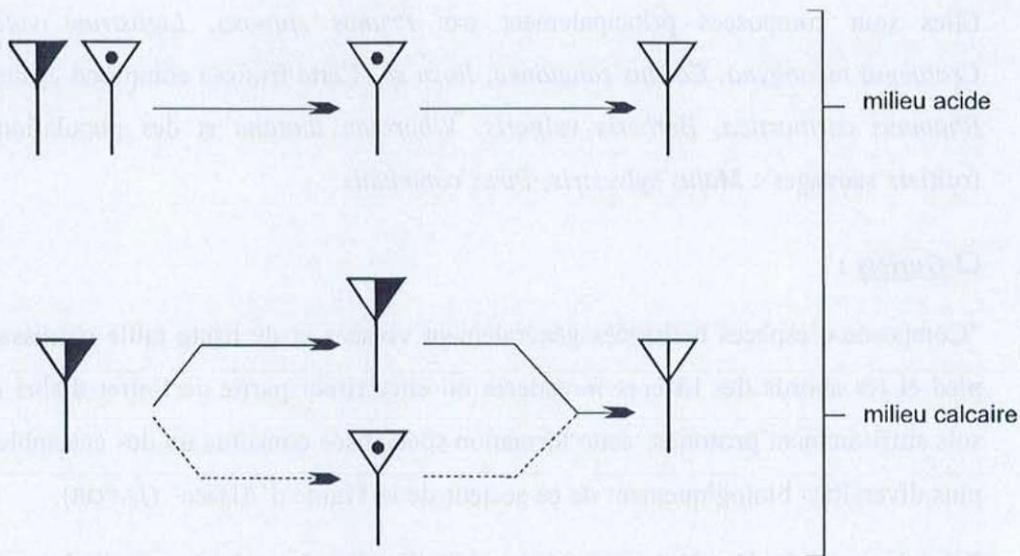
- ③ Sur les sols superficiels et très remaniés (le poudingue calcaire plus ou moins cimenté affleure presque à la surface du sol), le Chêne pubescent forme de petits bouquets (phase pionnière) très ouverts permettant ainsi le développement d'une strate arbustive importante et recouvrante. Dans les massifs plus anciens et plus fermés, la phase transitoire est composée avant tout de Chêne pubescent et plus rarement de Chêne pédonculé.

La phase optimale est caractérisée par le Chêne sessile.

Dans les secteurs de fort déficit hydrique (Colmar-Hirtzfelden), l'évolution dynamique est bloquée au stade chênaie pubescente : elle est alors climacique (phase optimale : climax stationnel).

Dans les cas extrêmes (sol superficiel, poudingue calcaire cimenté, déficit hydrique important), l'évolution est bloquée au stade pelouse intra-forestière (pelouse steppique de la Hardt).

On peut donc noter que le Chêne pédonculé et le Chêne pubescent occupent la même situation dynamique sur terrains carbonatés ou décarbonatés et décalcifiés (sols rubéfiés) et même dans les situations délicates marquées par un stress hydrique.



**Schéma n°3** : Succession des essences en fonction du milieu

Le comportement à l'égard de la lumière des semis de Chêne pédonculé et de Chêne pubescent, essences héliophiles, explique leur fréquence au sein des massifs.

De plus, leur fructification abondante en milieu ouvert (même pour les jeunes individus) leur procure un avantage certain. "Ils peuvent ainsi s'installer par colonisation frontale en lisière forestière (lorsqu'une pression anthropique subsiste) ou directement par dispersion au sein d'une pelouse" J-C RAMEAU.

### 3.3. Quelques données et remarques sur les stades non forestiers (d'après sources JACOB, OBERTI, TREIBERT)

#### 3.3.1. Généralités

Elles concernent trois types de formations : manteaux arbustifs, ourlets et pelouses.

##### □ Manteaux arbustifs :

Dans la dynamique forestière des massifs de la Hardt, les chênaies et chênaies-charmaies mésophiles à xérophiles sont souvent intimement intriquées avec la strate arbustive qui dans ce secteur se rattache phytosociologiquement soit à l'alliance de l'*Amelanchierion* (correspondant "grosso modo" au *Berberidion* de BRAUN-BLANQUET, cité par JACOB), soit à l'alliance du *Ligustro-Prunion*.

Ces formations épineuses sont très développées au niveau des lisières secondaires (bords des massifs, layon, coupe d'exploitation...) ou le plus souvent à la périphérie des "clairières steppiques".

Elles sont composées principalement par *Prunus spinosa*, *Ligustrum vulgare*, *Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea*, *Rosa sp.* Cette fruticée comprend également *Rhamnus carthartica*, *Berberis vulgaris*, *Viburnum lantana* et des populations de fruitiers sauvages : *Malus sylvestris*, *Pirus communis*.

#### □ Ourlets :

"Composée d'espèces herbacées généralement vivaces et de haute taille garnissant le pied et les abords des lisières forestières où elles tirent partie de l'effet d'abri et de sols suffisamment profonds, cette formation spécialisée constitue un des ensembles les plus diversifiés biologiquement de ce secteur de la Plaine d'Alsace" (JACOB).

Selon le degré de décarbonatation et de décalcification des sols, JACOB distingue deux types d'ourlets :

- un ourlet à végétation acidicline se rattachant à la sous-association du *Teucrio-Polygonatetum odorati* Kormeck, caractérisé par *Teucrium scorodonia*, *Polygonatum odoratum*, *Anthericum liliago*, *Viscaria vulgaris*, *Potentilla rupestris*...
- un ourlet basicline qui comporte la plus grande diversité spécifique et le caractère continental le plus affirmé. Il se rattache à plusieurs associations régionales comme le *Geranio-Trifolietum alpestris* Issler et surtout le *Geranio-Dictametum* Wendelberger.

Cette situation biogéographique périphérique est marquée par la présence de nombreuses espèces en limite d'aire continentale comme :

- *Adonis vernalis*,
- *Anemone sylvestris*,
- *Peucedanum alsaticum*,
- *Dictamnus albus*,
- *Galium glaucum*.

#### □ Pelouses xériques :

Selon ISSLER et JACOB, les secteurs les plus arides de la terrasse de la Hardt correspondent aux zones d'affleurement de la couche de conglomérat (poudingue) imperméable aux racines et sont occupés par une pelouse rase dont la composition

traduit les conditions stationnelles d'aridité extrême sévissant sur la plaine (sols de faible épaisseur décalcification plus ou moins intense...).

Cette formation herbacée se range phytosociologiquement parmi les variantes acidiclinales du *Bromion erecti* Br. Bl. et se trouve habituellement rattachée à l'association régionale de l'*Agrostio-Brometum* Issler 29.

Cependant, l'hétérogénéité du substrat permet la coexistence d'espèces calcicoles : *Linum tenuifolium*, *Teucrium montanum*, *Hippocrepis comosa*, et acidiphiles : *Calluna vulgaris*, *Antennaria dioica*, *Tuberaria guttata*...

### 3.3.2. Analyses

La représentation schématique faite par JACOB des clairières steppiques et des milieux associés (manteaux et ourlets) ne rend pas compte des interactions dynamiques qui peuvent exister entre ces différentes formations végétales.

C'est une image statique où chaque élément qui la compose se trouve cloisonné dans le temps et l'espace.

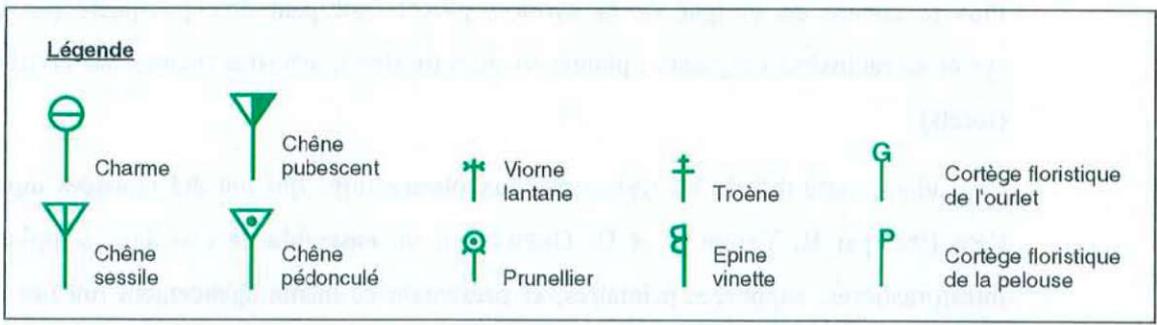
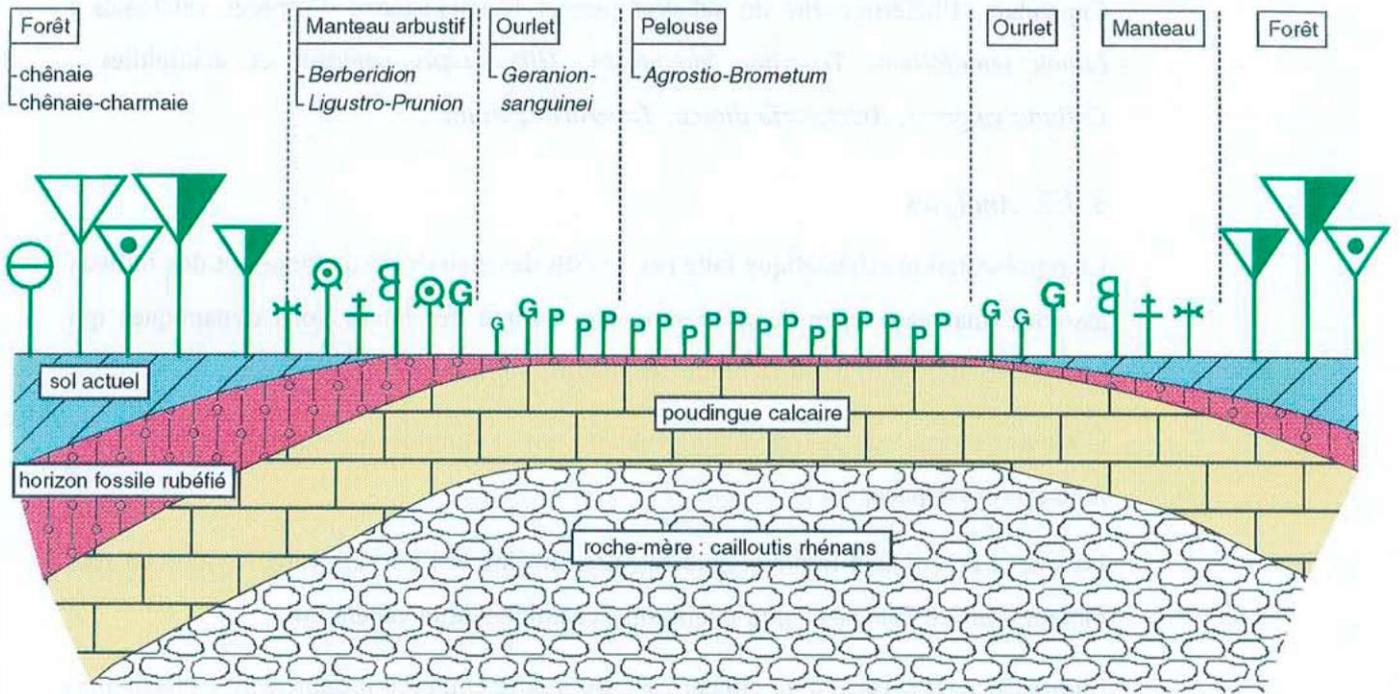
Le sol, et notamment le poudingue calcaire cimenté et l'horizon rubéfié, joue un rôle moteur dans ce "blocage" de l'évolution dynamique de la végétation.

La présence en surface d'un ciment calcaire induré empêche logiquement l'installation d'essences arborescentes et arbustives. Seule une maigre pelouse est à même de coloniser un milieu aussi contraignant (*Voir Figure n°15*).

Plus le ciment est éloigné de la surface, plus le sol peut être prospecté par des systèmes racinaires exigeants : plantes vivaces (ourlets), arbustes (manteaux) et arbres (forêts).

Cependant, cette théorie ne résiste pas aux observations qui ont été réalisées durant l'été 1995 par R. TREIBERT et D. OBERTI sur un ensemble de clairières steppiques intraforestières, supposées primaires, et présentant ce même agencement linéaire des formations végétales.

Dans ces clairières, quelques fosses pédologiques ont été ouvertes en différents points des linéaires recensés (pelouses, ourlets, manteaux, forêts).



**Figure n°15** : Clairière steppique de la Hardt. Coupe schématique théorique (d'après Jacob, modifié C.A.E. 1995).

L'observation des profils montre dans tous les cas :

- l'absence d'horizon rubéfié,
- l'absence d'horizon calcaire cimenté et induré même sous pelouses xérothermophiles (pelouses à *Adonis vernalis*),
- l'absence de carbonatation des horizons surmontant le cailloutis rhénan,
- une profondeur prospectante par les racines variant de 20 à 60 cm (20 cm dans le cas des pelouses à *Adonis vernalis*),
- une pierrosité faible à moyenne dans les 40 premiers centimètres.

Si l'on fait abstraction des quelques pelouses xérothermophiles primaires reposant directement sur le cailloutis rhénan non induré et affleurant, la plupart des clairières steppiques de la Hardt sont des formations végétales secondaires qui constituent des stades non forestiers du cycle sylvigénétique.

L'apparente stabilité des clairières dans la dynamique forestière peut néanmoins s'expliquer par le biais de pressions passées et actuelles :

- pression animale : petit gibier (Lapin de Garenne) et grand gibier (Sanglier). Des traces très importantes d'activités animales ont pu être observées sur le site même des pelouses : retournement de secteurs enherbés, terriers...
- pression humaine : utilisation historique ou actuelle des forêts ; en 1920, les "ramasseurs d'herbes" étaient encore nombreux sur la région. Ils fauchaient les maigres pelouses intraforestières de la Hardt, de faible valeur fourragère, bloquant ainsi la dynamique forestière dans un stade juvénile.

Ces prélèvements, associés au pillage systématique de la forêt par les communes riveraines jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle, ont contribué à façonner l'aspect actuel de la forêt domaniale de la Hardt qui, par endroit, montre un "visage ruiné".

Par ailleurs, la comparaison de photographies aériennes anciennes et actuelles prises au-dessus du massif de la Hardt prouve que de nombreuses clairières sont en voie de fermeture (R. TREIBERT).

#### ④ Les forêts de la Hardt dans le patrimoine naturel alsacien

Les forêts de la terrasse würmienne de la Hardt sont incluses dans deux zones Naturelles d'Intérêt Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type II dans lesquelles ont été retenues huit ZNIEFF de type I.

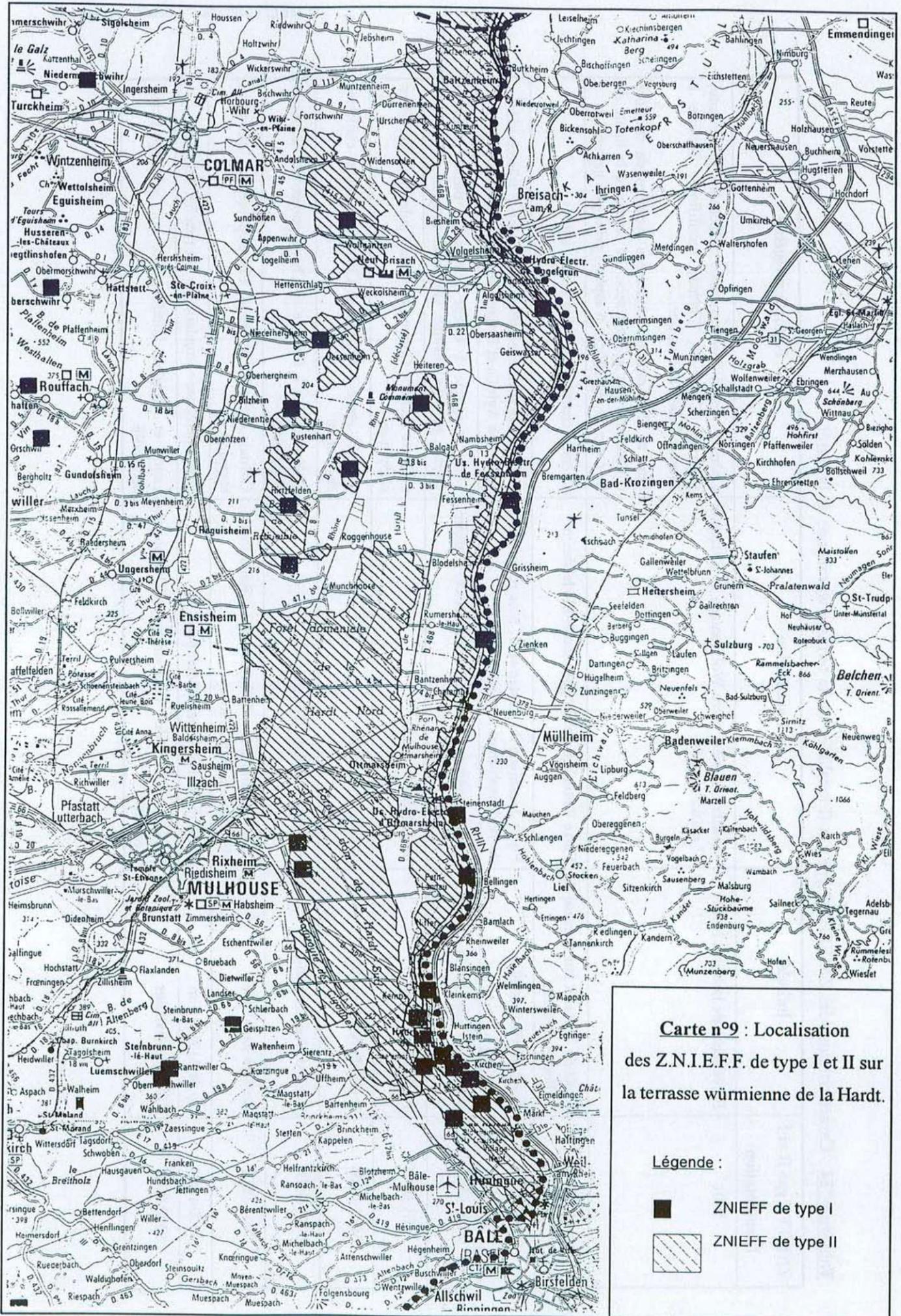
Le *tableau n°24* et la *carte n°9* recensent ces dix zones et leurs principales caractéristiques.

#### ⑤ Synthèse

Les principaux éléments du déterminisme de la végétation forestière peuvent être résumés dans la *figure n° 16* page 111.

Tableau n°24 : Caractéristiques des ZNIEFF de type I et II localisées sur la terrasse würmienne de la Hardt

ZNIEFF Type II et I Numérotation	Intitulé	Localisation	Formation végétale
5901	Forêt sèche de la Hardt Nord	Massifs forestiers entre Wolfgantzen et Blitzheim (7 massifs boisés)	Chênaie sessiliflore-charmaie, Chênaie pubescente, Pineraie, Charmaie, Chênaie sessiliflore, Pelouse à Brome, Lande à Prunelier... Plus de 250 espèces spontanées typiques de la flore continentale des milieux secs. 38 espèces à la limite de leur aire de répartition. 6 espèces protégées nationales.
6000	Forêt de la Hardt sur terrasse de cailloutis rhénans	Entre Battenheim et Roggenhouse-Blodelsheim	Chênaie-charmaie xérothermique, landes...
5901-0002	Forêt de Widensohlen	Forêt domaniale du Kastenwald, bois communaux de Widensohlen et Appenwhir	Forêt sèche à Chêne pubescent et sessile très clairière, pelouse à Agrotis et Brome, lande à Prunellier
5901-0003	Forêt de Weckolsheim	Bois communaux de Weckolsheim et Dessenheim	Forêt steppique à Chêne pubescent, ourlet à Epine vinette, pelouse à Brome, Géranium sanguin
5901-0004	Forêt de Heiteren	Massif du Hartwald	Chênaie sèche à Charme et Chêne pubescent, clairières steppiques
5901-0005	Forêt du Niederwald	Bois de Hirtzfelden	Chênaie sèche à Charme et Chêne pubescent, clairières steppiques
5901-0006	Forêt d'Oberhergheim	Bois communal d'Oberhergheim	Chênaie sèche à Charme et Chêne pubescent, clairières steppiques
5901-0007	Bois du Rothleibe	Bois communaux d'Hirtzfelden, Réguisheim, Meyenheim, Munchhouse	Chênaie sèche à Charme et Chêne pubescent, clairières steppiques
6000-0001	Forêt de Rixheim	Aérodrome d'Habsheim-Mulhouse	Lande herbeuse secondaire sur sol rubéfié, décalcifié
6000-0001	Forêt de Rixheim	Secteur Nord de l'aérodrome d'Habsheim-Mulhouse	Lande et clairière intraforestière sur sol superficiel, décalcifié



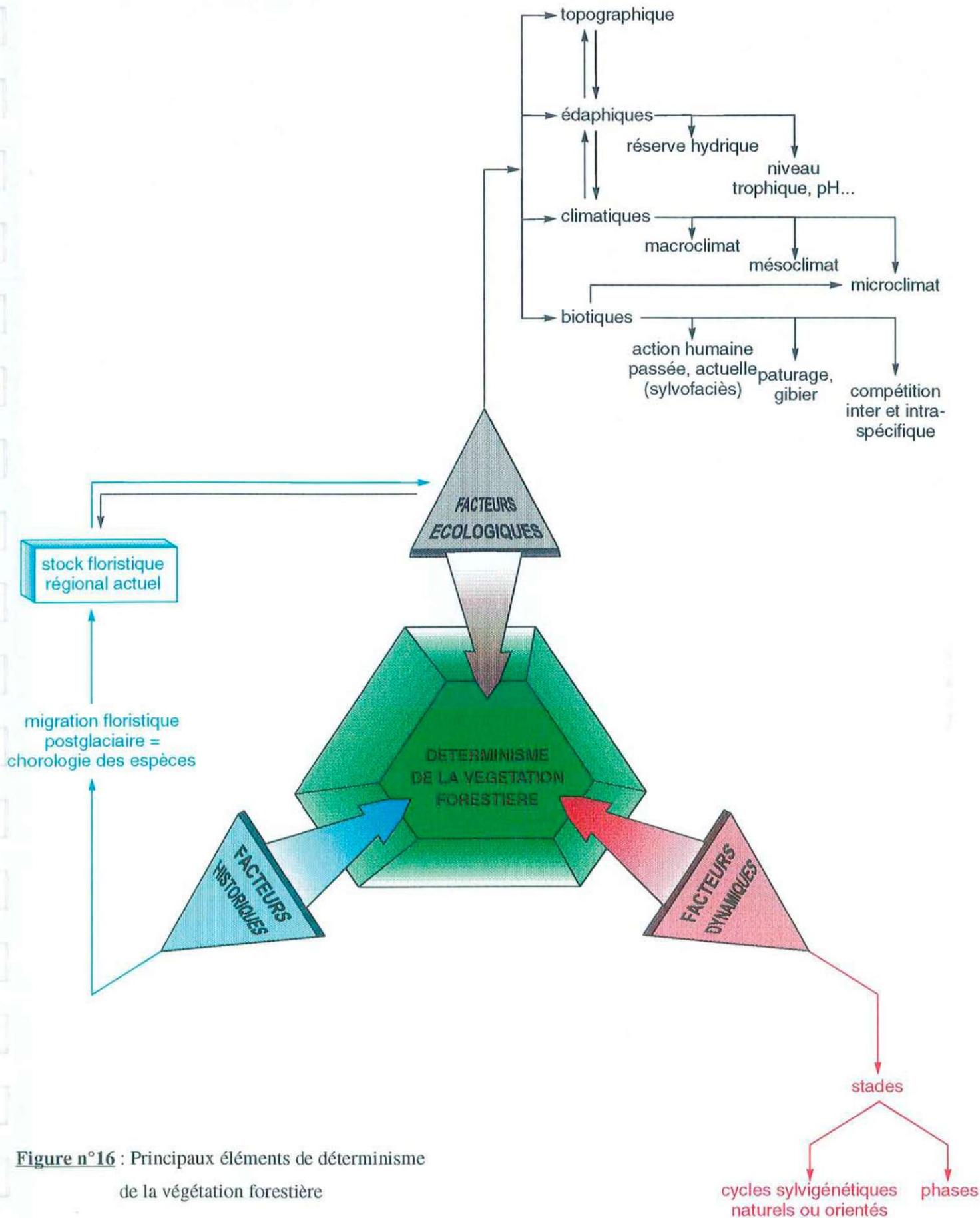
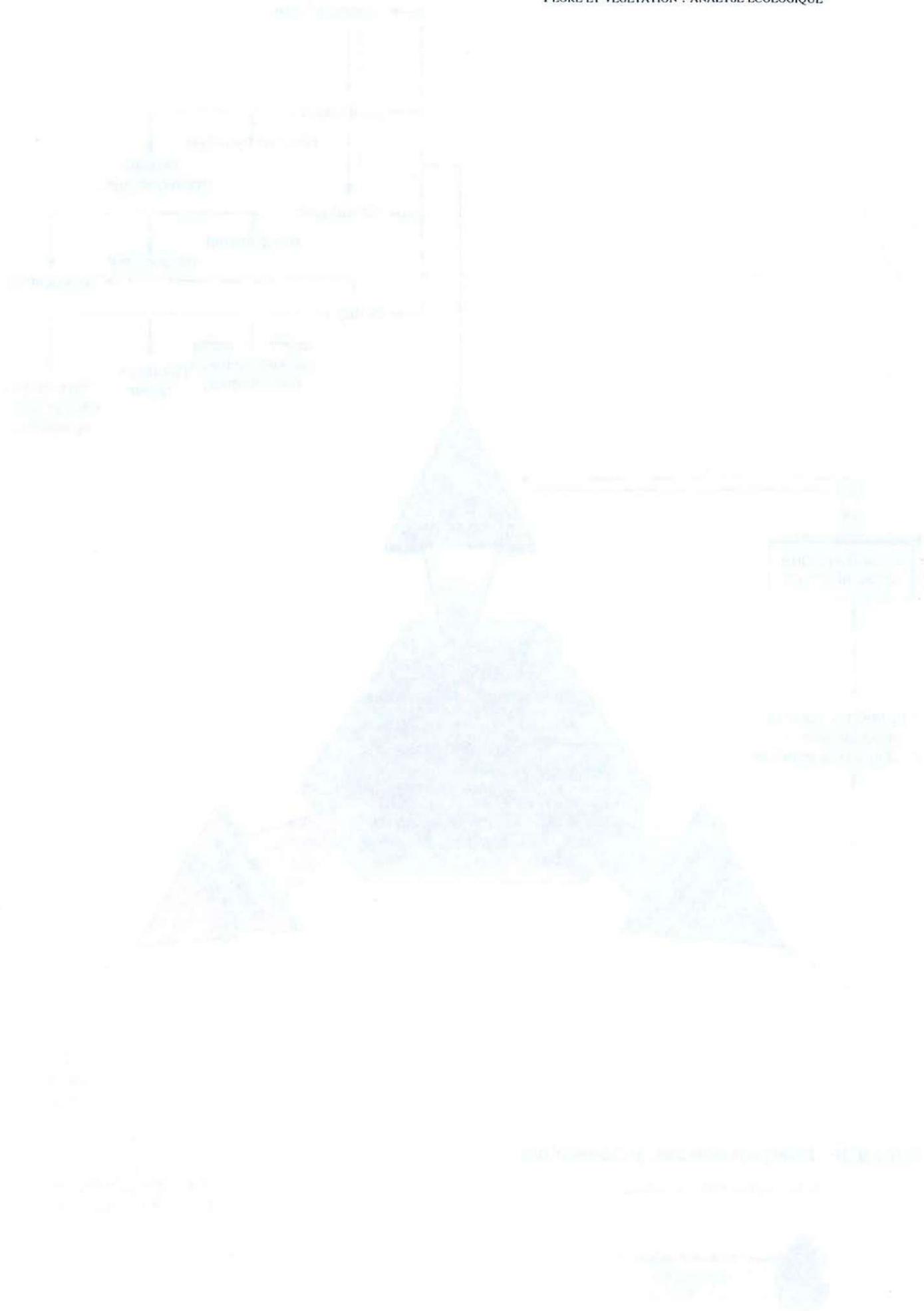


Figure n°16 : Principaux éléments de déterminisme de la végétation forestière


**Cellule d'Application en Ecologie**  
 6, Boulevard Gabriel  
 21000 DIJON  
 80.39.62.49 / 80.39.62.25



**TROISIEME PARTIE**

**Conclusions et synthèses**

RESEARCH REPORT  
Development of a...

## CONCLUSION : REALISATION DU CATALOGUE

La préétude constitue l'étape préalable à la réalisation d'une typologie des types de stations forestières de la terrasse de la Hardt.

Le type de station est une unité descriptive du tapis végétal, incluant non seulement la végétation mais aussi les caractères stationnels du milieu.

Cette unité est un concept abstrait qui se dégage de la comparaison d'un ensemble de stations décrites chacune par un relevé phytocéologique et possédant en commun les mêmes caractéristiques floristico-écologiques et les mêmes potentialités pour une essence donnée (productivité, qualité du bois...).

L'ensemble des données recueillies lors de la préétude doit nous permettre d'optimiser la phase de prise de relevés en facilitant la préparation du plan d'échantillonnage.

### ① Constitution du plan d'échantillonnage

L'échantillonnage est une phase essentielle de l'étude car de lui dépend l'appréciation de la diversité stationnelle de la région.

L'étude monographique a permis de mettre en évidence les facteurs écologiques à l'origine de la diversité de la végétation forestière et de la végétation associée de substitution.

Le plan d'échantillonnage s'appuie logiquement sur ces résultats.

Ces facteurs écologiques sont par ordre d'importance :

#### *1.1. Le climat régional*

Il joue sur la présence d'un certain nombre d'éléments de flore distincts (cortège floristique).

Le climat de la plaine alsacienne est de type semi-continentale et l'examen des données climatiques sur une période de trente ans a permis d'identifier un gradient croissant de sécheresse Sud ⇔ Nord (pôle de sécheresse de Colmar-Hirtzfelden).

### 1.2. Les sols

Les caractéristiques intrinsèques des sols accentuent ou tamponnent les effets directs du climat :

- ♦ texture du matériau alluvial : en général, les sols de la terrasse würmienne sont à dominante de sables grossiers. Mais selon l'évolution post-glaciaire des matériaux déposés par le Rhin, on peut recenser des sols limoneux (limons récents de comblement d'anciens chenaux du Rhin) et limono-argileux (zone de contact avec la dépression marginale de l'Ill, visible surtout à l'extrémité Nord de la terrasse : région de Marckolsheim).

La texture joue un rôle essentiel dans la qualité de la réserve en eau des sols.

- ♦ évolution pédogénétique des alluvions : les phénomènes de rubéfaction (passée ou actuelle) et d'encroûtement calcaire peuvent modifier la composition des peuplements climaciques.

### 1.3. La nappe phréatique

Par son fonctionnement, son amplitude, elle permet d'expliquer la répartition des grandes unités de végétation.

La nappe alluviale rhénane n'a pas d'influence sur la végétation de la terrasse de la Hardt. En moyenne, le toit de la nappe est situé à plus de 10 m de la surface des sols. Cependant, dans le secteur de Marckolsheim (zone de forte érosion post-romaine), la nappe peut être parfois contactée à moins de 2 m de profondeur (chenaux récents)...

L'association de ces différents facteurs écologiques aboutit à l'individualisation de secteurs pédoclimatiques qu'il convient alors d'échantillonner (*Voir Schéma n°2 § VIII. 2.1.1.*).

## ② L'échantillonnage

Il est matérialisé sur les cartes topographiques 1/25.000 ème par :

- un réseau de transects<sup>(1)</sup>,
- un zonage préalable à mailles de 1 km x 1km : maillage systématique.

Le maillage systématique a été retenu dans le cadre de l'Observatoire du Dépérissement de la forêt de la Hardt. Cent trois points ont ainsi été sélectionnés sur l'ensemble de la forêt

<sup>(1)</sup> Le plan d'échantillonnage formalisé est renvoyé en annexe.

domaniale de la Hardt. Ce type d'échantillonnage est utilisé lorsque la zone d'étude paraît relativement homogène du point de vue de la diversité écologique ; ce qui ne semble pas être tout à fait le cas pour la forêt domaniale.

Le transect par contre, est plus à même de recouper les différents éléments de la diversité écologique de la région. Dans la pratique, le transect suit le modelé topographique, allant d'une zone microtopographique élevée vers une zone dépressionnaire.

### ③ Collecte des données sur le terrain : les relevés phytoécologiques

Les relevés phytoécologiques sont effectués :

- par cheminement sur les transects à chaque fois que la végétation ou les conditions stationnelles varient,
- sur les points d'insertion des mailles.

La surface d'étude doit être floristiquement homogène et correspondre à l'aire minimale nécessaire pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes sur la surface de végétation homogène considérée (GUINOCHET, 1973). Cette aire est estimée en milieu forestier à 400 m<sup>2</sup> environ.

Le relevé phytoécologique prend en compte tous les caractères descriptifs du milieu :

- situation topographique,
- nature du substrat,
- pédologie...

La végétation fait l'objet d'un inventaire complet par strate où chaque espèce se voit affectée d'un coefficient d'abondance-dominance et de sociabilité.

A titre indicatif, nous proposons de réaliser 300 relevés phytoécologiques<sup>(1)</sup> auxquels viendront s'ajouter les 103 relevés effectués pour l'Observatoire du Dépérissement de la forêt de la Hardt.

### ④ Exploitation des données floristiques

Les relevés phytoécologiques sont dans un premier temps triés et regroupés selon leurs affinités floristiques.

<sup>(1)</sup> La fiche type de prise de données est présentée en annexe.

La végétation intègre en effet une majeure partie des facteurs écologiques du milieu :

- par la simple liste des espèces présentes,
- dans une certaine mesure par l'abondance-dominance des espèces et par leur vitalité,
- également par le résultat du fonctionnement de l'écosystème forestier traduit en particulier par la hauteur dominante du peuplement.

### ⑤ Exploitation des données stationnelles

Les conditions stationnelles notées pour chacun des relevés sont ensuite analysées pour juger de leur homogénéité et définir des unités stationnelles.

L'analyse fine de l'amplitude de variation des facteurs écologiques peut conduire à l'individualisation d'une ou plusieurs unités stationnelles possédant alors des conditions stationnelles globalement semblables pour les potentialités forestières.

En général, chaque unité floristique correspond à une seule unité stationnelle.

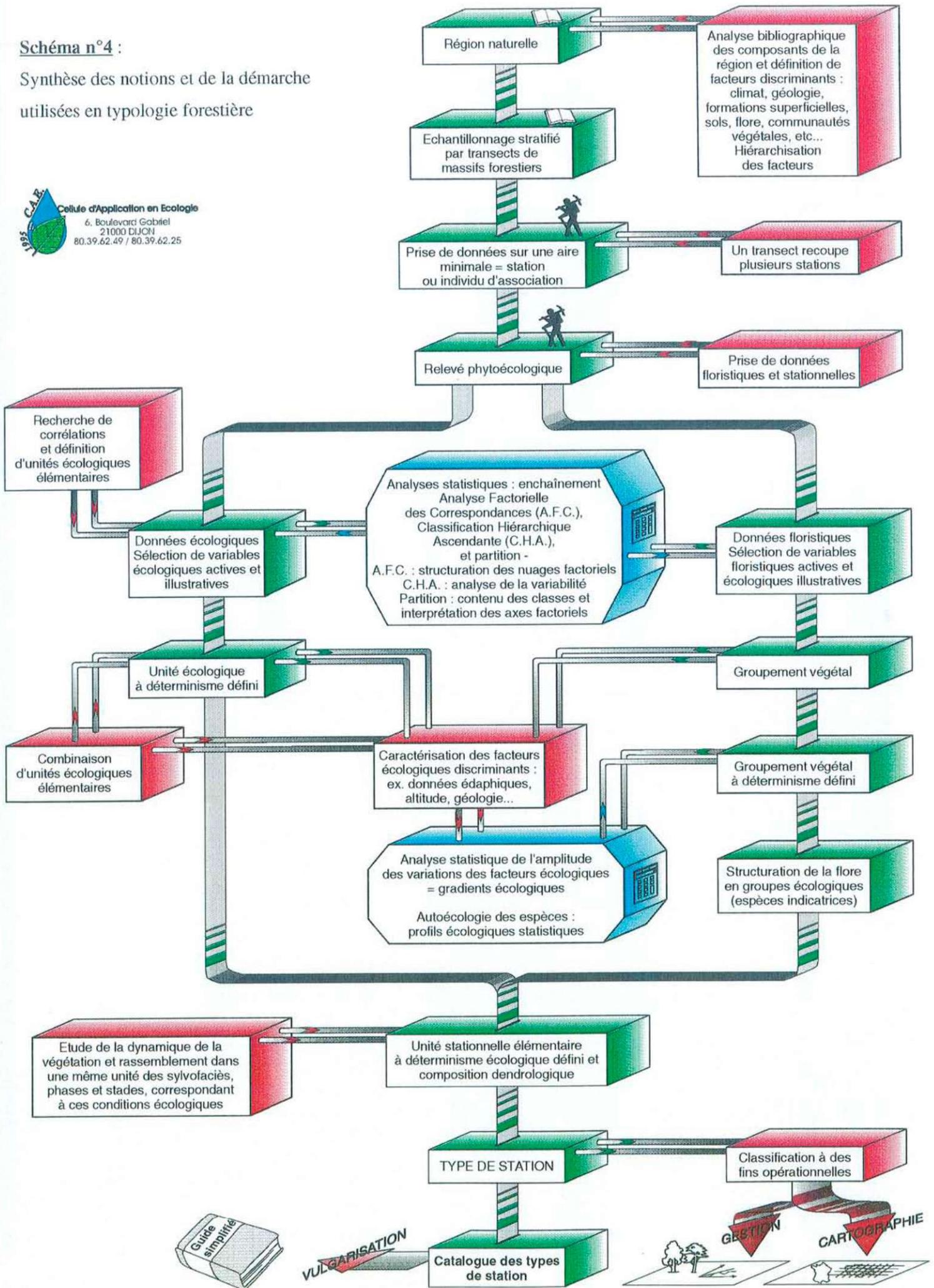
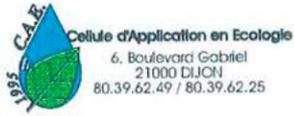
Mais il peut exister, pour un même cortège floristique, plusieurs unités stationnelles, compte-tenu des variations de sols induisant le plus souvent des fertilités assez différentes pour les stations correspondantes.

Dans le cadre de conditions écologiques homogènes, des liens dynamiques sont établis entre les différents groupements végétaux caractérisant ces unités stationnelles : leur réunion aboutit au **type de station**.

Le *schéma n°4* détaille la méthode générale qui conduit à la caractérisation des types de stations forestières.

**Schéma n°4 :**

Synthèse des notions et de la démarche utilisées en typologie forestière





**BIBLIOGRAPHIE**

SECRET

## BIBLIOGRAPHIE

- BAIZE (D.), GIRARD (M.-C.), et al**, 1992.- Référentiel pédologique, principaux sols d'Europe.- I.N.R.A., 222 p.
- BEAUJEU-GARNIER (J.)**, 1972.- Le relief de la France ; regards sur la géographie - S.E.D.E.S.
- BOLCHERT (C.)**, 1986.- Cartographie des stations forestières dans la forêt de la Hardt.- Lycée Agricole privé de Poisy-Annecy, rap. stage, 40 p. + annexes.
- CARBIENER (R.), HERRSCHER (P.)**, 1989.- Les rieds riches et fragiles espaces convoités.- Bull. Soc. Ind. Mulhouse, 813, 2, p. 23-76.
- CUILLER (B.), MERIAUX (P.)**, 1980.- Définition de stations forestières du Centre de Mulhouse de l'O.N.F.- Mémoire de stage de 3ème année de l'E.N.I.T.E.F., Doc. offset 130 p. + catalogue simplifié : doc. offset 44 p. + tableaux et 2 cartes.
- D.D.A.F. Haut-Rhin**, 1985.- Les forêts haut-rhinoises.- 202 p.
- Département du Haut-Rhin**.- Bulletins annuels de la météorologie nationale de 1971 à 1994.
- DUCHAUFOUR (Ph.)**, 1991.- Pédologie, abrégés.- Masson, Paris, 3ème éd., 289 p.
- DUPRAT (A.), SIMLER (L.), VALENTIN (J.)**, 1979.- La nappe phréatique de la plaine du Rhin en Alsace.- Thèse de Doctorat U.E.R. des Sciences de la Vie et de la Terre. Institut de géologie, Strasbourg, 263 p.
- DURST (R.)**, 1971.- Le drame de la forêt domaniale de la Hardt.- Soc. Phil. Strasbourg, 745, 4, p. 41-46.
- FAUCHE (S.)**, 1991.- Contribution à l'étude des stations forestières de la région du Nonnenbruch. Mémoire entrant dans le cadre du certificat de typologie des stations forestières.- O.N.F. division de Guebwiller.
- GENDRIN (P.)**, 1956.- Les irrigations dans la région de la Hardt. Extrait des journées d'études sur l'irrigation - 27-30 juin 1955.- Inspection des Eaux et Forêts de Colmar, Paris, 14 p.
- GENDRIN (P.), MILLOT (G.), SIMLER (L.)**, 1957.- Etude de la nappe phréatique de la plaine du Haut-Rhin.- Mémoire du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine, n°15, Université de Strasbourg, 40 p. + annexes.

- GUINOCHET (M.)**, 1973.- Phytosociologie.- Coll. Ecologie, Masson, Paris, 222 p.
- HUMBERT (J.), NONN (H.), PAUL (P.), VOGT (H.)**.- Toute l'Alsace, la terre et les hommes.- Ed. Mars et Mercure, 22 p.
- I.F.N.**, 1988.- Départements du Haut-Rhin. Résultats de l'inventaire forestier (*à paraître*).
- ISSLER (E.)**, 1922-1937.- Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine du Rhin.- Bull. Soc. Hist Nat. Colmar, vol. XVII à XXV.
- ISSLER (E.), WALTER (E.) et LOYSON (E.)**, (1965).- Flore d'Alsace.- Soc. d'Et. de la Flore d'Alsace, Strasbourg.
- JACOB (J.C.)**, 1988.- Ecosystèmes xérothermiques de la Hardt.- D.R.A.E., Rég. Alsace.
- LOZET (J.), MATHIEU (C.)**, 1990.- Dictionnaire des Sciences du Sol.- Tec. Doc. - Lavoisier, 384 p.
- LUTTEN (L.-P.)**, 1971.- La Hardt, une forêt vivante.- Bull. Soc. Ind. Mulhouse, 745, pp. 35-40.
- MAROCKE (R.)**, 1962.- Les sols rouges paléoclimatiques de la terrasse würmienne rhénane alsacienne.- Station d'Agronomie, Colmar.
- MAROCKE (R.)**, 1963-1964.- Evolution des dépôts rhénans de la Haute-Alsace au cours du Pléistocène récent.- Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, 31, p. 3-35.
- Météo France**.- Analyse succincte du climat du Haut-Rhin.- Centre départemental de la météorologie du Haut-Rhin.
- Météo France**.- La climatologie de l'année 1991 dans le Haut-Rhin.- Centre départemental de la météorologie du Haut-Rhin.
- Météo France**.- La climatologie de l'année 1992 dans le Haut-Rhin.- Centre départemental de la météorologie du Haut-Rhin.
- METTAUER (H.)**, 1969.- Les réserves hydriques des sols de la Hardt.- Bull. Ass. Fran. Etu. Sol., 5, p. 11-19.
- METTAUER (H.)**, 1986.- Atlas des sols d'Alsace.- I.N.R.A., Station d'Agronomie, Colmar.
- Ministère de l'Agriculture** - Résultats de l'I.F.N.- Service des forêts - I.F.N., département du Haut-Rhin, 1978, Tome I.

- MOLL (W.)**, 1970.- Beiträge zur Genese und systematischen Stellung rubefizierter Parabraunerden aus alpinen Schottern und Geschieben.- Univ. Freiburg i. 13 r., 147 p.
- NAGELEISEN (L.M.)**, 1994.- Le point sur les dépérissements en plaine d'Alsace.- In *la santé des forêts (France) en 1993*.- Ministère de l'agriculture et de la pêche (D.E.R.F. Département de la santé des forêts), p. 33-39.
- O.N.F.**, 1988.- Orientations locales d'aménagement de la Hardt.- Colmar, 30 p. + annexes.
- O.N.F.**- Catalogue des groupes de stations écologiques du massif de la Hardt ; groupes botaniques illustrés, profils pédologiques types.- Division de Mulhouse, 91 p.
- O.N.F. Région Alsace**, 1981.- Forêt Domaniale de la Hardt ; révision d'aménagement 1981-2005.- 153 p.
- OBERTI (D.)**, 1991.- Prétude en vue d'une typologie des stations forestières de la Plaine de l'III (Alsace).- Cons. Rég. Alsace, O.N.F., C.R.P.F., C.A.E., 90 p.
- OLLAGNON (H.)**, 1979.- Proposition pour une gestion patrimoniale des eaux souterraines : l'expérience de la nappe phréatique d'Alsace.- Extrait du bulletin interministériel pour la rationalisation des choix budgétaires, n°36, 73 p.
- PAUL (P.)**, 1983.- Climats d'Alsace.- Encyclopédie d'Alsace.- 3, p. 1769-1777.
- POTCHE (G.)**, 1975.- Etude de l'influence de l'évolution de la profondeur de la nappe phréatique sur la forêt de la Hardt.- Ministère de l'Agriculture. Direction Départementale du Haut-Rhin. Service du Génie Rural des Eaux et des Forêts. Arrondissement de Mulhouse, 6 p.
- RAMEAU (J.-C.)**, 1988.- Le tapis végétal.- Lab. Bot. et Phytosocio., E.N.G.R.E.F., Nancy, 102 p. + 30 annexes.
- RAMEAU (J.-C.)**, 1990.- Comportement dynamique du Chêne pédonculé et du Chêne sessile dans les successions forestières.- Rev. For. XLII. 2.
- RASTETTER (V.)**, 1971.- Aspects de la végétation de la plaine haut-rhinoise.- Soc. Phil. Strasbourg, 745, 4, p.15-27.
- ROYER (J.-M.)**, 1987.- Les pelouses des *Festuco-Brometea* ; d'un exemple régional à une vision européenne. Etude phytosociologique et phytogéographique.- Thèse d'état en sciences naturelles ; Univ. Franche-Comté.

- SIMLER (L.)**, 1977.- La nappe phréatique de la plaine du Rhin en Alsace.- Colloque du C.E.N.E.C.A. - L'eau en Alsace, Strasbourg, p. 19-36.
- Société Industrielle de Mulhouse**, 1976.- La Forêt en Alsace.- Bull. Soc. Ind. Mulhouse, 4 (765), 242 p.
- Société Industrielle de Mulhouse**, 1984.- Sites protégés d'Alsace.- Bull. Soc. Ind. Mulhouse, 4 (795), 208 p.
- Société Industrielle de Mulhouse**, 1989.- Nos Rieds demain.- Bull. Soc. Ind. Mulhouse, 2 (813), 260 p.
- SOLLERO (E.)**, 1987.- Directions locales d'aménagement. Plaine de l'Ill - Hardt.- 40 p.
- THEOBALD (N.)**, 1933.- Observations sur la Basse Terrasse du Rhin en aval de Bâle.- Bull. Soc. Ind. Mulhouse, 10, 1, p. 21-27.
- TIMBAL (J.)**, 1978.- Carte de la végétation de la France au 1/200.000<sup>ème</sup>, carte de l'Alsace.- C.N.R.S., Paris.
- TIMBAL (J.)**, 1985.-Types forestiers d'Alsace.- I.N.R.A., O.N.F., 443 p.
- VOGT (H.), SITTLER (J.)**, 1972.- Le Quaternaire du département du Haut-Rhin.- Bull. Sci. Géol., 25, 2-3, p. 127-135.
- VOGT (T.), MAROCKE (R.)**, 1972.- La genèse du poudingue calcaire de la Hardt (Haute-Alsace).- Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, 55, p. 161-170.
- VOGT (T.), MAROCKE (R.)**, 1973.- Les encroûtements calcaires de la Hardt (Haute-Alsace) : Génèse et évolution.- Sci. Géol., Bull., 26, 4, p.305-314.
- VON ELLER (J.-P.)**, 1984.- Vosges - Alsace.- Coll. Guides géologiques régionaux, Masson, Paris, 182 p.





## **ANNEXES**

Annexe n°1 : Fiche de relevé phytoécologique

Annexe n°2 : Plan d'échantillonnage

ANNEXES

Annexe n°1 : Table de récapitulatif psychologique

Annexe n°2 : Plan d'évaluation

Annexe n°1 : Fiche de relevé phytoécologique



# FICHE DE RELEVÉ PHYTOÉCOLOGIQUE - BASSE TERRASSE WURMIENNE DU RHIN

## DESCRIPTION DE LA PLACETTE

Date : ..... N° : .....

Forêt : ..... Propriété : dom  com  priv

Parcelle n° : .....

Schéma de la parcelle : (avec situation du (des) relevé(s) et coupe topographique) ou indications sur l'environnement de la placette

Matériau parental : alluvions rhénanes anciennes  alluvions récentes de comblement  limons   
 autres : .....

Microtopographie : zone plane  dépression  bombement   
 hauteur éventuelle du dénivelé : ..... (schéma éventuel)  
 ancien chenal comblé

Accidents à proximité :

1. Rivière ou Canal <input type="checkbox"/>	6. Gravières <input type="checkbox"/>
2. Résurgence <input type="checkbox"/>	7. Aménagements <input type="checkbox"/>
3. Chablis <input type="checkbox"/>	8. Feu (ancien) <input type="checkbox"/>
4. Pelouse <input type="checkbox"/>	9. Autres <input type="checkbox"/> .....
5. Landes <input type="checkbox"/>	

### Aspect du Peuplement :

#### \* Traitement et évolution

. Taillis : jeune   
           mature   
           vieilli

. Taillis-sous-futaie : à faible réserve   
                           à réserve moyenne   
                           en conversion

. Futaie régulière : sur souche  gaulis  
                           franc pied  perchis  
                                   jeune futaie  
                                   futaie adulte  
                                   vieille futaie

#### \* Qualité du peuplement

. Forme des sujets .....

. Aspect sanitaire.....

. Dépérissement :

    Nombre d'arbres morts dans la placette : .....

    Essences concernées : - .....

    - .....

. Autres remarques.....

. Hauteur dominante : ..... m

. Diamètre à 1,30 m : ..... cm



DESCRIPTION DE LA VEGETATION

ARBRES

% recouvrement

A1 : arbre de première grandeur ; A2 : arbre dominé  
a : arbuste ; pl : plantule

	A1	A2	a	Pl
Acer campestre	.	.	.	.
Acer platanoides	.	.	.	.
Acer pseudoplatanus	.	.	.	.
Betulus pendula	.	.	.	.
Carpinus betulus	.	.	.	.
Cedrus atlantica	.	.	.	.
Fagus sylvatica	.	.	.	.
Fraxinus excelsior	.	.	.	.
Juglans nigra	.	.	.	.
Larix decidua	.	.	.	.
Malus sylvestris	.	.	.	.
Populus tremula	.	.	.	.
Pseudotsuga menziesii	.	.	.	.
Pinus nigra nigricans	.	.	.	.
Pinus strobus	.	.	.	.

	A1	A2	a	Pl
Pinus sylvestris	.	.	.	.
Pinus communis	.	.	.	.
Prunus avium	.	.	.	.
Quercus rubra	.	.	.	.
Quercus petraea	.	.	.	.
Quercus pubescens	.	.	.	.
Quercus robur	.	.	.	.
Salix cinerea	.	.	.	.
Sorbus aria	.	.	.	.
Sorbus domestica	.	.	.	.
Sorbus torminalis	.	.	.	.
Tilia cordata	.	.	.	.
Tilia platyphyllos	.	.	.	.
Ulmus minor	.	.	.	.
Robinia pseudoacacia	.	.	.	.

ARBUSTES

% recouvrement

Amelanchier ovalis
Atropa belladonna
Berberis vulgaris
Bryonia cretica
Buxus sempervirens
Calluna vulgaris
Chamaespartium sagittale
Clematis vitalba
Colutea arborescens
Coronilla emerus
Cornus mas
Cornus sanguinea
Corylus avellana
Crataegus laevigata

Crataegus monogyna
Daphne laureola
Daphne mezereum
Euonymus europaeus
Genista germanica
Genista tinctoria
Hippophaetum rhammoïdes
Humulus lupulus
Ilex aquifolium
Ligustrum vulgare
Lonicera periclymenum
Lonicera xylosteum
Prunus mahaleb
Prunus spinosa

Rhamnus cathartica
Ribes uva-crispa
Rosa arvensis
Rosa canina
Rosa rubiginosa
Rosa tomentosa
Rubus fruticosus
Rubus idaeus
Salix caprea
Sambucus nigra
Sambucus racemosa
Tamus communis
Viburnum lantana

MOUSSES

% recouvrement

Atrichum undulatum
Barbula unguiculata
Barbula fallax
Brachythecium albicans
Brachythecium rubelatum
Bryum caespiticium
Cirriphyllum piliferum
Dicranella heteromalla
Dicranella varia
Dicranum scoparium
Dicranum undulatum
Encalypta contorta

Eurynchium hians
Eurynchium stokesii
Eurynchium striatum
Fissidens taxifolius
Hylocomium brevirostre
Hylocomium splendens
Hypnum cupressiforme
Leucobryum glaucum
Lophocolea bidentata
Mnium hornum
Plagiochila asplenoides
Plagiomnium affine

Plagiomnium undulatum
Pleurozium schreberi
Polytrichum formosum
Polytrichum piliferum
Pogonatum aloides
Rhitiadelphus squarrosus
Rhitiadelphus triquetrus
Rhacomitrium canescens
Scleropodium purum
Thamnobryum alopecurum
Thuidium tamariscinum
Tortula muralis

## HERBACEES

% recouvrement

Achillea millefolium	Bupleurum falcatum	Dictamnus albus
Achillea nobilis	Calamintha sylvatica	Digitalis lutea
Adonis vernalis	Campunala cervicaria	Doronicum pardalianches
Adoxa moschatellina	Campunala persicifolia	Dryopteris carthusiana
Aethusa cynapium	Campunala rapunculoides	Dryopteris dilatata
Agrimonia eupatorium	Campunala rapunculus	Dryopteris filix-mas
Agrimonia procera	Campunala rotundifolia	Elymus caninus
Agrostis canina	Campunala trachelium	Epilobium angustifolium
Agrostis capillaris	Cardamine pratensis	Epilobium montanum
Agrostis stolonifera	Cardaminospis arenosa	Epipactis helleborine
Ajuga genevensis	Carex alba	Eupatorium cannabinum
Ajuga reptans	Carex brizoides	Euphorbia amygdaloides
Alliaria petiolata	Carex caryophylla	Euphorbia cyparissias
Allium ursinum	Carex digitata	Euphorbia dulcis
Anacamptis pyramidalis	Carex flacca	Euphorbia pinifolia
Anemone nemorosa	Carex fritschii	Euphorbia serrulata
Anemone ranunculoides	Carex hirta	Festuca heterophylla
Anthericum liliago	Carex montana	Festuca ovina
Anthericum ramosum	Carex muricata	Filipendula vulgaris
Anthoxantum odoratum	Carex ornithopoda	Fragaria vesca
Anthriscus sylvestris	Carex pallescens	Fragaria viridis
Aquilegia vulgaris	Carex pendula	Galeopsis tetrahit
Arabis glabra	Carex sylvatica	Galimum mollugo
Arabis hirsuta	Carex tomentosa	Galium aparine
Arabis panciflora	Centaurea montana	Galium glaucum
Arabis turrita	Centaurea nigra	Galium odoratum
Arctium nemorosum	Centaureum erythraea	Galium sylvaticum
Arum maculatum	Cephalanthera damosonium	Galium verum
Asarum europaeum	Cephalanthera longifolia	Gentiana ciliata
Asperula cynanchica	Cephalanthera rubra	Geranium robertianum
Aster amellus	Chelidonium majus	Geranium sanguineum
Astragalus glycyphyllos	Clinopodium vulgare	Geranium sylvaticum
Athyrium filix-femina	Convallaria maialis	Geum urbanum
Avena pratensis	Dactylis aschersoniana	Glechoma hederacea
Brachypodium pinnatum	Dactylis glomerata	Goodyera repens
Brachypodium sylvaticum	Danthonia decumbens	Hedera helix
Briza media	Deschampsia cespitosa	Helleborus foetidus
Bromus benekenii	Deschampsia flexuosa	Hepatica nobilis
Bromus erectus	Dianthus armeria	Hieracium murorum
Bromus ramosus	Dianthus carthusianorum	Hieracium pilosella
Bromus serotinus	Dianthus deltoides	Hieracium sabaudum
Buglossoides purpureocerulea	Dianthus superbus	Hieracium vulgatum

Holcus lanatus
Holcus mollis
Hypericum hirsutum
Hypericum montanum
Hypericum perforatum
Hypocrepis comosa
Inula conyza
Inula salicina
Jasione montana
Juncus conglomeratus
Juncus effusus
Knautia dispacifolia
Lactuca perennis
Lamiastrum galeobdolon
Lapsana communis
Laserpitium latifolium
Lathyrus montana
Lathyrus niger
Lilium martagon
Linaria repens
Listera ovata
Luzula campestris
Luzula luzuloides
Luzula multiflora
Luzula pilosa
Lysimachia memorum
Lysimachia nummularia
Maianthemum bifolium
Melampyrum pratense
Melica nutans
Melica uniflora
Melittis melissophyllum
Mercurialis perennis
Millium effusum
Mochringia trinervia
Monotropa hypopitys
Muscari botryoides
Mycelis muralis
Neottia nidus-avis
Orchis mascula
Orchis militaris

Orchis muscifera
Orchis purpurea
Origanum vulgare
Orthilia secunda
Paris quadrifolia
Peucedanum alsaticum
Peucedanum cervaria
Peucedanum oreoselinum
Phyteuma nigrum
Phyteuma spicatum
Pimpinella saxifraga
Platanthera bifolia
Platanthera chlorantha
Poa chaixii
Poa nemoralis
Polygala vulgaris
Polygonatum multiflorum
Polygonatum odoratum
Potentilla alba
Potentilla erecta
Potentilla micrantha
Potentilla sterilis
Potentilla verna
Primula elatior
Primula veris subsp veris
Prunella laciniata
Prunella vulgaris
Pulmonaria montana
Pulmonaria obscura
Ranunculus auricomus
Ranunculus ficaria
Ranunculus nemorosus
Rumex acetosa
Sanicula europaea
Scilla bifolia
Serophularia nodosa
Sedum telephium
Senecio fuchsii
Serratula tinctoria
Seseli libanotis
Sesleria albicans

Silene nutans
Silene vulgaris
Solidago virgaurea
Stachis officinalis
Succisa pratensis
Stachys germanica
Stachys sylvatica
Stellaria holostea
Tanacetum corymbosum
Taraxacum officinale
Teucrium chamaedrys
Teucrium scordonia
Thalictrum minus
Thaspi montanum
Thesium intermedium
Trifolium alpestre
Trifolium japonica
Trifolium medium
Trifolium rubens
Urtica dioica
Valeriana collina
Veronica chamaedrys
Veronica montana
Veronica officinalis
Veronica spicata
Vicia cracca
Vicia pisiformis
Vicia sepium
Vicia tenuifolia
Vinca minor
Vincetoxicum hirundinaria
Viola alba subps vinescens
Viola canina
Viola hirta
Viola mirabilis
Viola montana
Viola odorata
Viola reichenbachiana
Viola riviniana
Viola schiltzii
Viscaria vulgaris



**Annexe n°2 : Plan d'échantillonnage**

Адрес: 125080, Москва, ул. Мясницкая, д. 26

Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage

Transect N°	Forêt	Caractéristiques stationnelles	Caractéristiques floristiques	Direction du transect en degré
1	Privée d'Eutenlache	Alluvions du Rhin : à moins de 10 m de la nappe et à moins de 500 m de la basse plaine du Rhin	Forêt feuillus	E 60°
2	Privée de Bleilack	Alluvions du Rhin : à moins de 10 m de la nappe et à moins de 500 m de la basse plaine du Rhin	Forêt feuillus	NE 30°
3	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 330	Alluvions du Rhin : proximité du Sundgau, possibilité de nappe superficielle (ruissellement)	Forêt feuillus	SW 230°
4	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 320-327	Passages alluvions du Rhin - limons sableux de comblement	Forêt résineux	S 160° et E 105°
5	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 325-324	Alluvions du Rhin : transect pour analyse dynamique	Forêt feuillus	W 280°
6	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 315	idem n°4	Forêt feuillus	S 200°
7	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 312-317	idem n°3	Forêt feuillus	NW 310°
7 bis	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 319	idem n°3	Forêt feuillus	E 90°
8	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 305-301	idem n°3 : présence d'une zone marécageuse (nappe affleurante ?) + passage d'un talus d'érosion	Forêt feuillus	NE 50° et S 210°
9	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 297	Regroupe les situations 3 et 4	Forêt résineux	W 290°
10	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 293	Alluvions du Rhin : passage d'un talus d'érosion	Forêt feuillus	NE 50°
12	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 299-298	idem n°4	Forêt feuillus	SE 13°
13	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 290-289	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	W 290°

**Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage**

14	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 286	idem n°4	Forêt feuillus	N 350°
15	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 275	idem n°3	Forêt feuillus	S 170°
16	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 269-266	idem n°3	Succession forêt feuillus et résineux	S 200°
17	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 264-263	Alluvions du Rhin	Succession forêt feuillus et résineux	SW 220°
18	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 253-251	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	SW 220°
19	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 259-261	idem n°3	Forêt feuillus	N 15°
20	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 224	idem n°3	Forêt feuillus	NW 300°
21 et 21 bis	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 223 et 244	Transect pour analyse des successions dynamiques sur alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 350°
22	Dom. de la Hardt Sud : Parcelle 221	Passage alluvions du Rhin-limons sableux de comblement	Forêt feuillus	NE 40°
23	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 229 et 228	Succession limon sableux - alluvions du Rhin-limons sableux	Forêt feuillus	NE 40°
24	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 235-226-225 et 212	Transect sur placage limoneux étendu	Forêt feuillus	NE 40°
25	Dom. de la Hardt Sud : Parcelles 232-231	Alluvions du Rhin (forte déclivité)	Forêt feuillus puis résineux	E 110°
26 et 26 bis	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 172 ou 202 et 186	Alluvions du Rhin : possibilité de nappe d'eau superficielle	Forêt feuillus	NE 60° et SW 220°
27	Dom. Hardt Sud : Parcelles 183-182-197-196	Alluvions du Rhin : transect pour analyse dynamique	Forêt feuillus	SE 130°
28	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 205-206	Alluvions du Rhin : passage talus d'érosion +sols variés supposés	Forêt feuillus	E 100° et SE 130°

Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage

29	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 176-190-189	Alluvions du rhin : passage talus d'érosion + sols variés supposés	Forêt feuillus	SE 120°
30	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 335-154	Alluvions du Rhin : topographie et secteur proche de la basse vallée du Rhin	Forêt feuillus	SE 120°
31	Dom. Hardt Sud : Parcelles 146-147-151-152	Alluvions du Rhin, dynamique de la végétation, talus d'érosion	Forêt résineux puis feuillus	NE 50°
32	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 115-116	Alluvions du Rhin : talus d'érosion et topographie (sols variés ?)	Forêt feuillus	E 70°
33	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 123-122	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 70°
34	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 118-119	idem n°30	Forêt feuillus	SW 240°
35	Forêt privée	Alluvions du Rhin : faible altitude	Forêt feuillus privée	NE 60°
36	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 103-102	Alluvions du Rhin : transect pour dynamique de la végétation	Forêt feuillus	E 90°
37	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 94	idem n°36	Forêt feuillus	SE 120°
38	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 90-93	idem n°36	Forêt feuillus	SW 230°
39	Forêt privée	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 90°
40	Forêt privée	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 110°
41 et 41 bis	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 86-75-74	Transect pour dynamique de la végétation	Forêt feuillus	W 270° et SW 210°
42 et 42 bis	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 65 et 64	Alluvions du Rhin + talus d'érosion	Forêt feuillus	W 290° et S 200°
43	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 62	Alluvions du Rhin	Forêt résineux	SW 210°

**Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage**

44	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 58-57	Alluvions du Rhin + talus d'érosion	Forêt feuillus	NE 60°
45	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 42	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NW 310°
46	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 399	Alluvions du Rhin et approche dynamique	Forêt feuillus	SE 160°
47	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 22	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NE 60°
48	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 36	Alluvions du Rhin : transect pour dynamique végétation	Forêt feuillus	SE 140°
49	Domaniale Hardt Sud : Parcelle 16	Alluvions du Rhin : ruisseau (irrigation?)	Forêt résineux	NW 310°
50	Domaniale Hardt Sud : Parcelles 4 et 5	Alluvions du Rhin	Mélange résineux - feuillus	S 200°
51	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 392	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 110°
52	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 317	Alluvions du Rhin	Forêt résineux	SE 120°
53	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 360	Alluvions du Rhin	Forêt résineux	N 20°
54	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 358 et 357	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 15°
55	Dom. Hardt Nord : Parcelles 292-231-284-283	Alluvions du Rhin + anciens chenaux comblés et talus d'érosion	Forêt feuillus ou mélange résineux-feuillus	W 280°
57	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 269-271	Alluvions du Rhin et passage sur limons sableux. Transect d'étude de la dynamique de la végétation	Forêt feuillus + clairière	W 270° et E 90°
58	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 353-351-347	Alluvions du Rhin (sol brun calcique ?)	Forêts mélangées résineux feuillus	SW 230°
59	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 262	Alluvions du Rhin (ancien chenal comblé?)	Forêt feuillus	S 180°

Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage

60	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 256-255-241	Limons sableux et passage alluvions du Rhin		Forêt feuillue ou mélange mixte	SW 220°
61	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 231	Alluvions du Rhin + ancien chenal supposé?		Forêt feuillue	E 70°
62	Dom. Hardt Nord : Parcelles 220-219-218-195	Passage alluvions du Rhin - limons sableux (2 fois) + transects dynamique (parcelle 195)		Forêt feuillue	W 280°
63	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 174-173	Passage alluvions du rhin / limons-sableux / talus d'érosion		Forêt feuillue	E 110°
64	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 146	Passage alluvions du Rhin / limons sableux		Forêt feuillue	E 100°
65	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 126-127-111	Alluvions du Rhin + limons sableux		Forêt feuillue	N 340°
66	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 189-188-182	Passage limons sableux / alluvions du Rhin + tanssect dynamique		Forêt feuillue	W 270°
67	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 162-149	Passage alluvions du rhin / limons sableux		Forêt résineux	NE 30°
68	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 152-137-136	Alluvions du Rhin		Forêt feuillue	W 270°
69	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 117-116	Passage alluvions du Rhin / limons sableux		Forêt feuillue	E 100°
70	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 93-92	Limons sableux + réserve biologique		Forêt feuillue	W 290°
71	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 59	Alluvions du Rhin ou ancien chenal ?		Forêt feuillue	N 5°
72	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 103-102	Alluvions du Rhin + réserve biologique		Forêt feuillue	NW 310°
73	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 96-84	Transect dynamique et variation géologique		Forêt feuillue	E 100°
74	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 62	Transect dynamique sur limons sableux		Forêt feuillue	NE 50°

**Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage**

75	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 52-51	Limons sableux	Forêt feuillus	E 110°
76	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 49-37	Passage limons sableux / alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 340°
77	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 39	Passage limons sableux / alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 355°
78	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 24-25	Passage limons + transect dynamique sableux / alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NE 60°
79	Domaniale Hardt Nord : Parcelle 23	Passage limons sableux	Forêt feuillus	NE 65°
80	Domaniale Hardt Nord : Parcelles 124-139	Alluvions du Rhin : variation de sols	Forêt feuillus	N 10°
81	Forêt com. de Blodelsheim : Parcelles IX-XVIII-X-III	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NE 35°
82	Communale de Fessenheim Parcelles 14-13	Alluvions du Rhin	Forêt résineux	NE 50°
83 et 83 bis	Com. de Hirtzfelden Est : Parcelles E, F, G, H	Alluvions du Rhin + landes ?	Forêt résineux / feuillus	N 25° et E 110°
84	Com. d'Oberhergheim : Parcelles 43-42	Alluvions du Rhin	Forêt mélangée	W 280°
85	Com. d'Oberhergheim : Parcelle 33 + forêt privée	Alluvions du Rhin	Forêt mélangée	SW 230°
86	Com. de Reguisheim et Hirtzfelden 32(e) et 13(h)	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus	E 90°
87	Com. de Hirtzfelden : Parcelles 6-7-8-9	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus	S 180°
88	Com. de Hirtzfelden : Parcelles 3-28	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus	W 270°
89	Com. d'Oberentzen : Parcelles 1-2	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus	NE 50°

**Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage**

90	Com. de Balgau : Parcelles 19-26 à 32	Limons sableux + dynamique de la végétation	Forêt feuillus + clairière	N 10°
91	Com. de Balgau + forêt du conservatoire : Parcelles 3-2 et 21-22-5	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus + clairières	SE 140° puis SE 120°
92 et 92 bis	Com. d'Hirtzfelden : Parcelles 11 et 12	Limons du Sundgan sur chenal ancien + Heischin	Forêt feuillus + clairières	E 90° et S 180°
93	Com. d'Hirtzfelden : Parcelle 8	Heischin : station à Dictamnus albus	Forêt feuillus + clairières	W 270°
94	Com. d'Hirtzfelden : Parcelles 25 et 26	Alluvions du Rhin acidiphiles	Forêt feuillus à Agrostide	N 0°
95	Com. d'Hirtzfelden : Parcelles 21-20-19	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NW 340°
96	Com. de Meyenheim : Parcelles 6-7	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 100°
97	Consistoire protestant : Parcelles 17-18	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NE 70°
98	Consistoire protestant : Parcelle 10	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 110°
99	Com. de Dessenheim : Parcelles 10-11-12	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	S 190°
100 et 100 bis	Com. de Ste Croix en Plaine et le Hartwald	Alluvions de l'III + Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 100° puis SE 140°
101	Com. de Dessenheim : Parcelles 7 et 8	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NW 310°
102	Com. de Dessenheim : Parcelles 21-20-19-18	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	E 100°
103	Com. de Dessenheim : Parcelles 2-3	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	S 200°

Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage

104	Com. de St Croix en Plaine : Parcelles 12-13-14-16-17	Alluvions du Rhin + III	Forêt feuillus	SE 120°
105	Com. de Dessenheim : Parcelles IV et III	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NE 40°
106	Com. de Weckolsheim : Parcelles 9 à 16	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	W 270°
107	Forêt Privée	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 15°
108	Dom. du Kastenzwald : Parcelles 36-33-35	Alluvions du Rhin + dynamique végétation	Forêt feuillus	NE 40°
109	Dom. du Kastenzwald : Parcelle 40	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	SE 170°
110	Com. Wolfgantzen + com. Kastenzwald : Parcelles 8-20	Alluvions du Rhin (déperissement)	Forêt feuillus	W 290°
111	Dom. du Kastenzwald : Parcelle 25	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus	NE 70°
112	Com. d'Appenwhir : Parcelles 8-4-3	Alluvions du Rhin + III ?	Forêt feuillus	NE 35°
113	Com. de Widensohlen : Parcelles 23 et 24	Alluvions du Rhin + clairières steppiques	Forêt feuillus	E 115°
114	Com. de Sundhoffen : Parcelles 9-8-7-I-II	Alluvions du Rhin + III ?	Forêt feuillus	NW 300°
115	Com. de Widensohlen : Parcelles 9-10-11	Alluvions du Rhin + topographie	Forêt feuillus	N 20°
116	Com. de Biesheim : Parcelles 46-47-48	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 0°
117	Dom. du Kastenzwald : Parcelle 11	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	SW 240°
118	Dom. du Kastenzwald : Parcelles 5 et 4	Alluvions du Rhin + dynamique de la végétation	Forêt feuillus	E 85°

Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage

119	Com. de Widensohlen : Parcelles 28-29-30	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 340°
120	Com. de Biesheim : Parcelles 25 et 26	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NW 310°
121	Com. de Biesheim : Parcelles 31-32-30-29	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	N 350°
123	Privée + dom. Kastenwald : Parcelle 2	Alluvions du Rhin (station à Grémil pourpre)	Forêt feuillus	E 80°
124	Com. d'Andolsheim : Parcelles 5-12-25	Alluvions du Rhin + alluvions de l'III	Forêt feuillus	W 275°
125	Forêt privée	Alluvions du Rhin + alluvions de l'III	Forêt feuillus	N 5°
126	Forêt privée de Hirsch	Alluvions du Rhin + alluvions de l'III avec sol hydromorphe	Forêt feuillus	N 350°
127	Com. de Widensohlen : Parcelles 1-2	Alluvions du Rhin + ruisseau	Forêt feuillus	NW 330°
128	Com. d'Urschenheim : Parcelle 25	Alluvions du Rhin + chênaie-frênaie (ruisseau)	Forêt feuillus	SW 250°
129	Com. d'Urschenheim : Parcelles I et III	Alluvions du Rhin + station fraîche	Forêt feuillus	S 180°
130	Com. de Biesheim : Parcelles 8- 9-10-11	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	SE 140°
131	Com. d'Urschenheim, Widensohlen et privée : Parcelles 8-4-3-2-1, 27	Alluvions du Rhin + ruisseau	Forêt feuillus	NE 30°
132	Com. de Durrenentzen : Parcelle III	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NW 300°
133	Forêt communale de Kunheim : Parcelles 16-17-18	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	SW 240°

Annexe n° 2 : Plan d'échantillonnage

134	Forêt communale de Kunheim : Parcelles 4-5-6	Alluvions du Rhin	Forêt feuillus	NE 60°
135	Com. de Durrenentzen et Artzenheim : Parcelles 3, 9 et 10	Alluvions du Rhin + clairières steppiques et géologie différenciée	Forêt feuillus	SE 120°
136	Bois de la Hardt	Hardt grise	Forêt feuillus	E 110°
137	Bois de la Hardt	Hardt rouge / Hardt grise	Forêt feuillus	SE 120°
138	Bois de la Hardt et com. de Grussenheim : Parcelle 8	Hardt grise / Hardt rouge et ruisseau	Forêt feuillus	E 90°
139	Bois de la Hardt et com. de Grussenheim : Parcelle 1	idem	Forêt feuillus	SE 120°
140	Com. d'Artzenheim : Parcelle 21	Alluvions du Rhin et limons sableux	Forêt feuillus	W 270°
141	Com. de Durrenentzen et Baltzenheim : Parcelles 12-11 et 32-31	Alluvions du Rhin et dynamique de la végétation	Forêt feuillus	N 355°

Région  Alsace

**Région Alsace**

35, avenue de la Paix - B.P. 1006  
67070 Strasbourg Cedex

ministère de l'**agriculture**, de la **pêche** et de l'**alimentation**

**Direction Régionale de l'Agriculture  
et de la Forêt Alsace**

2, rue de l'Hôpital Militaire  
67084 Strasbourg Cedex  
Tél. 03 88 76 78 69



**Cellule d'Application en Écologie**

Université de Bourgogne  
6, Bd Gabriel - 21000 DIJON  
Tél. :03 80 39 62 49 / 03 80 39 62 25

*C.R.P.F.L.A.*



**Centre Régional de la Propriété  
Forestière de Lorraine-Alsace**

41, avenue du Général de Gaulle  
57050 Le Ban Saint-Martin  
Tél. 03 89 31 18 42



**Office National des Forêts  
Direction Régionale Alsace**

2, rue de l'Hôpital Militaire  
67084 Strasbourg Cedex  
Tél. 03 88 76 76 40