



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/07/04
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2004/01/15
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/12/03
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2005/01/04
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/002077
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2004/005329
(30) Priorité/Priority: 2002/07/05 (FR02/08447)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C07K 7/08* (2006.01),
A01H 5/00 (2006.01), *A01N 37/18* (2006.01),
A01N 37/46 (2006.01), *A01N 43/38* (2006.01),
C07K 14/415 (2006.01), *C07K 16/16* (2006.01),
C12N 15/29 (2006.01), *C12N 15/82* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
GALLOIS, PATRICK, GB;
HECHT, VALERIE, AD;
VAROQUAUX, FABRICE, FR;
BLANVILLAIN, ROBERT, US;
PUERTOLAS, DELPHINE, FR;
...

(73) Propriétaire/Owner:

(54) Titre : PEPTIDE DE PLANTE A ACTIVITE ANTI-MICROBIENNE
(54) Title: PLANT PEPTIDE WITH ANTIMICROBIAL ACTIVITY

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne de nouveaux peptides, particulièrement de plantes, présentant une activité anti-microbienne et une activité cytotoxique, particulièrement pour les cellules végétales. L'invention concerne aussi les polynucléotides codant pour lesdits peptides, les vecteurs comprenant lesdits polynucléotides, les microorganismes et les cellules transformées avec lesdits vecteurs, les organismes transgéniques dont tout ou partie des cellules contiennent et/ou expriment lesdits vecteurs, les utilisations desdits peptides et desdits polynucléotides, particulièrement comme agents anti-microbiens, spécifiques des plantes, et un procédé de traitement anti-microbien et/ou cytotoxique des plantes.



(72) Inventeurs(suite)/Inventors(continued): DELORME, VALERIE, FR; ROBY, DOMINIQUE, FR; DELSENY, MICHEL, FR

(73) Propriétaires(suite)/Owners(continued):CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, FR

(74) Agent: ROBIC

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
15 janvier 2004 (15.01.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/005329 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : **C07K 7/08**,
14/415, C12N 15/29, 15/82, C07K 16/16, A01H 5/00,
A01N 43/38, 37/18Corronsac, F-31450 POMPERTUZAT (FR). **DELSENY, Michel** [FR/FR]; 10, rue Jean-Jaurès, F-66430 BOMPAS (FR).(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/002077(74) Mandataires : **ORES, Béatrice** etc.; Cabinet ores, 36, rue de Saint-Petersbourg, F-75008 Paris (FR).

(22) Date de dépôt international : 4 juillet 2003 (04.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/08447 5 juillet 2002 (05.07.2002) FR(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3 rue Michel-Ange, F-75794 PARIS Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **GALLOIS, Patrick** [FR/GB]; 7 Clarendon Crescent, SALE, Cheshire M33 2 DE (GB). **HECHT, Valérie** [FR/AD]; Ed.Prada Casadet, Esc.J 4ème 3a, ANDORRA LA VELLA (AD). **VAROQUAUX, Fabrice** [FR/FR]; 13, Résidence Le Clos du, Fontaulé, F-66650 BANYULS sur MER (FR). **BLANVILLAIN, Robert** [FR/US]; 150 Panoramic way, BERKELEY, CA 94708 (US). **PUERTOLAS, Delphine** [FR/FR]; 7 allée du Lauragais, F-31520 RAMONVILLE (FR). **DELORME, Valérie** [FR/FR]; Résidence Jardins Masset, Appartement 6, 41 rue Diderot, F-66000 PERPIGNAN (FR). **ROBY, Dominique** [FR/FR]; 14, route de(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: PLANT PEPTIDE WITH ANTIMICROBIAL ACTIVITY

(54) Titre : PEPTIDE DE PLANTE A ACTIVITE ANTI-MICROBIENNE

(57) **Abstract:** The invention concerns novel peptides, in particular plant peptides, having an antimicrobial activity and a cytotoxic activity, in particular for plant cells. The invention also concerns polynucleotides coding for said peptides, vectors comprising said polynucleotides, micro-organisms and cells transformed with said vectors, transgenic organisms whereof all or part of the cells contain and/or express said vectors, uses of said peptides and said polynucleotides, in particular as plant-specific antimicrobial agents. The invention further concerns an antimicrobial and/or cytotoxic method for treating plants.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne de nouveaux peptides, particulièrement de plantes, présentant une activité anti-microbienne et une activité cytotoxique, particulièrement pour les cellules végétales. L'invention concerne aussi les polynucléotides codant pour lesdits peptides, les vecteurs comprenant lesdits polynucléotides, les microorganismes et les cellules transformées avec lesdits vecteurs, les organismes transgéniques dont tout ou partie des cellules contiennent et/ou expriment lesdits vecteurs, les utilisations desdits peptides et desdits polynucléotides, particulièrement comme agents anti-microbiens, spécifiques des plantes, et un procédé de traitement anti-microbien et/ou cytotoxique des plantes.

A1
WO 2004/005329

PEPTIDE DE PLANTE À ACTIVITÉ ANTI-MICROBIENNE

La présente invention est relative à de nouveaux peptides isolés, naturels ou synthétiques, à activité anti-microbienne, aux polynucléotides codant pour lesdits peptides, aux vecteurs comprenant lesdits polynucléotides, aux microorganismes et aux cellules transformées avec lesdits vecteurs, aux organismes transgéniques non humains dont tout ou partie des cellules contiennent et/ou expriment lesdits vecteurs, aux utilisations desdits peptides et desdits polynucléotides, particulièrement comme agents anti-microbiens spécifiques des plantes, ainsi qu'à un procédé de traitement anti-microbien des plantes.

Des peptides issus de plantes à activité anti-microbienne, sont connus dans l'art antérieur. A cet égard, on peut citer les peptides à activité lytique tels que les défensines, les cécropines, les thionines, les mellitines, issues de mammifères ou encore les défensines, les magainines, les attacines, les dipterines, les sapecines, les caerulines, les xenopsines, isolées à partir d'insectes. Des hybrides de ces peptides ont également été décrits.

Des peptides de lapins ont également été décrits pour leur activité anti-microbienne, ainsi que des peptides à activité hydrolytique comme la chitinase ou la β -1,3-glucanase.

Parmi les peptides issus de plantes, on peut citer ceux décrits dans les brevets US 6,147,281, US 6,150,588 ou encore US 5,424,395.

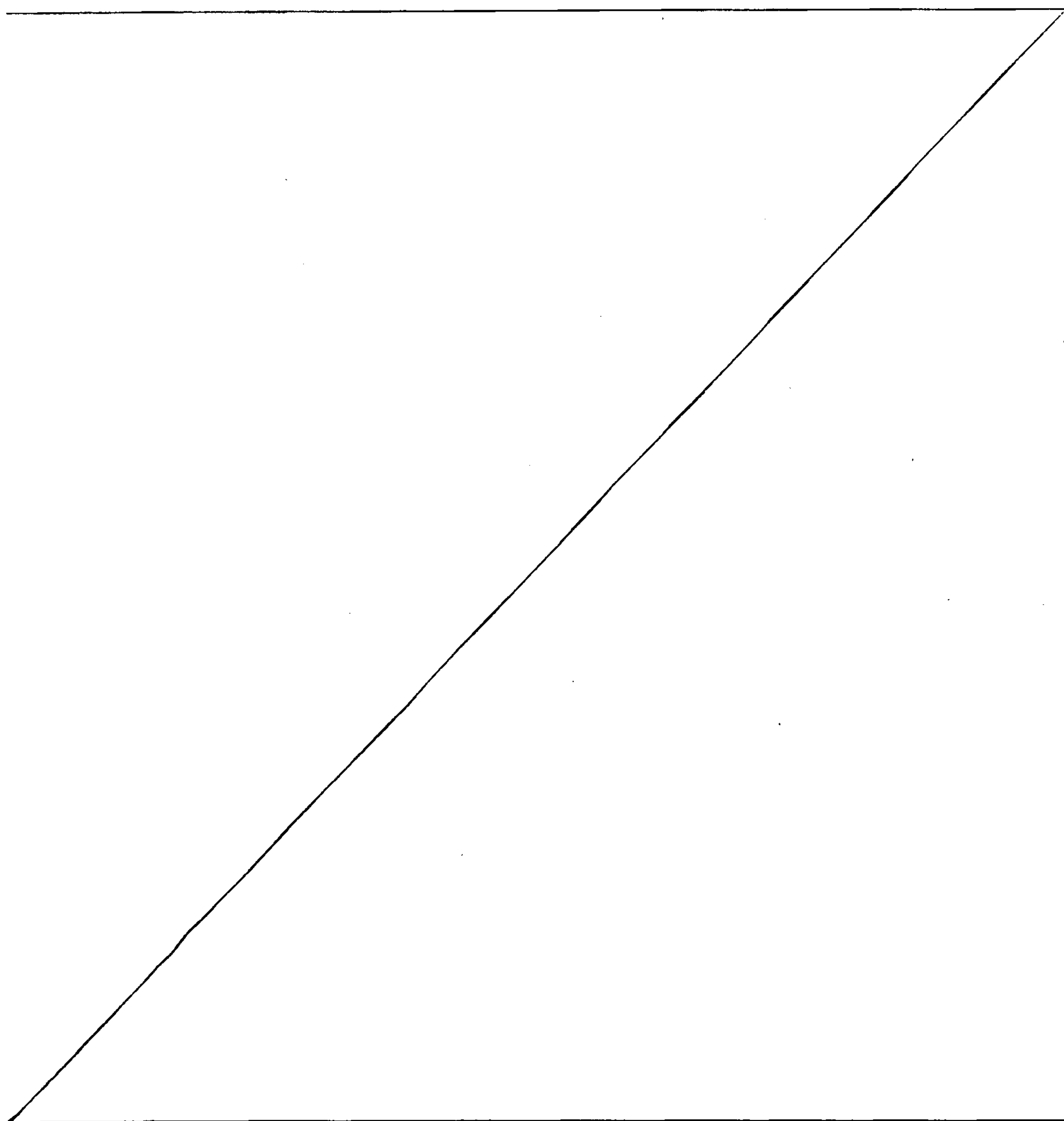
Le brevet US 6,147,281 décrit des peptides ayant une activité anti-microbienne sur les pathogènes de plantes, présents dans des feuilles étiolées d'orge. Ces peptides présentent particulièrement une activité contre *Corynebacterium sepedonicum*.

Le brevet US 6,150,588 décrit des peptides ayant une activité anti-microbienne sur les pathogènes de plantes et pouvant être isolés à partir de graines d'Aralia ou d'Impatiens.

1a

Le brevet US 5,424,395 décrit des peptides dérivés de la magainine 2 ayant une activité anti-microbienne sur les pathogènes de plantes.

Les peptides normalement présents dans les plantes et présentant une activité anti-microbienne constituent une classe d'agents de lutte biologique contre les agents pathogènes particulièrement intéressante.



L'identification de nouveaux composés dérivés de plantes, susceptibles de présenter une activité anti-microbienne spécifique vis-à-vis des plantes permet d'envisager le développement de nouveaux biopesticides qui constituent un réservoir de produits en cas d'apparition de résistance. C'est dans ce cadre que se place la présente invention.

La présente invention concerne un peptide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une séquence choisie parmi :

- les séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 7, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 est une cystéine ou une sérine, et
- les séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 et l'acide aminé en position 23 sont, indépendamment ou simultanément, une cystéine ou une sérine.

10

La présente invention concerne également un peptide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce que sa séquence présente au moins 60% d'identité avec l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, et en ce qu'il conserve une activité anti-microbienne.

La présente invention concerne également une composition comprenant au moins un peptide tel que défini selon l'invention et au moins un véhicule approprié.

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide tel que défini selon l'invention, comme agent anti-microbien, dirigé contre les bactéries phytopathogènes.

20

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux cystéines, comme agent cytotoxique.

2a

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide consistant en au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux cystéines, comme agent cytotoxique.

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux sérines, comme agent cytotoxique.

10 La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide consistant en au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux sérines, comme agent cytotoxique.

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 est une cystéine et l'acide aminé en position 23 est une sérine, comme agent anti-microbien non cytotoxique.

20 La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un peptide consistant en au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 est une cystéine et l'acide aminé en position 23 est une sérine, comme agent anti-microbien non cytotoxique.

La présente invention concerne également un polynucléotide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une séquence codante pour l'un au moins des peptides tels que définis selon l'invention, à l'exception de l'acide desoxyribonucléique génomique d'*Arabidopsis thaliana*.

La présente invention concerne également une composition comprenant au moins un polynucléotide tel que défini selon l'invention et au moins un véhicule approprié.

2b

La présente invention concerne également un vecteur comprenant l'un quelconque des polynucléotides tels que définis selon l'invention.

La présente invention concerne également une utilisation du polynucléotide tel que défini dans l'invention ou du vecteur tel que défini dans l'invention pour la préparation du peptide tel que défini selon l'invention.

La présente invention concerne également un système biologique modifié, caractérisé en ce qu'il est constitué par une bactérie, un endophyte unicellulaire, une levure ou une cellule eucaryote et en ce qu'il contient au moins l'un des vecteurs tels que définis selon l'invention, et/ou au moins l'un des polynucléotides tels que définis selon l'invention.

La présente invention concerne également une composition comprenant au moins un système biologique tel que défini selon l'invention et au moins un véhicule approprié.

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un système biologique tel que défini dans l'invention ou d'une composition telle que définie selon l'invention, comme agent anti-microbien ou comme agent cytotoxique.

La présente invention concerne également une utilisation d'au moins un polynucléotide tel que défini dans l'invention, ou d'au moins un vecteur tel que défini selon l'invention, dans la préparation d'un système biologique modifié constitué par une bactérie, un endophyte unicellulaire, une levure ou une cellule eucaryote comprenant ledit polynucléotide ou ledit vecteur.

La présente invention concerne également un organisme transgénique unicellulaire, caractérisé en ce qu'il contient au moins un polynucléotide tel que défini selon l'invention, ou au moins un vecteur tel que défini dans l'invention.

La présente invention concerne également un anticorps, polyclonal ou monoclonal, dirigé spécifiquement contre au moins l'un des peptides tels que définis selon l'invention.

2c

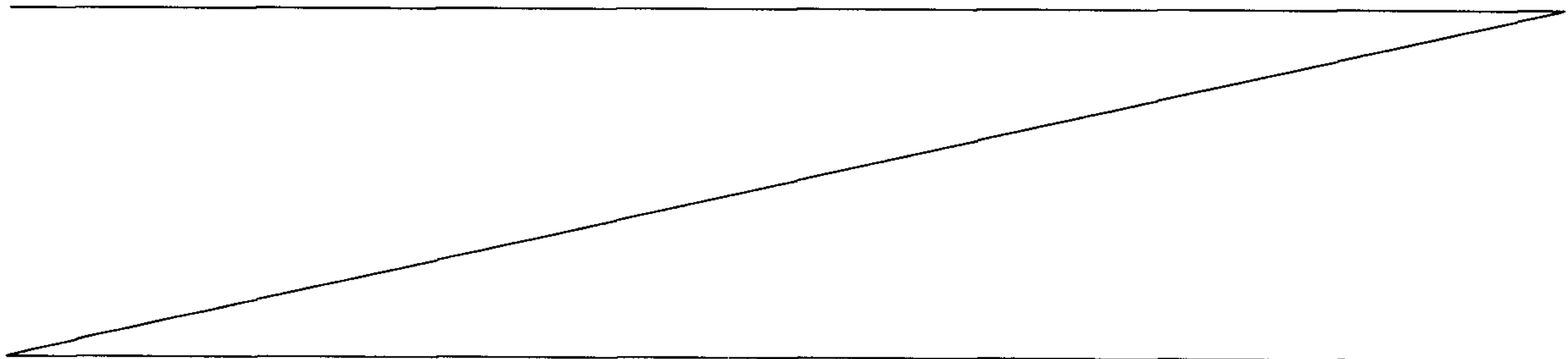
La présente invention concerne également une méthode de traitement d'un végétal, dans lequel on met en contact par tout moyen approprié ledit végétal et au moins un agent anti-microbien ou cytotoxique choisi dans le groupe consistant en : les peptides tels que définis dans l'invention, les vecteurs tels que définis dans l'invention, les polynucléotides tels que définis selon l'invention, le système biologique modifié tel que défini selon l'invention, l'organisme transgénique tel que défini dans l'invention et les compositions telles que définies selon l'invention.

De manière surprenante et inattendue, les Inventeurs ont isolé dans *Arabidopsis thaliana* un peptide qui présente la particularité d'avoir une activité anti-microbienne, particulièrement contre les agents pathogènes des plantes. Dans son activité anti-microbienne, ledit peptide présente une activité au moins bactériostatique, éventuellement bactéricide. Très particulièrement, ledit peptide présente une activité anti-microbienne spécifique de certaines espèces bactériennes, particulièrement d'espèces pathogènes des plantes, comme par exemple *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae* ou encore *Erwinia amylovora*.

10

L'activité anti-microbienne peut se manifester sous la forme de deux actions distinctes : inhibition "microbicide" (bactéricide, virucide ou fongicide), qui consiste à tuer lesdits microorganismes ; et inhibition "microbiostatique" (bactériostatique, virostatique ou fongistatique) qui consiste à réduire ou à inhiber les capacités de prolifération desdits microorganismes.

En conséquence, l'invention a pour objet un peptide isolé, naturel ou synthétique, comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10 suivantes :



2d

SEQ ID N° 1 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁

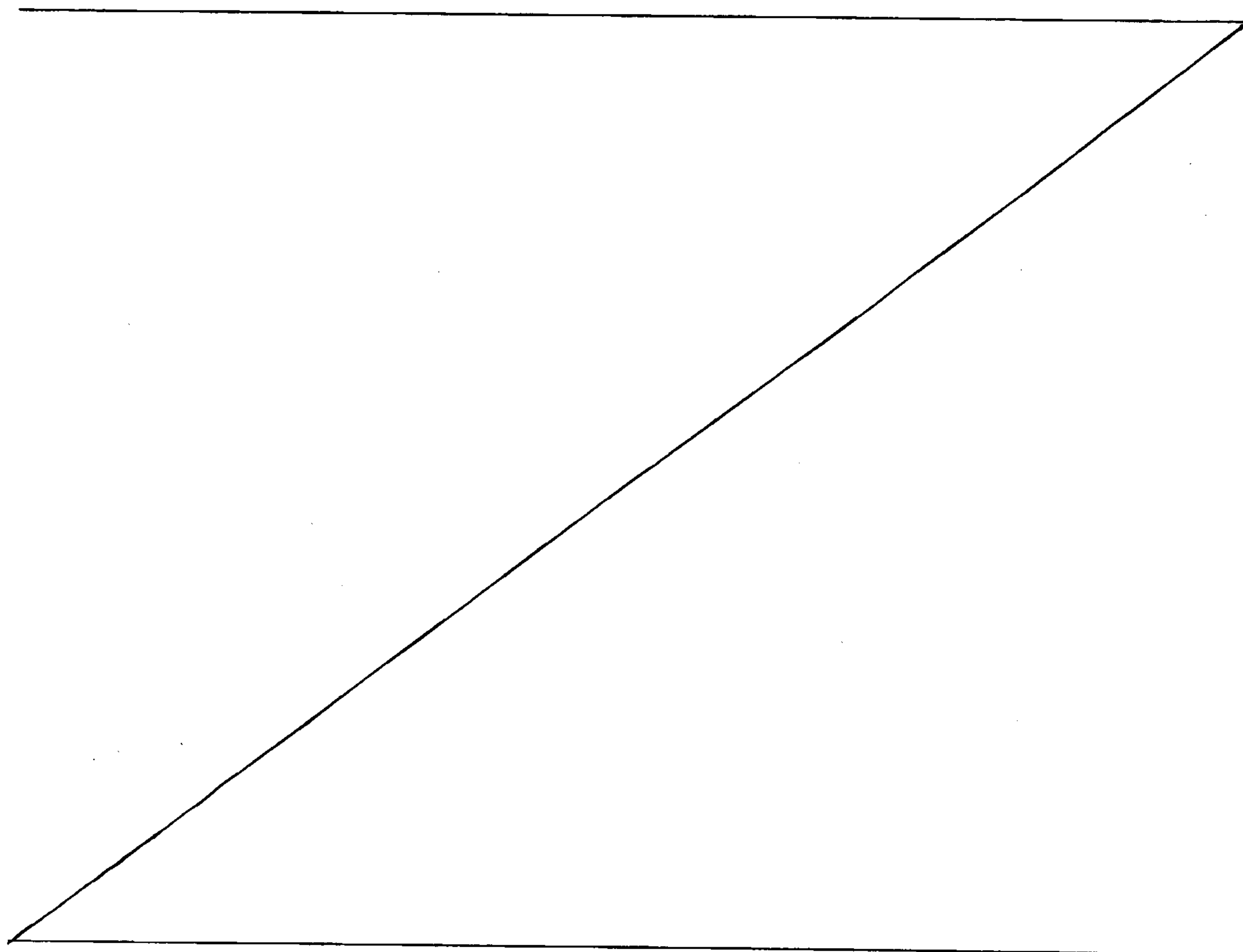
SEQ ID N° 2 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala

SEQ ID N° 3 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe

SEQ ID N° 4 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg

SEQ ID N° 5 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg-Glu

SEQ ID N° 6 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg-Glu-Arg



SEQ ID N° 7 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg-Glu-Arg-Leu

SEQ ID N° 8 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg-Glu-Arg-Leu-R₂

5 SEQ ID N° 9 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg-Glu-Arg-Leu-R₂-His

SEQ ID N° 10 : Met-Trp-Trp-Leu-Val-Gly-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Leu-Ileu-His-Leu-R₁-Ala-Phe-Arg-Glu-Arg-Leu-R₂-His-Leu

10 dans lesquelles R₁ et R₂ représentent, indépendamment ou simultanément, une cystéine ou une sérine.

Le peptide selon l'invention comprend au moins la séquence SEQ ID NO : 1.

15 Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit peptide répond à l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, telles que définies ci-dessus.

20 Par isolé, on entend ici tout peptide de quelque origine qu'il soit, qui aura, à partir de sa source, subi au moins une étape d'enrichissement. Ainsi, l'invention couvre aussi bien des extraits bruts, par exemple de végétaux ou de cellules végétales, contenant au moins un peptide selon l'invention, que des formes de celui-ci beaucoup plus pures.

25 De manière avantageuse, le peptide selon l'invention peut être soit isolé de plantes (*Arabidopsis thaliana* par exemple) soit obtenu par synthèse chimique ou encore par des moyens biotechnologiques comme par exemple à partir de microorganismes, de cellules de plantes ou d'animaux, voire d'organismes modifiés, qui n'expriment normalement pas ledit peptide.

L'invention a également pour objet un peptide isolé, dont la séquence est substantiellement homologue à l'une au moins des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, telles que définies ci-dessus.

30 On considère ici qu'un peptide présente une séquence substantiellement homologue lorsque sa séquence en acides aminés présente au moins 60% de similarité avec la séquence en acides aminés d'au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10 et que le peptide a conservé son activité initiale anti-microbienne, particulièrement son

activité spécifique vis-à-vis de microorganismes pathogènes de plantes.

Par 60% de similarité entre un peptide P et les séquences SEQ ID NO : 1 à 10, on entend que lorsque les deux peptides sont alignés, 60% des acides aminés de P sont identiques à l'acide aminé correspondant des séquences SEQ ID NO : 1 à 10, ou sont remplacés par un acide aminé du même groupe.

Par acide aminé de même groupe, on entend un acide aminé possédant des propriétés chimiques sensiblement identiques. En particulier, on entend par ce terme des acides aminés ayant sensiblement la même charge et/ou la même taille, et/ou la même hydrophilie ou hydrophobie et/ou la même aromaticité.

De tels groupes d'acides aminés incluent notamment ;

- (i) glycine, alanine
- (ii) isoleucine, leucine, valine
- (iii) tryptophane, tyrosine, phénylalanine
- (iv) acide aspartique, acide glutamique
- (v) arginine, lysine, histidine
- (vi) sérine, thréonine

D'autres substitutions peuvent être envisagées, dans lesquelles on remplace un acide aminé par un autre acide aminé comparable mais non naturel (hydroxyproline, norleucine, ornithine, citrulline, cyclohexylalanine, acides aminés dextrogyres, ...)

Le fait que le peptide selon l'invention présente les propriétés anti-microbiennes précédemment décrites permet d'envisager son utilisation comme agent anti-microbien, particulièrement dirigé contre les agents pathogènes de plantes. Très particulièrement, le peptide selon l'invention peut être utilisé comme agent bactériostatique, éventuellement bactéricide, encore plus particulièrement comme agent anti-microbien spécifique de *Xanthomonas campestris*, de *Pseudomonas syringae* ou encore d'*Erwinia amylovora*. Cela permet d'envisager son utilisation comme biopesticide, ne présentant pas d'effets secondaires toxiques sur l'environnement.

L'invention a également pour objet l'utilisation d'un peptide, isolé, comprenant ou répondant à au moins l'une quelconque des séquences

SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, comme agent anti-microbien, particulièrement dirigé contre les agents pathogènes de plantes.

Selon un mode de réalisation avantageux de ladite utilisation, ledit peptide selon l'invention est un agent bactériostatique, éventuellement bactéricide, et encore plus particulièrement un agent anti-microbien spécifique de *Xanthomonas campestris*, de *Pseudomonas syringae* ou d'*Erwinia amylovora*.

De manière surprenante, les Inventeurs ont montré que :

- les peptides selon l'invention comprenant ou répondant à au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ représente une sérine, conservent leur activité anti-microbienne ;

- les peptides selon l'invention comprenant ou répondant à au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 2 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ représente une cystéine ou une sérine et R₂ représente une cystéine, présentent une activité cytotoxique ;

- les peptides selon l'invention comprenant ou répondant à au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à 10, dans lesquelles R₁ représente une cystéine et R₂ représente une sérine, présentent une activité cytotoxique fortement réduite, voire inhibée, alors que l'activité anti-microbienne est conservée ;

- les peptides selon l'invention comprenant ou répondant à au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à 10, dans lesquelles R₁ et R₂ représentent simultanément une sérine, présentent une activité cytotoxique.

L'activité cytotoxique du peptide selon l'invention est perdue lorsque le peptide comprend ou répond uniquement à la séquence SEQ ID NO : 1.

En conséquence, la présente invention a également pour objet l'utilisation d'au moins un peptide comprenant ou répondant à au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 2 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ représente une cystéine ou une sérine et R₂ représente une cystéine, ou lorsqu'il comprend ou qu'il répond à au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ et R₂ représentent

simultanément une sérine, comme agent cytotoxique, particulièrement comme agent cytotoxique pour les cellules végétales.

La présente invention a également pour objet l'utilisation du peptide selon l'invention comprenant ou répondant à au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 2 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ représente une cystéine ou une sérine et R₂ représente une cystéine, ou lorsqu'il comprend ou qu'il répond à au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ et R₂ représentent simultanément une sérine, comme agent désherbant.

L'invention a aussi pour objet l'utilisation du peptide selon l'invention lorsqu'il comprend ou qu'il répond à au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles R₁ représente une cystéine et R₂ représente une sérine, comme agent anti-microbien non cytotoxique, particulièrement dirigé contre les agents pathogènes de plantes.

De manière avantageuse, les fonctions carboxyles et amines libres des peptides selon l'invention peuvent être protégées.

Les groupements protecteurs usuels sont bien connus. Par exemple, le peptide selon l'invention peut être un peptide pour lequel le groupement carboxylique C-terminal, et éventuellement les autres groupements carboxyliques présents dans la molécule, sont sous la forme d'un ester (ester d'alkyle inférieur ayant de 1 à 4 carbones) ou d'un amide, et/ou celui pour lequel le groupement amine N-terminal, et éventuellement les autres groupements amines présents dans la molécule, sont sous forme acylée (par exemple acétylée). Plus généralement, l'invention inclut non seulement les sels d'addition du peptide avec des sels organiques carboxyliques et les acétates, mais aussi d'autres sels d'addition tels que par exemple les trifluoroacétates, ainsi que les sels d'addition du peptide avec les acides minéraux tels que les sulfates, les chlorhydrates, etc. L'invention inclut également les sels résultant de la salification du (ou des) groupe carboxylique, et notamment les sels des métaux alcalins ou alcalino-terreux tels que les sels de sodium ou de calcium.

L'invention a également pour objet une composition comprenant au moins un peptide comprenant ou répondant à au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, telles que décrites précédemment et au moins un véhicule approprié.

La composition selon l'invention peut être une composition à usage alimentaire, pharmaceutique, vétérinaire, (composition anti-microbienne ou conservatrice) ou bien entendu encore une composition à usage agricole (biopesticide et/ou désherbant).

5 L'invention a également pour objet un polynucléotide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une séquence codant pour l'un au moins des peptides selon l'invention, à l'exception de l'acide désoxyribonucléique (ADN) génomique d'*Arabidopsis thaliana*.

10 Selon un mode de réalisation avantageux dudit polynucléotide, il comprend au moins l'une des séquences SEQ ID NO : 11 à SEQ ID NO : 20 suivantes :

SEQ ID NO : 11 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃

15 SEQ ID NO : 12 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA

SEQ ID NO : 13 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT

20 SEQ ID NO : 14 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA

SEQ ID NO : 15 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA GAG

SEQ ID NO : 16 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA GAG CGT

25 SEQ ID NO : 17 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA GAG CGT CTC

SEQ ID NO : 18 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA GAG CGT CTC R₄

30 SEQ ID NO : 19 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA GAG CGT CTC R₄ CAT

SEQ ID NO : 20 : ATG TGG TGG CTA GTT GGA CTT ACA CCA
GTT GAG TTG ATC CAT CTT R₃ GCA TTT CGA GAG CGT CTC R₄ CAT
CTC

dans laquelle R_3 et R_4 représentent, indépendamment ou simultanément, un codon cystéine ou un codon sérine.

Selon une disposition avantageuse de ce mode de réalisation, le polynucléotide selon l'invention répond à l'une des séquences SEQ ID NO :
5 11 à SEQ ID NO : 20, dans laquelle R_3 et R_4 représentent un codon cystéine ou un codon sérine.

Le polynucléotide selon l'invention peut être sous la forme d'acide désoxyribonucléique (ADN) ou d'acide ribonucléique (ARN), simple brin ou double brin.

10 Le polynucléotide selon l'invention peut être déduit de la séquence de l'un quelconque des peptides selon l'invention et synthétisé à l'aide d'un synthétiseur à ADN. Le polynucléotide peut également être obtenu à partir de banques d'ADN, particulièrement de banques d'ADN de cellules végétales, très particulièrement à partir d'une banque d'ADN de cellules
15 d'*Arabidopsis thaliana*.

L'invention a également pour objet une composition comprenant, dans un milieu approprié, au moins un polynucléotide, tel que décrit précédemment, et au moins un véhicule approprié.

Pour l'expression desdits peptides selon l'invention, les
20 polynucléotides peuvent avantageusement être introduits dans un vecteur approprié.

Le vecteur utilisé peut être tout vecteur connu de l'art antérieur. Particulièrement, on peut citer comme vecteurs utilisables selon l'invention les plasmides, les virus ou encore les bactériophages.

25 Parmi les plasmides utilisables selon l'invention, on peut citer ceux décrits par R. L. Rodriguez et D. T. Denhardt (A Survey of Molecular Cloning Vectors and Their Uses, Butterworths, Boston, 1998) ou encore par J. Sambrook et al., (Molecular cloning, Cold Spring Arbor, 2001)

30 Particulièrement, les vecteurs pMOSBlue®, vendus par la société Amersham, les vecteurs pGEM®-T et pGEM®-T easy vendus par la société Promega ou encore les plasmides du type *Agrobacterium* Ti (H. De Greve et al., J. Mol. Appl. Genet., 1, (1982), 499-511) peuvent avantageusement être utilisés.

Ledit vecteur peut comporter en outre toutes séquences

régulatrices requises pour la réplication du vecteur et/ou l'expression du peptide codé par le polynucléotide (promoteur, sites de terminaison, etc).

Dans une construction particulièrement intéressante, le polynucléotide selon l'invention est placé sous la dépendance d'un promoteur inductible, rendant ainsi la synthèse du peptide dépendante de conditions prédéfinies, par exemple de conditions environnementales, de la présence d'un agent pathogène ou d'un agent chimique.

L'invention a donc aussi pour objet un vecteur comprenant l'un quelconque des polynucléotides tels que décrits précédemment, comprenant ou répondant à l'une au moins des SEQ ID NO : 11 à SEQ ID NO:20 dans lesquelles R_3 et R_4 représentent, indépendamment ou simultanément, un codon cystéine ou un codon sérine.

L'invention a en outre pour objet l'utilisation d'un polynucléotide ou d'un vecteur tels que décrits précédemment pour la préparation d'un peptide selon l'invention.

L'invention a aussi pour objet un système biologique modifié dans lequel, au moins un polynucléotide selon l'invention ou au moins un vecteur de l'invention a été introduit.

Un tel système biologique peut être par exemple un microorganisme, comme une bactérie telle que *Escherichia coli*, un endophyte comme ceux décrit dans les Demandes Internationales WO90/13224, WO91/10363, WO87/03303, WO94/16076 ou encore la Demande de Brevet EP-125468 ou encore une levure telle que *Saccharomyces cerevisiae*, une cellule comme par exemple une cellule d'insecte, une cellule animale ou une cellule végétale.

L'invention a également pour objet l'utilisation du polynucléotide selon l'invention et/ou du vecteur de l'invention pour la préparation d'un système biologique modifié, celui-ci pouvant être un microorganisme, un endophyte, une levure ou une cellule eucaryote.

L'invention a aussi pour objet une composition comprenant au moins un système biologique tel que décrit précédemment et au moins un véhicule approprié.

L'invention a aussi pour objet l'utilisation d'au moins un système biologique modifié tel que décrit précédemment ou d'une composition

comprenant au moins un système biologique modifié telle que décrite précédemment comme agent anti-microbien, particulièrement dirigé contre les agents pathogènes de plantes, et/ou comme agent cytotoxique.

5 Le système biologique modifié peut éventuellement en outre permettre la sécrétion du peptide selon l'invention dans un milieu de culture rendant son extraction et sa purification plus faciles.

L'introduction du polynucléotide et/ou du vecteur selon l'invention dans le système biologique modifié hôte, peut se faire par toute méthode connue, comme par exemple la transfection, l'infection, la fusion, 10 l'électroporation, la microinjection ou encore la biolistique.

L'invention a encore pour objet un organisme transgénique non humain dont tout ou partie des cellules contient le polynucléotide selon l'invention ou le vecteur de l'invention, sous une forme libre ou intégrée.

15 Particulièrement, l'organisme transgénique de l'invention est un végétal transgénique.

Le végétal transgénique peut appartenir à toute espèce végétale, particulièrement à une espèce végétale susceptible d'être infectée par *Xanthomonas campestris* et/ou *Pseudomonas syringae* et/ou *Erwinia amylovora*.

20 On peut citer à titre d'exemple pour *Xanthomonas campestris*, le chou, la luzerne, le soja, le coton, le pois ou encore les céréales, pour *Erwinia amylovora*, le poirier, le pommier ou encore la pomme de terre et pour *Pseudomonas syringae*, la banane, le blé ou encore les végétaux de la famille des Citrus.

25 L'organisme transgénique de l'invention, particulièrement le végétal transgénique, lorsqu'il exprime le peptide selon l'invention, présente une résistance améliorée aux pathogènes, particulièrement aux phytopathogènes, très particulièrement à *Xanthomonas campestris* et/ou *Pseudomonas syringae* et/ou *Erwinia amylovora*.

30 L'invention a donc aussi pour objet un organisme transgénique non humain, particulièrement un végétal transgénique présentant une résistance améliorée aux pathogènes, particulièrement aux phytopathogènes, très particulièrement à *Xanthomonas campestris* et/ou *Pseudomonas syringae* et/ou *Erwinia amylovora*.

Toute méthode de préparation d'organisme transgénique, particulièrement les méthodes appliquées aux végétaux peuvent être utilisées pour la préparation des organismes transgéniques de l'invention.

5 A cet égard on peut citer les méthodes décrites dans Plant gene Transfer and Expression Protocols - Methods in Molecular Biology (Humana Press, H. Jones éditeur, 1995, 49 : 39-48) ou encore celles décrites par P. Gallois et al., dans Plant Cell Electroporation and Electrofusion Protocols – Methods in Molecular Biology, (Humana Press, J.A. Nickoloff éditeur, 1995, 55, 89-108)

10 L'avantage des organismes transgéniques de l'invention réside dans le fait qu'ils expriment de manière constitutive le peptide anti-microbien, de l'invention.

L'invention a également pour objet un anticorps, polyclonal ou monoclonal, dirigé contre au moins l'un des peptides selon l'invention.

15 Toute méthode de préparation des anticorps connue de l'art antérieur peut être mise en œuvre pour obtenir les anticorps de l'invention.

L'invention a en outre pour objet un procédé de détection du polypeptide selon l'invention, caractérisé en ce que dans une première étape on met en contact un milieu susceptible de contenir ledit peptide et un
20 anticorps selon l'invention et dans une deuxième étape on détecte les complexes formés par l'anticorps et le peptide. Ce procédé est particulièrement intéressant pour détecter des traces de biopesticides dans un environnement particulier.

L'invention a également pour objet un procédé de traitement
25 anti-microbien, et/ou cytotoxique dans lequel on met en contact par tout moyen approprié (application, épandage, pulvérisation, ...) un organisme, particulièrement un végétal, et au moins un agent anti-microbien et/ou cytotoxique choisi parmi au moins l'un des peptides tels que décrits précédemment et/ou l'un des vecteurs et/ou l'un des polynucléotides et/ou l'un
30 des systèmes biologiques et/ou une composition, précédemment décrits.

En agriculture, le procédé de traitement de l'invention peut être mis en application selon toutes les formes utilisées en agriculture, comme par exemple de façon traditionnelle en application externe en champ, par exemple par pulvérisation ou épandage d'une composition liquide de

l'invention, en additif d'enrobage de graines ou dans une stratégie de plantes transgéniques.

Outre les dispositions qui précèdent, l'invention comprend encore d'autres dispositions qui ressortiront de la description qui va suivre, qui se réfère à des exemples de mise en œuvre de l'invention ainsi qu'aux
5 dessins annexés, dans lesquels :

- La figure 1 présente les résultats obtenus lors d'une amplification PCR sur les ADN complémentaires obtenus à partir d'ARN de jeunes siliques d'*Arabidopsis thaliana*.

- La figure 2 présente les résultats des essais réalisés en vue de mettre en évidence le (ou les) codons d'initiation (ATG) fonctionnels dans le transcrit SUP25. Dans le panneau 2A, la flèche indique la position des ATG et l'octogone la position des codons stop.

- La figure 3 présente les résultats d'un test de phytotoxicité
15 du peptide (SUP16) de 16 acides aminés répondant à la séquence SEQ ID NO : 1 et du peptide (SUP25) de 25 acides aminés répondant à la séquence SEQ ID NO : 10.

- La figure 4 présente les résultats des essais réalisés en vue de déterminer la concentration optimale pour l'activité cytotoxique du peptide
20 (SUP25) de 25 acides aminés répondant à la séquence SEQ ID NO : 10.

- Les figures 5A et 5B présentent les résultats d'une expérience de marquage TUNEL sur des protoplastes soumis à différents variants du peptide.

Les exemples suivants sont illustratifs de l'invention et ne la
25 limitent aucunement.

EXEMPLE 1 : Matériel et Méthodes

1) Nomenclature :

SUP25 et pep25 désignent le peptide de 25 acides aminés correspondant à la séquence SEQ ID NO : 10.

30 SUP16 et pep16 désignent le peptide de 16 acides aminés correspondant à la séquence SEQ ID NO : 1.

PepDS désigne un peptide SUP25 dont les acides aminés 4 à 15 ont été retirés.

Pep1S désigne un peptide SUP 25 dont la cystéine en position 23 a été remplacée par une sérine.

Pep2S désigne un peptide SUP 25 dont les cystéines en position 16 et 23 ont été remplacées chacune par une sérine.

5 2) Matériel végétal

Toutes les expériences ont été réalisées sur *Arabidopsis thaliana*. Deux écotypes sauvages ont été utilisés :

- Columbia (Col-0) pour l'ensemble des transformations par la méthode *in planta*.
- 10 ➤ C24, écotpe ayant servi à la confection du piège à promoteur.

3) Matériel bactérien

Escherichia coli : souche DH5ct

Xanthomonas campestris pv *campestris* : souche 8004

Pseudomonas syringae pv *tomato* : souche DC3000

15 *Erwinia amylovora* : souche 1430

4) Matériel nucléique

4. 1. Plasmides

4.1.a. Plasmides de clonage de fragments PCR et de produits de digestion.

20 Les plasmides qui ont été utilisés pour cloner les fragments PCR en utilisant le principe du "TA cloning" sont le pMOSBlue®, vendu par la société Amersham, les vecteurs pGEM®-T et pGEM®-T easy vendus par la société Promega. Ces trois vecteurs contiennent le gène conférant la résistance à l'ampicilline aux bactéries qui les contiennent. De plus, ils portent
25 le gène *lacZ* qui permet une sélection des plasmides ayant effectivement incorporé un insert. Leur hôte est la bactérie *E. coli* (DH5α) Ces mêmes plasmides, refermés sur eux-mêmes, ou encore le vecteur pBluescript II SK® (pBSK, Stratagène), ont été utilisés pour le clonage de produits de digestion.

30 4.1.b. Plasmides de clonage utilisés comme vecteur de transformation transitoire :

Tous les plasmides cités ci-dessus peuvent servir de vecteur

d'expression transitoire.

➤ Pour les fusions traductionnelles le plasmide utilisé a été pRTL2-EGFP (Restrepo A, Freed DD, Carrington JC., Nuclear transport of plant potyviral proteins. Plant Cell. 1990 Oct. ; 2 (10) : 987-98).

5 ➤ Pour la construction des cassettes d'expression sens et antisens de la protéine SUP25, l'amplification PCR du gène ou de l'antisens est faite grâce aux amorces pepS-3X et pepS-5H ou pepAS-5S et PepAS-3H. Le fragment amplifié est cloné dans pGEM[®]-T, l'insert est excisé par les enzymes de restriction *NcoI* et *NotI* puis inséré dans
10 pRTL2-EGFP linéarisé par les mêmes enzymes et purifié sur gel d'agarose.

4.2. Oligonucléotides

Les séquences des amorces utilisées sont données ci-dessous.

N°	Nom	Séquence	Objet
SEQ ID NO : 21	PepS-5H	CAAGTAAGCTT GCTCAGTTG	Clonage de l'ORF SUP25 en fusion avec les opérateurs dans le vecteur binaire
SEQ ID NO : 22	PepS-3X	GCTCTAGATAC TTAGAGATGAC AGAGACG	Clonage de l'ORF SUP25 en fusion avec les opérateurs dans le vecteur binaire
SEQ ID NO : 23	PepAS-5S	ACTGAGCTCGT TGTATTTTAAAT CGAATGG	Clonage de l'anti SUP25 en fusion avec les opérateurs dans le vecteur binaire
SEQ ID NO : 24	PepAS-3H	ACGGAAGCTTT ACTTAGAGATG ACAGAGACG	Clonage de l'anti SUP25 en fusion avec les opérateurs dans le vecteur binaire
SEQ ID NO : 25	OTi-05	CGTCTTCGAGA AAAGTGTTAG	RT-PCR
SEQ ID NO : 26	OEx-Ti-15	ATCAGTCAGAC AGTCAAATTC	RT-PCR
SEQ ID NO : 27	OPend3	TACTTAGAGAT GACAGAGACG	RT-PCR

15 D'autres amorces commerciales comme T7, T3, T7 term, SP6 et U19 ont été utilisées en routine dans les expériences de clonage.

5) Milieux de culture et solutions

5. 1. Milieu de culture pour plantes

Milieu de germination MS : milieu Murashige et Skoog avec vitamine B5 (Duchefa) 2,2 g/l ; MES (Sigma) 0,5 g/l ; glucose 5g/l ; pH 5,7 avec KOH 1M ; Plant agar 7g/l (Duchefa).

5.2. Milieux de sélection :

5 Antibiotiques :

Kanamycine : 50 mg/l. (sélectionne l'activité néomycine phosphotransférase du gène *nptII*).

Hygromycine : 30 mg/l. (sélectionne l'activité hygromycine phosphotransférase du gène *hpt*).

10 Méthotrexate : 0,1 mg/l (sélectionne l'activité dihydrofolate réductase du gène *dhfr*).

5.3. Milieux de culture pour *Escherichia coli* :

Milieu LB (Luria-Bertani) liquide : extrait de Levure 5g/l ; bactotryptone 10g/l ; NaCl 10g/l.

15 Milieu 2XL liquide : extrait de Levure 10g/l ; bactotryptone 20g/l ; NaCl 1g/l ; glucose 2 g/l.

Milieu Terrific Broth liquide : extrait de Levure 24 g/l ; bactotryptone 12 g/l ; glycérol 4 ml/l ; KH_2PO_4 4,62g/l ; K_2HPO_4 25,08g/l.

20 Milieux solides : comme milieux liquides + 15 g/l Bacto agar (Difco).

Antibiotiques pour *E. coli* : ampicilline : 100 mg/l ; kanamycine : 50 mg/l ; chloramphénicol (stock dans l'éthanol) : 12,5 mg/l.

5.4. Solutions et tampons :

25 5.4.a. Tampons relatifs aux extractions d'acides nucléiques :

Tampon d'extraction de l'ADN génomique de plante :

Méthode Dellaporta : Tris-HCl (pH 8) 100 mM ; EDTA (pH 8) 50 mM ; NaCl 0,5M ; β -mercaptoéthanol 10 mM.

30 Tampon d'extraction de l'ARN de plante (REB) : Tris-HCl (pH 8) 25 mM ; EDTA 25 mM ; NaCl 75 mM ; SDS 1%.

Tampon TE : Tris-HCl (pH 8) 10 mM ; EDTA (pH 8) 2 mM.

5.4.b. Tampons relatifs aux électrophorèses en gels d'agarose :

➤ Gels d'ADN

5 Tampon TBE : Tris-HCl 89 mM ; acide borique 89 mM ; EDTA (pH 8) 2 mM.

Tampon TAE : Tris-HCl 40 mM ; acide acétique 40 mM ; EDTA (pH 8) 1 mM.

Tampon de charge ADN 10x : xylène cyanol FF 0,25% ; bleu de bromophénol 0,25% ; glycérol 30%.

10 ➤ Gels d'ARN

Tampon MOPS 5x : MOPS 0,1 M ; acétate de sodium 40 mM ; EDTA (pH 8) 5 mM.

15 Tampon de charge ARN, par échantillon : tampon MOPS 5x 2 µl ; formaldéhyde 3,5 µl ; formamide 10 µl, bromure d'éthidium (BET) à 1 mg/ml 0,2 µl.

5.4.c. Tampons relatifs aux hybridations de type Southern blot

Tampon de dépurination : HCl 0,25 N.

Tampon de dénaturation : NaOH 0,5 N - NaCl 1,5 M.

20 SSC 20 x : NaCl 3 M ; citrate de sodium 0,3 M.

SSPE 20 x : NaCl 3,6 M ; NaH₂PO₄ 0,2 M ; EDTA (pH 7,7) 0,02 M.

Denhardt's 50 x : FicollTM 10 g/l ; PVP (polyvinylpyrrolidone) 10 g/l ; BSA 10 g/l.

25 Tampon d'hybridation : EDTA 10 mM ; SSPE 6x ; SDS 0,5% ; Denhardt's 5x.

Tampon de lavage I : SSC 2x ; SDS 0,1 %.

Tampon de lavage II : SSC 1x ; SDS 0,1%.

30 5.4.d. Tampons relatifs à l'étude de l'activité enzymatique GUS

➤ Histochimie

Tampon de coloration GUS : KH_2PO_4 40 mM ; KHPO_4 60 mM, 5-bromo-4-chloro-3-indoylglucuronide (X-gluc, Biosynth AG, Switzerland) en solution dans le diméthyl formamide (DMF) 1 mg/ml ; azide de sodium 0,02% ; NaCl 50 mM ; ferricyanure de sodium 0,5 mM ; ferrocyanate de sodium 0,5 mM ; Triton X 100 0,1% (v/v).

➤ Spectrophotométrie

Tampon d'extraction GUS ou GFP : Tris-HCl (pH 7) 50 mM ; SDS 0,1% ; EDTA 10 mM ; dithiotréitol (DTT) 3 mM.

5.4.e. Tampons pour les immunoempreintes de protéines

10 Tampon d'extraction pour immunoempreintes : Tris-HCl (pH 8,3) 10 mM ; NaCl 10 mM.

Tampon de charge en gel d'acrylamide : Tris-HCl (pH 6,8) 125 mM ; SDS 4% ; glycérol 10% ; DTT 0,2 M ; bleu de bromophénol 0,2%.

Colorant au Bleu de Coomassie : Bleu de Coomassie R250 0,5 g/200 ml ; éthanol 90% ; acide acétique 10%.

Solution décolorante : éthanol 10% ; acide acétique 10% ; glycérol 3,5%.

Tampon de transfert : Tris-base 20 mM ; glycine 150 mM ; méthanol 20% (v/v)

TBS : Tris-base 2,42 g/l ; NaCl 8 g/l ; ajusté à pH 7,6.

20 TRS-T : TBS + 0,1% Tween* 20.

Lait écrémé.

6) Méthodes :

6.1) Méthodes de physiologie végétale

6. 1. 1) Conditions de culture

➤ Culture en terre

Les cultures en terre ont été réalisées dans un mélange de terreau horticole et de vermiculite, stérilisé par un autoclavage à 125 °C pendant 20 minutes. Les plantes ont été cultivées dans une chambre de culture, à 20-22 °C, en lumière continue.

* (marque de commerce)

➤ Culture *in vitro*

Pour la culture *in vitro*, les graines ont été stérilisées sous hotte à flux laminaire, par incubation dans un produit stérilisant (Domestos, Unilever) à 10% (v/v) dans de l'eau distillée stérile, pendant 10 minutes. Puis elles sont rincées 5 fois dans de l'eau distillée stérile. Les graines sont ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri (20 x 100 mm) contenant du milieu gélosé MS, avec ou sans antibiotique. Les plantes ont été cultivées dans une chambre de culture, à 20-22 °C, en jours continus.

6.2) Méthodes de biologie moléculaire

10 6. 2. 1) Manipulation de l'ADN

6.2. 1. A) Méthodes d'extraction

➤ ADN plasmidique

L'ADN bactérien plasmidique a été extrait selon une procédure de lyse alcaline et purifié à l'aide de deux kits différents selon la quantité de plasmide requise : le kit "High Pure Plasmid isolation Kit" de Boehringer Mannheim a été utilisé pour réaliser des mini-préparations de plasmides (environ 20 µg) à partir de 5 ml de culture saturée (*E. coli* souche DH5α). Ce kit utilise une colonne de silice pour retenir l'ADN. Le kit "Wizard™ Plus Midiprep DNA Purification System" de Promega a été utilisé pour extraire de plus grandes quantités de plasmide (environ 100 µg pour les plasmides à grand nombre de copies) à partir de 50 ml de culture saturée (*E. coli* souche DH5α). Ce kit utilise une colonne d'hydrochlorure de guanidine pour retenir l'ADN.

➤ ADN génomique

25 Méthode Dellaporta : cette méthode a été employée pour extraire rapidement et facilement de nombreux lots d'ADN génomique destinés à la vérification PCR des plantes transgéniques. Ce protocole, décrit par Dellaporta (Dellaporta et al., PMB, 1983, 1, 19-21), a été adapté à de plus petits volumes pour être réalisable en tubes de 500 µl. Chaque extrait a été obtenu à partir de 2 à 4 feuilles (selon leur taille) d'une même plante d'*Arabidopsis thaliana*.

30

6.2.1.b) Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR) :

➤ Sur l'ADN plasmidique ou génomique, après extraction :

Les réactions sont réalisées dans des tubes de 500 µl, dans un volume final de 25 µl :

5 "mix" : mélange des constituants suivants, préparé pour toutes les réactions PCR :

10 pmoles de chacun des deux oligonucléotides spécifiques,

11 µM de chaque dNTP,

2,5 µl d'un tampon 10x, fourni par la compagnie commercialisant la polymérase,

10 1,25 mM de MgCl₂ (ou MgSO₄, selon l'enzyme utilisée),

1 unité d'ADN-polymérase thermostable,

ADN matrice (fonction de la polymérase employée et du type d'ADN matrice),

qsp 25 µl d'eau dessalée, déionisée et stérile.

15 Pour les réactions PCR classiques ne nécessitant pas l'obtention d'un produit de séquence strictement identique à celle de la matrice, les polymérases d'ADN thermostables Dynazyme (Ozyme), Taq (Promega) et Tfl (Promega) ont été utilisées.

20 Dans ce cas, 5 ng d'ADN plasmidique ou 200 ng d'ADN génomique suffisent à la réalisation de l'expérience.

25 Pour obtenir un fragment amplifié dont la séquence est identique à celle de la matrice, l'enzyme de fidélité Pfu (Stratagène) a été utilisée. Cette enzyme requiert une quantité de matrice plus importante : classiquement 100 à 150 ng de plasmide ont été utilisés, selon les recommandations du fournisseur. Dans le cas d'une matrice d'ADN génomique, 500 à 1000 ng ont été utilisés.

30 Enfin, lorsqu'un produit PCR de taille supérieure à 2 kb était attendu, la PfuTurboTM (Stratagène) a été choisie. Les quantités d'ADN matrice utilisées sont alors de 10 ng pour l'ADN plasmidique et environ 500 ng pour l'ADN génomique.

Les conditions de réaction sont :

20

Dénaturation	93°C, 3 min
Dénaturation	93°C, 1 min
Hybridation	entre 48 et 55°C, 1 min
Elongation	72°C, variable**
5 Extension finale	72°C, 10 min

**variable selon le couple d'amorces

Tfl et PfuTurbo™ : 1 min/kb à amplifier

Pfu : 2 à 3 min/kb à amplifier

10 Le nombre n de cycles PCR est compris entre 30 et 40 pour les réactions mettant en jeu la Dynazyme (Ozyme), la Taq (Promega) et la Tfl (Promega). Pour les réactions réalisées avec les enzymes de fidélité, le nombre de cycles est plus faible (jusqu'à 25), de façon à limiter les erreurs.

➤ Sur l'ADN plasmidique contenu dans des cellules bactériennes :

15 L'amplification d'une séquence plasmidique peut directement se faire à partir de colonies bactériennes, ceci pour rechercher les colonies correspondant aux bactéries recombinantes (ayant effectivement intégré le plasmide contenant l'insert d'intérêt) Le "mix" PCR (même composition que celle donnée ci-dessus) est préparé et réparti par 25 µl dans plusieurs tubes
20 de 500 µl. L'enzyme utilisée est la Dynazyme (Ozyme), la Taq (Promega) ou la Tfl (Promega).

Les colonies sont prélevées à la surface du milieu de culture solide à l'aide de tout outil de prélèvement approprié (cône, loupe, etc.), repiquées sur une boîte neuve contenant du milieu de culture LB solide, et
25 l'outil de prélèvement est plongé dans le "mix" et brièvement agité.

Les conditions PCR sont les mêmes que celles données précédemment.

Dans tous les cas, 10 µl de produit PCR auxquels est ajouté 1 µl de tampon de charge ADN 10x, sont déposés dans un gel d'agarose
30 (pourcentage d'agarose variable en fonction de la taille du fragment amplifié à observer, tampon TBE).

6.2.1.c) Méthodes de clonage :

Le clonage moléculaire passe par différentes étapes dont l'isolement du fragment à cloner (après action d'une endonucléase de restriction ou non - cas de produits PCR à cloner directement dans un vecteur de type "TA cloning" -), l'ouverture du vecteur de clonage (sauf dans le cas des vecteurs de type "TA cloning"), la ligation de ces deux éléments et l'amplification de la nouvelle construction après son introduction dans une cellule bactérienne.

➤ Création du plasmide recombinant :

- Hydrolyse par des enzymes de restriction ou digestion :

Les enzymes de restriction sont utilisées dans les conditions préconisées par les fournisseurs. Le volume d'enzyme utilisé correspond au maximum à 10% du volume final de la réaction de digestion.

- Déphosphorylation des extrémités après digestion :

- 15 La stratégie de déphosphorylation a été utilisée lorsqu'il était nécessaire d'empêcher un vecteur digéré par une seule enzyme de restriction de se refermer sur lui-même. Dans ce cas, la phosphatase alcaline de Boehringer Mannheim a été employée selon les recommandations du fournisseur.

- 20 • Purification des fragments d'ADN

Les purifications des fragments d'ADN ont été réalisées de 3 façons différentes selon le cas :

Dialyse

- 25 Lorsqu'il s'agissait uniquement de dessaler l'ADN (après action d'une endonucléase de restriction par exemple), selon le cas et le volume à traiter, une simple membrane Millipore, une "spin column" (Sephadex G-50) ou encore une précipitation à l'éthanol suivie d'un lavage du culot obtenu à l'éthanol 70% ont été réalisés.

Phénol/chloroforme

- 30 Lorsqu'en plus des sels, une élimination des protéines (enzyme de restriction ou phosphatase alcaline) s'avérait nécessaire, une purification par le mélange phénol / chloroforme suivie d'une précipitation à l'éthanol a été réalisée.

A partir d'un gel d'agarose

De façon à séparer le fragment d'ADN d'intérêt d'autres fragments d'ADN contaminants, une électrophorèse en gel d'agarose (tampon TAE) a été réalisée. Le fragment d'intérêt a ensuite été extrait du gel grâce au kit "QIAQuick* Gel Extraction Kit" de Qiagen ou "Wizard™ PCR Prep" de Promega : le morceau d'agarose contenant l'ADN est rendu liquide par chauffage puis passé sur une colonne qui fixe l'ADN. Après une série de lavages, l'ADN est élué avec de l'eau et peut ainsi être utilisé directement pour le clonage dans un vecteur.

- Ligation de l'insert et du vecteur :

10

Les ligations entre les fragments d'ADN à intégrer et les vecteurs de clonage aux sites compatibles sont effectuées en présence d'une unité d'ADN ligase du phage T4 (Promega ou Boehringer Mannheim) préférentiellement à 16°C pendant une nuit ou bien de 2 à 4 heures à température ambiante. La quantité totale d'ADN utilisée est comprise entre 200 ng et 500 ng, en respectant un rapport molaire entre le vecteur et l'insert de 1 : 3 à 1 : 5, dans un volume final de 10 à 20 µl, correspondant aux conditions préconisées par le fournisseur.

- Ligation d'un adaptateur

20

Les oligonucléotides sont choisis pour s'apparier en laissant les extrémités cohésives désirées. Les oligonucléotides sont hybridés à 1 pmol/µl dans 10 µl de tampon tfl 1X. Ils sont incubés 1 min à 95°C puis 10 min à 45°C. Ensuite 20 ng d'oligonucléotides (dans un volume maximal de 2 µl) et 100 ng de vecteur sont introduits dans la réaction de ligation.

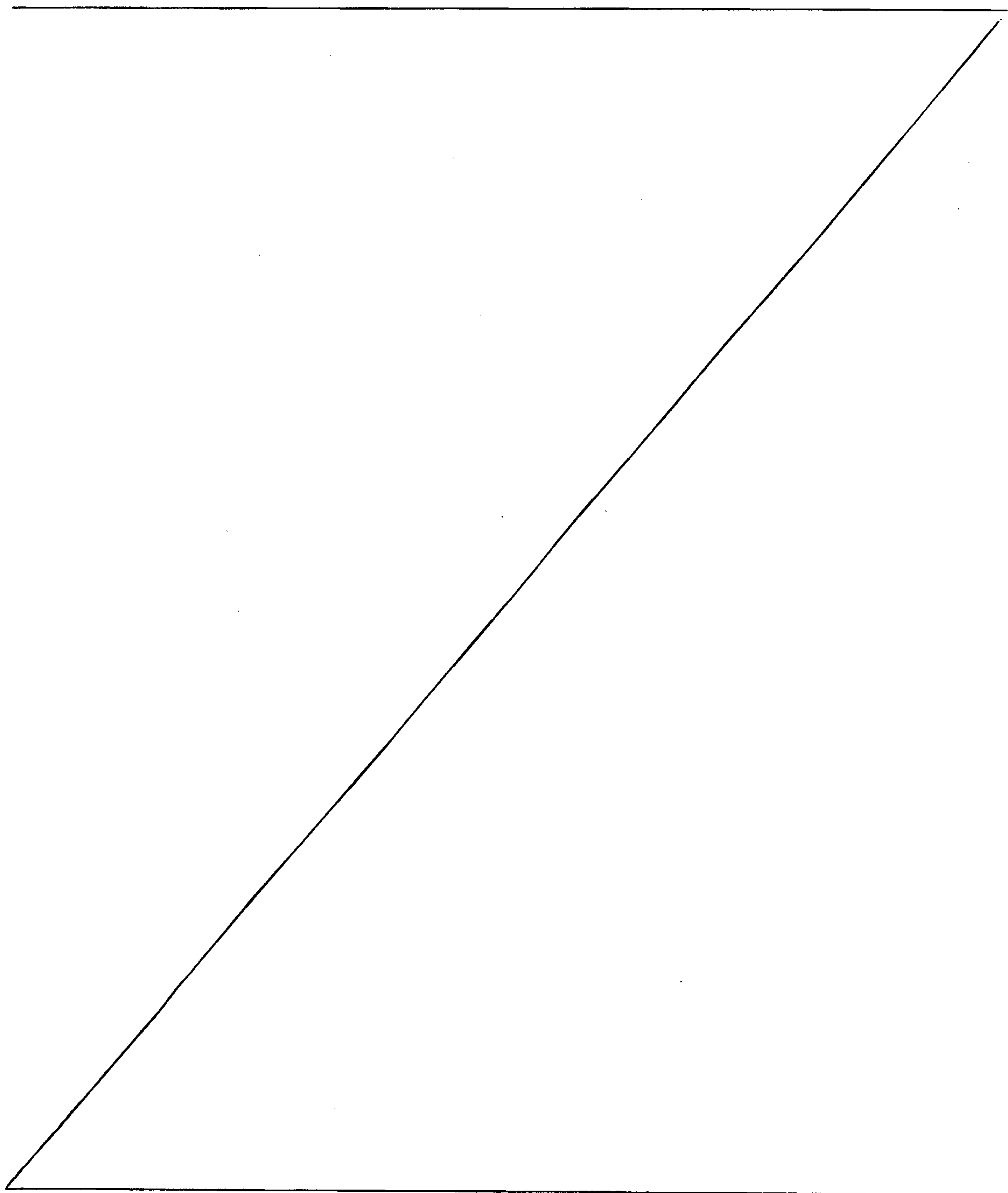
➤ Cas particulier du clonage direct d'un produit PCR

Dans le cas particulier du clonage direct d'un produit obtenu par PCR, on utilise les enzymes Dynazyme (Ozyme), Taq (Promega) ou Tfl (Promega) qui ont la particularité de rajouter de temps en temps une adénosine aux extrémités 3' de l'ADN double brin. Des systèmes de ligation exploitant cette particularité ont été développés : il s'agit des systèmes

* (marque de commerce)

22a

pMOSBlue[®] (Amersham), pGEM[®]-T et pGEM[®]-T easy (Promega), mettant en œuvre un vecteur digéré par l'enzyme *EcoRV*, générant des bords francs et ajout d'une thymidine aux extrémités 3' des vecteurs. La liaison entre le produit PCR, purifié à partir d'un gel d'agarose, et le vecteur utilise ainsi le



principe dit du "TA cloning". La réaction de ligation est réalisée dans 10 µl, avec la ligase fournie dans le kit et selon les instructions du fabricant.

Lorsque l'utilisation des enzymes de fidélité Pfu ou PfuTurbo™ (Stratagene) - qui ne rajoutent pas d'adénosine aux extrémités 3' de l'ADN amplifié - était requise, la technique de "A-tailing" a été mise en oeuvre : elle consiste à prélever 3 µl du produit PCR obtenu, à y rajouter 1 µl de tampon 10x, 1 µl de MgSO₄ à 25 mM, 1 µl de dATP à 2mM, 1 µl de Tfl (à 5 unités / µl) et 3 µl d'eau désalée, déionisée et stérile. L'ensemble est incubé 30 min à 70°C puis dialysé 1 heure à température ambiante contre de l'eau désalée, déionisée et stérile. Le fragment ainsi préparé est prêt à un emploi direct pour la réaction de ligation dans un vecteur « TA cloning ».

➤ Préparation et transformation de bactéries compétentes

Les plasmides sont intégrés par choc thermique suivant le protocole décrit par Sambrook et al. (Molecular cloning : a laboratory manual, 2nd Ed., 1989).

Les bactéries recombinantes sont alors détectées par amplification PCR au moyen d'amorces présentes dans le vecteur et/ou l'insert, selon le protocole décrit ci-dessus.

6.2.1.d) Séquençage :

Les réactions de séquence ont été réalisées par la méthode de terminaison d'extension de chaîne (Sanger et al., PNAS, 74, 5463-5467, 1977) en présence de didéoxynucléotides, chacun marqué par un fluorochrome différent (PRISM Read Reaction DyeDeoxy Terminator Cycle Sequence Kit, Applied Biosystems). Chaque réaction nécessite 250 ng d'ADN matrice double brin et 5 pmoles d'amorce dans un volume final de 10 µl contenant 4 µl du mélange Dye deoxy Terminator dilué 4 fois. Les produits de réaction ont été analysés par électrophorèse en utilisant un séquenceur AB1377A.

6.2.1.e) Hybridation de type Southern blot

➤ Préparation des sondes radioactives

Les sondes utilisées dans les expériences d'hybridation de type Southern blot ont été marquées au phosphore 32 (³²P) par la technique de PCR : elle consiste à incorporer de l'α³²P-dCTP (3000 Ci/mme). Le marquage par PCR est réalisé de la façon suivante : le mélange réactionnel,

d'un volume final de 25 µl, contient 2 ng de plasmide contenant la sonde, 2 pmoles de chaque amorce spécifique, 50 µCi d' α^{32} P-dCTP, 3,6 µM de dCTP froid, 60 µM des autres dNTP froids et 1 µl de Tfl (à 5 unités / µl). Les réactions de PCR sont réalisées comme précédemment décrit et
5 comprennent 20 à 25 cycles.

La qualité des sondes obtenues est testée sur gel d'agarose transféré sur membrane de nylon et exposé 2 minutes sur un film radiographique.

La sonde radioactive est alors purifiée sur colonne à l'aide du
10 système MicroSpin7m G25 Columns (Amersham) avant d'être utilisée.

6.2.2) Manipulation de l'ARN :

6.2.2.a) Méthode d'extraction

Les ARN totaux ont été extraits à partir de différents tissus d'*Arabidopsis thaliana* à l'aide du tampon d'extraction REB et selon le
15 protocole de Kay et al. (Science, 236, 1299-1302, 1987). Les ARN polyA+ sont obtenus à l'aide d'un kit polyAtract (Promega) selon les indications du fournisseur.

6.2.2.b) Hybridation d'ARN : Northern blot

➤ Préparation des sondes radioactives

20 Les sondes utilisées dans les expériences d'hybridation de type Northern blot ont été marquées au phosphore 32 par la technique de PCR comme décrit précédemment.

➤ Gel, transfert sur membrane et hybridation

Jusqu'à 50 µg d'ARN totaux, dans un volume de 4,5 µl, ont
25 été ajoutés à 15,5 µl de tampon de charge, puis dénaturés pendant 5 min à 65 °C. Ils ont été déposés dans un gel d'agarose à 1% (tampon MOPS 1x, formaldéhyde 2,2 M) et séparés par électrophorèse dans du tampon MOPS 1x (5 min à 125V, puis 2h30 à 75V). Les ARN ont été colorés au bromure d'éthidium, afin de s'assurer d'une charge homogène entre les différentes
30 pistes. Après deux passages de 15 min du gel dans le tampon de lavage, les ARN ont été transférés pendant une nuit sur des membranes de nylon (membranes Hybond N+, Amersham) par capillarité (Sambrook et al., Molecular cloning : a laboratory manuel, 2nd Ed., 1989) en présence d'une

solution de SSC 20x. Les ARN ont été fixés sur les membranes par une incubation de 2 heures à 80°C. La préhybridation a été réalisée dans 25 ml ou 50 ml (suivant la taille des membranes) de tampon d'hybridation contenant 20 mg/l d'ADN de thymus de veau dénaturé. Après 30 min à 2 h de préhybridation à 65°C, la sonde ADN dénaturée est ajoutée dans le tampon pour une incubation de 16 h à 65°C. Les membranes sont ensuite lavées 2 fois 20 min à 65°C avec le tampon de lavage I. Puis un dernier lavage est réalisé à 65°C pendant 10 min maximum avec le tampon II. Les signaux d'hybridations ont été détectés soit par exposition de film BIOMAXTm (Kodak) soit par analyse d'image au Phosphorimager (Storm 640, Molecular Dynamics). Pour des hybridations successives, les membranes ont été déshybridées selon les recommandations données dans le manuel Amersham.

6.2.2.c) Méthode de RT-PCR

L'approche de PCR par transcription inverse a été utilisée dans ce travail, pour chercher, dans les jeunes siliques, des transcrits correspondant à la région d'ADN étiqueté. La méthode se divise en 2 étapes successives : l'obtention d'ADN complémentaires (ADNc) à partir d'ARN totaux, puis la réaction PCR proprement dite, à partir de ces ADNc.

➤ Obtention d'ADNc

La réaction de transcription inverse a été réalisée à l'aide du kit ProSTARTulirst-Strand RT-PCR Kit (Stratagene), à partir d'ARN totaux traités à la DNase 1 (de façon à limiter les contaminations des futurs ADNc par de l'ADN génomique. Le kit utilise la transcriptase inverse du virus de la leucémie murine de Moloney (MuMLV) et une amorce oligodT.

➤ PCR sur les ADNc

Les produits de la transcription inverse sont utilisés comme matrice pour la PCR. Les conditions sont les mêmes que celles décrites précédemment (cf. le paragraphe concernant la PCR) La seule différence réside dans le volume final de réaction (50 µl) et le nombre de cycles, plutôt élevé (30 à 45 cycles selon le cas).

EXEMPLE 2 : Mise en évidence d'un transcrit SUP25 :

1) Mise en évidence du messager correspondant à la protéine SUP25 :

1.1) Extraction des ARN d'*Arabidopsis thaliana* :

Les ARN totaux ont été extraits à partir de différents tissus d'*Arabidopsis thaliana* à l'aide du tampon d'extraction REB et selon le protocole de Kay et al. (Science, 1987, 239 : 1299-1302). Les ARN polyA⁺ sont obtenus en utilisant le kit polyAtract (Promega), selon les instructions du fournisseur.

1.2) Hybridation de type Northern :

Les techniques classiques d'hybridation de type Northern n'ont jamais permis de mettre en évidence la présence du messenger correspondant à la protéine SUP25 dans des extraits de siliques immatures d'*Arabidopsis thaliana* (Varoquaux, thèse, Université de Perpignan, France, 2000).

Le niveau d'expression du gène natif correspondant apparaît donc en dessous du seuil de détection de la technique.

Afin d'augmenter la sensibilité de l'expérience, l'expression du gène a été analysée par la technique de Northern sur gel de polyacrylamide avec des extraits d'ARN polyA⁺. Aucun signal d'hybridation n'a pu être observé sur des extraits de 4 µg témoignant de l'absence ou de la très faible expression du gène.

1.3) Réaction de polymérisation en chaîne par transcription inverse (RT-PCR) :

Afin de rechercher un signal dans les jeunes siliques d'*Arabidopsis thaliana*., la technique de la transcription inverse RT-PCR est utilisée.

L'expérience est réalisée en 2 étapes : une transcription inverse des ARN totaux de siliques est réalisée, suivie d'une PCR sur les ADNc polyA⁺ ainsi obtenus.

1.3.a) Obtention d'ADN complémentaires (ADNc) :

La réaction de transcription inverse a été réalisée à l'aide du kit ProSTARTulirst-Strand RT-PCR Kit (Stratagene), à partir de 10 µg d'ARN totaux traités à la DNase 1 (de façon à limiter les contaminations des futurs ADNc par de l'ADN génomique). Le kit utilise la transcriptase inverse du virus de la leucémie murine de Moloney (MuMLV) et une amorce oligodT.

1.3.b) PCR sur les ADNc :

Les 2 couples d'amorces choisis (05, Pend3) et (15, Pend3) sont présentés dans la figure 1A.

L'amplification sur l'ADN génomique (figure 1B, pistes ADNg 05 et 15) permet de vérifier la taille des produits de réaction et d'apprécier la qualité d'amplification. Les produits d'amplification réalisés à l'aide de ces 2 couples doivent permettre de mettre en évidence 2 fragments respectivement de 0,23 kb (couple 15, Pend3) et de 0,81 kb (couple 05, Pend3).

L'amplification d'un gène d'actine 2 ubiquitaire (pistes A), permet de contrôler le niveau d'amplification des ARN et d'évaluer la contamination d'ADN génomique par la présence d'un intron entre les 2 amorces utilisées.

2,5 μ l de produit de la transcription inverse (α) sont utilisés comme matrice pour la PCR. Les conditions sont les mêmes que celles décrites précédemment (cf. le paragraphe concernant la PCR). La seule différence réside dans le volume final de réaction (50 μ l) et le nombre de cycles, plutôt élevé (30 à 45 cycles selon le cas).

Les produits obtenus de la réaction PCR sont ensuite soumis à une hybridation selon Southern après électrophorèse en gel d'agarose, avec une sonde PCR radioactive correspondant à la région du peptide (figure 1A). Les résultats de cette hybridation sont présentés à la figure 1C.

Du transcrit d'actine montre que le niveau d'ARN est très inférieur dans l'extrait de siliques par rapport à l'extrait de plantules (figure 1B).

La flèche 3 (figure 1C) révèle la présence du produit d'amplification à la taille prédite de 0,23kb attestant de l'existence du transcrit dans des extraits d'ARN polyA+ de siliques immatures ; la flèche 4 montre un signal négligeable à la taille attendue de 0,81kb. La contamination de l'extrait par l'ADN génomique est donc très faible.

Le transcrit de 0,23kb est présent dans les extraits de siliques immatures (0 à 5 jours après fécondation), ainsi que dans les plantules à un niveau plus faible (figure 1C, flèche 2), si on compare à l'actine.

On note la présence d'une bande artefactuelle dans la figure 4B (flèche 1) ; ce produit d'amplification a été cloné puis séquencé et ne

contient aucune homologie avec le gène de l'invention, cette bande est d'ailleurs absente du profil d'hybridation (figure 1C).

Le séquençage du produit de 0,23kb (transcrit SUP25) a révélé une séquence de 227 paires de bases présentée à la figure 1D.

5 2.) Mise en évidence d'ATG fonctionnels dans le transcrit :

L'analyse de la séquence amplifiée par RT-PCR du transcrit SUP25 montre l'existence de codons d'initiation (ATG) donc de trois phases ouvertes de lecture (ORF).

10 La séquence en acides aminés déduite de la plus grande phase ouverte de lecture correspond à un peptide de 25 acides aminés (SUP 25).

Pour démontrer l'aptitude de la machinerie traductionnelle à initier la synthèse protéique sur les ATG, une expérience d'expression transitoire a été menée. La "Green Fluorescent Protein" (GFP) (plasmide PRTL2-EGFP) dépourvue de son codon d'initiation est clonée en fusion traductionnelle avec les différents ATG (figure 2A, 0 atg : pas d'ATG, 1 atg : 1 ATG, et ainsi de suite). Chaque construction ainsi clonée est co-transfectée dans l'épiderme d'oignon avec le plasmide pRTL2-GUS (Restrepo A, Freed DD., Carrington JC., Nuclear transport of plant potyviral proteins. Plant Cell. 15 1990 Oct. ; 2 (10) : 987-98) en rapport molaire constant, permettant ainsi de disposer d'un contrôle interne. Sur chaque échantillon, la sous-population de cellules exprimant la GFP est dénombrée puis rapportée à la sous-population exprimant la protéine GUS, chaque rapport de spots ainsi évalué reflète le niveau d'expression du gène rapporteur (figure 2B). Une première 20 construction sans ATG permet de vérifier, dans un contrôle négatif, que la GFP sans ATG n'est pas traduite, aucune cellule exprimant la GFP n'a été comptée. Pour les trois autres fusions traductionnelles, le niveau d'expression de la GFP est sensiblement le même, attestant ainsi du caractère fonctionnel des 3 ATG. La présence des phases de lecture de petite taille en amont de la 25 séquence codante n'affecte pas le niveau d'expression de la GFP. Ceci indique que les codons stop des phases de lecture de petite taille n'imposent pas l'arrêt du complexe ribosomique qui est alors capable de ré-initier la traduction en aval sur le transcrit. En d'autres termes, le résultat de cette expérience démontre sans ambiguïté que la traduction peut être initiée ou ré- 30 initiée sur le troisième ATG du locus. Ce résultat permet ainsi d'étayer

l'hypothèse concernant l'existence du peptide.

EXEMPLE 3 : Immunoempreintes :

3.1) Préparation d'anticorps dirigés contre le peptide :

Les peptides ont été synthétisés par la société Eurogentec.
5 Les anticorps ont été produits sur le peptide synthétique tronqué (sup 16) par la société Eurogentec.

3.2) Extraction de protéines de siliques :

Les protéines ont été extraites par broyage des siliques dans le tampon d'extraction pour immunoempreintes, à l'aide de mini-pilons
10 (Kontes) reliés à un broyeur RZE2021 (Heidolph). Après centrifugation (20 minutes à 10000 g), la concentration protéique du surnageant a été déterminée par la méthode de Bradford à l'aide du réactif vendu par la société Bio-Rad.

3.3) Analyses électrophorétiques :

15 Les électrophorèses en gel de polyacrylamide (SDS-PAGE) ont été réalisées selon la méthode décrite par Laemmli (1970). Le gel de concentration est à 3% d'un mélange acrylamide / bis acrylamide (30 % / 0,8 %) et le gel de séparation est à 18% du mélange Prosieve. 15 µg de protéines totales auxquelles on ajoute le tampon de charge à la concentration finale de
20 1x, sont portés à 100°C pendant 3 minutes puis déposés dans chaque piste.

Les protéines sont séparées par un courant constant de 15 à 20 mA par gel, pendant environ 1 heure. Les gels qui ne sont pas destinés aux immunoempreintes sont colorés au Bleu de Coomassie pendant 30 minutes puis décolorés jusqu'à apparition des bandes correspondant aux
25 protéines.

3.4) Immunoempreintes :

Pour les immunoempreintes, les protéines ont été transférées après migration sur gel, sur des membranes de nitrocellulose (Pure Nitrocellulose membrane, 0,1 µm, Protan) dans une cuve d'électrotransfert
30 semi-sec Temblot Ae-6675 (Touzart et Matignon) pendant 40 minutes sous 2,5 mA.cm².

Les réactions de marquage ont été réalisées à 37°C sous agitation modérée.

Les membranes sont incubées pendant 1 heure dans 100 ml de TBS-T contenant 5 % de gélatine, puis lavées avec du TBS-T (trois fois 15 minutes). Les membranes sont ensuite incubées séparément en présence de 20 ml de TBS-T additionné de lait écrémé à 1,2 % et de 2 µl du 1^{er} anticorps (sérum reconnaissant Sup 16) pendant 2 heures. Puis les membranes sont lavées dans 200 ml de TBS-T (trois fois 15 minutes), puis incubées pendant 1 heure dans 20 ml de TBS-T contenant 1,2 % de lait écrémé et 1 µl du second anticorps (anticorps de chèvre anti-IgG de lapin couplé à une peroxydase de radis, Bio-Rad). Les membranes sont ensuite lavées dans 200 ml de TBS-T (trois fois 15 minutes).

La révélation se fait au moyen du kit ECL « Western Blotting Detection Reagents » (Amersham), suivant les conditions recommandées par le fournisseur.

EXEMPLE 4 : Activité anti-microbienne du peptide :

Des expériences de toxicité du peptide de 25 acides aminés (SUP 25) purifié à l'exemple précédent sur différentes bactéries ont été réalisées.

Les différentes bactéries sont cultivées dans 5ml de milieu LB ou de milieu approprié à la souche, puis sédimentées par centrifugation à 3000g, et enfin reprises dans un volume de LB identique au volume de bactéries. 50 µl de bactéries sont inoculés dans 9 ml de TOPagar (LB + 7g/l de bactoagar) liquide à 48°C et rapidement coulé sur une boîte LB agar carrée de 10 cm de côté. Les gouttes de 10 µl de différentes concentrations de peptides sont déposées sur le TOPagar solidifié. La boîte est mise en culture pendant 16 heures.

La cécropine A à 20 µM, peptide d'insecte reconnu comme ayant une activité antibactérienne, sert de témoin positif.

Résultats :

Bactéries	Pathogène de plante	Activité bactériostatique	Molarité active	Cécropine A 20 µM
<i>Escherichia coli</i> Souche DH5α	Non	Négatif	-	Positif
<i>Xanthomonas campestris</i> pv campestris souche 8004	Oui	Positif	200µM	Positif
<i>Pseudomonas syringae</i> pv tomato souche DC3000	Oui	Positif	20µM	Positif
<i>Erwinia amylovora</i> Souche 1430	Oui	Positif	25µM	Non testé

Le peptide de 25 acides aminés ne présente pas d'activité sur *Escherichia coli*, mais présente une activité sur *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae* et *Erwinia amylovora*, ce qui permet d'imaginer son utilisation comme agent anti-microbien particulièrement dirigé contre les agents pathogènes de plantes très particulièrement au moins contre *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae* et/ou *Erwinia amylovora*.

EXEMPLE 5 : Effet cytotoxique du peptide SUP 25 sur des protoplastes d'*Arabidopsis thaliana* :

Des essais de toxicité réalisés sur des cellules végétales, isolées, sans paroi, révèlent une perte de viabilité induite par l'addition de peptides synthétiques dans le milieu de culture. Certaines mutations de la séquence en acides aminés du peptide abolissent la toxicité.

5.1) Mesure de la viabilité par la coloration à la Fluorescéine DiAcétate (FDA) :

Les tests de viabilité par la coloration au FDA repose sur la détection de l'activité estérase spécifiquement présente dans les cellules vivantes. Le FDA pénètre dans la cellule, les résidus acétates sont coupés par l'activité estérase et la fluorescéine est libérée, conférant aux cellules vivantes

une coloration verte sous excitation bleue. Quant aux cellules mortes, lorsqu'elles sont chlorophylliennes, elles fluorescent en rouge grâce aux pigments qu'elles contiennent.

Des protoplastes de feuilles d'*Arabidopsis thaliana* obtenus et
5 mis en culture selon la méthode décrite par Danon et Gallois (FEBS letters, 1998, 437 : 131-136).

Le peptide synthétique de 25 acides aminés (SUP25) est ajouté aux protoplastes de feuilles d'*Arabidopsis thaliana* en culture.

Une dose de 10 μ M de SUP25 suffit à abaisser d'un facteur
10 2,5 la viabilité d'une population de cellules. (Figure 3).

En revanche le peptide tronqué de 16 acides aminés (pep 16) à 10 μ M n'affecte le taux de protoplastes vivants que d'un facteur 1,3.

En raison de la forte hydrophobicité du peptide de 16 acides aminés, il a été utilisé dans du DiMethylFormamide (DMF) à 50%. Le témoin
15 DMF seul affecte la viabilité d'un facteur 1,2. Ce qui permet de dire que l'effet du peptide tronqué sur la viabilité des protoplastes est très faible, voire nul, en comparaison de l'effet du peptide complet.

On peut donc conclure que la toxicité du peptide est spécifiquement liée aux 10 acides aminés de la région C-terminale du peptide
20 SUP25.

D'autre part la dose impliquée dans l'effet correspond aux ordres de grandeur des doses létales (1 à 100 μ M) de différents peptides antimicrobiens connus (Bulet P., Med. & Sc., 1999, 1, 23-9)

5.2) Détermination de la concentration optimale pour l'activité
25 cytotoxique du peptide :

Différentes concentrations du peptide SUP25 (1 μ M, 5 μ M, 10 μ M et 100 μ M) ont été appliquées sur les protoplastes de feuilles d'*Arabidopsis thaliana* (Figure 4). A première vue, l'activité du peptide ne dépend pas de la dose, bien qu'un effet optimum soit observé à 5 μ M. En
30 raison de la procédure expérimentale et pour ne pas ajouter de trop grands volumes aux protoplastes, l'expérience a été menée en utilisant quatre solutions stocks aux concentrations de 1 mM, 5 mM, 10 mM et 100 mM respectivement.

Afin de contrôler l'homogénéité des stocks, une fraction aliquote, de même volume pour chaque solution de peptide, a été déposée sur gel de polyacrylamide en condition dénaturante (Figure 4, encart). A forte concentration, le peptide est impliqué dans la formation de complexes multimériques supérieurs à 30 kDa. La stabilité de ces complexes suggère l'intervention des cystéines dans la formation de ponts disulfures, seuls capables de résister au traitement SDS.

Cette expérience montre que la forme monomérique du peptide est la plus efficace et qu'une concentration de 5 μ M du peptide conduit à une chute de viabilité très significative.

5.3) Mesure de la fragmentation de l'ADN suite aux traitements avec différents peptides modifiés :

Cette expérience a pour but de déterminer si l'effet du peptide sur la viabilité des protoplastes d'*Arabidopsis thaliana* correspond à de la nécrose cellulaire ou bien à la mise en place de la voie de la mort cellulaire programmée ou apoptose.

L'apoptose se distingue de la nécrose par une mise en scène rigoureuse de la mort, ponctuée par un ensemble d'événements génétiquement contrôlés (Vaux et Korsmeyer (Cell, 1999, 96 : 245-254) ; Pennell et Lamb (Plant Cell, 1997, 9, : 1157-1168) ; Greenberg (P.N.A.S., 1996, 93 :12094-12097)). L'une de ces étapes est la fragmentation de l'ADN nucléaire qui peut être mise en évidence par la technique TUNEL ("Terminal deoxynucleotidyl transferase-mediated dUTP Nick End Labeling") selon le protocole de Negoescu (Negoescu et al., Plant J., 1997, 13 : 803-814). La réaction de TUNEL permet de marquer les extrémités 3'OH libres présentes en grande quantité dans les noyaux dont l'ADN est fragmenté au cours du processus d'apoptose. La figure 5 présente les résultats de marquage TUNEL sur des protoplastes soumis à différents variants du peptide.

L'application externe du peptide de 25 acides aminés sur protoplastes d'*Arabidopsis thaliana* à 5 μ M pendant 2 heures permet d'observer une augmentation de la population de protoplastes TUNEL positifs (figure 5B). 4 fois plus de noyaux présentent des caractéristiques de fragmentation d'ADN par rapport au témoin. Le peptide tronqué de 16 acides aminés (pep16) n'induit pas d'effet.

5.4) Etude de l'activité biologique de peptides modifiés au niveau des cystéines :

5.4.1) Construction et synthèse des peptides modifiés :

5 Afin d'étudier l'impact des cystéines sur l'activité biologique observée, les 3 peptides modifiés pepDs, Pep1S et Pep2S ont été synthétisés (Figure 5A) par la société Eurogenetec.

5.4.2) Activité cytotoxique des peptides modifiés :

La fragmentation de l'ADN nucléaire induite par ces peptides modifiés est mise en évidence par la technique TUNEL (figure 5B).

10 pepDs présente une activité résiduelle.

pep1S ne présente plus d'activité cytotoxique.

Pep2S présente une activité cytotoxique.

15 Ce résultat suggère que les cystéines sont impliquées dans la formation d'un pont disulfure intramoléculaire permettant ainsi au peptide de rester libre et actif.

EXEMPLE 6 : Obtention de plantes transgéniques exprimant le peptide SUP25.

20 La séquence du gène *SUP25* peut être introduite dans une cassette d'expression utilisant divers promoteurs pour contrôler au niveau transcriptionnel, la production du peptide dans différents types de cellules végétales.

6.1) Synthèse de la séquence du gène :

25 En raison de la petite taille de l'ORF, la séquence codant le peptide SUP25 peut être synthétisée. Une paire d'oligonucléotides sens et antisens correspondant à la séquence du peptide est synthétisée à façon. La séquence est conçue de façon à ce que l'hybridation de la paire d'oligonucléotides laisse des extrémités cohésives correspondant à des sites de restrictions *Bam*HI en 5' et *Pst*II en 3' du fragment d'ADN. Les sites *Bam*HI/*Pst*II permettent de cloner le gène dans la cassette d'expression du plasmide pDH51 (Pietrzak M. et al., Expression in plants of two bacterial antibiotic resistance genes after protoplast transformation with a new plant expression vector. Nucleic Acids Res. 1986,14(14) : 5857-68) dans lequel le promoteur CaMV 35S et la région 3' du 35S dirige l'expression du gène

30

introduit.

Seq#1 : (SEQ ID NO 28)

gatcATGTGGTGGCTAGTTGGACTTACACCAGTTGAGTTGATCCATCTTTG
5 CGCATTTCGAGAGCGTCTCTGTCATCTCTAAtgca

Seq#2 : (SEQ ID NO 29)

TTAGAGATGACAGAGACGCTCTCGAAATGCGCAAAGATGGATCAACTCA
ACTGGTGTAAGTCCAAGTCCACTAGCCACCACAT

10 6.2) Ligation de la séquence du peptide dans une cassette d'expression

Les oligonucléotides sont hybridés à 1pmol/μl dans 10μl de tampon tfl 1X (Sambrook J. et al., Molecular Cloning : A Laboratory Manual. Ed. CSHLP, 2001) et sont incubés 1min à 95°C puis 10min à 45°C. Ensuite 20ng d'oligonucléotides (2μl) sont ligués dans 100 ng de vecteur pDH51 en
15 utilisant les sites BamHI/PstI (Sambrook et al., 2001). Le produit de ligation est transformé dans *E.coli* XL1-B (Stratagène) en utilisant une méthode chimique (Sambrook et al., 2001) Les transformants sont sélectionnés sur l'antibiotique ampicilline. La présence de l'insert peut être directement identifiée dans les transformants par l'absence de couleur bleue sur milieu
20 contenant le substrat X-GAL (Sambrook et al., 2001). Cinq transformants indépendants sont utilisés pour extraire le plasmide avec le kit commercial High pure plasmid Isolation kit (Roche/Boehringer). La présence de l'insert est vérifiée par restriction avec l'enzyme *EcoRI* (Sambrook et al, 2001). La fidélité de séquence des constructions est vérifiée pour la présence de la séquence
25 SUP25 par séquençage (Sambrook et al., 2001) en utilisant une amorce appariant le promoteur 35S [op35S52 : CTTCGTCAACATGGTGGAGC] : (SEQ ID NO : 30) ou le terminateur 35[S [oter35 : CTAGCTAGAGGATCGATCC] : (SEQ ID NO : 31).

30 6.3) Transfert du transgène dans un vecteur binaire de transformation.

Le transgène est ensuite sous-cloné dans le site *EcoRI* de la région T-DNA du plasmide binaire pZP111 (Hajdukiewicz P, et al., The small, versatile pPZP family of *Agrobacterium* binary vectors for plant transformation. Plant Mol Biol., 1994, (6) : 989-94.), contenant un gène de sélection *NPTII*

conférant aux plantes une résistance à l'antibiotique kanamycine. Le plasmide contient également un gène de sélection *aadA* pour la sélection chloramphénicol dans *E.coli* ou *Agrobacterium*. Le produit de ligation est transformé dans *E.coli* XL1-B (Stratagène) en utilisant une méthode chimique
5 (Sambrook et al., 2001). Les transformants sont sélectionnés sur milieu LB (Sambrook et al., 2001) + 25mg/l chloramphénicol. La présence de l'insert dans le plasmide pZP111 peut être directement identifiée dans les transformants bactériens par l'absence de couleur bleue sur milieu contenant le substrat X-GAL (Sambrook et al., 2001).

10 6.4) Transfert du vecteur binaire dans *Agrobacterium*.

Une souche positive est sélectionnée, le plasmide est purifié en utilisant le kit commercial High pure plasmid Isolation kit (Roche/Boehringer). La souche désarmée d'*Agrobacterium tumefaciens* C58C1 (Koncz C. et Schell, J., The promoter of TI-DNA gene 5 controls the
15 tissue-specific expression of chimeric genes carried by a novel type of *Agrobacterium* binary vector, Mol. Gen. Genet., 204 : 383-396) est rendue compétente puis transformée par électroporation (Shen WJ. et Forde BG., Efficient transformation of *Agrobacterium* spp. by high voltage electroporation. Nucleic Acids Res. 1989, 17(20) : 8385) avec le plasmide binaire contenant la
20 construction d'ADN-T. Après 3 jours de culture à 28°C, les colonies résistantes au chloramphénicol 25 mg/l, Rifampicine 50 mg/l, Gentamycine 25 mg/l, sont confirmées positives par PCR utilisant des amorces détectant le promoteur 35S [op35S52 : CTTCGTCAACATGGTGGAGC] (SEQ ID NO : 30) et le terminateur 35|S [oter35 : CTAGCTAGAGGATCGATCC] (SEQ ID NO :
25 31) (Sambrook et al 2001).

6.5) Obtention de plantes transgéniques.

Les plantes transgéniques sont ensuite obtenues par agroinfection en utilisant la souche C58C1 (Koncz et Schell, 1986) et la méthode de transformation de boutons floraux d'*Arabidopsis thaliana* selon le
30 protocole décrit par Bechtold, N. et al., (In planta *Agrobacterium* mediated gene transfer by infiltration of adult *Arabidopsis thaliana* plants, C.R. Acad. Sci. (1993) Paris, 316, 1194). Brièvement, une préculture de 10 ml de YEP (extrait de Levure 10 g/l ; peptone 10 g/l ; glucose 20 g/l ; kanamycine 50 mg/l; rifampicine 50 mg/l ; gentamycine 25 mg/l) est inoculée avec une colonie
35 d'*Agrobacterium*. Après 16h sous agitation à 28°C, 500 ml de YEP sont

ensemencés. Lorsque la culture atteint une $DO_{600} = 0,8$, les bactéries sont récoltées après centrifugation à 3000g et mises en solution dans le milieu d'infiltration (MS medium 2,16 g/l (Duchefa) ; MES (Sigma) 0,5 g/l ; saccharose 5% ; pH 5,7 ajusté avec KOH ; Silwet L-77 (Osi Specialises Ins.) 0,02%.) à une DO finale de 0,5.

Les plantes d'*Arabidopsis thaliana*, au stade où les hampes florales commencent à initier les premières fleurs, sont trempées dans la solution d'infiltration pendant 10 minutes sous vide (-1 atm) dans un dessiccateur. Les plantes sont ensuite égouttées puis cultivées jusqu'à la récolte des graines avec les 2 premiers jours de culture sous film plastique. Les graines sont récoltées 4 semaines après l'infiltration. Après un minimum de 15 jours de stockage, les graines sont stérilisées par une solution d'éthanol à 70%, 10 min puis sélectionnées *in vitro* sur milieu de germination Gamborg B5 (Duchefa) 1,85 g/l et Phytigel (Sigma) 3 g/l contenant 400 mg/l de l'antibiotique kanamycine dont la résistance est portée par l'ADN-T. Les plantes résistantes (environ 1 % des graines) sont transplantées en terre, conservées sous plastique pendant 4 jours et cultivées jusqu'à la récolte des graines.

L'analyse du nombre de loci d'insertion du transgène se fait par test statistique de la ségrégation mendélienne du gène de sélection, ici pour la kanamycine, *in vitro* sur milieu de germination Gamborg B5 (Duchefa) 1,85 g/l et Phytigel (Sigma) 3 g/l contenant 400 mg/l de l'antibiotique kanamycine. Dix plantes avec un seul locus d'insertion sont sélectionnées (ségrégation 3:1) La présence du transgène est confirmée dans environ 8 plantes sur 10 par analyse PCR d'ADN purifié des plantes par la méthode (Dellaporta et al., Plant. Mol Biol. Rept., 1983, 1, 19-21) et utilisant des amorces détectant le promoteur 35S [op35S52 : CTTTCGTCAACATGGTGGAGC] (SEQ ID NO : 30) et le terminateur 35S [oter35 : CTAGCTAGAGGATCGATCC] (SEQ ID NO : 31). L'expression du peptide est confirmée par analyse en western (Sambrook et al., 2001) d'extrait protéique des plantes transgéniques en utilisant un anticorps contre la séquence totale du peptide SUP25 sauvage et le kit de détection ECL (Amersham).

LISTE DE SÉQUENCES

<110> Centre National de la Recherche Scientifique

<120> Peptide de plante à activité anti-microbienne

<130> 000468-0233

<140> 2,491,607

<141> 2003-07-04

<150> PCT/FR2003/002077

<151> 2003-07-04

<150> FR 02 08 447

<151> 2002-07-05

<160> 31

<170> PatentIn version 3.1

<210> 1

<211> 16

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine ou serine

<400> 1

Met	Trp	Trp	Leu	Val	Gly	Leu	Thr	Pro	Val	Glu	Leu	Ile	His	Leu	Xaa
1				5					10					15	

<210> 2

<211> 17

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine or serine

<400> 2

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
1 5 10 15

Ala

<210> 3

<211> 18

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<400> 3

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Cys
1 5 10 15

Ala Phe

<210> 4

<211> 19

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> X= cysteine or serine

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa= cysteine or serine

<400> 4

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
 1 5 10 15

Ala Phe Arg

<210> 5

<211> 20

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine or serine

<400> 5

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
 1 5 10 15

Ala Phe Arg Glu
 20

<210> 6

<211> 21

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine or serine

<400> 6

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
1 5 10 15

Ala Phe Arg Glu Arg
20

<210> 7

<211> 22

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine or serine

<400> 7

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
1 5 10 15

Ala Phe Arg Glu Arg Leu
20

<210> 8

<211> 23

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine or serine

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (23)..(23)

<223> Xaa = cysteine or serine

<400> 8

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
1 5 10 15

Ala Phe Arg Glu Arg Leu Xaa
20

<210> 9

<211> 24

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa = cysteine or serine

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (23)..(23)

<223> Xaa = cysteine or serine

<400> 9

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
1 5 10 15

Ala Phe Arg Glu Arg Leu Xaa His
20

<210> 10

<211> 25

<212> PRT

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (16)..(16)

<223> Xaa= cysteine or serine

<220>

<221> MISC_FEATURE

<222> (23)..(23)

<223> Xaa= cysteine or serine

<400> 10

Met Trp Trp Leu Val Gly Leu Thr Pro Val Glu Leu Ile His Leu Xaa
1 5 10 15

Ala Phe Arg Glu Arg Leu Xaa His Leu
20 25

<210> 11

<211> 48

<212> DNA

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> misc_feature

<222> (46)..(48)

<223> nnn = codon cystéine ou codon srine

<400> 11

atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnn

48

<210> 12

<211> 51

<212> DNA

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> misc_feature

<222> (46)..(48)

<223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 12

atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc a

51

<210> 13

<211> 54

<212> DNA

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> misc_feature

<222> (46)..(48)

<223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 13

atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc attt

54

<210> 14

<211> 57

<212> DNA

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> misc_feature

<222> (46)..(48)

<223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 14

atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcga

57

<210> 15

<211> 60
 <212> DNA
 <213> Arabidopsis thaliana
 <220>
 <221> misc_feature
 <222> (46)..(48)
 <223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 15
 atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcgagag 60

<210> 16
 <211> 63
 <212> DNA
 <213> Arabidopsis thaliana

<220>
 <221> misc_feature
 <222> (46)..(48)
 <223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 16
 atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcgagag 60
 cgt 63

<210> 17
 <211> 66
 <212> DNA
 <213> Arabidopsis thaliana

<220>
 <221> misc_feature
 <222> (46)..(48)
 <223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 17
 atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcgagag 60
 cgtctc 66

<210> 18
 <211> 69
 <212> DNA
 <213> Arabidopsis thaliana

<220>
 <221> misc_feature
 <222> (46)..(48)
 <223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<220>
 <221> misc_feature
 <222> (67)..(69)
 <223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 18
 atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcgagag 60
 cgtctcnnn 69

<210> 19
 <211> 72
 <212> DNA
 <213> Arabidopsis thaliana

<220>
 <221> misc_feature
 <222> (46)..(48)
 <223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<220>

<221> misc_feature

<222> (67)..(69)

<223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 19

atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcgagag 60

cgtctcnnnc at 72

<210> 20

<211> 75

<212> DNA

<213> Arabidopsis thaliana

<220>

<221> misc_feature

<222> (46)..(48)

<223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<220>

<221> misc_feature

<222> (67)..(69)

<223> nnn = codon cystéine ou codon sérine

<400> 20

atgtggtggc tagttggact tacaccagtt gagttgatcc atcttnnngc atttcgagag 60

cgtctcnnnc atctc 75

<210> 21

<211> 20

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 21
caagtaagct tgctcagttg 20

<210> 22

<211> 29

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 22
gctctagata cttagagatg acagagacg 29

<210> 23

<211> 30

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 23
actgagctcg ttgtattttt aatcgaatgg 30

<210> 24

<211> 31

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 24
acggaagctt tacttagaga tgacagagac g 31

<210> 25

<211> 21

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 25

cgtcttcgag aaaagtgtta g

21

<210> 26

<211> 21

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 26

atcagtcaga cagtcaaatt c

21

<210> 27

<211> 21

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 27

tacttagaga tgacagagac g

21

<210> 28

<211> 86

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> Oligonucléotide complémentaire de SEQ ID NO : 29

<400> 28

gatcatgtgg tggctagttg gacttacacc agttgagttg atccatcttt gcgcatttcg

60

agagcgtctc tgtcatctct aatgca

86

<210> 29

<211> 78

<212> DNA

<213> Artificial sequence

<220>

<223> oligonucléotide complémentaire de SEQ ID NO : 28

<400> 29

ttagagatga cagagacgct ctcgaaatgc gcaaagatgg atcaactcaa ctggtgtaag 60

tccaactagc caccacat 78

<210> 30

<211> 20

<212> DNA

<213> Artificial Sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 30

cttcgtcaac atggtggagc 20

<210> 31

<211> 19

<212> DNA

<213> Artificial Sequence

<220>

<223> Amorce

<400> 31

ctagctagag gatcgatcc 19

REVENDICATIONS

1. Peptide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une séquence choisie parmi :

- les séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 7, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 est une cystéine ou une sérine, et
- les séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 et l'acide aminé en position 23 sont, indépendamment ou simultanément, une cystéine ou une sérine.

10 2. Le peptide selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste en l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10.

3. Peptide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce que sa séquence présente au moins 60% d'identité avec l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 1 à SEQ ID NO : 10, et en ce qu'il conserve une activité anti-microbienne.

4. Le peptide selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dont au moins un groupement fonctionnel libre, amine et/ou carboxylique, est protégé par un groupement protecteur.

20 5. Le peptide selon la revendication 4, caractérisé en ce que le groupement carboxylique C-terminal et/ou les autres groupements carboxyliques présents dans la molécule sont sous la forme d'un ester ou d'un amide.

6. Le peptide selon la revendication 4, caractérisé en ce que le groupement amine N-terminal, et/ou les autres groupements amines libres présents dans la molécule, sont sous forme acylée.

7. Composition comprenant au moins un peptide tel que défini à l'une quelconque des revendications 1 à 6 et au moins un véhicule approprié.

8. Utilisation d'au moins un peptide tel que défini à l'une quelconque des revendications 1 à 6, comme agent anti-microbien, dirigé contre les bactéries phytopathogènes.

9. L'utilisation selon la revendication 8, caractérisée en ce que

l'agent anti-microbien est dirigé contre *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae* ou *Erwinia amylovora*.

10. Utilisation d'au moins un peptide comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux cystéines, comme agent cytotoxique.

11. Utilisation d'au moins un peptide consistant en au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux cystéines, comme agent cytotoxique.

10 12. Utilisation d'au moins un peptide comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux sérines, comme agent cytotoxique.

13. Utilisation d'au moins un peptide consistant en au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles les acides aminés en positions 16 et 23 sont deux sérines, comme agent cytotoxique.

14. L'utilisation selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisée en ce que le peptide est utilisé comme agent cytotoxique pour les cellules végétales.

15. L'utilisation selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, caractérisée en ce que le peptide est utilisé comme agent désherbant.

20 16. Utilisation d'au moins un peptide comprenant au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 est une cystéine et l'acide aminé en position 23 est une sérine, comme agent anti-microbien non cytotoxique.

17. Utilisation d'au moins un peptide consistant en au moins l'une quelconque des séquences SEQ ID NO : 8 à SEQ ID NO : 10, dans lesquelles l'acide aminé en position 16 est une cystéine et l'acide aminé en position 23 est une sérine, comme agent anti-microbien non cytotoxique.

30 18. Utilisation selon la revendication 16 ou 17, caractérisée en ce que le peptide est utilisé comme agent anti-microbien non cytotoxique dirigé contre les bactéries phytopathogènes.

19. Polynucléotide isolé, naturel ou synthétique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une séquence codante pour l'un au moins des peptides selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, à l'exception de l'acide desoxyribonucléique génomique d'*Arabidopsis thaliana*.

20. Le polynucléotide selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une des séquence choisie parmi :

- les séquences SEQ ID NO : 11 à SEQ ID NO : 17, dans lesquelles le triplet de nucléotides 46 à 48 est un codon cystéine ou un codon sérine, et

10 - les séquences SEQ ID NO : 18 à SEQ ID NO : 20, dans lesquelles le triplet de nucléotides 46 à 48 et le triplet de nucléotides 67 à 69 sont, indépendamment ou simultanément, un codon cystéine ou un codon sérine.

21. Le polynucléotide selon la revendication 19 ou 20, caractérisé en ce qu'il consiste en une séquence choisie parmi :

- les séquences SEQ ID NO : 11 à SEQ ID NO : 17, dans lesquelles le triplet de nucléotides 46 à 48 est un codon cystéine ou un codon sérine, et

- les séquences SEQ ID NO : 18 à SEQ ID NO : 20, dans lesquelles le triplet de nucléotides 46 à 48 et le triplet de nucléotides 67 à 69 sont un codon cystéine ou un codon sérine.

20 22. Composition comprenant au moins un polynucléotide tel que défini à l'une quelconque des revendications 19 à 21 et au moins un véhicule approprié.

23. Vecteur comprenant l'un quelconque des polynucléotides tels que définis à l'une quelconque des revendications 19 à 21.

24. Le vecteur selon la revendication 23, caractérisé en ce qu'il s'agit d'un vecteur plasmidique.

25. Utilisation d'un polynucléotide tel que défini à l'une quelconque des revendications 19 à 21 ou d'un vecteur tel que défini à la revendication 23 ou 24 pour la préparation du peptide tel que défini à l'une quelconque des revendications 1 à 6.

30 26. Système biologique modifié, caractérisé en ce qu'il est constitué

par une bactérie, un endophyte unicellulaire, une levure ou une cellule eucaryote et en ce qu'il contient au moins l'un des vecteurs tels que définis à la revendication 23 ou 24, et/ou au moins l'un des polynucléotides tels que définis à l'une quelconque des revendications 19 à 21.

27. Composition comprenant au moins un système biologique tel que défini à la revendication 26 et au moins un véhicule approprié.

28. Utilisation d'au moins un système biologique tel que défini à la revendication 26 ou d'une composition telle que définie à la revendication 27, comme agent anti-microbien ou comme agent cytotoxique.

10 29. L'utilisation selon la revendication 28, dans laquelle l'agent anti-microbien est dirigé contre les bactéries phytopathogènes.

30. Utilisation d'au moins un polynucléotide tel que défini à l'une quelconque des revendications 19 à 21, ou d'au moins un vecteur tel que défini à la revendication 23 ou 24, dans la préparation d'un système biologique modifié constitué par une bactérie, un endophyte unicellulaire, une levure ou une cellule eucaryote comprenant ledit polynucléotide ou ledit vecteur.

20 31. Organisme transgénique unicellulaire, caractérisé en ce qu'il contient au moins un polynucléotide tel que défini à l'une quelconque des revendications 19 à 21 ou, au moins un vecteur tel que défini à la revendication 23 ou 24.

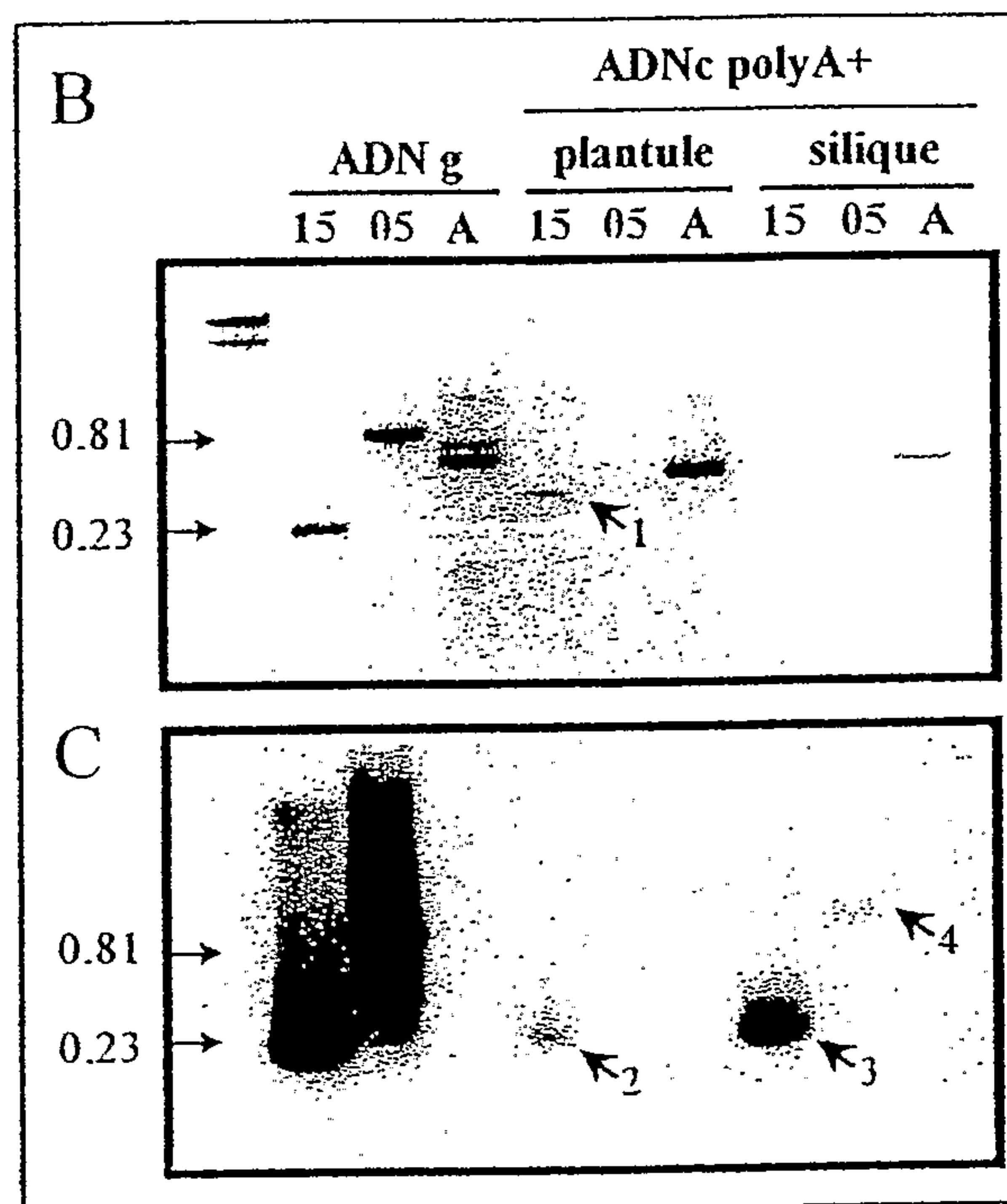
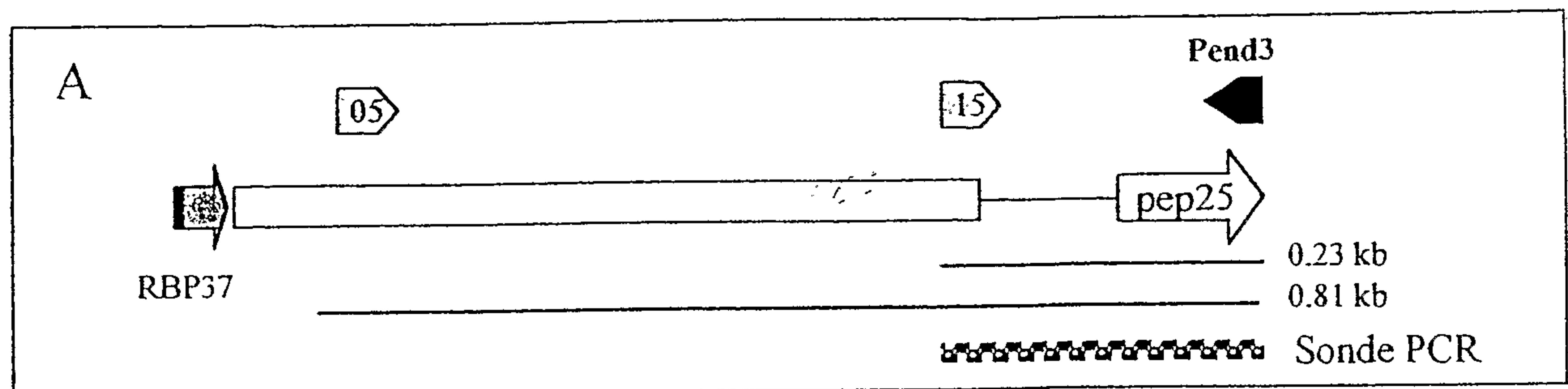
32. L'organisme transgénique selon la revendication 31, caractérisé en ce qu'il s'agit d'une cellule végétale.

33. Anticorps, polyclonal ou monoclonal, dirigé spécifiquement contre au moins l'un des peptides tels que définis à l'une quelconque des revendications 1 à 6.

30 34. Méthode de traitement d'un végétal, dans lequel on met en contact par tout moyen approprié ledit végétal et au moins un agent anti-microbien ou cytotoxique choisi dans le groupe consistant en : les peptides tels que définis à l'une quelconque des revendications 1 à 6, les vecteurs tels que définis à la revendication 23 ou 24, les polynucléotides tels que définis à l'une quelconque des

revendications 19 à 21, le système biologique modifié tel que défini à la revendication 26, l'organisme transgénique tel que défini à la revendication 31 ou 32 et les compositions telles que définies à l'une quelconque des revendications 7, 22 ou 27.

1/5

**D**

```

001 ATCAGTCAGA CAGTCAAATT CTTGAATTGG TCAATGTAA
041 ATTTTAAATT ATCATGACAA GTAAACTTGC TCAGTTGTAT
081 TTTTAATCGA ATGGTAAATA AACTTTAAAG GATGAAATTG
121 TAATTTGCAA GTATCACACG TCAAGCGTAT GTGGTGGCTA
161 GTTGGACTTA CACCAGTTGA GTTGATCCAT CTTTGCGCAT
201 TTCGAGAGCG TCTCTGTCAT CTCTAAGTA

```

FIGURE 1

2/5

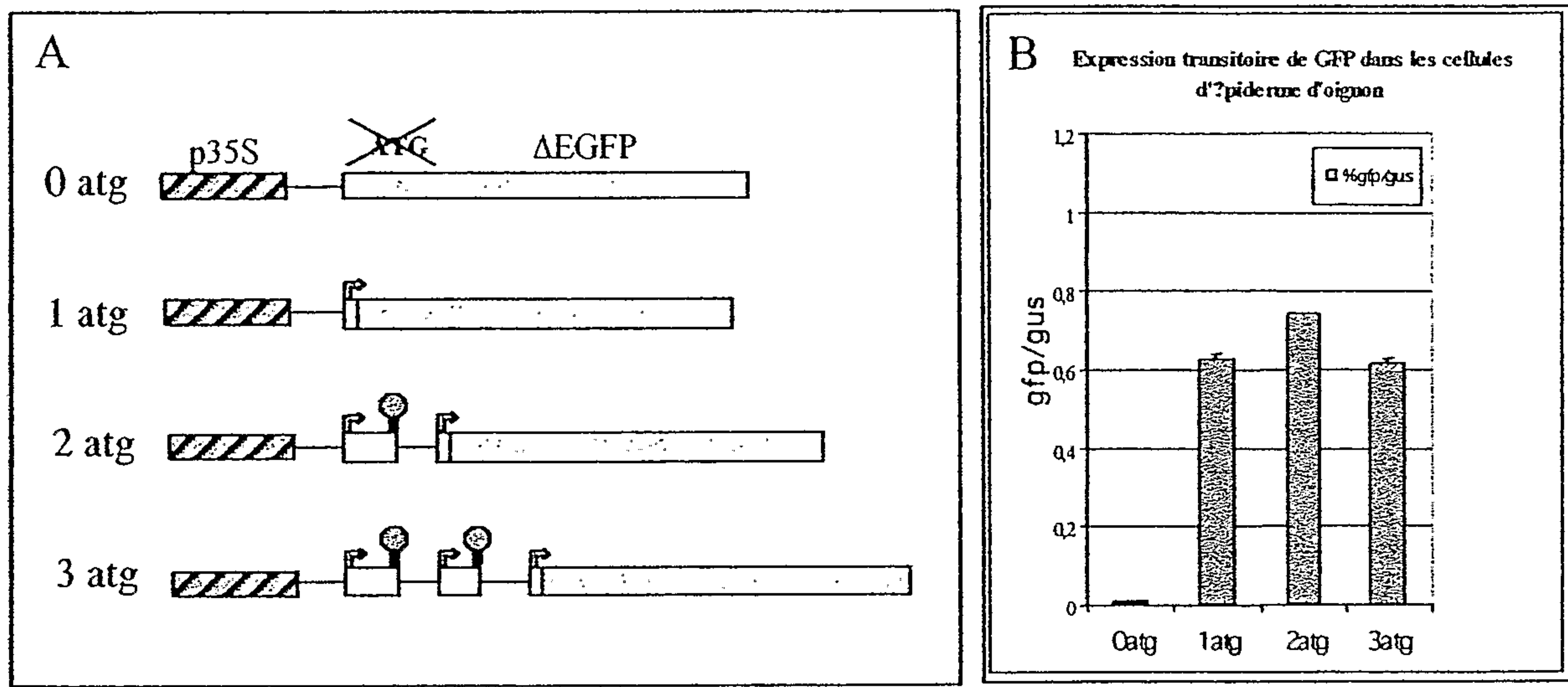


FIGURE 2

3/5

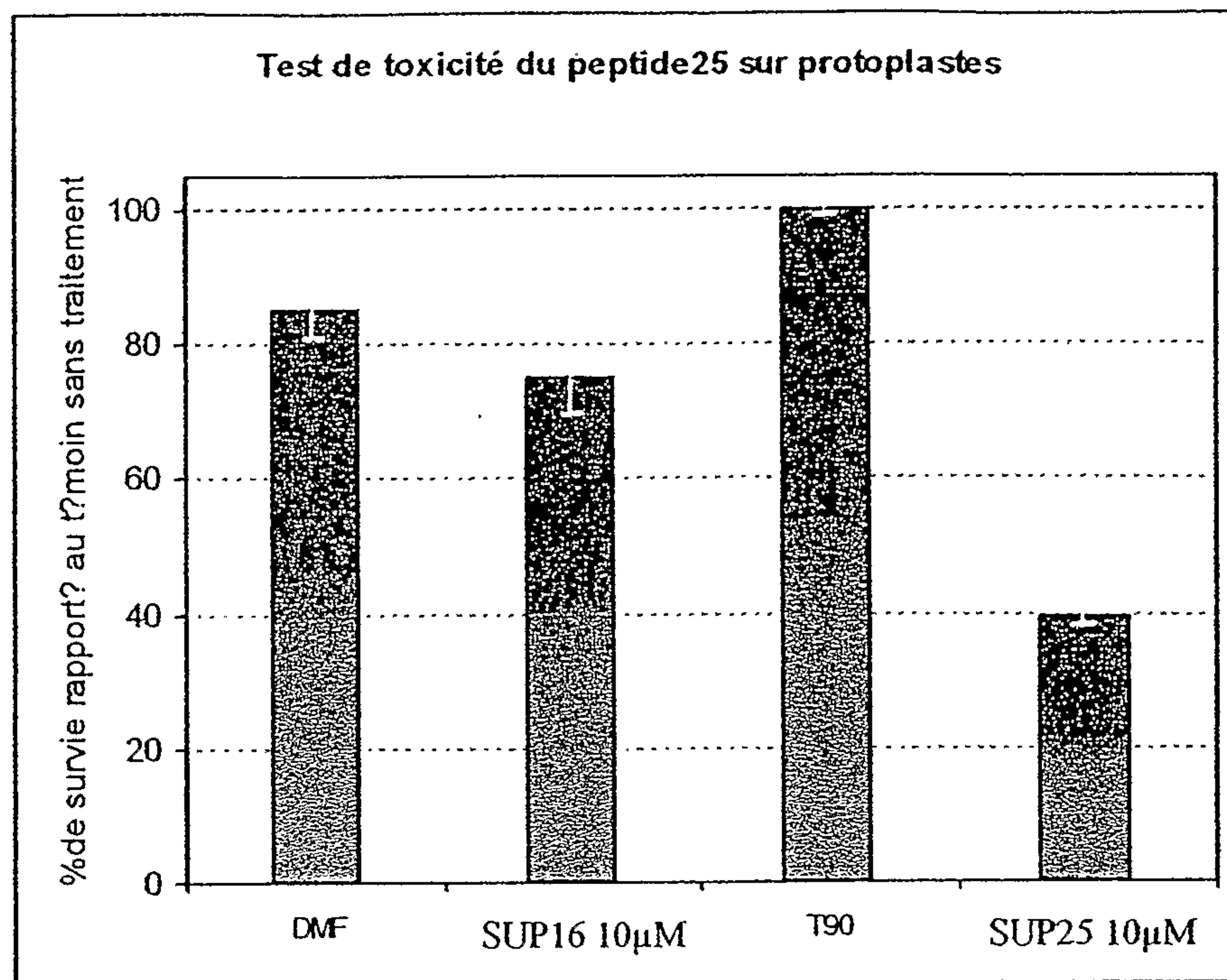


FIGURE 3

4 / 5

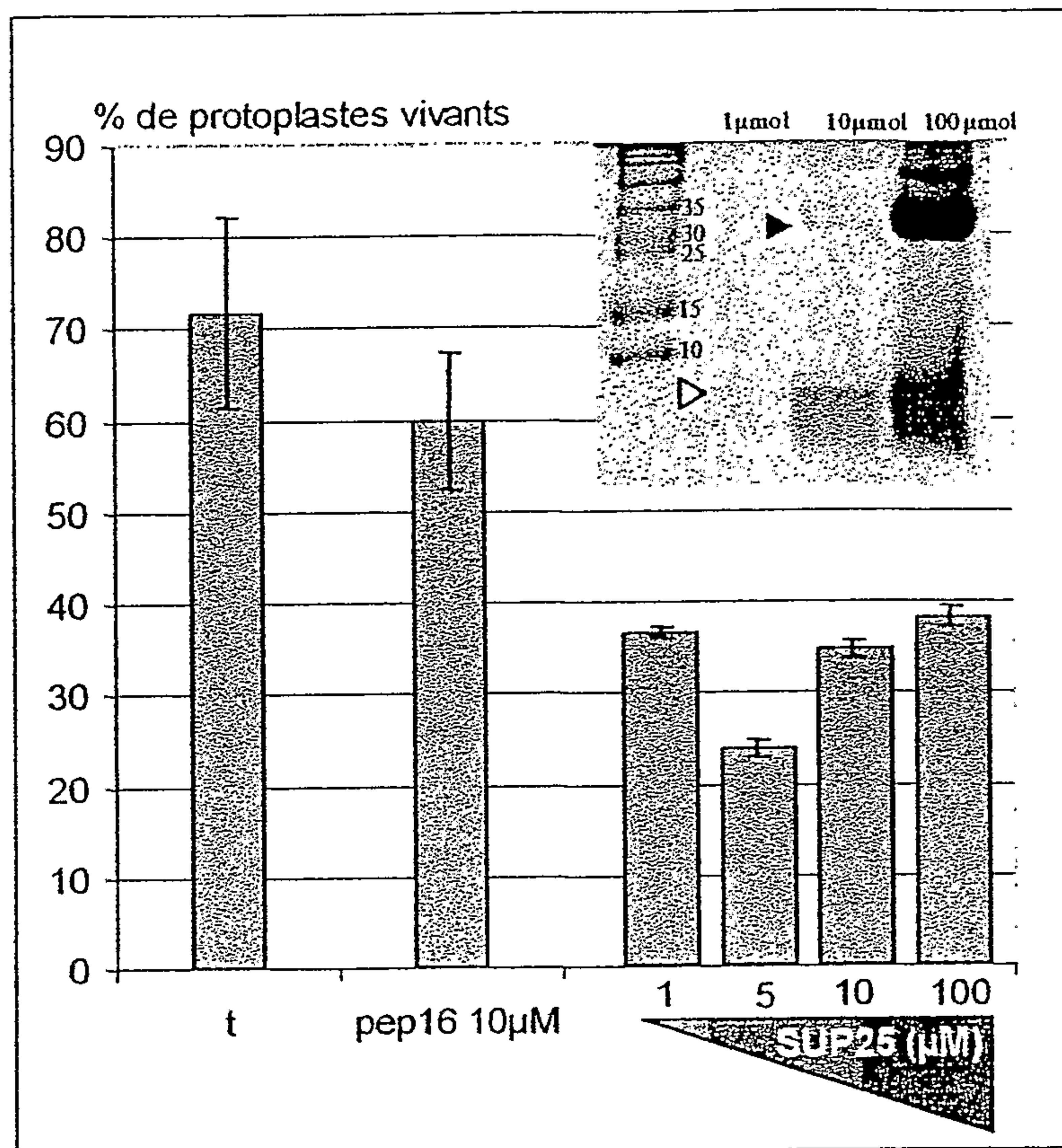


FIGURE 4

5/5

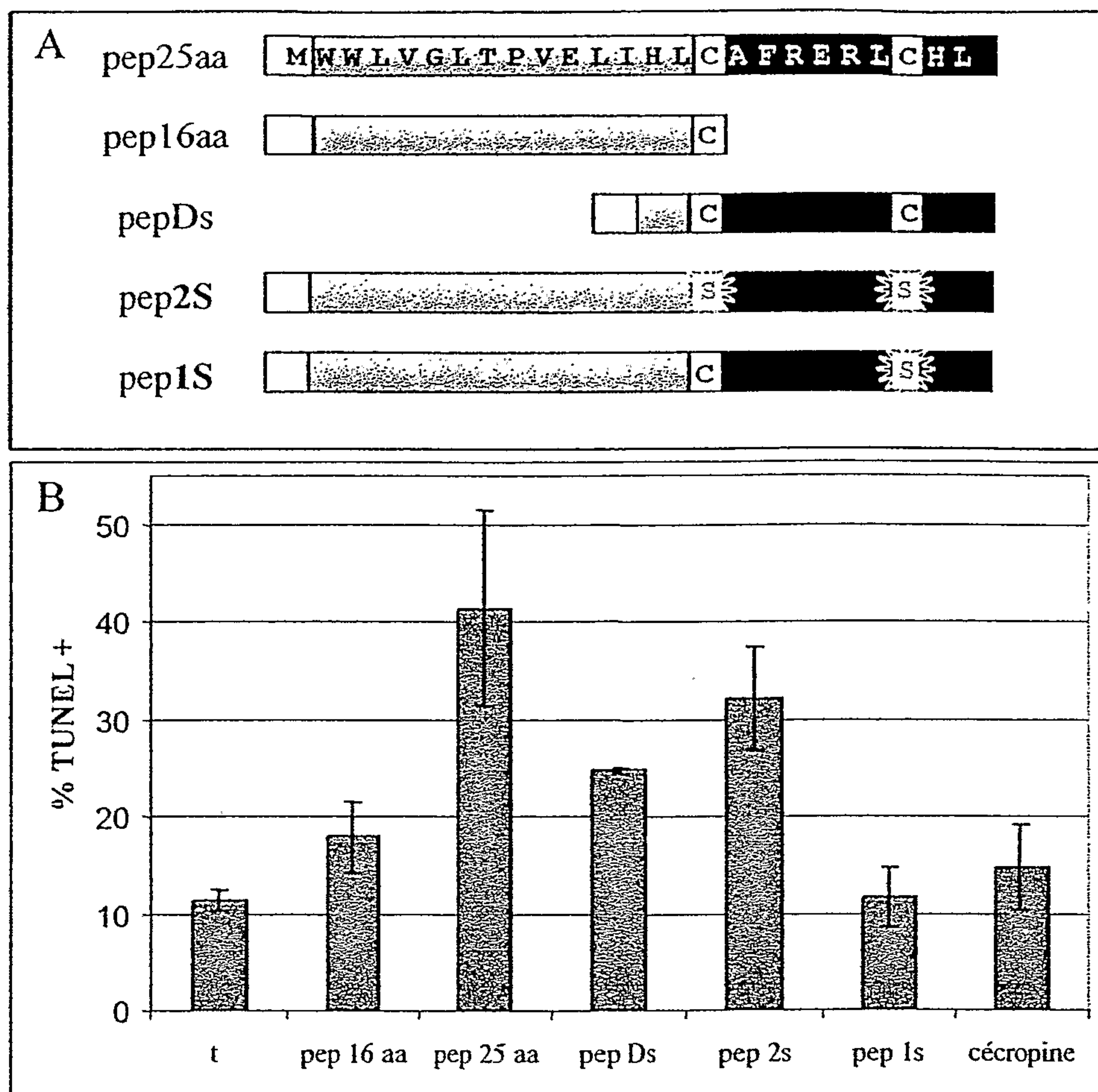


FIGURE 5