N° d'ordre : 462

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR ES SCIENCES NATURELLES

par

Daniel PETIT

LA VEGETATION DES TERRILS DU NORD DE LA FRANCE ECOLOGIE, PHYTOSOCIOLOGIE, DYNAMISME

Soutenue le 1er février 1980 devant la Commission d'Examen

MM.	E. BONNOT	Professeur à l'Université de LILLE I
	R. BOURIQUET	Professeur à l'Université de LILLE I
	H. ELLENBERG	Professeur à l'Université de GÖTTINGEN
	A. LACOSTE	Professeur à l'Université de PARIS-SUD
	P. OZENDA	Professeur à l'Université de GRENOBLE

AVANT - PROPOS

En m'accueillant dans son laboratoire, Monsieur le Professeur Robert LINDER m'a introduit dans le domaine de la recherche en Ecologie végétale. Par les multiples voyages d'étude qu'il aimait organiser et auxquels il conviait son équipe, j'ai acquis les connaissances floristiques et phytosociologiques nécessaires pour aborder dans les meilleures conditions le sujet de Thèse qu'il m'a confié. Aussi, avant l'exposé des résultats obtenus, je tiens à honorer sa mémoire d'un hommage reconnaissant.

Monsieur le Professeur BOURIQUET, Directeur du laboratoire de Physiologie végétale de l'Université de Lille I, a bien voulu accepter de faire partie du Jury, il s'est aussi offert spontanément de remplacer le Professeur LINDER quant à l'organisation de la soutenance, je le prie de recevoir mes plus vifs remerciements.

Messieurs les Professeurs ELLENBERG (de l'Université de Göttingen), OZENDA (de l'Université de Grenoble), LACOSTE (de l'Université de Paris Sud) et BONNOT (de l'Université de Lille I) m'ont fait l'honneur, malgré leurs multiples charges, d'être juges et rapporteurs de cette Thèse, je les prie de croire à ma profonde et respectueuse considération.

Je remercie enfin, tous ceux qui d'une manière directe ou indirecte m'ont apporté leur soutien et leur concours lors de la réalisation de ce travail. Monsieur le Professeur GEHU de l'Université de Lille II, qui m'a toujours reçu en toute amitié, et qui a mis à ma disposition l'imposante

bibliographie rassemblée à la station de phytosociologie de Bailleul. Monsieur DELPOUX de l'Université de Toulouse qui n'a pas hésité, lors d'un passage dans la région, à m'accompagner sur les terrils pendant plusieurs jours. Madame BERTOUT, Messieurs HENRI et LEFEBVRE, de l'UER des Sciences Agricoles, qui m'ont fait bénéficier de leur compétence avec beaucoup de gentillesse. Messieurs BRIS, DELAV, JEAN et TOMBAL, l'équipe pluridisciplinaire du laboratoire de Cytogénétique et d'Ecologie, auprès de laquelle j'ai trouvé aide et conseils permanents. Mesdames LECOCQ G. et ROELANTS, Messieurs MAERTEN et PLANCQ dont la collaboration technique m'a été précieuse. Madame M. LECOCQ qui s'est chargée de la dactylographie avec un soin tout particulier. Le personnel de la bibliothèque universitaire et des différents services de reproduction de l'Université et de l'UER de Biologie. Que tous soient assurés de ma reconnaissance et trouvent ici les marques d'estime que je leur témoigne.

S O M M A I R E

INTRODUCTION 11

PREMIERE PARTIE : LE TERRIL 15

CHAPITRE I : DIFFERENTS TYPES DE TERRILS ET PAYSAGES 15

A) LES TERRILS PLATS.....15

B) LES TERRILS CONIQUES.....19

C) LES GRANDS TERRILS MODERNES.....19

CHAPITRE II : ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES TERRILS.....21

A) LE TASSEMENT ET L'EROSION.....21

B) LA COMBUSTION DES TERRILS.....25

CHAPITRE III : LES CONDITIONS DE VIE SUR LE TERRIL.....27

A) LES FACTEURS CLIMATIQUES.....27

1-le contexte climatique de la région minière.....27

2-les microclimats des terrils.....30

B) LE SUBSTRAT.....30

1-les caractères physiques.....30

2-les caractères chimiques.....34

3-évolution du substrat : la naissance d'un sol.....40

C) LES INTERACTIONS BIOTIQUES.....41

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE 42

DEUXIEME PARTIE : LES DIVERS ASPECTS DE LA COLONISATION DES TERRILS PAR LES VEGETAUX.....43

CHAPITRE I : MÉTHODOLOGIE.....43

CHAPITRE II : LA VÉGÉTATION PIONNIÈRE 47

A) LA FIXATION DES PENTES MOBILES.....51
1-le *Resedo-Rumicetum scutati* ass. nov.....52
2-le groupement à *Betula pendula*.....65

B) COLONISATION DES TERRILS PLATS ET DES PENTES STABLES.....71
1-la friche élevée à *Pastinaca sativa*.....71
2-la friche à *Tussilago farfara*.....76
3-la friche à *Glaucium flavum* 76
4-la friche à *Picris hieracioides* et *Daucus carota* : le *Dauco-Picridetum* (Faber 33) Görs 66.....77
5-la friche à *Echium vulgare* et *Melilotus albus* : L'*Echio-Melilotetum albi* Tx 42.....81
6-le groupement à *Calamagrostis epigeios* et *Saponaria officinalis*.....85
7-le groupement pionnier à *Catapodium tenellum*.....87
8-le *Sagino-Bryetum argentei* Diem., Siss. et Westh. 40 em. Tx 47 *chenopodietosum*.....91
9-le groupement à *Cerastium vulgatum* et *Poa annua* des aires de rassemblement des lapins.....93
10-le groupement à *Polytrichum piliferum* et *Betula pendula*.95

C) CONCLUSION DU CHAPITRE.....98

CHAPITRE III : VERS LE CLIMAX.....103

A) L'ARRHENATHERAIE DES BAS DE PENTE.....103

B) LES PELOUSES RASES A *HIERACIUM PILOSELLA*.....104
1-le *Hieracio-Poetum compressae* Petit 77.....104
2-le *Airo-Festucetum ovinae* R. Tx (37) 55.....111
3-le groupement à *Hieracium pilosella* et *Catapodium tenellum*.....114
4-conclusions sur les pelouses rases à *Hieracium pilosella*.....115

C) LES FORMATIONS LIGNEUSES.....117
1-les fourrés à *Crataegus monogyna*.....119
2-la bétulaie à *Calamagrostis epigeios*.....119
3-la bétulaie à *Arrhenatherum elatius*.....123
4-la bétulaie à *Deschampsia flexuosa* et *Polytrichum piliferum*.....123
5-la bétulaie à *Poa nemoralis*.....124
6-syntaxonomie et synsystématique des bétulaies des terrils.....125
7-les formations à *Robinia pseudacacia*.....125

D) CONCLUSION DU CHAPITRE.....127

CHAPITRE IV : LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX DES TERRILS EN COMBUSTION.....131

A) LES GROUPEMENTS VEGETAUX DES CENTRES THERMIQUES.....133
1-le groupement à *Campylopus introflexus*.....133
2-le groupement à *Chenopodium pumilio*.....135
3-le groupement à *Digitaria sanguinalis*.....135

4-le groupement à *Chenopodium botrys* et *Portulaca oleracea*.....137
5-caractères synécologiques communs des groupements des zones en combustion.....141

B) L'AUREOLE A *VULPIA MYUROS* ET *ERIGERON CANADENSIS* : *VULPIO-ERIGERETUM CANADENSIS* PETIT 79.....143

C) CONCLUSION DU CHAPITRE.....146

CHAPITRE V : LE DYNAMISME DE LA VÉGÉTATION DES TERRILS...151

A) LE DYNAMISME VEGETAL SUR LA PENTE SSO DU TERRIL 85 DE HENIN-BEAUMONT.....153
1-description de la succession végétale.....153
2-évolution des conditions édaphiques.....155
3-interprétation du dynamisme végétal.....157

B) LE DYNAMISME GENERAL DES FORMATIONS HERBACEES A TRAVERS LE BASSIN.....157
1-du stade pionnier aux friches élevées.....157
2-de la friche à la pelouse rase à *Hieracium pilosella*....159
3-de la pelouse rase à la fruticée.....161

C) LA SERIE ARBORESCENTE A *BETULA PENDULA*.....163

D) CONCLUSION DU CHAPITRE.....166

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....166

TROISIEME PARTIE : ETUDES ECOLOGIQUES DU VEGETAL COLONISATEUR DES TERRILS.....169

CHAPITRE I : ETUDES PHYTOCHIMIQUES.....169

A) TECHNIQUES D'ANALYSES PHYTOCHIMIQUES.....170

B) LES DONNEES MOYENNES DE REFERENCE ET TERMINOLOGIE.....170

C) PHYTOCHIMIE DES ESPECES COLONISATRICES DE LA PENTE SSO DU TERRIL 85 DE HENIN-BEAUMONT.....171
1-comportement phytochimique des espèces pionnières.....171
2-comportement phytochimique des espèces dans la zone de substitution de la friche élevée par la pelouse rase....175

D) PHYTOCHIMIE DES ESPECES COLONISATRICES DES ZONES EN COMBUSTION.....179
1-les polypotassophores.....179
2-les mésopotassophores.....179

CHAPITRE II : RECHERCHES PRELIMINAIRES DE L'EXISTENCE DE VARIATIONS ECOTYPIQUES.....181

A) LA NOTION D'ECOTYPE.....181

B) MATERIEL ET METHODES.....182

C) RESULTATS ET DISCUSSION.....183
1-la tolérance au magnésium de *Arrhenatherum elatius*.....183
2-comportement phytochimique comparé de *Hieracium pilosella* des terrils et des pelouses crayeuses.....187

CHAPITRE III : PROSPECTION CARYOLOGIQUE CHEZ LES VEGETAUX DES ZONES EN COMBUSTION.....191

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE.....201

CONCLUSION GENERALE.....203

ANNEXE : LES APPORTS FLORISTIQUES DES TERRILS POUR LE NORD DE LA FRANCE.....209

A) CARACTERES BIOLOGIQUES GENERAUX.....209
1-les types biologiques.....209
2-les modes de dissémination des diaspores.....210

B) PARTICULARITES FLORISTIQUES.....211
1-la flore des aires soumises à la combustion.....211
2-les végétaux caractéristiques des pentes mobiles.....213
3-la flore des zones stables : les pelouses xériques.....215
4-la flore des zones stables : les friches rudérales.....218
5-la flore arbustive.....220
6-la flore des suintements de base des terrils.....220

BIBLIOGRAPHIE.....222

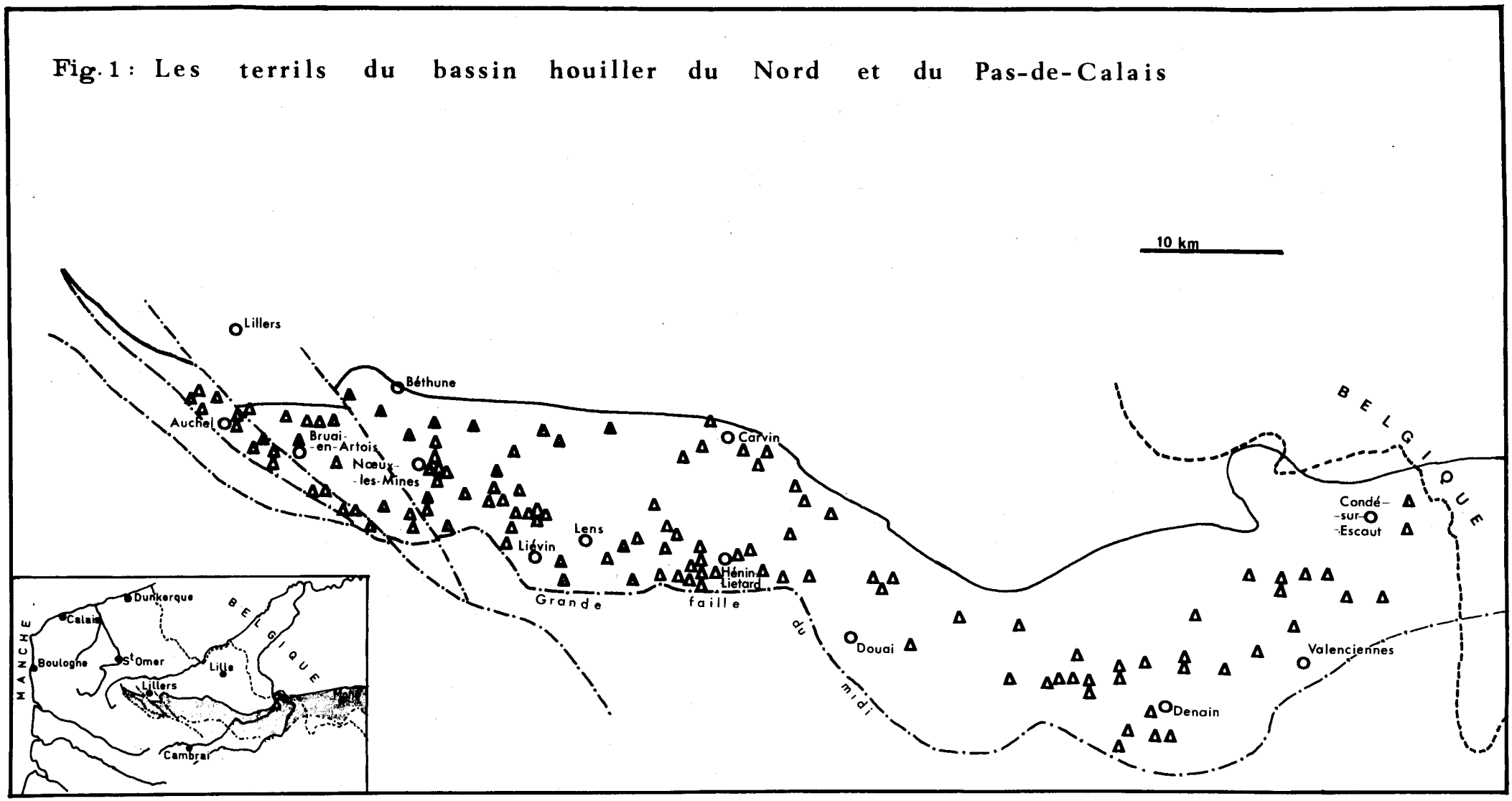
LISTE DES TABLEAUX.....237

LISTE DES FIGURES.....241

LISTE DES PLANCHES.....243

DENOMINATION ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DES TERRILS DU BASSIN HOUILLER DU NORD DE LA FRANCE.....245

Fig. 1 : Les terrils du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais



INTRODUCTION

Témoignage d'une activité humaine séculaire, les terrils du charbonnage sont devenus des éléments caractéristiques des paysages du Nord et du Pas-de-Calais. Ils ponctuent d'Est en Ouest sur plus de 100 kilomètres, la plaine du Nord de la France inscrite dans les limites du bassin houiller (figure 1).

Les terrils ont été édifiés à partir des schistes et des grès carbonifères qui forment le "toit" et le "mur" de chaque veine productrice. Ces roches dites stériles, abattues en même temps que le charbon, sont remontées en surface avec ce dernier et accumulées aux abords du puits d'extraction.

Le Nord de la France a compté plus de 250 terrils représentant environ 500 millions de m^3 qui, étalés sur l'ensemble de la région Nord-Pas-de-Calais, auraient donné une couche épaisse de 40 centimètres. Un certain nombre d'entre eux, ont été utilisés comme ballast dans la construction des routes et d'ouvrages divers, certains le seront encore, mais la plupart considérés comme économiquement négligeables étaient, jusqu'à ces dernières années, laissés en attente...

Actuellement, ils risquent de disparaître à une cadence plus élevée : certains terrils et surtout les plus anciens contiennent encore une quantité appréciable de charbon et l'augmentation récente du coût de l'énergie a rendu rentable leur réutilisation dans les centrales thermiques.

Les terrils, formés de matériaux vierges, de nature et de texture nouvelle pour la région, sont des milieux neufs. Ces reliefs surimposés, comparables aux volcans, attirent comme ces derniers la curiosité du Biologiste.

Ils constituent une véritable expérimentation en conditions naturelles et à l'échelle régionale, permettant d'aborder divers problèmes, particulièrement dans le domaine de la biologie végétale. Ils illustrent en outre la notion de friches industrielles, lesquelles sont de plus en plus développées dans la région Nord - Pas-de-Calais depuis qu'a été entamé le processus de récession des Houillères, et posent très bien le problème de la réhabilitation des sites.

Si divers travaux européens et américains ont abordé le problème des terrils du charbonnage et de leur colonisation végétale, les groupements végétaux colonisateurs et leur dynamisme n'ont été que rarement étudiés et dans ce cas l'analyse a souvent porté sur un petit nombre de terrils (HALL, 1956 en Grande Bretagne ; BEER, 1955 et KLEMM, 1969 en Allemagne ; DUVIGNEAUD P. et coll., 1971 et GHIO, 1975 en Belgique ; BLANDIN, 1968, LAMPIN, 1969 et HOEDTS, 1970 en France).

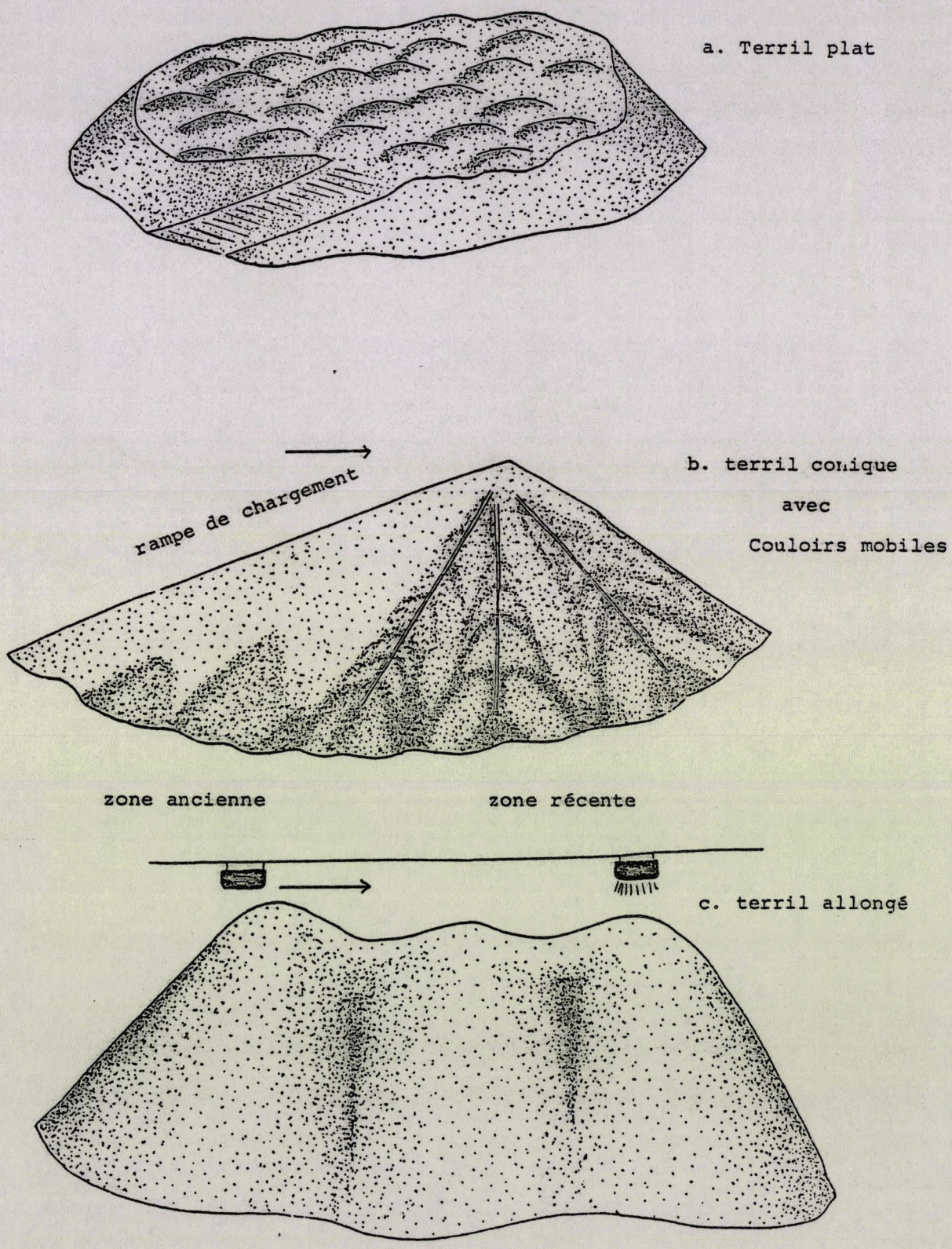
Dans notre travail, suite logique d'un des axes de recherche du laboratoire de Cytogénétique et d'Ecologie sur le végétal et la végétation pionnière, nous avons essayé de dégager quelques résultats de cette expérience : colonisation du substrat terril à partir d'une végétation qui, jusqu'au siècle dernier, n'avait connu que les conditions édaphiques de la plaine limono-argileuse ou limono-sableuse du Nord de la France. Pour cela, plus d'une centaine de terrils*, répartis sur tout le bassin ont été parcourus, certains ont été suivis pendant plusieurs années, des prélèvements de substrat et de matériel végétal, des relevés de végétation y ont été effectués.

Nous étudierons dans la première partie de ce mémoire les conditions de vie sur le milieu terril, les groupements végétaux qui s'y développent et leur dynamisme seront décrits dans une deuxième partie, enfin la troisième partie sera consacrée à l'examen de quelques aspects de l'écologie du végétal colonisateur.

Par cette étude qui ne prétend pas être exhaustive sur la question de la végétation des terrils, nous souhaitons apporter une meilleure compréhension de leur colonisation naturelle, point de départ de tout aménagement raisonné.

* *Pour la dénomination des terrils, nous avons conservé la numérotation établie par les Houillères ; la liste des terrils et leur localisation sont données en fin de mémoire.*

Fig. 2 : DIFFERENTS TYPES DE TERRILS.



PREMIERE PARTIE : LE TERRIL

CHAPITRE I : DIFFERENTS TYPES DE TERRILS ET PAYSAGES.

Le terril doit sa morphologie à certains impératifs techniques et économiques, aussi observe-t-on :

- une évolution dans le mode de construction des terrils depuis le début de l'exploitation du charbon à nos jours ;
- une variation du type de terril en fonction du paysage dans lequel il est installé.

A. LES TERRILS PLATS

Les faibles moyens mécaniques et énergétiques dont disposaient les entreprises jusqu'au début du siècle, n'ont permis l'édification que de terrils plats, et généralement de dimensions très modestes (100-300 m de longueur, 10-30 m de hauteur, le volume ne dépassant guère le million de m^3). Leur surface très irrégulière est formée d'une succession de cuvettes et de monticules, vestiges des derniers dépôts. Installés à côté du puits d'extraction, beaucoup d'entre eux sont aujourd'hui englobés dans le tissu urbain (figure 2a).

Lorsque les distances n'ont plus présenté d'obstacle au choix du site, pour l'édification d'un terril, les schistes et les grés prirent la direction de zones non cultivées et éloignées des agglomérations. C'est ainsi que certains marécages des vallées de la Scarpe, de l'Escaut, de la Deule, furent transformés en immenses terrils plats. Les plus grands ont une superficie de 120 ha

PLANCHE I : DIFFERENTS TYPES DE TERRILS

Photo 1 :

Face sud-ouest du terril n° 116-117 de la fosse 10 de Oignies : l'un des derniers terrils en exploitation, mais aussi l'un des plus volumineux.

Photo 2 :

Terrils coniques emboités, annexés au lavoir de Drocourt, représentant environ 10,5 millions de m^3 sur moins de 30 ha (d'après photo aérienne IGN).

Photo 3 :

Terril n° 115 de Libercourt, conique, allongé, d'une superficie d'une vingtaine d'hectares et d'un volume de 4 millions de m^3 (d'après photo aérienne IGN).

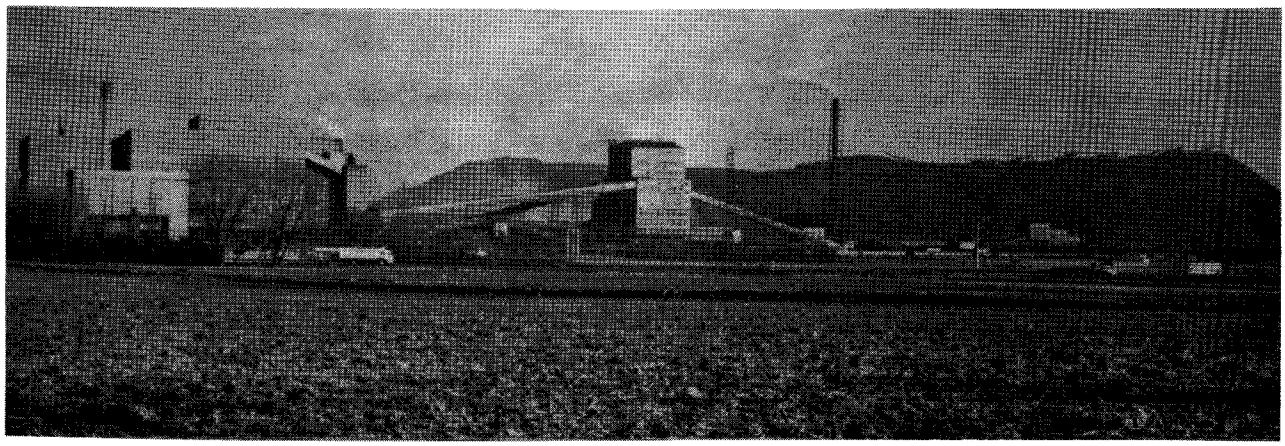
Photo 4 :

Terril n° 107 de Carvin, conique, d'environ 7 ha de surface de base (300 m de diamètre), et d'un volume de 1,5 million de m^3 (d'après photo aérienne IGN).

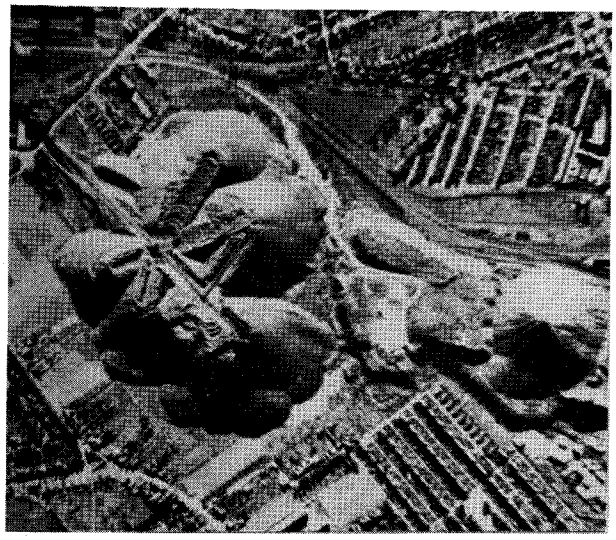
Photo 5 :

Terril n° 100 de Fouquières-les-Lens, plat, digité, d'environ 40 ha et d'un volume de 12 millions de m^3, un petit terril conique lui est annexé (n° 83) (d'après photo aérienne IGN).

PLANCHE I

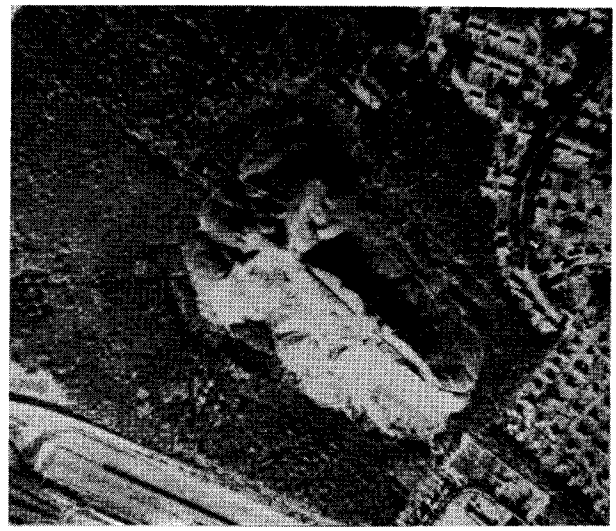


1



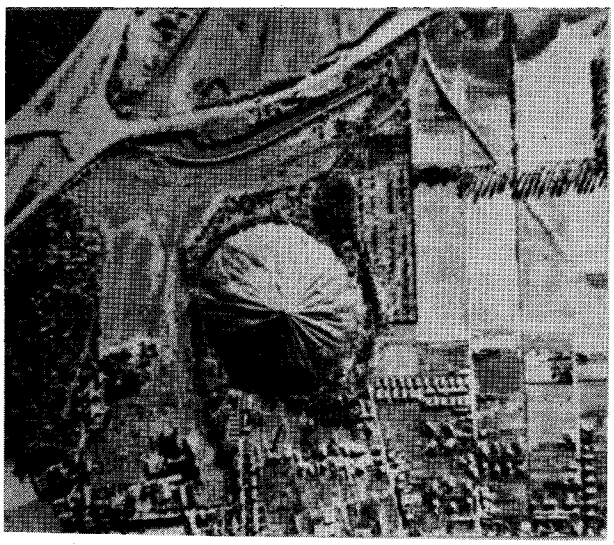
© IGN 1967

2



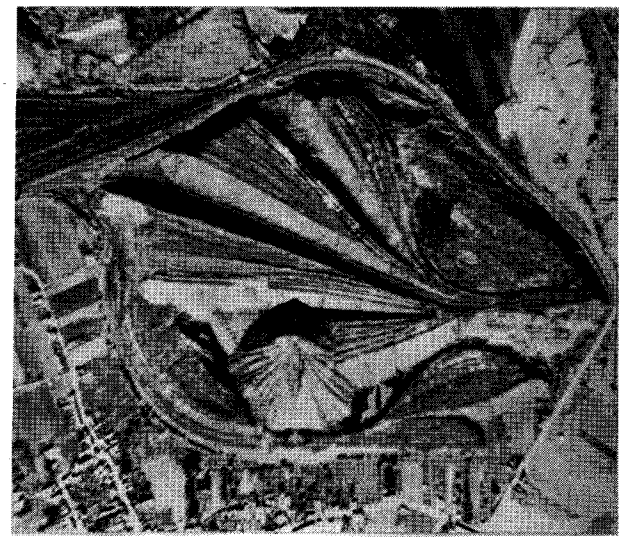
© IGN 1967

3



© IGN 1967

4



© IGN 1967

5

et un volume d'environ 22 millions de m^3, l'emploi d'engins mécaniques à l'épandage des roches a rendu la surface de ces terrils relativement plane (planche I, photo 5).

B. LES TERRILS CONIQUES

Ce sont certainement les terrils coniques qui marquent le plus le voyageur arrivant dans la région minière. Ils ont remplacé avantageusement les premiers terrils plats, en permettant l'accumulation d'un plus grand volume sur une surface plus faible, aussi ces terrils sont-ils caractéristiques des zones agricoles ou urbaines, leur hauteur est généralement inférieure à 100 m, leur rayon de 100 à 200 m, leur volume de 1-3 millions de m^3.

Les roches montées le long d'une rampe de chargement (par wagonnets ou tapis roulants) sont déversées au sommet toujours dans une même direction, aussi le cône prend-il une allure déjetée. Les pentes peuvent être régulières du haut en bas du terril. L'utilisation de couloirs métalliques permettant de faciliter et d'orienter la descente des roches, donne au terril un modelé particulier : les pentes sont striées verticalement par des crêtes et des valécules parfois interrompues par des replats (figure 2b ; planche I, photo 4 ; planche II, photos 1 et 2).

La rampe de chargement reste la zone la plus ancienne du terril, alors que les dépôts successifs rajeunissent continuellement, après une latence plus ou moins longue, les pentes voisines et opposées à cette rampe.

C. LES GRANDS TERRILS MODERNES

Actuellement, pour des questions de rentabilité le charbon et les "stériles" abattus dans tout le bassin sont acheminés sous terre vers un petit nombre de puits de remontée, la grosse quantité de roches à emmagasiner donne naissance aux grands terrils modernes, les seuls encore en activité.

Les terrils coniques sont beaucoup plus imposants, la surface de base étant plus grande au départ, les roches sont réparties sur le pourtour du terril à partir d'une plateforme sommitale qui se réduit de plus en plus avec l'altitude du terril qui peut alors atteindre 150 m.

Lorsque la surface au sol n'est pas limitée, les dépôts peuvent se faire dans une ou plusieurs directions donnant alors au terril une forme allongée ou digitée (figure 2c ; planche I, photos 1-2-3).

Ces grands terrils se rencontrent généralement dans les zones marécageuses ou parfois en forêt.

A côté des terrils, des plateformes servant à l'entrepôt de matériel ou de charbon, ont parfois été aménagées à l'aide des schistes, ces zones ressemblent beaucoup aux terrils. Des bassins de décantation sont également annexés au terril, dans ces bassins de plusieurs ha, la sédimentation des poussières de charbon et de roche (schlams) donne des surfaces rigoureusement planes.

CHAPITRE II : EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES TERRILS.

Le terril mis en place dans la nature se modifie sous l'effet du tassement, de l'érosion, de la combustion, phénomène bien particulier qui concerne un grand nombre de terrils.

A. LE TASSEMENT ET L'EROSION (planche II, photos 1-2-5)

Sur les pentes récentes, des mouvements de surface peuvent se mettre en évidence : un piquet planté verticalement se retrouve penché vers le bas l'année suivante. Des roches peuvent dévaler la pente, du fait de la gravité ou sous l'effet des précipitations abondantes d'été qui, par leur ruissellement, entraînent d'ailleurs plus volontiers les éléments les plus fins pour les accumuler en bas de pente en petits cônes de déjection. Alliée au gel, l'eau provoque un éclatement des schistes en plaquettes de quelques centimètres de côté. Celles-ci peuvent ensuite combler les vides laissés entre les blocs.

D'autre part, le terril, dont le poids est considérable, a tendance à s'enfoncer dans l'assise géologique sous-jascente surtout si celle-ci est tendre. En période humide des marnes ou des argiles ont pu remonter de part et d'autre du terril et former des bourrelets circulaires. La présence de terrils favorise certains affaissements qui transforment forêts et cultures en marécages (planche II, photo 6).

PLANCHE II : EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES TERRILS

Photo 1 :

Terril conique en activité (n° 76 de Avion), sommet pointu et pentes régulières.

Photo 2 :

Terril conique abandonné depuis une trentaine d'années (n° 107 de Carvin) caractérisé par son sommet légèrement affaissé et ses pentes molles.

Photo 3 :

Effet du ruissellement sur le terril n° 115 de Libercourt : les roches entraînées laissent de profondes rigoles, leur accumulation en bas de pente détruit la végétation forestière voisine.

Photo 4 :

Terril en combustion aux formes émoussées, la reprise de matériaux montre la structure complexe du substrat consumé (n° 119 de Ostricourt).

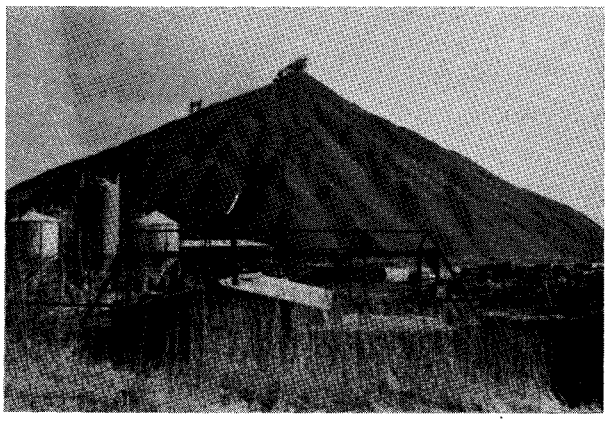
Photo 5 :

Terril n° 102 de Noyelles-Godault. Ouverture dans un foyer de combustion par effondrement du substrat superficiel. La poutre qui a été introduite se consume très rapidement.

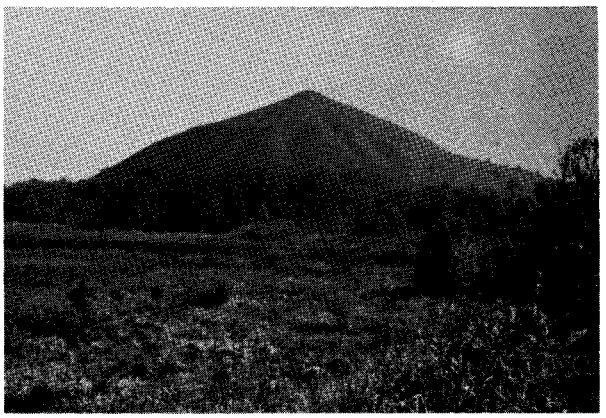
Photo 6 :

Zone d'affaissements miniers près du terril n° 115 de Libercourt : la forêt est remplacée par un marécage.

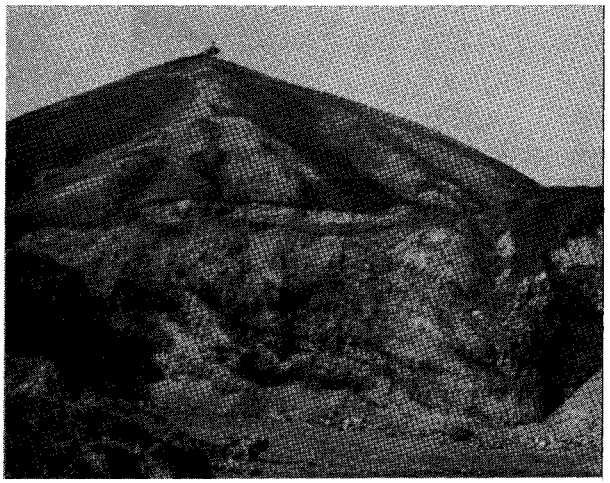
PLANCHE II



1



2



3

4

5

6

B. LA COMBUSTION DES TERRILS (planche II, photos 3-4)

La combustion spontanée d'un terril est un phénomène fréquent, elle est dûe à l'inflammation des substances combustibles présentes dans le terril :

- le charbon résiduel qui constitue une part importante des anciens terrils ;
- les résidus de l'industrie charbonnière (étançons et traverses en bois, huiles, bandes caoutchoutées des tapis roulants, etc...).

La combustion s'amorce à la faveur de l'oxydation des charbons et des autres substances oxydables (pyrite). Avec le départ des gaz interstitiels ainsi réchauffés, un système de tirage naturel de l'air à l'intérieur du terril, se réalise. La construction du terril qui favorise une ségrégation des classes granulométriques (les gros blocs dévalant généralement jusqu'à la base) accentue le processus.

Parfois, la quantité de chaleur nécessaire à l'inflammation est apportée de l'extérieur, par les scories incandescentes et les cendres encore chaudes d'un foyer de centrale thermique ou par la combustion d'un dépôt de déchets urbains souvent proche des terrils.

La pyrite réagit avec l'eau et l'oxygène selon une réaction fortement exothermique :

$$2\ FeS_2 + 7/2\ O_2 + 16\ H_2O \longrightarrow 2\ H_2SO_4 + 2\ FeSO_4,\ 7H_2O$$

En l'absence d'eau il se forme de l'oxyde de fer et de l'anhydride sulfureux :

$$2\ FeS_2 + 11/2\ O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + 4\ SO_2$$

Ces deux réactions ne seraient pas les seules responsables de l'inflammation spontanée, l'auto-oxydation du charbon et la formation de péroxydes sont actuellement invoqués (BLANGY, 1971). Les roches noires, riches en matières organiques sont après combustion de la teinte ocre des oxydes ferriques.

Le tassement, l'érosion, la disparition des matières combustibles et des substances volatiles lors de la combustion, donnent une forme émoussée, trapue, caractéristique des vieux terrils.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Maxima moyens ———	4,9	6,0	9,8	13,6	17,3	20,3	21,9	21,8	19,8	14,9	8,9	5,7
Moyennes —·—·—	2,4	3,1	5,9	9,0	12,4	15,2	16,9	17,0	15,1	11,0	6,2	3,2
Minima moyens ———	-0,1	0,2	2,1	4,4	7,5	10,2	12,0	12,1	10,5	7,0	3,4	0,7

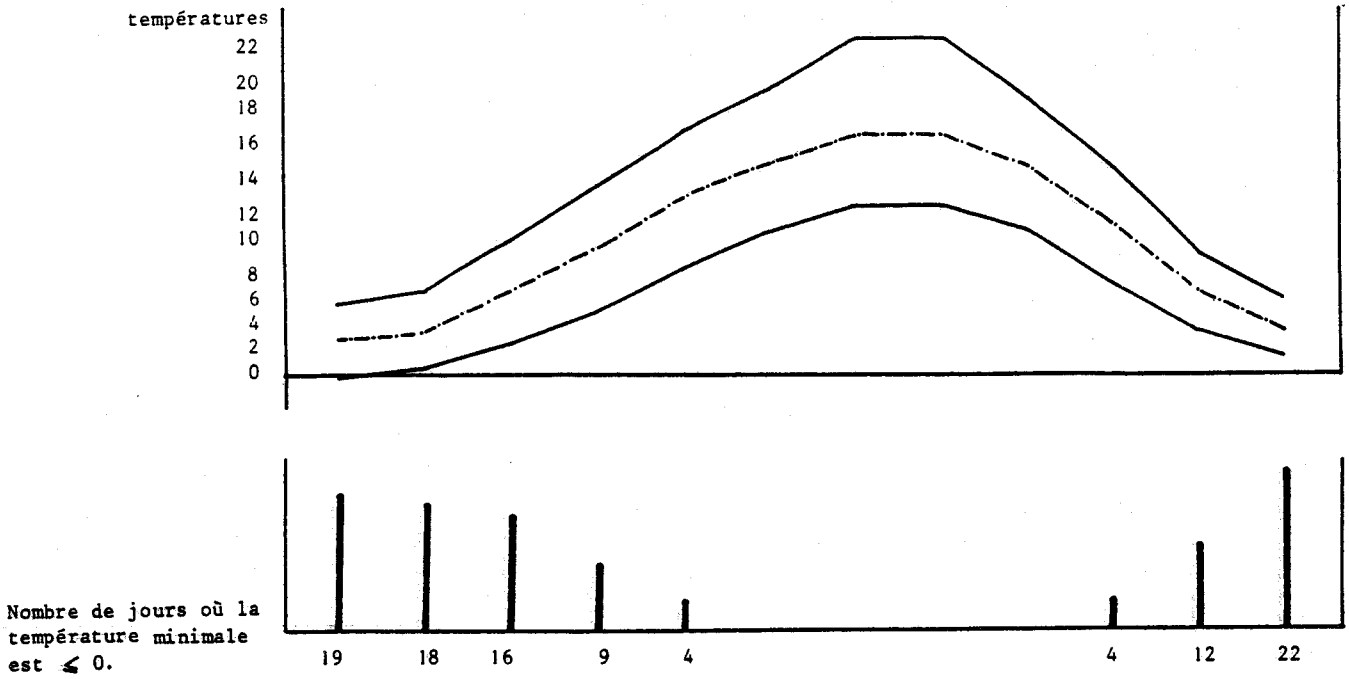


Fig. 3 : Températures moyennes mensuelles (en °C) de 1946 à 1970. (Station de Lille-Lesquin)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Hauteur moyenne en mm	45	42	37	40	45	58	59	61	53	53	56	57
Nbre de jours avec précipitation.	16	15	13	14	13	12	13	15	14	13	16	16
Durée moyenne en heures et 1/10	102,6	91,1	72,8	69,1	52,1	60,9	51,6	57,1	58,5	75,4	99,7	117
Débit moyen en mm/h.	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1	0,9	0,7	0,5	0,5

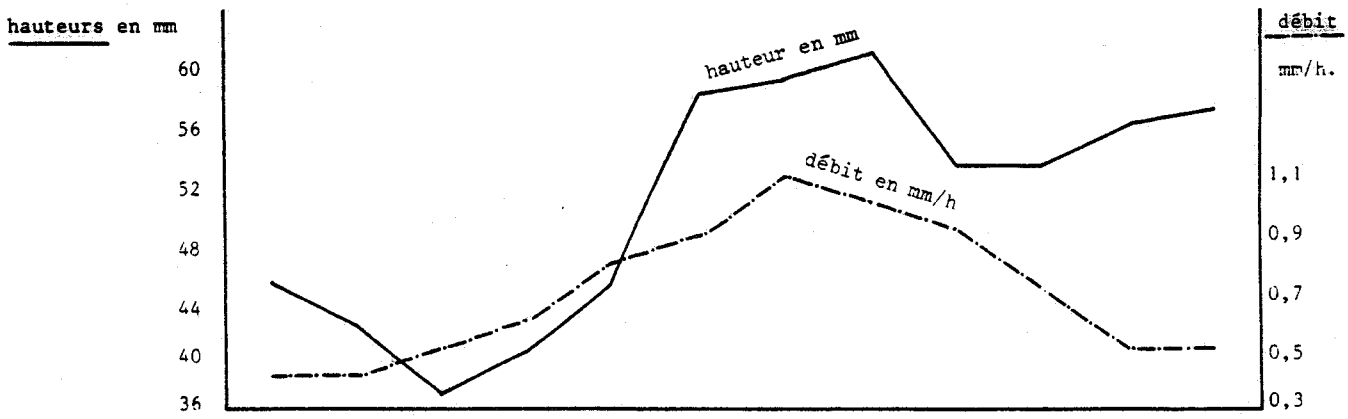


Fig. 4 : Pluviométrie moyenne mensuelle de 1946 à 1970. (Station de Lille-Lesquin).

CHAPITRE III : LES CONDITIONS DE VIE SUR LE TERRIL.

L'installation de la vie sur le terril est conditionnée par les interactions des trois facteurs écologiques classiques : les facteurs climatiques, édaphiques et biotiques.

A. LES FACTEURS CLIMATIQUES

1) LE CONTEXTE CLIMATIQUE DE LA REGION MINIERE :

L'observation des données climatologiques des diverses stations disséminées sur le bassin houiller, montre que les valeurs moyennes obtenues sont très proches les unes des autres et que l'utilisation des données de la station périphérique de Lille-Lesquin est valable pour la région minière.

a - <u>températures et précipitations</u> : les températures moyennes mensuelles (figure 3) montrent un régime thermique très clément, pas très chaud l'été ni très froid l'hiver. Il faut cependant souligner l'existence de températures minimales et maximales écologiquement très importantes quand on s'adresse aux terrils. Le nombre de jours où la température minimale est < 0 reste très important jusqu'au mois d'avril et dès le début du mois de juin des températures maximales élevées sont enregistrées : la période favorable au développement des végétaux, en particulier des thérophytes, est donc très courte. Les chiffres suivants (tableau 1) montrent, par exemple, pour le mois de juin 1971 une première décade très chaude avec d'ailleurs un maximum pour le mois de 26°,1 (3 juin), parallèlement les

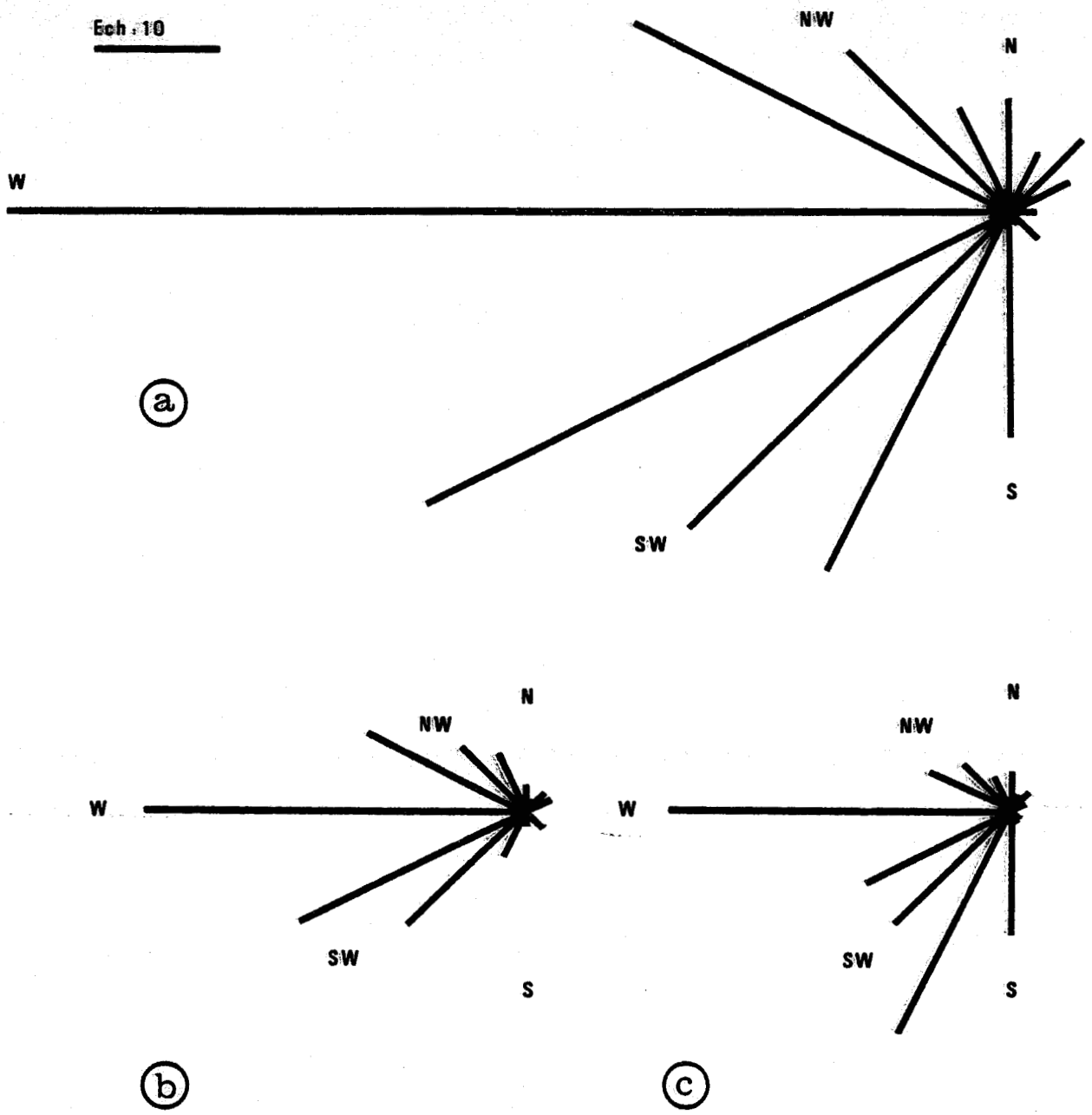


Figure 5 : Directions préférentielles des vents à vitesse maximale. (suivant les données mensuelles de 1946 à 1970 de la Station météorologique de Lille-Lesquin).

a - durant toute l'année ; b - durant les mois de mai, juin, juillet, août ; c - durant les mois de septembre, octobre, novembre, décembre.

La direction des vents est celle des segments de droite, de la périphérie vers leur point de concours. Leur longueur est proportionnelle au nombre de fois où le vent à vitesse maximale a été d'une direction donnée.

précipitations sont faibles pendant cette période (bien que le total du mois soit élevé, 121 mm), la partie superficielle du terril qui devient très sèche et chaude, porte un gros préjudice aux populations végétales en place.

Tableau 1 : Données climatiques du mois de juin 1971 (station de Lille-Lesquin).

Températures °C	1ère décade	2ème décade	3ème décade
maxima moyens	19,3	16	19,2
minima moyens	10,5	8,3	9,3
moyennes	14,9	12,1	14,2
Précipitations (hauteur en mm)	14	70	37

Les 606 mm de précipitations (figure 4) qui tombent annuellement en moyenne sur la région étudiée, se répartissent différemment suivant les saisons. En hiver et au début du printemps les précipitations mensuelles sont faibles (37 à 45 mm), par contre en été et à l'automne celles-ci sont beaucoup plus élevées (53 à 61 mm).

La notion de débit des précipitations (hauteur moyenne mensuelle en mm/durée moyenne mensuelle) est importante à considérer. Le débit conditionne le rapport eau de ruissellement/eau d'infiltration et par là, la réserve hydrique du terril. La figure 4 montre que le débit augmente beaucoup en été : une grande partie de l'eau arrivant à la surface du terril est donc perdue immédiatement par ruissellement. De plus, l'élévation de la température favorisant une évaporation importante, le bilan hydrique du terril est très souvent déficitaire durant la période estivale.

b - <u>les vents</u> : les vents à vitesse maximale, les plus importants de par leur rôle (modification de la direction des pluies, de l'évaporation, transports de matières diverses et en particulier de semences) proviennent surtout durant l'année d'un secteur Sud à W-NW (figure 5a), la direction prépondérante de ces vents à vitesse maximale se modifie au cours de l'année (figure 5 b-c). Durant les mois de juin, juillet, août, elle est surtout d'un secteur Ouest qui s'ouvre vers le Sud durant les mois de septembre, octobre, novembre.

2) LES MICROCLIMATS DU TERRIL :

Le terril par certains de ses caractères modifie les effets du climat régional. La topographie est le facteur correctif primordial. Les pentes très développées sur certains terrils, reçoivent selon leur exposition, un rayonnement solaire intense ou faible. De même les faces soumises au vent reçoivent plus de précipitations que celles situées à l'abri du vent. Les crêtes sont généralement très ventées alors que les creux sont protégés. La nature du substrat et sa combustion sont également des facteurs importants de correction climatique.

Le caractère déterminant des facteurs microclimatiques des terrils, pour l'installation de la végétation, sera signalé par la suite.

B. LE SUBSTRAT

1) LES CARACTERES PHYSIQUES :

Le substrat "terril" présente certains caractères physiques qui sont autant de facteurs limitant l'installation de la végétation.

a - <u>la texture grossière</u> : les matériaux apportés sur le terril sont de granulométrie très variable, on distingue :

- les "terres de fosse", provenant directement du creusement de puits ou de galeries d'extraction, composées de blocs de plusieurs décimètres de côté en mélange avec des éléments plus petits ;

- les "terres de lavoir", plus homogènes, résultant de la séparation densimétrique dans des lavoirs, du charbon et des roches schisteuses intercalées dans les veines. La taille maximale des éléments est alors de quelques centimètres. Quelle que soit l'origine des roches, une certaine uniformité de texture se produit en surface, au bout de quelques années. En effet, les blocs schisteux éclatés par les variations successives d'humidité et par le gel, sont rapidement réduits en éléments plus petits. Seuls les grès, généralement en plus faible quantité que les schistes, gardent leur taille.

La cuisson des roches lors de la combustion, peut modifier sensiblement la texture (planche II, photo 4). Si dans certains cas les schistes apparaîssent comme "stabilisés", dans d'autres cas, ils deviennent très friables au toucher et forment même des couches pulvérulentes. Parfois on observe une prise en masse : les

les roches transformées en scories, en raison de la température élevée à laquelle elles ont été portées, sont agglomérées par un ciment siliceux et forment un véritable béton.

L'analyse granulométrique (tableau 2) effectuée par la méthode de ROBINSON, de quelques types de substrats nus ou colonisés, montre que le pourcentage des limons (6,2-23 %) et surtout celui des colloïdes minéraux (≃ 0-8,4 %) sont toujours très faibles. Par contre, sables fins et grossiers dominent largement (65,5-88,6 %).

Tableau 2 : Composition granulométrique de quelques types de sols de terrils.(en %).

	Schistes nus		Schistes colonisés			
N° des terrils	85	10	42	197	203	126
N° des prélèvements	13	29	24	22	56	64
Sables grossiers	77,4	79,6	61,3	52,3	48,6	61,5
Sables fins	11,1	9,2	20	16,5	16,9	18,6
Limons grossiers	3,8	2,1	6,8	8,7	9,8	5,1
Limons fins	5,3	4,1	5,1	13,7	14,1	5,5
Colloïdes minéraux	0	1,8	2,2	3,2	8,4	3,9

b - la mobilité : les dépôts effectués sur les terrils coniques sont, les premières années, très instables. Les matériaux tendent à descendre le long des pentes dont l'équilibre naturel se situe selon les cas entre 30 et 45°.

c - la température du substrat : l'effet de pente allié à la teinte sombre des roches permet d'enregistrer, l'hiver, sur les pentes sud des terrils, des températures beaucoup plus élevées que celles relevées dans le sol du champ voisin. Par contre, sur les flancs Nord, la température reste plus basse (tableau 3).

Tableau 3 : Relevés de températures effectués en mars 1969 sur le terril n° 210bis de Courrières.

	Pente	Orientation	Profondeur	Température	Végétation et Phénologie
Terril	45°	S	5 cm	16°C	fleurs de *Tussilago farfara* + quelques rosettes reverdissantes
Terril	45°	N	5 cm	0°C	nulle
Terrain voisin	0°	-	5 cm	6°C	quelques rosettes reverdissantes

En été, les températures deviennent très élevées, surtout dans les zones nues. L'absorption d'une partie du rayonnement solaire par des végétaux en touffes suffisamment volumineuses, permet seule le maintien de conditions thermiques modérées à la surface du terril (tableau 4).

Tableau 4 : Températures enregistrées sur la pente S-SO du terril 85 de Hénin-Beaumont en juin 1975 (température de l'air : 28°C).

Profondeur	Substrat nu	Substrat couvert par une touffe de *Rumex scutatus*
2 cm	46°C	28°C
5 cm	32°C	26°C
10 cm	29°C	23°C

Plus que l'élévation de température, il faut souligner l'importance des durées pendant lesquelles le substrat est maintenu à ces températures. RICHARDSON (1958) a suivi pendant 19 jours successifs de juillet 1953 les températures d'une pente (30°S) d'un terril du Comté de Durham, il a obtenu les résultats suivants :

température maximale moyenne journalière : 51°C (45°C à 57°C)

durées moyennes journalières en heures
- températures comprises entre 45°C et 50°C : 4 h 30
- températures supérieures à 50°C : 2 h 30.

aussi dans ces conditions, les nombreuses germinations constatées l'hiver disparaissent-elles l'été suivant .

Lorsque la combustion intervient, la température du substrat peut être considérablement élevée et interdire toute vie (température > 100° en surface et pouvant atteindre 600 à 700° à moins de 1 mètre de profondeur). Quand le foyer est plus profond la température du substrat peut alors convenir à certaines espèces thermophiles (tableau 5).

Tableau 5 : Températures relevées dans la zone radiculaire de Chenopodium pumilio, sur le terril n° 119 de Ostricourt.

Profondeur	Température
5 cm	36°C
10 cm	49°C
15 cm	53°C

d - la sécheresse superficielle : la grande perméabilité du substrat et sa faible rétention en eau, conséquences de la texture grossière, la température qui s'élève rapidement, sont responsables de la sécheresse superficielle fréquente du terril durant la période estivale. Pour les mêmes raisons, les remontées de l'eau par capillarité sont faibles, aussi quelques jours de chaleur suffisent-ils pour flétrir les plantes à enracinement peu profond.

RICHARDSON et GREENWOOD (1967) étudiant l'humidité d'un terril du bassin de Durham en Angleterre, montrent que le pF (logarithme du potentiel matriciel*),qui est en rapport avec les possibilités pour la plante d'absorber l'eau du sol, est en surface et à faible profondeur souvent très élevé (pF supérieur à 4,2, point de flétrissement permanent** (tableau 6)).

* *le potentiel matriciel est la diminution de l'énergie libre de l'eau retenue par le sol par rapport à l'eau de gravité (qui s'écoule librement). Il se mesure en terme de pression et s'exprime commodément par son logarithme (pF). L'eau du sol dans ses rapports avec les végétaux dépend essentiellement du pF.*

** *le point de flétrissement permanent est la quantité inférieure de l'eau absorbable par les racines, elle ne dépend pas de la plante mais du type de sol et correspond à un pF de 4,2 (16 atmosphères).*

Tableau 6 : Pourcentage des valeurs du pF supérieures à 4,2. (Les prélèvements ont été effectués chaque semaine durant une année.) d'après RICHARDSON et GREENWOOD.

Orientations	Profondeurs			
	Surface	2-3 cm	6-7 cm	13 cm
SO	69	53	25	19
SE	63	48	37	30
NE	64	44	15	5,5
NO	65	46	17	13

Le tableau 6 montre en outre qu'en surface le dessèchement est identique quelle que soit l'orientation, par contre plus en profondeur les pentes se différencient : on observe un gradient de xéricité décroissante du Sud-Est au Nord-Est, en passant par les pentes Sud-Ouest et Nord-Ouest.

La combustion est également un facteur de grande sécheresse du substrat. Cependant, elle favorise parfois la remontée de l'eau sous forme de vapeur qui se condense en surface. La chaleur et l'humidité constante provoquent alors un véritable forçage naturel des plantes présentes sur de tels milieux.

Les terrils possèdent en effet des réserves d'eau, parfois suffisamment importantes, pour alimenter de petites sources qui jaillissent à leur pied.

2) LES CARACTERES CHIMIQUES :

a - <u>nature pétrographique et minéralogique des terrils</u> : si les roches constituant les terrils sont identiques sur toute l'étendue du bassin (schistes, grès, schistes gréseux, carbonifères), leur proportion varie. Certains terrils sont particulièrement riches en grès alors que d'autres sont presque exclusivement composés de schistes. La présence de charbon résiduel est également un facteur de variation. Certains terrils antérieurs à 1920, possèdent encore jusqu'à 30 % de charbon, alors que d'autres plus récents, et en particulier ceux recevant les "terres de lavoir", en contiennent de 10 à 15 %. Ces derniers peuvent par contre être enrichis en produits lourds (barytine, magnétite) nécessaires à la préparation des liquides denses, utilisés pour séparer les schistes, des charbons.

La composition minéralogique des schistes houillers est également variable, du Nord au Sud pour le Namurien (ATTAIE BOURHAN, 1970) et suivant le niveau stratigraphique. BOUROZ (1964) montre que le Westphalien A est beaucoup plus riche en illite (33 %) que le Westphalien B et C (6-7 %). D'après cet auteur, la composition minéralogique moyenne des schistes Westphaliens est la suivante :

- Quartz..... 32,5 %
- Illite..... 13 %
- Illite-Muscovite..... 16 %
- Muscovite..... 5 %
- Kaolinite..... 22 %
- Feldspath..... 2,3 %
- Chlorite..... 2 %
- Sidérose..... 2 %
- Calcite..... traces.

Ces considérations montrent qu'il est logique de s'attendre à des variations du chimisme des terrils en fonction des régions ou du niveau d'exploitation. Ainsi, l'assise de Bruay (Westphalien C) est absente à l'Est du bassin, à partir de Douai. Certains terrils sont composés presque exclusivement de roches d'un même niveau, comme le terril 173bis de Vicoigne (Namurien), ou le terril 216 de Avion (Siluro-Dévonien). Mais ces cas sont exceptionnels car généralement différentes assises sont exploitées successivement ou simultanément. Aussi ces variations connues de la roche en place, sont-elles délicates à considérer quand on parcourt un terril.

b - <u>les conditions nutritionnelles</u> : afin de préciser les conditions nutritionnelles du substrat, des prélèvements ont été effectués sur différents terrils du bassin houiller, à des endroits colonisés ou non par les végétaux. Les échantillons séchés à l'air et tamisés à 2 mm, ont été traités selon les méthodes classiques d'études des sols (DUCHAUFOUR, 1970 ; CHAPMAN et PRAT, 1961).

Le pH, mesuré sur un mélange agité eau/sol (rapport 2,5/1) est très variable. Certains terrils sont franchement acides (pH = 3,1), d'autres basiques (pH = 8,2). Une acidification de la surface du substrat s'observe, dans certains cas, avec le vieillissement. Si parfois la combustion provoque une chute importante du pH comme l'a signalé GHIO (1975), plus généralement cette diminution se limite à quelques dizièmes d'unité.

Des mesures du pH effectuées dans KCl N/10 montrent l'existence d'une acidité d'échange parfois très importante (1 à 2 unités).

Le carbonate de calcium, dosé au calcimètre Bernard est en très faible quantité dans les sols de terrils (< 0,5 %). Quelques terrils situés à l'Ouest du bassin sont un peu plus riches (1 %). Ce fait semble en relation avec la proximité des collines crayeuses de l'Artois et la possibilité d'un apport de poussière carbonatée par le vent.

La capacité totale d'échange (T) mesurée par percolation à l'acétate d'ammonium (N, pH 7) varie pour un échantillonnage de substrats nus ou diversement colonisés de 9, 25 à 26 meq/100 grammes de sol.

La somme (S) des cations échangeables recueillis dans le percolat d'ammonium, montre que le complexe absorbant est généralement saturé, sauf dans le cas des "sols" les plus acides où la saturation n'est que de 45 à 90 %.

Le dosage des cations échangeables que nous avons réalisé par spectrophotométrie d'émission (K, Na) et d'absorption atomique (Ca, Mg, Mn) a donné les résultats suivants (tableau 7).

Tableau 7 : Cations échangeables des "sols" de terrils.

		Valeurs moyennes	Valeurs extrêmes
Ca	meq/100g de sol	14,96	5 - 43
K	meq/100g de sol	0,74	0,1 - 2,1
Na	meq/100g de sol	0,17	0,08 - 0,48
Mg	meq/100g de sol	2,79	0,16 - 6,87
Mn (en ppm)		15,6	1 - 42
Mg/Ca		0,21	0,01 - 0,62

Les valeurs moyennes de Ca, K, Na échangeables sont assez voisines de celles des sols cultivés ou des sols forestiers. Si le taux moyen de Mn échangeable est un peu faible, celui de Mg échangeable est lui, nettement supérieur à la normale (les sols de culture régionaux possèdent environ 0,5 meq/100 g de sol,de Mg).

L'observation des valeurs extrêmes montre que les résultats obtenus sont très dispersés, néanmoins, sur un même terril les valeurs sont généralement voisines. La combustion du substrat est marquée par des taux de K échangeable nettement supérieurs à la moyenne.

L'azote total déterminé par la méthode Kjeldahl, est assez abondant. La valeur moyenne est de 0,31 %.

La combustion des roches est à la fois responsable des faibles teneurs (0,02 % dans les schistes brûlés), et des fortes teneurs (0,76 % dans le substrat chaud et humide proche des zones en combustion active). Des valeurs également élevées, ont été trouvées dans le sol de friches à *Calamagrostis epigeios* et *Pteridium aquilinum*. Le substrat nu, n'ayant jamais été colonisé, contient une quantité appréciable d'azote. CORNWELL et STONE 1968, trouvent dans les diverses roches composant les terrils des mines d'anthracite de Pennsylvanie, de 0,1 à 0,54 % d'azote total, les teneurs les plus élevées caractérisant les schistes noirs acides (pH 2,8-3,9). STEVENSON (1960) et SOUTHARD (1963), analysant cet azote fossile de divers schistes charbonneux, montrent qu'il est surtout sous forme ammoniacale.

L'azote ammoniacal ($N-NH_4$) et l'azote nitrique ($N-NO_3$) extraits par KCl N et dosés successivement par la méthode DROUINEAU et GOUNY donnent les résultats* moyens suivant (tableau 8).

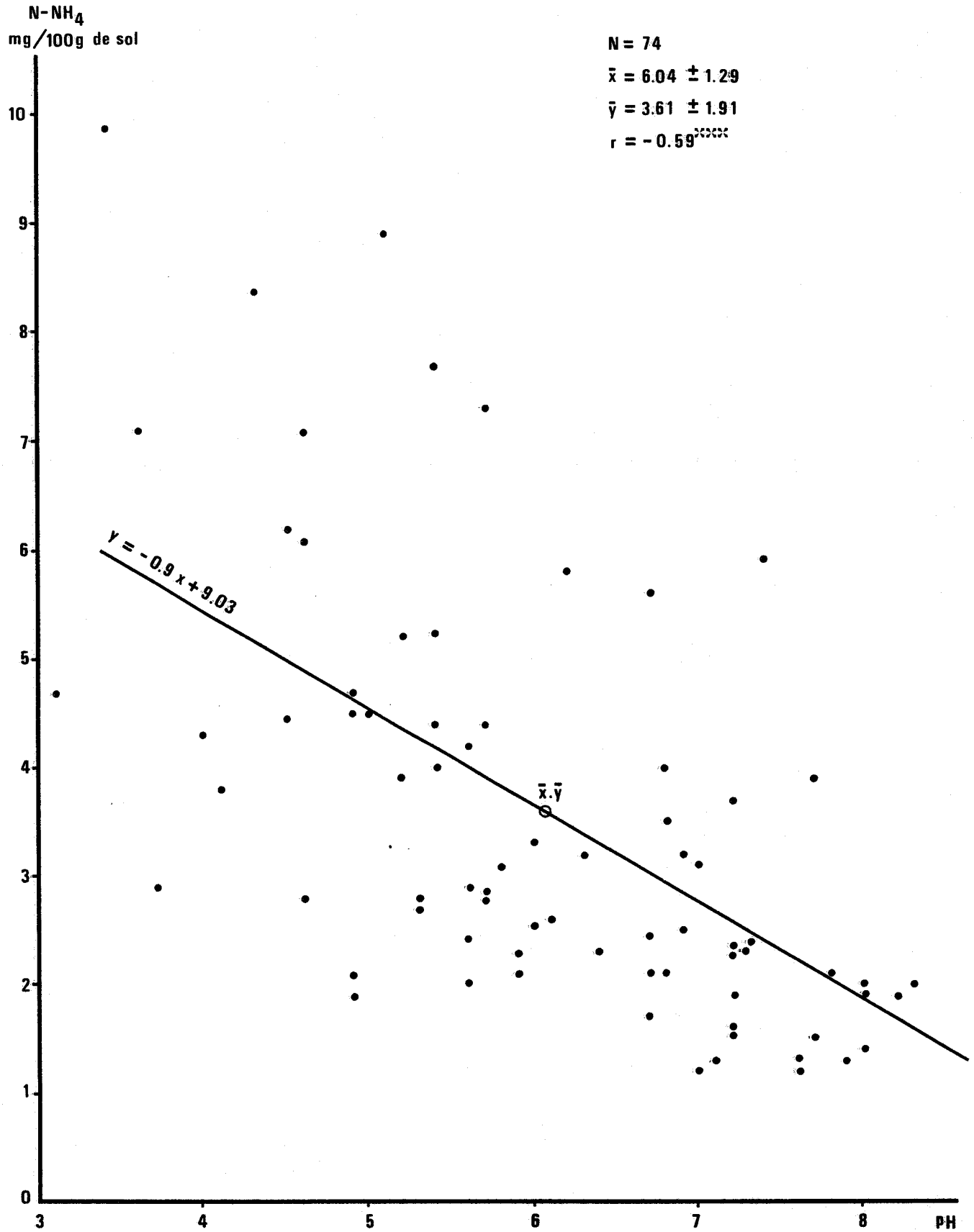
Tableau 8 : Teneurs en azote ammoniacal et nitrique des "sols" de terrils.

	Valeurs moyennes mg/100 g de sol	Valeurs extrêmes mg/100 g de sol
$N - NH_4$	3,61	1,26-14,28
$N - NO_3$	1,62	0,35-14,49

$N-NH_4$ est donc plus représenté dans le substrat que $N-NO_3$, il s'y trouve à des taux très voisins de ceux des terres de culture. Le taux moyen de $N-NO_3$ est par contre très faible. Les valeurs les plus élevées sont rencontrées dans les échantillons provenant de zones en combustion. Partant de l'observation et de l'analyse

* *Les teneurs en azote minéral varient beaucoup en fonction de la température, de l'humidité donc des saisons. Tous les prélèvements ayant été effectués durant une période brève, l'ensemble de ces résultats donne une image instantanée et comparative des teneurs en $N-NH_4$ et $N-NO_3$ sur les différents terrils.*

Figure 6 : Relations entre les teneurs en azote ammoniacal et le pH dans le substrat terril.



foliaire de *Betula populifolia* colonisant les divers types de substrat des terrils de Pennsylvanie, CORNWELL et STONE montrent également que les schistes noirs acides libèrent une grande quantité d'azote ammoniacal, ce qui retentit au niveau de la teneur en azote des feuilles de bouleau. Ces auteurs expliquent ce fait par une destruction rapide des silicates en milieu très acide, favorable à la libération d'une grande quantité de l'azote fixé.

Sur les terrils du Nord de la France, l'étude de l'azote total, ammoniacal et nitrique échangeables, en fonction du pH, montre qu'il existe une corrélation nette entre le pH et N-total ($r = -0,33$; $p < 0,01$) et entre le pH et $N\text{-}NH_4$ ($r = -0,59$; $p < 0,001$) (figure 6). Ceci confirme et élargit les résultats des auteurs américains. L'absence de corrélation entre pH et $N\text{-}NO_3$ ($r = + 0,05$) montre par contre l'origine différente de cette forme d'azote qui est plutôt sous la dépendance de l'activité microbiologique du substrat et de la colonisation végétale.

Le carbone organique déterminé par la méthode Anne varie de 7 à 8 % pour le substrat nu, de 22 à 24 % dans les zones colonisées. Le rapport C/N constamment très élevé, reflète la faible décomposition et l'accumulation de matière organique dans l'horizon supérieur dès que les végétaux se sont installés.

Le phosphore extractible à l'acide trichloracétique à 0,5 %, et dosé par colorimétrie (6600 A) sous forme de complexe phosphomolybdique, a une teneur moyenne relativement faible (0,08 %) alors que la teneur des sols cultivés est d'environ 0,2 %. Les teneurs les plus faibles sont notées sur les terrils les plus acides (0,003 - 0,009 %) les taux les plus forts caractérisent les zones en combustion (0,09 - 1,2 %).

Les sulfates extractibles à l'eau et dosés par gravimétrie ont des teneurs très faibles parfois non décelables par la méthode, seuls certains échantillons provenant de zones en combustion en sont bien pourvus (0,5 %).

Nos résultats sont très proches de ceux trouvés par DENAEYER et P. DUVIGNEAUD (1971) lors de l'étude géochimique du terril n° 7 de Chapelle-lez-Herlaimont en Belgique. Ces auteurs ont en outre étudié le fer total (370-460 ppm), certains oligoéléments, le zinc total (110-300 ppm), le Mn total (370-460 ppm) et le cuivre qui se trouve à l'état de traces indosables.

Les analyses chimiques du substrat terril montrent donc que d'un point de vue nutritif ce milieu n'est pas aussi défavorable qu'on pourrait le penser. D'une manière générale les différents cations et anions nécessaires au développement

des végétaux sont présents en quantité suffisante (sauf pour ce qui est du phosphore et de l'azote nitrique). Aussi DENAEYER DE-SMET et P. DUVIGNEAUD (1971) écrivent à ce sujet : "En dépit de leur texture grossière, les sols du terril sont donc chimiquement assez voisins des sols forestiers naturels". On peut cependant noter un déséquilibre dans le rapport de certains cations (ex : Mg/Ca).

La variabilité des teneurs assimilables de chaque élément et leur combinaison aboutissent à un éventail très large de conditions nutritionnelles plus ou moins favorables au développement de groupements végétaux.

3) EVOLUTION DU SUBSTRAT : LA NAISSANCE D'UN SOL :

Durant les premières dizaines d'années, sous l'effet des facteurs climatiques, le substrat superficiel évolue dans sa texture, par une réduction et une dégradation des éléments schisteux. Dès que la couverture végétale devient suffisante, une mince couche de matière organique mal décomposée apparaît en surface. Sous cette couche humique qui va se développer avec le temps, un horizon correspondant à la zone racinaire, se différencie du substrat sous-jacent encore typiquement noir et caillouteux, par une teinte brune ou grisâtre et une plus grande richesse en éléments fins. Le profil suivant relevé sur le terril n° 197 de Thivencelle, est caractéristique des zones les plus âgées des terrils, généralement couvertes d'une végétation rase où les espèces à rosette basale et les mousses dominent :

0 - 5 cm : horizon brun-clair, où la matière organique, mal décomposée est mélangée à la matière minérale devenue pulvérulente ;

5 - 12cm : horizon noir riche en racines, les éléments fins dominent mais les plaquettes schisteuses de quelques centimètres sont encore fréquentes ;

< 12cm : substrat caillouteux noir.

Le substrat soumis à la combustion, profondément modifié dans sa nature physique et chimique, peut conduire à une plus grande différenciation du sol. Nous prendrons en exemple le profil réalisé sur le terril n° 126 de Somain sous une pelouse à *Agrostis tenuis* et *Hieracium pilosella* :

0 - 7 cm : horizon brun très dense en racines, riche en matière organique et en matière minérale pulvérulente ;

7 - 8 cm : horizon blanchi par le départ de la matière organique ;

8 - 16cm : horizon brun-noir moins dense en racines, surtout composé d'éléments fins ;

16 - 36cm : horizon noir avec zones blanchies, interstratifiées, les éléments fins englobent les fragments schisteux (5 cm) encore abondants ;

< 36cm : substrat rouge, la roche est décomposée, la texture caillouteuse disparaît au profit d'une texture plus argileuse.

Les terrils les plus âgés qui se sont boisés rapidement, comme le terril n° 173 inclu dans la forêt de Raismes, montrent les profils les plus évolués :

0 - 3 cm : horizon organique de couleur brune, bien décomposé ;

3 - 13cm : horizon gris-noir, très riche en racines. Structure grumeleuse avec rares plaquettes schisteuses (< 1 cm), quelques plaquettes gréseuses encore présentes ;

13 - 20cm : horizon noir plus riche en plaquettes schisteuses, les racines y sont moins denses ;

> 20cm : horizon rouge (ce terril a brulé), la roche est plus ou moins décomposée. La structure schisteuse est encore apparente.

C. LES INTERACTIONS BIOTIQUES

L'étude des relations existant entre les êtres qui vivent sur le terril, représente en fait une partie importante de ce travail. Les résultats seront donc donnés par la suite ; néanmoins, quelques idées générales sur les interactions biotiques seront présentées ici.

Les relations entre végétaux sont durant le stade pionnier du type dépendance : le végétal pionnier permettant l'arrivée d'autres espèces moins spécialisées. Puis apparaîssent les phénomènes de compétition pour l'espace, par la réduction des aires de germination, l'existence d'une strate dominante et d'une strate dominée. Des contraintes nouvelles s'instaurent quant à l'absorption des éléments biogènes, de l'eau et la réception de l'énergie lumineuse. L'évolution des rhizosphères et de certains de leurs effets (autotoxie, télétoxie) seraient également à prendre en considération.

Les animaux jouent dans ce milieu un rôle très important :

- en freinant l'installation végétale. Ces zones sont relativement peu visitées par l'homme, aussi sont-elles le refuge de lièvres et de lapins qui en hiver et au printemps broutent certaines plantes au fur et à mesure de leur croissance jusqu'à les faire disparaître. Le déséquilibre est rapidement atteint dans cet écosystème naissant ;

- en favorisant l'implantation de végétaux. Les animaux et en particulier les oiseaux, sont les vecteurs de certaines semences. Il n'est pas rare d'observer le développement de jeunes chênes à partir de glands échappés du bec de corvidés.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Les terrils représentent donc globalement des milieux difficiles :

- par leurs facteurs physiques (texture grossière et mobilité, échauffement et sécheresse) qui sont déterminants ;
- par leurs facteurs chimiques surtout caractérisés sur certains terrils, par le déséquilibre existant entre les principaux éléments biogènes assimilables (Mg, Ca, K, P, N, S).

Par la variabilité des conditions écologiques réalisées sur ces surfaces neuves disséminées sur deux départements et laissées à elles-mêmes après les derniers dépôts, les terrils vont :

- permettre le maintien, le développement de populations végétales et de certains groupements végétaux ;
- révéler parmi les espèces indigènes les aptitudes écologiques cachées de certaines d'entre elles ;
- ajouter une note de diversification des paysages et du patrimoine floristique régional.

Les terrils constituent des milieux d'une importance certaine à l'échelle d'une région soumise depuis des siècles au travail intense de l'homme agriculteur puis industriel, et où les espaces naturels ne représentent plus que quelques pour cents du territoire.

DEUXIEME PARTIE : LES DIVERS ASPECTS DE LA COLONISATION DES TERRILS PAR LES VEGETAUX

CHAPITRE I : METHODOLOGIE

La technique utilisée pour l'étude de la végétation a été celle des relevés phytosociologiques effectués suivant la méthode maintenant classique de l'école zuricho-montpelliéraine (BRAUN-BLANQUET, 1932 ; REYNAUD-BEAUVERIE, 1936 ; GOUNOT, 1969 ; GUINOCHET, 1973) : dans une formation homogène, toutes les espèces présentes sur une surface suffisamment représentative de la formation (aire minimale), sont notées. Divers coefficients sont annexés à chaque espèce :

- un premier coefficient, d'ABONDANCE-DOMINANCE*, correspondant à un certain pourcentage de surface au sol couverte par une espèce, dans le périmètre étudié ;
- un second coefficient, de SOCIABILITE**, donnant une idée de la répartition horizontale de chaque espèce sur la surface étudiée.

La faible vigueur d'une espèce peut être notée par un signe distinctif ajouté à ces deux coefficients : ex. +2°.

Echelles de BRAUN-BLANQUET

* *Coefficient d'Abondance-dominance*

Recouvrement	*75 à 100 %*	*Coefficient*	*5*
"	*50 à 75 %*	"	*4*
"	*25 à 50 %*	"	*3*
"	*5 à 25 %*	"	*2*
"	*< 5 %*	"	*1*
Quelques individus		"	*+*
un seul individu		"	*i*

** *Coefficient de Sociabilité*

Plantes en peuplement	*Coefficient*	*5*
Plantes en petites colonies	"	*4*
Plantes en troupes	"	*3*
Plantes en groupes	"	*2*
Plantes isolées	"	*1*

Les deux critères nécessaires à la réalisation de relevés significatifs (homogénéité et aire minimale), ont été au départ de cette étude, difficiles à appliquer. La végétation d'un terril apparaît au premier abord incohérente. Ceci est dû aux nombreuses variations des conditions de milieu (texture, pente, âge...) et de leur intrication. Durant les stades pionniers, une formation est en fait la somme de diverses populations souvent monospécifiques, dispersées sur une certaine étendue, le relevé doit alors être effectué sur une grande surface. Le risque est grand d'englober dans ce relevé des unités végétales plus anciennes (dépôts plus anciens) ou à dynamisme plus rapide (zone originellement stable). Dans une formation fermée le puzzle des populations de diverses espèces peut être interprété comme le résultat d'une concurrence sur un milieu homogène, ou au contraire comme une mosaïque révélant un déterminisme écologique multiple et illustrant parfaitement la notion de complexe de groupements (Gesellschafts-komplex) définie par BRAUN-BLANQUET dès 1928 (GEHU, 1977). Aussi, une formation physionomiquement uniforme à l'échelle d'une pente peut se révéler composite dès que l'on descend dans l'échelle de l'observation.

Une période d'adaptation à ce milieu si particulier qu'est le terril, a été nécessaire. Elle a permis "la reconnaissance préalable des combinaisons floristiques", étape première de tout travail phytosociologique (BRAUN-BLANQUET, 1959). Des critères dynamiques, structuraux, édaphologiques et biologiques ont été utilisés afin de cerner le plus possible la notion d'homogénéité des relevés.

Les relevés traités par la méthode des tableaux décrite par REYNAUD-BEAUVERIE (1936) et ELLENBERG (1956) ont permis de distinguer un certain nombre d'entités sociologiques, leur confrontation aux données bibliographiques a conduit à la définition ou à la reconnaissance de diverses associations et groupements.

L'association est définie par GUINOCHET (1973) comme "une combinaison originale d'espèces dont certaines, dites caractéristiques, lui sont plus particulièrement liées, les autres étant qualifiées de compagnes". Caractéristiques et compagnes formant "l'ensemble spécifique normal" qui confère à l'association son "individualité floristique". Cette définition rejoint l'idée première de BRAUN-BLANQUET qui écrivit dès 1915 : "l'association doit être caractérisée par l'ensemble de ses éléments floristiques".

A l'intérieur de l'association, unité phytosociologique, des groupes de relevés ont parfois une composition floristique qui s'écarte de la combinaison spécifique type, par la possession d'espèces dites -différentielles-. Sont alors définies des sous-unités de l'association, qualifiées diversement selon les auteurs (DUVIGNEAUD P., 1946 ; TUXEN, 1937) et suivant les facteurs écologiques sous-jascents à ces variations. Dans notre étude, la terminologie suivante a été utilisée :

- la race : variation stable de la combinaison floristique liée à la distribution géographique des espèces (qui peut être historique ou climatique) ;
- la sous-association : variation stable de la combinaison floristique liée à la richesse du milieu (trophisme) ;
- la forme : variation stable de la combinaison floristique liée à l'humidité du substrat ;
- la variante : variation stable de la combinaison floristique liée à l'existence d'un facteur écologique supplémentaire (texture du substrat, microclimat, facteur anthropogène...) ;
- la phase : variation réversible de la combinaison floristique liée à l'évolution interne (ex : structure horizontale) d'une association en équilibre ;
- le stade : variation irréversible de la combinaison floristique dûe à un dynamisme progressif ou régressif ;
- le faciès : variation aléatoire et réversible de la combinaison floristique dûe à la prolifération de certaines espèces.

La dénomination plus générale de groupement a été donnée à des combinaisons floristiques :

- interprétées comme des stades dynamiques d'autres associations ;
- définies par un nombre de relevés insuffisants ;
- représentant une image fragmentaire de l'association ;
- méritant une étude plus approfondie débordant généralement le cadre des terrils.

CHAPITRE II : LA VEGETATION PIONNIERE

Une plante pionnière se définit par son aptitude à se développer dans un milieu vide de végétation. Ce milieu peut être hospitalier tel un champ que l'on vient de labourer, la plante pionnière est alors celle qui est capable de se développer avant toutes les autres. Le milieu peut au contraire présenter un ou plusieurs facteurs donnant des conditions extrêmes à la vie végétale, la plante pionnière doit alors être adaptée ou posséder une grande amplitude écologique vis-à-vis du ou des facteurs considérés. Elle subit une concurrence très faible, aussi tend-elle à occuper tout l'espace nu et à donner rapidement des populations importantes.

Après la conquête du sol nu, la végétation pionnière est transitoire ou permanente. Elle est transitoire lorsqu'elle s'insère dans une série dynamique, le stade pionnier n'existe alors que le temps nécessaire à l'arrivée de la concurrence. Celle-ci s'exerce très tôt quand le milieu est originellement favorable, mais elle est parfois subordonnée à la modification de ce milieu, par la végétation elle-même (ex : formation d'un microsol), ou par un facteur comme le climat (ex : lessivage d'éléments nocifs). Le stade pionnier devient permanent lorsque les conditions défavorables sont maintenues ou continuellement renouvelées : c'est le climax (ex : la végétation désertique ou celle de l'estuaire qui subit à chaque marée un réajustement de sa salinité).

Sur les terrils ces deux types de stade pionnier peuvent être distingués, par exemple :

PLANCHE III : VEGETATION HERBACEE PIONNIERE DES PENTES MOBILES

Photo 1 :

Fixation de la pente SO du terril n° 102 de Noyelles-Godault par le *Resedo-Rumicetum scutati*, des dépôts plus récents ne sont pas encore colonisés.

Photo 2 :

Resedo-Rumicetum scutati forme fraîche à *Tussilago farfara* de la pente O, riche en éléments fins du terril n° 93 de Harnes.

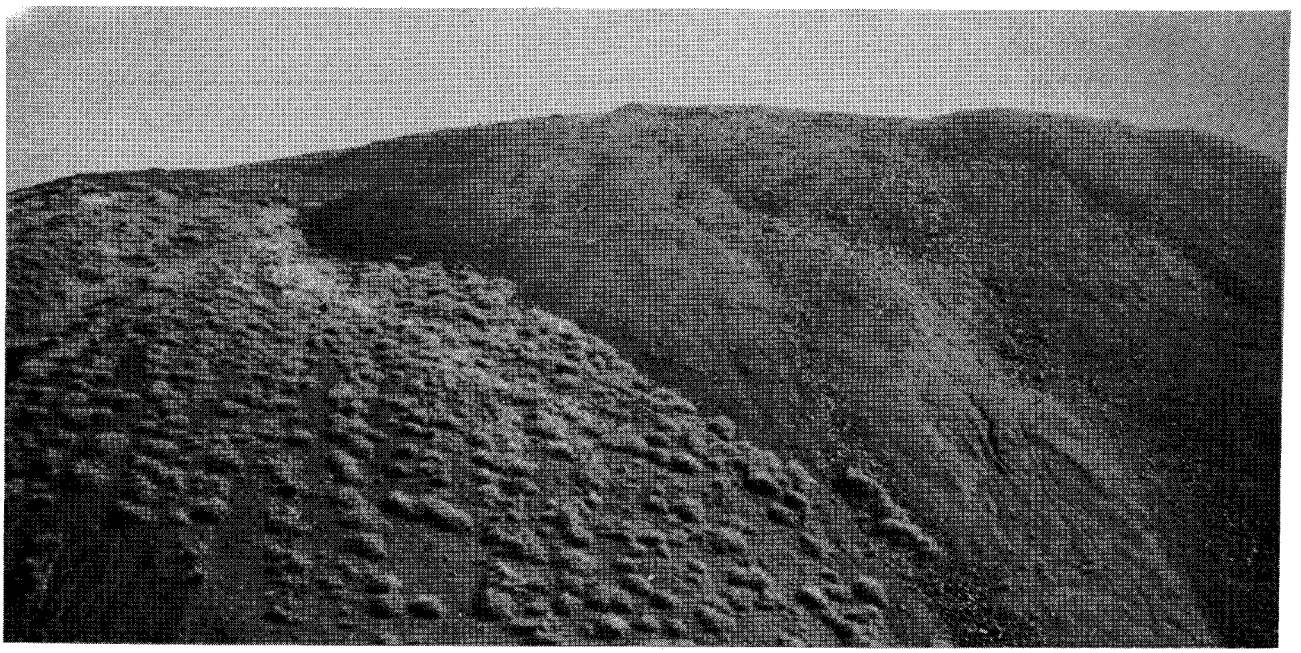
Photo 3 :

Rumex scutatus L.

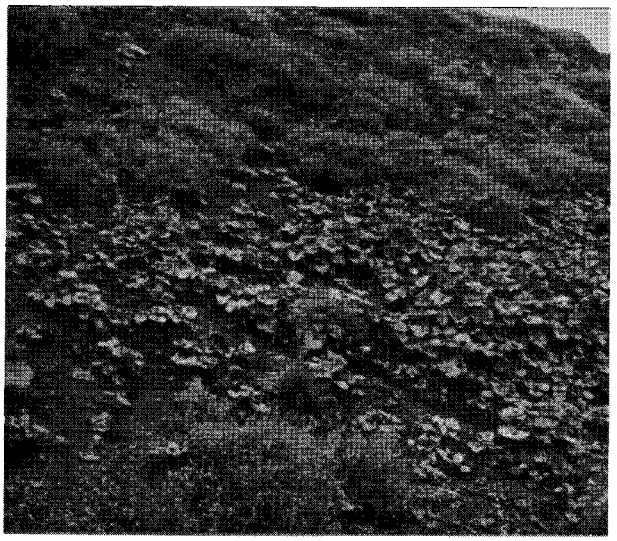
Photo 4 :

Resedo-Rumicetum scutati évoluant dans les zones les plus stables vers les friches élevées (face E du terril n° 84 de Rouvroy).

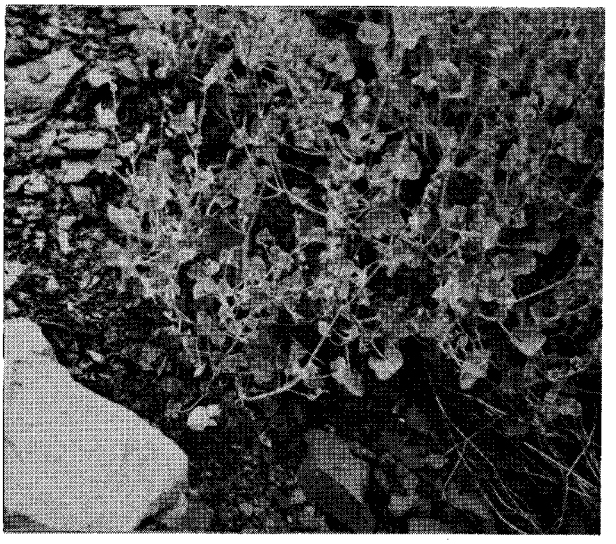
PLANCHE III



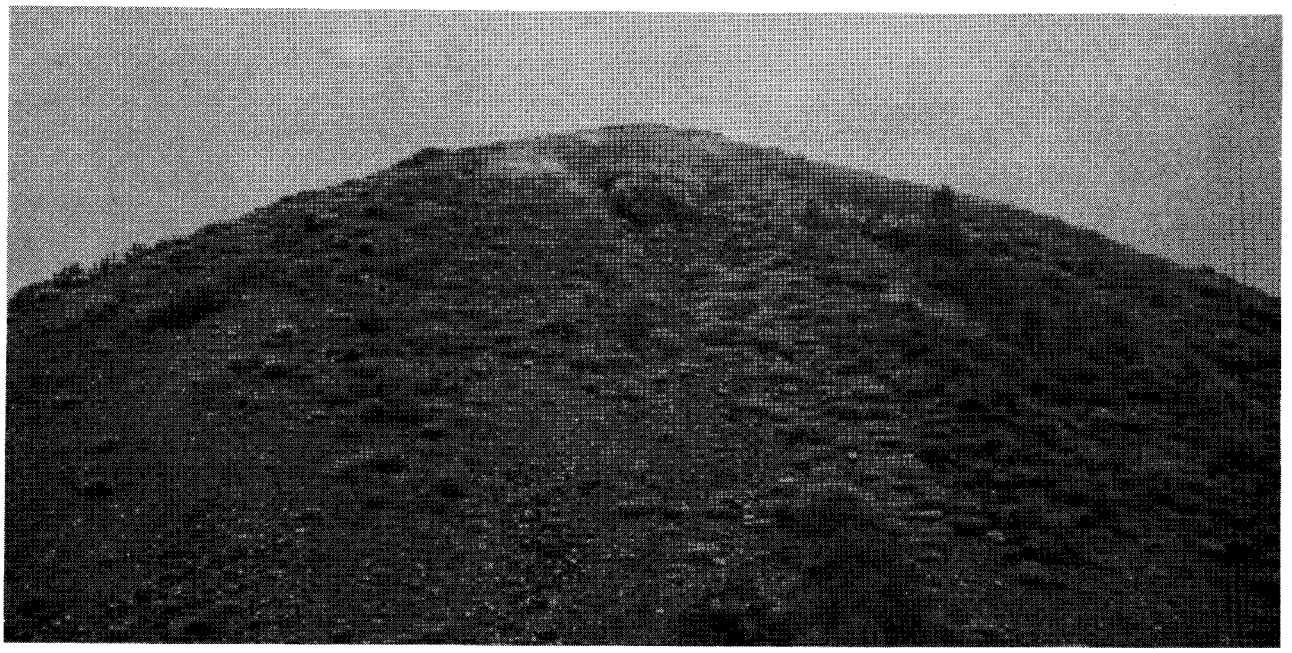
1



2



3



4

- sur les pentes mobiles, la végétation pionnière est transitoire car elle est capable de corriger le milieu en fixant une portion de pente et en permettant ainsi l'arrivée des stades dynamiques suivants. Ce cas, le plus général, s'insère dans une série primaire ;

- sur les zones en combustion, la végétation pionnière devient permanente car elle est incapable de modifier le facteur limitant. On peut alors considérer que la formation pionnière est climacique durant l'existence du foyer de combustion (parfois plusieurs dizaines d'années).

Dans ce chapitre II, nous allons analyser successivement la végétation pionnière des pentes mobiles bien développées sur les terrils coniques, puis celle des pentes stabilisées et des terrils plats. Le chapitre III traitera des stades dynamiques plus avancés vers le climax, les groupements des zones en combustion feront l'objet du chapitre IV. Enfin, le dynamisme général de la végétation des terrils sera étudié dans le chapitre V.

A. LA FIXATION DES PENTES MOBILES

La colonisation et la fixation des pentes mobiles des terrils suivent un mode bien précis. Quelques années après le dernier dépôt, ces éboulis artificiels sont envahis par une ou deux espèces végétales, variables selon les terrils. Le recouvrement, faible au départ (< 5 %), peut dans certains cas devenir rapidement très important (> 50 %). L'examen des nombreux terrils du bassin a montré que peu de végétaux sont en fait capables de s'installer précocement sur ces pentes :

- *Reseda lutea*, la plus fréquente des espèces pionnières est capable de peupler rapidement de vastes surfaces. DEBEHAULT (1969) donne cette plante comme "la plus adaptée aux milieux les plus difficiles" sur les terrils belges. Egalement observée par REVA et BAKLANOF (1972) sur les terrils du Dombass en Ukraine, cette espèce a donc une large répartition. On la rencontre d'ailleurs en tant que compagne constante sur les éboulis calcaires, dans diverses régions françaises (DUVIGNEAUD J. et Coll., 1970 ; FRILEUX, 1966 ; ROYER et RAMEAU, 1971).

- *Rumex scutatus* joue également un rôle important dans la fixation des pentes de terrils. Dans le Nord de la France, on le rencontre actuellement sur les terrils du centre du bassin, mais l'aire potentielle de cette espèce dans la région est certainement tout le bassin minier. Cette plante commune des pierriers des montagnes européennes, possède une capacité à vivre sur les milieux mobiles bien supérieure à celle de *Reseda lutea*, de plus sa nature perennante la rend très efficace dans la rétention du substrat.

Epilobium angustifolium, végétal pionnier des clairières et des coupes forestières, *Tussilago farfara*, également pionnier sur les terrains marneux ou argileux mis à nu, participent parfois avec les deux premières espèces citées à cette colonisation précoce. Enfin, il faut signaler durant l'été l'apparition possible de *Galeopsis angustifolia* bien connu des éboulis calcaires.

Ce stade pionnier est ensuite complété par l'arrivée plus ou moins rapide d'une seconde vague d'espèces comme *Senecio viscosus, Diplotaxis tenuifolia, Picris hieracioides, Echium vulgare, Hieracium lachenalii* qui forment des colonies plus modestes.

Sur les terrils qui sont en combustion ou qui l'ont été, les pentes mobiles accueillent en plus des espèces déjà citées *Rumex crispus, Matricaria maritima, Polygonum lapathifolium*...

Cette combinaison des espèces herbacées des pentes mobiles constitue une association originale des terrils : le *Resedo-Rumicetum scutati*.

Sur les terrils proches de zones boisées, le bouleau (*Betula pendula*) est l'espèce pionnière principale, elle forme également avec quelques compagnes un groupement particulier.

1) LE *RESEDO-RUMICETUM SCUTATI* ASS. NOV. (PLANCHE III) :

a - <u>composition floristique (tableau 8')</u> : cette association caractérisée par *Rumex scutatus* et *Reseda lutea* possède un noyau d'espèces de l'ordre des *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Tx 43 em. Görs 66, en particulier de l'alliance du *Dauco-Melilotion* Görs 1966. Elle est cependant nettement différenciée des autres associations de cette alliance par la présence de *Senecio viscosus, Linaria repens, Centhrantus ruber, Arabis arenosa, Clematis vitalba, Linaria supina, Chaenorrhinum minus*. On peut distinguer dans cette association :

TABLEAU 8 : RESEDO-RUMICETUM SCUTATI

Types biologiques	Numéro du terril	102	98	111	93	111	111	102	110	84	111	205	34	107	142	93	103	87	93	142	104	102	102	153	102	103	152	90	90	90	84	152	14	13	97	103	85	14	97	97	43	85	85	160	85	85	83	83	82	82	59	82	101	101	101	101	59	86	9	86	83	Classes de présence
	Numéro du relevé	1	5	17	2	6	2	4	2	1	14	1	2	2	5	1	8	5	3	4	4	5	6	2	8	10	1	12	8	9	3	5	3	1	1	9	2	2	3	4	4	7	11	2	8	5	2	3	4	7	1	2	3	1	2	6	2	6	3	14	5	
	Pente en degrés	40	45	40	45	30	20	70	25	30	45	30	30	25	25	30	30	40	30	25	25	45	45	30	40	30	35	30	30	30	25	30	40	25	40	30	30	30	40	40	35	30	30	30	45	30	25	45	25	30	45	30	45	45	45	30	40	45	30	30	40	
	Orientation	S	S	N	ONO	NE	NE	SO	ESE	ONO	SO	NE	N	NE	NE	ONO	NO	ONO	NO	NE	N	O	SO	SE	N	NO	S	S	S	S	ONO	O	O	ONO	S	NO	SE	O	NE	NE	NE	ESE	O	S	NE	SE	SO	S	S	S	E	NO	ENE	ENE	ENE	E	E	SSE	SE	E	O	
	Surface en m^2	100	400	200	100	100	100	100	100	10	400	100	100	50	100	50	100	100	100	25	100	100	100	100	25	50	100	25	100	100	100	100	100	100	400	100	100	100	100	100	100	100	100	100	20	100	100	100	100	400	100	100	900	100	25	100	900	100	100	100	
	Recouvrement %	50	60	30	60	60	70	40	25	100	50	50	50	50	70	80	50	70	100	60	100	50	90	25	50	40	20	30	60	60	20	50	20	10	50	60	40	20	80	80	70	20	50	30	40	60	80	100	80	80	40	60	80	15	100	60	60	10	80	80	80	
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION																																																																
H	*Reseda lutea L.*	+	.	.	1.1	3.3	+	+	2.2	2.2	+	2.2	1.1	.	+	+	.	+	+	1.1	.	+	+	+	+	.	.	+	+	+	.	1.1	+	+	+	.	+	+	1.1	+	+	1.1	+	+	2.2	.	.	.	.	2.2	3.3	2.2	1.1	.	.	1.1	1.1	+	2.2	IV
H	*Rumex scutatus L.*	3.3	2.2	.	3.3	.	.	3.3	.	2.2	.	2.2	.	.	2.2	.	.	.	2.2	1.1	5.5	4.4	5.5	.	3.3	1.2	.	.	4.4	+	.	.	.	.	2.3	+	3.3	.	2.2	2.2	.	.	.	.	3.3	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	III
	ESPECE CARACTERISTIQUE DE L'ALLIANCE																																																															
T	*Senecio viscosus L.*	.	.	.	.	+	.	.	+	2.2	.	.	.	.	.	1.2	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	+	3.3	1.1	3.3	.	3.3	2.2	2.2	+.2	+	.	.	2.3	1.1	+	.	II IV
	ESPECES DIFFERENTIELLES DE SOUS-ASSOCIATIONS																																																															
H	*Rumex crispus L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	+	+	+	+	+	+	+	.	2.3	.	+	I IV
T	*Matricaria maritima L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+.2	.	.	.	.	1.2	.	+.2	+	.	.	.	.	2.2	I II
T	*Erigeron canadensis L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	2.2	+	.	.	.	.	.	+°	.	.	+	.	+	I II
T	*Lactuca serriola L.*	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	I II
T	*Erigeron sumatrensis Retz*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Epilobium adnatum Griseb.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	I
Ch	*Solanum dulcamara L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+.2	1.1	.	.	.	I
T	*Polygonum persicaria L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Senecio sylvaticus L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	I
T	*Polygonum lapathifolium L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	5.5	.	.	.	.	.	.	.	+	I II
T	*Vulpia myuros (L.)C.C. Gmel.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	1.2	+.2	.	.	.	.	.	I
H	*Cerastium vulgatum L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I
T	*Chenopodium glaucum L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Papaver dubium L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	2.2	.	.	I
H	*Silene vulgaris (Moench) Garcke*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.3	.	3.3	.	I
T	*Lactuca virosa L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	I
T	*Galeopsis angustifolia Ehrh.ex.Hoffm.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+.2	+	2.2	2.2	2.2	2.2	1.1	1.1	4.4	2.2	+	.	.	2.2	3.3	+	+	3.3	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2.3	II V
H	*Pastinaca sativa L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	3.3°	1.2°	+	+	3.3	1.1	1.1	.	.	+.2	2.2	+	3.3	4.4	2.2	3.3	2.2	1.2	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	+	+	+	2.2	II V
H	*Hypericum perforatum L.*	+.2	.	+.2	.	1.1	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	+	.	1.1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I III
G	*Tussilago farfara L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	3.3	1.2	3.3	5.5	3.3	3.3	4.4	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.3	4.4	+.2	1.1	3.3	3.3	2.2	+	2.3	2.3	3.3	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II V
	ESPECES COMPAGNES DES MILIEUX INSTABLES																																																															
G	*Linaria repens (L.) Mill.*	+.2	.	.	.	.	+.2	+.3	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+	+	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Centranthus ruber (L.) D.C.*	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Linaria minor (L.) Desf.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Cardaminopsis arenosa(L.)Hayek*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
Ch	*Clematis vitalba L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Linaria supina (L.) Chazelles*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES RUDERALES (ONOPORDETALIA)																																																																
H	*Echium vulgare L.*	.	2.2	2.3	.	2.2	+	.	.	2.2	+	+	+	+	+	.	.	2.3	.	+	+.2	+	+	+	.	.	1.1	+	1.1	+	+	+	+	+	.	.	+	.	2.2	2.2	+	.	+	.	+	+	.	2.3	+	4.4	.	.	1.1	.	.	1.2	+	+	4.4	2.2	+	IV
H	*Picris hieracioides L.*	1.2	1.1	.	+	+	.	.	+.2	.	+	+	.	+	1.1	+	+	1.1	.	1.1	.	+	+	.	1.1	+	.	.	1.1	.	.	+	+	+	2.2	+	+.2	+	1.1	1.1	+	1.1	2.2	+	+	+.2	+.2	+	2.3	+.2	.	+	+	.	.	3.3	+.2	.	2.2	.	2.2	IV
H	*Artemisia vulgaris L.*	+	+	.	.	.	+	.	.	+	.	+	.	.	+	.	+.2	+	.	.	.	+	+	.	.	1.1	.	+	+	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	1.1	.	.	.	+	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	4°	.	1.1	.	+	1.1	III
H	*Diplotaxis tenuifolia (L.) D.C.*	.	.	.	1.1	.	.	1.1	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+.2	+	+	.	+	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	+	.	+.2	+	3.3	3.3	3.3	3.3	.	.	+	1.1	+	1.1	+	+	1.1	.	+	2.2	III IV
H	*Epilobium angustifolium L.*	.	.	.	+.2	+	3.4	.	+.2	.	.	+.2	.	3.3	.	.	.	.	.	+.2	+.2	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	3.3	.	.	+.2	3.3	1.2	.	.	2.2	+	2.3	2.4	5.5	.	II IV
H	*Cirsium vulgare (Savi) Ten.*	.	+	+	+	+	.	.	+	.	.	+	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	1.1	+	.	.	+	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	2.1	.	.	+	.	.	.	+	.	+	+	+	II
H	*Tanacetum vulgare L.*	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4.4	1.1	.	+	.	I
G	*Linaria vulgaris Hill.*	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	2.2	+	+	.	.	.	+	1.3	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	1.3	+	II
G	*Cirsium arvense (L.) Scop.*	.	.	+	.	.	+	.	+.	.	.	+	.	+	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+.2	.	.	.	.	.	+	.	.	I
H	*Oenothera biennis L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
H	*Cynoglossum officinale L.*	.	.	+.2	.	+	+	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Inula conyza D.C.*	.	.	+	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Verbascum thapsus L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I
T	*Polygonum convolvulus L.*	.	.	.	.	.	.	+.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.3	.	I
	ESPECES PRAIRIALES MESOPHILES (ARRHENATHERETALIA)																																																																
H	*Arrhenatherum elatius (L.)Beauv. ex J.et C. Presl*	.	.	+.2	.	.	.	.	.	+.2	.	1.2	.	+	.	.	1.1	+	.	.	+.2	+.2	+	+	+	+	+	.	.	.	1.1	1.1	.	.	.	1.1	.	.	+	+	.	.	.	+	+.2	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+	.	+	II
H	*Daucus carota L.*	+.2	1.1	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	1.1	.	.	+	.	.	+	.	+	+	.	.	1.2	+	+	2.2	+	.	+	2.2	+	1.1	.	+	+	.	+°	+	+.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	+	+	+	.	+	+.2	+	.	.	.	+	+	+	.	.	1.1	+	.	.	.	.	.	+	1.1	.	1.1	1.1	+	+	1.1	.	.	.	.	1.1	+.2	.	.	.	+	+	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
H	*Senecio jacobaea L.*	+.2	1.1	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	+	.	.	+	+.2	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	+.2	+.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	II
H	*Achillea millefolium L.*	.	.	.	.	.	+	+.2	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
H	*Plantago lanceolata L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I
H	*Hypochoeris radicata L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	I

Ont également été notées : *Arenaria serpyllifolia* L. 9/3 (1.2), 111/2 (+.2), 111/6 (+) ; *Betula pendula* Roth 115/6 (+), 59/2 (+) ; *Bromus tectorum* L. 102/8 (+) ; *Bryum argenteum* Hedw. 153/2 (+), 82/2 (1.2), 82/4 (+) ; *Carlina vulgaris* L. 13/1 (+), 85/11 (+), 111/6 (+) ; *Centaurea nigra* L. 43/4 (+), 90/12 (2.2) ; *Cerastium pumilum* Curt. 59/2 (+.2), 111/2 (+) ; *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. 153/2 (1.2), 82/2 (1.2), 14/2 (+) ; *Cornus sanguinea* L. 93/2 (+) ; *Crataegus monogyna* Jacq. 205/1 (+) ; *Dactylis glomerata* L. 85/5 (+.?) ; *Epilobium montanum* L. 101/3 (+) ; *Hieracium sabaudum* L. 152/1 (+), 152/5 (+) ; *Holcus lanatus* L. 107/2 (+.2) ; *Melilotus albus* Med. 43/4 (+) ; *Melilotus officinalis*(L.) Pallas 142/4 (+) ; *Petrorhagia prolifera* (L.) P.W. Ball et Heyw. 84/3 (+) ; *Poa compressa* L. 103/8 (+), 34/2 (+), 142/4 (+), 142/5 (+) ; *Poa pratensis* L. 107/2 (+) ; *Populus tremula* L. 97/4 (+) ; *Prunella vulgaris* L. 103/8 (+) ; *Prunus avium* (L.) L. 90/9 (+) ; *Robinia pseudacacia* L. 90/9 (+), 90/8 (+), 90/12 (+) ; *Rosa canina* L. 59/2 (+), 107/2 (+.2) ; *Rubus* sp. 110/2 (+.2) ; *Salix aurita* L. 97/3 (+) ; *Salix cinerea* L. 93/2 (+) ; *Sambucus nigra* L. 97/4 (+), 59/2 (+), 101/6 (+), 110/2 (+) ; *Sanguisorba minor* Scop. 84/3 (+) ; *Solidago virgaurea* L. 160/2 (+) ; *Sonchus oleraceus* L. 102/8 (+), 93/1 (+), 93/3 (+) ; *Sorbus aucuparia* L. 97/4 (+).

- une sous-association typique ;

- une sous-association à *Rumex crispus* caractérisée par un groupe d'espèces nitrophiles relevant pour la plupart de la classe des *Stellarietea mediae* (Br.-Bl., 1931) R. Tx. Lohm., Prsg., 1950.

Avec cette première espèce on note la présence de : *Matricaria maritima, Erigeron canadensis, Erigeron sumatrensis, Epilobium adnatum, Solanum dulcamara, Polygonum persicaria, Polygonum lapathifolium, Vulpia myuros, Cerastium vulgatum, Chenopodium glaucum, Lactuca serriola, Lactuca virosa, Senecio sylvaticus, Silene vulgaris, Papaver dubium.*

Cette sous-association se différencie également par une plus grande représentation des compagnes rudérales qui ont un recouvrement nettement plus important et une présence également plus élevée (ex : *Senecio viscosus, Diplotaxis tenuifolia, Epilobium angustifolium*).

Chaque sous-association peut s'exprimer sous deux variantes différentes, l'une à *Galeopsis angustifolia*, l'autre à *Pastinaca sativa*.

Dans chaque sous-association et variante, on peut distinguer :

- une forme fraîche à *Tussilago farfara* marquée par l'absence des espèces des milieux instables et celle des rudérales thermophiles ;

- une forme plus xérique à *Hypericum perforatum*.

b - <u>symphysionomie</u> : à son maximum de développement cette association est bistratifiée et reste généralement très ouverte. La strate supérieure est représentée par les hampes florales d'un certain nombre d'espèces des friches élevées (*Pastinaca sativa, Echium vulgare*...). C'est le *Rumex scutatus* qui confère à cette association son aspect caractéristique par son appareil végétatif en boule, dispersé sur les pentes (planche III, photos 1 et 4). La présence de *Tussilago farfara* donne par contre une végétation plus fermée (planche III, photo 2). La physionomie hivernale est très différente : de la biomasse aérienne il ne reste que les rosettes des hémicryptophytes.

c - <u>synécologie</u> :

-<u>les conditions d'installation</u> : cette association se développe sur des pentes de 20 à 70° d'inclinaison, d'exposition diverse, au substrat fin à très grossier et fuyant sous le pied.

La sous-association à *Rumex crispus* caractérise les pentes mobiles ayant été soumises à la combustion. Le substrat de ces pentes est composé d'une partie profonde de roches transformées par la combustion (teinte rouge), et d'une partie superficielle plus ou moins épaisse ayant conservé l'allure générale des pentes mobiles

de terril. L'analyse des conditions nutritionnelles de ces pentes montre qu'elles sont enrichies en azote nitrique et ammoniacal (tableau 9), ce qui est en accord avec la présence des différentielles nitrophiles, et en particulier du *Rumex crispus* classé par WALTER (1963) dans le groupe écologique des espèces fortement nitrophiles. Certaines compagnes rudérales également présentes sur pentes normales, réagissent à cette richesse azotée des pentes brûlées par une plus grande vigueur des populations.

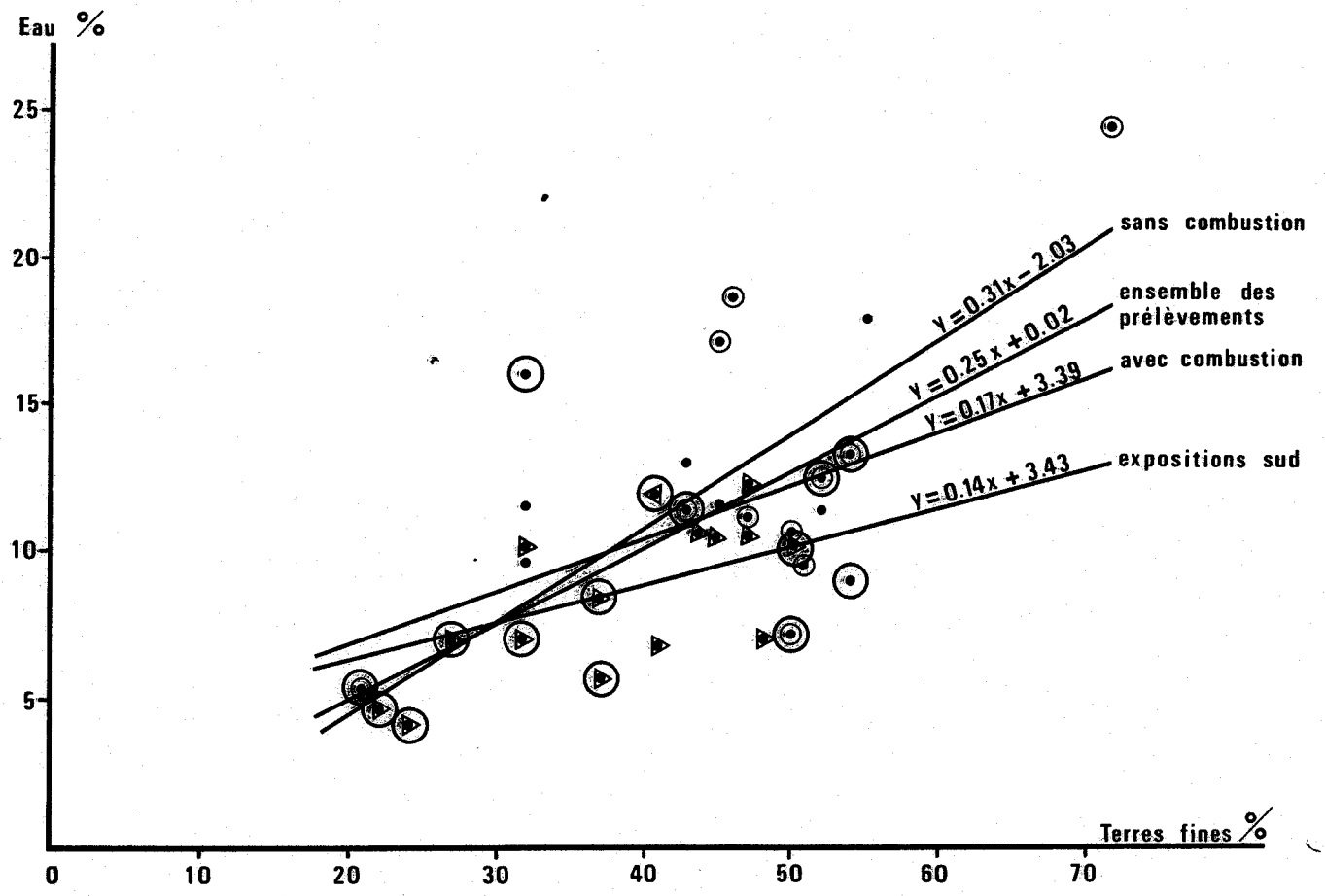
Tableau 9 : Comparaison des conditions nutritionnelles des pentes ayant été soumises ou non à la combustion.

		Pentes originelles	Pentes consumées	
			horizon supérieur noir	horizon inférieur rouge
N° du terril		58	10	10
N° du prélèvement		25	30	29
pH (dans l'eau)		5,3	5,2	4,9
pH (dans KCl N/10)		4,7	4,7	4,4
CO_3Ca %		0,2	0,4	0,4
K échangeable	meq/100g de sol	0,45	0,57	1,01
Mg échangeable	meq/100g de sol	3,33	4,16	2,08
Ca échangeable	meq/100g de sol	8,75	10,62	8,75
Mg/Ca		0,38	0,39	0,23
N total %		0,16	0,24	0,04
$N - NH_4$	mg/100g de sol	2,79	16,3	4,55
$N - NO_3$	mg/100g de sol	2,68	8,05	1,12
P assimilable %		0,05	0,04	0,08
Sulfates % (extraction aqueuse)		0,01	0,07	0,04

Dans chacune de ces sous-associations une variante à *Galeopsis angustifolia* témoigne d'un substrat enrichi en éléments fins, ce qui est généralement réalisé en bas de pente par le ruissellement. La variante à *Pastinaca sativa* est elle, plutôt liée aux pentes les plus faibles donc plus stables, de texture grossière ou non, bien pourvues en cations biogènes. Aussi n'est-il pas rare de rencontrer *Pastinaca sativa*, en liséré tout à la base du terril. Il est également fréquent aux endroits remaniés des terrils plus âgés. Comme le montre le tableau 8', ces deux variantes peuvent se chevaucher.

Figure 8 : Etude des rapports humidité/texture du substrat (d'après des données de LAMPIN, 1969, concernant le terril n° 79bis de Loos-en-Gohelle).

	N	$\bar{x}$ Terres fines en %	$\bar{y}$ Humidité en %	r Coefficient de corrélation
• Ensemble des prélèvements	34	42,65 ± 10,90	10,85 ± 4,33	0,64***
Prélèvements effectués :				
△ face Sud	15	38,04 ± 11,83	8,76 ± 2,55	0,68***
○ face Nord	11	49,27 ± 9,60	13,83 ± 4,93	0,37 NS
◯ sur zone en combustion	15	38,40 ± 11,84	8,89 ± 3,59	0,57*
sur zone sans combustion	19	46,53 ± 9,26	12,39 ± 4,33	0,66***



La forme à *Hypericum perforatum* caractérise les pentes sèches généralement réalisées aux expositions Sud.

La forme à *Tussilago farfara* se rencontre au contraire sur les pentes plus fraîches des expositions Nord et sur substrat généralement plus fin.

Une relation évidente entre la texture du substrat et sa teneur en eau permet cependant une certaine variation dans ce schéma de répartition. Une pente Sud au substrat très fin peut devenir favorable au *Tussilago farfara* alors qu'une pente Nord au substrat très grossier, peut lui être défavorable.

LAMPIN (1969) donne pour 34 prélèvements de substrat effectués dans des situations variées (combustion ou non, expositions diverses) sur le terril n° 79bis de Loos-en-Gohelle, les teneurs en "terres fines" (< 2 mm) et les valeurs de l'humidité correspondantes. La corrélation entre humidité et granulométrie est positive et significative pour l'ensemble des prélèvements, mais aussi pour ceux réalisés aux expositions Sud, dans des zones en combustion ou non. Par contre, le coefficient de corrélation calculé pour les prélèvements des expositions Nord est non significatif : sur la face Nord où l'humidité moyenne est la plus élevée, une même teneur en eau peut intéresser des zones à texture sensiblement différentes.

La figure 8 fait ressortir également que la combustion peut s'accompagner d'un dessèchement du substrat ou d'une augmentation de sa teneur en eau, ce qui est particulièrement important quand il s'agit de la face Sud.

-le spectre des types biologiques : le spectre des types biologiques établi selon la méthode de RAUNKIAER représente en pourcentage les différents types biologiques existant dans un lot d'espèces. Lorsqu'il s'adresse à une liste de plantes, cohérente, comme celle de "l'ensemble spécifique normal" (GUINOCHET 1973, p. 19) d'une association, ce spectre reflète certaines conditions écologiques déterminant cette association.

DUVIGNEAUD J. et MOUZE (1966) utilisent un spectre pondéré dans lequel interviennent les "quantités moyennes" de chaque espèce, expression chiffrée du coefficient d'abondance-dominance moyen* Cette opération compensatoire donne une

* *le recouvrement moyen est obtenu en divisant la somme de toutes les estimations moyennes d'une espèce par le nombre total de relevés de l'entité phytosociologique à analyser. Les estimations moyennes sont données par l'échelle de TUXEN et ELLENBERG :*
coefficient 5 = 87,5 % de recouvrement moyen. 4 = 62,5 % de recouvrement moyen. - 3 = 37,5 % de recouvrement moyen. - 2 = 15 % de recouvrement moyen. - 1 = 2,5 % de recouvrement moyen. - + = 0,1 % de recouvrement moyen.

importance plus grande aux espèces dominantes et le spectre reflète cette fois plus la physionomie du groupement que son écologie. La présence au sein d'une association de quelques espèces très sociales (recouvrement élevé donc coefficient d'abondance-dominance élevé) change totalement le spectre biologique classique.

Ces auteurs soulignent d'ailleurs (tableau 10) la forte augmentation du pourcentage pondéré des chamaephytes (66,8 %) alors que le nombre de plantes de ce type est seulement de 9,6 % soit 6 ou 7 sur les 69 espèces citées.

Tableau 10 : Spectre des types biologiques des éboulis crayeux de Champagne (d'après DUVIGNEAUD J. et MOUZE, 1966).

	Hémicryptophytes	Géophytes	Chamaephytes	Phanérophytes	Thérophytes	Total
Nombre d'espèces	41	3	7	11	7	69
Spectre brut	59,6	4,4	9,6	16,1	10,3	
Spectre pondéré par l'abondance dominance	30,3	0,6	66,8	0,9	1,4	
Spectre pondéré par les présences	66,6	2,6	16	8,5	6,3	

Une idée plus précise de l'importance des différents types biologiques composant une association végétale peut être obtenue en tenant compte de la présence de chaque espèce. Chaque type est alors défini par la somme des présences des végétaux du type considéré, exprimée en pourcentage de la somme totale des présences*. Cette façon de faire rend possible les comparaisons d'une association avec une autre, en minimisant l'effet des espèces peu présentes ou des espèces accidentelles.

* *Avec le spectre brut, seul le spectre pondéré par les présences sera utilisé par la suite.*

Tableau 11 : Spectre des types biologiques des formations herbacées des pentes mobiles de terrils.

		Hémicryptophytes	Géophytes	Chamaephytes	Thérophytes	Total
Sous-association typique : Forme à *Hypericum perforatum*	Nombre d'espèces	25	3	1	8	37
	Spectre brut	67,5	8,1	2,7	21,6	
	Spectre pondéré par les présences	81,4	5,7	0,5	12,4	
Forme à *Tussilago farfara*	Nombre d'espèces	19	4	1	4	28
	Spectre brut	67,8	14,3	3,5	14,3	
	Spectre pondéré par les présences	76,2	16	0,9	7	
Sous-association à *Rumex crispus*	Nombre d'espèces	23	2	1	14	40
	Spectre brut	57,5	5	2,5	35	
	Spectre pondéré par les présences	67,7	5	2,3	25	

L'établissement des spectres biologiques pour les 2 sous-associations des pentes mobiles des terrils, montre que ces groupements sont principalement composés d'hémicryptophytes (tableau 11) généralement bisanuels (> 68 %). L'ensemble hémicryptophyte , géophyte et chamaephyte est lui supérieur à 75 %, seule la sous-association des pentes brûlées montre un enrichissement net en thérophytes (25 %).

Le spectre établi suivant la méthode des présences, sur les données floristiques de DUVIGNEAUD et MOUZE (1966) pour les éboulis crayeux de Champagne donne des résultats très comparables en ce qui concerne l'importance des hémicryptophytes (tableau 10).

La colonisation des pentes mobiles des terrils se distingue donc de celles des espaces nus originellement stables où maints auteurs ont décrit l'installation première de thérophytes (BOURNERIAS, 1959). Cette distinction s'explique par le faible développement de l'appareil souterrain des espèces annuelles, qui ne peut résister à la descente des schistes. De plus, des périodes de dessication de la surface du terril arrivent très tôt au printemps alors que les espèces qui

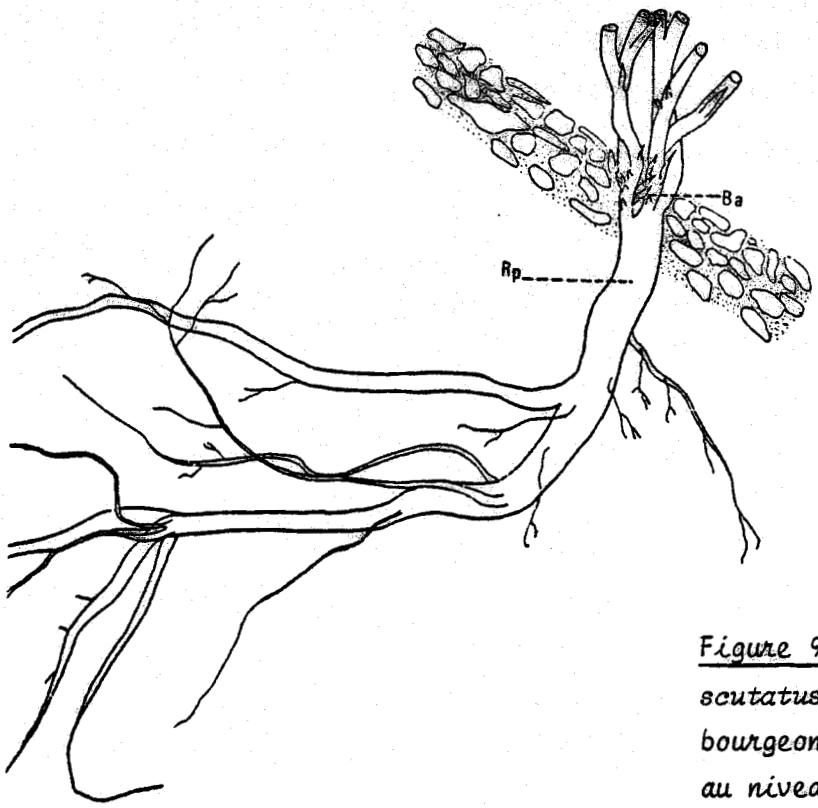


Figure 9 : Organes souterrains du *Rumex scutatus* : lithophile ascendant. Des bourgeons ascendants (Ba) apparaîssent au niveau du collet de la racine principale (Rp), leur développement donne des rameaux qui percent directement la couche pierreuse.

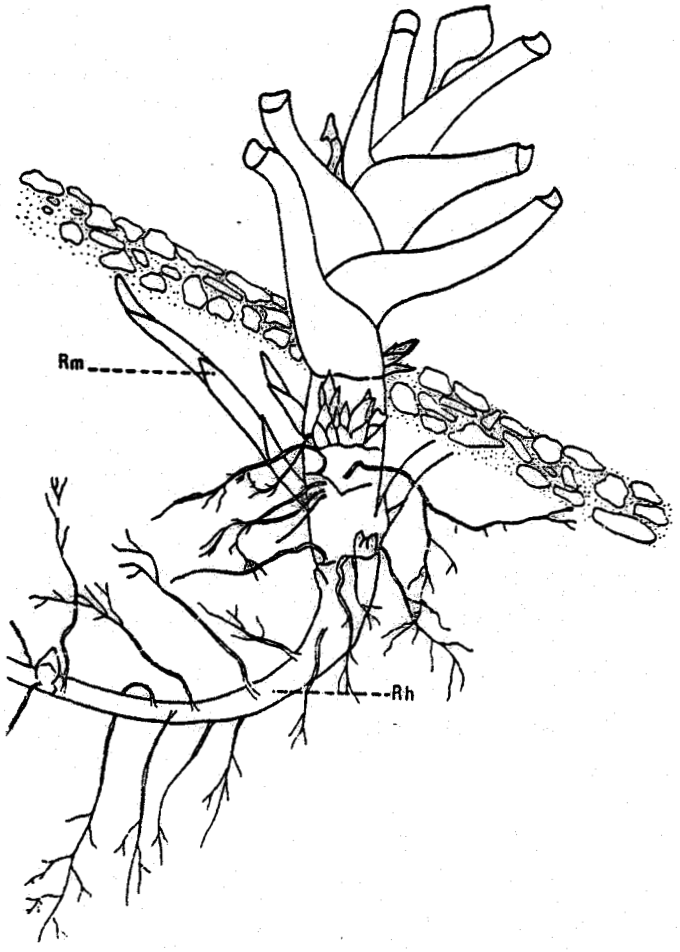


Figure 10 : Organes souterrains du *Tussilago farfara* : lithophile migrateur. Le Rhizome (Rh) donne naissance à des rameaux migrateurs (Rm) qui parcourent le pierrier un certain temps avant d'apparaître en surface.

Remarque : dans les figures 9 et 10 on observe une courbure de l'appareil souterrain, résultat de l'entrainement vers l'aval des parties aériennes de ces végétaux.

ont pu germer ont leurs racines encore trop en surface : ces plantes atteignent rapidement le point de flétrissement permanent (pF 4,2).

Les cas de réussite enregistrés sur pente mobile typique, comme celui de *Senecio viscosus*, sont principalement dus à la grande densité des semis. Des éclaircies effectuées au début du printemps dans des semis naturels ont permis de vérifier ce fait. A l'intérieur de zones ensemencées, dans des carrés de 25 cm de côté ont été laissées 5, 15, 25 plantules. Aucune n'a résisté aux premières sécheresses par contre, dans les zones restées intactes (les carrés comportaient de 140 à 170 plantules) environ la moitié a été retrouvée en juillet et avait atteint la floraison. Dans les semis naturels denses une auto-protection des plantules est assurée par la formation d'un micro-climat qui évite une dessication extrême du substrat (les effets du tapis végétal sur l'élévation thermique du substrat ont déjà été signalés p. 32).

Le *Galeopsis angustifolia*, la seule plante annuelle de la première phase pionnière, possède une certaine adaptation à la texture grossière et mobile : ses racines importantes et extrêmement ramifiées lui permettent de pénétrer profondément dans le substrat.

-les adaptations morphologiques à la vie sur pentes mobiles : l'importance de l'appareil souterrain (racine ou rhizome) est d'évidence une adaptation favorable à la vie sur une pente mobile de terril.

Les végétaux qui possèdent le moyen de résister au mouvement du substrat et de s'alimenter en eau et sels minéraux dans les couches plus profondes, sont de véritables lithophiles, tels que les a définis VAN UFORD (1909). Avec cet auteur on peut distinguer :

- des lithophiles ascendants dont les souches ~~hypogées~~ émettent des rejets qui percent la couche pierreuse, cas des hémicryptophytes, en particulier du *Rumex scutatus* ~~(figure 9)~~. Cette espèce résiste très bien aux glissements de roches : lorsqu'elle se trouve recouverte, chaque rameau donne des racines et on observe une irradiation d'individus à partir du pied mère. Ce type de lithophile donne des formes hémisphériques déversées le long de la pente : la racine s'enfonce dans le substrat à un niveau supérieur à la partie feuillée, continuellement entraînée par les schistes ;

- des lithophiles migrateurs dont l'appareil souterrain parcourt l'éboulis parallèlement à la surface, des racines peuvent apparaître aux noeuds, et les extrémités des axes finissent par se redresser vers la surface pour donner de

nouveaux organes aériens ~~(cas de *Tussilago farfara*, figure 10, ou de *Epilobium angustifolium*)~~ ;

- des lithophiles recouvreurs ; la plante donne des rejets ~~épigés~~ qui s'étalent à la surface et peuvent s'enraciner : ~~c'est le cas de *Clematis vitalba*.~~ Ce mode de développement permet au végétal de traverser des zones où le calibre des blocs est très important, et l'installation du végétal difficile.

Ces deux derniers types donnent des formations fermées, des taches uniformes à la surface du terril.

La conséquence de l'existence de ces différents lithophiles est la fixation d'une certaine surface, la rétention du substrat en un point donné, une micromorphologie en escalier peut apparaître et surtout d'autres végétaux non particulièrement adaptés à cette mobilité peuvent s'installer très vite.

d - syndynamisme : la fixation de la pente étant réalisée, soit ponctuellement soit par plage, on assiste à un grand développement de *Arrhenatherum elatius* et de certaines friches du *Dauco-Melilotion*. Quelques espèces arbustives peuvent apparaître dès ce stade et annoncer une fruticée future.

Des mousses (surtout *Ceratodon purpureus* et *Bryum argenteum*) apparaissent alors et couvrent les parties abruptes en aval des banquettes retenues par la plante fixatrice.

e - syntaxonomie, synsystématique et discussion : LEBRUN (1949) décrit sur les déblais de grès, psammites et schistes légèrement carbonatés, du district mosan et ardennais un groupement à *Galeopsis ladanum* et *Senecio viscosus*, qu'il range dans l'ordre des *Thlaspietalia rotundifolii* Br.-Bl. 26. OBERDORFER (1957) décrit également une association, l'*Epilobio-Galeopsietum segeti*, des éboulis mobiles fins ou grossiers, de gneiss ou de granite, des stations thermophiles et subatlantiques, des expositions Sud et Ouest des étages submontagnard et montagnard de la forêt noire. Cette association qui semble inclure le groupement de LEBRUN est rangée dans une alliance nouvelle, le *Galeopsion* Oberd. 57, caractérisée par *Senecio viscosus*, et laissée provisoirement par son auteur dans l'ordre des *Androsacetalia alpinae* Br.-Bl. 26.

Le *Resedo-Rumicetum scutati* des terrils, relativement proche de l'*Epilobio-Galeopsietum segeti* Oberd. 57, peut être rattaché au *Galeopsion* Oberd. 57. Par l'absence des espèces montagnardes, il est plus difficile d'admettre pour cette association l'ordre des *Androsacetalia alpinae* ou celui des *Thlaspietalia rotundifolii*.

Le fait que les études phytosociologiques des végétations d'éboulis furent effectuées essentiellement dans des régions de montagne, des études comparables en plaine posent des problèmes syntaxonomiques et synsystématiques. LEBRUN (1949) écrit à ce sujet : "Les véritables associations des éboulis ne descendent guère dans la plaine. Néanmoins, çà et là, on signale quelques groupements fragmentaires que l'on rattache plutôt sur des bases écologiques que floristiques aux véritables associations montagnardes des pierriers". Ces derniers, le plus souvent artificiels, n'en existent pas moins en plaine et une végétation s'y développe. Déjà DUVIGNEAUD J., DURIN et MULLENDERS (1970), à propos des éboulis crayeux du Bassin parisien, durent établir une nouvelle alliance : le *Leontodontion hyoseroidis*.

Si les éboulis calcaires sont relativement fréquents dans les régions de plaine (les reliefs des bassins sédimentaires étant généralement dûs aux roches calcaires), les éboulis silicatés sont plus rares. Les pentes mobiles schisto-gréseuses des terrils du charbonnage présentent donc dans la plaine du Nord de la France un caractère exceptionnel de grande ampleur, de par leur surface importante et leur répétitivité dans tout le bassin. Le *Resedo-Rumicetum scutati* qui s'y développe permet certaines réflexions.

Le cortège floristique de cette association est constitué de quelques espèces caractéristiques de la classe des *Thlaspietea rotundifolii* et d'un important contingent d'espèces rudérales de l'ordre des *Onopordetalia*. Cet assemblage montre la parenté des groupements des espaces ouverts par les éboulis naturels et de ceux des zones anthropogènes. Certaines espèces comme *Reseda lutea, Picris hieracioides, Diplotaxis tenuifolia, Linaria vulgaris*, caractéristiques des *Onopordetalia,* montrent d'ailleurs de réelles aptitudes colonisatrices des pierriers. Avec ROYER (1973) qui note également la constance du *Reseda lutea* sur les éboulis calcaires de Bourgogne et de Champagne méridionale, l'on peut penser que le biotope primitif de ces taxons était l'éboulis que ceux-ci ont quitté pour les milieux créés par l'homme (par exemple, les cultures).

Quant à la définition synsystématique d'un tel groupement, il est important de se maintenir à la règle de la priorité de la combinaison floristique, idée extrêmement fructueuse qui a abouti au synsystème actuel. Le fait d'accorder au *Rumex scutatus* et au *Galeopsis angustifolia* une valeur hautement caractéristique par rapport aux autres espèces, conduit indirectement à reconnaître l'importance du critère écologique "pente mobile" et à réunir le *Resedo-Rumicetum scutati* voisin de certains groupements rudéraux, aux associations des *Thlaspietea rotundifolii* dont la composition floristique est fondamentalement différente.

Aussi est-il préférable de maintenir le *Resedo-Rumicetum scutati* parmi les groupements rudéraux et en particulier dans l'ordre des *Onopordetalia*. Pour cela, une nouvelle alliance, prenant en considération les éléments différentiels de cette combinaison floristique est nécessaire, nous la nommons *Senecion viscosi*. Cette alliance est caractérisée par *Senecio viscosus*, espèce rudérale et nitrophile, et des différentielles, essentiellement les transgressives de la classe des *Thlaspietea rotundifolii*.

Les associations d'éboulis siliceux de la France tempérée* peuvent se résumer par le synsystème suivant :

Thlaspietea rotundifolii Br.-Bl. 47
- *Androsacetalia alpinae* Br.-Bl. 26
  - *Androsacion alpinae* Br.-Bl. 26
    subalpin à alpin
  - *Galeopsion* Oberd. 57
    submontagnard à montagnard

Onopordetea Br.-Bl. 64
- *Onopordetalia* Br.-Bl. et Tx. 43 em Görs 66
  - *Senecion viscosi*
    planitiaire à submontagnard
    rudéralisation

2) LE GROUPEMENT PIONNIER A *BETULA PENDULA* (TABLEAU 12, PLANCHE IV) :

Ce groupement est caractérisé par une strate arbustive très ouverte, largement dominée par le bouleau. Dans la strate herbacée très pauvre en espèces, se retrouvent diverses pionnières du *Resedo-Rumicetum scutati* ; Celle-ci se différencie cependant de cette association par *Teucrium scorodonia*, *Rubus sp.*, *Calamagrostis epigeios*.

* *dans les régions méditerranéennes, le Glaucio-scrophularietum caninae (Br.-Bl., 36) TCHOU 46 des alluvions caillouteuses des rivières cévenoles qui montre une composition floristique très voisine du Glaucietum flavi Gutte 72 est un autre exemple révélant l'existence de contact entre Thlaspietea rotundifolii et Onopordetea.*

TABLEAU 12 : LE GROUPEMENT PIONNIER A BETULA PENDULA

Numéro du terril	115	115	107	115	11	11	108	160
Numéro du relevé	6	5	10	13	1	2	1	7
Pente en degrés	30	20	30	40	45	45	35	30
Orientation	S	SE	E	SO	N	N	N	ENE
Surface en m^2	100	50	200	50	20	20	900	100
Recouvrement herbacé %	30	30	1	60	40	30	2	70
Recouvrement arbustif %	1	5	20	5	5	30	20	5
Hauteur des arbustes en m	1-2	4	1-2	1-3	2-3	2-3	3-4	2
ESPECES ARBUSTIVES DU GROUPEMENT								
Betula pendula Roth	+	1.1	2.2	1.1	1.1	3.3	1.2	1.1
Quercus robur L.	.	+	+	.	.	.	+	.
Salix caprea L.	.	+	.	.	.	.	+	.
Salix aurita L.	.	.	+	.	.	.	.	.
Salix cinerea L.	.	.	.	.	.	.	1.1	.
Salix alba L.	.	.	.	.	.	.	+	.
Populus tremula L.	.	.	.	.	.	.	+	.
Castanea sativa Mill.	.	.	.	.	+	.	.	.
Sambucus nigra L.	.	.	.	.	.	.	.	+
(Pl) *Betula pendula Roth*	.	.	.	.	.	.	+	.
(Pl) *Quercus robur L.*	.	.	.	.	.	.	+	.
(Pl) *Acer pseudoplatanus L.*	.	+	.	.	.	.	.	.
ESPECES HERBACEES DIFFERENTIELLES								
Teucrium scorodonia L.	.	+.2	.	.	2.2	+.2	.	4.4
Epilobium angustifolium L.	1.3	1.2	+	1.2	.	3.3	+.3	.
Rubus sp.	.	.	.	.	+.2	+.2	.	2.3
Calamagrostis epigeios (L.) Roth	.	.	.	.	.	.	+.2	1.2
COMPAGNES PIONNIERES								
Senecio viscosus L.	.	+	.	4.4	+.2	+	.	.
Rumex scutatus L.	3.3	3.3	.	.	.	.	.	.
Reseda lutea L.	.	.	.	.	2.2	1.1	+.2	.
Cirsium arvense (L.) Scop.	.	+	.	2.3	1.2	1.2	.	.
Hieracium lachenalii C.C. Gmel.	.	+.2	.	.	.	.	+.2	.
Senecio jacobaea L.	.	.	+	.	.	.	.	.
Oenothera silesiaca Renner	.	.	.	+	.	.	.	.
Urtica dioica L.	.	.	.	+.2	.	.	.	.
Cirsium vulgare (Savi) Ten.	.	.	.	.	.	1.2	.	.
Inula conyza D.C.	.	.	.	.	.	+	.	.
Tanacetum vulgare L.	.	.	.	.	.	.	.	+
Solanum dulcamara L.	.	.	.	.	.	.	.	+

Ce groupement se développe bien sur les terrils acides surtout si ceux-ci sont proches d'une zone boisée. On assiste alors sur ces terrils, à une véritable explosion des populations de bouleau, qui prennent possession des pentes les plus fortes. Ces formations restent alors longtemps monospécifiques, la morphologie de l'arbre y est particulière, comme chez les espèces herbacées on observe une courbure de la base du tronc et le départ possible de plusieurs brins au niveau du collet (planche IV, photo 3).

Ce groupement à bouleau représente le stade pionnier des diverses bétulaies qui seront décrites par la suite, stade maintenu par la mobilité du substrat.

Le *Resedo-Rumicetum scutati* et le groupement à *Betula pendula* représentent les possibilités les plus fréquentes de fixation des pentes de terrils. Parfois des essences naturalisées comme le *Robinia pseudacacia*, colonisent avec succès les mêmes pentes. Dans quelques cas, cette espèce se substitue d'ailleurs au bouleau. Le relevé suivant noté sur le terril n° 112 de Libercourt montre cependant un cortège d'espèces herbacées légèrement différent de celui du groupement pionnier à bouleau.

- substrat fin
- pente 30° ENE
- surface 100 m^2
- recouvrement arbustif 40 % - hauteur 1-2 m
- recouvrement herbacé 40 %

Robinia pseudacacia L.	3.3
Betula pendula Roth.	+
Quercus robur L.	+
Reseda lutea L.	2.2
Tussilago farfara L.	4.4
Epilobium angustifolium L.	+.2
Hieracium lachenalii C.C. Gmel.	1.2
Picris hieracioides L.	+
Echium vulgare L.	+
Daucus carota L.	+

PLANCHE IV : VEGETATION ARBUSTIVE PIONNIERE DES PENTES MOBILES

Photo 1 :

Bétulaie initiale sur le terril n° 175 de Raismes.

Photo 2 :

Colonisation mixte par *Betula pendula* et *Rumex scutatus* sur le terril n° 115 de Libercourt.

Photo 3 :

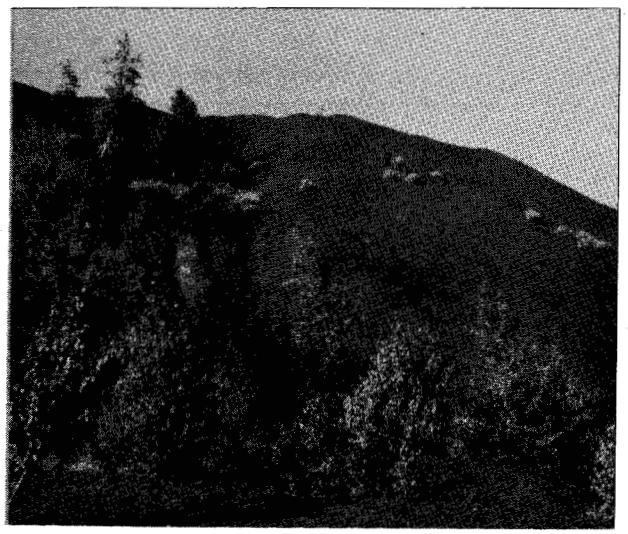
Morphose particulière du collet des bouleaux se développant sur pente mobile.

Photo 4 :

Bétulaie pionnière du terril n° 179 de Bruay-sur-Escaut.

PLANCHE IV

1



2

3

4

B. COLONISATION DES TERRILS PLATS ET DES PENTES STABLES

Les végétaux qui participent à la colonisation des zones stables sont beaucoup plus nombreux que ceux rencontrés sur pentes mobiles. Le tapis végétal non soumis au facteur sélectif sévère qu'est la mobilité du substrat, s'organise parfois avec une grande complexité. Divers groupements traduisant la diversité des conditions de milieu peuvent être décrits.

1) LA FRICHE ELEVEE A *PASTINACA SATIVA* (TABLEAU 13) :

a - composition floristique et symphysionomie : ce groupement pionnier doit sa physionomie aux hampes florales de *Pastinaca sativa* -hautes de 1 à 1,5 m- qui dominent les autres espèces de la friche (planche V, photo 2).

A un noyau d'espèces pionnières déjà rencontrées dans le *Resedo-Rumicetum scutati*, s'ajoutent : *Poa compressa, Hieracium pilosella, Ceratodon purpureus, Bryum argenteum, Cerastium pumilum, Arenaria serpyllifolia*. Ces espèces caractéristiques de pelouses maigres xérophiles, s'arrangent en strate basse discontinue. Une strate moyenne très dense à *Arrhenatherum elatius* différencie un groupe de relevés, où les espèces xérophiles sont moins représentées.

b - synécologie : cette formation se rencontre sur replats ou pentes d'orientation diverse, d'inclinaison faible donc originellement stable, ou d'inclinaison forte, mais déjà fixées par une espèce pionnière comme *Tussilago farfara* ou *Rumex scutatus* qui ont encore une grande importance dans le groupement. Elle possède sur les terrils âgés, une aptitude à recoloniser les zones ouvertes par la reprise de matériaux.

Ce groupement est caractéristique de substrats plus ou moins riches en "terres fines", au pH proche de la neutralité, bien pourvus en éléments biogènes avec un rapport Mg/Ca élevé (tableau 14).

Le groupement différencié par *Arrhenatherum elatius* occupe plus généralement les pentes Nord, il se distingue du groupement typique par son spectre biologique. Les thérophytes éliminés de la strate basse, sont peu représentés alors que les hémicryptophytes sont largement dominants (tableau 15).

TABLEAU 13 : LA FRICHE A PASTINACA SATIVA

Types biologiques																	Classes de présence
	Numéro du terril	31	85	108	32	85	13	45	84	85	85	32	160	104	160	98	
	Numéro du relevé	3	9	2	1	6	2	2	4	3	10	3	6	2	3	4	
	Pente en degrés	20	0	45	40	20	20	25	25	30	0	45	30	25	35	45	
	Orientation	E	-	E	SO	SE	ONO	SE	ONO	SSE	-	N	NNO	N	S	ENE	
	Surface en m²	12	30	200	100	50	100	100	50	100	100	100	100	400	100	100	
	Recouvrement herbacé %	40	80	60	60	40	75	60	50	60	100	100	100	100	50	60	
	Recouvrement bryo-lichénique %	-	60	-	-	5	20	5	-	-	-	-	60	-	-	5	
	ESPECES PIONNIERES																
H	*Pastinaca sativa L.*	3.3	3.3	3.3	3.3	2.2	2.2	3.3	3.3	2.2	4.4	2.1	2.2	2.2	2.2	1.1	V
G	*Tussilago farfara L.*	.	.	.	4.4	1.3	1.1	2.2	.	.	.	1.2	+	.	1.1	1.1	III
H	*Echium vulgare L.*	.	.	+	+	+	+	1.1	1.1	+	.	.	.	+	.	.	III
H	*Picris hieracioides L.*	.	1.2	.	.	+	2.2	+	+	+	.	.	.	1.1	+	2.2	III
H	*Reseda lutea L.*	+	.	.	+	+	+	1.1	.	+	.	.	.	.	.	+	III
H	*Epilobium angustifolium L.*	.	.	1.3	.	.	.	+.2	+	.	.	+	+	1.2	+.2	+	III
H	*Diplotaxis tenuifolia(L.)D.C.*	.	2.3	.	+	+	.	1.1	+	+	3.3	.	.	+	.	+	III
H	*Artemisia vulgaris L.*	.	2.2	.	+	+	.	.	.	+	1.2	1.1	.	.	+	+	III
H	*Tanacetum vulgare L.*	.	+.2	.	+	.	.	.	.	.	3.4	1.1	1.1	.	.	.	II
H	*Cirsium vulgare(Savi)Ten.*	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	•	I
G	*Cirsium arvense(L.)Scop.*	.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	II
H	*Inula coniza D.C.*	+°	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Reseda luteola L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Rumex scutatus L.*	.	.	.	.	2.3	.	.	.	2.3	+.2	.	.	4.4	.	+	II
H	*Oenothera biennis L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Silene vulgaris(Moench)Garcke*	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Galeopsis angustifolia Ehrh. ex Hoffm*	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	I
G	*Linaria repens L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	I
	ESPECES PRAIRIALES MESOPHILES																
H	*Arrhenatherum elatius(L.)Beauv.*	.	1.2	.	.	+.2	.	.	+	3.3	4.4	4.4	5.5	5.5	3.3	3.3	IV^{V}
H	*Daucus carota L.*	2.1	1.2	.	+	+	+	.	+	+	.	1.1	.	.	+	1.1	IV
H	*Achillea millefolium L.*	.	1.2	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	I
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	.	.	+	.	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	II
H	*Sanguisorba minor Scop.*	+	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	+	.	.	.	.	I
H	*Senecio jacobaea L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
H	*Dactylis glomerata L.*	.	+.2	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Plantago lanceolata L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	+.2	.	+	.	.	.	.	I
H	*Holcus lanatus L.*	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	I
	Pseudoscleropodium purum(Hedw.)Fleisch.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1.1	.	.	.	I
	Atrichum undulatum(Hedw.)P. Beauv.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
H	*Bromus mollis L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
	ESPECES DE PELOUSES XEROPHILES																
H	*Poa compressa L.*	1.2	3.3	.	+	.	+.2	.	.	.	+.2	.	.	.	.	1.2	II^{III}
H	*Hieracium pilosella L.*	1.2	.	.	2.2	.	1.2	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	II^{III}
	Ceratodon purpureus(Hedw.)Brid.	.	3.3	+.2	+.2	1.2	2.2	+	.	.	.	.	4.4	.	+	1.2	III^{IV}
	Bryum argenteum Hedw.	.	2.2	+.2	.	1.2	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	II^{III}
H	*Hypericum perforatum L.*	.	.	1.1	.	+	1.1	.	+.2	.	.	.	.	+	.	.	II^{III}
T	*Cerastium pumilum Curt.*	.	.	+	+.2	+	+.2	1.2	2.2	.	.	.	.	.	.	.	II^{IV}
T	*Arenaria serpyllifolia L.*	.	.	.	+.2	+	+.2	1.2	2.2	.	.	.	.	.	.	+.2	II^{IV}
T	*Vulpia myuros(L.)C.C. Gmel.*	.	.	.	.	2.3	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	I
H	*Hypochoeris radicata L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
H	*Agrostis tenuis Sibth.*	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Catapodium rigidum(L.)C.E. Hubbard*	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Petrorhagia prolifera(L.)P.W. Ball et Hey.*	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
	Cladonia impexa Harm.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	I
H	*Festuca ovina L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	I
T	*Aira caryophyllea L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I

Ont également été notées : *Acer pseudoplatanus L. 108/2 (+) ; Betula pendula Roth. 108/2 (+), 160/6 (+) ; Carlina vulgaris L. 13/2 (+) ; Cerastium semidecandrum L. 108/2 (+) ; Clematis vitalba L. 108/2 (+), 85/10 (+.2) ; Convolvulus arvensis L. 85/9 (+), 85/10 (+.2) ; Crataegus monogyna Jacq. 32/1 (+), 13/2 (+) ; Epilobium montanum L. 160/6 (+) ; Epilobium adnatum Griseb. 108/2 (+) ; Eupatorium cannabinum L. 108/2 (+) ; Hieracium caespitosum Dum. 108/2 (+) ; Poa nemoralis L. 108/2 (+) ; Quercus robur L. 108/2 (+) ; Rosa canina L. 84/4 (1.1), 31/3 (+), 32/3 (+) ; Rubus sp. 32/1 (+.2) ; Rumex crispus L. 98/4 (+) ; Satureia acinos (L.) Scheele 31/3 (+) ; Senecio viscosus L. 45/2 (+) ; Solanum dulcamara L. 108/2 (+) ; Solidago canadensis L. 160/3 (+).*

	1	2	3	4			5	
Numéro du terril	31	85	34	103	146	146	146	113
Numéro du prélèvement	72	8	79	33	83	82	89	21
pH (dans l'eau)	7,7	7,2	7,2	6,9	5,6	5,8	4,3	7,6
pH (dans KCl N/10)	7	6,7	6,4	6,7	4,6	5,2	3,5	7,3
CO_3Ca %	0,3	0,15	0,6	0,5	0,3	0,5	0,4	-
K échangeable (meq/100 g de sol)	1,15	0,99	0,29	0,53	1,25	1,81	1,02	0,90
Mg échangeable (meq/100 g de sol)	6,87	3,96	5,21	2,29	1,87	2,5	0,25	2,5
Ca échangeable (meq/100 g de sol)	11,75	11,87	8,75	21,25	12,5	13,1	6,25	28,75
Somme des bases (meq/100 g de sol)	20,03	16,92	14,34	24,20	15,87	17,63	7,66	32,37
Mg/Ca	0,58	0,33	0,59	0,1	0,15	0,19	0,04	0,08
N total %	0,27	0,45	0,11	0,46	0,41	0,32	0,70	0,17
$N\text{-}NH_4$ (mg/100 g de sol)	1,57	3,73	1,63	3,26	2,44	3,15	8,4	1,31
$N\text{-}NO_3$ (mg/100 g de sol)	1,05	1,63	0,81	1,16	1,28	1,48	0,78	0,87
P assimilable %	0,01	0,08	0,06	0,09	0,13	0,12	0,02	0,30
Sulfates % (extraction aqueuse)	0,04	0,007	0,005	-	0,05	0,02	-	0,17

Tableau 14 : Conditions nutritionnelles de diverses friches des terrils du Nord de la France.

1 : friche à Pastinaca sativa - 2 : friche à Tussilago farfara et Arrhenatherum elatius - 3 : friche à Tussilago farfara et Poa compressa - 4 : Dauco-Picridetum - 5 : friche à Calamagrostis epigeios.

Tableau 15 : *Le spectre biologique de la friche à Pastinaca sativa.*

		Hémicryptophytes	Géophytes	Thérophytes	Cryptogames	Total
Groupement typique	nombre d'espèces	27	2	6	2	37
	spectre brut	72 %	6 %	16 %	6 %	
	spectre pondéré	72 %	5 %	14 %	9 %	
Groupement à *Arrhenatherum elatius*	nombre d'espèces	21.	3	3	5	32
	spectre brut	67 %	9 %	9 %	15 %	
	spectre pondéré	75 %	9 %	3 %	10 %	

c - syndynamisme : la différenciation relevée dans la combinaison des espèces compagnes, montre d'une manière anticipée l'évolution plus ou moins rapide du groupement, vers deux formations différentes. Au sommet des micro-reliefs, aux expositions Sud, à mi-pente, le développement du groupe d'espèces des pelouses xérophiles conduira à l'*Airo-Festucetum ovinae* R. Tx (1937) 1955 des *Sedo-Scleranthetea* (PETIT, 1977). Dans les cuvettes, aux expositions Nord, en bas de pente, les espèces prairiales s'affirmeront : l'évolution se fera vers un groupement des *Arrhenatheretalia*. Dans ce second cas un retour vers la pelouse xérophile peut également s'observer.

d - syntaxonomie et synsystématique : par la combinaison des espèces, il est permis de rapporter ce groupement à l'alliance du *Dauco-Melilotion* Görs 66.

TABLEAU 16 : LA FRICHE A TUSSILAGO FARFARA

Types biologiques										Classes de présence
	Numéro du terril	87	42	87	42	142	142	142	34	
	Numéro du relevé	3	2	12	3	1	5	2	4	
	Pente en degrés	40	40	30	40	25	25	25	30	
	Orientation	ONO	NE	ONO	NE	NE	NE	NE	N	
	Surface en m^2	100	100	100	100	25	100	25	100	
	Recouvrement herbacé %	80	100	60	70	50	80	70	80	
	Recouvrement bryo-lichénique %	50	-	20	-	-	-	60	-	
	ESPECES PIONNIERES ET RUDERALES DES *ONOPORDETALIA*									
G	*Tussilago farfara L.*	3.3	4.4	3.3	4.4	3.3	2.2	4.4	5.5	V
H	*Artemisia vulgaris L.*	+	+	+	.	+	+	+	+	V
H	*Echium vulgare L.*	+	.	+	.	.	+	1.2	.	III
H	*Picris hieracioides L.*	+	.	.	.	1.1	1.1	2.2	.	III
T	*Melilotus officinalis (L.) Pallas*	.	.	.	.	1.2	+.2	+.2	+	III
H	*Reseda lutea L.*	+	+	+	+	.	.	.	.	III
G	*Cirsium arvense (L.) Scop.*	.	+	+	+.2	.	.	+	.	III
H	*Epilobium angustifolium L.*	.	+	.	+	.	+.2	.	.	II
H	*Oenothera biennis L.*	+	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Pastinaca sativa L.*	.	+	.	.	.	.	.	.	I
G	*Linaria vulgaris Mill.*	.	.	+	.	.	.	.	.	I
H	*Melandrium album (Mill.) Garcke*	.	.	.	+	.	.	.	.	I
H	*Rumex scutatus L.*	.	.	.	.	.	1.1	.	.	I
H	*Cirsium vulgare (Savi) Ten.*	.	.	.	.	.	.	+	.	I
	ESPECES PRAIRIALES MESOPHILES (*ARRHENATHERETALIA*)									
H	*Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.*	4.4	3.3	2.2	2.2	+.2	.	+	.	IV^{V}
H	*Daucus carota L.*	1.1	1.1	+	+	+	1.1	1.1	1.2	V
H	*Senecio jacobaea L.*	.	+	.	+	1.1	+	+.	.	IV
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	+	.	2.2	.	.	.	+	2.2	III
H	*Achillea millefolium L.*	+	1.1	.	.	.	.	.	.	II
H	*Holcus lanatus L.*	.	2.2	.	.	.	.	.	.	I
H	*Dactylis glomerata L.*	.	.	2.2	.	.	.	.	+	II
H	*Cerastium vulgatum L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	I
H	*Tragopogon pratensis L.*	.	.	.	.	.	.	.	1.1	I
H	*Plantago lanceolata L.*	.	.	.	.	.	.	.	+	I
	ESPECES DES PELOUSES XEROPHILES (*SEDO-SCLERANTHETEA*)									
H	*Poa compressa L.*	.	.	+.2	+.2	2.2	2.3	2.3	3.3	IV^{V}
	Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid.	3.3	.	2.2	.	.	3.3	.	.	II
H	*Hypericum perforatum L.*	.	2.2	.	+	.	.	.	.	II
T	*Arenaria serpyllifolia L.*	.	.	+	1.1	.	.	.	.	II
	Bryum argenteum Hedw.	.	.	1.1	.	.	3.3	.	.	II
T	*Cerastium pumilum Curt.*	.	.	.	1.1	.	+.2	+.2	.	II
H	*Hieracium pilosella L.*	.	.	.	1.2	.	.	.	+.2	II
	Cladonia fimbriata (L.) Fries	+	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Vulpia myuros (L.) C.C Gmel.*	.	.	1.2	.	.	.	.	.	I
H	*Potentilla argentea L.*	.	.	.	1.1	.	.	.	.	I
H	*Agrostis tenuis Sibth.*	.	.	.	.	+.2	.	+.2	.	II
T	*Petrorhagia prolifera (L.) P.W. Ball et Heyw.*	.	.	.	.	.	+	.	.	I
T	*Catapodium tenellum (L.) Trabut*	.	.	.	.	.	1.2	.	.	I
H	*Festuca ovina L.*	.	.	.	.	.	.	.	2.2	I
H	*Pimpinella saxifraga L.*	.	.	.	.	.	.	.	+	

Ont également été notées : *Crataegus monogyna Jacq.* 34/4 (1.1), 42/3 (+), 42/2 (+) ; *Fraxinus excelsior L.* 42/2 (+) ; *Rosa canina L.* 42/2 (+), 42/3 (+) ; *Sambucus nigra L.* 42/2 (+) ; *Salix caprea L.* 42/2 (+) ; *Sorbus aucuparia L.* 42/2 (+).

2) LA FRICHE A *TUSSILAGO FARFARA* (TABLEAU 16) :

Ce groupement pionnier qui occupe des situations de pentes exposées au Nord, est fortement marqué par la présence de *Tussilago farfara*. Cette espèce très sociale couvre de grandes surfaces au sol et à l'intérieur du substrat. Aussi, les autres espèces pionnières rudérales sont-elles peu abondantes.

Cette formation s'exprime sous deux aspects différents :

- par une friche haute et dense à *Arrhenatherum elatius* sur pentes fortes bien pourvues en azote total et en éléments biogènes (Mg et Ca échangeables élevés et Mg/Ca peu élevé) (tableau 14) ;
- par une friche claire à *Poa compressa* sur les replats ou les pentes plus douces, pauvres en azote total, riches en éléments biogènes (Mg échangeable et Mg/Ca élevés) (tableau 14).

OBERDORFER décrit en 1957 sur terrains argilo-sableux humides, un *Tussilaginetum farfarae* qui inclut l'association à *Tussilago farfara* et *Poa compressa* étudiée par TUXEN en 1931 sur terrains calcaires et l'association à *Tussilago farfara* et *Epilobium angustifolium* de Kreh (1951). Il range cette association dans l'ordre des *Onopordetalia*. GUTTE (1966, 1975), qui cite également cette association, donne la combinaison caractéristique suivante : *Tussilago farfara, Equisetum arvense, Cirsium arvense, Agropyron repens, Taraxacum officinale* et la rapporte à la classe des *Agropyretea repentis* Oberd. Müller et Görs 1967 des groupements pionniers à végétaux possédant une multiplication végétative intense.

A la lumière de la composition floristique des autres types de friches des terrils, le groupement à *Tussilago farfara* semble plus correspondre à une forme plus fraiche d'associations du *Dauco-Melilotion*, ou à la subsistance d'un stade dynamique d'une association pionnière.

3) LA FRICHE A *GLAUCIUM FLAVUM* : LE *GLAUCIETUM FLAVI* GUTTE 1972 :

Cette association décrite par GUTTE en 1972 sur les déblais thermophiles des régions Sud et Ouest d'Allemagne de l'Est est signalée comme relativement rare. Un groupement pionnier, très ouvert à *Glaucium flavum* est également présent sur quelques terrils acides (pH dans l'eau = 4,7) du Nord de la France. Il se développe bien sur les surfaces planes où le substrat, plus ou moins grossier, est légèrement tassé.

Bien que le cortège floristique de notre groupement soit quelque peu différent du *Glaucietum flavi* Gutte 1972 (tableau 17), comme le fait cet auteur, on peut par les espèces présentes, également le rattacher au *Dauco-Melilotion*.

Tableau 17 : *Glaucietum flavi* Gutte 1972.

	d'après GUTTE		sur les terrils du Nord de la France	
	1	2	3	4
Glaucium flavum Crantz	3	3	3	4
Diplotaxis tenuifolia (L.)DC.	2	2	+	+
Brassica elongata Ehrh.	.	1	.	.
Podospermum laciniatum (L.)DC.	.	+	.	.
Daucus carota L.	+	i	.	.
Poa compressa L.	+	i	.	.
Atriplex rosea L.	1	+	.	.
Puccinellia distans (L.)Parl.	+	.	.	.
Melilotus officinalis (L.)Pallas	1	+	.	.
Arenaria serpyllifolia L.	1	.	.	.
Inula coniza D.C.	.	+	.	.
Agropyron repens (L.)Beauv.	+	.	.	.
Calamagrostis epigeios (L.)Roth	.	.	3	1
Pastinaca sativa L.	.	.	2	4
Silene vulgaris (Moench)Garcke	.	.	1	2
Echium vulgare L.	.	.	1	.
Matricaria maritima L.	.	.	+	.
Solanum dulcamara L.	.	.	.	+

4) LA FRICHE A *PICRIS HIERACIOIDES* ET *DAUCUS CAROTA* : LE *DAUCO-PICRIDETUM* (FABER 33) GÖRS 66 : (PLANCHE V, PHOTO 1)

a - composition floristique et symphysionomie (tableau 18) : comme dans les formations précédemment étudiées, cette friche se compose d'un noyau d'espèces rudérales bisannuelles ou vivaces des *Onopordetalia*, auquel s'ajoutent des espèces prairiales des *Arrhenatheretalia* et des espèces des pelouses sèches des *Sedo-Scleranthetea*.

b - synécologie : ce groupement caractérise des zones subhorizontales tassées et les pentes bien fixées, aussi le rencontre-t-on très souvent sur les rampes de chargement des terrils abandonnés depuis peu de temps. Les conditions nutritionnelles du substrat colonisé par cette formation sont sensiblement différentes de

TABLEAU 18 : DAUCO-PICRIDETUM (FAB. 33) GÖRS 66

Types biologiques															Classes de présence
	Numéro du terril	101	152	58	58	111	98	97	146	146	84	49	48	91	
	Numéro du relevé	4	4	10	8	15	1	2	2	1	6	1	1	2	
	Pente en degrés	25	25	20	0	30	0	40	0	0	25	30	0	0	
	Orientation	SE	0	S	-	NE	-	SE	-	-	ONO	E	-	-	
	Surface en m^2	100	100	100	100	400	25	100	100	300	40	100	100	10	
	Recouvrement herbacé %	100	80	90	90	80	60	60	80	90	100	100	70	100	
	Recouvrement bryo-lichénique %	-	50	10	60	-	30	5	-	-	80	-	5	-	
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION														
H	*Picris hieracioides L.*	5.5	3.3	4.4	3.3	3.3	3.3	2.2	3.3	1.1	3.3	2.2	3.3	3.3	V
H	*Daucus carota L.*	+	1.2	+	.	2.2	1.1	2.2	1.1	1.1	1.1	+	.	.	IV
	ESPECES PIONNIERES ET RUDERALES DES *ONOPORDETALIA*														
H	*Echium vulgare L.*	3.3	1.2	.	.	2.2	.	.	3.3	4.4	+	2.2	+	.	IV
H	*Artemisia vulgaris L.*	1.1	.	+	.	.	+	2.2	.	+.2	1.2	+	.	1.2	IV
H	*Cirsium vulgare(L.)Scop.*	+	+	.	1.1	.	.	.	+	+	.	.	+	.	III
G	*Linaria vulgaris Mill.*	+	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	+.3	+.2	.	II
H	*Pastinaca sativa L.*	.	+	.	.	.	+	.	.	.	1.1	.	+	.	II
H	*Epilobium angustifolium L.*	.	1.2	.	+	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	II
H	*Inula coniza D.C.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Melilotus albus Med.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Reseda lutea L.*	.	.	.	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.	II
H	*Tanacetum vulgare L.*	.	.	.	3.3	2.2	.	.	.	+	.	.	.	.	II
H	*Diplotaxis tenuifolia(L.)D.C.*	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	+	+	.	.	II
H	*Epilobium adnatum Griseb.*	.	.	.	+	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	I
T	*Senecio viscosus L.*	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Cynoglossum officinale L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Erigeron canadensis L.*	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Rumex scutatus L.*	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	2.2	.	.	.	I
G	*Tussilago farfara L.*	.	.	.	.	.	.	.	3.3	1.2	.	.	.	.	I
H	*Oenothera biennis L.*	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	I
T	*Berteroa incana(L.)D.C.*	.	.	.	.	.	.	.	+.2	2.2	.	.	.	.	I
T	*Vicia hirsuta(L.)S.F. Gray*	.	.	.	.	.	.	.	2.2	1.1	.	.	.	.	I
T	*Matricaria maritima L.*	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	I
H	*Silene vulgaris(Moench)Garcke*	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	+	1.1	.	II
T	*Melilotus officinalis(L.)Pallas*	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	I
H	*Melandrium album(Mill.)Garcke*	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I
G	*Cirsium arvense(L.)Scop.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	I
	ESPECES PRAIRIALES MESOPHILES (*ARRHENATHERETALIA*)														
H	*Arrhenatherum elatius(L.)Beauv.*	.	+.2	.	.	.	.	1.1	1.2	2.2	5.5	5.5	3.3	5.5	IV V
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	.	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.	1.1	2.3	II IV
H	*Plantago lanceolata L.*	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	I
H	*Achillea millefolium L.*	.	.	.	+	+	+.2	+	.	.	.	+	1.1	.	III
H	*Dactylis glomerata L.*	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	2.2	.	.	I
H	*Holcus lanatus L.*	.	.	.	.	.	.	.	2.2	2.2	.	.	.	.	I
H	*Rumex acetosa L.*	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	I
	Brachythecium rutabulum(Hedw.)B.,S. et G.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5.5	.	.	.	I
H	*Hieracium laevigatum Willd.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
H	*Senecio jacobaea L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	I
H	*Vicia cracca L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
	ESPECES DES PELOUSES XEROPHILES (*SEDO-SCLERANTHETEA*)														
T	*Vulpia myuros(L.)C.C. Gmel.*	2.3	3.3	4.4	5.5	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	II V
T	*Cerastium pumilum Curt.*	.	+	1.1	1.2	.	2.2	.	.	.	1.2	.	+	.	III IV
H	*Poa compressa L.*	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	+	+	2.3	.	II
	Ceratodon purpureus(Hedw.)Brid.	.	3.3	1.1	.	.	3.3	1.3	.	.	.	.	1.1	.	II III
	Cladonia furcata Schrad.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	I
T	*Petrorhagia prolifera(L.)P.W. Ball et Heyw.*	+	.	2.2	2.2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	II IV
H	*Agrostis tenuis Sibth.*	.	.	.	.	.	.	.	1.2	3.3	.	.	.	.	I
T	*Medicago lupulina L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I
T	*Arenaria serpyllifolia L.*	.	.	1.1	2.2	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	II III
H	*Hypericum perforatum L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Cardaminopsis arenosa(L.)Hayek*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Carlina vulgaris L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Bryum argenteum Hedw.	.	1.2	1.1	4.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II IV
T	*Bromus sterilis L.*	+.2	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I III
H	*Hieracium pilosella L.*	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Hypochoeris radicata L.*	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I

celles du groupement à *Pastinaca sativa* : le pH est plus bas, le rapport Mg/Ca plus faible du fait d'une teneur en Mg échangeable moindre (tableau 14).

L'abondance de *Vulpia myuros* ou d'*Arrhenatherum elatius* différencie au sein de cette association deux formes nettement identifiables par leur spectre biologique (tableau 19) et par leur composition en espèces pionnières et rudérales, en espèces prairiales, en espèces des pelouses sèches (tableau 20).

- la forme à *Arrhenatherum elatius* est enrichie en espèces vivaces (surtout hémicryptophytes), alors que les thérophytes sont peu représentés . Les espèces prairiales qui dominent par leur nombre et leur recouvrement les espèces de la pelouse sèche, entrent également en compétition avec les espèces pionnières et rudérales ;
- la forme à *Vulpia myuros* est très riche en thérophytes et les espèces vivaces sont beaucoup moins nombreuses que dans les deux autres formes. Les espèces de la pelouse sèche sont cette fois plus nombreuses et ont un recouvrement plus important que les espèces prairiales.

Tableau 19 : Spectre biologique du Dauco-Picridetum (Fab. 33) Gors 66 des terrils.

		Hémicryptophytes	Géophytes	Thérophytes	Cryptogames	Total
Forme à *Vulpia myuros*	nombre d'espèces	18	1	7	3	29
	spectre brut	62 %	3,5 %	24 %	10,5 %	
	spectre pondéré	54 %	2 %	30 %	12 %	
Forme typique	nombre d'espèces	24	2	10	1	37
	spectre brut	64,5 %	5 %	27 %	2,5 %	
	spectre pondéré	74 %	4,5 %	18,5 %	3 %	
Forme à *Arrhenatherum elatius*	nombre d'espèces	19	2	2	3	26
	spectre brut	73 %	7,5 %	7,5 %	12 %	
	spectre pondéré	80,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	

Tableau 20 : Composition éco-sociologique du Dauco-Picridetum (Fab. 33) Görs 66 des terrils.

		Espèces pionnières et rudérales	Espèces prairiales	Espèces des pelouses sèches
Forme à *Vulpia myuros*	Nombre	12	5	11
	Pourcentage	43	18	39
	Somme des recouvrements moyens	78,33	4,48	95,46
Forme typique	Nombre	17	7	6
	Pourcentage	56,5	23,5	20
	Somme des recouvrements moyens	80,84	17,64	22,04
Forme à *Arrhenatherum elatius*	Nombre	10	9	5
	Pourcentage	41,5	37,5	21
	Somme des recouvrements moyens	42,12	106,4	57,4

c - syndynamisme : la dualité éco-sociologique déjà observée dans le groupement à *Pastinaca sativa* et la friche à *Tussilago farfara*, se retrouve dans cette association. Elle permet donc une évolution vers les *Arrhenatheretalia* dans les conditions fraîches ou vers une pelouse maigre à *Hieracium pilosella* et à *Poa compressa* en conditions plus xériques (*Hieracio-Poetum compressae* Petit 1977).

d - syntaxonomie : la comparaison du *Dauco-Picridetum* des terrils, avec celui décrit par GÖRS en 1966, des vignobles abandonnés, met en évidence une meilleure relation de notre association avec l'alliance des *Onopordetalia*. Par sa thermophilie et sa nitrophilie moindres, elle est en effet libérée des espèces des *Sisymbrietalia*.

5) LA FRICHE A *ECHIUM VULGARE* ET *MELILOTUS ALBUS* : L'*ECHIO-MELILOTETUM ALBI* TX 42 :

a - symphysionomie et composition floristique (tableau 21) : cette association est, durant la période estivale, typiquement bistrate. Une friche élevée, très florifère, à recouvrement très important domine une pelouse basse riche en thérophytes. La friche est composée des espèces rudérales pionnières déjà rencontrées dans les autres groupements, auxquelles s'ajoutent *Melilotus albus, Melilotus officinalis*. Quelques espèces thermo-xérophiles (*Erigeron canadensis, Matricaria maritima, Inula coniza, Berteroa incana, Reseda luteola, Lepidium virginicum, Artemisia absinthium, Verbascum thapsus, V. blattaria, Calamagrostis epigeios*) différencient un certain nombre de relevés.

Des espèces prairiales (*Arrhenatherum elatius, Daucus carota, Achillea millefolium, Centaurea nigra, Dactylis glomerata*, etc...) participent également à la formation et différencient une forme plus mésophile.

La pelouse basse, également très dense, est formée d'espèces ayant terminé leur cycle végétatif (*Vulpia myuros, Cerastium pumilum, Arenaria serpyllifolia, Petrorhagia prolifera*) et d'espèces à comportement très social qui annoncent déjà le dynamisme du groupement (*Poa compressa, Agrostis tenuis, Hieracium pilosella*).

La physionomie hivernale de la formation est surtout caractérisée par la litière importante mais très grossière, donnée par les hampes florales. Au printemps, les thérophytes ferment les espaces laissés entre les rosettes des hémicryptophytes, et donnent un tapis très verdoyant.

b - synécologie : cette association caractérise surtout les substrats subhorizontaux, riches en éléments fins, et plus rarement les pentes, même stabilisées. Elle peut également apparaître à la faveur de l'exploitation ou d'un remaniement du terril, ou à l'intérieur de formations végétales plus anciennes, dégradées.

La succession saisonnière décrite précédemment correspond à une utilisation optimale des conditions hydriques du terril. Les espèces annuelles à croissance rapide, qui présentent d'ailleurs certains caractères d'éphémérophytes par leur aptitude à fleurir très précocement alors que l'appareil végétatif est encore peu développé, utilisent les premiers centimètres du substrat. Les espèces bisanuelles et vivaces résistent aux périodes sèches de l'été par leur enracinement plus profond.

TABLEAU 21 : ECHIO-MELILOTETUM ALBI TX. 42

Types biologiques																			Classes de présence
	Numéro du terril	153	197	157	144	144	75	144	143	103	160	103	0	103	28	90	107	143	
	Numéro du relevé	5	1	3	6	8	1	7	2	16	1	11	1	13	1	2	5	8	
	Pente en degrés	30	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	30	0	0	
	Orientation	S	-	-	-	-	-	-	-	-	SO	-	-	-	-	E	-	-	
	Surface en m^2	5	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	25	100	100	25	100	100	
	Recouvrement herbacé %	50	95	80	80	100	80	100	80	60	90	70	100	100	100	90	100	90	
	Recouvrement bryo-lichénique %	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	5	5	-	-	-	-	
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION																		
T	*Melilotus albus* Med.	+	5.5	4.4	.	+	3.3	5.5	4.4	3.3	3.3	2.2	+	+	5.5	5.5	5.5	3.3	V
T	*Melilotus officinalis* (L.) Pallas	.	.	1.2	1.1	.	.	.	+	.	.	2.2	5.5	5.5	.	.	.	.	II
H	*Echium vulgare* L.	2.3	.	3.3	.	+.2	2.2	+	.	+	.	+	.	.	2.2	.	+	+	IV
	ESPECES RUDERALES (ONOPORDETALIA)																		
H	*Artemisia vulgaris* L.	+	.	1.1	.	2.3	+	+	.	+	+	.	.	.	.	+	+	.	III
G	*Linaria vulgaris* Mill.	1.2	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	II
H	*Tanacetum vulgare* L.	.	1.1	+.2	.	+.2	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+.2	II
H	*Picris hieracioides* L.	.	.	2.2	.+	1.1	2.2	1.1	1.1	.	+	+	.	1.1	+	+	1.1	.	IV
G	*Cirsium arvense* (L.) Scop.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	.	.	1.2	.	.	.	II
H	*Cirsium vulgare* (L.) Scop.	.	.	.	.	1.1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Melandrium album* (Mill.) Garcke	.	.	.	.	+.2	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Diplotaxis tenuifolia* (L.) D.C.	.	.	.	.	.	+	.	.	1.1	.	.	.	.	+	+	.	.	II
H	*Reseda lutea* L.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	II
G	*Tussilago farfara* L.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Epilobium angustifolium* L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+.2	II
H	*Pastinaca sativa* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	+	1.1	2.2	.	II
T	*Vulpia myuros* (L.) C.C. Gmel.	.	+	.	5.5	3.3	2.2	5.5	.	2.2	.	.	+	.	.	.	.	.	II IV
H	*Oenothera biennis* L.	+	+	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II IV
T	*Erigeron canadensis* L.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Lepidium virginicum* L.	2.3	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Artemisia absinthium* L.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Reseda luteola* L.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Berteroa incana* (L.) D.C.	.	.	.	3.1	+	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Inula coniza* D.C.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Potentilla argentea* L.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Verbascum tapsus* L.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Verbascum blattaria* L.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES DES PELOUSES XEROPHILES (SEDO-SCLERANTHETEA)																		
T	*Cerastium pumilum* Curt.	+	+	.	3.3	1.1	1.1	3.3	.	.	.	1.1	+	1.1	2.2	.	.	.	IV
T	*Arenaria serpyllifolia* L.	+	+	.	3.3	1.1	1.1	2.2	3.3	.	+	.	.	.	2.2	.	.	.	III
H	*Hypochoeris radicata* L.	+.2	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Hieracium pilosella* L.	.	+.2	.	.	.	2.2	.	+.2	.	1.2	.	3.3	.	.	.	.	.	II
H	*Hypericum perforatum* L.	.	+	+	.	+	+	+	.	+	.	.	.	.	.	+	+	2.2	III
H	*Fragaria vesca* L.	.	1.2	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1.1	.	II
T	*Bromus sterilis* L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Agrostis tenuis* Sibth.	.	.	+	2.3	+.2	.	.	.	.	.	.	.	1.3	.	.	.	.	II
T	*Trifolium arvense* L.	.	.	.	+.3	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I
H	*Poa compressa* L.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	1.2	.	4.4	2.2	3.3	1.2	.	.	.	II
T	*Petrorhagia prolifera* (L.) P.W. Ball et Heyw.	.	.	.	.	.	+	.	.	2.2	+	+	.	.	+	.	.	.	II
T	*Trifolium campestre* Schreb.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	I
T	*Medicago lupulina* L.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	1.3	.	.	.	.	.	I
	Cladonia furcata Schrad.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	+	1.1	.	.	.	.	I
	ESPECES DES PRAIRIES MESOPHILES (ARRHENATHERETALIA)																		
H	*Arrhenatherum elatius* (L.) Beauv.	.	1.2	.	.	.	.	.	+	+	1.1	+	.	+	2.2	2.2	4.4	3.3	III V
H	*Daucus carota* L.	2.2	.	1.1	.	.	+	.	.	+	2.2	+	1.1	+	.	+	.	.	III IV
H	*Achillea millefolium* L.	1.2	+	+	.	.	+	+	.	+	.	2.2	2.3	2.2	.	.	1.1	2.2	IV
H	*Hieracium lachenalii* C.C. Gmel.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	1.1	1.1	II
H	*Dactylis glomerata* L.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+.2	.	I
H	*Chrysanthemum vulgare* L.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+.2	II
H	*Plantago lanceolata* L.	.	.	+	.	.	.	2.2	.	.	.	.	+	.	.	2.2	.	.	II
H	*Centaurea nigra* L.	.	.	.	1.1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth	.	.	.	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.3	I
H	*Cerastium vulgatum* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Holcus lanatus* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+.2	I
T	*Vicia sativa* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	I

Ont également été notées : *Agropyron repens* (L.) Beauv. 144/8 (2.3) ; *Betula pendula* Roth. 144/6 (+), 75/1 (+), 143/2 (+), 143/8 (1.1) ; *Cardaminopsis arenosa* (L.) Hayek 197/1 (+) ; *Carduus nutans* L. 28/1 (+) ; *Carlina vulgaris* L. 197/1 (+) ; *Catapodium tenellum* (L.) Trabut 157/3 (+) ; *Clematis vitalba* L. 157/3 (+) ; *Crataegus monogyna* Jacq. 107/5 (+) ; *Dianthus armeria* L. 0/1 (+) ; *Dipsacus sylvestris* Huds. 107/5 (1.1) ; *Eupatorium cannabinum* L. 197/1 (+), 157/3 (+) ; *Festuca arundinacea* Schreb. 157/3 (1.2) ; *Festuca ovina* L. 157/3 (+) ; *Fraxinus excelsior* L. 107/5 (+) ; *Galeopsis angustifolia* Ehrch. ex Hoffm. 90/2 (+) ; *Herniaria glabra* L. 103/6 (+) ; *Hieracium sabaudum* L. 160/1 (+) ; *Hieracium umbellatum* L. 160/1 (+) ; *Lactuca serriola* L. 153/5 (+) ; *Linaria minor* (L.) Desf. 157/3 (+) ; *Linaria supina* (L.) Chazelles 103/16 (+) ; *Malus sylvestris* (L.) Mill. 107/5 (1.1) ; *Matricaria maritima* L. 144/6 (+) ; *Myosotis arvensis* (L.) Hill 197/1 (+) ; *Origanum vulgare* L. 0/1 (+) ; *Pirus communis* L. 107/5 (1.1) ; *Poa nemoralis* L. 197/1 (+.2), 107/5 (1.2) ; *Poa pratensis* L. 197/1 (+) ; *Poa trivialis* L. 144/8 (2.3) ; *Populus nigra* L. 75/1 (+) ; *Potentilla reptans* L. 143/2 (+.2) ; *Quercus robur* L. 0/1 (+), 107/5 (+) ; *Rosa canina* L. 0/1 (+) ; *Rubus* sp. 28/1 (2.2), 107/5 (+) ; *Rumex acetosa* L. 197/1 (+) ; *Rumex acetosella* L. 153/5 (+) ; *Rumex crispus* L. 28/1 (+) ; *Rumex scutatus* L. 90/2 (+) ; *Salix caprea* L. 144/6 (1.1) ; *Satureia acinos* (L.) Scheele 75/1 (+) ; *Scrophularia nodosa* L. 143/2 (+), 143/8 (+) ; *Sedum acre* L. 103/16 (+) ; *Solidago canadensis* L. 160/1 (+) ; *Trifolium repens* L. 144/7 (2.2) ; *Urtica dioica* L. 143/2 (+) ; *Veronica chamaedrys* L. 143/2 (1.2).

Tableau 22 : *Le spectre biologique de l'Echio-Melilotetum albi Tx. 42.*

		Hémicryptophytes	Géophytes	Thérophytes	Cryptogames	Total
Groupement typique	nombre d'espèces	31	3	13	2	49
	spectre brut	63,5 %	6 %	26,5 %	4 %	
	spectre pondéré	62 %	5 %	31,5 %	1,5 %	
Groupement à *Arrhenatherum elatius*	nombre d'espèces	22	2	9	2	35
	spectre brut	63 %	5,7 %	25,7 %	5,7 %	
	spectre pondéré	70 %	3 %	24 %	3 %	

Cette association se caractérise par un fort pourcentage en thérophytes même dans sa forme mésophile à *Arrhenatherum elatius* (tableau 22). Elle se rapproche en ce sens de la forme la plus xérique du *Dauco-Picridetum*. Cette convergence s'explique par le fait que les zones horizontales, stations préférentielles du *Dauco-Melilotetum*, se dessèchent plus rapidement et plus profondément que les pentes.

c - syndynamisme : bien que l'on note, comme dans les autres types de friches, la présence simultanée d'espèces prairiales mésophiles et d'espèces xérophiles, les situations topographiques du groupement sont plus favorables à un dynamisme vers les pelouses des *Sedo-Scleranthetea*.

d - syntaxonomie et synsystématique : la comparaison de notre tableau avec ceux publiés par divers auteurs (OBERDORFER, 1957 ; GUTTE, 1972 ; GUTTE et HILBIG, 1974) pour cette association, révèle à la fois une grande similitude et l'existence d'un groupe différentiel (avec *Vulpia myuros*, *Cerastium pumilum*, *Petrorhagia prolifera*) marquant une expression plus xérique du groupement.

TABLEAU 23 : LE GROUPEMENT A CALAMAGROSTIS EPIGEIOS ET SAPONARIA OFFICINALIS

Types biologiques														Classes de présence
	Numéro du terril	123	123	146	125	196	123	123	119	143	119	107	113	
	Numéro du relevé	2	7	6	6	1	8	13	17	4	4	3	1	
	Pente en degrés	0	0	0	0	0	0	30	0	0	20	0	20	
	Orientation	-	-	-	-	-	-	0	-	-	SSO	-	NE	
	Surface en m^2	100	200	100	100	100	400	100	100	100	100	400	150	
	Recouvrement herbacé %	60	70	100	100	90	40	100	100	100	90	95	100	
	Recouvrement arbustif %	20	40	5	5	5	20	-	-	-	-	-	-	
	Hauteur des arbustes en cm	30	130	150	150	350	100	-	-	30	150	-	-	
	Recouvrement bryo-lichénique %	20	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	10	
	ESPECES CARACTERISTIQUES DU GROUPEMENT													
H	*Calamagrostis epigeios (L.) Roth.*	3.3	1.2	5.5	5.5	2.3	2.2	4.4	5.5	5.5	3.3	3.3	5.5	V
H	*Saponaria officinalis L.*	.	.	.	.	.	+	3.3	.	.	.	.	2.2	II
CH	*Solanum dulcamara L.*	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1.2	.	+.2	II
	COMPAGNES RUDERALES HERBACEES													
H	*Epilobium angustifolium L.*	2.2	1.1	1.2	+.2	1.2	+	.	+.2	.	3.3	.	+	IV
H	*Agrostis tenuis Sibth.*	+	+.2	+.2	+	+	.	.	.	.	.	.	.	III
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	+.2	+	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	II
	Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid.	2.4	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	2.2	II
H	*Verbascum thapsus L.*	1.2	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	II
T	*Senecio viscosus L.*	.	1.2	.	.	+	.	.	.	.	1.2	.	.	II
T	*Poa annua L.*	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	I
H	*Urtica dioica L.*	.	+	.	.	1.3	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Cirsium vulgare (Savi) Ten.*	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Echium vulgare L.*	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	II
H	*Tanacetum vulgare L.*	.	.	+	.	.	.	+	.	.	+	.	.	II
H	*Inula coniza D.C.*	.	.	+	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	I
G	*Cirsium arvense (L.) Scop.*	.	.	.	.	+	.	+	+.2	.	.	+.2	+.2	III
H	*Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.*	.	.	.	+.2	4.4	.	2.2	.	.	+	.	.	II
H	*Artemisia vulgaris L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.2	.	+	III
H	*Picris hieracioides L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	1.1	.	II
H	*Hypericum perforatum L.*	.	.	.	.	+.2	.	+	.	+	.	+	.	II
H	*Rumex acetosella L.*	.	.	.	.	+.2	.	+	.	.	.	.	.	I
H	*Linaria vulgaris Mill.*	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+.2	.	.	II
G	*Tussilago farfara L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5.5	2.2	I
	COMPAGNES ARBUSTIVES													
P	*Betula pendula Roth.*	2.2	3.3	+	1.1	1.1	2.2	.	.	+	+	.	.	IV
P	*Salix caprea L.*	+	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	II
P	*Salix cinerea L.*	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
CH	*Rubus sp.*	.	+	.	+.3	+	.	.	+.2	.	.	.	.	II
P	*Sambucus nigra L.*	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
P	*Crataegus monogyna Jacq.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
P	*Rosa canina L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
P	*Frangula alnus Mill.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
P	*Salix aurita L.*	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I

Espèces également présentes : *Bryum argenteum Hedw.* 113/1 (+.2) ; *Catapodium tenellum* (L.) *Trabut* 123/7 (+) ; *Cerastium pumilum Curt.* 123/2 (+) ; *Cerastium vulgatum L.* 119/4 (+) ; *Chrysanthemum leucanthemum* 146/6 (+) ; *Convolvulus arvensis L.* 123/13 (+) ; *Crepis capillaris* (L.) *Wallr.* 119/4 (+) ; *Dactylis glomerata L.* 123/13 (+) ; *Daucus carota L.* 107/3 (1.1) ; *Diplotaxis tenuifolia* (L.) *D.C.* 113/1 (+) ; *Equisetum arvense L.* 123/13 (+) ; *Erigeron canadensis L.* 119/4 (+.2) ; *Holcus lanatus L.* 119/4 (+.2) ; *Hypochoeris radicata L.* 119/17 (+.2) ; *Lactuca serriola L.* 196/1 (+) ; *Matricaria maritima L.* 113/1 (+) ; *Melilotus albus Med.* 107/3 (+) ; *Oenothera biennis L.* (143/4 (+) ; *Pastinaca sativa L.* 119/4 (+) ; *Phragmites australis* (Cav.) *Trin. ex. Steud.* 146/6 (+) ; *Plantago lanceolata L.* 107/3 (+) ; *Poa compressa L.* 107/3 (1.2) ; *Reseda lutea L.* 113/1 (+) ; *Reseda luteola L.* 119/4 (+) ; *Rumex crispus L.* 123/7 (+) ; *Verbascum blattarioides Lam.* 123/7 (+) ; *Vulpia myuros* (L.) *C.C. Gmel.* 119/4 (+) ; *Hieracium pilosella L.* 143/4 (+) ; *Pteridium aquilinum* (L.) *Kuhn.* 123/13 (2.2).

Cette formation relève du *Dauco-Melilotion* Görs 66 de l'ordre des *Onopordetalia* Br.-Bl. et Tx. 43 em. Görs 66.

6) LE GROUPEMENT A *CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* ET *SAPONARIA OFFICINALIS* :

a - composition floristique et symphysionomie (tableau 23) : typiquement, ce groupement s'exprime sous l'aspect d'une friche élevée, dominée par *Calamagrostis epigeios*. *Epilobium angustifolium*, *Betula pendula* (arbustif) participent également avec une présence élevée, à la formation. Parmi les autres espèces relevées, seules celles possédant un moyen de multiplication végétative vigoureux rivalisent, dans quelques stations avec le *Calamagrostis epigeios* (*Tussilago farfara*, *Arrhenatherum elatius*). Aussi, ce groupement se rencontre-t-il fréquemment à l'état monospécifique sur de grandes superficies. Cette particularité est encore renforcée par les incendies* de printemps ou du début de l'été qui ravagent cette formation à la faveur de l'épaisse litière mal décomposée , accumulée en quelques années par cette espèce. Les espèces annuelles et bisannuelles sont éliminées, alors que *Calamagrostis epigeios* ressort grandi par le passage du feu.

b - synécologie : ce groupement se développe sur les terrils plats ou les surfaces sub-horizontales des terrils coniques, il est rarement rencontré sur les pentes, et dans ce cas ces dernières sont toujours d'inclinaison faible. Il caractérise généralement un substrat riche en éléments fins, acide, assez pauvre en cations biogènes (tableau 14). L'existence d'un horizon A_0 très important témoigne d'un mauvais fonctionnement des cycles biologiques : l'azote ammoniacal est d'ailleurs nettement excédentaire par rapport à l'azote nitrique, le rapport C/N est très élevé.

Cependant, cette formation a également été rencontrée sur des substrats très particuliers présentant des conditions nutritionnelles toutes différentes : bassins de décantation, terrils enrichis des déchets provenant d'usines de traitement des métaux lourds, pourtour de zones en combustion, terrils enrichis des cendres volantes de centrales thermiques (tableau 14, prélèvement 21).

* *le feu peut être allumé volontairement ou par imprudence mais aussi se propager depuis des foyers de combustion naturels.*

c - syndynamisme : de part son amplitude écologique vis-à-vis des conditions chimiques du milieu, principalement du pH, ce groupement peut s'insérer dans diverses séries dynamiques et se substituer à différents groupements pionniers. Mais son rôle le plus important est certainement celui de pionnier sur ces milieux très sélectifs cités ci-dessus. Les seules espèces capables d'entrer en compétition avec le *Calamagrostis epigeios* sont des espèces arbustives et en particulier cet autre pionnier qu'est le bouleau. Ce groupement conduit donc avec un dynamisme plus ou moins rapide, à des formations boisées à *Betula pendula*, sous lesquelles cette graminée perd de sa vigueur et finit par disparaître.

d - syntaxonomie, synsystématique et discussion : dès 1928, JURASZEK décrit un *Calamagrostietum epigeii* des clairières forestières, dans une région de dunes continentales polonaises. OBERDORFER (1967) range cette association dans la classe des *Epilobietea angustifolii* Tx. et Prsg. 1950 en soulignant qu'elle représente probablement un faciès d'autres associations de cette classe. JURASZEK avait d'ailleurs insisté sur le fait que le *Calamagrostietum epigeii* était fortement modifié dans sa composition floristique, par les groupements de contact. En accord avec ces remarques, TUXEN (1975) note pour chaque association du *Fragarion vescae* (*Atropetum belladonnae, Arctietum nemorosae, Senecionetum fuchsii*), une sub-association à *Calamagrostis epigeios*. Cette espèce pénètre également dans les fourrés du littoral dans lesquels elle différencie des sous-associations plus fraîches du *Sambuco-Hippophaetum* (MELTZER, 1941) Boerboom 1960 et de l'*Hippophaeo-Ligustretum* Meltzer 1941 em. Boerboom 1960 (DELELIS et GEHU, 1974).

BEER (1955), KLEMM (1966), GUTTE (1969, 1975) décrivent également un groupement à *Calamagrostis epigeios* des terrils acides de la région d'exploitation de lignite en Saxe, donc dans un contexte plus rudéral. Ce dernier auteur range ce groupement dans la classe des *Agropyretea repentis* Oberd., Th. Muller et Görs apud Oberd. et All. 1967, "malgré les différences marquantes qui existent avec les autres associations de cette classe".

Comparé aux relevés donnés par KLEMM et GUTTE, notre tableau montre une grande homologie, avec cependant une accentuation du cortège des espèces du *Dauco-Melilotion*. D'autre part, notre groupement est nettement différencié des autres associations de cette alliance par la présence de *Solanum dulcamara* et *Saponaria officinalis*.

Sur les terrils du Nord de la France, le groupement à *Calamagrostis epigeios* qui semble posséder une certaine individualité est donc plus proche des

associations du *Dauco-Melilotion* dont il représente l'expression la plus acide. Cependant, nous avons vu que cette espèce avait en fait une large amplitude écologique et comme le pensent de nombreux auteurs confrontés à ces groupements, une vue plus globale est nécessaire pour traiter des problèmes de leur systématique.

7) LE GROUPEMENT PIONNIER A *CATAPODIUM TENELLUM* (TABLEAU 24) :

Tableau 24 : Le groupement pionnier à Catapodium tenellum.

Numéro du terril	119	122
Numéro du relevé	16	6
Pente en degrés	0	0
Orientation	-	-
Surface en m^2	2000	100
Recouvrement herbacé %	80	90
Catapodium tenellum (L.)Trabut	5.5	4.4
Polytrichum piliferum Hedw.	+.2	.
Spergularia rubra(L.)J.etC.Presl	+	.
Senecio viscosus L.	+	.
Chenopodium album L.	+	.
Hypochoeris radicata L.	.	3.2
Hieracium laevigatum Willd.	.	+.2
Rumex crispus L.	.	+°
Agrostis tenuis Sibth.	.	+.2

Ce groupement, rare dans le bassin, doit sa physionomie à la dominance de *Catapodium tenellum*, graminée au port rigide, très prolifique dans ses quelques stations, ce qui donne l'aspect d'un tapis brosse vert ou roux suivant la saison (planche V, photos 3 et 4).

Ce groupement se développe sur substrats bien pourvus en éléments fins mais surtout marqués par une forte acidité (pH dans KCl voisin de 3,5), une somme des bases échangeables relativement faible par rapport à la valeur moyenne des terrils, un complexe absorbant désaturé (tableau 25).

PLANCHE V : FRICHES PIONNIERES DES SUBSTRATS STABLES

Photo 1 :

Dauco-Picridetum (Fab. 33) Görs 66, forme à *Vulpia myuros*.

Photo 2 :

Groupement à *Pastinaca sativa*.

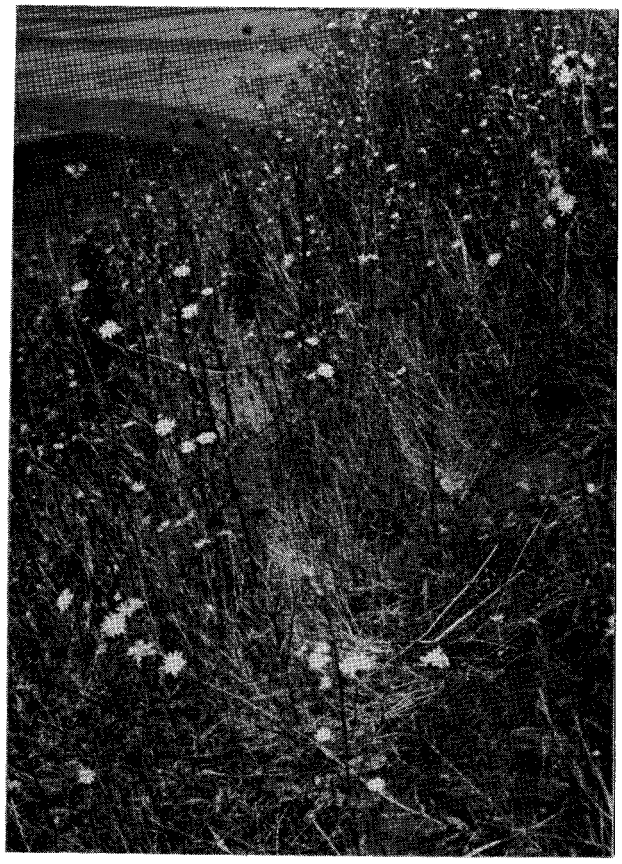
Photo 3 :

Groupement pionnier à *Catapodium tenellum*.

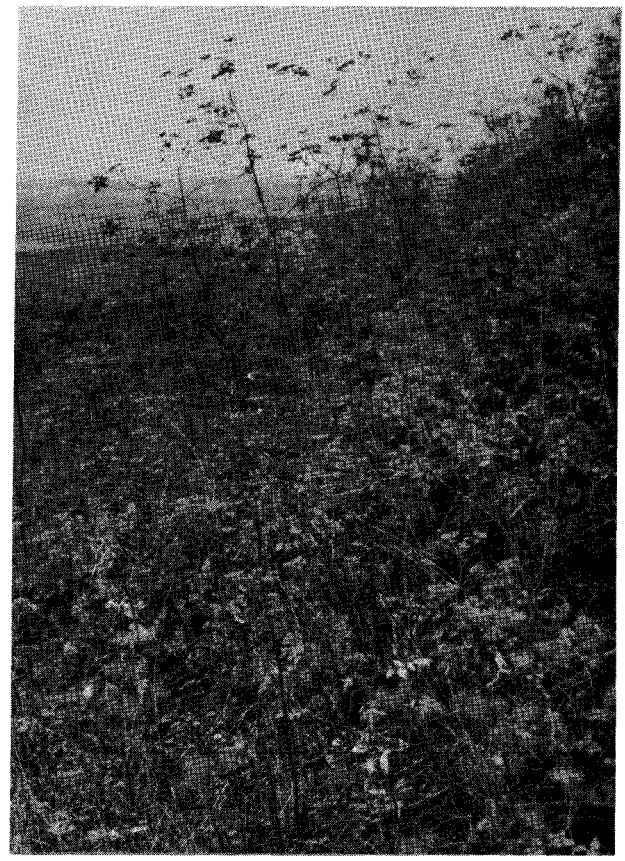
Photo 4 :

Catapodium tenellum (L.) Trabut.

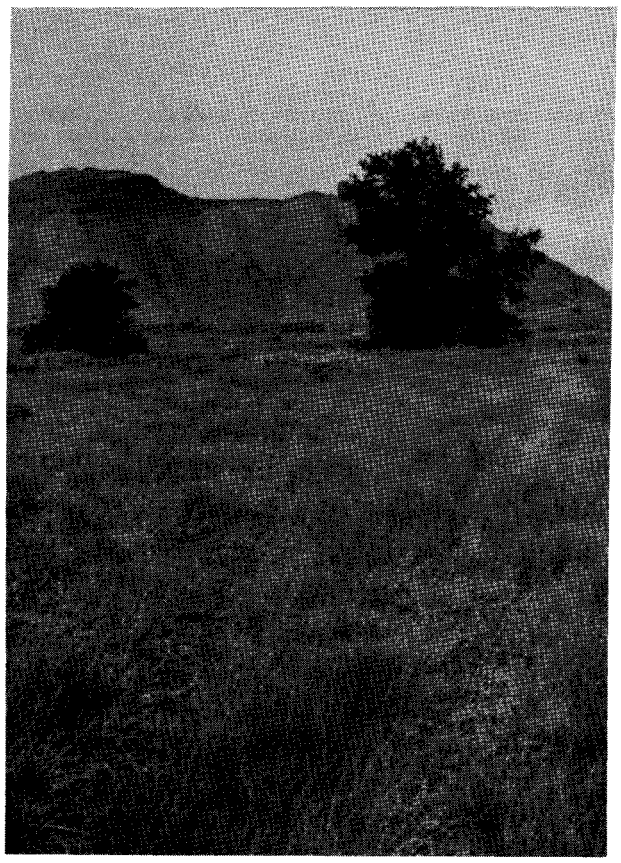
PLANCHE V



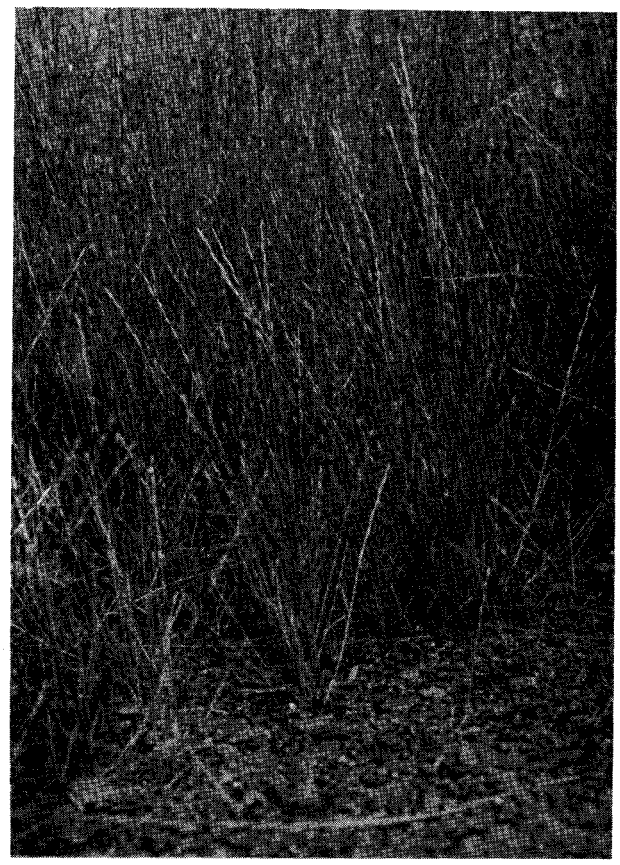
1



2



3



4

Tableau 25 : Conditions nutritionnelles du groupement pionnier à Catapodium tenellum.

N° du terril	122	122
N° du prélèvement	17	18
pH (dans l'eau)	4,1	4,5
pH (dans KCl N/10)	3,4	3,6
CO_3Ca %	0,2	0,2
K échangeable (mcq/100 g de sol)	0,27	0,62
Mg échangeable (mcq/100 g de sol)	1,04	1,25
Ca échangeable (mcq/100 g de sol)	6,87	6,25
Somme des bases (mcq/100 g de sol)	8,25	8,24
Mg/Ca	0,15	0,20
N total %	0,28	0,29
$N\text{-}NH_4$ (mg/100g de sol)	4,37	4,46
$N\text{-}NO_3$ (mg/100g de sol)	1,31	0,52
P assimilable %	0,009	0,07
Sulfates % (extraction aqueuse)	0,03	0,08

Le dynamisme d'un tel groupement essentiellement thérophytique, donc très ouvert une grande partie de l'année, se fera vers les groupements à *Calamagrostis epigeios* ou à *Betula pendula* que l'on observe d'ailleurs généralement à ses contacts.

8) LE *SAGINO-BRYETUM ARGENTEI* DIEM., SISS. ET WESTH. 1940 EM. TX 1947 *CHENOPODIETOSUM* (TABLEAU 26) :

Ce groupement caractérise les substrats surtout constitués d'éléments fins et tassés soumis au piétinement. Ces conditions sont réalisées sur les "carreaux" de fosse ou les aires de stockage des matériaux. Les quelques relevés réunis dans le tableau 26 proviennent de zones désaffectées contigües à des terrils en combustion, où cette association est nettement différenciée par la présence de *Chenopodium botrys*, *Chenopodium pumilio*, qui marquent le caractère thermo-nitrophile de ce groupement. D'autre part, la présence de *Herniaria glabra* et *Herniaria hirsuta* montre également la xéricité du milieu.

TABLEAU 26 : LE SAGINO-BRYETUM ARGENTEI DIEM., SISS. ET WESTH. 40 EM. TX. 47

Types biologiques					
	Numéro du terril	102	86	86	86
	Numéro du relevé	7	18	8	9
	Pente en degrés	0	0	0	0
	Orientation	-	-	-	-
	Surface en m^2	10	25	100	100
	Recouvrement herbacé %	100	70	80	70
	Recouvrement muscinal %	50	50	40	-
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION				
	Bryum argenteum Hedw.	3.3	3.3	3.3	.
H	*Sagina procumbens L.*	.	+	+.2	.
	ESPECES DIFFERENTIELLES DE SOUS-ASSOCIATIONS				
T	*Herniaria glabra L.*	1.1	3.3	4.4	3.3
T	*Herniaria hirsuta L.*	.	+	1.1	2.2
T	*Chenopodium botrys L.*	2.2	+	2.2	3.3
T	*Chenopodium pumilio R. Br.*	.	3.3	3.3	1.1
T	*Spergularia rubra (L.) J.et C. Presl*	.	2.2	1.1	+
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE LA CLASSE DES POLYGONO-POETEA				
T	*Polygonum aviculare L.*	+	.	+	2.2
H	*Plantago major L.*	.	+	+.2	2.2
	ESPECES COMPAGNES				
H	*Poa compressa L.*	3.3	3.3	3.3	2.2
H	*Hypericum perforatum L.*	1.1	+	.	+
T	*Cerastium pumilum Curt.*	1.1	.	.	+
T	*Linaria minor (L.) Desf.*	+	.	.	.
H	*Potentilla norvegica L.*	.	1.2	+	+
T	*Vulpia myuros (L.) Gmel.*	.	+.2	+.2	.
T	*Arenaria serpyllifolia L.*	.	2.2	.	2.2
T	*Satureia acinos (L.) Scheele*	.	+	.	+.2
H	*Hypochoeris radicata L.*	.	+	.	.
T	*Tunica prolifera (L.) Scop.*	.	+	.	.
T	*Erigeron canadensis L.*	+	+	1.2	1.1
H	*Picris hieracioides L.*	1.1	.	.	+
H	*Matricaria maritima L.*	+	.	.	+
H	*Achillea millefolium L.*	2.2	.	.	.
H	*Plantago lanceolata L.*	+	.	.	.
H	*Daucus carota L.*	+	.	.	.
T	*Senecio viscosus L.*	+	.	.	.
H	*Tanacetum vulgare L.*	.	+	.	+
H	*Echium vulgare L.*	.	+	.	1.2
H	*Silene vulgaris (Moench) Garcke*	.	+	.	+
T	*Chenopodium album L.*	.	+	.	+
H	*Oenothera biennis L.*	.	+	.	.
H	*Diplotaxis tenuifolia (L.) D.C.*	.	+	1.1	+
H	*Epilobium adnatum Griseb.*	.	.	.	+
H	*Pastinaca sativa L.*	.	.	.	1.2
H	*Artemisia vulgaris L.*	.	.	.	+.2
H	*Reseda lutea L.*	.	.	.	+
T	*Solanum nigrum L.*	.	.	.	+
P	*Betula pendula Roth. (pl.)*	.	.	.	+

A travers les espèces compagnes se retrouvent les différents contacts possibles de cette association avec les friches des *Onopordetalia* et les pelouses xérophiles à *Poa compressa*. Cette association se différencie de ces derniers groupements par leur fort pourcentage en thérophytes (tableau 27).

Tableau 27 : Types biologiques du Sagino-Bryetum argentei chenopodietosum.

	Thérophytes	Hémicryptophytes	Phanérophytes	Bryophytes	Total
Nombre d'espèces	16	20	1	1	38
Spectre brut	42	52,6	0,2	0,2	
Spectre pondéré	48	46,8	1,3	3,9	

9) LE GROUPEMENT A *CERASTIUM VULGATUM* ET *POA ANNUA* DES AIRES DE RASSEMBLEMENTS DES LAPINS (TABLEAU 28) :

Certains terrils, en particulier les terrils plats à bouleaux et bryophytes sont de véritables garennes où les lapins entretiennent par un enrichissement en matière organique, le piétinement et la tonte, aux abords des terriers et en certaines zones privilégiées qu'ils affectionnent, un groupement original qui n'aurait pas sa place sur de tels terrils.

Ce groupement caractérisé par *Cerastium vulgatum* et *Poa annua* relève de la classe des *Polygono-Poetea annuae* Rivas Mart. 1972.

Tableau 28 : *Groupement à Cerastium vulgatum et Poa annua.*

Numéro du terril	197	229	229
Numéro du relevé	7	1	2
Pente en degrés	0	0	0
Orientation	-	-	-
Surface en m^2	1	1	1
Recouvrement herbacé %	20	80	100
ESPECES CARACTERISTIQUES DU GROUPEMENT			
Poa annua L.	1.1	3.4	5.5
Cerastium vulgatum L.	1.1	1.1	+
ESPECES CARACTERISTIQUES DU *POLYGONION AVICULARIS* BR.-BL. 1931			
Sagina procumbens L.	+	.	.
Sagina apetala Ard.	.	3.3	+
Spergularia rubra(L.)J.et C. Presl	.	3.3	.
Herniaria glabra L.	1.2	+.2	.
Matricaria discoidea DC.	.	.	2.2
Polygonum aviculare L.	.	.	2.3
ESPECES COMPAGNES			
Polytrichum juniperinum Hedw.	1.2	+.2	.
Cerastium pumilum Curt.	+	+	.
Hypericum perforatum L.	+	+	.
Echium vulgare L.	+	+	.
Epilobium angustifolium L.	+°	.	.
Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	.	3.3	.
Vulpia myuros (L.) Gmel.	.	+.2	1.2
Agrostis tenuis Sibth.	.	+.2	.
Reseda luteola L.	.	+	.
Papaver dubium L.	.	+	.
Veronica arvensis L.	.	2.2	1.2
Capsella bursa pastoris (L.)Med.	.	.	+°
Picris hieracioides L.	.	.	+°
Chrysanthemum leucanthemum L.	.	.	+°

10) LE GROUPEMENT A *POLYTRICHUM PILIFERUM* ET A *BETULA PENDULA* :

a - composition floristique et symphysionomie (tableau 29) : cette formation est constituée d'une strate arbustive et arborescente à *Betula pendula* et d'une strate bryolichénique très développée essentiellement composée de *Polytrichum piliferum, Cladonia impexa, Cladonia coniocrea, Cladonia fimbriata*. Les végétaux supérieurs herbacés sont peu abondants (recouvrement < 5 %) seul *Catapodium tenellum* peut être bien représenté (recouvrement > 50%).

Ce qui particularise également ce groupement c'est une richesse mycologique inaccoutumée pour les terrils. BON (1971-1972) a dénombré dans ces types de formations plus de 150 espèces parmi lesquelles certaines sont, dans le Nord de la France, exclusives des terrils (*Pisolithys arenarius* et *Scleroderma bovista*).

Il résulte de cette composition floristique des paysages très singuliers par leur simplicité, qui ne sont pas sans rappeler certains aspects de bétulaies arctiques.

b - synécologie : cette formation est caractéristique des terrils plats au substrat riche en "terres fines" (< 2 mm), acide, pauvre en éléments biogènes (tableau 30). Un sol peu épais se différencie rapidement. On distingue un horizon supérieur gris, cendreux (5-6 cm) immédiatement sous le tapis bryolichénique, puis un horizon noir plus ou moins poudreux (10 cm) riche en racines de bouleau reposant sur le dépôt caillouteux originel.

Les facteurs biotiques jouent dans l'organisation de cette formation un rôle essentiel. *Betula pendula* , par ses racines très superficielles et très denses, d'ailleurs prolongées par le mycélium des champignons symbiotes, entre en compétition avec les espèces herbacées qui pourraient apparaître. Seuls mousses et lichens se développent. Les populations de lapin très importantes sur ces terrils entretiennent d'ailleurs cet état en broutant les quelques herbacées existantes. Ces animaux modifient par contre le milieu par des apports de matières organiques surtout sensibles au niveau des aires de rassemblements où apparaît le groupement à *Poa annua* et *Cerastium vulgatum*.

Durant la saison hivernale, le vent qui balaie régulièrement la litière du bouleau, contribue au maintien des mousses sur les surfaces horizontales. Par contre, l'accumulation des feuilles dans les dépressions, favorable à une modification du substrat, se traduit par le développement de *Calamagrostis epigeios*.

TABLEAU 29 : LE GROUPEMENT A BETULA PENDULA ET POLYTRICHUM PILIFERUM

	Numéro du terril	144	144	143	115
	Numéro du relevé	5	1	3	15
	Pente en degrés	0	0	0	0
	Orientation	-	-	-	-
	Surface en m^2	100	100	200	500
	Recouvrement arborescent (5-8 m) %	60	-	50	-
	Recouvrement arbustif (2-4 m) %	20	25	5	50
	Recouvrement herbacé %	60	20	10	5
	Recouvrement bryo-lichénique %	70	80	90	20
A	*Betula pendula Roth.*	4.4	.	3.3	.
	Betula pubescens Ehrh.	.	.	+	.
a	*Betula pendula Roth.*	2.1	2.2	.	3.3
	Betula pubescens Ehrh.	.	+	.	+
	Salix aurita L.	.	.	+	.
	Castanea sativa Mill.	.	.	+	.
	Quercus robur L.	.	.	.	+
	Polytrichum piliferum Hedw.	4.4	5.5	5.5	2.2
	Cladonia impexa Harm.	2.3	2.2	1.1	+.2
	Cladonia coniocraea (Flke) Vain.	.	.	.	.
	Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid.	+.2	.	.	1.2
	Bryum argenteum Hedw.	.	.	.	+
	Pohlia nutans (Hedw.) Lindb.	+.3	.	.	.
	Catapodium tenellum (L.) Trabut	4.4	1.1	.	.
	Campanula rapunculus L.	2.4	1.1	.	.
	Quercus robur L. (Plantule)	+	+	.	.
	Festuca tenuifolia Sibth.	+.2	.	.	.
	Hieracium umbellatum L.	+	.	.	.
	Poa nemoralis L.	.	+	.	.
	Epilobium angustifolium L.	.	+	.	+
	Betula pendula Roth. (Plantule)	.	.	1.1	+.2
	Agrostis tenuis Sibth.	.	+.3	.	.
	Calamagrostis epigeios (L.) Roth.	.	1.3	+.2	.
	Hieracium pilosella L.	.	.	1.1	.
	Hypericum perforatum L.	.	.	+	.
	Cerastium pumilum Curt.	.	.	.	+
	Echium vulgare L.	.	.	+	.
	Oenothera biennis L.	.	.	+	.
	Senecio viscosus L.	.	.	.	+.2
	Acer pseudoplatanus L. (Plantule)	.	.	.	+
	Carlina vulgaris L.	.	.	.	+
	Reseda lutea L.	.	.	.	+
	Holcus lanatus L.	.	.	.	+

Ont également été notées : *Cerastium vulgatum L.* 115/15 (+) ; *Chenopodium album L.* 115/15 (+) ; *Cirsium arvense (L.) Scop.* 115/15 (+) ; *Galium aparine L.* 115/15 (+) ; *Poa annua L.* 115/15 (+) ; *Rubus sp.* 115/15 (+) ; *Rumex scutatus L.* 115/15 (+.2) ; *Sambucus nigra L.* 115/15 (+) ; *Scrophularia nodosa L.* 115/15 (+).

Tableau 30 : *Conditions nutritionnelles du groupement à Polytrichum piliferum et Betula pendula.*

N° du terril	115	143	144	144
N° du prélèvement	20	92	60	61
pH (dans l'eau)	5,9	4,0	4,6	4,1
pH (dans KCl N/10)	5,2	3,4	3,6	3,6
CO_3Ca %	-	-	0,2	0,3
K échangeable (mcq/100 g de sol)	0,54	0,25	0,46	0,41
Mg échangeable (mcq/100 g de sol)	1,87	0,31	1,25	0,83
Ca échangeable (mcq/100 g de sol)	7,75	5,25	7,00	6,00
Mg/Ca	0,24	0,06	0,17	0,13
N total %	0,36	0,21	0,33	0,40
$N\text{-}NH_4$ (mg/100g de sol)	2,10	-	2,80	3,85
$N\text{-}NO_3$ (mg/100g de sol)	3,67	-	0,63	0,70
P assimilable %	0,08	0,05	0,03	0,02
Sulfates % (extraction aqueuse)	0,03	0,01	0,02	0,03

c - syndynamisme : suivant les circonstances ce groupement évoluera, comme nous le verrons par la suite, vers des formations bistrates à *Betula pendula* et *Calamagrostis epigeios* ou *Arrhenatherum elatius*, ou par vieillissement des espèces ligneuses, vers un type forestier à *Deschampsia flexuosa*.

d - syntaxonomie et synsystématique : par le faible développement des espèces herbacées, l'importance de la strate bryolichénique, le dynamisme très lent du fait de la pauvreté du substrat, ce groupement montre une parenté avec le *Dicrano-Quercetum* Passarge 1968 des dunes maritimes de Hollande (BARKMANN, 1964).

Dans l'analyse du *Quercion robori-petraeae* des Pays-Bas et de son dynamisme, SISSINGH (1974) considère les stades pionniers à bouleaux comme de véritables associations (*Betuletum*) précédant les stades à chênes pédonculés ou sessiles (*Quercetum*) évoluant eux-mêmes vers le stade à hêtre (*Fagetum*).

Ces auteurs, élèvent ces groupements au rang d'association, du fait de l'existence de nombreuses espèces caractéristiques et différentielles parmi les

cryptogames (bryophytes, lichens et surtout champignons*) et sur l'absence ou la faible vigueur des phanérogames. Autant d'arguments qui mériteraient d'être analysés avec plus de précision dans le groupement à *Betula pendula* et *Polytrichum piliferum* des terrils, qui présente de réels points de convergence avec ces associations hollandaises. Quant à sa position synsystématique, ce groupement relève du *Quercion robori-petraeae* Tx 31.

C. CONCLUSION DU CHAPITRE

L'essentiel de la colonisation des terrils du Nord de la France se réalise donc à partir d'une douzaine d'associations et groupements d'importance diverse, qui peuvent s'exprimer dans ces milieux neufs par de nombreux faciès. Il faut aussi signaler la participation parfois très active de certaines populations végétales à cette colonisation. *Pteridium aquilinum* est une espèce assez fréquente qui occupe une grande surface sur les terrils plats, mais on peut également la rencontrer sur les pentes, soit en population monospécifique, soit comme le montre le relevé suivant en concurrence avec une friche pionnière à *Arrhenatherum elatius*.

Terril n° 153
Relevé n° 10
Pente 35°
Orientation Nord
Recouvrement herbacé 100 %

Pteridium aquilinum (L.)Kuhn	4.5
Arrhenatherum elatius (L.)Beauv.	3.3
Hieracium sabaudum L.	1.1
Hieracium lachenalii C.C. Gmel.	+
Artemisia vulgaris L.	+°
Daucus carota L.	+
Silene vulgaris (Moench)Garcke	+
Achillea millefolium L.	+
Pastinaca sativa L.	+

Certaines adventices apportent également leur contribution, *Sedum spurium* sur le terril n° 95 développe ses populations parmi les *Picris*

* BARKMANN (1974) signale la présence de 175 espèces de champignons dans le *Dicrano-Quercetum* de Hollande.

hieracioides, les *Echium vulgare* et les *Melilotus albus*. *Polygonum cuspidatum* se développe de manière imposante à la base de certains terrils sans cependant gravir les pentes. Enfin, des espèces caractérisant plus particulièrement des groupements plus tardifs dans le dynamisme, peuvent s'installer très tôt, en particulier celles qui participent déjà aux groupements et associations décrits. Ces espèces colonisent d'emblée certains terrils, c'est le cas, parmi les espèces vivaces, de *Poa compressa*, *Hieracium pilosella*, *Agrostis tenuis*, *Sedum acre* et parmi les espèces annuelles, de *Cerastium pumilum*, *Arenaria serpyllifolia* et *Vulpia myuros*. Dans certaines conditions, ces espèces donnent des groupements qui rappellent des associations très appauvries et très fragmentaires de la classe des *Sedo-Scleranthetea* Br.-Bl. 55 em Th. Müll. 61 (*Cerastietum pumili* Oberd. et Th. Müll. 61, *Airetum praecocis* Krausch 67).

La reprise de matériaux sur certains terrils anciens peut révéler les aptitudes colonisatrices de certaines espèces, sur le terril n° 89 *Centaurea scabiosa* occupe ainsi une petite pente mobile.

Il résulte de cette colonisation très diversifiée, une physionomie très changeante d'un terril à l'autre mais qui se résoud cependant pour le phytosociologue à un nombre limité d'entité.

Les déterminants écologiques principaux (figure 11) de la répartition des groupements et associations décrits précédemment sont les conditions nutritionnelles et à ce propos l'on peut distinguer :

- les terrils acides (pH < 5) présentant simultanément une somme des bases échangeables, un rapport Mg/Ca et un taux de Mg échangeable faibles par rapport à la moyenne des terrils. Ces terrils sont le domaine des bétulaies pionnières et du plus rare groupement pionnier à *Catapodium tenellum* ;
- les terrils qui, par contre, ont un pH plus proche de la neutralité (> 5), une somme des bases échangeables, un rapport Mg/Ca et un taux de Mg échangeable plus élevés. Ces terrils sont colonisés par les groupements du *Dauco-Melilotion*.

Interviennent ensuite les facteurs qui vont différencier ou moduler les groupements à l'intérieur de ces deux ensembles, la mobilité et la texture du substrat, l'exposition, le tassement, la xéricité, la compétition végétale et la présence d'animaux.

Les terrils créent dans le Nord de la France des milieux plus chauds et plus secs dont la colonisation permet de révéler dans les friches locales des *Artemisietalia* Lohm. apud Tx 47, les éléments thermoxérophiles qui les composent et qui sont précisément les espèces du *Dauco-Melilotion* (*Onopordetalia*).

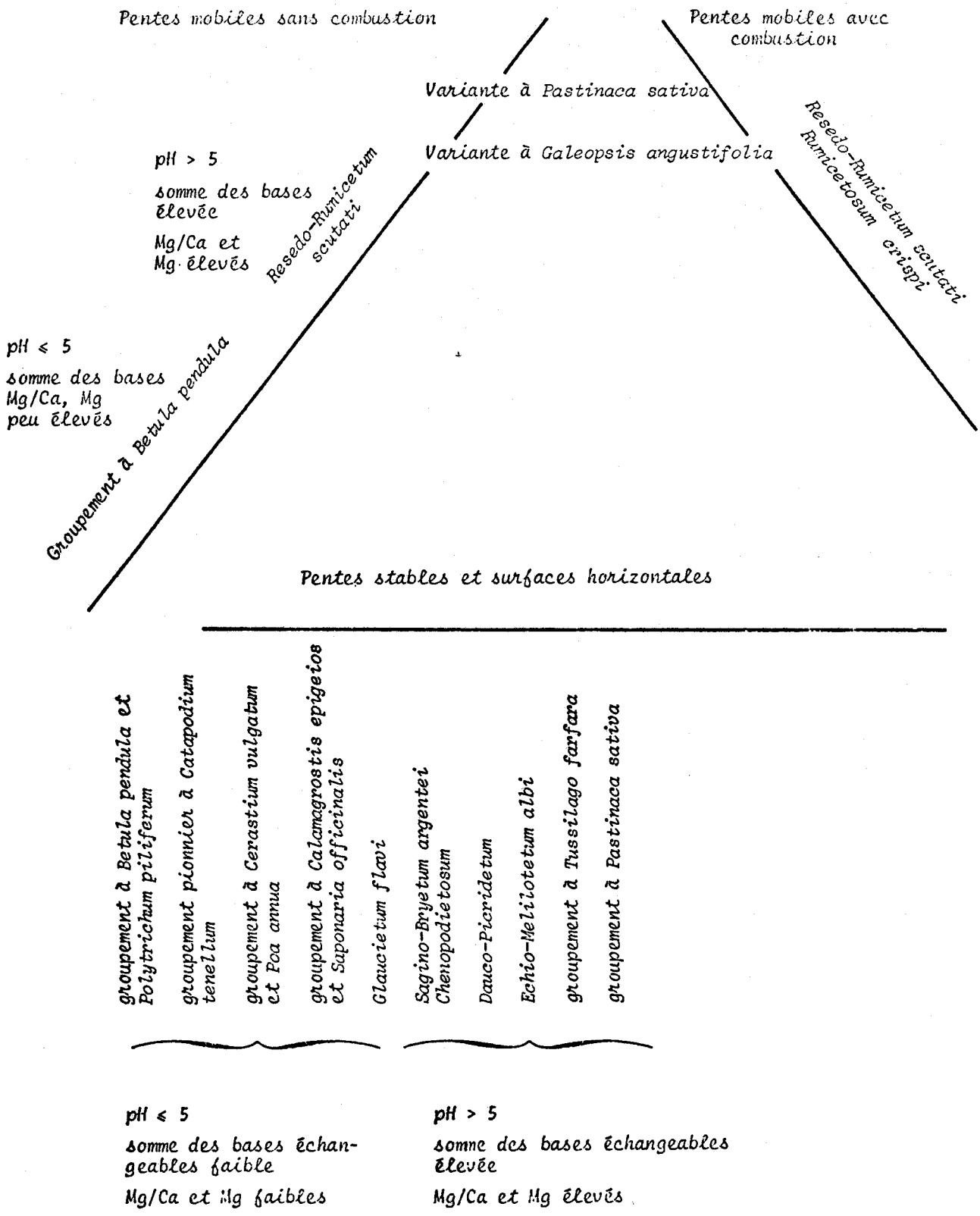


Figure 11 : Schéma de répartition des groupements végétaux pionniers de la colonisation des terrils du Nord de la France.

Parmi les espèces caractéristiques des *Artemisietalia* souvent présentes dans les friches régionales (*Ballota nigra, Malva sylvestris, Arctium lappa, Agropyron repens, Artemisia vulgaris, Tanacetum vulgare...*) seuls *Artemisia vulgaris* et *Tanacetum vulgare* sont rencontrés régulièrement sur les terrils avec cependant une vigueur moindre. Ainsi, est démontrée la nature hétérogène de certains groupements des *Artemisietalia*. C'est pour cette raison que l'ordre des *Onopordetalia* est tantôt rangé avec les *Artemisietalia* dans la classe des *Artemisietea* Lohm., Prsg. et Tx 50 (GUTTE, 1972 ; GUTTE et HILBIG, 1974 ; TUXEN, 1950), tantôt dans la classe des *Stellarietea mediae* (Br.-Bl. 31) R. Tx Lohm Prsg 50 (OBERDORFER, 1970 ; WESTHOFF et DEN HELD, 1975 ; GEHU, 1973).

Cette divergence dans la conception des unités supérieures de ces groupements est le résultat de la participation de cortèges floristiques différents suivant l'origine du matériel phytosociologique analysé. Aussi, certains auteurs (TUXEN, 1975 ; RIVAS MARTINEZ, 1975), ont réhabilité la classe des *Onopordetea* Br.-Bl. 64 regroupant les végétations rudérales bisannuelles thermoxérophiles du Sud et du Sud-Est de l'Europe, la classe des *Artemisietea* étant alors réservée aux groupements rudéraux plus mésophiles de l'Europe moyenne, ces groupements pouvant se différencier dans leur station plus sèche et plus chaude par un cortège de différentielles transgressives des *Onopordetea*.

TABLEAU 31 : L'ARRHENATHERAIE DES BAS DE PENTE

	Numéro du terril	111	91	105	47	128	103	0	125
	Numéro du relevé	16	4	1	2	10	1	4	2
	Pente en degrés	50	0	30	30	0	0	0	0
	Orientation	SO	-	SSE	E	-	-	-	-
	Surface en m^2	100	100	100	100	10	100	100	100
	Recouvrement herbacé %	90	100	90	100	100	100	100	100
Types biologiques	Recouvrement muscinal %	80	-	5	-	-	-	80	-
	ESPECES PRAIRIALES								
H	*Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.*	4.4	5.5	4.4	3.3	5.5	5.5	3.3	4.4
H	*Achillea millefolium L.*	2.2	2.2	.	2.2	.	.	4.4	1.1
H	*Daucus carota L.*	1.1	+	.	2.2	.	.	+	.
H	*Chrysanthemum leucanthemum L.*	+	.	1.2	.	.	.	1.1	+
H	*Holcus lanatus L.*	+	.	.	+	.	+	+	.
H	*Senecio jacobea L.*	+	.	.	.	.	+	+	.
H	*Cerastium vulgatum L.*	1.1	.	+.2	+.2	.	.	.	.
H	*Dactylis glomerata L.*	+	.	.	+	2.2	.	.	.
H	*Plantago lanceolata L.*	+	+	.	.	.	+	.	.
H	*Centaurea nigra L.*	2.2	.	.	.	.	.	+	2.2
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	1.1	+	+	.	.	.	.	.
G	*Equisetum arvense L.*	+	+	.	.	.	3.3	.	.
H	*Lolium perenne L.*	+	.	.	.	+.2	.	.	.
H	*Poa pratensis L.*	1.1	.	.	.	+	.	.	.
H	*Bromus mollis L.*	+	.	.	.	.	.	.	.
H	*Galium mollugo L.*	+	.	.	.	.	.	.	.
T	*Vicia sativa L.*	.	+	.	.	.	.	+	.
H	*Vicia cracca L.*	.	+.2	.	.	.	.	.	.
H	*Rumex acetosa L.*	.	.	1.2	+	.	.	+	.
H	*Festuca rubra L.*	.	.	.	2.3	.	.	.	.
H	*Festuca pratensis Huds.*	.	.	.	.	.	2.2	.	.
H	*Anthoxanthum odoratum L.*	.	.	.	.	.	.	+.2	.
H	*Trisetum flavescens (L.) Beauv.*	.	.	.	.	.	.	+	.
H	*Lathyrus pratensis L.*	.	.	.	.	.	.	.	2.2
T	*Trifolium arvense L.*	1.2	+	.	.	.	.	.	.
H	*Sanguisorba minor Scop.*	+	.	.	.	.	.	+	.
H	*Avena pratensis L.*	.	.	.	.	.	.	+	.
H	*Carlina vulgaris L.*	+	.	.	.	.	.	.	.
H	*Origanum vulgare L.*	.	.	.	.	.	.	2.2	.
	Brachythecium rutabulum Hedw. B.e.	5.5	.	1.2	.	.	.	.	.
	Pseudoscleropodium purum (Hedw.) Fleisch	.	.	.	.	.	.	5.5	.
	ESPECES RUDERALES DES FRICHES								
H	*Artemisia vulgaris L.*	+	+	+	+°	+.2	.	.	.
H	*Picris hieracioides L.*	+	+	+	1.2	.	.	.	.
G	*Linaria vulgaris Mill.*	+	.	1.2	+	.	.	.	.
H	*Cirsium vulgare (Savi) Ten.*	+	.	+	.	.	.	.	.
H	*Melandrium album (Mill.) Garcke*	.	+	+	.	.	+	.	.
G	*Cirsium arvense (L.) Scop.*	.	+	.	.	.	+	.	.
H	*Echium vulgare L.*	.	.	+	.	+	.	.	.
	ESPECES DES PELOUSES XEROPHILES								
H	*Poa compressa L.*	+.2	2.2	+.2	.	.	.	.	.
T	*Vicia hirsuta (L.) S.F. Gray*	+.2	.	.	.	.	2.2	+	.
T	*Cerastium pumilum Curt.*	1.1	.	.	.	.	.	.	.
T	*Arenaria serpyllifolia L.*	1.1	.	.	.	.	.	.	.
T	*Trifolium campestre Schreb.*	+.2	.	.	.	.	.	.	.
T	*Petrorhagia prolifera (L.) P.W. Ball et Heyw.*	.	.	+.2	1.2	.	.	.	.
T	*Vulpia myuros (L.) C.C. Gmel.*	.	.	+.2	.	.	.	.	.
H	*Hypericum perforatum L.*	.	.	.	+	.	.	+	.
H	*Agrostis tenuis Sibth.*	.	.	.	+	.	.	.	1.3
H	*Hieracium pilosella L.*	.	.	.	1.2	.	.	.	.
H	*Festuca ovina L.*	.	.	.	.	.	.	.	1.2

Espèces également présentes : *Acer pseudoplatanus L.* 0/4 (+) ; *Convolvulus arvensis L.* 103/1 (+) ; *Cornus sanguinea L.* 0/4 (+) ; *Crataegus monogyna Jacq.* 111/16 (+), 0/4 (+), 105/1 (+) ; *Cynoglossum officinale L.* 111/16 (+) ; *Diplotaxis tenuifolia (L.) D.C.* 105/1 (+) ; *Epilobium angustifolium L.* 111/16 (+) ; *Fragaria vesca L.* 0/4 (+) ; *Hieracium umbellatum L.* 125/2 (+) ; *Hypochoeris radicata L.* 111/16 (+) ; *Inula coniza D.C.* 111/16 (+) ; *Melilotus alba Med.* 91/4 (+) ; *Melilotus officinalis (L.) Pallas* 111/16 (+) ; *Oenothera biennis L.* 105/1 (+.2) ; *Pastinaca sativa L.* 91/4 (+) ; *Polygonum persicaria L.* 91/4 (+) ; *Potentilla anserina L.* 91/4 (+) ; *Reseda lutea L.* 105/1 (+) ; *Rumex acetosella L.* 128/10 (+) ; *Rumex crispus L.* 111/16 (+) ; *Tanacetum vulgare L.* 111/16 (+).

CHAPITRE III : VERS LE CLIMAX.

Les différentes formations pionnières précédemment étudiées ne sont que des stades transitoires parfois même très fugaces. Elles sont néanmoins très importantes à la préparation du dynamisme ultérieur de la végétation, car elles participent à la modification des conditions édaphiques.

Après le stade pionnier, des groupements de durée plus ou moins longue apparaissent. Parmi ceux-ci, la prairie à *Arrhenatherum elatius* qui occupe des situations favorables comme les bas de pente, est la moins fréquente. Plus généralement, les friches élevées se transforment en pelouses rases à *Hieracium pilosella*. Des formations ligneuses se différencient précocement à partir des groupements pionniers à *Betula pendula* ou plus tardivement à l'intérieur des groupements herbacés.

A. L'ARRHENATHERAIE DES BAS DE PENTES

a - <u>composition floristique (tableau 31)</u> : Ce groupement qui prend son origine dans les diverses frichesà *Arrhenatherum*, est caractérisé par une augmentation du nombre des espèces prairiales qui représentent l'essentiel du recouvrement. Les espèces pionnières rudérales, ainsi que les espèces despelouses xérophiles, sont encore présentes avec respectivement 3 et 9 % du recouvrement.

b - <u>synécologie</u> : cette formation qui est en fait peu fréquente, se rencontre sur quelques terrils où les conditions nutritionnelles sont particulièrement

favorables. Elle se maintient également en bas de pente ou dans les dépressions des terrils plats, c'est à dire là où l'humidité suffisante, est favorable à la dégradation de la matière organique et à une évolution plus rapide du sol : la somme des cations biogènes reste dans ces conditions élevée et le pH très proche de la neutralité.

c - syndynamisme : ce groupement est le prélude à une fruticée ouverte à *Crataegus monogyna*. Il est d'ailleurs remarquable d'observer que sur les terrils plats, chaque cuvette à *Arrhenatherum*, aussi petite soit-elle, possède son *Crataegus monogyna*.

Ce dynamisme peut cependant être contrarié par des incendies, très fréquents dans ce type de formation où subsiste au début de la période estivale une litière importante. Ces incendies provoqués ou non*, anéantissent la plupart des espèces, seul *Arrhenatherum elatius* résiste au feu, cette graminée à comportement pyrophytique donne alors des formations quasi-monospécifiques.

d - syntaxonomie, synsystématique : ce groupement est l'expression très fragmentaire de l'*Arrhenatherum elatioris* Br.-Bl. 1919 et le faible nombre des relevés rassemblés dans le tableau 11 ne permet pas une analyse plus poussée du groupement.

B. LES PELOUSES A *HIERACIUM PILOSELLA*

1) LE *HIERACIO-POETUM COMPRESSAE* PETIT 1977 :

a - composition floristique et physionomie du groupement : la composition floristique du groupement donnée par le tableau 32 montre, à côté des espèces des *Sedo-Scleranthetea*, un fort contingent de compagnes des *Arrhenatheretalia* et des *Onopordetalia*, témoignage du dynamisme important des groupements végétaux antérieurs.

Dans cette association on peut distinguer :

- une sous-association différenciée par *Cerastium pumilum* et *Arenaria serpyllifolia*, bien pourvue en compagnes transgressives des stades précédents ;

* *le feu peut être allumé volontairement ou par imprudence, mais aussi se propager depuis des foyers de combustion naturels.*

TABLEAU 32 : HIERACIO-POETUM COMPRESSAE PETIT 77

Types biologiques	Numéro du terril	91	107	169	18	44	103	128	128	103	111	19	58	75	103	169	128	103	153	150	89	46	150	38	16	174	46	43	87	147	147	90	49	147	89	147	146	103	Classes de présence
	Numéro du relevé	5	4	1	12	1	4	4	6	15	13	4	11	2	17	4	5	12	8	5	8	5	4	1	1	2	1	2	4	6	1	4	4	8	7	7	3	22	
	Pente en degrés	20	0	15	0	30	0	30	30	5	0	0	20	0	0	30	30	0	20	30	30	30	30	20	30	45	20	30	40	20	30	0	0	20	0	0	0	0	
	Orientation	E	-	0	-	OSO	-	SE	SO	S	-	-	SE	-	-	E	SO	-	SE	ONO	N	NE	N	N	N	N	NE	E	ONO	SE	E	-	-	SE	-	-	-	-	
	Surface en m²	50	100	100	10	10	10	100	1	100	100	25	25	25	25	100	100	100	25	25	20	100	25	10	100	25	25	25	25	100	25	4	10	25	100	100	100	100	
	Recouvrement herbacé %	60	60	60	70	90	60	90	70	80	30	90	90	80	70	80	70	70	40	80	70	80	100	60	80	60	70	80	50	30	45	90	90	40	60	20	70	70	
	Recouvrement bryo-lichénique %	10	20	30	30	20	15	10	40	10	-	5	4	40	10	10	40	30	50	10	40	10	20	50	5	60	10	20	100	30	45	30	20	50	60	70	60	50	
														CERASTIETOSUM																		POLYTRICHETOSUM						
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION																																						
H	*Poa compressa L.*	.	+	3.2	2.2	3.3	.	.	+	3.3	2.2	5.5	5.5	4.4	3.3	4.5	4.4	4.4	2.2	.	3.3	2.2	.	1.2	.	1.2	+	2.2	2.2	3.3	1.2	4.4	5.5	+	3.3	+	+	+	V
H	*Hieracium pilosella L.*	.	.	3.3	.	5.5	.	2.2	.	+.3	+.2	2.2	.	3.3	3.4	+.2	2.3	.	3.4	2.3	2.3	3.3	.	2.3	+.2	.	+.2	4.4	.	1.3	3.3	+	2.3	3.4	4.4	2.2	4.4	4.4	IV
	ESPECES DIFFERENTIELLES DE SOUS-ASSOCIATIONS																																						
T	*Cerastium pumilum Curt.*	+	+	1.1	2.2	1.2	1.1	2.2	2.2	2.2	1.2	.	+	1.1	.	.	.	3.3	.	.	1.1	.	1.1	+	.	2.2	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III IV
T	*Arenaria serpyllifolia L.*	2.2	1.2	1.1	1.1	2.2	2.2	.	.	3.3	1.1	.	+	1.1	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II III
	Polytrichum piliferum Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	1.3	.	.	3.3	4.4	3.3	3.3	.	II IV
	Polytrichum juniperinum Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	1.2	.	1.3	+	.	.	.	2.2	2.3	.	.	.	.	2.4	II
H	*Sedum acre L.*	2.2	3.4	1.2	2.2	2.2	2.2	2.2	3.3	4.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	II V
T	*Myosotis ramosissima Rochel ex Schult.*	.	+	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I II
T	*Tragopogon dubius Scop.*	.	.	.	.	.	+	1.1	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I II
H	*Hieracium lachenalii C.C. Gmel.*	.	+	+	.	.	1.1	1.1	+	+	+	+	.	1.1	.	.	+	1.1	.	1.1	+	4.4	3.3	3.3	3.3	3.3	4.4	3.3	3.3	.	.	.	.	.	+	.	.	.	III V
	Atrichum undulatum (Hedw.) P. Beauv.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	+.2	.	2.2	+.2	4.4	1.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I IV
	Dicranum scoparium Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I II
	ESPECES DES FESTUCO-SEDETALIA ET SEDO-SCLERANTHETEA																																						
	Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid.	2.2	2.3	.	3.3	1.1	1.1	+	3.3	2.2	.	.	+	3.3	+	2.2	3.3	3.3	3.4	2.2	3.3	1.1	1.2	2.2	.	.	1.2	2.2	5.5	2.2	1.2	2.2	.	3.3	.	+	+.2	+	V
T	*Petrorhagia prolifera (L.) P.W. Ball et Heyw.*	.	.	2.2	+	.	+	+	.	+	+	.	+	.	+	1.1	.	+	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	+	.	+	.	.	.	+	III
H	*Hypericum perforatum L.*	.	1.1	.	.	.	.	.	+	.	2.2	2.2	.	2.2	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.	1.1	.	.	1.1	.	.	+	+	1.2	.	1.1	.	.	+	III
	Cladonia fimbriata (L.) Fr.	.	2.2	.	.	2.2	+	+	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	2.3	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	+.2	.	1.2	.	2.3	2.2	.	+	.	.	II
	Cladonia furcata Schrad.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	1.1	.	.	.	+.2	2.2	2.2	2.3	.	.	.	.	.	.	3.4	.	3.3	II
H	*Hypochoeris radicata L.*	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	+	1.1	.	.	.	+	+.2	.	+	1.2	1.1	.	+°	1.2	+°	.	.	II
H	*Agrostis tenuis Sibth.*	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	+	1.2	.	.	+	.	.	2.3	.	I
	Cladonia coniocraea (Flke) Vain.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	1.2	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	I
H	*Festuca ovina L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	1.3	.	.	.	.	1.1	.	.	1.1°	.	.	.	.	I
T	*Vulpia myuros (L.) C.C. Gmel.*	.	.	.	+	2.2	2.2	.	.	.	+.2	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	2.3	.	.	+.2	1.2	.	.	1.1	.	.	II
T	*Aira caryophyllea L.*	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Erodium cicutarium (L.) L'Herit.*	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Catapodium tenellum (L.) Trabut*	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Luzula campestris (L.) D.C.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Bryum argenteum Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	I
H	*Rumex acetosella L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
T	*Trifolium campestre Schreb.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Cladonia rangiferina Hffm.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	I
	ESPECES DES FESTUCO-BROMETEA																																						
H	*Carlina vulgaris L.*	.	+	1.2	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	I
H	*Sanguisorba minor Scop.*	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES PRAIRIALES MESOPHILES (ARRHENATHERETALIA)																																						
H	*Achillea millefolium L.*	+	+	2.3	.	.	1.2	+	2.2	1.1	+.2	+	.	+	+	.	+	2.2	.	+	.	+	3.3	1.1	+	.	+	3.3	.	.	1.2	3.3	3.3	.	2.2	1.2	.	.	IV
H	*Plantago lanceolata L.*	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	1.1	.	1.1	.	.	.	1.1	.	.	+	2.2	1.1	.	.	+°	.	+	II
H	*Holcus lanatus L.*	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Cerastium vulgatum L.*	.	.	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Centaurea nigra L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I
H	*Daucus carota L.*	+	.	1.1	4.4	+	.	+	+	1.1	+	+	.	+	.	+	.	+	1.1	2.2	+°	+	1.1	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III IV
H	*Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.*	1.1	.	+	.	+	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	+	+°	1.1°	.	+	2.2	.	1.1	.	+	1.1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II III
H	*Dactylis glomerata L.*	.	.	i°	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Poa pratensis L.*	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Brachythecium rutabulum (Hedw.) B.,S.et G.	.	.	.	.	2.2	1.2	1.2	+.2	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I II
	ESPECES RUDERALES (ONOPORDETALIA)																																						
H	*Picris hieracioides L.*	1.1	1.2	1.1	3.3	+	+	+	.	.	+	.	1.1	+	.	+	.	1.1	+	.	.	.	2.2	2.2	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.	+	.	.	+	III
H	*Echium vulgare L.*	+	2.1	+°	.	+	1.1	+	.	2.2	+	.	.	2.2	+	1.1	1.1	+	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+°	+	.	+	+°	+	.	.	+	III
H	*Reseda lutea L.*	+	.	.	.	.	.	+	.	+	+.2	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	II
H	*Diplotaxis tenuifolia (L.) D.C.*	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
H	*Silene vulgaris (Moench) Garcke*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+°	.	.	.	+°	.	.	.	+	I
H	*Melilotus officinalis (L.) Pallas*	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
T	*Melilotus albus Med.*	.	.	i°	.	.	.	.	.	.	1.2	1.1	.	+	1.1	.	.	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II
H	*Artemisia vulgaris L.*	.	.	.	+	.	.	+	+	+	+	.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II
H	*Tanacetum vulgare L.*	.	.	i°	.	.	.	+	.	.	+	+°	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Epilobium angustifolium L.*	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
G	*Linaria vulgaris Mill.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
G	*Tussilago farfara L.*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.3	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I

Ont également été notées : *Bromus mollis L.* 111/13 (+°) ; *Bromus sterilis L.* 128/4 (+), 128/6 (+), 111/13 (+) ; *Calamagrostis epigeios (L.) Roth.* 146/3 (+.2) ; *Cardaminopsis arenosa (L.) Hayek* 111/13 (+) ; *Cirsium arvense (L.) Scop.* 107/4 (+) ; *Cirsium vulgare (Savi) Ten.* 43/2 (+), 107/4 (+) ; *Clematis vitalba L.* 46/5 (1.2) ; *Convolvulus arvensis L.* 128/4 (+), 128/5 (+), 147/5 (+°), 147/8 (+°) ; *Crataegus monogyna Jacq.* 43/2 (+.2), 46/5 (+), 89/6 (+) ; *Crepis biennis L.* 150/4 (+) ; *Epilobium montanum L.* 16/1 (+) ; *Erigeron canadensis L.* 111/13 (+) ; *Festuca arundinacea Schreb.* 147/6 (+), 147/8 (+) ; *Fragaria vesca L.* 107/4 (+) ; *Galium mollugo L.* 128/4 (+) ; *Hieracium lactucella Wallr.* 103/15 (+.3) ; *Hieracium caespitosum Dum.* 103/15 (+) ; *Hieracium umbellatum L.* 150/5 (2.2) ; *Hypnum cupressiforme Hedw.* 19/4 (1.2) ; *Inula coniza D.C.* 111/13 (+) ; *Chrysanthemum leucanthemum L.* 16/1 (+.2) ; *Lepidium campestre (L.) R. Br.* 128/4 (+) ; *Linaria supina (L.) Chazelles* 103/15 (+) ; *Melandrium album (Mill.) Garcke* 107/4 (+) ; *Oenothera biennis L.* 103/15 (+.2), 103/4 (+.2), 111/13 (+) ; *Origanum vulgare L.* 111/13 (+) ; *Papaver dubium L.* 111/13 (+), 128/4 (+°) ; *Pastinaca sativa L.* 91/5 (+), 153/7 (+), 44/1 (+) ; *Poa nemoralis L.* 16/1 (3.3), 174/2 (1.1) ; *Prunus spinosa L.* 21/3 (1.1) ; *Pteridium aquilinum (L.) Kuhn* 153/8 (+) ; *Rosa canina L.* 169/1 (+), 19/4 (+), 43/2 (+) ; *Rumex acetosa L.* 16/1 (+) ; *Senecio jacobaea L.* 93/2 (+) ; *Silene nutans L.* 174/2 (2.2) ; *Solidago virgaurea L.* 16/1 (1.1) ; *Tragopogon pratensis L.* 16/1 (+) ; *Verbascum thapsus L.* 107/4 (1.3), 111/13 (+) ; *Vicia sativa L.* 128/4 (+).

- une sous-association à *Polytrichum piliferum* et *Polytrichum juniperinum*, plus pauvre en espèce.

Chaque sous-association peut se présenter sous différentes formes :

- une forme à *Sedum acre, Myosotis ramosissima, Tragopogon dubius ;*
- une forme à *Hieracium lachenalii, Atrichum undulatum, Dicranum scoparium ;*
- une forme intermédiaire où ces espèces sont absentes ou peu présentes.

La grande abondance du *Hieracium pilosella* qui possède un appareil végétatif en rosettes très prostrées et des hampes florales peu développées, donne au terril un aspect chauve, surtout durant la période hivernale et printanière. Cette physionomie est encore renforcée par l'importance du tapis bryo-lichénique et le faible développement des espèces compagnes qui restent souvent chétives et disséminées. Seul *Sanguisorba minor* qui, dans certain cas forme faciès, peut modifier les traits de cette formation.

Cette association qui se développe aussi bien sur pentes stabilisées que sur zones horizontales est généralement fermée. Cependant, si elle tolère bien le piétinement sur les replats, sur les pentes, elle s'ouvre très facilement au passage répété des animaux ou du chasseur : les lambeaux de la formation migrent vers le bas, un micro-relief secondaire se crée, les espèces compagnes pionnières reprennent de l'importance sur le substrat mis à nu.

b - <u>synécologie</u> :

-<u>la sous-association à *Cerastium pumilum*</u> : cette sous-association correspond actuellement à l'expression la plus fréquente de l'association. Présente dans tout le bassin minier, elle se développe sur substrat plus ou moins grossier, brûlé ou non, avec un horizon superficiel net (< 10 cm) riche en éléments fins, d'acidité faible ou moyenne, bien pourvu en cations biogènes, au complexe absorbant généralement saturé. Le rapport Mg/Ca est compris entre 0,1 et 0,2 (tableau 33).

Tableau 33 : *Conditions nutritionnelles du Hieracio-Poetum compressae des terrils du Nord de la France.*

Sous-associations		cerastietosum			polytrichetosum
N° du terril		103	85	46*	146
N° du prélèvement		34	2	36*	85
pH (dans l'eau)		6	5,6	5,4	4,6
pH (dans KCl N/10)		5,4	5,2	4,5	4
CO_3Ca %		0,2	0,15	0,3	0,3
K échangeable	mcq/100 g de sol	0,43	0,50	1,49	0,43
Mg échangeable	mcq/100 g de sol	2,91	2,71	1,25	0,36
Ca échangeable	mcq/100 g de sol	16,87	17,5	12,5	5,87
Somme des bases	mcq/100 g de sol	20,39	20,82	15,54	6,84
Capacité d'échange	mcq/100 g de sol	13,75	17	-	15
Taux de saturation %		sat.	sat.	-	45,6
Mg/Ca		0,17	0,15	0,10	0,06
N total %		0,44	0,16	0,20	0,4
$N\text{-}NH_4$	mg/100 g de sol	2,56	2,09	4,06	6,12
$N\text{-}NO_3$	mg/100 g de sol	1,16	2,91	0,49	0,83
P assimilable %		0,11	0,06	0,06	0,05
Sulfates % (extraction aqueuse)		0,006	0,01	0,04	0,02

* Roches brulées

-*la forme à Sedum acre* : ce groupement est l'expression thermophile et xérophile de la formation. Il se développe sur les pentes Sud ou sur zones horizontales au substrat très filtrant. Il est caractérisé par un nombre d'espèces important (42) et une bonne représentation des thérophytes (23,7 %) (tableau 34).

-*la forme à Hieracium lachenalii* : ce groupement est, contrairement au précédent, l'expression plus fraîche de cette sous-association. On le rencontre exclusivement aux expositions Nord. Le nombre des espèces est ici moins élevé (37), les thérophytes moins représentés (11,6 %) ont laissé la place aux cryptogames (24 %) (tableau 34).

-*la forme typique* : le caractère intermédiaire de ce groupement par rapport aux deux précédents, se marque par un nombre d'espèces élevé (43) et des valeurs moyennes du spectre biologique (tableau 34).

Tableau 34 : Spectres biologiques du Hieracio-Poetum compressae des terrils du Nord de la France.

			Hémicryptophytes	Géophytes	Thérophytes	Cryptogames	Total
cerastietosum	Xérique à Sedum acre	nombre d'espèces	28	0	9	5	42
		spectre brut	66,6	0	21,4	12	
		spectre pondéré	62,6	0	23,7	13,7	
	Typique	nombre d'espèces	27	2	7	7	43
		spectre brut	62,7	4,6	16,3	16,3	
		spectre pondéré	66	3,3	17,2	13,5	
	Frais à Hieracium lachenali	nombre d'espèces	21	2	6	8	37
		spectre brut	56,7	5,4	16,2	21,6	
		spectre pondéré	61,6	2,4	11,6	24	
polytrichetosum		nombre d'espèces	21	0	2	8	31
		spectre brut	67,7	0	6,4	26	
		spectre pondéré	68,8	0	7,8	25,4	

-la sous-association à *Polytrichum piliferum* et *Polytrichum juniperinum* : cette sous-association est caractéristique des vieux terrils plats, et plus généralement des endroits les plus âgés des terrils (rampe de chargement, plateforme de base).

Les conditions nutritionnelles du substrat, ici plus épais, (tableau 33) sont marquées par le pH nettement acide, la somme des bases échangeables faible, le complexe absorbant non saturé, le rapport Mg/Ca inférieur à 0,1. De ces caractères défavorables du substrat, il en résulte un appauvrissement du groupement : des compagnes rudérales et prairiales disparaîssent, les thérophytes sont également éliminés , du fait de l'exceptionnelle abondance du *Polytrichum piliferum* et *P. juniperinum* qui trouvent ces conditions satisfaisantes et rendent ce groupement très fermé.

TABLEAU 35 : AIRO-FESTUCETUM OVINAE R. TX. (37) 55

Types biologiques	Numéro du terril	228	197	16	32	32	204	13	34	13	31	32	21	34	42	37	157	125	126	126	126	126	153	90	37	19	Classes de présence
	Numéro du relevé	2	6	2	2	4	2	3	1	4	5	6	2	5	1	1	2	1	1	4	2	8	9	17	4	3	
	Pente en degrés	0	0	30	45	30	20	5	0	5	20	0	30	0	45	0	30	0	25	0	25	0	30	0	0	0	
	Orientation	-	-	N	N	N	NO	SO	-	SO	E	-	N	-	SO	-	N	-	ONO	-	ONO	-	N	-	-	-	
	Surface en m²	1	10	10	2	10	1	10	10	20	100	200	25	10	4	4	100	100	25	2	1	1	100	25	100	4	
	Recouvrement herbacé %	60	50	90	90	60	100	80	90	60	80	100	80	60	90	60	90	80	90	100	90	60	50	60	80	50	
	Recouvrement bryo-lichénique %	50	50	-	5	30	5	10	30	10	5	-	45	60	10	40	10	30	20	5	10	30	40	60	40	70	
		PIMPINELLETOSUM													RUMICETOSUM												
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION																										
H	Festuca ovina L. (s.l.)	.	.	.	5.5	3.3	4.4	3.3	4.4	+	5.5	5.5	4.4	2.2	.	1.2	5.5	5.5	5.5	5.5	3.3	1.2	.	4.4	3.3	2.2	IV
T	Aira caryophyllea L.	.	1.2	.	1.1	+.2	2.2	.	3.3	.	.	1.3	1.1	.	+	2.3	.	1.1	.	3.3	.	.	.	.	+	.	III
T	Aira praecox L.	2.3	+	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	1.2	1.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	II
	ESPECES DIFFERENTIELLES DE SOUS-ASSOCIATION																										
H	Rumex acetosella L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	.	+.2	.	.	+	II III
	Polytrichum piliferum Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	2.2	.	+	.	.	1.3	4.4	3.3	.	II III
	Polytrichum juniperinum Hedw.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	1.3	1.2	+	.	2.3	.	1.2	3.3	.	.	.	4.4	II III
	ESPECES DES FESTUCO-BROMETEA																										
H	Carlina vulgaris L.	.	.	+	1.1	+	.	+	+	+	1.1	1.1	1.1	1.1	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	+	III IV
T	Linum catharticum L.	.	+	.	1.2	2.2	2.2	1.1	2.2	2.2	2.2	2.2	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II IV
H	Sanguisorba minor Scop.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
H	Leontodon hispidus L.	.	.	+	.	1.1	.	.	+	.	+	.	2.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II III
Ch	Thymus serpyllum L.	.	.	.	.	+	1.2	.	.	.	3.3	1.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
H	Pimpinella saxifraga L.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2.3	+	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
H	Lotus corniculatus L.	.	.	.	.	.	+	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Polygala vulgaris L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Centaurea scabiosa L.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Chrysanthemum leucanthemum L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Asperula cynanchica L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Campanula rotundifolia L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Cirsium acaule Scop.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Brachypodium pinnatum (L.)Beauv.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Centaurium erythrea Rafn	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Anthyllis vulneraria L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	3.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Knautia arvensis (L.)Coulter	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES DU THERO-AIRION																										
T	Vulpia myuros (L.)C.C. Gmel.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Teesdalia nudicaulis (L.)R. Br.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Catapodium tenellum (L.)Trabut	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Ornithopus perpusillus L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	I
	ESPECES DES FESTUCO-SEDETALIA																										
T	Cerastium pumilum Curt.	2.2	+	+	.	.	+	.	.	.	+	.	+.3	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	+	+	II
T	Arenaria serpyllifolia L.	3.3	1.1	.	.	.	.	1.2	.	.	+	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Hypericum perforatum L.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	+°	+	II
H	Poa compressa L.	.	.	+.2	1.1	+°	.	2.2	.	+	.	.	.	1.1	3.3	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1.1	II
H	Hypochoeris radicata L.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	1.2	.	+	.	.	II
H	Plantago lanceolata L.	.	.	.	.	.	1.1	.	1.1	.	+	.	1.1	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	II
T	Saxifraga tridactylites L.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Valerianella locusta L. Betcke	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Satureia acinos (L.)Scheele	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Potentilla recta L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Linaria supina (L.)Chazelles	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Erophila verna (L.)Besser	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Petrorhagia prolifera (L.)P.W. B. et Heyw.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES DES SEDO-SCLERANTHETEA																										
H	Hieracium pilosella L.	1.2	3.3	3.3	1.1	2.2	3.3	3.3	1.1	3.3	2.2	3.3	2.2	4.4	5.5	3.3	1.2	4.4	3.3	4.4	5.5	3.3	3.3	.	4.4	3.3	V
H	Agrostis tenuis Sibth.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	+.2	+.2	.	.	.	+	.	+	.	+	5.5	3.3	.	.	+	II
H	Luzula campestris (L.)D.C.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	2.2	II
T	Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	3.3	.	.	+	.	.	1.2	.	1.1	.	.	.	.	.	+.2	.	+.3	+	.	+	.	3.3	.	.	.	II
T	Cladonia fimbriata (L.)Fr.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	2.2	.	.	.	1.1	.	.	+	.	.	1.2	.	2.3	3.3	II
T	Cladonia rangiformis Hffm.	.	3.3	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Cladonia furcata Schrad.	.	.	.	.	.	+	.	3.4	.	.	.	.	4.4	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Trifolium campestre Schreb.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Trifolium arvense L.C.E. Hubbard	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Catapodium rigidum (L.)C.E. Hubbard	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Sedum acre L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	Erigeron acer L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
H	Potentilla argentea L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Peltigera canina (L.) Willd.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES COMPAGNES																										
H	Achillea millefolium L.	.	.	+	+	2.2	1.1	.	2.3	.	1.1	2.2	1.1	1.2	+.2	2.2	.	.	+.2	+	+	2.3	+	+	1.1	.	IV
H	Daucus carota L.	.	.	.	+	+	+	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1.1°	.	.	.	II
H	Picris hieracioides L.	+	.	.	.	.	.	2.2	.	1.1	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1.1	+	.	.	II
H	Echium vulgare L.	.	+	.	.	.	.	+	+°	+	+	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	II
H	Pastinaca sativa L.	.	.	.	2.2	1.1	.	+	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Melilotus officinalis (L.)Pallas	.	.	.	.	+	.	.	+°	.	.	1.1	.	1.1°	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	Arrhenatherum elatius (L.)Beauv.	.	.	.	.	+°	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	I
H	Centaurea nigra L.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.1	+	.	.	+	.	2.2	+.2	.	.	.	.	+	.	.	II
H	Hieracium lachenalii C.C. Gmel.	.	.	4.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	1.1	+	1.1	.	+	.	.	.	II
	Atrichum undulatum (Hedw.)P. Beauv.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	I
	Dicranum scoparium Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	.	I
	Hypnum cupressiforme Hedw.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I

Ont également été notées : **Betula pendula** Roth. 157/2 (+) ; **Cerastium vulgatum** L. 37/1 (+) ; **Cirsium arvense** (L.) Scop. 32/6 (+) ; **Crataegus monogyna** Jacq. 32/2 (+), 32/4 (1.1) ; **Crepis taraxacifolia** Thuill. 228/2 (+) ; **Dactylis glomerata** L. 37/1 (+) ; **Epilobium angustifolium** L. 157/2 (2.2), 197/6 (+°) ; **Equisetum arvense** L. 32/6 (1.2) ; **Erigeron canadensis** L. 228/2 (+) ; **Fragaria vesca** L. 197/6 (2.3) ; **Galium aparine** L. 223/2 (+) ; **Herniaria glabra** L. 197/6 (+) ; **Holcus lanatus** L. 16/2 (+), 32/4 (1.1) ; **Matricaria maritima** L. 42/1 (+) ; **Melilotus albus** Med. 19/3 (+) ; **Poa pratensis** L. 197/6 (1.1), 16/2 (1.1) ; **Prunus spinosa** L. 32/2 (+), 32/4 (+), 21/2 (+) ; **Pseudoscleropodium purum** (Hedw.) Fleisch. 21/2 (+.2) ; **Pteridium aquilinum** (L.) Kuhn 153/9 (+.2), 126/8 (1.1) ; **Quercus robur** L. 157/2 (1.1) ; **Reseda lutea** L. 32/4 (+), 32/6 (+), 34/1 (+°) ; **Rosa canina** L. 32/2 (+), 32/4 (+), 37/1 (+), 19/3 (+) ; **Sagina procumbens** L. 197/6 (+) ; **Sarothamnus scoparius** L. 125/1 (1.1), 126/3 (1.1) ; **Senecio jacobaea** L. 31/1 (+), 32/2 (+) ; **Silene vulgaris** (Moench) Garcke 125/1 (+), 126/4 (+) ; **Solidago virgaurea** L. 16/2 (2.2) ; **Tanacetum vulgare** L. 32/2 (+.2) ; **Tragopogon pratensis** L. 31/5 (+), 42/1 (+) ; **Trisetum flavescens** (L.) Beauv. 204/2 (+.2) ; **Tussilago farfara** L. 21/2 (+), 32/2 (+), 32/6 (+), 34/5 (1.1) ; **Vicia sativa** L. 37/1 (+), 228/2 (+).

Ces deux sous-associations sont en même temps deux phases dynamiques de l'association. Le passage de la première à la deuxième se faisant, par une évolution simultanée des conditions nutritionnelles sous l'effet du lessivage et de la composition floristique. Ce phénomène se manifeste d'ailleurs depuis le départ de la succession végétale (PETIT, 1976).

A partir du *Hieracio-Poetum compressae polytrichetosum*, la succession végétale est très contrariée : la compétition, l'acidité de surface limitent le développement des espèces ligneuses.

c - syntaxonomie, synsystématique et discussion : par sa combinaison floristique, cette association appartient à la classe des *Sedo-Scleranthetea* et plus particulièrement à l'ordre des *Festuco-Sedetalia*. L'absence de caractéristique ne permet pas de la rapporter à l'une des alliances définies actuellement. Comme le suggère MULLER (1961) une alliance parallèle à l'*Alysso-Sedion*, regroupant les associations des substrats siliceux serait à créer. Mais avec quelles caractéristiques ? Pour d'autres associations acidophiles le problème a déjà été posé (TÜXEN, 1974). Ces groupements se définissent en effet plus par l'absence de certaines espèces que par la présence de caractéristiques. La solution pourrait cependant être apportée par l'étude plus précise des cryptogames, ou chez les phanérogames, par une diagnose plus fine de certains taxons, le genre *Festuca* en est un exemple.

2) LE *AIRO-FESTUCETUM OVINAE* R. TX. (37) 55 :

a - composition floristique et physionomie du groupement (tableau 35) : comparée au *Hieracio-Poetum compressae*, cette association se caractérise par une plus grande richesse floristique et un nombre de compagnes prairiales et rudérales, vestiges des stades précédents, moins élevé.

Deux ensembles différentiels se dégagent nettement : l'un avec *Rumex acetosella, Polytrichum juniperinum, Polytrichum piliferum*, caractérise la sous-association à *Rumex acetosella* décrite par WESTHOFF en 1939 (*rumicetosum acetosellae*), l'autre composé d'un certain nombre d'espèces des *Festuco-Brometea* semble correspondre à la sous-association qualifiée de *pimpinelletosum* par ce même auteur.

On retrouve également dans quelques relevés de cette association la combinaison caractéristique des formes fraîches des pentes Nord avec *Hieracium lachenalii, Atrichum undulatum, Dicranum scoparium.*

Le *Hieracium pilosella* particularise également ce groupement par son abondance et sa forte présence. C'est d'ailleurs cette espèce qui imprime encore la physionomie générale du groupement sur les surfaces planes. Sur les pentes, *Festuca ovina*, qui possède une capacité de fixation du substrat supérieure aux autres espèces, occupe les sommets des micro-reliefs qu'elle retient.

b - synécologie : cette association se rencontre dans tout le bassin minier, sur les anciens terrils plats ou aux emplacements les plus âgés des terrils coniques. Elle se développe sur un sol épais de 10 à 20 cm, parfois avec différenciation de 2 ou 3 horizons, reposant sur le substrat caillouteux.

Ce sol se caractérise par sa richesse en éléments biogènes échangeables (tableau 36). Généralement, le rapport Mg/Ca est élevé, du fait de la teneur importante en Mg échangeable, quelques prélèvements révèlent au contraire un taux de Ca échangeable très élevé. Le complexe absorbant est largement saturé.

Du point de vue des conditions nutritionnelles, seul le pH semble différencier les deux sous-associations :

- la sous-association à *Pimpinella saxifraga* possède un pH variant d'une faible acidité à la neutralité (5,9 à 7,7) ;
- la sous-association à *Rumex acetosella* a un pH moyennement acide variant dans une fourchette plus étroite (5,2 à 5,7), ce qui reste compatible avec une bonne saturation du complexe absorbant.

Tableau 36 : Conditions nutritionnelles du Airo-Festucetum ovinae R. Tx. (1937) 1955 des terrils du Nord de la France.

Sous-associations		pimpinelletosum					rumicetosum			
N° du terril		34	197	13	32	204	126	19	37	125
N° du prélèvement		80	22	23	76	57	67	54	51	58
pH (dans l'eau)		5,9	6,7	6,7	7,2	7,7	5,3	5,2	5,6	5,7
pH (dans KCl N/10)		5,2	5,6	6	6,6	7,2	4,3	4,7	5,1	5,4
CO_3Ca %		0,5	0,2	0,3	0,2	1	0,3	0,5	0,5	0,5
K échangeable	meq/100 g de sol	0,51	0,35	0,46	1,33	0,73	1,26	0,77	0,65	0,38
Mg échangeable	meq/100 g de sol	4,16	2,71	4,58	5,41	2,5	5,21	3,12	0,83	1,25
Ca échangeable	meq/100 g de sol	11,25	11,5	11,25	11,75	36,25	11,25	9,37	13,75	22,12
Somme des bases	meq/100 g de sol	16,03	14,66	16,44	18,69	39,64	17,97	13,44	15,45	23,99
Capacité d'échange	meq/100 g de sol	12	9,25	10,25	13	15	26	12,25	-	13
Taux de saturation %		sat.	sat.	sat.	sat.	sat.	69,1	sat.	-	sat.
Mg/Ca		0,37	0,23	0,40	0,46	0,06	0,46	0,33	0,06	0,05
N total %		0,25	0,29	0,15	0,36	0,36	0,20	0,46	0,15	0,31
$N\text{-}NH_4$	mg/100 g de sol	2,33	2,07	2,45	2,31	3,97	2,88	5,25	4,2	2,8
$N\text{-}NO_3$	mg/100 g de sol	0,58	1,33	0,42	0,98	1,4	0,43	1,22	1,22	0,87
P assimilable %		0,05	0,2	0,09	0,04	0,15	0,07	0,04	0,08	0,12
Sulfates % (extraction aqueuse)		-	0,008	-	0,01	0,01	0,02	0,004	-	0,025

Par ailleurs, les deux sous-associations sont nettement caractérisées par le nombre des espèces et leur spectre biologique. L'*Airo-Festucetum pimpinelletosum* est la plus riche en espèces et présente une valeur pondérée en thérophytes supérieure à celle des cryptogames. Par contre, dans l'*Airo-Festucetum rumicetosum*, plus pauvre en espèces, les cryptogames sont mieux représentés que les thérophytes (tableau 37).

Tableau 37 : Spectres biologiques du Airo-Festucetum ovinae R. Tx. (1937) 1955, des terrils du Nord de la France.

		Hémicryptophytes	Chamaephytes	Thérophytes	Cryptogames	Total
pimpinelletosum	nombre d'espèces	32	1	15	10	58
	spectre brut	55	1,7	25,8	17,2	
	spectre pondéré	64,8	0,5	23,6	11	
rumicetosum	nombre d'espèces	20	-	10	9	39
	spectre brut	51,2	-	25,6	23,2	
	spectre pondéré	64,4	-	14	21,6	

La répartition de ces deux sous-associations dans le bassin houiller n'est pas livrée au hasard, l'*Airo-Festucetum pimpinelletosum* est surtout localisé sur les terrils de l'Ouest du bassin, situés sous le vent des collines crayeuses de l'Artois et recevant de ce fait semences et poussières carbonatées. L'*Airo-Festucetum rumicetosum* est par contre inféodé aux terrils du Centre et de l'Est du bassin.

Ces groupements très fermés ne permettent pas une évolution rapide ; cependant, la présence de quelques espèces ligneuses comme *Prunus spinosa, Crataegus monogyna, Rosa canina* laisse présager du dynamisme de la formation vers des fourrés à épineux.

c - <u>syntaxonomie, synsystématique et discussion</u> : cette association que nous avons rapportée à l'*Airo-Festucetum ovinae* R. Tx. (37) 55, se distingue du type

décrit par l'auteur, par l'absence des espèces des *Corynephoretalia* et la faible représentation des espèces du *Thero-Airion*. Par contre, les espèces des *Festuco-Sedetalia* sont bien représentées.

Ceci permet de soulever le problème de la place du *Thero-Airion* dans le système des *Sedo-Scleranthetea*. Divers auteurs (MÜLLER, 1961 ; WESTHOFF, 1975 ; GEHU, 1973 ; GUINOCHET, 1970 ; GUITTET et PAUL, 1974....) placent le *Thero-Airion* dans l'ordre des *Festuco-Sedetalia*. Par contre, pour TÜXEN, 1937 ; KRAUSCH, 1968 ; OBERDORFER, 1970, cette même alliance est placée dans l'ordre des *Corynephoretalia* (cet ordre étant ou non sorti de la classe des *Sedo-Scleranthetea*).

Selon les travaux, le cortège floristique des *Festuco-Sedetalia* accompagne ou n'accompagne pas celui du *Thero-Airion*. Cette indépendance semble montrer que ces deux ensembles n'appartiennent pas au même groupement. Leur présence dans une même station résulte en fait d'une superposition de deux individus d'associations, l'un riche en thérophytes caractérisant les substrats acides et plus ou moins désaturés (*Airetum praecocis* (Schwick. 1944) Krausch 1967) ; l'autre riche en hémicryptophytes caractérisant des substrats acidophiles à neutrophiles, non désaturés (*Airo-Festucetum ovinae* R. Tx. (1937) 1955). Ce phénomène peut exister très fréquemment dans ce type de végétation de substrat à texture grossière, au complexe absorbant peu développé et où le lessivage est important en surface. Selon l'état d'évolution du phénomène le groupement est à ranger dans le *Thero-Airion* ou dans une alliance des *Festuco-Sedetalia* qui reste à définir. Différents groupements de passage qualifiés de variante à *Festuca ovina* (KRAUSCH, 1968) ou de variante à *Aira caryophyllea* (PHILIPPI, 1973) sont d'ailleurs décrits dans l'*Airetum praecocis*. De même, nous avons dans nos associations, le *Hieracio-Poetum compressae polytrichetosum* et l'*Airo-Festucetum ovinae rumicetosum*.

3) LE GROUPEMENT A *HIERACIUM PILOSELLA* ET *CATAPODIUM TENELLUM* (SYN. *NARDURUS LACHENALII*) :

Ce groupement rare dans le bassin houiller est très pauvre en espèces (tableau 38). C'est une formation toujours très ouverte qui se développe sur les terrils les plus acides (pH 3,6), brûlés ou non, au substrat relativement pauvre en éléments biogènes échangeables et au complexe absorbant non saturé (somme des bases échangeables 7 à 8 meq/100 g de sol, taux de saturation environ 75 %, Mg échangeable 0,62 meq/100 g de sol, Mg/Ca = 0,09). Aussi de nombreuses espèces communes des terrils sont-elles éliminées.

KORNECK décrit en 1975, le *Narduretum lachenalii*, association qui se développe en France sur les schistes de l'Anjou, les granites des Vosges et d'Auvergne. La présence de *Teesdalia nudicaulis, Aira praecox, Spergula morisonii, Hypochoeris glabra, Filago minima, Ornithopus perpusillus, Mibora minima* montre l'appartenance de cette association à l'alliance du *Thero-Airion* Tx. 51.

Sur les terrils, le groupement à *Hieracium pilosella* et *Catapodium tenellum* qui ne possède pas ces espèces du *Thero-Airion*, peut être interprété comme une expression septentrionale appauvrie du *Narduretum lachenalii*.

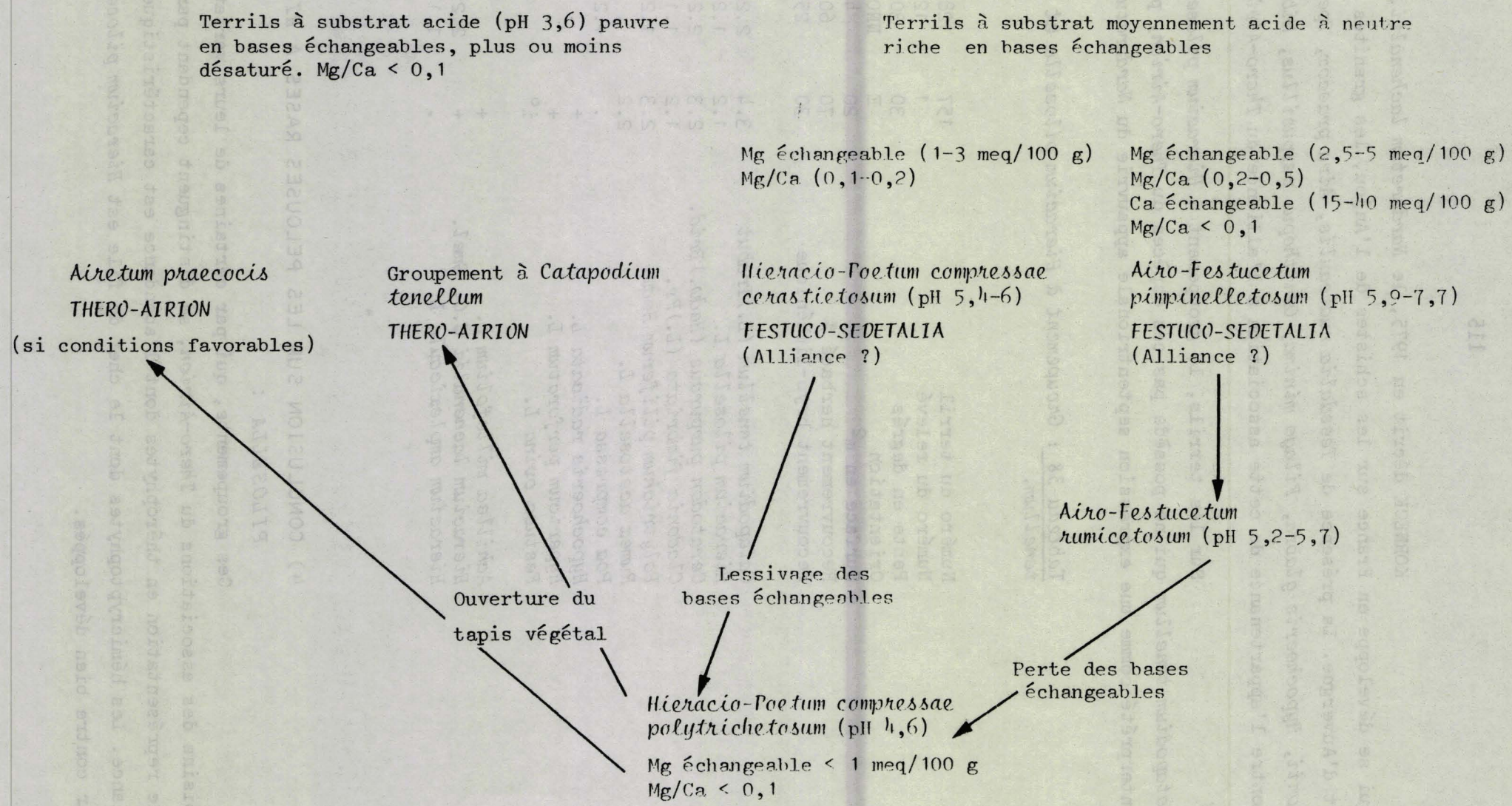
Tableau 38 : Groupement à Hieracium pilosella et Catapodium tenellum.

Numéro du terril	157	128	153
Numéro du relevé	1	12	7
Pente en degrés	30	30	35
Orientation	E	NNO	S
Surface en m^2	20	4	4
Recouvrement herbacé %	70	60	60
Recouvrement bryo-lichénique	30	25	5
Catapodium tenellum (L.)Trabut	3.4	2.2	2.3
Hieracium pilosella L.	1.2	1.2	+
Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	2.3	2.2	1.2
Cladonia fimbriata (L.)Fr.	1.2	1.1	+
Polytrichum piliferum Hedw.	2.3	1.2	.
Rumex acetosella L.	2.2	.	2.3
Poa compressa L.	.	+.2	+.2
Hypochoeris radicata L.	+	.	+
Hypericum perforatum L.	+	.	.
Festuca ovina L.	i°	.	.
Achillea millefolium L.	+	.	.
Hieracium lachenalii C.C. Gmel.	+	2.2	.
Hieracium amplexicaule L.	.	1.1	.

4) CONCLUSION SUR LES PELOUSES RASES A *HIERACIUM PILOSELLA* :

Ces groupements, qui par certaines de leurs variations, sont voisins des associations du *Thero-Airion*, se distinguent cependant par leur faible représentation en thérophytes dont l'abondance est caractéristique de l'alliance. Les hémicryptophytes dont le chef de file est *Hieracium pilosella* sont par contre bien développés.

Figure 12 : *Déterminisme écologique des différents groupements de pelouses à Hieracium pilosella sur les terrils du Nord de la France.*



Le grand développement des populations de *Hieracium pilosella* qui possède -sans préjuger des écotypes probables- une amplitude écologique très grande vis-à-vis des conditions nutritionnelles du milieu, semble refléter certaines conditions micro-climatiques. En effet, dès le printemps et durant tout l'été, quelques journées sèches et chaudes suffisent pour dessécher rapidement et fortement la surface du terril (pF > 4,2 : point de flétrissement permanent). Cette alternance de périodes sèches et humides élimine beaucoup d'espèces annuelles lors de leur germination. Les espèces vivaces déjà installées comme *Hieracium pilosella* ne rencontrent aucun obstacle à leur développement végétatif, aussi ces groupements sont-ils souvent très fermés.

Ces facteurs écologiques peuvent également expliquer l'absence de l'*Airetum praecocis* (Schwick. 1944) Krausch 1967 sur les terrils, le développement de cette association étant empêché par les étés secs (KRAUSCH, 1968).

Sur les terrils du Nord de la France, les pelouses à *Hieracium pilosella* correspondent, sous des aspects très proches, à plusieurs entités phytosociologiques bien définies par leur écologie. En particulier, les conditions nutritionnelles magnésienne et calcique, rencontrées dans le substrat colonisé, constituent la discontinuité écologique majeure de ces pelouses (PETIT, 1976) (figure 12) :

- sur substrat acide, pauvre en bases échangeables (oligotrophe), désaturé, se développe le groupement à *Hieracium pilosella* et *Catapodium tenellum* ;
- sur substrat moins acide, plus riche (oligo à mésomagnésicalcitrophe), se rencontre le *Hieracio-Poetum compressae cerastietosum* qui peut conduire par lessivage des bases échangeables en surface, au *Hieracio-Poetum compressae polytrichetosum* ;
- un substrat proche de la neutralité, polymagnésicalcitrophe, est favorable à l'*Airo-Festucetum pimpinelletosum*, alors que l'*Airo-Festucetum rumicetosum* est plus acidophile.

C. LES FORMATIONS LIGNEUSES

Mis à part les groupements à *Betula pendula* qui peuvent apparaître en pionnier, les formations ligneuses des terrils correspondent à des stades très tardifs du dynamisme de la végétation, et ne se développent que sur des zones abandonnées depuis plusieurs dizaines d'années. Actuellement, s'observent des fourrés à *Crataegus monogyna* et des bois de bouleaux plus ou moins proches

TABLEAU 39 : LES FOURRES A CRATAEGUS MONOGYNA

Numéro du terril	0	43	204	32	16	42
Numéro du relevé	2	3	1	5	3	4
Pente en degrés	30	30	0	0	30	30
Orientation	ESE	NE	-	-	0	NE
Surface en m^2	100	100	600	100	500	400
Recouvrement arbustif %	30	80	100	100	60	70
Hauteur des arbustes en m	1-2	1-2	3-4	4-5	1-4	3-4
Recouvrement herbacé %	100	20	30	5	90	50
ESPECES CARACTERISTIQUES DE CLASSE ET D'ORDRE						
(RHAMNO-PRUNETEA Riv. God et B. Carbonell 1961 PRUNETALIA SPINOSAE R. Tx. 1952)						
Crataegus monogyna Jacq.	1.1	+	3.3	2.2	1.1	1.1
Rosa canina L.	3.3	+	2.2	1.1	+	1.1
Prunus spinosa L.	.	.	2.2	3.3	1.1	.
Cornus sanguinea L.	.	.	+	1.1	1.1	1.2
Corylus avellana L.	.	.	.	.	+	.
Sambucus nigra L.	.	.	.	.	.	+
Salix caprea L.	.	.	.	.	.	+
ESPECES CARACTERISTIQUES ET DIFFERENTIELLES D'ALLIANCE						
BERBERIDION VULGARIS Br.-Bl. (1947) 1950						
Prunus mahaleb L.	.	+	.	.	.	1.1
Sorbus aria(L.) Crantz	.	.	.	.	.	+
Viburnum lantana L.	.	.	.	.	.	2.2
ESPECES CARACTERISTIQUES ET DIFFERENTIELLES D'ALLIANCE						
RUBION SUBATLANTICUM R. Tx 1952						
Rubus sp.	.	5.5	3.3	2.2	1.2	5.5
Lonicera periclymenum L.	.	.	.	1.1	.	.
ESPECES COMPAGNES						
Prunus avium L.	+	.	+	+	+	+
Quercus robur L.	+	.	.	.	2.2	.
Ulmus campestris L.	.	.	+	.	.	.
Fraxinus excelsior L.	.	.	.	.	1.1	1.1
Betula pendula Roth.	.	.	.	.	2.2	1.1
Populus tremula L.	.	.	.	.	2.3	.
Fagus sylvatica L.	.	.	.	.	+	.
Acer pseudoplatanus L.	.	.	.	.	.	1.1
Sorbus aucuparia L.	.	.	.	.	.	2.2
Fragaria vesca L.	+	.	1.1	.	.	.
Origanum vulgare L.	+	.	.	.	.	.
Hieracium lachenalii C.C. Gmel.	.	+	.	.	3.3	.
Epilobium angustifolium L.	.	+	.	.	.	+.2
Poa nemoralis L.	.	.	.	.	4.4	1.1
Solidago virgaurea L.	.	.	.	.	+	.
Hieracium umbellatum L.	.	.	.	.	1.1	.
Pteridium aquilinum (L.) Kuhn	.	.	.	.	1.3	.
Hieracium pilosella L.	5.5	+.3	.	.	.	.
Poa compressa L.	3.3	.	.	.	.	.
Daucus carota L.	1.2	+	.	.	+	.
Cirsium arvense L.	+.2	.	.	.	.	+
Pastinaca sativa L.	.	2.2	.	.	+	.
Senecio jacobaea L.	.	+	.	.	+	.
Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.	.	.	2.3	1.2	1.1	2.2
Holcus lanatus L.	.	.	1.2	+	.	2.2
Achillea millefolium L.	.	.	.	.	+	+
Artemisia vulgaris L.	.	.	.	.	+	+

Espèces également présentes : *Centaurea nigra L. 204/1 (+) ; Dactylis glomerata L. 204/1 (+) ; Echium vulgare L. 43/3 (+) ; Hypericum perforatum L. 42/4 (+) ; Melandrium dioicum (L.) Coss. et Germ. 16/3 (+) ; Picris hieracioides L. 43/3 (1.1) ; Reseda lutea L. 43/3 (+) ; Saponaria officinalis L. 42/4 (+) ; Tanacetum vulgare L. 16/3 (+) ; Tussilago farfara L. 43/3 (+) ; Urtica dioica L. 16/3 (+).*

d'un stade forestier. Des plantations ont été réalisées autrefois sur les terrils (*Robinia pseudacacia, Alnus incana*) ; elles ont évolué en groupements subnaturels très particuliers.

1) LES FOURRES A *CRATAEGUS MONOGYNA* :

Sur les terrils, *Crataegus monogyna* est une espèce souvent maintenue en population dispersée par les phénomènes de compétition rencontrés au niveau herbacé. Aussi ce type de formation est-il toujours très lent à s'amorcer et à se réaliser ; les véritables fourrés sont peu fréquents et de faible superficie. On les observe sur de rares terrils plats et parfois à la base des rampes de chargement.

Les quelques relevés provenant des terrils de la partie Ouest du bassin et rassemblés dans le tableau n° 39 ne permettent pas une étude précise de ces groupements. Néanmoins, ils montrent par le cortège des compagnes, que ces fourrés apparaîssent dans les arrhénathéraies ou les pelouses à *Hieracium pilosella*, et laissent présager de leur affinité avec le *Rubion subatlanticum* R. Tx. 1952 et le *Berberidion vulgaris* Br.-Bl. (1947) 1950. En particulier le relevé 42/4 montre une nette parentée avec le *Rubo-Prunetum mahaleb laburnetosum* GEHU et DELELIS 1972, des coteaux crayeux de la Somme. Ce fait rejoint la remarque de DELELIS (1973) qui note vers l'Ouest une intrication des groupements du *Berberidion* et du *Rubion*, qui ne restent plus cantonnés sur sols neutro-calciques pour les premiers et acido-siliceux pour les seconds.

2) LA BETULAIE A *CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* :

a) <u>composition floristique et symphysionomie (tableau 40)</u> : la bétulaie à *Calamagrostis epigeios* est un groupement pauvre en espèces (9 espèces en moyenne par relevé, 29 espèces au total), bistrate : une strate arbustive ou arborescente dominée par *Betula pendula* et une strate herbacée haute occupée surtout par *Calamagrostis epigeios*.

b) <u>synécologie</u> : ce groupement se rencontre généralement à l'Est du bassin à la surface des terrils plats, au substrat acide et assez pauvre en cations biogènes (tableau 41), mais comme le montre le relevé 108/4 il peut également se développer sur pente.

TABLEAU 40 : LES BETULAIES SUR LES TERRILS DU NORD DE LA FRANCE

Numéro du terril		143	173	144	173	144	70	143	70	123	123	108	178	143	169	144	123	197	107	107	107
Numéro du relevé		5	2	4	1	3	3	6	2	11	4	4	1	7	3	9	12	4	4	8	7
Pente en degrés		0	35	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0	0	0	25	0	0
Orientation		-	S	-	E	-	-	-	-	-	-	SE	-	-	NO	-	-	-	NE	-	-
Surface en m^2		100	100	100	250	400	100	200	100	100	100	400	200	200	100	100	100	400	100	100	100
Recouvrement herbacé %		50	80	70	80	60	80	80	100	100	100	90	80	80	60	90	100	95	80	80	100
Recouvrement arborescent %		-	60	40	60	60	-	60	-	-	-	-	80	60	-	-	-	-	10	70	50
Hauteur des arbres en m		-	10	8	8	8	-	7-8	-	-	-	-	14	7-8	-	-	-	-	6-7	8	8
Recouvrement arbustif %		100	15	10	10	50	50	-	50	60	80	50	50	-	40	80	60	50	80	70	30
Hauteur des arbustes en m		1-6	3	2	2-3	4	1-4	-	5	4-5	4	3-4	1-4	-	3-4	5-6	4-5	1-5	2	3-4	4
Recouvrement bryo-lichénique %		50	20	50	15	40	-	-	-	-	40	-	-	-	40	60	-	90	-	-	-
				1					2						3				4		
A																					
P	*Betula pendula* Roth.	.	4.4	3.3	4.4	4.4	.	3.3	.	.	.	.	5.5	3.3	.	.	.	.	1.2	3.3	3.3
P	*Salix alba* L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	+
P	*Populus tremula* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.1	.	.
P	*Salix aurita* L.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.
P	*Quercus robur* L.	.	1.1	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.
P	*Salix caprea* L.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.
P	*Sorbus aucuparia* L.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Betula pubescens* Ehrh.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
a																					
P	*Betula pendula* Roth.	5.5	2.2	+	2.2	4.4	1.1	.	3.3	3.3	5.5	3.3	+	.	2.2	5.5	3.3	2.2	4.4	2.2	2.2
P	*Quercus robur* L.	1.1	1.2	+	1.1	1.1	.	.	.	.	.	+	2.2	.	.	.	.	.	1.1	3.3	+
P	*Salix caprea* L.	.	.	.	+	.	.	.	.	1.1	+	.	+	.	2.2	.	1.1	.	2.2	.	.
P	*Populus tremula* L.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	1.2	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	+
P	*Sorbus aucuparia* L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.
P	*Rubus* sp.	.	+.2	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+	2.3	+	4.4	+.2
P	*Rosa canina* L.	.	.	+	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2.2	+	+
P	*Fagus sylvatica* L.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Lonicera periclymenum* L.	.	.	1.1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
P	*Acer pseudoplatanus* L.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Carpinus betulus* L.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Quercus petraea* (Matt.) Lieb.	.	+	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Betula pubescens* Ehrh.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Salix alba* L.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.
P	*Salix aurita* L.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.
P	*Prunus avium* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Sarothamnus scoparius* (L.) Wim. ex Koch	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Crataegus monogyna* Jacq.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2.2	+	1.1	1.1
P	*Populus nigra* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
P	*Pyrus communis* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
P	*Sambucus nigra* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
P	*Fraxinus excelsior* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.
P	*Solanum dulcamara* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
Plantules																					
P	*Betula pendula* Roth.	.	.	.	+	.	1.1	1.2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.
P	*Quercus petraea* (Matt.) Lieb.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P	*Quercus robur* L.	.	.	.	+	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1.2
P	*Sorbus aucuparia* L.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.
P	*Prunus avium* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
P	*Acer pseudoplatanus* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Espèces herbacées																					
H	*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin	3.3	3.3	5.5	4.4	2.3	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.	+.3	1.3	+.2	+.2	+	4.4	5.5	5.5	5.5	5.5	2.3	1.3	+.2	.	.	+	.	.	.	.
H	*Arrhenatherum elatius* (L.) Beauv.	+	.	.	.	2.3	.	1.2	.	+	.	.	4.4	5.5	4.5	4.4	5.5	.	.	+.2	.
H	*Poa nemoralis* L.	3.3	+.2	.	+	+.2	2.2	+.2	+	.	.	.	+	1.2	.	.	.	5.5	4.4	3.3	5.5
H	*Epilobium angustifolium* L.	+.2	+.2	.	1.2	2.3	2.2	.	3.3	+	+.2	+.2	+.2	.	2.2	.	+	2.3	+	+.2	+
H	*Hieracium lachenalii* C.C. Gmel.	+	.	.	.	+	+	1.1	+	.	.	.	+	+	.	1.2	.	.	1.1	+	+
H	*Echium vulgare* L.	+.2	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Fragaria vesca* L.	.	2.3	.	1.2	+.2	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	1.2	+.2
H	*Hieracium sabaudum* L.	.	1.1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1.2	.	.	.	.	.	.
H	*Teucrium scorodonia* L.	.	1.3	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.
T	*Galium aparine* L.	.	+	.	+.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+.2
T	*Myosotis arvensis* (L.) Hill	.	1.2	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Holcus lanatus* L.	.	3.3	.	2.3	.	+	+.2	.	.	.	.	+	.	1.1	.	.	.	.	.	.
H	*Epilobium montanum* L.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
P	*Lonicera periclymenum* L.	.	.	+.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Eupatorium cannabinum* L.	.	.	+	.	+.2	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Campanula rapunculus* L.	.	.	3.4	.	4.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.
H	*Antirrhinum gallix-gemina* (L.) Roth.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Senecio vergaurea* L.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
H	*Hieracium umbellatum* L.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.
H	*Hypericum perforatum* L.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.
H	*Inula coniza* D.C.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Achillea millefolium* L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	+	.	.
H	*Daucus carota* L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.
H	*Dactylis glomerata* L.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
H	*Artemisia vulgaris* L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
H	*Cirsium arvense* (L.) Scop.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.
H	*Pastinaca sativa* L.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	5.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Verbascum lychnitis* L.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H	*Senecio jacobaea* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	+	.
H	*Geranium robertianum* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
H	*Saponaria officinalis* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	3.3
H	*Tanacetum vulgare* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.
H	*Mercurialis perennis* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.
Mousses et Lichens																					
	Polytrichum piliferum Hedw.	3.3	+.2	2.2	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Brachythecium rutabulum (Hedw.) B.et S.	3.3	.	.	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	4.4	.	.	.
	Atrichum undulatum (Hedw.) P. Beauv.	.	1.2	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.
	Hypnum cupressiforme Hedw.	.	1.2	.	1.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Cladonia fimbriata Ach.	+	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.
	Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid.	.	.	1.3	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Pseudoscleropodium purum (Hedw.) Fleish.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	+	3.3	4.4	.	5.5	.	.	.
	Pohlia nutans (Hedw.) Lindb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Eurhynchium striatum (Hedw.) Schp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
	Mnium undulatum Hedw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.

Espèces également présentes :

1 Bétulaie à *Deschampsia flexuosa*. *Carapodium tenellum* (L.) Trabut 144/3 (1.1) ; *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. 171/1 (+) ; *Hieracium pilosella* L. 143/5 (+), 144/3 (+.3) ; *Poa compressa* L. 144/3 (+.2) ; *Poa pratensis* L. 173/2 (+.2) ; *Poa trivialis* L. 173/2 (+.2) ; *Prunus serotina* Ehrh. 173/2 (+) ; *Quercus rubra* L. 144/3 (+) ; *Taraxacum* sp. 173/2 (+), 173/1 (+) ;

2 Bétulaie à *Calamagrostis epigeios*. *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. 108/4 (+) ;

3 Bétulaie à *Arrhenatherum elatius*. *Centaurea nigra* L. 178/1 (1.2) ; *Galium mollugo* L. 144/9 (+) ; *Melandrium album* (Mill.) Garcke 123/12 (+) ; *Melilotus albus* Med. 44/9 (+) ; *Picris hieracioides* L. 169/3 (1.1) ; *Silene vulgaris* (Moench.) Garcke 123/12 (+) ; *Tussilago farfara* L. 169/3 (+.2) ; *Valeriana repens* Host 144/9 (+.3) ; *Vicia hirsuta* (L.) S.F. Gray 178/1 (+) ; *Vicia sativa* L. 144/9 (+) ;

4 Bétulaie à *Poa nemoralis*. *Centaurea nigra* L. 197/4 (+.2) ; *Chrysanthemum leucanthemum* L. 197/4 (+) ; *Lychnis flos-cuculi* L. 197/4 (+) ; *Picris hieracioides* L. 107/8 (+) ; *Poa trivialis* L. 197/4 (+) ; *Thalictrum flavum* L. 197/4 (1.2) ; *Tussilago farfara* L. 107/4 (+) ; *Vicia hirsuta* (L.) S.F. Gray 197/4 (+).

La forte sociabilité du *Calamagrostis* limite beaucoup la pénétration des ligneux à l'intérieur du groupement, aussi dans le spectre biologique (tableau 42) les phanérophytes sont-ils peu représentés (22 %) et leurs régénérations éliminées. Le relevé 143/6 montre que la strate arbustive devient strate arborescente, sans être régénérée. Par contre, les espèces rudérales des formations voisines arrivent à s'insinuer à côté du *Calamagrostis*, moins vigoureux que dans le groupement à *Calamagrostis epigeios* et *Saponaria officinalis*, étudié précédemment, d'où un pourcentage élevé des hémicryptophytes (72 %).

c - syndynamisme : ce type de bétulaie prend naissance dans le groupement à *Calamagrostis epigeios* et *Saponaria officinalis* où le bouleau est souvent présent. En effet, la croissance simultanée du *Calamagrostis* et du bouleau est indispensable à la réalisation de ce groupement. Ces deux espèces pionnières s'excluent mutuellement lorsque la colonisation a été assurée par une seule d'entre elles : le *Calamagrostis* ne pénètre pas ou reste très chétif dans une bétulaie pionnière, le bouleau ne s'installe que très difficilement dans une friche à *Calamagrostis*.

Tableau 41 : Comparaison des conditions nutritionnelles des bétulaies à Calamagrostis epigeios et Arrhenatherum elatius sur le terril de Lallaing.

	Bétulaie à *Calamagrostis epigeios*	Bétulaie à *Arrhenatherum elatius*
N° du terril	143	143
N° du prélèvement	91	90
pH (dans l'eau)	4,9	4,9
pH (dans KCl N/10)	4	4
K échangeable (meq/100 g de sol)	0,33	0,5
Mg échangeable (meq/100 g de sol)	1,46	3,96
Ca échangeable (meq/100 g de sol)	5,62	9,50
Somme des bases (meq/100 g de sol)	7,56	14,08
Mg/Ca	0,25	0,41
N total %	0,21	0,20
$N\text{-}NH_4$ (mg/100g de sol)	4,72	2,17
$N\text{-}NO_3$ (mg/100g de sol)	0,87	0,70.
P assimilable %	0,04	0,06
Sulfates % (extraction aqueuse)	0,03	0,01

		Phanérophytes	Hémicryptophytes	Géophytes	Thérophytes	Cryptogames	Total
Bétulaie à *Calamagrostis epigeios*	nombre d'espèces	7	19	1	-	2	29
	spectre brut	24	65,5	3,5	-	7	
	spectre pondéré	22	72	2	-	4	
Bétulaie à *Arrhenatherum elatius*	nombre d'espèces	13	24	3	3	6	49
	spectre brut	26,5	49	6	6	12	
	spectre pondéré	26,5	53,5	4	4	11	
Bétulaie à *Deschampsia flexuosa*	nombre d'espèces	15	23	-	3	7	48
	spectre brut	31	48	-	6	14,5	
	spectre pondéré	28,5	50,5	-	5,5	15,5	
Bétulaie à *Poa nemoralis*	nombre d'espèces	17	19	1	2	2	41
	spectre brut	41,5	46	2,5	5	5	
	spectre pondéré	45,5	45,5	1,5	4,5	3	

Tableau 42 : Spectres biologiques des diverses bétulaies des terrils du Nord de la France.

3) LA BETULAIE A *ARRHENATHERUM ELATIUS* :

a- composition floristique et symphysionomie : cette bétulaie possède une structure très semblable à celle de la formation précédente, mais avec une substitution du *Calamagrostis epigeios* par *Arrhenatherum elatius*. Elle présente aussi une plus grande richesse floristique (14 espèces en moyenne par relevé et 49 espèces au total).

b- synécologie : ce groupement se développe également dans des conditions très proches de celles de la bétulaie à *Calamagrostis* : surtout sur terril plat, au substrat acide, mais présentant des conditions nutritionnelles meilleures (somme des bases échangeables plus élevée) (tableau 41).

Arrhenatherum elatius joue le même rôle que *Calamagrostis epigeios*, quant à l'évolution de la strate arbustive, qui vieillit sans être remplacée (relevé 143/7), les phanérophytes sont cependant mieux représentés (26,5 %). Les hémicryptophytes sont plus nombreux mais moins importants dans le spectre et les bryophytes prennent une place non négligeable dans la formation (tableau 42).

c- syndynamisme : l'origine d'un tel groupement est difficile à interpréter. Il ne semble pas d'après les observations faites sur les terrils que le bouleau soit capable de s'implanter avec une telle abondance dans les arrhénathéraies existantes. Il faut donc penser que *Arrhenatherum elatius* a occupé secondairement le sous-bois de bétulaie pionnière où il a supplanté le *Calamagrostis epigeios*, à la faveur d'une litière plus abondante et de conditions nutritionnelles meilleures. D'ailleurs, le comportement de ces deux espèces vis-à-vis du substrat est très particulier. Alors que le *Calamagrostis* est solidement fixé dans la roche, les racines de l'*Arrhenatherum elatius* ne dépassent guère l'épaisseur de la litière et les touffes peuvent être facilement soulevées, le feu et le comportement pyrophytique comparé de ces deux espèces, pourraient aussi être invoqués.

4) LA BETULAIE A *DESCHAMPSIA FLEXUOSA* ET *POLYTRICHUM PILIFERUM* :

a - composition floristique et symphysionomie : cette bétulaie se différencie des formations précédentes par un aspect plus forestier. Les strates arborescentes et arbustives sont bien nettes et de ce fait, la strate au sol composée d'espèces moins vigoureuses est plus claire et les bryophytes occupent de larges surfaces.

Avec la présence de *Teucrium scorodonia, Hieracium sabaudum, Lonicera periclymenum,* le cortège floristique se rapproche de celui des forêts acidophiles. Les espèces rudérales observées dans les groupements précédents sont absentes.

b - synécologie : ce groupement est très développé sur les grands terrils plats, acides et oligotrophes du Douaisis, et les pentes consumées ou non de certains terrils coniques du Valenciennois.

Le spectre biologique (tableau 42) est marqué par l'importance des bryophytes. Les phanérophytes en légère augmentation, les hémicryptophytes en légère diminution, conservent une représentation très proche de celle de la bétulaie à *Arrhenatherum.*

c - syndynamisme : la bétulaie à *Deschampsia flexuosa* résulte du vieillissement de la bétulaie pionnière à *Polytrichum*, qui reste d'ailleurs la formation de contact des zones plus récentes ou perturbées de ces terrils.

5) LA BETULAIE A *POA NEMORALIS* :

a - composition floristique et symphysionomie : cette formation qui présente également une structure forestière avec strate arborescente et arbustive bien développées, se différencie de la bétulaie à *Deschampsia flexuosa*, par l'absence des espèces herbacées acidophiles, par la présence de *Crataegus monogyna, Rosa canina, Rubus sp.,* espèces des *Prunetalia*, par la présence de *Mercurialis perennis*, l'abondance de *Poa nemoralis*, espèces de forêts riches. Cette formation se rencontre sur les anciens terrils plats ou sur les pentes proches des rampes de chargement.

b - synécologie : ce type de bétulaie est actuellement peu fréquent dans le bassin houiller car pour sa réalisation il a fallu la rencontre de deux conditions principales : substrat faiblement acide bien pourvu en cations biogènes (mésotrophe), et proximité forestière favorisant l'évolution.

le spectre biologique (tableau 42) montre une nette augmentation des phanérophytes (45,5 %) au détriment des hémicryptophytes et des bryophytes.

c - syndynamisme : contrairement aux autres bétulaies précédemment étudiées, ce groupement représente le terme d'une colonisation exclusivement herbacée, avec

passage par un stade fruticée ouverte à *Crataegus monogyna*. Le bouleau n'a donc pas joué ici un rôle de pionnier mais il a pu s'installer en même temps que les autres espèces forestières.

6) SYNTAXONOMIE, SYNSYSTEMATIQUE DES BETULAIES DES TERRILS :

S'il semble clair que la bétulaie à *Deschampsia flexuosa* est à rapporter à l'alliance du *Quercion robori-petraeae* Br.-Bl. 1932, regroupant les chênaies acidiphiles européennes, et la bétulaie à *Poa nemoralis* au *Carpinion* Oberd. 1953, il est difficile de rattacher ou de comparer ces groupements encore trop peu différenciés, aux associations forestières existantes.

La bétulaie à *Arrhenatherum elatius* et la bétulaie à *Calamagrostis epigeios* représentent des combinaisons pionnières sylvatiques très originales sur substrats acides.

Dans le synsystème actuel ces formations sont à interpréter comme la superposition de groupements pionniers arbustifs, proches du *Lonicero-Rubion* R. Tx et Newm 1950, et de groupements de l'*Epilobion angustifolii* Tx 1950 regroupant les végétations acidiphiles et herbacées des clairières forestières, correspondant ici au *Calamagrostietum epigeii* Jurasc. 1928 qui s'exprime sous deux sous-associations, l'une typique, l'autre sur substrat légèrement plus riche à *Arrhenatherum elatius*(*Arrhenatheretosum*).

7) LA FORMATION A *ROBINIA PSEUDACACIA* :

Ce groupement, subnaturel, résulte de l'évolution de plantations de robiniers, surtout réalisées sur les terrils des anciennes exploitations privées dans l'Est du bassin. Le développement spontané de cette essence s'observe également. Cette formation présente actuellement un aspect forestier avec une strate herbacée importante par sa biomasse et une combinaison floristique des espèces dominantes très stable.

Ce groupement se développe sur les replats et les pentes, au substrat brûlé ou non, de réaction ionique très diverse (pH 4 à 7).

TABLEAU 43 : LA FORMATION A ROBINIA PSEUDACACIA

Numéro du terril	91	126	147	148	158	177	195	196	196
Numéro du relevé	3	7	3	1	1	1	1	15	16
Pente en degrés	30	0	0	40	0	30	0	0	0
Orientation	NNO	-	-	O	-	N	-	-	-
Surface en m^2	100	100	400	400	200	100	200	200	500
Recouvrement herbacé %	100	90	90	90	70	100	100	100	100
Recouvrement arbustif %	50	20	25	10	70	70	10	25	60
Hauteur des arbustes en m	1-2	1-3	1-3	1-4	1-8	1-8	1-5	1-5	1-5
Recouvrement arborescent %	70	80	70	80	80	70	50	80	80
Hauteur des arbres en m	8	12	8	15	15	15	12	12	15
A									
Robinia pseudacacia L.	4.4	5.5	4.4	5.5	5.5	4.4	3.3	5.5	5.5
a									
Robinia pseudacacia L.	2.2	1.1	.	1.1	.	.	1.1	1.1	2.2
Sambucus nigra L.	2.2	2.3	3.2	1.1	4.3	2.2	1.1	1.1	1.1
Crataegus monogyna Jacq.	+	+	+	+	+	.	.	.	2.3
Rubus sp.	+	+	1.3	2.3	3.3	.	1.2	+.2	2.3
Quercus robur L.	.	+	.	.	i	+	.	.	1.1
Hedera helix L.	.	.	+	+	1.3	.	.	.	1.2
Prunus avium L.	+	.	.	.	+	.	.	.	.
Ribes uva-crispa L.	+	.	.	.	+	.	.	.	.
Rosa canina L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
Betula pendula Roth.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
Rubus idaeus L.	.	.	.	+	.	3.3	.	.	.
Acer pseudoplatanus L.	.	.	.	.	.	3.3	+	.	.
Sorbus aucuparia L.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Frangula alnus Mill.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Clematis vitalba L.	.	.	.	.	.	+	.	+	.
Corylus avellana L.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Quercus rubra L.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
H									
Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.	5.5	5.5	5.5	2.2	+.2	2.3	5.5	3.4	4.4
Galium aparine L.	1.2	1.3	.	+	+	+	.	2.2	1.2
Urtica dioica L.	.	+	1.2	+	+	3.4	3.4	.	3.3
Stellaria media (L.) Vill.	+	.	.	.	.	2.3	1.2	.	+.3
Anthriscus caucalis Bieb.	.	+	.	+	+	1.3	.	.	.
Galeopsis tetrahit L.	.	.	+	.	+	+.2	1.1	+	+
Rumex crispus L.	+	.	.	.	+	.	.	+.2	.
Artemisia vulgaris L.	+	+	.	.	.	.	.	.	.
Poa nemoralis L.	.	.	.	5.5	2.2	.	+.3	2.3	2.3
Fragaria vesca L.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	+.3
Bromus sterilis L.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.
Poa compressa L.	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.
Dactylis glomerata L.	.	.	+	+	1.1	.	.	.	.
Geranium robertianum L.	.	.	.	1.2	+.2	.	.	.	.
Glechoma hederacea L.	.	.	.	+.2	.	.	.	4.5	4.5
Dryopteris filix-mas (L.) Schott	.	.	.	.	.	+	.	.	+
Teucrium scorodonia L.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.
Poa trivialis L.	.	.	.	.	.	4.4	.	.	.
Moehringia trinervia (L.) Clairv.	.	.	.	.	.	.	+	.	+.2
Physalis alkekengi L.	.	.	.	.	.	.	.	2.3	.
Saponaria officinalis L.	.	.	.	.	.	.	.	1.3	.
Melandrium dioicum (L.)Coss. et Germ.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.3
Hedera helix L.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2
Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.3

Ont également été notées : *Achillea millefolium* L. 126/7 (+) ; *Agrostis tenuis* Sibth. 147/3 (+) ; *Chaerophyllum temulentum* L. 158/1 (+) ; *Chelidonium majus* L. 196/15 (+.2) ; *Endymion non-scriptus* (L.) Garcke 196/16 (+) ; *Epilobium angustifolium* L. 148/1 (+) ; *Epilobium parviflorum* Schreb. 91/3 (+) ; *Festuca arundinacea* Schreb. 147/3 (+) ; *Fumaria officinalis* L. 196/15 (+) ; *Geum urbanum* L. 158/1 (+) ; *Heracleum sphondylium* L. 196/16 (+) ; *Hieracium lachenalii* C.C. Gmel. 177/1 (+) ; *Holcus lanatus* L. 158/1 (+.2) ; *Hypericum perforatum* L. 177/1 (+) ; *Lamium album* L. 196/15 (+.2) ; *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt. 196/16 (2.3) ; *Melandrium album* (Mill.) Garcke 196/15 (+) ; *Myosotis arvensis* (L.) Hill. 91/3 (+) ; *Picris hieracioides* L. 91/3 (+) ; *Poa pratensis* L. 196/15 (+) ; *Polygonatum multiflorum* (L.) All. 196/16 (+.2) ; *Polygonum convolvulus* L. 196/15 (+.2) ; *Rumex acetosa* L. 196/16 (+) ; *Satureia vulgaris* (L.) Fritsch 148/1 (+) ; *Sonchus oleraceus* L. 91/3 (+) ; *Valerianella locusta* (L.) Betcke 196/15 (+.2) ; *Viola riviniana* Reichenb. 196/16 (+.3).

Par sa faculté de fixer symbiotiquement l'azote atmosphérique le robinier améliore les conditions nutritionnelles du substrat et favorise la réunion des espèces nitrophiles des *Rhamno-Prunetea* Riv. God. 1961 (*Sambuco-Salicion* R. Tx. et Neum. 1950) et des espèces herbacées du *Geo-Alliarion* (Oberd. 1957) Görs et Müll. 1969 (*Artemisietea vulgaris* Lohm., Prsg. et R. Tx 1950), *Arrhenatherum elatius* ajoutant une note supplémentaire.

Cette formation peut donc s'interpréter comme une extension en surface, sous le couvert du robinier qui reste clair, des groupements linéaires des manteaux et ourlets forestiers nitrophiles.

D. CONCLUSION DU CHAPITRE

La diversité des populations et des groupements végétaux du stade pionnier se résoud par la suite en une dualité pelouse rase à *Hieracium pilosella*-formation arbustive à bouleaux dominants. L'importance de l'une ou de l'autre de ces formations est essentiellement liée à la localisation du terril par rapport aux zones boisées. Les groupements arbustifs réalisés sans la participation du bouleau sont rares, cependant les quelques plantations observées dans le bassin et les expériences réalisées à ce jour, dans le but de verduriser les terrils, montrent que l'arbre possède de réelles aptitudes colonisatrices.

PLANCHE VI : LES GROUPEMENTS ARBORESCENTS

Photo 1 :

Bétulaie à *Poa nemoralis* (terril n° 107 de Carvin).

Photo 2 :

Bétulaie à *Calamagrostis epigeios* (terril n° 123 de Roost-Warendin).

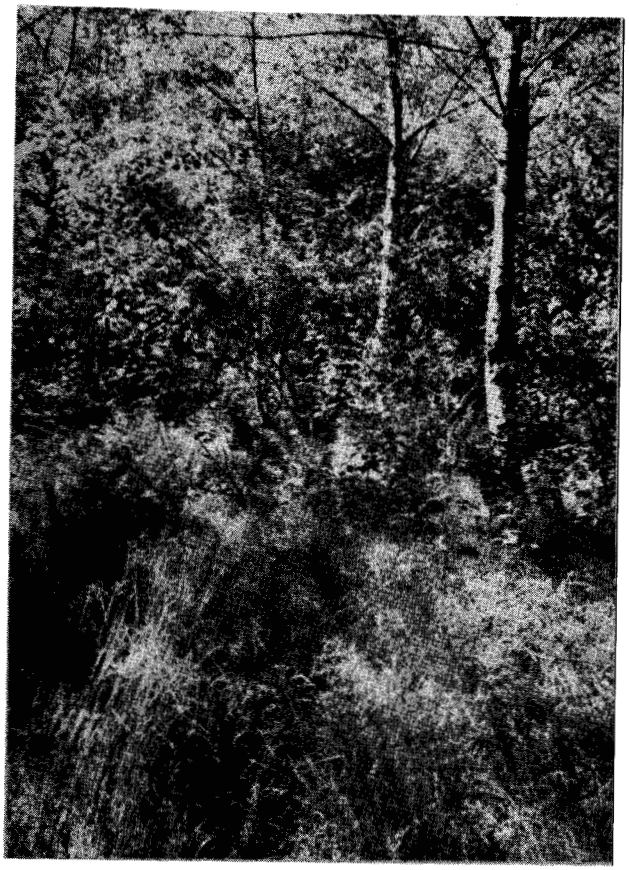
Photo 3 :

Plantation de *Robinia pseudacacia* sur le terril n° 147 de Abscon-Somain, strate arbustive à *Sambucus nigra*, strate herbacée à *Arrhenatherum elatius*.

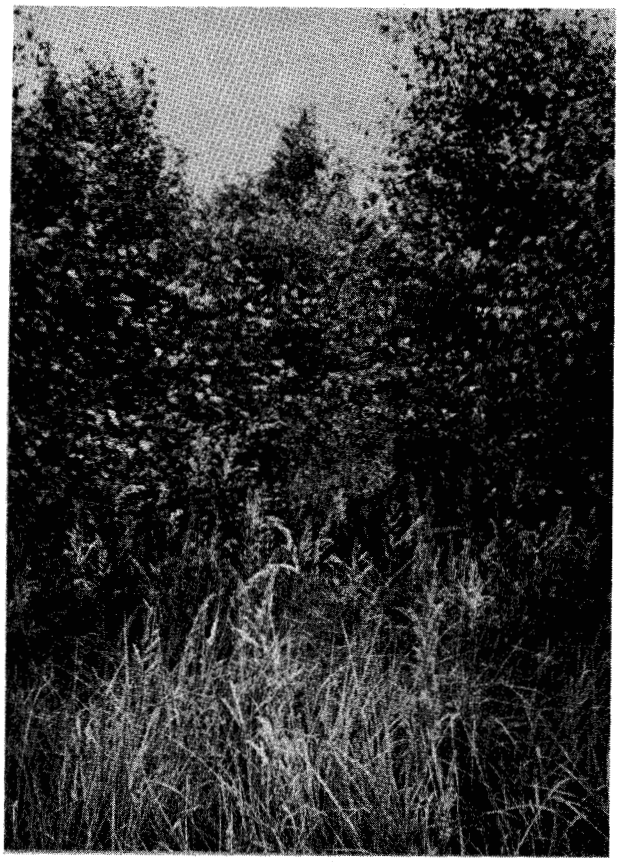
Photo 4 :

Aspect forestier d'une plantation âgée de *Robinia pseudacacia* sur le terril n° 148 de Abscon-Somain.

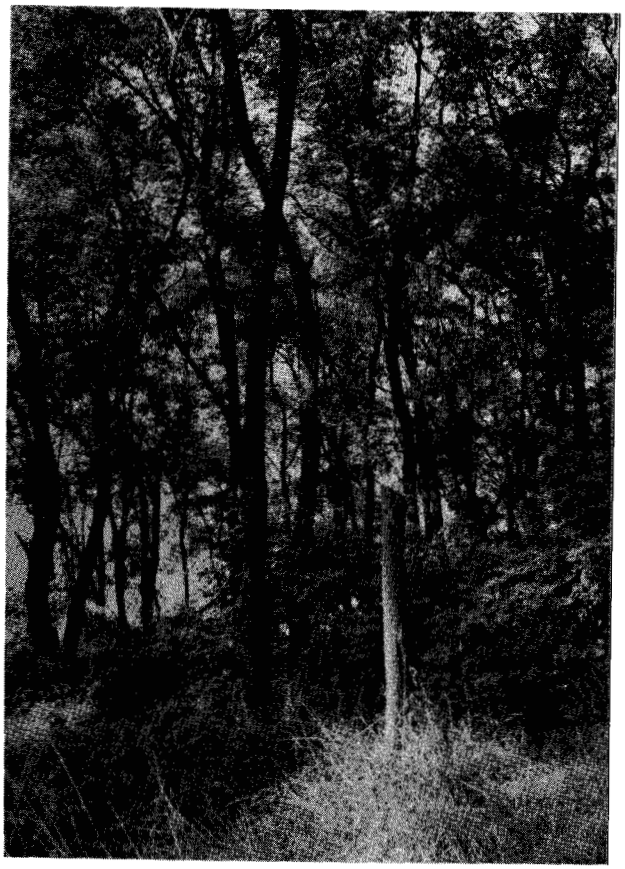
PLANCHE VI



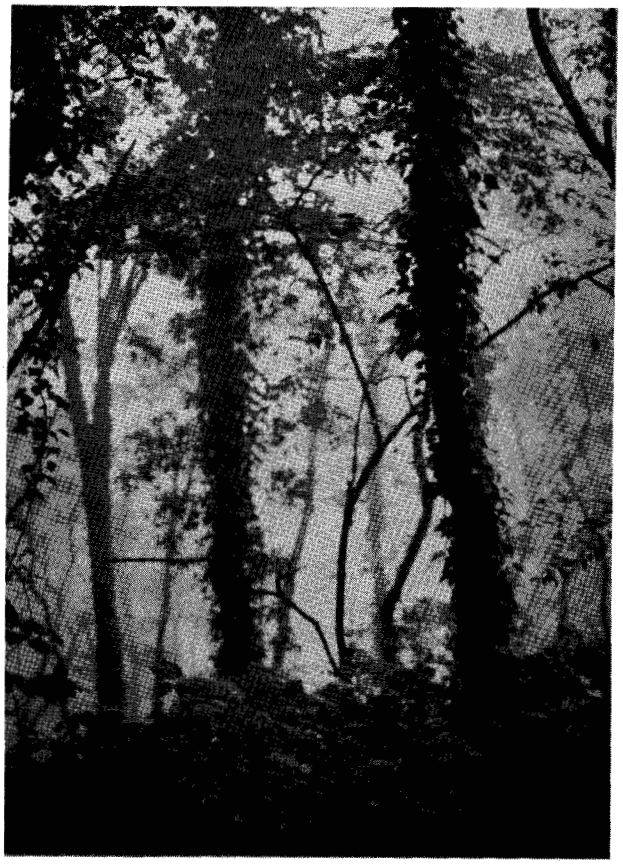
1



2



3



4

CHAPITRE IV : LES GROUPEMENTS VEGETAUX DES TERRILS EN COMBUSTION

Tous les groupements végétaux précédemment étudiés s'inscrivent dans une succession primaire que la combustion des terrils perturbe fréquemment. Lorsque celle-ci se déclenche, des groupements végétaux thermophiles très particuliers apparaissent et marquent le début d'une succession secondaire.

Les effets de la combustion des terrils ont déjà été abordés avec le *Resedo-Rumicetum scutati rumicetosum*.

La combustion peut se manifester de diverses manières et en des endroits très variés et inattendus des terrils (planche VII, photo 3). Lorsqu'elle se produit en profondeur, elle ne se signale en surface que par la présence de crevasses d'où s'échappent de la vapeur d'eau et des gaz divers. LERICQ (1968) donne pour les gaz recueillis sur le terril 196 (fosse Ledoux), la composition suivante :

Echantillons	1	2	3
Température des gaz	-	51°C	71°C
Composition en %			
CO_2	7,3	13,7	20
O_2	13,6	7	< 1,5
N_2	79,2	79,4	78,5
CH_4	-	-	< 0,5
H_2S	traces	-	-
H_2O	satur.	satur.	satur.

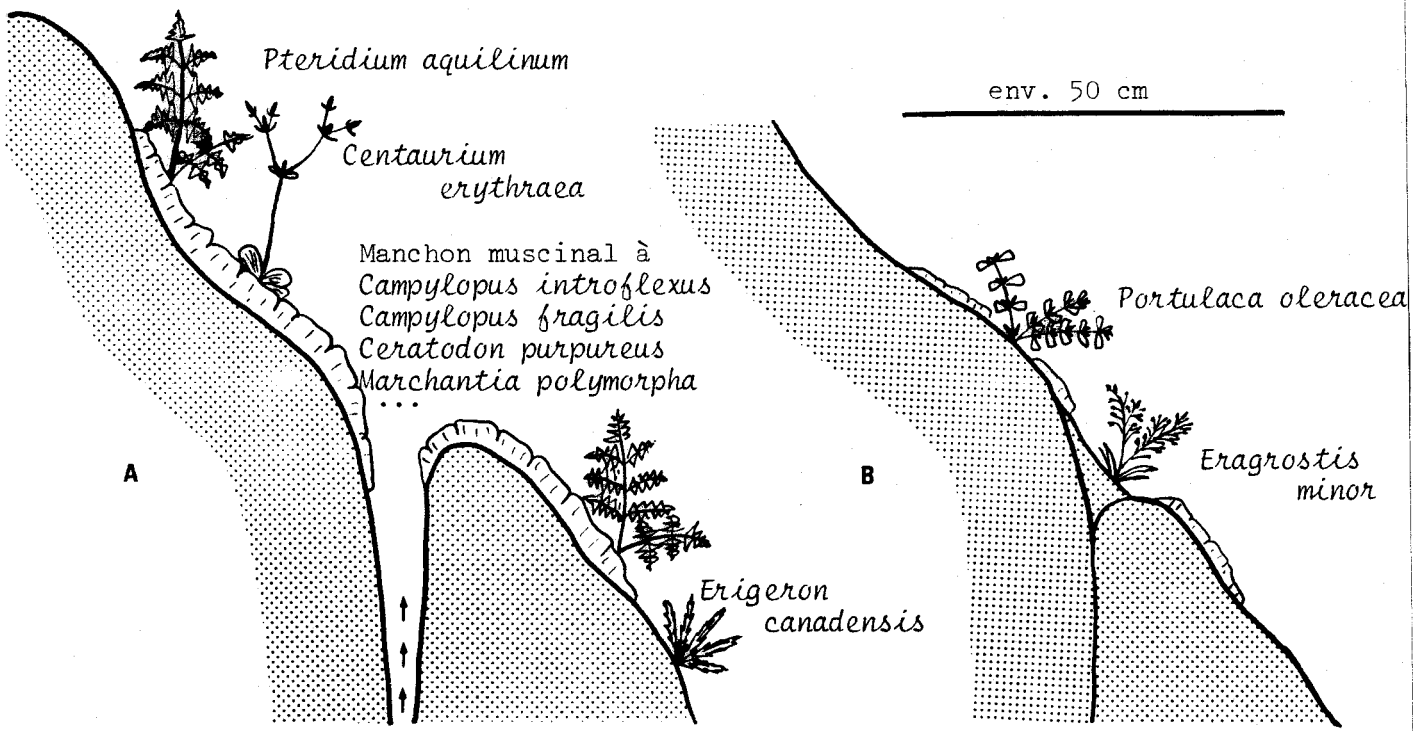


Figure 13 : Coupes schématiques d'une fente avec émanation de vapeur d'eau sur le terril n° 100

A) Zone active
B) Extrémité (la fente a été colmatée).

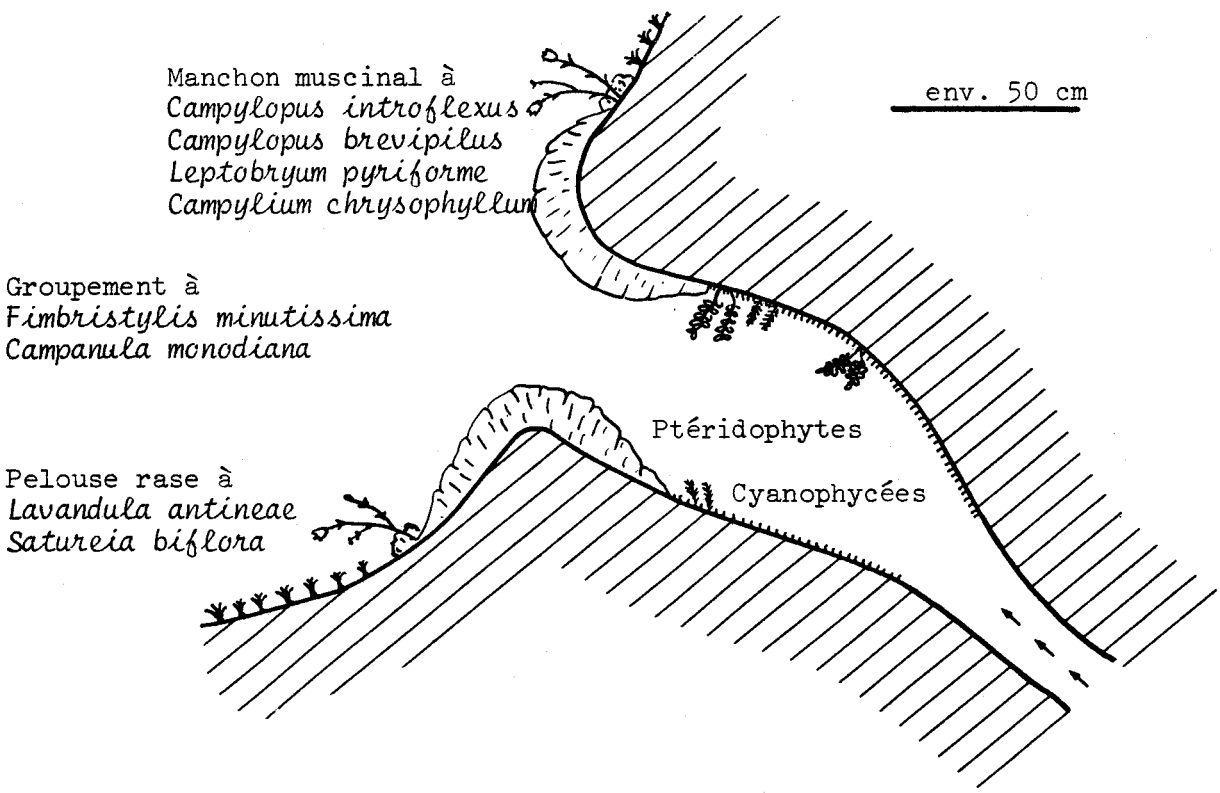


Figure 14 : Coupe schématique d'une fumerolle du Toussidé (d'après BRUNEAU DE MIRE et QUEZEL).

Ces résultats montrent la grande importance du gaz carbonique dégagé (souvent bien supérieur à celui des sols les plus actifs), par contre, la teneur en oxygène peut être très faible et constituer un véritable facteur limitant au développement végétal (l'échantillon n° 3 provient d'ailleurs d'une zone nue).

Sur certains terrils, la forte teneur en soufre des gaz se reconnaît à l'odeur et aux cristallisations qui se déposent aux orifices d'échappement.

La combustion peut se produire plus superficiellement et intéresser des surfaces plus importantes. Dans les deux cas, un centre thermique linéaire ou plus ou moins circulaire est nettement mis en évidence par la destruction de la végétation en place. Celle-ci est remplacée par des groupements thermophiles qui s'agencent en auréoles de plus en plus riches en espèces, selon l'éloignement du point le plus chaud et les modifications des conditions écologiques qui en résultent (planche VII, photo 4).

A. LES GROUPEMENTS VEGETAUX DES CENTRES THERMIQUES

1) LE GROUPEMENT A *CAMPYLOPUS INTROFLEXUS* (PLANCHE VIII, PHOTO 6) :

Ce groupement essentiellement bryophytique (tableau 44) s'installe à proximité des orifices d'échappement de vapeur d'eau, donc dans des conditions d'humidité et de température toujours élevées. (Les températures enregistrées sur les terrils n° 101 et n° 119, à 5 et 10 cm de profondeur sont respectivement de 50°C et 51°C) (figure 13).

L'espèce caractéristique de ce groupement est *Campylopus introflexus*. Cette mousse, par ses épais coussinets spongieux, devient exclusive dans ces conditions ; aussi, les autres végétaux présents sont-ils peu abondants et d'aspect chétif. *Campylopus introflexus* peut également occuper de vastes surfaces, sur les plateformes au substrat très fin et en combustion profonde, où les remontées de vapeur d'eau sont abondantes, régulières mais diffuses.

Tableau 44 : *Le groupement à Campylopus introflexus.*

Numéro du terril	160	119	101	79	100
Numéro du relevé	11	6	7	2	10
Pente en degrés	30	30	30	0	30
Orientation	N	O	E	-	O
Surface en m^2	15	5	2	2	2
Recouvrement muscinal %	100	100	100	70	90
Recouvrement herbacé %	-	-	5	30	5
Campylopus introflexus (Hedw.)Hitt.	5.5	5.5	2.3	4.4	3.3
Bryum argenteum Hedw.	+	+	1.2	.	1.2
Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	+	.	.	1.2	2.2
Funaria hygrometrica Hedw.	.	+	.	.	1.2
Campylopus fragilis (Turn.)B.et S.	.	.	3.3	.	2.2
Portulaca oleracea L.	.	.	1.2	.	+
Polygonum persicaria L.	.	.	1.1°	.	.
Oenothera sp.	.	.	i°	.	.
Erigeron canadensis L.	.	.	+°	.	.
Vulpia myuros (L.) C.C. Gmel.	.	.	+°	1.1°	.
Inula graveolens (L.)Desf.	.	.	.	3.4°	.
Pteridium aquilinum (L.)Kuhn	.	.	.	.	+°
Centaurium erythraea Rafn	.	.	.	.	+

BRUNEAU DE MIRE et QUEZEL (1959) signalent un groupement qui se développe dans des situations très semblables, à la sortie des fumerolles du massif volcanique du Toussidé dans le Tibesti. Ces auteurs donnent une liste d'espèces parmi lesquelles on retrouve *Campylopus introflexus, Ceratodon purpureus, Bryum argenteum* (figure 14). *Campylopus introflexus* est également l'espèce pionnière des laves récentes dans les Iles Hawaï (MILLER, 1960), alors qu'une espèce voisine *Campylopus fumarioli* occupe les abords des fissures à dégagement de vapeur d'eau.

Il semble donc que ce groupement original, qui apparaît dans des conditions écologiques si particulières, ait une large répartition dans le monde, aussi sa définition synsystématique demande-t-elle une étude beaucoup plus large que celle réalisée sur les terrils du Nord de la France.

2) LE GROUPEMENT A *CHENOPODIUM PUMILIO* (PLANCHE VII, PHOTOS 4 ET 5) :

Ce groupement (tableau 45), très rare, a été rencontré sur des plateformes en combustion profonde très active. Les couches superficielles du substrat sont alors marquées par une forte élévation de température (49°C à 10 cm de profondeur sur le terril 119) et d'abondantes remontées de vapeur d'eau et de gaz divers. Le petit nombre d'espèces relevées est compensé par leur grande prolificité, aussi le recouvrement est-il important. Les mousses en tapis continu jouent le rôle de véritables étouffoirs et favorisent la diffusion et la condensation de la vapeur d'eau dans les premiers centimètres du sol. Lorsque ces tapis sont entamés, la vapeur s'échappe alors librement et ne tarde pas à créer autour des orifices des auréoles de destruction.

Tableau 45 : Le groupement à Chenopodium pumilio.

Numéro du terril	119	86
Numéro du relevé	3	20
Pente en degrés	0	0
Orientation	-	-
Surface en m^2	10	4
Recouvrement %	50	90
Chenopodium pumilio R. Br.	3.3	2.2
Chenopodium cristatum F.V. Müller	.	4.4
Bryum argenteum Hedw.	1.2	3.3
Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	.	2.3

3) LE GROUPEMENT A *DIGITARIA SANGUINALIS* (TABLEAU 46) :

Ce groupement s'exprime d'une manière optimale sur les plateformes en combustion interne modérée, avec remontées de vapeur d'eau abondantes et températures légèrement inférieures à celles notées dans le cas du groupement à *Chenopodium pumilio* (environ 40°C à 10 cm de profondeur). Ces conditions sont également réalisées aux abords des fissures (planche VIII, photos 1 à 4).

Le substrat encore noir, riche en éléments fins est parfois couvert d'un horizon Ao, vestige des végétations antérieures. Cette couche organique de quelques centimètres d'épaisseur est très favorable à l'enracinement et au développement des végétaux : elle assure en effet une alimentation azotée élevée et joue le rôle d'un volant hydrique durant la période estivale.

Ce groupement, fréquent dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais a également été décrit des terrils du Borinage en Belgique (GHIO, 1975). Les espèces caractéristiques : *Digitaria sanguinalis, D. ischaemum, Setaria verticillata, Echinochloa crus-galli* sont communes des jachères thermophiles du *Panico-Setarion*, alliance absente de notre région. Il est l'expression fragmentaire du *Vulpio-Erigeretum canadensis digitarietosum* dans ses limites écologiques. Cette sous-association qui sera décrite par la suite, forme d'ailleurs une première auréole autour de certains centres thermiques.

Tableau 46 : Le groupement à Digitaria sanguinalis.

Numéro du terril	211	211	211	160	84
Numéro du relevé	1	6	5	10	12
Pentes en degrés	0	0	0	30	0
Orientation	-	-	-	NE	-
Surface en m^2	1	100	4	1	2
Recouvrement %	100	100	100	100	100
Digitaria sanguinalis (L.)Scop.	4.4	5.5	4.4	+	5.5
Setaria verticillata (L.)Beauv.	.	.	2.2	.	.
Echinochloa crus-galli (L.)Beauv.	3.3	.	.	.	.
Digitaria ischaemum Schreb.	.	.	.	4.4	.
Erigeron canadensis L.	.	.	2.2	+	+
Erigeron sumatrensis Retz.	.	+	+	.	.
Vulpia myuros (L.) C.C. Gmel.	.	.	+	+	+
Agrostis tenuis Sibth.	.	.	1.2	.	.
Polygonum persicaria L.	.	.	1.1	.	.
Chenopodium album L.	.	.	1.1	.	+
Oenothera biennis L.	.	.	.	+	.
Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	.	.	.	2.2	.
Campylopus introflexus (Hedw.)Hitt.	.	.	.	+	.
Picris hieracioides L.	.	.	.	.	+°
Artemisia vulgaris L.	.	.	.	.	+°

4) LE GROUPEMENT A *CHENOPODIUM BOTRYS* ET *PORTULACA OLERACEA* (TABLEAU 47) :

Ce groupement se développe, à l'inverse des précédents, sur des surfaces ayant été directement touchées par la combustion, donc sur des roches encore foncées et d'aspect cendreux mais aussi parfois rougies et ayant perdu une partie appréciable de leurs matières organiques. Dans ce dernier cas, les taux d'azote total, nitrique et ammoniacal sont faibles. Le substrat encore très chaud du fait de la proximité du foyer est aussi très sec.

Avec la présence de *Chenopodium botrys*, ce groupement peut être interprété comme une irradiation très appauvrie du *Chenopodion-muralis* Br.-Bl. 1931 em. O. Bolos, 1962 des végétations rudérales nitrophiles et thermo-xérophiles méditerranéennes.

Tableau 47 : Le groupement à Portulaca oleracea et Chenopodium botrys.

Numéro du terril	125	84	119	196	(1)		(2)
Numéro du relevé	5	15	5	2			
Pente en degrés	0	0	20	0	30	30	
Orientation	-	-	0	-	0	0	
Surface en m^2	10	25	4	10			
Recouvrement %	80	100	30	80	50	5	
Portulaca oleracea L.	5.5	4.4	.	3.4	1	+	3
Chenopodium botrys L.	.	.	2.2	1.1	2	1	1
Ceratodon purpureus (Hedw.)Brid.	+	5.5	.	3.4	.	.	+
Bryum argenteum Hedw.	+	.	.	.	.	.	.
Inula graveolens (L.)Desf.	.	.	.	.	+	.	.
Barbula hornschuchiana Schultz	.	.	.	.	.	.	+
Vulpia myuros (L.)C.C. Gmel.	.	+.2°	.	.	.	.	.
Petrorhagia prolifera (L.)P.W. Ball et Heyw.	.	+.2°	.	.	.	.	.
Erigeron canadensis L.	.	.	1.2°	+°	+	.	.
Polygonum persicaria L.	.	.	+.2	.	+	.	.
Chenopodium album L. (pl.)	.	.	2.2	.	.	.	.
Reseda lutea L.	.	.	+°	.	.	.	.
Oenothera biennis L.	.	.	.	.	+	+	+

(1) d'après LAMPIN, 1969

(2) d'après LERICQ, 1969

PLANCHE VII : VEGETATION DES TERRILS EN COMBUSTION

Photo 1 :

Terril n° 160 de Aremberg. La combustion a provoqué une prise en masse de la partie axiale et un décrochement des pentes partiellement consumées (flèche).

Photo 2 :

Terril n° 97bis de Loos-en-Gohelle. La combustion est responsable d'une diminution de volume de la partie sommitale encore très chaude et limitée par l'auréole claire du *Vulpio-Erigeretum canadensis* (flèche).

Photo 3 :

Sur le terril n° 70 de Wingles, la combustion apparue récemment détruit un groupement à *Betula pendula*.

Photo 4 :

Zone en combustion sur une plateforme du terril n° 119 de Ostricourt.

(a) centre thermique à *Chenopodium pumilio ;*
(b) première auréole avec germination dense de *Erigeron canadensis ;*
(c) deuxième auréole à *Calamagrostis epigeios*.

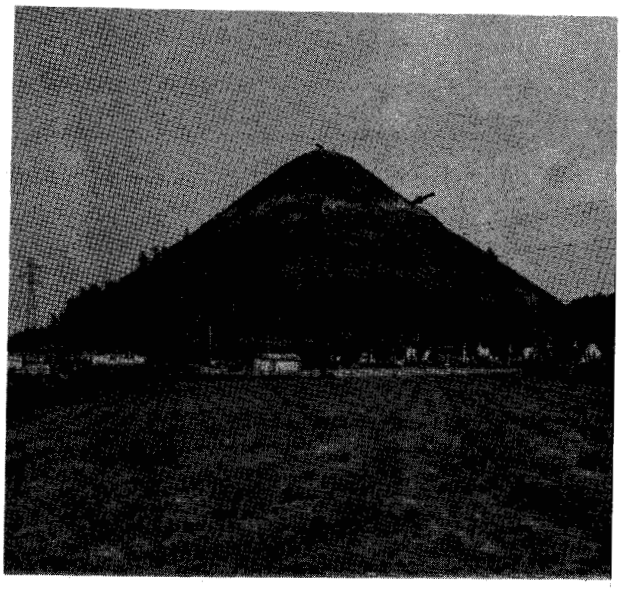
Photo 5 :

Chenopodium pumilio R. Br.

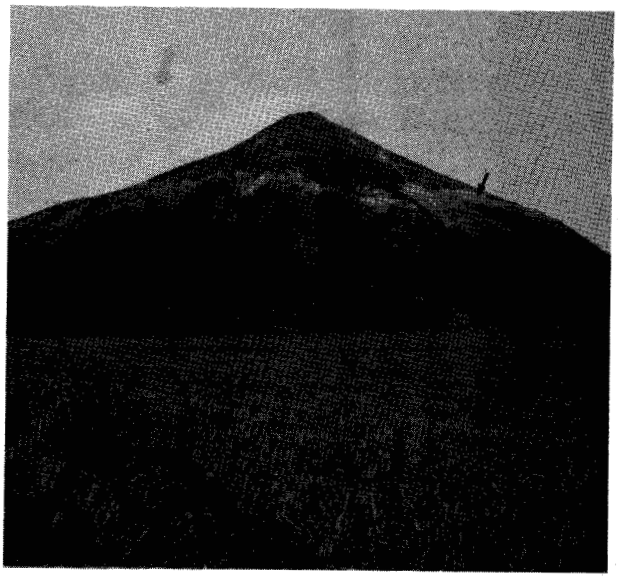
Photo 6 :

Chenopodium botrys L.

PLANCHE VII

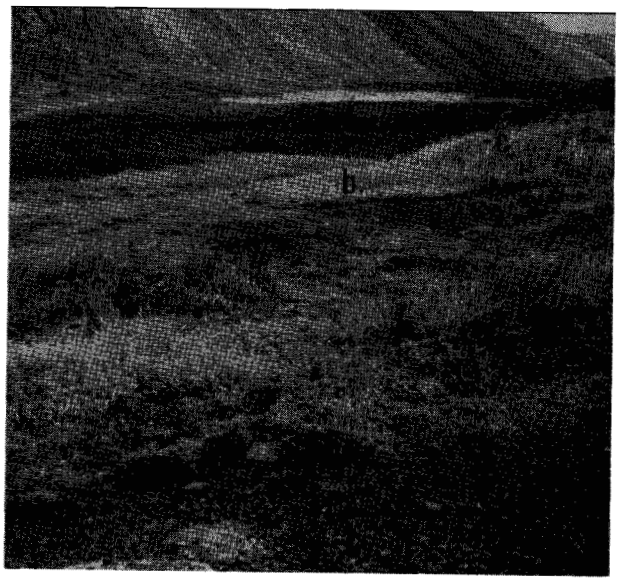


1



2

3



4

5

6

5) CARACTERES SYNECOLOGIQUES COMMUNS DES GROUPEMENTS DES ZONES EN COMBUSTION :

Les espèces des centres thermiques sont toutes des thérophytes dont certaines germent très tôt en automne et passent l'hiver sous forme de plantule. Ces groupements apparaîssent donc durant cette période sous forme de tapis ras très verdoyants et fumants qui tranchent dans un paysage où toute vie est ralentie. Ces zones privilégiées sont également le refuge d'une faune abondante : les oiseaux viennent y chercher les insectes et les animaux terricoles qui n'ont pas cessé leur activité, les lapins sont aussi des visiteurs assidus, ils n'hésitent d'ailleurs pas à creuser leur terrier à proximité de ces sources de chaleur.

Ces thérophytes se différencient cependant des espèces annuelles régionales comme *Vulpia myuros* qui croît aux abords des zones en combustion, par leur cycle végétatif qui s'effectue moins rapidement : dès le mois de mai *Vulpia myuros* arrivé à maturité est desséché, alors que *Digitaria sanguinalis* et *Setaria verticillata*, encore en pleine croissance, sortent à peine leurs premières fleurs. Les chénopodes ont un comportement encore différent, les jeunes plantes dont la taille est inférieure à 5 cm et qui ne possèdent que 3 ou 4 feuilles sont capables de fleurir et de fructifier dès la fin de l'hiver alors que la plante adulte atteint durant l'été 40 à 50 cm.

Ce nanisme et cette précocité des végétaux rencontrés sur les centres thermiques, à la sortie de l'hiver, ne sont pas sans rappeler les observations de BRUNEAU DE MIRE et QUEZEL sur le nanisme des espèces se développant dans le voisinage des fumerolles du Toussidé. Ces auteurs expliquent cette particularité par la formation, près de la surface du sol, d'un "écran froid" déterminé par l'évaporation de l'eau (ces observations étant faites à 3000 m d'altitude, les températures nocturnes pourraient aussi être invoquées).

Au niveau des zones en combustion des terrils des phénomènes microclimatiques semblables peuvent être notés. L'hiver, durant les périodes les plus froides, les températures favorables à la croissance des végétaux ne subsistent qu'à quelques centimètres au-dessus de la surface du sol et les plantes qui ont atteint une taille trop importante sont détruites en partie par le gel. Lorsque des espèces bisannuelles ou vivaces, qui arrivent parfois à se développer très près des fissures, où s'échappe la vapeur d'eau, sont soumises à ces conditions si particulières, il en résulte des morphologies en coussinets très denses et très florifères à la manière des plantes d'altitude.

TABLEAU 48 : VULPIO-ERIGERETUM CANADENSIS

Types biologiques	Numéro du terril	211	84	84	84	160	84	211	196	79	104	100	101	84	100	100	83	160	91	86	152	152	84	146	86	105	79	80	143	110	82	42	59	150	38	9	Classes de présence
	Numéro du relevé	5	14	13	16	10	21	3	3	3	1	9	5	2	7	8	1	9	7	12	6	2	22	7	5	3	1	1	9	4	6	5	4	3	3	1	
	Pente en degrés	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	25	25	0	0	35	35	0	0	20	5	45	0	0	0	25	30	0	0	30	30	
	Orientation	-	-	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-	SSE	E	-	-	E	S	-	-	ENE	SO	SSO	-	-	-	S	O	-	-	SSE	NE	
	Surface en m^2	4	2	5	2	2	10	10	10	2	40	2	5	100	10	100	100	10	10	100	100	100	100	200	100	100	100	10	25	25	25	25	100	25	25	50	
	Recouvrement herbacé %	100	100	100	60	80	90	80	50	80	80	50	50	80	80	100	80	100	50	100	100	75	80	100	80	100	60	100	80	80	50	100	100	100	60	70	
	Recouvrement muscinal %	-	-	-	50	-	-	10	-	50	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	5	40	80	-	-	-	-	-	
		DIGITARIETOSUM									POLYGONETOSUM							HYPOCHOERIETOSUM																			
	ESPECES CARACTERISTIQUES DE L'ASSOCIATION																																				
T	*Vulpia myuros* (L.) C.C. *Gmel.*	+	3.3	5.5	.	+	5.5	2.2	1.2	5.5	2.3	3.3	2.3	2.3	2.3	1.3	1.2	5.5	3.3	5.5	4.4	4.4	4.4	4.4	5.5	4.4	2.2	3.3	3.3	4.4	2.3	2.2	5.5	5.5	2.2	2.3	V
T	*Erigeron canadensis* L.	2.2	+	+	2.2	+	2.2	+	1.1	1.1	2.2	+	.	2.3	+	+	1.1	+	.	.	.	+	1.2	+	.	+	.	.	.	3.3	3.3	.	.	.	.	.	IV
T	*Senecio sylvaticus* L.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	+	3.3	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
	ESPECES DIFFERENTIELLES DE SOUS-ASSOCIATIONS																																				
T	*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.	4.4	.	3.3	1.2	+	2.2	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II IV
T	*Setaria verticillata* (L.) Beauv.	2.2	5.5	.	3.3	.	1.2	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
T	*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.	.	.	.	2.2	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II
T	*Portulaca oleracea* L.	.	.	.	3.3	.	4.4	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III
	Campylopus introflexus (Hedw.) Mitt.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Digitaria ischaemum*(Schreb.)Schreb. ex Mühl.	.	.	.	.	4.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Inula graveolens* (L.) Desf.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Polygonum lapathifolium* L.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+.3	+	1.1	+.2	1.3	5.5	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II V
H	*Hypochoeris radicata* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	1.1	2.2	2.2	4.4	+.2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II V
	COMPAGNES RUDERALES (SISYMBRIETALIA OFFICINALIS J.Tx. 61 em. Görs 66)																																				
T	*Polygonum persicaria* L.	1.1	.	.	.	.	.	2.2	+.2	.	.	1.2	.	.	2.3	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Chenopodium album* L.	1.1	.	+	+.2	.	.	2.2	.	.	.	.	2.2	.	.	+.2	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Erigeron sumatrensis* Retz.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	3.3	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	I
H	*Sisymbrium altissimum* L.	.	.	.	.	.	.	+	2.3	.	2.2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	2.2	.	+	.	.	I
T	*Matricaria maritima* L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	I
T	*Chenopodium glaucum* L.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	+	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	+.2	1.1	.	.	.	.	.	II
T	*Senecio viscosus* L.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	+.2	2.2	+.2	.	.	.	+	.	.	.	+.2	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
T	*Lactuca serriola* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I
T	*Lactuca virosa* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Bromus sterilis* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	+.2	.	I
T	*Lepidium virginicum* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Rumex crispus* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	+	I
H	*Bromus mollis* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	3.3	1.1	.	.	.	I
T	*Bromus tectorum* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Anthriscus caucalis* Bieb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
T	*Sisymbrium officinale* (L.) Scop.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	I
T	*Papaver dubium* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	I
	COMPAGNES RUDERALES (ONOPORDETALIA ACANTHII Br.-Bl. et Tx. 43 em. Görs 66)																																				
H	*Artemisia vulgaris* L.	.	1.2	+	2.2	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+.2	+.2	.	.	.	1.2	+	+	.	2.2	1.2	.	3.3	+	.	+	.	.	+	.	+	III
H	*Oenothera biennis* L.	.	.	1.1	.	+	.	+	+.2	1.2	3.3	2.2	.	.	1.2	3.3	4.4	3.3	.	.	2.3	1.2	.	.	+	1.1	.	3.3	+.2	.	.	.	.	.	.	.	III
H	*Verbascum tapsus* L.	.	.	.	.	.	1.1	.	1.1	.	+	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	+.2	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	II
H	*Echium vulgare* L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	3.3	.	.	.	1.2	.	3.3	+	+	2.2	.	+	+	2.2	.	+.2	.	.	.	.	.	+	2.3	II
H	*Picris hieracioides* L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	4.4	.	.	.	.	+	.	1.2	+	2.2	.	.	+.2	+	.	.	+	2.2	.	.	4.4	+	.	II
H	*Epilobium angustifolium* L.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	1.1	.	+	.	.	2.2	.	.	3.3	.	1.2	.	.	.	1.1	.	+.2	II
H	*Diplotaxis tenuifolia* (L.) D.C.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	+	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2.2	.	.	.	+	.	1.1	.	3.3	.	II
H	*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+.2	.	.	I
H	*Cirsium vulgare* (L.) Scop.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	+	1.2	.	.	.	.	.	.	.	1.1	+	.	.	.	.	.	I
H	*Reseda lutea* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	+	.	2.2
H	*Pastinaca sativa* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I
H	*Reseda luteola* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1.1	.	.	.	+	.	+.2	+	.	I
H	*Cynoglossum officinale* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	I
T	*Berteroa incana* (L.) DC.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	3.3	.	.	.	.	I
H	*Potentilla intermedia* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Verbascum blattaria* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	I
	COMPAGNES XEROPHILES																																				
T	*Petrorhagia prolifera*(L.)P.W. Ball et Heyw.	.	.	.	2.2	.	1.2	+.2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	I
	Cerastodon purpureus (Hedw.) Brid.	.	.	.	3.3	2.2	.	1.2	2.2	3.4	.	2.3	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	1.3	2.3	+.2	.	.	.	.	II
	Bryum argenteum Hedw.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	2.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2.3	5.5	.	.	.	.	I
H	*Hypericum perforatum* L.	.	.	.	.	.	.	+	3.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	3.3	+	.	.	I
T	*Arenaria serpyllifolia* L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	I
T	*Cerastium pumilum* Curt.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	1.2	.	.	.	.	.	.	2.2	.	.	.	.	I
H	*Agrostis tenuis* Sibth.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.3	.	.	.	.	.	+	.	4.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Poa compressa* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.3	.	.	.	.	1.2	+	.	.	1.3	.	.	.	.	.	.	.	I
H	*Potentilla argentea* L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	I
T	*Trifolium campestre* Schreb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.	I

Ont également été notées : *Achillea millefolium* L. 91/7 (+.2) ; *Arrhenatherum elatius* (L.) Beauv. 80/1 (1.2), 59/4 (+), 196/3 (+) ; *Betula pendula* Roth. 80/1 (1.1) ; *Calapolium regidum* (L.) C.E. Hubbard 82/6 (+.2) ; *Cirsium arvense* (L.) Scop. 79/1 (1.1), 86/5 (+) ; *Epilobium collinum* C.C. Gmel. 82/6 (2.2) ; *Epilobium montanum* L. 79/1 (2.2) ; *Epilobium adnatum* Griseb. 196/3 (+.2), 84/2 (+) ; *Festuca pratensis* Huds 38/3 (+) ; *Fragaria vesca* L. 196/3 (+) ; *Galeopsis angustifolium* Hrh. 79/1 (+), 152/6 (+) ; *Hieracium pilosella* L. 153/3 (+), 110/4 (+) ; *Hieracium sabaudum* L. 152/2 (+), 152/6 (+) ; *Inula conyza* D.C. 110/4 (+) ; *Linaria minor* (L.) Desf. 84/2 (+) ; *Linaria vulgaris* Mill. 152/6 (+) ; *Lolium perenne* L. 10/6 (+.2) ; *Poa pratensis* L. 86/5 (1.2) ; *Polygonum aviculare* L. 211/3 (+) ; *Polytrichum juniperinum* Hedw. 196/3 (1.2) ; *Polytrichum piliferum* Hedw. 146/7 (1.2), 91/7 (+) ; *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn 84/2 (+) ; *Rubus* sp. 110/4 (+.2) ; *Rumex acetosa* L. 196/3 (+.2) ; *Rumex acetosella* L. 116/7 (2.2) ; *Rumex scutatus* L. 50/1 (+) ; *Salix caprea* L. 80/1 (1.1) ; *Sambucus nigra* L. 110/4 (1.1) ; *Sedum acre* L. 83/16 (+.3) ; *Senecio jacobaea* L. 79/1 (+) ; *Solanum dulcamara* L. 152/2 (+) ; *Solanum nigrum* L. 211/3 (+) ; *Solidago virgaurea* L. 211/3 (1.3) ; *Sonchus arvensis* L. 79/1 (+) ; *Tanacetum vulgare* L. 105/3 (+), 211/3 (+) ; *Trifolium arvense* L. 143/9 (1.3) ; *Tussilago farfara* L. 80/1 (2.2).

Dans le sol, l'élévation des températures provoque également, surtout chez les espèces compagnes des groupements thermophiles, des modifications importantes du système racinaire.

Les racines principales sont détruites à 1 ou 2 cm de la surface du sol, une ou plusieurs grosses racines secondaires se développent alors et restent très superficielles. Parfois, une tubérisation apparaît au niveau du collet de la plante, de laquelle part un chevelu de petites racines.

Chez les véritables thermophiles, les racines sont plus profondes et peu modifiées.

B. L'AUREOLE A *VULPIA MYUROS* ET *ERIGERON CANADENSIS* : *VULPIO-ERIGERETUM CANADENSIS* PETIT 79 (PLANCHE VIII, PHOTO 5)

a - symphysionomie et composition floristique (tableau 48) : cette association est constituée d'une strate basse (10-30 cm) essentiellement graminéenne, à développement précoce, marquée selon les saisons par les teintes vertes ou argentées du *Vulpia myuros*, et d'une strate élevée très colorée par les floraisons des espèces des *Sisymbrietalia* et des compagnes des *Onopordetalia* (*Oenothera biennis, Echium vulgare, Verbascum tapsus*...). La combinaison caractéristique de cette association est *Vulpia myuros, Erigeron canadensis, Senecio sylvaticus*.

Diverses sous-associations peuvent être distinguées :

- une sous-association à *Digitaria sanguinalis* (*digitarietosum*) nettement différenciée par un cortège d'espèces thermophiles et thermonitrophiles du *Panico-Setarion* (*Digitaria sanguinalis, D. ischaemum, Setaria verticillata, Echinochloa crus-galli, Portulaca oleracea*). Un tapis muscinal à *Ceratodon purpureus* peut également être important dans ce groupement ;

- une sous-association à *Polygonum lapathifolium*(*polygonetosum*) dans laquelle les espèces des *Sisymbrietalia officinalis* sont bien représentées ;

- une sous-association à *Hypochoeris radicata* (*hypochoerietosum*).

b - synécologie : cette association se rencontre exclusivement sur les terrils en combustion, sa phénologie permet d'ailleurs de les repérer facilement dans le paysage (planche VII, photo 2). Elle marque les zones où le substrat est encore soumis aux effets d'un foyer ; sans être trop élevée la température du sol est

supérieure à la température normale (zones éloignées du foyer), ce qui se traduit également par une xéricité importante en surface dès le début de l'été.

Tableau 49 : Spectre biologique du Vulpio-Erigeretum canadensis des terrils.

		Thérophytes	Hémicryptophytes	Bryophytes	Total
digitarietosum	nombre d'espèces	18	9	3	30
	spectre brut	60 %	30 %	10 %	
	spectre pondéré	66 %	24,6 %	9,4 %	
polygonetosum	nombre d'espèces	18	11	2	31
	spectre brut	58 %	35,5 %	6,5 %	
	spectre pondéré	64,7 %	32,3 %	4 %	
hypochoerietosum	nombre d'espèces	10	17	2	29
	spectre brut	34,4 %	58,6 %	7 %	
	spectre pondéré	31 %	65,4 %	3,6 %	
Sous-association type	nombre d'espèces	16	21	2	39
	spectre brut	41 %	53,8 %	5,2 %	
	spectre pondéré	34 %	57,5 %	8,5 %	

La sous-association à *Digitaria sanguinalis*, la plus thermophile, marque les abords des fissures et forme une auréole très proche des centres thermiques. Les températures enregistrées dans ce groupement, à 10 cm de profondeur, sont comprises entre 28°C et 45°C (DEBEHAULT, 1969 ; GHIO, 1975 ; PETIT, 1971), des remontées de vapeur d'eau non négligeables peuvent encore s'observer. Le substrat riche en

éléments fins parfois même pulvérulents, de teinte noire (donc non brûlé), est très enrichi en matières organiques non décomposées formant un horizon Ao net de quelques centimètres. Les taux d'azote nitrique et ammoniacal sont nettement supérieurs à la moyenne notée sur les terrils ($N\text{-}NO_3$ = 5,51 mg/100 g de sol ; $N\text{-}NH_4$ = 4,02 mg/100 g de sol) de même la teneur en phosphore est dans ce cas très élevée (0,93 %). Aussi, ce milieu chaud et riche convient-il tout particulièrement aux espèces annuelles qui arrivent à boucler leur cycle vital très rapidement, à la manière des éphémérophytes.

La sous-association à *Polygonum lapathifolium* se développe sur substrats plus grossiers, noirs, présentant également une bonne minéralisation, mais dans des conditions thermiques plus basses (20°C à 30°C à 10 cm de profondeur). Ces conditions sont encore très favorables aux espèces thérophytiques (64,7 % du spectre pondéré).

La sous-association à *Hypochoeris radicata* caractérise les substrats rougis, donc les zones où la combustion a été superficielle. La roche a été vidée d'une partie de ses matières carbonées et azotées, ce qui se traduit par un cortège des espèces nitrophiles moins important. Les espèces des *Sisymbrietalia* ne représentent plus que 31 % du spectre pondéré (tableau 49) alors que les hémicryptophytes deviennent très importants (65,4 %).

c - <u>syndynamisme</u> : ces groupements végétaux ont comme particularité d'être stables tant que la combustion produit ses effets. Dans certaines conditions ces groupements se maintiennent donc identiques à eux-mêmes pendant plusieurs dizaines d'années.

Quand une zone n'est plus sous la dépendance d'un foyer de combustion, un dynamisme devient possible vers les groupements du *Dauco-Melilotion*.

d - <u>syntaxonomie, synsystématique et discussion</u> : le *Vulpio-Erigeretum* des terrils est dans sa composition floristique très comparable au *Lactuco-Erigeretum canadensis* Lohm. 1950 ap. Oberd. 1957, mais encore plus proche du *Bromo-Erigeretum canadensis* (Knapp 61) Gutte 69. Ces deux associations rudérales du *Sisymbrion* Tx. Lohm. et Prsg. 50 caractérisent les ruines, les accumulations de gravats, les ballasts et remblais, donc des substrats grossiers, plus ou moins secs, pauvres en humus et en azote mais situés dans des conditions thermiques favorables. Le *Vulpio-Erigeretum* se différencie cependant nettement de ces deux groupements, par la présence dans la combinaison caractéristique de *Vulpia myuros*, *Senecio sylvaticus*,

l'absence de *Polygonum convolvulus*, *Crepis capillaris*, *Linaria minor*, *Medicago lupulina* (tableau 50).

Si le *Vulpio-Erigeretum* est à rapporter au *Sisymbrion*, l'existence d'un important cortège des *Onopordetalia* montre sa parentée étroite, sur les terrils, avec les associations de cet ordre. GEHU (1973) pour le Nord de la France, réunit d'ailleurs le *Sisymbrion* et l'*Onopordion acanthii* Br.-Bl. 23 dans l'ordre des *Sisymbrietalia* J. Tx. 61.

Tableau 50 : Comparaison de la combinaison caractéristique principale du Lactuco-Erigeretum canadensis , du Bromo-Erigeretum canadensis (selon GUTTE, 1972) et du Vulpio-Erigeretum canadensis des terrils.

	Lactuco-Erigeretum	*Bromo-Erigeretum*	*Vulpio-Erigeretum*
Erigeron canadensis	V	IV	IV
Senecio viscosus	IV	IV	II
Lactuca serriola	V	II	I
Matricaria inodora	IV	III	I
Polygonum convolvulus	III	III	-
Crepis capillaris	III	-	-
Linaria minor	r	III	r
Bromus tectorum	r	III	r
Medicago lupulina	-	III	-
Polygonum persicaria	-	III	I
Vulpia myuros	-	-	V
Senecio sylvaticus	-	-	I

(r : présence faible inférieure à 10 %).

C. CONCLUSION DU CHAPITRE

Les groupements des aires en combustion doivent leur originalité à la présence des adventices, seules véritables thermophytes, en provenance pour la plupart, des régions européennes plus méridionales, mais aussi d'autres régions **chaudes** du globe (zones australe, paléo- et néotropicale).

Ces groupements et associations constituent une véritable vérification expérimentale de l'existence de liens entre certains facteurs écologiques et la répartition des espèces. Ils montrent la naissance de combinaisons floristiques nouvelles et les modalités de migrations d'associations lors d'éventuelles modifications climatiques. Ils témoignent de la valeur adaptative de certains types biologiques vis-à-vis des conditions de vie.

PLANCHE VIII : VEGETATION DES TERRILS EN COMBUSTION

Photo 1 :

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. et *Setaria verticillata* (L.) Beauv.

Photo 2 :

Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.

Photo 3 :

Groupement à *Digitaria sanguinalis* sur une plateforme en combustion du terril n° 211 de Oignies.

Photo 4 :

Terril n° 211 de Oignies. Dans une friche très composite à *Arrhenatherum elatius*, la présence d'une fissure avec dégagement de vapeur d'eau est mise en évidence par la teinte rouge sombre du *Digitaria sanguinalis* (a) flanquée des taches argentées du *Vulpio-Erigeretum* (b).

Photo 5 :

Vulpio-Erigeretum sur le terril n° 152 de Escaudain.

Photo 6 :

Campylopus introflexus (Hedw.) Hitt.

PLANCHE VIII

1

2

3

4

5

6

CHAPITRE V : LE DYNAMISME DE LA VEGETATION DES TERRILS

La description des divers groupements végétaux rencontrés sur les terrils du Nord de la France, a permis de mettre en évidence deux séries dynamiques naturelles, l'une à phase initiale herbacée (terrils urbains et des zones cultivées), l'autre à phase initiale arbustive (terrils proches de zones boisées). D'autre part, la considération, de l'ensemble des groupements herbacés et de leur représentation quantitative, montre que ceux-ci s'inscrivent dans le schéma général suivant :

groupements pionniers fixateurs

↓

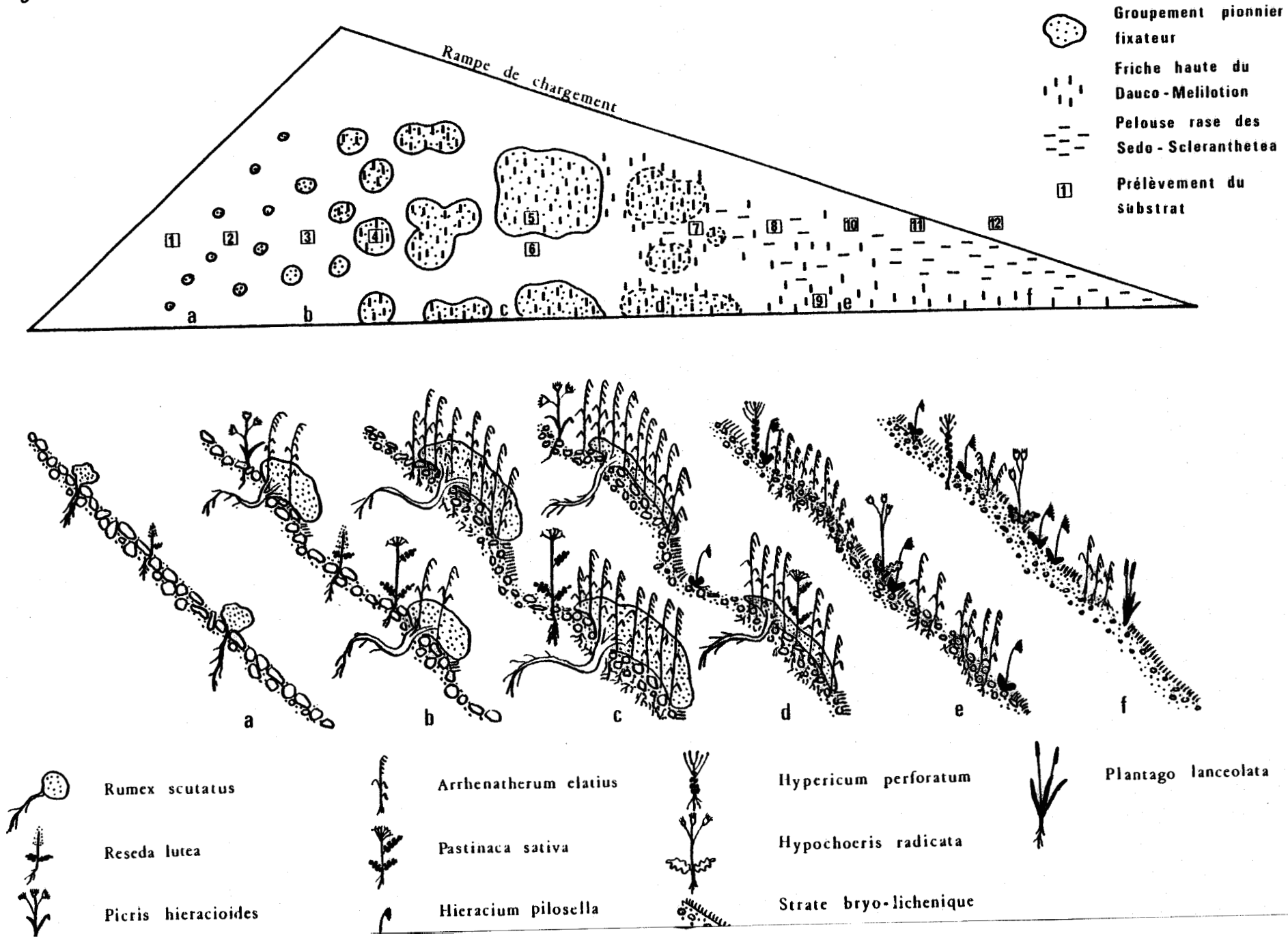
friche élevée du Dauco-Melilotion

↓

pelouse rase des Sedo-Scleranthetea

L'arrivée parfois massive de *Arrhenatherum elatius* comme différentielle des friches du *Dauco-Melilotion*, aurait pu laisser supposer une évolution de ces friches vers les *Arrhenatheretalia*. Les groupements de cette unité synsystématique sont en fait très peu représentés. Après un départ très prometteur de la végétation une certaine régression s'observe donc, certaines pentes où les dépôts ont été effectués régulièrement dans une direction sont à ce sujet très démonstratives : elles montrent dans l'espace le dynamisme végétal qui s'est déroulé dans la zone la plus ancienne.

Fig.15 SUCCESSION VEGETALE SUR LA PENTE S.SO DU TERRIL 85 DE HENIN-BEAUMONT



A. LE DYNAMISME VEGETAL SUR LA PENTE S-SO DU TERRIL N° 85 DE HENIN-BEAUMONT

1) DESCRIPTION DE LA SUCCESSION VEGETALE :

La fixation de cette pente est assurée par le *Resedo-Rumicetum scutati* dans lequel *Rumex scutatus* joue un rôle essentiel (figure 15 a,b). Lorsque la souche et la partie aérienne de cette espèce sont devenues suffisamment fortes, une microtopographie se dessine : la rétention des roches en amont donne naissance à une petite banquette où *Picris hieracioides, Echium vulgare, Pastinaca sativa* s'installent volontiers, par contre en aval du pied de *Rumex scutatus* apparaît une microfalaise qui se couvre bientôt de *Bryum argenteum, Ceratodon purpureus, Cladonia fimbriata*.

A l'intérieur de la masse végétale du *Rumex scutatus* des espèces compagnes, composantesde friches hautes, se développent (figure 15 c,d). Bientôt le *Rumex scutatus* perd de sa vigueur, et la physionomie de la formation est surtout donnée par *Arrhenatherum elatius* auquel se mêlent les hampes florales de *Pastinaca sativa, Daucus carota, Hieracium lachenalii, Cirsium vulgare, Diplotaxis tenuifolia*... : un groupement du *Dauco-Melilotion* (ici groupement à *Pastinaca sativa*) se substitue au *Resedo-Rumicetum scutati*. Le recouvrement de la pente est alors de 80 % environ.

Ce groupement du *Dauco-Melilotion* disparaît à son tour pour laisser la place, d'abord au niveau des banquettes puis sur toute la surface, aux espèces du *Hieracio-Poetum compressae* (figure 15 e,f). La fixation de la pente n'étant plus assurée, ni par *Rumex scutatus*, ni par *Arrhenatherum elatius*, les microreliefs tendent à s'estomper. La couverture végétale est alors très importante (proche de 100 %) mais aussi très fragile, elle s'ouvre facilement au passage des animaux où de l'homme, un dynamisme régressif peut apparaître.

Ce type de succession très net à mi-pente, est modifié à la base du terril par le maintien de la friche à *Arrhenatherum elatius*.

La colonisation végétale, très dynamique dans ses premières phases est marquée d'une certaine stabilité avec l'installation du *Hieracio-Poetum compressae*. Dans cette pelouse rase et très fermée les espèces arbustives qui s'implantent difficilement, laissent cependant présager de la transformation possible de cette pelouse en une fruticée à *Crataegus monogyna*.

Hieracio-Poetum compressae

groupement du *Dauco-Melilotion*

Resedo-Rumicetum scutati

Prélèvements		1	2	3	4	5	7	8	10	11	12	9 (Friche de la base du terril)	6 (Zone nue sous une touffe de *Rumex*)
pH (dans l'eau)		6,8	7,6	6,7	7	7,2	7,2	6,7	5,4	5,6	5,6	6,3	8
pH (dans KCl N/10)		6,5	7,1	6,4	6,7	6,7	6,7	6,6	5	5	5,2	5,9	7,5
CO_3Ca %		0,1	0,15	0,15	0,2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,15	0,15	0,2
K échangeable	meq/100g de sol	0,37	0,67	0,59	1,59	0,99	1,12	1,39	0,85	0,67	0,50	1,01	0,80
Mg échangeable	meq/100g de sol	5	5	4,16	5,83	3,96	3,96	6,87	2,08	2,08	2,71	5,21	5,83
Ca échangeable	meq/100g de sol	13,75	10	10,62	13,75	11,87	9,37	19,37	11,87	7,87	17,5	18,12	9,37
Somme des bases	meq/100g de sol	19,21	15,78	15,46	21,31	16,92	14,57	27,78	14,89	10,73	20,82	24,42	16,12
Capacité d'échange	meq/100g de sol	11	10	11	14,5	11	11	16	12	12	17	15	11
Taux de saturation %		sat.	sat.	sat.	sat.	sat.	sat.	sat.	sat.	83	sat.	sat.	sat.
Mg / Ca		0,36	0,5	0,39	0,42	0,33	0,42	0,35	0,17	0,26	0,15	0,28	0,62
C organique %		7,07	8,30	8,12	12,91	16,45	14,14	15,68	17,06	15,52	24,60	14,29	6,45
N total %		0,18	0,13	0,20	0,40	0,45	0,39	0,58	0,50	0,36	0,16	0,51	0,18
C/N		39,2	63,8	40,6	32,3	36,5	36,2	27	34,1	43,1	153,7	28	35,8
P assimilable %		0,08	0,06	0,07	0,09	0,08	0,09	0,12	0,10	0,10	0,06	0,05	0,06
Sulfates % (extraction aqueuse)		0,015	-	0,017	-	0,007	0,002	0,017	0,006	0,017	0,010	0,011	0,004

Tableau 52 : Les conditions nutritionnelles de la pente S-SO du terril 85 de Hénin-Beaumont.

2) EVOLUTION DES CONDITIONS EDAPHIQUES :

Afin d'analyser le déterminisme de ces substitutions successives, et l'intervention des conditions édaphiques, des prélèvements intéressant les 10 premiers centimètres du substrat, ont été effectués le long de cette pente (figure 15, 1 à 12).

Les sols correspondant aux différents groupements végétaux cités, caractérisés par leur faible évolution, peuvent être qualifiés de lithosols. Dans les premières phases de la colonisation, aucune différenciation d'horizon ne s'observe, le vieillissement du substrat est simplement marqué par un effritement des blocs schisteux. Seul le sol de la pelouse rase terminale montre un profil de type A.C. L'horizon A épais de 5-8 cm est très riche en racines, celles-ci forment un feutrage emmagasinant la roche réduite à l'état de poudre noirâtre et quelques cailloux. Cet horizon se décolle aisément de la zone sous-jascente encore formée d'éléments très grossiers.

La granulométrie comparée du substrat nu et du sol du *Hieracio-Poetum compressae* (tableau 51) montre la transformation, avec le temps, des sables grossiers en éléments plus fins (sables fins et limons) et l'apparition d'argiles qui migrent en profondeur.

Tableau 51 : Granulométrie comparée du substrat nu et du sol (AC) du Hieracio-Poetum compressae (en %).

	Substrat nu	Sol du *Hieracio-Poetum compressae* A (0-8 cm)	C (8-15 cm)
sables grossiers	77,4	44	64,9
sables fins	11,1	27,7	14,9
limons grossiers	3,8	10,5	8,3
limons fins	5,35	12,1	7,3
argiles	0	1,25	2,3

Jusqu'à la friche du *Dauco-Melilotion*, les conditions nutritionnelles restent très proches de celles du substrat nu (tableau 52, prélèvement 1-8) :

- pH proche de la neutralité ;
- taux de magnésium échangeable encore important mais diminué par rapport à celui du substrat non colonisé ;
- rapport Mg/Ca élevé ;
- complexe absorbant largement saturé.

On note cependant une augmentation du carbone organique et de l'azote total. Avec l'apparition du *Hieracio-Poetum compressae* (prélèvements 10, 11, 12), on remarque dans l'horizon superficiel du sol des conditions nouvelles :

- acidification ;
- complexe absorbant légèrement plus important et moins nettement saturé ou même désaturé ;
- diminution du rapport Mg/Ca par perte du Mg échangeable ;
- diminution de l'azote total ;
- augmentation du carbone organique.

Par contre, l'horizon sous-jacent reste très proche du substrat originel avec cependant un enrichissement en C organique et en N-total (tableau 53).

Le prélèvement n° 6 (tableau 52) effectué dans un espace resté nu de la pente colonisée, se différencie du substrat nu situé au-delà du front de colonisation, essentiellement par une perte du Ca échangeable.

La friche à *Arrhenatherum elatius* de la base du terril, en aval du *Hieracio-Poetum compressae* (tableau 52, prélèvement n° 9) a conservé comparativement à ce dernier groupement des conditions nutritionnelles supérieures.

Tableau 53 : Le sol du Hieracio-Poetum compressae.

Prélèvements Horizons		12 A (0-8cm)	13 C (8-15cm)
pH (dans l'eau)		5,6	7,2
pH (dans KCl N/10)		5,2	6,7
$CaCO_3$ %		0,4	0,5
K échangeable	mg/100g de sol	0,50	0,50
Mg échangeable	mg/100g de sol	2,71	3,96
Ca échangeable	mg/100g de sol	17,5	13,12
Somme des bases	mg/100g de sol	20,82	17,69
Capacité d'échange	mg/100g de sol	17	-
Taux de saturation	mg/100g de sol	sat.	-
Mg/Ca		0,15	0,3
C organique %		24,60	18
N total %		0,16	0,26
C/N		153	69
P assimilable %		0,06	0,07
Sulfates % (extraction aqueuse)		0,01	0,01

Le vieillissement de la pente se marque donc par une dégradation des conditions nutritionnelles de l'horizon superficiel qui se traduit par une acidification et une stagnation du cycle du carbone.

3) INTERPRETATION DU DYNAMISME VEGETAL :

Il y a donc au cours de la colonisation de cette pente par les espèces herbacées, deux substitutions successives de végétation. L'étude des conditions nutritionnelles et les observations de terrain permettent de penser que le remplacement du groupement pionnier fixateur par la friche élevée est dû à la compétition livrée au niveau des organes aériens : le *Rumex scutatus* qui est une espèce de pleine lumière perd très vite sa vigueur quand il est dominé par la friche à *Arrhenatherum elatius* , et disparaît après un certain nombre d'années de domination. *Arrhenatherum elatius* perd alors les conditions favorables qui lui avaient permis de s'installer et en particulier les conditions microclimatiques estivales des touffes du *Rumex* (cf. chapitre I). Cette transformation des facteurs physiques n'est cependant pas suffisante pour expliquer le déclin de la friche à *Arrhenatherum elatius*. En effet, après des périodes estivales chaudes et sèches prolongées on n'observe pas ou peu de changement dans la vigueur des espèces de la friche qui, pour la plupart, possèdent un enracinement du type pivotant. D'autre part, si la friche se maintient bien en bas de pente, aux expositions Nord, des pelouses rases à *Hieracium pilosella* sont également connues dans ces mêmes conditions. C'est donc au niveau des conditions nutritionnelles du substrat que se joue la substitution ou non de la friche à *Arrhenatherum elatius* par le *Hieracio-Poetum compressae*. Le lessivage superficiel et ses corollaires, acidification et perte des éléments biogènes, stoppent la régénération des espèces de la friche au profit de celle de la pelouse rase. Ce phénomène explique également la lenteur d'apparition de la fruticée à *Crataegus monogyna*, les semences de cette espèce germant difficilement dans ces conditions.

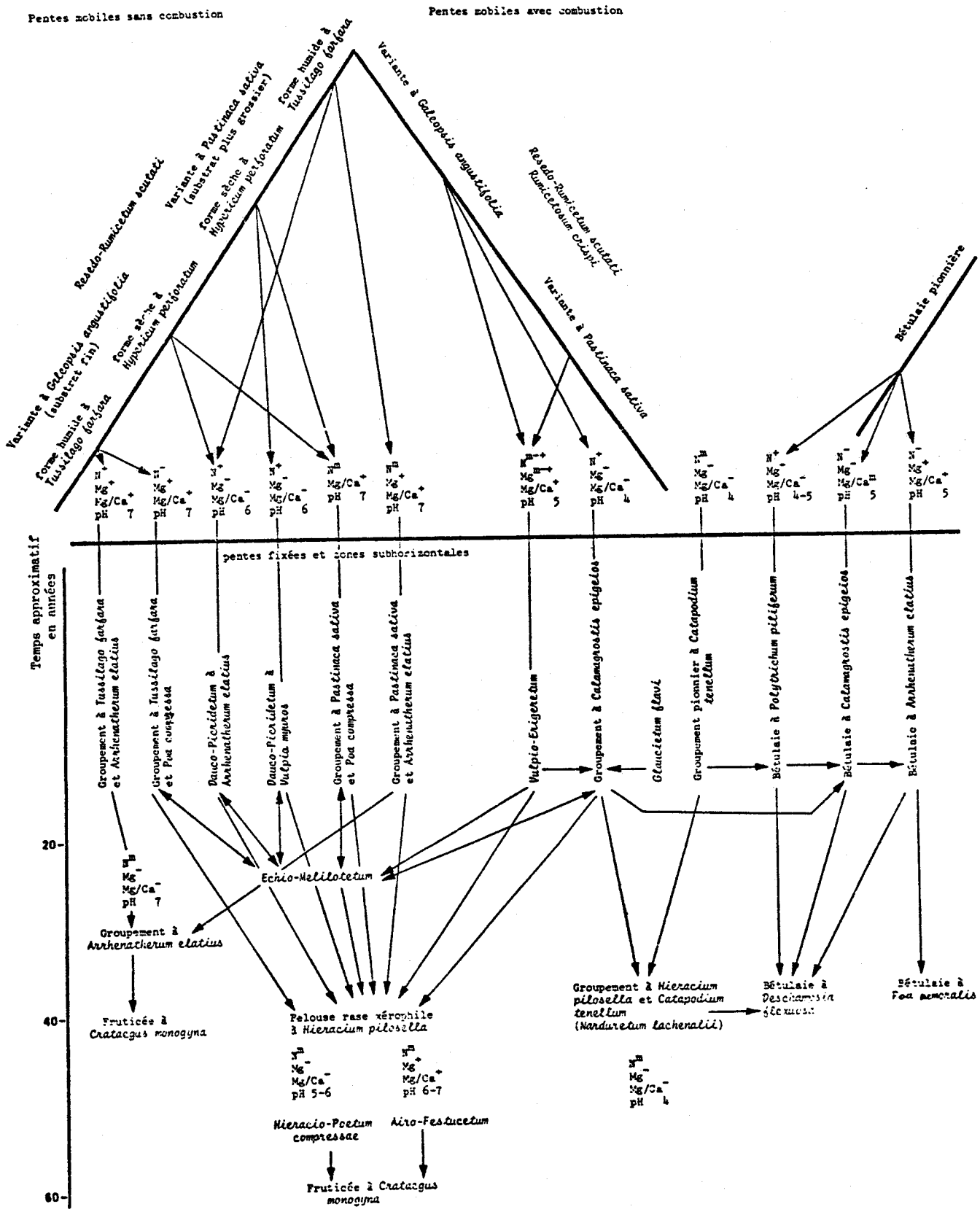
B. LE DYNAMISME GENERAL DES FORMATIONS HERBACEES A TRAVERS LE BASSIN HOUILLER

1) DU STADE PIONNIER AUX FRICHES ELEVEES :

Une dizaine d'annéesaprès les derniers dépôts, le stade pionnier fixateur des pentes est représenté sur la plupart des terrils du bassin

Figure 16 : Dynamisme général des formations herbacées et arbustives sur les terrils du bassin houiller.

N total % : +, > 0,3 ; m, 0,3 ; -, < 0,3 - Mg/Ca : +, > 0,2 ; m, 0,2 ; -,< 0,2
Mg meq/100g de sol : +, > 2,8 ;m, 2,8 ; -, <2,8 - pH dans l'eau.



où le pH est > 5 par le *Resedo-Rumicetum scutati* (souvent fragmentaire ou potentiel car lié à la possibilité, pour ce groupement, d'arriver sur un terril donné). Ce groupement qui se développe dans des conditions de substrat très diverses peut conduire aux différentes friches étudiées, à mesure que la mobilité de la pente ne se présente plus comme un facteur limitant. La figure 16 montre les liens existant entre ces différents groupements et leurs relations avec certains caractères édaphiques : texture, humidité, conditions nutritionnelles (pH, Mg, Mg/Ca, N total). Sur les substrats originellement stables des friches identiques à celles des pentes stabilisées par une végétation pionnière, s'installent directement et peuvent subsister suivant les cas plusieurs années identiques à elles-mêmes ou se transformer, de manière cyclique ou itinérante en *Echio-Melilotetum*, en groupement à *Calamagrostis epigeios* ou définitivement en *Arrhenatherum elatioris* (cas rare, réalisé en bas de pente ou dans des cuvettes). Il en résulte sur certains terrils, suivant les conditions stationnelles, une mosaïque de groupements parfois bien difficiles à séparer.

La sous-association à *Rumex crispus* du *Resedo-Rumicetum scutati* conduit au *Vulpio-Erigeretum* ou à des formations à *Calamagrostis epigeios*.

Sur les pentes mobiles touchées par la combustion, le dynamisme est simplifié du fait de l'intervention des facteurs température et sécheresse. Sur les terrils très acides (pH < 5), prédestinés par leur situation à une colonisation essentiellement herbacée, les pentes mobiles restent nues. Seuls les endroits stables sont occupés par le groupement pionnier à *Catapodium tenellum* et beaucoup plus rarement par le *Glaucietum flavi*.

2) DE LA FRICHE A LA PELOUSE RASE A *HIERACIUM PILOSELLA* :

L'installation de la pelouse rase à *Hieracium pilosella* correspond sur le terril 85 aux effets du lessivage superficiel. Ce phénomène se produit sur tous les terrils du bassin, les résultats sont cependant différents suivant l'état initial du substrat. En effet, si l'on considère le pH, sur le terril 85 de Hénin-Beaumont, on note respectivement pour le stade pionnier et la pelouse rase les valeurs de 7,5 et 5,5. Sur le terril 31 de Estrées Blanche, on passe pour ces mêmes types de formations de 7,7 à 6,8 (tableau 54). De plus, sur ce deuxième terril, le taux de Mg échangeable reste très élevé (4,79 meq/100g/sol). C'est à dire que les conditions nutritionnelles de la pelouse rase à

à *Hieracium pilosella* sont à Estrées Blanche, celles de la friche élevée réalisée sur d'autres terrils. Le remplacement de la friche haute par la pelouse rase à *Hieracium pilosella* n'est donc pas sous la seule dépendance des conditions nutritionnelles. Il faut penser également à l'existence d'un rapport plus direct entre les espèces de la friche et celles de la pelouse rase. Ces dernières de taille plus modeste, peuvent s'insinuer en sous-strate dans les friches. *Hieracium pilosella, Poa compressa, Agrostis tenuis*, espèces vivaces à développement végétatif important, occupent rapidement des surfaces importantes et empêchent ainsi la reproduction des espèces bisannuelles de la friche. Cette pénétration des friches par les espèces de la pelouse rase est d'autant plus marquée que le milieu est plus xérique (chaque groupement de friche a d'ailleurs été décrit sous une forme xérophile riche en espèces des pelouses rases, et une forme mésophile). D'autre part, la télétoxicité bien connue de *Hieracium pilosella* (GUYOT, 1951,1957) pourrait également être invoquée.

Tableau 54 : Du stade pionnier à la pelouse rase : modifications des conditions nutritionnelles sur le terril n° 31 de Estrées Blanche.

		Stade pionnier	Pelouse rase
pH (dans l'eau)		7,7	6,8
pH (dans KCl N/10)		7	6
CO_3Ca %		0,3	0,4
K échangeable	meq/100g de sol	1,15	0,83
Mg échangeable	meq/100g de sol	6,87	4,79
Ca échangeable	meq/100g de sol	11,75	15,62
Mg/Ca		0,58	0,30
N total %		0,27	0,50
$N\text{-}NH_4$	mg/100g de sol	1,57	2,17
$N\text{-}NO_3$	mg/100g de sol	1,05	0,91
P assimilable %		0,01	0,03
Sulfates % (extraction aqueuse)		0,04	ε

Suivant les terrils et les stations, le lessivage et la compétition entre espèces interviendront dans le dynamisme pour une part plus ou moins importante, et agiront de manière conjointe ou isolément, pour aboutir aux pelouses à *Hieracium pilosella* qui sont sociologiquement bien différenciées. C'est 30 à 40 ans après les derniers dépôts que la pelouse rase à *Hieracium pilosella* possède son expression optimale. Cependant, certains facteurs peuvent accélérer ou au contraire ralentir le dynamisme. Sur les surfaces sub-horizontales, cette pelouse est favorisée par le piétinement et la présence des lapins. Le feu peut également être un facteur très efficace du passage de la friche vers la pelouse rase.

3) DE LA PELOUSE RASE A LA FRUTICEE :

L'aspect très fermé de la pelouse rase à *Hieracium pilosella* ne favorise pas l'introduction des espèces arbustives de la fruticée, de plus l'acidité de surface qui se développe sur la plupart des terrils perturbe leur germination.

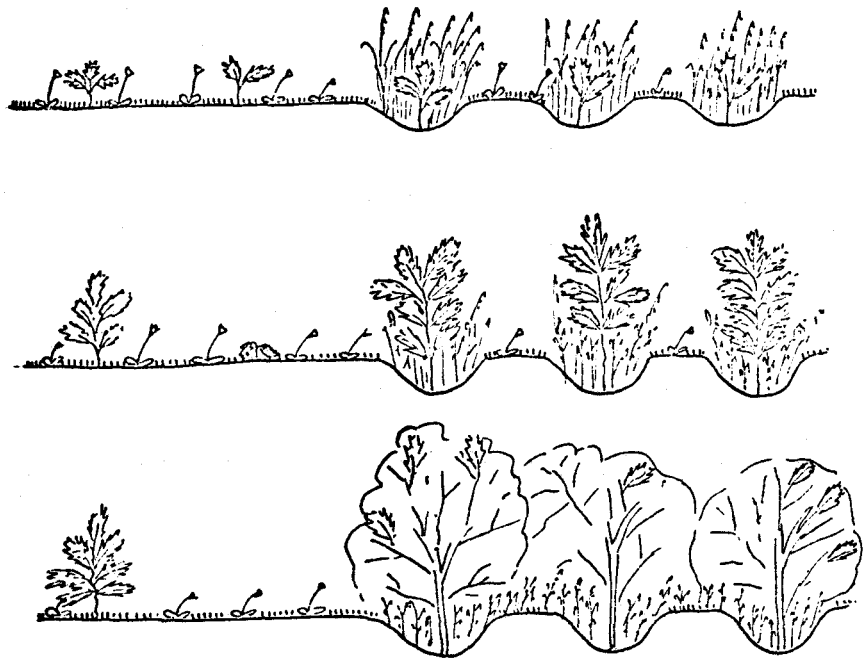
Crataegus monogyna qui se rencontre dans ces pelouses, reste souvent chétif et ne peut réellement s'exprimer. Seul le *Airo-Festucetum pimpinelletosum* des terrils plus neutrophiles de l'Ouest du bassin conduit à des fourrés bien développés à *Crataegus monogyna* et *Prunus spinosa*.

Sur les surfaces irrégulières des anciens terrils plats, *Crataegus monogyna* s'installe dans les cuvettes à *Arrhenatherum elatius* et les fourrés qui se constituent quand les dépressions sont suffisamment proches résultent en fait de l'aspect en mosaïque de la végétation qui permet de court-circuiter le stade de la pelouse rase (figure 17).

Par ce biais, la strate arbustive arrive à s'imposer environ 50 à 60 ans après l'arrêt de l'exploitation du terril.

Certaines friches à *Arrhenatherum elatius* possédant un environnement particulièrement favorable (expositions Nord, proximité de porte-graines) conduisent directement à une formation arbustive. Dans ce cas, l'évolution est beaucoup plus rapide.

Figure 17 : *Développement de fourrés à Crataegus monogyna à la faveur de l'existence d'une végétation en mosaïque : dans les cuvettes la friche à Arrhenatherum elatius se maintient et favorise la croissance de l'aubépine qui est au contraire inhibée sur les replats où la pelouse rase s'est installée.*



Le relevé suivant effectué à Harchies (n° 226) donne une idée du devenir de ces fruticées à *Crataegus monogyna*.

Hauteur des arbres 8-10 m — Recouvrement 80 %
Hauteur des arbustes 1-4 m — Recouvrement 60 %

A	*Quercus robur L.*	3.3	a	*Crataegus monogyna Jacq.*	4.4
	Ulmus campestris L.	3.3		*Cornus sanguinea L.*	1.1
	Betula pendula Roth.	1.1		*Prunus serotina Ehrh.*	1.1
				Lonicera periclymenum L.	1.1
				Rosa canina L.	+
				Rubus sp.	+°

C. LA SERIE ARBORESCENTE A *BETULA PENDULA*

La colonisation des terrils par *Betula pendula* se réalise de manière optimale dans des conditions bien précises :

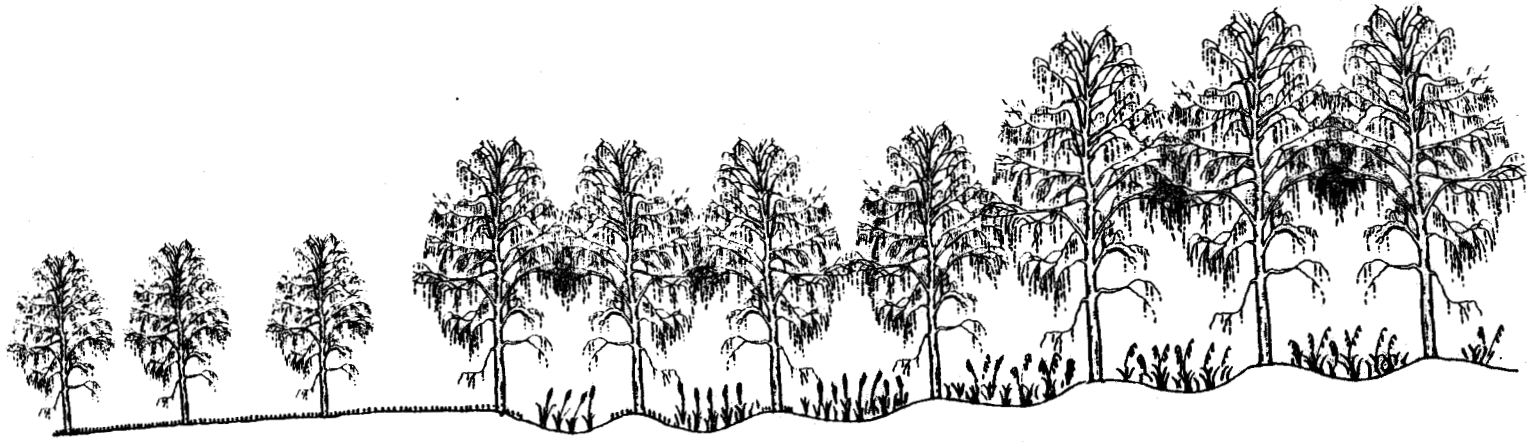
- proximité forestière ;
- substrat acide (pH < 5) ;
- substrat riche en éléments fins (terrils de lavage).

Cette espèce se montre alors extrêmement vigoureuse et monte à l'assaut des pentes les plus abruptes et les plus mobiles, où elle reste d'ailleurs exclusive , rares sont les populations pionnières herbacées qui s'y développent simultanément. Les surfaces horizontales sont dans ces conditions colonisées avec une grande rapidité.

Quelques années (5 à 10 ans) après l'implantation du bouleau, le substrat se couvre d'une strate bryo-lichénique : la bétulaie pionnière se transforme en bétulaie à *Polytrichum piliferum*. Les espèces herbacées étant toujours exclues, la structure simplifiée de cette formation facilite le balayage régulier de la litière par les vents. Mise à part la faible contribution des mousses et des lichens, aucun apport de matière organique n'est réalisé, aussi le sol reste très squelettique.

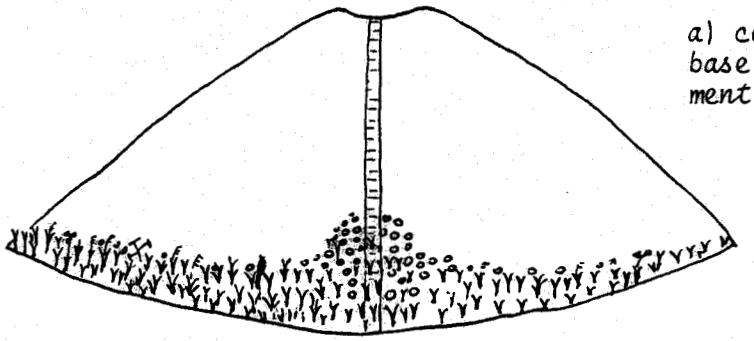
Le piégeage des feuilles de bouleau dans les dépressions ou leur maintien en place à la faveur de reliefs permet le développement d'une strate herbacée à *Calamagrostis epigeios*. Sur substrat plus riche ou par vieillissement et formation d'une litière importante, la bétulaie à *Calamagrostis epigeios* se transforme en bétulaie à *Arrhenatherum elatius* (figure 18). L'intensification du couvert arbustif et l'apparition d'espèces herbacées forestières, conduiront soit à une bétulaie pauvre à *Deschampsia flexuosa* soit à une bétulaie plus riche à *Poa nemoralis* (figure 16).

Cette série du bouleau très dynamique puisque 30 à 40 ans suffisent pour assurer le boisement naturel de grande surface semble dans certains cas, difficile à s'amorcer. Certains terrils montrent en effet quelques bouleaux épars sans qu'il y ait cette explosion démographique si caractéristique des "terrils à bouleaux", ceci montre la très forte pression sélective du milieu vis-à-vis des populations forestières locales, la véritable colonisation du terril commence en fait quand les quelques élus sont en état de se reproduire. Le terril n° 107

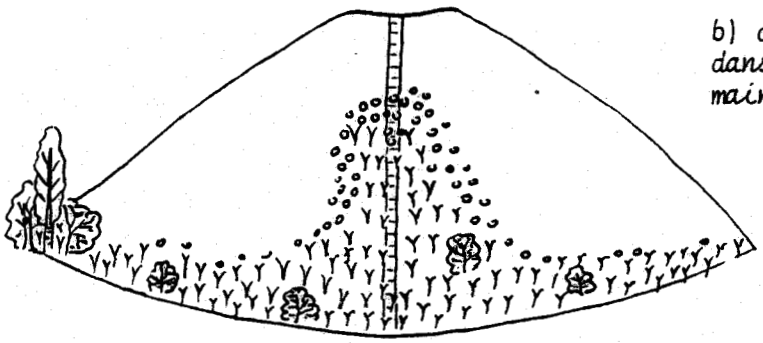


	Bétulaie à *Polytrichum piliferum*	Bétulaie à *Calamagrostis epigeios*	Bétulaie à *Arrhenatherum elatius*
pH (dans l'eau)	4	4,9	4,9
Somme des bases échangeables meq/100g de sol	5,90	7,56	14,08

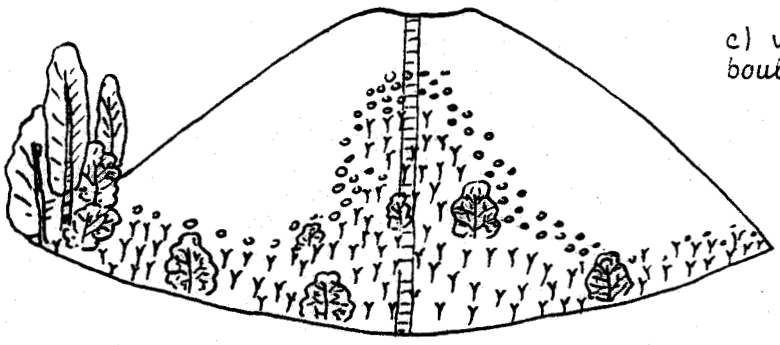
Figure 18 : *Les différentes bétulaies du terril n° 143 de Germignies.*



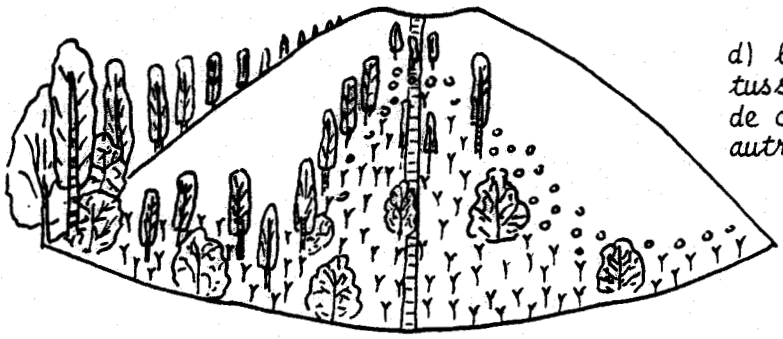
a) colonisation herbacée de la base et de la rampe de chargement. Stade de la friche élevée.



b) développement des arbustes dans la friche. Le bouleau se maintient à la base.



c) vieillissement du bois de bouleau et essaimage.



d) le bouleau supplante le tussilage au niveau de la rampe de chargement et occupe les autres pentes du terril.

Figure 19 : Dynamisme herbacé et arbustif sur la face Nord-Est du terril n° 107 de Carvin.

de Carvin (figure 19) montre à ce propos que la colonisation par le bouleau a demandé un certain temps de latence, alors que des individus âgés se trouvent à la base du terril. La colonisation a donc été d'abord herbacée, actuellement on peut dire que c'est le bouleau qui a repris la colonisation à "son compte".

D. CONCLUSION DU CHAPITRE

Le dynamisme général des terrils du bassin houiller du Nord de la France est illustré par la figure 16. S'il est difficile de prévoir quelle sera l'association forestière ultime de ces terrils, par la composition floristique actuelle et en particulier celle des fourrés pré-forestiers, on peut annoncer la différenciation de deux grands types, l'un acidiphile et pauvre à rattacher aux *Quercetalia robori-petraeae*, l'autre plus riche se rapprochant des *Fagetalia*.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

L'étude de la végétation des terrils par la méthode phytosociologique a donc permis la reconnaissance et la définition par comparaison avec les nombreuses données acquises dans cette discipline, d'un certain nombre de groupements et associations. Ceux-ci ont en commun de se présenter sous des aspects originaux, soit par leur nature fragmentaire constante, soit par le rassemblement de cortèges floristiques habituellement séparés qui donnent des combinaisons nouvelles, stables et répétitives à l'échelle régionale.

Les terrils, composante écologique nouvelle pour le Nord et le Pas-de-Calais, permettent donc de suivre la naissance de groupements végétaux et de comprendre la signification sociologique des différentes espèces.

Les espèces caractéristiques des unités phytosociologiques supérieures (classes, ordres, alliances) qui possèdent une large amplitude écologique sont généralement les premières à s'installer. L'affinage des associations se réalise ensuite par l'arrivée d'espèces plus exigeantes et l'on peut penser que celui-ci n'est d'ailleurs pas encore terminé. Les observations réalisées sur les terrils montrent donc l'association végétale sous un aspect dynamique.

TROISIEME PARTIE : ETUDES ECOLOGIQUES DU VEGETAL COLONISATEUR DU TERRIL

Après avoir donné les caractères écologiques des terrils et leurs relations avec les groupements végétaux, dans cette troisième partie nous allons analyser le comportement du végétal colonisateur confronté à certaines particularités écologiques du terril. Pour cela, des études phytochimiques, génécologiques et caryologiques ont été entreprises.

CHAPITRE I : ETUDES PHYTOCHIMIQUES

Le substrat terril se particularise du chimisme des sols normaux* surtout par un excès de magnésium échangeable et une pauvreté en phosphore assimilable, il est comparable en ce sens à certains sols spéciaux provenant de la dégradation des serpentines. L'analyse des principaux éléments biogènes des tissus végétaux permet de préciser le comportement phytochimique des espèces pionnières se développant dans ces conditions.

* *Dans une région donnée "un sol normal est un sol dont la composition chimique se rapproche de la moyenne résultant d'un très grand nombre d'analyses des sols prélevés dans les sites les plus divers à l'exception toutefois de ceux correspondant à des gisements de minerais ou à la décomposition de roches mères particulières (serpentine, dolomie, gypse, calcaire...)". DUVIGNEAUD P. et DENAEYER-DE SMET, 1973.*

A. TECHNIQUES D'ANALYSES PHYTOCHIMIQUES

L'étude phytochimique a porté sur des lots de plantes récoltées sur les terrils ou cultivées dans le cadre de séries expérimentales. Le matériel végétal obtenu à partir d'individus arrivés au stade de floraison ou au début de maturation des fruits, est séparé en racine, tige, feuille (quand cela est rapidement réalisable), lavé afin d'éliminer les poussières, et séché à l'étuve ventilée (85°C). Chaque échantillon est ensuite réduit en poudre et conservé en flacon de verre.

Pour Ca, Mg, Na, K, la minéralisation des poudres végétales est réalisée par voie sèche à 450°C jusqu'à disparition des traces carbonées. Les cendres sont reprises par HCl concentré. Après précipitation et pesée de la silice, le sodium et le potassium sont dosés par spectrophotométrie de flamme, le calcium et le magnésium par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Pour le soufre et le phosphore, la minéralisation est réalisée en présence de nitrate de magnésium (50 %), le soufre est déterminé par gravimétrie de $BaSO_4$, le phosphore par colorimétrie du phosphomolybdate d'ammonium.

Pour l'azote, la minéralisation est assurée par le mélange $H_2SO_4 + K_2SO_4 + CuSO_4 + Se$, et le dosage par distillation de NH_3 (appareil de Parnas et Wagner).

Les teneurs en cendres et en éléments biogènes sont exprimées en pour cent de matière végétale séchée à 105°C.

B. LES DONNEES MOYENNES DE REFERENCE ET TERMINOLOGIE

L'estimation du degré d'accumulation d'un élément biogène dans une espèce ne peut se faire que par comparaison avec une valeur moyenne résultant de l'analyse d'un grand nombre de végétaux se développant dans des conditions naturelles et sur des sols normaux. DUVIGNEAUD P. et DENAEYER-DE SMET (1970) étudiant la phytochimie des espèces herbacées des forêts de Haute Belgique et comparant leurs données avec celles de HOHNE (1962), montrent qu'il est nécessaire, pour établir ces valeurs moyennes, de séparer les dicotylédones

herbacées des arbustives, les monocotylédones non graminoïdes des graminoïdes, et les fougères. Nous utiliserons pour l'analyse de nos résultats les valeurs moyennes obtenues par divers auteurs (tableau 55).

Tableau 55 : Teneurs moyennes en cendres et macro-éléments des feuilles de diverses espèces herbacées, d'après DUVIGNEAUD P. et DENAEYER-DE SMET, 1970 (Cendre, Mg, Ca, K, N, P), DENAEYER-DE SMET, LEJOLY, DUVIGNEAUD P., 1968 (Na), THOMAS et coll., 1950 (S).

	Cendres	Mg	Ca	K	Na	N	P	S
	en % de matière végétale sèche							
Dicotylédones herbacées	13,2	0,38	1,6	3,9	0,05	2,8	0,25	0,1/0,3
Graminées	9,2	0,16	0,30	2,8	0,05	2,3	0,26	

Compte-tenu de ces valeurs de référence un élément pourra être présent dans une plante avec des teneurs faible, moyenne ou forte. Nous utiliserons la terminologie de DUVIGNEAUD P. et DENAEYER-DE SMET (1968, 1970) qui qualifie le degré d'accumulation d'un élément dans une plante par un radical désignant cet élément, un préfixe indiquant le degré d'accumulation et le suffixe phore. Ex : espèce polymagnésiphore.

C. PHYTOCHIMIE DES ESPECES COLONISATRICES DE LA PENTE S-SO DU TERRIL N° 85 DE HENIN-BEAUMONT (TABLEAU 56)

1) COMPORTEMENT PHYTOCHIMIQUE DES ESPECES PIONNIERES (FIGURE 20) :

Au niveau foliaire, c'est par leur teneur en magnésium que les végétaux pionniers de la pente étudiée se particularisent le mieux. Mis à part *Arrhenatherum elatius*, dont le taux peut être considéré comme normal pour une graminée, toutes les autres espèces analysées accumulent le magnésium. Les espèces caractéristiques des pentes mobiles (*Rumex scutatus*, *Reseda lutea*) rivalisent d'ailleurs avec des teneurs de 1,46 à 2,25 % (soit 4 à 6 fois la

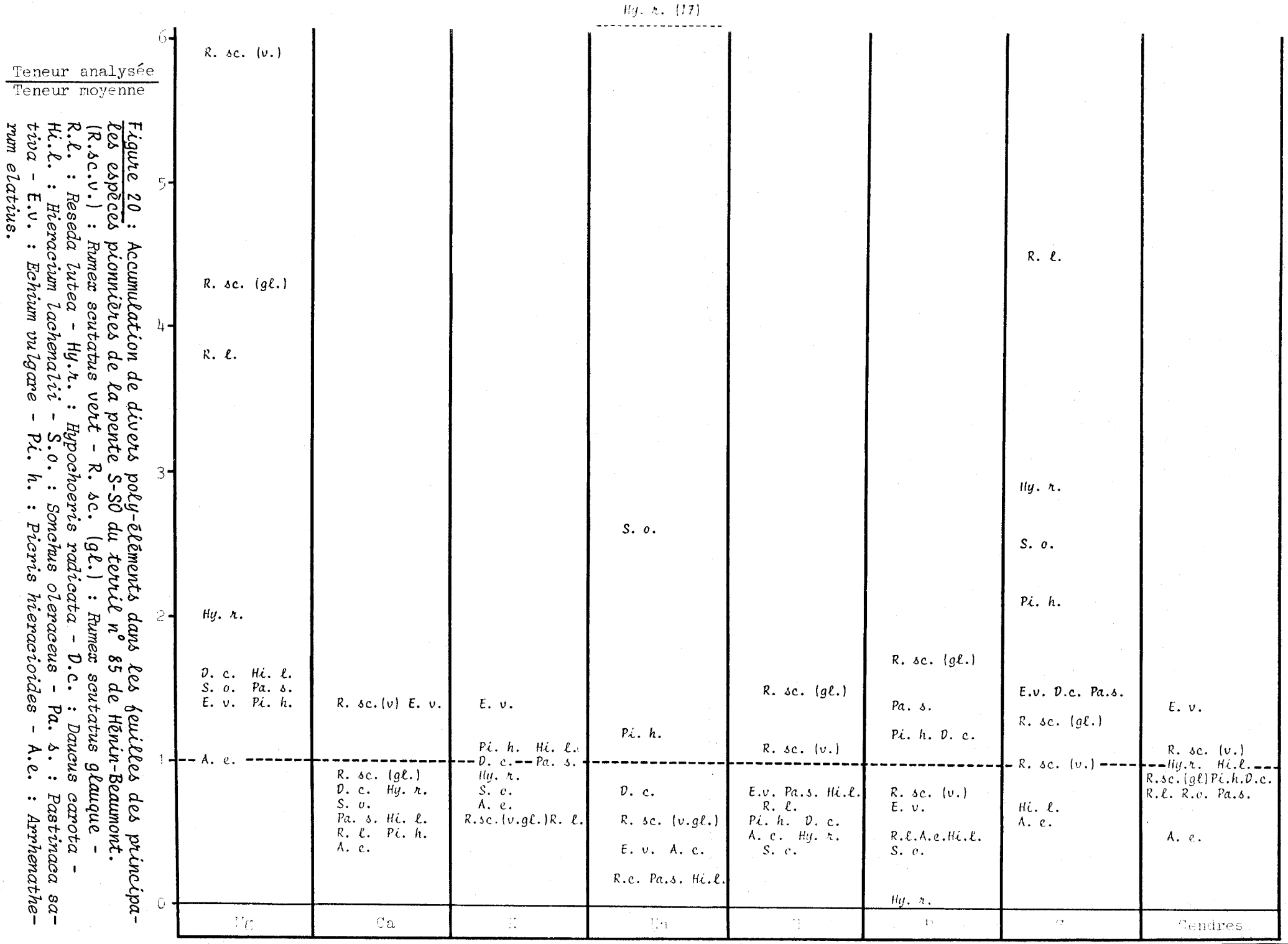


Figure 20 : Accumulation de divers poly-éléments dans les feuilles des principales espèces pionnières de la pente S-SO du terril n° 85 de Hénin-Beaumont.
(R.sc.v.) : *Rumex scutatus* vert - R. sc. (gl.) : *Rumex scutatus glauque* - R.l. : *Reseda lutea* - Hy.r. : *Hypochoeris radicata* - D.c. : *Daucus carota* - Hi.l. : *Hieracium lachenalii* - S.o. : *Sonchus oleraceus* - Pa. s. : *Pastinaca sativa* - E.v. : *Echium vulgare* - Pi. h. : *Picris hieracioides* - A.e. : *Arrhenatherum elatius*.

teneur moyenne) avec les espèces réputées polymagnésiphores des sols serpentiniques et dolomitiques (DUVIGNEAUD P., 1966 ; BOUKRIS, 1967 ; PROCTOR et WOODELL, 1975). Ces espèces polymagnésiphores sont simultanément oligopotassophores ce qui confirme, au niveau de l'absorption, l'antagonisme Mg^{++}/K^{+} (PROCTOR et WOODELL, 1975) qui s'ajoute d'ailleurs à celui plus classique du calcium et du potassium. La considération de l'ensemble des espèces montre que le taux de potassium est d'autant plus élevé que la somme $Mg^{++} + Ca^{++}$ est plus faible. Seul *Echium vulgare* ne suit pas cette règle, mais pour cette Borraginacée il est bien connu que le calcium se trouve surtout sous forme de cystolithes calcaires dans l'épiderme foliaire (PIREYRE, 1961) ce qui lui permet d'accumuler à la fois le Ca et le K (polycalcipotassiophore). *Echium vulgare* est en outre très riche en silice (2,76 %) et en cendres (18,45 %).

Les teneurs en calcium des autres espèces révèlent l'effet dépressif du magnésium sur l'absorption de cet élément, cet effet est d'ailleurs différent suivant les cas, il est beaucoup plus important chez *Reseda lutea* que chez *Rumex scutatus*.

Trois composées (*Hypochoeris radicata, Sonchus oleraceus, Picris hieracioides*) montrent une tendance polythiohalophorique alors que *Reseda lutea* se comporte en polythiophore.

Parmi toutes les espèces étudiées, seul *Rumex scutatus* est bien pourvu en azote aussi peut-on qualifier cette espèce de polynitrophore.

Arrhenatherum elatius est de toutes les plantes analysées la plus pauvre en éléments biogènes, mais comme pour la plupart des graminées il faut noter que le taux de potassium est 10 à 20 fois plus élevé que celui du magnésium ou du calcium.

En conclusion de ces considérations sur le chimisme des différentes espèces récoltées sur cette pente, il est remarquable de noter que *Rumex scutatus*, la seule véritable pionnière est capable de prélever dans le substrat des quantités appréciables de Mg, Ca, N et P. Il existe en outre une différence quant à l'absorption de ces éléments par la variété verte et la variété glauque du *Rumex scutatus*. La variété verte est plus riche en magnésium et calcium mais plus pauvre en azote et phosphore que la variété glauque. Avec cette espèce se retrouvent nettement les corrélations Ca-Mg et N-P mises en évidence à partir de 54 espèces américaines par GARTEN (1976).

Tableau 56 : Teneurs en éléments biogènes des feuilles des principales espèces assurant le dynamisme végétal de la pente S-SO du terril n°85 de Hénin-Beaumont.

	Espèces	EN POURCENTAGE DE MATIERE SECHE							
		Cendres	Mg	Ca	K	Na	N	P	S
Zone pionnière. Rumex scutatus et Arrhenatherum elatius vigoureux.	Rumex scutatus (vert)	14,56	2,25	2,25	2,39	0,03	3,18	0,22	0,20
	Rumex scutatus (glauque)	11,85	1,62	1,50	2,57	0,03	4,16	0,42	0,27
	Reseda lutea	10,64	1,46	0,79	2,41	0,01	2,12	0,12	0,91
	Picris hieracioides	12,08	0,54	0,78	4,32	0,07	1,70	0,31	0,42
	Echium vulgare	18,45	0,55	2,27	5,52	0,02	2,25	0,17	0,30
	Arrhenatherum elatius	5,44	0,17	0,13	2,22	0,02	1,21	0,13	0,13
	Sonchus oleraceus	11,42	0,57	1,24	3,25	0,13	1,29	0,11	0,50
	Daucus carota	12,08	0,63	1,40	3,88	0,04	1,78	0,30	0,30
	Hypochoeris radicata	14,15	0,78	1,41	3,58	0,86	1,52	0,002	0,58
	Pastinaca sativa	11,78	0,58	1,08	4,16	0,01	2,26	0,36	0,30
	Hieracium lachenalii	13,17	0,63	1,09	4,53	0,01	2,33	0,14	0,15
Rumex scutatus presque disparu, Arrhenatherum elatius dégénérescent	Rumex scutatus (glauque)	10,44	1,44	1,37	2,50	0,03	3,19	0,35	0,33
	Reseda lutea	9,21	0,98	0,76	2,54	0,01	2,02	0,31	1,13
	Picris hieracioides	10,72	0,64	1,18	3,43	0,08	1,88	0,19	0,38
	Echium vulgare	16,14	0,90	2,11	4,55	0,02	2,53	0,16	0,30
	Arrhenatherum elatius	4,62	0,17	0,11	1,91	0,01	1,33	0,20	0,17
	Daucus carota	10,11	0,50	0,97	3,44	0,08	1,86	0,19	0,41
	Hypochoeris radicata	13,60	0,57	1,34	4,06	0,52	1,44	0,11	0,53
	Pastinaca sativa	11,21	0,53	1,03	3,95	0,01	2,29	0,21	0,40
Pelouse à Hieracium pilosella	Hieracium pilosella	8,04	0,35	0,77	2,77	0,03	2,10	0,19	0,22
	Aira caryophyllea	6,08	0,22	0,26	1,07	0,01	1,06	0,13	0,14
	Vulpia myuros	3,64	0,16	0,18	0,52	0,01	0,86	0,10	0,15
	Hieracium pilosella	8,48	0,25	0,81	2,96	0,02	1,33	0,34	0,25
	Plantago lanceolata	7,19	0,14	0,95	2,01	0,09	1,20	0,18	0,40
	Achillea millefolium	9,21	0,25	0,89	2,67	0,04	1,45	0,22	0,10

2) COMPORTEMENT PHYTOCHIMIQUE DES ESPECES DANS LA ZONE DE SUBSTITUTION DE LA FRICHE ELEVEE PAR LA PELOUSE RASE :

Le prélèvement de substrat n° 8 (tableau 52, figure 15, pages 152 et 154) effectué sous l'épaisse litière d'une plage d'*Arrhenatherum elatius* peu vigoureux dans laquelle se trouvaient encore quelques tiges éparses et chétives, vestiges d'une importante touffe de *Rumex scutatus* (glauque), a montré pour cette pente des conditions nutritionnelles exceptionnelles : Mg échangeable très élevé (6,87 meq/100 g de sol), Ca échangeable important (19,37 meq/100 g de sol), K échangeable (1,39 meq/100 g de sol). N total (0,58%) et le rapport C/N (27) relativement faible pour les terrils, montrent que la minéralisation de la matière organique est assurée. Les taux exceptionnels en éléments biogènes de ces zones de dégénérescence du groupement sont donc en relation avec la décomposition du *Rumex scutatus* plante riche en azote, magnésium, calcium, et qui représente une part importante de la litière.

Le *Rumex scutatus* prélevé dans ces conditions et comparé à la même plante vigoureuse de la zone pionnière montre d'un point de vue phytochimique une perturbation de la répartition du calcium et du magnésium dans la plante (tableau 57).

Tableau 57 : Composition minérale du Rumex scutatus (glauque) prélevé dans la zone pionnière et la zone de substitution de la friche élevée par la pelouse rase. Rh : rhizome, T : tige, F : feuille.

		Zone pionnière			Zone de substitution		
		Rh	T	F	Rh	T	F
Cendres	en pourcentage de matière sèche	4,35	6,86	11,85	3,89	6,41	10,44
Mg		0,46	0,88	1,62	1,23	0,75	1,44
Ca		0,58	0,44	1,50	0,35	0,31	1,37
K		1,12	2,44	2,57	1,19	2,44	2,50
Na		0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03
N		1,12	1,86	4,16	0,89	1,25	3,19
P		0,15	0,26	0,42	0,12	0,19	0,35
S		0,09	0,10	0,27	0,09	0,13	0,33

Le rhizome contient environ 3 fois plus de magnésium et moitié moins de calcium dans la zone de substitution. Cette inversion du rapport Mg/Ca se répercute sur le taux d'azote dans le rhizome et les feuilles. SULEJ et coll.(1970) tentant d'expliquer le nanisme de certaines espèces serpentinicoles montrent en effet qu'un faible rapport Ca/Mg diminue l'assimilation de l'azote minéral. BUCZEK et LEONOWICZ-BABIAK (1971) montrent également à partir d'une expérimentation sur la tomate que l'accumulation de magnésium dans la racine perturbe le métabolisme azoté et la synthèse protéinique.

La croissance du *Rumex scutatus* se trouve donc limitée par la décomposition de sa litière, cette plante prépare en fait son déclin. *Arrhenatherum elatius* prélevé sur cette zone où il est en voie de disparition, ne montre pas de différences essentielles quant à la composition chimique foliaire, par rapport à la zone pionnière. En particulier, les taux de magnésium et calcium restent très constants.

Les autres espèces qui se développent au voisinage de cette zone de dégénérescence montrent des teneurs en éléments biogènes dans les feuilles peu différentes mais en légère baisse par rapport à celles notées pour les mêmes espèces dans la zone pionnière.

Tableau 58 : Taux moyens en cendres et en éléments biogènes pour 6 espèces prélevées dans la zone pionnière (A) et dans la zone de substitution de la friche élevée par la pelouse rase (B).

	En pourcentage de matière sèche							
	Cendres	Mg	Ca	K	Na	N	P	S
A	13,19	0,75	1,29	3,98	0,16	1,94	0,21	0,46
B	11,83	0,68	1,23	3,66	0,12	2,00	0,19	0,52

Il semble que pour ces espèces de la friche les possibilités de nutrition minérale soient plus limitées et liées à la proximité de la touffe de *Rumex* en voie de minéralisation qui entretient un niveau trophique convenable. Dès que l'on s'éloigne de ces touffes, le lessivage produit ses effets, les espèces de la pelouse rase deviennent dominantes.

Les espèces de la pelouse rase sont bien caractérisées par leur oligophorie générale, elles sont de ce fait très pauvres en cendres (tableau 56). Leur frugalité les rend compétitive vis-à-vis des espèces de la friche qui trouvent des conditions de nutrition minérale de plus en plus déséquilibrées.

Les données phytogéochimiques permettent de compléter la compréhension du dynamisme des formations végétales sur la pente SSO du terril 85 de Hénin-Beaumont que l'on peut résumer par le schéma suivant :

I - Développement du *Rumex scutatus* qui produit rapidement une biomasse aérienne importante dont une faible part est maintenue en place l'hiver

↓ Fixation de la pente : formation de banquettes
Enrichissement du substrat en matières organiques

↓ Arrivée d'autres espèces en particulier de *Arrhenatherum elatius*

2 - Développement de *Arrhenatherum elatius* qui acquiert dans ces conditions une taille importante (hauteur 100-110 cm, panicule 25 cm)

↓ Compétition pour l'espace avec *Rumex scutatus*
Rétention par les chaumes d'une plus grande quantité de litière
Ambiance favorable à une décomposition plus rapide de la litière

↓ Augmentation des taux de Mg, Ca, K et N
Perturbations de l'assimilation et du métabolisme azotés

↓ Diminution de vigueur du *Rumex scutatus* et disparition

3 - Perte de vitalité de l'*Arrhenatherum elatius* (hauteur 80-90 cm, taille de la panicule 18 cm) due aux avantages microclimatiques disparus avec le *Rumex scutatus* . Le substrat possède encore un niveau trophique élevé à proximité des banquettes où la reprise de l'érosion peut activer la disparition de la réserve organique accumulée par *Rumex scutatus* et *Arrhenatherum elatius*. Ailleurs le lessivage produit ses effets avec l'installation en mosaïque des espèces oligotrophes.

4 - Installation de la pelouse rase à *Hieracium pilosella*. *Arrhenatherum elatius* est très chétif (hauteur 40-70 cm, taille de la panicule 14 cm) ou disparu. Uniformisation de la pente.

Espèces	Organes analysés	N° du terril	EN POURCENTAGE DE MATIERE SECHE							
			Cendres	Mg	Ca	K	Na	N	P	S
Digitaria sanguinalis	F	211	11,54	0,33	0,49	4,62	0,15	3,01	0,44	0,25
		86	11,88	0,29	0,37	3,78	0,01	2,74	0,26	0,19
		84	12,44	0,68	0,28	4,43	0,02	3,34	0,38	0,35
Setaria verticillata	F	84	11,52	0,38	0,27	4,87	0,01	3,08	0,32	0,27
Portulaca oleracea	Oa	84	13,92	1,00	0,42	5,84	0,11	3,15	0,27	0,20
Chenopodium botrys	Oa	86	18,36	0,69	2,80	5,52	0,04	3,66	0,35	0,36
Chenopodium pumilio	Oa	119	19,36	0,62	1,12	6,37	0,04	4,92	0,97	0,44
		86	20,12	0,34	1,66	7,90	0,01	5,51	1,21	0,38
Chenopodium cristatum	Oa	86	13,64	0,19	0,46	5,92	0,02	3,89	1,20	0,48
Chenopodium album	Oa	211	21,32	0,84	1,65	8,76	0,01	4,19	0,42	0,30
		86	17,83	0,93	1,93	6,17	0,08	4,02	0,22	0,49
		119	12,85	1,01	0,26	4,72	0,30	2,39	0,40	0,73
Atriplex patula	Oa	119	16,49	1,44	0,33	2,99	2,19	2,23	0,25	0,96
Amaranthus blitoides	Oa	119	19,64	1,87	2,91	3,97	0,06	3,65	0,79	0,45
Erigeron canadensis	F	211	11,01	0,29	1,83	2,79	0,02	1,60	0,28	0,23
		86	10,35	0,23	1,49	3,02	0,02	1,61	0,25	0,20
Erigeron sumatrensis	F	211	9,78	0,28	1,33	2,98	0,03	3,02	0,25	0,34
		86	9,10	0,48	1,09	2,72	0,06	2,78	0,22	0,31
Verbascum thapsus	F	84	6,27	0,30	0,54	2,17	0,01	2,45	0,26	0,19
		86	9,59	0,44	1,75	2,20	0,01	2,30	0,27	0,47
Daucus carota	F	100	15,90	0,80	1,76	5,53	0,03	0,83	0,20	0,65
Picris hieracioides	Oa	100	13,36	0,29	1,69	4,54	0,08	2,44	0,61	0,54
Artemisia vulgaris	F	84	9,86	0,31	0,66	3,62	0,01	3,21	0,60	0,29
Oenothera biennis	F	84	6,99	0,50	1,41	1,66	0,02	3,03	0,21	0,29

Tableau 59 : *Teneurs en éléments biogènes des principales espèces végétales colonisant les zones en combustion des terrils du Nord de la France.*
(F, feuilles, Oa, organes aériens)

D. PHYTOCHIMIE DES ESPECES COLONISATRICES DES ZONES EN COMBUSTION

Dans le tableau 59 ont été reportés les résultats phytochimiques correspondant à diverses espèces prélevées au niveau des centres thermiques et de leur voisinage. Leur comparaison avec les données de référence permet de distinguer :

- le groupe des espèces polypotassophores ;
- le groupe des espèces mésopotassophores.

1) LES POLYPOTASSOPHORES :

Elles présentent des taux de K exceptionnellement élevés, des teneurs semblables ont été mises en évidence dans certaines espèces gypsophiles (DUVIGNEAUD - DENAEYER-DE SMET, 1968 ; BOUKHRIS et LOSSAINT, 1972). Ces espèces correspondent presqu'exclusivement à celles qui croissent sur les centres thermiques. Elles sont en général bien pourvues en Mg, certaines sont particulièrement pauvres en Ca. Selon la richesse en azote, on distingue :

- les espèces polynitrophores : représentées par le genre *Chenopodium* caractéristique des végétations rudérales nitrophiles. *Chenopodium pumilio* et *Chenopodium cristatum* sont particulièrement bien pourvus en K, P et S ; *Chenopodium botrys* est caractérisé par sa richesse en Ca ; *Chenopodium album* par sa richesse en S (un prélèvement montre une forte teneur en Na et un faible taux de Ca) ;
- les espèces mésonitrophores : représentées par les Graminées et *Portulaca oleracea*, espèce oligocalciphore assez riche en Na ;
- les espèces oligonitrophores : seul *Daucus carota*, qui ne se développe pas sur les centres thermiques, appartient à ce groupe, cette espèce est bien pourvue en S.

2) LES MESOPOTASSOPHORES :

Les espèces thermophiles tolérantes des premières auréoles des centres thermiques, ont par contre un comportement phytochimique moyen ou même très inférieur à la moyenne ; *Oenothera biennis, Verbascum tapsus* sont particulièrement pauvres en cendres. Dans ce groupe il faut cependant mettre à part *Atriplex patula* riche en Na, S, Mg et *Amaranthus blitoides* bien pourvu en N, Mg, Ca, P (0,79 % dans les organes aériens et 1,32 % dans les racines).

Certaines des tendances phytochimiques des espèces thermophiles se retrouvent dans la comparaison des résultats correspondant à *Erigeron canadensis* et *Erigeron sumatrensis*, deux espèces voisines souvent en

mélange mais dont l'une (*Erigeron sumatrensis*) est plus thermotolérante. Cette deuxième espèce est en effet plus riche en N, S, Mg. Elles se différencient également par leur taux de silice (*Erigeron canadensis* contient 2 à 3 fois plus de silice que *Erigeron sumatrensis*).

En conclusion il apparaît que les espèces thermophiles des centres thermiques ont un comportement phytochimique bien particularisé. Ce sont des concentrateurs de K, ce qui peut être accompagné, comme l'ont déjà fait remarquer chez les halophytes DENAEYER-DE SMET et coll. (1968), de fortes teneurs en N et P. La présence de taux moyennement élevés en Mg rapproche par contre ces espèces de certaines gypsophytes. Certaines espèces manifestent un pouvoir concentrateur vis-à-vis de Ca, S ou Na. Les fortes teneurs en Na qui s'accompagnent de déficience calcique illustrent l'antagonisme Na/Ca démontré par les expériences de VAN EIJK (1934).

CHAPITRE II : RECHERCHES PRELIMINAIRES DE L'EXISTENCE DE VARIATIONS ECOTYPIQUES

A. LA NOTION D'ECOTYPE

TURESSON (1922) met en évidence, par des cultures en conditions homogènes, d'individus d'une même espèce provenant de populations croissant dans des milieux différents, l'existence de races écologiques, qu'il appelle écotypes. Ces écotypes se caractérisent par des variations du port, de la phénologie, de la taille qui se maintiennent d'une génération à la suivante et qui correspondent donc à des variations génotypiques. Un travail similaire maintenant classique fut repris plus tard par CLAUSEN, KECK et HIESEY (1940, 1945, 1948). Il démontre l'existence le long d'un transect californien de 300 km, de races climatiques chez *Potentilla glandulosa, Achillea lanulosa* et *Achillea borealis*. Certaines de ces races se distinguent morphologiquement (morphoécotype) et prennent valeur de sous-espèces, d'autres ne se différencient que physiologiquement (physioécotype).

Les études portèrent parallèlement sur la connaissance plus précise des différents facteurs de l'environnement permettant cette différenciation infraspécifique. L'action des facteurs chimio-édaphiques fut bien étudiée particulièrement dans le cas des sols à composition chimique déséquilibrée, des déblais miniers, des régions calcaires, dolomitiques, serpentiniques... De nombreux chimio-écotypes (DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET, 1973) tolérant des teneurs excessives en macro- ou microélément dans le sol furent analysés dans le monde entier (SNAYDON et BRADSHAW, 1961 (Ca) ; CLYMO, 1962 (Ca, Al) ; PROCTOR, 1971b (Mg) ; CLARKSON, 1966 (Al) ; JOWETT, 1964 ; BRADSHAW, 1952, 1959, 1960 ; ANTONOVICS et al., 1971 ; DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET, 1963 ; CARLES et PULOU, 1971 ; PETIT, 1974 (Pb, Cu, Zn, Co, Ni, Mn, Cr....)).

La liste des chimio-écotypes s'allonge d'ailleurs actuellement avec l'emploi des herbicides (tolérance à As et Hg).

Toutes ces études ont eu comme conclusion générale que la plante se développant sur un substrat donné est adaptée aux conditions minérales de son substrat et qu'elle est mieux armée que sa congénère prélevée dans un autre milieu pour s'y développer.

Il était donc intéressant quant aux terrils de rechercher si les conditions édaphiques avaient induit une différenciation génotypique. Pour cela une expérimentation a été menée sur *Arrhenatherum elatius* et sa réaction au Mg dont l'importance a été signalée tout au long de ce travail. *Hieracium pilosella*, espèce des plus fréquentes des terrils a également été comparée à une population de coteaux crayeux.

B. MATERIEL ET METHODE

La tolérance d'*Arrhenatherum elatius* au Mg a été testée par la comparaison de la croissance radiculaire, lors de la germination des graines, sur milieu pourvu en Mg, par rapport à celle obtenue sur milieu sans Mg. Les graines prélevées sur la pente SSO du terril 85 de Hénin-Beaumont et dans une friche proche installée sur terre agricole, sont mises à germer par lot de 25 sur papier filtre disposé sur des supports en verre verticaux ; un papier millimétré intercalé entre les deux permet une lecture rapide de croissance. Les différents lots de graines devant recevoir le même traitement sont disposés dans de grands cristallisoirs contenant une solution de Mg et de Ca ou de l'eau distillée pour le témoin (tableau 60). Le Ca a été utilisé pour son effet modérateur sur la toxicité (JOWETT, 1964).

Tableau 60 : Solutions utilisées pour la germination d'Arrhenatherum elatius (T, témoin).

	T	1	2	3	4	5	6	7
Mg Meq/l (SO_4 Mg)	0	1	3	5	10	20	40	60
Ca Meq/l ($(NO_3)_2$ Ca)	0	10	10	10	10	10	10	10

Après un passage en chambre froide de 48 heures qui favorise la germination de l'ensemble des graines, les cristallisoirs sont placés en armoire climatisée où les conditions de température (22°C), de lumière (12h/jour), d'humidité restent constantes d'une expérience à l'autre.

L'expression de la tolérance d'une plante vis-à-vis des métaux lourds, à travers la croissance radiculaire des graines, est bien connue depuis les travaux de WILKINS (1957, 1960) sur la tolérance au plomb de *Festuca ovina*. BRADSHAW (1960) montre que *Agrostis tenuis* adulte prélevé aux abords d'une mine de cuivre et repiqué sur les déblais de cette mine, ne se développe pas : il observe une inhibition de la croissance racinaire. Cet effet se produit également en cultivant des boutures sur une solution d'un sel de métaux lourds. JOWETT (1964) utilise cet effet pour définir un indice de tolérance qui est l'expression de la croissance racinaire sur solution toxique, en pourcentage de celle sur solution témoin. Cet indice permet la comparaison de la tolérance de différentes populations d'une espèce vis-à-vis des métaux lourds.

La comparaison d'une population de *Hieracium pilosella* du terril n° 90 de Hénin-Beaumont à celle des coteaux crayeux de l'Artois a été effectuée par des cultures comparatives sur les sols correspondants (substrat superficiel du terril et rendzine initiale).

Les sols, prélevés dans la zone racinaire du *Hieracium pilosella*, débarrassés des cailloux par tamisage, sont répartis dans des terrines qui reçoivent 30 rosettes de la plante à étudier. Les cultures, répétées 3 fois ont été maintenues 3 mois en serre dans les mêmes conditions de milieu et arrosées régulièrement à l'eau distillée.

L'étude a ensuite porté sur la phytochimie des feuilles et des racines, la préparation des échantillons et les analyses ont été réalisées suivant la méthode exposée au chapitre précédent.

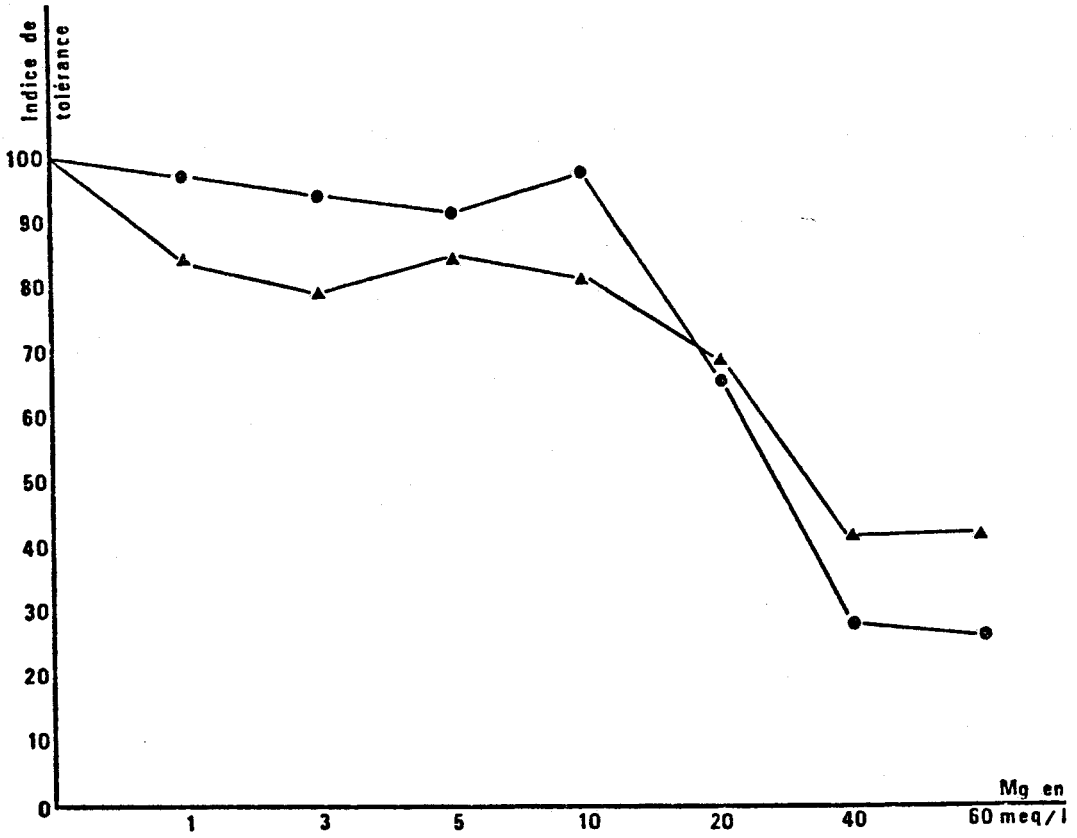
C. RESULTATS ET DISCUSSION

1) LA TOLERANCE AU MAGNESIUM DE *ARRHENATHERUM ELATIUS* :

Les courbes des indices de tolérance résultant de la croissance radiculaire de *Arrhenatherum elatius* en présence de différentes concentrations

de magnésium (figure 21) montrent que jusqu'à 10 meq/l de Mg^{++} (soit pour les rapports $Mg^{++}/Ca^{++} < 1$) les valeurs restent très proches de celles du témoin. *Arrhenatherum elatius* de la friche montre dans ces conditions un meilleur développement radiculaire que les plantes des terrils. Le passage du rapport Mg^{++}/Ca^{++} aux valeurs supérieures à 1 se marque par une chute brutale de croissance radiculaire : *Arrhenatherum elatius* provenant du terril est plus tolérant que les plantes de la friche.

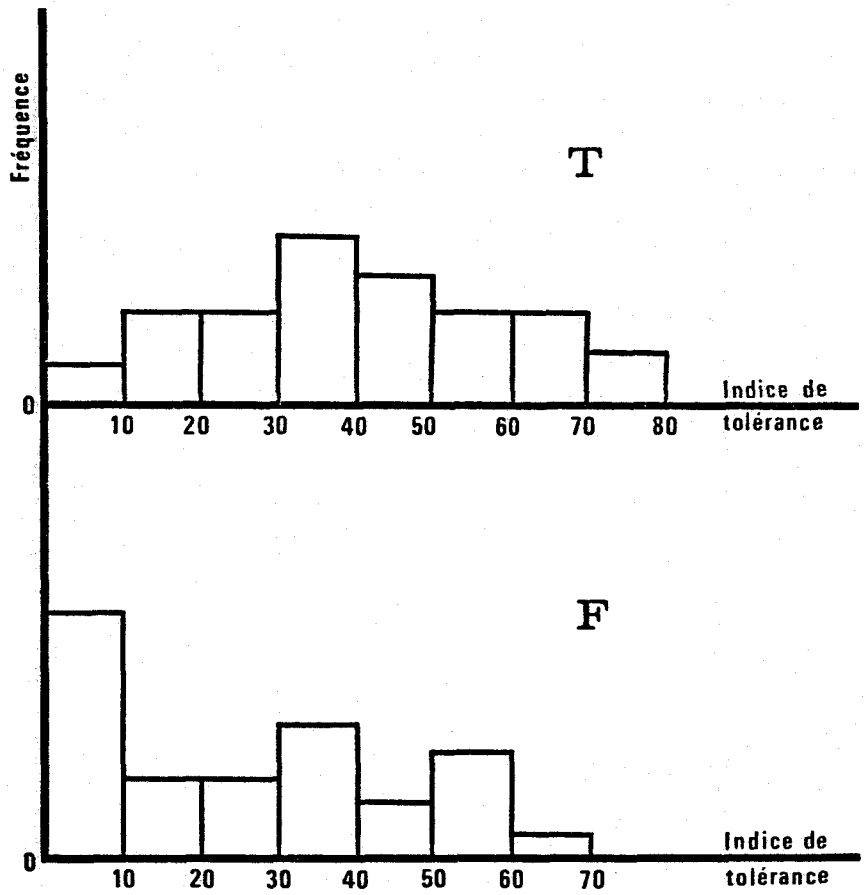
Figure 21 : Tolérance au magnésium lors de la germination de graines de deux populations de Arrhenatherum elatius.
▲ - population du terril n° 85 de Hénin-Beaumont
● - population d'une friche voisine.



Outre l'effet de grande toxicité du magnésium déjà signalé par GROVER (1960) sur *Helianthus annuus*, et PROCOTR (1970-1971) sur la croissance radiculaire de *Agrostis stolonifera* non serpentinicole, se retrouvent ici les réactions classiques lors de la germination des chimioécotypes. La considération des histogrammes de fréquence des indices de tolérance des deux populations

de semences, montre une répartition gaussienne pour la population tolérante et une image dissymétrique pour la population non tolérante (figure 22). Mc NEILLY et BRADSHAW (1968) analysant des populations d'*Agrostis tenuis* tolérantes ou non au Cu donnent des résultats très semblables.

Figure 22 : Distribution de la tolérance au magnésium dans des populations de graines de Arrhenatherum elatius du terril n° 85 de Hénin-Beaumont (T) et d'une friche voisine (F).



Arrhenatherum elatius de la pente SSO du terril 85 de Hénin-Beaumont, présente donc les caractères d'un chimioécotype tolérant au Mg. Cette sélection a pu se faire à partir des populations d'*Arrhenatherum elatius* des friches voisines, sous la pression du milieu et cela en un petit nombre d'années. D'après l'âge de ce terril on peut penser que moins de 40 ans ont suffi pour cette sélection. Cette rapidité n'est pas exceptionnelle, les mines du pays de Galles sur lesquelles ont porté les nombreux travaux de l'école de Bangor, sont âgées seulement de 100 ans. *Festuca ovina* et *Agrostis canina* se développant au pied d'un grillage galvanisé posé en 1936 se sont montrés plus

Origine		Pelouse rase des terrils				Pelouse crayeuse			
sol de culture		Terril	Rendzine	Terril	Rendzine	Rendzine	Terril	Rendzine	Terril
Organe analysé		Feuilles		Racines		Feuilles		Racines	
en pourcentage de matières sèches	Cendres	11,04	12,52	7,18	10,30	13,62	12,82	10,19	9,25
	Silice	0,26	0,25	0,17	0,91	0,33	0,31	0,68	0,25
	Mg	0,33	0,32	0,19	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25
	Ca	1,19	2,11	0,54	2,01	2,05	1,15	1,38	0,61
	K	3,73	3,28	2,14	1,30	3,69	4,75	1,67	2,85
	Na	0,02	0,02	0,22	0,51	0,10	0,05	0,54	0,37
	N	2,18	1,98	1,72	1,35	2,19	2,32	1,40	2,14
	P	0,47	1,11	0,64	0,72	1,00	0,57	0,85	0,80
	S	0,66	0,52	0,50	0,68	0,62	0,77	0,52	0,65

Tableau 61 : Teneurs en éléments biogènes de Hieracium pilosella cultivé sur sol de terril et sur rendzine

tolérants au Zn que les populations voisines (SNAYDON in BRADSHAW et al., 1965) soit moins de 30 ans après. Ces auteurs pensent d'ailleurs que 5 générations suffisent à des individus d'*Agrostis tenuis* présentant une tolérance partielle au Cu pour acquérir une tolérance plus ou moins complète à ce métal.

2) COMPORTEMENT PHYTOCHIMIQUE COMPARE DE *HIERACIUM PILOSELLA* DES TERRILS ET DES PELOUSES CRAYEUSES (TABLEAU 61, FIGURE 23) :

Cultivées sur leur milieu d'origine, les deux populations diffèrent surtout par l'existence dans la piloselle des pelouses crayeuses :

- de teneurs plus élevées en Ca, P et cendres dans les feuilles ;
- de taux plus élevés en cendres, silice, Mg, Ca, Na, P et d'une quantité moindre de N et K dans les racines.

Ces deux populations sont cependant phénologiquement très semblables.

Sur rendzine, la piloselle des terrils se rapproche de celle des pelouses crayeuses par ses taux foliaires en cendre, Ca et P mais s'en éloigne par une perte en K, N et S. Les feuilles des plantes de cette population présentent alors une nette chlorose. Dans les racines, on note une augmentation en cendre, silice, Mg, Ca, Na, P, S et une diminution de N et K.

Sur sol de terril, la piloselle de la pelouse crayeuse, possède dans ses feuilles moins de cendre, de Ca, de P mais plus de K, N, S. Dans les racines on note moins de cendre, de silice, Ca, Na mais plus de K, N et S.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du substrat de culture sur la composition minérale puisque sur un même type de sol les plantes de la population étrangère tendent à se rapprocher par leur teneur en éléments biogènes des plantes de la population locale. Si au niveau des feuilles on ne remarque pas de différences dans les teneurs en Ca, les racines de la piloselle des terrils, sont sur rendzine beaucoup plus riches en cet élément que la piloselle des pelouses crayeuses. Ici se retrouve une des caractéristiques importantes des espèces calcicoles et calcifuges : sur milieu riche en Ca les secondes absorbent plus cet élément que les premières, ce résultat est obtenu aussi bien sur plantes entières que sur racines isolées (JEFFERIES et WILLIS,

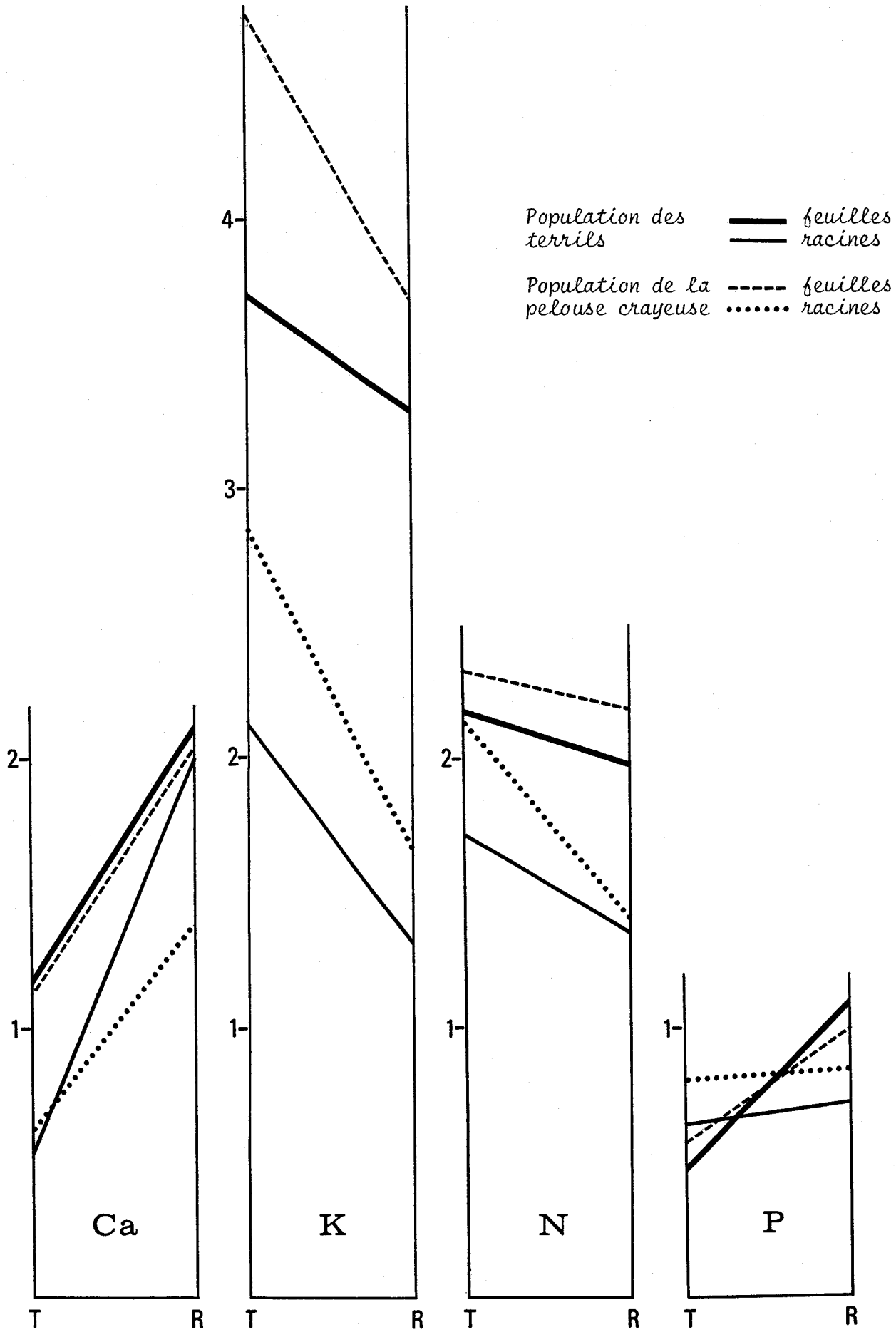


Figure 23 : Teneurs comparées en Ca, K, N, P de *Hieracium pilosella* cultivé sur terril (T) et sur rendzine (R) (en pourcentage de matière sèche).

1964 ; CLARKSON, 1965 ; RAMAKRISHNAN, 1965, 1968, 1969 ; PASSAMA, HAMZE, WACQUANT, 1973 ; SALSAC, 1973 ; MANGE, 1975 ; BANGE, 1975...).

La piloselle de la pelouse crayeuse absorbe plus de potassium que la piloselle des terrils quel que soit le sol de culture, la quantité absorbée est inférieure sur rendzine. RAMAKRISHNAN, 1968 ; JEFFERIES et WILLIS, 1964 ; PASSAMA et coll., 1973 montrent également que des espèces calcicoles et calcifuges subissent en culture une perte en K quand la concentration en Ca du milieu augmente, les plantes calcifuges ayant des teneurs inférieures aux plantes calcicoles.

Ces résultats sont en relation avec l'antagonisme Ca/K, les calcicoles sont plus adaptées que les calcifuges à cet antagonisme. Le comportement de ces deux populations de piloselle vis-à-vis de N est très semblable à ce qui a été noté pour K. Les liens existant en les teneurs en K et N ont été maintes fois cités (DUVIGNEAUD P. et DENAEYER-DE SMET, 1970).

Dans les feuilles, on note une nette augmentation du taux de phosphore sur rendzine où la piloselle des terrils possède une teneur supérieure à celle des pelouses crayeuses. RAMAKRISHNAN (1968-1969) obtient les mêmes résultats avec *Hypericum perforatum* et *Melilotus albus* calcicoles et acidophiles. Cet auteur montre par contre dans le cas de *Melilotus albus* l'importance du pH : à pH élevé quelle que soit la concentration en Ca du milieu, l'absorption de P est inhibée. JAMES (1962), à partir de l'étude de *Molinia caerulea* pense que l'aptitude pour une plante d'absorber P du sol pourrait jouer un rôle important dans la détermination du caractère calcicole ou calcifuge.

La comparaison phytochimique de ces deux populations de *Hieracium pilosella* en culture croisée, fait donc ressortir l'existence d'une aptitude différenciée dans l'absorption des éléments biogènes, ce qui caractérise les chimioécotypes. Si la population de la pelouse crayeuse peut être qualifiée de calcicole, celle des terrils présente les traits d'une population calcifuge : chlorose, accumulation de Ca (ici uniquement dans les racines), perte en N et K mais gain en P.

Ces deux exemples montrent donc clairement que les terrils ont pu différencier depuis leur installation, une flore adaptée aux conditions de vie offertes, à partir de la végétation régionale, donc induire des modifications génotypiques. Il nous a paru intéressant, par un sondage caryologique, d'observer la garniture chromosomique d'un certain nombre d'espèces afin d'y déceler d'éventuelles particularités. Pour cela, le choix a porté sur les végétaux soumis aux durs effets de la combustion.

Tableau 62 : *Analyse caryologique des plantes colonisant les zones en combustion des terrils.*

Espèces analysées	Déterminations connues*		Nb. base x	Plantes des terrils		Niveau de ploïdie	Particularités et anomalies
	n	2n		n	2n		
Arrhenatherum elatius	14	14,28,42	7	14,14+(1-2B)	28	tétraploïde	bivalents, tétravalents et surnuméraires
Digitaria ischaemum•			9	18		" "	espèces polyploïdes sans multivalents bivalents tous petits, certains hétérochromatiques
Digitaria sanguinalis•		18,28,36,48,54,76	9	18		" "	
Echinochloa crus-galli•		36,42,48,54,72	9	27		hexaploïde	
Setaria verticillata•		18,36,54	9	18		tétraploïde	
Amaranthus blitoides•		32	8	16		" "	
Chenopodium album		18,36,54	9	27		hexaploïde	
Chenopodium ambrosioides•		16,32,36,48,54	8	16		tétraploïde	
Chenopodium schraderianum•		18	9	9		diploïde	
Crepis taraxacifolia	4	8	4	4		diploïde	
Erigeron canadensis•		18	9	9		" "	
Erigeron sumatrensis•	27		9	27		hexaploïde	
Hypochoeris radicata	4	8	4	4		diploïde	bivalents très hétérochromatiques
Inula graveolens•		16,18,20	9	9		" "	
Matricaria maritima ssp. inodora		18,18+(1-2B),36	9	18,18+2B		tétraploïde	bivalents, tétravalents et surnuméraires
Picris hieracioides		10	5	5	10	diploïde	bivalents très hétérochromatiques
Senecio jacobaea		32,40,80	10	20		tétraploïde	
Senecio viscosus	20	40	10	20		" "	
Sonchus asper		18	9	9,9+1B		diploïde	1 bivalent disjoint tardivement-surnuméraire
Diplotaxis tenuifolia		14,20+2B,22	11	11		" "	
Sisymbryum altissimum•		14	7	7		" "	
Papaver dubium	7	14,28,42	7	7		" "	
Tunica prolifera		30,60	15	15		" "	
Anthriscus caucalis		14	7	7		" "	
Echium vulgare	8-16	16,32	8	16,16+(1-2B)		tétraploïde	bivalents associés et surnuméraires
Plantago lanceolata		12,12+1B,13,24,96	6	6		diploïde	

* Les nombres soulignés sont les plus fréquents

CHAPITRE III : PROSPECTION CARYOLOGIQUE CHEZ LES VEGETAUX DES ZONES EN COMBUSTION

Les plantes colonisatrices des zones en combustion ont des comportements écologiques et phytochimiques très particuliers. Si les espèces adventices retrouvent des conditions voisines de celles de leur aire d'origine, les espèces régionales subissent au contraire une forte pression sélective. Aussi un sondage caryologique a-t-il été effectué afin d'analyser le déroulement de la méiose* (PETIT et DELAY, 1978).

Dans le tableau 62 sont regroupés les résultats concernant 26 espèces : 11 adventices thermophiles(•) et 15 indigènes.

Les Graminées caractéristiques des zones les plus chaudes appartiennent toutes à la sous-famille des Panicoidées (planche IX, photos 1 à 7). Elles ont en commun :

- leur nombre de base x = 9 ;
- leur polyploïdie paire (tétraploïdie ou hexaploïdie) ;
- des bivalents petits, morphologiquement différenciés et à charge chromatique inégale.

Les Graminées qui se développent en marge de ces milieux sont des Festucoidées régionales différentes des Panicoidées par leur nombre de

*Fixation : mélange alcool absolu 3 - acide acétique pur cristallisable 1
coloration : carmin acétique ferrique (anthères) - réaction de Feulgen (racines).

base x = 7 et de grands bivalents très chromatiques (STEBBINS, 1971). Une seule de ces Festucoidées a été analysée : *Arrhenatherum elatius*, tétraploïde (n = 2x = 14). Outre la présence simultanée de bivalents et de tétravalents déjà notée par DELAY (1970) cette espèce montre également 1 ou 2 surnuméraires en diacinèse, métaphase I et anaphase I (planche IX, photos 8 à 13).

Les Amaranthacées et Chénopodiacées (planche X, photos 20 à 24) qui colonisent les centres thermiques sont essentiellement des adventices. Seul *Chenopodium album*, des friches locales, peut se développer au voisinage de ces milieux. Cette dernière espèce hexaploïde se présente avec son niveau de ploïdie le plus élevé connu (n = 3x = 27). Parmi les autres espèces de ces 2 familles on note 1 diploïde (*Chenopodium schraderianum* n = x = 9) et 2 tétraploïdes (*Chenopodium ambrosioides* n = 2x = 16 et *Amaranthus blitoïdes* n = 2x = 16). Dans ces deux groupes de végétaux inféodés aux centres thermiques, l'état polyploïde est donc nettement dominant (8 des 9 espèces).

Les autres espèces analysées appartiennent à diverses familles (surtout aux Composées : planche II, photos 14 à 19). Elles occupent plus particulièrement une auréole aux conditions écologiques intermédiaires entre celles des zones non soumises à la combustion et celles des points les plus chauds.

Certaines d'entre elles, adventices thermophiles comme *Erigeron canadensis*, *Inula graveolens*, *Sisymbryum altissimum* (diploïdes) et *Erigeron sumatrensis* (hexaploïde), peuvent néanmoins tolérer des températures élevées.

Les autres espèces régionales et non thermophiles conservent leurs niveaux de ploïdie connus ; cependant comme chez *Arrhenatherum elatius*, il faut noter l'existence d'anomalies numériques (surnuméraires).

Matricaria maritima ssp. inodora des terrils est tétraploïde (n = 2x = 18) avec bivalents et tétravalents. Les déterminations chromosomiques effectuées dans divers pays d'Europe (KAY, 1969 ; LANKOSZ-MROZ, 1976) montrent l'existence de deux cytotypes : l'un diploïde à répartition côtière, l'autre tétraploïde plus continental. Dans certaines cellules-mères du matériel analysé, on note également des surnuméraires (planche XI, photos 32 et 33). En Pologne, une observation identique a été effectuée en mitose sur une seule plantule obtenue à partir de 25 lots de graines tétraploïdes.

Sonchus asper diploïde (n = x = 9) présente en anaphase I un élément chromatique en surnombre hors des lots anaphasiques à n = 9 (planche XI, photo 34).

Chez *Echium vulgare*, tétraploïde (n = 2x = 16) on remarque des associations secondaires de bivalents en diacinèse (planche XI, photos 26 à 31). En métaphase I et anaphase I, on note également 1 ou 2 surnuméraires situés hors du fuseau achromatique.

Si parmi les 26 plantes analysées, le nombre des polyploïdes égale celui des diploïdes, la considération des espèces autochtones montre que les diploïdes sont mieux représentées (9/15) ; au contraire chez les adventices thermophiles, ce sont les polyploïdes qui dominent (7/11).

Il semble donc que la polyploïde soit favorable à la tolérance des conditions écologiques extrêmes réalisées lors de la combustion des terrils, toutefois elle n'est pas obligatoire. Cette polyploïdie toujours paire ne perturbe pas le déroulement de la méiose, elle permet donc une reproduction par voie sexuée de ces populations de thérophytes.

D'autre part, les 4 cas d'anomalies numériques observées ne concernent que les plantes régionales fortement influencées par le milieu.

Lors d'une précédente prospection caryologique des plantes du littoral marocain (DELAY et PETIT, 1971-1972) nous avions décelé un cas d'anomalie (chromosome surnuméraire) pour 26 espèces analysées. La comparaison de ces deux sondages effectués dans des populations naturelles de milieux difficiles fait ressortir le caractère exceptionnel du milieu "terril en combustion".

PLANCHE IX : 1 - 7 : PANICEES - 8 - 13 : FESTUCEES

Digitaria ischaemum - n = 2x = 18

1 - Diacinèse : 18 bivalents peu différenciés par la taille et la charge chromatique. L'un des 3 bivalents à organisateur nucléolaire est masqué par le nucléole (flèche).

Digitaria sanguinalis - n = 2x = 18

2 - Diacinèse : les bivalents se colorent irrégulièrement au carmin acétique ferrique. Le bivalent à organisateur nucléolaire est fortement hétérochromatique ainsi que le bivalent contigu.

3 - Diacinèse plus avancée : la condensation fait apparaître des bivalents globuleux.

Echinochloa crus-galli - n = 3x = 27

4 - Métaphase I : les 27 bivalents sont de 2 types ; les uns symétriques et globuleux ; les autres dissymétriques et partiellement disjoints.

Setaria verticillata - n = 2x = 18

5 - Diacinèse : un bivalent très colorable est associé au nucléole. On note également une hétérochromaticité accusée au niveau de quelques bivalents.

6 - Métaphase I : 2 types de bivalents (symétriques et dissymétriques).

7 - Anaphase I : la distribution est régulière car 18 unités globuleuses se répartissent à chaque pôle.

Arrhenatherum elatius - n = 2x = 14 + (1-2B)

8 - Pachytène : les chromomères ont l'aspect de granules sombres, un court segment de bivalent apparaît au contact du nucléole (flèche).

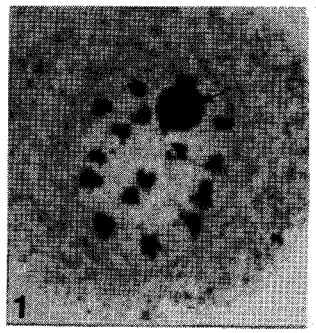
9 - Diacinèse : 5 tétravalents dont 2 au contact du nucléole, 4 bivalents et 1 surnuméraire.

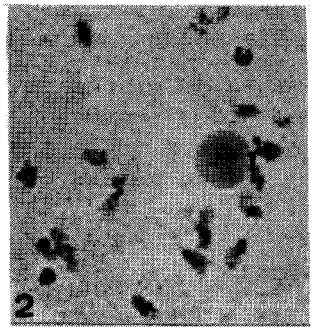
10 - Diacinèse avec tétravalents, bivalents et 2 surnuméraires, l'un d'eux associé au nucléole, pourrait correspondre au fragment observé au stade pachytène (photo 8).

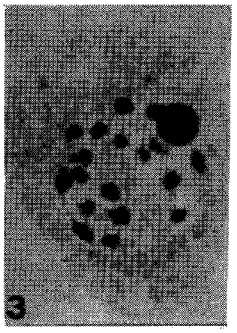
11-12 - Métaphases I peu étalées : un élément colorable apparaît en marge du lot de chromosomes appariés.

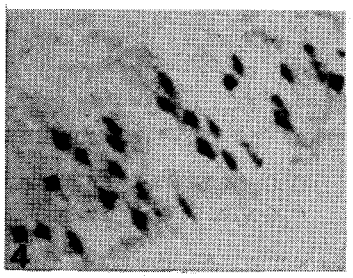
13 : Anaphase I : 2 surnuméraires n'ont pas migré aux pôles.

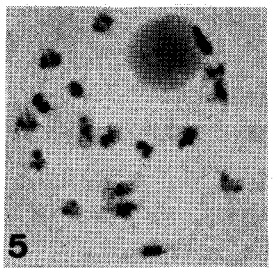
PLANCHE IX

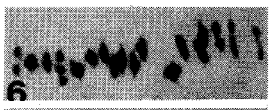


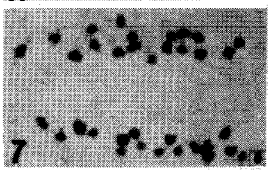


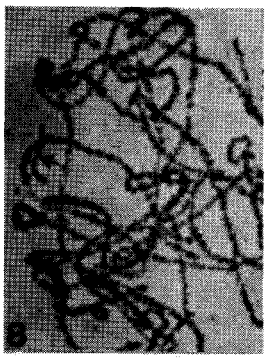


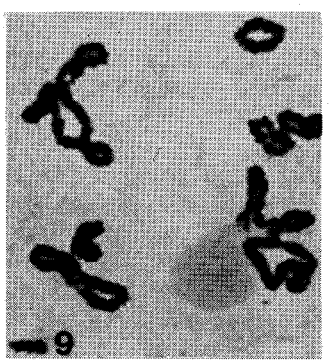


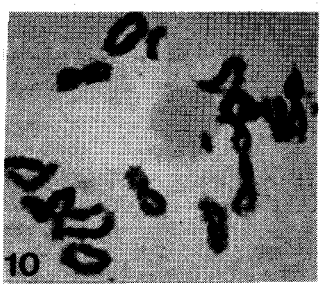


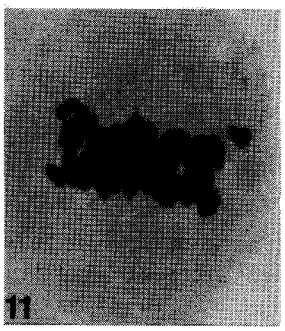


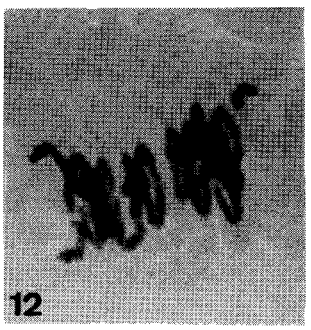












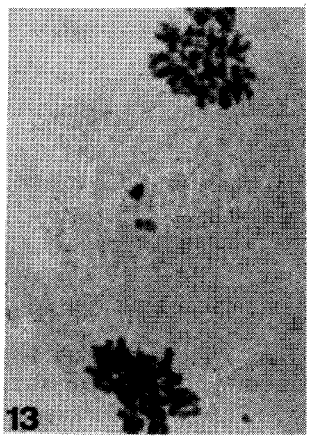


PLANCHE X :

Picris hieracioides - n = x = 5

14 - Diacinèse : les bivalents morphologiquement différenciés sont hétérochromatiques.

15 - Métaphase de mitose colorée selon la technique de Feulgen : on observe également des segments de chromosomes densément colorables. Deux petits corpuscules globuleux et aussi colorables que l'hétérochromatine sont localisés au niveau du nucléole hétérogène.

Hypochoeris radicata - n = x = 4

16 - Diacinèse : la charge chromatique est également très inégale chez cette Composée.

Erigeron canadensis - n = x = 9

17 - Diacinèse : 9 bivalents dont 1 associé au nucléole.

18 - Métaphase I : 7 bivalents symétriques et 2 bivalents dissymétriques partiellement disjoints (flèches) dont 1 en partie caché.

Erigeron sumatrensis - n = 3x = 27

19 - Cette espèce hexaploïde ne présente que des bivalents : 4 des 6 bivalents fortement colorés sont associés au nucléole.

Amaranthus blitoides - n = 2x = 16

20 - Métaphase I.

Chenopodium ambrosioides - n = 2x = 16

21 - Diacinèse : les 16 bivalents se colorent fortement et inégalement. Le nucléole très foncé est associé à 2 bivalents.

22 - Anaphase I : distribution normale, 16 chromosomes globuleux à chaque pôle, un lot est visible en totalité, l'autre lot l'est partiellement.

Chenopodium schraderianum - n = x = 9

23 - Diacinèse : 1 bivalent à organisateur nucléolaire. Les différences de colorabilité traduisent une charge chromatique inégale.

Chenopodium album - n = 3x = 27

24 - Diacinèse de plante hexaploïde à 27 bivalents.

Tunica prolifera - n = x = 15

25 - Diacinèse : 15 bivalents formés de masses chromatiques jumelles 2 d'entre eux sont associés au nucléole.

PLANCHE X

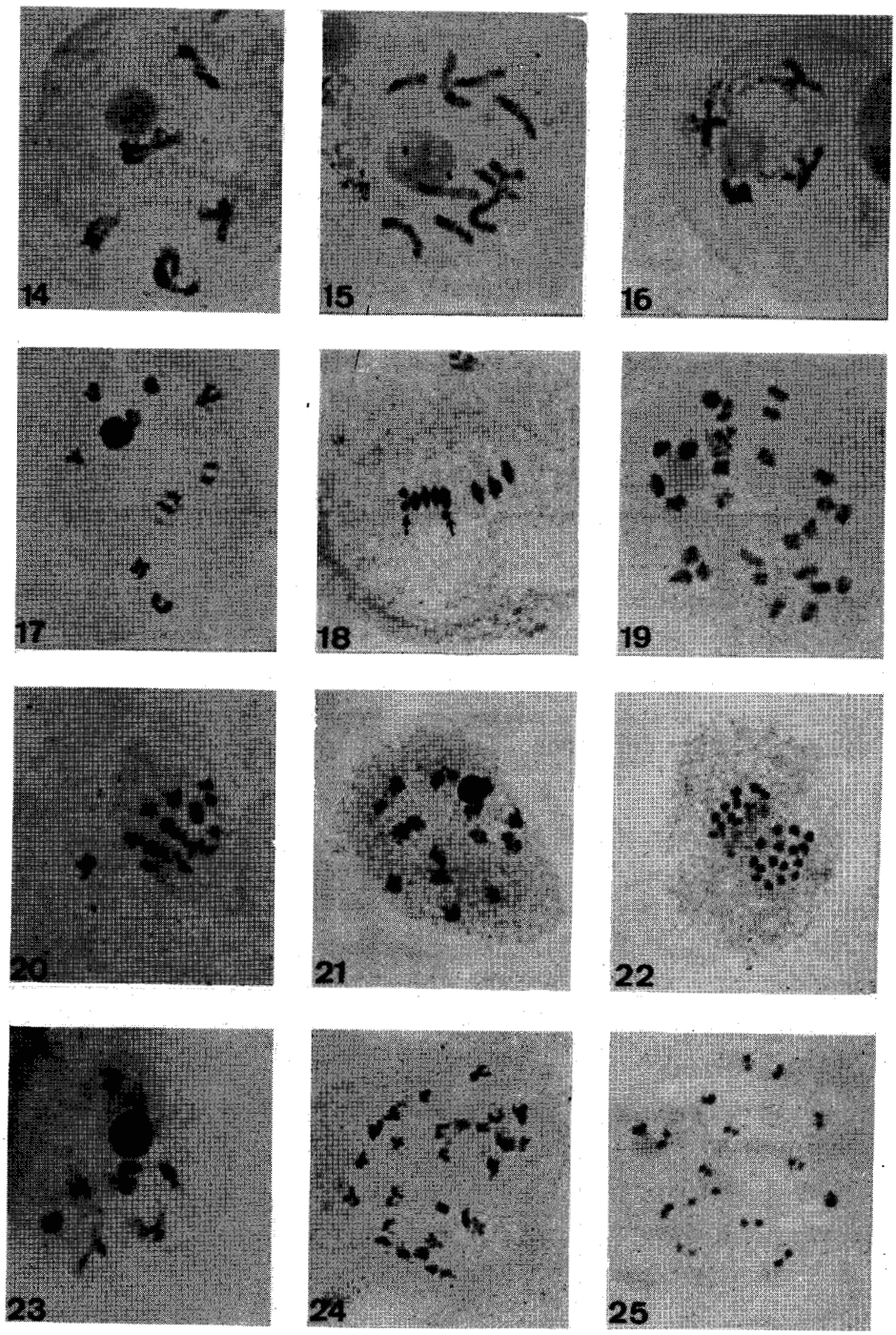


PLANCHE XI :

Echium vulgare - n = 2x = 16 et 16 + (1-2B)

26 - Métaphase I peu étalée : un élément surnuméraire est situé hors du fuseau achromatique de caryocinèse bien visible.

27 - 4 cellules-mères en MI ; l'une d'elles présente un bivalent moins chromatique en périphérie (flèche). Ce bivalent particulier représente sans doute deux chromosomes β appariés.

28 - Métaphase I avec bivalents et multivalents difficiles à discerner. On retrouve un élément globuleux en périphérie.

29 - Diacinèse caractérisée par des associations secondaires de bivalents ; ces derniers restent groupés par paires.

30 - Anaphase I : reconstitution de 2 lots à 16 chromosomes chacun. On note encore la présence d'un surnuméraire à proximité d'un lot anaphasique (flèche).

31 - Anaphase I avec 2 surnuméraires situés entre les 2 pôles.

Matricaria maritima - n = 2x = 18 et 18 + 2B

32 - Diacinèse avec présence simultanée de bivalents et de tétravalents.

33 - Diacinèse : entre les bivalents et tétravalents on remarque 2 fragments surnuméraires (flèche).

Sonchus asper - n = x = 9

34 - Anaphase I : 2 lots numériquement équilibrés 9-9. 2 unités sont prolongées par une traînée chromatique (flèche).

Hors des pôles anaphasiques on observe un élément colorable constitué de 2 petites masses jumelées (flèche).

Inula graveolens - n = x = 9

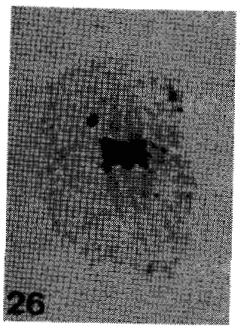
35 - Anaphase I dont les chromosomes se répartissent en 2 lots numériquement équilibrés.

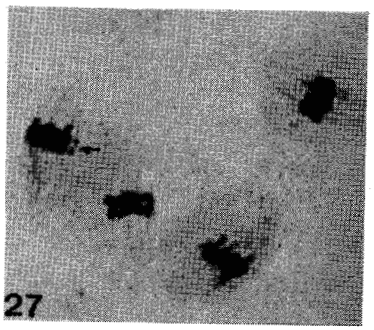
Sisymbryum altissimum - n = x = 7

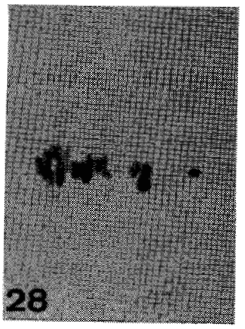
36 - Métaphase I.

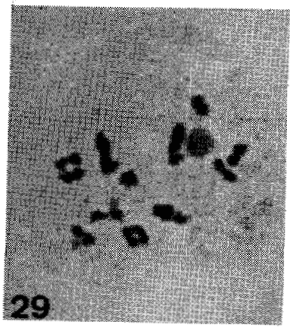
Remarque : toutes les microphotographies sont au même grandissement (x 1 000).

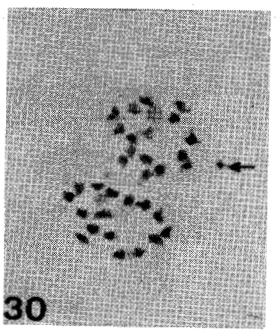
PLANCHE XI

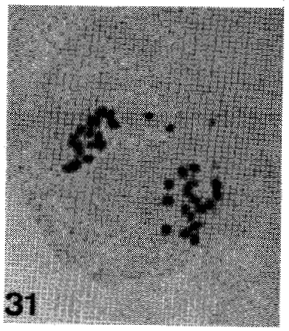

26

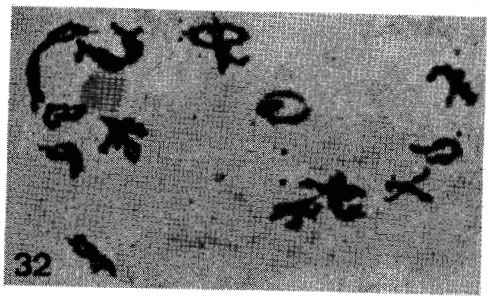

27

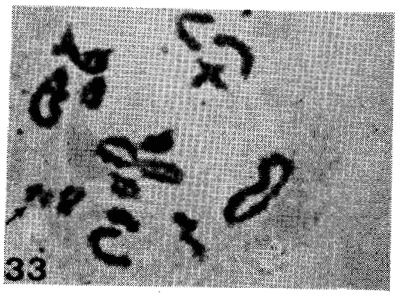

28

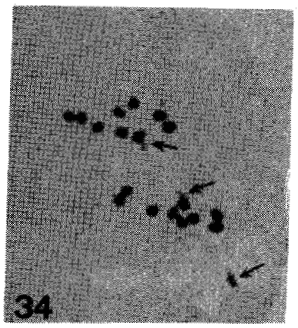

29

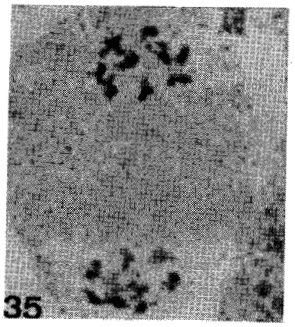

30

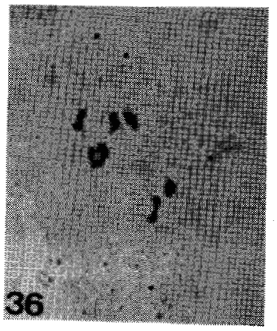

31


32


33


34


35


36

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

Dans des situations écologiques très différentes, zone pionnière, zone âgée, zone en combustion, les études phytochimiques, génécologiques et caryologiques ont montré que certaines populations végétales qui se développent sur les terrils peuvent être distinguées de celles qui croissent dans le voisinage. Nous assistons donc avec les terrils à l'initiation d'une spéciation et à la naissance d'un microendémisme comparables à ceux qui ont été maintes fois décrits sur les substrats métallifères.

A la manière de DUVIGNEAUD P. et S. DENAEYER-DE SMET (1973) nous pouvons présenter le schéma suivant :

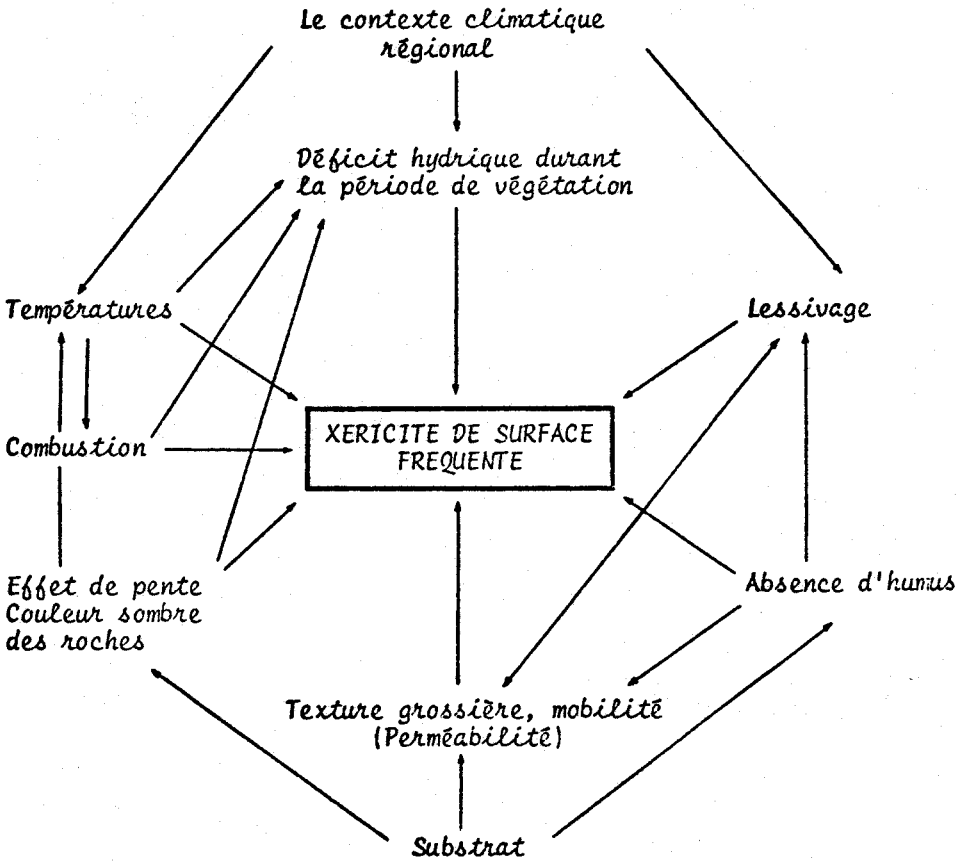
- dans la région du Nord et du Pas-de-Calais du 19ème siècle, couverte de cultures, de pâturages, de friches, de forêts se développe une activité minière qui nécessite la naissance de ces reliefs surimposés que sont les terrils. Ces derniers sont peu favorables à la vie végétale ;
- cependant, certaines populations préadaptées capables de s'opposer aux facteurs écologiques défavorables de ce substrat, arrivent à s'y développer et réalisent sur le terril une friche très claire et très appauvrie où les espèces ont valeur de chimioécotype ;
- l'effet de la sélection naturelle qui élimine les individus non résistants, le déséquilibre qui s'instaure entre l'importance des populations de terrils non livrées à la compétition pour l'espace, et celles du voisinage souvent plus réduites (compétition importante, destruction par les herbicides dans le cas d'adventice des cultures), créent un isolement qui favorise le développement de l'adaptation.

Dans ces conditions, des facultés accumulatrices apparaissent et des morphoécotypes pourraient se différencier.

CONCLUSION GENERALE

L'étude du milieu "terril" qui a fait l'objet de la première partie de ce travail, a permis de mettre en évidence les caractères écologiques du substrat parmi lesquels certains ont montré toute leur importance :

- le terril est un milieu sec en surface pour les végétaux. Les interrelations entre les différents facteurs qui concourent à cette xéricité, peuvent être résumées par le schéma suivant :



- le terril est un milieu déséquilibré quant aux conditions nutritionnelles offertes aux végétaux. Si le substrat est bien pourvu en cations biogènes assimilables, les équilibres élémentaires ne sont pas respectés. Le Mg échangeable est souvent présent à des taux très supérieurs à ceux des sols moyens, d'où un rapport Mg/Ca élevé. K échangeable est parfois aussi excédentaire. Il en résulte, du fait des antagonismes Mg-Ca, K-Ca, une moins grande disponibilité du Ca pour les végétaux. Si les taux d'azote total et ammoniacal sont convenables et d'autant plus élevés que le pH est plus bas, le substrat est beaucoup plus pauvre en nitrates. Le terril peut encore être caractérisé par sa pauvreté en P.

L'étude de la végétation des terrils nous a conduit à décrire 27 groupements végétaux qui s'expriment sous des aspects divers (sous-associations, formes, variantes) et s'inscrivent dans le synsystème suivant :

Classe : *Onopordetea* Br.-Bl. 64

Ordre : *Onopordetalia* Br.-Bl. et Tx 43 em Görs 66

Alliance : *Senecion viscosi* (all. proposée)
Resedo-Rumicetum scutati (ass. nov.)

Alliance : *Dauco-Melilotion* Görs 66
Dauco-Picridetum (Faber 33) Görs 66
Echio-Melilotetum albi Tx. 42
Glaucietum flavi Gutte 72
groupement à *Pastinaca sativa*
groupement à *Tussilago farfara*
groupement à *Calamagrostis epigeios* et *Saponaria officinalis*

Classe : *Stellarietea medieae* (Br.-Bl. 31) Tx. Lohm. Prsg. 50

Ordre : *Sisymbrietalia* J. Tx 61 em Görs 66

Alliance : *Sisymbrion* Tx. Lohm. et Prsg. 50
Vulpio-Erigeretum canadensis Petit 79
groupement à *Digitaria sanguinalis*

Ordre : *Chenopodietalia muralis* Br.-Bl. 36 em O. Bolos 62

Alliance : *Chenopodion muralis* Br.-Bl. 31 em O. Bolos 62
groupement à *Chenopodium botrys* et *Portulaca oleracea*
groupement à *Chenopodium pumilio*

Classe : *Polygono-Poetea annuae* Riv. Mart. 72

Ordre : *Polygono avicularis - Poetalia annuae* Tx 72

Alliance : *Saginion procumbentis* Tx et Ohb 72
Sagino-Bryetum argentei Diem. Siss. et Westh. 40 em Tx 47

Alliance : *Polygonion avicularis* Br.-Bl. 31
groupement à *Cerastium vulgatum* et *Poa annua*.

Classe : *Molinio-Arrhenatheretea* Tx 37

Ordre : *Arrhenatheretalia* Pawl. 28

Alliance : *Arrhenatherion elatioris* (Br.-Bl. 25) Koch 26
groupement à *Arrhenatherum elatius*

Classe : *Tuberarietea guttatae* Br.-Bl. (40) 52

Ordre : *Tuberarietalia guttatae* Br.-Bl. 40

Alliance : *Thero-Airion* Tx 51
groupement pionnier à *Catapodium tenellum*
groupement à *Hieracium pilosella* et *Catapodium tenellum*

Classe : *Sedo-Scleranthetea* Br.-Bl. 55

Ordre : *Festuco-Sedetalia* Tx 50 em Krausch 61

Alliance : (à définir)
Hieracio-Poetum compressae Petit 77
Airo-Festucetum ovinae Tx (37) 55

Classe : *Rhamno-Prunetea* Riv. God 61

Ordre : *Prunetalia* Tx 52

Alliance : *Rubion subatlanticum* Tx 52
groupement à *Crataegus monogyna*

Alliance : *Lonicero-Rubion sylvatici* Tx et Neum. 50
groupement à *Betula pendula* et *Calamagrostis epigeios*
groupement à *Betula pendula* et *Arrhenatherum elatius*

Alliance : *Sambuco-Salicion capraeae* Tx et Neum 50
formation à *Robinia pseudacacia*

Classe : *Quercetea robori-petraeae* Br.-Bl. et Tx 43

Ordre : *Quercetalia robori-petraeae* Tx 31

Alliance : *Quercion robori-petraeae* Br.-Bl. 32
groupement à *Betula pendula* et *Polytrichum piliferum*
groupement à *Betula pendula* et *Deschampsia flexuosa*

Classe : *Querco-Fagetea* Br.-Bl. et Vlieg. 37

Ordre : *Fagetalia sylvaticae* Pawl. 28

Alliance : *Carpinion betuli* Oberd. 53
groupement à *Betula pendula* et *Poa nemoralis*

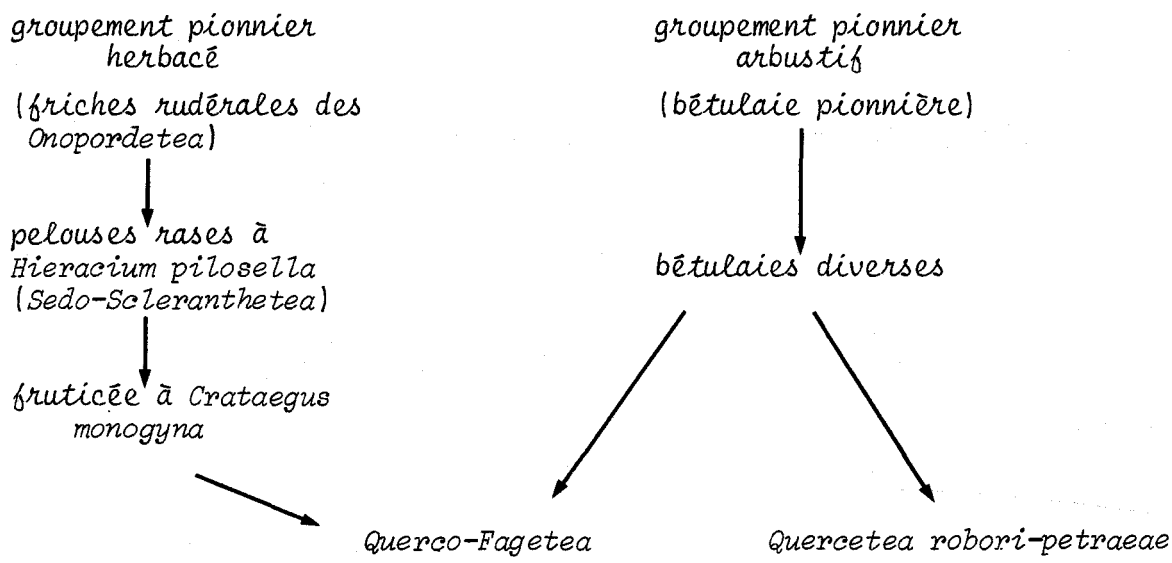
Les unités sociologiques des terrils, originales pour la plupart, ont permis d'aborder et de discuter certains problèmes synsystématiques, en particulier des relations entre catégories sociologiques supérieures :

- l'analyse du *Resedo-Rumicetum scutati*, association nouvelle des éboulis siliceux planitiaires, a montré les liens existant entre la classe des *Thlaspietea rotundifolii* des milieux ouverts naturellement par les éboulis montagnards et la classe des *Onopordetea* des lieux ouverts par l'homme ;

- les groupements rudéraux des terrils ont apporté des arguments floristiques, synécologiques et syndynamiques, en faveur de l'individualité de la classe des *Onopordetea* Br.-Bl. 64, vis-à-vis de la classe des *Artemisietea* ;
- les pelouses rases à *Hieracium pilosella* ont montré l'indépendance de l'alliance du *Thero-Airion* et de l'ordre des *Festuco-Sedetalia*.

A partir de l'étude des conditions nutritionnelles du substrat "terril" et de leurs variations, une mise en relation des divers groupements, avec le pH et la richesse en cations biogènes a été possible. Les taux de Mg échangeable et le rapport Mg/Ca sont apparus particulièrement déterminants.

Les conditions nutritionnelles interviennent pour une part importante dans la dualité dynamique suivante :



Le déterminisme du dynamisme de la série herbacée a été étudié. Les conditions phytogéochimiques sont apparues comme des facteurs primordiaux.

Aussi, les recherches auto-écologiques ont-elles montré certaines particularités des végétaux colonisateurs de terrils :

- au niveau phytochimique, il a été intéressant de noter que les deux espèces caractéristiques des pentes mobiles, *Rumex scutatus* et *Reseda lutea*, d'origine sociologique très différente, présentent des aptitudes très voisines. Ce sont des polymagnésiphores. D'autres espèces ont par contre, dans les mêmes conditions, un comportement thiohalophorique. Sur les zones en combustion, les espèces tolérant le mieux les températures élevées sont marquées par leur polypotassophorie ;

- expérimentalement, il a été possible de montrer que le terril est générateur d'écotypes. La population de *Arrhenatherum elatius* de la pente SSO du terril n° 85 de Hénin-Beaumont, est plus adaptée aux teneurs élevées en Mg que celle des friches voisines du terril. *Hieracium pilosella* des terrils, comparé à la même espèce se développant sur rendzine, possède les caractéristiques des espèces calcifuges.

Certaines modifications du patrimoine héréditaire des végétaux des terrils ont donc été possibles. L'étude caryologique d'espèces croissant dans les conditions les plus sévères des terrils (les zones en combustion) permet d'ailleurs de reconnaître dans les espèces régionales, un fort pourcentage de perturbations numériques du caryotype.

Les composantes nouvelles apportées par les terrils à l'éventail des combinaisons écologiques régionales, se sont donc révélées être des facteurs d'évolution, des espèces, de la flore et des phytocénoses.

ANNEXE : LES APPORTS FLORISTIQUES DES TERRILS POUR LE NORD DE LA FRANCE

La flore des terrils du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais compte environ 300 espèces de plantes vasculaires appartenant à une cinquantaine de familles plus ou moins bien représentées : 9 d'entre elles se partagent les 2/3 des espèces (Caryophyllacées, Chénopodiacées, Polygonacées, Brassicacées, Rosacées, Fabacées, Scrophulariacées, Astéracées, Poacées), les Astéracées et les Poacées comportent à elles seules le quart des espèces rencontrées.

A. CARACTERES BIOLOGIQUES GENERAUX

1) LES TYPES BIOLOGIQUES :

La considération de l'ensemble des espèces observées permet de dresser pour les terrils, selon RAUNKIAER, le spectre biologique suivant :

- Phanérophytes..... 17 %
- Chamaephytes..... 3 %
- Thérophytes..... 32 %
- Hémicryptophytes..... 45 %
- Géophytes..... 3 %

Sa comparaison (tableau 63) avec les spectres établis par RAUNKIAER (1934) pour l'Europe tempérée (Danemark) et méditerranéenne (Italie) permet de tirer certaines conclusions quant à la flore des terrils :

- l'importance des thérophytes et des hémicryptophytes exprime le caractère intermédiaire de la flore des terrils, résultat de l'effet correctif du substrat qui apporte une certaine xéricité sous un climat tempéré ;
- l'importance des phanérophytes montre que l'arbre, dans ses conditions écologiques optimales, possède une aptitude colonisatrice qui dépasse bien souvent celle des herbacées ;
- le faible effectif de géophytes est par contre en rapport avec l'état juvénile de cette végétation sur ces milieux neufs.

Tableau 63 : Comparaison du spectre biologique des terrils avec ceux établis pour le Danemark et l'Italie (RAUNKIAER, 1934).

	Danemark*	Terrils du Nord de la France	Italie
Phanérophytes	7,9	17	12
Chamaephytes	3,4	3	6
Thérophytes	20,2	32	42
Hémicryptophytes	56,2	45	29
Géophytes	12,3	3	11
Nombre d'espèces	965	300	866

*De ce spectre ont été retirés les 11 % d'hélophytes et d'hydrophytes, afin de ne retenir que les espèces terrestres.

2) LES MODES DE DISSEMINATION DES DIASPORES :

Le vent a effectué l'essentiel du transport (anémochorie) des diaspores sur les terrils où la plupart des phanérogames et les cryptogames sont des "planeurs légers" ou des "planeurs lourds" (MOLINIER et MULLER, 1938). Les vents à vitesse maximale étudiés dans la première partie, ont un rôle de première importance dans la colonisation.

La zoochorie est également un moyen efficace d'implantation des espèces sur les terrils et la famille des rosacées doit aux oiseaux le fait d'être bien représentée.

L'homme est aussi un facteur important d'introduction d'espèces sur les terrils (anthropochorie) : l'intense trafic ferroviaire nécessaire au transport des matières utilisées et produites par les houillères a pu être le vecteur de certains végétaux comme le *Rumex scutatus*.

B. PARTICULARITES FLORISTIQUES

Sous ce titre seront citées les espèces peu fréquentes et même parfois nouvelles pour notre région. Avec celles déjà apparues au cours de l'étude phytosociologique de la deuxième partie, d'autres, se développant en populations isolées ou participant à des individus d'associations trop fragmentaires pour être pris en considération dans les tableaux, seront également soulignées. Nous allons donc donner ici le catalogue des espèces les moins banales en précisant les milieux où elles sont rencontrées, les terrils et l'année d'observation*

1) LA FLORE DES AIRES SOUMISES A LA COMBUSTION :

Setaria verticillata (L.) Beauv. Thermocosmopolite. Voie ferrée de Lille à Orry-la-Ville, Lewarde, (BERTON, 49). Bords de la Scarpe à Douai. Terrils n° 84 (69-74), n° 211 (68), GHIO signale dans le borinage une espèce voisine (*Setaria viridis* L. Beauv.).

Echinochloa crus-galli (L.) Beauv. Thermocosmopolite, nitrophile. Environs de Douai (BERTON, depuis 45), Hasnon (DURIN et LERICQ, 56), Béthune (DEBRAY, 61). Terrils n° 84 (69-74), n° 211 (68) présente dans le borinage (GHIO, 75).

Digitaria ischaemum (Schreb.) Müll. Thermocosmopolite. Terril n° 160 (72).

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. Thermocosmopolite. Douai (BERTON, 46-53), St-Amand (DURIN et LERICQ, 56 ; GEHU, 59). La plus commune et la plus caractéristique des zones en combustion, également présente sur les terrils belges (DEBEHAULT, 69 ; GHIO, 75). Terrils n° 28 (72), n° 46 (72), n° 84

* *Les années d'observation des différentes espèces ne sont signifiées que par les deux derniers chiffres.*

(69-74), n° 101 (74), n° 119 (69), n° 146 (73), n° 150 (73), n° 160 (72), n° 173bis (74), n° 211 (68-78).

Eragrostis minor Host. Méridionale, adventice rare dans notre région. St-Amand (LACHMANN, 51), Douai (BERTON, 53-54). Terril n° 100 (78).

Vulpia ciliata Dum. Méditerranéenne, affectionne les lieux sablonneux et secs, marque la présence d'un substrat pulvérulent (cendres volantes). Adventice connue de 3 localités belges (AUQUIER, 77 et GHIO, 78), RIOMET (52), signale deux stations dans l'Aisne. Terril n° 100 (78).

Chenopodium botrys L. Méditerranéenne. Terrils n° 113 (BERTON, 51-55), n° 17 (72), n° 86 (69-78), 102 (69), 196 (69).

Chenopodium schraderianum Schultes. Thermophile originaire d'Afrique tropicale et équatoriale, adventice en Europe occidentale. Cette espèce se confond facilement avec *Chenopodium botrys*, on peut cependant la différencier par sa teinte plus sombre et ses tépales ovales oblongs, plus largement scarieux dans la partie supérieure où le bord est lacinié. Terril n° 79bis (72).

Chenopodium ambrosioides L. Thermophile néotropicale, naturalisée en Europe méridionale et centrale. Raches (BERTON, 51-55), Mouvaux (HOCQUETTE et SULMON, 53). Terrils n° 113 (BERTON, 51-55), n° 46 (LAMPIN, 69) revue en 72-73.

Chenopodium pumilio R.-Br. Originaire d'Australie, de Nouvelle Calédonie ou de Nouvelle Zélande, cette espèce a été observée en Belgique à proximité de lavoir de laine. Terrils n° 86 (72-77), n° 119 (68-72-75).

Chenopodium carinatum R.-Br. et *Chenopodium cristatum* (F.V. Muell.) F.V. Muell. Ont également été observés sur le terril n° 86 (77) en mélange avec *Chenopodium pumilio*.

Ces différents chénopodes des zones chaudes ont en commun de posséder des glandes qui leur donnent une forte odeur de citronnelle.

Amaranthus blitoides S.Wats. Nord américaine introduite par l'industrie lainière, bien connue de la vallée de la Vesdre en Belgique (LAMBINON, 57 ; VISE, 58). Terril n° 119 (72-75).

Portulaca oleracea L. Thermo-cosmopolite. Douai (BERTON, 45-53). Très commune des terrils en combustion dans le bassin français et belge. Terrils n° 46 (72), n° 80 (72), n° 84 (69), n° 101 (69-74), n° 125 (73), n° 143 (73), n° 149bis (73), n° 196 (69).

Sisymbrium altissimum L. Thermophile d'Europe orientale en nette progression dans notre région, sa présence est notée sur la côte et vers l'intérieur depuis une cinquantaine d'années (HOCQUETTE, 22 ; BERTON, 30-49-53-59 ; GEHU, 59 ; LACHMANN, 47). Terrils n° 17 (72), n° 38 (73), n° 59 (72), n° 83 (69), n° 86 (69-78), n° 89 (69), n° 100 (69-78), n° 104 (69-73), n° 105 (69), n° 111 (74), n° 118 (68), n° 119 (69), n° 195bis (69), n° 196 (69).

Inula graveolens (L.) Desf. Méditerranéenne. Terrils n° 79bis (LAMPIN, 69), revue en 72-76 ; n° 46 (72), n°59 (72), n° 98 (79), n° 107 (79).

Erigeron sumatrensis Retz. Pantropicale, se distingue de *Erigeron canadensis* par ses capitules plus gros, ses fleurs à ligule courte et peu visible, ses feuilles caulinaires dentées et pileuses sur les deux faces, sa ramification plus basale. Terrils n° 9 (72), n° 46 (72), n° 83 (69), n° 100 (69-78), n° 119 (59), n° 211 (69).

2) LES VEGETAUX CARACTERISTIQUES DES PENTES MOBILES :

Rumex scutatus L. Cette plante, connue surtout dans le Nord de la France, de la vallée de la Meuse, a aussi été signalée dans le Tournaisis (HOCQUETTE, 25), dans la Somme à Longueau (BERTON, 41-51 ; DOUCHET et THOMAS, 69), dans le Pas-de-Calais à Courcelles-les-Lens (BERTON, 49-54) et Brebières (BERTON, 50).

Actuellement en pleine extension dans le centre du bassin (figure 24), ce *Rumex* est certainement l'espèce la plus caractéristique de ces éboulis artificiels que sont les terrils. En 1975, cette plante était localisée sur 23 terrils : n° 70 (72), n° 79bis (69), n° 80 (72), n° 83 (69), n° 84 (69), n° 85 (69), n° 89 (69), n° 90 (69), n° 92 (69), n° 93 (69), n° 95 (69), n° 97 (72), n° 98 (69-72), n° 101 (69-74), n° 102 (69), n° 103bis (72), n° 104 (69), n° 108 (72), n° 111 (69-72), n° 115 (69), n° 142 (69), n° 205 (69), n° 216 (69).

Dans certaines populations de cette espèce, s'observent différentes variations :

- des plantes à feuilles vertes ;
- des plantes à feuilles glauques ;
- des plantes à feuilles de taille réduite.

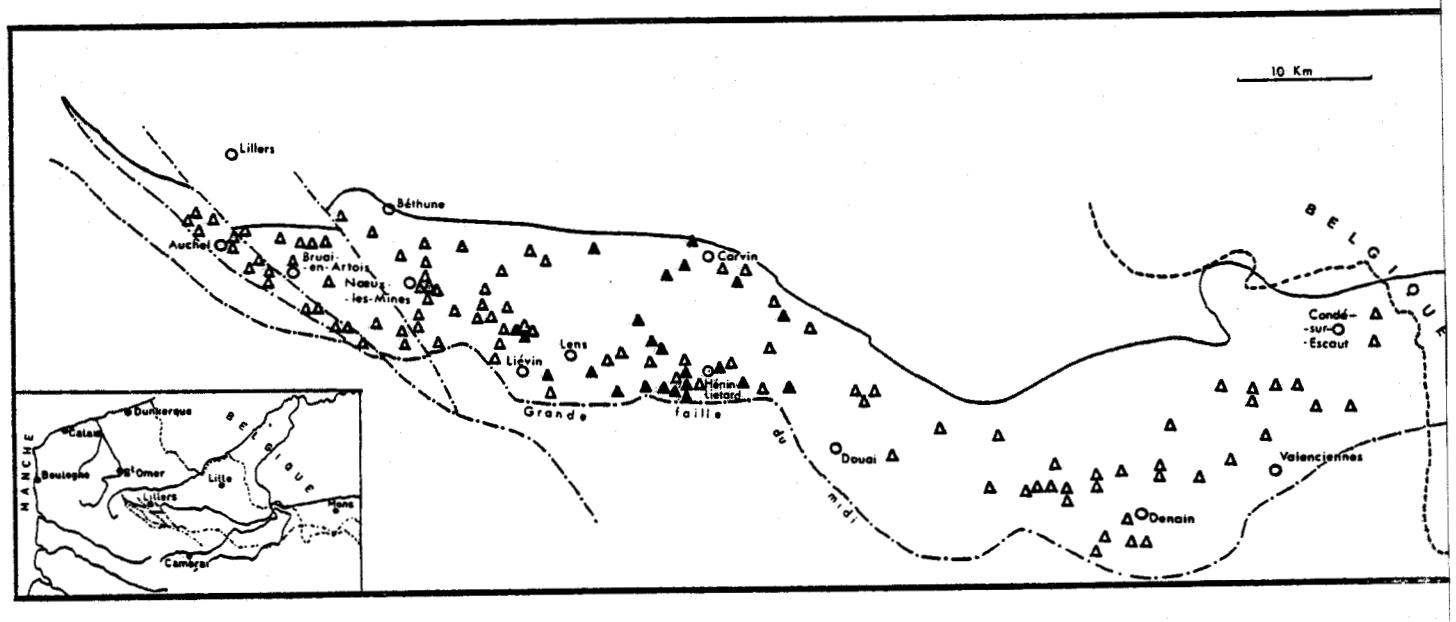


Figure 24 : Présence ▲ et Absence △ du *Rumex scutatus* sur les terrils du Nord de la France.

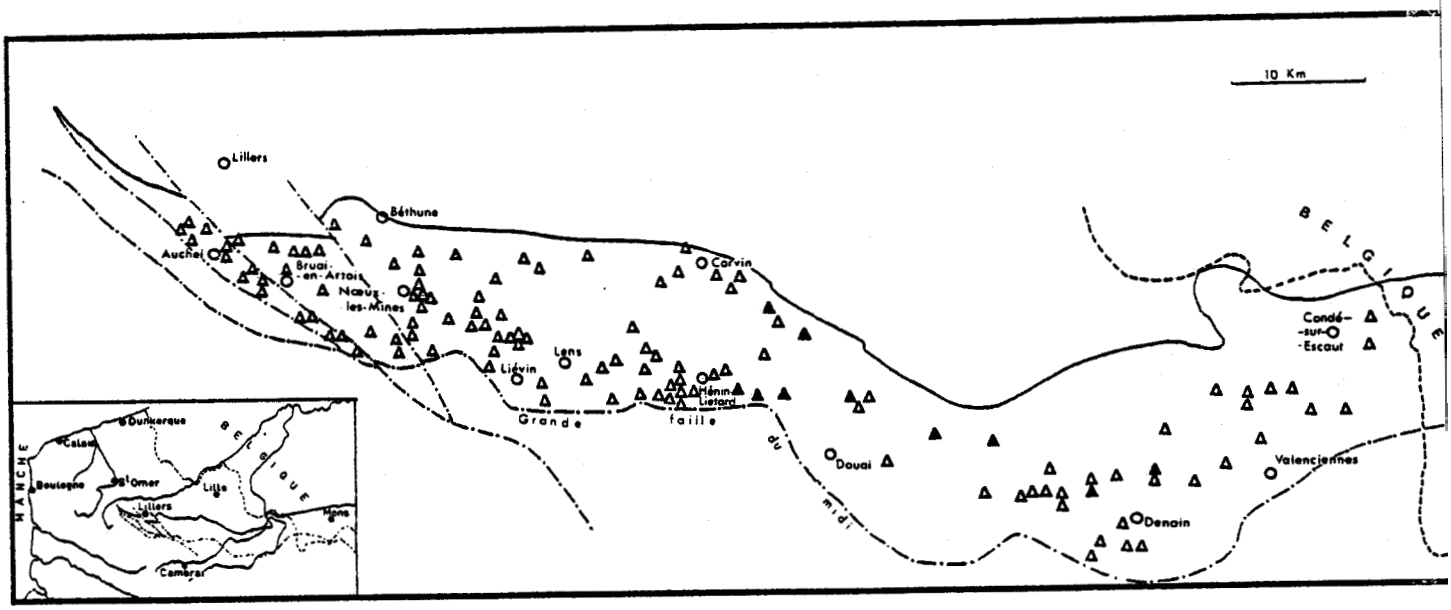


Figure 25 : Présence ▲ et Absence △ du *Catapodium tenellum* sur les terrils du Nord de la France.

La question est de savoir si ces différents types ont été introduits et dans ce cas ils montrent l'existence de moyens de transport des diaspores, efficaces et répétitifs, ou s'ils se sont différenciés sur place ?.

Centranthus ruber (L.) D.C. Méridionale, colonise les pentes où elle est présente avec une vigueur comparable à celle du *Rumex scutatus*. Signalée dans le bassin houiller à Bully-Grenay (DEBRAY, 62). Sur les terrils n° 98 (72), n° 103bis (73), elle est représentée par sa variété à fleurs blanches.

Linaria supina (L.) Chazelles. Méridionale en extension vers le Nord, signalée sur remblais de voies ferrées (BERTON, 11, 49, 50, 52, 55) et dans les carrières du boulonnais (GEHU et AMIET, 56). Espèce calcicole. Terrils n° 8 (74), n° 102 (69), n° 103bis (72-78), n° 228 (78).

Linaria repens (L.) Mill. Méridionale, environs de Douai (BERTON, depuis 45), Béthune (BERTON, 50), Cambraisis (DURIN et LERICQ, 56), Boulonnais (GEHU et AMIET, 56), Slack (LERICQ, 58), Havrincourt (LERICQ, 64). Liée comme l'espèce précédente au milieu calcaire, et montre la nature parfois composite des terrils où des dépôts calcaires ont pu être intercalés dans les schistes. Terrils n° 5 (72), n° 128 (69-79).

3) LA FLORE DES ZONES STABLES : LES PELOUSES XERIQUES :

Cardaminopsis arenosa (L.) Hayek. Subsp. *arenosa* Lawalrée. Centre européenne en progression vers l'Ouest. Observée à Roost-Warendin (BERTON, 45-54), Palluel (BERTON, 55-62), Flines-les-Mortagnes (LERICQ, 57), Terrils n° 190 (69), n° 197 (LERICQ, 66), retrouvée en 69-74, n° 111 (69-74).

Dianthus armeria L. Signalée à l'extrémité Est du bassin à Vieux-Condé (LERICQ, 63), cette espèce a été retrouvée sur le terril n° 0 le plus à l'Ouest (73).

Silene nutans L. Population bien développée sur le terril 174 (BLANDIN, 68), revue en 75.

Herniaria glabra L. Cette petite caryophyllacée caractérise les zones horizontales très tassées. Présente sur de nombreux terrils.

Herniaria hirsuta L. Espèce très proche de la précédente qui se rencontre dans les mêmes stations, elle est cependant plus rare. Terrils n° 86 (68-69), n° 102 (68-69), n° 143 (73).

Spergularia rubra (L.) J. et C. Presl. Espèce des zones horizontales tassées riches en éléments fins, acides. Elle présente la particularité de tolérer les substrats intoxiqués par des remontées d'hydrocarbures lors de la combustion profonde de certains terrils. DEBEHAULT (69) qui fait également cette remarque, observe aussi cette espèce à proximité des foyers de combustion et la considère comme une "vraie thermophile". Terrils n° 38 (73), n° 86 (69), n° 107 (74), n° 119 (69-72), n° 121 (69), n° 173bis (74), n° 196 (69).

Armeria maritima (Mill.) Willd. Espèce qui affectionne particulièrement les terrains calaminaires proches des usines de traitement du zinc et du plomb. Présente sur certains terrils n° 140 (75).

Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. Cette plante qui fleurit au premier printemps semble en progression sur les terrils, n° 86 (75), n° 111 (73-74), n° 197 (75).

Cardaminopsis halleri (L.) Hayek. Espèce centre-européenne introduite pour sa tolérance aux métaux lourds, autour des usines traitant le zinc ou le plomb, Auby (BERTON, depuis 44), Mortagnes (LERICQ, 57), Noyelle-Godault (68). De ces endroits où elle est abondante, elle tend à coloniser divers milieux en particulier les terrils proches comme le n° 113 (74), n° 123 (69-73).

Teesdalia nudicaulis (L.) R.-Br. Espèce acidophile. Terrils n° 37 (73), n° 197 (74).

Sedum spurium Birb. Caucasienne. Avesnes, Landrecies, Flaumont, Dimont, Liessies (GEHU, 58-60), Terrils n° 82 (69), n° 84 (68-75), n° 93 (69), n° 95 (69), n° 103bis (72), n° 107 (69).

Saxifraga tridactylites L. calciphile. Terrils n° 39 (73), n° 100 (78), n° 197 (75), n° 228 (78).

Ornithopus perpusillus L. n° 37 (73).

Tetragonolobus maritimus (L.) Roth. Méridionale, surtout calcicole, terril n°8 (74).

Anthyllis vulneraria L. Calcicole. Hénin-Liétard (BERTON, 51). Terril n°150 (73).

Vicia bithynica (L.) L. Méridionale. Terril n° 14 (73).

Lathyrus aphaca L. Surtout calcicole. Terril n° 144 (72).

Blackstonia perfoliata (L.) Huds. Calcicole. Terril n° 70 (72), n° 100 (78).

Teucrium botrys L. Europe méridionale, thermophile, calciphile, terril n° 103bis (72).

Teucrium chamaedrys L. Méridionale, généralement sur craie, terril n° 39 (72).

Linaria spuria (L.) Mill. Surtout sur sols calcarifères. Terril n° 10 (72), n° 115 (69).

Scrophularia canina L. Cette espèce subméditerranéenne, très rare dans notre région, observée sur le terril n° 144 (BERTON, 49-50-57), a été retrouvée sur ce même terril en 73, sur une zone récemment décapée au bulldozer.

Asperula cynanchyca L. Thermophile calcicole, terril n°31(73).

Campanula rapunculus L. Terrils n° 125 et n° 144 (HOEDTS, 70), retrouvée sur ces deux terrils 73-75, n° 21 (73).

Tragopogon dubius Scop. subsp. *major* (Jacq.) Vollm. Centre-Européenne affectionne les pentes bien exposées. Terrils n° 128 (69-72), n° 103bis (72).

Erigeron acer L. Méridionale. Terrils n° 19 (72), n° 39 (73), n° 169 (72).

Hieracium caespitosum Dum. Centre-Européenne en extension vers l'Ouest. Observée en forêt de Vicoigne (DURIN et LERICQ, 56). Terrils de Douai et Montigny-en-Ostrevent (BERTON, 49-60), n° 103bis (72), n° 108 (69-72), n° 112 (69).

Hieracium lactucella Wallr. Terril n° 103bis (72).

Hieracium amplexicaule L. Chasmophyte méridionale, se rencontre à des altitudes variables et atteint 2300 m dans les Pyrénées orientales (BAUDIERE, 72), terrils n° 107 (69-72), n° 128 (69-72), n° 113 (77), n° 216 (75).

Hieracium bifidum Kit. Terrils n° 37 (73), n° 107 (69).

Hieracium laevigatum Willd. Terrils n° 86 (69), n° 87 (69), n° 89 (69), n° 122 (69).

Avena pratensis L. Terril n° 0 (73).

Bromus erectus Huds. Terrils n° 37 (73), n° 73 (73), n° 90 (74).

Bromus rigidus Roth. Méridionale. Douai (BERTON, 61). Terril n° 38 (73).

Bromus commutatus Schrad. Méridionale. Terril n° 79bis (74).

Catapodium tenellum L. Trabut. Méridionale, signalée depuis 1949 dans le Douaisis (BERTON), actuellement sur les terrils les plus acides dans la moitié Est du bassin (figure 25). Terrils n° 102 (69), n° 119 (69-72), n° 122 (69-74), n° 123 (69), n° 128 (69-72), n° 142 (69), n° 143 (73), n° 144 (73), n° 153 (72), n° 157 (72).

Catapodium rigidum (L.) C.E. Hubbard. Cette espèce plutôt calcicole est rare sur les terrils. Terrils n° 13 (72), n° 82 (69), n° 88 (68-69), n° 216 (75).

Poa bulbosa L. var. *vivipara* Koeler. Terrils n° 37 (73), n° 90 (74).

Poa pratensis L. subsp. *angustifolia* (L.) Linbd. Terrils n° 86 (69), n° 197 (74).

Trisetum flavescens (L.) Beauv. Sur les terrils de l'Ouest du bassin, n° 0 (73), n° 21 (73), n° 204 (73).

Asparagus officinalis L. Terrils n° 89 (69), n° 90 (74).

4) LA FLORE DES ZONES STABLES : LES FRICHES RUDERALES :

Chenopodium rubrum L. Espèce liée aux endroits très minéralisés (bassins de décantation, abords des zones en combustion, cendres volantes). Terrils n° 87 (69), n° 100 (69), n° 123 (69), n° 143 (72).

Chenopodium murale L. Terril n° 143 (72).

Atriplex littoralis L. Halophile, terril n° 84 (69), proche d'une zone en combustion.

Bunias orientalis L. Sub-Européenne, signalée aux environs de Douai (BERTON, 51-54), terrils n° 84 (78), n° 89 (72).

Berteroa incana (L.) D.C. Centre-Européenne en extension vers l'Ouest, arrivée dans la région depuis près d'un siècle, présente sur de nombreux terrils, n° 37 (73), n° 38 (73), n° 42 (72), n° 46 (72), n° 86 (69-74), n° 91 (72), n° 125 (73), n° 126 (73), n° 143 (73), n° 144 (73), n° 146 (73).

Erucastrum gallicum (Willd.) O.E. Schulz. Terrils n° 89 et 90 (74-75).

Rapistrum rugosum (L.) All. Méridionale. Observée par BERTON en forêt de Vicoigne (48), à Douai (51-56), à Wissant (52), Tourcoing (LACHMANN, 51), Marcq-en-Baroeul (DURIN et LERICQ, 56), terril n° 113 (75).

Lepidium virginicum L. Américaine. Présente dans le Douaisis depuis 1944 (BERTON). Terrils n° 83 (69), n° 153 (72), n° 157 (72).

Cardaria draba (L.) Desv. Méridionale, terril n° 113 (75).

Potentilla intermedia L. Euro-Sibérienne connue du Douaisis (BERTON, 43-64), terrils n° 143 (BERTON, 49), revue en 73, n° 107 (74).

Potentilla norvegica L. Montigny-en-Ostrevent (BERTON, 49), Roubaix (HOCQUETTE, 22), Tourcoing (LACHMANN, 51), terril n° 86 (69).

Potentilla recta L. Europe centrale et méridionale, signalée à Montigny-en-Ostrevent (BERTON, 49), terrils n° 42 (73), n° 107 (74).

Potentilla inclinata Vill. Europe centrale et méridionale. Terril n° 111 (74).

Galega officinalis L. Notée dans le Douaisis (BERTON, 47-48-54) et à Béthune (DEBRAY, 61), terrils n° 46 (73), n° 126 (73).

Glaucium flavum Crantz. Méridionale, fréquente sur le littoral. Terrils n° 113 (69-74-76-78), n° 195 (HARMEGNIES, 78).

Cynoglossum officinale L. Terrils n° 59 (72), n° 70 (72), n° 82 (69), n° 79bis (72), n° 111 (69).

Salvia pratensis L. Phalempin (BERTON, 10), Douai (BERTON, 48-50-51), Sauchy-Lestrée (LERICQ, 53), Avesnois (GEHU, 57), terril n° 195 (78).

Digitalis purpurea L. Terrils n° 177 (74), n° 195 (78).

Verbascum pulverulentum Vill. Terrils n° 28 (72), n° 70 (72), n° 86 (74).

Verbascum lychnitis L. Terrils n° 70 (72), n° 111bis (72).

Verbascum virgatum Stokes. Terril n° 123 (72).

Senecio inaequidens D.C. Cette adventice Sud-Africaine actuellement en extension en Belgique, a été également signalée à Calais. Terril n° 195 (HARMEGNIES, 78).

Artemisia absinthium L. Signalée sur le terril n° 197 (LERICQ, 66), retrouvée en 68-75, terril n° 84 (75).

5) LA FLORE ARBUSTIVE :

Alnus incana (L.) Moench. Terrils n° 143 (73) et n° 90 (69) où cette essence a été plantée.

Ficus carica L. Méditerranéenne. Terril n° 16 (73).

Prunus mahaleb L. Méridionale bien développée sur certaines pentes Sud. Terrils n° 42 (72), n° 43 (72), n° 49 (72), n° 84 (68-75).

Hippophae rhamnoides L. Espèce répandue dans les dunes maritimes, parfois plantée vers l'intérieur comme ornement. Sa présence au sommet du terril n° 37 (73), peut être due à l'utilisation de sable marin lors de la construction d'ouvrages de guerre, encore existants.

6) LA FLORE DES SUINTEMENTS DE BASE DES TERRILS :

Une nappe aquifère peut se former dans les terrils installés sur une assise géologique imperméable (voir première partie). Des suintements d'eau très minéralisée ou même de véritables sources apparaîssent à leur base et alimentent des petits marécages (de quelques m^2 à quelques dizaines de m^2). Une flore halophile avec *Puccinellia distans, Atriplex hastata, Atriplex patula, Chenopodium rubrum, Chenopodium glaucum*, a été décrite dans ces lieux (GHIO, 1975). Cette flore peut également se retrouver dans les bassins de décantation où dans des zones recevant les eaux de ruissellement des aires en combustion.

Lorsque la quantité d'eau est suffisante des hydrophytes se développent, la source du terril n° 107 permet le maintien de belles populations de *Zannichellia palustris*.

Il est incontestable que l'installation des terrils dans le paysage, ne s'est pas faite sans porter préjudice à la flore en place, surtout quand ils se sont substitués aux zones marécageuses, BERTON (1964) écrit à ce sujet : "Près de Douai, à Lallaing, le terril de Germignies couvre maintenant presque en entier les marécages dits "Les Tourbières", où j'avais noté depuis 1946 : *Thelypteris palustris, Cladium mariscus, Carex distans, Scirpus silvaticus, S. tabernae-montani, Triglochin palustre, Sium latifolium, Peucedanum palustre, Thalictrum flavum, Utricularia vulgaris, Hottonia palustris, Valeriana dioica, Galium uliginosum, Achillea ptarmica,* etc...".

Une certaine compensation est cependant apportée par les terrils qui permettent l'introduction, la naturalisation de nombreuses adventices, et le maintien de variations : il n'est pas rare de trouver des populations d'espèces à fleurs blanches (*Saponaria officinalis, Centaurea scabiosa, Petrorhagia prolifera, Polygonum persicaria, Echium vulgare)*. Il en résulte une flore phanérogamique qui se montre sur l'ensemble du bassin particulièrement intéressante et diversifiée. Les Cryptogames ne sont pas moins riches, les Bryophytes, les Champignons, les Ptéridophytes sont également représentés par certaines espèces peu communes pour la région. Les terrils s'opposent donc en ce sens à la plupart des créations humaines qui concourent à la disparition d'espèces et à la banalisation des paysages.

B I B L I O G R A P H I E

ANTONOVICS J, A.D. BRADSHAW et R.G. TURNER, 1971. - Heavy metal tolerance in plants. In : Advances in ecological research (J.B. GRAGG, Ed.), Acad. Press, London : 1-85.

ANTONOVICS J., J. LOVETT et A.D. BRADSHAW, 1967. - The evolution of adaptation to nutritional factors in populations of Herbage Plants. In : Isotopes in plant nutrition and physiology. International Atomic Energy Agency Vienne : 549-567.

ARNDT A., 1960. - Selbstbegrünung einer Halde in der Niederlausitz. *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F.*, 8 : 347-349.

ATTAIE BOURHAN M., 1970. - Studies in the composition of argillaceous sediments. I. The clay mineral composition of some namurian sediments of France, Belgium and Germany. *Thesis doct. philos. Southampton* : 290.

AUQUIER P., 1977. - Le genre *Vulpia* C.C. Gmel. (*Poaceae*) en Belgique. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 48 : 117-137.

BANASOVA V., 1970. - Vegetacia dobsinskych azbestovych hald. *Biologia*, 25 : 699-708.

BANGE G.G.J., 1975. - Divalent cations and K/Na selectivity in excised barley roots. *Physiol. Plant. Danm.*, 34 : 110-116.

BARKMAN J., 1974. - Le *Dicrano-Quercetum*, nouvelle association des chênaies acidophiles aux Pays-Bas. *Coll. Phytosoc.*, 3 : 251-254.

BAUDIERE A., 1972. - Les groupements rupicoles des gorges d'Héric et des régions voisines des monts de l'Espinouze. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 119 : 115-140.

BECKER Y. et L. GUYOT, 1951. - Sur les toxines racinaires des sols incultes. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 232 : 105-107.

BECKER Y., L. GUYOT, M. MASSENOT et J. MONTEGUT, 1950. - Sur la présence d'excrétats radiculaires toxiques dans le sol de la pelouse herbeuse à *Brachypodium pinnatum* du Nord de la France. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 231 : 165-167.

BECKER Y., L. GUYOT et J. MONTEGUT, 1951. - Sur quelques incidences phytosociologiques du problèmes des excrétions racinaires. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 232 : 2472-2474.

BEER W.D., 1955. - Beiträge zur Kenntnis der pflanzlichen Wiederbesiedlung von Halden des Braunkohlenbergbaus im nordwestsächsischen Raum. *Wiss z. Univ. Leipzig, Math-nat.*, 5 : 207-211.

BERTON A., 1964. - Données sur l'évolution de la flore dans la région du Nord. *Bull. Soc. Bot. Fr., 96ème sess. extr.* : 147-189.

BIDAULT M., 1971. - Variation et speciation chez les végétaux supérieurs. *Doin, Paris* : 145.

BLANDIN Y., 1968. - Etude de la végétation de terrils de la région de Valenciennes. *DES, Science, Université de Lille* : 59.

BON M., 1972. - Les champignons des terrils plats de la région de Douai. *Doc. dactylographié* : 2.

BON M. et CH. DELZENNE-VAN HALUWYN, 1971. - Macromycètes des terrils de charbonnage du Nord de la France. *Doc. mycol.*, 1 : 47-54.

BOUKHRIS M., 1967. - Sur l'écologie et la nutrition des végétaux croissant sur dolomie dans le Sud de la France. *Thèse d'Ecologie, Montpellier* : 104.

BOUKHRIS M. et P. LOSSAINT, 1970. - Sur la teneur en soufre de quelques plantes gypsophiles de Tunisie. *Oecol. Plant.*, 5 : 345-354.

BOUKHRIS M. et P. LOSSAINT, 1972. - Spécificité biogéochimique des plantes gypsophiles de Tunisie. *Oecol. Plant.*, 7 : 45-68.

BOURNERIAS M., 1959. - Le peuplement végétal des espaces nus (essais expérimentaux sur la genèse de divers groupements pionniers). *Bull. Soc. bot. Fr.*, 4-300.

BOUROZ A., 1964. - Les composants pétrographiques principaux des schistes houillers et leur signification sédimentologique. *Vème Congrès international de stratigraphie et de géologie du carbonifère, Paris*, 289-301.

BRADSHAW A.D., 1952. - Populations of *Agrostis tenuis* resistant to lead and zinc poisoning. *Nature*, 169 : 1098.

BRADSHAW A.D., 1959. - Population differentiation in *Agrostis tenuis* Sibth. I. Morphological differentiation. *New Phytol.*, 58 : 208-227.

BRADSHAW A.D., T.S. MC NEILLY et R.P.G. GREGORY, 1965. - Industrialization, evolution and the development of heavy metal tolerance in plants. In : Ecology and the industrial Society. *Brit. Ecol. Soc. Symp.*, 5 : 327-343.

BRANDES D., 1977. - Über *Onopordum acanthium* - Gesellschaten in Mitteleuropa. *Doc. phytos.*, N.S. 1 : 23-31.

BRAUN-BLANQUET J., 1932. - Plant sociology. *Mc Graw-Hill book Company, New-York*, 439.

BRAUN-BLANQUET J., 1964. - Pflanzensoziologie. *Springer-Verlag*, Vienne, 865.

BRAUN-BLANQUET J., 1978. - Fragmenta phytosociologica mediterranea. III. Classe *Chenopodietea* Br.-Bl. 1952. *Doc. phytos.*, N.S. 2 : 37-41.

BRAUN-BLANQUET J., N. ROUSSINE et R. NEGRE, 1952. - Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. *Ed. C.N.R.S., Paris*, 297.

BRIERLEY J.K., 1956. - Some preliminary observations on the ecology of pit heaps. *J. Ecol.*, 44 : 383-390.

BRUNEAU DE MIRE Ph. et P. QUEZEL, 1959. - Sur quelques aspects de la flore résiduelle du Tibesti : les fumerolles du Toussidé et les lappiaz volcaniques culminaux de l'Emi Koussi. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du N.*, 50 : 126-145.

BUCZEK J. et K. LEONOWICZ-BABIAK, 1971. - The effects of calcium to magnesium ratio on the increments of dry weights and protein contents in tomatoes. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 40 : 557-567.

BÜKER R., 1941. - Beiträge zur Vegetationskunde des südwestfälischen Berglandes. *Beih. Bot. Centralbl.*, 61, Dresden.

CARLES J. et R. PULOU, 1971. - La résistance à la toxicité du zinc. *Oecol. Plant.*, 6 : 319-328.

CARVEY K., D.R. FARRAR et D.C. GLENN-LEWIN, 1977. - Bryophytes and revegetation of coal spoils in Southern Iowa. *The Bryologist*, 80 : 630-637.

CHADWICK M.J., S.M. CORNWELL et M.E. PALMER, 1969. - Exchangeable acidity in unburnt colliery spoil. *Nature*, 222 : 161-162.

CHADWICK M.J. et J.K. SALT, 1969. - Population differentiation within *Agrostis tenuis* L. in response to colliery spoil substrate factors. *Nature*, 224 : 186.

CHAPMAN H.D. et P.F. PRATT, 1961. - Methods of analysis for soils, plants and waters. *Univ. of California*, 309.

CLARKSON D.T., 1965. - Calcium uptake by calcicole and calcifuge species in the genus *Agrostis* L. *J. Ecol.*, 53 : 427-435.

CLARKSON D.T., 1966. - Aluminium tolerance in species within the genus *Agrostis*. *J. Ecol.*, 54 : 167-178.

CLAUSEN J., A.D. KECK et W.M. HIESEY, 1940. - Experimental studies on the nature of species. I. Effect of varied environments on western North American plants. *Carnegie Inst. Wash. Publ.*, 520 : 452.

CLAUSEN J., D.D. KECK et W.M. HIESEY, 1945. - Experimental studies on the nature of species. II. Plant evolution through amphiploïdy and autoploïdy, with exemples from the *Madiinae*. *Carnegie Inst. Wash. Publ.*, 564 : 174.

CLYMO R.S., 1962. - An experimental approach to part of the calcicole problem. *J. Ecol.*, 51 : 707-731.

COOPER A., 1976. - The vegetation of carboniferous limestone soils in south wales. II. Ecotypic adaptation in response to calcium and magnesium. *J. Ecol.*, 64 : 147-155.

CORNWELL S.M. et E.L. STONE, 1968. - Availability of nitrogen to plants in acid coal mine spoils. *Nature*, 217 : 768-769.

CUMMINS D.G., W.T. PLASS et C.E. GENTRY, 1965. - Chemical and physical properties of spoil banks in the Eastern Kentucky coal fields. *Cent. States Forest Expt. sta. Columbus, Ohio*, 12.

DAUBENMIRE R., 1968. - Plant communities, a textbook of plant synecology.. *Harper et Row, New-York*, 293.

DAVISON A. et B.J. JEFFERIES, 1966. - Some experiments on the nutrition of plants growing on coal mine waste heaps. *Nature*, 210 : 649-650.

DEBEHAULT C., 1969. - La végétation particulière des zones en combustion des terrils de charbonnage. *Natur. Belges*, 50 : 177-193.

DEBEHAULT C., 1969. - La colonisation végétale des terrils de charbonnage du Borinage. *Natur. Belges*, 50 : 501-515.

DE LANGHE J.E., L. DELVOSALLE, J. DUVIGNEAUD, J. LAMBINON et C. VANDEN BERGHEN, 1973. - Nouvelle flore de Belgique, du Grand Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines (Ptéridophytes et Spermatophytes). *Ed. Patrim. Jard. Bot. Nat. Belg., Bruxelles*, 821.

DELAY J., 1970. - Polyploïdie dans les peuplements naturels. *Inf. ann. de caryosystématique et cytogénétique*, 4 : 21-24.

DELAY J. et D. PETIT, 1971. - Littoral atlantique du Maroc. Région de Rabat. *Inf. ann. de caryosystématique et cytogénétique*, 5 : 1-16.

DELAY J. et D. PETIT, 1972. - Chromosomes surnuméraires chez des Graminées. *Inf. ann. de caryosystématique et cytogénétique*, 6 : 1-4.

DELAY J. et D. PETIT, 1978. - Anomalies de la méiose et répercussion sur la fertilité chez *Glaucium flavum* Crtz. *Soc. bot. Fr. Actualités botaniques*, 125 : 27-32.

DELELIS A., 1973. - Contribution à l'étude des haies, des fourrés préforestiers, des manteaux sylvatiques de France. *Thèse, UER Pharmacie, Univ. de Lille II* , 146.

DELELIS A. et J.M. GEHU, 1974. - Apport à la connaissance phytosociologique des fourrés d'Argousier du littoral français de la Mer du Nord et de la Manche. *Doc. phytos.*, 6 : 27-42.

DELEUIL G., 1969. - Caractère limitant des sécrétions toxiques radiculaires dans la répartition des végétaux. *94ème Cong. nat. Soc. Sav., Pau*, 3 : 293-298.

DENAEYER-DE SMET S. et P. DUVIGNEAUD, 1971. - Premier aperçu phytogéochimique du terril n° 7 de Chapelle-Lez-Herlaimont. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 104 : 323-331.

DENAEYER-DE SMET S., J. LEJOLY et P. DUVIGNEAUD, 1968. - Note sur la spécificité biogéochimique des halophytes du littoral belge. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 101 : 293-301.

DOUCHET M. et J.C. THOMAS,1970. - Une polygonacée rare en Picardie : le *Rumex* en forme d'écusson (*Rumex scutatus* L.). *Rev. Fédér. Fr. Soc. Sc. nat. Fr.*, 9 : 122-124.

DOWN C.G., 1973. - Life form succession in plant communities on colliery waste tips. *Environ. Pollut.*, 5 : 19-22.

DUCHAUFOUR PH., 1970. - Précis de Pédologie. *Masson, Paris*, 481.

DURIN L. et R. LERICQ, 1956 . - Notes pour la flore du Nord de la France. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 9 : 22-28.

DUVIGNEAUD J., L. DURIN et W. MULLENDERS, 1970. - La végétation des éboulis de Pagny-la-Blanche-Côte (Meuse, France). *Vegetatio*, 20 : 49-73.

DUVIGNEAUD J. et L. MOUZE, 1966. - La végétation de la partie septentrionale de la Champagne crayeuse. La colonisation des éboulis crayeux. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 19 : 213-225.

DUVIGNEAUD P., 1946. - La variabilité des associations végétales. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 78 : 107-134.

DUVIGNEAUD P., 1966. - Note sur la biogéochimie des serpentines du Sud-Ouest de la France. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 99 : 271-329.

DUVIGNEAUD P., 1974. - La synthèse écologique. *Doin, Paris*, 296.

DUVIGNEAUD P. et S. DENAEYER-DE SMET, 1960. - Influence des sels toxiques sur la végétation. Action de certains métaux lourds du sol (cuivre, cobalt, manganèse, uranium) sur la végétation dans le Haut-Katanga. In : Rapports du sol et de la végétation. *Masson, Paris*, 183.

DUVIGNEAUD P. et S. DENAEYER-DE SMET, 1968. - Essai de classification chimique (éléments minéraux des plantes gypsicoles du bassin de l'Ebre). *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 101 : 279-291.

DUVIGNEAUD P. et S. DENAEYER-DE SMET, 1970. - Phytogéochimie des groupes écosociologiques forestiers de Haute-Belgique. A. Essai de classification phytochimique des espèces herbacées. *Oecol. Plant.*, 5 : 1-32.

DUVIGNEAUD P. et S. DENAEYER-DE SMET, 1973. - Considérations sur l'écologie de la nutrition minérale des tapis végétaux naturels. *Oecol. Plant.*, 8 : 219-246.

DUVIGNEAUD P., M. TANGHE, S. DENAEYER-DE SMET et F. DUBOIS, 1971. - Le terril n°7 de Chapelle-lez-Herlaimont. Site, végétation et principaux biotopes. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 104 : 301-321.

ELLENBERG H., 1956. - Grundlagen der Vegetationsgliederung. I. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. *Ulmer, Stuttgart*, 136.

ELLENBERG H., 1963. - Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. *Ulmer, Stuttgart*, 943.

FAILLE A., 1977. - Action des peuplements de *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, dans la dynamique des écosystèmes de la forêt de Fontainebleau. I. Rôle dans le cycle de la matière organique et des bioéléments majeurs. *Bull. Ecol.*, 8 : 11-21.

FITTER A.H. et A.D. BRADSHAW, 1974. - Root penetration of *Lolium perenne* on colliery shale in response to reclamation treatments. *J. appl. Ecol.*, 11 : 609-616.

FOURNIER P., 1946. - Les quatre flores de la France. *P. LECHEVALIER, Paris*, 632.

FRAHM J.P., 1974. - Zur Unterscheidung und Verbreitung von *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. und *C. polytrichoides* De Not. *Rev. Bryol. et Lichénol.*, 40 : 33-44.

FRILEUX P.N., 1966. - Quelques remarques sur la flore et la végétation calcicoles aux environs des Andelys (Eure). *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 19 : 227-261.

GRATEN C.T., 1976. - Correlations between concentrations of elements in plants. *Nature*, 261 : 686-688.

GEHU J.M., 1959 . - Observations floristiques dans le Nord et le Pas-de-Calais durant les années 1958 et 1959. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 12 : 106-117.

GEHU J.M., 1973. - Unités taxonomiques et végétation potentielle naturelle du Nord de la France. *Doc. phytos.*, 4 : 1-22.

GEHU J.M., 1977. - Le concept de sigmassociation et son application à l'étude du paysage végétal des falaises atlantiques françaises. *Vegetatio*, 34 : 117-125.

GEHU J.M. et J.L. AMIET, 1956. - Répartition et écologie de quelques plantes du Boulonnais. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 9 : 97-109 et 122-131.

GHIO C., 1975. - Observations sur la végétation des terrils de charbonnages dans la région du Borinage. *Natur. Belges*, 56 : 350-425.

GHIO C., 1978. - *Vulpia ciliata* Dum. sur un terril de charbonnage dans le Borinage. *Dumortiera*, 9 : 20-21.

GHIO C. et H. HARMEGNIES, 1977. - *Salsola kali* L. subsp. *ruthenica* (Iljin) Soo dans le Borinage. *Natura Mosana*, 30 : 43.

GHIO C. et H. HARMEGNIES, 1979. - Observations floristiques et écologiques sur les terrils de charbonnage dans le Borinage. *Dumortiera*, 11 : 4-7.

GHIO C. et P. PIERART, 1978. - Evaluation quantitative de la valeur écologique et esthétique des terrils de charbonnage. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 111 : 174-183.

GÖRS S., 1966. - Die Pflanzengesellschaften der Rebhänge am Spitzberg. In : Der Spitzberg bei Tübingen. *Natur-und Landschaftsschutzgebiete Banden-Württemberg*, 3 : 476-534.

GOUNOT M., 1969. - Méthodes d'étude quantitative de la végétation. *Masson et Cie, Paris*, 314.

GROVER R., 1960. - Some aspects of Ca-Mg nutrition of plants with special reference to serpentine endemisme. *Ph. D. Thesis, Univ. of Washington, Seattle.*

GUINOCHET M., 1970. - Clé des classes, ordres et alliances phytosociologiques de la France. *Naturalia monspeliensia, sér. Bot.*, 21 : 79-119.

GUINOCHET M., 1973. - Phytosociologie. *Masson et Cie, Paris*, 227.

GUITTET J. et PH. PAUL, 1974. - La végétation des pelouses xérophiles de Fontainebleau et ses relations avec quelques facteurs édaphiques. *Vegetatio*, 29 : 75-88.

GUTTE P., 1972. - Ruderapflanzengesellschaften West-und Mittelsachsens. *Feddes Repertorium*, 83 : 11-122.

GUTTE P. et W. HILBIG, 1975. - Übersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. XI. Die Ruderal vegetation. *Hercynia N.F.*, 12 : 1-39.

GUYOT A.L., 1957. - Les microassociations végétales au sein du *Brometum erecti*. *Vegetatio*, 7 : 321-354.

HALL I.G., 1956. - The ecology of disused pit heaps in england. *J. Ecol.*, 45 : 689-720.

HERZOG TH., 1961. - Moose von Vulcano. *Ber. Bayerische Bot. Gesellschaft*, 34 : 66-67.

HOCQUETTE M., 1925. - Quelques plantes adventices du Nord de la France. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 57 : 166-176.

HOCQUETTE M. et J. SULMON, 1953. - Quelques plantes adventices trouvées à Roubaix (Nord). *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 6 : 88-89.

HOEDTS M.C., 1970. - Interprétation phytosociologique de la végétation des terrils du Douaisis et du Valenciennois. *DEA Sciences, Univ. Lille*, 49.

HOHNE H., 1962. - Vergleichende Untersuchungen über Mineralstoff- und stickstoffgehalt sowie Trockensenstanzproduktion von Waldbodenpflanzen. *Arch. für Forstw.*, 11 : 1085-1141.

JACQUES E. et J. LAMBINON, 1968. - *Campylopus polytrichoides* De Not. et *C. introflexus* (Hedw.) Brid. en Belgique. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 38 : 147-153.

JAMES D.B., 1962. - Factors affecting the growth of *Molinia caerulea* on calcareous soil. *J. Ecol.*, 50 : 521-527.

JEFFERIES R.L. et A.J. WILLIS, 1964. - Studies on the calcicole-calcifuge habit. II. The influence of calcium on the growth and establishment of four species in soil and sand cultures. *J. Ecol.*, 52 : 691-707.

JOWETT D., 1964. - Population studies on lead tolerant *Agrostis tenuis*. *Evolution*, 18 : 70-80.

JURASZEK H., 1928. - Pflanzensoziologische Studien über die Dünen bei Warschau. *Bull. Intern. Acad. Polon. Sc.*, B : 565-610.

KAY Q.O.N., 1969. - The origin and distribution of diploid and tetraploid *Tripleurospermum inodorum* (L.) schultz Bip. *Watsonia*, 7 : 130-141.

KESTEMONT P., 1974. - Production ligneuse de la strate arbustive du terril n° 7 de Chapelle-lez-Herlaimont. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 107 : 245-257.

KIMBER A.J., I.D. PULFORD et H.J. DUNCAN, 1978. - Chemical variation and vegetation distribution on a coal waste tip. *J. appl. Ecol.*, 15 : 627-633.

KLEMM G., 1966. - Zur pflanzlichen Besiedlung von Abraumkippen und- halden des Braunkohlenbergbaus. *Hercynia N.F.*, 3 : 31-51.

KORNECK D., 1975. - Das *Narduretum lachenalii*, eine neue *Thero-Airion*-Assoziation. *Beitr. naturk. Forsch. Südw.-Dtl.*, 34 : 161-166.

KRAUSCH H.D., 1968. - Die Sandtrockenrasen (*Sedo-Scleranthetea*) in Brandenburg. *Mitt. Flor-soz. Arbeitsgem. N.F.*, 13 : 71-100.

KUHN K., 1937. - Die Pflanzengesellschaten im Neckargebiet der Schwäbischen Alb., *ed. Ferdinand Rau, Ohringen*, 340.

LACHMANN A., 1948. - Note sur quelques plantes trouvées à Tourcoing. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 1 : 60-62.

LACHMANN A., 1951. - Note sur quelques plantes récoltées aux environs de Lille, Saint-Amand, Merville et Saint-Omer. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 4 : 95-97.

LAMBINON J., 1957. - Contribution à l'étude de la flore adventice de la Belgique. I. Adventices rares ou nouvelles pour la Belgique. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 89 : 85-100.

LAMPIN P., 1969. - La végétation pionnière d'un terril en combustion. *DES, Sc. Université de Lille*, 67.

LANKOSZ-MROZ M., 1976. - Karyological investigations on *Tripleurospermum maritimum* (L.) Koch ssp. *inodorum* (L.) Hyl. ex *Vaarama* from Poland. *Acta biol. Cracov. Bot.*, 19 : 93-105.

LAWALREE A., 1953. - Flore générale de Belgique. *Spermatophytes*, vol. 1, Fasc. II. *Jard. Bot. de l'Etat. Bruxelles.*

LAWREY J.D., 1977. - Trace metal accumulation by plant species from a coal strip-mining area in Ohio. *Bull. Torrey Bot. Club.*, 104 : 368-375.

LAWREY J.D., 1978. - Trace metal dynamics in decomposing leaf litter in habitats variously influenced by coal strip mining. *Can. J. Bot.*, 56 : 953-962.

LAWREY J.D., 1978. - Nutrient element content of terricolous cryptogams from a coal strip-mining area in Ohio. *Bull. Torrey Bot. Club.*, 105 : 201-204.

LEBRUN J., A. NOIRFALISE, P. HEINEMANN et C. VANDEN BERGHEN, 1949. - Les associations végétales de Belgique. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 82 : 105-199.

LEHMANN A., 1970. - Die Vegetation der Halden der Mecseker Kohlengruben und Steinbrüche. *Dunantuli Tudomanyos Gyüteměny*, 94 : 153-184.

LERICQ R., 1958. - Informations floristiques concernant la région du Nord. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 11 : 138-144.

LERICQ R., 1964. - Note floristique. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 17 : 49-54.

LERICQ R., 1968. - Les terrils de la région de Condé-sur-Escaut : Aperçus floristique, écologique et phytosociologique. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 21 : 19-28.

LINDSAY S.F. et T.A. BOOKHOUT, 1978. - Lead and mercury levels in vegetation from strip-mined Areas in Eastern Ohio. *Bull. Envir. Contam. Toxicol.*, 7 : 360-364.

MAIN J.L., 1974. - Differential responses to magnesium and calcium by native populations of *Agropyron spicatum*. *Amer. J. Bot.*, 61 : 931-937.

MALCOSTE R., 1968. - Un problème écologique : la germination des semences dans les conditions naturelles. *Ann. Biol.*, 7 : 241-274.

MALOUTCHENKO L.A., 1972. - Les conditions spécifiques de la formation naturelle des phytocénoses sur les terrils. *Nauch. Dokl. vyssh. Shk biol. Nauki SSSR*, 15 : 70-72.

MANGE M., 1975. - Contribution à l'étude de la différenciation infraspécifique chez *Festuca trachyphylla* Hack : influence du calcium, de l'aluminium et du pH sur la croissance et la composition minérale d'une population acidophile et d'une population calcicole. *Ann. scient. Univ. Besançon, Bot.*, 16 : 33-49.

MARRS R.H. et J. PROCTOR, 1976. - The response of serpentine and non-serpentine *Agrostis stolonifera* to magnesium and calcium. *J. Ecol.*, 64 : 953-964.

MC NEILLY T. et A.D. BRADSHAW, 1968. - Evolutionary processes in populations of copper tolerant *Agrostis tenuis* Sibth. *Evolution*, 22 : 108-118.

MILLER H.A., 1960. - Remarks on the succession of Bryophytes on Hawaiian lava flows. *Pacific Science*, 14 : 246-247.

MOLINIER R. et P. MULLER, 1938. - La dissémination des espèces végétales. *Comm. S.I.G.M.A.*, 64.

MOLYNEUX J.K., 1963. - Some ecological aspects of colliery waste heaps around wigan, south Lancashire. *J. Ecol.*, 51 : 315-321.

MULLER TH., 1961. - Ergebnisse pflanzensoziologischer Untersuchungen in Südwestseutschland. *Beitr. naturk. Forsch. SW-Deutschl.*, 20 : 111-122.

OBERDORFER E., 1957. - Süddeutsche Pflanzengesellschaften. *Pflanzensoziologie, G. Fischer Jena*, 10 : 564.

OBERDORFER E. et al., 1967. - Systematische Übersicht der Westdeutschen Phanerogamen-und Gefäszkryptogamen-Gesellschaften. *Schr. Reihe vegetationskde* 2 : 7-62.

OBERDORFER E., 1970. - Pflanzensoziologische ExkursionsFlora für Suddeutschland und die angrenzenden Gebiete. *Ulmer Stuttgart*, 987.

PASSAMA L., M. HAMZE et J.P. WACQUANT, 1973. - Comportements comparés de deux espèces calcicoles et de deux espèces calcifuges sur terre humifère acide enrichie ou non en calcaire. *Oecol. Plant.*, 8 : 1-16.

PAUL PH., 1969. - Etudes expérimentales sur le déterminisme de la composition floristique des pelouses xérophiles. II. L'action autécologique comparée du sol en conditions naturelles et contrôlées. *Oecol. Plant.*, 4 : 47-70.

PAUL PH. et Y. RICHARD, 1968. - Etudes expérimentales sur le déterminisme de la composition floristique des pelouses xérophiles. I. L'action autécologique du sol sur les espèces calcicoles et calcifuges. *Oecol. Plant.*, 3 : 29-48.

PETERSEN C., K. RASMUSSEN et A.T. JENSEN, 1968. - Soil Problems and tree growth after lignite strip-mining. *Inst. Roy. Vetér. et Agron.*, 35-48.

PETIT D., 1971. - La végétation des terrils du Nord de la France. I. La végétation pionnière des terrils de la région de Carvin. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 24 : 135-149.

PETIT D., 1972. - Les végétaux thermophiles peu communs de la région minière du Nord et du Pas-de-Calais. *Le Monde des Plantes*, 375 : 5.

PETIT D., 1974. - Ecologie de quelques végétaux métallicoles au Maroc. *Oecol. Plant.*, 9 : 37-50.

PETIT D., 1976. - Le dynamisme des formations herbacées des terrils du Nord de la France et ses relations avec les conditions édaphiques. *101ème Cong. Nation. Soc. Sav., Lille*, 331-343.

PETIT D., 1977. - Les pelouses à *Hieracium pilosella* L. des terrils du Nord de la France. *Coll. phytos.*, 6 : 201-212.

PETIT D., 1979. - Les friches hautes des terrils houillers du Nord de la France. *Doc. phytos. N.S.*, 4 : 803-826.

PETIT D., 1979. - Le réaménagement des terrils et de leurs abords. *Aménagement et Nature (sous presse)*.

PETIT D., 1979. - La colonisation végétale naturelle des terrils du Nord de la France : ses enseignements pour les problèmes de réhabilitation. *Colloque international sur l'assainissement des sites industriels désaffectés (texte dactylographié), Mons*, 14.

PETIT D., 1979. - Particularités floristiques des terrils du Nord de la France. *Doc. floristiques*, 2 *(sous presse)*.

PETIT D. et J. DELAY, 1978. - Les végétaux thermophiles des terrils en combustion dans le Nord de la France. Sociologie, écologie, caryologie. *Soc. Bot. N. Fr. (sous presse)*.

PETIT D. et R. LINDER, 1973. - La végétation des terrils du Nord de la France. *A.P.B.G.*, 208 : 47-75.

PHILIPPI G., 1973. - Sandfluren und Brachen Kalkarmer Flugsande des mittleren Oberrheingebietes. *Veröff. Landsesst. N. u. L. Bd.-Wttb.*, 41 : 24-62.

PIERART P., CH. GHIO, C. DEVAHIF, F. HAUREZ et J.C. LAMAYE, 1975. - Premières observations sur les mycocénoses des terrils du Borinage et du Centre. *Serv. Biol. et Ecol., Faculté de Médecine, Université de Mons (texte dactylographié*, 15).

PIREYRE N., 1961. - Contribution à l'étude morphologique, histologique et physiologique des cystolithes. *Rev. cyt. Biol. vég.*, 23 : 93-320.

PROCTOR J., 1970. - Magnesium as a toxic element. *Nature, Lond.*, 227 : 742-743.

PROCTOR J., 1971 . - The plant ecology of serpentine. III. The influence of a high Mg/Ca ratio and high nickel and chromium levels in some British and Swedish serpentine soils. *J. Ecol.*, 59 : 827-842.

PROCTOR J. et S.R.J. WOODELL, 1975. - The ecology of serpentine soils. *Adv. Ecol. stud.*, 9 : 255-367.

QUINN J.A., 1978. - Plant ecotypes : ecological or evolutionary units ?. *Bull. Torrey bot. Club*, 105 : 58-64.

RAMAKRISCHNAN P.S., 1965. - Studies on edaphic ecotypes in *Euphorbia thymifolia* L. II. Growth performance, mineral uptake and inter-ecotypic competition. *J. Ecol.*, 53 : 705-714.

RAMAKRISCHNAN P.S., 1968. - Nutritional requirements of the edaphic ecotypes in *Melilotus alba* Med. I. pH, calcium and phosphorus. *New Phytol.*, 67 : 145-157.

RAMAKRISCHNAN P.S., 1969. - Nutritional factors influencing the distribution of the calcareous and acidic populations in *Hypericum perforatum*. *Canad. J. Bot.*, 47 : 175-181.

RAUNKIAER C., 1934. - The life forms of plants and statistical plant geography. *Trans. H. Gilbert-Carter, Oxford.*

REYNAUD-BEAUVERIE M.A., 1936. - Le milieu et la vie en commun des plantes. Notions pratiques de phytosociologie. *Lechevalier, Paris*, 237.

REVA M.L. et V.Y. BAKLANOV, 1972. - Formation of vegetative cover in the donbas waste heaps. *Ukajin. bot. Zh. SSSR*, 29 : 717-721.

RICHARDSON J.A., 1958. - The effect of temperature on the growth of plants on pit heaps. *J. Ecol.*, 46 : 537-546.

RICHARDSON J.A. et E.F. GREENWOOD, 1967. - Soil moisture tension in relation to plant colonization of pit heaps. *Proceed. Univ. Newcastle upon tyne Phil. Soc.*, 1 : 129-136.

RIOMET L.B., 1952-1961. - Flore de l'Aisne. *Union des Sociétés Fr. Hist. nat.*, 356.

RIVAS-MARTINEZ S., 1975. - Mapa de vegetacion de la provincia de Avila. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 32 : 1493-1556.

ROYER J.M., 1973. - Essai de synthèse sur les groupements végétaux de pelouses, éboulis et rochers de Bourgogne et Champagne méridionale. *Thèse fac. sc. et tech., Besançon*, 188.

ROYER J.M. et J.C. RAMEAU, 1971. - A propos de la végétation des éboulis de la montagne Chatillonnaise et du pays de Champlitte. *Ann. scient. Univ. Besançon, Bot.*, 10 : 131-139.

SALSAC L., 1973. - Absorption du Ca par les racines de Fèverole (Calcicole) et du Lupin jaune (Calcifuge). *Physiol. vég. Fr.*, 11 : 95-119.

SCHÖNFELDER P., 1967. - Das *Galeopsietum angustifoliae* Büker 1942 - eine Kalkschuttpioniergesellschaft Nordbayerns. *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 11-12*, 5-10.

SCHRAMM J.R., 1966. - Plant Colonization Studies on Black Wastes from Anthracite Mining in Pennsylvania. *Am. Philos. Soc. Trans.*, 56 : 1-194.

SHEWRY P.R. et P.J. PETERSON, 1975. - Calcium and magnesium in plants and soil from a serpentine area on unst, shetland. *J. Appl. Ecol.*, 12 : 381-391.

SISSING G., 1974. - Forêts caducifoliées acidiphiles dans les Pays-Bas (*Quercion robori-petraeae*). *Colloques Phytosociologiques*, 3 : 363-373.

SNAYDON R.W. et A.D. BRADSHAW, 1961. - Differential responses to calcium within the species *Festuca ovina* L. *New Phytol.*, 60 : 219-231.

SOUTHARD A.R., 1963. - Classification and genesis of soils high in the black shale. *Dissert. Abst.*, 24 : 3481-3482.

STEBBINS G.L., 1971. - Chromosomal Evolution in higher plants. *London*, 216.

STEVENSON F.J., 1959 . - On the presence of fixed ammonium in rocks. *Science*, 130 : 221-222.

STEVENSON F.J., 1960. - Nitrogenous constituents of some paleozoic shales. *Bull. Amer. Ass. Petroleum Geologists*, 44 : 1257.

STEVENSON F.J., 1962. - Chemical state of the nitrogen in rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 26 : 797-809.

SULEJ J., E SLESAK, K. LEONOWICZ-BABIAK et J. BUCZEK J., 1970. - Tentative explanation of dwarfish growth of plants on serpentine soils. I. Physicochemical and biological properties, and mineral elements of serpentine soils. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 39 : 405-419.

TASKER A. et M.J. CHADWICK, 1978. - The microdistribution of *Agrostis tenuis* on colliery spoil in relation to spoil chemical variability. *J. appl. Ecol.*, 15 : 551-563.

THOMAS M.D., R.H. HENDRICKS et G.R. HILL, 1950. - Sulfur content of vegetation. *Soil Science*, 70 : 9-18.

TURESSON G., 1922. - The genotypical response of the plant species to the habitat. *Hereditas*, 3 : 211-350.

TURNER R.G. et R.P.G. GREGORY, 1967. - The use of radioisotopes to investigate heavy metal tolerance in plants. Isotopes in plant nutrition and physiology. *I.A.E.A., Vienne*, 493-509.

TÜXEN R., 1937. - Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. *Mitt. Flor.-soz. Arb. Gem. in Niedersachsen*, 3 : 1-170. *Reprint J. CRAMER, Lehre 1970.*

TÜXEN R., 1950. - Grundiss einer Systematik der nitrophilen Unkrautgesellschaften in der Eurosibirischen Region Europas. *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 2*, 94-175.

TÜXEN R., 1974. - Le *Betulo-Quercetum* de l'Allemagne du nord-ouest est-il une véritable association ou non ?. *Coll. phytos., Lille*, 3 : 311-317.

TÜXEN R., 1975. - Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens Entwurf für eine Übersicht der niedersächsischen Pflanzengessellschaften und ihrer Schutzbedürftigkeit. *Texte dactylographié*, 31.

UOTILA P. et J. SUOMINEN, 1976. - The *Chenopodium* species in Finland their occurence and means of immigration. *Ann. Bot. Fennici*, 13 : 1-25.

VAN EIJK M., 1934. - Versuche über den Einfluss des Kochsalzgehalts in der Nährlösung auf die Entwicklung von *Salicornia herbacea* und auf die Zusammensetzung der Salze im Zellinnern dieser Pflanze. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch.*, 37 : 556-561.

VAN UFFORD L.H.Q., 1909. - Etude écologique de la flore des pierriers. *Thèse Fac. Sc., Université de Lausanne Montreux.*

VISE A., 1958. - Florule adventice de la Vallée de la Vesdre. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 90 : 287-305.

WALTER H., 1963. - Über die Stickstoffansprüche (die Nitrophilie) der Ruderalpflanzen. *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F.*, 10 : 56-69.

WATT A.S., 1947. - Pattern and process in the plant community. *J. Ecol.*, 35 : 1-22.

WESTHOFF V. et A.J. DEN HELD, 1975. - Planten-Gemeenschappen in Nederland. *B.V.W.J. Thieme et Cie, Zutphen*, 324.

WILKINS D.A., 1957. - A technique for the measurement of lead tolerance in plants. *Nature, Lond.*, 180 : 37-38.

WILKINS D.A., 1960. - The measurement and genetic analysis of lead tolerance in *Festuca ovina*. *Rep. Scott. Pl. Breed. Stn.*, 85-98.

WILKINS D.A., 1978. - The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. *New Phytol.*, 80 : 623-633.

LISTE DES TABLEAUX

pages

Tableau 1 : Données climatiques du mois de juin 1971 (station de Lille-Lesquin)..... 29

Tableau 2 : Composition granulométrique de quelques types de sols de terrils..... 31

Tableau 3 : Relevés de températures effectués en mars 1969 sur le terril n° 210bis de Courrières..... 32

Tableau 4 : Températures enregistrées sur la pente S-SO du terril 85 de Hénin-Beaumont en juin 1975..... 32

Tableau 5 : Températures relevées dans la zone radiculaire de *Chenopodium pumilio*, sur le terril n° 119 de Ostricourt..... 33

Tableau 6 : Pourcentage des valeurs du pF supérieures à 4,2 (les prélèvements ont été effectués chaque semaine durant une année). d'après RICHARDSON et GREENWOOD..... 34

Tableau 7 : Cations échangeables des "sols" de terrils..... 36

Tableau 8 : Teneurs en azote ammoniacal et nitrique des "sols" de terrils.. 37

Tableau 8' : *Resedo-Rumicetum scutati*..... 54

Tableau 9 : Comparaison des conditions nutritionnelles des pentes ayant été soumises ou non à la combustion..... 56

Tableau 10: Spectre des types biologiques des éboulis crayeux de Champagne (d'après DUVIGNEAUD J. et MOUZE, 1966)..... 59

Tableau 11: Spectre des types biologiques des formations herbacées des pentes mobiles de terrils..... 60

Tableau 12: Le groupement pionnier à *Betula pendula*..... 66

Tableau 13 : La friche à *Pastinaca sativa*..... 72

Tableau 14: Conditions nutritionnelles de diverses friches des terrils du Nord de la France..... 73

Tableau 15: Le spectre biologique de la friche à *Pastinaca sativa*..... 74

Tableau 16: La friche à *Tussilago farfara*..... 75

Tableau 17: *Glaucietum flavi* Gutte 1972..... 77

Tableau 18: *Dauco-Picridetum* (Fab. 33) Görs 66..... 78

Tableau 19: Spectre biologique du *Dauco-Picridetum* (Fab. 33) Görs 66 des terrils 79

Tableau 20: Composition éco-sociologique du *Dauco-Picridetum* (Fab. 33) Görs 66 des terrils 80

Tableau 21: *Echio-Melilotetum albi* Tx. 42 82

Tableau 22: Le spectre biologique de l'*Echio-Melilotetum albi* Tx. 42 83

Tableau 23: Le groupement à *Calamagrostis epigeios* et *Saponaria officinalis* 84

Tableau 24: Le groupement pionnier à *Catapodium tenellum* 87

Tableau 25: Conditions nutritionnelles du groupement pionnier à *Catapodium tenellum* 91

Tableau 26: Le *Sagino-Bryetum argentei* Diem., Siss. et Westh. 40 em. Tx. 47 92

Tableau 27: Types biologiques du *Sagino-Bryetum argentei chenopodietosum* ... 93

Tableau 28: Groupement à *Cerastium vulgatum* et *Poa annua* 94

Tableau 29: Le groupement à *Betula pendula* et *Polytrichum piliferum* 96

Tableau 30: Conditions nutritionnelles du groupement à *Polytrichum piliferum* et *Betula pendula* 97

Tableau 31: L'arrhenatheraie des bas de pente 102

Tableau 32: *Hieracio-Poetum compressae* Petit 77 106

Tableau 33: Conditions nutritionnelles du *Hieracio-Poetum compressae* des terrils du Nord de la France 108

Tableau 34: Spectres biologiques du *Hieracio-Poetum compressae* des terrils du Nord de la France 109

Tableau 35: *Airo-Festucetum ovinae* R. Tx. (37) 55 110

Tableau 36: Conditions nutritionnelles du *Airo-Festucetum ovinae* R. Tx. (1937) 1955 des terrils du Nord de la France 112

Tableau 37: Spectres biologiques du *Airo-Festucetum ovinae* R. Tx. (1937) 1955, des terrils du Nord de la France 113

Tableau 38: Groupement à *Hieracium pilosella* et *Catapodium tenellum* 115

Tableau 39: Les fourrés à *Crataegus monogyna* 118

Tableau 40: Les bétulaies sur les terrils du Nord de la France 120

Tableau 41: Comparaison des conditions nutritionnelles des bétulaies à *Calamagrostis epigeios* et *Arrhenatherum elatius* sur le terril de Lallaing 121

Tableau 42: Spectres biologiques des diverses bétulaies des terrils du Nord de la France 122

Tableau 43: La formation à *Robinia pseudacacia* 126

Tableau 44: Le groupement à *Campylopus introflexus* 134

Tableau 45: Le groupement à *Chenopodium pumilio* 135

Tableau 46: Le groupement à *Digitaria sanguinalis* 136

Tableau 47: Le groupement à *Portulaca oleracea* et *Chenopodium botrys* 137

Tableau 48: *Vulpio-Erigeretum canadensis* PETIT 79..... 142

Tableau 49: Spectre biologique du *Vulpio-Erigeretum canadensis* des terrils. 144

Tableau 50: Comparaison de la combinaison caractéristique principale du *Lactuco-Erigeretum canadensis*, du *Bromo-Erigeretum canadensis* (selon GUTTE, 1972) et du *Vulpio-Erigeretum canadensis* des terrils..... 146

Tableau 51: Granulométrie comparée du substrat nu et du sol (AC) du *Hieracio-Poetum compressae*..... 154

Tableau 52: Les conditions nutritionnelles de la pente S-SO du terril 85 de Hénin-Beaumont..... 155

Tableau 53: Le sol du *Hieracio-Poetum compressae*..... 156

Tableau 54: Du stade pionnier à la pelouse rase : modifications des conditions nutritionnelles sur le terril n° 31 de Estrées Blanche... 160

Tableau 55: Teneurs moyennes en cendres et macro-éléments des feuilles de diverses espèces herbacées, d'après DUVIGNEAUD P. et DENAEYER-DE SMET, 1970 ; DENAEYER-DE SMET, LEJOLY et DUVIGNEAUD P., 1968 ; THOMAS et coll., 1950..... 171

Tableau 56: Teneurs en éléments biogènes des feuilles des principales espèces assurant le dynamisme végétal de la pente S-SO du terril n° 85 de Hénin-Beaumont..... 174

Tableau 57: Composition minérale du *Rumex scutatus* (glauque) prélevé dans la zone pionnière et la zone de substitution de la friche élevée par la pelouse rase..... 175

Tableau 58: Taux moyens en cendres et en éléments biogènes pour 6 espèces prélevées dans la zone pionnière et dans la zone de substitution de la friche élevée par la pelouse rase..... 176

Tableau 59: Teneurs en éléments biogènes des principales espèces végétales colonisant les zones en combustion des terrils du Nord de la France..... 178

Tableau 60: Solutions utilisées pour la germination d'*Arrhenatherum elatius*..... 182

Tableau 61: Teneurs en éléments biogènes de *Hieracium pilosella* cultivé sur sol de terril et sur rendzine..... 186

Tableau 62: Analyse caryologique des plantes colonisant les zones en combustion des terrils..... 190

Tableau 63: Comparaison du spectre biologique des terrils avec ceux établis pour le Danemark et l'Italie (RAUNKIAER, 1934)..... 210

LISTE DES FIGURES

pages

Figure 1 : Les terrils du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.... 10

Figure 2 : Différents types de terrils..... 14

Figure 3 : Températures moyennes mensuelles de 1946 à 1970 (Station Lille-Lesquin)..... 26

Figure 4 : Pluviométrie moyenne mensuelle de 1946 à 1970 (Station Lille-Lesquin)..... 26

Figure 5 : Directions préférentielles des vents à vitesse maximale..... 28

Figure 6 : Relations entre les teneurs en azote ammoniacal et le pH dans le substrat terril..... 38

Figure 8 : Etude des rapports humidité/texture du substrat (d'après des données de LAMPIN, 1969, concernant le terril N° 79bis de Loos-en-Gohelle)..... 57

Figure 9 : Organes souterrains du *Rumex scutatus*..... 61

Figure 10 : Organes souterrains du *Tussilago farfara*..... 61

Figure 11 : Schéma de répartition des groupements végétaux pionniers de la colonisation des terrils du Nord de la France..... 100

Figure 12 : Déterminisme écologique des différents groupements de pelouses à *Hieracium pilosella* sur les terrils du Nord de la France.... 116

Figure 13 : Coupes schématiques d'une fente avec émanation de vapeur d'eau sur le terril n° 100..... 132

Figure 14 : Coupe schématique d'une fumerole du Toussidé (d'après BRUNEAU DE MIRE et QUEZEL)..... 132

Figure 15 : Succession végétale sur la pente S.SO du terril 85 de Hénin-Beaumont..... 152

Figure 16 : Dynamisme général des formations herbacées et arbustives sur les terrils du bassin houiller..... 158

Figure 17 : Développement de fourrés à *Crataegus monogyna* à la faveur de l'existence d'une végétation en mosaïque..... 162

Figure 18 : Les différentes bétulaies du terril n° 143 de Germignies..... 164

Figure 19 : Dynamisme herbacé et arbustif sur la face Nord-Est du terril n° 107 de Carvin..... 165

Figure 20 : Accumulation de divers poly-éléments dans les feuilles des principales espèces pionnières de la pente S-SO du terril n° 85 de Hénin-Beaumont..... 172

Figure 21 : Tolérance au magnésium lors de la germination de graines de deux populations de *Arrhenatherum elatius*..... 184

Figure 22 : Distribution de la tolérance au magnésium dans des populations de graines de *Arrhenatherum elatius* du terril n° 85 de Hénin-Beaumont et d'une friche voisine..... 185

Figure 23 : Teneurs comparées en Ca, K, N, P de *Hieracium pilosella* cultivé sur terril et sur rendzine..... 188

Figure 24 : Présence et absence du *Rumex scutatus* sur les terrils du Nord de la France..... 214

Figure 25 : Présence et absence du *Catapodium tenellum* sur les terrils du Nord de la France..... 214

LISTE DES PLANCHES

pages

Planche I : Différents types de terrils..... 17
Planche II : Evolution morphologique des terrils..... 23
Planche III : Végétation herbacée pionnière des pentes mobiles..... 49
Planche IV : Végétation arbustive pionnière des pentes mobiles..... 69
Planche V : Friches pionnières des substrats stables..... 89
Planche VI : Les groupements arborescents..... 129
Planche VII : Végétation des terrils en combustion..... 139
Planche VIII : Végétation des terrils en combustion..... 149
Planche IX : Caryologie de végétaux des zones en combustion..... 195
Planche X : Caryologie de végétaux des zones en combustion..... 197
Planche XI : Caryologie de végétaux des zones en combustion..... 199

DÉNOMINATION ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DES TERRILS DU BASSIN HOUILLER DU NORD DE LA FRANCE

Cette liste des terrils du Nord de la France a été établie à l'aide de l'inventaire des terrils effectué par les Houillères du Nord et du Pas-de-Calais (1972). La situation géographique a été précisée par les coordonnées de l'"Institut Floristique Franco-Belge" (IFFB), dont l'un des objets est de cartographier la répartition des végétaux dans un système en réseau. Certains terrils étudiés aux limites Ouest du bassin ou près de la frontière belge ont été ajoutés à ce répertoire des Houillères.

Numéros	*Dénominations*	*Communes*	*Coordonnées IFFB*
0	1 et 1bis de Ligny	Flechinelle	F041
1	5 de Bruay (Nord)	Divion	G025
1bis	5 de Bruay (Sud)	Divion	G025
2	6 de Bruay (Est)	Haillicourt	G036
3	6 de Bruay (Ouest	Haillicourt	G036
4	2bis d'Auchel (Est)	Marles	G025
5	Lapugnoy	Lapugnoy	G015 G025 G028
6	Bois de Lapugnoy	Labuissière	G025
7	6 de Bruay (Décharge)	Haillicourt	G036
8	3ter d'Auchel et mare à boue	Auchel	G024
9	2bis de Bruay (Ouest)	Haillicourt	G026
9bis	2bis de Bruay (Est)	Haillicourt	G026
10	3 de Bruay (Ouest)	Bruay	G025
10bis	3 de Bruay (Est)	Bruay	G025
11	Usines de Labuissière (Est)	Labuissière	G026
12	Usines de Labuissière (Ouest)	Labuissière	G025
13	3 d'Auchel (Est)	Lozinghem	G014
14	5 d'Auchel	Auchel	G024

15	6 d'Auchel	Calonne	G024
16	1 de Ferfay	Ferfay	G013
17	2 de Bruay	Bruay	G025
18	5bis de Lillers	Divion	G025-G035
19	2 de Ferfay	Ferfay	G013
20	de Rimbert	Auchel	G014
21	3 de Ferfay	Ames	G013
22	2bis d'Auchel (ancien)(Ouest)	Marles	G025
23	3 d'Auchel (ancien)(Ouest)	Auchel	G014-G024
24	4 d'Auchel	Auchel	G014
25	Falande 1 (Sud)	Haillicourt	G026
26	Falande 2 (Nord)	Haillicourt	G026
27	Labuissière (aviation)	Labuissière	G026
28	Fontenelle	Fouquereuil	G016
29	5 de Bruay (Est)	Bruay	G025
30	7 d'Auchel	Cauchy à la Tour	G014
31	Transvaal I (Nord)	Estrée Blanche	F051
32	Transvaal II (Sud)	Estrée Blanche	F051
33	La Clarence	Divion	G024
34	de Ligny	Auchy au Bois	F052
35	à Gouy	Marqueffles	F052
35A	3bis de Ligny (Ouest)	Auchy au Bois	F052
35B	3bis de Ligny (Est)	Auchy au Bois	F052
36	1 de Noeux	Noeux	G038
37	8 de Noeux	Verquin	G027
38	7 de Noeux (Est)	Barlin	G036
38A	7 de Noeux (Ouest)	Barlin	G036
38B	7 de Noeux (Nord)	Barlin	G036
39	5 de Noeux	Barlin	G037
40	4 de Noeux (Ouest)	Hersin	G037
41	4 de Noeux (Est)	Hersin	G037
42	3 de Noeux (Sud)	Noeux	G038
43	3 de Noeux (Nord)	Noeux	G028
43A	3 de Noeux (Est)	Noeux	G028
43B	3 de Noeux (Est)	Noeux	G028
43C	3 de Noeux (Est)	Noeux	G036
44	3 de Noeux (Ouest)	Noeux	G028
45	Nouvelles Usines	Noeux	G028
46	6 de Noeux	Labourse	G028
47	9 de Béthune (Ouest)	Annequin	G028
47bis	9 de Béthune (Est)	Annequin	G028
48	4 de Béthune (Est)	Vermelles	G121
48bis	4 de Béthune (Ouest)	Vermelles	G121
49	3 de Béthune	Mazingarbe	G121
50	7 de Béthune	Mazingarbe	G131
51	6 de Béthune	Mazingarbe	G131
52	2 de Béthune (Est)	Bully	G038
52bis	2 de Béthune (Ouest)	Bully	G038
53	1 de Béthune	Bully	G038
54	11 de Béthune		G131
55	13 de Noeux	Hersin-Coupigny	G037
56	8 de Noeux	Verquin	G027
57	6 de Noeux (Sud)	Labourse	G028
58	Lavoir Mazingarbe (Ouest)	Grenay	G131
58bis	Lavoir Mazingarbe (Est)	Grenay	G131

59	5 de Béthune	Grenay	G131
60	2 de Noeux	Hersin-Coupigny	G037-G038
61	Usines de Noeux	Noeux	G028
62	Bassin Centrale de Beuvry (Est)	Beuvry	G028
62bis	Remblais de Beuvry (Ouest)	Beuvry	G028
63	Décharge de Sailly	Sailly	G018
64	Cendres de Vermelles	Vermelles	G121
65	Ballastière du 10 (Est)	Aix-Noulette	G038
65	Ballastière du 10 (Ouest)	Sains-en-Gohelle	G038
66	11 de Noeux	Fouquières les Béthune	G017
67	13bis de Lens	Bénifontaine	G122
68	9 de Lens	Lens	G142
69	2 de Meurchin	Meurchin	G124
70	3/4 de Meurchin	Billy-Berclau-Wingles- Douvrin	G123
71	2 de Liévin	Liévin	G141
72	5 de Liévin	Liévin	G141
73	18 de Lens	Hulluch	G122
74	11/19 de Lens(Est)	Loos-en-Gohelle	G132-G131
74A	11/19 de Lens (Ouest)	Loos-en-Gohelle	G131
74B	11/10 de Lens (nouveau)	Loos-en-Gohelle	G131
75	Pinchonvalles	Avion	G142
76	7 de Liévin	Avion	G152
77	8 d'Auchy	Auchy	G122
78	15 de Lens	Loos-en-Gohelle	G132
79	16 de Lens (Est)	Loos-en-Gohelle	G131
79bis	16 de Lens (Ouest)	Loos-en-Gohelle	G131
80	Abattoir-Pont Ampère (Ouest)	Liévin (fosse 3)	G142
80bis	Garennes-Pont Ampère (Est)	Liévin	G142
81	5 de Lens (Est)	Avion	G142
81bis	5 de Lens (Ouest)	Avion	G142
82	9 Nord Cônique	Harnes	G134
82bis	9 Nord Plat	Harnes	G134
83	du Marais	Fouquières	G144
84	2 Sud	Rouvroy	G144
85	3 Est (Est)	Hénin-Beaumont	
86	7 Est	Montigny-en-Gohelle	G144
87	du lavoir Hénin (Est)	Dourges	G145
88	Bois de Boulogne	Harnes	
89	3 Est (Ouest)	Hénin-Beaumont	G144
90	6 Est	Hénin-Beaumont	G144
91	6/7 Beaumont	Hénin-Beaumont	G155
92	Lavoir Hénin (Ouest)	Hénin-Beaumont	G145
93	21 Nord	Harnes	G133
94	Lavoir Fouquières	Noyelles s/Lens	G143
95	6 Sud	Fouquières-les-Lens	G143
96	5 Ouest	Noyelles s/Lens	G143
97	4/5 Sud	Méricourt	G143
98	24 Nord	Estvelles	G124
99	Centrale Courrières	Harnes	G134
100	Décharge marais Fouquières	Fouquières-lez-Lens	G144
101	Lavoir Drocourt	Hénin-Billy-Rouvroy	G144
102	4 Est	Noyelles-Godault	G145
103	13 Ouest (Nord)	Avion-Sallaumines	G143

103bis	13 Ouest (Sud)	Avion-Sallaumines	G143
104	10 Sud (Sud)	Billy Montigny-Rouvroy	G143
104bis	10 Sud (Nord)	Billy Montigny-Rouvroy	G143
105	6bis (Est)	Hénin-Beaumont	G144
106	du 23	Noyelles s/Lens	G143
107	4 Oignies	Carvin	G125
107bis	4 Oignies Les Botiaux	Carvin	G125
108	7 Oignies	Ostricourt	G136
109	8 Oignies	Evin Malmaison	G146
110	9 Oignies	Oignies	G135
111	14 Oignies (Sud)	Carvin	G124
111bis	14 Oignies (Nord)	Carvin	G124
112	5 Oignies	Libercourt	G125
113	8 Oignies	Evin Malmaison	G146
114	13 Oignies (Ouest)	Carvin	G124
114bis	13 Oignies (Est)	Carvin	G124
115	2 Téléphérique	Libercourt	G125
116	10 Oignies	Oignies	G135
117	10 Oignies	Oignies	G135
118	1 Oignies	Oignies	G135
119	6 Oignies (Sud)	Ostricourt	G136
120	6 Oignies (Nord)	Ostricourt	G136
121	11 Oignies	Carvin	G124
122	10 de l'Escarpelle (Est)	Leforest	G136
122bis	10 de l'Escarpelle (Ouest)	Leforest	G136
123	1 Ancien (Ouest)	Roost-Warendin	G147
124	Flines 1 (Est)	Lallaing	G158
124A	Flines 1 (Centre)	Lallaing	G158
124B	Flines 1 (Ouest)	Lallaing	G158
125	Ste Marie (Est)	Auberchicourt	H211
125bis	Ste Marie (Ouest)	Auberchicourt	H211
126	St Louis	Somain	H212
127	Traisnel (Est)	Aniche	H212
127bis	Traisnel (Ouest)	Aniche	H212
128	7bis Courcelles	Courcelles	G146
129	n°2 d'Azincourt	Monchecourt	H221
130	Pas de la Ville (Est)	Leforest	G146
130bis	Pas de la Ville (Ouest)	Leforest	G146
131	Fenelon	Aniche	H212
132	d'Aoust	Aniche	H221
133	Fosse Dechy	Dechy	H118
134	Camp de la Centrale (Est)	Dechy	G157
134bis	Camp de la Centrale (Ouest)	Dechy	G157
135	Sébastopol	Erchin	H221
136	de Lains (Ouest)	Roost-Warendin	G147
136bis (Est)		Roost-Warendin	G147
137	Bernicourt	Waziers	G157
138	9	Roost-Warendin	G147
139	des Pâturelles	Roost-Warendin	G147-G157
140	du Marais du Vivier	Roost-Warendin	G146-G147
141	1 Nouveau (Est)	Roost-Warendin	G157
142	8	Auby	G146
143	de Germignies (Sud)	Pecquencourt-Lallaing	G158-G251
143bis	de Germignies (Nord)	Flines-Marchiennes	G251
144	de Rieulay	Rieulay-Pecquencourt	G251-G252
145	7 de Courcelles	Courcelles	G146

146	Centrale de Dechy	Dechy	G158-H118
147	Casimir Périer (Ouest)	Abscon-Somain	H212
148	Casimir Périer (Est)	Abscon-Somain	H212
149	St Mark (Sud)	Abscon	H213
149bis	St Mark (Nord)	Escaudain	H213
150	Agache	Fenin	H213
151	Centrale d'Hornaing	Hornaing	G253
152	d'Audiffret (Nord)	Escaudain	H213
153	d'Audiffret (Sud)	Escaudain	H213
154	Lambrecht (Ouest)	Hélesmes	H214
155	Lambrecht (Est)	Hélesmes	H214
156	Fosse Turenne	Denain	H224
157	Fosse Haveluy (Nord)	Haveluy	H214
158	Fosse Haveluy (Sud)	Haveluy	H214
159	Fosse Hérin	Hérin	H215
160	Fosse Arenberg	Wallers-Arenberg	G255
161	Fosse Roeulx	Escaudain	H223
162	Fosse Renard	Denain	H224
163	Fosse Enclos (Est)	Denain	H224
163bis	Fosse Enclos (Nord)	Denain	H224
164	Fosse Enclos (Sud)	Denain	H224
165	Fosse Blignières (Ouest)	Wawrechain s/Denain	H225
166	Fosse Blignières (Est)	Wawrechain s/Denain	H225
166bis	Fosse Blignières (Carreau)	Wawrechain s/Denain	H225
167	Fosse Douchy	Douchy	H224
168	Fosse Boca	Douchy	H224
169	Lavoir de Lourches	Roeulx	H223
170	Fosse Schneider	Lourches	H223
171	Mare à Goriaux	Wallers-Arenberg	G255
172	du Prussien	Raismes	G245
173	de Vicoigne (Est)	Raismes-Vicoigne	G246
173bis	de Vicoigne (Ouest)	Raismes-Vicoigne	G245
174	Fosse Sabatier (Sud)	Raismes	G256
175	Fosse Sabatier (Nord)	Raismes	G246
176	Lavoir Rousseau	Raismes	G246-G247
177	Fosse Lagrange (Est)	Escautpont-Bruay	G247
178	Fosse Lagrange (Ouest)	Escautpont-Bruay	G247
179	Fosse Thiers	Bruay-sur-Escaut	G257
180	Remblai du Petit Diable	Bruay-sur-Escaut	G257
181	Dépôt de la Centrale Thiers	Bruay-sur-Escaut	G257
182	Bonnepart	Fresnes-sur-Escaut	G247
183	Soult	Fresnes-sur-Escaut	G247
184	du Rôleur	St Saulve	H217
185	des Agglomérés	St Waast-lez-Valene	H216
186	de la Réussite	La Sentinelle	H216
187	Fosse Davy (Sud)	La Sentinelle	H216
187bis	Fosse Davy (Nord)	La Sentinelle	H216
188	Fosse St Louis	Anzin-Beuvrages	G256
189	Bleuse-Borne (Gros cônique)	Anzin-Beuvrages	G256
189A	Bleuse-Borne (Gros cônique)	Anzin-Beuvrages	G256
189B	Bleuse-Borne (Petit cônique)	Anzin-Beuvrages	G256
190	Pont du Sarteau	Vieux-Condé	G237
191	Fosse Vieux-Condé	Vieux-Condé	G237
192	St Léonard	Vieux-Condé	G237
193	Trou Martin	Vieux-Condé	G237
194	des Acacias	Condé-sur-Escaut	G238

195	Ledoux-Nouvelle route	Condé-sur-Escaut	G238
195bis	Ledoux -chemin Moulineaux	Condé-sur-Escaut	G238
196	Ledoux Lavoir	Condé-sur-Escaut	G238
197	St-Pierre	Thivencelles	G238
198	1 de Crespin	Quiévrechain	G351
199	Rouge de Crespin	Quiévrechain	G351
200	2 de Crespin	Quiévrechain	G351
201	Fosse Cuvinot Est	Vicq	G258
202	Fosse Cuvinot Ouest	Vicq	G258
203	de Lières	Lières	F053
204	d'Ames	Ames	G013
205	1	Drocourt	G144
206	Cavalier de Loison	Loison	G133
207	Cavalier d'Harnes	Harnes	G133
208	Cavalier 6 Sud	Fouquières-lez-Lens	G144
209	Cavalier de Noyelles	Courcelles	G145
210	8 de Courrières (Sud canal)	Courrières	G134
210bis	8 de Courrières (Nord canal)	Courrières	G134
211	3 Oignies	Oignies	G135
212	Cavalier du 10	Leforest	G136
213	Cavalier de Roost-Warendin	Roost-Warendin Auby	G146
214	Cavalier de Courcelles	Auby	G146
215	4 de Liévin	Avion	G142
216	8 de Liévin	Avion	G153
217	Archevêque	Aniche	H212
218	Bleuse Borne Mine Image	Anzin-Beuvrages	G256
219	Vicoigne n° 9	Raismes-Vicoigne	G255
220	Cavalier Delloye (Sud)	Lewarde	H118
220bis	Cavalier Delloye (Nord)	Lewarde	H118
221	12 Oignies	Carvin	G124
222	St Roch	Monchecourt	H221
223	Sablière	Chocques	G015
224	12 de Béthune	Noyelles-lez-Vermelles	G028
225	Gare d'Eau	Violaines-Cuinchy	G111
226	1 de Vimy	Vimy	G152
227	n° 3 d'Azincourt	Monchecourt	H221
228	Fosse St-Aybert	St-Aybert	G331
229	Fosse de Harchies	Harchies (B)	G331-G332