

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 639 232

(21) N° d'enregistrement national :

89 05150

(51) Int Cl⁵ : A 61 K 45/05.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 18 avril 1989.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 21 du 25 mai 1990.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

Division demandée le 18 avril 1989 bénéficiant de la date de
dépôt du 21 octobre 1988 de la demande initiale n° 88 13865
(art. 14 de la loi du 2 janvier 1968 modifiée).

(71) Demandeur(s) : *SANOFI, Société Anonyme.* — FR.

(72) Inventeur(s) : Willem Roskam ; Bertrand Basuyaux ; Pas-
cual Ferrara ; Martine Laporte ; Thierry Maureaud ; Natalio
Vita ; Alain Bayol ; Geneviève Perry.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Beau de Loménie.

(54) Médicaments contenant une interleukine-2 glycosylée.

(57) L'invention concerne des médicaments contenant une
interleukine-2 glycosylée isolée à partir d'un milieu de culture
de cellules eucaryotes recombinées.

FR 2 639 232 - A1

D

Médicaments contenant une interleukine-2 glycosylée.

La présente invention concerne un procédé d'isolement de l'interleukine-2 glycosylée à partir d'une fraction riche en interleukine-2, issue d'un surnageant de culture de cellules eucaryotes recombinées qui sécrètent cette protéine, ainsi qu'un nouveau médicament contenant de l'interleukine-2 glycosylée.

L'interleukine-2 (ci-après parfois abrégée IL-2) est une lymphokine sécrétée notamment par les lymphocytes T des mammifères en réponse à une activation par un antigène ou un composé mitogène. Elle joue un rôle essentiel en agissant sur la prolifération et la différenciation de différents types de cellules impliquées dans les réponses immunitaires (Robb R.J. (1984) Immunol. Today, 5, 203-209), ainsi que sur d'autres cellules.

L'interleukine-2 glycosylée d'origine humaine a été plus particulièrement étudiée. On sait qu'elle est produite sous la forme d'une protéine de 133 acides aminés portant, fixée sur le résidu thréonine en position 3, une structure oligosaccharide (Conradt, H.S. et al. (1986) Eur. J. Biochem., 153, 255-261). Les lymphocytes T la synthétisent d'abord sous la forme d'un précurseur de 153 acides aminés et la sécrètent après élimination par coupure, au niveau du réticulum endoplasmique, du peptide-signal de 20 acides aminés, puis après glycosylation dans l'appareil de Golgi, sous la forme d'une protéine de 133 acides aminés - dite protéine mature glycosylée.

Devant les quantités insuffisantes de l'interleukine-2 obtenue, soit à partir de lymphocytes périphériques, soit à partir d'une lignée cellulaire lymphoblastoïde telle que la lignée Jurkatt, les techniques de recombinaison génétique sont apparues prometteuses : elles permettent en effet de faire exprimer le gène d'une protéine dans un hôte qui lui est étranger, qu'il s'agisse de cellules eucaryotes ou de cellules procaryotes. Ainsi, le gène de l'interleukine-2 a pu être cloné et exprimé avec succès dans la bactérie Escherichia coli et dans diverses cellules eucaryotes, en

particulier les cellules de singe COS et les cellules d'ovaire de hamster chinois CHO.

Récemment, la demanderesse a mis au point un procédé de préparation d'interleukine-2 à partir de cellules CHO recombinées permettant un haut niveau d'expression de cette protéine, obtenue principalement sous la forme d'interleukine-2 glycosylée (P. Ferrara et al. (1987), Febs letters, 226, 1, 47-52). Elle a donc entrepris des recherches pour isoler de grandes quantités d'interleukine-2 glycosylée.

La séparation et la purification à partir d'un surnageant de culture d'une protéine à usage pharmaceutique ne sont pas des problèmes faciles à résoudre. Il est en effet nécessaire d'éliminer les substances contaminantes liées au système de production, notamment les protéines contaminantes de la souche productrice, les acides nucléiques, les endotoxines, les virus et les formes dégradées de la protéine isolée. Il faut d'autre part veiller à ne pas dénaturer cette dernière, de façon à conserver son activité et ne pas provoquer des réactions immunitaires parasites chez le patient. De plus, pour une production à l'échelle industrielle, il est souhaitable que le procédé d'isolement de la protéine ne fasse pas appel à des techniques difficiles à mettre en oeuvre telles que l'immuno-affinité et garantisse un bon rendement en protéine isolée par rapport à la protéine présente dans le milieu de culture.

Des procédés de purification de l'interleukine-2 naturelle et recombinante ont été décrits. K. Katok (Katok K (1985) Biochem and Biophys commun, 127, 1, 182-190) par exemple divulgue une méthode de purification de l'interleukine-2 produite à partir de culture de lymphocytes périphériques activés qui comprend la succession des étapes suivantes : chromatographie d'échange cationique, chromatographie d'échange anionique, chromatographie d'exclusion et chromatographie HPLC de phase inverse. M.P. Weir pour sa part (Weir M.P. (1987) J. of Chromatography, 396, p. 209-215) décrit un procédé d'extraction et de purification d'interleukine-2 recombinante dérivée d'E. coli qui comporte les étapes suivantes : lyse des cellules par sonication, extraction au butanol, dissolution des agrégats d'interleukine-2 avec du chlorure

de guanidine 8 M en présence de dithiothréitol, chromatographie d'exclusion, renaturation de la protéine par dilution du chlorure de guanidine en présence de sulfate de cuivre, chromatographie d'échange cationique et chromatographie HPLC de phase inverse.

05 Ces méthodes font intervenir une étape de chromatographie HPLC de phase inverse, laquelle permet d'obtenir un facteur de purification élevé grâce au caractère hydrophobe de la molécule mais nécessite l'emploi de pH acides et de solvants organiques, conditions peu douces susceptibles de dénaturer l'interleukine-2.
10 Elles ne permettent pas de purifier l'interleukine-2 glycosylée présente dans le surnageant de culture des cellules CHO de façon à satisfaire les critères énoncés ci-dessus.

La demanderesse a donc été surprise de constater qu'il était possible d'isoler l'interleukine-2 glycosylée à partir d'une
15 fraction du surnageant préalablement enrichie en interleukine-2, grâce à la succession des étapes suivantes : chromatographie d'échange cationique, chromatographie d'interaction hydrophobe et chromatographie d'exclusion.

L'invention concerne donc un nouveau procédé d'isolement
20 de l'interleukine-2 glycosylée à partir d'une fraction riche en interleukine-2 issue du surnageant de culture de cellules eucaryotes recombinées, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes successives suivantes :

- a) chromatographie d'échange cationique
- 25 b) chromatographie d'interaction hydrophobe
- c) chromatographie d'exclusion.

De préférence, la fraction riche en interleukine-2 a été séparée du surnageant de culture par double filtration entre une membrane 1 laissant passer cette protéine et une membrane 2 la
30 retenant. La membrane 1 est, par exemple, une membrane de micro-filtration ou d'ultrafiltration. La membrane 2 est une membrane d'ultrafiltration. On apprécie que la membrane 1 ait un seuil d'arrêt supérieur à 30 kDa, en particulier compris entre 50 et 150 kDa et la membrane 2 ait un seuil d'arrêt inférieur à 10 kDa,
35 de préférence compris entre 5 et 10 kDa. Des matières appréciées

pour les membranes 1 et 2 sont l'acétate de cellulose et le polysulfone.

Les cellules eucaryotes recombinées sont des cellules d'origine animale capables de glycosylation. Parmi celles-ci, les
05 cellules CHO sont particulièrement adaptées.

On effectue avantageusement l'étape d'échange cationique dans un intervalle de pH compris entre 4,5 et 6,5, en particulier entre 5,2 et 5,7, sur un support chromatographique constitué d'un gel rigide ou semi-rigide à base d'agarose réticulé, de silice
10 enrobée ou de résine polyvinyle hydrophile.

L'étape de chromatographie d'échange cationique est de préférence précédée d'une étape de chromatographie d'échange anionique.

Il est intéressant alors d'effectuer l'étape d'échange anionique dans un intervalle de pH compris entre 5,5 et 8,5, en particulier entre 6,5 et 8,2, sur un support chromatographique constitué d'un gel rigide ou semi-rigide à base de polymères hydrophiles ou de silice enrobée.
15

Il est avantageux d'effectuer l'étape d'interaction hydrophobe dans un intervalle de pH compris entre 4,5 et 8,0, en particulier entre 6,0 et 8,0, sur un support chromatographique permettant la désorption de l'IL-2 glycosylée sans addition d'agents chaotropiques ou de solvants organiques ou de solvants aqueux ayant un pH inférieur à 4,5 ou supérieur à 8,0. Des exemples
20 de tels supports sont les gels à base d'agarose de silice enrobée de polymères, ou de polyvinyle hydrophile possédant un greffage butyl, phényle ou propyle.
25

On effectue de préférence l'étape de chromatographie d'exclusion dans un intervalle de pH compris entre 5,0 et 8,0, en particulier entre 6,0 et 7,0, sur un support ayant une gamme de fractionnement comprise entre 1 et 250 kDa. Ce dernier est avantageusement à base de dextran ou d'agarose.
30

La demanderesse a été très surprise de découvrir que l'interleukine-2 glycosylée isolée à l'aide du procédé de l'invention présentait par rapport aux autres interleukine-2
35 recombinantes purifiées, en particulier celles dérivées d'E. coli,

des propriétés très favorables à son emploi comme principe actif d'un médicament : activité antitumorale supérieure, excellentes propriétés immunostimulantes, toxicité très inférieure, moindre immunogénicité et solubilité dans un solvant aqueux à un pH physiologique sans ajout d'aucun agent toxique.

05 L'invention concerne donc également un nouveau médicament caractérisé en ce qu'il contient de l'interleukine-2 glycosylée isolée à partir d'un milieu de culture de cellules eucaryotes recombinées qui sécrètent de l'interleukine-2.

10 Les cellules eucaryotes recombinées utiles pour l'invention sont des cellules d'origine animale capables de glycosylation. Parmi ces dernières, on apprécie les cellules d'origine mammifère et, plus particulièrement, les cellules CHO.

15 Cette interleukine-2 glycosylée doit avoir été isolée par un procédé qui permet l'élimination des substances contaminantes liées au système de production et la préservation des propriétés de la molécule. Le procédé de l'invention remplit ces conditions si l'interleukine-2 glycosylée est dans le surnageant de culture.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description ci-après, donnée uniquement à titre illustratif.

20 L'obtention de la souche 109-27, hautement productrice en interleukine-2, et la mise en culture de cette dernière sera d'abord décrite. Puis la mise en oeuvre du procédé de l'invention pour isoler l'interleukine-2 glycosylée ainsi que les essais pharmacologiques, toxicologiques et galéniques effectués sur cette dernière seront exposés.

A - OBTENTION DE LIGNEES CELLULAIRES HAUTEMENT PRODUCTRICES EN INTERLEUKINE-2

I - CONSTRUCTION DES PLASMIDES pSV 720 et pSV 726

30 La construction des plasmides comprend notamment l'isolement de fragments d'ADN à l'aide d'enzymes de restriction à partir de vecteurs préexistants, la synthèse par voie chimique d'oligonucléotides, l'assemblage - éventuellement après modification de leurs extrémités - de ces divers fragments en utilisant une enzyme telle que l'ADN-ligase du bactériophage T4, la

sélection après clonage - après transformation bactérienne dans Escherichia coli - des plasmides puis leur purification.

Elle fait appel à des techniques bien connues de l'homme de l'art.

05 Ces techniques sont notamment décrites dans l'ouvrage intitulé Molecular Cloning : a Laboratory Manual de Maniatis, T. et al. publié en 1982 par les Editions Cold Spring Harbor Press à New York (E.U.A.).

10 L'ensemble des enzymes de restriction nécessaires à la construction des vecteurs ci-après présentés est commercialisé notamment par la Société New England Biolabs (E.U.A.).

L'ADN-ligase du bactériophage T4 est disponible auprès de la Société New England Nuclear (E.U.A.).

a) Le plasmide pSV 720

15 Celui-ci, représenté sur la figure 1, résulte de l'assemblage des 7 fragments d'ADN ci-après par mise en oeuvre des méthodes indiquées précédemment :

- un fragment PvuII-HindIII de 342 paires de bases (ci-après pb) issu du génome SV 40 (Fiers, W. (1978) Nature, 273, 113-120) et
- 20 contenant le promoteur précoce de ce virus,
- un fragment HindIII-BamHI de 504 pb contenant une séquence d'ADN codant pour le précurseur naturel de l'IL-2 dont la séquence de nucléotides AGCTCCACAATGTACAGG située à l'extrémité 5' du brin
- 25 codant est remplacée par la séquence synthétique AGCTTCCACCATGGCTAGG, de manière à disposer, au niveau des nucléotides encadrant le codon ATG, d'une séquence conforme à la séquence consensus CCACCATGG décrite par Kozak, M. ((1984) Nuc. Ac. Res., 12, 857-872),
- un fragment BamHI-BalI de 305 pb issu du gène de l'alphaglobine
- 30 de souris (Nishioka, Y. et Leder, P. (1979) Cell, 18, 875-882) et qui contient l'intron distal de ce gène,
- un fragment HpaI-BamHI de 133 pb issu du génome du virus SV 40 et contenant le signal précoce de polyadénylation de ce virus,
- un fragment BamHI-EcoRV de 185 pb issu du plasmide pBR 322
- 35 (Bolivar, F. (1977) Gene, 2, 95-113),

- un fragment PvuII-EcoRI de 2677 pb issu du plasmide pSV2-dhfr (Subramani, S. et al (1981) Molecular and Cellular Biology, 1, 854-864) déposé à la collection ATCC sous la référence 37146,
- un fragment EcoRI-PvuII de 2295 pb issu du plasmide pBR 322.

05 Le plasmide pSV 720 contient :

 - une unité d'expression pour le précurseur de l'IL-2. Cette unité a pour promoteur le promoteur précoce du virus SV 40 ; elle comporte, en aval de la séquence codant pour le précurseur de l'IL-2, une séquence qui contient le deuxième intron du gène de
10 l'alphaglobine de souris puis le signal précoce de polyadénylation du virus SV 40.

 - une unité d'expression pour la dhfr. Cette unité a pour promoteur le promoteur précoce du virus SV 40 ; elle comporte, en aval de la séquence codant pour la dhfr, la séquence comprise entre
15 les sites MboI en positions 4693 et 4083 - selon la notation de Fiers, W. - sur le génome du virus SV 40 et contenant un intron pour l'antigène t du virus SV 40 puis le signal précoce de polyadénylation du virus SV 40. Cette unité est contenue dans le fragment PvuII-EcoRI issu du plasmide pSV2-dhfr.

20 b) Le plasmide pSV 726

 Ce dernier, représenté sur la figure 2, est issu du plasmide pSV 720 de la façon suivante :

 Le segment d'ADN compris entre les sites de restriction HindIII et HgiAI situé dans la partie amont du segment
25 HindIII-BamHI du plasmide pSV 720 et contenant la séquence correspondant au peptide-signal modifié (il comporte un résidu alanine en position 2 au lieu du résidu tyrosine en raison de l'adoption d'une séquence conforme à la séquence consensus de Kozak) du précurseur naturel de l'IL-2 et au premier acide aminé de l'IL-2 mature, est
30 ensuite remplacé par un oligonucléotide double brin synthétique, codant à partir de son neuvième nucléotide pour le peptide-signal du précurseur naturel de l'hormone de croissance humaine hGH, ci-après noté peptide-signal de l'hGH, et pour le premier acide aminé de l'IL-2 mature.

35 Le plasmide obtenu est le plasmide pSV 726, dont le segment HindIII-BamHI porte la séquence codant pour un précurseur

de l'IL-2 (le précurseur ps-hGH-IL-2) comportant le peptide-signal de l'hGH.

Le plasmide pSV 726 contient :

- une unité d'expression pour le précurseur (ps-hGH)-
05 IL-2. Cette unité a pour promoteur le promoteur précoce du virus SV 40 ; elle comporte, en aval de la séquence codant pour le précurseur de (ps-hGH)-IL-2, une séquence qui contient le deuxième intron du gène de l'alphaglobine de souris puis le signal précoce de polyadénylation du virus SV 40.
- 10 - une unité d'expression pour la dhfr. Cette unité a pour promoteur le promoteur précoce du virus SV 40 ; elle comporte, en aval de la séquence codant pour la dhfr, la séquence comprise entre les sites MbcI en positions 4693 et 4083 - selon la notation de Fiers, W. - sur le génome du virus SV 40 et contenant un intron
15 pour l'antigène t du virus SV 40 puis le signal précoce de polyadénylation du virus SV 40. Cette unité est contenue dans le fragment PvuII-EcoRI issu du plasmide pSV2-dhfr.

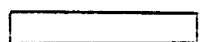
La légende suivante a été adoptée pour les figures 1 et 2.

20



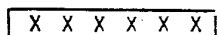
séquence d'ADN issue du plasmide pBR 322

25



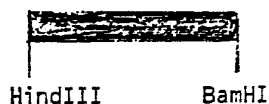
séquence d'ADN issue du génome du virus SV 40

30



séquence d'ADN issue du gène codant pour l'alphaglobine de souris

35



séquence d'ADN constituant la séquence codant pour le précurseur naturel de l'interleukine-2 humaine ou son variant dont un résidu alanine a été substitué au résidu tyrosine en position 2



séquence d'ADN constituant la séquence
codant pour le précurseur (ps-hGH)-IL-2

05



séquence d'ADN codant pour la dhfr.

II - OBTENTION DE LIGNEES CELLULAIRES HAUTEMENT PRODUCTRICES

10

Des cellules CHO dhfr- de la souche DXB11 ont été transfectées avec l'un ou l'autre des plasmides pSV 726 et pSV 720.

Le mode opératoire décrit par Graham, F. et Van der Eb, A. ((1973) Virology, 54, 536-539) a été suivi.

15

Les cellules sont tout d'abord propagées dans du milieu alpha-MEM (Gibco) additionné à raison de 10 % (v/v) de sérum foetal de veau, de 20 µg/ml de gentamycine, de 60 µg/ml de tylocine et de 300 µg/ml de L-glutamine (milieu appelé ci-après milieu non sélectif).

20

Après une phase de lavage, les cellules ensemencées la veille sont recouvertes de milieu non sélectif et l'on ajoute 10 µg de l'un des plasmides en présence de phosphate de calcium mais sans ADN de sperme de saumon. Des cellules ainsi préparées sont incubées 7 heures à 37°C.

25

Les cellules sont ensuite cultivées dans du milieu alpha-MEM additionné, à raison de 5 % (v/v), de sérum foetal de veau pendant 3 jours à 37°C. A l'issue de cette incubation, elles sont réparties à raison de $5 \cdot 10^5$ cellules par boîte de Petri dans du milieu essentiel minimum commercialisé par la Société Gibco sous la référence 041-1095 ; ce milieu est ici utilisé additionné de sérum foetal de veau dialysé Gibco (10 % v/v), de gentamycine (20 µg/ml), de tylocine (50 µg/ml), de L-glutamine (300 µg/ml) et de L-proline (150 µg/ml). Ce milieu ainsi complété est dénommé ci-après milieu sélectif.

30

35

Les cellules ainsi préparées sont incubées à 37°C pendant 2 semaines en renouvelant le milieu sélectif tous les 3 jours. Les

colonies observées à l'issue de cette incubation sont en principe issues de cellules ayant effectivement incorporé un plasmide. Ces colonies sont prélevées et remises en culture séparément dans du milieu sélectif et testées par une mesure de l'activité de type
05 IL-2 pour s'assurer de leur aptitude à produire de l'IL-2. L'activité mesurée ici est l'activité biologique du milieu de culture selon le test de stimulation de la prolifération de la lignée de lymphocytes T de souris IL-2 dépendante CTLL-2 (Baker, P. et al., J. Exp. Med., 1979, 149-173). Cette activité sera appelée par la
10 suite activité CTLL-2 et exprimée en Unité (abrégée U par la suite) par rapport au standard défini dans le cadre du B R M P (Biological Res. Modifiers Program (1984), Lymphokin Res. 4, 193-227).

Les colonies les plus productrices ont été repiquées successivement dans quatre préparations de milieu sélectif
15 présentant l'une par rapport à la précédente une concentration accrue (0,02, 0,05, 0,1 puis 0,2 μ M) en méthotrexate (amethopterin, Sigma) de la manière décrite par Alt. F. et al ((1978 Journal of Biological Chemistry, 253, 1357-1570).

C'est ainsi qu'ont pu être retenues les lignées CHO 58.12
20 et 109.27, hautement productrices en interleukine-2.

B - MISE EN CULTURE DES LIGNEES HAUTEMENT PRODUCTRICES

I - PRODUCTION D'IL-2 AVEC LA SOUCHE CHO 58.12

Après obtention d'un nombre suffisant de cellules par
25 propagation en boîtes rollers (flacons tournants), un fermenteur de production est inoculé à raison de 300 000 cellules/ml environ. Les conditions de fermentation sont les suivantes :

- a) culture en perfusion avec un taux de perfusion de 1 volume par jour environ ;
- 30 b) le surnageant est recueilli en continu après passage à travers un spin-filter (filtre tournant solidaire de l'arbre d'agitation) ;
- c) culture sur microbilles de dextran réticulé recouvertes d'une pellicule de collagène dénaturé (Cytodes III R, commercialisé
35 par la Société PHARMACIA) ;
- d) pH de culture régulé à 7,3 environ ;

- e) pression en oxygène dissous régulée à 30 % (le 100 % ayant été défini comme la saturation du milieu en oxygène après barbotage d'air) ;
- f) température de la culture régulée à 37°C environ ;
- 05 g) le milieu de culture est un milieu à base du mélange suivant (50 : 50) : milieu essentiel minimum d'Eagle MEM (FLOW) et milieu nutritif F12 de Ham (GIBCO).

La fermentation se décompose en deux parties appelées respectivement phase de croissance et phase de production. Pendant
10 la phase de croissance, le milieu est complété avec du sérum de veau foetal (5 %). Pendant la phase de production, ce milieu est complété avec une fraction protéique, appelée F IV-1, isolée à partir de sérum bovin selon le procédé de fractionnement de Cohn. Le milieu de culture est un milieu moyennement riche en protéines
15 (400 mg de protéines totales/l). La production est maintenue pendant au moins 30 jours. La récolte est refroidie en ligne à une température de +6°C. La concentration en protéines totales est de 500 mg/l. L'activité CTLL-2 dans le surnageant de culture est de 40 000 U/ml, soit une concentration d'IL-2 d'environ 2 mg/l (si on
20 admet une activité spécifique de l'IL-2 de 2×10^7 U/mg et une pureté protéique en IL-2 de 0,4 %. Ce surnageant de culture sera dénommé ci-après surnageant de culture A.

II - PRODUCTION D'IL-2 AVEC LA SOUCHE CHO 109.27

- 25 Après trypsinisation préalable des microbilles, provenant d'un préfermenteur, un fermenteur de production est inoculé à partir de celui-ci à raison de 300 000 cellules/ml environ. Les conditions de fermentation sont les suivantes :
- a) culture en perfusion avec un taux de perfusion de 1 volume par
30 jour environ ;
 - b) le surnageant est recueilli en continu après passage à travers un spin-filter ;
 - c) culture sur microbilles de dextran réticulé recouvertes d'une pellicule de collagène dénaturé (Cytodex III R, commercialisé
35 par la Société PHARMACIA) ;
 - d) pH de culture régulé à 7,3 environ ;

- e) pression en oxygène dissous régulée à 100 % ;
- f) température de la culture régulée à 37°C environ ;
- g) le milieu de culture est un milieu à base du mélange suivant
(50 : 50) : milieu essentiel minimum d'Eagle MEM (GIBCO) et
05 milieu nutritif F12 de Ham (GIBCO).

La fermentation se décompose en deux parties appelées respectivement phase de croissance et phase de production. Pendant la phase de croissance, le milieu est complété avec du sérum de veau foetal (2,5 %). Pendant la phase de production, le sérum est
10 remplacé par 3 mg/l d'insuline et 1 mg/l de la lactoferrine comme seules protéines du milieu.

Pendant cette phase, on ajoute en plus 0,5 % de polyvinylpyrrolidone au milieu. Le milieu de culture est donc un milieu synthétique pauvre en protéines (4 mg/l de protéines totales). La
15 production est maintenue pendant au moins 30 jours. La récolte est refroidie en ligne à une température de +6°C. La concentration en protéines totales du surnageant de culture est de 100 mg/l. L'activité CTLL-2 est de 120 000 U/ml, soit une concentration d'environ 6 mg/l et une pureté protéique de 6 %. Ce surnageant de culture
20 sera dénommé ci-après surnageant de culture B.

III - CARACTERISATION DE L'IL-2 SECRETEE PAR LES LIGNEES

1. PURIFICATION DE L'IL-2

L'IL-2 est purifiée à partir d'un litre de surnageant de
25 culture.

On procède tout d'abord à une concentration et à une première purification en soumettant le surnageant à une chromatographie d'échange d'ions sur une colonne d'agarose Sepharose^R (S-Fast Flow - Pharmacia Fine Chemical - Suède) préalablement équi-
30 librée avec de l'acétate d'ammonium 0,05 M à pH 4,5. L'élution est réalisée à l'aide d'acétate d'ammonium 0,05 M (pH 5,5) additionné de NaCl de molarité 0,05 M puis 0,5 M.

Les fractions éluées, qui s'avèrent biologiquement actives d'après une mesure de leur activité CTLL-2, sont
35 rassemblées et leur pool est soumis à une chromatographie liquide à haute performance sur une colonne de phase inverse. Le support

choisi est un gel de silice greffée en C_3 . La colonne a pour dimensions : 1,0 x 25,0 cm.

05 L'élution est réalisée, avec un gradient linéaire d'acétonitrile variant de 5 à 100 % (v/v) dans une solution dans l'eau à 0,1 % (v/v) d'acide trifluoroacétique, en 80 min, avec un débit de 4 ml/min.

10 Les fractions éluées, biologiquement actives, sont rassemblées et leur pool est soumis à une chromatographie de même type que celle ci-dessus réalisée, mais dans des conditions notamment d'élution identiques, sur un gel de silice greffée en C_{18} dans une colonne de dimensions : 2,1 x 10,0 cm.

15 Le pool des fractions éluées recueillies lors de cette chromatographie, biologiquement actives, et présentant, d'après les résultats d'une électrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence de dodécylsulfate de sodium (Laemli, (1970) Nature, 277, 680-685), une pureté en IL-2 supérieure à 95 % constitue le matériel sur lequel est effectuée la caractérisation de l'IL-2.

2. CARACTERISATION DE L'IL-2 PAR DETERMINATION DE LA SEQUENCE AMINO-TERMINALE

20 Les échantillons à traiter sont portés à la surface d'un filtre de bromure d'hexadiméthrine (ou polybrene). Le filtre est introduit dans un séquenceur de protéines (modèle 470 A commercialisé par la Société Applied Biosystems (E.U.A.)) équipé d'un chromatographe (modèle 430 A Applied Biosystems) qui analyse en 25 continu les dérivés phénylthiohydantoïques formés, après chaque cycle de dégradation.

30 Les résultats de cette détermination sont en accord avec la séquence déjà publiée pour le produit naturel (Robb, R. et al. (1984) Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 81, 6486-6490), sauf en ce qui concerne la position 3 où aucun acide amine n'a été détecté. Cette non-détection s'explique par la présence d'un oligosaccharide en position 3.

Cette séquence s'écrit pour ses dix premiers acides aminés :

35

1

10

Ala-Pro-Thr-Ser-Ser-Ser-Thr-Lys-Lys-Thr

L'alanine est le seul résidu détecté en position N terminale. Cela apporte la confirmation que le précurseur (ps-hGH)-IL-2 a été correctement coupé lors de la sécrétion.

C - ISOLEMENT DE L'INTERLEUKINE-2 GLYCOSYLEE A L'AIDE DU PROCEDE DE L'INVENTION

Dans les exemples ci-après, l'eau utilisée est de l'eau déminéralisée purifiée sur un appareil de type Milli-Q et ultra-filtrée.

EXEMPLE 1 : Isolement de l'interleukine-2 glycosylée à partir d'une fraction riche en interleukine-2 issue du milieu de culture de la souche CHO 109.27

1 - Séparation du milieu de culture d'une fraction riche en interleukine-2

On prélève 130 litres du surnageant du milieu B décrit ci-dessus (cf. B - II) et on les préfiltre sur un filtre de seuil d'arrêt 8 µm de façon à éliminer les grosses particules susceptibles de colmater les membranes d'ultrafiltration.

On fractionne et on concentre ensuite l'interleukine-2, dont le poids moléculaire est compris entre 15 kDa et 17 kDa, par double ultrafiltration tangentielle entre une première membrane de seuil d'arrêt 100 kDa et une deuxième membrane de seuil d'arrêt 10 kDa, en opérant de la façon décrite ci-après. Les première et deuxième membranes sont des cartouches spirales en acétate de cellulose, les membranes YM 100 et YM 10 commercialisées par la Société AMICON sont montées en cascade de façon que le filtrat issu de la première membrane alimente le rétentat de la deuxième membrane.

On envoie le préfiltrat sur la première membrane et on concentre d'abord le rétentat de la première membrane ainsi que celui de la deuxième membrane avec des débits de filtrat à travers chacune des membranes d'environ 7,5 litres/heure, jusqu'à obtenir un volume de rétentat de la première membrane d'environ 15 litres.

Puis on diafiltre (lave à volume constant) les rétentats avec .80 litres d'eau ultrapurifiée, de façon à épuiser en IL-2 le rétentat de la première membrane et faire baisser la force ionique de celui de la deuxième membrane. Ensuite, on concentre ce dernier jusqu'à 1,5 litre et on récupère l'interleukine-2 après rinçage de la membrane à l'eau. On filtre le concentrat obtenu à travers un filtre de seuil d'arrêt 0,2 µm de façon à éliminer certains précipités formés au cours de l'ultrafiltration. On obtient ainsi 2,4 litres de solution aqueuse concentrée en IL-2.

2 - Isolément de l'interleukine-2 glycosylée

a) Chromatographie d'échange anionique

Cette étape permet d'éliminer par fixation sur support chromatographique une partie des contaminants tels que les acides nucléiques, les endotoxines et les protéines de CHO et les autres protéines présentes dans le surnageant de culture. L'IL-2 n'est pas retenue sur la colonne dans les conditions d'élution choisies. Le support chromatographique utilisé est un gel à base d'agarose réticulé d'échange d'anions faibles, le DEAE Sepharose fast flow commercialisé par la Société PHARMACIA, placé dans une colonne de verre de diamètre 140 mm sur une hauteur de 210 mm. On ajoute à la solution concentrée en IL-2 obtenue précédemment des cristaux d'acétate d'ammonium de façon à ajuster sa conductivité à 5 mS et on l'injecte dans le support chromatographique préalablement équilibré avec une solution tampon d'acétate d'ammonium de pH 7. Puis on lave la colonne avec cette dernière solution. On réunit l'effluent de fixation et la solution de lavage qui contiennent l'IL-2. On obtient ainsi 7,08 litres de solution aqueuse riche en IL-2.

b) Chromatographie d'échange cationique

Cette étape permet d'éliminer une partie des contaminants tels que la polyvinylpyrrolidone, les protéines de CHO et les autres protéines présentes dans le surnageant de culture, non fixés sur le support chromatographique anionique et de séparer les différentes formes de l'IL-2.

Le support chromatographique utilisé est un gel à base de résine polyvinylique hydrophile, le SP Fractogel 650 (S) commercialisé par la Société MERCK, placé dans une colonne de diamètre 50 mm sur une hauteur de 230 mm. On ajuste à 5,5 le pH de la solution obtenue à l'étape précédente par ajout à cette dernière d'acide acétique et on l'injecte sur la colonne. On élue ensuite l'IL-2 fixée sur la colonne par une solution de force ionique croissante obtenue en mélangeant dans des proportions différentes une solution aqueuse d'acétate d'ammonium 50 mM de pH 5,5 avec une solution aqueuse de chlorure de sodium 2 M. On mesure la densité optique de la solution à 280 nm. On sépare ainsi trois fractions contenant cette protéine :

- la fraction 1 contenant l'IL-2 glycosylée disialilée (forme N₂)⁽¹⁾
- la fraction 2 contenant l'IL-2 glycosylée monosialilée (forme N₁)
- la fraction 3 contenant l'IL-2 non glycosylée non sialilée (forme M).

En réunissant les fractions 1 et 2, on obtient 0,45 litre de solution aqueuse de IL-2 glycosylée.

c) Chromatographie d'interaction hydrophobe

Le support chromatographique utilisé est un gel d'interaction hydrophobe à base de résine polyvinylique hydrophile, le Butyl Fractogel 650 (M) commercialisé par la Société MERCK, placé dans une colonne de diamètre 70 mm sur une hauteur de 135 mm.

On ajoute à la solution d'IL-2 glycosylée obtenue précédemment du sulfate d'ammonium jusqu'à une molarité de 1,2 M et de l'ammoniaque pour ajuster son pH à 6,5 et on l'injecte dans le support chromatographique, préalablement équilibré avec une solution aqueuse de pH 6,5 et de molarité 50 mM en phosphate d'ammonium et 1,2 M en sulfate d'ammonium. L'IL-2 glycosylée est

(1) cf. H. Conradt (1985), Eur. J. Biochem. 153, 255-261 pour une description des différentes formes de l'IL-2.

retenue dans ces conditions sur le support chromatographique. On élimine les produits non retenus par lavage avec successivement la solution précédente et une solution aqueuse de pH 6,5 de molarité 50 mM en phosphate d'ammonium et 0,8 M en sulfate d'ammonium. On élue ensuite l'IL-2 avec une solution aqueuse de pH 6,5 50 mM de phosphate d'ammonium et 0,1 M de sulfate d'ammonium. On obtient ainsi 2,17 litres de solution aqueuse d'IL-2 glycosylée.

d) Chromatographie d'exclusion

Le support de chromatographie d'exclusion est un gel à base de dextran réticulé dont le domaine de fractionnement est compris entre 250 et 5 kDa, le Sephacryl S 200 HR commercialisé par la Société PHARMACIA, placé dans une colonne de diamètre 100 mm sur une hauteur de 900 mm.

Après concentration de la solution obtenue à l'issue de l'étape c) sur une membrane spirale en acétate de cellulose de seuil d'arrêt 10 kDa, on l'injecte dans la colonne préalablement équilibrée avec une solution aqueuse 50 mM de phosphate de sodium de pH 6,5. On élue ensuite l'IL-2 glycosylée avec cette dernière solution. Celle-là est détectée en sortie de colonne par mesure de la densité optique à 280 nm, les différentes fractions collectées étant réunies d'après leur pureté analysée par HPLC de phase inverse.

On obtient ainsi 0,60 litre d'une solution d'IL-2 glycosylée dans du phosphate de sodium.

3 - Caractérisation du produit obtenu

a) Vérification de la pureté du produit obtenu

* **Electrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence de SDS**

Une électrophorèse sur gel de polyacrylamide PAGE-SDS (Sodium Dodécyl Sulfate) en présence de réducteur (dithiothréitol) a été réalisée selon la méthode de LAEMMLI (LAEMMLI, U.K. Anal. Biochem, (1977), 78, p. 459) et suivie d'une coloration à l'argent selon la méthode de MERRIL (MERRIL, C.R., Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1979, vol. 76, p. 4335).

L'électrophorégramme obtenu, reproduit sur la figure 3, permet d'affirmer que la pureté en IL-2 glycosylée est supérieure à 99,5 %.

*** Analyse par HPLC sur colonne de phase inverse**

05 Le support chromatographique est un gel de silice greffée, le Nucleosil C₄ 300 A de granulométrie 5 µm commercialisé par la Société Française de Chromato-colonne. L'élution est réalisée avec un gradient de 6 minutes de (70 % A + 30 % B) à (25 % A + 75 % B), A désignant une solution aqueuse contenant 0,1 %
10 d'acide trifluoroacétique et B une solution d'acétonitrile contenant 0,1 % d'acide trifluoroacétique.

Le chromatogramme obtenu, reproduit sur la figure 4, montre la présence d'une seule impureté représentant environ 5,5 % de la quantité du produit. Celle-là a été identifiée : il s'agit
15 d'IL-2 glycosylée oxydée qui présente également l'activité CTLL-2.

*** Analyse par HPLC sur colonne d'échange de cations**

Le support chromatographique est un gel de silice enrobé d'un acide poly-aspartique, le "polycat A 5 µm 300 A", commercialisé par la Société CLUZEAU. L'élution est réalisée avec un
20 gradient de 3,5 mm de (85 % A' + 15 % B') à (75 % A' + 25 % B') et de 6,5 mm de (75 % A' + 25 % B') à (50 % A' + 50 % B'), A' désignant une solution de pH 5,0 de molarité 25 mM en KH₂PO₄ et B' une solution de pH 5,0 de molarité 25 mM en KH₂PO₄ et 1 M en chlorure de sodium.

25 Le chromatogramme obtenu, reproduit sur la figure 5, permet de quantifier les deux formes de l'IL-2 glycosylée présentes : 48,5 % d'IL-2(N₂) et 51,5 % d'IL-2(N₁). Dans d'autres expériences, la forme N₂ est majoritaire.

30 **b) Caractérisation du produit**

- détermination de l'activité spécifique CTLL-2 = $18 \pm 2 \times 10^6$ U/mg
- détermination de la séquence aminotermine

35 Les échantillons de produit sont portés à la surface d'un filtre de bromure d'hexadiméthrine (ou de polybrene). Le filtre est

introduit dans un séquenceur de protéines (modèle 470 A, commercialisé par la Société Applied Biosystems (E.U.A.)) équipé d'un chromatographe (modèle 430 A - Applied Biosystems) qui analyse en continu les dérivés phénylthiohydantoïques formés.

05 Les résultats de cette détermination sont en accord avec la séquence déjà publiée pour le produit naturel (Robb, R. et al. (1984) Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 81, 6486-6490), sauf en ce qui concerne la position 3 où aucun acide aminé n'a été détecté. Cette non-détection s'explique par la présence d'un oligosaccharide
10 en position 3.

Cette séquence s'écrit pour ses six premiers acides aminés :

1 10
Ala-Pro-Thr-Ser-Ser-Ser-Thr-Lys-Lys-Thr

15 - détermination de la structure primaire

Le produit, réduit et carboxyméthylé, a été digéré pendant la nuit à température ambiante sous l'action de la trypsine
20 ajoutée dans une proportion de 1/30 (poids/poids) et les peptides obtenus ont été séparés par chromatographie HPLC de phase inverse au moyen d'un gradient d'acétonitrile (en présence de 0,1 % d'acide trifluoroacétique) selon la méthode publiée dans le Journal of Immunological Methods (1985), 81, 15-30.

25 Chaque peptide tryptique purifié a fait l'objet d'une analyse d'acides aminés et pour certains d'une dégradation Edman.

Il a ainsi été possible d'analyser la séquence complète d'acides aminés du produit isolé. Celle-ci est en accord avec celle déjà publiée pour le produit naturel (Robb, R. et al. (1984) Proc.
30 Natl. Acad. Sci. U.S.A., 81, 6486-6490).

L'étude des cartes de peptides tryptiques du produit obtenu après réaction avec la vinyl-4-pyridine avant et après réduction du produit avec le dithiothréitol met en évidence un pont disulfure entre la cystéine 58 et la cystéine 105 ainsi qu'un
35 groupe thiol libre (SH) pour la cystéine 125.

- Analyse des oligosaccharides

L'électrophorèse sur gel polyacrylamide en présence de SDS a montré la présence de deux formes du produit de poids moléculaires d'environ 16,5 et 16,0 kDa (cf. figure 3). Le traitement à la neuraminidase de celui-ci (Ferrara P. et al. (1987), 226, 1, 47-52) a fait disparaître les deux bandes observées et apparaître une bande correspondant à un poids moléculaire de 15,5 kDa, ce qui indique que les différences entre les deux sont dues à la présence d'acides sialiques dans la molécule. L'analyse du produit par chromatoelectrofocalisation a permis de confirmer ce résultat et de déterminer les points isoélectriques de ces deux constituants : 7,0 pour la forme de poids moléculaire 16,5 kDa et 7,6 pour la forme de poids moléculaire 16 kDa.

15

- Caractérisation de la structure des sucres

L'analyse des sucres est poursuivie par le traitement de la substance correspondant à la bande de 15,5 kDa (provenant du traitement à la neuraminidase) avec une α -glucanase spécifique. Ce traitement enzymatique réduit le poids moléculaire de la substance de 15,5 kDa à 15,0 kDa sans changement de la charge de la substance. Finalement, le peptide tryptique N terminal purifié a été analysé par FAB MS (Fast Atom Bombardment Mass Spectrometry). Les résultats obtenus au cours de l'ensemble des analyses sont compatibles avec la structure des sucres pour les formes N_2 et N_1 décrites (Conradt et al. (1985), Eur. J. of Biochemistry, 153, 255-261).

30

- Propriétés immunologiques de l'IL-2 glycosylée

Il existe un rapport entre la conformation d'une protéine et ses propriétés antigéniques. L'étude de ces dernières donne donc des indications sur la structure tridimensionnelle de la molécule.

35

Les propriétés antigéniques de l'IL-2 glycosylée ($N_1 + N_2$) et de l'IL-2 coli (préparée comme décrit ultérieurement

au D - I - 2)) ont donc été étudiées de façon comparative avec deux systèmes RIA (Radio-Immuno-Assay). Dans le premier (RIA A), on a utilisé un anticorps monoclonal anti IL-2 naturelle, dans le deuxième (RIA B) un antisérum de mouton anti IL-2 coli. Dans les deux cas, le traceur a été l'IL-2 (N_2) marquée à l'iode 125.

Le tableau 2 ci-après indique les valeurs de IC_{50} (concentration en IL-2 capable de déplacer 50 % de l'IL-2 (N_2) marquée de l'anticorps considéré) obtenues à partir des courbes de déplacement pour chacun de ces systèmes (les valeurs et les écarts types indiqués ont été calculés à partir de trois déterminations indépendantes de ce paramètre).

TABLEAU 2

IC_{50} avec le système RIA A (pM)	IC_{50} avec le système RIA B (pM)
IL-2 glycosylée ($N_1 + N_2$) 57 ± 9	124 ± 18
IL-2 coli 135 ± 6	204 ± 18

Il apparaît que les valeurs de IC_{50} obtenues pour l'IL-2 coli sont significativement différentes de celles observées pour l'IL-2 glycosylée ($N_1 + N_2$), résultat particulièrement net et fiable avec le système RIA A où l'anticorps est monoclonal. Cette observation montre une différence de structure tridimensionnelle entre ces deux formes de l'IL-2 qui possèdent donc des déterminants antigéniques différents. Or, un des problèmes rencontrés avec l'IL-2 coli est son immunogénicité (Krigel R.L. et al. (1988) Cancer, Res, 48, 3875-3881 et Allegretta M. et al. (1986) J. of Clin. Immun. 6, 6, 481-490). Ceux-ci sont selon toute vraisemblance dus à des épitopes spécifiques de l'IL-2 coli et absents de l'IL-2 naturelle. Il est très probable, et les résultats ci-dessus le confirment, que l'IL-2 glycosylée, proche par sa structure et son mode de synthèse de l'IL-2 naturelle, n'a pas ces épitopes.

4 - Bilan

La quantité d'IL-2 présente dans le produit retenu a été mesurée à l'issue de chacune des étapes d'isolement par dosage de l'activité CTLL-2 de ce dernier. Les différentes formes de l'IL-2 ont la même activité CTLL-2.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 1 ci-après.

TABEAU 1

Produit retenu à l'issue de l'étape	Volume (1)	Activité CTLL-2 totale (10^{10} U)	Activité CTLL-2 volumique (U/ml)	Rendement
Production (surnageant)	127	1,521	$1,2 \times 10^5$	
1-	2,4	1,290	$4,8 \times 10^6$	85 %
2- a)	7,08	1,212	$1,2 \times 10^6$	94 %
2- b)	0,45	0,982	$2,2 \times 10^7$	81 %
2- c)	2,17	0,874	$3,6 \times 10^6$	89 %
2- d)	0,60	0,751	$1,2 \times 10^7$	86 %

Rendement global = 49,4 %

30

Ce tableau montre que l'activité CTLL-2 par unité de volume est 100 fois plus concentrée à l'issue de l'étape 2- d) que dans le surnageant de culture et que le rendement global en IL-2 glycosylée est d'environ 50 % par rapport à l'IL-2 totale présente dans le surnageant.

35

D - ETUDE PHARMACOLOGIQUE

L'intérêt de l'interleukine-2 glycosylée, obtenue à partir d'un milieu de culture de cellules eucaryotes recombinées
05 comme principe actif d'un médicament, sera mieux compris à la lecture des résultats des essais pharmacologiques, toxicologiques et galéniques décrits ci-après. Ceux-ci ont été réalisés avec l'IL-2 glycosylée recombinante produite par la souche 109.27 et isolée comme décrit dans l'exemple 1 (cf. partie C- ci-dessus). Le
10 produit sera appelé en général dans cette étude IL-2 glycosylée et parfois, en cas de risque de confusion, IL-2 glycosylée (N₁ + N₂).

ESSAIS PHARMACOLOGIQUES

15 I - ACTIVITE IN VITRO SUR LES LYMPHOCYTES HUMAINS :

Etude comparative de l'interleukine-2 glycosylée et de l'interleukine-2 recombinante dérivée d'E. coli dans la génération des cellules LAK

20 1 - Intérêt en cancérologie de l'étude de la génération des cellules LAK in vitro

L'immunothérapie adoptive représente une nouvelle approche thérapeutique du cancer qui a pour but d'amplifier les
25 réactions de défense immunologique de l'hôte vis-à-vis de la tumeur.

La culture de leucocytes humains du sang périphérique en présence de l'IL-2 confère à ces cellules une puissante capacité cytotoxique contre les cellules tumorales. Les cellules effectrices
30 sont dénommées LAK ("Lymphokine Activated Killers") (LOTZE M.T. et al. (1981) Cancer. Res., 41, 4420-4426). L'action des cellules LAK est dirigée contre tout type de tumeurs y compris les cellules de tumeurs fraîchement prélevées. Elles n'exercent aucune activité dirigée contre les cellules normales. Les cellules LAK sont
35 fonctionnellement définies comme toute cellule qui développe après

stimulation par l'IL-2 une cytotoxicité non MHC ("Major Histocompatibility Complex") restreinte, dirigée notamment contre des cellules tumorales résistantes à l'action des cellules NK ("Natural Killers") sans sensibilisation antigénique préalable. Cette définition distingue clairement des cellules LAK les cellules NK (spontanément cytotoxiques sans activation par l'IL-2) et les cellules T cytotoxiques dont l'action est MHC restreinte et nécessite une primosensibilisation avec la cible (TALMADGE J.E. et al. (1986) Cancer Treat. Rep., 70, 171-1982).

Des travaux récents suggèrent en réalité que des cellules LAK sont probablement des cellules NK potentialisées par l'IL-2 et que les précurseurs LAK dérivent donc en fait de "Large granular lymphocytes" (ITOH K. et al. (1986) J. Immunol., 136, 3910-3917).

L'interleukine-2 génère non seulement in vitro mais également in vivo des cellules LAK. La capacité d'une IL-2 particulière de générer des cellules LAK in vitro représente donc un indice important de son activité anti-tumorale potentielle.

2 - Méthode expérimentale

a) Les interleukines-2 testées

- l'IL-2 glycosylée ($N_1 + N_2$)
- l'IL-2 glycosylée (N_2), obtenue en soumettant la fraction 1 isolée au cours de l'étape b) de l'exemple 1 (partie C) aux étapes c) et d) de ce dernier ;
- l'IL-2 non glycosylée (M), obtenue en soumettant la fraction 3 isolée au cours de l'étape b) de l'exemple 1 aux étapes c) et d) de ce dernier ;
- l'IL-2 recombinante dérivée d'E. coli, ci-après parfois abrégée IL-2 coli, préparée comme décrit ci-après.

Le gène codant pour l'IL-2 a été transfecté dans des cellules E. coli et a été exprimé à des taux élevés. Après solubilisation, renaturation et purification par chromatographie HPLC en phase inverse et chromatographie d'exclusion selon la méthode

décrite par Liang et al. (Liang S. I et al., (1985) Biochem. J. 229, 429-439), la protéine recombinante a montré une activité spécifique de $5-10 \times 10^6$ U/mg.

05 b) Préparation des lymphocytes

Le milieu de culture utilisé était constitué de RPMI 1640 (Gibco-BRL) additionné de 10 % de sérum humain AB (CTS Purpan, Toulouse, France) inactivé par la chaleur (1 heure à 56°C), 2 mM de pyruvate de sodium, 5 mM d'HEPES, 4 mM de L-glutamine, 100 U/ml de
10 pénicilline, 100 µg/ml de streptomycine et 0,25 µg/ml d'amphotéricine B (ce milieu sera désigné par la suite comme milieu complet).

Le sang d'un sujet sain a été prélevé aseptiquement.

Les lymphocytes périphériques ont été séparés des
15 érythrocytes et des granulocytes par centrifugation sur gradient de Ficoll-Hypaque (PHARMACIA) selon la méthode décrite par A. Boyum dans "Methods in enzymology" (G. Di Sabato, J.J. Langone, H. Van Vunakis, ed.), vol. 108, p. 88, Academic Press, Inc., 1984.

Les lymphocytes ont été lavés 3 fois en milieu complet.

20 Les cellules adhérentes (monocytes et macrophages) ont été éliminées par adhérence sur plastique : les cellules ont été suspendues dans le milieu complet à la concentration de 5 à 10×10^6 par ml et ensemencées dans des flacons de culture à une densité de 1 à 2×10^6 cellules par cm^2 . Les flacons ont été placés
25 à 37°C en présence de 5 % de CO_2 pendant 1 heure au bout de laquelle les lymphocytes non adhérents ont été récupérés par aspiration après agitation douce des flacons de culture.

c) Culture in vitro des lymphocytes en présence d'IL-2

30 Les lymphocytes non adhérents isolés au paragraphe précédent ont été lavés une fois et mis en culture à la concentration de 10^6 cellules par ml dans le milieu complet en présence de différentes concentrations de chacune des deux IL-2 testées (100, 30, 10 et 1 U/ml) à 37°C et en présence de 5 % de CO_2 pendant une
35 durée de 48 heures. Les cellules ont ensuite été lavées. Elles sont considérées par la suite comme les cellules effectrices.

d) Mise en évidence de l'activité cytotoxique

L'activité cytotoxique des cellules effectrices est évaluée après 4 heures de contact avec des cellules cibles de la lignée lymphoïde T humaine C8166-45/C63 décrite par S.Z. Salahuddin et al. (Virology 129, 51-64, (1983) et Science 223, 703-707, (1984)), résistante à une cytotoxicité de type NK. Cette lignée sera appelée par la suite lignée HT₁. 6 x 10⁶ cellules cibles sont radiomarquées avec 200 µCi de ⁵¹Cr (chromate de sodium, Amersham) pendant 1 heure à 37°C dans un volume de 0,4 ml de milieu complet sans sérum puis lavées plusieurs fois. Les cellules cibles (10⁴ dans un volume de 0,1 ml de milieu complet) et les cellules effectrices dans un volume de 0,1 ml de milieu complet sont distribuées dans des plaques de microtitration à fonds ronds (Falcon) à raison de plusieurs rapports cellules effectrices sur cellules cibles (50:1, 10:1, 1:1). Les plaques de microtitration sont centrifugées et, après 4 heures d'incubation à 37°C en présence de 5 % de CO₂, le surnageant de chaque puits est récupéré et la radioactivité mesurée à l'aide d'un compteur gamma. La cytotoxicité est déterminée par la quantité de ⁵¹Cr libéré par les cellules cibles mortes. La cytotoxicité non spécifique est déterminée par la quantité de radioactivité spontanément libérée par les cellules cibles en l'absence de cellules effectrices. La cytotoxicité maximum est déterminée par la quantité de radioactivité libérée par les cellules cibles en l'absence de cellules effectrices et en présence d'acide chlorhydrique 1 N. Chaque point expérimental est triplé (sextuplé pour la détermination des cytotoxicités non spécifique et maximum) et le pourcentage de lyse spécifique est calculé comme la moyenne plus ou moins l'écart type selon la formule :

30 Pourcentage de lyse spécifique

$$\frac{\text{cpm des puits expérimentaux} - \text{cpm non spécifique}}{\text{cpm maximum} - \text{cpm non spécifique}} \times 100$$

Le protocole décrit dans les paragraphes b), c) et d) ci-dessus a été suivi pour l'IL-2 glycosylée (N₂) et l'IL-2 non

glycosylée (M). Un protocole peu différent décrit par H.D. Engers
 (Engers H.D. et al. (1986) Methods in enzymology, 132, 437-457) a
 été suivi pour l'IL-2 glycosylée ($N_1 + N_2$) et l'IL-2 coli,
 lesquelles ont été essayées avec des cellules cibles des lignées
 05 HT₁, Daudi et Jurkatt, toutes résistantes à la lyse NK.

3 - Résultats

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux
 10 3 et 4 ci-après.

TABEAU 3

Activité cytolytique contre la lignée HT₁ des
 15 cellules LAK générées à partir de donneur sain par
 l'IL-2 non glycosylée (M) et l'IL-2 glycosylée (N_2)

20	Doses d'IL-2 activité CTLL-2	Rapport cellules effectrices/ cellules cibles	Pourcentage de lyse spécifique avec l'IL-2 non glycosylée (M)	Pourcentage de lyse spécifique avec l'IL-2 glycosylée (N_2)
25	1 000 U/ml	50/1	43,6 $\pm$ 1,2	53,9 $\pm$ 1,6
		10/1	24,1 $\pm$ 0,6	36,3 $\pm$ 3,2
		1/1	6,5 $\pm$ 7,9	33,4 $\pm$ 2,4
	100 U/ml	50/1	30,9 $\pm$ 2,6	40 $\pm$ 6,1
		10/1	13,7 $\pm$ 1,8	15,4 $\pm$ 2,8
		1/1	0	5,6 $\pm$ 4,1
30	10 U/ml	50/1	11,3 $\pm$ 1,7	23 $\pm$ 3,9
		10/1	0	7,1 $\pm$ 2,2
		1/1	0	2,9 $\pm$ 4,2
	1 U/ml	50/1	0	7,8 $\pm$ 3,9
		10/1	0	8,5 $\pm$ 3,8
		1/1	0	0,4 $\pm$ 0,8
35				

TABLEAU 4

05 Activités cytolytiques contre les lignées Daudi,
 HT₁ et Jurkatt des cellules LAK générées par plusieurs
 interleukines-2 à partir de lymphocytes de donneurs sains

Cellules cibles	Concentration d'IL-2	
	20 U/ml	50 U/ml
Daudi	IL-2 coli	1 *
	IL-2 glycosylée (N ₁ + N ₂)	1,1
HT ₁	IL-2 coli	1
	IL-2 glycosylée (N ₁ + N ₂)	1,9
Jurkatt	IL-2 coli	1
	IL-2 glycosylée (N ₁ + N ₂)	0,95

* Les résultats sont exprimés en index d'activité par rapport à
 l'IL-2 recombinante coli, défini par :

25 Index d'activité = $\frac{\text{pourcentage de lyse obtenu avec IL-2 coli}}{\text{pourcentage de lyse obtenu avec l'IL-2 glycosylée}}$

Le tableau 3 montre pour des cellules cibles de la
 lignée HT₁ :

- 30 - la supériorité de l'IL-2 glycosylée (N₂) pour des
 concentrations d'IL-2 inférieures à 1 000 U/ml ;
 - cette supériorité augmente lorsque le rapport cellule
 effectrice/cellule cible diminue ;
 - cette supériorité diminue pour de fortes doses d'IL-2
 35 (1 000 U/ml) et/ou pour un rapport cellules effectrices/cellules
 cibles élevé.

Le tableau 4 montre pour des cellules cibles des lignées Daudi, HT₁ et Jurkatt :

- la supériorité de l'IL-2 glycosylée par rapport à l'IL-2 coli à une concentration en IL-2 de 20 U/ml ;

05 - cette supériorité diminue lorsque la concentration d'IL-2 augmente.

Ces études montrent que :

- l'IL-2 glycosylée génère des cellules LAK actives contre trois lignées tumorales ;

10 - cette activité LAK est obtenue avec des doses moins importantes avec l'IL-2 glycosylée qu'avec l'IL-2 coli ;

- l'activité des cellules LAK générées par l'IL-2 glycosylée est supérieure à l'activité des cellules LAK générées par l'IL-2 coli dans deux situations :

15 * petite dose d'IL-2

* rapport cellule effectrice/cellule cible défavorable (inférieur à 10/1).

Ces résultats sont particulièrement prometteurs pour l'utilisation clinique de l'IL-2 glycosylée puisque ces études
20 montrent que cette forme d'IL-2 peut être utilisée à des doses plus faibles que l'IL-2 coli pour un effet antitumoral similaire. La toxicité liée à l'administration du produit devrait donc être sensiblement réduite.

25 II - ACTIVITE IN VIVO CHEZ L'ANIMAL

1 - ACTIVITE IMMUNOMODULATRICE :

Stimulation de la réponse immunitaire à médiation humorale

30 a) But de l'étude

Cette étude a été motivée d'une part parce qu'il a été montré que l'IL-2 coli stimule in vivo une réponse immunoglobuline M (ci-après abrégée IgM) polyclonale chez des souris non immunisées
35 et une réponse IgM spécifique chez des souris immunisées (C.M. Wegand (1986), J. Exp. Med. 163, 1607-1612) et d'autre part que

05 L'IL-2 coli est capable d'induire in vitro sur des cellules humaines la différenciation des lymphocytes B activés (T.A. Waldmann et al. (1984), J. Exp. Med. 160, 1450-1466). Elle a pour but l'appréciation de l'activité in vivo de l'interleukine-2 glycosylée dans la stimulation de la réponse immunitaire à médiation humorale chez la souris BALB/C, par mesure de la réponse splénique primaire à une immunisation avec un antigène thymo-dépendant (l'ovalbumine).

10 b) Protocole expérimental

α) Animaux - Conditions d'environnement

- * Espèce : souris BALB/C
- * Acclimatation : Les animaux ont été soumis à une
15 période d'acclimatation d'une semaine avant le début de traitement
- * Nombre d'animaux : 90 femelles
- * Poids des animaux en début d'étude : 20 g environ
- * Alimentation : Les animaux ont reçu à volonté de
l'aliment composé complet A04.c, commercialisé par la Société V.A.R
- 20 * Abreuvement : L'eau de ville a été distribuée à volonté
par un système d'abreuvement automatique
- * Conditions d'environnement :
 - température à 22°C (+ 2°C)
 - hygrométrie à 60 % (+ 10 %)
 - 25 - photopériode 12/24 h
- * Habitat : Les animaux étaient entretenus dans des cages
en acier inoxydable. Ils ont été répartis en groupes de 15 de même
lot stabulés en cages de 5 individus.

30 β) Traitement des animaux

Les animaux ont été immunisés avec de l'ovalbumine de pureté électrophorétique 98 % (commercialisée par la Société SIGMA sous la référence A-5378) au jour 1 de l'étude par voie intra-péritonéale, à raison de 50 µg d'ovalbumine en solution dans 0,5 ml
35 de tampon PBS (Phosphate Buffer Saline) stérile) par souris. L'ovalbumine (poids moléculaire : 40 000, 5 déterminants anti-

géniques connus) a été choisie comme antigène car c'est une protéine xénogénique qui présente une bonne immunogénicité.

L'IL-2 glycosylée a été administrée aux jours 2, 4, 6 et 8 par voie intrapéritonéale dans du sérum normal de souris BALB/C dilué au 80^{ème} dans du tampon PBS. La présence de protéines dans ce sérum évite toute perte d'IL-2 par adsorption non spécifique sur les parois des tubes ou des seringues sans influencer significativement sur le système immunitaire. Le tableau ci-après précise les doses administrées aux différents lots de 15 souris.

Lot n°	Dose administrée (U/kg)	Volume administré
0	véhicule	0,5 ml/souris
1	IL-2/7,5 10 ⁴	0,5 ml/souris
2	IL-2/3,75 10 ⁵	0,5 ml/souris
3	IL-2/1,88 10 ⁶	0,5 ml/souris
4	IL-2/9,38 10 ⁶	0,5 ml/souris
5	IL-2/4,69 10 ⁷	0,5 ml/souris

Les animaux ont été sacrifiés au jour 9.

γ) Mesures effectuées

Après pesage des cadavres d'animaux, leurs rates ont été prélevées stérilement, pesées et broyées mécaniquement. Le broyat a été filtré sur gaze stérile afin d'éliminer tous les agrégats conjonctivo-adipeux et centrifugé 10 minutes à 400 g. Les splénocytes ont été mis en suspension et lavés trois fois. Après lavage, une série de comptages a été réalisée pour calculer le nombre total des splénocytes par animal et répartir ces derniers à la concentration cellulaire désirée. Les splénocytes ont été mis en culture pendant 96 heures dans des puits de 5 ml de plaques en polystyrène à raison de 2×10^6 splénocytes vivants par ml de milieu de culture, lequel comprend 10 % de sérum de veau foetal (milieu RPMI, 1640 commercialisé par la Société BIOPRO).

Les IgM anti-ovalbumines ont ensuite été dosés par radio-immunométrie de la façon suivante :

- 05 * Adsorption sur plaque PVC de l'ovalbumine (100 µl par puits d'une solution à 50 µg/ml dans un tampon phosphate 0,1 M pH 7,5), 18 heures à +4°C.
- * Après lavage des puits avec du tampon phosphate 0,1 M pH 7,5, saturation des puits pendant 1 heure 30 à +37°C, avec 200 µl d'une solution de surfactif Tween 20 1 % (v/v) dans le tampon phosphate 0,1 M pH 7,5.
- 10 * Après lavage des puits, incubation avec 100 µl par puits de surnageant de culture à doser dilué au 1/2 dans du tampon phosphate 0,1 M pH 7,5 avec 0,1 % (p/v) de gélatine et 0,1 % (v/v) de surfactif Tween 20, 18 heures à +4°C.
- 15 * Après lavage des puits, incubation avec 100 µl par puits d'anti-corps polyclonal de chèvre anti IgM de souris (distribué par Immuntect sous la référence 115-0575) radiomarké à l'iode 125 (7,5 µCi/µg, 250 000 cpm/100 µl, 3 heures à +37°C).
- * Après lavage des puits avec une solution, NaCl 0,9 % (p/v) Tween 20 0,1 % (v/v), la radioactivité fixée a été mesurée à 20 l'aide d'un compteur gamma.

Les différentes mesures rapportées ci-dessous, effectuées pour chacune des souris, ont permis de calculer pour chaque lot de souris donc chaque dose administrée la valeur pondérale moyenne de la rate rapporté au poids corporel, le nombre total moyen de 25 splénocytes par animal et la quantité moyenne d'IgM anti-ovalbumine produite par les splénocytes, cette dernière étant proportionnelle à la radioactivité.

c) Résultats

30

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 6, 7 et 8. On constate au regard de celles-ci :

- 35 - à partir de la dose $1,88 \times 10^6$ U/kg (soit 37 500 U par souris) l'IL-2 glycosylée accroît de plus de 50 % en valeur relative le poids de la rate et le nombre total de splénocytes par animal. Il a d'ailleurs été montré par des essais non rapportés ici

que les lymphocytes T totaux augmentent plus en proportion que les autres (20 %).

05 - une dose supérieure à $1,88 \times 10^6$ U/kg augmente de manière significative la quantité des IgM spécifiques produite par chaque plasmocyte.

L'IL-2 glycosylée a donc une activité immunostimulante importante.

10 2 - ACTIVITE ANTITUMORALE

a) But de l'étude

Cette étude a pour but l'évaluation de l'interleukine-2 glycosylée dans l'immunothérapie du cancer chez la souris.

15 b) Méthode expérimentale

20 L'étude a porté sur des souris DBA/2 réparties en lots de cinq souris. Au jour 0, $0,2 \times 10^4$ cellules syngéniques de lymphosarcome SL2 ont été injectées dans les souris par voie intrapéritonéale.

25 Dans une première série d'expériences, différentes doses d'interleukine-2 glycosylée (0, 8, 40, 200, 1 000 et 5 000 U/jour ont été injectées aux souris de 6 lots différents de cinq souris aux jours 3-7 et 10-14. Le nombre de souris survivantes chaque jour pendant une période de 30 jours a été compté. Cette première série d'expériences a permis de montrer une activité antitumorale de l'interleukine-2 glycosylée administrée à la dose de 5 000 U/jour.

30 Dans une deuxième série d'expériences, on a fixé la dose administrée à 5 000 U pendant les jours 10 à 14 et on a fait varier les doses administrées précédemment ainsi que les jours d'administration de ces dernières.

c) Résultats

Les résultats de la deuxième série d'expériences sont rassemblés dans le tableau 5 ci-après et illustrés sur la figure 9. Celle-ci représente le nombre de souris survivantes au cours d'une période de 30 jours pour les lots 0, 1, 2 et 3 du tableau 5.

TABLEAU 5

10	Lot	Dose d'interleukine-2 glycosylée administrée (U/jour)		souris survivantes au bout de 30 jours
15	0 témoin	0	jours 10-14 0	0/5
20	1	jours 3-7 100	jours 10-14 5 000	4/5
25	2	0	jours 10-14 5 000	3/5
	3	jours 5-7 100	jours 10-14 5 000	5/5

Ces résultats montrent de façon très nette l'activité antitumorale importante de l'interleukine-2 glycosylée.

30 III - ETUDE MECANISTIQUE

Etude comparée de la liaison de l'interleukine-2 avec le récepteur de moyenne affinité pour l'IL-2 glycosylée et l'IL-2 coli.

1 - INTERET DE L'ETUDE

L'activité biologique de l'IL-2 qui a été reconnue la première est celle de permettre la croissance de lymphocytes T
05 activés (voir Smith A.K. et al. (1988), Sciences 240, p. 1169-1176 pour les références). La réponse à l'IL-2 est, dans ce cas, médiée par l'interaction de l'IL-2 avec un récepteur sur la surface des lymphocytes T dits de haute affinité. Ce récepteur est constitué de deux sous-unités, l'une couramment appelée p55 et l'autre p70,75
10 (Thoshio Tanaka et al. (1988), J. Clin. Invest, (82), p. 316-321). La sous-unité p70,75 assure la transduction du signal. Il a été montré que d'autres cellules sont sensibles à l'action de l'IL-2 à travers le même récepteur : lymphocytes B, monocytes (Sharon M. et al. Journal of Experimental Medecine, 167, p. 1265-1270) cellules
15 NK, cellules à activité LAK, LGL (Tsuda M. et al. (1987), PNAS, 84, p. 5394-5398). L'IL-2 agit également sur la prolifération et la différenciation des oligodendrocytes.

Très récemment, il a été montré que l'IL-2 joue également un rôle dans l'induction de la synthèse des récepteurs de haute
20 affinité sur des cellules sensibles.

Des clones de lymphocytes B, les cellules LGL comprenant les cellules NK, et les cellules T périphériques expriment de façon constitutive la seule sous-unité p70,75, qui donne dans ce cas un récepteur dit de moyenne affinité (Smith A.K. et al. (1988), 240,
25 p. 1169-1176). L'interaction de l'IL-2 avec le récepteur de moyenne affinité conduit à l'induction de la synthèse de la sous-unité p55 et par là même à l'expression du récepteur de haute affinité. La concentration d'IL-2 nécessaire pour agir sur le récepteur de moyenne affinité est plus forte pour agir sur le récepteur de haute
30 affinité. L'initiation de la réponse à l'IL-2 nécessite donc une concentration plus forte d'IL-2 que son maintien.

Il nous a paru intéressant d'étudier de façon comparée l'interaction de l'IL-2 avec le récepteur de moyenne affinité pour l'IL-2 glycosylée et l'IL-2 non glycosylée dérivée d'E. coli, car
35 cette interaction paraît constituer une étape limitante dans l'établissement d'une réponse biologique à l'IL-2.

2 - METHODE EXPERIMENTALE

Cette étude a été réalisée sur la lignée MLA-144T, lignée cellulaire de gibbon qui exprime de façon constitutive la seule sous-unité p70,75 et possède donc uniquement le récepteur de moyenne affinité.

L'IL-2 marquée à l'iode 125 a été préparée à partir d'IL-2 glycosylée ou d'IL-2 coli (préparée comme décrit précédemment en D- I- 2a) selon la méthode de Greenwood et al. (Greenwood F.C. et al. (1963) Biochem. J. 89, 114-123) avec une quantité limitée de chloramine T comme décrit par J. Roth (Roth J. et al. (1975), Methods in Enzymology, 37, 223-233).

Des fractions aliquotes de 3×10^6 cellules MLA-144T ont été incubées dans des puits de plaques de microtitrage avec des quantités variables d'IL-2 marquée à l'iode 125 (de 5 à 5 500 pM) pendant 4 heures à 4°C en présence ou en l'absence de quantités 500 fois plus grandes d'IL-2 non marquée dans un volume total de 150 µl de milieu tampon (RPMI 1640, 1 % sérum foetal de veau, 0,1 % azide de sodium NaN_3).

Les radioactivités liées et libres ont été séparées par centrifugation sur un coussinet d'huile de phtalate, les surnageants ont été aspirés et la radioactivité présente dans le culot mesurée dans un compteur gamma (le Beckman 4000). Ces mesures ont permis de tracer les courbes de saturation et calculer la constante de dissociation K_D entre les récepteurs cellulaires et chacune des IL-2 testées.

Les déplacements des récepteurs cellulaires de l'IL-2 marquée ont été déterminés en incubant environ 3×10^6 cellules MLA-144T ayant 4×10^5 dpm (1 nM) d'IL-2 marquée à l'iode 125 en présence de quantités croissantes soit d'IL-2 glycosylée (pour l'IL-2 marquée glycosylée) soit d'IL-2 coli (pour l'IL-2 marquée coli).

L'incubation a été effectuée pendant 4 heures à 4°C dans des puits de plaques de microtitration ayant un volume total de 150 µl de milieu tampon (RPMI 1640, 1 % de sérum foetal, 0,1 % d'azide de sodium).

Les radioactivités liées et libres ont été séparées par centrifugation sur un coussinet d'huile de phtalate, les surnageants ont été aspirés et la radioactivité présente dans le culot a été mesurée dans un compteur gamma (le Beckman 4000). Ces
05 mesures ont permis de calculer pour chaque IL-2 la quantité d'IL-2 marquée liée en fonction de la quantité d'IL-2.

Pour étudier la cinétique d'association de l'IL-2 avec le récepteur de moyenne affinité, des fractions aliquotes de 3×10^6 cellules de la lignée cellulaire MLA-144T ont été incubées
10 avec de l'IL-2 marquée à l'iode 125 (1 nM) dans un volume total de 150 μ l pendant des durées variables à une température de 4°C. La quantité d'IL-2 marquée liée aux cellules a été déterminée à différents moments de l'incubation.

Pour étudier la cinétique de dissociation de l'IL-2, des
15 fractions aliquotes de 3×10^6 cellules de la lignée cellulaire MLA-144T ont d'abord été incubées pendant 4 heures à 4°C avec de l'IL-2 marquée à l'iode 125. Une quantité 500 fois plus importante d'IL-2 glycosylée ou d'IL-2 coli a été ajoutée et la quantité d'IL-2 marquée liée aux cellules a été déterminée à différents
20 moments de l'incubation.

3 - RESULTATS

Le tableau ci-après rassemble certains des résultats
25 obtenus au cours de l'étude cinétique d'association et de dissociation ainsi que de l'étude de saturation pour l'IL-2 glycosylée et l'IL-2 coli.

TABEAU 6

30		IL-2 coli	IL-2 glycosylée
	$t_{1/2}$ association (min)	67	60
	$t_{1/2}$ dissociation (min)	88	1069

$t_{1/2}$ association = temps au bout duquel la concentration en IL-2
35 liée est la moitié de la concentration en IL-2 liée atteinte en un temps infini.

$t_{1/2}$ dissociation = temps au bout duquel la concentration en IL-2 liée est la moitié de la concentration en IL-2 liée au temps $t = 0$.

05 La figure 10 représente la variation du Logit .

$$\frac{\text{quantité d'IL-2 liée}}{\text{quantité maximale d'IL-2 marquée}}$$

en fonction de la concentration en IL-2 (étude de déplacement).

10 Il apparaît sur le tableau ci-dessus que l'association de l'IL-2 glycosylée avec ses récepteurs cellulaires est plus stable que celle entre l'IL-2 coli et ces derniers.

Ceci permet à l'IL-2 glycosylée d'être efficace biologiquement à des concentrations inférieures à celles où l'IL-2 coli est efficace. Ce résultat, déjà observé dans l'étude de l'activité in vitro sur les lymphocytes humains, doit permettre de réduire la toxicité liée à l'administration grâce à l'utilisation de doses plus faibles.

20 ESSAIS TOXICOLOGIQUES

IV - TOXICITE

1 - TOXICITE PAR VOIE INTRAPERITONEALE CHEZ LA SOURIS

25

a) But de l'étude

30

Il a été montré que le principal effet toxique de l'IL-2 recombinée (produite chez E. coli) administrée à l'homme ou à la souris, seule (M. Rosenstein et al., (1986) J. Immunol., 137, 1735-1742) ou avec des cellules LAK (S.E. Ettinghausen (1988) J. Natn Cancer Inst. 80, 3, 177-188), se manifestait par une extravasation de liquide intravasculaire et donc une rétention de ce liquide dans certains organes (thymus, rate, poumons, foie, reins).

35

Aussi, le but de cette étude est d'évaluer la toxicité éventuelle de l'interleukine-2 glycosylée de type rétention de

liquide intravasculaire chez la souris BALB/C par la voie intrapéritonéale, après 3 administrations quotidiennes pendant 3 jours et 6 jours.

05 b) Protocole expérimental

Le protocole expérimental suivi correspond à celui décrit par M. Rosenstein (M. Rosenstein et al. (1986) J. Immunol, 137, 1735-1742).

10

α) Animaux - Conditions d'environnement

- * Espèce : souris BALB/C
- * Age des animaux en début d'étude : environ 4 semaines
- * Acclimatation : 1 semaine
- 15 * Nombre d'animaux : 120 femelles
- * Poids des animaux au début de l'étude : 20 g
- * Méthode d'identification : marquage aux oreilles
- * Alimentation : aliment complet A04C, commercialisé par la Société V.A.R., à volonté
- 20 * Abreuvement : eau de ville à volonté
- * Conditions d'environnement :
 - température à 22°C ($\pm$ 2°C)
 - hygrométrie à 60 % ($\pm$ 10 %)
 - photopériode 12/24 h
- 25 * Habitat : cages en acier inoxydable. Les animaux sont répartis en groupes de 12 de même lot.

β) Traitement des animaux

30 L'IL-2 glycosylée a été administrée par voie intrapéritonéale en trois administrations quotidiennes (matin, midi, soir) durant 3 jours pour les lots 0, 2, 3, 4 et 5 et durant 6 jours pour les lots 1, 6, 7, 8 et 9, dans du sérum normal de souris BALB/C dilué au 80^{ème} dans du tampon PBS (Phosphate Buffer Saline). Le volume administré est 0,5 ml.

35 Le tableau ci-après précise les doses administrées aux différents lots de 12 souris.

TABLEAU

05	LOT	Dose en IL-2 glycosylée par administration		Dose totale administrée
		10^3 U	10^3 U/kg	10^3 U/kg
10	0	0,000	0,000	0,000
	1	0,000	0,000	0,000
	2	3,250	162,5	1462,5
	3	12,500	625	5625,00
	4	50,000	2,500	22500
15	5	200,000	10,000	90.000
	6	3,250	162,5	2925,00
	7	12,500	625	11.250
	8	50,000	2500	45.000
	9	200,00	10000	180.000

20 Les animaux des lots 0, 2, 3, 4 et 5 ont été sacrifiés au bout du 4^{ème} jour, ceux des lots 1, 6, 7 et 8 le 7^{ème} jour.

γ) Examens pratiques

25 . Examens cliniques

Les animaux ont été observés chaque jour pendant toute la durée de l'étude.

Les examens décrits ci-dessous ont été pratiqués uniquement sur les 6 premiers animaux de chaque lot.

30 . Examens à l'autopsie (jours 4 et 7)

Les souris anesthésiées au pentobarbital.

. Examens sanguins

Les échantillons sanguins ont été prélevés à l'autopsie pour analyse biochimique, à l'aorte abdominale.

Etude anatomique

Les organes foie, rate, reins, thymus et poumons ont été prélevés et pesés pour déceler une toxicité éventuelle de type
05 rétention de fluide.

Détermination des poids frais : les organes ont été pesés dans des flacons à lyophiliser ; chaque flacon (un par animal et par organe) a été préalablement pesé avant d'y introduire l'organe.

Détermination des poids secs : les organes ont été
10 congelés à -80°C puis lyophilisés pendant 4 jours dans un lyophilisateur.

. Examens particuliers

Ces examens ont été pratiqués sur les 6 derniers animaux
15 de chaque lot. Au jour 4 pour les lots 0, 2, 3, 4 et 5 et au jour 7 pour les lots 1, 6, 7, 8 et 9, les souris ont reçu par la voie intraveineuse 2 microcuries d'albumine bovine sérique radiomarquée à l'iode 125 (activité spécifique de 5 microcuries par mg).

Deux heures après l'injection, les souris ont été
20 sacrifiées et les organes poumons, reins, foie, thymus et rate ont été prélevés, pesés et introduits dans des tubes PVC de 5 ml. Ainsi, la radioactivité de chaque organe a pu être mesurée au compteur gamma.

L'albumine sérique bovine radio iodée peut être considérée comme un marqueur de l'extravasation de liquide intravasculaire (1). Ainsi, si un organe x d'une souris traitée à l'IL-2 est
25 plus radioactif que celui d'une souris témoin, on peut alors être conduit à penser que l'IL-2 a une action sur la rétention de liquide intravasculaire dans l'organe considéré.

30

c) Résultats. Examens cliniques

Le comportement des animaux n'a pas été modifié et aucun
35 cas de mortalité n'a été relevé.

. Examens sanguins

L'évaluation des paramètres biochimiques (protéines totales, albumine, triglycérides, urée et créatinine) n'a pas mis en évidence de problèmes de toxicité hépatique ou rénale.

05

Etude comparative des poids frais et secs des organes thymus, foie, poumons, rate et reins

Les poids frais du thymus et des reins n'augmentent pas au bout de 3 ou de 6 jours de traitement, quelles que soient les doses d'IL-2.

10

Si l'on note une nette augmentation des poids frais de la rate, des poumons et du foie, en particulier au bout de 6 jours de traitement, le pourcentage poids sec sur poids frais ne varie pas : ceci signifie que la proportion en eau dans ces organes reste constante et traduit une hyperplasie lymphoïde inhérente à l'activité pharmacologique de l'IL-2.

15

Etude cinétique de l'éventuelle extravasation induite par l'IL-2 à l'aide d'albumine radiomarquée

20

Le taux d'albumine sérique bovine radiomarquée à l'iode 125 ne varie pas significativement dans les organes étudiés, thymus, foie, poumons, rate et reins, quelles que soient la dose et la durée du traitement et très peu dans la rate.

25

d) Conclusion

L'étude toxicologique réalisée sur la souris BALB/C a permis de constater l'absence d'effet toxique important de l'IL-2 glycosylée. En particulier, elle a mis en évidence à l'aide d'un protocole qui correspond à celui utilisé par M. Rosenstein l'absence d'extravasation de liquide intravasculaire, telle que décrite avec l'IL-2 coli.

30

2 - TOXICITE PAR VOIE INTRAPERITONEALE CHEZ LE RAT

a) But de l'étude

05 Cette étude a pour but d'évaluer la toxicité éventuelle de l'IL-2 glycosylée et en particulier la formation d'oedèmes chez le rat Sprague Dawley.

b) Méthode expérimentale

10

L'interleukine-2 glycosylée a été injectée à des lots de 6 rats (3 mâles et 3 femelles) par la voie intraperitonéale aux doses de 2 millions, 10 millions et 50 millions d'UI/kg/j (soit 0,1, 0,5 et 2,5 mg/kg/j) pendant trois jours.

15

Simultanément, les animaux ont reçu du chlorure de sodium par la voie orale à la dose de 1 g/kg/j.

Le 3^{ème} jour, les animaux ont reçu une surcharge hydrique de 10 ml/kg par la voie orale, puis ont été placés dans une cage à métabolisme afin de mesurer la diurèse de 24 heures.

20

Chaque lot a été comparé à un lot témoin non traité et à un lot traité uniquement avec le chlorure de sodium.

c) Résultats

25

Aucune anomalie clinique n'a été observée.

Les animaux ont été pesés avant le début de l'étude, puis aux jours 3 et 4. Aucune différence entre les lots n'a été observée.

30

Les examens sanguins (hématocrite, urée, créatinine, protéines totales, albumine, cholestérol, triglycérides, GPT, LDH, sodium, potassium, chlorures et calcium) effectués au jour 4 ont montré une légère diminution avec effet-dose des protéines et de l'albumine plasmatiques.

L'étude de l'élimination urinaire :

. volume

05 . examen semi-quantitatif à l'aide de bandelettes réactives (pH, densité, protéines, glucose, corps cétoniques, bilirubine, sang et urobilinogène)

. dosage des ions sodium, potassium, chlorures et de la créatinine

n'a pas montré d'anomalie.

10 La pesée de quelques organes (foie, rate, reins et thymus) a montré une légère augmentation du poids de la rate avec effet-dose.

L'autopsie n'a révélé aucune lésion macroscopique.

L'examen en microscopie optique a montré que l'IL-2 a induit une activation du système lymphoïde :

15 - hyperplasie minime des manchons lymphoïdes périartériolaires et des zones marginales spléniques chez trois animaux traités à la dose de $50 \cdot 10^6$ UI/kg/j

- plasmocytose ganglionnaire plus fréquente chez les animaux traités, mais sans effet-dose.

20

d) Conclusion

Cette étude toxicologique sur les rats Sprague Dawley a mis en évidence l'absence d'effet toxique important de l'IL-2 glycosylée à une dose 5 fois plus importante (2,5 mg/kg/j contre 0,5 mg/kg/j) que la dose létale observée par Y. HARADA (Harada Y. (1987) Preclinical Safety of Biotechnology Products intended for human use - P. 127-142 - Alan R. Liss. Inc.) avec l'IL-2 coli.

30 L'IL-2 glycosylée est donc, tant chez la souris que chez le rat, beaucoup moins toxique que l'IL-2 coli.

V - FORMULATION GALENIQUE

a) Méthodes expérimentales

35 Des essais de lyophilisation de la solution aqueuse de phosphate de sodium contenant l'IL-2 glycosylée, obtenue à l'issue

du procédé de purification (cf. C- exemple 1- 2-d)) ont été effectués en présence ou en l'absence de différents excipients présents dans des proportions variables. On a ensuite reconstitué le soluté, observé son aspect, mesuré son pH et dosé la quantité d'IL-2 glycosylée présente par HPLC sur colonne de phase inverse (cf. C- exemple 1-3-a)) et par mesure de l'activité CTLL-2. Ces opérations ont été effectuées immédiatement après la lyophilisation et après 6 mois de conservation du lyophilisat à une température de 4°C.

10

b) Résultats

La lyophilisation sans excipient permet d'obtenir, après reconstitution immédiate du soluté, une solution limpide et incolore qui contient plus de 80 % de l'activité CTLL-2 initiale. Après 6 mois de conservation du lyophilisat, la solution reconstituée contient environ 50 % de l'activité CTLL-2 initiale.

15

L'addition lors de la lyophilisation de 10 mg/ml de gélatine et/ou de polyéthylèneglycol (le PEG 6000) et de 10 mg/ml d'un acide aminé tel que l'alanine permet d'obtenir une solution reconstituée (immédiatement ou après 6 mois) limpide, de pH d'environ 6,5, qui contient plus de 90 % de l'activité initiale.

20

Ces résultats, tout à fait favorables à la mise au point d'une formulation galénique pharmaceutiquement acceptable de l'IL-2 glycosylée, contrastent avec ceux obtenus avec l'IL-2 non glycosylée dérivée d'E. coli. Celle-ci perd en effet plus de 50 % de son activité et donne des solutions opalescentes après lyophilisation (voir la demande de brevet européenne n° 0 158 487, p. 10). Il est donc nécessaire pour la rendre soluble d'ajouter des agents solubilisants toxiques tels que le SDS (Sodium Dodecyl Sulfate).

25

30

VI - APPLICATIONS THERAPEUTIQUES DE L'IL-2 GLYCOSYLEE

MODES D'ADMINISTRATION

L'homme de l'art appréciera, à la lecture de la description ci-dessus, l'intérêt de l'IL-2 glycosylée comme médicament, et les nombreux avantages que présente cette dernière par rapport à

35

l'IL-2 non glycosylée, par exemple dérivée d'E. coli : possibilité d'utiliser des doses plus faibles pour la même activité et meilleure tolérance à des doses fortes grâce à une plus faible toxicité, une moindre immunogénicité et une formulation galénique dépourvue d'excipients toxiques.

L'homme du métier comprendra également le grand intérêt des dérivés de l'IL-2 glycosylée comme médicaments. Celle-ci peut en effet être couplée par exemple à des agents toxiques, tels que des fragments de toxines bactériennes afin de tuer sélectivement les cellules capables d'internaliser l'IL-2, des agents susceptibles d'améliorer la pharmacocinétique de l'IL-2 tels que le polyéthylèneglycol, ou des substances douées d'activité biologique, par exemple les acides nucléiques, de façon à les introduire sélectivement dans des cellules capables d'internaliser l'IL-2.

L'homme de l'art appréciera aussi l'intérêt en thérapeutique des associations de l'IL-2 glycosylée ou de ses dérivés avec d'autres principes actifs tels que d'autres cytokines, par exemple l'interleukine-1, l'interleukine-4, l' α -interféron, le γ -interféron ou le TNF, des agents antitumoraux, par exemple l'acétate de flavone, le cyclophosphamide, des agents antimitotiques, des immunomodulateurs, par exemple la cyclosporine ou le BCQ, des anticorps ou des hormones thymiques.

Dans toutes les applications, connues ou à découvrir, de l'IL-2 et de ses dérivés, ainsi que des associations de l'IL-2 ou de ses dérivés avec d'autres principes actifs, l'IL-2 glycosylée constituera un succédané avantageux de l'IL-2 dérivée d'E. coli.

Parmi ces applications, on peut citer :

- le traitement de diverses affections telles que le cancer, les immunodéficiences induites ou acquises, les anomalies immunologiques (en particulier les maladies auto-immunes et inflammatoires) et les maladies infectieuses (notamment les infections virales microbiennes et parasitaires) ;

- le traitement prophylactique des affections ci-dessus et en particulier des maladies infectieuses ;

- la vaccination (l'IL-2 étant utilisée comme adjuvant).

L'application en thérapeutique de l'IL-2 glycosylée et de ses dérivés ainsi que des associations de l'IL-2 glycosylée ou de ses dérivés avec d'autres principes actifs peut être obtenue par son injection intraveineuse bolus ou en perfusion, sous-cutanée, 05 intramusculaire, intrapéritonéale ou locale par exemple dans des tumeurs, dans le ganglion ou dans d'autres organes immunocompétents mais aussi par son action in vitro sur des cellules prélevées sur le malade ou sur des donneurs.

REVENDICATIONS.

1. Médicament, caractérisé en ce qu'il contient de l'interleukine-2 glycosylée isolée à partir d'un milieu de culture de cellules eucaryotes recombinées.
- 05 2. Médicament selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il contient de l'interleukine-2 glycosylée isolée à partir d'un milieu de culture de cellules d'origine mammifère recombinées.
3. Médicament selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il contient de l'interleukine-2 glycosylée
10 isolée à partir d'un milieu de culture de cellules CHO recombinées.
4. Médicament selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'interleukine-2 glycosylée a été isolée à partir d'une fraction riche en interleukine-2, issue du surnageant de culture de cellules eucaryotes recombinées, par le
15 procédé comprenant les étapes successives suivantes:
 - a) chromatographie d'échange cationique
 - b) chromatographie d'interaction hydrophobe
 - c) chromatographie d'exclusion.
5. Médicament selon la revendication 4, caractérisé en ce
20 que la fraction riche en interleukine-2 a été séparée du surnageant de culture par double filtration.
6. Médicament selon la revendication 5, caractérisé en ce que la membrane (1) a un seuil d'arrêt supérieur à 30kDa, de préférence compris entre 50 et 150 kDa, et la membrane (2) a un
25 seuil d'arrêt inférieur à 10 kDa, de préférence entre 5 et 10 kDa.
7. Médicament selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que l'on effectue l'étape d'échange cationique dans un intervalle de pH compris entre 4,5 et 6,5 en particulier entre 5,2 et 5,7.
- 30 8. Médicament selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que l'étape d'échange cationique est précédée d'une étape de chromatographie d'échange cationique.
9. Médicament selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'on effectue l'étape anionique dans un intervalle de pH
35 compris entre 5,5 et 8,5 de préférence entre 6,5 et 8,2.

10. Médicament selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que l'on effectue l'étape d'interaction hydrophobe dans un intervalle de pH compris entre 4,5 et 8,0, de préférence entre 6,0 et 8,0.
- 05 11. Médicament selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, caractérisé en ce que l'on effectue l'étape d'interaction hydrophobe sur un support chromatographique permettant la désorption de l'interleukine-2 sans addition d'agents chaotropiques ou de solvants organiques ou de solvants aqueux ayant un pH
- 10 inférieur à 4,5 ou supérieur à 8,0.
12. Médicament selon l'une quelconque des revendications 4 à 11, caractérisé en ce que l'on effectue l'étape de chromatographie d'exclusion sur un support ayant une gamme de fractionnement comprise entre 1 et 250 kDa.
- 15 13. Médicament, caractérisé en ce qu'il contient un dérivé de l'IL-2 glycosylée isolée à partir d'un milieu de culture de cellules eucaryotes recombinées.
14. Médicament selon la revendication 13, caractérisé en ce que le dérivé de l'IL-2 glycosylée est l'IL-2 glycosylée couplée à
- 20 des agents toxiques, des substances douées d'activité biologique telles que les acides nucléiques ou des agents susceptibles d'améliorer la pharmacocinétique de l'IL-2.
15. Médicament, caractérisé en ce qu'il contient une association d'IL-2 glycosylée isolée à partir d'un milieu de culture de
- 25 cellules eucaryotes recombinées ou un dérivé de cette dernière avec un autre principe actif.
16. Médicament selon la revendication 15, caractérisé en ce que l'autre principe actif est choisi parmi les cytokines, les agents antitumoraux, les agents antimitotiques, les immunomodu-
- 30 lateurs, les anticorps et les hormones thymiques.
17. Médicament selon la revendication 16, caractérisé en ce que la cytokine est choisie parmi l'interleukine-1, l'interleukine-4, l' - nterféron, le -interféron et le TNF.
18. Médicament selon la revendication 17, caractérisé en ce
- 35 que l'agent antitumoral est choisi parmi l'acétate de flavone et le

cyclophosphamide.

19. Médicament selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'immunomodulateur est choisi parmi la cyclosporine et le BCQ.

1/10

FIG. 1

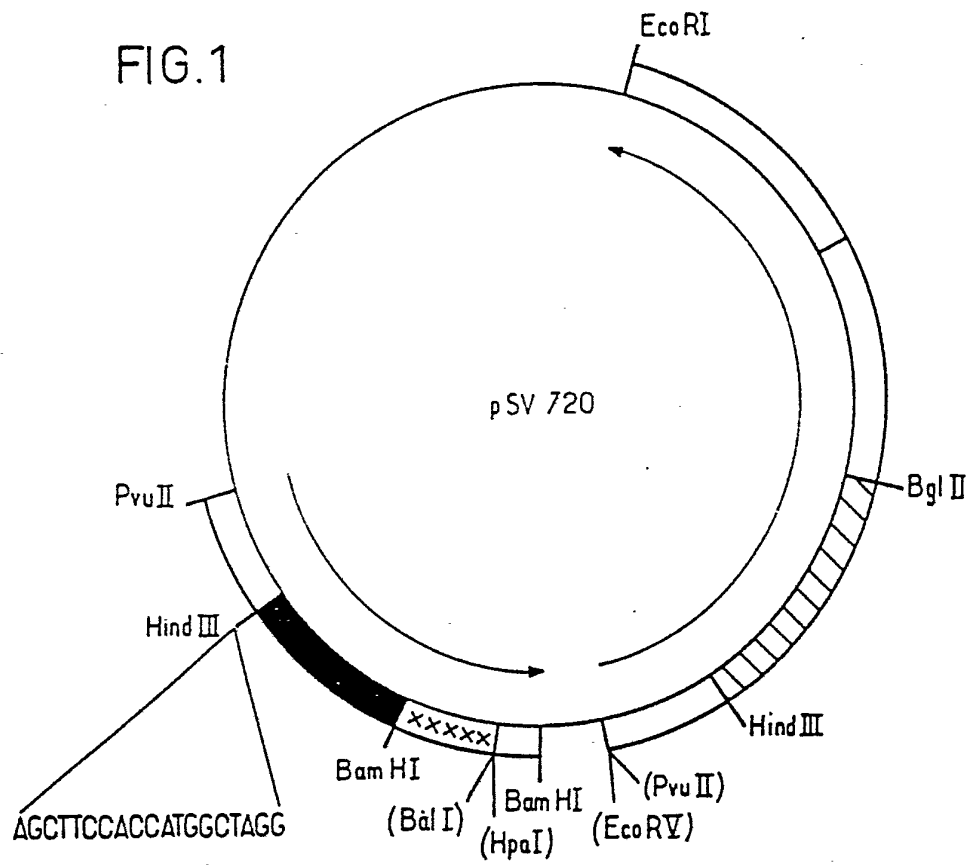


FIG. 2

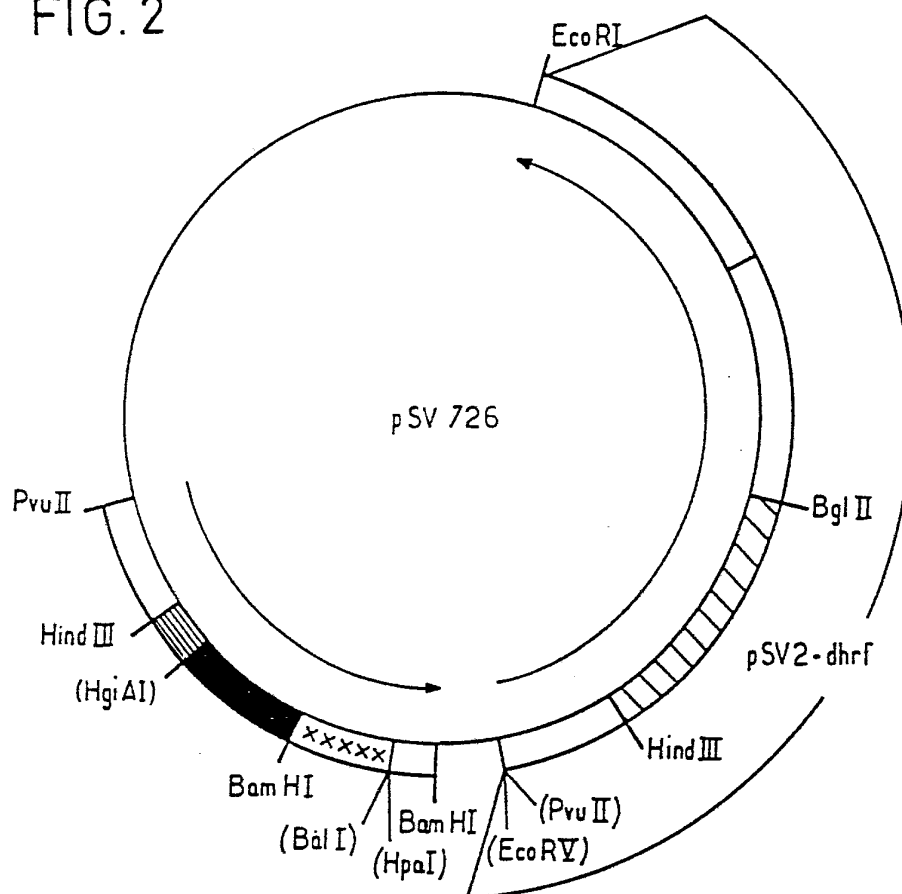
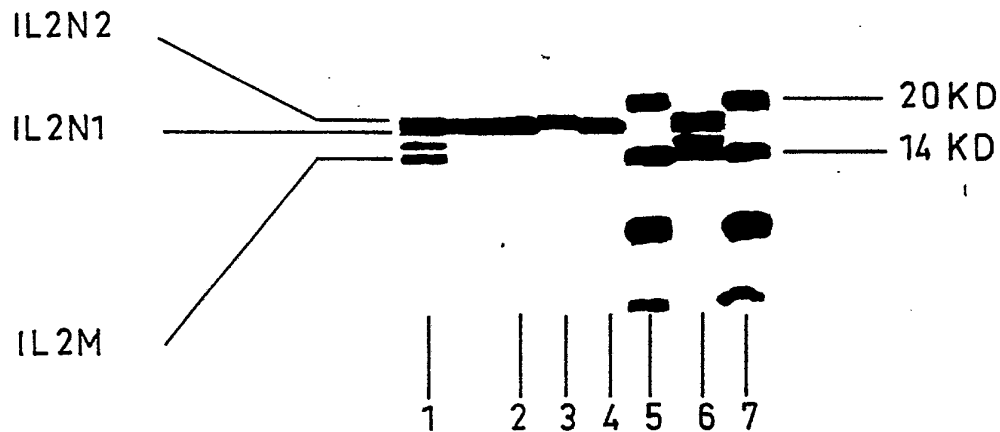


FIG.3

ÉLECTROPHORÈSE SUR GEL DE POLYACRYLAMIDE
EN PRÉSENCE DE SDS APRÈS RÉDUCTION DES
ÉCHANTILLONS. COLORATION À L'ARGENT



- 1 MÉLANGE STANDARD DES 4 FORMES D'IL2
- 2 PRODUIT OBTENU À L'ISSUE DE L'ÉTAPE 2d) DE L'EXEMPLE 1
- 3 IL2N2
- 4 IL2N1
- 5 MARQUEUR DE POIDS MOLÉCULAIRE
- 6 IDEM 1
- 7 IDEM 5

4/10

FIG.4

ANALYSE PAR HPLC SUR COLONNE DE PHASE
INVERSE DU PRODUIT OBTENU A L'ISSUE DE L'ÉTAPE 2)d)
DE L'EXEMPLE 1

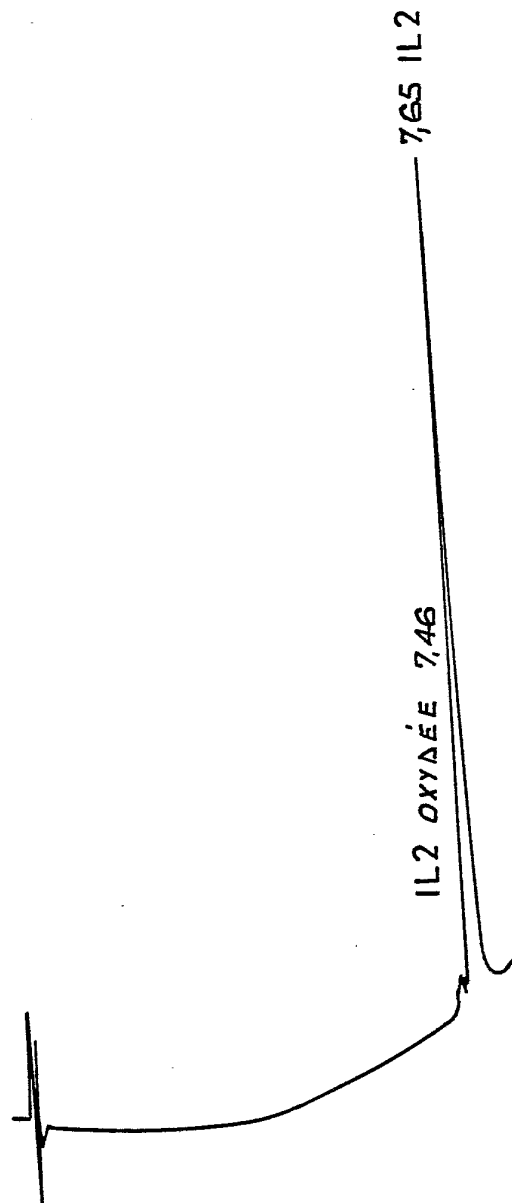
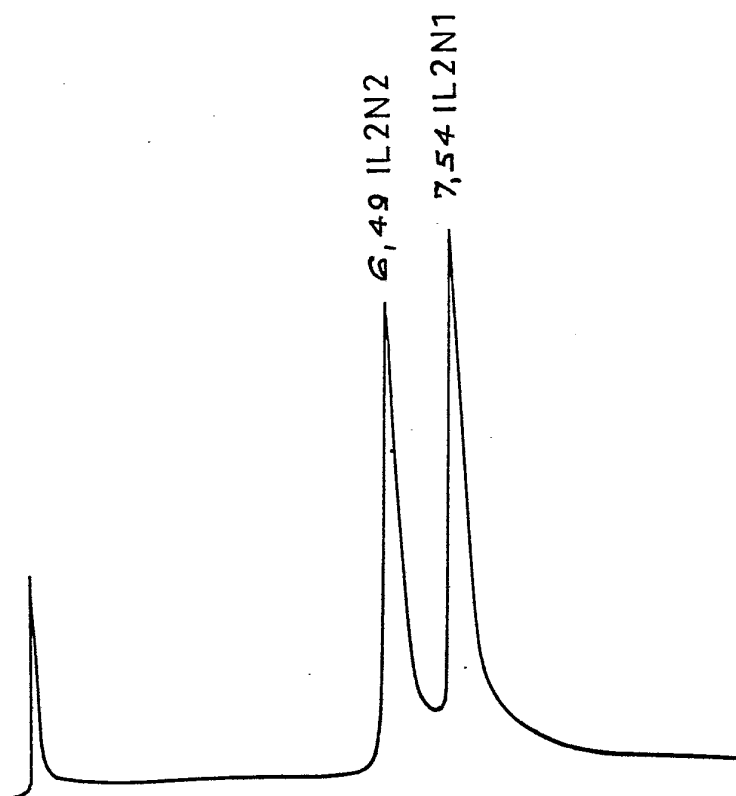


FIG. 5

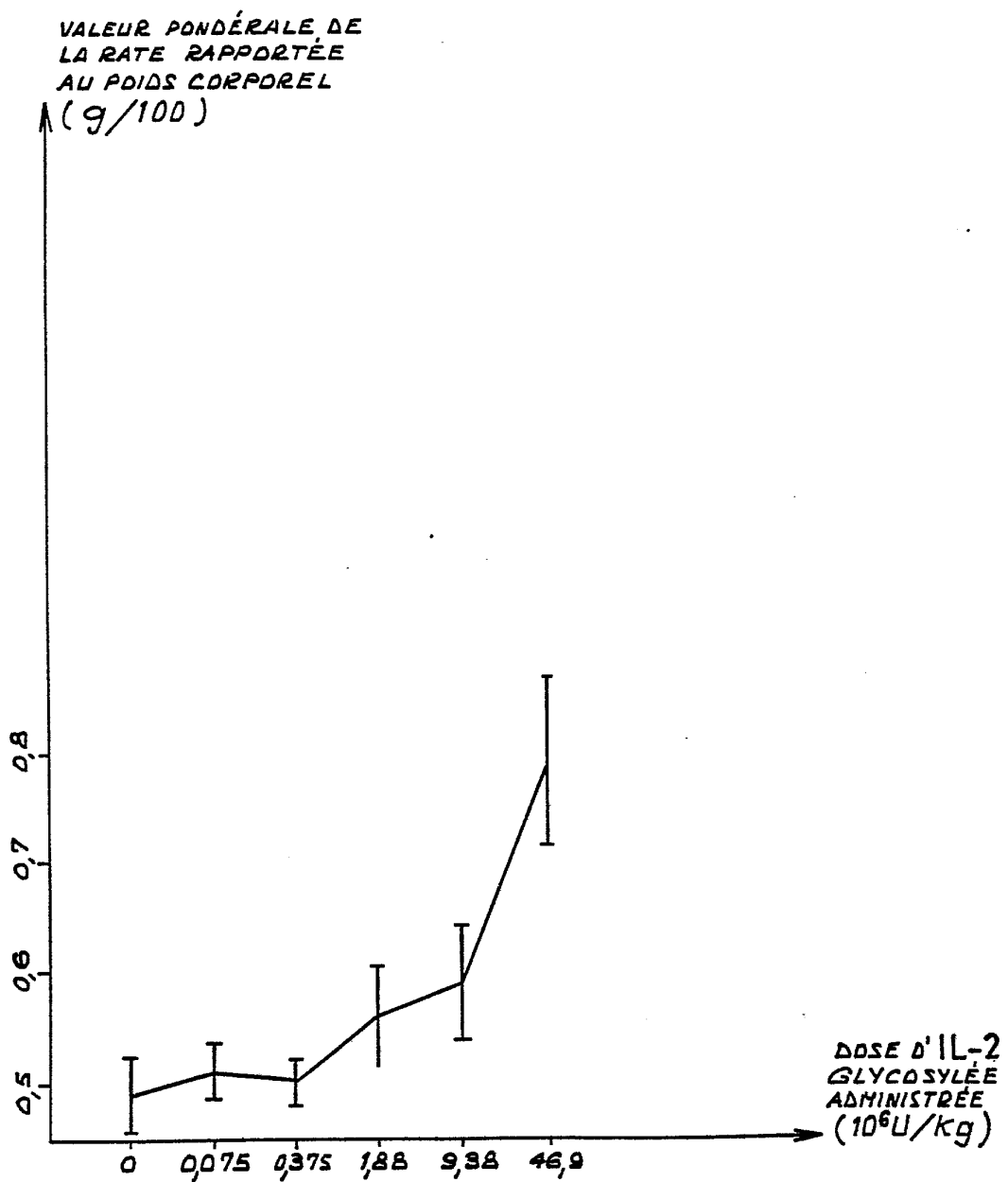
ANALYSE PAR HPLC SUR COLONNE ÉCHANGEUSE DE CATIONS
DU PRODUIT OBTENU À L'ISSUE DE L'ÉTAPE 2) c) DE L'EXEMPLE 1



6/10

FIG. 6

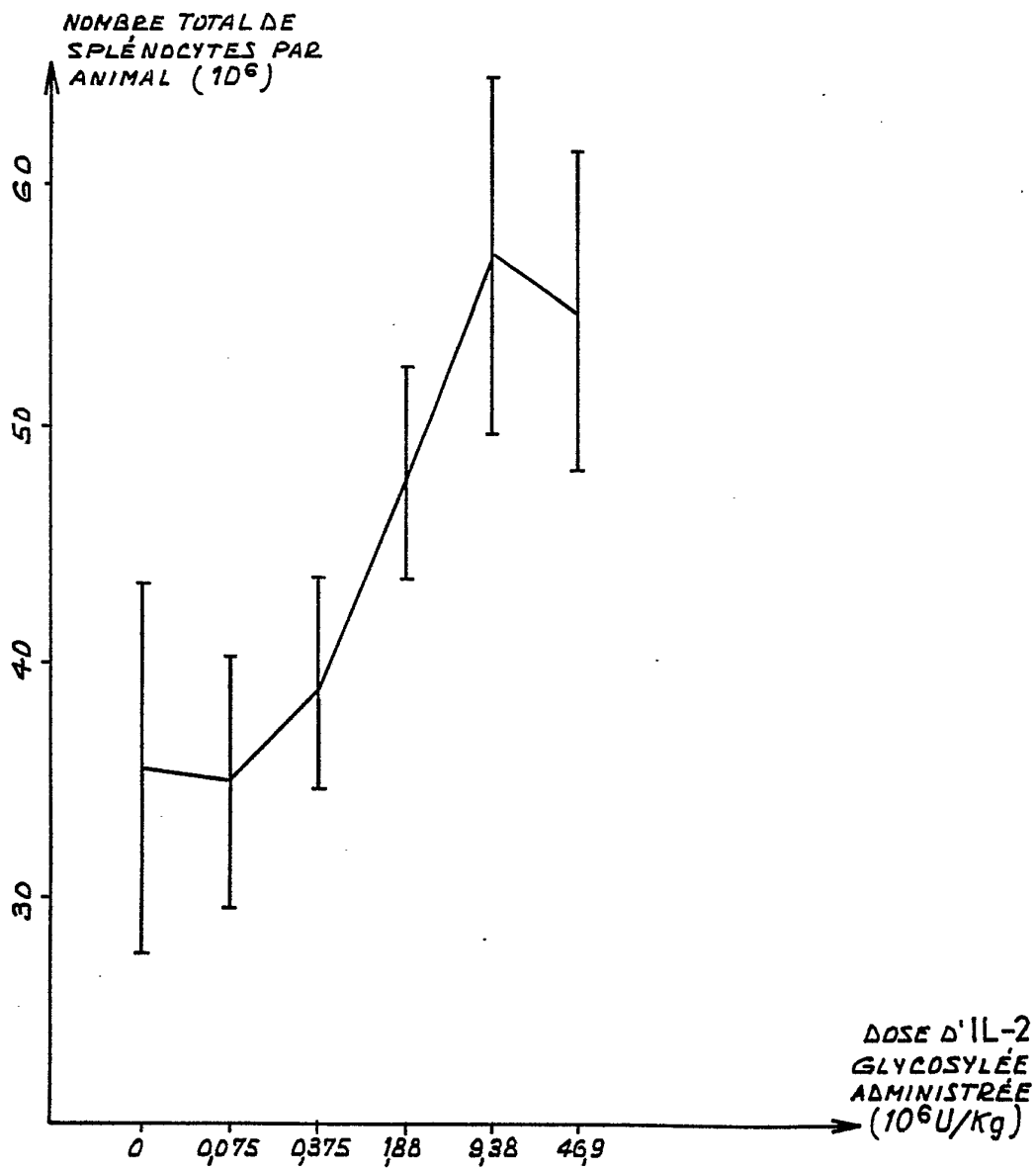
VALEUR PONDERALE MOYENNE DE LA RATE
RAPPORTÉE AU POIDS CORPOREL



7/10

FIG. 7

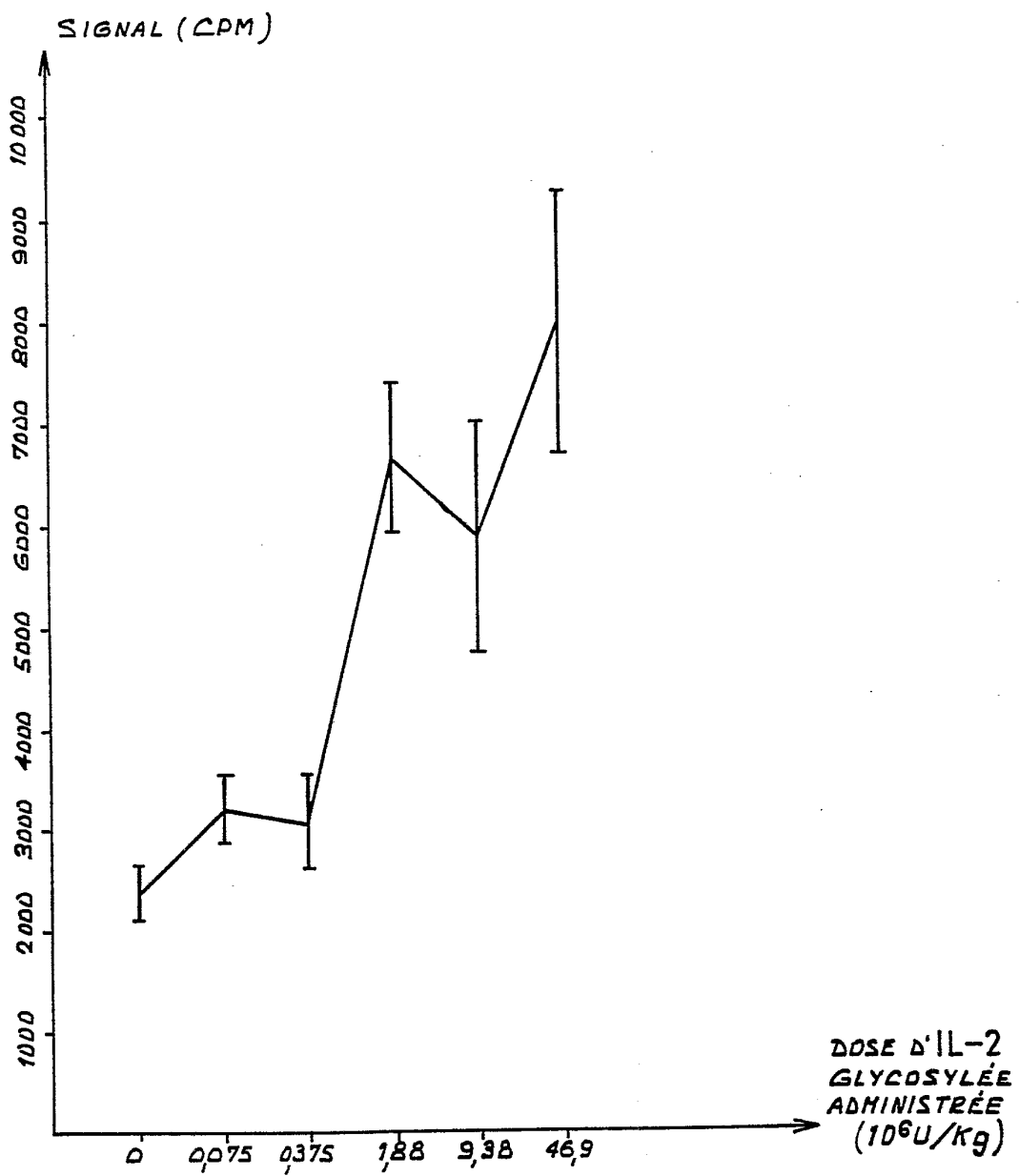
NUMBRE TOTAL MOYEN DE SPLÉNDYTES
PAR ANIMAL



8/10

FIG.8

DOSAGE DES IgM
ANTI-OVALBUMINE



9/10

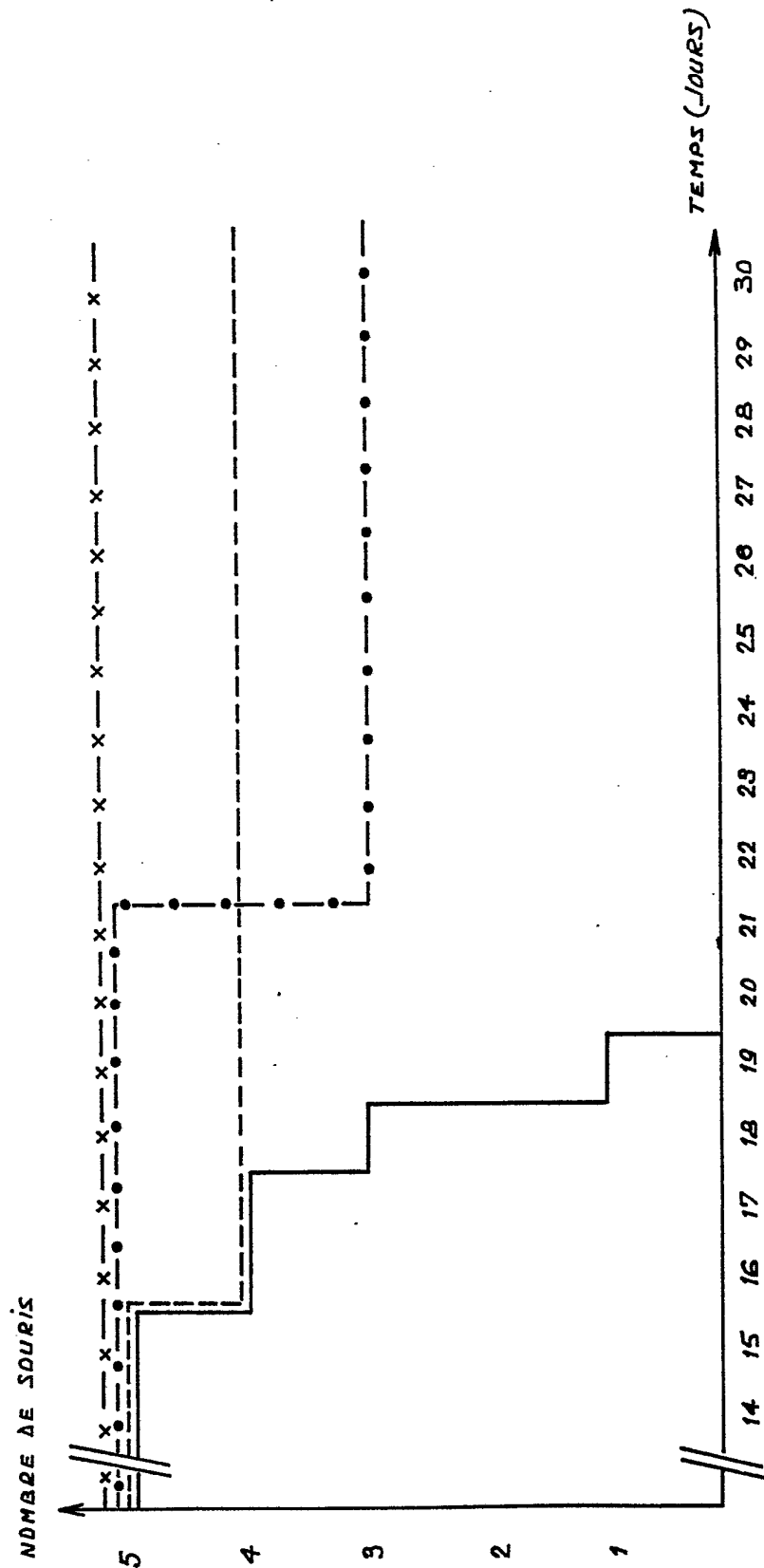
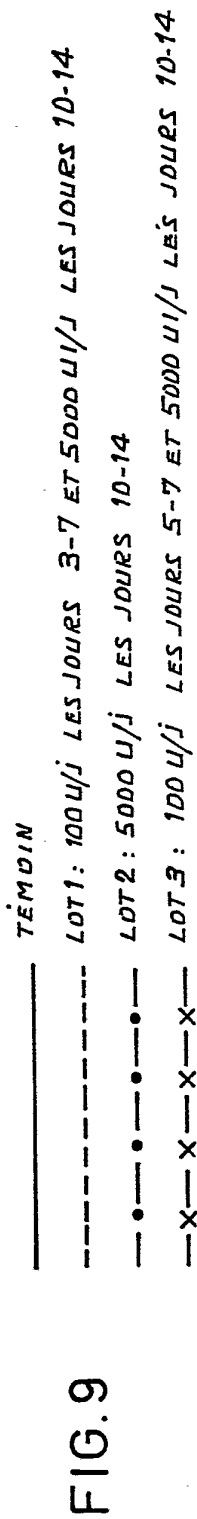


FIG.10

$$\text{LOGIT} \left(\frac{\text{QUANTITÉ D'IL-2 MARQUÉE LIÉE}}{\text{QUANTITÉ MAXIMALE D'IL-2 MARQUÉE}} \right)$$

