

# Estimation allométrique de la biomasse du pin maritime en dune littorale : cas de la forêt de Rimel (Tunisie)

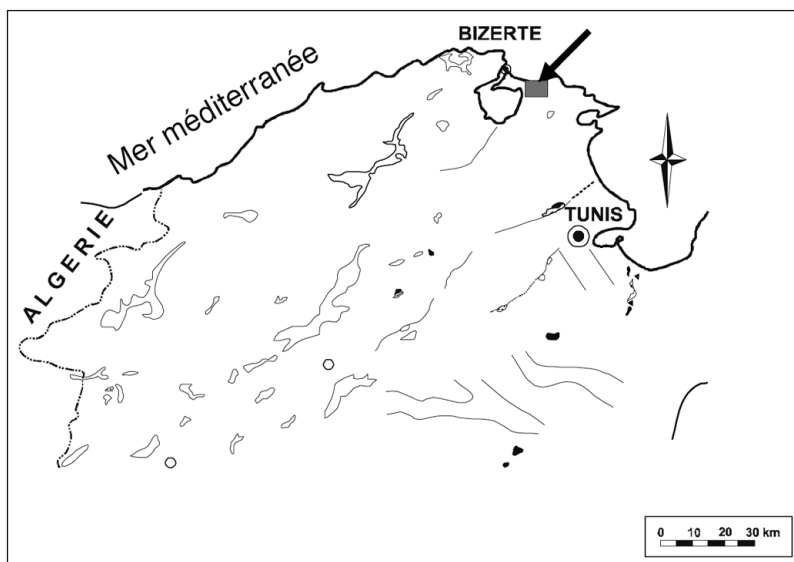
par Olfa SHAIK, Denis LOUSTAU, Salah GARCHI, Beya BACHTOBI et Mohamed Hédi EL AOUNI

***Il existe de nos jours plusieurs raisons pour développer les méthodes d'estimation de la biomasse des peuplements forestiers méditerranéens, peu étudiés jusque là. En effet, la biomasse forestière constitue un point clé du cycle du carbone et son estimation devient nécessaire, notamment en prévision d'une utilisation accrue à des fins énergétiques et de l'augmentation du stockage de carbone en forêt. Cette étude a permis de déterminer les biomasses aériennes et souterraines d'un peuplement de pin maritime en Tunisie.***

## Introduction

La biomasse forestière constitue un compartiment-clé du cycle du carbone terrestre (CAIRNS *et al.* 2000) et son estimation a connu un regain d'intérêt suite à l'établissement de la convention du climat et du protocole de Kyoto (NABUURS *et al.*, 2003 ; JALKANEN *et al.*, 2005). Les forêts méditerranéennes, contrairement à celles des régions tempérées, tropicales ou équatoriales, ont été relativement peu étudiées de ce point de vue. Cela tient notamment à leur faible productivité ligneuse commerciale, qui ignore leur rôle dans la protection contre l'érosion et la dégradation des sols ou la régulation du cycle hydrologique et la conservation des eaux, pourtant d'une acuité toute particulière dans cette région dont le climat présente des contrastes saisonniers importants (CABANETTES et RAPP, 1978).

Parmi les essences méditerranéennes, le pin maritime (*Pinus pinaster* Soland. ssp *Renoui* H. del Villar) est largement utilisé en foresterie, en particulier pour le boisement des zones littorales sur sol sableux. En Tunisie, il est, après le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et le pin pignon (*Pinus pinea* L.), le plus utilisé dans les reboisements (DGF, 1995). Il couvre 5120 ha de peuplements purs et 2623 ha en mélange avec le chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans la zone littorale du nord du pays, incluant des forêts naturelles et artificielles (IFN, 2005). Il est présent à l'état spontané, sur les grès siliceux de la région de Tabarka



### Rimel

|  |   |
|--|---|
| Localisation (latitude, longitude)                   | 37° 17'48'' N 10° 0'2'' E   |
| Altitude (m)   | 41  |
| Topographie  | Pente moyenne de 10 à 15%   |
| Caractères édaphiques                                | Calcaire (5,81 % d'argile,<br>0,34 % de matière organique, 0,33 % d'azote total<br>et 1,62 % de phosphore assimilable)          |
| Précipitations totales annuelles (mm)                | 627   |
| Température moyenne annuelle (°C)                    | 18,08   |
| Densité (tiges.ha <sup>-1</sup> )                    | 332   |
| Age moyen des arbres (ans)                           | 35 (26-48)  |
| Hauteur moyenne (m)                                  | 7,03  |
| Diamètre moyen (m)                                   | 0,172   |
| Surface terrière (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | 8,23  |
| Espèces accompagnatrices                             | <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Retama raetam</i> ,<br><i>Juniperus oxycedrus ssp macrocarpa</i> ,<br><i>Pistacia lentiscus</i> |

**Fig. 1 (en haut) :**

Localisation de la zone d'étude

**Tab. I (ci-dessus) :**

Caractéristiques du site de Rimel

(Kroumirie), où il s'est propagé aux dépens du chêne-liège à la suite d'incendies. Il a été introduit, depuis le début du siècle dernier, sur les dunes littorales de Tabarka, de Dar Chichou (Cap Bon), puis à partir des années 1950, sur celles de Kroumirie et des Mogods. C'est une espèce importante pour l'aménagement écologique (drainage des marais, protection des sols) et économique (production de bois) (MARIETTEA *et al.*, 2001). Son bois est utilisé sous forme de bois d'œuvre (menuiserie, ébénisterie) ou de fibres (pâte à papier), ou encore pour la production d'énergie par combustion ou transformation chimique (BISCH, 1986). En prévision d'une utilisation accrue à des fins énergétiques et de l'augmentation du stockage de carbone en forêt, il est devenu nécessaire de développer des

méthodes d'estimation de la biomasse totale de pin maritime dans les forêts tunisiennes.

L'estimation de la biomasse forestière nécessite l'utilisation de méthodes simples et rapides (MUUKKONEN, 2007). Une de ces méthodes est basée sur l'utilisation de relations allométriques<sup>1</sup> (WHITTAKER et WOODWELL, 1968) qui permet de mettre en relation la taille et la masse des arbres (XING *et al.*, 2005). Les variables indépendantes sont choisies pour être facilement mesurables par inventaire, comme le diamètre du tronc à hauteur de poitrine (DBH) (CIENCIALA *et al.*, 2006) ou la hauteur. Les équations allométriques sont utilisées pour décrire aussi bien la biomasse totale que par compartiment de l'arbre (BARRETO, 1994 ; BALDWIN *et al.*, 1997 ; PORTÉ *et al.*, 2002 ; BARIO-ANTA *et al.*, 2005). La présente étude a pour objectif d'établir les relations allométriques des biomasses totales et par compartiment des pins maritimes dans une forêt de dune littorale de Tunisie et de les appliquer à l'estimation de la biomasse totale du peuplement.

## Matériel et méthodes

### Site d'étude

La forêt de Rimel couvre une superficie de 3502 ha dans la partie septentrionale de la Tunisie, à cinq kilomètres au sud-est de la ville de Bizerte (SEGA-ECAFIR, 1998) (Cf. Fig. 1 et Tab. I). Le climat est de type méditerranéen subhumide avec une température moyenne annuelle de 18°C et des précipitations annuelles moyennes de 627 mm (station météorologique de Bizerte, données 1976-2006). La parcelle étudiée s'étend sur une surface totale de 32 ha, et se situe à 60 m du bord de la mer. La pente est d'environ 10 à 15% et le sol est sableux, hydromorphe en profondeur et calcaire (SEGA-ECAFIR, 1998).

### Dendrométrie du peuplement

Une placette représentative de 1 ha de superficie a été délimitée au centre de la parcelle durant l'hiver 2003-2004 (Cf. Fig. 2). La hauteur et le diamètre du tronc à 1,30 m de hauteur (DBH) ont été mesurés sur tous les individus de façon à construire l'histogramme des effectifs des arbres répartis par classe de DBH (Cf. Photo 1 et Fig. 2).

1 - L'allométrie désigne la relation de corrélation entre la taille ou le poids d'un système et l'un de ces éléments.

Dix arbres représentatifs ont été choisis à partir de l'histogramme des DBH pour les mesures de biomasse. La surface projetée au sol du houppier de chacun de ces dix arbres,  $S$  ( $m^2$ ), assimilée à un disque de diamètre  $L$  (m), a été déterminée selon la formule :

$$S(m^2) = \pi \frac{L^2(m)}{4} \quad [1]$$

où  $L$  est l'écart diamétral mesuré sur la projection au sol de l'extrémité des branches du verticille vivant le plus bas.

## Mesures de biomasse

Chacun des 10 arbres échantillonnés a été abattu et une rondelle a été prélevée à la base du tronc pour déterminer l'âge par comptage des cernes annuels après séchage et polissage. Le diamètre de toutes les branches vivantes (298 branches) a été mesuré à leur insertion sur le tronc.

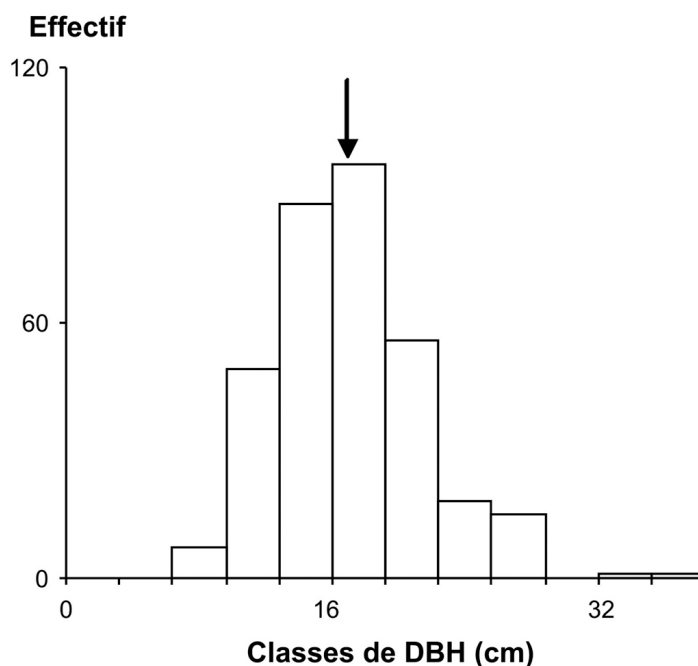
## Biomasse aérienne

Les arbres ont été ensuite séparés en différents compartiments (bois et écorce du tronc, bois et écorce des branches, ramifications d'ordres III et IV, aiguilles, cônes et bourgeons) qui ont été pesés intégralement à l'état frais. Un échantillon par compartiment a été prélevé et son poids a été déterminé avant et après séchage, jusqu'à poids constant à 85°C. Pour le tronc, on a choisi le premier billon de l'arbre pris à 0,3 m de hauteur à partir de la base et pour le houppier, une branche représentative prise au milieu du houppier. La masse sèche des différents compartiments de chaque arbre a été calculée en utilisant la teneur en eau mesurée de chaque compartiment.

Le diamètre des branches a ensuite été mis en relation avec la masse sèche de bois, d'écorce, des ramifications, des aiguilles, des cônes, des bourgeons, de la partie ligneuse (bois + écorce + ramifications) et la masse sèche totale de la branche. Le diamètre à 1,30 m des arbres a été de la même manière mis en relation avec les éléments de la biomasse aérienne (ATTIWILL et OVINGTON 1968 ; RAPP 1971 ; SEBEI *et al.* 2001) suivant l'équation allométrique suivante :

$$W = a D^b \quad [2]$$

où  $W$  est la biomasse sèche (kg),  $D$  le diamètre de l'axe, tronc ou branche (cm), et  $a$  ( $kg \cdot cm^{-1}$ ) et  $b$  les paramètres à estimer. Cette fonction a été ajustée avec le critère des moindres carrés par régression non-linéaire



utilisant l'algorithme de Gauss-Newton, avec le logiciel SAS (SAS software v. 8.02, 2006). La valeur et l'erreur asymptotique sur les paramètres  $a$  et  $b$  ont été ainsi calculées. La biomasse totale du peuplement a été calculée en appliquant la relation [2] établie pour les biomasses totales par arbre à l'ensemble des valeurs de DBH mesurées dans toute la parcelle.

**Fig 2 :** Histogramme des effectifs du diamètre du tronc à 1,30 m de hauteur (DBH) échantillonnés dans une parcelle de 1 ha de la forêt de Rimel (Région de Bizerte). La flèche indique la valeur moyenne de la parcelle.

## Biomasse racinaire

La même approche a été suivie pour déterminer la biomasse souterraine. On a supposé que la majorité des racines d'un individu sont circonscrites à la zone de projection au

**Photo 1 :** Vue de la plantation de pins maritimes de la forêt de Rimel étudiée  
Photo O.Shaiek



**Tab. II (ci-dessous) :**  
Valeurs estimées des paramètres de l'équation allométrique  $W = a D^b$  pour les compartiments de biomasse des branches des dix arbres échantillonnés  
W : biomasse en kg. branche<sup>-1</sup> ;  
D : diamètre de la branche à l'insertion sur le tronc en cm ;  
SCE : somme des carrés des écarts (n= 298)

**Tab. III (en bas) :**  
Valeurs estimées des paramètres de l'équation allométrique  $W = a D^b$  pour les compartiments de biomasse des dix arbres échantillonnés  
D : diamètre à 1,3 m de hauteur en cm

sol du houppier (CABANETTES et RAPP, 1978). Pour chacun des dix arbres échantillons, la densité de racines par m<sup>2</sup> de sol a été estimée à partir de deux prélèvements de sol de 0,25 m<sup>2</sup> de surface et 0,4 m de profondeur (soit 0,10 m<sup>3</sup>), effectués sous le houppier. Les racines ont été extraites et leur masse sèche à 85°C déterminée (ATTIWILL et OVIINGTON, 1968 ; RAPP 1971 ; SEBEL *et al.*, 2001). La biomasse souterraine totale par arbre a été calculée en appliquant la densité moyenne estimée à la surface totale de la projection au sol du houppier. Les données obtenues à partir des dix arbres échantillons ont servi à paramétrer la relation allométrique [2] entre le DBH et la biomasse souterraine par arbre. La relation obtenue a été ensuite appliquée aux DBH de tous les individus de la parcelle.

## Résultats

### Caractéristiques dendrométriques de la placette d'étude et des arbres-échantillons

L'histogramme des effectifs, de forme approximativement gaussienne, montre que le peuplement de la placette d'étude est dominé par la classe (16,01 – 19,20 cm) avec un DBH moyen de 17,2 cm. L'âge de l'arbre moyen de la placette d'étude, estimé par interpolation de la relation entre le DBH et l'âge (A) calculée pour les dix arbres abattus, est d'environ 35 ans et sa hauteur est de 7,03 m. La surface terrière du peuplement s'élève à 8,23 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> et la projection au sol des couronnes est de 2808 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, soit un taux de recouvrement de 28%.

| Compartiment                                       | Relation             | a                      | b                      | SCE          |              | R <sup>2</sup> |
|--|----------------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------------|
|  |                      |                        |                        | Mesures      | Modèle       |                |
| Branche d'ordre II                                 |                      |                        |                        |              |              |                |
| bois   | (1)                  | 0,0073 (0,0011)        | 2,7248 (0,0764)        | 67,3         | 59           | 0,90           |
| écorce   | (2)                  | 0,0038 (0,0006)        | 2,1755 (0,091)         | 2,789        | 2,211        | 0,88           |
| total  | =(1+2)               | 0,0104 (0,0014)        | 2,6284 (0,0727)        | 94,8         | 83,8         | 0,83           |
| Ramifications (ordres III et IV)                   | (3)                  | 0,0225 (0,0022)        | 1,9668 (0,0549)        | 40,99        | 37,06        | 0,83           |
| Bourgeons  | (4)                  | 0,0007 (0,0002)        | 1,1765 (0,1401)        | 0,0047       | 0,0025       | 0,73           |
| <i>Branche totale sans aiguilles et sans cônes</i> | <i>(1+2+3+4)</i>     | <i>0,0294 (0,0029)</i> | <i>2,3355 (0,0537)</i> | <i>250</i>   | <i>231</i>   | <i>0,90</i>    |
| Cônes  | (5)                  | 0,1462 (0,0364)        | 0,3541 (0,1987)        | 46,2         | 13,9         | 0,54           |
| Aiguilles  | (6)                  | 0,018 (0,002)          | 1,8195 (0,0663)        | 16,7         | 14,3         | 0,78           |
| <b>Total branche</b>                               | <b>(1+2+3+4+5+6)</b> | <b>0,0884 (0,0084)</b> | <b>1,9123 (0,055)</b>  | <b>526,4</b> | <b>474,5</b> | <b>0,92</b>    |

| Compartiment   | Relation          | a                      | b                    | SCE           |               | R <sup>2</sup> |
|--|-------------------|------------------------|----------------------|---------------|---------------|----------------|
|  |                   |                        |                      | Mesures       | Modèle        |                |
| Tronc  |                   |                        |                      |               |               |                |
| bois   | (1)               | 0,181 (0,112)          | 1,904 (0,197)        | 28496         | 27989         | 0,96           |
| écorce   | (2)               | 0,0155 (0,0076)        | 2,177 (0,155)        | 1154          | 1143          | 0,95           |
| total  | =(1+2)            | 0,193 (0,098)          | 1,942 (0,162)        | 40904         | 40421         | 0,97           |
| Branches d'ordre II                                  |                   |                        |                      |               |               |                |
| bois   | (3)               | 0,00218 (0,00545)      | 2,770 (0,777)        | 1178,00       | 1000          | 0,80           |
| écorce   | (4)               | 0,00115 (0,00297)      | 2,501 (0,805)        | 61,1          | 50            | 0,71           |
| Ramifications (ordres III et IV)                     | (5)               | 0,00373 (0,0578)       | 2,573 (0,484)        | 891           | 827           | 0,76           |
| Bourgeons  | (6)               | 0,00045 (0,00081)      | 1,733 (0,571)        | 0,0704        | 0,06          | 0,34           |
| <i>Branches totales sans aiguilles et sans cônes</i> | <i>=(3+4+5+6)</i> | <i>0,0066 (0,0131)</i> | <i>2,662 (0,617)</i> | <i>5124</i>   | <i>4579</i>   | <i>0,78</i>    |
| Cônes  | (7)               | 0,00006 (0,00014)      | 3,857 (0,679)        | 994,3         | 925,1         | 0,61           |
| Aiguilles  | (8)               | 0,00068 (0,0059)       | 2,972 (0,631)        | 399           | 360,8         | 0,49           |
| <i>Total aérien</i>                                  | <i>(9)</i>        | <i>0,119 (0,082)</i>   | <i>2,240 (0,217)</i> | <i>101792</i> | <i>99956</i>  | <i>0,97</i>    |
| Racines  | (10)              | 0,369 (0,847)          | 1,478 (0,742)        | 10837         | 8241          | 0,81           |
| <b>Total arbre</b>                                   | <b>=(9+10)</b>    | <b>0,318 (0,329)</b>   | <b>2,006 (0,328)</b> | <b>172076</b> | <b>164278</b> | <b>0,95</b>    |

Les valeurs entre parenthèses sont les écarts types asymptotiques des valeurs estimées.



## Biomasses individuelles

Tous les modèles d'ajustement des biomasses totales et fractionnelles sont de type puissance (eq. 2). Les tableaux II et III présentent les valeurs des paramètres  $a$  et  $b$  des équations d'estimation de la biomasse des dix arbres-échantillons, qui confirment la forte corrélation entre la biomasse des branches et leur diamètre à l'insertion d'une part, et celle des arbres et leur DBH d'autre part. Au niveau de la branche, les relations entre le diamètre à l'insertion et les biomasses partielles et totales sont illustrées par les courbes de la figure 3, où tous les compartiments n'ont pas été représentés.

Les ajustements obtenus présentent, pour tous les compartiments, des coefficients de détermination élevés (Cf. Tab. II). Ainsi, les équations des différents compartiments donnent, pour une branche de taille moyenne (5 cm de diamètre à l'insertion sur le tronc) une biomasse totale de 1,848 kg de matière sèche répartie entre le bois avec l'écorce (38,7%), les cônes (14%), les ramifications (28,8%), les aiguilles (18,2%) et les bourgeons (0,3%).

Au niveau de l'arbre, les relations entre le DBH et les biomasses partielles et totales sont présentées à la figure 4. Les résultats d'ajustement (Cf. Tab. III) montrent, également, des coefficients de détermination hautement significatifs. En appliquant les relations des compartiments élémentaires aux dimensions de l'arbre moyen de la parcelle (DBH=17,2 cm), on obtient une biomasse totale de 92,61 kg qui se subdivise en 67,9 kg de biomasse aérienne et 24,7 kg de biomasse racinaire. La biomasse aérienne se compose du tronc (71%), des branches (19%), des aiguilles (5%) et des cônes (5%).

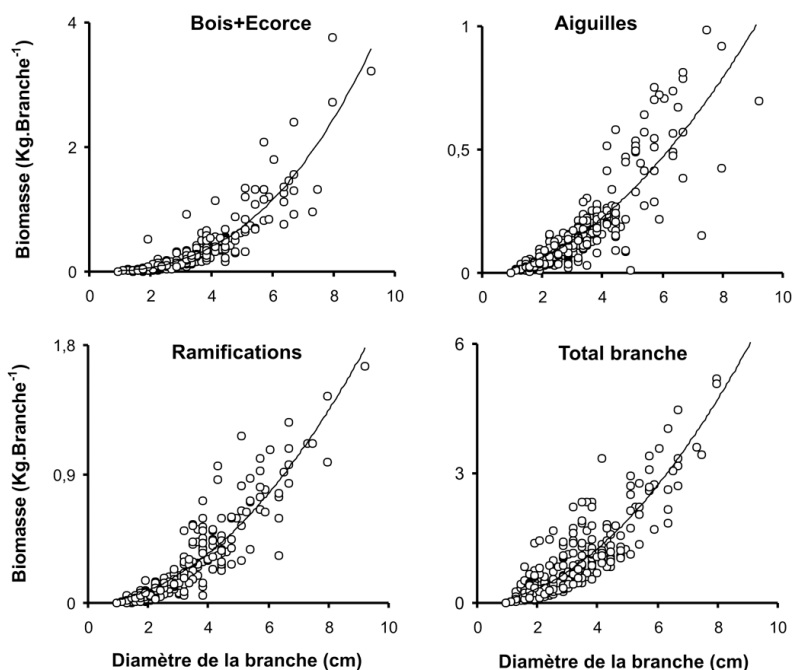


Fig. 3 (ci-dessus) :

Relation entre le diamètre des branches à leur insertion sur le tronc et les biomasses partielle et totale pour dix pins maritimes échantillonnés (forêt domaniale de Rimel, région de Bizerte)

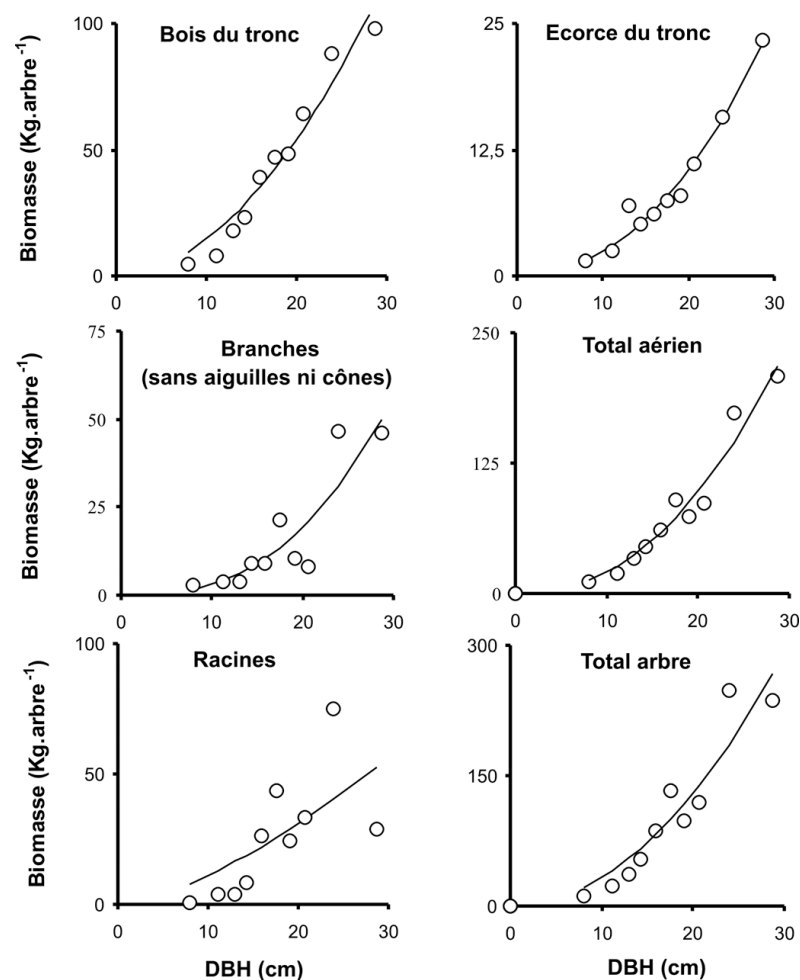


Fig. 4 (ci-contre)

Relation entre le diamètre à 1,3 m de hauteur (DBH) et la biomasse des compartiments aériens et racinaires de dix arbres échantillonnés de pin maritime de la forêt domaniale de Rimel (région de Bizerte). La courbe est l'équation de biomasse ajustée aux valeurs mesurées (eq. 2). Chaque symbole correspond à un arbre échantillonné. Les statistiques des ajustements et valeurs des paramètres sont données dans le tableau III.

## Biomasse au niveau de la placette d'étude et à l'échelle de la forêt

La biomasse au niveau de la parcelle d'étude a été calculée en appliquant les relations allométriques (Cf. Tab. III) à tous les individus de la parcelle. La biomasse totale par compartiment à l'hectare est présentée dans le tableau IV. La valeur de biomasse totale, estimée à 33,1 t MS ha<sup>-1</sup>, est relativement faible, en cohérence avec la faible surface terrière des arbres de cette parcelle. En prenant comme valeur de surface foliaire massique 6,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (PORTÉ *et al.*, 2002), on peut estimer que l'indice foliaire ou LAI du peuplement de pins de Rimel est de 0,84 m<sup>2</sup>.ha<sup>-2</sup>.

## Discussion

Les équations obtenues, tant au niveau *branche* qu'au niveau *arbre*, quel que soit le compartiment, sont des relations allométriques liant une quantité de biomasse à des caractéristiques de la structure ligneuse concernée (branche ou tronc) tel que son diamètre. Ce sont toutes des relations de forme non linéaire de type puissance à deux paramètres.

Pour le tronc, des relations similaires ont été établies pour le pin maritime : au Portugal (BARRETO, 1994), en France (PORTÉ *et al.*, 2002) et en Espagne (BALBOA-MURIAS *et al.*, 2006) et pour d'autres espèces de pina-

cées comme *Pinus radiata* (SOLLA-GULLÓN *et al.*, 2006 ; BALBOA-MURIAS *et al.*, 2006), *Pinus koraiensis* (WANG, 2006), *Pinus taeda* (DEAN et CAO, 2003), *Pinus sylvestris* (SANTA REGINA *et al.*, 1997 ; XIAO *et al.*, 2003 ; ZIANIS et RADOGLU, 2006) et *Pinus halepensis* (GALLALOU, 2006) avec le DBH ou la circonférence du tronc à 1,30 m comme variables indépendantes.

Pour le compartiment branche, la relation biomasse *vs* DBH est, ici, équivalente à celles trouvées pour le pin maritime : en France (PORTÉ *et al.*, 2002) et au Portugal (BARRETO, 1994) et sur d'autres pins comme : *Pinus sylvestris* (XIAO, CURIEL-YUSTE *et al.* 2003), *Pinus koraiensis* (WANG, 2006) et *Pinus taeda* (DEAN et CAO, 2003). Mais cette relation est différente du type polynomial obtenu sur le pin laricio (RANGER, 1978) et le pin pignon (CABANETTES et RAPP 1978).

Pour les aiguilles, plusieurs études ont mis en évidence la liaison entre le feuillage total du houppier et le diamètre du tronc à 1,30 m (LEMOINE *et al.*, 1986 ; GILLESPIE *et al.*, 1994 ; BARTELINK, 1996 ; DVORAK *et al.*, 1996 ; LEONARDI *et al.*, 1996 ; MORALES *et al.*, 1996 ; BALDWIN *et al.*, 1997 ; BARTELINK, 1997 ; LEVIA, 2008). L'équation est de même forme que celle obtenue pour le pin maritime en Espagne (MERINO *et al.*, 2005 ; SOLLA-GULLÓN *et al.*, 2006), au Portugal (BARRETO, 1994) et en Australie (RITSON et SOCHAKI, 2003), ainsi que celles trouvées chez *Pinus halepensis* (GALLALOU, 2006), *Pinus radiata* (BALBOA-MURIAS *et al.*, 2006 ; *Pinus koraiensis* (Wang, 2006), *Pinus taeda* (DEAN et CAO, 2003), *Pinus sylvestris* (SANTA REGINA *et al.*, 1997 ; XIAO, CURIEL-YUSTE *et al.* 2003 ; LEVIA Jr., 2008).

Pour les bourgeons, une relation similaire a été trouvée chez le pin maritime en France (PORTÉ *et al.*, 2002) et le pin d'Alep en Tunisie (GALLALOU, 2006).

Pour le total aérien et le total arbre, des relations allométriques de même type ont été trouvées chez *Pinus pinaster* au Portugal (BARRETO, 1994), *Pinus halepensis* (GALLALOU, 2006), *Pinus koraiensis* (WANG, 2006) et *Pinus strobus* (PEICHL et ARAIN, 2007).

Les biomasses partielles de chaque branche de pin maritime peuvent être estimées, sur pied, à partir de son diamètre à l'insertion sur le tronc, à l'aide d'une relation de type puissance (Cf. Fig. 3 et Tab. II). Des relations similaires ont été trouvées pour le pin maritime en France concernant la biomasse des feuilles et des branches, avec

**Tab. IV :**

Biomasses totales du Pin maritime dans la forêt domaniale de Rimel (Région de Bizerte).

1 : total aérien calculé en utilisant la relation 9 Cf. Tableau III

| Compartiment                                  | Relation            | Biomasse (t ha <sup>-1</sup> ) |
|---|---------------------|--------------------------------|
| Tronc   |                     |                                |
| bois  | (1)                 | 14,30                          |
| écorce  | (2)                 | 2,70                           |
| total   | = (1+2)             | 17,00                          |
| Branches d'ordre II                           |                     |                                |
| bois  | (3)                 | 2,20                           |
| écorce  | (4)                 | 0,50                           |
| Autres ramifications (ordres III et IV)       | (5)                 | 2,10                           |
| Bourgeons                                     | (6)                 | 0,02                           |
| Branches totales sans aiguilles et sans cônes | = (3+4+5+6)         | 4,80                           |
| Cônes   | (7)                 | 1,60                           |
| Aiguilles                                     | (8)                 | 1,30                           |
| Total aérien <sup>1</sup>                     | (9)                 | 25,20                          |
| Total aérien                                  | = (1+2+3+4+5+6+7+8) | 24,70                          |
| Racines                                       | (10)                | 8,40                           |
| Total   | = (9+10)            | 33,90                          |

comme variable indépendante, le diamètre de la branche à 10 cm de son insertion sur le tronc (PORTÉ *et al.*, 2002). Des relations analogues ont été établies pour *Pinus silvestris* en Finlande (HELMISSARI *et al.*, 2002) et *Pinus taeda* aux USA (BLAZIER *et al.*, 2002). En outre, il a été établi que cette méthode permettait une meilleure estimation de la biomasse des branches et des aiguilles (XIAO et CEULEMANS, 2004).

Quant à la biomasse souterraine des pins maritimes, elle varie avec le DBH selon une relation de type puissance, analogue à celle mise en évidence chez *Pinus halepensis* (GALLALOU, 2006), *Pinus koraiensis* (WANG, 2006) et *Pinus strobus* (PEICHL et ARAIN, 2007). Des relations de même forme ont été obtenues sur *Pinus silvestris* (ATTIWILL et OVINGTON, 1968) et *Pinus pinea* (CABANETTES et RAPP, 1978), en utilisant la circonférence du tronc à 1,30 (DBH) comme variable indépendante.

Les équations allométriques permettent d'estimer la biomasse totale de la branche ou de l'arbre avec plus de précision que les biomasses fractionnelles.

L'examen des coefficients de détermination révèle un meilleur ajustement des équations lorsque les compartiments de biomasse sont considérés dans leur globalité plutôt qu'en fraction et ceci pour les relations impliquant le diamètre de l'arbre à 1,30 m de hauteur (Cf. Tab. III) ou celui de la branche à l'insertion sur le tronc (Cf. Tab. II). En effet, les plus fortes valeurs de  $R^2$  correspondent aux totaux : branche (0,92), tronc (0,97) et aérien (0,97).

Ces équations allométriques, communément utilisées pour estimer la biomasse forestière, constituent une alternative non destructive dans laquelle la biomasse aérienne des différentes parties de l'arbre et /ou la biomasse totale de l'arbre sont estimées en se basant sur des mesures simples (KERSHAW et MAGUIRE, 1995 ; PORTÉ *et al.*, 2002 ; XIAO et CEULEMANS, 2004)

La comparaison entre les valeurs de la SCE, proposées par le modèle et celles calculées à partir des mesures effectuées au niveau de la branche ou de l'arbre (Cf. Tab. II et III), montre qu'il n'y a pas un grand écart entre les deux, surtout au niveau de l'arbre où les écarts sont inférieurs à 2 % pour le tronc et le total aérien et inférieurs à 5 % pour le total arbre.

Les valeurs du paramètre  $b$  des équations allométriques obtenues, sont similaires à



celles des pins en général avec quelques différences au niveau de certains compartiments (Cf. Tab. V). Le paramètre  $b$  des équations allométriques de type puissance [ $W = a D^b$ ] peut s'écrire :

$$b = \text{Ln}(W/a) / \text{Ln}(D)$$

Pour une même valeur de DBH, la biomasse de l'arbre ou du compartiment considéré est d'autant plus élevée que  $b$  est grand.

Les valeurs pour les différents compartiments, rentrent dans la gamme de celles trouvées sur d'autres pins, à l'exception de celles du bois du tronc et des racines, qui sont inférieures et se répercutent sur celle du total arbre ; pour un même DBH les arbres étudiés présentent une biomasse plus faible que leurs congénères étudiés dans la partie nord de l'aire géographique, en Espagne, France ou au Portugal. Ces faibles valeurs concernent les deux principaux réservoirs de biomasse et pourraient être imputables, entre autre, à la faible densité du peuplement et à son exposition au vent (RITSON et SOCHACKI, 2003).

**Photo 2 :**  
Vue en pente  
de la parcelle d'étude  
Photo O.Shaiek



| Espèce                          | Age<br>(ans) | Densité<br>(arbres.ha <sup>-1</sup> ) | Hauteur<br>moyenne<br>(m) | Bois<br>Tronc | Ecorce<br>Tronc | Branche | Aiguilles | Bourgeons<br>(t.ha <sup>-1</sup> ) | Total<br>aérien   | Racines           | Biomasse<br>totale | Réf.                              |
|---------------------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|---------|-----------|------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|
|                                 |              |                                       |                           |               |                 |         |           |                                    |                   |                   |                    |                                   |
| <i>P. halepensis</i>            | 36           | 996                                   | 9,2                       | 42,4          | 4,6             | 27,0    | 4,9       | 0,04                               | 80,0              | 21,8              | 101,8              | Gallalou<br>(2006)                |
| <i>P. halepensis</i>            | 70           | 656                                   | 12                        |               |                 |         | 5,6       |                                    | 156,6             |                   |                    | Rapp<br>(1974)                    |
| <i>P. pinaster</i><br>(Rimel)   | 35           | 332                                   | 7,03                      | 14,3          | 2,70            | 4,80    | 1,30      | 0,02                               | 24,7 <sup>a</sup> | 8,40 <sup>b</sup> | 33,1               | Cette étude                       |
| <i>P. pinaster</i><br>(France)  | 50           | 223                                   | -                         | 74,2          | 13,9            | 17,32   | 4,24      | 0,48                               | 110,2             | 28,8              | 139,0              | Bert et<br>Danjon (2006)          |
| <i>P. pinaster</i><br>(France)  | 32           | 334                                   | 38,44                     | 107,0         | 14,1            | 15,7    | 7,4       | 0,28                               | 144,5             |                   |                    | Porté et al,<br>(2002)            |
| <i>P. pinaster</i><br>(Espagne) | 40           | 771                                   | 20,45                     | 232,3         | 42,7            | 48,3    | 16,2      |                                    | 339,5             |                   |                    | Merino et al,<br>(2005)           |
| <i>P. pinea</i>                 | 33           | 800                                   | 11                        |               |                 |         | 9,2       |                                    | 124               | 22                | 146                | Cabanettes et<br>Rapp (1978)      |
| <i>P. radiata</i>               | 23           | 1178                                  | 24,2                      | 269,7         | 31,62           | 34,2    | 9,7       |                                    | 345,4             |                   |                    | Merino et al,<br>(2005)           |
| <i>P. silvestris</i>            | 55           | -                                     | 16                        | -             | -               | -       | 10,4      | -                                  | 119,3             | 34,1              | 153,4              | Roddin<br>et Bazilevich<br>(1967) |
| <i>P. silvestris</i>            | 20           |                                       | 5,8                       |               |                 |         | 12,5      |                                    | 51,6              | 14,0              | 65,6               | Roddin<br>et Bazilevich<br>(1967) |

a : somme des compartiments aériens ; b : somme de tous les compartiments

**Tab. V :**

Comparaison  
des paramètres  
dendrométriques  
et des biomasses  
de quelques espèces  
du genre *Pinus*

### **Biomasse aérienne**

Le peuplement de cette parcelle a une biomasse faible. Une brève synthèse des valeurs de biomasse rencontrées dans la littérature pour différentes espèces de pin est présentée au tableau VI. Les valeurs de biomasse aérienne sont très variables selon l'espèce, l'âge et la densité du peuplement.

Comparée à celle des pins en général et du pin maritime en particulier, la valeur trouvée (24,7 t.ha<sup>-1</sup>) est la plus faible et il en est de même pour les différents compartiments aériens. Ceci peut être attribué aux conditions stationnelles, notamment édaphiques, défavorables : faible capacité de rétention en eau (sol dunaire) et déficience du complexe absorbant en colloïdes argileux et humiques (Cf. Tab. I). A ces facteurs s'ajoutent : la présence, en hiver, d'une nappe phréatique proche de la surface et l'action des embruns marins (peuplement situé à 60 m de la mer).

En ce qui concerne la distribution de la biomasse aérienne entre différents organes, on constate que la proportion allouée aux aiguilles (5%) est semblable à celle des trois autres peuplements de pin maritime, alors que chez les autres espèces de pins, elle varie de 3 à 24 %. De même, les pourcentages de biomasse accumulée dans l'écorce du tronc



**Photo 3 :**

Vue de la parcelle d'étude en face de la mer  
Photo O. Shaiek



| Espèce                  | Réf.                                  | Région    | Bois du tronc | Ecorce du tronc | Total Tronc | Branches | Aiguilles | Bourgeons | Total aérien | Racines | Total arbre |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------|---------------|-----------------|-------------|----------|-----------|-----------|--------------|---------|-------------|
| <i>Pinus banksiana</i>  | Zavitkovsi <i>et al.</i> , (1981)     | USA       |               |                 |             |          |           |           | 2,22-2,27    |         |             |
| <i>Pinus halepensis</i> | López-Serrano <i>et al.</i> , (2005)  | Espagne   |               |                 | 2.25        |          | 1.93      |           |              |         |             |
| <i>Pinus halepensis</i> | Gallalou (2006)                       | Tunisie   | 2,263         | 1.803           |             |          | 1,715     | 2         | 2.209        | 2.186   | 2,202       |
| <i>Pinus koraiensis</i> | Wang (2006)                           | Chine     |               |                 | 2.25        | 2.24     | 1.657     |           | 2.14         | 2.37    | 2.218       |
| <i>Pinus pinaster</i>   | Cette étude                           | Tunisie   | 1.904         | 2.177           | 1.942       | 2.662    | 2.972     | 1.73      | 2.24         | 1.478   | 2           |
| <i>Pinus pinaster</i>   | Solla-Gullón <i>et al.</i> , (2006)   | Espagne   |               |                 |             |          | 2.8845    |           |              |         |             |
| <i>Pinus pinaster</i>   | Ritson et Sochacki, (2003)            | Australie |               |                 |             |          | 2.383     |           |              |         |             |
| <i>Pinus pinaster</i>   | Porté <i>et al.</i> , (2002)          | France    |               |                 |             | 2.208    |           | 1.925     |              |         |             |
| <i>Pinus pinaster</i>   | Barreto (1994)                        | Portugal  | 3.013         | 3.013           |             | 2.013    | 2.013     |           | 2.71         |         | 2.74        |
| <i>Pinus radiata</i>    | Merino <i>et al.</i> , (2005)         | Espagne   |               |                 |             |          | 1.7114    |           |              |         |             |
| <i>Pinus radiata</i>    | Balboa-Murias <i>et al.</i> , (2006)  | Espagne   |               | 2.6564          |             |          | 1.7141    |           |              |         |             |
| <i>Pinus radiata</i>    | Forrest (1969)                        | Australie |               |                 |             |          |           |           | 1,73-2,66    |         |             |
| <i>Pinus resinosa</i>   | Ter-Mikaelian et Korzukhin, (1997)USA |           |               |                 |             |          |           |           | 2,35-2,42    |         |             |
| <i>Pinus silvestris</i> | Santa Regina <i>et al.</i> , (1997)   | Espagne   |               |                 | 2.3393      |          |           |           | 0.238        |         |             |
| <i>Pinus silvestris</i> | Ovington (1957)                       | UK        |               |                 |             |          |           |           | 2.64         |         |             |
| <i>Pinus silvestris</i> | Yste <i>et al.</i> , (2005)           | Belgique  |               |                 | 2.3272      | 2.9123   | 2.2372    |           |              |         |             |
| <i>Pinus silvestris</i> | Solla-Gullón <i>et al.</i> , (2006)   | Espagne   | 2.7184        |                 |             |          |           |           |              |         | 2.4187      |
| <i>Pinus strobus</i>    | Peichl et Arain, (2007)               | Canada    | 2.513         | 1.981           | 2.466       | 4.217    | 4.014     |           | 2.926        | 2.79    | 2.907       |
| <i>Pinus strobus</i>    | Levia (2008)                          | USA       |               |                 |             |          | 2.308     |           |              |         |             |
| <i>Pinus strobus</i>    | Ter-Mikaelian et Korzukhin (1997)USA  |           |               |                 |             |          |           |           | 2,14-2,45    |         |             |
| <i>Pinus taeda</i> L.   | Jokela et Martin (2000)               | Florida   |               |                 | 2,684       | 2.714    | 2.02      |           |              |         | 2.29        |
| <i>Pinus taeda</i> L.   | Dean et Cao (2003)                    | USA       |               |                 | 2.68        | 2.71     | 2.02      |           |              |         |             |

sont comparables aux autres peuplements de pin maritime (10 à 13%). Par contre, les pins maritimes de Rimel diffèrent des autres peuplements par les fractions de biomasse aérienne allouées au bois du tronc (58 % contre 67 à 78 %) et aux branches (26 contre 10 à 16 %).

### Biomasse racinaire

Le peuplement de Rimel a une biomasse racinaire nettement plus faible en comparaison de celle des autres pins cités au tableau VI. Cependant, le rapport de cette biomasse à la biomasse aérienne : 0,34, est proche de la valeur de 0,30 observée chez des pins maritimes dans d'autres régions (SANTANTONIO *et al.*, 1977 ; PORTÉ *et al.*, 2002). La valeur de ce rapport présente une forte variation entre les différentes espèces de pins : 0,27 chez le pin d'Alep (GALLALOU, 2006) ; 0,18 chez le pin pignon (CABANETTES et RAPP, 1978) et de 0,14 à 0,47 chez le pin sylvestre (POZDYNAKOV *et al.*, 1969 ; VANNINEN *et al.*, 1996 ; XIAO *et al.*, 2003).

### Conclusion

L'étude de la biomasse aérienne et souterraine du peuplement de pin maritime dans cette région d'étude, nous permet de conclure que le diamètre à 1,30 m de hauteur et le diamètre des branches à l'insertion sur le tronc des arbres sont des variables hautement prédictives de l'estimation de la biomasse au niveau de l'individu. La biomasse totale de ce peuplement est faible, 33,10 t.ha<sup>-1</sup>, et se subdivise en 24,7 t.ha<sup>-1</sup> de biomasse aérienne et de 8,40 t.ha<sup>-1</sup> de biomasse racinaire. Cette situation s'explique par des conditions stationnelles défavorables : faibles niveaux de fertilité du sol, nappe phréatique proche de la surface, embruns marins...

### Tab. VI :

Valeurs de b de l'équation allométrique  $W = a D^b$  d'estimation des compartiments de la biomasse chez différentes espèces du genre *Pinus*  
W : biomasse en kg.arbre<sup>-1</sup>,  
D : diamètre à 1,3 m de hauteur en cm

## Bibliographie

- Attwill, P. M. et Ovington J. D., "Determination of forest biomass," *Forest Science* 14 (1968): 13-15.
- Balboa-Murias, M.Á., Rodríguez-Soalleiro, R. et Álvarez-González, J. G., "Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural alternatives," *Forest Ecology and Management* 237 (2006): 29-38.
- Baldwin, Jr. V.C., Peterson K.D., Burkhart, H.E., Amateis, R.L. et Dougherty, P.M., "Equations for estimating loblolly pine branch and foliage weight and surface area distributions," *Canadian Journal of Forest Research* 27 (1997): 918-927.
- Barreto, L. S., "The dynamics of the biomass of maritime; pine Trees and Stands." *Silva Lusitana*, (2) 2 (1994): 239-246.
- Barrio-Anta, M., Balboa-Murias, M.Á., Castedo-Dordo F., Diéguez-Aranda U. et Álvarez-González, J-G., "An ecoregional model for estimating volume, biomass and carbon pools in maritime stands in Galicia (northwestern Spain)," *Forest Ecology and Management* 223 (2005): 24- 34.
- Bartelink, H. H., "Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir." *Forest Ecology and Management* 86(1-3) (1996): 193-203.
- Bartelink, H.H. "Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.)" *Annales des Sciences forestières* 54 (1997): 39-50.
- Bert, D. et Danjon F., "Carbon concentration variations in the roots stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.)", *Forest Ecology and Management* 222 (2006): 279-295.
- Bisch, J. L., "Le taux de conversion de volume de bois frais en biomasse : amélioration de ses méthodes d'estimation." *Annales des Sciences forestières*. 43(3) (1986): 383-396.
- Blazier, M.A., Hennessey, T.C., Lynch, T.B., Wittwer, R.F., "Comparison of branch biomass relationships for North Carolina and Oklahoma/Arkansas loblolly pine seed sources growing in southeastern Oklahoma". *Forest Ecology and Management* 159 (2002): 241-248.
- Cabanettes, A. et Rapp M., "Biomasse, minéralomasse et productivité d'un écosystème à Pins pignons (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen. I. Biomasse." *Acta Oecol Plant* 13(3) (1978): 271-286.
- Cairns, M.A., Haggerty, P.K., Alvarez, R., De Jong, B.H.J., Olmsted, I., "Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle," *Ecological Application* (10) 5 (2000):1426-1441.
- Cienciala, E., Černý M., Tatarinov F., Apltauer J. et Exnerová Z., "Biomass functions applicable to Scots pine". *Trees* 20 (2006): 483-495.
- Dean, T. J. et Cao Q. V., "Inherent Correlations Between Stand Biomass Variables Calculated from Tree Measurements," *Forest Science* 49(2) (2003):279-284.
- D.G.F., "Direction Générale des Forêts. Résultats du premier inventaire forestier national en Tunisie". Ministère de l'Agriculture, Tunis, (1995) p 87.
- Dvorak, V., Oplustilova, M. et Janous D., "Relation between leaf biomass and annual ring sapwood of Norway spruce according to needle age-class", *Canadian Journal of Forest Research*. 26 (1996): 1822-1827.
- Forrest, W. G., "Variations in the accumulation, distribution and movement of mineral nutrients in radiata pine plantations," PhD Thesis, The Australian National University, Canberra. (1969).
- Gallalou, C., "Etude des caractéristiques dendrométriques du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Bouherma (Région de Fernana) (Tunisie)", Mémoire de Mastère. Tunisie, Université 7 Novembre à Carthage, (2006) 52 pp.
- Gillespie, A.R., Allen, H.L, et Vose, J.M., "Amount and vertical distribution of foliage of young loblolly pine trees as affected by canopy position and silvicultural treatment", *Canadian Journal of Forest Research* 24(1994): 1337-1344.
- Helmisaari, H.S., Makkonen, K., Kellomäki, S., Valtonen, E. et Mälkönen, E., "Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland", *Forest Ecology and Management* 165(2002): 317-326.
- Jalkanen, A., Mäkipää, R., Ståhl, G., Lehtonen, A., et Petersson, H., "Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors." *Annals of Forest Science*. 62 (2005): 845-851.
- Jokela, E.J. et Martin, T.A., "Effects of ontogeny and soil nutrient supply on production allocation and leaf area efficiency in loblolly and slash pine stands". *Canadian Journal of Forest Research* 30 (2000):1511-1524.
- IFN., "Deuxième inventaire forestier et pastoral national. Résultats de l'inventaire forestier sur l'échelon de Jendouba. (Gouvernorats de Jendouba, Béja et Bizerte)" (2005).45 pp.
- Kershaw J. A. et Maguire D. A., "Crown structure in western hemlock, Douglas-fir, and grand fir in western Washington: trends in branch-level mass and leaf area", *Canadian Journal of Forest Research* (25) 12 (1995): 1897-1912.
- Lemoine, B., Gelpe J., Ranger, J. et Nys, C., "Biomasse et croissance du pin maritime. Etude de la variabilité dans un peuplement de 16 ans", *Annales des Sciences Forestières* 43 (1) (1986):67-84.
- Leonardi, S., Rapp, M., Failla, M. et Guarnaccia, D. "Biomasse, productivité et transferts de matière organique dans une séquence altitudinale du peuplement de *Castanea sativa* Mill. de l'Etna," *Annales des Sciences Forestières*. 53 (1996): 1031-1048.
- Levia, D.F., "A generalized allometric equation to predict foliar dry weight on the basis of trunk diameter for eastern white pine (*Pinus strobus* L.)", *Forest Ecology and Management*. 255 (5-6) 2008: 1789-1792.
- López-Serrano, F.R., García-Morote, A., Andrés-Abellán, M., Tendero, A. et Del Cerro, A., "Site and weather effects in allometries: A simple approach to climate change effect on pines," *Forest Ecology and Management* 215(2005):251-270.

- Mariettea, S., Chagnéa, D., Decroocqa, S., Vendraminb, G., Lalannea, C., Madura, D. et Plomion, C., "Microsatellite markers for *Pinus pinaster* Ait", *Annals of Forest Science* 58 (2001): 203–206.
- Merino, A., Balboa, M.A., Rodríguez Soalleiro, R. et Álvarez González, J.G., Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. *Forest Ecology and Management* 207(3) (2005):325-339.
- Morales, D., Jiménez, M.S., González-Rodríguez, A.M., Cermák, J., "Laurel forests in Tenerife, Canary Islands. II. Leaf distribution patterns in individual trees," *Trees* 11(1996): 41-46.
- Muukkonen, P., "Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe." *European Journal of Forest Research* 126 (2007): 157-166.
- Nabuurs G-J., Schelhaas, M-J., Mohren, GMJ et Field, CB., "Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999", *Global Change Biology* 9 (2003):152–160.
- Ovington, J.D., The form, weight and productivity of tree species grown in close stand. *New Phytologist* 55 (1957): 289-304.
- Peichl, M. et Arain, M.A., "Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests", *Forest Ecology and Management* 253 (2007): 68-80.
- Porté, A., Trichet, P., Bert, D. et Loustau D., "Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)," *Forest Ecology and Management* 158 (2002): 71-83.
- Pozdynakov, L.K., Protopopov, V.V., Gorbatenko, V.M., "Biological productivity of central Siberia and Yakutiya forests", Forest and Wood Institute, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, Krasnoyarsk, In Russian, (1969) 156 pp.
- Ranger, J., "Recherches sur les biomasses comparées de deux plantations de pin laricio de Corse avec ou sans fertilisation", *Annales des Sciences Forestières* 35 (2) (1978): 93-115.
- Rapp, M., "Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens", P.I.B. Recherche Coopérative sur programme du CNRS N° 40, CNRS. (1971).
- Rapp, M., "Le cycle biogéochimique dans un bois de pins d'Alep", In : P.PESSON, *Écologie forestière*, Gauthier-Villars, Paris, (1974):75-97.
- Ritson, P. et Sochacki, S., "Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantations, southwestern Australia", *Forest Ecology and Management* 175(1-3) (2003):103-117.
- Rodin, L. E. et Bazilevich N. I., "Production and mineral cycling in terrestrial vegetation", Oliver et Boyd, Edinburgh, (1967) 288 pp.
- Santa Regina, I., Tarazona, T., et Calvo R., "Aboveground biomass in a beech forest and a Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda area of Northern Spain." *Annals of Forest Science* 54 (1997): 261-269.
- Santantonio, D., R. Hermann et Overton, W., "Root biomass studies in forest ecosystems", *Pedobiologia*, 17(1977): 1-31.
- Sebei H., Albouchi A., Rapp M., et El Aouni M.H., "Evaluation de la biomasse arborée et arbustive dans une séquence de dégradation de la subéraie à Cytise de Kroumirie (Tunisie)", *Annals of Forest Science* 58(2001): 175-191.
- Sega-Ecafir, "Révision du procès-verbal d'aménagement de la forêt domaniale de Rimel (1999-2018)", (1998).
- Solla-Gullón, F. Álvarez, P., Balboa, MA., Rodríguez Soalleiro, R. J. et Merino, A., "Growing stock-based assessment of the carbon stock in a plot zone of northern Spain: comparison of biomass equations and biomass expansion factors" Forsee project-INTERREG III B EA (2006).
- Ter-Mikaelian, M. T. et Korzukhin, M. D., "Biomass equations for sixty-five North American tree species." *Forest Ecology and Management* 97(1997): 1–24.
- Vanninen, P., Ylitalo, H., Sievanen, R. et Makela, A., "Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)", *Trees* 10 (1996): 231–238.
- Wang, C., "Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests." *Forest Ecology and Management* 222 (2006): 9-16.
- Whittaker, R. H. et Woodwell, G. M., "Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest", New York, *Journal of Ecology* 56 (1968): 1-25.
- Xiao, C. W., Curiel-Yuste, J., Janssens, I. A., Roskams, P., Nachtergale, L., Carrara, A., Sanchez, B. Y. et Ceulemans, R., "Above-and belowground biomass and net primary production in a 73-year-old Scots pine forest," *Tree Physiology* 23 (8) (2003): 505-516.
- Xiao, C. W. et Ceulemans, R., "Allometric relationships for below-and aboveground biomass of young Scots pines," *Forest Ecology and Management* 203(1-3): (2004):177-186.
- Xing, Z.S., Bourque, C.P.A., Swift D.E., Clowater, C.W. et Krasowski Meng, F.R., "Carbon and biomass partitioning in balsam fir (*Abies balsamea*)", *Tree Physiology*, 25 (2005): 1207–1217.
- Yuste, J. C., Konopka, B., Janssens, I. A., Coenen, K., Xiao, C. W. et Ceulemans, R., "Contrasting net primary productivity and carbon distribution between neighboring stands of *Quercus robur* and *Pinus sylvestris*." *Tree Physiology* 25(6) (2005): 701-712.
- Zavitkovski, J., Jeffers, R. M., Nienstaedt, H. et Strong T. F., "Biomass production of several jack pine provenances at three Lake States locations," *Canadian Journal of Forest Research* 11 (1981): 441-447.
- Zianis, D. et Raidoglou K., "Comparaison between empirical and theoretical biomass allometric models and statistical implications for stem volume predictions". *Forestry* 79(4) (2006): 479-487.

Olfa SHAIK  
 Faculté des Sciences  
 de Bizerte  
 Laboratoire d'Ecologie  
 Végétale  
 Jarzouna 7021  
 Tunisie  
 Mèl :  
 shaiek\_olfa@yahoo.fr  
 Tél. : + 216 22 719 243

Denis LOUSTAU  
 INRA, UR1263 EPHYSE  
 33140 Villenave-  
 d'Ornon  
 France

Salah GARCHI  
 Institut National de  
 Recherches en Génie  
 Rural, Eaux et Forêts,  
 B.P. 10, 2080 Ariana  
 Tunisie

Beya BACHTOBI  
 Mohamed Hédi EL  
 AOUNI  
 Faculté des Sciences  
 de Bizerte  
 Laboratoire  
 d'Ecologie Végétale  
 Jarzouna 7021  
 Tunisie



## Résumé

Les biomasses aériennes et souterraines d'un peuplement de pins maritimes (*Pinus pinaster* Soland. ssp. *Renoui* H. del Villar) d'une dune littorale de la forêt de Rimel (Tunisie) ont été déterminées à partir d'équations de biomasse. Les mesures de biomasse ont été effectuées sur dix arbres-échantillons choisis dans les différentes classes de diamètre du tronc à 1,30 m de hauteur (DBH) sur une parcelle d'un hectare. Les compartiments de biomasse sont : bois du tronc, écorce du tronc, bois des branches, écorce des branches, rameaux, cônes, bourgeons et racines.

Les relations allométriques utilisées sont de la forme  $W = a D^b$ , la variable D étant, soit le diamètre de la branche à l'insertion sur le tronc, soit le diamètre du tronc mesuré à 1,30 de hauteur. Nous montrons que le diamètre de la branche à son insertion sur le tronc et le DBH expliquent 92 et 95% de la variance des biomasses fractionnelles et totales, respectivement, de la branche et de l'arbre.

Nous avons estimé, à partir de ces relations, la biomasse totale du peuplement qui se subdivise en 24,7 t MS ha<sup>-1</sup> de biomasse aérienne et 8,4 t MS ha<sup>-1</sup> de biomasse racinaire, la biomasse aérienne se répartissant entre le tronc (69 %), les branches (19,5 %), les cônes (6,5%), et les aiguilles (5%).

Comparée à d'autres pins de cette région, la faible biomasse aérienne et souterraine de ces pins maritimes s'explique par les conditions stationnelles défavorables : faible niveau de fertilité du sol, faible capacité de rétention de l'eau et embruns marins.

Mots-clés : biomasse, relations allométriques, *Pinus pinaster*, Tunisie

## Summary

### Allometric biomass assessment of the maritime pine on coastal sand dunes: the example of the Rimel forest (Tunisia)

The above- and below-ground biomass of a maritime pine stand (*Pinus pinaster* Soland. ssp. *Renoui* H. del Villar) have been estimated in the afforestation area of Rimel located on a littoral dune, using allometric biomass relationships. Measurements of biomass were carried out on a sample of ten trees selected in the different classes of bole diameter at breast height (DBH) in a plot of one hectare.

Biomass categories are: trunk wood, trunk bark, branch wood, branch bark, needles, twigs, cones, buds and roots.

The allometric relationships are of the form  $W = a D^b$ , D being either the branch diameter at its insertion on the trunk or the trunk diameter measured at 1.30m height. These relationships revealed that branch diameter at stem insertion and DBH explained 92 and 95% of variances of the partial and total biomass of branch and tree respectively.

Based on these relationships, we calculated the total biomass for the plot. It is subdivided into 24.7 t MS ha<sup>-1</sup> of aboveground biomass and 8.4 t MS ha<sup>-1</sup> of root biomass. Aboveground biomass was made up of trunks (69 %), branches (19,5 %), cones (5%) and needles (5%).

Compared with other pine species, the maritime pine in this study exhibited low above- and below-ground biomass which can be attributed to certain unfavourable stand conditions such as low soil fertility, poor water retention and exposure to salt-bearing sea mists.

Key-words : biomass, Allometric relations, *Pinus pinaster*, Tunisie.

### ملخص:

تم حساب الكتل الجافة للأجزاء العلوية والجذور لمجموعة من أشجار الصنوبر البحري (*Pinus pinaster* Soland. ssp. *Renoui* H. del Villar) على كتبان ساحلية بغابة الرمال (تونس) وذلك باستعمال معادلات الكتلة الجافة. وبعد دراسة توزيع الأشجار حسب قياسات قطر الجذع على ارتفاع 1.30م في قطعة مساحتها هكتار تم قياس الكتل الجافة الجزئية على عينة تمثيلية من عشرة أشجار : خشب الجذع , قشرة الجذع , خشب الأغصان , قشرة الأغصان , إبر , فروع , ثمار , براعم وجذور.

كل المعادلات المتحصل عليها هي على شكل  $W = a D^b$  و التي ترمز فيها D إلى قطر الغصن في موضع ارتباطه بالجذع أو قطر الجذع على ارتفاع 1.30م.

تشير المعادلات إلى أن قطر الغصن في موضع ارتباطه بالجذع وقطر الجذع على ارتفاع 1.30م متغيران رفيعا الدقة في قياس الكتل الجافة الجزئية أو الكاملة على مستوى الغصن والشجرة . وتمكننا بواسطة هذه المعادلات من حساب الكتلة الجافة لمجموعة الأشجار والتي تنقسم إلى 24,7 ط م ج في الهكتار بالنسبة للأجزاء العلوية و 8,4 ط في الهكتار بالنسبة للجذور. تتكون كتلة الأجزاء العلوية من الجذع (69 %) والأغصان (19,5 %) والثمار (6,5 %) و الإبر (5 %) وبالمقارنة مع أصناف أخرى من أشجار الصنوبر, يتسم الصنوبر البحري لهاته الغابة بكتل جافة ضعيفة على مستوى الأجزاء العلوية و الجذور ويفسر هذا بسوء كتلة الجذور و بطروف هاته المحطة: مستوى خصوبة متدني للتربة , طاقة ضعيفة على حبس المياه والرذاذ البحري .

الكلمات المفتاحية : كتلة جافة , معادلات قيسية , الصنوبر البحري , تونس