

IMPACT DU FEU SUR LA STRATÉGIE DE RÉGÉNÉRATION D'ESPÈCES VÉGÉTALES FORESTIÈRES MÉDITERRANÉENNES

Nadia OUADAH¹, Leila KADIK², Nadjiba BENDJEDDA³ & Mohammed KAABÈCHE^{4*}

¹ Université de Blida 1, BP 270, Route de Soumaa, 09000 Blida. Algérie. E-mail: nadiaouadbenk@yahoo.fr

² Laboratoire d'Écologie végétale, USTHB, BP 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger. Algérie. E-mail: l_kadik@yahoo.fr

³ Direction Générale des Forêts, chemin Doudou Mokhtar, Ben Aknoun, Alger. Algérie. E-mail: bendjeddanadjiba@yahoo.fr

⁴ Laboratoire Biodiversité et ressources phylogénétiques, Université Sétif 1, Algérie 19000. E-mail: kaabeche.med@gmail.com

* Auteur correspondant

SUMMARY.— *Impact of fire on the regeneration strategy of Mediterranean forest plant species.*— The present study was carried out in the Chrea National Park (Algeria). The main objectives were: understanding forest fire risks, appreciation of the ecological dynamics of the park's forest ecosystems and evaluation of their resistance to frequent fires. Two species groups, characteristic of the Mediterranean ecosystems and representative of the two main post-fire regeneration strategies: the resprouting strategy, designated by R+ (*Quercus suber* and *Calycotome spinosa*) and the non-resprouting strategy, designated by R- (*Genista tricuspida*, *Cistus salviifolius*, *Pinus halepensis* and *Cedrus atlantica*), were analysed in two different sites (burned and not burned). The following elements (C, N, P, Ca, Mg, K and Na), present in the soil and the studied plant leaves, were measured and compared with one way-ANOVA analysis. Results showed that the two species groups (R+ vs R-) adopted a different behaviour in respect to fire effect. In the R+ group, four of the seven considered elements (N, K, P and Na) showed significant differences between the two sites. In the R- group, a single element (P) showed a significant difference. These results suggest that the species nutrition behaviour in the post-fire succession process aims to an optimal utilization of soil nutrients, and the vegetation recovery in the early years after fire has an important ecological role in the mobilization of nutrients and their storage in the biomass.

RÉSUMÉ.— Cette étude, réalisée dans la forêt du Parc National de Chréa (Algérie) aborde l'impact du feu sur la fertilité du sol et sur le contenu foliaire en nutriments de 2 groupes de végétaux caractérisés par des stratégies différentes de régénération. Une stratégie par rejet R+ (*Quercus suber* et *Calycotome spinosa*) et une stratégie par semis R- (*Genista tricuspida*, *Cistus salviifolius*, *Pinus halepensis* et *Cedrus atlantica*). Les résultats indiquent que cette stratégie détermine la composition du contenu foliaire. Ainsi, les végétaux à stratégie R+ présentent des différences significatives dans la teneur des feuilles en éléments nutritifs (N, K, P et Na) contrairement au groupe R- où seul P présente des variations significatives. Ces résultats suggèrent que le feu induit un impact sur la chimie de la feuille plus important chez les végétaux R+ que chez les R-, révélant l'existence de réactions différentes de type fonctionnel de la part des végétaux face aux incendies.

Située à quelque 50 km au sud-ouest d'Alger, la zone étudiée (coordonnées : 36° 19' à 30' N et 2° 38' à 3° 02' E) est localisée au nord-est du Parc national de Chréa (Atlas tellien) (Fig.1). Cette zone est soumise, comme celle de l'ensemble du bassin méditerranéen, à une sécheresse climatique de plus en plus accentuée (Nelson *et al.*, 2009 ; Mostefa-Kara & Arif, 2013). L'un des risques relatifs à ce changement est lié à la stratégie d'adaptation des essences forestières, d'autant que pour les essences situées au sud du bassin, le contexte écologique est plus contraignant (sols dégradés, surpâturage) et la pression la plus élevée est due aux perturbations récurrentes liées aux incendies.

Les objectifs envisagés dans cette étude ont trait à la compréhension du risque incendie, à l'appréciation de la dynamique écologique des écosystèmes forestiers du parc et à l'évaluation de leurs capacités de résilience aux feux récurrents. Ces objectifs sont abordés selon une double approche. Une, physiologique, porte sur l'analyse de la teneur en éléments biogènes des feuilles (constituants majeur de la litière, dont la décomposition représente le processus le plus rapide de

restitution des éléments minéraux au sol). Une seconde approche, biologique, traite de la capacité de régénération post-incendie de deux groupes d'espèces se différenciant par leur stratégie de régénération. Il s'agit d'une part de *Quercus suber* et *Calycotome spinosa* et, d'autre part, de *Genista tricuspidata*, *Cistus salviifolius*, *Pinus halepensis* et *Cedrus atlantica*. La nomenclature des espèces est celle en usage dans la flore d'Algérie (Quézel & Santa, 1962-1963).

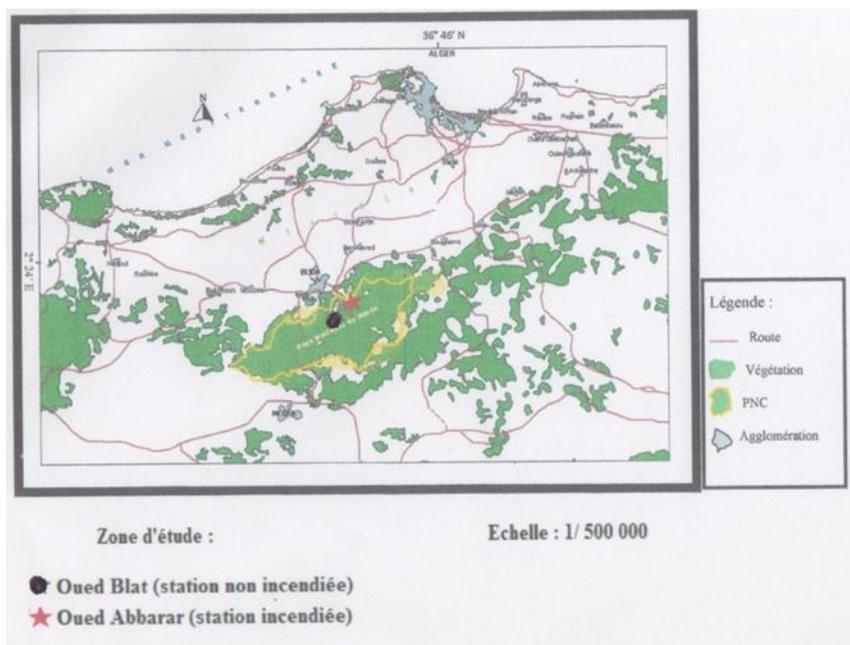


Figure 1.— Carte de situation de la zone d'étude.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CONTEXTE ÉCOLOGIQUE D'ÉTUDE

Grâce à la conjonction de nombreux facteurs mésologiques favorables (précipitations atteignant 1400 mm/an, températures hivernales de 8 à 11 C ; altitude près de 1.700 m ; fréquence moyenne d'enneigement de 26 jours), la zone étudiée fait partie des hotspots méditerranéens de la biodiversité (Véla & Benhouhou, 2007), aussi bien par sa proximité de grands centres urbains (Alger, Blida) que par son contexte écologique (fraicheur estivale, neige hivernale, végétation luxuriante), la zone est soumise à une pression anthropique supplémentaire due à une fréquentation élevée.

MÉTHODOLOGIE

La méthode retenue est peu utilisée en Algérie. En effet, les diverses investigations effectuées en Algérie (Madoui, 2013 ; Meddour-Sahar, 2014 ; Ouelmouhoub & Benhouhou, 2007) ont été conçues en fonction de diverses préoccupations : « statistique descriptive », « gestion des risques », « dynamique post-incendie ». Centrée sur l'existence d'une relation étroite entre les concentrations en éléments biogènes du contenu foliaire des végétaux et les processus de succession des communautés végétales (Trabaud, 1994 ; Henig-Sever et al., 2001), la méthodologie retenue exprime une double dynamique. Une dynamique «sol/plante» d'ordre physiologique, qui reflète dans une grande mesure, l'effet du feu sur le sol et son transfert vers la végétation ; une dynamique écologique qui traduit le rôle fonctionnel des végétaux et par laquelle ces derniers vont transcender la destruction de leur appareil végétatif pour assurer le retour à un état structural et physiologique proche de l'état initial ou homéostasie.

Prélèvement des échantillons

Deux stations ont été retenues (Fig. 1) : une subéraie incendiée en septembre 2007 (Oued Aberrar) et une forêt mixte de Chêne vert et de Chêne liège épargnée par les incendies depuis plus de 50 ans (station-témoin Oued Blat), dont la

proximité spatiale avec la première et les conditions stationnelles (Tab. I), assez proches, peuvent permettre une comparaison acceptable.

TABLEAU I

Caractéristiques écologiques des stations étudiées

	Site non incendié : Oued Aberrar	Site incendié : Oued blat
Bioclimat	Humide doux, P : 1112 mm, M : 18°C, m : 11,9°C (ANRH, 2008 ; Halimi, 1980)	
Etage de végétation	Mésoméditerranéen	
Formation végétale	Forêt claire chêne liège	Forêt mixte de chêne liège et de chêne vert
Position topographique	Haut de versant	Mi-versant
Altitude	900 m	928 m
Pente	30	25 %
Exposition	NE	NO
Sol	Brun forestier de profondeur moyenne et caillouteux	Brun forestier, profond
Recouvrement de la vég. (Strates)	Arbre : 50 % Arbustes : 30 % Herbacées : 15 % Sol nu : 5 %	Arbres : 70 % Arbustes : 15 % Herbacées : 5 % Litière : 10 %
1ères espèces dominantes	<i>Quercus suber</i>	<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus suber</i>
2èmes espèces dominantes	<i>Cistus salvifolius</i> , <i>Calycotome spinosa</i> , <i>Genista tricuspidata</i> .	<i>Calycotome spinosa</i>

Les échantillons de sol sont prélevés, à partir du centre de la parcelle, sur deux profondeurs (0-5 cm et 5-15 cm), représentant, respectivement, les horizons O et A. Les espèces (*Calycotome spinosa*, *Cistus salvifolius*, *Genista tricuspidata* et *Quercus suber*) sont caractéristiques des écosystèmes méditerranéens. Du fait de leur type biologique, ces phanérophyles et chaméphytes contribuent fortement à la physionomie et à la structure des végétations étudiées (subéraie incendiée et forêt mixte non incendiée). Le choix des espèces communes aux deux stations est motivé par le fait qu'elles sont représentatives des deux principales stratégies de régénération post-incendie : la stratégie de régénération par rejet (*Quercus suber* et *Calycotome spinosa* désignées par R+) et la stratégie de régénération par semis (*Genista tricuspidata* et *Cistus salvifolius* désignées par R-). Parallèlement aux espèces précédentes, nous avons récolté des semis de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) dans la station incendiée et de Cèdre (*Cedrus atlantica*) dans la station non incendiée. La prise en compte des semis permet d'intégrer le phénomène d'enrésinement qui constitue un élément important du processus successional (remplacement des chênaies sclérophylles par le Pin d'Alep et le Cèdre) observé dans la zone d'étude. Ce phénomène, est l'expression de la dynamique expansionniste des résineux, favorisée par des perturbations telles que le feu (Quézel & Médail, 2003).

Le matériel végétal utilisé pour le dosage des éléments nutritifs est représenté par les feuilles des individus adultes des 4 espèces citées plus haut ((*Calycotome spinosa*, *Cistus salvifolius*, *Genista tricuspidata* et *Quercus suber*) et par la totalité de la partie aérienne des semis de *Pinus halepensis* et de *Cedrus atlantica*. Il a été procédé à la récolte entre mai et juin, sur 5 pieds adultes, choisis de manière aléatoire et répartis sur une surface n'excédant pas 100 m², des feuilles de l'année, bien développées, situées au sommet de la plante, bien exposées au soleil, saines de toutes maladies ou d'attaques parasitaires et sans traces de broutage par les herbivores. Les semis récoltés sont ceux de l'année et ont été choisis aléatoirement parmi ceux qui constituent le tapis de régénération au niveau de chaque station. Afin de ne pas induire d'effets négatifs sur le site, il a été prélevé la quantité de semis minimale nécessaire pour le dosage.

Dosage des éléments nutritifs

Sept éléments (C, N, Ca, Mg, P, K, Na) provenant des échantillons de sol, et de la végétation ont été dosés selon les méthodes habituellement en usage (Kalra & Maynard, 1991).

Traitements statistiques

Les éléments du sol, exprimés sous forme de concentrations (en ppm) ont fait l'objet d'une comparaison des moyennes à l'aide de graphiques. Les contenus foliaires ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un facteur (ANOVA-one way) afin d'évaluer l'impact du feu sur le contenu foliaire selon la stratégie de régénération de chaque groupe de végétaux (les R+ et les R-). Les moyennes à l'intérieur des groupes et entre les groupes ont été comparées par le test de Fischer-Snedecor, au seuil de signification $\alpha < 0.05$. Excel 2007 a été utilisé pour les graphiques et l'ANOVA.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

DISTRIBUTION DES ÉLÉMENTS DANS LE SOL

La comparaison des teneurs moyennes en éléments nutritifs dans le sol entre les deux stations et pour chacune des profondeurs considérées (Fig. 2) montre que le feu a entraîné une augmentation pour certains éléments (C et N) et une diminution pour d'autres (P, Ca, Mg et Na), et ce quelle que soit la profondeur considérée.

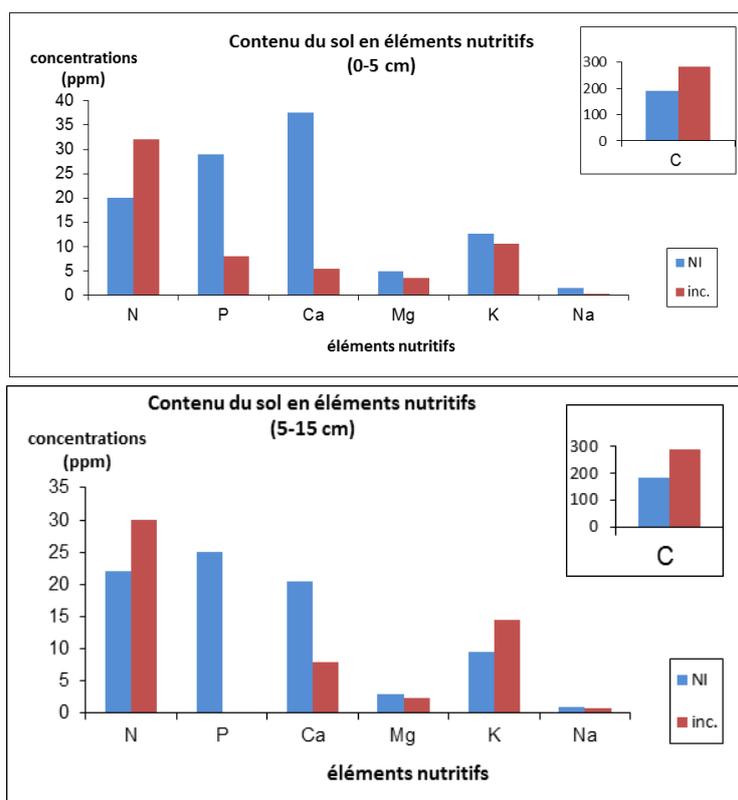


Figure 2.— Effet de l'incendie sur la répartition des éléments nutritifs selon deux profondeurs du sol. 0- 5 cm et 5-15 cm.

Ainsi, l'incendie aurait induit un changement global sur le sol en modifiant aussi bien les quantités que la répartition spatiale (verticale) des éléments nutritifs du sol. L'examen des changements élément par élément permet de faire les observations suivantes :

- les valeurs élevées du C dans la station incendiée seraient la conséquence de la carbonisation des organes aériens des végétaux et son accumulation à la surface du sol ;

- l'accroissement de l'azote serait lié à l'activité microbienne qui aurait bénéficié de cette augmentation du C. Sachant que la source du N minéral est principalement l'activité microbienne, il aurait, peut-être, bénéficié d'un accroissement du C et d'une récupération importante de l'activité microbienne après l'incendie, malgré une forte volatilisation au moment de la combustion ;

- le rapport C/N : les valeurs calculées de ce rapport sont très proches pour les deux stations (respectivement 5,09 et 5,32). Ces valeurs sont globalement favorables pour les deux situations, attestant, ainsi, de l'existence d'une bonne minéralisation ;

- le Ca et le P ont montré des teneurs très faibles dans la station incendiée. Le P est pratiquement absent de la couche profonde (> 5 cm), alors que le Ca a plutôt diminué en superficie. Ces deux éléments, peu volatils, ont une durée de vie limitée sous forme minérale et libre car, s'ils ne sont pas immédiatement mobilisés par les microorganismes et la végétation, ils deviennent très susceptibles d'être emportés par le vent et les eaux de ruissellement (Gillon, 1990) ;

- seul le K a connu une variation différente en fonction de la profondeur : une légère diminution en superficie et un net accroissement en profondeur dans la station incendiée, probablement sous l'effet de la percolation des eaux pluviales, suite à une solubilisation accrue et une faible mobilisation par les végétaux ;

- les quantités de Mg et de Na sont relativement semblables, avec une légère diminution dans la station incendiée. Le feu semble avoir affecté modérément ces éléments, qui sont, également, les plus faiblement présents dans les deux stations.

Les changements constatés sur les éléments nutritifs et leur répartition spatiale verticale rejoignent les résultats cités dans divers travaux (Trabaud, 1980 ; Pardini *et al.*, 2004 ; Guo *et al.*, 2006). Ces auteurs ont observé une diminution globale et plus ou moins durable de la teneur en éléments minéraux en fonction de la fréquence et de l'intensité des incendies, malgré un « pic » provoqué par l'apport massif des cendres juste après la combustion du matériel végétal. Mais, en plus du caractère quantitatif des éléments biogènes, leur caractère fonctionnel est d'une importance capitale ; en effet, selon Gillon (1990) « les feux affectent spécialement le pool des éléments les plus mobiles et les conséquences sont plus de caractère fonctionnel que quantitatif ».

Ces constats laissent présumer que les propriétés chimiques des éléments minéraux présents dans le sol après un incendie auront des impacts considérables sur leur mouvement entre les divers compartiments de l'écosystème forestier méditerranéen (sol, végétation, réseau hydrologique) (Wanthongchai *et al.*, 2008). Ces propriétés chimiques se traduisent par une augmentation du pH et des formes minérales pour certains éléments (P et N), en particulier dans les couches superficielles du sol (Romanya *et al.*, 1994 ; Ellingson *et al.*, 2000 ; Romanya *et al.*, 2001). En outre, l'accumulation des cendres à la surface du sol, induisent de nouvelles propriétés chimiques comme par exemple leur capacité à neutraliser les acides, qui est corrélée à la quantité totale des cations (K, Ca, Mg) qu'elle contiennent, ainsi qu'un changement dans les solubilités des différents éléments présents (Ludwig *et al.*, 1998). Ainsi la forme chimique d'un élément donné aura non seulement un impact sur sa propre capacité à être absorbé par les plantes et donc sa biodisponibilité, mais aussi sur celle des autres éléments potentiellement concurrents.

Concernant l'impact de ces modifications sur le couvert végétal, Ferran *et al.* (1992) soulignent que l'interaction substrat - végétation détermine dans une grande mesure la résilience des écosystèmes méditerranéens soumis aux incendies de forêt. Selon Neary *et al.* (1999), une des composantes clé de la durabilité de l'ensemble de l'écosystème se trouve dans la partie souterraine car le recouvrement de l'écosystème est lié aux processus et fonctions physico-chimiques et biologiques du sol.

IMPACT DU FEU SUR LE CONTENU FOLIAIRE

Deux niveaux de comparaison ont été faits : le premier, prend en considération uniquement l'effet du feu sur le contenu foliaire (en mélangeant toutes les données). Le deuxième niveau repose sur la répartition des données en deux groupes distincts selon la stratégie de régénération adoptée (R+ vs R-) mais sans distinction du type morphologique (ligneux hauts vs ligneux bas) ou de la taxinomie, en partant du postulat que les premiers disposent de réserves et que les seconds en sont dépourvus.

Comparaison de l'ensemble des échantillons

La comparaison de l'ensemble des échantillons entre les deux stations (Fig. 3) montre des différences plus ou moins marquées avec des valeurs inférieures dans la station incendiée pour la plupart des éléments, seuls N et Ca ont montré des valeurs plus élevées.

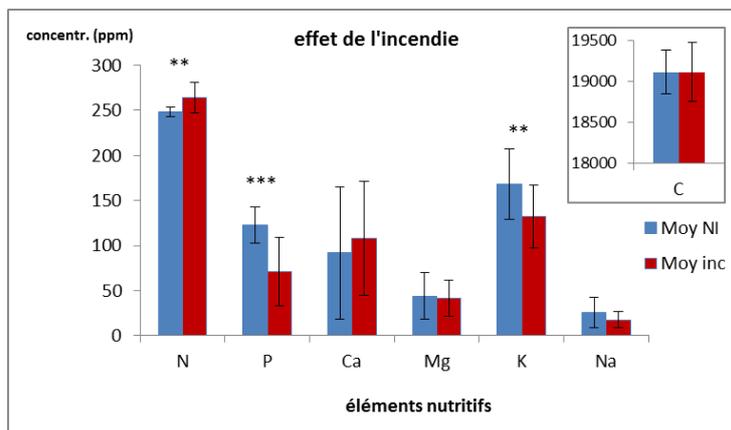


Figure 3.— Comparaison entre les contenus foliaires des deux stations incendiée (Inc.) et non incendiée (NI).
*p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001

TABLEAU II

Effets du feu (station incendiée vs station non incendiée) sur le contenu foliaire en nutriments (résultats de l'ANOVA)

Eléments nutritifs	Moyennes (ppm) ± SE		P-value
	Station non incendiée	Station incendiée	
C	19115,38 ± 267,23	19116,00 ± 357,86	0,99 (+)
N	248,31 ± 5,47	264,24 ± 17,14	0,0025** (+)
P	122,46 ± 20,30	71,20 ± 38,15	0,00006*** (-)
Ca	91,73 ± 73,22	107,91 ± 63,35	0,48 (+)
Mg	44,04 ± 25,82	41,28 ± 20,18	0,71 (-)
K	167,85 ± 39,18	131,83 ± 34,75	0,006** (-)
Na	25,62 ± 19,93	17,64 ± 9,01	0,06 (-)

SE : écart-type, ** très significatif (p < 0,01), *** hautement significatif (p < 0,001), (+) augmentation au niveau de la station incendiée par rapport à la station non incendiée, (-) diminution. (Nombre de données comparées : 25 données/station).

L'analyse de la variance (Tab. II) indique que ces différences sont très significatives pour N et K et hautement significatives pour P. On en déduit que l'incendie aurait favorisé la concentration foliaire de N et causé une diminution de celles de K et P, ce dernier ayant été particulièrement affecté par le feu. Par ailleurs, afin d'établir un lien possible entre les variations des contenus foliaires et celles du sol rapportées précédemment, nous avons procédé à une comparaison des éléments ayant présenté des différences significatives (Tab. III). Le résultat montre une concordance entre le sens des variations des teneurs en N et P, positives ou négatives et une discordance pour K. Ainsi, il semblerait que pour les 2 premiers éléments, une variation de la disponibilité des éléments dans le sol s'est reflétée directement dans la végétation, soit par une augmentation, soit par une diminution de leur absorption. Par contre, pour K, la libération d'une quantité supplémentaire de cet élément par le feu ne s'est pas traduite par une augmentation de son absorption. Plusieurs causes peuvent être évoquées : les formes libérées ne sont pas forcément assimilables ou bien il existerait un déséquilibre nutritionnel entre les cations bivalents (Ca et Mg) et monovalents (K). En effet, selon Duchaufour (2001) pour assurer une absorption optimale, les rapports Mg/K et Ca/K au sein du complexe absorbant doivent rester inscrits dans des limites précises.

TABLEAU III

Effet de l'incendie sur les teneurs en nutriments dans le sol et la végétation

Eléments	N	P	K
Sol	+	-	+
Végétation	+	-	-

+ Augmentation, - diminution.

Comparaison entre les deux stratégies de régénération (R+/R-)

La comparaison de l'effet de l'incendie sur les espèces regroupées selon leurs stratégies de régénération (R+ ou R-) a révélé un comportement différent entre les 2 groupes. Chez les R+, 4 éléments (P, K, Na et N) ont montré des différences significatives (Fig. 4), ce qui signifie que l'incendie a induit des changements sensibles dans le métabolisme lié à l'absorption et probablement à la fixation des nutriments chez ces espèces ; ce changement s'est traduit par une diminution de 3 éléments (P, K, Na) et une augmentation conséquente pour un seul (N). En revanche, les R- semblent avoir été moins sensibles à l'effet de l'incendie puisque seul le P a enregistré une diminution dans la parcelle incendiée.

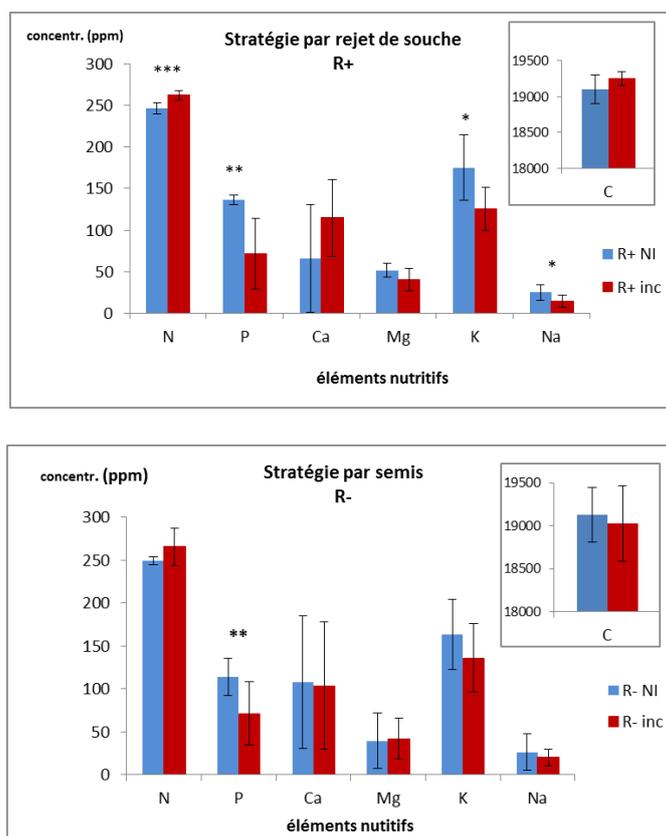


Figure 4.— Comparaison entre les contenus foliaires en fonction de la stratégie (R+/R-) et de la perturbation (NI/inc.).
* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001

Ces résultats confirment ceux rapportés précédemment, à savoir l'effet de l'incendie sur le contenu foliaire des éléments nutritifs, il a permis en outre de révéler la sensibilité des espèces à

stratégie R+ par rapport à celles de la stratégie R-. Plusieurs interprétations peuvent être avancées pour expliquer ces résultats :

- le P apparaît comme l'élément le plus vulnérable à l'impact de l'incendie. Sa diminution drastique dans la station incendiée (presque absent de l'horizon > 5 cm) et sa teneur foliaire significativement plus faible, quelle que soit la stratégie de régénération, attestent de cet effet. Cette vulnérabilité est d'autant plus accentuée qu'elle touche cet élément, rare dans les sols forestiers méditerranéens (Sardans *et al.*, 2004), issus d'une longue évolution des modes de vie et des systèmes de production (Valdecantos, 2001) mais aussi soumis de façon cyclique à des perturbations (Vallejo *et al.*, 2000).

- L'augmentation substantielle de la teneur en N chez les R+ du site incendié pourrait avoir comme origine deux sources : la première proviendrait des organes de réserves ou des tissus épargnés par le feu par le biais d'une forte remobilisation, grâce au processus de retranslocation vers les nouveaux tissus, notamment les tissus foliaires. La seconde source proviendrait du sol suite à une absorption plus importante due à une disponibilité accrue au niveau du sol, ce qui concorde avec les résultats précédents (Tab. III & IV).

TABLEAU IV

Effet du feu sur les contenus foliaires des R+ et des R- (résultats de l'ANOVA)

Moyennes (ppm) ± SE	C	N	P	Ca	Mg	K	Na
R+ non incend.	19100,00 ± 200,00	246,40 ± 6,54	136,20 ± 5,50	65,90 ± 64,78	51,50 ± 8,04	175,10 ± 39,41	24,80 ± 9,28
R+ incend.	19250,00 ± 97,18	262,40 ± 5,56	71,50 ± 42,20	114,60 ± 45,78	40,25 ± 13,57	125,78 ± 25,98	14,26 ± 7,57
p-value	0,06 (+)	0,0002*** (+)	0,005** (-)	0,11 (+)	0,11 (-)	0,01* (-)	0,03* (-)
R- non incend.	19125,00 ± 315,10	249,50 ± 4,75	113,88 ± 21,73	107,88 ± 77,58	39,38 ± 32,27	163,31 ± 41,01	26,13 ± 21,01
R- incend.	19026,67 ± 438,29	265,47 ± 21,90	71,00 ± 36,74	103,46 ± 74,02	41,97 ± 24,05	135,87 ± 39,90	19,90 ± 9,42
p-value	0,58 (-)	0,05 (+)	0,006** (-)	0,89 (-)	0,82 (+)	0,13 (-)	0,33 (-)

*p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001, (+) augmentation, (-) diminution. (Nombre de données comparées : 25 données/station).

- La morphologie du système racinaire représentée par d'importantes ramifications à partir de lignotubers chez les R+ et par un seul pivot et de faibles ramifications latérales chez les R-, joue également un rôle prépondérant dans la résistance au feu (Dawson & Pate, 1996). Selon ces auteurs, cette morphologie va influencer l'absorption racinaire des éléments minéraux à partir de différentes profondeurs : ainsi, plus un végétal aura une architecture racinaire complexe, plus sa capacité d'absorption sera élevée. Ces auteurs suggèrent que les R+ seraient globalement favorisés par rapport aux R-, qui présentent généralement des racines superficielles. En revanche, cette dernière configuration racinaire constitue un atout non négligeable pour les R- dans le cas des éléments plus abondants en superficie qu'en profondeur, ou encore en situation d'apports conséquents et massifs d'éléments minéraux juste après la combustion de la végétation. Dans notre cas, les végétaux du groupe R- se sont montrés plus résistants au feu en matière de concentration des éléments dans les feuilles, malgré une diminution dans les quantités générales disponibles dans le sol. Ces végétaux se remarquent ainsi par une meilleure capacité à accumuler rapidement les éléments nutritifs, ce qui confirme l'existence d'une relation entre le mode d'accumulation des éléments biogènes dans leurs tissus et le statut successional de ces végétaux (Carreira & Niell, 1992). Par ailleurs, il est admis que les végétaux des stades précoces (tels que les thérophytes) accumulent plus d'éléments que ceux caractérisant les stades intermédiaires ou tardifs (Saracino *et*

al., 1997). Dans cette étude, les R- sont des semis d'angiospermes et de gymnospermes dont la germination a été induite par une forte dissémination des semences, mais surtout par l'ouverture du milieu provoquée par la combustion de la végétation. Ils se comportent comme d'autres végétaux herbacés opportunistes des stades précoces. En effet, de nombreux auteurs (Agee, 1998 ; Barbero *et al.*, 1998 ; Saura-Mas & Lloret, 2009) accordent aux semences des conifères méditerranéens ces deux principales qualités : l'aptitude à germer facilement après des incendies d'intensité faible à modérée et la capacité à recoloniser des espaces ouverts. En outre, Hétier (1993) note que les végétaux de ce type se caractérisent par des potentialités génétiques et biologiques qui leur permettent d'ajuster leurs populations aux fluctuations de leur contexte écologique (contraintes nutritionnelles édaphiques et stress hydrique). C'est ainsi que Pausas & Verdu (2005) formulent l'hypothèse suivante : la diversification au Quaternaire des espèces pérennes à régénération par semis serait contemporaine de la mise en place du climat méditerranéen, ces espèces ayant adopté cette stratégie de régénération en réponse à un besoin d'adaptation à ce climat caractérisé par une sécheresse plus accentuée. Par contre les espèces se régénérant par rejets auraient accompli leur diversification bien avant, notamment au Tertiaire.

CONCLUSION

Ces résultats nous laissent à penser que le comportement nutritionnel des végétaux présents dans le processus de succession après incendie des écosystèmes soumis au feu vise une utilisation optimale des éléments nutritifs présents dans des sols ayant subi des modifications plus ou moins importantes, dont la finalité est d'assurer, à terme, la résilience de l'ensemble du système, et non celle d'une communauté au dépend d'une autre. En effet, le recouvrement de la végétation les premières années après l'incendie a un rôle écologique déterminant dans la mobilisation des éléments nutritifs et leur stockage dans la biomasse. Ce recouvrement dépend du succès de la régénération quelle que soit la stratégie adoptée. C'est ce succès qui nous semble primordial de maintenir au travers d'actions de gestion adaptées.

Il est néanmoins important de signaler que ce genre d'approche, exclusivement quantitative, ne permet pas de cerner tous les aspects fonctionnels ; il apparaît nécessaire d'envisager d'autres approches visant l'estimation des flux de ces éléments à travers des indicateurs facilement accessibles, permettant d'appréhender avec plus de précision des questions telles que la mobilité chimique des nutriments et leur biodisponibilité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs vifs remerciements aux responsables et aux personnels du Parc national de Chréa, du laboratoire d'analyses chimiques de l'Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (Alger) et du laboratoire de métallurgie structurale de l'USTHB (Alger), ainsi qu'à un relecteur anonyme.

RÉFÉRENCES

- AGEE, J.K. (1998).— Fire and pine ecosystems. Pp 193-218 in: D.M. Richardson (ed.). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- ANRH (2008).— *Données climatiques de la wilaya de Blida, période (1967-2007)*. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, MRE.
- BARBERO, M., LOISEL, R., QUÉZEL, P., RICHARDSON D.M. & ROMANE, F. (1998).— Pines of the Mediterranean Basin. Pp 153-170 in: D.M. Richardson (ed.). *Ecology and biogeography of Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- CARREIRA, J.A. & NIELL, F.X. (1992).— Plant nutrient change in a semi arid Mediterranean shrubland after fire. *J. Veget. Sci.*, 3: 457-466.

- DAWSON, T.E. & PATE, J.S. (1996).— Seasonal water uptake and movement in root systems of Australian phreatophytic plants of dimorphic root morphology: a stable isotope investigation. *Oecologia*, 107: 13-20.
- DUCHAUFOR, P. (2001).— *Introduction à la science du sol: sol, végétation, environnement*. 6^{ème} édition. Dunod, Paris.
- ELLINGSON, L.J., KAUFFMAN, L.J., CUMMINGS, D.L., SANFORD, R.L. & JARAMILLO, V.J. (2000).— Soil N dynamics associated with deforestation, biomass burning, and pasture conversion in a Mexican tropical dry forest. *For. Ecol. & Manage.*, 137: 41-51.
- GILLON, D. (1990).— Les effets du feu sur la richesse en éléments minéraux et sur l'activité biologique du sol. *Rev. For. Fr.*, XLIII : 295-302.
- FERRAN, A., SERRASOLSAS, I. & VALLEJO V.R. (1992).— Soil evolution after fire in *Quercus ilex* and *Pinus halepensis* forests. Pp 397-404 In: A.Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds). *Responses of forest ecosystems to environmental changes*. Springer, Berlin.
- GUO, J.F., YANG, Y.S., CHEN, G.S., XIE, J.S. & LIN, P. (2006).— Soil C and N pools in Chinese fir and evergreen broadleaf forests and their changes with slash burning in mid-Subtropical China. *Pedosphere*, 16: 56-63.
- HALIMI, A., (1980).— *L'Atlas blidéen: climat et étages végétaux*. O.P.U., Alger.
- HENIG-SEVER, N., POLIAKOV, D. & BROZA, M. (2001).— A novel method for estimating wild fire intensity based on ash pH and soil microarthropod community. *Pedobiologia*, 45: 98-106.
- HÉTIER J.-P. (1993).— *Forêts méditerranéennes : vivre avec le feu ? Éléments pour une gestion patrimoniale des écosystèmes forestiers littoraux*. Cahiers du Conservatoire littoral 2, Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres.
- KALRA, Y.P. & MAYNARD, D.G. (1991).— *Methods manual for forest soil and plant analysis*. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre (eds), Edmonton, Alberta.
- LUDWIG, B., KHANNA, P.K., RAISON, R.J. & JACOBSON K.L. (1998).— Modelling cation composition of soil extracts under ashbeds following an intense slashfire in a eucalypt forest. *For. Ecol. & Manage.*, 103: 9-20.
- MADOU, A. (2013).— *Les incendies de forêts en Algérie. Étude de la régénération après les feux de peuplements de Pinus halepensis Mill. dans l'Est algérien : cas de la forêt de Bou-Taleb, du reboisement de Zénadia et du parc national d'El-Kala*. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Sétif 1, Algérie.
- MEDDOUR-SAHAR, O. (2014).— *Les feux de forêts en Algérie : analyse du risque, étude des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion*. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Tizi-Ouzou, Algérie.
- MOSTEFA-KARA, K. & ARIF, H. (2013).— *État des lieux, bilans et perspectives du défi des changements climatiques cinquante ans après l'indépendance. La nécessité d'une nouvelle approche stratégique et scientifique face au défi du climat pour une nouvelle ère post-carbone planétaire*. Dahlab (ed.), Alger.
- NEARY, D.G., KLOPATE, C.C., DE BANO, L.F. & FFLIOTT, P.F. (1999).— Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *For. Ecol. & Manage.*, 122: 51-71.
- NELSON, G.C., ROSEGRANT, M.W., KOO, J., ROBERTSON, R., SULSER, T., ZHU, T., RINGLER, C., MSANGI, S., PALAZZO, A., BATKA, M., MAGALHAES, M., VALMONTE-SANTOS, R., EWING, M. & LEE, D. (2009).— *Changement climatique. Impacts sur l'agriculture et coûts de l'adaptation. Rapport sur la politique alimentaire*. Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI).
- QUELMOUHOUB, S. & BENHOUBOU, S. (2007).— Évolution floristique des subéraies incendiées d'El Kala (nord-est d'Algérie). *Ecol. Mediterr.*, 33: 85-94.
- PARDINI, G., GISPERT, M. & DUNJÓ, G. (2004).— Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. *Science of the Total Environment*, 328: 237-246.
- PAUSAS, J. & VERDU, M. (2005).— Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of the Mediterranean basin: a phylogenetic approach. *Oikos*, 109: 196-202.
- QUÉZEL, P. & MÉDAIL, F. (2003).— *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Amsterdam.
- QUÉZEL, P. & SANTA, S. (1962-1963).— *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Vol. 1-2, C.N.R.S., Paris.
- ROMANYA, J., CASALS, P. & VALLEJO, R.V. (2001).— Short term effects of fire and soil nitrogen availability in Mediterranean grassland and shrublands growing in old fields. *For. Ecol. & Manage.*, 147: 39-53.
- ROMANYA, J., KHANNA, P.K. & RAISON, R.J. (1994).— Effects of slash burning on soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus. *For. Ecol. & Manage.*, 65: 89-103.
- SARACINO, A., PACELLA, A., LEONE, V. & BORGHETTI, M. (1997).— Seed dispersal and changing seed characteristics in a *Pinus halepensis* Mill. forest after fire. *Plant Ecol.*, 130: 13-19.
- SARDANS, J., RODÀ, F. & PENUELAS, J. (2004).— Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *roundifolia* on different soils. *Plant Ecol.*, 174: 205-317.
- SAURA-MAS, S. & LLORET, F. (2009).— Linking post-fire regenerative strategy and leaf nutrient content in Mediterranean woody plants. *Persp. Plant Ecol., Evol. Syst.*, 11: 219-229.

- TRABAUD, L. (1980).— *Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones des garrigues du Bas Languedoc*. Thèse de Doctorat d'État en Sciences. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
- TRABAUD, L. (1994).— The effect of fire on nutrient losses and cycling in a *Quercus coccifera* garrigue (southern France). *Oecologia*, 99: 379-386.
- VALDECANTOS, A., (2001).— *Aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la repoblación de zonas forestales degradadas en la Comunidad Valenciana*. PhD thesis, University of Alicante.
- VALLEJO, V.R., BAUTISTA, S. & CORTINA, J. (2000).— Restoration for soil protection after disturbances. Pp 301-343 in: L. Trabaud (ed.). *Life and environment in the Mediterranean*. WIT Press, Boston, Massachusetts, USA.
- VÉLA, E. & BENHOUBOU, S. (2007).— Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *C. R. Biologies*, 330: 589-605
- WANTHONGTCHAI, K., BAUHUS, J. & GOLDAMMER, J.G. (2008).— Nutrient losses through prescribed burning of aboveground litter and understory in dry Dipterocarp forests of different fire history. *Catena*, 74: 321-332.