

## EFFETS D'UN STRESS HYDRIQUE SUR LE COMPORTEMENT RACINAIRE ET AERIEN DU RIZ PLUVIAL

J.F. BOIS  
Antenne ORSTOM,  
Centre d'études nucléaires de Cadarache,  
Saint-Paul-lez-Durance

Ph. COUCHAT  
Service de radio-agronomie,  
CEA, Centre d'études nucléaires de Cadarache,  
Saint-Paul-lez-Durance,  
France

### Abstract—Résumé

#### EFFECTS OF WATER STRESS ON THE ROOT AND SHOOT BEHAVIOUR OF RAIN-FED RICE.

Application of the neutron technique to the roots of rain-fed rice seedlings during water stress has shown that there is a noticeable decrease in root diameter because of water loss and a slowing down of growth. At the leaf level the water deficiency results in modified gas exchanges due to closure of the stomata. Transpiration and photosynthesis appear to be independent of the soil-water potential above a threshold value in the neighbourhood of  $-600$  mbar. Below this critical potential the closure of the stomata is progressive and proportional to the drop in water potential.

#### EFFETS D'UN STRESS HYDRIQUE SUR LE COMPORTEMENT RACINAIRE ET AERIEN DU RIZ PLUVIAL.

L'application de la technique de neutronographie des racines à des plants de riz pluvial au cours du stress hydrique a permis de montrer une diminution notable du diamètre des racines due à la perte d'eau et un ralentissement de croissance. Au niveau foliaire, le déficit hydrique se manifeste par une modification des échanges gazeux à la suite de la fermeture des stomates. Il apparaît que la transpiration et la photosynthèse sont indépendants du potentiel hydrique du sol au dessus d'une valeur seuil proche de  $-600$  mbar. Au dessous de ce potentiel critique, la fermeture des stomates est progressive et proportionnelle à la baisse de potentiel hydrique.

#### INTRODUCTION

La culture du riz pluvial *Oriza sativa* L. est importante en Afrique de l'Ouest où elle représente 75% des surfaces cultivées en riz [1]. Mais, du fait de l'irrégularité des pluies et de la faible réserve en eau des sols, les rendements sont médiocres et très variables car le riz n'est guère tolérant à la sécheresse.

L'amélioration des rendements passe par la sélection de variétés résistantes, ce qui suppose l'établissement de critères de sélection fiables. Pour cela, une bonne connaissance des mécanismes mis en oeuvre par la plante pour éviter la sécheresse est nécessaire.

En période défavorable, la plante peut éviter le déficit hydrique par le maintien de l'absorption et par la réduction des pertes par la transpiration. La première stratégie fait intervenir l'activité du système racinaire par sa capacité à maintenir sa croissance pour prospecter des horizons plus profonds. La seconde implique le fonctionnement du système foliaire et, surtout, l'efficacité de l'appareil stomatique.

Nous nous sommes attachés à étudier sur plante entière les modifications qu'entraîne un stress hydrique suivi d'une réhumidification. Au niveau racinaire, nous avons utilisé la neutronographie pour visualiser les effets du stress et mesurer la croissance des racines. Au niveau foliaire, nous avons enregistré en cellule de culture les transferts d'eau entre la plante et l'atmosphère ainsi que les liaisons avec les échanges de  $\text{CO}_2$  lors de stress hydriques obtenus sur sol par arrêt d'irrigation et, en culture hydroponique, par chocs osmotiques.

## 1. MATERIEL ET METHODE

### 1.1. Généralités

Les variétés utilisées sont IRAT 13 et Iguape Cateto.

Les plants sont cultivés en phytotron avec une photopériode de 12 heures, un éclairage de  $300 \text{ microeinstein} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $28^\circ\text{C}$  de température et 70% d'humidité relative le jour,  $22^\circ\text{C}$  et 90% la nuit.

Les expérimentations sont faites sur des plants au stade végétatif (début de tallage).

### 1.2. Neutronographie des racines

La neutronographie est une technique non destructive, analogue à la radiographie aux rayons X. Elle permet de visualiser les racines d'une plante cultivée sur milieu sableux. Son principe repose sur l'utilisation du contraste d'humidité qui existe entre les racines vivantes et le sol. L'objet à analyser est placé dans un flux de neutrons thermiques issu d'un réacteur. Ce flux est modifié par les éléments légers tels que l'hydrogène de l'eau. Il impressionne un film sensible par l'intermédiaire d'un convertisseur de gadolinium qui transforme les neutrons en rayonnements bêta et gamma.

Les neutronographies sont faites au Centre d'études nucléaires de Valduc (France) avec le réacteur Mirène selon le protocole décrit ailleurs [2]. Les

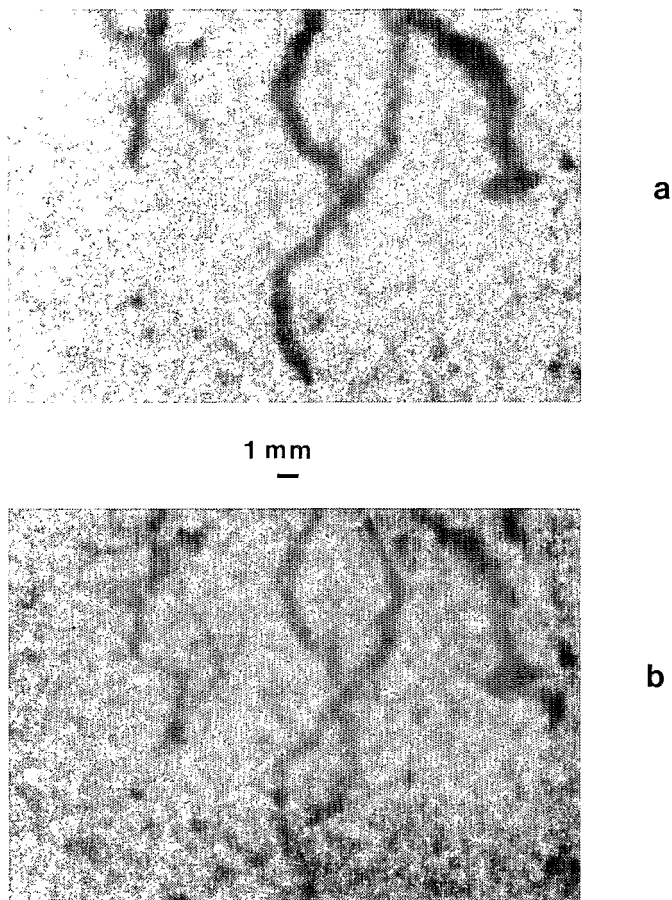


FIG.1. Neutronographie des racines: a) avant stress (50<sup>e</sup> jour); b) après stress (54<sup>e</sup> jour).

plants sont cultivés en bacs individuels d'aluminium (de 40 cm de haut, 24 cm de large, 2 cm d'épaisseur) sur sable avec une solution nutritive. La période de stress hydrique débute au 50<sup>e</sup> jour après semis et dure 4 jours. Elle est obtenue par arrêt de l'approvisionnement en eau. Elle est incluse entre deux périodes témoins de trois jours à irrigation régulière. Les neutronographies sont effectuées au début et à la fin de chaque période: aux 47<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup>, 54<sup>e</sup> et 57<sup>e</sup> jours après semis.

### 1.3. Dispositif de mesure de la transpiration et des échanges de CO<sub>2</sub>

#### 1.3.1. Cellule de culture sur sol

Le dispositif utilisé a déjà été décrit [3]. Il permet de mesurer en continu les échanges en H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> entre le feuillage et l'atmosphère d'un plant cultivé

TABLEAU I. CROISSANCE DU SYSTEME RACINAIRE DE DEUX PLANTS DE RIZ ENTRE CHAQUE NEUTRONOGRAPHIE

Périodes	Nombre de racines en élévation		Taux d'élévation (mm · d <sup>-1</sup> /racine)	
	Plant 1	Plant 2	Plant 1	Plant 2
Du 47 <sup>e</sup> au 50 <sup>e</sup> jour (Irrigation)	26	23	5	5,3
Du 50 <sup>e</sup> au 54 <sup>e</sup> jour (Stress hydrique)	17	8	2	1,6
Du 54 <sup>e</sup> au 57 <sup>e</sup> jour (Irrigation)	18	7	4,1	4,6

en conditions contrôlées. Il comprend principalement une cloche en verre à double paroi sur laquelle se raccorde de façon étanche un pot de culture contenant environ 2 kg de sol. La cloche est traversée par un courant d'air conditionné en humidité et en température (60% et 25°C). Après modification par la plante des teneurs en H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>, l'air de sortie passe dans des analyseurs différentiels à infrarouge où il est comparé à l'air d'entrée.

La lumière est fournie par une lampe aux halogènes de 1000 W donnant un éclairage de 500 microeinstein · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> pendant une photopériode de 12 h.

Le potentiel hydrique du sol est suivi par une batterie de tensiomètres couplés à un capteur de pression.

Les plants élevés en phytotron sont mis en cellule au stade début du tallage. Le stress hydrique est obtenu par arrêt d'irrigation et par épuisement des réserves du sol par la plante en quelques jours.

### 1.3.2. Cellule de culture sur solution nutritive

Le principe de la cellule est le même [4]. Le compartiment racinaire est un récipient en verre à double paroi pour la régulation thermique. Il est isolé parfaitement du compartiment aérien et peut être vidangé rapidement de sa solution nutritive. La mesure de l'humidité de l'air est faite par un hygromètre à point de rosée.

Le stress hydrique est obtenu par l'application de chocs osmotiques au niveau racinaire en remplaçant la solution nutritive par des solutions de polyéthylène glycol (PEG 6000) dont le potentiel osmotique est contrôlé par cryoscopie.

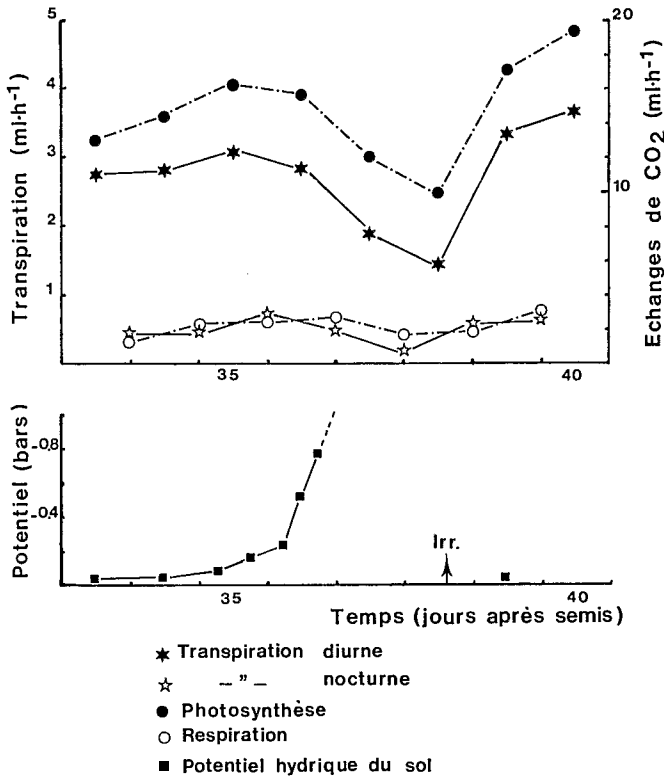


FIG.2. Evolution des échanges gazeux et du potentiel hydrique du sol au cours du cycle dessèchement-irrigation.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Effets du stress hydrique au niveau racinaire

La figure 1 montre un agrandissement photographique des neutronographies du système racinaire d'un plant de riz prises avant et après une période sans irrigation de 4 jours. La comparaison des deux clichés met en évidence une importante diminution du diamètre apparent des racines. On peut évaluer cette diminution à environ 40%. Des réductions de diamètre de cet ordre ont déjà été notées au cours d'un dessèchement sur des racines d'*Helianthus annuus* [5]. Ce changement de forme des racines est la matérialisation du déficit hydrique qui provoque une perte de turgescence. Celle-ci entraîne un ralentissement de la croissance qui apparaît dans le tableau I: le taux délongation de la période sèche

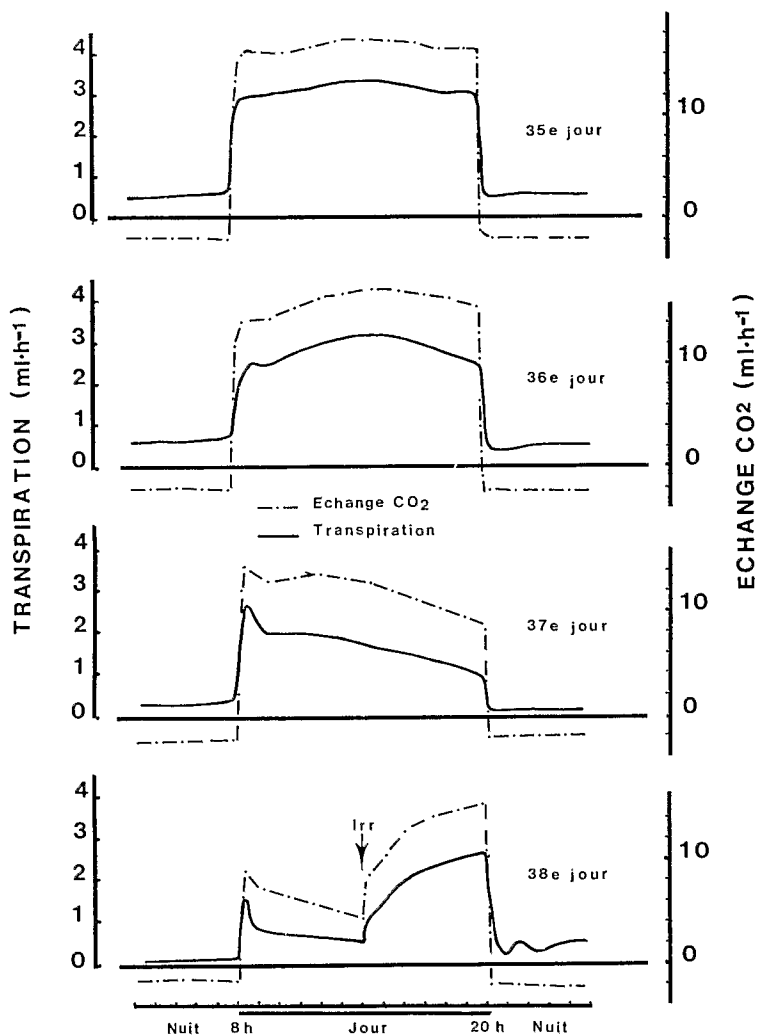


FIG.3. Cycles journaliers de photosynthèse et de transpiration au cours du dessèchement.

chute de 60 à 70% par rapport à celui de la période initiale. La période consécutive au stress se caractérise par une reprise de croissance à un taux voisin de celui de la première période mais avec un nombre plus faible de racines en élévation. Dans un autre travail [6], nous avons montré que la reprise de la croissance s'accompagnait d'une émission de racines secondaires (ramifications de 1er ordre des racines primaires).

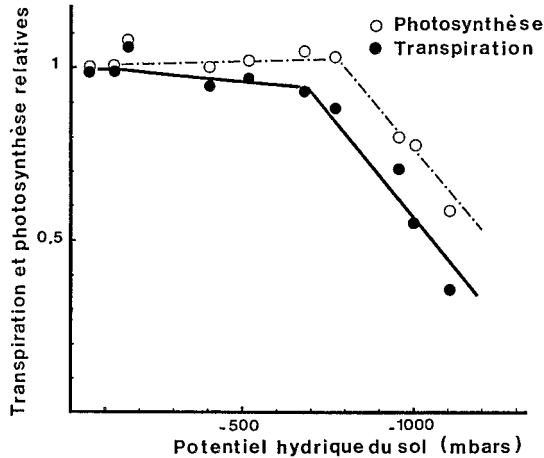


FIG.4. Relation entre les échanges gazeux au niveau foliaire et le potentiel hydrique du sol au cours du dessèchement.

## 2.2. Effets du stress hydrique au niveau foliaire

### 2.2.1. Modification de la transpiration et de la photosynthèse

La figure 2 montre l'évolution au cours du temps des taux moyens de transpiration nocturne et diurne ainsi que de respiration nocturne et de photosynthèse lors d'une séquence de dessèchement suivie d'une irrigation. Jusqu'au 35<sup>e</sup> jour après semis, les paramètres mesurés croissent régulièrement en raison de l'augmentation de surface foliaire. Le potentiel hydrique moyen du sol reste supérieur à  $-200$  mbar et la plante a une alimentation hydrique suffisante. Par contre, au 36<sup>e</sup> jour, le potentiel hydrique chute rapidement, le déficit hydrique s'installe, la transpiration et la photosynthèse diminuent notablement. La respiration nocturne est moins affectée. Cette diminution des échanges gazeux est due à l'arrêt de croissance et à la fermeture des stomates. Au 38<sup>e</sup> jour intervient une irrigation. L'augmentation des échanges gazeux est immédiate. On retrouve les valeurs antérieures au bout d'un jour.

Sur la figure 3, on peut voir l'évolution des cycles journaliers de transpiration et de photosynthèse du 35<sup>e</sup> jour au 38<sup>e</sup> jour, donc au cours de l'installation du stress hydrique jusqu'au début de la reprise. Le premier cycle montre l'évolution des échanges gazeux avec une alimentation hydrique suffisante. La photosynthèse et la transpiration suivent un cours parallèle. Au 36<sup>e</sup> jour, une différence apparaît sur l'enregistrement de la transpiration qui diminue de 25% en fin de période diurne par rapport au maximum diurne. La plante ferme partiellement

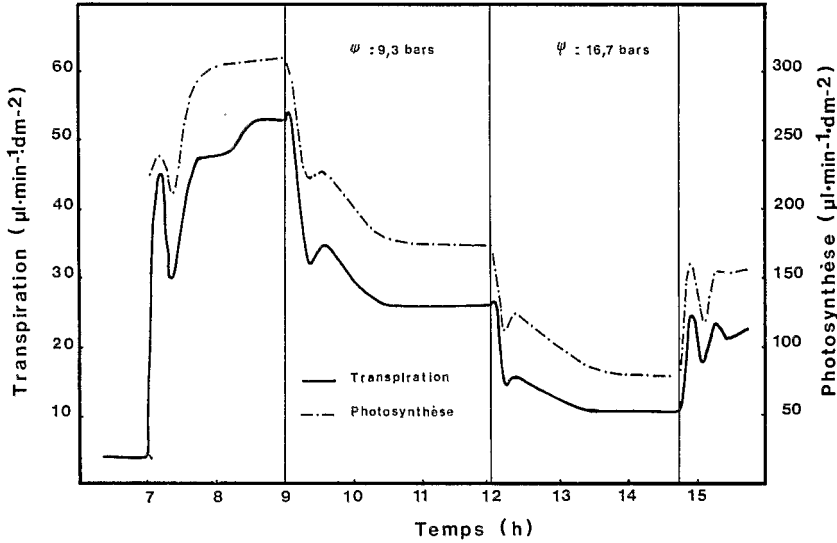


FIG.5. Influence de chocs osmotiques sur la transpiration et la photosynthèse.

ses stomates pour limiter le déficit hydrique interne. La photosynthèse n'est que faiblement affectée par ce phénomène. Au 37<sup>e</sup> et au 38<sup>e</sup> jour, après un pic à l'illumination, transpiration et photosynthèse décroissent régulièrement pour atteindre des valeurs ne représentant que 16% et 25% respectivement des valeurs atteintes le 35<sup>e</sup> jour à la même heure. Lorsqu'intervient l'irrigation, le 38<sup>e</sup> jour, la reprise est très rapide, transpiration et photosynthèse augmentent immédiatement et atteignent en fin de journée des valeurs proches de celles de la 35<sup>e</sup> journée. Ceci laisse penser que le déficit hydrique a peu affecté les mécanismes internes dans ce cas.

### 2.2.2. Contrôle stomatique et potentiel hydrique du sol

L'établissement du stress hydrique se manifeste donc par une modification importante des échanges gazeux à la suite du contrôle stomatique, surtout dans la période diurne. La figure 4 met en relation l'évolution des échanges gazeux avec celle du potentiel hydrique du sol dans la phase de dessèchement. La photosynthèse et la transpiration sont présentées en valeurs relatives en prenant comme référence les valeurs obtenues lorsque l'alimentation hydrique est suffisante (34<sup>e</sup> et 35<sup>e</sup> jours). Il apparaît que photosynthèse et transpiration sont pratiquement indépendantes du potentiel hydrique du sol au dessus d'une valeur seuil proche ici de  $-700$  mbar. Au dessous de ce potentiel critique, la baisse de transpiration et de photosynthèse est proportionnelle à la baisse de potentiel



hydrique. La fermeture des stomates dépend donc d'un potentiel critique et cette fermeture est progressive. Nous avons montré par ailleurs [7] que les variétés de riz pluvial présentent une différence de comportement vis-à-vis de variétés irriguées: leur potentiel critique se situe autour de  $-600$ ,  $-700$  mbar contre  $-450$  mbar pour les riz aquatiques. La figure 4 montre que la photosynthèse est moins affectuée que la transpiration par la fermeture stomatique. Ceci s'explique par l'existence d'une résistance du mésophylle au transfert du  $\text{CO}_2$  qui minimise l'effet de l'augmentation de la résistance stomatique [8]. La transpiration diminue plus que la photosynthèse ce qui conduit à une augmentation du rapport photosynthèse sur transpiration donc de l'efficacité de l'eau, tant que les mécanismes biochimiques de la photosynthèse ne sont pas lésés.

### 2.2.3. Chocs osmotiques

La simulation de stress hydriques en milieu hydroponique à l'aide de solutions de polyéthylène glycol (PEG) de potentiel osmotique croissant a permis de confirmer l'existence d'un seuil en deçà duquel la régulation stomatique ne se fait pas.

La figure 5 montre l'effet de deux chocs osmotiques successifs sur la transpiration et la photosynthèse. Dès le changement de solution dans le compartiment racinaire, on observe une chute importante et rapide des taux d'échanges gazeux qui se stabilisent au bout de deux heures environ. Le niveau du palier atteint est proportionnel au potentiel osmotique de la solution utilisée.

## CONCLUSION

S'il est facile de constater les manifestations du déficit hydrique au niveau foliaire (enroulement des feuilles, fanaison), il n'en est pas de même au niveau racinaire. C'est là l'intérêt de la méthode neutronographique qui permet de visualiser les pertes d'eau des racines et de quantifier le ralentissement de croissance pendant le dessèchement.

La mesure en continu des échanges gazeux au niveau foliaire montre les réactions du système stomatique à l'abaissement du potentiel hydrique du sol. Au dessous d'un potentiel critique, la fermeture stomatique est progressive et proportionnelle au potentiel hydrique.

## REFERENCES

- [1] DE DATTA, S.K., «Upland rice around the world», Major Research in Upland Rice, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines (1975) 2.
- [2] COUCHAT, Ph., MOUTONNET, P., HOUELLE, M., PICARD, D., In situ study of corn seedling root growth by neutron radiography, Agron. J. 72 (1980) 321.

- [3] PICARD, D., COUCHAT, Ph., MOUTONNET, P., Particularité du cycle nycthémeral de transpiration de la variété de riz pluvial IRAT 13 comparé à celui de Morobérékan, *Plant Soil* 59 (1981) 481.
- [4] LASCEVE, G., COUCHAT, Ph., Le transfert de l'eau dans la plante en régime transitoire, *Ann. Agron.* 31 3 (1980) 273.
- [5] CRUZIAT, P., Détermination des pertes en eau subies par les différents organes d'une plante soumise au dessèchement, *Ann. Agron.* 25 4 (1974) 539.
- [6] BOIS, J.F., COUCHAT, Ph., Comparison of the effects of water stress on the root systems of two upland rice cultivars, à paraître dans *Ann. Bot.*
- [7] BOIS, J.F., COUCHAT, Ph., MOUTONNET, P., Etude de la réponse à un stress hydrique de quelques variétés de riz pluvial et de riz irrigué, à paraître dans *Plant Soil*.
- [8] SLATYER, R.O., dans *Plant Water Relationships*, Academic Press, London, New York (1967).

Reprint from

“ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES  
IN SOIL PHYSICS  
AND IRRIGATION STUDIES 1983”

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
VIENNA, 1983

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 21206 ex 1

Cpte : B 74 11