



Biologie du développement et de la reproduction/Development and reproduction biology

Effet de plusieurs méthodes de scarification et du stress osmotique sur la germination des graines de *Robinia pseudoacacia* L.



Effect of several methods of scarification and osmotic stress on seed germination of Robinia pseudoacacia L.

Mohamed Toumi ^{*}, Selma Barris, Mohamed Seghiri, Houmam Cheriguene, Fatiha Aid

Laboratoire de biologie et physiologie/physiologie végétale, faculté des sciences biologiques, université des sciences et de la technologie Houari-Boumediène, Boîte postale 32, El Alia Bab Ezzouar, 16111 Alger, Algérie

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 26 novembre 2016

Accepté après révision le 3 février 2017

Disponible sur internet le 9 mai 2017

Mots clés :

Robinia pseudoacacia L.

Scarification

Germination

PEG₆₀₀₀

Potentiel osmotique

RÉSUMÉ

La plantation d'espèces diversifiées adaptées aux zones des massifs forestiers de l'Atlas saharien permettrait une meilleure lutte contre la désertification du couvert végétal de ces zones fragilisées. Grâce à sa croissance rapide sur des sols dégradés, *Robinia pseudoacacia* L. présente un avantage certain dans le repeuplement de ces zones en voie de désertification. La scarification des graines de *Robinia pseudoacacia* L. est nécessaire pour permettre l'absorption de l'eau par les semences. Nos résultats indiquent que les scarifications manuelles par l'acide sulfurique (75 minutes), par l'eau bouillante (90 minutes), ainsi que la scarification par les micro-ondes (700 W) (105 secondes) permettent d'obtenir les meilleurs taux de germination. La présence de PEG₆₀₀₀ dans les solutions d'imbibition réduit considérablement le taux de germinations des graines de *R. pseudoacacia* L. Une diminution de 70 % du taux optimal de germination est observée lorsque le potentiel osmotique de la solution d'imbibition est à -4,65 bar.

© 2017 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

The planting of several species adapted to forests areas in the Saharan Atlas would allow one to better fight against the desertification of the vegetation cover of these fragile areas. Thanks to its rapid growth on degraded soils, *Robinia pseudoacacia* L. has an advantage in the repopulation of these areas undergoing desertification. Operation of this large-scale tree requires good control of germination conditions and growth of plants. The scarification of the seeds of *Robinia pseudoacacia* L. is necessary to allow the absorption of water by the seeds. Our results show that mechanical scarification with sulphuric acid (75 minutes), boiling water (90 minutes)

Keywords:

Robinia pseudoacacia L.

Scarification

Germination

PEG₆₀₀₀

Osmotic pressure

^{*} Auteur correspondant.

Adresse e-mail : t_med@hotmail.com (M. Toumi).

and scarification by microwaves (700 W) (105 seconds) give the best germination rates. The presence of PEG₆₀₀₀ in the imbibition's solutions reduces considerably the germination rate of the seeds of *R. pseudoacacia* L. A 70 % decrease in the optimal rate of germination is observed when the osmotic pressure of the imbibition solution is at -4.65 bar.

© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

La désertification est considérée comme l'une des problématiques environnementales les plus préoccupantes du XXI^e siècle ; c'est un vrai problème pour les environnements arides et semi-arides, où les précipitations sont variables et où les plantes sont soumises à des périodes de sécheresse plus ou moins longues [1].

En Algérie, près de 500 000 hectares de terres en zones steppiques sont en voie de désertification, et plus de 7 millions d'hectares sont directement menacés par le même processus [2]. La superficie des parcours dégradés s'est élevée à 7,5 millions d'hectares en 1995 [3]. Cette dégradation, attribuée notamment aux conditions environnementales stressantes, à l'érosion éolienne, au défrichement et au surpâturage, se traduit par des effets de plus en plus néfastes sur les plans écologique et économique. L'amélioration du couvert végétal des massifs forestiers dégradés de l'Atlas saharien par la plantation d'espèces diversifiées adaptées à ces zones permettra une meilleure lutte contre la désertification [4].

Le robinier *Robinia pseudoacacia* L. est une espèce fixatrice d'azote de la famille des légumineuses. C'est un arbre à croissance rapide, qui peut se développer sur des sols dégradés en raison d'un système racinaire très efficace qui peut s'étendre sur un rayon de 15 m autour du tronc sur les terrains secs [5]. Le robinier émet des stolons grâce auxquels la plante se propage. Aussi l'utilise-t-on souvent pour fixer les terrains menacés d'affaissement (digues, terre-pleins) et pour reboiser les sols stériles. Il colonise naturellement remblais, talus et terrains vagues [6]. Résistant à de nombreux stress environnementaux (basses et hautes températures, sécheresse, polluants atmosphériques), le robinier présente un grand potentiel dans la restauration de la végétation et la régénération des écosystèmes.

L'exploitation de cet arbre à grande échelle nécessite une bonne maîtrise des conditions de germination et de l'élevage des plants. La germination proprement dite est régulée par des caractéristiques génotypiques de la graine, mais aussi environnementales : en particulier, la disponibilité de l'eau dans le sol. Ces facteurs joueraient un rôle important dans l'optimisation du pouvoir germinatif [7,8]. Les graines de *R. pseudoacacia* L. sont enrobées d'un tégument dur qui joue un rôle de protection, mais qui freine aussi l'entrée de l'eau, empêchant ainsi l'imbibition de la graine. Un pré-traitement des graines est donc nécessaire pour obtenir une bonne imbibition ainsi qu'un meilleur taux de germination [9]. Les pré-traitements réalisés permettent l'élimination de la dormance par leurs effets mécaniques, chimiques et physiologiques [10].

Les objectifs du présent travail sont, d'une part, la détermination des différents types de pré-traitements

efficaces afin d'améliorer la faculté germinative des graines de *R. pseudoacacia* et qui sont à la portée des institutions forestières et, d'autre part, l'étude de la faculté germinative de ces graines sous l'effet d'un stress osmotique induit par différentes concentrations de PEG₆₀₀₀ afin de comprendre l'aptitude des graines à germer en conditions de manque d'eau, et éventuellement de déterminer le seuil de tolérance de ces graines face à cette contrainte dans la nature.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel végétal

Les graines de *R. pseudoacacia* L. ont été récoltées au mois de décembre 2014 dans la région de Cherrhell (wilaya de Tipaza : 36° 47'25''Nord, 2° 37'30''Est).

2.2. Préparation des graines

Les graines de *R. pseudoacacia* L. ont subi une étape de désinfection, qui consiste à les tremper dans de l'hypochlorite de sodium à 16 % pendant 30 secondes. Les graines sont ensuite rincées abondamment à l'eau du robinet. Ce processus permet l'aseptisation des graines dans le but de les préparer à la germination.

2.3. Effet des différents pré-traitements sur la germination

Pour lever l'inhibition tégumentaire des graines, six pré-traitements ont été effectués. Les graines de *R. pseudoacacia* L. ont été réparties en sept lots de 60 graines.

Le premier lot de graines est composé de graines non scarifiées ; c'est le lot témoins. Les six autres lots sont composés de graines essais ayant subi six types différents de scarification : scarification manuelle, qui consiste à réaliser une petite incision à l'aide d'un coupe-ongle sur la partie basale de la graine, scarification chimique par de l'acide sulfurique concentré (H₂SO₄, 95 % 36 N) et par du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) à 30 volumes durant des laps de temps différents, scarification physique en plongeant les graines dans de l'eau bouillante pendant des temps différents et par micro-onde à différentes intensités (700 W et 462 W) et pendant des durées différentes (Tableau 1).

Après scarification, toutes les graines sont lavées à l'eau courante à trois reprises pendant 2 minutes, puis trempées dans l'eau distillée pendant 2 heures pour permettre l'imbibition.

Les graines de chaque lot sont ensuite placées dans des boîtes de Pétri (8,5 cm de diamètre) tapissées de quatre

Tableau 1

Durée des pré-traitements subit par les graines de *Robinia pseudoacacia* L.

Pré-traitements	Durée
Aucun	–
Manuelle	–
H ₂ SO ₄ concentré	15, 30, 45, 60, 75, 90 minutes
H ₂ O ₂ (30 V)	15, 30, 45, 60, 75, 90 minutes
Eau bouillante	15, 30, 45, 60, 75, 90 minutes
Micro-ondes (700 W)	30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120 secondes
Micro-ondes (462 W)	30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120 secondes

couches de papier filtre saturé en eau distillée, à raison de 60 graines par boîte. Les boîtes de Pétri sont mises à l'obscurité dans une étuve à 28 °C. Le comptage des graines germées est réalisé tous les jours, pendant 8 jours.

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque lot. Le nombre de graines germées dans chaque boîte de Pétri est enregistré et exprimé en pourcentage. La capacité germinative, la vitesse de germination et le pourcentage de réduction de la germination sont déterminées selon les formules suivantes :

$$\text{la capacité germinative (CG \%)} = g/G \times 100 [11]$$

où g est le nombre de graines germées et G , le nombre de graines totales ;

la vitesse de germination (VG)

$$= g_1/j_1 + g_2/j_2 + \dots + g_n/j_n [12]$$

où g_1, g_2, \dots, g_n est le nombre de graines germées chaque jour et j_1, j_2, \dots, j_n le nombre de jours passés ;

le pourcentage de réduction de la germination (RG %)

$$= GS/GT \times 100 [12]$$

où GS est le nombre des graines stressées non germées et GT le nombre de graines témoins.

2.4. Effet du stress osmotique sur la germination

Les graines de *R. pseudoacacia* L., prétraitées par scarification manuelle, sont mises à imbiber séparément dans des solutions à concentration de PEG₆₀₀₀ de 0, 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 30 %, correspondant respectivement à des potentiels osmotiques de 0, -0,167, -0,452, -0,86, -1,38, -2,78, -4,65 et -9,80 bar, à raison de 60 graines pour chaque concentrations. Après 2 heures d'imbibition, les graines de chaque concentrations sont mises à germer dans trois boîtes de Pétri (8,5 cm de diamètre) tapissées de quatre couches de papier filtre saturées avec la solution d'imbibition, à raison de 60 graines par boîte. Les boîtes de Pétri sont mises à l'obscurité dans une étuve à 28 °C. Le comptage des graines germées est réalisé tous les jours, pendant 8 jours.

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque lot. Le nombre de graines germées est enregistré et exprimé en pourcentage. La capacité germinative, la vitesse de

germination ainsi que le pourcentage de réduction de la germination sont calculés selon les formules exprimées plus haut.

Le potentiel osmotique de la solution de PEG₆₀₀₀ a été calculé selon l'équation empirique proposée par Michel et Kaufmann [13] :

$$Y_s = -(1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4})C^2 + (2,67 \times 10^{-4})C T + (8,39 \times 10^{-7})C^2 T$$

où Y_s est le potentiel osmotique (bars), C la concentration de PEG₆₀₀₀ en g/L et T la température en °C.

2.5. Tests statistiques

Les données sont présentées sous forme d'une moyenne de trois répétitions \pm l'erreur standard ou l'écart-type. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'analyse de la variance des moyennes avec les tests Anova à 1 facteur (test de Turkey), pour évaluer les relations significatives entre les différents points.

Les tests sont calculés à partir de l'application Statistica 5.1 pour Windows.

3. Résultats

3.1. Effet des différents pré-traitements sur la germination

La Fig. 1 montre l'évolution du pourcentage de germination des graines de *R. pseudoacacia* L. soumises aux différents pré-traitements pendant huit jours d'expérimentation.

En l'absence de scarification, les graines du robinier ne germent pas durant toute la durée de l'expérimentation.

La germination des graines est améliorée par tous les pré-traitements, mais les pourcentages de germination varient selon celui qui est appliqué. Les meilleurs taux de germination sont observés chez les graines ayant subi les scarifications manuelle, par l'acide sulfurique, l'eau bouillante ainsi que par la scarification par les micro-ondes à 700 W. En revanche, les scarifications par le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et par des micro-ondes à 462 W donnent des taux de germination relativement faibles (Fig. 1).

Un temps de latence d'au moins 24 h est observé pour les différents pré-traitements. Ce temps est nécessaire pour amorcer le processus métabolique nécessaire à la germination.

Un plateau optimal avoisinant les 83 % de germination est atteint après 8 jours d'expérimentation chez les graines ayant subi une scarification manuelle (Fig. 1A), ce qui représente le meilleur taux de germination des graines traitées.

Pour les autres pré-traitements, le taux de germination varie en fonction de la durée et de l'intensité du pré-traitement (Fig. 1). La scarification avec des micro-ondes à 700 W pendant 105 secondes (Fig. 1D) présente un taux optimal de germination de $70 \pm 2,13$ %, alors qu'il est de $63,33 \pm 7,63$ % et $61,68 \pm 3,43$ %, respectivement, après 90 minutes de pré-traitement à l'eau bouillante (Fig. 1C) et 75 minutes à l'acide sulfurique (Fig. 1B).

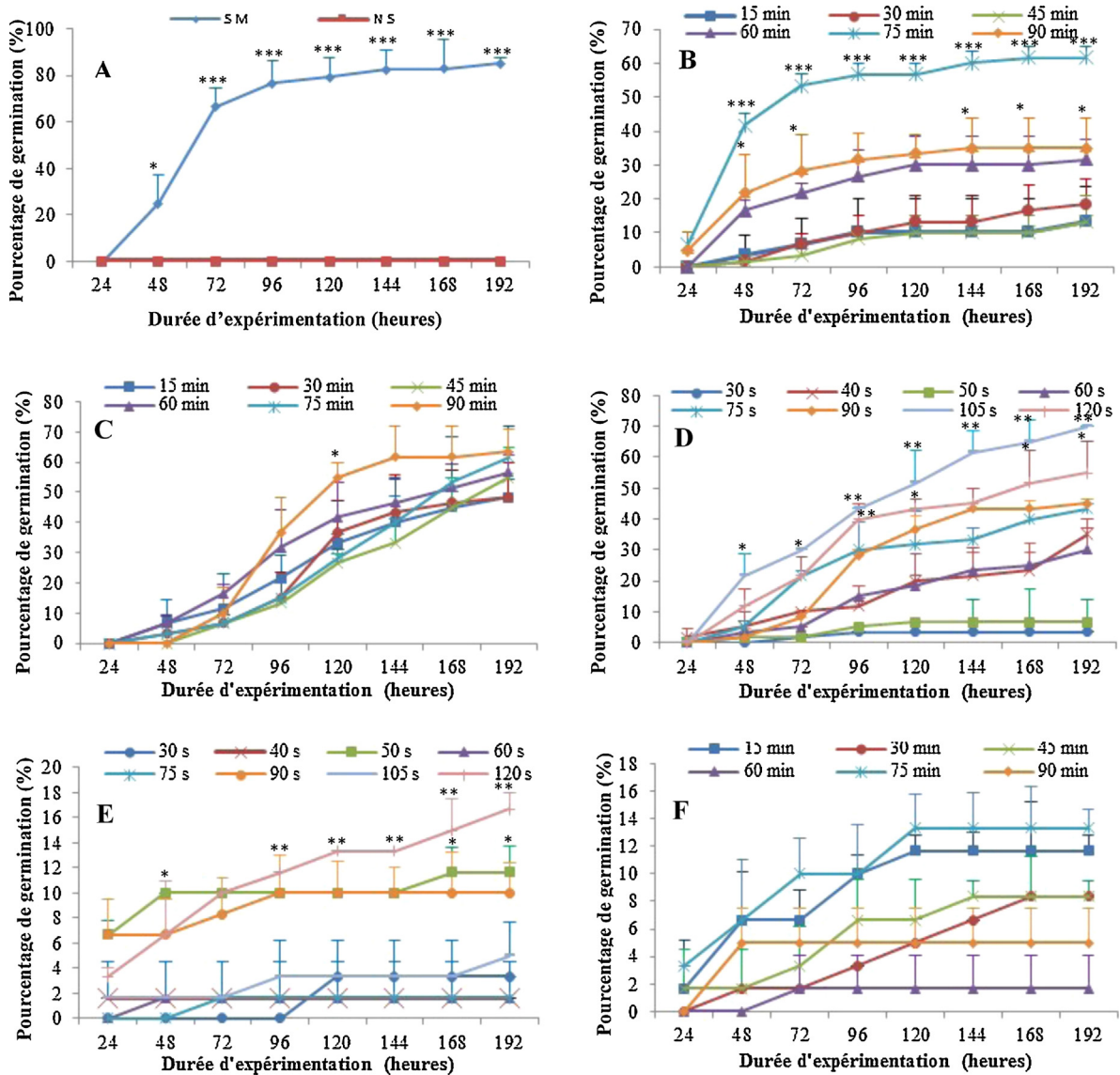


Fig. 1. Évolution du taux de germination des graines de *Robinia pseudoacacia* L. en pour cent en fonction des différents pré-traitements : (A), non scarifié (NS) et scarification manuelle (SM) ; (B), scarification par l'acide sulfurique (H₂SO₄) ; (C), scarification par l'eau bouillante ; (D), scarification par des micro-ondes (700 W) ; (E), scarification par des micro-ondes (462 W) ; (F), scarification par le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). Les barres verticales indiquent les écart-types de la moyenne (n = 3). Les astérisques représentent la différence significative avec les témoins à *P < 0,05, **P < 0,01 ou ***P < 0,001, par l'analyse de variance (Anova1), test de Tukey.

La vitesse de germination est nettement plus importantes lorsque les graines subissent une scarification manuelle (21,18 graines/j) et avec l'acide sulfurique (19,45 graines/j), alors qu'elle diminue lorsque les graines sont pré-traitées avec de l'eau bouillante pour atteindre une vitesse maximale de 10,1 graines/j (Tableau 2).

La vitesse de germination devient très faible chez les graines traitées avec H₂O₂ et avec les moyennes radiations (Tableau 2).

Les scarifications manuelles avec l'acide sulfurique, les fortes radiations et l'eau bouillante permettraient une meilleure imbibition des graines en un laps de temps relativement court, ce qui autoriserait le lancement des

activités métaboliques induisant la germination des graines. Ces pré-traitements permettent d'avoir de forts taux de germination rapidement.

3.2. Effet du stress osmotique sur la germination de *R. pseudoacacia* L.

Les graines de *R. pseudoacacia* L., après avoir subi un pré-traitement manuel par scarification, sont soumises à un stress osmotique induit par l'addition de concentrations croissantes de PEG₆₀₀₀ (0, 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 30 %) dans les solutions d'imbibition, correspondant à des potentiels osmotiques de 0, -0,167, -0,452, -0,86,

Tableau 2

Capacité germinative (CG %) optimale et vitesse de germination (VG) optimale, des graines de *Robinia pseudoacacia* L. soumises aux différents pré-traitements (chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions).

Pré-traitement	Durée optimale du pré-traitement	CG (%)	VG (graines/j)
Graines non scarifiées	–	0	0
Scarification manuelle	–	83,33	21,18
Scarification par H ₂ SO ₄	75 minutes	62,71	19,45
Scarification par H ₂ O ₂	75 minutes	13,33	4,19
Scarification par l'eau bouillante	90 minutes	63,33	10,1
Scarification par les micro-ondes (700 W)	105 secondes	70	14,06
Scarification par les micro-ondes (462 W)	120 secondes	16,66	4,4

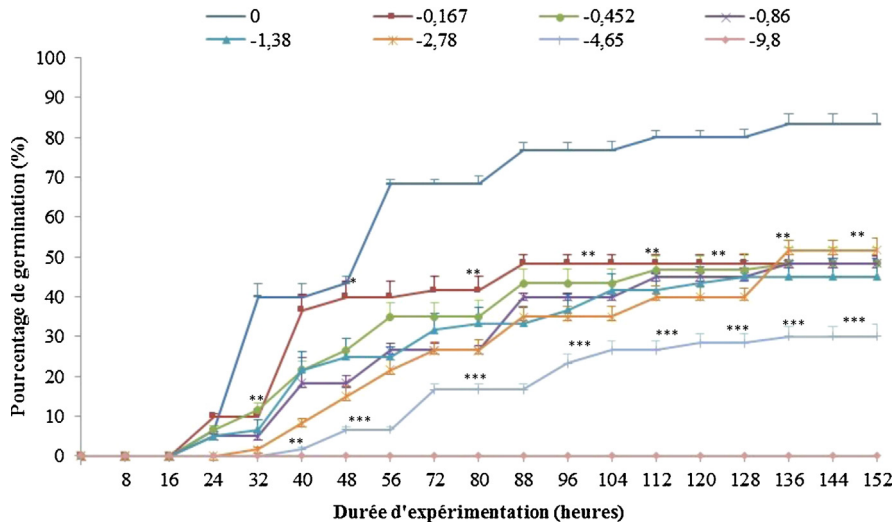


Fig. 2. Effet d'un stress osmotique provoqué par différentes concentrations de PEG₆₀₀₀ (en bars) sur la germination des graines de *Robinia pseudoacacia* L. Les barres verticales indiquent les écart-types de la moyenne (n=3). Les astérisques représentent la différence significative avec les témoins à *P < 0,05, **P < 0,01 ou ***P < 0,001, par l'analyse de variance (Anova1), test de Tukey.

–1,38, –2,78, –4,65 et –9,80 bar, respectivement. La Fig. 2 représente l'évolution de la germination des graines en fonction du temps. Les graines imbibées dans une solution de PEG₆₀₀₀ de –9,80 bar ne germent pas. Ce potentiel osmotique inhibe totalement la germination. Pour les autres concentrations de PEG₆₀₀₀, les graines présentent une cinétique de germination sigmoïde, avec une phase de latence, une phase exponentielle et un plateau (Fig. 2).

Le temps de latence augmente avec l'augmentation de la concentration en PEG₆₀₀₀ ; il passe de 16 heures, pour des potentiels osmotiques inférieurs ou égaux à –1,38 bar, à 32 heures pour des potentiels de –4,65 bar.

Un taux maximal de germination de 83,33 ± 2,51 % est observé chez les graines témoins après 136 heures d'expérimentation. Le potentiel osmotique du milieu extérieur étant moins important que celui du milieu cellulaire favorise la bonne circulation de l'eau, permettant ainsi une bonne imbibition des graines. Lorsque le potentiel osmotique des solutions d'imbibition est réduit par l'addition de PEG₆₀₀₀, le taux maximal de germination diminue significativement pour atteindre des valeurs comprises entre 51 ± 3 % et 45 ± 4,58 % pour des potentiels osmotiques inférieurs ou égaux à –2,78 bar, puis chute pour atteindre 30,66 ± 3,21 % seulement lorsque le potentiel de la solution d'imbibition est à –4,65 bar. L'ajout du PEG₆₀₀₀ va réduire la quantité d'eau

libre dans les solutions d'imbibition, ce qui limite l'imbibition des graines, réduisant ainsi le pourcentage de germination de près de 70 % lorsque le potentiel osmotique du milieu est de –4,65 bar à –9,80 bar ; le potentiel osmotique de la solution d'imbibition est trop fort et les graines n'arrivent pas à extraire l'eau nécessaire à la germination (Fig. 2).

La capacité de germination des graines témoins (83,33 ± 2,51 %) chute après ajout de PEG₆₀₀₀ pour atteindre 48,33 ± 2,08 % à –0,167 bar (Fig. 3A). La diminution de ce pourcentage devient ensuite plus graduelle et passe à 30,66 ± 3,21 % à –4,65 bars. À –9,8 bar, les graines sont incapables de germer (Fig. 3A).

Cette diminution de la capacité de germination s'accompagne d'une diminution de la vitesse de germination plus graduelle et passe de 53,93 graines/j à 12,29 graines/j respectivement à 0 et –9,8 bar (Fig. 3B).

Le pourcentage de réduction de la germination présente une cinétique pratiquement inverse à celle de la capacité de germination (Fig. 3C). La réduction de la germination devient importante lors de l'ajout de PEG₆₀₀₀ avec des valeurs de 51,66 % et 70 % respectivement pour les potentiels osmotiques de –0,167 et –4,65 bar, contrairement aux graines témoins, chez qui le pourcentage de réduction de la germination est significativement plus faible (16,66 %) (Fig. 3C).

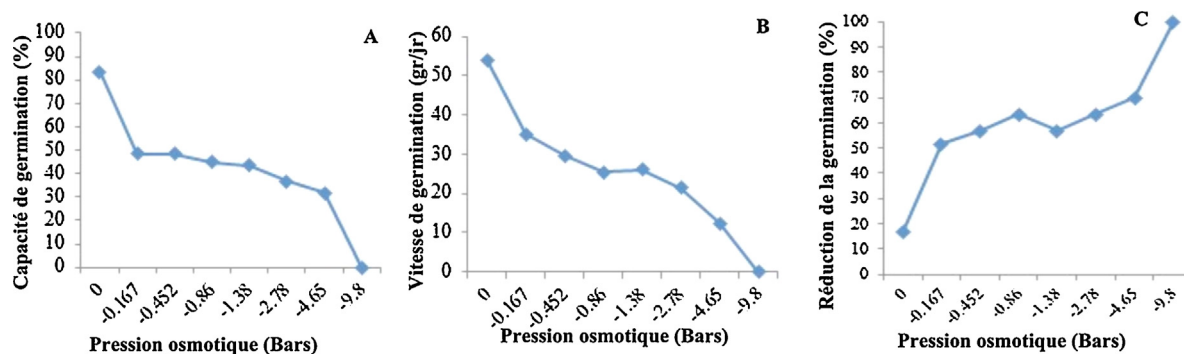


Fig. 3. Évolution de la capacité de germination « CG % » (A), la vitesse de germination « VG » (B) et le pourcentage de réduction de germination « RG % » (C) des graines de *Robinia pseudoacacia* L. en fonction de l'intensité du stress osmotique.

4. Discussion

Les enveloppes dures des graines de nombreuses espèces forestières, dont les légumineuses, ont évolué pour résister à des conditions défavorables de l'environnement, telles que la chaleur intense, les animaux, la sécheresse, et les dommages physiques. La germination nécessite une rupture de l'enveloppe de la graine pour permettre l'absorption de l'eau par les semences [14].

Nos résultats indiquent que les scarifications manuelles par l'acide sulfurique (75 minutes), par l'eau bouillante (90 minutes) ainsi que la scarification par les micro-ondes (700 W) (105 secondes) permettent d'avoir les meilleurs taux de germination. Ces pré-traitements ont un effet favorable sur la germination en ramollissant le tégument de la graine permettant l'entrée de l'eau. Ces résultats sont en accord avec les observations faites chez *Gleditsia triacanthos* L. et *R. pseudoacacia* L. [15,16]. Par ailleurs, une immersion prolongée des graines dans l'acide sulfurique (plus de 75 minutes) provoque la détérioration de l'embryon. Le même résultat est observé lorsque les graines sont laissées dans de l'eau bouillante pendant plus de 90 minutes.

Les différents pré-traitements par l'eau chaude et par l'acide sulfurique sont des pré-traitements de scarification appropriés pour de nombreuses légumineuses arbustives, telles que *Acacia salicina*, *A. pendula*, *A. cyanophylla* et *A. floribunda* [17] ainsi que pour *Leucaena leucocephala* et *A. farnesiana* [18].

Au contraire, la scarification par le peroxyde d'hydrogène et par les micro-ondes à 462 W ne donne pas de résultats encourageants pour l'utilisation de ces deux pré-traitements à grande échelle. Le faible taux de germination obtenu signifie qu'ils n'ont pas réussi à ramollir les téguments des graines de *R. pseudoacacia* L. de façon efficace.

La scarification manuelle donne les meilleurs taux de germination des graines de *R. pseudoacacia* L., mais elle nécessite beaucoup de travail et de temps, d'où l'intérêt d'utiliser d'autres pré-traitements tels que l'acide sulfurique et l'eau bouillante afin d'économiser temps et énergie.

Le PEG₆₀₀₀ est un polymère hautement hydrophile ; il retient une grande quantité d'eau, ce qui augmente le potentiel osmotique du milieu externe [19], réduisant ainsi considérablement la circulation de l'eau depuis la solution vers le milieu interne de la graine [20].

Cette étude a permis de constater que la présence de PEG₆₀₀₀ dans les solutions d'imbibition réduit considérablement le taux de germinations des graines de *R. pseudoacacia* L. Cette diminution est plus importante à un potentiel osmotique de -4,65 bar. La capacité germinative de *R. pseudoacacia* L. est plus affectée par le stress osmotique que celles données dans la littérature pour des espèces des zones sèches, telles que *A. albida*, *A. dudgeoni*, *A. seyal* [21] et *A. raddiana* [22,23].

Cette réduction de la germination pourrait être due à un déficit d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une inhibition de la dégradation des réserves qui aboutit à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines [24–26]. Une altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine par suite du manque d'eau pourrait également expliquer cette réduction de la germination [27].

5. Conclusion

La scarification des graines de *R. pseudoacacia* L. est indispensable pour permettre l'imbibition des graines et leur germination. L'aspect simple, propre, peu coûteux et pratique de la scarification avec l'eau bouillante rend ce type de pré-traitement efficace et permet, pour une utilisation à grande échelle, de gagner du temps, de l'effort et de l'argent tout en ayant un bon taux de germination, ce qui permet aux institutions forestières de lutter contre la désertification en leur facilitant la multiplication de cette espèce.

En conditions favorables, les graines scarifiées de *R. pseudoacacia* L. présentent un taux de germination très important. En conditions de stress osmotique sévère (-4,65 bar), ce taux de germination diminue significativement, ce qui pourrait indiquer une mauvaise tolérance des graines à ce stress au cours de la germination.

Références

- [1] FAO, Le rôle de la foresterie dans la lutte contre la désertification, 1992, 124–126.
- [2] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MA-TE), Rapport annuel du Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD), Alger, 2002, p. 140.
- [3] R. Bensouilah, La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne : les raisons de l'échec de la politique environnementale,

- in : Communication aux 15^{es} journées de la Société d'écologie humaine, Marseille, France, 2003, p. 22.
- [4] D. Nedjraoui, S. Bédrani, La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte, *Vertigo* 8 (1) (2008) 156–170.
- [5] J. Brosse, Larousse des arbres et arbustes, Larousse, Paris, 2000, p. 351.
- [6] J. Pokorný, Arbres, Éd. Gründ, 1987, p. 118.
- [7] M.L. Sharma, Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species, *Agro. J.* 65 (1973) 983–985.
- [8] Y. Gutterman, Strategies of dispersal and germination in plants inhabiting deserts, *Bot. Rev.* 60 (1993) 373–424.
- [9] A.G. Chapman, Scarification of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) seed to increase and hasten germination, *J. Forestry* 34 (1936) 66–74.
- [10] L. Debroux, W. Delvingt, M. Mbolo, A. Amougou, La régénération du Moabi et du Mukulungu au Cameroun, *Bois Forêts Trop.* 255 (1998) 5–12.
- [11] D. Côme, Les obstacles à la germination, in : Monographies de physiologie végétales, Masson et C^{ie}, Paris, 2016, pp. 1–62.
- [12] F. Kotowski, Temperature relations to germination of vegetable seed, *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 23 (1926) 176–184.
- [13] B.E. Michel, R.M. Kaufman, The osmotic potential of polyethylene glycol 6000, *Plant. Physiol.* 51 (1973) 914–916.
- [14] J. Silvertown, Seed ecology, dormancy and germination: a modern synthesis, *Am. J. Bot.* 86 (6) (1999) 903–905.
- [15] D.P. Singh, M.S. Hooda, F.T. Bonner, An evaluation of scarification methods for seeds of two leguminous trees, *New Forests* 5 (1991) 139–145.
- [16] C. Patane, F. Gresta, Germination of *Astragalus hamosus* and *Medicago orbicularis* as affected by seed-coat dormancy breaking techniques, *J. Arid Environ.* 67 (2006) 165–173.
- [17] H. Neffati, M. Akrimi, Études des caractéristiques germinatives des semences de quelques légumineuses spontanées de la Tunisie steppique. Actes de séminaire international, *Rev. Regions Arides* 39 (1996) 272–287.
- [18] M.J. Tadros, N.H. Samarah, A.M. Alqudah, Effect of different pre-sowing seed treatments on the germination of *Leucaena leucocephala* L. and *Acacia farnesiana* L., *New Forests* 42 (2011) 397–407.
- [19] K. Chen, R. Arora, U. Arora, *Seed Sci. Technol.* 38 (2010) 36–48.
- [20] S.P. Hardegree, W.E. Emmerich, Seed germination response to polyethylene glycol (PEG) solution depth, *Seed. Sci. Technol.* 22 (1994) 17–25.
- [21] P. Ndour, P. Danthu, Effet des contraintes hydriques et salines sur la germination de quelques acacias africains, in : C. Campa, C. Grignon, M. Gueye, S. Hamon (Eds.), *Colloques et séminaires, L'acacia au Sénégal*, 1996, Orstom, 1998, 105–122.
- [22] M. Grouzis, E. Le Floch, Un arbre au désert, *Acacia raddiana*, IRD, Paris, 2003, p. 313.
- [23] H. Abbasdokhta, A. Gholamia, H. Asgharia, *Desert* 19 (2014) 27–34.
- [24] P.K. Gill, A.D. Sharma, P. Singh, S.S. Bhullar, Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. Moench seeds under various abiotic stresses, *Plant Growth Regul.* 40 (2) (2003) 157–162.
- [25] K. Cheen, R. Arora, Osmopriming of spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale) seeds and germination performance under temperature and waterstress, *Seed Sci. Technol.* 38 (2010) 45–57.
- [26] Y. Zhang, H. Liu, S. Shen, X. Zhang, Improvement of eggplant seed germination and seedling emergence at low temperature by seed priming with incorporation SA into KNO₃ solution, *Front. Agric. China* 5 (4) (2011) 534–537.
- [27] P. Botia, M. Carvajal, A. Cerda, V. Martinez, Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth, *Agronomie* 18 (1998) 503–513.