

Projet Individuel

Restauration écologique et intégration paysagère de la carrière de Campagne

Quels aménagements mettre en place pour réaliser ces objectifs ?



I. Table des matières

II.	Avertissement	1
III.	Remerciements	2
IV.	Introduction.....	3
V.	Diagnostic	4
1.	Localisation, historique et activité	4
2.	Une carrière en fin d'exploitation	6
3.	Le substrat rocheux	7
4.	Le relief issu de l'exploitation.....	9
5.	Le climat	11
6.	La faune et la flore sur, et autour du site.....	15
7.	Pollutions diverses.....	16
VI.	Le Projet d'aménagement	17
1.	Les aménagements sur la carrière	17
a.	Les fronts de taille	17
b.	Le substrat	20
c.	L'implantation de végétaux.....	21
2.	Les évolutions dans la carrière	22
a.	Le sol.....	22
b.	La flore.....	24
c.	La faune	27
VII.	Conclusion	29
VIII.	Bibliographie.....	30
IX.	Annexes	33

II. Avertissement

- Le PIND est un premier test qui permet à l'élève ingénieur de s'évaluer et de se faire évaluer par les enseignants, afin qu'il puisse prendre conscience des connaissances ayant été acquises lors de sa formation mais aussi de la marge d'amélioration existante et des savoir-faire qu'il lui reste à acquérir.
- Ce travail est un espace où l'élève est libre de choisir la direction de son projet, afin de mesurer la motivation de l'élève pour les travaux d'aménagement.
- Lors de ce travail l'élève doit problématiser un sujet et le traiter par l'élaboration d'un diagnostic et par l'émission de propositions. Ce Projet doit être appuyé de recherches bibliographiques.

III. Remerciements

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont aidé lors de la réalisation et la relecture de ce projet, que ce soit pour leur disponibilité ou leur soutien.

Je tiens à remercier tout particulièrement :

M. Francis ISSELIN, mon tuteur pour les conseils qu'il a pu me donner.

M. Patrick Boissière, responsable de la Carrière de Campagne et l'ensemble du personnel pour leurs informations et leur disponibilité sur le site.

M. Bastien Chadelle, géologue pour m'avoir accordé son temps et avoir répondu à mes questions.

IV. Introduction

Dans toute carrière en fin de vie l'exploitant est tenu de réaliser une remise en état de sa carrière. Cette remise en état implique un certain nombre de mesures obligatoires et parmi celles-ci est énoncée l'obligation de réaliser une « insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage » [1].

La plupart du temps ce genre de travaux d'insertion paysagère consiste à simplement reboiser des écrans et des points critiques pour masquer l'espace affecté par les activités d'extraction. Malheureusement ces activités réalisées dans les carrières, et ce parfois pendant plusieurs dizaines d'années, modifient complètement le milieu. Ainsi ces activités tendent à créer des espaces stériles de roche nue, en rupture avec le milieu environnant.

Ce projet s'intéresse au cas de la carrière de Campagne. Dans cette dernière le relief a été en partie abattu et la roche calcaire qui le compose contraste fortement avec la forêt qui l'entoure. De plus, comme la majorité des carrières elle offre un milieu unique presque exclusivement minéral peu susceptible d'héberger un écosystème complexe.

Nous chercherons dans ce projet à réaliser les objectifs d'intégration paysagère énoncés dans la réglementation mais aussi à faciliter le rétablissement d'un écosystème fonctionnel reposant sur des processus chimiques et biologiques stables agissant de manière synchrone.

Ce travail s'accordera à répondre à la question : Quels sont les aménagements pouvant être mis en place sur la carrière de Campagne afin de réaliser en même temps une intégration paysagère et une restauration écologique ?

Après avoir passé en revue la situation et les paramètres actuels de la carrière au travers d'un diagnostic nous chercherons à déterminer quels sont les aménagements à réaliser pour atteindre nos objectifs, et enfin quels sont les résultats que l'on peut espérer.

V. Diagnostic

1. Localisation, historique et activité

La carrière étudiée lors de ce projet se situe sur le territoire de la commune de Campagne (Dordogne), le long de la départementale D703 (Annexe 1). Cette dernière dont l'exploitation débutât en 1987 est exploitée par l'entreprise Héraut Carrières, devenue en 2000 filiale du Groupe Colas. En tant que site soumis au régime légal des carrières [2] la carrière de Campagne est classée comme Installation Classée Pour l'Environnement soumise à déclaration.

La carrière de Campagne est aujourd'hui toujours en activité et s'est vu attribuer en 2011 un arrêté d'autorisation d'extension de 3 hectares et un renouvellement d'arrêté d'autorisation d'exploiter pour encore une dizaine d'années. Cependant pour cet exercice nous considérons que les activités de la carrière sont arrivées à leurs termes et qu'il est maintenant question de réaménager la carrière et ce, en respectant les impératifs fixés par la législation.

La carrière de Campagne est un site d'exploitation de roche massive (matériaux calcaires). Lors de cette exploitation l'horizon humifère est d'abord décapé en défrichant le terrain qui recouvre la masse rocheuse. La roche est ensuite abattue à l'aide d'explosifs insérés le long de puits creusés à une profondeur similaire à la hauteur du front de taille. Ainsi après l'explosion, des fragments de roche sont libérés de la masse calcaire puis concassés avant d'être transformé en granulats et utilisés dans de nombreux domaines. Ce type d'exploitation est ici appliqué selon la méthode dite « à flanc de relief », en abattant progressivement par le flanc le relief calcaire.

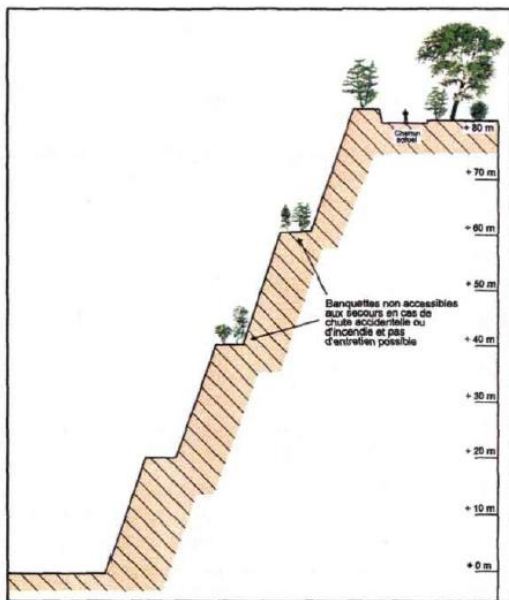


Fig. 1 : Exploitation en gradins, enchaînement de fronts de taille et de replats (banquettes) à flanc de relief

Il en résulte une zone d'extraction sur laquelle on extrait la roche et une zone de traitement sur laquelle les matériaux extraits peuvent être concassés et traités. Cette dernière zone est plus communément appelée le carreau et correspond au plancher défini par l'avancée du front de taille [3].

Aujourd'hui la surface exploitée de la carrière est de 12,3 Ha et s'étage de +65 m NGF pour son point le plus bas à +155 m NGF pour son point le plus élevé. Cette élévation de presque 100 m et l'orientation ouest/sud-ouest de la plupart de ses fronts de taille en font un site particulièrement visible depuis la route départementale D703 entre Le Bugue et Campagne comme on peut le voir sur la photographie 1 (le point d'où a été prise la photographie est précisé en Annexe 1)



Photographie 1 : Visibilité de la carrière de Campagne depuis la route Départementale D703 entre Le Bugue et Campagne en direction de Campagne

Cet aspect visuel a longtemps été sujet de controverse lors des demandes concernant les demandes d'autorisation d'exploiter sur la carrière. D'autant plus que cette dernière, située sur une zone entourée par la forêt de Campagne (245 Ha de site naturel sensible), est au cœur du site classé « La vallée de la Vézère et sa confluence avec les Beunes » et est couverte par le projet du Réseau des Grands Sites de France « Grand site vallée Vézère », dont les objectifs sont de préserver les paysages ainsi que le caractère historique et pittoresque de la vallée de la Vézère.

2. Une carrière en fin d'exploitation

Le site de la carrière de Campagne est visible à plusieurs kilomètres à la ronde à cause de l'exploitation à flanc de relief dont elle fait l'objet et de la blancheur du minéral exposé, contrastant avec la verdure de la forêt de campagne alentour.

Bien que la carrière soit toujours en activité nous établissons que le site ne produit plus et qu'il ne produira plus puisque qu'aucune demande de renouvellement de permis d'exploiter n'a été formulée. Nous considérerons aussi que la carrière n'est pas destinée à un usage particulier mais simplement laissée à la nature pour qu'elle puisse reconquérir cet espace. Ainsi, dans toute carrière en fin de vie et comme le précisent les articles R.512-30 et R.512-35 du code de l'environnement, l'exploitant est tenu de réaliser une remise en état de sa carrière. Cette remise en état doit se faire en respectant l'Article 12 de l'Arrêté du 22 Septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrière (modifié par Arrêté du 24 Avril 2017 – art. 2).

Dans cette réglementation l'exploitant de tout site d'extraction est tenu de « remettre en état le site affecté par son activité, compte tenu des caractéristiques essentielles du milieu environnant » [1] et « comporte au minimum :

-la mise en sécurité des fronts de taille ;

-le nettoyage de l'ensemble des terrains et, d'une manière générale, la suppression de toutes les structures n'ayant pas d'utilité après la remise en état du site ;

-l'insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage, compte tenu de la vocation ultérieure du site. »

L'exploitant est donc tenu de limiter l'impact principalement visuel de son ancien site d'exploitation en essayant au maximum de l'intégrer au paysage, tout en assurant la sécurité et la propreté de son site.

En plus de cette obligation liée à l'intégration paysagère vient s'ajouter l'intérêt pour le potentiel écologique du site. La carrière de Campagne, de par l'exploitation dont elle a fait l'objet est un espace endommagé, formé d'un ensemble de falaises et de replats exclusivement minéraux et quasi stériles, où la vie végétale ou animale n'a pu se développer en raison des nombreux passages d'engins et de personnel. Or, l'intégration paysagère du site passe généralement par la mise en place d'un couvert végétal capable de masquer les traces de l'ancienne activité. Ainsi, afin d'atteindre un l'objectif énoncé, il est commun de mettre en place des stratégies visant à permettre une évolution efficace de la végétation.

L'objectif de ce projet est donc multiple : réaliser un travail de restauration écologique sur le territoire de la carrière afin d'assister la régénération d'un écosystème fonctionnel capable de réaliser les objectifs de remise en état énoncés précédemment tout en suivant les consignes de la loi de 1994 relatif aux exploitations de carrières.

C'est pour pouvoir réaliser ces objectifs que la suite de ce diagnostic cherchera à déterminer les paramètres biotiques et abiotiques caractéristiques de la carrière de Campagne après son exploitation.

3. Le substrat rocheux

Premièrement nous chercherons à déterminer les paramètres abiotiques caractéristiques de la carrière. Parmi ces paramètres le substrat sera déterminant pour le développement d'une communauté végétale sur la carrière. Le minéral exploité sur la carrière est un calcaire correspondant à l'étage coniacien ($-89,8 \pm 0,3$ et $-86,3 \pm 0,5$ millions d'années) [4], [5] et représente la roche la plus exposée sur le site aujourd'hui (une surface marginale de calcaire turonien a certainement été exposée lors des activités d'extraction mais reste minoritaire).

Ce calcaire issu des dépôts sédimentaires retrouvés sur l'ensemble du troisième gradin géologique en Dordogne [6] est dur, pauvre en argiles entre dans la catégorie des roches calco-magnésiennes dont les carbonates s'altèrent lentement au contact de l'eau chargée en CO_2 et des acides organiques, libérant Calcium et Magnésium favorable au développement des végétaux selon : $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$ [7] et offrant un milieu basique.

En temps normal ce procédé est efficace et facilité par l'humidité des couches supérieures du sol. Mais dans le cas de notre carrière et comme dit précédemment nous sommes face à une situation où le sol n'existe plus et n'est donc plus capable de participer à cette action. Ainsi seule la pluie est pour le moment capable de réaliser la dissolution de ces roches alors que sa concentration en CO_2 est jusqu'à 100 fois inférieure à celle de l'eau du sol [7] P54.

Cette rupture édaphique avec le milieu alentour aboutit dans les conditions actuelles à la formation d'un milieu oligotrophe et relativement compact impropre au développement d'une communauté végétale capable de masquer la présence de la carrière dans le paysage (voir Photographie 2).



Photographie 2 : Zone de traitement de la carrière de Campagne
(partie basse)

4. Le relief issu de l'exploitation

Comme expliqué précédemment la carrière de Campagne est exploitée selon la méthode dite « à flanc de relief ». Il en résulte un relief caractérisé par un ensemble de falaises (fronts de taille) de hauteur variable (jusqu'à 15 mètres de haut) et de replats (banquettes) organisés en gradins.



Photographie 3 : Photographie 3D de la carrière de Campagne par Gerpho 3D [25] :

Ces fronts de taille et banquettes forment globalement un angle dont l'ouverture est orientée vers le sud mais la majorité des fronts sont orientés ouest/sud-ouest. Ces gradins s'étalent sur la majeure surface de la carrière ainsi que sur l'ensemble de sa dimension verticale (de +65 m NGF à +155 m NGF). Ce système de gradin entraîne des ruptures de pente très irrégulières entre falaises de hauteurs variables et replats aux surfaces elles aussi variables.

Ainsi, le relief de la carrière contraste avec le relief naturel alentours où la pente est linéaire et bien plus régulière (0.25/1 m/m) pour une altitude quasi identique.

Les fronts de tailles aujourd'hui présents sont représentés sur la figure 2. Sur cette même figure la partie exempt de fronts de taille correspond à une zone n'étant pas encore exploitée. Comme nous considérons que l'exploitation est terminée nous considérerons que le relief de cette zone restera inchangé.



Fig. 2 : Les fronts de taille de la carrière de Campagne

Fond de carte : www.géoportail.gouv.fr

Légende :

— : Front de taille

5. Le climat

Pour déterminer les conditions climatiques régnant dans la carrière de Campagne nous utiliserons les données météorologiques enregistrées de 1981 à 2010 sur les stations météorologiques de Bergerac-Roumaniere (24), Périgueux-Bassillac (24) et Gourdon (46) : [8] [9] [10]

Localisation des stations météorologiques

Station	Gourdon	Bergerac - Roumaniere	Périgueux - Bassillac
Département	Lot (46)	Dordogne (24)	Dordogne (24)
Altitude (m) NGF	259	51	95
Coordonnées GPS	44,75°N 1,40°E	44,82°N 0,52°E	45,19°N 0,82°E
Distance de la carrière (km)	37,29	37,59	37,11

Ces stations sont toutes situées à environ 37 km de la carrière et cette dernière se trouve au centre du triangle délimité par ces trois stations. Ainsi, on peut estimer qu'une moyenne des températures de ces trois stations donne une bonne approximation des températures moyennes à la carrière avec :

Températures moyennes mensuelles sur la période 1981 - 2010 (C°) 1/2

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Gourdon	5,3	6,4	9,2	11,5	15,8	18,5	20,8
Bergerac - Roumaniere	5	6	8,8	11,4	15	17,9	20,5
Périgueux - Bassillac	4,8	5,6	8	10	13,3	15,8	17,8
Moyenne des trois stations	5	6	8,7	11	14,7	17,4	19,7

Températures moyennes mensuelles sur la période 1981 - 2010 (C°) 2/2

	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Toute la période
Gourdon	20,5	16,9	13,7	8,5	5,9	12,7
Bergerac - Roumaniere	20,1	17,2	13,6	8,3	5,6	12,5
Périgueux - Bassillac	17,7	14,4	11,7	7,5	5,2	11
Moyenne des trois stations	19,4	16,2	13	8,1	5,6	12,1

Nous obtenons aussi les températures moyennes maximales, minimales et les amplitudes thermiques moyennes suivantes (tableaux complets en Annexe 2) :

	Température mensuelle maximale sur la période 1981 - 2010 (C°)	Température mensuelle minimale sur la période 1981 - 2010 (C°)	Amplitude thermique annuelle moyenne 1981 - 2010 (C°)
Moyenne des trois stations	18,2	5	25,6

Pour ce qui est des précipitations nous considérerons que la hauteur d'eau tombée sur la surface que représente le triangle dont les sommets sont formés par les trois stations météorologiques est représentative de la pluie tombée sur la carrière. Ainsi nous utilisons les polygones de Thiessen (Figure3) pour déterminer quelle est la participation de chaque station à la hauteur d'eau annuelle pour l'aire déterminée et donc leur participation à la hauteur d'eau tombée sur la carrière.

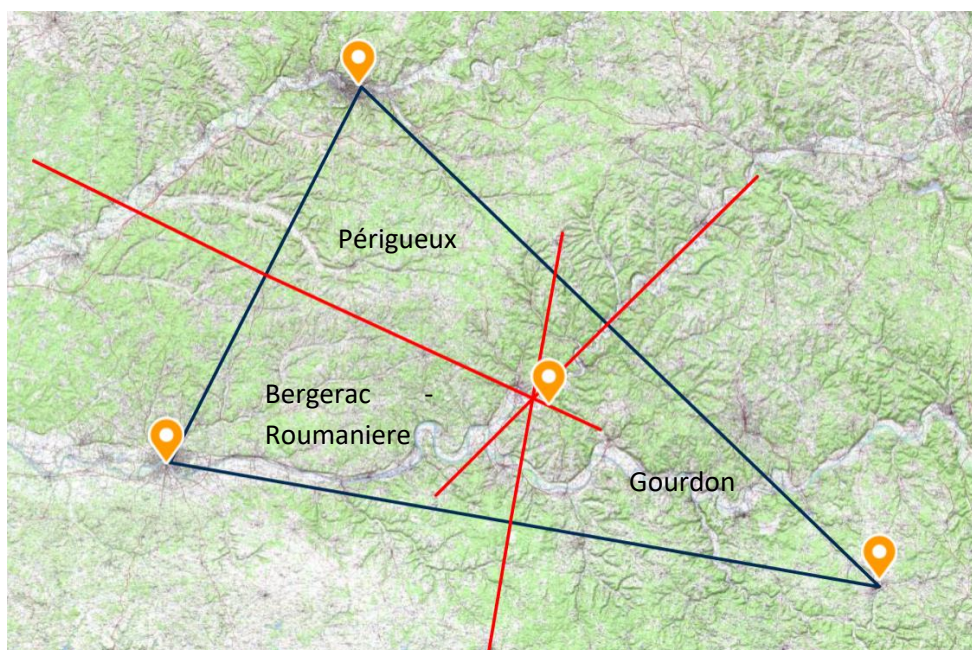
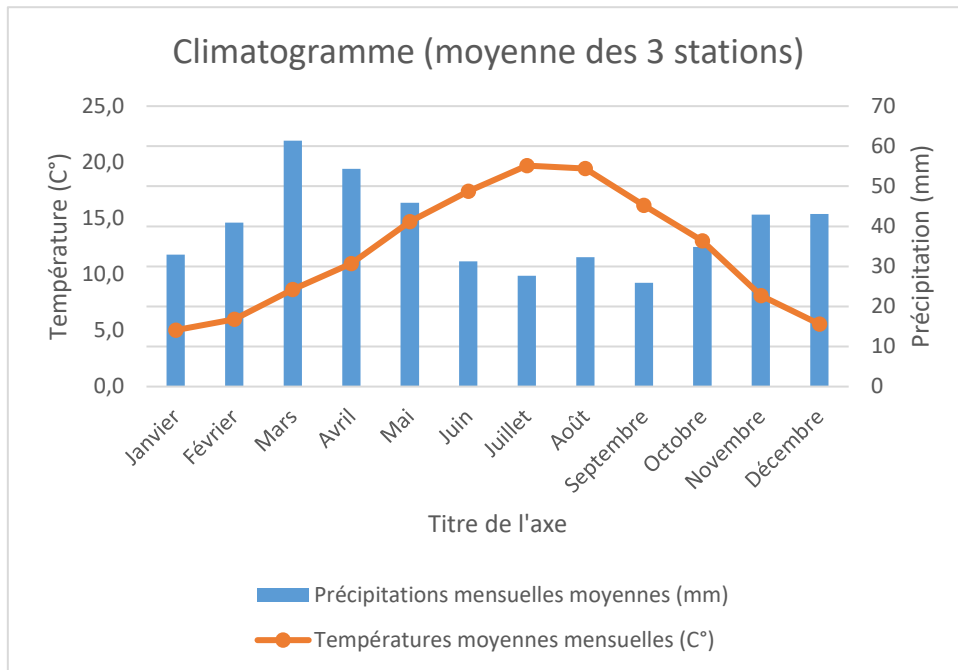


Fig. 3 : Découpage des polygones de Thiessen autour de la carrière

Nous obtenons les coefficients correspondants à chaque station et pouvons les appliquer à la pluviométrie :

Station	Surface (km ²)	Coefficient correspondant	Précipitations à la station (mm)	Précipitation après application du coefficient (mm)
Gourdon	486,4	0,3	546,7	183,7
Bergerac - Roumaniere	520,8	0,4	536,1	192,9
Périgueux - Bassillac	440,0	0,3	410,6	124,8
Total	1447,1	1,0		501,5

On obtient donc un total pluviométrique annuel moyen à la carrière calculé de 1981 à 2010 de 501,2 mm. Avec les températures moyennes et les précipitations moyennes on peut réaliser le climatogramme suivant :



Avec ces informations et en utilisant la classification des climats selon Köppen – Geiger nous obtenons un climat codé Cfb, c'est-à-dire un climat tempéré chaud sans saison sèche aux été tempéré. [11]

Notons tout de même que l'absence de végétation, de sol et la blancheur de la roche mise à nue (albédo élevé) tendent à créer un micro climat plus sec et plus chaud que la normale.

6. La faune et la flore sur, et autour du site

Si le climat régnant sur le secteur de la carrière permet un bon développement de la végétation en général cette dernière fait exception. En effet comme dit précédemment l'absence de sol, de végétation et la roche mise à nue créent un micro climat plus chaud et plus sec qu'aux alentours de la carrière. De plus l'intense passage de personnel et d'engins d'extraction et de transport rendent le développement de végétaux particulièrement difficile. Il en résulte un terrain particulièrement nu mais pas exempt de vie végétale puisqu'un certain nombre de végétaux sont capables de se développer sur les éboulis, fronts de taille et surfaces non exploités. On y retrouvera un certain nombre d'espèces rupicoles, xérophiles, calcicoles adaptées (végétation principalement herbacée). [12]

Si une végétation adaptée peut se développer sur ces milieux on peut aussi y trouver une faune tout aussi caractéristique. Ainsi, ces milieux permettent la vie de reptiles, d'invertébrés et d'oiseaux qui trouveront des habitats propices à nicher ou se cacher. Cependant la faune est bien plus impactée que la végétation par l'activité de la carrière et ne sont que marginalement représentés dans la carrière de Campagne. D'autant plus que cette dernière ne dispose que de très peu d'espaces non exploités, réduisant drastiquement les espaces propices au développement de la faune.

A l'inverse autour de la carrière se trouve 245 Hectares d'un espace sensible à la biodiversité riche et aux milieux bien différents. En effet la forêt de Campagne offre des milieux nombreux et variés tels que des forêts de chênes, des pelouses calcaires, des hêtraies, des charmaies et bien d'autres. On retrouve entre autre dans cette forêt des chênes verts, des chênes pubescents, des châtaigniers, des noisetiers, des pins sylvestres et des pins maritimes. [13]

Ces formations forestières indique des écosystèmes anciens de type 2 (stade climacique) issus de processus de successions écologiques établies sur plusieurs siècles [14]. Aussi l'espace déboisé lors de l'exploitation correspondait à une végétation de type 2.



Photographie 3 : Un circaète jean le blanc
Source : oiseaux.net

La faune de la forêt de Campagne est aussi riche que sa flore. On peut y observer de nombreux cervidés et sangliers ainsi que des espèces typiques de ces milieux forestiers (blaireau, renard, fouine, écureuil, lièvre etc...). Mais on peut aussi y trouver des espèces plus rares comme la Genette, le circaète jean le blanc (Photographie 3), le faucon pèlerin et le tichodrome échelette (Photographie 4).

Enfin notons aussi que le nombre élevé de parois rocheuses offrent un gîte à plusieurs espèces de chauves-souris pour leur reproduction ou leur hibernation. [13]



Photographie 4 : Un tichodrome
échelette

Source : oiseaux.net

7. Pollutions diverses

Enfin nous devons nous poser la question d'une possible pollution du site liée à son activité. Classée comme ICPE la carrière de Campagne est tenue de respecter un certain nombre d'engagements en matière de lutte contre les pollutions diffuses et ponctuelles. C'est pourquoi en l'absence d'accident de grande ampleur lors de l'exploitation de la carrière nous considérons que le site ne souffre d'aucune pollution particulièrement nuisible pour le développement de communautés animales et végétales.

VI. Le Projet d'aménagement

Comme énoncé précédemment l'objectif de ce projet est multiple. Réaliser un travail de restauration écologique sur le territoire de la carrière et assister la régénération d'un écosystème fonctionnel qui serait aussi capable de réaliser les objectifs de remise en état tout en suivant les consignes de la loi de 1994 relatif aux exploitations de carrières.

Pour pouvoir réaliser ces objectifs nous pouvons agir sur certains éléments de la carrière :

- Les fronts de tailles
- La nature du substrat
- L'implantation de végétaux

1. Les aménagements sur la carrière

a. Les fronts de taille

Le premier élément que nous prenons en compte sont les fronts de taille car ces derniers sont responsables du relief du site et influent sur les paramètres du support et donc sur l'implantation des végétaux.

Comme explicité dans loi de 1994 relatif aux exploitations de carrières il est nécessaire de procéder à la mise en sécurité des fronts de taille pour éviter tout effondrement et chute de bloc due à l'instabilité de ces derniers et qui serait capable de blesser une personne. Cette instabilité s'explique par l'effet de l'érosion et de la dissolution de la roche pouvant libérer des blocs ou encore par l'effet du gel et du dégel d'eau infiltrée dans la paroi. Pour sécuriser les fronts il existe deux méthodes [3] :

- La méthode directe : Cette méthode vise à renforcer les zones instables ou raboter tout ou partie d'un front de taille. Pour réaliser cela il existe trois techniques. La première consiste à mettre en place des protections mécaniques telles que des voiles de bétons projetés sur un maillage métallique ancré dans la roche, des ancrages boulonnés dans la roche ou encore des grillages plaqués sur la paroi afin de bloquer les blocs dans leur chute. La deuxième technique consiste à purger manuellement les fronts de taille c'est-à-dire provoquer volontairement la chute de blocs instables.

Cependant ces deux premières techniques impliquent soit un aménagement lourd sur les parois qui serait visible (et coûteux) soit une intervention régulière d'agents chargés de surveiller et de provoquer les chutes de bloc. Puisque un de nos objectifs est de réussir à intégrer la carrière dans le paysage la première technique et à exclure. De plus chercher à contrôler la chute de bloc perturberait l'évolution naturelle des parois alors que nous souhaitons soustraire ce milieu à des interventions anthropiques trop régulières. Pour pouvoir sécuriser les fronts il existe une troisième méthode directe : le terrassement.

Le terrassement consiste à raboter le front de taille et à laisser les matériaux obtenus sur place afin de lui donner une pente plus douce, se rapprochant du profil naturel. Cette technique, présente le double avantage de limiter les interventions et de redonner à la carrière une allure moins « brute » et plus proche d'un relief naturel.

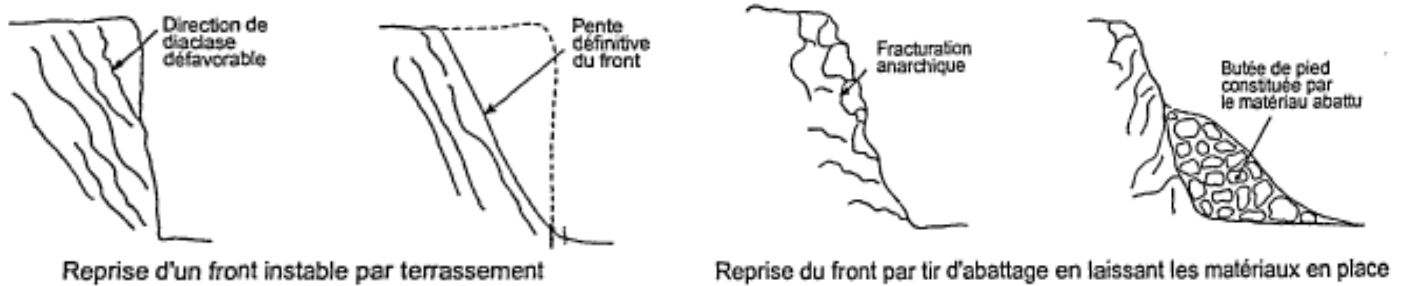


Fig. 4 : rectification du profil d'un front de taille [3]

- La méthode indirecte : Cette deuxième méthode repose sur des techniques de pièges à blocs aux pieds du front afin d'éviter leur roulement et sur la mise en place de périmètres de protection au sommet des fronts de taille (clôtures, haies d'épineux ou enrochements...).

Ces techniques ont l'avantage là aussi de limiter les interventions dans le temps et de permettre de faciliter le camouflage des fronts de taille en utilisant des écrans de matériaux naturels qui pourraient servir de support pour des végétaux en pied de front.

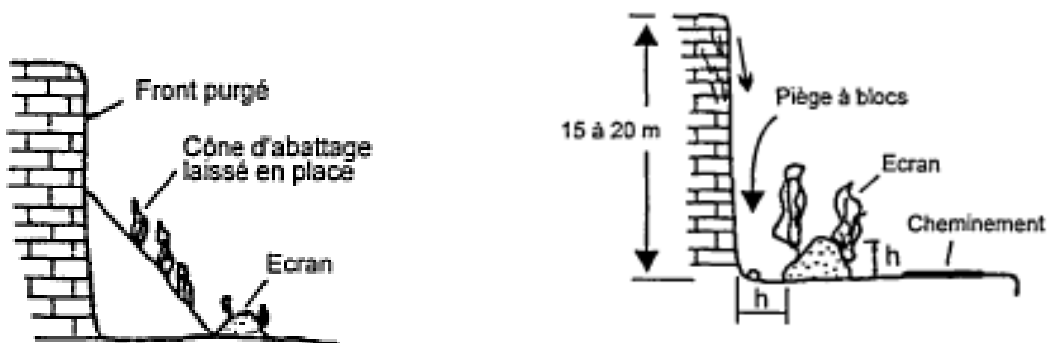


Fig. 5 : création d'une zone de protection en pied de falaise [3]

Disposant de ces techniques nous pouvons déterminer celles que nous souhaitons mettre en place sur la carrière de campagne et les endroits où nous souhaitons les appliquer.

L'idée est de combiner les techniques qui correspondent le plus à nos objectifs et d'utiliser en parallèle pour offrir un maximum de diversité d'habitats pour les espèces végétales et animales qui peupleront la carrière :



Fig. 6 : Les modifications apportées aux fronts de taille de la carrière de Campagne

Fond de carte : www.géoportail.gouv.fr

Légende :

- : Front de taille maintenu
- : Front de taille terrassé

Pour cela nous maintiendrons la forme actuelle des fronts de taille les plus hauts, de plus il se trouve que ces fronts sont orientés sud faisant d'eux les fronts les moins visibles depuis les alentours, ainsi ces derniers ne gêneront pas l'intégration de ma carrière dans le paysage. Ces derniers nécessiteront donc d'être sécurisés à leur sommet pour éviter tout risque de chute ainsi qu'à leur base pour éviter tout roulement de blocs. Leurs sommets seront donc clôturés afin de s'assurer que personne ne s'approche des bords du front de taille et il sera érigé à leurs bases des pièges à bloc constitués de matériaux solides issus des rebus de production de la carrière et de découverte (stériles) et de terre végétale pour permettre la prise de végétaux capables de renforcer le piège et de masquer une partie du front.

Ces fronts maintenus permettent de plus de créer un habitat favorable au développement d'espèces végétales herbacées rupicoles et calcicoles dans les fissures que ces derniers présentent naturellement. Les fissures plus larges pourront elles servir d'habitats à des plantes de friches vivaces et annuelles et à des colonisateurs ligneux [12]. Les différences d'exposition au sien de la paroi (bien que minimes) permettent elles une grande variabilité des conditions climatiques pouvant convenir à certaines espèces de reptiles.

En plus de ces fissures, des irrégularités seront spécialement aménagées sur la paroi afin de renforcer l'hétérogénéité au sein de la paroi et présenter un maximum d'habitats différents. La création de zones de surplomb sera de plus capable de supporter la nidification d'oiseaux rupestre, action d'autant plus pertinente que le secteur et la forêt de Campagne abrite des faucons pèlerins et chauves-souris susceptibles de coloniser ces parois.

Les fronts terrassés quant à eux présenteront une pente plus douce que les parois aménagées. Elles seront constituées d'un remblai de stériles concassé recouvert de terre végétale. Ces stériles utilisés ne devront être ni trop fin ni trop gros car un matériau trop fin risquait de s'écouler dans la pente au cours du temps mais des matériaux trop gros ne retiendraient pas assez la matière et l'humidité pour permettre le développement de la végétation pionnière. Cependant pour multiplier les habitats certaines parties de ces remblais ne seront pas recouvert de terre végétale afin de créer des habitats de type « éboulis » évoluant au cours du temps, accumulant plus ou moins des matériaux. Ces derniers habitats sont particulièrement adaptés au développement des invertébrés et des reptiles pour les nombreux abris qui y sont à leur disposition [12]. Il sera nécessaire de répartir ces éboulis entre les paliers afin d'assurer une continuité écologique entre ces paliers.

b. Le substrat

Si les aménagements des fronts de taille modifient le relief, sécurisent le site et permettent l'installation d'espèces animales et végétales dans leurs irrégularités, le reste de la carrière est dans l'état fort peu propice au développement de la végétation et à son intégration avec le paysage alentour. Pour remédier à ce problème il existe plusieurs aménagements possibles que nous mettrons en place afin de recréer un substrat capable de réaliser nos objectifs.

La première étape consistera en un décompactage des surfaces planes pour ameubler le sol en le ripant et en le retournant sur une profondeur d'au moins 1 mètre afin de permettre un enracinement satisfaisant (figure 7). Après quoi seront aménagés des irrégularités de terrains à l'aide de stériles entassés. Ces irrégularités permettront de casser l'aspect « lisse » des banquettes et du fond de carrière, et en insistant sur l'aménagement de dépressions dans les parties basses de créer des mares temporaires favorables au développement de la faune et de la flore [3].

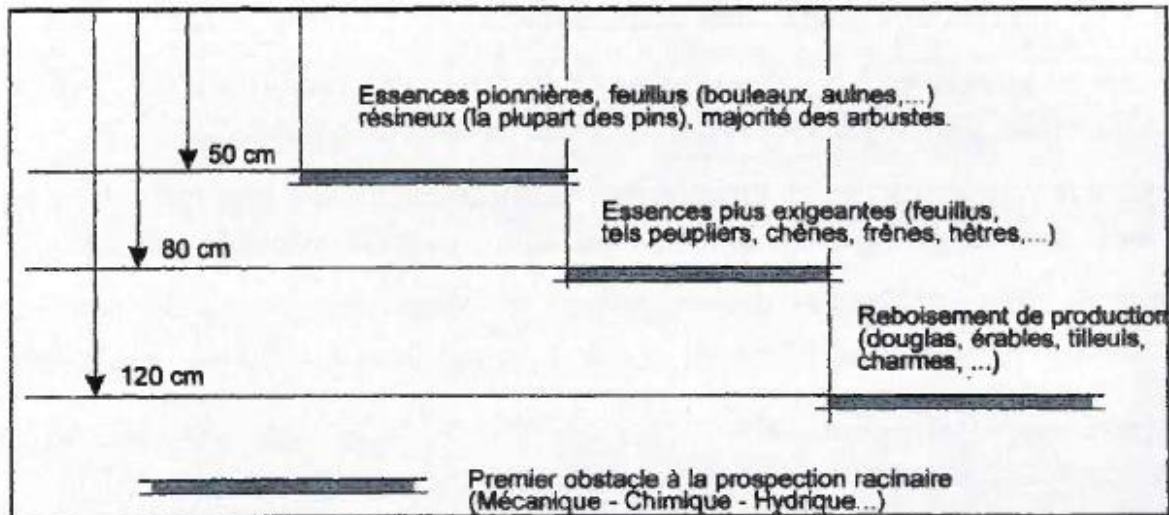


Figure 7 : épaisseur minimale de terre végétale à mettre en place pour permettre une implantation satisfaisante des différentes espèces d'arbres [3]

L'ensemble de ces aménagements et les remblais couverts énoncés dans la partie précédente devront par la suite être recouvert de terre végétale sur une épaisseur d'environ 1 mètre. Cette terre végétale est directement issue de la couche de terre originelle ayant été déblayée précédemment lors de l'exploitation de la carrière puis stockée jusqu'à son utilisation pour ces activités de restauration. Elle devra être déposée en respectant l'ordre d'empilement des horizons pédologiques (ces horizons ont été dissociés lors du décapage qui a été réalisé couche par couche). Cette terre végétale permettra de relancer l'activité chimique et biologique du sol, tout en augmentant les capacités de rétention en eau du milieu et donc sa capacité à supporter de la vie. En cas de manque de terre végétale il reste possible de privilégier une épaisseur suffisante à certains endroits quitte à réduire la surface recouverte plutôt que de prendre le risque d'étaler une couche trop fine. Si les quantités étaient vraiment trop faibles pour réaliser les objectifs minimum alors il reste possible d'importer des produits de décantation, des boues d'épuration ou du compost pour réaliser cette couverture [3].

Enfin si nécessaire un apport supplémentaire de matière organique pourra être réalisé lors des premières étapes de la recolonisation végétale afin de relancer la dynamique du sol, des microorganismes et des végétaux, plantés ou arrivés naturellement.

c. L'implantation de végétaux

Une fois qu'un sol propice au développement de la végétation est créé se pose la question de l'implantation de végétaux. En effet il est possible de laisser la colonisation naturelle se faire ou de procéder à la plantation d'arbres. Si la volonté de ce projet est de laisser la nature jouer son rôle au

maximum il reste pertinent de planter des arbres sur les pièges à blocs et merlons présents aux pieds des fronts de taille pour masquer ces derniers.

Ainsi, la majorité des réaménagements sera laissée à la colonisation naturelle mais des essences typiques de la forêt de Campagne seront plantées sur les merlons des parties basses. Seront sélectionnés des chênes verts et pubescents qui correspondent en temps normal au stade climacique du milieu. Ces jeunes arbres plantés devront être suivis et permettront d'estimer la réponse des végétaux au sol nouvellement formé. L'avantage d'utiliser des arbres caractéristiques de stade climacique est qu'ils grandiront lentement sans risquer de coloniser l'ensemble de la carrière, de plus ils seront à l'origine d'un micro habitat de plus sur leurs remblais (on obtiendra des espaces où une végétation arbustive sera présente dès le début de la restitution du milieu à la nature) [14].

Cependant il sera nécessaire de surveiller très attentivement ces plants car il est fort probable que ce sol jeune et non-structuré couplé à l'absence d'une communauté végétale et animale terminale qui les accompagne habituellement ne permette pas leur maintien sur une longue période. Dans ce cas il sera considéré que seul le temps permettra aux successions écologiques de se suivre et surtout au sol de se structurer.

2. Les évolutions dans la carrière

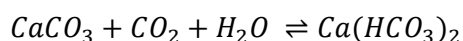
Les aménagements énoncés précédemment semblent pouvoir installer des bases solides pour un retour de la nature sur la carrière et réussir une intégration paysagère satisfaisante. Cependant il est difficilement possible de prévoir avec exactitude l'évolution des communautés végétales. Nous pouvons tout de même estimer une possible évolution s'étalant sur plusieurs centaines d'années pour notre carrière.

a. Le sol

Si l'objectif de ce projet est d'obtenir un bon retour de la végétation sur notre carrière, ce retour est principalement conditionnée par l'évolution du sol que nous avons venons de reformer. Ce dernier est constitué d'une surface de roche mère calcaire dure coniacienne. Au-dessus, 1 mètre de matière principalement minérale ayant été ameublie, d'une structure et composition quasi identique à la roche mère. Enfin, nous avons une couche finale de terre végétale ayant été décapée (parfois plusieurs années auparavant).

Ce milieu, quoi que jeune offre d'avantages d'opportunités en terme d'évolution du sol et par conséquent de reprise végétale. Ce sol réaménagé peut évoluer de nombreuses manières différentes. Les évolutions et caractéristiques énoncés ci-après ne sont que des hypothèses conditionnant les réflexions suivantes concernant la faune et la flore.

Tout d'abord considérons que ce nouveau sol présente entre autre une capacité de rétention d'eau largement accrue en comparaison à la surface calcaire présente avant ces aménagements. Or, le CO₂ contenu dans cette eau va interagir progressivement avec la roche mère et avec la manière minérale ameublie de ce sol calcimorphe :



De cette interaction sera libéré du Calcium et du Magnésium qui sont en l'état favorables au développement des végétaux.

A cet effet va s'ajouter l'action des facteurs biologiques. Les animaux, végétaux et microorganismes qui vont par leur activité générer des résidus principalement organiques et des nitrates et qui en s'ajoutant à la masse minérale, et en évoluant donnent de l'humus [7].

Cet humus va enrichir le sol en complexes argilo-humiques. Ces colloïdes adsorbant seront déterminants pour la capacité du sol à retenir les éléments nécessaires au développement de la végétation et à la formation des horizons pédologiques, agit comme un tampon et réduisant les effets du lessivage [15]. Ces complexes colloïdaux sont aussi capables de libérer les éléments nutritifs captés contre des ions H^+ générés par l'activité biologique. De plus, la structure calcimorphe du sol devrait permettre de lutter contre l'acidification du sol normalement provoquée par un manque d'ions Ca^{++} .

Cependant, cette grande quantité de Calcium disponible peut provoquer une saturation des complexes en Ca^{++} et ce au détriment du Magnésium et du Potassium qui peuvent alors manquer au sol. Cette saturation peut aussi entraîner l'insolubilisation d'oligoéléments indispensables et des carences en Phosphore et en Azote. Pour finir, une quantité élevée d'ions Ca^{++} tendent à se reformer en CaCO_3 autour de l'humus, limitant sa dégradation et s'accumulant. Amenant au final à un sol dit brun, présentant un horizon humique de type « MULL » [16]. Ce type de sol peut être intéressant dans le cadre de notre projet car ces derniers sont capables de supporter des écosystèmes de prairies et de pelouses ainsi que de forêts de feuillus. Ces deux écosystèmes étant représentés dans la forêt de Campagne, faisant office de « modèle » pour la restauration écologique de la carrière.

b. La flore

Si le sol évolue bien vers une structure calcaires telle qu'énoncée précédemment les communautés végétales qui s'y enchaîneront devront présenter un profil capable de survivre dans ces conditions. Heureusement la présence d'une végétation adaptée à une croissance sur un substrat calcaire dans la forêt alentours tend à faire penser qu'un développement de végétaux sur la carrière semble possible. Dans cette partie nous chercherons à déterminer les évolutions possibles de la végétation au cours du temps sur la carrière. Cette détermination n'a pas le seul objectif d'émettre des hypothèses mais nous permet aussi de déterminer un stade qui sera notre « objectif » de revégétalisation. Ce stade objectif sera jugé satisfaisant s'il est capable de remplir nos objectifs de relance biologique sur le milieu et de camouflage de notre ancienne exploitation.

En étudiant la carte de végétation potentielle du CNRS nous pouvons observer que la zone dans laquelle la carrière est incluse est une zone de chênaie verte (Code UCV : 22221) [17]. Cependant, la carte de la végétation de France la situe dans la série du chêne pubescent [18].

Avec ces seules informations nous ne pouvons déterminer laquelle des deux sources est la plus fiable. Remarquons tout de même qu'il est possible de retrouver les deux types de chêne dans la forêt de campagne. Ces deux espèces de chêne présentent approximativement les mêmes tolérances à la sécheresse et aux sols calcaires, nous pouvons donc supposer que le stade terminal de notre carrière pourrait correspondre à un arrangement de chênes verts et pubescents dont la présence sera conditionnée par des variations de micro habitat. D'autant plus que nous trouverons de nombreux milieux différents dans la carrière réaménagée. Nous pourrions y trouver des surfaces relativement planes et des remblais recouverts de terre végétale, des éboulis nus et des falaises qui seront complétées par une multitude de micro habitats conditionnés par une multitude de paramètres tels que les végétaux en présence, l'orientation, l'exposition etc...

Notons tout de même que les points qui seront énoncés ci-après sont là encore des hypothèses. Car les successions végétales sont tout aussi incertaines que l'évolution du sol.

Dans le développement de ces hypothèses nous adopterons une approche non déterministe des successions. Cette dernière nous permet d'expliquer pourquoi nous trouvons des chênes pubescents et vert dans le secteur de la carrière. Ces deux espèces se développent dans des conditions quasi similaires et les différences de micro habitats peuvent expliquer cette divergence en plusieurs climax car cette approche dit que : « Pour un habitat d'une région donnée, la succession peut suivre des itinéraires différents et aboutir à un climax ou à un autre » [14].

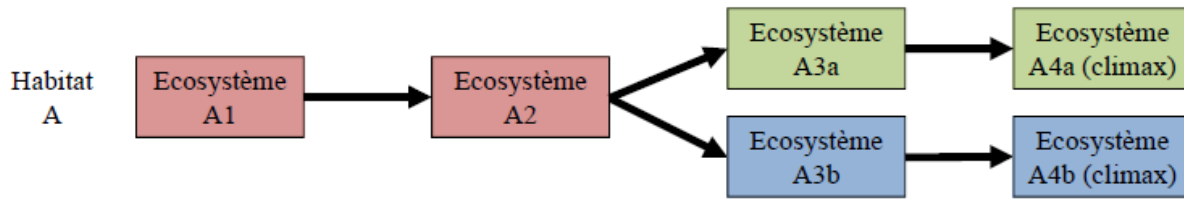


Fig. 8 : Successions d'habitats selon une approche non déterministe des successions

Dans cette théorie se sont les interactions biotiques, non prévisibles qui déterminent l'itinéraire suivi par la succession. Nous considérons aussi que ces successions sont progressives et non régressives car la carrière fait l'objet d'un suivi capable de déterminer si quelque chose empêche la réalisation de cette progression des habitats et donc d'agir en conséquence.

Remis dans notre contexte de climat tempéré chaud sans saison sèche aux étés tempérés et de substrat calcique nous pouvons supposer que la succession pourrait être résumée de la sorte :

Sol nu → Prairie → Broussailles → Forêt de type 1 → Forêt de type 2 (stade climacique)

Dans cette succession les premiers stades sont lents car le substrat est pauvre. Il faut plusieurs générations d'espèces colonisatrices pour enrichir le milieu et former un sol suffisamment structuré pour permettre l'installation d'espèces caractéristiques du stade suivant (facilitation) [14].

Les stades suivant devraient eux évolués plus rapidement, en liaison à cet enrichissement du milieu. Il nous faut tout de même encore une fois insister sur le fait que ces successions se réaliseront sur un laps de temps extrêmement long (plusieurs dizaines d'années sur les premiers stades à plusieurs centaines d'année pour atteindre les stades finaux).

Ainsi comme déterminé précédemment, chercher à déterminer les successions d'habitats qui pourraient s'enchaîner sur la carrière nous permet de définir un stade « objectif » qui est réalisable et qui remplis nos objectifs. Or, nous venons de définir qu'il ne devrait pas avoir un stade climacique unique dans la carrière mais plutôt un ensemble de communautés qui coexisteraient sur la carrière en fonction principalement de leur type et de l'évolution de leur substrat.

Ces habitats « objectifs » seront donc en fonction du substrat. [19] [20] [21] [22] [23]:

Type de substrat/milieu	Surfaces recouvertes de terre végétale	Roche presque nue / peu recouverte / espèces colonisatrices		éboulis nus / falaises
Stade terminal	Chênaie verte et pubescente	Pelouse calcicole xérocline	Pelouse calcicole xérophiles	Pelouse rupicole calcaire
Exemples de membres du cortège végétal indicateur du stade terminal	Chêne vert (<i>Quercus ilex</i>) Chêne pubescent (<i>Quercus pubescens</i>)	Brome dressé (<i>Bromus erectus</i>)	Fumana à tiges retombantes (<i>Fumana procumbens</i>)	Ail à tête ronde (<i>Allium sphaerocephalon</i> L.)
	Eglantier toujours vert (<i>Rosa sempervirens</i>)	Pimprenelle (<i>Sanguisorba minor</i>)	Hélianthème des apenins (<i>Helianthemum apenninum</i>)	Céraiste nain (<i>Cerastium pumilum</i>)
	Neprun alaterne (<i>Rhamnus alaternus</i>)	Fer à cheval (<i>Hippocrepis comosa</i>)	Astragale de Montpellier (<i>Astragalus monspessulanus</i>)	Orpin âcre (<i>Sedum acre</i>)
	Lantane (<i>Viburnum lantana</i>)	<i>Koeleria pyramidata</i>	Laîche de Haller (<i>Carex halleriana</i>)	Bec-de-grue à feuille de ciguë (<i>Erodium cicutarium</i>)
	Aubépine monogyne (<i>Crataegus monogyna</i>)	Asperlude à l'esquinancie (<i>Asperula cynanchica</i>)	Ail à tête ronde (<i>Allium sphaerocephalon</i> L.)	Hypne cyprès (<i>Hypnum cupressiforme</i>)
	Garance voyageuse (<i>Rubia peregrina</i>)	Laîche glauque (<i>Carex flacca</i>)	Barbon (<i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng)	Orpin à pétales dressés (<i>Sedum ochroleum</i>)

Milieus sur la carrière et exemple de population en fonction des stades terminaux

Ainsi grâce à ces informations nous pouvons observer si le développement de la végétation dans la carrière correspond à notre végétation « objectif » et donc agir en conséquence sur le milieu. C'est-à-dire prendre les mesures nécessaires pour faire varier les paramètres abiotiques (gestion de l'eau, gestion de la matière organique et minérale etc...) et biotiques (arrachage d'espèces indésirables,

plantation d'espèces « objectif » si nécessaire, lutte biologique contre les espèces nuisible au développement de la végétation).

c. La faune

Si un des objectifs de la végétation est de camoufler la carrière dans le milieu environnant, elle doit aussi pouvoir remplir ses fonctions de support et d'habitat pour la faune. En effet pour que nos aménagements soient efficace et puissent durer dans le temps il nous faut rétablir un ensemble de services d'auto-entretien réalisé en partie par la flore mais aussi par la faune [24].

Dans cette partie nous chercherons à définir certaines espèces dont la présence sur la carrière réaménagée signalera une bonne réappropriation du milieu par la nature.

Puisque nous avons déterminé les milieux terminaux « objectifs » nous pouvons aussi déterminer une population « objectif » qui accompagne les habitats créés par la végétation.

Pour commencer nous étudierons la faune du sol. Comme énoncé précédemment le substrat vers lequel notre milieu va évoluer est de type brun à humus dit « MULL ». Ce type de sol présente l'avantage de disposer d'une couche d'humus riche et marquée. Cette couche permet le développement d'une biodiversité riche et d'une mégafaune. Parmi cette mégafaune notons la présence de vers de terres capables de dégrader la matière organique et d'aérer notre sol et donc d'en améliorer les capacités d'accueil pour la faune et la flore [16]. Ce MULL permet aussi la présence d'arthropodes (Coléoptères, fourmis, Myriapodes Araignées etc...) consommateurs primaires et secondaires des végétaux et animaux supportés par ce milieu et participant à la dégradation de la matière et à la transformation de la litière.

La mésofaune et la microfaune pourront elles aussi se développer dans notre sol. Ainsi y retrouverons-nous protozoaires, nématodes, acariens et collemboles, microprédateurs ou transformateurs de litière.

Toute cette faune su sol permettra une bonne dynamique chimique et biologique de notre sol, permettant son évolution et son entretien pour éviter les appauvrissements excessifs et offrir un habitat favorable pour les espèces végétales et animales.

Concernant la mégafaune nous pouvons comme pour les végétaux nous inspirer de la forêt de Campagne pour déterminer une communauté « cible ». Dans le diagnostic nous avons pu déterminer la présence de cervidés, de sangliers, et d'espèces forestières typiques des forêts de chêne.

En fonction des milieux que nous avons recréés et des espèces naturellement présentes dans le secteur nous pouvons estimer des probabilités de présence pour certaines espèces animales [12] :

Type de milieu	Chênaie verte et pubescente	Pelouse calcicole	Falaises / Pelouse rupicole
Macrofaune possible	Faune de la forêt de Campagne : Cervidés (Cerf, Chevreuil) Sanglier Blaireaux Renards Fouines Ecureuils Lièvres	Reptiles (Lézards, Serpents) Oiseaux sur les remblais Chevreuils Lièvres Micromammifères	Oiseaux rupestre Oiseaux cavernicoles Reptiles (Lézards)

Faune "objectif", par milieu réaménagé

Cette macrofaune est tout aussi importante car elle participera elle aussi à l'entretien du milieu par son action sur le sol (bioturbateurs [16]) et les végétaux (consommation, dispersion des graines etc...).

Ces espèces se devront d'être présentes en même temps pour pouvoir permettre des relations interspécifiques et donc la survie de ces espèces. Ainsi par exemple les rapaces rupestres pourront trouver des proies chez les micromammifères des pelouses calcicoles, et ces dernières pourront trouver des proies dans les milieux forestiers où la macrofaune est particulièrement représentée.

Ainsi nous pouvons dire que cette communauté animale « objectif » se voit renforcée par la multitude d'habitats réaménagés au sein de la carrière et par la proximité de la forêt de Campagne. Cette proximité permet entre autre d'inclure la carrière dans une unité territoriale plus vaste et donc de permettre des transferts entre ces deux espaces.

Enfin, nous pourrions juger que cette restauration écologique a été correctement réalisée lorsque la présence des espèces les plus rares de la forêt de Campagne (genette, circaète jean le blanc, faucon pèlerin, tichodrome échelette) sera attestée sur la carrière.

VII. Conclusion

Aujourd'hui la carrière de Campagne présente un milieu globalement uniforme, stérile, déconnecté des écosystèmes environnants et particulièrement visible depuis les alentours. Il existe néanmoins un certain nombre d'aménagements pouvant être réalisés pour relancer une activité biologique efficace sur la carrière.

Ces aménagements sont à la fois capable de camoufler la carrière et de créer des habitats susceptibles d'héberger une grande diversité animale.

De plus, ces aménagements représentent des opportunités car ils permettent de créer des milieux différents sur le site, et donc de multiplier les habitats disponibles. Nous avons en effet modifier les fronts de tailles et les surfaces planes de la carrière, créant des milieux propres au développement de communautés de pelouses calcicoles, rupicoles et de forêts de chênes Ainsi, on peut déterminer en connaissance des aménagements réalisés et des conditions climatiques, des communautés végétales et animales « objectif » dont l'accomplissement symboliserait une réussite du projet de restauration écologique.

Cependant si ces aménagements permettent bien de réaliser les objectifs de restauration écologique et d'intégration paysagère, il n'en reste pas moins que les évolutions du sol et des peuplements végétaux et animaux restent des procédés instables, imprévisibles et particulièrement longs s'étalant sur plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'années.

Ainsi, pour que ce projet puisse aboutir à la pleine réalisation de ses objectifs il est nécessaire de mettre en place un suivi régulier du sol, de la faune et de la flore afin d'identifier toute évolution inattendue et d'agir en conséquence. Soit en procédant à des actions afin de contrer ces évolutions « indésirables » soit en les prenant en compte pour déterminer de nouveaux objectifs pour la carrière.

VIII. Bibliographie

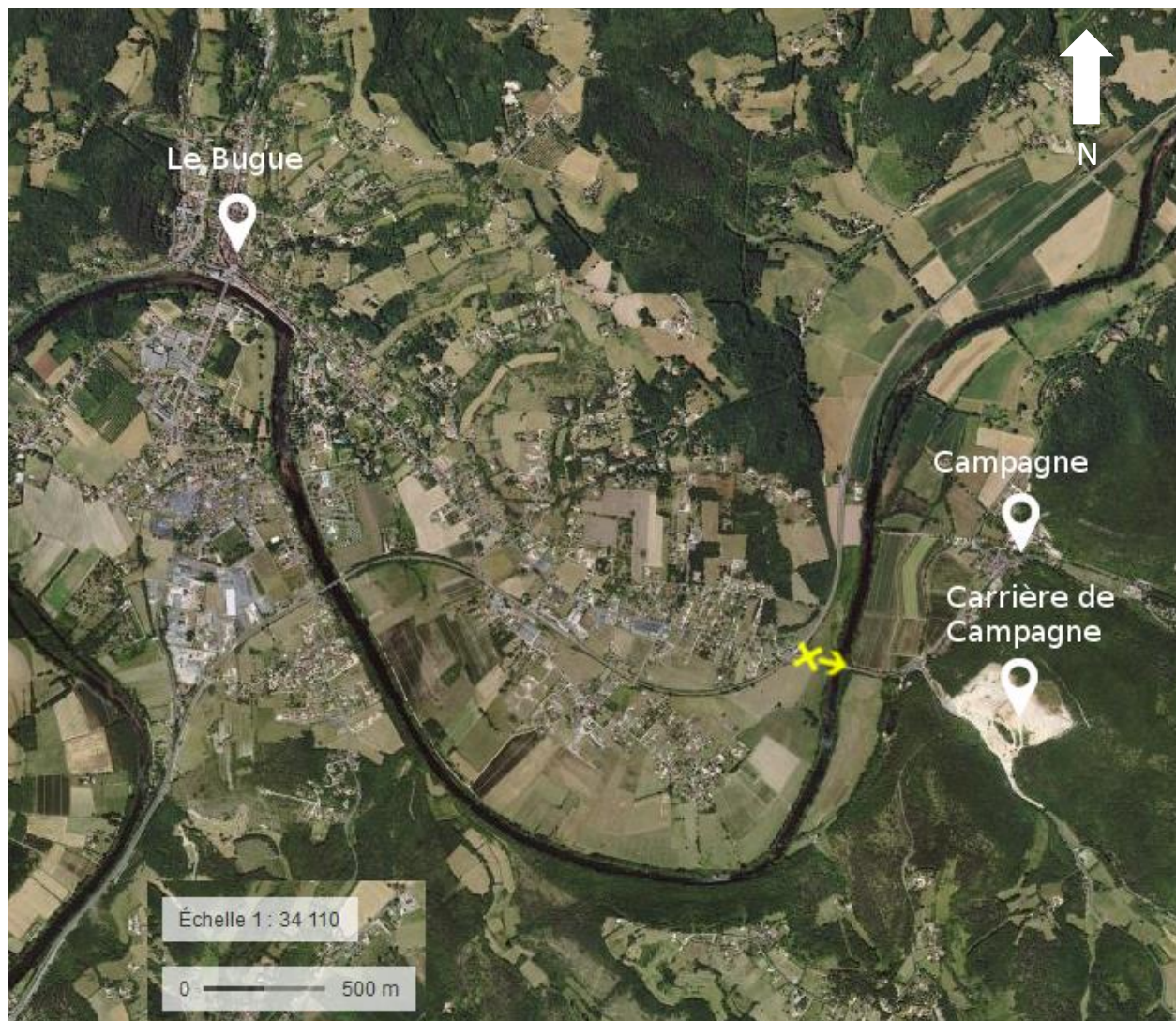
- [1] Légifrance, «Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières,» 27 Avril 2017. [En ligne]. Available: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000347845>. [Accès le 15 Mai 2017].
- [2] Légifrance, «Code minier (nouveau) - Article L100-1,» 8 Décembre 2013. [En ligne]. Available: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000023501962&idArticle=LEGIARTI000023504009>. [Accès le 12 Février 2017].
- [3] O. B. Lansart M., *La remise en état des carrières : principes généraux, recommandationstechniques et exemples par types d'exploitation Rap. BRGM*, BRGM, 1999.
- [4] B. Chadelle, «La géologie des Eyzies,» [En ligne]. Available: <http://www.karstesien.fr/geologie.html>. [Accès le 15 Mai 2017].
- [5] BRGM, *Carte géologique de la France à 1/50 000 - secteur 807 "Le Bugue"*, 1999.
- [6] Esprit de Pays, «Géologie de la Dordogne-Périgord,» [En ligne]. Available: <http://espritdepays.com/comprendre/geographie-geologie-climat/dordogne-relief-geologie>. [Accès le 15 Mai 2017].
- [7] «Les Sciences, la grande encyclopédie alpha des sciences et des techniques,» pp. 41-70.
- [8] Infoclimat, «Station météorologique de Bergerac-Roumaniere,» 20 Mai 2017. [En ligne]. Available: <http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/bergerac-roumaniere/07530.html>. [Accès le 20 Mai 2017].
- [9] Infoclimat, «Station météorologique de Périgueux-Bassillac,» 20 Mai 2017. [En ligne]. Available: <http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/perigueux-bassillac/07428.html>. [Accès le 20 Mai 2017].
- [10] Infoclimat, «Station météorologique de Gourdon,» 20 Mai 2017. [En ligne]. Available: <http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/gourdon/07535.html>. [Accès le 20 Mai 2017].

- [11] I. Veltz, «Les climats du globe,» 07 Juillet 2014. [En ligne]. Available: <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/climat/climats-de-la-terre>. [Accès le 21 Mai 2017].
- [12] UNICEM, Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives, Niort: Impressions Dumas, 2011.
- [13] Le Département Dordogne.fr, «La forêt de Campagne,» [En ligne]. Available: https://www.dordogne.fr/les_sites/la_foret_de_campagne/669-2. [Accès le 23 Janvier 2017].
- [14] O. MAIRE, *Les successions écologiques*, Station Marine d'Arcachon: Licence 3 Biologie des organismes, 2010 - 2011.
- [15] J. Y. Massenet, «Chapitre V : Chimie du sol,» Mars 2013. [En ligne]. Available: <http://jymassenet-foret.fr/cours/pedologie/PEDO5.pdf>. [Accès le 26 Avril 2017].
- [16] A. Deprince, « Le courrier de l'environnement, n°49 : La faune du sol - diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives,» juin 2003. [En ligne]. Available: <http://www7.inra.fr/dpenv/depric49.htm>. [Accès le 10 Mai 2017].
- [17] ECOLAB, «Carte de la végétation potentielle du CNRS,» [En ligne]. Available: <http://cc-cv.ecolab.univ-tlse3.fr/lizmap/prod/lizmap-web-client-3.0.2/lizmap/www/index.php/view/map/?repository=rep1&project=test&layers=BTFTTTT&bbox=100700.920142%2C5601916.975249%2C113102.82798%2C5608566.996708&crs=EPSG%3A3857>. [Accès le 28 Avril 2017].
- [18] Laboratoire ECOLAB, «Carte de la Végétation de la France - Carte scannée - 57 Bergerac,» 2013. [En ligne]. Available: <http://carteveget.obs-mip.fr/Cartes-au-1-200-000/Cartes-scannees/57-Bergerac>. [Accès le 26 Avril 2017].
- [19] Région Ile-De-France, «Végétation des prairies mésophiles et des pelouses,» [En ligne]. Available: http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Vegetaux-Tome_2-part_5_vegetations_pelouses-Web.pdf. [Accès le 20 Mai 2017].
- [20] D. P.-C. N. Suarez, «Guide des habitats : Végétation des dalles calcaires et pelouses pionnières sur sables calcaires,» [En ligne]. Available: <http://www.poitou-charentes-nature.asso.fr/Vegetation-des-dalles-calcaires-et.html>. [Accès le 10 Mai 2017].

- [21] Conférence Permanente du Développement Territorial (Belgique), «Lignées des pelouses sur rochers calcaires,» [En ligne]. Available: http://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/fiche11_lignee_pelouses_rochers_calcaires.pdf. [Accès le 10 Mai 2017].
- [22] Guide des milieux forestiers en Aquitaine, «Les espèces végétales indicatrices,» [En ligne]. Available: <http://www.foret-aquitaine.com/1florei.htm>. [Accès le 10 Mai 2017].
- [23] Guide des milieux forestiers en Aquitaine, «Les chênaies à Chênes pubescent, Chêne vert ou Chêne-liège,» [En ligne]. Available: <http://www.foret-aquitaine.com/1chap1c.htm>. [Accès le 10 Mai 2017].
- [24] R. Laugier, «De la restauration écologique au génie écologique,» Centre de Ressource Documentaire Aménagement Logement Nature, Février 2012. [En ligne]. Available: http://www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/biblio/synthese_documentaire_de_la_restoration_ecologique_au_genie_ecologique_.pdf. [Accès le 10 Février 2017].
- [25] Gerpho 3D, «Photographie 3D de la carrière de Campagne,» [En ligne]. Available: <https://sketchfab.com/models/76cc2c33639646b98c9bb2384b0bc30a>. [Accès le 16 Avril 2017].

IX. Annexes

Annexe 1 : Localisation de la carrière



Légende :

Point où la photographie fut prise :



Direction dans laquelle la photographie fut prise :



Annexe 2 : Tableaux de calcul des températures 1/2

Température mensuelle maximale sur la période 1981 - 2010 (C°)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Toute la période
Gourdon	8,6	10,5	14,1	16,9	20,9	24,3	27,3	27,1	23,4	18,6	12,2	9,1	17,8
Bergerac - Roumaniere	9,7	11,8	15,6	17,5	22,1	24,6	27,4	27,6	23,8	19,4	13,1	9,8	18,5
Périgueux - Bassillac	8,9	10,5	14,5	16,9	20,6	23,8	26,9	26,9	23,8	18,7	12,9	9,5	17,8
Moyenne des trois stations	9,3	11,15	15,05	17,2	21,35	24,2	27,15	27,25	23,8	19,05	13	9,65	18,15

Température mensuelle minimale sur la période 1981 - 2010 (C°)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Toute la période
Gourdon	1,8	2	4	6	9,5	12,3	14,4	14,2	11,4	9,3	4,8	2,4	7,7
Bergerac - Roumaniere	1,7	1,6	3,7	5,9	9,9	12,6	14,6	14,4	10,8	8,7	4,4	2,1	7,5
Périgueux - Bassillac	1,4	1,5	3,5	5,4	9,1	11,8	14,3	13,9	10,5	8,4	4,3	2,2	7,2
Moyenne des trois stations	1,6	1,7	3,7	5,8	9,5	12,2	14,4	14,2	10,9	8,8	4,5	2,2	7,5

Annexe 2 : Tableaux de calcul des températures 2/2

Amplitude thermique annuelle moyenne 1981 - 2010 (C°)

Gourdon	25,3
Bergerac - Roumaniere	26
Périgueux - Bassillac	25,5
Moyenne des trois stations	25,6

Annexe 3 : Fiche de lecture 1

VERVYNCK Louis

Ouvrage : De la restauration écologique au génie écologique, synthèse documentaire

Cet ouvrage est une synthèse documentaire réalisée par Robert Laugier, ingénieur consultant indépendant pour le Centre de Ressources Documentaires Aménagement Logement Nature.

Ce document cherche à aborder les grands thèmes de la restauration écologique.

Y sont exposés dans l'ordre les points répondant aux questions suivantes :

- Pourquoi la dégradation des écosystèmes est-elle problématique ?
- Quels sont les enjeux liés à la dégradation des écosystèmes ?
- Qu'est-ce que la restauration écologique ?
- Qu'est-ce que le génie écologique ?
- Quelles sont les problématiques et aménagements spécifiques au cours d'eau ?
- Quel est le statut actuel de la profession en génie écologique ?

La dégradation des écosystèmes entraîne un certain nombre de conséquences sur la biodiversité, et sur les populations et tend à simplifier leur structure. Sur le milieu aussi cette dégradation entraîne des changements, comme sur les microclimats et sur les capacités du sol à maintenir sa structure et à retenir l'humidité.

C'est pour lutter contre cette dégradation que les techniques de génie de la restauration se sont développées. Ces techniques reposent sur les principes de dégradation inversée et de succession. Selon lesquelles les écosystèmes dégradés peuvent suivre des étapes naturelles pour recouvrir leur composition naturelle, leur structure communautaire et d'une manière leur stade original.

La pratique de la restauration consiste alors à assister et faciliter ces processus naturels de rétablissement des écosystèmes ayant été dégradés. Aussi de par cette définition la restauration écologique peut être perçue comme un renouvellement de la relation que nous entretenons avec la nature. Dans cette nouvelle relation l'homme ne cherche plus uniquement à exploiter la nature et ses ressources mais cherche aussi à lui rendre son aspect initial voire même à réparer des actions passées ayant entraîné des dégradations de l'écosystème.

Ces projets de restauration impliquent différents éléments. Ces éléments sont le modèle (fait état d'étalon de référence et d'objectif), un projet complexe (signifiant que le nombre de paramètres est élevé et les conditions si variables que certaines tâches ne peuvent être conduites à temps), la mise en place de lignes directrices et le choix des acteurs engagés dans le projet de restauration.

D'une manière générale la restauration écologique repose principalement sur la mise en place de services écosystémiques d'entretien capables de faire fonctionner le milieu restauré de manière indépendante.

Annexe 4 : Fiche de lecture 2

VERVYNCK Louis

Ouvrage : La remise en état des carrières : principes généraux, recommandations techniques et exemples par type d'exploitation.

Ce document est une étude réalisée dans le cadre des actions de service public du BRGM 98-G-410. Il a été rédigé sous la responsabilité de M. Lansiaert et B. Odent et publié en janvier 1995.

Ce document développe l'idée selon laquelle la remise en état d'une carrière ne passe pas uniquement par sa mise en sécurité mais aussi par la qualité de son insertion dans l'environnement environnant. Pour réaliser une remise en état optimale d'une carrière il est demandé aux carriers de prendre en compte ces problématiques environnementales et paysagères dès l'élaboration des plans d'exploitation afin d'éviter les erreurs et de réaliser une remise en état progressive. D'autant plus que le devenir de la carrière (si un réaménagement est nécessaire pour permettre une utilisation prédéterminée) sera un paramètre déterminant dans ces choix de remise en état.

Lors de la remise en état il ne faut pas considérer l'environnement comme une notion abstraite mais bien comme un ensemble d'éléments concrets et tangibles qu'ils soient physiques, biologiques ou humains.

Le reste du document est constitué de principes généraux concernant les différents aspects de la remise en état des carrières. A savoir les étapes de :

- Terrassement
- Revégétalisation
- Reconstruction des sols

Ainsi, dans les carrières en roche massique présentent différents impacts visuels en fonction de la topographie et de leur type d'exploitation.

Une des premières étapes est l'étape de terrassement. Lors de cette étape on réalise la mise en sécurité des fronts de tailles susceptibles d'entraîner des chutes de blocs et autres éboulements. Lors de cette étape il est possible de choisir entre plusieurs méthodes qui auront des conséquences sur les possibilités en matière de revégétalisation et d'intégration paysagère.

Par exemple si une remise en état à vocation forestière est envisagée alors un certain nombre d'éléments doivent être pris en compte concernant les dimensions des banquettes et des aplombs. Concernant les surfaces en fond de carrière il sera nécessaire de procéder à un ameublissement du substrat sur une épaisseur d'un mètre pour permettre l'enracinement des végétaux. Au-dessus de cette couche ameublie sera épandue une couche de terre végétale nécessaire à la relance de la végétation.

Ces recommandations s'accompagnent d'exemples pour les différents types de carrières en fonction de la matière exploitée et du type d'exploitation qui y est pratiqué.

Sous la direction de :

ISSELIN Francis

VERVYNCK Louis

Restauration écologique et intégration paysagère de la carrière de Campagne

Résumé : Ce travail est un projet visant à identifier les aménagements nécessaires l'achèvement d'une intégration paysagère satisfaisante et à une bonne restauration écologique de la carrière de Campagne. Pour cela ce rapport explicite les raisons pour lesquelles de tels aménagements doivent être réalisés, qu'ils soient purement législatifs ou motivés par une volonté de préservation des milieux ou des espèces. Ensuite sont étudiés les différents paramètres biotiques et abiotiques à prendre en compte dans les techniques de restauration écologique (substrat, climat, végétation sur et autour de la carrière etc...). Ensuite les aménagements eux même sont passés en revue, détaillant leur position, leur ampleur et leurs objectifs. De ces aménagements sont déterminés trois principaux types de milieux, dépendant principalement du substrat créé par l'aménagement. Ces milieux nous permettent de déterminer des communautés végétales et animales qui serviront d'objectif lors du suivi de l'évolution de la carrière.

Mots Clés : Carrière, restauration écologique, intégration paysagère

Localisation géographique : Nouvelle Aquitaine, Dordogne, 24

DAE3 Pind

2016-2017