



(11) © 1,341,272

(21) 600,958

(22) 1989/05/29

(45) 2001/07/10

(52) 195-1.14

C.L. CR 195-1.31

(51) Int.Cl. ⁷ C12N 15/11; C12N 15/866; C12N 7/01

(19) (CA) **BREVET CANADIEN** (12)

(54) **Baculovirus Modifié, son Procédé de Préparation et son Application en Tant que Vecteur d'Expression de Gènes**

(72) Devauchelle, Gérard, France
Cerutti, Martine, France
Croizier, Guy, France
Croizier, Liliane, France

(73) Institut National de la Recherche Agronomique - INRA, France
Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, France

(30) (FR) France 88 07207 1988/05/31

(57) 17 Revendications

134 1272

PRECIS

La présente invention a relative a un procédé de production d'un baculovirus modifié susceptible d'être utilisé en tant que vecteur d'expression de gènes exogènes. Le procédé est caractérisé en ce qu'on insère dans le génome d'un baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour au moins une enzyme donnée, un fragment d'ADN portant un site de restriction unique pour l'enzyme considérée, sous contrôle d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine, ou de la protéine P10. On obtenait un virus modifié qui constitue un vecteur d'expression non chargé, prêt à recevoir directement et sans passer par l'intermédiaire d'un vecteur de transfert, au moins une séquence d'au moins un gène étranger que l'on désire faire exprimer.

La présente invention est relative à un baculovirus modifié possédant un seul site de coupure derrière le promoteur du polypeptide majeur de l'inclusion virale de baculovirus, la polyédrine, et/ou de la protéine P 10, à un procédé pour l'obtention d'un tel baculovirus modifié et à son application en tant que vecteur d'expression de gènes.

5 La génie génétique utilise des systèmes de vecteurs viraux eucaryotes pour introduire par transduction des ADN exogènes dans des cellules animales ou végétales. Les principaux virus eucaryotes qui sont susceptibles de servir de vecteurs de transduction d'ADN dans des cellules de mammifères (SV40 et polyome, par exemple) et dans des cellules végétales (virus de la mosaïque du chou-fleur, par exemple) ne
10 peuvent recevoir que de l'ADN exogène ("étranger") dont la longueur est limitée, en raison de la morphologie de la structure de leur nucléocapside. Du fait que la taille des génomes est considérablement augmentée par la présence des séquences introduites, il s'est avéré absolument nécessaire de pouvoir disposer de vecteurs susceptibles de "loger" plus d'ADN exogène, "étranger", d'autant plus que le génie génétique, en se
15 développant, tend à chercher à insérer dans une cellule-hôte plus d'un gène étranger, dans le but, par exemple, d'obtenir une expression coordonnée et, si possible, une activité coordonnée des produits des gènes étrangers. Le vecteur viral idéal devrait, en outre, permettre l'introduction d'un long segment d'ADN étranger dans des cellules, à une fréquence élevée et permettre la conversion de la biosynthèse de toutes les protéines
20 cellulaires en l'expression du ou des gène(s) étranger(s). Un virus paraissant remplir toutes ces conditions est le baculovirus suivant : virus de la polyédrose nucléaire, *Autographa californica* (AcNPV) qui, selon Loïs K. MILLER (Chapitre 14 "A virus vector for genetic engineering in invertebrates" du Manuel "GENETIC ENGINEERING IN PLANT SCIENCES" (1981) N.J. PANOPOULOS, ED., PRAEGER PUBL. NEW
25 YORK, pages 203-223), constitue un excellent vecteur de propagation et d'expression de nombreux gènes étrangers dans un environnement eucaryote. Selon cette Etude, l'AcNPV présente deux formes, virus non inclus, NOV, et virus inclus, OV, qui jouent des rôles différents dans le processus d'infection par baculovirus, et les gènes qui codent pour la polyédrine ne sont pas nécessaires et pourraient être éliminés et remplacés par
30 de l'ADN étranger introduit dans la séquence nucléotidique codant pour la polyédrine,

X)

pour procurer un système vecteur capable de donner un taux élevé d'expression des gènes étrangers. Il est également indiqué dans cette Etude que la polyédrine, qui est la protéine cristalline qui forme la matrice de corps d'inclusion de l'AcNPV, et dont le poids moléculaire est de 30KD, est synthétisée en très grandes quantités par l'OV, sans
5 qu'il y ait amplification du gène de la polyédrine dans le processus de réplication, ce qui laisse à penser que le promoteur de la synthèse de l'ARNm de la polyédrine est exceptionnellement puissant et qu'il pourrait être utilisé pour obtenir des taux élevés d'expression d'un gène étranger. L'Auteur indique, en outre, qu'il a été établi précédemment que le génome, lui-même identifié, de l'AcNPV, code pour le gène de la
10 polyédrine. De plus, un certain nombre de variants génotypiques de l'AcNPV ont été observés et des variations des sites d'endonucléases de restriction pour plusieurs des variants qui se forment naturellement, ont été cartographiées.

Dans cette Etude, L. Miller rappelle que le génome (ADN) de l'AcNPV est infectieux dans des cultures cellulaires et que l'aptitude de ce génome à transférer des
15 cultures cellulaires est de nature à permettre de lier de l'ADN étranger à l'ADN viral, d'insérer l'ADN recombinant dans des cellules en culture par un processus de transfection et d'obtenir un virus contenant les séquences d'ADN additionnelles et que cette aptitude est également de nature à permettre la manipulation *in vitro* de l'ADN de l'AcNPV ou d'un recombinant et sa réinsertion aisée dans

des cellules, la grande taille du génome de l'AcNPY - qui, selon les estimations, aurait un poids moléculaire de 82-88 millions de daltons ou un poids moléculaire de 92 millions de daltons - constituant un avantage dans la perspective de l'introduction de grands segments d'ADN étranger dans les cellules-hôtes. Il est indiqué dans cette Etude qu'en raison des grandes quantités de polyédrine produites dans les cellules infectées, il y a avantage à remplacer le gène de la polyédrine par de l'ADN étranger, en utilisant, pour l'expression, le promoteur de la polyédrine.

Un Article de K.N. POTTER et L.K. MILLER paru dans ANIMAL VIRUS GENETICS, 6, GENETIC MUTATIONS OF A BACULOVIRUS, ACADEMIC PRESS (1980), pages 71-80, décrit la méthode du "marker rescue" (récupération des marqueurs) d'établissement de la carte génétique de mutants ts d'AcNPV sur la base de la carte de restriction des sites de plusieurs endonucléases de restriction, laquelle méthode consiste à recombiner in vivo un génome d'ADN mutant avec un fragment de restriction d'ADN d'AcNPV sauvage.

Un certain nombre de Publications font application des données exposées par L. MILLER dans son Etude. C'est ainsi que les Demandes de Brevet européen (publié) N° 0127 839 déposé 22 mai 1984 au nom de THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM (avec MM. G.E. SMITH et D. SUMMERS mentionnés comme Inventeurs), N° 0228 036 (publié) déposé 18 dec 1986 au nom

- 3a -

de MICROGENESYS (avec M.M. COCHRAN mentionné comme
Inventeur), N° 0260090 (publié) déposé 16 mars 1988 aux
noms de D.H.L. BISHOP et C.Y. KANG, qui sont déposants et
5 Inventeurs, ont toutes trois pour objet de produire un
vecteur d'expression d'un baculovirus recombinant, qui est
ensuite utilisé pour infecter une cellule d'insecte-hôte
sensible. Selon ces procédés, on isole d'abord d'un
baculovirus approprié, tel qu'Autographa californica
10 (AcMNPV), un fragment d'ADN qui comprend le promoteur de la
polyédrine et des séquences d'ADN codant pour la protéine
de polyédrine. Selon la première de ces trois
Publications, le fragment isolé est inséré dans un vecteur
de clonage tel que le plasmide pUC 8,

pour former un vecteur de transfert constitué par un véhicule de clonage (le plasmide) qui contient obligatoirement le promoteur de polyédrique (mais pas obligatoirement des séquences d'ADN codant pour la polyédrique) et un site disponible pour cloner un gène sélectionné qui se trouvera sous le contrôle transcriptionnel dudit promoteur; puis un

5 vecteur de transfert recombinant est formé par insertion dans le site de clonage disponible susdit, d'un gène sélectionné, en utilisant les techniques d'ADN recombinant, et enfin, à partir de ce vecteur de transfert recombinant, on forme un vecteur d'expression recombinant en incorporant, par transfection, dans l'ADN de baculovirus, un fragment du vecteur de transfert recombinant. Le vecteur d'expression de

10 baculovirus recombinant formé, est capable d'exprimer le gène sélectionné inséré dans le vecteur de transfert recombinant. La deuxième de ces trois Publications vise à produire un polypeptide tel que l'antigène de surface du virus de l'hépatite B, dans une cellule-hôte infectée par un virus, en isolant d'un baculovirus (virus capable d'infecter une cellule-hôte d'insecte), un premier segment d'ADN incluant un promoteur viral tel

15 que le promoteur de polyédrique, puis en isolant d'une source appropriée, un second segment d'ADN qui contient la séquence qui code pour le polypeptide et en combinant ces deux segments d'ADN pour former un brin continu d'un troisième segment d'ADN qui contient de l'ADN vecteur dans lequel le second segment d'ADN est adjacent au promoteur du premier segment d'ADN et contient des signaux de fin de transcription;

20 on forme ensuite un vecteur recombinant en recombinant le troisième segment susdit avec de l'ADN génomique de baculovirus, après quoi le vecteur recombinant est mis en contact avec des cellules-hôtes d'insecte dans des conditions qui provoquent l'incorporation du segment de vecteur recombinant dans lesdites cellules-hôtes, pour les infecter; elles sont ensuite mises en culture pour isoler des cellules ou des surnageants

25 de culture, l'antigène de surface du virus

de l'hépatite B. La troisième de Publications (Demande de Brevet européen 0260090) a pour objet un procédé de production d'un polypeptide qui comprend au moins une fraction antigénique de la protéine de l'antigène de surface du virus de l'hépatite B (HbsAg) ou de la protéine Pre-S2, par infection d'insectes ou de cellules d'insectes sensibles, par un vecteur d'expression constitué par un baculovirus recombinant comportant un segment d'ADN qui code pour le polypeptide recherché (HbsAg), sous le contrôle d'expression d'un promoteur de polyédrine, le baculovirus recombinant étant lui-même obtenu par cotransfection de cultures de cellules d'insectes par de l'ADN de baculovirus infectieux et des plasmides vecteurs de transfert de baculovirus contenant des gènes représentant les antigènes du virus l'hépatite B, qui sont placés à l'emplacement des séquences initiales 5' codantes du gène de polyédrine de baculovirus, mais sous le contrôle du promoteur de polyédrine.

Ces trois Publications ont en commun la nécessité d'utiliser pour obtenir le vecteur d'expression, un vecteur de transfert qui est un véhicule qui est chargé d'un gène étranger (gène de l'interféron B dans la Demande de Brevet européen (publié) déposé 22 mai 1984; gène de l'HBsAg dans les deux autres Demandes de Brevets européens 0228 036 (publié) déposé 18 dec 1986 et 0260 090 (publié) déposé 7 Septembre 1987. Lorsque le vecteur de transfert est chargé, il est nécessaire de procéder au transfert du gène étranger

dans le virus, ce qui est réalisé, conformément à ces Demandes de Brevets, par cotransfection, après quoi on recherche et isole les virus recombinants qui constituent
5 les vecteurs d'expression, que ceux-ci soient efficaces ou non. Ces opérations de transfert et de sélection sont longues et délicates: la séquence étrangère est chargée sur une construction intermédiaire constituée par un vecteur plasmidique de transfert (ou de transplacement) et il faut,
10 pour obtenir le vecteur d'expression, passer par la cotransfection et, donc, par la méthode de "marker rescue".

Il y a lieu de noter, par ailleurs, que dans un Article de SMITH, VLACK et SUMMERS intitulé "PHYSICAL ANALYSIS OF AUTOGRAPHA CALIFORNICA NUCLEAR POLYHEDROSIS
15 VIRUS TRANSCRIPTS FOR POLYHEDRIN AND 1000-MOLECULAR-WEIGHT PROTEIN" paru dans JOURNAL OF VIROLOGY, Janvier 1983, pages 215-225, ces Auteurs décrivent les dimensions, la direction de transcription et l'emplacement des séquences d'ADN qui spécifient les extrémités 5' et 3' de l'ARNm de la
20 polyédrine de l'AcMNPV (virus de la polyédrose nucléaire d'Autographa Californica), laquelle polyédrine est le polypeptide structural majeur de l'inclusion virale; il est question, dans cet Article, d'une protéine de l'AcMNPV de bas poids moléculaire dans des gels SDS-PAGE, de l'ordre de
25 10 KDa, qui est produite dans des cellules-hôtes infectées, en quantités (élevées) comparables à celles de la polyédrine. Selon cet Article, la protéine P10 est, au même titre que la polyédrine, un gène de l'AcMNPV; à 24 heures post-infection, on trouve dans les cellules infectées par

- 6a -

l'AcMNPV une grande quantité de poly(A)⁺ARN qui s'hybride
aux régions du génome où se trouvent localisés les gènes de
la polyédrine et de la protéine P10; l'ARNm et les
5 protéines de ces deux gènes qui s'accumulent dans les
cellules infectées permettent de comprendre le contrôle
de l'expression de ces gènes dans les cellules d'insectes
dont l'étude est effectuée en utilisant comme modèles les
séquences d'ADN responsables de l'expression préférée de la
10 polyédrine et de la protéine P10 à un stade tardif de
l'infection. La Demande de Brevet européen 0127 839
(publié) déposé 22 mai 1984 au nom de THE TEXAS A & M
UNIVERSITY SYSTEMS analysée plus haut et dans laquelle
SMITH & SUMMERS sont mentionnés en tant qu'Inventeurs,
15 énonce et revendique au deneurant que le gène (ou fragment
de gène) inséré dans le véhicule de clonage (tel qu'un
plasmide) lui-même préalablement modifié par insertion d'un
fragment d'ADN obtenu par clivage d'ADN de baculovirus et
comprenant un gène de baculovirus (ou un fragment de gène),
20 pour former le vec-

teur de baculovirus recombinant de transfert recherché, est un gène de polyédrine ou une fraction de celui-ci incluant le promoteur de polyédrine ou est un gène de protéine P10 incluant le promoteur de protéine P10. Les emplacements respectifs du gène de la polyédrine et du gène de la protéine P10 dans le génome de l'AcMNPV sont indiqués dans cette Demande de Brevet. Il est également mentionné dans cette dernière que c'est par ce que le génome de l'AcMNPV n'a pas de sites de restriction uniques connus dans lesquels des gènes sélectionnés peuvent être effectivement introduits d'une manière site-spécifique, qu'il est nécessaire de construire des vecteurs plasmidiques chimériques (ou vecteurs de transfert) qui servent de véhicule intermédiaire pour le transfert des gènes.

La présente invention a en conséquence pour but de pourvoir à un vecteur d'expression qui puisse être obtenu sans avoir à passer par l'intermédiaire d'un vecteur de transfert.

Elle a également pour but de pourvoir à un vecteur d'expression non chargé, dans lequel il est possible de charger pratiquement n'importe quelle séquence. Elle a, de plus, pour but de pourvoir à un vecteur d'expression apte à être chargé d'une séquence étrangère directement in vitro par manipulation génétique.

La présente invention a pour objet un procédé de production d'un baculovirus modifié susceptible d'être utilisé en tant que vecteur d'expression de gènes exogènes, lequel procédé est caractérisé en ce qu'on insère dans le

génomme d'un baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour au moins une enzyme donnée, un fragment d'ADN portant un site de restriction unique pour l'enzyme considérée, sous contrôle d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine, ou de la protéine P10, pour obtenir un virus modifié qui constitue un vecteur d'expression non-chargé, prêt à recevoir directement et sans passer par l'intermédiaire d'un vecteur de transfert, au moins une séquence d'au moins un gène étranger que l'on désire faire exprimer.

Selon un mode de réalisation du procédé conforme à l'invention, le baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour une enzyme donnée, mis en oeuvre, est un baculovirus naturellement dépourvu du site de restriction. Selon un mode de réalisation avantageux de cet procédé de production d'un baculovirus modifié, conforme à la présente invention, le baculovirus d'origine dépourvu et le baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera frugiperda* (*Sf*), et l'enzyme de restriction est *SmaI*.

Selon un autre mode de réalisation du procédé de production d'un baculovirus modifié, conforme à la présente invention, le baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour un enzyme donnée, mis en oeuvre, est un baculovirus dont on a au préalable supprimé le site ou les sites de restriction pour l'enzyme. Selon un autre mode de réalisation avantageux de cet procédé de production d'un baculovirus modifié, conforme à la présente invention, le baculovirus d'origine est le baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera littoralis* et l'enzyme est *SmaI*.

Selon un autre mode de réalisation avantageux du procédé de production d'un baculovirus modifié conforme à ces procédés de la présente invention, l'introduction d'un

site de restriction unique pour une enzyme donnée, en aval d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine ou du polypeptide P10 de baculovirus, est réalisé par cotransfection d'une culture cellulaire de cellules permissives au baculovirus, avec un plasmide dans lequel a été cloné le fragment qui contient le site de restriction placé en aval du promoteur tardif fort, laquelle cotransfection aboutit à la formation de virus recombiné modifié, qui correspond au vecteur d'expression non-chargé de séquence étrangère, prêt à recevoir une séquence étrangère en vue de son expression sur cellules d'insectes.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de ces procédés conformes à la présente invention, pour la construction d'un baculovirus modifié qui constitue un vecteur d'expression non-chargé prêt à recevoir au moins deux fragments d'ADN étrangers que l'on désire faire exprimer, on installe sur un baculovirus convenablement choisi, au moins deux sites de restriction pour au moins deux enzymes identiques ou différentes chacun des sites étant unique pour l'enzyme correspondante.

Selon une disposition avantageuse de ces modes de réalisation de ces procédés conformes à la présente invention, les deux sites de restriction sont successivement introduits par cotransfection avec un premier plasmide dans lequel a été cloné le fragment qui contient le premier site de restriction que l'on souhaite installer sur le baculovirus, puis avec un second plasmide dans lequel a été cloné le fragment qui contient le second site de restriction que l'on cherche à installer sur le baculovirus.

La présente invention a également pour objet un baculovirus modifié qu'il comporte au moins un site de restriction unique pour une enzyme donnée installé en aval

d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine ou de la P10, lequel baculovirus est apte à constituer un vecteur d'expression non-chargé.

Selon un mode de réalisation avantageux de ce baculovirus modifié conforme à la présente invention, le baculovirus est susceptible de constituer un vecteur d'expression non-chargé, et celui-ci est constitué par un baculovirus modifié comportant un site de restriction installé à proximité du codon ATG du gène de la polyédrine ou de la P10.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de ce baculovirus modifié conforme à la présente invention, le baculovirus origine est le baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera frugiperda* ou de *Spodoptera littoralis*, et ce que le site unique est un site SmaI.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de ce baculovirus modifié conforme à la présente invention le baculovirus modifié comporte au moins deux sites de restriction, chacun d'entre eux étant unique pour une enzyme donnée, installés respectivement à proximité du codon ATG du gène et à proximité d'un promoteur tardif fort du gène.

La présente invention a, en outre, pour objet un vecteur d'expression de gènes, non chargé, constitué par un baculovirus modifié tel que défini dans ce qui précède.

La présente invention a, en outre, pour objet un procédé de chargement d'un vecteur d'expression non chargé, en au moins une séquence étrangère, caractérisé en ce que la séquence étrangère est introduite directement, sans recourir à un vecteur de transfert, au site de restriction unique présent dans le génome viral modifié qui constitue le vecteur d'expression initialement non chargé tel que défini dans ce qui précède.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de ce procédé de chargement, pour l'introduction directe d'au moins séquence étrangère au site unique pour une enzyme donnée, le génome viral est préalablement linéarisé par action de l'enzyme de restriction.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de ce procédé de chargement, un fragment d'ADN étranger est introduit directement dans un premier site de restriction du vecteur d'expression non chargé, puis un second fragment d'ADN identique au premier ou différent de celui-ci est introduit directement dans un second site de restriction du vecteur d'expression, les deux sites de restriction étant tous deux des sites de restriction uniques pour des enzymes différentes.

Selon encore un autre mode de réalisation avantageux de ce procédé de chargement, des fragments d'ADN étrangers identiques ou différents sont chargés dans des sites de restriction uniques, c'est à dire définis comme étant deux sites de restriction pour une enzyme identique, situés à des emplacements différents, par digestion partielle dudit vecteur d'expression non chargé, pour ouvrir un site, dans lequel est alors introduit un premier fragment d'ADN, ledit vecteur étant soumis à une seconde digestion partielle pour ouvrir un second site unique identique au précédent dans lequel est chargé un second fragment d'ADN.

Le vecteur d'expression conforme à l'invention peut être chargé de, pratiquement, n'importe quelle séquence attendu que les séquences ne doivent pas comporter de sites de restriction particuliers.

C'est ainsi que sont susceptibles d'être exprimés par le vecteur d'expression conforme à l'invention, tous gènes codant pour des protéines d'origine procaryote et

eucaryote, toutes séquences codant pour des gènes de biosynthèse, des antigènes protéiniques viraux et en particulier, à titre d'exemples non-limitatifs, les gènes des acétylcholinestérases d'invertébrés et de vertébrés.

Les Publications citées précédemment, et notamment les Demandes de Brevets européens cités plus haut, mentionnent que le gène de l'interféron β est exprimé d'autant plus efficacement s'il est inséré quelques nucléotides en amont du codon ATG initial du gène P10, c'est-à-dire, à proximité de ce codon ATG. Elles mentionnent également que les plasmides vecteurs recombinants obtenus contiennent la région du promoteur de polyédrine, avec, par exemple, un site BamHI unique en aval du site de départ transcriptionnel, c'est-à-dire, situé environ 10 nucléotides en amont de l'emplacement du codon ATG du type sauvage, dans le vecteur d'insertion. En d'autres termes, l'Art antérieur propose la construction de vecteurs de clonage qui contiennent des sites de clonage uniques dans une position en aval d'un promoteur de baculovirus défini, qui sont flanqués de séquences homologues du génome viral, de façon à diriger l'insertion par recombinaison homologue.

Ces connaissances sont appliquées, conformément à la présente invention, à la production d'un vecteur d'expression non-chargé.

La possibilité qu'offre la présente invention d'éviter le recours à un vecteur de transfert simplifie considérablement le procédé d'obtention d'un baculovirus recombiné chargé susceptible d'exprimer une protéine étrangère: en effet, alors que les procédés qui sont dans l'obligation de recourir à un vecteur de transfert requièrent plusieurs semaines pour produire un baculovirus

recombiné chargé, le procédé conforme à la présente invention permet d'obtenir un baculovirus chargé, en quelques jours.

5 Relativement aux dessins qui illustrent la réalisation de l'invention:

 La Figure 1 illustre un processus de suppression d'un site de restriction SmaI mal placé, et

10 La Figure 2 illustre un processus de suppression d'un site de restriction SmaI.

 Il doit être bien entendu, toutefois, que ces exemples et les parties descriptives correspondantes, sont donnés uniquement à titre d'illustration de l'objet de l'invention.

15 EXEMPLE 1 : Suppression du site SmaI du génome du SIMMPV.

 Pour construire le vecteur d'expression non-chargé, c'est-à-dire, le baculovirus modifié prêt à recevoir une séquence étrangère, on sélectionne un baculovirus

dépourvu de site de restriction par une enzyme donnée: c'est le cas, exceptionnel, du baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera frugiperda* qui ne possède pas de site de restriction SmaI.

5 L'on peut aussi supprimer le ou les site(s) de restriction mal placé(s) sur le génome du baculovirus: notamment on supprime le site unique SmaI localisé dans le fragment Pst-I-G du baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera littoralis*, en procédant comme suit:

10 Le fragment Pst-I-G du SIMNPV cloné dans un plasmide de type pAT153 est coupé par SmaI, puis un linker KpnI est ligué au plasmide linéarisé. Les plasmides obtenus pas transformation après ligation et dépourvus de site SmaI sont cotransfectés avec le SIMNPVorigine en vue d'obtenir des virus recombinants dépourvus de site SmaI. Dans la descendance des virus obtenus après cotransfection, on trie les virus recombinants. Ces virus auront, par rapport au virus origine, perdu un site SmaI, c'est-à-dire n'auront plus de site SmaI et auront par contre acquis un site KpnI et posséderont
15 donc au total $7 + 1 = 8$ sites KpnI. Pour sélectionner ces virus recombinants, on procède de la manière suivante: les polyèdres récoltés après la mort des chenilles transfectées sont source d'ADN qui sert pour une nouvelle transfection. Préalablement à cette nouvelle transfection, l'ADN est coupé par SmaI. Ce traitement à pour effet d'interdire la multiplication des virus d'origine car leur génome est ouvert, et de ne
20 permettre que la multiplication des virus recombinants. Plusieurs cycles de multiplacations des virus selon ce principe peuvent être nécessaires pour éliminer la descendance des virus d'origine ayant échappé à la coupure par SmaI.

Ce processus de suppression d'un site de restriction SmaI mal placé est illustré dans la figure 1 annexée.

25 EXEMPLE 2: Installation d'un site SmaI en aval du promoteur de la polyédrine sur un baculovirus dépourvu de site de restriction SmaI:

Le site unique, qu'il s'agisse de SmaI ou de tout autre site, doit être placé dans la région de l'ATG qui est le codon initial du gène de la polyédrine (ou de P10). Quand on

place ce site avant l'ATG, ceci permet l'expression du gène étranger sous le contrôle de son propre ATG (la position du site de chargement est dite en amont de l'ATG: c'est-à-dire du côté 5' de l'ATG). Cette situation est la situation la plus fréquemment souhaitée. Quand on place le site après l'ATG (en aval de l'ATG, soit en 3' par rapport à ce même

5 ATG) la situation permet de produire des protéines dites fusionnées qui sous le contrôle de l'ATG de la polyédrine comportent en partie N-terminale des acides aminés correspondant à la séquence de la polyédrine et dans la partie C-terminale des acides aminés correspondant à la séquence étrangère fusionnée. La région d'installation du site s'étend à titre indicatif de - 10n à +10n. Il est convenu que le A de l'ATG est

10 numéroté +1, le T + 2 et le G +3, les bases avant l'ATG sont numérotées avec le signe (-); la base qui précède A porte le numéro -1 et ainsi de suite.

Le choix de SmaI est conditionné par la relative rareté des sites SmaI chez les baculovirus. Le fait que l'ADN viral soit coupé à ce site de reconnaissance par l'endonucléase SmaI avec production d'extrémités franches est certes un avantage dans

15 la mesure où les extrémités franches constituent une entrée universelle pour des séquences étrangères. Cet avantage n'est pas déterminant dans le choix car il est de pratique courante de rendre franches des extrémités qui ne le sont pas au départ. Toute endonucléase de restriction capable de reconnaître un site unique de restriction positionné convenablement en aval d'un promoteur, permet l'introduction de séquences

20 étrangères, en vue de l'expression de gènes chargés, au prix de modifications parfois mineures des extrémités de celles-ci.

Conformément à l'invention, il faut, sur un virus dépourvue de site de restriction par SmaI par exemple, soit NPV de *Spodoptera frugiperda*, soit NPV de *Spodoptera littoralis* traité conformément à l'Exemple 1, installer un site SmaI (qui devient pour le

25 génome viral un site unique) en aval du promoteur du gène de la polyédrine (ou de tout autre promoteur tardif fort comme celui de la protéine P10). L'installation du site SmaI au meilleur endroit suppose l'établissement préalable de la séquence du gène de la polyédrine (notamment de la région promotrice).

Pour installer le site SmaI il faut disposer d'un site de restriction unique qui permette d'ouvrir le génome dans une partie restreinte du gène de la polyédrique. Les sites uniques chez le virus entier sont rares. La probabilité de trouver un site unique augmente lorsqu'on réduit la taille de la séquence.

5 Cette introduction peut se faire par plusieurs méthodes. Parmi celles-ci, on peut citer la mutation dirigée avec création de site unique, suivie de l'introduction dans ces sites de linker SmaI.

10 Une autre méthode consiste à procéder à des délétions induites par Bal31 à la suite de la coupure de la séquence virale au niveau du site SacI. Comme il existe un second site SacI dans le polylinker du plasmide, il est nécessaire, préalablement à la digestion par Bal31, de faire sauter du polylinker, ce site SacI.

Le polylinker a, initialement, la composition suivante:

EcoRI ; SacI ; KpnI ; SmaI ; BamHI ; XbaI ; Sall ; PstI ; SphI ; HindIII

15 Après le clonage du fragment HindIII dans le pUC19, on procède à une délétion dirigée avec le système ExoIII-Mung bean. Le site de biocage est le site PstI contenu en 5' du polylinker et le site de digestion un site HpaI situé entre le polylinker et le site XbaI du fragment HindIII-K. Cette délétion fait disparaître un segment compris entre le site PstI et le site HpaI d'une part et un segment situé entre ce même site HpaI et le site XbaI viral.

20 Le plasmide délété est préparé pour un séquençage direct (donc simplement pour des raisons de commodité) des plasmides délétés ultérieurement autour du site XbaI de la séquence virale. A ce stade le polylinker a la composition suivante:

EcoRI ; SacI ; KpnI ; SmaI ; BamHI ; XbaI ; Sall

et le premier site significatif viral en 3' est XbaI.

25 On élimine alors le site SacI du polylinker par une double digestion EcoRI-BamHI qui fait subsister du polylinker uniquement les sites XbaI et Sall. De cette manière on peut à la fois procéder à une délétion autour du site viral SacI et installer, à la place de cette délétion, un linker SmaI qui sera site unique dans ce plasmide. La position du site

SmaI doit être de -30 à +10 puisque XbaI est en position -40 par rapport au A de l'ATG.

5 Les plasmides p13.21XSS sont cotransfectés sur culture cellulaire de *S.littoralis* et les virus recombinés qui correspondent aux vecteurs d'expression non chargés de séquence étrangère sont repérés par le phénotype "P moins". Ce phénotype est celui des virus responsables de foyers infectieux par la méthode des plages dans lesquelles les polyèdres ne peuvent être mis en évidence.

Ce processus d'installation d'un site de restriction SmaI est illustré dans la figure 2 annexée.

10 EXEMPLE 3 : Chargement de séquence étrangère en amont immédiat de l'ATG.

Cette étape de la construction du vecteur d'expression présuppose la possession du baculovirus modifié conformément à l'invention, c'est-à-dire du virus possédant un site unique situé par exemple à -4 (la référence de numérotation étant toujours +1 pour le A de l'ATG initial du gène de la polyédrine). Ledit virus modifié est en fait amputé des bases qui s'étendent de -3 à environ +280 puisque le site SacI à partir duquel Bal31 digère, est situé à +140. L'obtention du vecteur suppose la préparation d'une séquence étrangère apte à être exprimée.

Séquence chargée: Séquence de l'acétylcholinestérase de *Drosophila melanogaster*.

20 La séquence à exprimer est issue de la forme répliquative du plasmide pEMBL-Ache de l'acétylcholinestérase de *D. melanogaster* (plasmide pE6 obtenu par Fournier et al. INRA, Antibes). La Séquence publiée à l'origine par Hall et Spierer [EMBO. J:(1986), page 2952] est longue de 3481 bases. Le segment NruI-SacI qui s'étend de +869 à +3181 peut être utilement souscloné dans un pUC19 en SmaI-SacI. NruI coupe le gène de l'acétylcholinestérase 127 bases en amont de l'ATG de ce gène. Un site unique AatII à +921 permet la récupération du fragment AatII-SacI qui comporte la 25 totalité du gène Ache (soit une séquence leader de 72 bases, un ORF de 1947 bases et une séquence en 3' de 241 bases comprenant un signal de polyadénylation à +3050).

Afin d'éviter la présence de la séquence codant pour la queue d'ancrage et de

faciliter la purification de l'acétylcholinestérase, l'emploi du segment AatII-XmnI (+921 - +2856) qui donne une protéine tronquée de 28 acides aminés sur 649 acides aminés de drosophile en aval du gène Ache, est très favorable. Le résultat de ce montage conduit à une protéine fusionnée en 3'. La nature de la protéine

- 19 -

fusionnée est fonction des résidus obtenus par la délétion induite par Bal31. Après la séquence AGTGGG formée du dernier codon de l'Ache et du codon GGG qui est un demi site SmaI suit, soit les bases du gène de la polyédrine dans le bon cadre de lecture auquel cas la protéine fusionnée comporte environ 120 acides aminés de polyédrine, soit des bases dans un mauvais cadre de lecture et il apparaît des codons stop après une trentaine de codons sens.

Les extrémités du fragment d'ADN double-brin à insérer dans le virus modifié au niveau du site SmaI sont rendues franches si nécessaire par l'action de Mung-bean pour les sites SacI et AatII.

Après transfection de cellules de Spondoptera littoralis, l'activité acétylcholinestérasique est mesurée à partir d'une série de surnageants et/ou de broyats provenant de X cellules isolées à 48 heures post-infection et est maintenue 48 heures supplémentaires pour la production d'acétylcholinestérase. Les lots associés à une activité enzymatique élevée donnent lieu à un clonage par dilution limite. La présence de clones positifs est recherchée par hybridation avec une sonde pUC-Ache.

EXEMPLE 4 : Chargement en aval de l'ATG (cas des protéines fusionnées).

Expression du gène de la bêta-galactosidase.

- 19a -

Cet exemple, comme le précédent, suppose l'existence du baculovirus modifié. Dans ce cas la délétion produite par Ba131 à partir du site SacI respecte l'ATG. Le
 5 fragment SmaI-SalI du plasmide pMC1871 (selon un publication de Shapira et al, Gene 25, 71, 1983) est inséré dans le site SmaI du virus transformé après modification de l'extrémité SalI par Mung-bean.

Cette construction présente la structure :

10 <----promoteur de la polyédrine-----ATG TAT--<----GGG GAT
 CCC GTC----LacZ----AAA TAA TAA CCG GGC AGG GGG GAT CCG-
 >----extrémité 3' de l'ORP de la polyédrine.---->

Les virus recombinés ayant cette structure sont reconnus en culture cellulaire par la coloration bleue avec X-gal.

Revendications

1) Procédé de production d'un baculovirus modifié susceptible d'être utilisé en tant que vecteur d'expression de gènes exogènes, lequel procédé est caractérisé en ce qu'on insère dans le génome d'un baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour au moins une enzyme donnée, un fragment d'ADN portant un site de restriction unique pour l'enzyme considérée, sous contrôle d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine, ou de la protéine P10, pour obtenir un virus modifié qui constitue un vecteur d'expression non-chargé, prêt à recevoir directement et sans passer par l'intermédiaire d'un vecteur de transfert, au moins une séquence d'au moins un gène étranger que l'on désire faire exprimer.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour une enzyme donnée, mis en oeuvre, est un baculovirus naturellement dépourvu dudit site de restriction.

3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ledit baculovirus d'origine est le baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera frugiperda* (*Sf*), et ladite enzyme de restriction est SmaI.

4) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le baculovirus d'origine dépourvu de site de restriction pour un enzyme donnée, mis en oeuvre, est un baculovirus dont on a au préalable supprimé le site ou les sites de restriction pour ladite enzyme.

5) Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le baculovirus d'origine est le baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera littoralis* et ladite enzyme est SmaI.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'introduction d'un site de restriction unique pour une enzyme donnée, en aval d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine ou du polypeptide P10 de baculovirus, est réalisé par

cotransfection d'une culture cellulaire de cellules permissives au baculovirus, avec un plasmide dans lequel a été cloné le fragment qui contient le site de restriction placé en aval du promoteur tardif fort, laquelle cotransfection aboutit à la formation de virus recombiné modifié, qui correspond au vecteur d'expression non-chargé de séquence étrangère, prêt à recevoir une séquence étrangère en vue de son expression sur cellules d'insectes.

7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, pour la construction d'un baculovirus modifié qui constitue un vecteur d'expression non chargé prêt à recevoir au moins deux fragments d'ADN étrangers que l'on désire faire exprimer, on installe sur un baculovirus convenablement choisi, au moins deux sites de restriction pour au moins deux enzymes identiques ou différentes chacun desdits sites étant unique pour l'enzyme correspondante.

8) Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les deux sites de restriction sont successivement introduits par cotransfection avec un premier plasmide dans lequel a été cloné le fragment qui contient le premier site de restriction que l'on souhaite installer sur le baculovirus, puis avec un second plasmide dans lequel a été cloné le fragment qui contient le second site de restriction que l'on cherche à installer sur le baculovirus.

9. Baculovirus modifié caractérisé en ce qu'il est susceptible d'être obtenu par un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, et comporte au moins un site de restriction unique pour une enzyme donnée installé en aval d'un promoteur tardif fort du gène de la polyédrine ou de la P10, lequel baculovirus est apte à constituer un vecteur d'expression non-chargé.

10) Baculovirus modifié, selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il est constitué par un baculovirus modifié comportant un site de restriction installé à proximité du codon ATG du gène de la polyédrine ou de la P10.

11) Baculovirus modifié, selon la revendication 9, caractérisé en ce que le baculovirus d'origine est le baculovirus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera frugiperda* ou de *Spodoptera littoralis*, et ce que le site unique est un site SmaI.

12) Baculovirus modifié selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux sites de restriction, chacun d'entre eux étant unique pour une enzyme donnée, installés respectivement à proximité du codon ATG du gène et à proximité d'un promoteur tardif fort dudit gène.

13) Vecteur d'expression de gènes, non chargé, caractérisé en ce qu'il est constitué par un baculovirus modifié selon l'une quelconque des revendications 9 à 12.

14) Procédé de chargement d'un vecteur d'expression non chargé, en au moins une séquence étrangère, caractérisé en ce que ladite séquence étrangère est introduite directement, sans recourir à un vecteur de transfert, au site de restriction unique présent dans le génome viral modifié qui constitue le vecteur d'expression initialement non chargé selon la revendication 13.

15) Procédé de chargement selon la revendication 14 caractérisé en ce que, pour l'introduction directe d'au moins une séquence étrangère au site unique pour une enzyme donnée, le génome viral est préalablement linéarisé par action de ladite enzyme de restriction.

16) Procédé de chargement selon l'une quelconque des revendications 14 ou 15 caractérisé en ce qu'un fragment d'ADN étranger est introduit directement dans un premier site de restriction dudit vecteur d'expression non-chargé, puis un second fragment d'ADN

identique au premier ou différent de celui-ci est introduit directement dans un second site de restriction dudit vecteur d'expression, les deux sites de restriction étant tous deux des sites de restriction uniques pour des des enzymes différentes.

17) Procédé de chargement selon l'une quelconque des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que des fragments d'ADN étrangers identiques ou différents sont chargés dans des sites de restriction uniques, c'est-à-dire définis comme étant deux sites de restriction pour une enzyme identique, situés à des emplacements différents, par digestion partielle dudit vecteur d'expression non chargé, pour ouvrir un site, dans lequel est alors introduit un premier fragment d'ADN, ledit vecteur étant soumis à une seconde digestion partielle pour ouvrir un second site unique identique au précédent dans lequel est chargé un second fragment d'ADN.

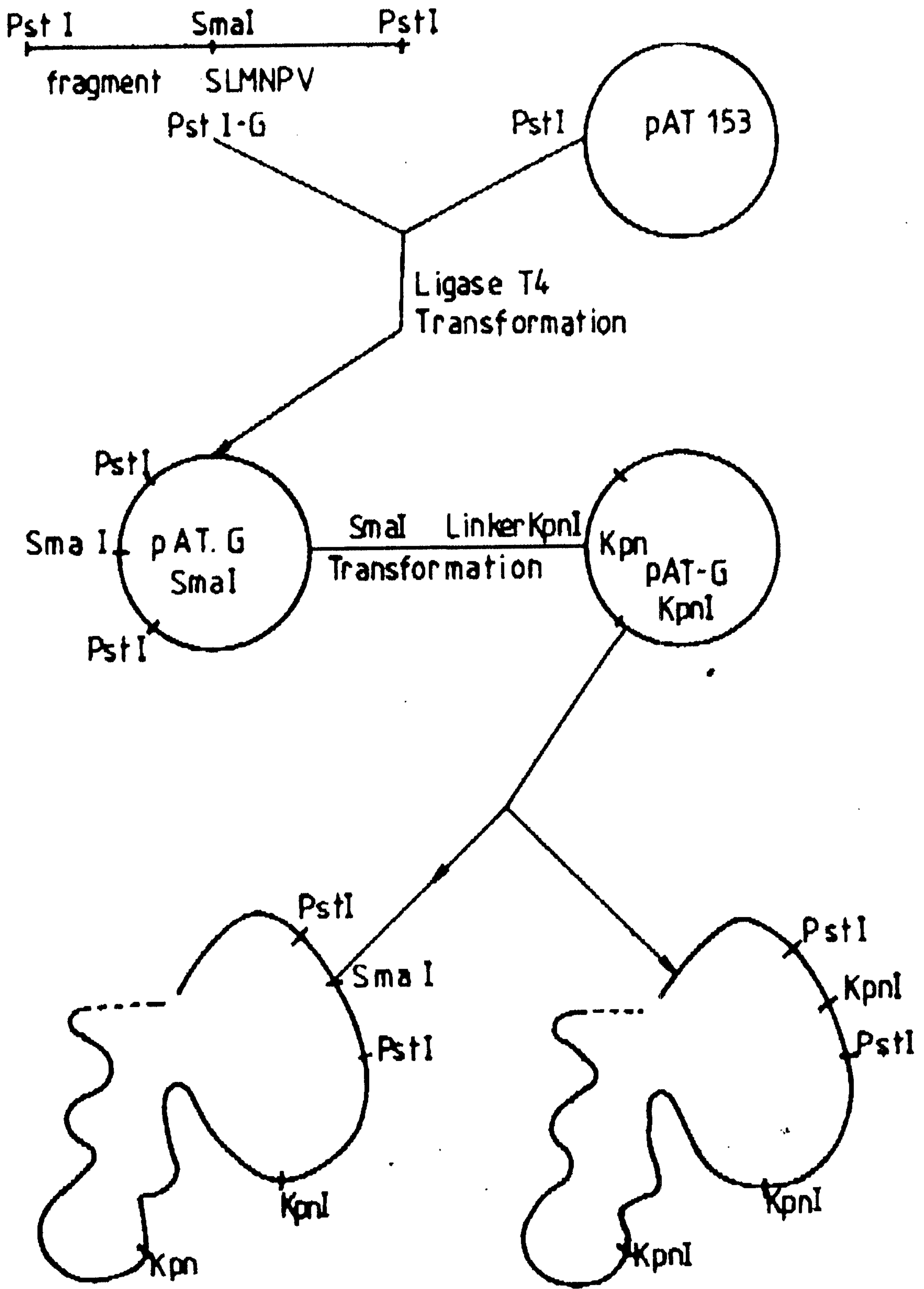


FIG.1

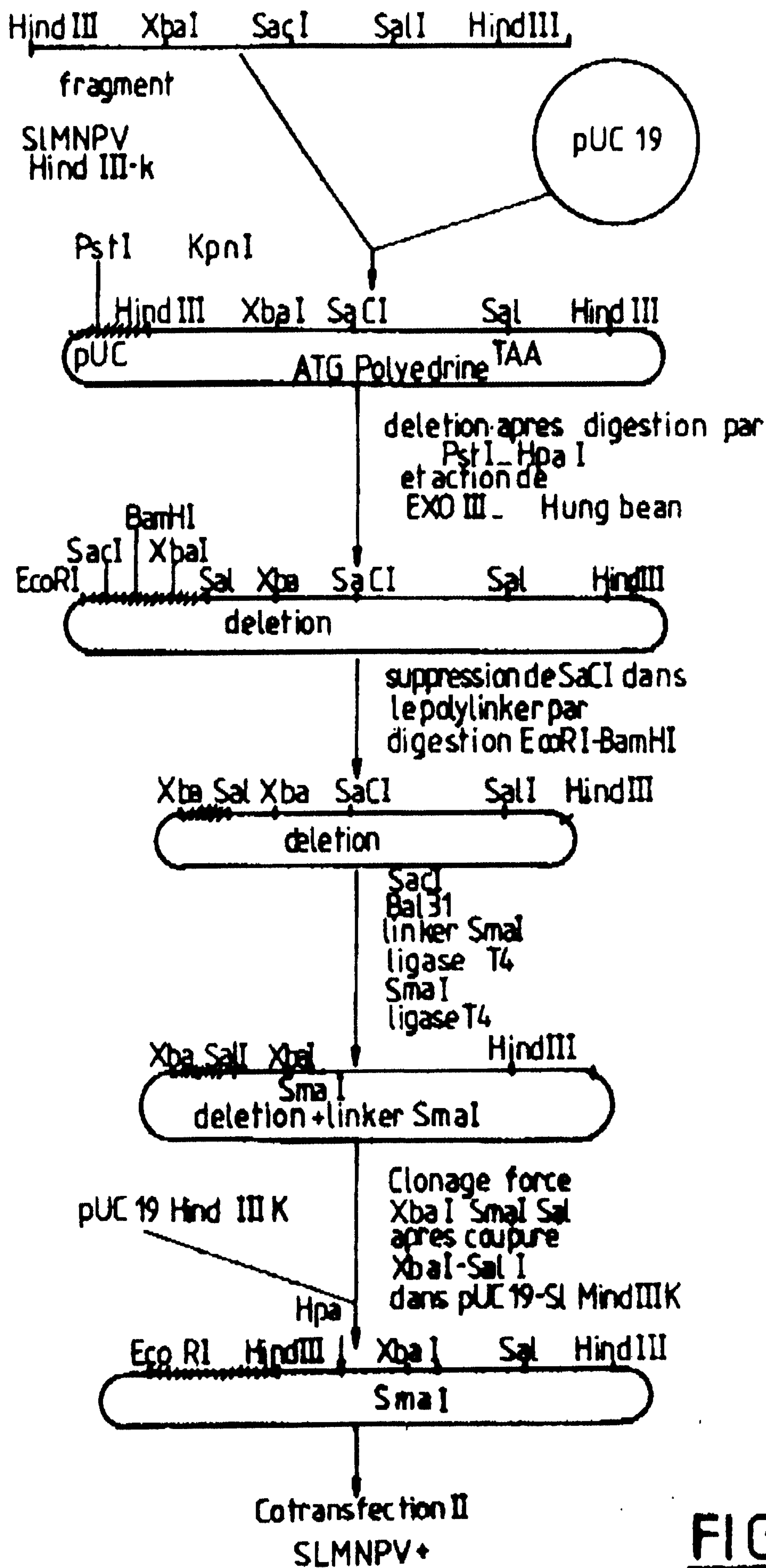


FIG.2