

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 535 324**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **82 18003**

⑤1 Int Cl³ : C 07 H 15/04, 15/12; C 08 B 37/00 // A 61 K
31/73, 49/02.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

②2 Date de dépôt : 27 octobre 1982.

③0 Priorité

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 18 du 4 mai 1984.

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

⑦1 Demandeur(s) : CHOAY SA. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Jean Choay, Jean-Claude Jacquinet, Mau-
rice Petitou, Pierre Sinay et Jean-Claude Lormeau.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Plasseraud.

⑤4 Procédé de synthèse organique d'oligosaccharides correspondant à des fragments de muco-polysaccharides naturels, nouveaux oligosaccharides obtenus et leurs applications biologiques.

⑤7 Procédé de synthèse organique d'oligosaccharides consti-
tuant ou correspondant à des fragments de mucopolysaccha-
rides acides dans lequel on fait réagir deux composés consti-
tués ou terminés respectivement par des motifs de structure
sucre aminé et des motifs de structure acide uronique. Ces
motifs étant substitués spécifiquement.

Ce procédé conduit à des oligosaccharides utilisables no-
tamment en thérapeutique.

FR 2 535 324 - A1

D

L'invention est relative à un procédé de synthèse organique d'oligosaccharides constituant ou comportant des fragments de mucopolysaccharides acides. Elle concerne également la synthèse de dérivés de ces oligosaccharides.

L'invention se rapporte, en outre, à de nouveaux oligosaccharides du genre indiqué ci-dessus et à leurs dérivés, possédant, notamment, des propriétés biologiques leur conférant, en particulier, un intérêt en tant que médicaments et/ou utilisables, par exemple, comme réactifs de laboratoire.

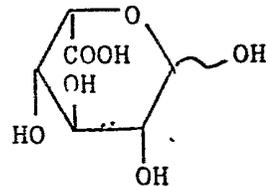
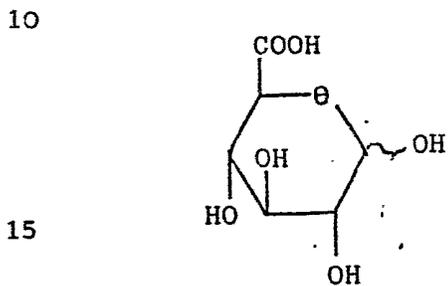
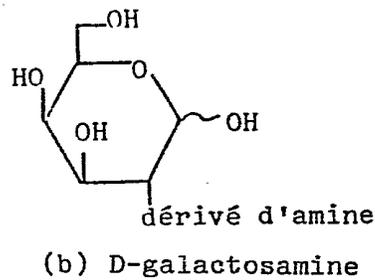
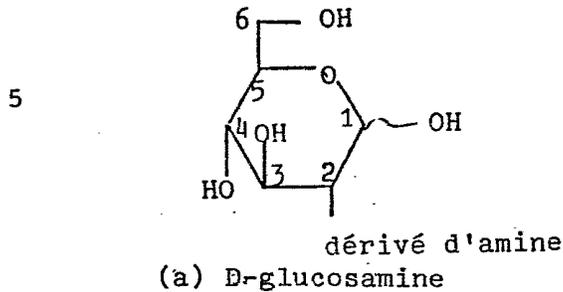
Elle vise également leurs applications notamment biologiques et biochimiques.

Par le terme "mucopolysaccharide acide", on désigne des dérivés également couramment appelés glycosaminoglycuronoglycanes. Il s'agit d'oligosaccharides et polysaccharides rencontrés plus spécialement dans les chaînes de dérivés biologiquement actifs tels que des dérivés du type héparine, héparane-sulfate, dermatane-sulfate, chondroïtines, chondroïtines-sulfates, ou acide hyaluronique.

Dans les produits naturels, les mucopolysaccharides en question sont essentiellement formés de motifs alternés sucre aminé-acide uronique, ou inversement. Dans ces motifs, le sucre aminé, désigné ci-après par A, présente plus spécialement une structure D-glucosamine ou D-galactosamine. L'acide uronique, qu'on appellera U, présente, plus spécialement, une structure acide D-glucuronique ou acide L-iduronique.

Les structures de base pour A répondent respec-

tivement aux formules a et b et pour U aux formules c et d ci-dessous :



Dans les produits naturels en question, ces différents motifs sont liés entre eux de manière stéréospécifique généralement par des liaisons $1 \xrightarrow{\alpha} 4$, $1 \xrightarrow{\beta} 4$ et $1 \xrightarrow{\beta} 3$.

On trouve ainsi, par exemple dans l'héparine, des liaisons de type $1 \xrightarrow{\alpha} 4$ (entre les motifs d et a, a et c, et a et d) et de type $1 \xrightarrow{\beta} 4$ (entre les motifs c et a).

Dans les chondroïtines et les chondroïtines-sulfates, on rencontre de plus des liaisons de type $1 \xrightarrow{\beta} 3$ (entre les motifs c et b) et $1 \xrightarrow{\beta} 4$ (entre les motifs b et c).

Des liaisons de type $1 \xrightarrow{\alpha} 3$ (entre les motifs d et b) et $1 \xrightarrow{\beta} 4$ (entre les motifs b et d) existent, en outre, dans le dermatane-sulfate.

Dans l'acide hyaluronique, on trouve des liaisons de type $1 \xrightarrow{\beta} 3$ (entre les motifs c et a) et $1 \xrightarrow{\beta} 4$ (entre les motifs a et c).

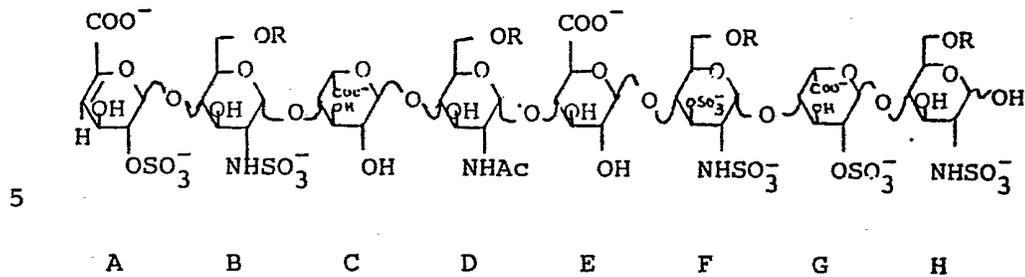
On notera, en outre, toujours en se référant aux produits naturels, que les motifs ci-dessus comportent des substitutions spécifiques, c'est-à-dire des substitutions déterminées en des positions données. Les chaînes
5 des produits naturels renferment, ainsi, par exemple, des motifs -O-substitués acide 2-O-sulfate-L-iduronique, 3-O-sulfate-D-glucosamine, 3,6-di-O-sulfate-D-glucosamine, 6-O-sulfate-D-glucosamine et des motifs non-O-substitués, ainsi, par exemple, des motifs acide D-glucuronique, L-idu-
10 ronique, D-glucosamine et D-galactosamine. En outre, les motifs a et b sont N-substitués en position 2 des groupes -N-acétyle et/ou -N-sulfate.

On connaît l'importance des applications thérapeutiques des mucopolysaccharides acides ci-dessus, en particulier, pour la prévention et pour le traitement des
15 troubles de la coagulation et de la paroi vasculaire, et en particulier des thromboses et des athéroscléroses et artérioscléroses, ou pour lutter contre le vieillissement des tissus, ou des manifestations de type dégénératif,
20 telles que des alopecies.

On connaît, par ailleurs, les nombreux travaux de la Demanderesse pour l'obtention de fragments de haute affinité pour l'AT III et biologiquement actifs à partir de chaînes d'héparine. Les inventions mises au point sur
25 la base de ces travaux font l'objet de différentes demandes de brevets dont la demande de brevet EP N° 80 40 1425.6 du 6 Octobre 1980 et la demande de brevet FR N° 81 08604 du 29 Avril 1981.

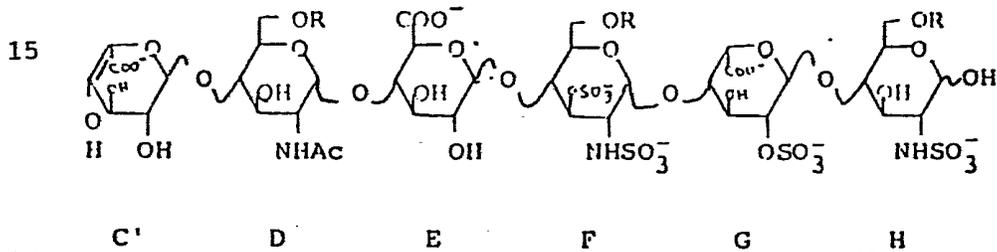
On rappelle que dans la demande EP, on décrit
30 notamment un octasaccharide appelé ABCDEFGH possédant des propriétés antithrombotiques de grand intérêt, répondant à la structure :

35



Dans cette formule, R représente un groupe SO_3^- ou un atome d'hydrogène.

10 Dans la demande FR ci-dessus de la Demanderesse, on décrit une composition homogène d'hexasaccharides de structure C'DEFGH, possédant également des propriétés anti-thrombotiques élevées. Cette structure répond à la formule :



20 dans laquelle R représente un groupe SO_3^- ou un atome d'hydrogène.

25 Les procédés proposés à ce jour pour obtenir ce type de produits mettent en jeu des techniques d'extraction à partir d'héparine ou de produits obtenus au cours de la préparation de l'héparine, ou encore des techniques de dépolymérisation des chaînes d'héparine sous l'action d'un agent chimique ou enzymatique, suivi de fractionnement spécifique notamment par chromatographie

30 affine.

L'état d'avancement des travaux des inventeurs dans ce domaine les a conduits à rechercher de nouveaux moyens permettant d'accéder à ce type de produits et plus spécialement à étudier les possibilités de les obtenir par

35 voie de synthèse.

A cet égard, il convient de mesurer le nombre de problèmes soulevés par une telle synthèse. En effet, d'une part, ces produits renferment dans leurs chaînes plusieurs types de motifs A et U. D'autre part, les liaisons entre ces motifs répondent à une stéréochimie donnée et sont de type 1,4, dont les difficultés de réalisation particulières sont bien connues. En outre, chaque motif comporte une ou plusieurs substitutions spécifiques selon le type de produit considéré. On considérera également que les motifs glucosamine dans les produits naturels comportent deux groupes azotés différents l'un de l'autre, à savoir un groupe N-acétyle et un groupe -N-sulfate.

Il s'ensuit que de telles synthèses n'ont pratiquement jamais été envisagées jusqu'à présent dans la littérature scientifique, tout particulièrement, en ce qui concerne l'acide L-iduronique.

Tous ces éléments fixent des impératifs contraignants dont il est aisé d'apprécier les difficultés qu'ils engendrent pour l'élaboration d'un processus général et du processus de synthèse.

En recherchant des conditions de synthèse osidique appropriées à l'élaboration de ce type de composés, les inventeurs ont développé une stratégie en choisissant certains types de protection particuliers pour les produits mis en oeuvre.

Les travaux effectués ont alors montré qu'avec de tels produits ainsi protégés, il était possible de réaliser un enchaînement stéréospécifique puis d'introduire, si souhaité, sur les séquences formées, des substitutions données en des positions déterminées.

Selon un aspect présentant un intérêt dont on mesurera l'importance, le procédé mis au point présente une grande souplesse. Il est ainsi possible d'accéder, avec les avantages, notamment de spécificité et de pureté, liés à un processus de synthèse, à de nombreux dérivés

d'oligosaccharides comportant les substitutions spécifiques rencontrées avec les produits naturels, ou même des substitutions différentes et/ou encore des motifs de structure analogue avec des configurations différentes.

5 Grâce à ce procédé, les inventeurs ont obtenu des oligosaccharides dotés notamment de propriétés médica-
menteuses de grande valeur et plus spécialement à activité antithrombotique élevée. Le procédé de l'invention permet également d'accéder à un grand nombre d'oligosaccharides
10 particulièrement précieux, notamment comme réactifs biologiques et/ou comme composés de référence pour des études de structures.

L'invention a donc pour but de fournir un procédé d'obtention, par voie de synthèse, d'oligosaccharides
15 et de leurs dérivés ou analogues, comportant ou correspondant à des fragments de mucopolysaccharides acides.

Elle a également pour but de fournir des moyens permettant d'établir entre des motifs de type A et U des liaisons glycosidiques selon la stéréospécificité souhaitée.

20 Elle vise également à fournir des moyens permettant d'introduire sur les motifs de la chaîne glycosidique des groupes fonctionnels donnés, en particulier des substituants spécifiques tels que rencontrés dans les chaînes de molécules biologiquement actives, notamment celles du type
25 héparine, héparane-sulfate, dermatane-sulfate, chondroïtines-sulfates, chondroïtines ou acide hyaluronique.

Elle a également pour but de fournir des moyens permettant d'obtenir des oligosaccharides tels qu'évoqués
ci-dessus, mais dont les substituants et/ou la nature chi-
30 mique des sucres et/ou la position et la configuration des liaisons interglycosidiques et/ou la configuration des monosaccharides et/ou l'ordre des enchaînements sont différents de ceux des produits naturels.

Selon un autre aspect, l'invention a également
35 pour but de fournir de nouveaux oligosaccharides constituant

des produits intermédiaires du procédé de synthèse en question dans lesquels tous les groupes -OH des différents motifs sont bloqués par des groupements protecteurs et les groupements précurseurs des radicaux fonctionnels éventuellement présents ; le cas échéant, ces radicaux eux-mêmes sont également protégés.

Selon encore un autre aspect, l'invention vise à fournir de nouveaux oligosaccharides présentant la structure des produits naturels ci-dessus ainsi que des oligosaccharides correspondant à des fragments de ces produits.

Elle vise également à fournir de nouveaux oligosaccharides possédant les substitutions spécifiques des produits naturels.

L'invention vise en outre à fournir de nouveaux oligosaccharides portant des substitutions différentes de celles des substitutions spécifiques en question et/ou comportant des motifs différents par rapport aux produits naturels considérés ci-dessus.

L'invention vise également les applications biologiques de ces oligosaccharides, notamment en tant que substances actives de médicaments, réactifs de laboratoire ou produits de référence pour l'étude, en particulier, de composés comportant ce type de structure.

Le procédé de synthèse de l'invention est caractérisé en ce qu'on fait réagir deux composés :

- constitués ou terminés respectivement par des motifs A de structure glucosamine, en particulier D-glucosamine, ou galactosamine, en particulier D-galactosamine et des motifs U de structure acide glucuronique, en particulier D-glucuronique, ou acide iduronique, en particulier L-iduronique ;

- l'un des motifs A ou U étant un alcool dans lequel le groupe -OH de la fonction alcool occupe l'une quelconque des positions 3, 4 ou 6 dans le cas d'un motif A et 2, 3 ou 4 dans le cas d'un motif U, l'autre motif

possédant un carbone anomère activé, c'est-à-dire comportant un groupement réactif capable d'établir avec le groupe -OH de l'alcool la liaison de glycosylation -O- recherchée, selon la stéréochimie souhaitée, pour former une

5 séquence-A-U ou -U-A.

- - le groupement réactif de A et U étant compatible avec les groupements protecteurs et/ou fonctionnels présents sur les motifs ;

- toutes les positions de A et U excepté celles

10 dont le carbone anomère est activé portant des groupes -OH, amino ou carboxyle, ou des précurseurs de tels groupes, les groupes eux-mêmes, lorsqu'ils sont présents étant bloqués par un ou avantageusement plusieurs types de groupements protecteurs, ces différents groupements étant compa-

15 tibles entre eux et avec les précurseurs ci-dessus, ces groupes protecteurs et précurseurs étant inertes vis-à-vis de la réaction de glycosylation et avec les groupes réactifs, autorisant la mise en place, au cours d'opérations ultérieures, de substituants donnés aux diverses positions,

20 et ce, le cas échéant, de manière séquentielle, les conditions de mises en oeuvre pour faire réagir les produits de départ étant choisies de manière à ne pas altérer la structure des motifs de ces produits et la nature des divers substituants présents, sous réserve que l'établissement

25 de la liaison interglycosidique ne conduise pas à l'obtention d'un disaccharide à structure [2-N-sulfate ou (2-N-acétyl)-6-O-sulfate-D-glucosamine]-[acide méthyl-D-glucuronique].

Grâce aux dispositions ci-dessus, il est ainsi

30 possible de réaliser une liaison covalente entre des motifs de structure A et U et ce, selon la stéréochimie que présente ce type d'enchaînement dans les molécules biologiquement actives déjà considérées.

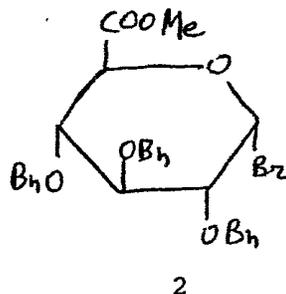
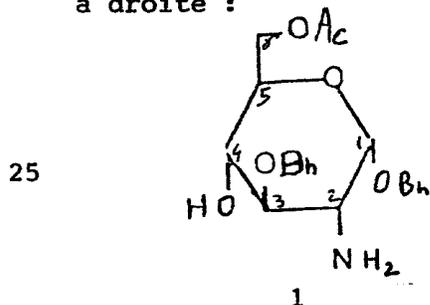
Il est même possible à l'aide de l'invention

35 de réaliser les enchaînements souhaités selon un ordre

donné et/ou possédant une stéréospécificité donnée.

Les moyens proposés selon l'invention permettent ainsi d'établir notamment une liaison de type $1 \xrightarrow{\alpha} 4$ entre un motif D-glucosamine et soit acide D-glucuronique, soit acide L-iduronique, une liaison de type $1 \xrightarrow{\beta} 4$ entre un motif acide D-glucuronique et un motif D-glucosamine et une liaison de type $1 \xrightarrow{\alpha} 4$ entre un motif acide L-iduronique et un motif D-glucosamine.

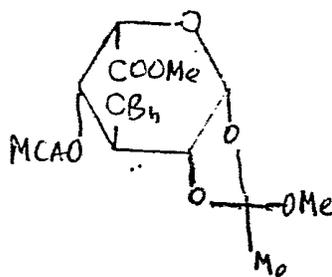
Les intermédiaires mono ou oligosaccharides de cette synthèse sont des produits semi-ouverts ou ouverts. On appellera composé semi-ouvert à droite un composé activé ou potentiellement activable sur son carbone anomère, permettant ainsi son transfert sur l'extrémité non réductrice d'un monosaccharide ou d'un oligosaccharide. L'expression "composé semi-ouvert à gauche" désignera un monosaccharide ou un oligosaccharide possédant une seule fonction -OH libre ou potentiellement libre, permettant sa glycosylation spécifique. A titre illustratif, on indique ci-après la formule 1 d'un exemple de composé semi-ouvert à gauche et celle 2 d'un exemple de composé semi-ouvert à droite :



Il s'ensuit qu'on appellera dérivés ouverts un dérivé semi-ouvert à la fois à droite et à gauche selon la définition ci-dessus, de tels dérivés autorisant une élongation de chaîne dans les deux directions. Un dérivé de ce type répond par exemple à la formule 3 :

35

10



5

3

Quant aux dérivés fermés, il s'agit de produits
10 dont les motifs ne peuvent pas donner lieu à élongation de
chaînes en raison de la nature de leurs substituants.

Selon une disposition supplémentaire pour pou-
voir ajouter des motifs à la séquence A-U ou U-A formée
dans l'étape précédente, les motifs A ou U de la séquence
15 formée doivent renfermer des groupements protecteurs tem-
poraires, c'est-à-dire des groupements capables de bloquer
sélectivement une position du motif A ou U destinée à inter-
venir dans une nouvelle réaction de glycosylation. Ces
groupements sont éliminables en présence des autres grou-
20 pements présents sur les motifs des produits de départ en
recréant un alcool, ce qui permet en répétant l'étape pré-
cédente de glycosylation d'allonger le squelette glucidique.

L'invention donne donc accès à la synthèse
d'oligosaccharides à enchaînements variés, qu'il s'agisse
25 de stéréospécificité α ou β et/ou d'ordre d'enchaînement
entre les motifs a et/ou b et d et/ou c, l'élongation pou-
vant être effectuée à volonté.

Selon encore une autre disposition du procédé
de l'invention, la chaîne glucidique élaborée est soumise
30 à une ou plusieurs réactions chimiques afin d'introduire
un type de groupements fonctionnels donnés ou, successi-
vement, plusieurs types de groupements, puis de former,
si on le désire, des dérivés de ces groupements fonction-
nels.

35

Cette étape de fonctionnalisation peut être

réalisée en n'éliminant que certains groupements protecteurs et/ou certains groupements précurseurs des dérivés aminés ou encore la totalité des groupements protecteurs et/ou des groupements précurseurs et en introduisant à leur place un type de substituants donné, ou, successivement, des substituants différents, puis en libérant une partie ou la totalité des groupes -OH encore bloqués, si on le désire.

Il est entendu alors que les différents groupes présents sur les motifs de la chaîne sont compatibles avec les substituants introduits à chaque étape.

La ou les réactions chimiques mises en oeuvre au cours des étapes de fonctionnalisation sont réalisées de manière à ne pas altérer la structure de la chaîne et les groupes que l'on désire éventuellement maintenir et/ou ceux qui ont déjà été introduits.

Selon un mode préféré de réalisation de l'invention, pour obtenir des oligosaccharides à substitutions spécifiques comme définies ci-dessus, on utilise avec avantage des produits de départ renfermant plusieurs types de groupements protecteurs, à savoir (1) un ou plusieurs groupements semi-permanents et (2) un ou plusieurs groupements permanents.

Par groupements semi-permanents, on entend des groupements éliminables en premier lieu après les réactions de glycosylation lorsque le squelette glucidique comporte le nombre de motifs désirés, sans enlèvement ou altération des autres groupes présents, permettant alors l'introduction de groupements fonctionnels souhaités aux positions qu'ils occupent.

Les groupements permanents sont des groupements capables de maintenir la protection des radicaux -OH durant l'introduction de groupements fonctionnels à la place des groupements semi-permanents.

Ces groupements sont choisis parmi ceux compa-

tibles avec les groupes fonctionnels introduits après élimination des groupes semi-permanents. Il s'agit, en outre, de groupements inertes vis-à-vis des réactions effectuées pour la mise en place de ces groupes fonctionnels et qui
5 sont éliminables sans que ces groupements fonctionnels ne soient altérés.

D'une manière avantageuse, la mise en oeuvre de ces dispositions permet d'élaborer une chaîne glucidique dans laquelle les motifs A et U sont sélectivement
10 substitués.

Pour préparer plus particulièrement des oligosaccharides renfermant les motifs A et/ou U des molécules biologiquement actives évoquées ci-dessus, on a avantageusement recours à des groupements protecteurs tels que les
15 radicaux acyle, alcoyle éventuellement substitués ou aryle.

Les motifs des produits mis en oeuvre de type A comportent, en position 2, un groupe azoté autorisant le maintien de la présence d'une fonction azotée durant les opérations mises en oeuvre dans le procédé. Ce groupe
20 azoté est avantageusement constitué par des groupes tels que $-N_3$ ou $-NHCOO-CH_2-C_6H_5$, ou tout autre groupe constituant un précurseur de fonction amine ou d'un dérivé d'amine, en particulier de $-NHSO_3^-$ ou de $-NH$ -acyle, plus spécialement de $-NH-COCH_3$.

25 Quant aux fonctions carboxyle des motifs U, elles sont bloquées par des groupes inertes vis-à-vis des réactions mises en jeu pour le remplacement des groupes protecteurs et éliminables en fin de synthèse pour libérer les groupes carboxyle, éventuellement aux fins de salifi-
30 cation. Ces groupes protecteurs de fonction carboxyle sont choisis avantageusement parmi les radicaux alcoyle, ou les radicaux aryle.

La structure du produit mis en oeuvre dans la réaction de glycoxylation est choisie en fonction des motifs
35 tifs du squelette glucidique recherché ainsi que des sub-

stitutions recherchées.

Pour former, par exemple, un disaccharide de type $\text{-}\underline{\text{U}}\text{-}\underline{\text{A}}\text{-}$, on utilise deux composés respectivement à structure acide uronique et sucre aminé, répondant, par
5 ailleurs, aux définitions données ci-dessus.

En vue d'une élongation de chaîne, ces composés tels que mis en oeuvre pour former le disaccharide en question, renferment, en outre, un groupement temporaire sur la position destinée à être impliquée dans la nouvelle
10 réaction de glycosylation. Pour une élongation disaccharide U-A vers la gauche, ce groupement temporaire est présent sur le motif $\underline{\text{U}}$ et pour une élongation à droite sur le motif $\underline{\text{A}}$.

Il est ainsi possible d'obtenir, notamment, des enchaînements $\text{U}_w \text{A}_x \text{U}_y \text{A}_z$ dans lesquels la somme des indices est comprise entre 2 et 12, ces valeurs étant incluses dans l'intervalle, w et y ne pouvant être nuls simultanément. Des enchaînements réguliers sont du type U (AU)_n ,
15 $(\text{AU})_n \text{A}$, $(\text{UA})_n$ ou encore $(\text{AU})_n$ avec $1 \leq n \leq 6$.

Selon une variante de réalisation du procédé de l'invention, l'alternance de type A-U ou U-A rencontrée dans les structures des produits naturels peut être modifiée en utilisant, à la place de l'un ou plusieurs des motifs $\underline{\text{A}}$ ou $\underline{\text{U}}$, un sucre constituant un analogue structural
20 de motif $\underline{\text{A}}$ ou $\underline{\text{U}}$, tel qu'un sucre neutre ou un désoxy-sucré, ou encore d'autres motifs acides uroniques ou sucres aminés $\underline{\text{U}}$ ou $\underline{\text{A}}$ de configurations différentes.

Selon un mode préféré de réalisation du procédé de l'invention, on fait réagir l'alcool ci-dessus avec un
30 dérivé réactif tel qu'un halogénure, un imidate ou un orthoester. Ces condensations sont réalisées dans des conditions anhydres.

La réaction de condensation entre l'halogénure et l'alcool est avantageusement du type Koenigs-Knorr.
35 L'halogénure est avantageusement constitué par un bromure

ou un chlorure en raison de commodités d'obtention.

On opère en milieu solvant, plus spécialement dans un solvant organique, notamment du type dichlorométhane ou dichloroéthane.

5 Avantageusement, on utilise un catalyseur, en général un sel d'argent ou de mercure, par exemple, le trifluorométhane sulfonate d'argent, communément appelé triflate d'argent, le carbonate d'argent, l'oxyde d'argent, le bromure mercurique ou le cyanure mercurique. On utilise
10 également un accepteur de protons tel que la sym-collidine de même qu'un capteur pour l'eau éventuellement présente et/ou pour l'acide halogénohydrique formé, par exemple des tamis moléculaires 4 Å.

15 L'étude des conditions de réaction montre qu'il est approprié d'opérer à température ambiante ou encore à une température inférieure pouvant atteindre 0°C ou moins, sous atmosphère d'un gaz inerte tel que l'azote ou l'argon.

Ces conditions permettent de condenser les motifs de structure a et c ou d (ou l'inverse), ou b et c ou
20 d (ou l'inverse), selon la stéréochimie souhaitée. Elles permettent également l'établissement de liaisons covalentes avec des sucres neutres ou des désoxy-sucres.

Une variante comportant l'utilisation, comme catalyseur, de dérivés mercuriques, en particulier de cy-
25 nure et/ou de bromure mercurique, s'avère appropriée pour réaliser des liaisons covalentes entre des alcools de structures variées et un précurseur L-idose du motif de structure d (acide L-iduronique). Selon cette variante, on utilise également des tamis moléculaires 4 Å. Le sol-
30 vant organique est choisi selon la réactivité de l'alcool. Ainsi, on utilise avantageusement un solvant du type du nitrobenzène lorsque la condensation requiert une température supérieure à 100°C. Pour des températures inférieures, on utilise des solvants, tels que le benzène ou le dichlo-
35 rométhane. Des mélanges de solvants conviennent également

pour réaliser la réaction de condensation.

Avec les motifs de type U, en particulier les motifs d, il est avantageux d'utiliser, comme groupe réactif, un orthoester. On réalise alors de préférence la réaction à une température supérieure à 100°C.

Le milieu solvant est du type du chlorobenzène ou tout autre solvant dont le point d'ébullition dépasse 100°C et se trouve avantageusement entre 100 et 150°C. Pour activer la réaction, on utilise un catalyseur tel que du perchlorate de 2,6-diméthyl pyridinium.

Ce mode de réalisation de l'étape de condensation s'avère d'un grand intérêt pour établir une liaison interglycosidique entre un motif de structure d (acide L-iduronique) et un motif de structure a (D-glucosamine) ou b (D-galactosamine).

L'utilisation du groupement orthoester présente, en particulier, un double avantage.

D'une part, elle permet de conférer au carbone anomère de d la réactivité nécessaire pour la réaction de glycosylation. D'autre part, l'ouverture de ce groupe assure la mise en place en position 2 de d d'un groupe protecteur, éliminable sélectivement, en permettant l'introduction, à sa place, d'un groupe de substitution spécifique.

Ainsi, par réaction d'un groupe 1,2-O-méthoxyéthylidène d'un motif d avec le radical -OH d'un motif a ou b, il est possible à la fois d'établir une liaison interglycosidique entre les deux produits utilisés et de disposer en position 2 de d d'un groupe -OAc (Ac représentant un groupe acétyle) qui pourra être éliminé sélectivement aux fins d'introduction d'un groupe fonctionnel donné, par exemple $-\text{SO}_3^-$. Cette disposition permet également de laisser toute liberté pour traiter la position 4 du motif d.

Ces dispositions, particulièrement avantageuses,

permettent de disposer d'un motif 2-O-sulfate L-iduronique tel qu'existant, par exemple, dans les chaînes d'héparine.

Lorsqu'on utilise comme groupe réactif un groupe imidoyle, il s'avère approprié d'opérer à basse température, plus spécialement à une température inférieure ou égale à 5 0°C environ, en milieu solvant, tel que du dichlorométhane, en présence de tamis moléculaire 4 Å et d'un catalyseur tel que de l'éthérate de trifluorure de bore.

Dans l'alcool de départ, le groupe -OH libre 10 occupe la position que l'on souhaite engager dans la liaison de glycosylation.

En choisissant l'alcool de manière appropriée, il est ainsi possible d'établir des liaisons du type 1-2, 1-3, 1-4 ou 1-6.

15 A partir de la séquence formée à l'issue de la réaction de condensation, on élabore une chaîne comportant le nombre de motifs désirés en répétant l'étape de glycosylation.

La fonction alcool de l'un des motifs A ou U 20 impliqué dans la séquence glucidique déjà constituée est alors avantageusement libérée de son groupement protecteur temporaire. Le choix de ce groupement sera aisément déterminé par l'homme de l'art selon la nature des autres groupements présents sur la chaîne glucidique.

25 Parmi les divers groupements pouvant être utilisés, on citera le groupe allyle qui, par traitement, par exemple d'abord avec un agent isomérisant tel que des dérivés de Pd, Rh et Ir, en particulier le chlorure de tris-triphénylphosphine rhodium (I), ou encore le tertiobutoxyde de potassium, puis dans des conditions acides, en 30 particulier avec un mélange d'oxyde mercurique et de chlorure mercurique, permet aisément de recréer un alcool à la position qu'il occupe.

De même, il est possible d'obtenir un groupe 35 -OH par saponification à partir d'un groupe -O-acyle, en

particulier -O-acétyle, ou O-chloroacétyle.

Ces radicaux peuvent être éliminés pour libérer une fonction -OH, par exemple, à l'aide de thiourée en milieu solvant, avantageusement à une température supérieure à 80°C, de préférence de l'ordre de 100°C.

Les dispositions qui précèdent permettent d'obtenir une chaîne glucidique à motifs alternés A-U ou U-A.

Cette alternance régulière peut être modifiée en mettant en oeuvre les produits appropriés dans la réaction de glycosylation. Il est ainsi possible d'élaborer une structure irrégulière avec incorporation de motifs autres que U ou A, en particulier des sucres neutres ou encore des désoxy-sucres. Un autre type de structure irrégulière peut être obtenu en ajoutant plusieurs motifs A ou plusieurs motifs U consécutifs entre deux motifs de structure A-U ou U-A.

Il est entendu que les différentes dispositions de l'invention concernant les motifs A et U s'appliquent également aux autres motifs que peut comporter la chaîne glucidique tels que les sucres neutres ou les désoxy-sucres.

Comme déjà indiqué, les différents groupements présents sur les motifs A et U sont choisis de manière à conférer à ces derniers une réactivité suffisante pour réaliser la liaison glycosidique en question.

Les groupements protecteurs de radicaux -OH, mis à part les groupements temporaires déjà considérés, sont généralement choisis dans le groupe comprenant les radicaux acyle (notamment acétyle, alcoyle, alcoyle substitué tel que benzyle), et pour deux positions voisines, parmi les groupes acétals ou cétals, par exemple benzyldène. Une autre forme de protection consiste à effectuer un blocage de deux groupes -OH sous forme époxyde ou de pont 1,6-anhydro.

Avantageusement, les produits utilisés dans la réaction de glycosylation renferment plusieurs types de

groupements protecteurs, ce qui permet au cours de l'étape de fonctionnalisation d'introduire successivement un ou plusieurs groupements fonctionnels et de libérer un ou plusieurs radicaux -OH si on le désire.

5 D'une manière générale, les groupements protecteurs peuvent déjà occuper des positions déterminées sur les produits mis en oeuvre dans la réaction de glycosylation.

Ils peuvent également être introduits à partir
10 d'autres groupements une fois le squelette glucidique constitué. Cette variante comporte, par exemple, l'utilisation pour la glycosylation d'un produit A dans lequel les groupes -OH en positions 2 et 3 et en positions 1 et 6 sont bloqués sous forme anhydre, respectivement 2,3-époxyde et
15 1,6-anhydro. Grâce à ce blocage, on dispose durant l'élaboration du squelette glucidique d'un élément constituant potentiellement un motif A mais n'interférant pas avec les réactions mises en jeu dans la synthèse. Cette disposition présente l'avantage de laisser une large liberté pour effectuer les réactions désirées sur les groupements des
20 autres motifs.

On remarquera, en outre, dans le cas considéré, que l'ouverture de la fonction époxyde par de l'acide de sodium permet d'introduire, en position 2, un groupe N_3
25 qui constitue donc un précurseur de fonction amine.

D'une manière préférée, pour disposer d'une chaîne glucidique permettant d'introduire sélectivement un ou plusieurs types de substituants au cours de l'étape de fonctionnalisation, en particulier les substitutions
30 spécifiques ci-dessus, on met en oeuvre des produits comportant plusieurs types de groupements protecteurs, à savoir les groupes semi-permanents et les groupes permanents définis plus haut.

Comme déjà indiqué, les substitutions des produits naturels considérés, mises à part celles des posi-
35

tions 2 des motifs A, sont essentiellement constituées par des groupes sulfate.

Les travaux des inventeurs pour mettre au point des conditions de sulfatation appropriées ont montré qu'il
5 est possible et même avantageux d'effectuer une réaction de sulfatation en présence de groupements benzyle. Contrairement aux opinions admises dans ce domaine, l'élimination de groupements permanents benzyle, en présence de groupements -O-sulfate, peut être réalisée.

10 D'une manière préférée, les radicaux -OH des produits de départ destinés à être sulfatés sont alors protégés par des groupes acyle, en particulier acétyle, tandis que les radicaux -OH destinés à être libérés en fin de synthèse sont protégés par un groupe permanent
15 tel que le groupe benzyle.

Selon une grande souplesse du procédé de l'invention, il est possible de soumettre l'ensemble de la chaîne glucidique élaborée à une réaction chimique donnée afin d'introduire un type de substituant déterminé.

20 Ce traitement peut consister par exemple en une estérification, notamment une sulfatation à l'aide d'un agent approprié, réalisée dans des conditions n'altérant pas la structure osidique. Cette sulfatation peut être réalisée de manière spécifique ou non, le cas échéant sur
25 le glycoside totalement déprotégé.

Selon un mode préféré de réalisation de l'invention, l'étape de fonctionnalisation est cependant réalisée sélectivement de manière à introduire sur la chaîne, successivement, plusieurs types de substituants puis de
30 libérer certains radicaux -OH.

Selon des conditions particulièrement avantageuses, permettant d'introduire des groupes sulfate sur des positions déterminées des motifs, de libérer des radicaux -OH sur d'autres positions, de former en position 2
35 des motifs A un dérivé d'amine et en position 6 des motifs

U des dérivés d'acide, on met en oeuvre des motifs répondant aux caractéristiques suivantes.

Les groupes semi-permanents de ces motifs occupent des positions destinées à être sulfatées et sont constitués par des groupes -O-acétyle.

Quant aux positions correspondant à un groupe -OH destinées à être libérées, elles sont occupées par des groupes semi-permanents constitués par des groupes benzyle.

Les positions 2 des motifs A sont substituées par des groupes tels que N_3 ou $NH-COO-CH_2-C_6H_5$ et les positions 6 des motifs U sont occupées par des groupes carboxyle protégés par un radical alcoyle, en particulier méthyle.

Ce jeu de conditions permet de réaliser l'étape de fonctionnalisation, par exemple comme suit :

On introduit tout d'abord sélectivement les groupes sulfate après avoir éliminé les groupes -O-acétyle de blocage. Cette réaction est réalisée de manière à ne pas affecter les groupes benzyle et les groupes azotés et carboxyle présents.

A cet égard, on effectue avantageusement une réaction de saponification à l'aide d'une base forte telle que la soude.

Cette réaction est réalisée de préférence à une température inférieure à l'ambiante et plus spécialement voisine de 0°C.

On soumet le produit résultant de l'hydrolyse à l'action d'un agent d'alcoylation afin d'introduire, sur le groupe carboxyle, les groupes alcoyle protecteurs qui se sont trouvés éliminés lors de l'hydrolyse.

Par réaction avec un agent de sulfatation, on obtient alors l'introduction de groupes sulfate aux positions libérées par l'hydrolyse et laissées libres après l'action de l'agent d'alcoylation.

Des conditions de réaction satisfaisantes pour

la conduite de la sulfatation comprennent la mise en oeuvre d'un agent de sulfatation, tel qu'un complexe triméthylamine/SO₃⁻. Cette réaction est avantageusement réalisée en milieu solvant, plus spécialement dans un solvant tel que le diméthylformamide. De préférence, on opère à une température supérieure à l'ambiante, généralement voisine de 50°C, ce qui correspond à une durée de réaction d'environ 12 heures.

Après l'introduction des groupes sulfate sur les fonctions alcool, on procède à la libération des groupes -OH bloqués par les radicaux benzyle.

L'élimination de groupes benzyle est avantageusement réalisée par hydrogénation catalytique dans des conditions compatibles avec le maintien des groupes sulfate et la transformation des groupes azotés en groupes fonctionnels amine.

On opère de préférence sous pression d'hydrogène en présence d'un catalyseur du type Pd/C.

Cette réaction est avantageusement réalisée en milieu solvant organique, en particulier alcoolique, additionné d'eau.

Pour obtenir l'hydrogénation des groupes azotés précurseurs et l'élimination des radicaux protecteurs des groupes -OH, la réaction est avantageusement réalisée sur une durée d'environ 3 à 4 jours.

Comme déjà indiqué, les groupes fonctionnels amine se présentent sous forme de dérivés de type N-acétyl ou N-sulfate dans les molécules biologiquement actives considérées.

Pour former des groupes N-acétyl, on soumet le produit résultant de la réaction d'hydrogénation à l'action d'un agent d'acétylation. A cet égard, l'anhydride acétique constitue un agent particulièrement approprié.

Pour réaliser cette réaction d'acétylation sélective sans affecter les autres substituants présents sur

les motifs, il convient, notamment, d'opérer à pH basique, en particulier voisin de 8 en milieu aqueux.

On peut également souhaiter former des groupes N-sulfate, ce qui peut être réalisé à l'aide d'un agent de sulfatation du type indiqué ci-dessus. Des pH supérieurs à 9, avantageusement de l'ordre de 9-10, sont utilisés pour la sulfatation.

Après la réaction de sulfatation, l'addition d'une base forte permet de libérer les groupes carboxyle.

Les produits formés peuvent être aisément salifiés à l'aide de résines échangeuses d'un cation approprié. Dans les produits naturels, le cation en particulier est constitué par du sodium. On utilise donc avantageusement des résines échangeuses de cations sodium.

On peut également former des sels de potassium, lithium, magnésium, calcium. On utilise alors une résine échangeuse de protons, puis on neutralise l'acide formé avec la base du cation.

L'invention vise également les oligosaccharides constituant des intermédiaires dans les différentes étapes du procédé de synthèse défini ci-dessus.

Dans une famille, ces oligosaccharides renferment au moins un motif binaire A-U et U-A complètement protégé et possédant soit un groupe réactif sur le carbone anomère du motif à l'extrémité réductrice, soit un seul groupe -OH libre sur le motif à l'extrémité non réductrice, ce groupe -OH occupant la position 3, 4 ou 6 dans le cas d'un motif A et la position 2, 3 ou 4 dans le cas d'un motif U.

Dans une autre famille, les oligosaccharides sont constitués par des motifs complètement protégés tels qu'obtenus à l'issue de l'étape de glycosylation. Une autre famille encore comprend les produits dans lesquels un ou plusieurs groupes -OH sont libérés.

Ces différents oligosaccharides comportent une

chaîne à base de motifs binaires de structure $(A-U)_n$ ou $(U-A)_n$ dans laquelle n est un nombre de 1 à 6.

Ces oligosaccharides correspondent à un enchaînement de type a-c, b-c, a-d, ou encore b-d.

5 Dans un groupe d'oligosaccharides intermédiaires de l'invention, la chaîne glycosidique est constituée par un seul type de ces enchaînements binaires.

Dans un autre groupe, plusieurs de ces types sont présents.

10 Des oligosaccharides correspondants comportent dans leurs chaînes des motifs a-c et a-d, b-c et b-d ou encore a-c et b-d.

Il est entendu que l'ordre des enchaînements considéré ci-dessus dans l'un ou plusieurs des motifs binaires peut être inversé conformément à l'invention.

15 Selon une variante, les oligosaccharides intermédiaires définis ci-dessus renferment un ou plusieurs motifs consécutifs a ou b, ou encore c ou d.

20 Selon une autre variante, les oligosaccharides intermédiaires renferment un ou plusieurs motifs de sucres neutres et/ou plusieurs désoxy-sucres dans leur structure. Les différents groupements protecteurs de ces sucres répondent aux définitions données ci-dessus pour les motifs A et U.

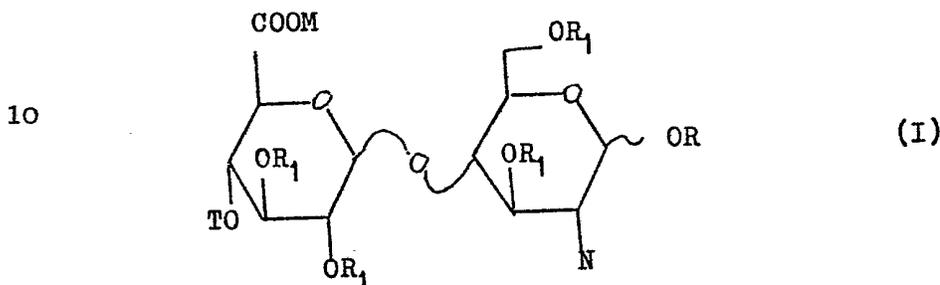
25 Dans ces oligosaccharides, les motifs constitutifs sont reliés entre eux par des liaisons de type 1-2, 1-3, 1-4 ou 1-6 selon la nature de l'alcool mis en oeuvre dans l'étape de glycosylation.

30 Les oligosaccharides possédant la structure de fragments d'héparine ou d'héparane-sulfate comportent des liaisons $\underline{d} 1 \xrightarrow{\alpha} 4\underline{a}$, $\underline{a} 1 \xrightarrow{\alpha} 4\underline{c}$, $\underline{a} 1 \xrightarrow{\alpha} 4\underline{d}$ et $\underline{c} 1 \xrightarrow{\beta} 4\underline{a}$.

35 Les oligosaccharides possédant la structure des fragments de chondroïtines, de chondroïtines-sulfates ou dermatane-sulfate renferment des liaisons de type $1 \xrightarrow{\beta} 3$

et comportent respectivement des motifs $\underline{c} \xrightarrow{\beta} 3\underline{b}$,
 $\underline{d} \xrightarrow{\alpha} 3\underline{b}$, $\underline{b} \xrightarrow{\beta} 4\underline{d}$ et $\underline{b} \xrightarrow{\beta} 4\underline{c}$.

Un groupe d'oligosaccharides préférés renferme
 au moins un motif binaire possédant une structure de type
 5 $\underline{c} \xrightarrow{\beta} 4\underline{a}$, c'est-à-dire [acide-D-glucuronique] $\xrightarrow{\beta}$ 4
 [D-glucosamine] répondant à la formule I :



15 dans laquelle :

- les radicaux R_1 , identiques ou différents les uns des autres, éventuellement conjointement avec R, représentent un groupe protecteur, en particulier un groupement sp semi-permanent ou un groupement p permanent,
- 20 - T, un groupement temporaire t, ou un groupement permanent p, ou un atome d'hydrogène,
- N, un groupe azoté précurseur d'amine ou de dérivé d'amine,
- R, un radical aliphatique ou aromatique, notamment un radical alcoyle comportant de 1 à 4 atomes de carbone, où OR représente un groupe réactif tel qu'un halogénure ou encore R un radical alcoyle et
- 25 - M, un groupement bloquant la fonction acide, ces différents symboles présentant les significations données ci-dessus.

30 Dans un sous-groupe, tous les radicaux R, R_1 et T sont identiques et représentent un groupement p ou sp.

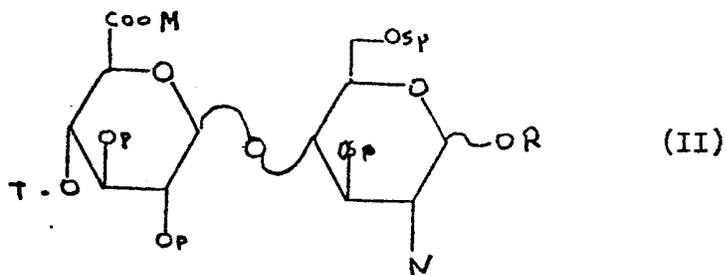
Dans un autre sous-groupe, les radicaux R_1 sont différents les uns des autres, l'un au moins représentant
 35 un groupement de type sp, éventuellement conjointement avec

R, le ou les autres radicaux R_1 représentant un groupe p.

On notera que les significations générales des symboles de la formule I s'appliquent également aux formules des différents groupes considérés ci-après. De même, on re-
 5 trouve dans chacun de ces groupes, notamment, les deux sous-
 groupes évoqués ci-dessus.

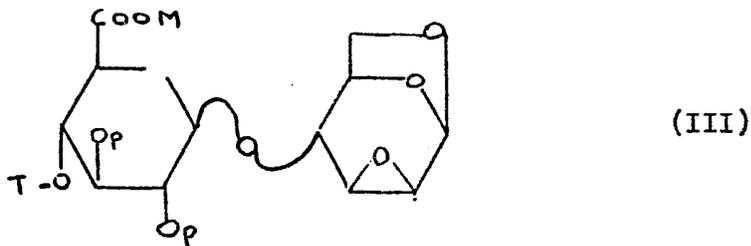
Des oligosaccharides préférés répondent aux formules (II), (III) ou (IV) :

10



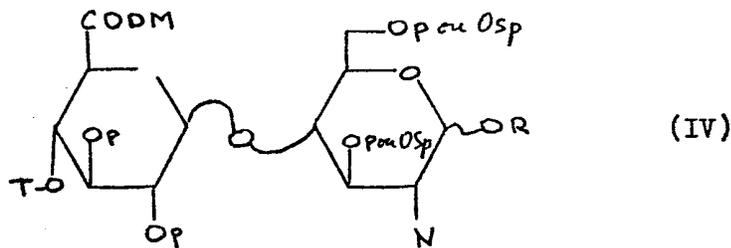
15

20



25

30



35 dans lesquelles les différents symboles présentent les

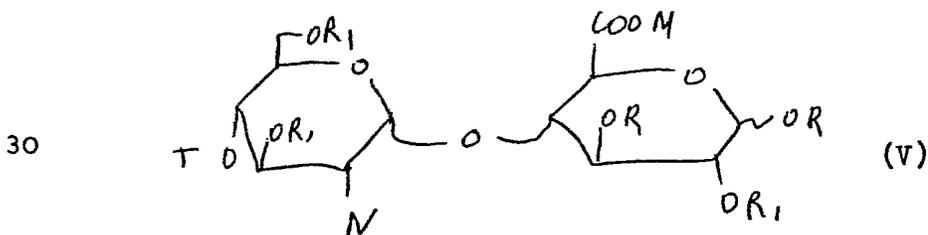
significations données plus haut.

De préférence, dans les formules (II) à (IV), les symboles donnés présentent indépendamment, ou en combinaison, les significations suivantes :

- 5 - M représente un atome d'hydrogène ou un radical alcoyle, en particulier méthyle,
 - sp un groupe acyle, en particulier acétyle,
 - p, un groupe alcoyle substitué, en particulier benzyle,
- 10 - R, un groupe acyle en α ou β , en particulier un groupe acétyle, un radical alcoyle, en particulier méthyle ou alcoyle substitué, notamment benzyle, ou -OR un halogène, en particulier un bromure, ou encore un radical imidoyle,
- 15 - N, un groupe azido,
 - T, le groupe t représentant un radical acyle, en particulier acétyle, un radical acyle halogéné, en particulier, un radical monochloro ou trichloroacétyle, ou le groupe p représentant un radical alcoyle substitué en particulier le radical benzyle, le cas échéant lui-même paraméthoxy ou encore un atome d'hydrogène.
- 20

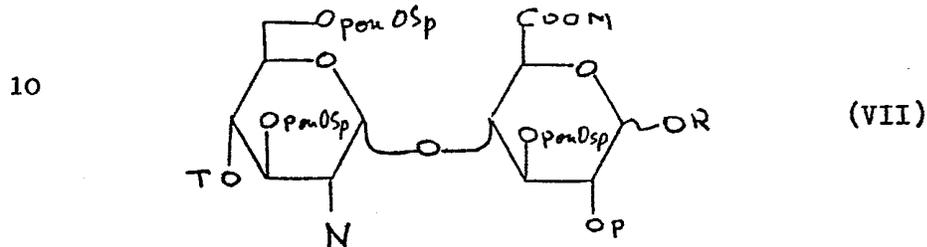
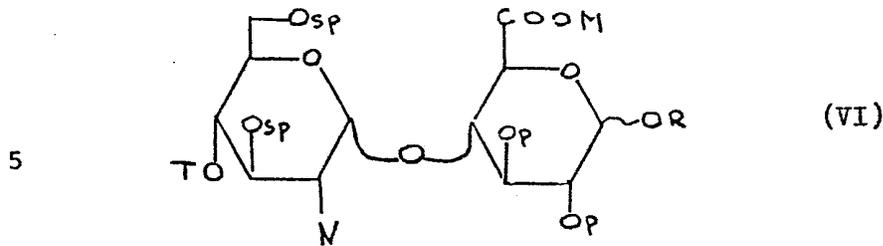
Un autre groupe préféré d'oligosaccharides renferme au moins un motif de type d 1 \longrightarrow 4c, c'est-à-dire [D-glucosamine] 1 \longrightarrow 4 [acide D-glucuronique] répondant à la formule (V) :

25



Des oligosaccharides préférés répondent aux formules (VI) ou (VII) suivantes :

35



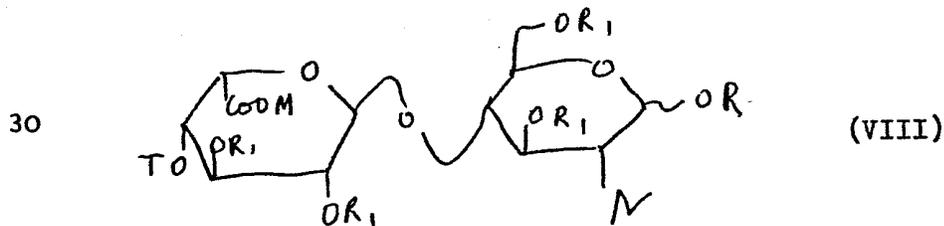
15 Dans ces formules (VI) et (VII), les symboles M, N, sp, p présentent, de préférence, les significations particulières données ci-dessus en rapport avec les formules (II) à (IV), et R représente, en outre, de préférence, un groupe propényle, allyle, imidoyle, ou -H, avec N représentant alors plus spécialement un groupe -NH-acétyle.

20

On rappelle que l'ordre des enchaînements des motifs peut être inversé.

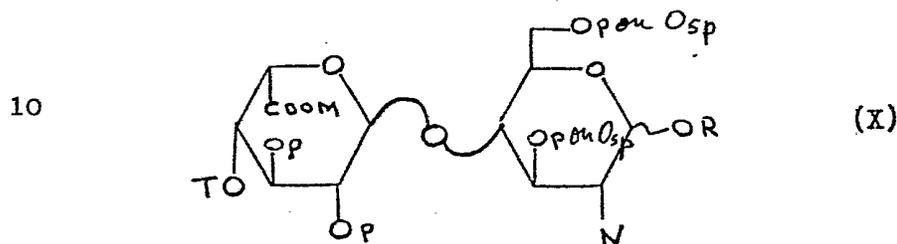
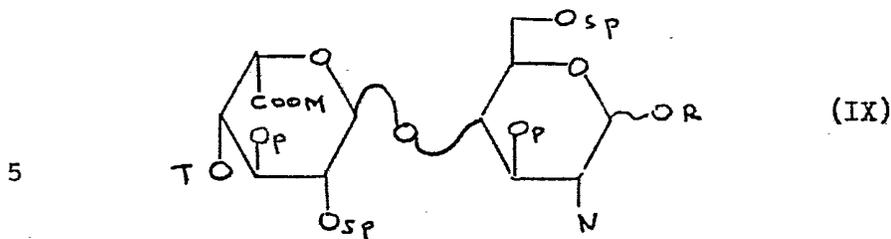
Dans un autre groupe préféré, les oligosaccharides renferment au moins un motif binaire de type

25 $\underline{d} 1 \xrightarrow{\alpha} 4 \underline{a}$, c'est-à-dire [acide-L-idurique] $1 \xrightarrow{\alpha} 4$ [D-glucosamine], répondant à la formule (VIII) :



Des oligosaccharides préférés répondent aux

35 formules (IX) et (X) suivantes :



15 De manière préférée, les symboles figurant dans ces formules (IX) et (X) présentent les significations suivantes :

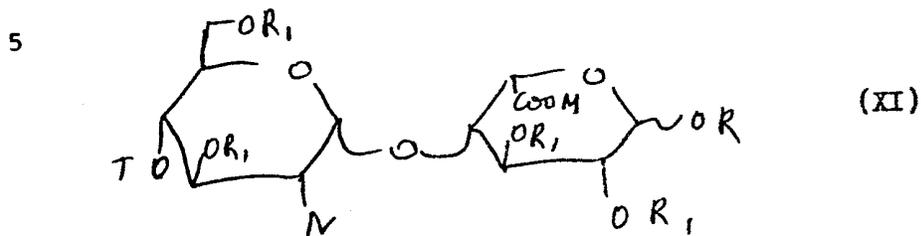
20 - les différents groupes sp et p peuvent être identiques et représentent un radical acyle, en particulier acétyle, ou différents, et choisis parmi les radicaux acyle, en particulier acétyle ou benzoyle et les radicaux aryle ou alcoyle substitué,

25 - N représente un groupe azoté précurseur éventuellement différent de celui présent dans les composés de formules (I) à (V), en particulier un groupe NHCOO-(alcoyle substitué), notamment un groupe $\text{-NH-COO-CH}_2\text{-C}_6\text{H}_5$, ce qui permet de soumettre ces groupes azotés à des traitements différents et de former des dérivés d'amine différents en position 2 des motifs A,

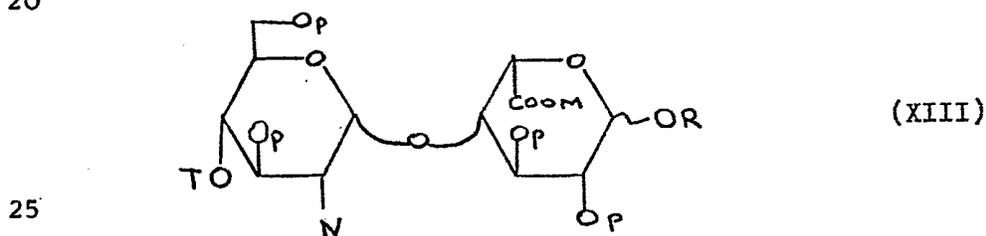
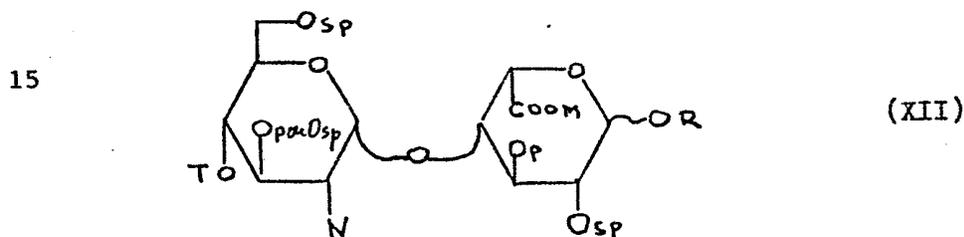
30 - T représente le radical acétyle, acyle halogéné, en particulier, monochloro ou trichloroacétyle, p-méthoxybenzoyle, les symboles p, M et R présentant avantageusement les significations préférées données ci-dessus en rapport avec les formules (II) à (IV).

35 Un autre type de motif binaire d'oligosaccha-

rides préférés présente une structure $1 \xrightarrow{\alpha} 4d$, c'est-à-dire [D-glucosamine], $1 \xrightarrow{\alpha} 4$ [acide-L-iduronique] répondant à la formule (XI) suivante :



Des oligosaccharides particuliers répondent aux formules (XII) et (XIII) :



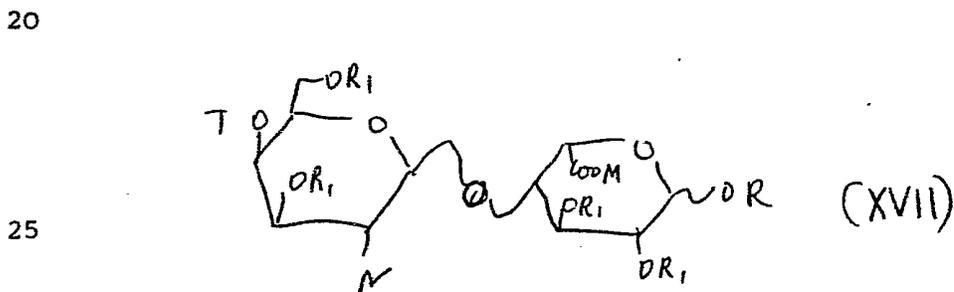
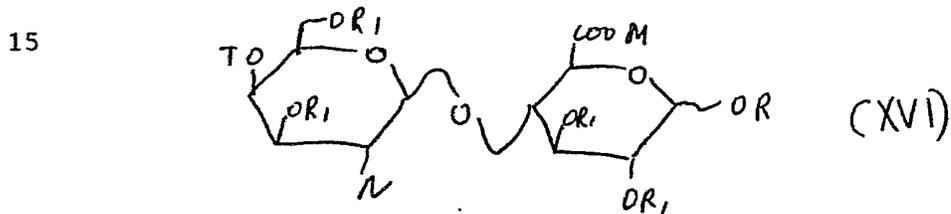
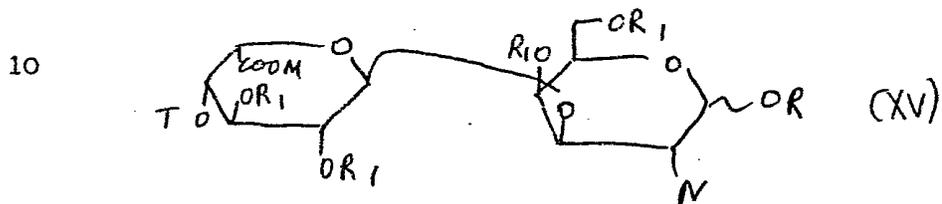
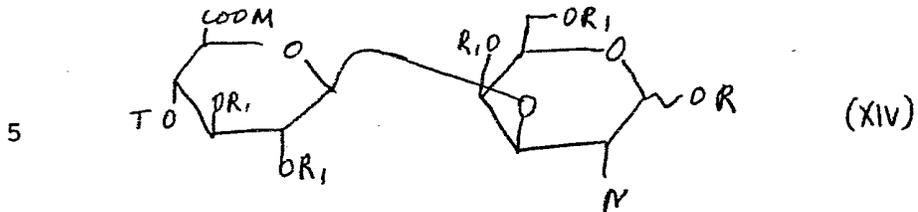
dans lesquelles les significations préférées correspondent à celles données ci-dessus pour les formules (II) à (IV).

Une autre famille préférée d'oligosaccharides renferme des motifs de structure D-galactosamine.

30

Les oligosaccharides correspondants répondent avantageusement aux formules (XIV) à (XVII) suivantes :

35



Dans ces formules, les différents symboles présentent les significations générales données ci-dessus pour les familles d'oligosaccharides comportant un motif glucosamine.

Dans des produits préférés, les symboles considérés présentent également les significations particulières envisagées pour les séquences renfermant un motif glucosamine.

Une autre famille d'oligosaccharides inter-
 médiaires préférée entrant dans le cadre de l'invention
 correspond aux produits dont les groupes protecteurs ont
 été éliminés partiellement en cours de synthèse. En
 5 particulier, de tels produits comportent un groupe -OH à
 la place des groupes sp.

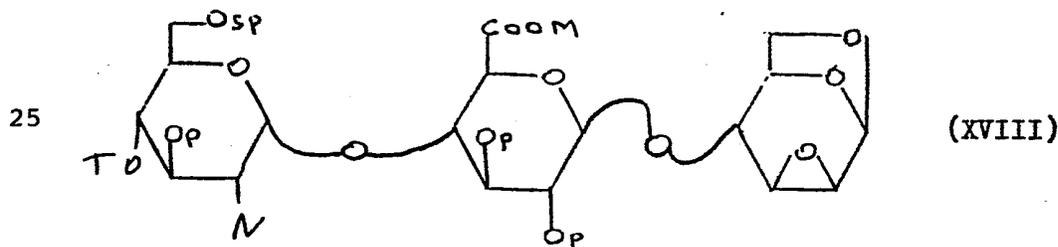
Des produits intermédiaires préférés corres-
 pondent à des oligosaccharides présentant la structure
 de la séquence complète octasaccharidique (ABCDEFGH)
 10 ou hexasaccharidique (C'DEFGH) évoquée ci-dessus.

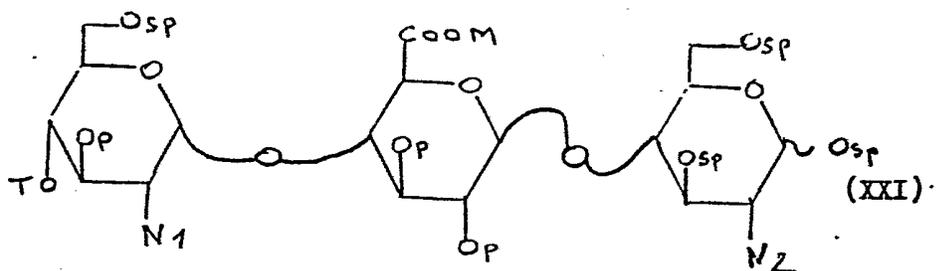
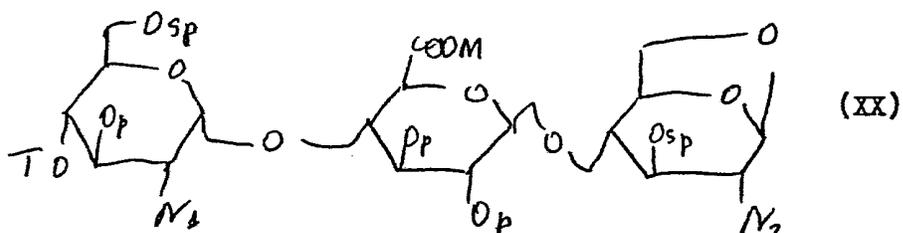
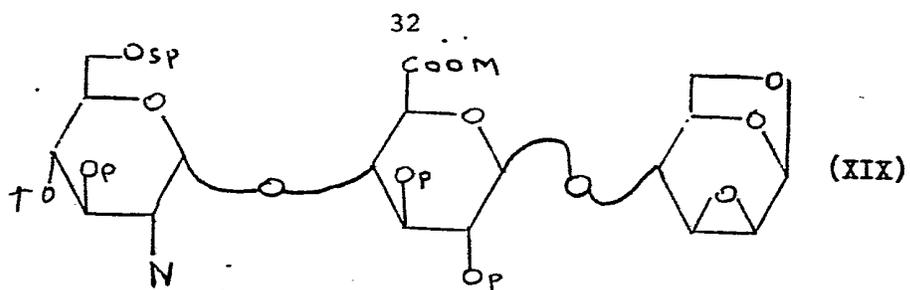
D'une manière préférée, il s'agit de disaccha-
 rides AB, BC, CD, etc.... de trisaccharides ABC, BCD....,
 de tétrasaccharides ABCD, BCDE...., de pentasaccharides,
 ABCDE...., d'hexasaccharides, ABCDEF.... d'heptasaccharides
 15 ABCDEFG ou BCDEFGH ou de l'octasaccharide lui-même.

Parmi ces oligosaccharides, on citera les
 structures BC, DE, DEF, EF, GH, FGH, EFG, EFGH,
 DEFGH et CDEFGH.

Des disaccharides intermédiaires préférés
 20 correspondent aux motifs binaires des formules (I) à
 (XVII).

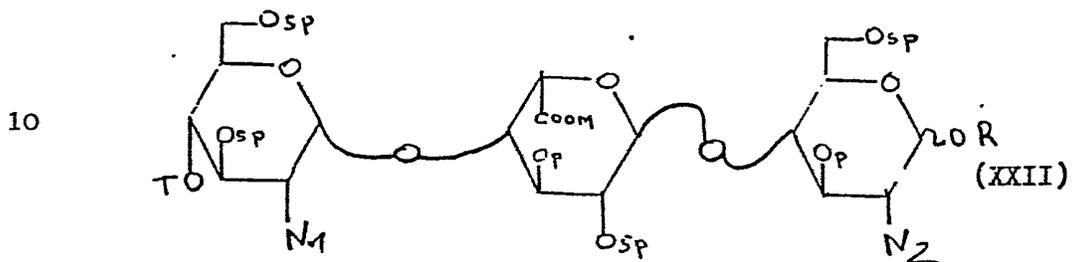
Un groupe préféré de trisaccharides inter-
 médiaires présente une structure DEF et répond à l'une
 des formules XVIII à XXI.





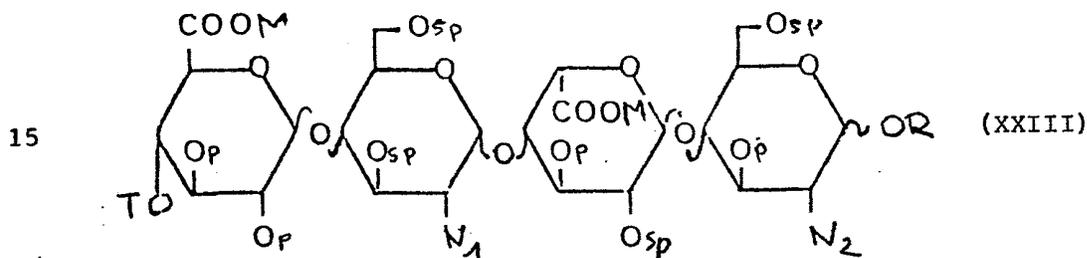
De préférence, N_1 et N_2 , identiques ou différents l'un de l'autre, représentent un groupe azido ou -NH-acyle, en particulier -NH-acétyle.

D'autres trisaccharides préférés possèdent une structure de type FGH de formule



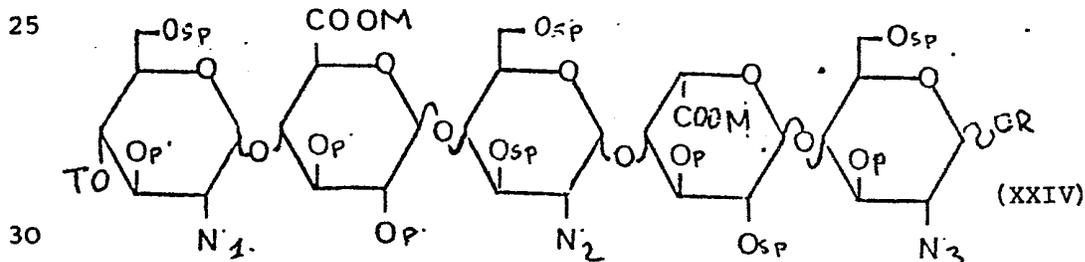
dans laquelle les différents symboles présentent les significations données ci-dessus, les deux substituants N_1 et N_2 des deux motifs glucosamine de structure F et H étant identiques ou encore avantageusement différents, comme dans les produits naturels, et choisis parmi le groupe azido ou $-NH-COO-$ acyle, en particulier $-NH-COO-$ acétyle ou $-NH-COO-CH_2-C_6H_5$.

D'autres oligosaccharides intermédiaires préférés sont constitués par des tétrasaccharides. Des tétrasaccharides plus spécialement avantageux possèdent la structure EFGH et répondent à la formule suivante



dans laquelle les significations préférées des différents symboles correspondent à ceux indiqués pour la formule XXII.

Une autre famille d'oligosaccharides intermédiaires est constituée par des pentasaccharides, en particulier, par ceux de structure DEFGH de formule



dans laquelle les différents symboles présentent les significations préférées ci-dessus, N_1 , N_2 , N_3 pouvant être identiques ou différents les uns des autres et choisis parmi les significations déjà données.

35 Comme évoqué ci-dessus pour les motifs binaires, l'invention concerne également les oligosaccharides

ci-dessus dans lesquels un, plusieurs ou, le cas échéant, la totalité des groupes -OH se trouvent libérés en cours de synthèse.

L'invention vise, en outre, en tant que produits nouveaux, les oligosaccharides répondant respectivement aux différentes définitions données ci-dessus, mais renfermant un ou plusieurs groupements fonctionnels, à l'exclusion du disaccharide [2-N-sulfate(ou 2-N-acétyl)-6-O-sulfate-D-glucosamine]-acide méthyl-D-glucuronique.

Ces groupements fonctionnels sont constitués, de préférence, par des esters, et se présentent plus spécialement sous forme d'anions minéraux.

Des esters particulièrement préférés, en raison de leur présence dans les molécules biologiquement actives de type héparine, héparane-sulfate, chondroïtines et chondroïtines-sulfates, dermatane-sulfate et acide hyaluronique, sont constitués par des esters sulfates.

D'autres esters avantageux correspondent à des esters phosphates.

Ces groupements fonctionnels sont portés par une ou plusieurs fonctions alcool primaire et/ou alcool secondaire et/ou amine primaire.

Une famille préférée d'oligosaccharides de l'invention renferme ainsi des motifs a ou b comportant un anion tel que défini ci-dessus en position 6 et/ou 3 pour a et 6 et/ou 4 pour b.

Une famille particulièrement préférée renferme un motif a comportant un ester, en particulier un groupe sulfate, en position 6 et en position 3.

Des oligosaccharides de cette famille renferment, en position 2, de ces motifs a ou b, un groupe fonctionnel amine primaire avantageusement substitué par un sulfate ou par un autre groupe substituant.

Dans les oligosaccharides de l'invention renfermant au moins deux motifs a et/ou b, les groupements

fonctionnels amine en position 2 peuvent être substitués par un même groupement ou par des groupements différents.

Un groupe préféré d'oligosaccharides de la famille considérée renferme des motifs a ou b comportant des groupes sulfate sur les fonctions alcool seconaire et spécialement alcool primaire.

Des oligosaccharides préférés de ce groupe comportent en position 2 de ces motifs un groupe $-NHSO_3-$. D'autres oligosaccharides comportent un groupe $-NH-$ acyle, en particulier $-NH-$ acétyle.

D'une manière préférée, les esters ci-dessous se présentent sous forme de sels avec un cation minéral ou organique, en particulier un cation métallique, notamment un cation alcalin, ou encore un cation dérivé d'une base organique azotée, par exemple du triéthylammonium.

Les cations utilisés sont constitués par du sodium. D'autres cations sont appropriés tels que les cations potassium, magnésium ou calcium.

Dans une autre famille préférée d'oligosaccharides de l'invention, les groupes carboxyle des motifs c ou d sont libres ou se présentent de préférence sous forme de sels avec un cation organique ou minéral tel que défini ci-dessus. Ils peuvent également être protégés comme rapporté plus haut.

Des produits préférés renferment des motifs d comportant un groupe sulfate en position 2.

D'autres produits préférés présentent des sulfates sur le motif c.

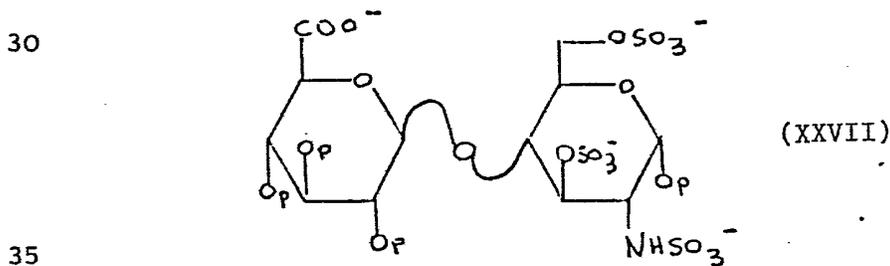
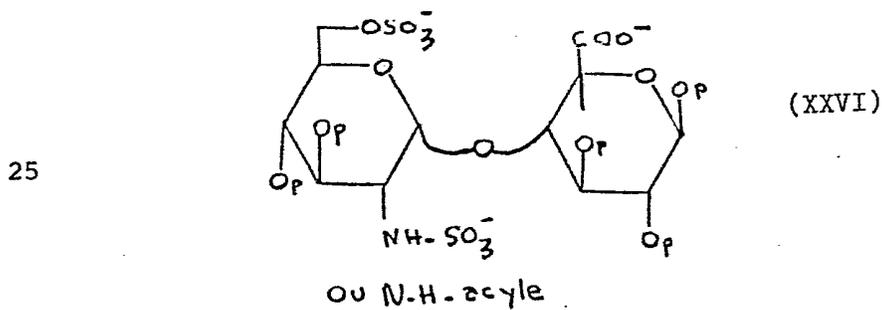
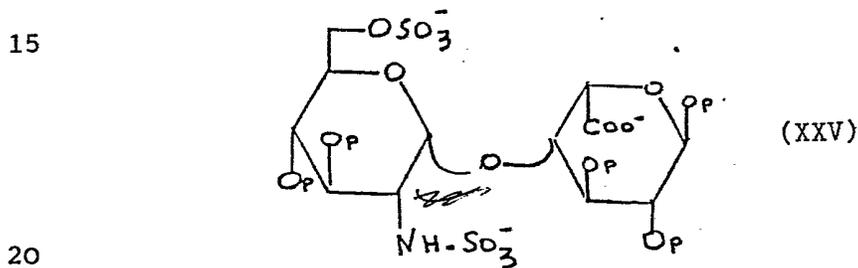
Dans ces différentes familles d'oligosaccharides, les fonctions hydroxyle des cycles pyraniques sont soit libres, soit protégées par des groupements permanents de type alcoyle, en particulier par des groupes méthyle.

Des produits préférés de ces différentes familles renferment, en combinaison, des motifs A et U répondant aux caractéristiques ci-dessus.

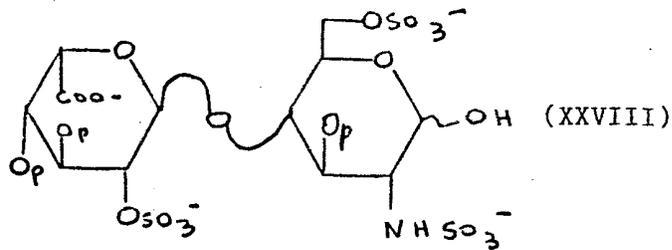
Compte tenu de leur présence dans les molécules biologiquement actives ci-dessus et notamment dans l'octasaccharide ABCDEFGH ou l'hexasaccharide CDEFGH, les oligosaccharides préférés correspondent aux produits de formules (I) à (XXIV) ci-dessus, mais dans lesquelles les groupes $-sp$ sont remplacés par les anions. Des produits préférés correspondent aux sels des produits définis ci-dessus.

D'autres oligosaccharides préférés comportent en outre à la place des groupes N des motifs a et b, des groupes NH-acyle, en particulier $-NHCOCH_3$, $-NHSO_3^-$.

Des disaccharides préférés de ce type présentent une structure de type BD, DE, EF ou GH et répondent respectivement aux formules (XXV) à (XXVIII) suivantes :

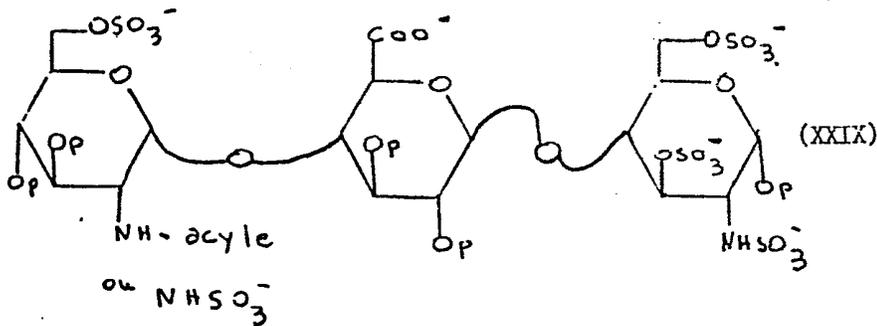


5

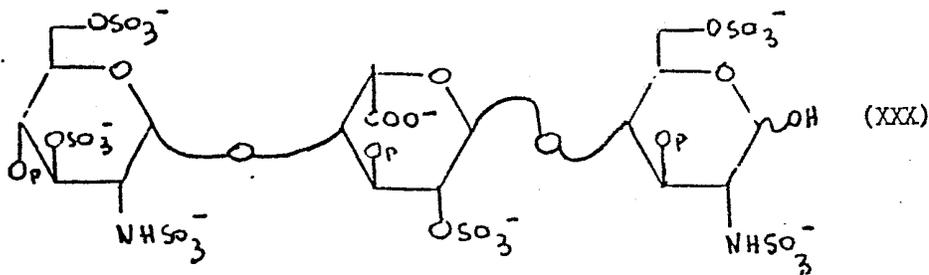


D'autres oligosaccharides préférés de l'invention renferment ou sont constitués par un enchaînement de structure DEF ou FGH respectivement de formules (XXIX) et (XXX) suivantes :

15



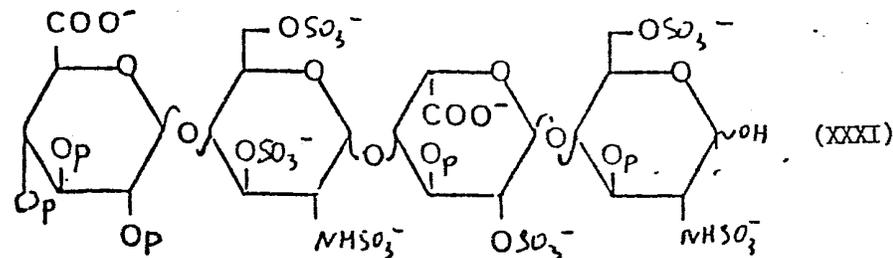
20



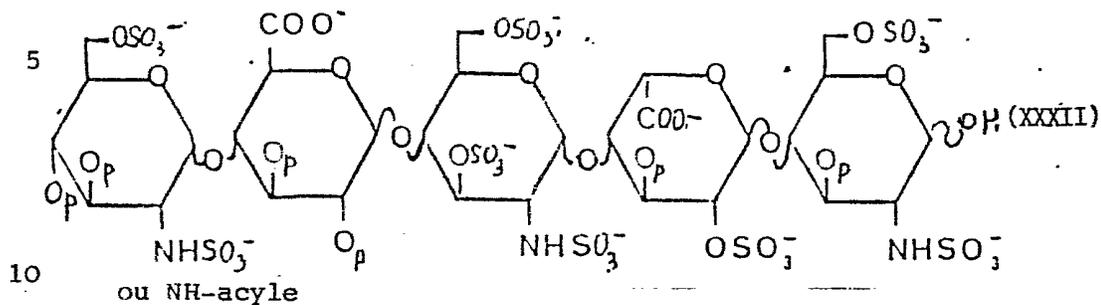
25

D'autres oligosaccharides préférés renferment ou sont constitués par des tétrasaccharides de structure EFGH répondant à la formule (XXXI) suivante :

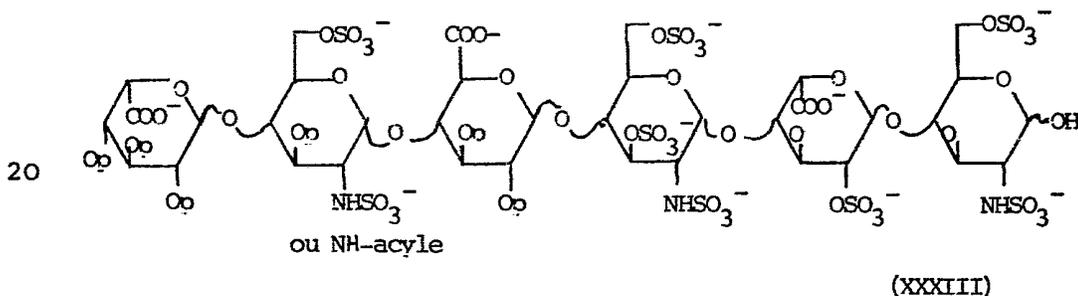
35



D'autres oligosaccharides encore spécialement préférés renferment ou sont constitués par des pentasaccharides de formule (XXXII) suivante :



Des oligosaccharides de l'invention particulièrement préférés comprennent ou sont constitués par des hexasaccharides de structure CDEFGH répondant à la formule (XXXIII) suivante :



25 D'autres oligosaccharides répondent à l'une des formules (XXV) à (XXXIII) ci-dessus, mais renferment des groupes -OH libres à la place des groupes -Op. Ces produits sont alors complètement "déprotégés".

30 Dans d'autres oligosaccharides encore une partie des groupes -OSO₃⁻ peut être remplacée par des groupes -OH.

De préférence, les oligosaccharides de l'invention comportent des sels, éventuellement des sels doubles, des anions ci-dessus avec les cations déjà définis. Grâce

35 à leur structure, les produits de l'invention constituent

des intermédiaires de synthèse de grand intérêt permettant d'obtenir des fragments donnés, ou des dérivés de fragments, de molécules biologiquement actives.

Ils constituent, notamment, des composés de référence pour des études de structure.

L'étude pharmacologique d'oligosaccharides de l'invention a montré chez certains de ces composés des activités biologiques leur permettant de contrôler de manière spécifique certaines étapes de la coagulation sanguine. Des produits intéressants sont constitués, par exemple, par les trisaccharides de formule (XXIX), sulfatés et déprotégés et plus particulièrement le dérivé de l'exemple 13 bis.

D'une manière remarquable, les pentasaccharides de formule (XXXIII) sulfatés et déprotégés et tout spécialement le dérivé 50 se révèlent dotés notamment d'une haute affinité pour l'AT III et d'une très haute activité d'inhibition sélective du facteur X activé ou facteur Xa du sang.

L'invention concerne donc également leur application à la constitution de réactifs biologiques, utilisables en laboratoire, notamment comme éléments de comparaison pour l'étude d'autres substances dont on souhaite tester l'activité anticoagulante, notamment au niveau de l'inhibition du facteur Xa et du dosage de l'antithrombine III.

Le trisaccharide de formule (XXIX) à structure DEF dans laquelle le motif D comporte un groupe N-sulfate présente, par exemple, une activité anti-Xa mesurée selon le test de Yin-Wessler, de l'ordre de 7 u/mg.

Le pentasaccharide 50 de l'exemple 9 est caractérisé par des titres Yin-Wessler nettement supérieurs à ceux de l'héparine.

Plus spécialement, ce pentasaccharide est doté d'une activité anti-Xa (Yin-Wessler) égale ou supérieure à 2000 u/mg et d'une haute affinité pour l'AT III.

Dans un test utilisant un substrat chromogène, cette activité a même été de 4000 unités anti Xa/mg (méthode

de TEIEN A.M. et LIE modifiée ; Thrombosis Research N°
10,1977, 388-410).

Ce test consiste à utiliser le facteur Xa commercialisé par la Société SIGMA en solution à 8 u/ml dans
5 du sérum physiologique, la concentration du substrat étant de 1,33 mM.

Pour effectuer ce test, on peut procéder de la façon suivante.

On mélange 10 µl de solution à doser et 300 µl
10 de plasma humain dilué avec du tampon Tris maléate 0,02 M, pH 5.

On laisse incuber une minute à 37°C.

On ajoute 100 µl du susdit facteur Xa (8 u/ml) et une minute après, on injecte la solution obtenue dans le
15 substrat.

L'activité anticoagulante globale de ce produit est très faible, 4 u/mg dans le test APTT.

Ces propriétés leur permettent de contrôler, de manière spécifique, certaines étapes de la coagulation sanguine.
20

L'étude de ces produits montre qu'ils sont capables d'exercer une activité antithrombotique puissante. En outre, des dérivés selon l'invention présentent un grand intérêt pour lutter contre les troubles de la paroi vasculaire, (athéroscléroses et artérioscléroses) et le vieillissement des tissus.
25

De plus, ils présentent l'avantage de ne pas avoir d'effet d'activation sur l'aggrégation plaquettaire et de ne pas entraîner de thrombocytopenie. Ils présentent également l'avantage d'être pratiquement dénués d'effet sur le temps de saignement, ce qui élimine les risques d'hémorragie. Ces deux propriétés sont extrêmement importantes pour les applications médicales.
30

En outre, on observe notamment par voie sous-cutanée une pharmacocinétique allongée, ce qui procure
35

également à ces produits un grand intérêt.

Les oligosaccharides de l'invention sont, en outre, avantageusement dépourvus de toxicité.

Ces produits sont donc particulièrement précieux
5 pour l'élaboration de médicaments utilisables, notamment,
pour la prévention et le traitement des thromboses et du
vieillissement des tissus.

L'invention est donc relative également à des
préparations pharmaceutiques qui renferment lesdits oligo-
10 saccharides à activité anti-Xa élevée, plus spécialement
les pentasaccharides dont question ci-dessus ou actifs
vis-à-vis de phénomènes de type dégénératif.

Elle est plus particulièrement relative à des
préparations pharmaceutiques dépourvues de substances pyro-
15 gènes, contenant une quantité efficace de principes actifs
en association avec des excipients pharmaceutiques.

Elle concerne également les compositions dans
lesquelles le véhicule pharmaceutique est approprié pour
l'administration par voie orale. Des formes d'administration
20 de l'invention appropriées pour l'administration par voie
orale peuvent être avantageusement des gélules gastrorésis-
tantes, des comprimés ou tablettes, des pilules, ou encore
présentées sous forme de liposomes.

D'autres compositions pharmaceutiques compren-
25 nent ces oligosaccharides en association avec les excipients
appropriés pour l'administration par voie rectale. Des for-
mes d'administration correspondantes sont constituées par
des suppositoires.

D'autres formes d'administration de l'invention
30 sont constituées par des aérosols ou des pommades.

L'invention concerne également des compositions
pharmaceutiques injectables, stériles ou stérilisables pour
l'administration tant par voie intraveineuse qu'intramuscu-
laire ou sous-cutanée.

35 Ces solutions renferment avantageusement 1000 à

100 000 u (Yin-Wessler)/ml d'oligosaccharides, de préférence de 5000 à 50 000, par exemple de 25 000 u/ml, lorsque ces solutions sont destinées à l'injection par voie sous-cutanée. Elles peuvent contenir, par exemple, de 500 à 10 000, notamment 5000 u/ml d'oligosaccharides lorsqu'elles sont destinées à l'injection par voie intraveineuse ou par perfusion.

Avantageusement, de telles préparations pharmaceutiques sont présentées sous la forme de seringues non récupérables, prêtes à l'emploi.

10 L'invention concerne également les compositions pharmaceutiques contenant lesdits oligosaccharides en association avec un autre principe actif, utilisable en particulier pour la prophylaxie et le traitement de thrombose, tel qu'un agent veinotonique comme la dihydroergotamine, un sel d'acide nicotinique ou un agent thrombolytique comme l'urokinase.

20 Les compositions pharmaceutiques de l'invention sont particulièrement adaptées pour le contrôle (préventif ou curatif) de certaines étapes de la coagulation du sang chez l'homme ou l'animal), notamment dans le cas où le patient est soumis à des risques d'hypercoagulabilité résultant notamment d'opérations chirurgicales, de processus athéromateux, de développement de tumeurs et de troubles de la coagulation par des activateurs bactériens ou enzymatiques, etc.

Certaines compositions sont plus spécialement appropriées pour lutter contre le vieillissement des tissus ou des manifestations de type dégénératif telles que les alopécies.

30 Afin d'illustrer l'invention, on indique, ci-après, un exemple de posologie utilisable chez l'homme : cette posologie comprend, par exemple, l'administration au patient de 1000 à 25 000 u (Yin et Wessler) par voie sous-cutanée, une à trois fois par jour, selon le niveau des risques d'hypercoagulabilité ou la condition thrombo-

tique du patient, ou de 1000 à 25000 u/24 heures, par voie intraveineuse, en administrations discontinues à intervalles réguliers, ou continues par perfusion, ou encore de 1000 à 25000 u (trois fois par semaine) par voie intramusculaire ou sous-cutanée (ces titres sont exprimés en unités Yin-
5 Wessler). Ces doses peuvent être naturellement ajustées pour chaque patient en fonction des résultats et des analyses de sang effectuées auparavant, la nature des affections dont il souffre et, d'une manière générale, son état
10 de santé.

Outre les compositions pharmaceutiques renfermant les oligosaccharides tels quels, l'invention vise également les compositions pharmaceutiques renfermant au moins un oligosaccharide tel que défini ci-dessus, conjugué, par
15 liaison covalente, à un support soluble ou à un support insoluble, avantageusement au moyen du sucre terminal réducteur.

Des conjugués fixés à des supports solubles préférés sont constitués par des oligosaccharides conjugués
20 à l'AT III.

Un conjugué de ce type comportant le pentasaccharide 49 est tout spécialement préféré. De tels produits constituent des médicaments particulièrement intéressants dans la prévention de thromboses, en cas de déficits en
25 AT III.

D'autres conjugués préférés avec supports solubles sont formés d'un oligosaccharide fixé à un véhicule tel qu'une protéine, notamment la polylysine, ou le sérum albumine bovine.

30 Ces produits sont utilisables comme immunogènes eux-mêmes sources d'anticorps circulants produits in vivo ou d'anticorps monoclonaux, clonés in vitro selon les techniques appropriées.

Dans d'autres conjugués préférés, les oligo-
35 saccharides de l'invention sont conjugués à des supports

insolubles. On utilisera avantageusement les supports classiques.

Ces conjugués sont utilisables comme immunoabsorbants, par exemple pour une purification de haute spécificité de l'AT III et pour son dosage ou pour l'élaboration, par fixation sur des polymères biocompatibles, de nouveaux polymères hémocompatibles athrombotiques.

L'invention vise également l'application des oligosaccharides considérés en médecine nucléaire, en tant que produits radiopharmaceutiques. Ces produits sont alors marqués par des traceurs choisis parmi ceux couramment utilisés dans ce domaine, et notamment à l'aide de technétium 99 m.

A cet effet, on transforme le technétium 99 m obtenu à partir de générateurs du commerce, sous forme de pertechnétate de sodium de valence 7 non réactif, en technétium réduit de valence 4 qui serait la forme la plus réactive du technétium. Cette transformation est effectuée grâce à un système réducteur réalisé à partir de sels d'étain (chlorure stanneux), de sels de fer (sulfate ferreux), de sels de titane (trichlorure de titane) ou autres sels.

La plupart du temps, cette simple réduction du technétium suffit, dans des conditions de pH données, à réaliser la fixation du technétium sur la molécule considérée.

On peut utiliser les produits de l'invention, qui constituent en quelque sorte un support, à des doses de l'ordre de 100 à 200 u Yin-Wessler.

Pour l'élaboration de ces réactifs radiopharmaceutiques, on peut opérer conformément à la méthode de P.V. KULKARNI et al. dans The Journal of Nuclear Medicine 21, N° 2, p. 117-121.

Les produits ainsi marqués sont avantageusement utilisés dans des tests in vivo pour la détection et le diagnostic d'extension des thromboses et des états thrombotiques.

Les oligosaccharides de l'invention peuvent être également utilisés pour la détermination de la spécificité des nombreuses enzymes impliquées dans le métabolisme des glycosaminoglycures.

5 D'autres caractéristiques avantageuses de l'invention apparaîtront dans les exemples qui suivent et en se reportant aux figures 1 à 32 illustrant les produits mis en oeuvre dans les synthèses décrites.

10 Dans ces figures, les références numériques des formules sont utilisées également dans les exemples pour désigner les mêmes produits.

Les abréviations utilisées dans ces formules présentent les significations suivantes :

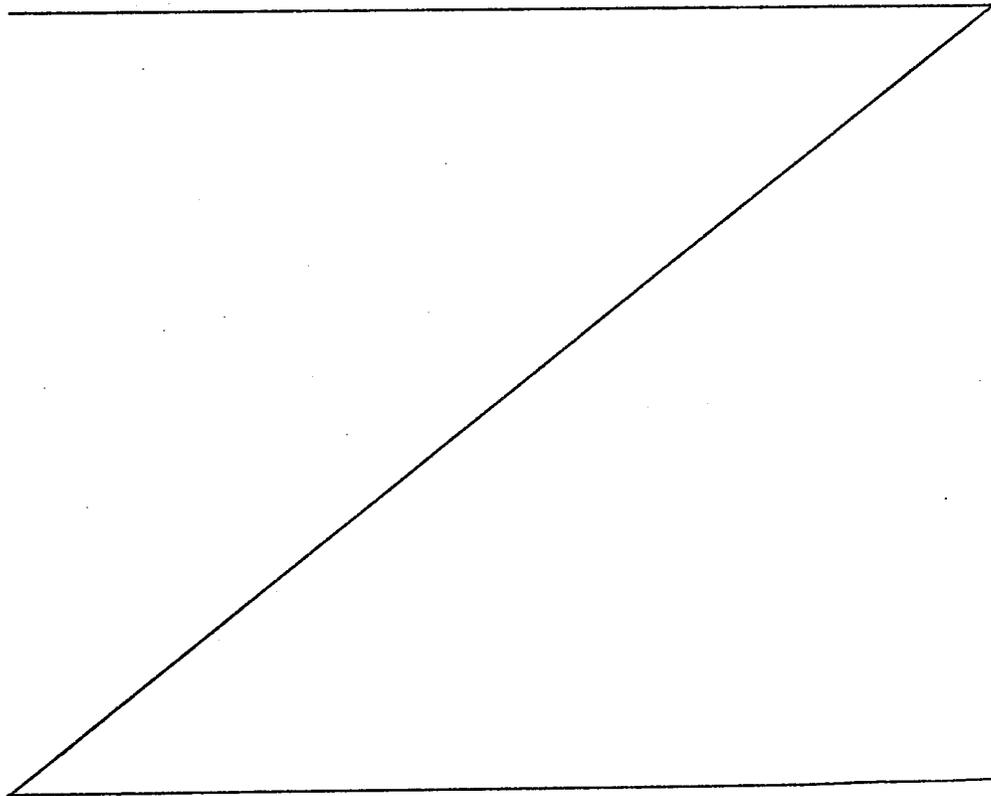
Ac : un groupe acétyle ; Me : méthyle ; Bn : benzyle ;
15 Bz : benzoyle ; MCAO : monochloroacétyle ; Tr : trityle ;
but. : butyle et S un groupe SO_3^- .

20

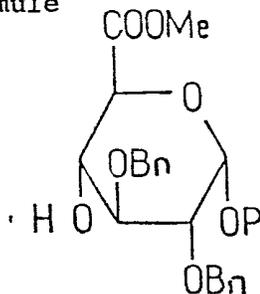
25

30

35



EXEMPLE 1 - Synthèse du dérivé 13 à savoir du
(prop-1'-ényl 2,3-di-O-benzyl- α -D-
glucopyranoside) uronate de méthyle
 de formule



On effectue cette synthèse à partir du glucose
 selon les étapes a) à m) suivantes :

- 10
- 15
- 20
- a) préparation du dérivé allyle ;
 - b) blocage des positions 4 et 6 du dérivé allyle par un groupe benzylidène ;
 - c) introduction de groupes benzyle en positions 2 et 3 ;
 - d) déblocage des positions 4 et 6 par l'élimination du groupe benzylidène ;
 - e) introduction d'un groupe trityle en position 6, suivie d'une réaction d'acétylation de la position 4 ;
 - f) élimination du groupe trityle en position 6 ;
 - g) oxydation du groupe alcool primaire en position 6 ;
 - h) méthylation du groupe carboxyle en position 6 ;
 - i) introduction du groupe propényle en position 1 ;
 - j) élimination du groupe acétyle en position 4.

Ces étapes sont réalisées comme suit (voir les figures 1 et 2) :

- 25
- 30
- 35
- a) préparation de l'allyl α -D-glucopyranoside (composé 1)-
 Une solution d'acide chlorhydrique gazeux (18 g) dans de l'alcool allylique (600 ml) est chauffée à 70°C. On ajoute alors du glucose anhydre (300 g) et on maintient à cette température pendant 3 heures.
- La réaction peut être suivie en chromatographie sur couche mince (c.c.m.) dans le solvant méthanol/chloroforme (1/4, v/v). La solution brune obtenue après 3 heures est concentrée à sec, sous vide, neutralisée par une solution concentrée d'ammoniaque (50 ml) puis concentrée à nouveau à sec. Au résidu obtenu, on ajoute de l'acétone (500 ml), on porte à ébullition et on maintient ainsi jusqu'à dissolution totale. Après refroidissement, le liquide est

décanté. Le résidu est denouveau soumis au même traitement jusqu'à ce que l'analyse en c.c.m. de l'extrait montre un épuisement du résidu en dérivé 1 ou bien une trop forte contamination de l'extrait par des impuretés.

5 Une partie de la première fraction extraite (12 g) est chromatographiée sur silice. On récupère le dérivé 1 qui peut être cristallisé dans un mélange acétone/éther (6,5g; pf 95-99°C). Le reste du produit peut être purifié selon le même processus.

10 b) blocage des positions 4 et 6 du dérivé allyle conduisant à l'allyl 4,6-O-benzylidène- α -D-glucopyranoside (composé 2).

Le composé 1 (37 g) est dissous dans du diméthylformamide (200 ml). Du diméthoxytoluène (41 g) est alors ajouté suivi
15 d'acide paratoluène sulfonique hydraté (130 mg).
Après 2 heures de chauffage (bain-marie) sous vide et reflux, la réaction est terminée (c.c.m. méthanol/chloroforme, 2/25, v/v). Le solvant est évaporé. Le sirop est dissous dans du méthanol (le minimum), cette solution est
20 versée goutte à goutte dans une solution aqueuse de bicarbonate de sodium (6,3 g dans 320 ml d'eau). Le précipité obtenu est recristallisé dans l'éthanol (21 g ; p. f 120-121°C). Les eaux-mères livrent encore du produit 2. Rendement total (37 g ; 71,4%).

25 c) introduction du groupe benzyle conduisant à l'allyl 2,3-di-O-benzyl-4,6-O-benzylidène- α -D-glucopyranoside (composé 3)

Le composé 2 (45 g) est dissous dans du DMF anhydre (500 ml). De l'hydrure de sodium (28 g d'une dispersion à 50%
30 dans l'huile) est ajouté.

Après 30 minutes, le mélange est refroidi à 0°C et on ajoute alors, goutte à goutte, du bromure de benzyle (52 ml). La réaction est suivie en c.c.m. (éther/hexane, 1/1, v/v). On ajoute ensuite lentement du méthanol (150 ml), évapore à
35 sec et reprend par du chloroforme. La phase chloroformique, est lavée avec de l'eau, séchée sur sulfate de sodium. Après

évaporation du solvant, le résidu est cristallisé dans un mélange éther/hexane (36,5 g : PF 83-84°C).

Ce produit est légèrement contaminé par une impureté migrant plus haut en c.c.m. (éther/hexane ; 1/1 ; v/v).

- 5 d) - élimination du groupe benzyldène conduisant à l'allyl 2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside-(composé 4) -

A une solution du composé 3 (56 g) dans le méthanol (1 l) on ajoute de l'eau (450 ml) puis de l'acide paratoluène sulfonique hydraté (17 g).

- 10 Après 2 heures à 80°C, on laisse refroidir le mélange, on évapore le solvant et on reprend le résidu par du chloroforme (1 l), La solution chloroformique est lavée avec de l'eau jusqu'à pH neutre, puis séchée sur sulfate de sodium.

On obtient ainsi un sirop jaune pâle (48 g) qui est engagé

- 15 dans l'étape suivante (synthèse du composé 5).

- e)- introduction d'un groupe trityle en position 6 suivie d'une réaction d'acétylation de la position 4 conduisant successivement à l'allyl 2,3-di-O-benzyl-6-O-trityl- α -D-glucopyranoside (composé 5) et de son analogue 4-O-acétylé (composé 6a)-

- 20 Le dérivé 4 obtenu (48 g) est dissous dans de la pyridine (250 ml) et du chlorure de trityle (38,5 g) est ajouté.

Après 1 heure à 100°C, la réaction est terminée (c.c.m. éther/hexane, 1/1, v/v). A la solution précédente, on

ajoute de l'anhydride acétique (200 ml). Après une nuit, la réaction est complète (c.c.m., éther/hexane, 1/2,

- 25 v/v). On évapore à sec, reprend le résidu par du chloroforme (500 ml), lave la phase chloroformique avec une solution de sulfate acide de potassium à 10% avec de l'eau et sèche sur sulfate de sodium.

Le chloroforme est évaporé. On obtient ainsi le composé

- 30 6 a qui est engagé tel quel dans la réaction de préparation du composé 7 a.

- f) - élimination du groupe trityle conduisant à l'allyl 4-O-acétyl - 2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside (composé 7 a)-

Le dérivé 6a obtenu est dissous dans du chloroforme (500ml). A cette solution, refroidie à 0°C, on ajoute goutte à goutte sous agitation, une solution de trifluorure de bore dans le méthanol (20%, 120ml). La réaction est suivie c.c.m.

5 (toluène/acétone, 10/2, v/v).

Le mélange réactionnel est transvasé dans une ampoule à décanter. La phase chloroformique est lavée par de l'eau (2 fois 100 ml) par une solution saturée de bicarbonate de sodium, puis avec de l'eau jusqu'à pH neutre. Après séchage, et évaporation, le résidu obtenu est introduit sur une

10 colonne de gel de silice (500 g) équilibrée dans le toluène. Après élution de la plupart des impuretés par le toluène pur, le produit est élué par un mélange toluène/acétone (10/2, v/v). On obtient ainsi 48 g du composé 7a, qui sera

15 engagé directement dans la synthèse du composé 8a. Une partie du composé 7a a été obtenue pure : $[\alpha]_D^{20} = +11^\circ$ (chloroforme). Ses spectres IR et RMN, de même que l'analyse élémentaire, confirment la structure.

20 g) - oxydation du groupe alcool primaire en position 6 conduisant à l'acide (allyl-4 O-acétyl-2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside) uronique (composé 8a).

Une solution du composé 7a (48 g) dans l'acétone (800 ml) est refroidie à -5°C. On ajoute ensuite goutte à goutte, une solution de trioxyde de chrome (30 g) dans l'acide

25 sulfurique (3,5 M ; 125 ml). On laisse le mélange revenir à la température ambiante. La réaction est contrôlée en c.c.m. (méthanol/chloroforme, 1/10, v/v). A la fin de la réaction, le mélange réactionnel est versé dans de l'eau (500ml). Le produit est extrait par le chloroforme (3 fois

30 250ml). La phase chloroformique est lavée à l'eau jusqu'à pH neutre, séchée sur sulfate de sodium et concentrée à sec.

Le sirop obtenu (83 g) est utilisé tel quel pour la préparation du composé 9a.

h) - méthylation du groupe carboxyle en position 6 conduisant à 1'(allyl-4-O-acétyl-2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle (composé 9a).

- Le sirop obtenu à l'étape de préparation du composé 8a est dissous dans de l'éther (300 ml). Une solution étherée de diazométhane est alors ajoutée jusqu'à disparition du composé 8a (c.c.m. éther/hexane), 1/1, v/v. Après acidification par l'acide acétique, les solvants sont évaporés.
- 10 Le résidu obtenu (53 g) est dissous dans l'éthanol à chaud. Le dérivé 9a cristallise au refroidissement. Après recristallisation, on obtient ce composé 9a pur (18,4g)-pf $85-86^{\circ}\text{C}$ - $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = +12^{\circ}$ (1,2 chloroforme). Ce produit est caractérisé par ses spectres IR, RMN et par son analyse élémentaire.
- 15 A partir du filtrat de cristallisation, on obtient encore 7,6 g du composé 9a. Le rendement global en 9a à partir du composé 2 est de 38%.

20 i) - introduction du groupe propényle en position 1 conduisant au (prop-1'-ényl 4-O-acétyl-2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle (composé 10a) -

- Le dérivé 9a (4 g) est dissous dans un mélange d'éthanol (119 ml) de benzène (51ml) et d'eau (17ml). On ajoute ensuite du diazabicyclo octane (170 mg) et on porte à reflux. On ajoute à la solution bouillante du chlorure de tris (triphenylphosphine)-rhodium (I) (550 mg). L'ébullition est maintenue pendant 4 heures (c.c.m., éther/hexane, 1/1, v/v).
- 30 A la fin de la réaction, la solution est filtrée et les solvants sont éliminés. Le résidu est chromatographié sur gel de silice (150 g) dans un mélange acétate d'éthyle/chloroforme (1,50, v/v). On obtient le composé 10a (3,25 g ; 81%) qui cristallise dans l'éthanol. $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = +12^{\circ}$

(1, chloroforme). PF 90°C. La structure est confirmée par l'analyse élémentaire et les spectres RMN et IR.

5 j) - élimination du groupe acétyle en position 4 conduisant au (prop-1'-ényl 2,3-di-O-benzyl- α -D-gluco-pyranoside) uronate de méthyle (composé 13).

10 Le décrit 10a (350mg) est dissous dans le méthanol (5ml). Du méthanolate de sodium (0,2ml, 2M) est ajouté. Après 1 h à température ambiante, la réaction est arrêtée par addition de résine dowex 50-H+. Après filtration, le produit 13 est obtenu, contaminé par un peu de produit résultat de l' α - β -élimination.

15 Selon une variante de l'étape e), au lieu d'effectuer une réaction d'acétylation, on réalise une réaction de benzoylation, ce qui conduit à l'allyl-4-O-benzoyl, 2,3-di-O-benzyl-4-O-benzoyl, 6-O-trityl- α -D-gluco-pyranoside (composé 6b), dont on élimine ensuite le groupe trityle, ce qui permet d'obtenir l'allyl-4-O-benzoyl-2,3-di-O-benzyl- α -D-gluco-pyranoside (composé 7b).

20 Ces réactions sont réalisées comme suit :

- préparation des composés 6b et 7b -

25 A la solution pyridinique du composé 5 on ajoute alors du chlorure de benzoyle (1,5 équivalents) et la réaction est suivie en c.c.m. (acétate d'éthyle/benzène, 1/20, v/v). L'excès de chlorure de benzoyle est détruit par addition d'un excès de méthanol. Après évaporation à sec, le résidu, repris par du chloroforme, est lavé avec une solution de KHSO₄ à 10%, avec de l'eau, séché et concentré

30

35

à sec. Le sirop obtenu est engagé tel quel dans la synthèse du composé 7b. Ce sirop (105 g, obtenu à partir de 30g de composé 3) est dissous dans du chloroforme (300 ml). De l'acide paratoluène sulfonique (76 g de monohydrate dans 100 ml de méthanol) est ajouté. Après une nuit, la réaction est terminée (c.c.m., acétate d'éthyle/chloroforme, 1/20, v/v). La phase chloroformique est lavée avec de l'eau jusqu'à pH neutre, séchée et concentrée à sec. Le sirop obtenu (98 g) est chromatographié sur une colonne de gel de silice (1,2 kg), éluée avec du chloroforme (0,6 l) puis avec un mélange acétate d'éthyle/chloroforme (1/20, v/v). On obtient ainsi le dérivé 7b pur (30 g) qu'on engage tel quel dans l'étape de préparation du composé 8b.

À partir du composé 7b, il est possible d'oxyder le groupe $-CH_2OH$ en position 6 puis d'introduire un groupe méthyle sur le groupe carboxyle obtenu, en formant successivement, l'acide (allyl 4-O-benzoyl-2,3-di-O-benzyl- α -D-glycopyranoside) uronique (composé 8b) et l'ester méthylique correspondant (composé 9b).

Ces dérivés sont préparés en procédant comme suit :

- préparation du composé 8b et de l'ester 9b :

Le composé 7b (27 g) est traité comme décrit pour 7a dans la préparation de 8a. Le sirop obtenu en fin de traitement contient le composé 8b qui est méthylé par le diazométhane comme décrit pour le composé 8a.

Le résidu obtenu à l'issue de la méthylation est purifié sur gel de silice (200 g ; éther 1/hexane 1). On obtient ainsi le composé 9b (21 g ; 77,5%). Ses spectres IR et RMN confirment sa structure.

A partir du dérivé 9b, on prépare le dérivé propényle correspondant 10b, en opérant comme pour 10a.

Le dérivé 13 est alors obtenu à partir de 10b selon la réaction donnée pour 10a.

- 5 Selon une autre variante, on prépare l'acide (allyl 2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside) uronique et l'(allyl 2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle (composés 11 et 12)

- le composé 8b (1,9g) est dissous dans du
 10 méthanol (40 ml). On ajoute alors de la soude (5N) en quantité suffisante pour avoir une concentration de 1 M en soude. La réaction est suivie en c.c.m. (méthanol/chloroforme, 1/4, v/v). Quant elle est terminée, on ajoute de l'eau (100ml). On lave avec de l'éther, on acidifie et on extrait le produit à l'éther.
 15 La phase étherée acide est lavée avec de l'eau jusqu'à pH neutre. Le dérivé 11 n'est pas isolé. Il est méthylé par une solution étherée de diazométhane, donnant ainsi le composé 12 (900 mg ; 56%) qui est alors purifié sur une
 20 colonne de gel de silice (éther/hexane, 1/1, v/v). $[\alpha]_D^{20} = +35,2^\circ$ (1,3, chloroforme). Ses spectres IR et RMN et son analyse élémentaire confirment sa structure.
 De la même manière, le dérivé 11 et donc 12 peuvent être obtenus à partir de 9a ou 9b.

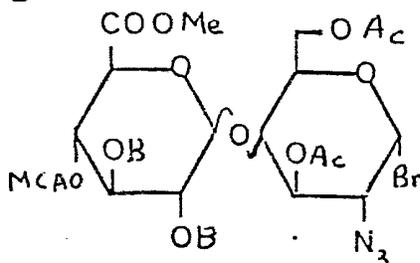
- Le composé 13 peut être obtenu à partir du composé 12
 25 en opérant comme suit :

- Le dérivé 12 est traité par le complexe au rhodium comme décrit pour 9a. Le composé 13 est obtenu avec un rendement de 90%. Il est caractérisé par ses spectres IR et RMN. De plus, traité par de l'anhydride acétique (1ml
 30 pour 180 mg de 9a) il donne le composé 10a.

Selon encore une autre variante, le dérivé 13 peut être obtenu à partir de 10a ou 10b en opérant comme décrit pour l'obtention de 17 à partir de 9a ou 9b.

EXEMPLE 2 - Synthèse du disaccharide 20 ou 1 bromo-3,6-di-O-acétyl-2-azido-4-O-(2,3-di-O-benzyl-4-O-chloroacétyl- β -D-glucopyranosyl) uronate de méthyle/-D-glucopyranose de formule :

5



Cette synthèse comporte les étapes suivantes

(voir les figures 3 et 4) :

A) - la préparation à partir du dérivé 13 de l'exemple 1 du monosaccharide 16 ou (1-bromo-2,3-di-O-benzyl-4-O-chloroacétyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle ;

10.

B) - la condensation du composé 16 avec le monosaccharide 17 conduisant au disaccharide 18 ;

C) - l'acétalyse du composé 18 conduisant au disaccharide 19 et,

D) - la bromuration donnant le disaccharide 20.

15

A) - préparation du monosaccharide 17

Cette synthèse est effectuée à partir du monosaccharide 13 ou (prop-1'-ényl 2,3-di-O-benzyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle, selon les trois étapes suivantes :

20

1 : chloroacétylation du composé 13 ;

2 : déblocage du carbone anomère ;

3 : bromuration du carbone anomère

25

1 : chloroacétylation du composé 13 conduisant au composé 14, à savoir le (prop-1'-ényl 2,3-di-O-benzyl-4-O-chloroacétyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle.

On dissout 2,8 g du composé 13 dans 30 ml de pyridine (6,56 mmoles). Après refroidissement à 0°C, on ajoute

goutte à goutte 10 ml d'une solution de 2 ml de chlorure de chloroacétyle dans 20 ml de dichlorométhane. Après 30 minutes, on évapore à sec, on reprend le résidu par 200 ml de chloroforme, on lave avec une solution à 10% de KH SO_4 , puis avec de l'eau, on sèche et on concentre. Le sirop obtenu est chromatographié sur gel de silice (200 g ; éluant AcO-Et/hexane ; 1/3 ; v/v). On obtient ainsi 2,7 g de composé 14 pur sous forme de sirop (rendement : 80%).
 $[\alpha]_D^{20} = +2^\circ$ (c = 1,5 ; chloroforme).

10 L'analyse élémentaire et le spectre de RMN confirment la structure attendue.

2 : déblocage du carbone anomère conduisant au composé 15 ou (2,3-di-O-benzyl-4-O-chloroacétyl-D-glucopyranoside) uronate de méthyle.

15 On dissout 2,7 g (5,3 mmoles) du dérivé 14 dans 80 ml d'un mélange acétone/eau (5/1 ; v/v). De l'oxyde mercurique (3,1 g) est ajouté suivi d'une solution de chlorure mercurique (3,9 g) dans l'acétone (27 ml). Après 5 minutes, les sels sont éliminés par filtration. Après concentration à sec, le résidu est repris par du chloroforme

20 La phase chloroformique est lavée avec une solution de KI à 10% puis avec de l'eau. Après évaporation, le produit est cristallisé dans un mélange acétate d'éthyle/hexane. On obtient 2 g d'un solide de pf 105-107°C ;

25 $[\alpha]_D^{20} = -4,7^\circ$ (eq, 1, chloroforme). L'analyse élémentaire et l'étude en RMN confirment la structure (rendement 80%).

30 3 : bromuration du carbone anomère conduisant au composé 16 ou (1-bromo-2,3-di-O-benzyl-4-O-chloroacétyl- α -D-glucopyranoside) uronate de méthyle.

On dissout 2 g (4,30 moles) du composé 15 dans 50 ml de dichlorométhane. On ajoute 4,8 ml (34,4 m moles) de sym-collidine à 0°C, suivie de bromure de bromométhylène diméthyl ammonium (17 mmoles) préparé selon HEPBURN

35 D.R. et HUDSON H.R. J. Chem. Soc. Perkin I (1976) 754-757.

Après 4 heures de réaction, le mélange est dilué par 100 ml de dichlorométhane, puis versé dans de l'eau glacée. Après lavage avec de l'eau glacée, le solvant est évaporé. Après chromatographie sur gel de silice (20 g ; éluant 5 hexane/acétate d'éthyle, 2/1 ; v/v) on obtient 2,06 g de composé 16 sous forme d'un sirop (rendement : 90%). $[\alpha]_D^{20} = + 82,5^\circ$ (c = 1,5 ; chloroforme). L'analyse élémentaire et l'étude en RMN confirment la structure.

10 B) - préparation du disaccharide 18 ou 3-O-acétyl-1,6-anhydro-2-azido-4-O-[2,5-di-O-benzyl-4-O-chloroacétyl- β -D-glucopyranosyl)uronate de méthyle/ β -D-glucopyranose -

Cette synthèse est basée sur la condensation des monosaccharides 16 et 17 de 870 mg (3,8 mmoles)

15 A une solution de 870 mg (3,8 mmoles) de composé 17, dans le dichlorométhane, on ajoute 1 g de driérite 0,5 g de tamis moléculaires 4 Å, en poudre, et 0,525 g de carbonate d'argent fraîchement préparé. Après 2 heures d'agitation, on ajoute goutte à goutte à 0°C 670 mg 20 (1,3 mmoles) du composé 16. Après 6 jours, les solides sont éliminés par filtration. Le sirop obtenu après concentration est chromatographié sur gel de silice (50 g ; éluant : chloroforme/acétate d'éthyle ; 4/1 , v/v). On obtient le disaccharide 18 sous forme 25 de mousse (421 mg ; 50 %). $[\alpha]_D^{20} = - 17^\circ$ (c = 1, chloroforme). L'analyse élémentaire confirme la structure. L'étude en RMN confirme la configuration de la liaison interglycosidique.

30 C) - préparation des disaccharides de structure 19 par acétalyse du disaccharide 18 -

On prépare les disaccharides 19 en soumettant le disaccharide 18 à une réaction d'acétalyse comme suit.

300 mg du composé 18 sont dissous dans un mélange de 4 ml d'anhydride acétique et de 0,5 ml d'acide trifluoracétique fraîchement distillé. Le mélange réactionnel est soumis à agitation durant 10 h à 18°C, puis évaporé à sec et co-évaporé avec du toluène. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (15g). Par élution avec un mélange dichlorométhane acétate d'éthyle (19 : 1, v/v), on récupère 282 mg d'un mélange d'acétates anomères de structure 19 sous forme d'un sirop incolore (rendement, 86%). Le rapport des formes α aux formes β , déterminé par analyse par RMN, est de 4/1.

Le spectre RMN confirme la structure attendue.

D) - préparation du disaccharide 20 par bromuration des disaccharides 19 -

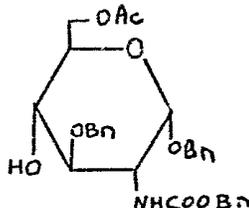
On soumet le mélange d'acétates de structure 19 à l'action de $TiBr_4$: On soumet à agitation une solution de 140 mg du mélange d'acétates 19 dans un mélange de 3 ml de dichlorométhane et de 0,3 ml d'acétate d'éthyle à 17-18°C, sous atmosphère d'argon sec, en présence de 140 mg de $TiBr_4$ (\approx 2 équivalents) pendant 20 heures. Après refroidissement à 0°C et dilution avec 30 ml de dichlorométhane, le mélange est lavé avec de l'eau glacée, puis avec une solution aqueuse à 5 % de bromure de potassium et ensuite avec de l'eau et séché sur du sulfate de sodium, filtré et évaporé. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (10 g). Par élution avec un mélange dichlorométhane - acétate d'éthyle (19 : 1, v/v), on récupère, par ordre d'élution :

- le bromure 20 (74 mg; rendement 50 %) sous forme d'un sirop incolore, instable (immédiatement engagé dans la réaction suivante);

Le spectre RMN confirme la structure attendue.

- une fraction (28 mg; rendement 20 %) correspondant au produit de départ qui n'a pas réagi,
- une fraction migrant peu correspondant à des produits de O-débenzylation partielle.

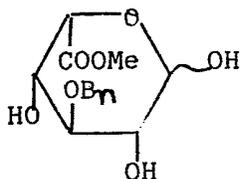
5 EXEMPLE 3 - Synthèse du monosaccharide 22 ou benzyl 6-O-acétyl-3-O-benzyl-2-benzyloxy-carbonylamino-2-désoxy- α -D-glucopyranoside de formule



Ce dérivé est préparé à partir du benzyl-3-O-
 10 benzyl-2-benzyloxy-carbonylamino-2-désoxy- α -D-glucopyra-
 noside (dérivé 21) en procédant comme suit (voir figure 5):
 Une suspension du composé 21 (987mg, 2mM, ce
 composé est préparé selon P.C. WYSS and J.KISS, Helv.
 Chim. Acta, 58 (1975) 1833-1847) dans le 1,2-dichloroéthane
 15 anhydre (15ml) est agitée à reflux pendant 30 h en présence
 de N-acétyl-imidazole (2,5mM, fraîchement préparé). Après
 refroidissement et dilution avec du chloroforme (50ml), la
 phase organique est lavée avec une solution glacée d'acide
 chlorhydrique M, avec de l'eau, avec une solution
 20 aqueuse saturée d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de
 l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée.
 Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de
 silice (50 g). L'élution par le mélange dichlorométhane
 acétone (15 : 1, v/v) donne le dérivé 22 sous forme d'un
 25 sirop cristallisant dans un mélange acétate d'éthyle-
 hexane (759 mg, 71%), PF : 114-115°C ; $[\alpha]_D = + 88^\circ$
 (c = 1, chloroforme).

EXEMPLE 4 : Synthèse du monosaccharide 33

de formule



- On effectue cette synthèse à partir du
- 5 composé 23 selon les étapes suivantes (voir figure 6) :
- 1) introduction d'un groupe benzoyle en position 5,
 - 2) méthylation de la fonction carboxyle en position 6
 - 10 3) isomérisation du groupe OH en position 5,
 - 4) - formation du cycle pyranique.
 - 1) - réaction de benzylation -

63 g de 3-O-benzyl-1,2-O-isopropylidène- α -D-glucofuranoside (composé 23) sont dissous dans 500 ml de pyridine anhydre.

- 15 On ajoute 85 g de chlorure de trityle et on chauffe à 80°C pendant une heure. On obtient ainsi le composé 24.

Pouvoir rotatoire : $[\alpha]_D^{20} = -34,7^\circ$,
chloroforme.

- 20 La structure de ce composé a été confirmée par ses spectres IR et RMN, son analyse élémentaire est correcte.

25

Le mélange est ensuite refroidi à 0°C et on ajoute 45 ml de chlorure de benzoyle. Après une nuit, on détruit l'excès des réactifs par addition de 300 ml de méthanol. Le mélange obtenu, évaporé à sec, est
5 repris par du chloroforme. La phase chloroformique est lavée à l'eau, séchée sur sulfate de sodium et concentrée. On obtient ainsi le composé 25

Le sirop obtenu est dissous dans 400 ml de chloroforme. Après addition de 100 ml d'une solution
10 d'acide paratoluène-sulfonique 5 M dans le méthanol, la solution est laissée à 4°C pendant une nuit. On obtient, après lavage à l'eau de la phase organique, 215 g d'un mélange. Le composé est obtenu par chromatographie de ce mélange sur gel de silice dans le solvant éther-hexane
15 2/1 (v/v). On obtient ainsi 36 g du composé 26.
Pouvoir rotatoire : $[\alpha]_D^{20} = 65,3^\circ$, chloroforme.
La structure du composé 26 a été confirmée par ses spectres IR et RMN.

20 2°) - méthylation de la fonction carboxyle en position 6 -

Le composé 26 (1,88 g) est dissous dans l'acétone (20 ml). On ajoute, goutte à goutte à -50°C
3,5 ml d'une solution de CrO_3 (13 g) dans H_2SO_4 , 3,5 M (29 ml). On laisse la température remonter et on laisse
25 une heure dans ces conditions. Le mélange réactionnel est alors versé dans la glace et le produit est extrait au chloroforme. Après lavage à l'eau et séchage, on évapore à sec. On obtient le composé 27.

Le mélange obtenu est dissous dans du méthanol
30 (20 ml), on ajoute ensuite 10 ml de soude 1 N et on laisse une nuit à température ambiante. Le mélange réactionnel est alors passé au travers d'une colonne (25 ml) de résine Dowex 50 sous forme H^+ au préalable rincée avec du méthanol. Le produit est obtenu par concentration de l'éluat. On obtient
35 ainsi le composé 28.

61 .

Ce composé est dissous dans l'éther et méthylié de façon classique par le diazométhane. On obtient, après évaporation, le composé 29 (1,08 g ; 70,4%).

Pouvoir rotatoire $[\alpha]_D^{20} = -27^\circ$, chloroforme.

D

- 5 L'analyse élémentaire trouvée du composé 29 est correcte. Sa structure est de plus confirmée par ses spectres IR et RMN.

3°) isomérisation du groupe -OH en position 5

- 10 A une solution d'anhydride triflique (0,8 ml) dans le dichlorométhane (16ml), refroidie à -20°C , on ajoute goutte à goutte une solution de pyridine (0,8ml) dans le dichlorométhane (8ml). On ajoute ensuite, à -10°C , goutte à goutte, 800 mg de composé 29 dissous dans du dichlorométhane (8ml). Après une heure à -50°C ,
15 le mélange réactionnel est versé dans un mélange d'eau et de glace (8ml) contenant 160 mg de bicarbonate de sodium. On agite jusqu'à séparation des deux phases organique et aqueuse. La phase organique est lavée par HCl 3%, H_2O , NaCl saturé, séchée et concentrée. On obtient
20 ainsi le composé 30.

Le sirop est repris par du DMF (10ml). On ajoute du trifluoroacétate de sodium (1,6g) et chauffe à 80°C pendant 3 heures. On obtient ainsi le composé 31.

- Après évaporation, reprise par du dichlorométhane, lavage
25 à l'eau et séchage, le résidu est repris par du méthanol puis le solvant est évaporé après une heure. Après chromatographie sur colonne dans le solvant éther-hexane 2/1, on obtient le composé 32 (450 mg : 56,2%).

pouvoir rotatoire : $[\alpha]_D^{20} = -33^\circ$ chloroforme.

- 30 La structure du composé 32 est confirmée par ses spectres IR et RMN. L'analyse élémentaire trouvée est correcte.

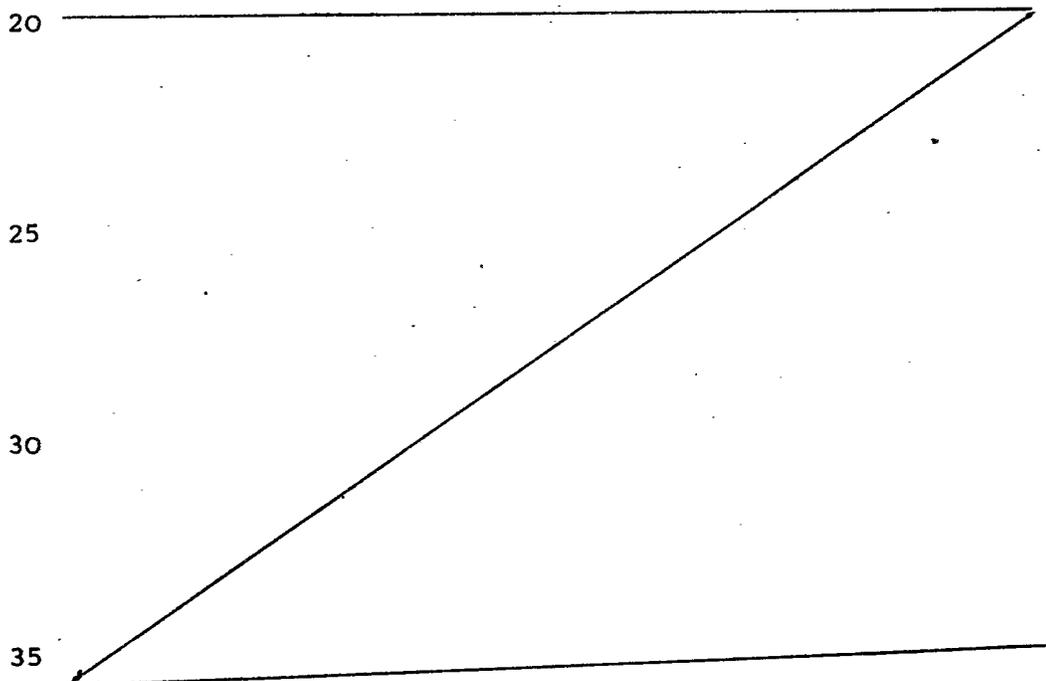
4°) formation du cycle pyranique -

Cette synthèse est effectuée à partir du composé 32.

Le composé 32 (200 mg) est dissous dans un mélange acide trifluoroacétique/eau 9/1.). Après 15 minutes, les 5 solvants sont évaporés. Le résidu est cristallisé dans de l'acétate d'éthyle/hexane. On obtient ainsi 110 mg de composé 33.

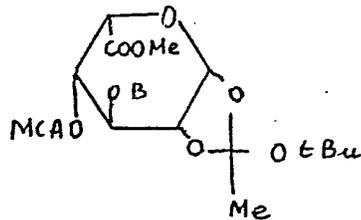
Les caractéristiques de ce dérivé sont les suivantes :

- 10 - spectre IR : dans CHCl_3 , ν en cm^{-1} : 3450(OH), 3080, 3060, 3030
(CH_2 : benzyle) et 1740 (COOCH_3)
- spectre RMN: δ en ppm par rapport au TMS : 3,75 (s, 3H⁺, COOMe)
4,98 (1H⁺), 7,30 (s, 5H⁺, C_6H_5)
- pouvoir rotatoire : $[\alpha]_D^{20} = +13^\circ$, méthanol,
- 15 - analyse élémentaire pour
- | | calculé | trouvé |
|--|------------|--------|
| $\text{C}_{14} \text{H}_{18} \text{O}_7$ | | |
| C..... | 56,37 | 56,17 |
| H..... | 6,08 | 5,85 |
| - P.F..... | 125-126°C. | |



Exemple 5 : Synthèse du dérivé 38 ou 3-O-benzyl-4-O-chloro-
acétyl-1,2-O- tert. butoxyéthylidène - β -L-méthyl idopyranuro-
nate de formule

5



10

Cette synthèse (voir figure 7) est effectuée à partir du dérivé 33 à structure acide iduronique en soumettant α) le dérivé 33 à une réaction d'acétylation, β) le mélange d'acétates anomères 34 et 35 obtenus, à l'action d'un agent de bromuration afin d'introduire un atome de brome sur le carbone anomère, γ) en formant un orthoester en positions 1, 2 et 6) en effectuant une monochloroacétylation en 4 de l'orthoester.

α) réaction d'acétylation conduisant aux 1,2,4-tri-O-acétyl-3-O-benzyl- α, β -L-méthyl idopyranuronates (dérivés 34 et 35).

Une solution du composé 33 (3g) dans un mélange de pyridine anhydre (20 ml) et d'anhydride acétique (10 ml) est agité à 0°C, à l'abri de l'humidité, pendant 5 h. Le mélange réactionnel est évaporé à sec, évaporé avec du toluène (4x20 ml), et séché sous vide. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (150g).

L'élution par le mélange toluène : acétate d'éthyle (4:1 v/v) donne, par ordre d'élution :

- une fraction de tête composée de dérivés furanniques,
- le composé 34, (anomère α), sirop, (170 mg, 4%),
 $[\alpha]_D = -43^\circ$; (c : 1, chloroforme), R.M.N. ($CDCl_3$):
 δ : 6,23 (s, 1H, H-1).
- le composé 35 (anomère β), cristallisant dans un mélange éther-hexane, (2,688 g, 63%), P.F. : 112-113°C, $[\alpha]_D = +9^\circ$ (c : 1, chloroforme) R.M.N. ($CDCl_3$) : δ : 6,08 (d, 1H, H-1, $J_{1,2}$: 1,5 Hz).

Les anomères α et β 34 et 35 ne sont pas séparés lorsqu'on procède à la succession des synthèses décrites.

Leur mélange est utilisé directement sous forme de sirop pour les réactions ultérieures.

- 5 β) réaction de bromuration conduisant au composé 36 ou bromure de 2,4-di-O-acétyl-3-O-benzyl- α -L-méthyl idopyranuronyle.

Un mélange d'acétates 34 et 35 (212 mg; 0,5 mM) est dissous dans du dichlorométhane anhydre (5ml) et de l'acétate d'éthyle anhydre (0,5 ml). Du tétrabromure de titane (250 mg, 0,7 mM) est ajouté en une seule fois, et le mélange réactionnel est agité 24 h à la température ambiante à l'abri de l'humidité. Après refroidissement à 0°C et dilution avec du dichlorométhane, la phase organique est lavée avec de l'eau glacée (3 fois), séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée pour donner le dérivé 36 sous forme d'un sirop légèrement coloré (217 mg, 96%), R.M.N. (CDCl₃) : δ : 6,41 (s, 1H, H-1). Ce composé, très instable est immédiatement engagé dans la réaction suivante.

- 20 γ) préparation de l'orthoester ou 4-O-acétyl-3-O-benzyl-1,2-O-tert-butoxyéthylidène- β -L-méthyl idopyranuronate.

Une solution de bromure 36 (fraîchement préparée à partir de 2,122 g, 5mM, de mélange d'acétates 34 et 35 dans du dichlorométhane anhydre (20 ml) est agitée à la température ambiante sous atmosphère d'argon sec. De la sym-collidine (2,65 ml, 20mM) et du tert-butanol anhydre (3ml; 30mM) sont successivement ajoutés, et le mélange réactionnel est agité 15 h dans ces conditions. Après dilution avec du dichlorométhane (50 ml) la phase organique est lavée avec une solution aqueuse saturée d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séché sur sulfate de sodium, filtré et évaporé. Le résidu est chromatographié sur colonne de gel de silice (120g). L'élution par le mélange hexane:acétate d'éthyle (2:1, v/v, contenant 0,5% de triéthylamine) donne le composé 37 sous forme d'un sirop pur (1,542g, 70% à partir de 34 et 35) $[\alpha]_D^{25} = -23^\circ$ (c : 1, chloroforme), R.M.N. (CDCl₃) : δ : 5,48 (d, 1H, H-1, J_{1,2} : 2,5 Hz).

δ) monochloroacétylation de l'orthoester 37 :

Une solution de l'orthoester 37 (220 mg, 0,5 mM) dans le méthanol anhydre (10ml) est refroidie à -20°C sous agitation et atmosphère d'argon sec. Du carbonate de potassium anhydre (40mg) est ajouté et le mélange réactionnel est agité pendant 5 h dans ces conditions. Les solides sont essorés, le filtrat est évaporé et le résidu est repris dans du chloroforme (50 ml). La phase organique est lavée rapidement avec de l'eau glacée (3 fois), séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est immédiatement dissous dans de la pyridine anhydre (4ml) et du dichlorométhane anhydre (2ml). Après refroidissement à -20°C sous atmosphère d'argon sec, une solution de chlorure de chloroacétyle (0,1 ml, 1,24 mM, fraîchement distillé) dans le dichlorométhane anhydre (1 ml) est ajoutée goutte à goutte. Le mélange réactionnel est agité dans ces conditions pendant 30 mn, puis versé dans un mélange eau-glace (100ml). Après agitation pendant 15 mn, le mélange est extrait avec du chloroforme (3x20 ml). Les phases organiques sont lavées avec de l'eau glacée, avec une solution aqueuse à 2% d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séchées (sulfate de sodium), filtrées et évaporées. Le résidu est chromatographié rapidement sur une colonne de gel de silice (12 g). L'élution par le mélange hexane:acétate d'éthyle (5:2, v/v, contenant 0,2% de triéthylamine) donne, par ordre d'élution :

un composé insaturé 39 (15 mg, 8%),

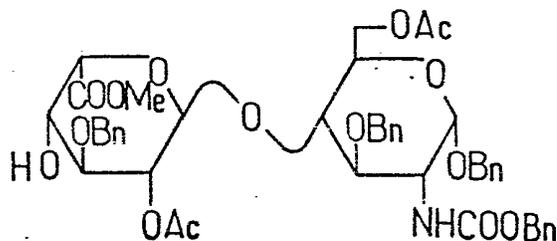
l'orthoester 38 sirop (145 mg, 61% à partir de 12),

$[\alpha]_D^{20} = +19^\circ$ (c:1, chloroforme), R.M.N. (CDCl₃): δ : 5,45

(d, 1H, H-1, $J_{1,2}$: 2,5Hz), 5,24 (d.de d., 1H, H-4,

$J_{3,4}$: 2,5Hz, $J_{4,5}$: 1,5Hz), 4,00 (s, 2H; Cl-CH₂-COO-).

EXEMPLE 6: Synthèse du disaccharide 41 ou benzyl 6-O-acétyl-3-O-benzyl-2-benzyloxy-carbonylamino-2-désoxy-4-O-(2-O-acétyl-3-O-benzyl- α -L-méthyl idopyranuronyl)- α -D-glucopyranoside.



(41)

5 On prépare tout d'abord selon l'étape α) le disaccharide 40 par condensation des monosaccharides 38 et 22, puis on élimine le groupe monochloroacétyle en position 4 dans l'étape β , ce qui conduit au disaccharide 41 recherché (voir figure 8) :

10 étape α : préparation du disaccharide 40 ou benzyl 6-O-acétyl-3-O-benzyl-2-benzyloxy-carbonylamino-2-désoxy-4-O (2-O-acétyl-3-O-benzyl-4-O-chloroacétyl- α -L-méthyl idopyranuronyl)- α -D-glucopyranoside.

15 Une solution de l'orthoester 38 (284 mg, 0,6 mM) et de l'alcool 22. (214mg, 0,4mM) dans du chlorobenzène anhydre (12 ml) est chauffée à 140°C sous agitation et léger courant d'argon sec. Après distillation lente de 10 ml de solvant, une solution de perchlorate de 2,6-diméthylpyridinium (0,006mM, fraîchement préparé) dans du chlorobenzène (4ml) est ajoutée goutte à goutte en 30 mn avec distillation simultanée de solvant (4 ml). Le mélange réactionnel est agité 1 h, avec addition de solvant frais (10 ml) et distillation simultanée de telle sorte que le volume réactionnel reste constant et égal à 4 ml. Après refroidissement et dilution avec du chloroforme, la phase organique est lavée avec une solution saturée d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau séchée sur sulfate de sodium, filtrée et évaporée. Le résidu est chromatographié sur une

20

25

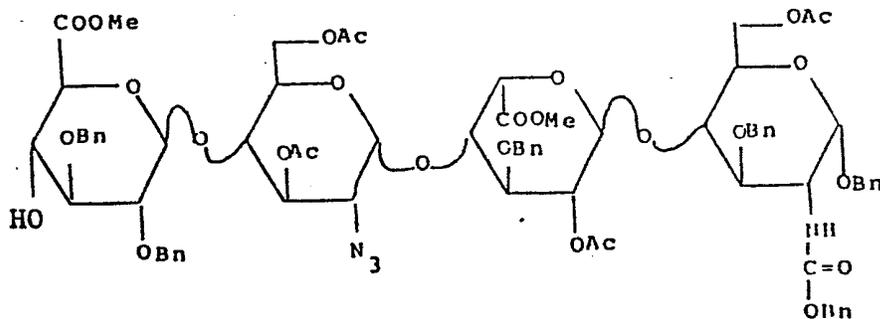
colonne de gel de silice (40 g). L'élution par le mélange hexane:acétate d'éthyle (4:3, v/v) donne, par ordre d'élution :

- le produit 22, (120 mg, 56%)
- 5 - le disaccharide 40, cristallisé dans un mélange éther-hexane (112mg, 30%, PF : 144-145°C, $[\alpha]_D^{20} = +35^\circ$ (c:1, chloroforme), R.M.N. (CDCl₃) : conforme à la structure attendue.

étape } : élimination du groupe monochloroacétyle.

- 10 Un mélange du disaccharide 40 (56mg, 0,06mM) et de thiourée (7mg, 0,1mM) dans de la pyridine (2,5 ml) et de l'éthanol absolu (0,5 ml) est agité à 100°C pendant 30 mn. Après refroidissement et évaporation à sec, le résidu est repris par un mélange eau-chloroforme (1 : 1, v/v 40 ml). La
- 15 phase organique est lavée avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (2g). L'élution par le mélange acétate d'éthyle : hexane (2 : 1, v/v) donne le disaccharide 41, cristallisé dans l'éther (46mg,
- 20 30%), P.F. : 146-147°C $[\alpha]_D = 44^\circ$ (c : 1, chloroforme), R.M.N. (CDCl₃) : conforme à la structure attendue.

Exemple 7 : Synthèse du tétrasaccharide 43 de formule



43

On prépare le tétrasaccharide 43 en effectuant :

- 25 - dans l'étape a) la condensation des disaccharides 20 et 41 dont la synthèse est décrite dans les exemples 2 et 6 et en soumettant au cours de l'étape b), le tétrasaccharide 42 formé à une réaction sélective de -O-
- 30 démonochloroacétylation en position 4 (voir figure 9) :

a) Réaction de condensation

Un mélange de 64 mg (80 μ M) du bromure 20 fraîchement préparé, de 51 mg (60 μ M) du composé 41 et de 80 mg de tamis moléculaire 4 Å en poudre dans 1,5 ml de dichloro-
5 éthane anhydre est soumis à une agitation durant une demi-heure à la température ambiante, sous atmosphère d'argon sec, puis est refroidi à -20°C . On ajoute successivement 20 ml (150 μ M) de sym-collidine et 31 mg (120 μ M) de triflate d'argent. Le mélange réactionnel est soumis 1 h à agitation
10 à -20°C , puis on laisse la température remonter vers la température ambiante pendant 15 h. Après dilution avec 50ml de dichlorométhane, les solides sont essorés et le filtrat est lavé avec une solution aqueuse glacée d'acide chlorhydrique 1 M puis avec de l'eau (deux fois). On le sèche
15 ensuite sur du sulfate de sodium, on le filtre puis on évapore.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (8 g, gel 230-400 mesh). L'élution par le mélange hexane-acétate d'éthyle (4:3, v/v) permet de récupérer 37 mg
20 de tétrasaccharide 42 (rendement 39%) sous forme d'un verre incolore. $[\alpha]_D^{20} = +56^{\circ}$ ($c = 0,6$; CHCl_3); le spectre de RMN confirme la structure attendue.

Par élution de la colonne avec le mélange acétate d'éthyle-hexane (2:1, v/v), on récupère 23 mg du produit de
25 départ 41 (rendement 44%).

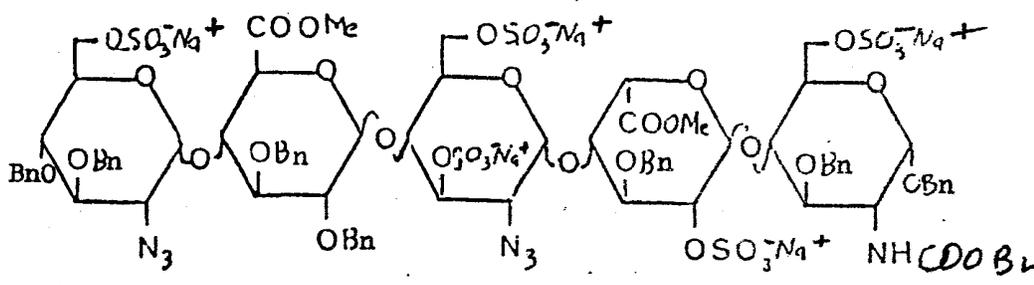
(b) Réaction de -O-déchloroacétylation

Une solution de 36 mg (23 μ M) du tétrasaccharide 42 dans 1,25 ml d'un mélange de pyridine et 0,25 ml d'éthanol absolu est chauffée à 100°C en présence de 7 mg (100 μ M)
30 de thiourée pendant 20 mn. Après refroidissement et évaporation à sec, le résidu solide est repris avec 20 ml d'eau et extrait avec du chloroforme (5 fois 5 ml). Les phases organiques sont lavées avec une solution aqueuse à 10% d'hydrogéné-sulfate de sodium, avec de l'eau, séchées sur du sulfate de

sodium, filtrées et évaporées. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (3 g). Par élution avec un mélange acétate d'éthyle-hexane (3:2, v/v), on obtient 27 mg du dérivé 43 (rendement 80%) sous forme d'un verre incolore $[\alpha]_D^{20} = +61^\circ$ ($c = 0,8$; chloroforme) ; le spectre de RMN confirme la structure attendue.

EXEMPLE 8 (voir figure 10) :

Synthèse du pentasaccharide 45 de formule



10 On effectue une réaction de condensation entre le tétrasaccharide 43 et le monosaccharide 44, ce qui conduit au pentasaccharide 45.

Un mélange de 27 mg (54 μM) de bromure 48 préparé selon H. PAULSEN und W. STENZEL, Chem. Ber., 111 (1978) 2334-2347, de 26 mg (18 μM) du tétrasaccharide 43 et de 50 mg de tamis moléculaire 4 Å en poudre dans 0,8 ml de dichloroéthane est soumis à agitation durant 1/2 h à la température ambiante sous atmosphère d'argon sec, puis refroidi à -20°C . 16 ml (120 μM) de sym-collidine et 26 mg (100 μM) de triflate d'argent sont ajoutés successivement et le mélange réactionnel est soumis à agitation pendant 18 h en laissant la température remonter lentement vers la température ambiante.

Après dilution avec 50 ml de dichlorométhane, les solides sont essorés et le filtrat est lavé avec une solution aqueuse glacée d'acide chlorhydrique 1M puis avec de l'eau (2 fois). On le sèche ensuite sur du sulfate de sodium, on le filtre, puis on évapore.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (5g, gel 230-400 mesh). Par élution avec un mélange hexane-acétate d'éthyle (4:3, v/v), on récupère 30 mg de pentasaccharide 45 sous forme d'un verre incolore (rendement 90 %) $[\alpha]_D^{20} = +67^\circ$ (c 1 : chloroforme). Le spectre de RMN confirme la structure attendue. On trouve en particulier pour les protons anomères des unités de glucosamine des déplacements (δ , TMS) de 5,36 et 5,52 ppm pour les protons appartenant à H, F et D respectivement.

10 EXEMPLE 9 :

Préparation du pentasaccharide 50 (voir figures 10 et 11)

On a recours aux étapes suivantes :

- (a) d'élimination des groupes acétyle (pentasaccharide 46)
- 15 (b) de sulfatation des groupes -OH ainsi libérés (pentasaccharide 47)
- (c) d'hydrogénation pour libérer les groupes -OH protégés par des groupes benzyle et pour transformer le groupe $-N_3$ en groupe $-NH_2$ (pentasaccharide 48)
- 20 d) de sulfatation des groupes NH_2 (pentasaccharide 49, puis saponification des groupes $-COOMe$ en position 6 (pentasaccharide 50).

Ces étapes sont réalisées comme suit :

- a) - élimination des groupes acétyle du dérivé
- 25 45.

Une solution de 28 mg du pentasaccharide 45 dans un mélange de 2,5 ml de 1,2-diméthoxyéthane et de 0,8 ml de méthanol est refroidie à 0°C sous agitation. On ajoute alors 1 ml d'une solution 1M de soude, goutte à goutte, en 10 minutes. Le mélange réactionnel est soumis à agitation 1 heure à 0°C, puis 12 heures à la température ambiante. Après refroidissement à 0°C, on ajoute 3 ml d'acide chlorhydrique 1M et le mélange laiteux est immédiatement extrait avec du chloroforme (5 fois 5 ml). Les phases

35 organiques sont lavées avec de l'eau, séchées sur du sulfate de sodium, filtrées et évaporées. Le résidu est

repris dans 2 ml de méthanol et traité par une solution étherée de diazométhane (excès jusqu'à persistance de la coloration jaune) pendant une demi-heure.

Après évaporation à sec, le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (2 g, gel 230-400 mesh). L'élution par le mélange dichlorométhane-méthanol (15:1, v/v) permet de récupérer 18 mg du pentasaccharide 46 (rendement 72 %) sous forme d'un verre incolore. $[\alpha]_D^{20} = + 57^\circ$ (c = 1; chloroforme);

La structure attendue est confirmée par le spectre de RMN.

b) sulfatation des groupes -OH

A une solution du composé 46 (22 mg) dans le diméthylformamide (0,5 ml), on ajoute du complexe triméthylamine/SO₃ (22 mg, 2,5 éq/OH). Le mélange réactionnel est chauffé à 50°C durant environ 14 h. On ajoute alors à nouveau du complexe triméthylamine/SO₃ (10 mg) et laisse la réaction évoluer durant 24 heures. On ajoute au mélange réactionnel du méthanol (0,5 ml) et du chloroforme (0,5 ml). La solution est introduite au sommet d'une colonne de Séphadex LH₂₀, équilibrée dans un mélange CHCl₃/CH₃OH (1/1 ; v/v). Les fractions contenant le produit sulfaté sont regroupées et le solvant est évaporé. On obtient ainsi un verre (30 mg).

Ce verre est ensuite chromatographié sur gel de silice (10 g) dans un solvant constitué de 3 parties du mélange acétate d'éthylène/pyridine acide acétique/eau, (6/2/0,6/1, v/v/v/v) et de 2 parties du mélange acétate d'éthyle/pyridine/acide acétique/eau, (5/5/1/3, v/v/v/v). parties du mélange acétate d'éthyle/pyridine/acide acétique/eau, 5/5/1/3, v/v/v/v.

Les fractions contenant le produit désiré sont rassemblées et concentrées. Après évaporation des solvants, le résidu obtenu est dissous dans du méthanol additionné d'eau, puis passé au travers d'une colonne de Dowex 50 W x 4, Na⁺,
5 équilibrée dans un mélange méthanol/eau (50/50, v/v).

On obtient ainsi le sel de sodium (composé 47).

c) - hydrogénation

Le produit obtenu ci-dessus est dissous dans du méthanol (3,7 ml) additionné d'eau (0,3ml).

10 A cette solution, on ajoute le catalyseur (Pd/C, 5%, 40mg) et on agite sous atmosphère d'hydrogène pendant 5 jours. Après élimination du catalyseur par filtration, l'analyse du spectre U.V de la solution obtenue montre la disparition
15 est alors évaporé, laissant un résidu, à savoir le composé 48.

d) sulfatation des groupes -NH₂, puis saponification des groupes carboxyle.

Le composé 48 est dissous dans l'eau (4ml). Le pH est ensuite ajusté à 9,5 puis on ajoute à la solution du
20 complexe triméthylamine/SO₃ (54 mg). Le pH est maintenu à 9,5 pendant toute la durée de la réaction par addition de soude 0,1N.

Après une nuit, on procède à une nouvelle addition d'agent de sulfatation (27 mg). Une dernière addition est effectuée
25 après 24 h.

Après 48 h, on ajoute de la soude (3M, 34 ml) au composé 49 formé, puis la solution est soumise à agitation pendant 3 heures à
température ambiante de manière à hydrolyser les méthylesters des motifs de type acide uronique.

30 Le mélange réactionnel est ensuite neutralisé puis concentré jusqu'à un volume d'environ 2 ml.

La solution ainsi obtenue est déposée au sommet d'une

colonne de Séphadex G 25 (100 ml) éluée avec de l'eau. Les fractions collectées sont analysées par absorption UV (206 nm) et en polarométrie (265 nm). Les fractions présentant une activité optique sont regroupées, le solvant est éliminé et le résidu repris par environ 2 ml d'eau et lyophilisé.

On obtient ainsi le dérivé 50 sous forme de poudre blanche (5,6 mg, 25 % par rapport au produit 45).

L'étude en RMN confirme la structure attendue. On trouve en particulier pour les protons anomères des unités de glucosamine, des déplacements (δ , TMS) de 5,36, 5,45 et 5,52 ppm pour les protons appartenant à H, F et D respectivement.

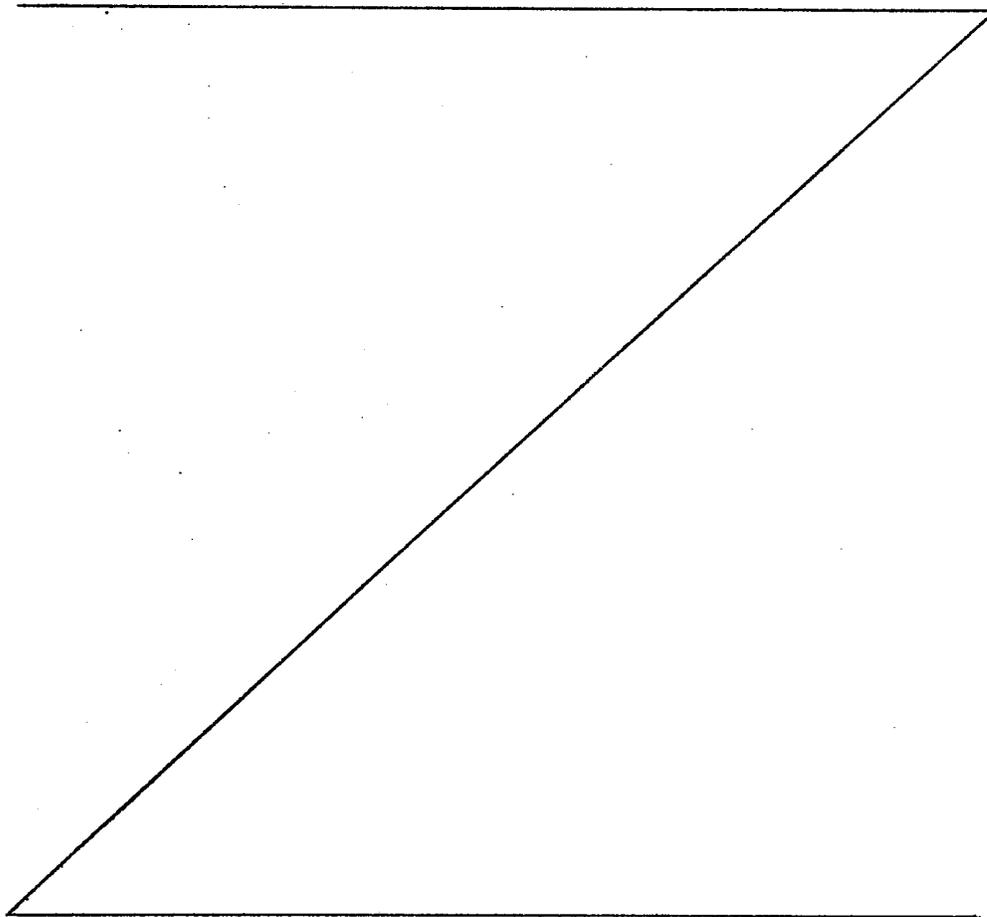
15

20

25

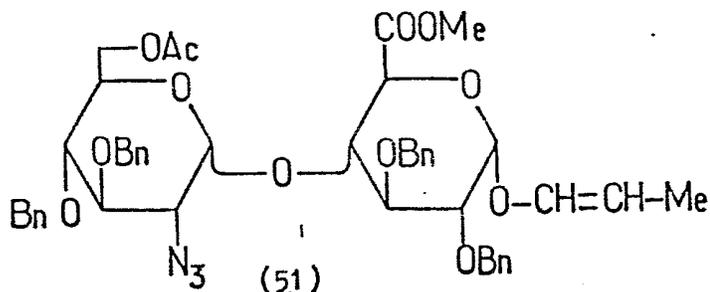
30

35



EXEMPLE 10 - Synthèse du disaccharide 51, à savoir du
 1 prop-1'-é 2,3-di-O-benzyl-4-O/2-azido-
 3,4-di-O-benzyl-6-O-acétyl- - α -D-glucopyrano-
 side/ uronate de méthyle de formule

5



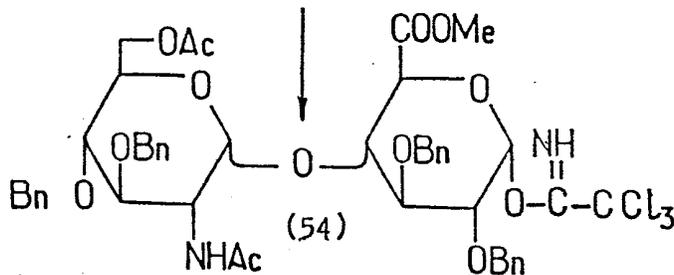
On se reportera à la figure 12.

A une solution de monosaccharide 13 (0,215 g ; 0,5 mmole)
 dans le dichlorométhane (3ml), on ajoute le monosaccharide 44
 (0,49 g ; 1 mmole) dans du dichlorométhane (3ml)
 10 puis des tamis 4 Å en poudre. On refroidit le mélange
 à 0°C, puis on ajoute de la sym-collidine (0,16 ml), et du
 triflate d'argent (0,3g). Après 1 heure, le mélange est
 dilué avec du dichlorométhane (50 ml). Les solides
 sont essorés, puis la solution est lavée avec une solution
 15 à 5% de bicarbonate de sodium, avec de l'eau, puis du
 sulfate acide de potassium à 10% et à nouveau avec
 de l'eau. On obtient ainsi, après évaporation 591 mg
 de résidu. Après purification sur silice dans un mélange
 toluène/acétone 30/1 (v/v), on récupère 211 mg
 20 de disaccharide 51 pur.

Ce produit est caractérisé par son analyse élémentaire.

EXEMPLE 11 - Synthèse du disaccharide 54, à savoir du
 (1-trichloroacétimidyle-2,3-di-O-benzyl-4-O-
 2-acétylamido-2-désoxy-3,4-di-O-benzyl-6-O-
 25 acétyl- α -D-glucopyranoside/uronate de méthyle,
 de formule

30



On se reportera à la figure 12 pour le schéma de synthèse.

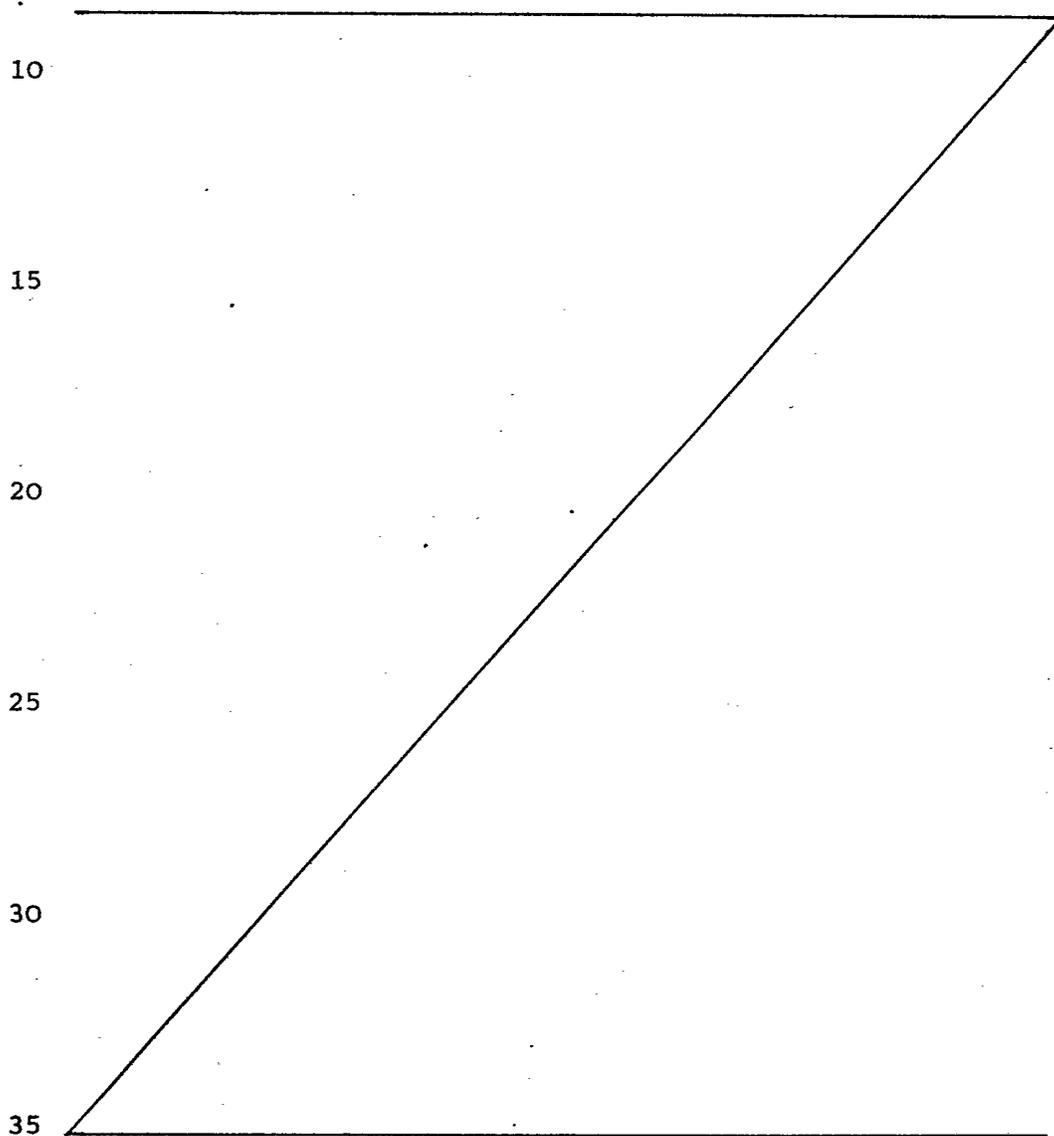
A une solution du disaccharide 51 (180 mg) dans 6 ml
 5 d'un mélange acétone/eau (5/1 ; v/v), on ajoute successivement de l'oxyde mercurique (232 mg) puis goutte à goutte une solution de chlorure mercurique dans un mélange acétone/eau (292 mg/2ml).

Après filtration, évaporation, reprise par du chloroforme
 10 et lavage par une solution d'iodure de potassium à 10% et à l'eau, on obtient le disaccharide 52 (140 mg).

On dissout 100 mg du disaccharide 52 dans 1,6 ml de méthanol. A cette solution, on ajoute du formiate d'ammonium (160 mg) et du catalyseur Pd/C 10% (100 mg). Après cinq
 15 minutes, on élimine le catalyseur et on ajoute de l'anhydride acétique (10 gouttes). Après évaporation, le produit obtenu est purifié sur silice dans un mélange toluène/acétone (4/1 ; v/v). On obtient ainsi 61 mg de disaccharide 53.

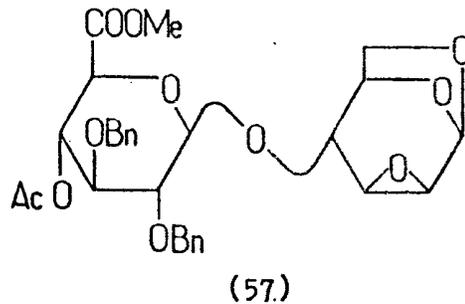
Le disaccharide 53 est caractérisé par son Rf sur plaque de silice (Merck, référence 5719) dans deux solvants différents :
 20 chloroforme/acétate d'éthyle, 3/2, v/v Rf = 0,40 et toluène/acétone, 4/1, v/v ; Rf = 0,20.

Le dérivé 53 (60 mg) est dissous dans du dichlorométhane (1,5 ml). On ajoute alors du trichloroacétonitrile (75 μ l) et de l'hydrure de sodium (1,5 mg). Après 15 minutes, le dérivé 53 a disparu au profit du dérivé 54. Après filtration et évaporation, on obtient 5 (67 mg). Le dérivé 54 est caractérisé par son Rf sur plaque de silice (Merck, référence 5719) chloroforme/acétate d'éthyle, 2/1, v/v ; Rf = 0,59 (0,37 pour le composé 53).



EXEMPLE 12

Synthèse du dérivé 57, à savoir du 1,6-anhydro-2,3-époxy-4-O
 [2,3-di-O-benzyl-uronate de méthyle]- α -D-glucofuranose de
 formule :



On effectue cette synthèse à partir des dérivés 55
 et 56 (voir figure 13).

- 10 a) Préparation du (bromo 2,3-di-O-benzyl-4-O-acétyl-
 - D-glucofuranose) uronate de méthyle-(composé 55) -

SYNTHÈSE DU COMPOSÉ 1d

15 A une solution de 1a (32 g ; 85,5 mmol) dans la pyridine
 (250 ml), on ajoute du chlorure de trityle (28,6 g ; 1,2 eq) puis on
 chauffe à 80°C. Une nouvelle addition de chlorure de trityle (4,6 g ;
 0,2 eq) est faite après 3 heures de réaction. Lorsque la formation de
 20 1b est complète (c.c.m. silice ; méthanol/chloroforme, 1/20, v/v) on
 refroidit la solution jusqu'à 0°C, puis on ajoute du chlorure de
 benzyle (15 ml ; 1,5 eq). Après une nuit, 1c est formé quantitativement.
 Du méthanol (150 ml) est alors ajouté goutte à goutte au mélange
 réactionnel qui est ensuite concentré à sec. Le résidu obtenu est
 repris dans du méthanol (500 ml) contenant de l'acide paratoluène-
 sulfonique (95 g). Après 2 heures de réaction, le mélange réactionnel
 est transvasé dans une ampoule à décanter contenant de l'eau glacée (2 l
 25 Le produit 1d est extrait au chloroforme puis engagé tel que dans l'étape
 suivante.

Une partie de ce produit a été purifiée. L'analyse du spectre IR
 confirme la structure. C'est une gomme incolore. $[\alpha]_D^{20} = -61^\circ$ (chloro-
 forme).

SYNTHÈSE DU COMPOSE 1j

Le sirop obtenu à l'étape précédente (95 g) est dissous dans l'acétone (1 l), puis à la solution, refroidie à 0°C, on ajoute goutte à goutte, une solution d'oxyde de chrome (52 g) dans l'acide sulfurique 3,5 M (220 ml). Après 2 heures de réaction, le mélange réactionnel est versé dans de l'eau glacée (1 l). Le produit 1j est extrait du chloroforme (5 x 200 ml). La phase chloroformique est lavée jusqu'à pH neutre, séchée et concentrée à sec.

Au résidu obtenu ci-dessus, dissous dans le méthanol (650 ml), on ajoute goutte à goutte de la soude en solution dans l'eau (20 g dans 50 ml), puis on chauffe le mélange à 50°C. Après une nuit, la solution obtenue est concentrée partiellement, puis versée dans l'eau (1,5 l). La phase aqueuse est ensuite lavée avec de l'éther, puis, après acidification par l'acide chlorhydrique, le produit 1f est extrait à l'éther. La phase étherée est séchée sur sulfate de sodium, puis concentrée à sec, livrant une masse jaune (50 g) qui contient 1e.

Ce résidu (50 g) est dissous dans un mélange d'acide acétique et d'acide trifluoroacétique (15/1, v/v, 615 ml). A cette solution, agitée à 100°C, on ajoute de l'eau (160 ml). Après une nuit on évapore à sec et élimine les traces d'acide acétique, évaporation de toluène. Le résidu formé en partie de 1f non hydrolysé et de 1j est dissous dans l'éther (400 ml).

A cette solution, on ajoute à 0°C, une solution étherée de diazométhane jusqu'à complète méthylation (c.c.m. silice, etherhexane, 2/1, v/v). L'excès de diazométhane est alors détruit par l'acide acétique puis le mélange réactionnel est concentré à sec.

Le résidu est purifié sur une colonne de gel de silice (200 g) éluée d'abord par du chloroforme pur, puis par un mélange chloroforme/ether, 3/1, v/v. On obtient ainsi 1k (8,6 g ; 22,2 mmol, 26 % par rapport à 1a).

- 5 Le dérivé 1k est cristallin p.f. 122-123°C. L'analyse élémentaire et le spectre de RMN confirment sa structure.

SYNTHÈSE DU COMPOSÉ 1l

- 10 A une solution de 1k (3,9 g ; 10 mmol) dans la pyridine (50 ml), on ajoute de l'anhydride acétique (4 ml, 42 mmol). Après 2 heures, le mélange réactionnel est évaporé à sec. On obtient ainsi 1l (4,62 g ; 58 %)

SYNTHÈSE DU COMPOSÉ 55

- 15 A une solution de 1l (1,4 g) dans le dichlorométhane 30 ml et l'acétate d'éthyle (3 ml), on ajoute du tétrabromure de titane (1,5 g). La solution est agitée toute la nuit à température ambiante. Après dilution par du dichlorométhane, le mélange réactionnel est versé dans l'eau glacée. La phase organique est lavée avec du bicarbonate à 5 % dans l'eau, séchée et concentrée. Le résidu est chromatographié sur silice (50 g, ether/hexane, 1/1, v/v).

- 20 On obtient ainsi le composé 55 (920 mg, 62 %) ; c'est un sirop incolore $[\alpha]_D^{20} = +97,5^\circ$ (c = 1, chloroforme). L'analyse élémentaire et le spectre de RMN confirment la structure.

b) Une solution du dérivé 56 (432 mg, 3 mmoles) dans le dichlorométhane (10 ml) est agitée à 0°C en présence de tamis moléculaire 4 Å (0,5 g), de drierite (1 g) et de carbonate d'argent fraîchement préparé (0,42 g). Après refroidissement à 0°C, on ajoute, goutte à goutte, une solution du composé 55 (490 mg, 1 mmole) dans le dichlorométhane (6 ml). La réaction dure deux heures, le mélange réactionnel est ensuite filtré. Après évaporation à sec et chromatographie sur gel de silice du résidu, (solvant : acétate d'éthyle/chloro-

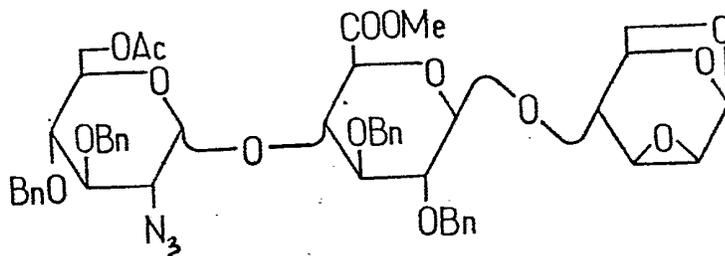
5

10 forme, 1/6, v/v), on obtient le dérivé 57 (285 mg ; 51 %).

La structure du dérivé 57 est confirmée par son analyse élémentaire et son spectre de RMN. Pouvoir rotatoire: $[\alpha]_D^{20} = 39^\circ$; chloroforme ; PF = 156-159°C.

EXEMPLE 13

15 Synthèse du dérivé 59, de formule :



Le trisaccharide 59 est préparé par réaction du disaccharide 58 (obtenu par élimination du groupe acétyle en position 4 du composé 57 de l'exemple 12), avec le monosac-

20 charide 44 en opérant comme suit (voir figure 13) :

- réaction de désacétylation du composé 57 :

A une solution du disaccharide 57 (260 mg) dans le méthanol (25 ml), on ajoute, à 0°C, une solution de soude 1 N (25 ml). Après une heure, le mélange est acidifié par

25 addition d'acide chlorhydrique 1 N (30 ml). Le produit est extrait au chloroforme. Après évaporation, le résidu est cristallisé dans un mélange acétate d'éthyle/hexane. On obtient 167 mg (rendement 70 %) du dérivé 58.

Pouvoir rotatoire : $[\alpha]_D^{20} = -31^\circ$; chloroforme, PF = 169-170°C. L'analyse trouvée est correcte. La structure du dérivé 58 est de plus confirmée par son spectre RMN.

- condensation du disaccharide 58 avec le monosaccharide 44:

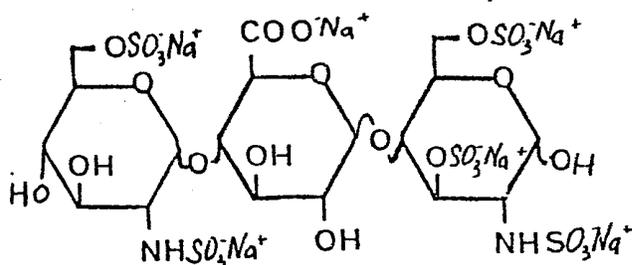
5 A une solution des composés 44 (300 mg) et 58 (155 mg) dans le dichlorométhane (5 ml), on ajoute successivement du tamis de 4 Å en poudre (500 mg), puis de la collidine (100 µl) et du triflate d'argent. Après 15 minutes, la solution est diluée avec du dichlorométhane (50 ml), filtrée, lavée avec successivement de l'eau, une solution à 10 % de sulfate acide de potassium et de l'eau. Après séchage et concentration, le résidu est chromatographié sur gel de silice dans un mélange acétate d'éthyle/chloroforme (1/10, v/v). On obtient ainsi le dérivé 59 sous forme de mousse blanche.

Ce dérivé 59 est caractérisé par son analyse élémentaire, son spectre de RMN et son pouvoir rotatoire ($[\alpha]_D^{20} = +25^\circ$; chloroforme).

EXEMPLE 13 A : Synthèse du trisaccharide de formule

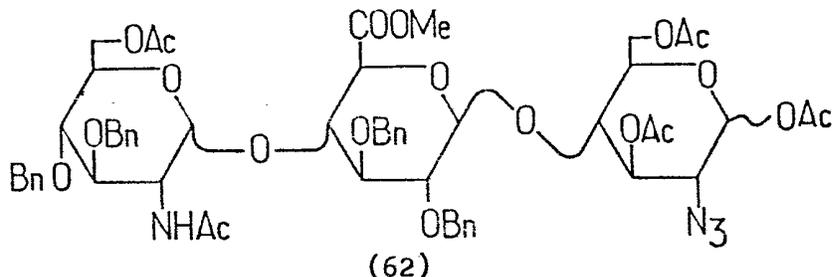
20

25



On fait réagir le monosaccharide 20 avec du méthanol dans les conditions décrites pour la synthèse du tétrasaccharide EFGH ci-dessus. On obtient ainsi un β-méthylglycoside. Le groupe MCA est éliminé de manière classique puis le disaccharide est soumis à l'action du monosaccharide 44 dans les conditions décrites ci-dessus pour l'élaboration du pentasaccharide.

35 Le trisaccharide obtenu est ensuite soumis aux réactions classiques aux fins de déprotection et de fonctionnalisation. La structure est confirmée par le spectre RMN.

EXEMPLE 14Synthèse du trisaccharide 62 de formule :

Ce trisaccharide 62 est préparé selon les étapes suivantes (voir figure 14) :

- 10 a) transformation du groupe N_3 en position 2 du motif glucosamine en groupe $-NHAc$.
 b) ouverture du pont époxy 2,3 du motif à l'extrémité réductrice.
 c) ouverture du pont anhydro-1,6 de ce même motif.

- 15 a) Passage de $-N_3$ à $-NHAc$:

A une solution du dérivé 59 (10 mg) dans un mélange DMF/éthanol (1/1 ; 1 ml), on ajoute du catalyseur Pd/CaCO₃ à 5 % (5 mg). La suspension est agitée sous une pression d'hydrogène de 1 atmosphère pendant 96 heures.

- 20 Après filtration du catalyseur et évaporation, le résidu est dissous dans du méthanol puis acétylé par addition d'une goutte d'anhydride acétique. On obtient quantitativement le dérivé 60.

- 25 Le dérivé 60 est caractérisé par son spectre RMN, son analyse élémentaire, son pouvoir rotatoire : $[\alpha]_D^{20} = +35,5^\circ$; chloroforme. PF : 147-149°C.

- b) Ouverture du pont époxy :

- 30 Le dérivé est tout d'abord saponifié comme indiqué pour la synthèse du dérivé 58, et ce afin d'éliminer le groupement acyle en position 6 du motif terminal non réducteur et le groupement méthyl-ester en position du motif intermédiaire.

- 35 Après extraction, le résidu est dissous dans du DMF et chauffé à 120°C, en présence d'azide de sodium, pendant 48 heures. Après évaporation, extraction par le chloro-

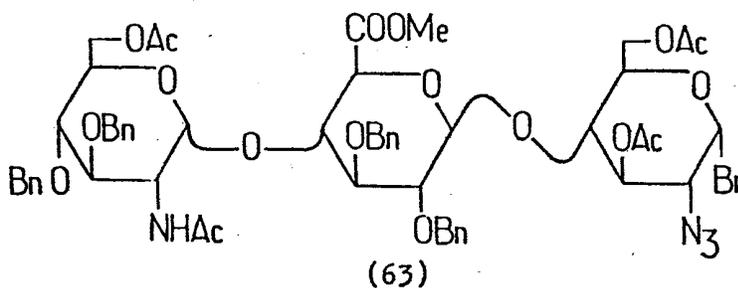
forme, lavage par HCl, 0,1 N, par l'eau, séchage et évaporation du solvant, on obtient un résidu qui est traité par du diazométhane, puis acétylé (pyridine anhydride acétique), donnant ainsi le composé 61.

5 c) Ouverture du pont anhydro :

Le composé 61 est acétolysé dans les conditions habituelles (anhydride acétique, acide sulfurique) à -20°C . Après traitement du mélange réactionnel, on obtient le dérivé 62.

10 EXEMPLE 15

Synthèse du dérivé 63 de formule :



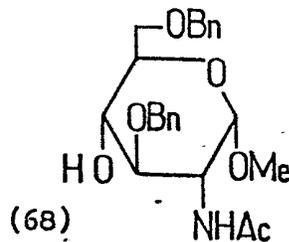
20

Le traitement du dérivé 62 obtenu dans l'exemple 14 par le tétrabromure de titane dans une solution de dichlorométhane et d'acétate d'éthyle conduit à l'halogène 63 dont la structure est confirmée par son spectre RMN. Son analyse

25 élémentaire est correcte (voir figure 14).

EXEMPLE 16

Synthèse du monosaccharide 68 ou méthyl 2-acétamido-3-6-di-O-benzyl-2-désoxy- α -D-glucopyranoside de formule :



Cette synthèse est effectuée selon les 4 étapes suivantes à partir du monosaccharide 64 préparé selon la technique de A. Neuberger, Journal of Chemical Society 1941, pages 50-51 :

- 5 1 - benzylation du groupe -OH en position 3,
- 2 - élimination du radical benzylidène aux fins de libération des groupes -OH en positions 4 et 6,
- 3 - tosylation du groupe -OH en position 6,
- 10 4 - déplacement du groupe -OTs en position 6 par un benzy-
late (voir figure 15).

Etape 1 : réaction de benzylation.

A une solution du composé 64 (6,5 g, 20,10 mM) dans le diméthylformamide (120 ml), on ajoute de l'hydroxyde de baryum octa-hydrate (3,6 g) et de l'oxyde de baryum
15 (16 g). Après 10 minutes d'agitation à température ambiante, du bromure de benzyle (4,5 ml) est ajouté goutte à goutte. La réaction se poursuit pendant toute une nuit. Après dilution par du chloroforme (100 ml) le mélange réactionnel est filtré sur Célite. Le filtrat est concentré à sec, on ob-
20 tient ainsi un résidu blanc dont l'analyse en chromatographie sur couche mince indique qu'il contient un seul produit, à savoir le dérivé 65, qui sera engagé tel quel, dans l'étape suivante.

Etape 2 : élimination du groupe benzylidène.

25 Le résidu obtenu ci-dessus est dissous dans un mélange de méthanol (370 ml) et d'eau (130 ml). A cette solution, on ajoute de l'acide paratoluène sulfonique monohydrate (3 g), puis on porte le mélange à reflux pendant une heure. Après refroidissement, la majeure partie du méthanol
30 est évaporée, puis de l'eau (250 ml) est ajoutée. Après lavage par une faible quantité de chloroforme (100 ml), la phase aqueuse est soumise au traitement suivant :

1°) précipitation des sels de baryum avec de l'acide sulfurique ;

35 2°) filtration du sulfate de baryum formé ;

3°) élimination de l'excès d'acide à l'aide d'une résine IRA 45 (OH^-).

Après élimination de la résine et concentration, on obtient un résidu légèrement jaune (5,7 g), à savoir le dérivé 66. Ce dérivé est engagé tel quel dans la préparation du composé 67.

Etape 3 : réaction de tosylation.

10 Ce dérivé 66 est dissous dans un mélange de dichlorométhane (150 ml) et de DMF (10 ml). A cette solution, on ajoute du chlorure de tosyloxy (5,6 g, 30 mM), puis de la diméthylaminopyridine (121 mg) et enfin de la triéthylamine (5 ml). La réaction évolue à l'abri de l'humidité et sous courant d'azote sec.

15 Après 18 heures de réaction, on ajoute de l'eau glacée puis on abandonne le mélange sous agitation pendant 14 heures environ.

20 Le mélange réactionnel est ensuite dilué avec du dichlorométhane puis la phase dichlorométhane est lavée successivement avec de l'acide chlorhydrique 2M, du bicarbonate de sodium saturé, puis avec de l'eau jusqu'à pH neutre. Après séchage sur sulfate de sodium et filtration, le solvant est évaporé. Le résidu obtenu est purifié sur une colonne de gel de silice (200 g) dilué avec un mélange acétate d'éthyle-hexane (4/1, v/v).

25 Les fractions contenant le dérivé 67 pur sont regroupées.

Après élimination des solvants, on obtient un résidu solide (4,6 g) qui est engagé directement dans la synthèse du composé 68.

30 Etape 4 : réaction de benzoylation.

Le dérivé 67 obtenu ci-dessus est dissous dans du diméthylformamide anhydre (50 ml). A cette solution, on ajoute une solution molaire de benzoylate de sodium dans l'alcool benzylique (30 ml). Le mélange est ensuite chauffé à 90°C pendant une heure. Après refroidissement à température ambiante, le mélange est ensuite concentré à sec.

Il est ensuite repris par du chloroforme (400 ml), la phase chloroformique est lavée avec de l'eau, du chlorure de sodium saturé, séchée, puis concentrée à sec.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (200 g, chloroforme/acétate d'éthyle, 1/1, v/v).

On obtient ainsi le dérivé 68 (2,3 g). Le rendement par rapport au composé 64 est de 27,6%.

Le composé 68 est cristallin, PF 149-150°C, $(\alpha)_{20}^D = 87^\circ$ (c=1, chloroforme). L'analyse du spectre infrarouge et l'analyse élémentaire confirment la structure attendue pour le produit 68.

Exemple 17

Synthèse du disaccharide 73 (voir figure 15).

Cette synthèse comporte :

(1) La condensation des dérivés 68 et 69 conduisant au disaccharide 70.

(2) L'élimination des groupes benzyle conduisant au dérivé 71.

(3) La sulfatation des groupes -OH du dérivé 71, conduisant au dérivé 72, suivie de la salification des groupes anioniques et de l'élimination des groupes acétyle.

1°) Synthèse du disaccharide 70.

Cette synthèse est effectuée à partir des monosaccharides 68 et 69.

L'halogénure est préparé selon la technique de G.N. Bollenback et al., Journal of American Chemical Society, 77 (1955), p. 3312.

A une solution de monosaccharide 68 (450 mg, 1,1 mM), dans le dichloroéthane (30 ml), on ajoute du bromure mercurique (400 mg, 1,1 mM). Après distillation d'environ 10 ml de dichloroéthane, on ajoute au mélange réactionnel des tamis moléculaires en poudre (4 Å).

L'halogénure 69 (1,1 g, 2,75 mM) dans du dichloroéthane (10 ml) est alors ajouté. Après distillation de 10 ml de dichloroéthane, le mélange réactionnel est abandonné à reflux pendant environ 14 heures à une température de 90-100°C. Après refroidissement, le mélange réactionnel est dilué par du dichlorométhane (100 ml), puis les solides sont éliminés par filtration sur filtres plissés. La phase

organique est lavée avec une solution de iodure de potassium à 10% (2 x 25 ml), puis avec une solution de bicarbonate de sodium à 5% (2 x 25 ml) et enfin avec de l'eau jusqu'à pH neutre. Après séchage sur sulfate de sodium, filtration et concentration, le résidu est purifié sur une colonne de gel de silice (150 g), dilué, successivement, avec trois mélanges acétone-éther (1/5 puis 1/4, puis 1/2, v/v).

On obtient ainsi le disaccharide 70 pur (390 mg) sous forme de cristaux. PF = 189-190°C ; $(\alpha)_{20}^D = + 60^\circ$ (c=0,4 chloroforme). Le spectre infrarouge, de même que le spectre RMN et l'analyse élémentaire, confirment la structure attendue.

2°) Synthèse du disaccharide 71.

A une solution du dérivé (100 mg) dans le méthanol (20 ml), on ajoute du catalyseur (Pd/C, 5%, 100 mg) et on agite la suspension ainsi obtenue sous courant d'hydrogène pendant 3 jours.

Le catalyseur est ensuite éliminé par filtration. Après évaporation, on obtient un résidu (73 mg, 97%) constitué par le disaccharide 71. Le spectre de RMN confirme la structure attendue pour ce composé.

On notera que le disaccharide 71 est le précurseur du motif de base de l'héparane - sulfate. Il suffit pour le déprotéger de le soumettre à une réaction de saponification, comme rapportée ci-après pour l'obtention du dérivé 73 à partir du dérivé 72.

3°) Synthèse du disaccharide 73.

A une solution du composé 71 (70 mg) dans le diméthylformamide (2 ml), on ajoute l'agent de sulfatation (complexe triméthylamine-sulfure-trioxyde) (75 mg). Après une nuit, on procède à une nouvelle addition de complexe (35 mg). Après 6 heures, la réaction est terminée, le mélange est évaporé à sec, repris par du chloroforme, neutralisé avec de la triéthylamine et évaporé.

Une chromatographie sur colonne de gel de silice (20 g, méthanol/chloroforme, 1/2, v/v) permet d'isoler le dérivé 72 sulfaté pur qui se présente sous forme de poudre blanche. Ce dérivé est engagé directement dans la synthèse du disaccharide déprotégé 73.

A une solution du dérivé 72 (71 mg) dans le méthanol (9 ml), on ajoute de l'eau (4 ml) puis, goutte à goutte, une solution de soude 1 M (1 ml). Après 4 heures d'agitation à température ambiante, le mélange réactionnel est passé sur
 5 une colonne d'Amberlite IR 120 H⁺. La solution ainsi obtenue est neutralisée puis les sels sont éliminés par passage sur une colonne de Sephadex G25 diluée avec de l'eau. Les fractions contenant le disaccharide sulfaté sont regroupées.

Après lyophilisation, on obtient le dérivé 73 sous
 10 forme d'une poudre blanche (46 mg) $(\alpha)_{20}^D = 34,5^\circ$ (c=1, eau).

L'analyse conductimétrique indique pour ce dérivé un rapport sulfate/carboxyle égal à 2. L'analyse élémentaire, de même que l'analyse en RMN du carbone 13, confirment la structure attendue pour ce produit.

15 EXEMPLE 18 : Synthèse des composés 75, 76 et 77 à structure D-glucosamine (voir figure 16).

Composé 75 : Méthyl 3-O-benzyl-4,6-O-benzylidène-2-benzyloxy-carbonylamino-2-désoxy- α -D-gluco-pyranoside.

Une solution de composé 74 (préparé selon ZU YONG KYI, Sci.
 20 Sinica (Peking), 5 (1956) 461-467, CA 52 (1958) 3694) (415mg, 1mM) dans le N,N-diméthylformamide anhydre (10 ml) est agitée à la température ambiante à l'abri de l'humidité pendant 5 h en présence de baryte anhydre (613 mg), d'hydroxyde de barium octahydraté (158 mg) et de bromure de benzyle
 25 (0,15 ml). Le mélange réactionnel est alors dilué avec du chloroforme (50 ml), la phase organique est lavée avec de l'acide acétique à 50% glacé, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu solide est recristallisé dans l'éthanol
 30 (461 mg, 91%); P.F : 202-203°C; $[\alpha]_D = +46^\circ$ (c:1, chloroforme).

Composé 76 : Méthyl-3-O-benzyl-2-benzyloxy-carbonylamino-2-désoxy- α -D-gluco-pyranoside.

Une suspension du composé 76 (300 mg) dans de l'acide
 35 acétique à 60% (10 ml) est agitée à 100°C pendant 30 mn. La

solution est alors refroidie, évaporée à sec, évaporée avec de l'eau (4x10 ml), le résidu solide est séché sous vide et recristallisé dans le 2-propanol pour donner le composé 76 (220 mg, 89%), P.F : 151-152°C, $[\alpha]_D^{20} = +94^\circ$ (c : 1, méthanol)

5 Composé 77 : Méthyl 6-O-benzoyl-3-O-benzyl-2-benzyloxy-carbo-
carbonylamino-2-désoxy- α -D-glucopyranoside.

Une solution du composé 76 (835 mg, 2mM) dans un mélange de pyridine anhydre (5ml) et de dichlorométhane (12ml) est agitée à la température ambiante à l'abri de l'humidité en
10 présence de cyanure de benzoyle (400mg, 3mM) pendant 5 h. L'excès de réactif est alors détruit par addition de méthanol (5ml) et agitation pendant 30 mn. Le mélange réactionnel est évaporé à sec, évaporé avec du toluène et séché sous vide. Le résidu solide est recristallisé dans
15 un mélange acétate d'éthyle-hexane pour donner le composé 77 (935mg) 90%) P.F. : 154-155°C, $[\alpha]_D^{20} = +74^\circ$ (c : 1, chloroforme).

EXEMPLE 19 : Synthèse des composés 78 et 79 à structure acide L-iduronique (voir figure 16).

Composé 78 : 4-O-acétyl-3-O-benzyl-1,2-O-méthoxyéthylidène- β -L-méthyl idopyranuronate

20 Une solution du bromure 36 obtenu selon l'exemple 5, dans l'étape 8 (fraîchement préparé à partir de 0,425g, 1mM, de mélange d'acétates 34 et 35) dans du dichlorométhane anhydre (10ml) est agitée à la température ambiante sous atmosphère d'argon sec. De la sym-collidine
25 (0,66ml, 5 mM) et du méthanol anhydre (0,40ml, 10mM) sont successivement ajoutés, et le mélange réactionnel est agité 20 h dans ces conditions. Après dilution avec du dichlorométhane (50ml), la phase organique est lavée avec une solution saturée aqueuse d'hydrogénécarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (20g). L'élution
30 par le mélange hexane : acétate d'éthyle (3:2 v/v, contenant 0,5% de triéthylamine) donne le composé 78 sous forme d'un sirop pur (302mg, 76% à partir des acétates 34 et 35),
35 $[\alpha]_D^{20} = -21^\circ$ (c : 1, chloroforme), R.M.N. ($CDCl_3$) : δ : 5,52 (d, 1H, H-1, $J_{1,2} : 3\text{Hz}$).

Composé 79 : 3-O-benzyl-1,2-O-tert-butoxyéthylidène- β -L-méthyl idopyranuronate.

- Une solution de l'orthoester 37 obtenu dans l'exemple 5 dans l'étape γ (484mg, 1,1mM) dans le méthanol anhydre (15ml) est refroidie à -20°C sous agitation et atmosphère d'argon sec. Du carbonate de potassium anhydre (60 mg) est ajouté, et le mélange réactionnel est agité 5h dans ces conditions. Les solides sont essorés, le filtrat est évaporé et le résidu est repris dans du chloroforme (50ml). La phase organique est lavée avec de l'eau glacée (3 fois) séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est chromatographié rapidement sur une colonne de gel de silice (25g). L'élution par le mélange hexane : acétate d'éthyle (2:1, v/v, contenant 0,5% de triéthylamine), donne, par ordre d'élution :
- 15 - le composé insaturé 39 (31mg, 7%) sirop, $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = +103^{\circ}$ (c : 1, chloroforme), R.M.N. (CDCl_3) : δ : 6,27 (d, ded., 1H, H-4, $J_{3,4} : 5\text{Hz}$, $J_{2,4} : 1\text{Hz}$), 5,67 (d, 1H, H-1, $J_{1,2} : 4\text{Hz}$).
- une fraction principale (271mg, 62%), qui est cristallisée dans un mélange éther-hexane pour donner le composé 79 (123mg, 28%), P.F. : $68-69^{\circ}\text{C}$; $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = -19^{\circ}$ (c : 1, chloroforme),
- 20 R.M.N. (CDCl_3) : δ : 5,41 (d, 1H, H-1, $J_{1,2} : 2\text{Hz}$), 2,85 (d, 1H, CH-4, $J : 12\text{Hz}$, échangé avec D_2O).
- Au cours de la chromatographie sur silice, et lors des essais de cristallisation de 79, un composé nouveau de Rf légèrement supérieur à celui de 79 apparaît. Une chromatographie sur gel de silice des eaux-mères de cristallisation de 79 permet d'isoler quelques fractions pures de ce nouveau composé 80 (41 mg, 11%), sirop, $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = +21^{\circ}$
- 30 (c : 1, chloroforme), R.M.N. (CDCl_3) : δ : 5,83 (d, 1H, H-1, $J_{1,2} : 4,5\text{Hz}$).
- Dans le cadre de la succession des synthèses envisagées selon l'invention, afin d'éviter la formation de 80, le sirop brut de 37 n'est pas chromatographié, mais utilisé immédiatement pour la réaction suivante.
- 35

EXEMPLE 20: Préparation des disaccharides 81, 82 et 83 (figure 17).

Composé 81 : Méthyl 6-O-benzoyl-3-O-benzyl-2-benzyloxycarbonylamino-2-désoxy-4-O-(2,4-di-O-acétyl-3-O-benzyl- α -L-méthyl idopyranuronyl)- α -D-glucopyranoside.

- 5 Une solution de l'orthoester 78 (80mg, 0,2mM) obtenu dans l'exemple 19 et de l'alcool 77 (52mg, 0,1mM) obtenu dans l'exemple 18 dans le chlorobenzène anhydre (8ml) est chauffée à 140°C sous agitation et léger courant d'argon sec. Après distillation lente de 6ml de solvant, une
- 10 solution de perchlorate de 2,6 diméthylpyridinium (0,002mM fraîchement préparé selon N.K. KOCHETKOV, A.F. BOCHKOV, T.A. SOKOLOVSKAIA et V.J. SNIATKOVA, Carbonhydr. Res., 16 (1971) 17-27, dans le chlorobenzène (2ml) est ajoutée goutte à goutte en 15 mn. avec distillation simultanée de solvant
- 15 (2 ml). Le mélange réactionnel est alors agité pendant 1 h, dans ces conditions, avec addition de solvant frais (10ml) et distillation simultanée de telle sorte que le volume réactionnel reste constant et égal à 2 ml. Après refroidissement et dilution avec du chloroforme, la phase
- 20 organique est lavée avec une solution saturée d'hydrogencarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (15g). L'élution par le mélange hexane : acétate d'éthyle (4:3, v/v) donne, par ordre
- 25 d'élution :
- le produit de départ 77, (20mg, 38%),
 - une fraction homogène en chromatographie sur couche mince (54mg). Le spectre de R.M.N. de cette fraction montre la présence de plusieurs signaux O-méthyl (δ : 3,35-3,50)
- 30 dus aux méthyl glycosides provenant du réarrangement de l'orthoester 78. Cette fraction est cristallisée dans un mélange éthanol-eau, et recristallisée dans un mélange acétate d'éthyle-hexane pour donner 81 (44 mg, 50%),
- 35 P.F. : 120-121°C, $[\alpha]_D^{20} = +17^\circ$ (c : 1, chloroforme), R.M.N. (CDCl₃) : conforme à la structure attendue.

Composé 81 : Méthyl 6-O-benzoyl-3-O-benzyl-2-benzyloxycarbonylamino-2-désoxy-4-O-(2-O-acétyl-3-O-benzyl-4-O-chloroacétyl-~~α~~-L-méthyl idopyranuronyl)-~~α~~-D-glucopyranoside.

5 Une solution de l'orthoester 38 (120mg, 0,25mM) obtenu dans l'exemple 5 et de l'alcool 77 (66mg, 0,125mM) dans du chlorobenzène anhydre (8ml) est chauffée à 140°C sous agitation et léger courant d'argon sec. Après distillation lente de 6ml de solvant, une solution de perchlorate de 2,6-diméthylpyridinium (0,0025mM) dans du chlorobenzène est ajoutée goutte à goutte en 15mn, avec distillation simultanée de solvant (2ml). Le mélange réactionnel est agité pendant 1 h puis traité dans les conditions décrites pour la préparation de 81. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (15g).
10 L'élution par le mélange hexane : acétate d'éthyle (7 : 4, v/v) donne, par ordre d'élution :

- le produit : 77 , (40 mg, 60%),
- le disaccharide 82, cristallisé dans un mélange éther-hexane, (36 mg, 30%), PF : 143-144°C, $[\alpha]_D^{20} = +$ (c : 1, chloroforme), R.M.N. (CDCl₃) : conforme à la structure attendue.

Composé 83 : O-déchloroacétylation et acétylation du disaccharide 82.

25 Un mélange du disaccharide 82 (12mg) et de thiourée (5mg) dans de la pyridine (1,2ml) et de l'éthanol absolu (0,3ml) est agité à 100°C pendant 30 mn. Après refroidissement, le mélange réactionnel est évaporé à sec et le résidu est repris par un mélange eau-chloroforme (1:1, v/v, 20 ml). La phase organique est lavée avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée.
30 Le résidu est lavé sur une colonne de gel de silice (1g). L'élution par le mélange acétate d'éthyle : hexane (1 : 1, v/v) donne le disaccharide 83 (8mg) sous forme d'un sirop pur qui n'a pas été analysé, mais immédiatement acétylé (pyridine : anhydride acétique, 2 : 1, v/v, 1,5ml). Après 15 h à la température ambiante, le

mélange réactionnel est évaporé à sec et le résidu est appliqué sur une colonne de gel de silice (0,5g). L'éluion par le mélange acétate d'éthyle : hexane (1 :1,v/v) donne le disaccharide 81 (7mg), cristallisé dans un mélange éther-hexane, PF : 120-120,5°C, P.F. de mélange avec 81 : 120-121°C.

EXEMPLE 21 - Synthèse du trisaccharide 85(voir figure 18).

Une solution du bromure 84 (préparé selon H. PAULSEN et W. STENZEL, Chem. Ber 111 (1978) 2334-2347, 110 mg, 0,25 mM) et de l'alcool 41 (préparé selon l'exemple 6, 113 mg, 0,13 mM) dans du dichlorométhane anhydre(2,5 ml) est agitée à l'abri de la lumière sous atmosphère d'argon sec en présence de tamis moléculaire 4 Å (poudre, 100 mg) pendant 30 mn. Après refroidissement à 20°C, de la symcolidine (70 µl, 0,55mM) et du triflate d'argent (78mg, 0,30 mM) sont ajoutés successivement et l'agitation est maintenue dans ces conditions pendant 2 heures. Le mélange réactionnel est alors dilué avec du dichlorométhane (50 ml), les solides sont essorés, et le filtrat est lavé avec une solution 0,1 M d'acide chlorhydrique glacée, avec de l'eau, avec une solution aqueuse saturée d'hydrogencarbonate de sodium, avec de l'eau, séché (sulfate de sodium), filtré et évaporé.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (18 g). L'éluion par le mélange hexane : acétate d'éthyle (4:3,v/v) donne le trisaccharide 85 sous forme d'un verre incolore qu'il n'a pas été possible de cristalliser (139 mg, 88%) ; $[\alpha]_D^{25} = + 83^\circ$ (cl, chloroforme) ; Spectre RMN (90 MHz, CDCl₃) : δ : 7,25 (m, 25H, 5Ph.) ; 5,44 (d. de d., 1H, H₃", J_{2",3"} : 10,5 Hz, J_{3",4"} : 9 Hz) ; 5,26 (d, 1H, H₁", J_{1",2"} : 3,5 Hz) ; 3,59 (s, 3H, COOMe) ; 3,06 (d. de d., 1H, H", J_{1",2"} : 3,5 Hz, J_{2",3"} : 10,5 Hz) ; 2,12, 2,08, 2,01 et 1,97 (4s, 12H, 4 OAc).

EXEMPLE 22 - Synthèse du trisaccharide 89 (voir figure 18).

Selon les quatre étapes suivantes :

- a) élimination des groupes acétyle,
- b) sulfatation,
- c) hydrogénation,
- 5 d) sulfatation des fonctions amino,
- a) Elimination des groupes méthyle conduisant au trisaccharide 89 :

Une solution de trisaccharide 85 (122 mg) dans un mélange de 1,2-diméthoxyéthane (6ml) et de méthanol (2ml) est agitée à 0°C. Une solution aqueuse 1 M de soude (2ml) est ajoutée goutte à goutte en 10 mn, et le mélange réactionnel est agité 6 heures à 0°C. De l'acide chlorhydrique 1 M est alors ajouté goutte à goutte jusqu'à pH = 0 (apparition d'un précipité blanc). Le mélange est versé dans de l'eau glacée (100 ml) et extrait avec du chloroforme (5 fois 15 10 ml). Les phases organiques sont lavées avec de l'eau glacée, séchées (sulfate desodium), filtrées et évaporées. Le résidu sirupeux est dissous dans du méthanol (2 ml) et traité par une solution étherée de diazométhane jusqu'à 20 persistance de la coloration jaune. Après 30 mn., le mélange réactionnel est évaporé à sec. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (10 g). L'élution par le mélange acétate d'éthyle/hexane (2:1,v/v) donne le trisaccharide 86 sous forme d'une mousse incolore qu'il n'a 25 pas été possible de cristalliser (85 mg, 81%) ; $[\alpha]_D^{25} = + 77^\circ$ (cl, chloroforme), spectre RMN (90 MHz, CDCl_3) : absence de signaux OAc (vers $\delta = 2$ ppm). Analyse élémentaire : en accord avec la structure recherchée.

b) Sulfatation conduisant au trisaccharide 87.

30 A une solution du dérivé 86(41 mg) dans le DMF (2 ml) on ajoute du complexe triméthylamine/trioxyde de soufre (TMA/ SO_3 ; 60 mg ; 2,5 équivalents par OH). Après une nuit à 50°C, la réaction est complète. Du méthanol 35 (0,5ml) est ajouté puis la solution est déposée sur une

colonne de Séphadex LH-20 (1,5 x 25 cm) équilibrée dans un mélange chloroforme/méthanol (1:1 ; v/v). L'élution par le même mélange permet de séparer le produit de la réaction de l'excès de réactif et du solvant de réaction. Le résidu obtenu

5 est chromatographié sur une colonne de gel de silice (10 g), élué par un mélange acétate d'éthyle/pyridine/acide acétique/eau (98 : 56 : 13 : 32 ; v/v/v/v). Le produit pur obtenu est dissous dans du méthanol, puis passé à travers une

10 colonne de résine Dowex 50W x 4, Na⁺ (5ml). Après évaporation et séchage, on obtient le dérivé 87 (58 mg, 100%). Il est homogène en c.c.m. (acétate d'éthyle/pyridine/acide acétique/eau ; 5 : 5 : 1 : 3 ; v/v/v/v et acétate d'éthyle/méthanol/acide acétique ; 7 : 3 : 0,1 : v/v/v).

15 $[\alpha]_D^{20} = + 55^\circ$ (méthanol). Le spectre de RMN est compatible avec la structure recherchée.

c) Hydrogénation conduisant au trisaccharide 88.

Une solution du composé 87 (20 mg) dans un mélange de méthanol (2ml) et d'eau (0,5ml) est agitée pendant 96 heures sous une pression d'hydrogène de 0,2 bar, en présence de Pd/C

20 à 5% (20 mg). Le catalyseur est alors éliminé par filtration. L'analyse en ultra-violet confirme l'absence de noyaux aromatiques. Après évaporation, le produit est engagé dans la synthèse du trisaccharide 89.

d) Sulfatation conduisant au trisaccharide 89.

25 Le dérivé 88 obtenu précédemment est dissous dans l'eau (2 ml). Le pH de la solution est ajusté à 9,5 puis il est maintenu à cette valeur au moyen d'un pH-stat. On ajoute alors le complexe TMA/SO₃ (14 mg ; 5

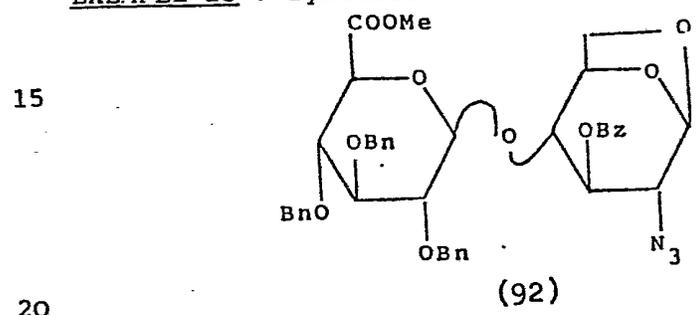
30 est ajoutée. Après 48 heures, le pH est amené à 12 au moyen de soude 2M, puis il est maintenu à cette valeur pendant 2 heures. Après neutralisation par l'acide chlorhydrique, le mélange réactionnel est chromatographié sur une colonne de Séphadex G-25, éluee avec de l'eau. Le composé

89 est détecté par une réaction colorée au carbazole, caractéristique des acides uroniques (Bitter et Muir, Anal. Biochem. 4 (1962) 330-334). Ces fractions contenant 89 sont regroupées et passées au travers d'une colonne de résine Dowex 5 50W x 4, Na⁺ éluee avec de l'eau. Après lyophilisation, on obtient 89 (4,5 mg).

L'analyse colorimétrique des constituants glucidiques donne 2,55 moles d'acide uronique pour 5,15 moles de glucosamine (rapport 1/2).

10 Le spectre de RMN de ce produit confirme la structure (séquence, anomérie des liaisons, substitutions par les sulfates).

EXEMPLE 23 : Synthèse du disaccharide 92 de formule :



On se reportera à la figure 19.

Le produit 91 (1g), en solution dans du dichlorométhane (50 ml), est agité en présence de drierite (6g) et de carbonate d'argent fraîchement préparé (4,5g), pendant 1 heure sous une atmosphère d'argon. On ajoute alors l'halogénure 90 (2,8g) dissous dans du dichlorométhane (10 ml). Après 1 heure 1/2 on ajoute à nouveau 2,8g d'halogénure 90. Après une nuit les solides sont éliminés par filtration et le résidu obtenu après évaporation des solvants est purifié sur colonne de silice dans le solvant acétate d'éthyle/chloroforme (1/30 ; v/v).

30 On obtient ainsi le produit 92 (866 mg ; rendement 42 %). Il est cristallisé dans un mélange hexane/acétate d'éthyle.

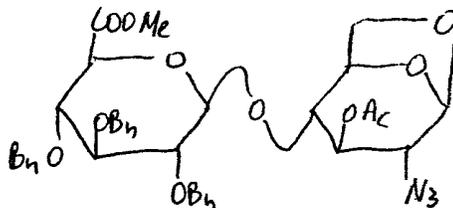
35

P.F. : 104-106°C ; $[\alpha]_D^{20} = 0^\circ$ (c=1 ; chloroforme).

L'analyse élémentaire et le spectre RMN sont conformes à la structure recherchée.

5 EXEMPLE 24 : Synthèse du dérivé 94 de formule :

10



On se reportera aux figures 19 et 20.

15 Le dérivé 92 (1,5g) est dissous dans un mélange de chloroforme et de méthanol (1/1 ; v/v). On ajoute ensuite 2 ml de méthanolate de sodium (2M dans méthanol). Après 20 minutes, la solution est neutralisée par addition de résine Dowex 50 conduisant au dérivé 93 qui n'est pas isolé. Après filtration et évaporation, une méthylation classique par le diazométhane dans l'éther permet de réestérifier la fraction d'acide carboxylique éventuellement libéré. Après évaporation le résidu est traité par un mélange de pyridine (20 ml) et d'anhydride acétique (2ml) pendant une nuit. Après évaporation, le résidu est cristallisé dans de l'acétate d'éthyle/hexane donnant le produit 94 (1,125g ; rendement 81,6%).

20

25 P.F. : 103-105°C ; $[\alpha]_D^{20} = +5,2^\circ$ (c = 1 ; chloroforme).

30

L'analyse élémentaire et le spectre RMN sont conformes à la structure recherchée.

En variante, on prépare le dérivé 94 en opérant comme décrit ci-dessus mais en mettant en oeuvre le dérivé 95 au lieu du dérivé 91.

EXEMPLE 25 : Synthèse du dérivé 97 (voir figure 20).

Dans une première étape, on procède à une ouverture du pont anhydre, puis dans l'étape suivante, on effectue une réaction de bromuration.

5 1 : Ouverture du pont 1,6-anhydro.

Le composé 94 (1g) est dissous dans l'anhydride acétique (10 ml) , puis refroidi à - 20°C sous argon. A la solution froide, on ajoute de l'acide sulfurique concentré (100 µl). Après 30 minutes, le mélange réactionnel est dilué par du chloroforme (150 ml) puis versé sur une solution aqueuse de bicarbonate de sodium (26,5 g dans 400 ml). A la fin du dégagement gazeux la phase chloroformique est lavée deux fois avec une solution saturée de NaCl puis séchée et concentrée. Après chromatographie sur silice (50 g) dans un mélange d'acétate d'éthyle et de chloroforme 1/20 v/v, on obtient le composé 96 (995 mg ; rendement 86,7%).

20 Ce composé se présente sous forme d'une mousse blanche.

Le spectre et l'analyse élémentaire confirment l'obtention de la structure recherchée.

2 : Bromuration.

25 A du tétrabromure de titane (213 mg) on ajoute une solution du dérivé 96 (0,2g) dans du dichlorométhane/acétate d'éthyle (9/1 ; v/v 4 ml). Après une nuit sous agitation suivie d'une dilution par du dichlorométhane, on verse sur un mélange eau glace (50 ml), puis on lave avec deux fois 50 ml d'eau glacée. Après séchage et évaporation le sirop obtenu est chromatographié sur silice dans le solvant acétate d'éthyle/chloroforme 1/20 ; v/v. On obtient ainsi le dérivé 97 avec un rendement de 25 à 50%.

35

99 .

Spectre de RMN : (ppm, CDCl₃) : 2,04 ; 2,11 :
 2 singulets de 3 protons 2-OAc ; 3,7 : 1
 singulet de 3 protons COOMe ; 6,33 : 1 doublet
 de 1 proton H₁ ; J_{1,2} = 3,5 Hz.

5 EXEMPLE 26 : Synthèse du tétrasaccharide 98 (voir figure 20).

Une solution de bromure 97 (50 mg, 60 μM) et de
 l'alcool 41 préparé selon l'exemple 6 (43mg, 50μm) dans du dichlorométhane
 anhydre (1ml) est agitée à l'abri de la lumière sous
 atmosphère d'argon sec en présence de tamis moléculaire
 10 4 Å (poudre, 100 mg) pendant 15 minutes. Après refroidi-
 dissement à - 10°C, de la sym-collidine (11 μl, 80 μM)
 et du trifluorométhanesulfonate d'argent (triflate d'Ag,
 18 mg, 70 μM) sont ajoutés successivement, et l'agitation
 est maintenue dans ces conditions pendant 3 heures. Le
 15 mélange réactionnel est alors dilué avec du dichloromé-
 thane (30 ml), les solides sont essorés, et le filtrat
 est lavé avec une solution 0,1 M d'acide chlorhydrique
 glacée, avec de l'eau, avec une solution aqueuse saturée
 d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séché
 20 (sulfate de sodium), filtré et évaporé.

Le résidu est chromatographié sur une
 colonne de gel de silice (7 g). L'élution par le mélange
 hexane-acétate d'éthyle (4 : 3, v/v) donne 56 mg de
 tétrasaccharide 98 (rendement 70%) sous forme d'un verre
 25 incolore qu'il n'a pas été possible de cristalliser.

Caractéristiques du spectre RMN :

(270 MHz, CDCl₃) : s : 7,25 (m, 35 H, 7 Ph) ;
 5,35 (d.de d., 1 H, H₃" J_{2",3}" : H₂" J_{3",4}" 9 Hz) ;
 5,27 (d., 1H, H₁" J_{1",2}" : 3.5H) ; 4.31 (d., 1H, H₁" J_{1",2}" :
 30 7,5 H₂) ;
 3,68 (s, 3H, COOMe IDO) : 3,59 (s, 3H, COOMe gluco) ;
 3,37 (d.de d., 1H, H₂" J_{1",2}" : 7,5 H₂, J_{2",3}" : 9.5H₂)
 3,18 (d.de d., 1H, H₂" J_{1",2}" : 3,5 H₂, J_{2",3}" : 11 Hz) ;
 2,06 et 1,97 (2s, 9² et 3 H, 4 OAc).

35 Ce spectre est reporté sur la figure 33.

EXEMPLE 27 - Synthèse du tétrasaccharide 99 (voir figure 21).

Une solution de tétrasaccharide 98 (28mg) dans le méthanol anhydre (3ml) est refroidie à -15°C sous atmosphère d'argon sec. Du carbonate de potassium anhydre (12 mg) est ajouté et le mélange est agité 5 6 heures dans ces conditions. Les solides sont alors essorés, le filtrat est évaporé et le résidu est repris avec du chloroforme (15 ml). La phase organique est lavée avec une solution aqueuse saturée de chlorure de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), fil- 10 trée et évaporée.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (2 g). L'élution par le mélange acétate d'éthyle/hexane (3:2, v/v) donne le tétrasac- 15 charide 99 sous forme d'un verre incolore (22mg, 85%).
Spectre RMN (270 MHz, CDCl₃) : δ : 7,30 (m, 35H, 7 Ph) ;
5,37 (d, 1H, H₁" , J₁" , 2" : 3,5 Hz) ;
5,29 (d. de d., 1H, H₃" , J₂" , 3" : 10 Hz, J₃" , 4" : 8,5 Hz) ;
5,09 (d, 1H, H₁' , J_{1,2}' : 3,5 Hz) ;
20 3,57 (s, 3H, COOMe ido) ;
3,43 (s, 3H, COOMe gluco) ; 2,06 (s, 3H, OAc).

Ce composé 99, qui est un dérivé mono-O-acétylé (en position 3 sur le 2ème motif) du tétrasaccharide 103 est un intermédiaire potentiel pour la synthèse d'un 25 analogue de ce tétrasaccharide qui ne serait pas sulfaté sur la position 3 du deuxième motif.

EXEMPLE 28 - Synthèse du tétrasaccharide 103 (voir figure 21).

On a recours aux étapes a) à d) suivantes :

- a) élimination des groupes acétyle,
- 30 b) sulfatation,
- c) hydrogénation,
- d) sulfatation des groupes amine.
- a) Elimination des groupes acétyle conduisant au dérivé 103:

101.

Une solution du tétrasaccharide 98 (40 mg) dans un mélange de 1,2-diméthoxyéthane (3 ml) et de méthanol (1ml) est refroidie à -15°C . Une solution aqueuse M de soude (1 ml) est ajoutée goutte à goutte en 10 mn. et le mélange réactionnel est agité 5 heures à 0°C . De l'acide chlorhydrique M est alors ajouté goutte à goutte jusqu'à $\text{pH} = 0$ et le mélange est versé dans de l'eau glacée (50 ml). Après extraction avec du chloroforme (5 fois 5 ml), les phases organiques sont lavées avec de l'eau, séchées (sulfate de sodium) filtrées et évaporées.

Le résidu est dissous dans du méthanol (1 ml) et traité par une solution étherée de diazométhane jusqu'à persistance de la coloration jaune. Après 30 mn, le mélange réactionnel est évaporé à sec. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (3 g). L'éluion par le mélange acétate d'éthyle/hexane (2:1, v/v) donne le tétrasaccharide 100 (27 mg, 75%) ; P.F $126-127^{\circ}\text{C}$ (éthanol) ; $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = +55^{\circ}$ (cl. chloroforme).

Spectre RMN (90 MHz, CDCl_3) : absence totale de signaux OAc (vers $\delta = 2$).

Analyse élémentaire : conforme avec la structure recherchée.

b) Sulfatation conduisant au dérivé 101.

A une solution du dérivé 100 (24 mg) dans le DMF (1 ml), on ajoute le complexe TMA/SO_3 (24 mg). Après une nuit à 50°C , la réaction de sulfatation est complète.

Du méthanol (0,5 ml) est ajouté au mélange réactionnel puis celui-ci est déposé sur une colonne de Séphadex LH-20 équilibrée en chloroforme méthanol (1:1, v/v). Les fractions contenant 101 sont regroupées. Après évaporation à sec, le résidu est chromatographié sur gel de silice (10 g) dans le mélange acétate d'éthyle/pyridine/acide acétique/eau (160:77:19:42 ; v/v/v/v). Les fractions pures sont regroupées. Après concentration à sec, le

102.

résidu est passé au travers d'une colonne Dowex 50W x 4, Na⁺ éluée avec de l'eau. Le produit obtenu (30 mg) est homogène en chromatographie sur couche mince dans le solvant ci-dessus. Son spectre RMN confirme la structure.

5 $[\alpha]_D^{20} = + 39^\circ$ (1, méthanol).

c) Hydrogénation conduisant au dérivé 102.

Une solution du dérivé 101 (10 mg) dans un mélange de méthanol (1,8 ml) et d'eau (0,2 ml) est agitée sous une pression d'hydrogène de 0,2 bar en présence de Pd/C à 5% (10 mg). Après 96 heures, le catalyseur est éliminé par filtration. L'analyse en ultra-violet confirme l'absence de noyaux aromatiques. Après évaporation, le dérivé 102 est utilisé tel quel pour la préparation du dérivé 103.

15 d) Sulfatation conduisant au dérivé 103.

Le dérivé 102 obtenu à l'étape précédente, est dissous dans l'eau (2 ml). Le pH de cette solution est ajusté à 9,5 ; il est maintenu à cette valeur pendant toute la durée de la sulfatation. Le complexe TMA/SO₃ (14 mg) est ajouté. Une deuxième addition est faite après 24 heures (14 mg). Après 48 heures, le pH est amené à 12, puis à 7, deux heures plus tard. Le mélange réactionnel est alors chromatographié sur une colonne de Séphadex G-25 (50 ml). Les fractions contenant le dérivé 103 (détection par réaction colorée des acides uroniques) sont regroupées, passées au travers d'une colonne de résine Dowex 50 W x 4 Na⁺ puis lyophilisées. On obtient ainsi le tétrasaccharide 103 (2 mg).

L'analyse colorimétrique des constituants du dérivé 103 donne 1,84 moles de glucosamine pour 2,06 moles d'acides uroniques.

La structure du dérivé 103 (séquence, anomérie, position des groupes sulfates) est confirmée par le spectre RMN (270 MHz, TMS) : δ pour les protons anomères respectivement des 1er, 2ème, 3ème et 4ème motifs, 4,72 ; 5,30 ; 5,55 ; et 5,67.

EXEMPLE 29.

Synthèse du monosaccharide 115 (voir figure 22).

Cette synthèse est effectuée selon les étapes 1 à 7 suivantes.

5 Etape 1 : synthèse du monosaccharide 105.

On prépare ce monosaccharide à partir du composé 104 obtenu selon la technique de N L Holder et B. Fraser-Reid, Canadian Journal of Chemistry, 51 (1973) page 3357. A une solution du composé 104 (1 g, 12,67 mM) dans le dichlorométhane (20 ml), on ajoute du chlorure de tosyle (0,55 g), puis de la diméthylaminopyridine (16 mg) et enfin, de la triéthylamine (0,7 ml). Après agitation sous courant d'azote à l'abri de l'humidité, pendant environ 14 heures, la réaction est arrêtée par addition de glace et d'eau. Après dilution du mélange réactionnel avec du dichlorométhane (50 ml), la phase dichlorométhane est lavée avec de l'acide chlorhydrique 2 M, puis une solution saturée de bicarbonate de sodium, et enfin avec de l'eau jusqu'à pH neutre. Après séchage et évaporation, on obtient un résidu, à savoir le dérivé 105 (1,4 g, 97 %) qui est engagé tel quel dans la synthèse du dérivé 100.

15 Etape 2 : synthèse du dérivé 106.

Le monosaccharide 105 (31,8 g) et de l'iodure de sodium (39 g) sont dissous dans de l'acétonitrile (250 ml), puis la solution est portée à reflux pendant 3 heures. Après refroidissement du mélange réactionnel, le précipité blanc formé est filtré. Le filtrat est concentré, le résidu est repris par du chloroforme, puis la phase chloroformique est lavée avec de l'eau jusqu'à pH neutre, séchée sur sulfate de sodium et concentrée à sec. On obtient un sirop qui est chromatographié sur une colonne de gel de silice (200 g, éther-hexane, 1/1, v/v). On obtient ainsi le dérivé iodé 106 (24,7 g, 71,5 %). $[\alpha]_{20}^D = 24^\circ$ (1, chloroforme).

35 Le spectre infrarouge, le spectre de RMN et l'analyse élémentaire confirment la structure de 106.

Etape 3 : synthèse du dérivé 107.

A une solution du dérivé 106 dans de la pyridine anhydre (200 ml), on ajoute de l'anhydride acétique (43 ml). Après environ 14 heures sous agitation, la réaction
5 est terminée. Le mélange réactionnel est concentré à sec, puis le résidu est purifié sur une colonne de gel de silice, sous pression, dans un solvant acétate d'éthyle-hexane (1/6, v/v). Les fractions pures sont regroupées. On obtient ainsi le produit 107 (16,4 g, 70 %). Ce produit
10 se présente sous forme d'un sirop. $[\alpha]_{20}^D = + 4,5^\circ$ (1,3, chloroforme). L'analyse élémentaire ainsi que l'analyse du spectre infrarouge confirment la structure.

Etape 4 : synthèse du dérivé 108.

A une solution du dérivé 107 (4 g) dans de la pyridine (100 ml), refroidie à 0°C, on ajoute du fluorure
15 d'argent (AgF, 6,9 g). Après deux heures et demie, le mélange réactionnel est versé dans un mélange contenant du chloroforme et de l'éther (1/4, v/v, 1 l). La suspension obtenue est passée au travers d'un filtre plissé. Le filtrat
20 est concentré à sec, puis le résidu est repris dans du chloroforme (500 ml). La phase chloroformique est lavée avec du sulfate acide de potassium en solution à 10 % dans l'eau, puis avec de l'eau jusqu'à pH neutre. Après séchage sur sulfate de sodium et concentration à sec, on obtient
25 un résidu (2,7 g), qui est chromatographié sur une colonne de silice (200 g) (éluant : acétate d'éthyle-hexane, 1/4, v/v). Les fractions contenant le produit 108 sont regroupées et après évaporation des solvants, on obtient un produit cristallin (1,62 g, 54 %).

30 PF : 81-82°C, $[\alpha]_{25}^D = - 20^\circ$ (1, chloroforme).

L'analyse du spectre infrarouge, l'analyse élémentaire et l'analyse du spectre de résonance magnétique nucléaire confirment la structure du composé 108.

Etape 5 : synthèse du dérivé 109.

35 Le produit 108 (2 g) est dissous dans du méthanol (20 ml) et du chloroforme (20 ml). A cette solution, on

ajoute du méthanolate de sodium (2 M, 2 ml). Après 1,5 heure, la réaction de désacétylation est terminée. Le mélange réactionnel est dilué avec du chloroforme. La phase chloroformique est lavée avec de l'eau jusqu'à pH neutre, 5 séchée, puis évaporée à sec. On obtient ainsi un résidu, le composé 108 (1,8 g, 100%). Il est immédiatement dissous dans du tétrahydrofurane (50 ml), puis de l'hydrure de bore (BH_3 , 1M) dans le tétrahydrofurane ; (10 ml) est ensuite ajouté. Après une heure de réaction, l'excès d'hydrure de bore est détruit par addition d'éthanol. A la fin 10 du dégagement gazeux, le mélange réactionnel est dilué par addition de tétrahydrofurane (100 ml). De la soude 3 M (12 ml) est ensuite ajoutée, suivie d'eau oxygénée (120 volumes, 8 ml). Après 2 heures de chauffage à 50°C, la 15 réaction est arrêtée. La solution est versée dans du chloroforme (500 ml), puis la phase organique ainsi obtenue est lavée avec de l'eau, de l'acide chlorhydrique 2 M, puis enfin avec de l'eau jusqu'à pH neutre. On obtient ainsi une phase chloroformique très laiteuse, qui devient 20 limpide au cours du séchage sur sulfate de sodium. Après filtration, le chloroforme est évaporé puis le résidu obtenu est chromatographié sur silice (200 g chloroforme-méthanol, 30/1, v/v).

On obtient ainsi le dérivé de l'idose 109 (1,05 g, 25 55 %). Ce produit se présente sous forme d'un sirop.

$$[\alpha]_{20}^D = + 85,5^\circ \text{ (1, chloroforme).}$$

L'analyse élémentaire ainsi que l'analyse en RMN confirment la structure attendue.

Etape 6 : synthèse du dérivé 112.

30 Cette synthèse est effectuée à partir du dérivé 109 en une seule étape (les intermédiaires 110 et 111 ne sont pas isolés). A une solution du dérivé 109 (2,25 g, 6 mM) dans le dichlorométhane (50 ml), on ajoute successivement de la diméthylaminopyridine (60 mg ; 0,24 mM) de la tri- 35 éthylamine (1,7 ml ; 12 mM) et du chlorure de trityle (2,5 g ; 9 mM). Après environ 14 heures, la réaction est

terminée. On obtient ainsi en solution le dérivé 110.
ajoute alors au mélange réactionnel de la diméthylamino-
pyridine (150 mg), de la triéthylamine (1,7 ml) et du
chlorure de benzoyle (1,05 ml). Après 6 jours, le dichlo-
5 rométhane est éliminé par passage d'un courant d'azote
et remplacé par du diméthylformamide (40 ml). Le mélange
réactionnel est chauffé à 70°C pendant une nuit. On ajoute
alors à nouveau du chlorure de benzoyle (1 ml) et de la
triéthylamine (1,7 ml), puis on maintient le chauffage à
10 70°C pendant 2 jours. Le diméthylformamide est ensuite
éaporé, puis le résidu est repris par du chloroforme, la
phase chloroformique est lavée avec de l'eau, avec une
solution saturée de bicarbonate de sodium, puis avec une
solution d'acide chlorhydrique 2 M et enfin avec de l'eau
15 jusqu'à pH neutre. Après séchage, le chloroforme est éva-
poré, ce qui permet d'obtenir le composé 111.

Celui-ci est immédiatement soumis à une réaction
pour éliminer le groupe trityle afin d'obtenir le dérivé 112.
Le résidu contenant le dérivé 111 est dissous dans 25 ml de
20 chloroforme et on ajoute à cette solution 10 ml d'une so-
lution d'acide paratoluènesulfonique monohydrate dans le
méthanol (1 M). Après 4 heures de réaction à température
ambiante, la réaction est terminée. Le mélange réactionnel
est alors dilué avec du chloroforme, lavé avec de l'eau,
25 séché puis évaporé à sec. Le résidu obtenu est chromato-
graphié sur gel de silice (200 g, éther-hexane, 3/1, v/v).
Le dérivé 112 est ainsi obtenu à l'état pur (1,5 g ; 52 %).
Ce dérivé se présente sous forme d'un sirop. $[\alpha]_{20}^D = -8^\circ$
(1, chloroforme).

30 L'analyse du spectre infrarouge et du spectre RMN confir-
ment la structure du produit attendu.

Etape 7 : synthèse du composé 115.

Cette synthèse est effectuée directement à par-
tir du dérivé 112 sans isoler les intermédiaires 113 et 114.
35 A la solution du composé 112 (1,2 g) dans l'acétone (20 ml),
on ajoute, goutte à goutte, après refroidissement à 0°C,

une solution (2,9 ml) d'oxyde de chrome (CrO_3 ; 1,17 g) dans l'acide sulfurique 3,5 M (5 ml). Après 30 minutes d'agitation à 0°C, la température est ramenée à l'ambiante. La réaction évolue pendant 3 heures. Le mélange réactionnel est ensuite versé dans une ampoule à décanter contenant de l'eau glacée (100 ml). Le produit formé est extrait par du chloroforme (3 x 50 ml). La phase chloroformique est lavée avec de l'eau jusqu'à pH neutre, puis séchée sur sulfate de sodium, filtrée et concentrée à sec.

5

10 Le résidu obtenu (le composé 113) est dissous dans du méthanol (130 ml). On ajoute à cette solution de la soude 3 M (17 ml) puis on laisse le mélange sous agitation pendant environ 14 heures. Après acidification par l'acide sulfurique, le composé 114 est extrait à l'éther, puis

15 immédiatement méthylié par du diazométhane selon la méthode classique pour donner le composé 115.

Après évaporation de l'éther, le composé 115 est obtenu pur au moyen d'une chromatographie sur gel de silice (50 g ; éther-hexane ; 4/1 ; v/v). Les fractions pures contenant le dérivé 115 sont rassemblées et les solvants sont éliminés. On obtient ainsi le dérivé 115 de l'acide iduronique (587 mg, 59 % par rapport au dérivé 112). Ce produit se présente sous forme d'un sirop. $[\alpha]_{25}^D = +98^\circ$ (2,65, chloroforme).

20

25 L'analyse en RMN, l'analyse en infrarouge et l'analyse élémentaire confirment la structure attendue.

EXEMPLE 30.

Synthèse du disaccharide 117 (voir figures 22 et 23).

Cette synthèse s'effectue à partir du monosaccharide 115 préparé comme ci-dessus et du monosaccharide 44 préparé selon la technique de H. Paulsen et W. Stenzel, chemische Berichte 111 (1978) 2234-2247.

30

A une solution du composé 115 (200 mg, 0,5 mM) dans le dichlorométhane (10 ml), on ajoute successivement le composé 44 (0,450 g) de la sym-collidine (150 μ l) et du triflate d'argent (260 mg).

35

Le mélange réactionnel est maintenu à 0°C sous courant d'azote et sous agitation à l'abri de l'humidité et de la lumière pendant 3 heures.

- Il est ensuite dilué avec du dichlorométhane
- 5 (100 ml) puis les solides sont éliminés par filtration sur filtres plissés. La solution obtenue est lavée avec une solution saturée de bicarbonate de sodium avec de l'eau et avec de l'acide sulfurique 2 M, puis à nouveau avec de l'eau jusqu'à pH neutre.
- 10 Après séchage sur sulfate de sodium et évaporation du dichlorométhane, le résidu obtenu est chromatographié sur gel de silice (50 g ; chloroforme/acétate d'éthyle ; 15/1 ; v/v).

- On obtient ainsi le dérivé 117 pur (327 mg, 82 %).
- 15 Le produit se présente sous forme d'un sirop. $[\alpha]_{20}^D = +57^\circ$ (1, chloroforme).

L'analyse en RMN de même que l'analyse élémentaire confirment la structure et l'anomérie du disaccharide 117.

EXEMPLE 31.

- 20 Synthèse du disaccharide 122 (voir figure 23).

On met en oeuvre les étapes suivantes de :

- élimination des groupes acétyle,
 - sulfatation,
 - hydrogénation,
- 25 - sulfatation du groupe amine primaire.
- élimination du groupe Me du radical -COOH conduisant au composé 118.

- Le disaccharide 117 (260 mg) est dissous dans du méthanol (5 ml) et de la soude 1 M (1 ml) est ajoutée goutte à goutte. A la fin de la réaction, le mélange
- 30 réactionnel est introduit au sommet d'une colonne de résine DOWEX 50 sous forme HT (5 ml). L'effluent est concentré à sec, repris par du méthanol, et le produit acide libre, obtenu à l'issue de la saponification du dérivé 117 est méthylé par addition de diazométhane. On
- 35 obtient ainsi le dérivé 118 qui est purifié au moyen d'une

colonne de gel de silice (20 g ; éther/hexane ; 8/1 ; v/v).
Le rendement en composé 118 est de 92 mg. Ce produit est
engagé directement dans la synthèse du dérivé 119.

- Sulfatation conduisant au disaccharide 119.

5 Le produit 118 obtenu ci-dessus (92 mg) est dis-
sout dans du diméthylformamide (5 ml) puis du complexe
triméthylamine/sulfure trioxyde (25 mg) est ajouté. La
solution est portée à 50°C pendant environ 14 heures.
Après évaporation à sec, le résidu est repris par du
10 chloroforme, puis la phase chloroformique est lavée avec
de l'eau, séchée et concentrée à sec. Le solide obtenu
est purifié sur une colonne de gel de silice (15 g ;
éluant : méthanol/chloroforme ; 1/4 v/v). Après évapora-
tion des fractions pures, on obtient le disaccharide
15 sulfaté 119 (58 mg ; 55,6 %).

- Hydrogénation conduisant au disaccharide 120.

Le disaccharide 119 (58 mg) est dissous dans un
mélange méthanol-eau (15 ml + 2 ml). On ajoute ensuite du
catalyseur (Pd/C 5 % ; 60 mg) puis on soumet cette suspen-
20 sion à agitation sous atmosphère d'hydrogène pendant 48
heures. A ce stade, on constate la disparition totale des
groupes benzyle portés par le dérivé 119, de même que la
réduction du groupe azide du dérivé 119 en groupement aminé.
Le catalyseur est éliminé par filtration, puis le mélange
25 réactionnel est concentré à sec.

On obtient ainsi le disaccharide 120 qui sera
traité directement pour obtenir le produit 121 puis 122.

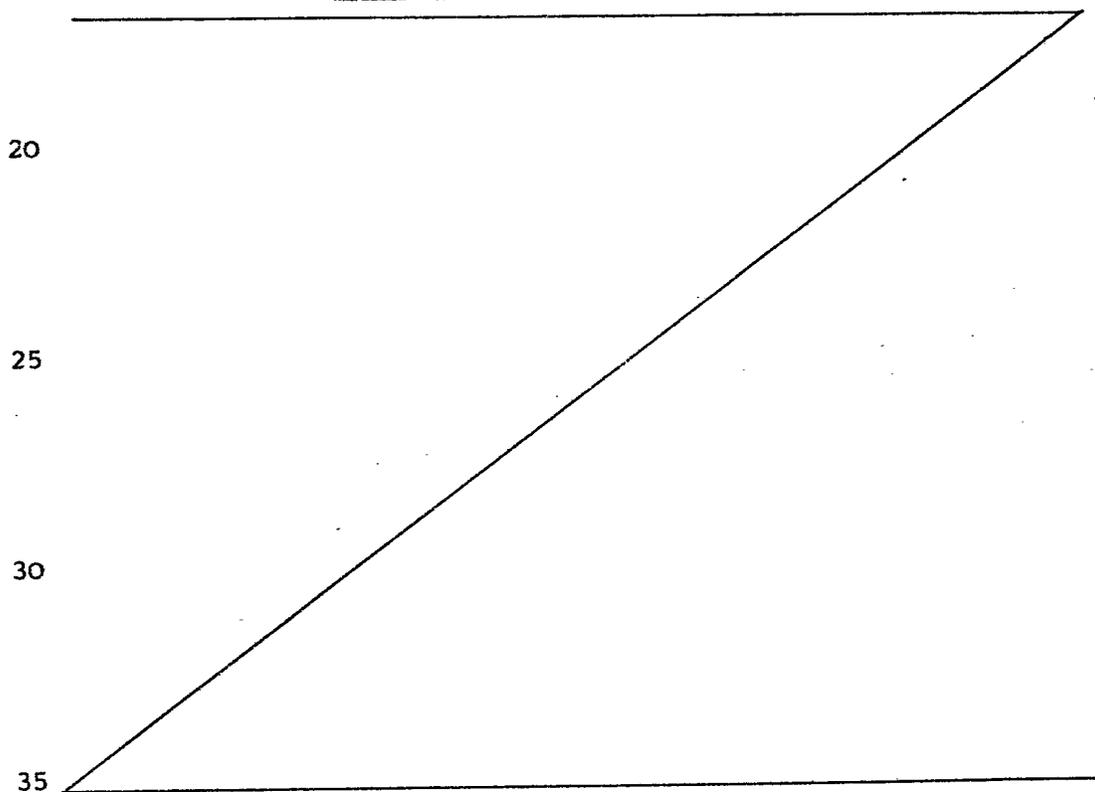
- Sulfatation du groupe $-NH_2$ conduisant au disaccha-
ride 122.

30 Le disaccharide 120 est dissous dans l'eau (6 ml).
On ajoute à cette solution du complexe triméthylamine/sul-
fure trioxyde (25 mg), tout en maintenant le pH à 9,5 par
addition de soude (0,1 N). Après 45 heures de réaction,

de la soude 1 N est ajoutée pour amener le pH à 12. Puis, il est maintenu à cette valeur pendant 1 heure. La solution de 121 est ensuite neutralisée avec de l'acide chlorhydrique 1 N, puis passée au travers d'une colonne de DOWEX 50 (5 ml) sous forme Na^+ . L'éluat de cette colonne est introduit sur une colonne G1 x 2 (16 ml, 1,6 x 8 cm). La colonne est éluee par un gradient de chlorure de sodium de 0 à 3 M. Les fractions contenant le disaccharide 122 sous forme de sels de sodium sont rassemblées, concentrées, puis le produit est dessalé par passage sur une colonne de Sephadex G25 (50 ml) éluee avec de l'eau. On obtient ainsi le disaccharide 122 (27 mg, 68 %). Après lyophilisation, le produit se présente sous la forme d'une poudre blanche.

$[\alpha]_{20}^D = + 95,5^\circ$ (1,3 ; eau).

L'analyse en RMN du carbone 13 confirme la structure attendue pour le produit 122.



EXEMPLE 32: Préparation du 2-O-(α -L-idopyranosyl)-D-galactose (composé 128) (voir figure 24).

Cette synthèse est effectuée selon les quatre étapes a) à d) suivantes.

- 5 a) Préparation du bromure de 2,3,4,6-tétra-O-acétyl- α -L-idopyranosyle (composé 124)

Une solution de 5 g de penta-O-acétyl- α -L-idopyranose (composé 1, préparé selon P. PERCHEMLIDES, T. OSAWA, F.A.

- 10 DAVIDSON et R.W. JEANLOZ, Carbohydr. Res., 3 (1967) 463), dans du dichlorométhane anhydre (100 ml) est saturée à 0°C avec du gaz bromhydrique. Après 2 h à température ambiante, le milieu réactionnel est versé sur de la glace et extrait au chloroforme. La phase organique est lavée avec de l'eau, séchée (chlorure de calcium) et évaporée. Le résidu est
- 15 cristallisé dans le mélange dichloroéthane-éther-pentane, donnant le bromure 124 (5 g, 95%), P.F. 126-127 °C $[\alpha]_D^{20} = -120^\circ$ (c ; 0,75, chloroforme).

- 20 b) Préparation du benzyl 3,4,6-tri-O-benzyl-2-O (2,3,4,6-tétra-O-acétyl- α -L-idopyranosyl)- β -D-galactopyranoside (composé 126)

- Une solution de 200mg de benzyl-3,4,6-tri-O-benzyl- β -D-galactopyranoside (composé 125 préparé selon la méthode de J.C. JACQUINET et P. SINAY décrite dans Tetrahedron, 32 (1976) 1693) dans le dichloroéthane anhydre (10 ml)
- 25 est agitée sous azote sec à 90° C en présence de tamis moléculaire 4 Å (300 mg) et de bromure mercurique (80 mg), jusqu'à ce que le volume soit réduit de moitié. Une solution du bromure 124 (300 mg) dans du dichloroéthane (10 ml) est ajoutée durant 3 h; le volume du milieu réactionnel étant
- 30 maintenu constant par distillation continue du dichloroéthane. 3 heures après la fin de l'addition, le milieu réactionnel est refroidi à la température ambiante, dilué avec du chloroforme (100 ml), filtré, lavé successivement avec une
- 35 solution aqueuse à 10% d'iodure de potassium, avec une solution aqueuse diluée d'hydrogencarbonate de sodium, avec de l'eau, séché (sulfate de sodium) et évaporé. Le résidu est purifié par chromatographie sur une colonne de gel de silice (30 g) à l'aide du mélange acétate d'éthyle-hexane

(1 : 1, v/v), donnant le disaccharide 126 à l'état de sirop (290 mg, 90%), $[\alpha]_D = -57^\circ$ (c : 1,1, chloroforme).

Analyse calculée pour $C_{48}H_{54}O_{15}$: C, 66,20 ; H, 6,25 ; O, 27,55. Trouvé : C : 65,98 ; H, 6,13 ; O, 27,35%.

5 c) Préparation du benzyl-3,4,6-tri-O-benzyl-2-O-(α -L-idopyranosyl)- β -D-galactopyranoside (composé 127)

Le disaccharide 126 (200 mg) est dissous dans du méthanol anhydre (10 ml) et une solution M de méthylate de sodium dans le méthanol anhydre (0,2ml) est ajoutée. Au bout
10 d'une heure, le milieu réactionnel est neutralisé à l'aide de résine Dowex 50 (H^+), filtré et évaporé. Le résidu est purifié par chromatographie sur une colonne de gel de silice (10 g) à l'aide du mélange dichloroéthane-acétone (7:3, v/v) donnant le disaccharide 127 (154 mg, 95%), à l'état
15 pur, $[\alpha]_D = -43^\circ$ (c : 1,4, chloroforme).

Analyse calculé pour $C_{40}H_{46}O_{11}$: C, 68,36 ; H, 6,60 ; O, 25,04 ; trouvé : C, 68,38 ; H, 6,64 ; O, 25,27%.

d) Préparation du 2-O-(α -L-idopyranosyl)-D-galactose (composé 128)

20 Le disaccharide 127 (200 mg) est hydrogéné pendant 48 h dans de l'éthanol (10 ml) contenant de l'acide acétique (0,1 ml), en présence de palladium sur charbon à 10% (50 mg). Le produit obtenu est purifié par chromatographie sur une colonne de gel de silice (15 g), à l'aide de
25 mélange méthanol-chloroforme (4:1, v/v), donnant le disaccharide libre 6 sous forme d'une poudre blanche hygroscopique (97,5 mg, 100%), $[\alpha]_D = +28^\circ$ (c : 1,2, méthanol) + 15° (10 min) \rightarrow + 93° (2 h) (c 1,2 eau).

Analyse: calculé pour $C_{12}H_{22}O_{11}$: C, 42,10 ; H, 6,48

30 trouvé : C, 41,71 ; H, 6,48%.

EXEMPLE 33: Synthèse du 1,2 : 3,4-di-O-isopropylidène-6-O(α -L-idopyranosyl)- α -D-galactopyranose (composé 131)

On prépare tout d'abord le 1,2 : 3,4-di-O-isopropylidène-6-O (2,3,4,6-tétra-O acétyl- α -L-idopyranosyl)- α -D-galactopyranose (composé 130)

35 Une solution de 300 mg de 1,2 : 3,4-di-O-isopropylidène- α -D-galactopyranose (composé 129) préparé selon R.C. HOCKETT, H.G. FLETCHER et J.B. AMES dans J. Am. Chem. Soc., 63 (1941)

- 2516), dans du dichloroéthane anhydre (20 ml) est agitée sous azote sec à 90°C en présence de tamis moléculaire 4 Å (500 mg) et de bromure mercurique (300 mg), jusqu'à ce que le volume soit réduit de moitié. Une solution de bromure 124
- 5 (550 mg) dans du dichloroéthane (10 ml) est ajoutée et, après 24 h, une nouvelle solution de bromure 124 (125 mg) dans du dichloroéthane (2ml). 24 h après cette dernière addition, le milieu réactionnel est traité comme décrit plus haut pour la préparation du disaccharide 126. Une purifi-
- 10 cation par chromatographie sur une colonne de gel de silice (50 g) à l'aide du mélange dichloroéthane-acétone (9:1,v/v) conduit au disaccharide 130, qui est cristallisé dans le mélange dichloroéthane-pentane (650 mg, 95%), P.F. 160-161°C, $[\alpha]_D^{20} = -86^\circ$ (c : 1, chloroforme).
- 15 Analyse calculé pour $C_{26}H_{38}O_{15}$: C, 52,88 ; H, 6,48 ; O, 40,64.
trouvé : C, 52,89 ; H, 6,41 ; O, 40,63%.
Le dérivé 130 est ensuite mis en oeuvre pour la préparation du 1,2 : 3,4-di-O-isopropylidène-6-O(α -L-idopyranosyl)- α -
- 20 D-galactopyranose (composé 131), en procédant comme suit :
Le disaccharide 130 (300 mg) est désacétylé selon la technique décrite précédemment pour la préparation du disaccharide. Une purification par chromatographie sur une colonne de gel de silice (15 g) à l'aide du mélange méthanol-chloro-
- 25 forme (4:1,v/v) conduit au disaccharide 131 obtenu sous forme d'une poudre amorphe et hygroscopique (204 mg, 95%),
 $[\alpha]_D^{20} = -63^\circ$ (c : 0,7, méthanol).
Analyse calculé pour $C_{18}H_{30}O_{11}$: C, 51,18 ; H, 7,16 ; O, 41,66 ;
trouvé : C, 50,86 (voir figures 24 et 25).
- 30 EXEMPLE 34: Préparation du benzyl-2,3,4-tri-O-benzyl-6-O-
(α -L-idopyranosyl)- β -D-galactopyranoside (composé 134)
On prépare tout d'abord le benzyl-2,3,4-tri-O-benzyl-6-O
(2,3,4,6-tétra-O-acétyl- α -L-idopyranosyl)- β -D-galactopyranoside (composé 133)
- 35 Une solution de 200 mg de benzyl-2,3,4-tri-O-benzyl- β -D-galactopyranoside (composé 132, préparé selon K. MIYAI et R.W. JEANLOZ, Carbohydr. Res., 21 (1972)45), dans du dichloro-

éthane anhydre (15ml) est agitée sous azote sec à 90°C en présence de tamis moléculaire 4 Å (300 mg) et de bromure mercurique (80 mg), jusqu'à ce que le volume soit réduit à 5 ml. Une solution de bromure 124 (160 mg) dans du dichloro-
 5 éthane (10 ml) est ajoutée et le milieu réactionnel est agité à 90°C pendant 24 h. Un traitement analogue à celui décrit précédemment pour la préparation du disaccharide 126 conduit à un résidu qui est purifié par chromatographie sur une colonne de gel de silice (30 g) à l'aide du
 10 mélange dichloroéthane-acétone (12:1, v/v), donnant le disaccharide 133 (227 mg, 70%), $[\alpha]_D^{25} = -30^\circ$ (c:1, chloroforme). Analyse: calculé pour $C_{48}H_{54}O_{15}$: C, 66,20 ; H, 6,25 ; O, 27,55. Trouvé : C, 65,96 ; H, 6,23 ; O, 27,66%.
 Le composé 133 est ensuite mis en oeuvre pour la prépara-
 15 tion du benzyl-2,3,4-tri-O-benzyl-6-O-(α -L-idopyranosyl)- β -D-galactopyranoside (composé 134) en procédant comme suit : Le disaccharide 133 (200 mg) est désacétylé selon la technique décrite précédemment pour la préparation du disaccharide 127. Une purification par chromatographie sur une colonne de
 20 gel de silice (10g) à l'aide du mélange chloroforme-méthanol (9:1, v/v) conduit au disaccharide 134 obtenu sous forme amorphe (147 mg, 90%), $[\alpha]_D^{25} = -88^\circ$ (c : 0,8, chloroforme).
 Analyse: calculé pour $C_{40}H_{46}O_{11}$: C, 68,36 ; H, 6,60 ; O, 25,04, Trouvé : C, 68,74 ; H, 6,68 ; O, 25,37% (voir figure 25).

EXEMPLE 35 : Préparation du 2-acétamido-1,3,6-tri-O-acétyl-4-O-(2,3,4,6-tétra-O-acétyl- α -L-idopyranosyl)-2-désoxy- β -D-glucopyranose (composé 138) (figure 26).

La préparation de ce composé est effectuée selon les étapes
 30 a) à c) suivantes.
 a) Préparation du 2-acétamido-3-O-acétyl-1,6-anhydro-2-désoxy-4, O-(2,3,4,6-tétra-O-acétyl- α -L-idopyranosyl)- β -D-glucopyranose (composé 136)
 Une solution de 1 g de 2-acétamido-3-O-acétyl-1,6-anhydro-
 35 2-désoxy- β -D-glucopyranose (composé 135 préparé selon F. SCHMITT et P. SINAY, Carbohydr. Res., 20 (1973) 99.) dans du nitrobenzène anhydre (40 ml) est agitée pendant 2 h à 130°C en présence de tamis moléculaire 4 Å en poudre (1 g),

préalablement activé pendant 48 h à 250°C. Une solution de bromure 124 (1,43 g) dans le dichloroéthane (10 ml) est ajoutée et le milieu réactionnel est maintenu à 130°C pendant 10 h. Une nouvelle addition de bromure 124 (0,7 g) dans le dichloroéthane (5 ml) est alors effectuée et la réaction poursuivie pendant 24 h. Un traitement analogue à celui décrit pour la préparation du disaccharide 126 conduit à un composé qui est purifié par chromatographie sur une colonne de gel de silice (200 g) à l'aide du mélange acétate d'éthyle-éther (5:1, v/v), donnant le disaccharide 136 (1,8 g, 85%), $[\alpha]_D^{20} = 70,6^\circ$ (c : 1, chloroforme).
Analyse: calculé pour $C_{24}H_{33}O_{14}N$: C, 51,52 ; H, 5,94 ; N, 2,50 ; O, 40,03. Trouvé : C, 51,35 ; H, 5,89 ; N, 2,51 ; O, 40,05%.

15 b) Préparation du 2-acétamido-1,6-anhydro-2-désoxy-4-O-(α -L-idopyranosyl)- β -D-glucopyranose (composé 137)

Le disaccharide 136 (500 mg) est désacétylé selon la technique décrite précédemment pour la préparation du disaccharide 127. Une purification par chromatographie sur une colonne de gel de silice (40 g) à l'aide du mélange acétate d'éthyle-méthanol (2:1, v/v) conduit au disaccharide 137 (300 mg, 90%), $[\alpha]_D^{20} = -65^\circ$ (c : 1,6, méthanol).

Analyse: calculé pour $C_{14}H_{23}O_{10}N, 0,5 H_2O$: C, 44,92 ; H, 6,46 ; N, 3,74. Trouvé : C, 44,95 ; H, 6,61 ; N, 4,27%.

25 c) Préparation du 2-acétamido-1,3,6-tri-O-acétyl-4-O-(2,3,4,6-tétra-O-acétyl- α -L-idopyranosyl) 2-désoxy- β -D-glucopyranose (composé 138)

Le disaccharide 136 (150 mg) est acétolysé à température ambiante pendant 12 heures en présence d'un mélange (5ml) anhydride acétique-acide acétique et acide sulfurique concentré (7:3:0,1, v/v/v). Le milieu réactionnel est ensuite versé dans de l'eau glacée et agité pendant 4 heures, puis extrait avec du chloroforme (100 ml). La phase chloroformique est lavée avec une solution aqueuse diluée d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium) et évaporée. Le résidu est purifié par chromatographie sur une colonne de gel de silice (10 g) à l'aide du mélange acétate d'éthyle-éther (5:1, v/v) donnant le disaccharide 136 qui est

cristallisé dans le mélange acétate d'éthyle-pentane
(120 mg, 64%), PF 120°C, $[\alpha]_D^{20} = 40^\circ$ (c : 1, chloroforme).

Analyse élémentaire: calculé pour $C_{28}H_{39}O_{18}N$: C, 49,63 ; H,
5,80 ; O, 42,50 ; N, 2,07,

5 trouvé : C, 49,68 ; H, 5,91 ; O, 42,16 ; N, 2,12%.

EXEMPLE 36: Synthèse du 2-acétamido-2-désoxy-4-O-(α -L-
idopyranosyl)-D-glucopyranose (composé 139) (figure 26).

Le disaccharide 138 (100 mg) est désacétylé selon la technique
décrite précédemment pour la préparation du disaccharide 127.

10 Une purification par chromatographie sur une colonne de gel
de silice (5 g) à l'aide du mélange méthanol-chloroforme
(3:2, v/v) conduit au disaccharide 139 qui est cristallisé
dans de l'éthanol aqueux (48 mg, 85, PF 143-145°C, $[\alpha]_D^{20} =$
-20° → -31° (c 0,8, eau-méthanol, 19:1, v/v, au bout de 14 h.

15 Analyse: calculé pour : $C_{14}H_{25}NO_{11}$, 0,5 H_2O : C, 42,86 ;
H, 6,68 ; N, 3,57. Trouvé : C, 42,83 ; H, 6,68 ; N, 3,59%.

EXEMPLE 37: variante de préparation du composé 138 selon les étapes 1
à 6 (voir figure 27).

20 1. Préparation du benzyl 2-acétamido-3,6-di-O-
benzyl-2-désoxy-4-O-(6-O-tosyl- β -D-glucopyranosyl)-
 α -D-glucopyranoside (composé 140)

Une solution du composé 139 (0,2g) dans la pyridine (5ml) est
refroidie à 0°C. On ajoute alors du chlorure de tosylé
(0,07 g) dissous dans la pyridine (2 ml). La réaction
est abandonnée à la température ambiante pendant 24 heures.

25 Après addition de quelques goutte d'eau, le mélange est
agité pendant une demi-heure avant d'être versé sur de la
glace. Après reprise par du chloroforme (0,2 l), la phase
chloroformique est lavée successivement avec une solution
aqueuse à 10% de $KHSO_4$, de l'eau, une solution saturée de
30 $NaHCO_3$ et de l'eau. Après séchage sur sulfate de sodium
et concentration à sec, le résidu est chromatographié sur
gel de silice (20 g) dans un mélange acétate d'éthyle/méthanol
(15/1, v/v). On obtient ainsi le composé 140 pur (150 mg ;
60%). $[\alpha]_D^{20} = +74^\circ$ (1,1 chloroforme).

35 Analyse élémentaire : Calculé pour $C_{42}H_{49}O_{13}NS$ (807,912)
C, 62,40 ; H, 6,11 ; N, 1,73 ; O, 25,74 ; S, 3,97.

Trouvé : C, 62,77 ; H, 6,13 ; N, 1,73 ; O, 24,98 ; S, 3,48.

Le spectre RMN confirme la structure recherchée.

2: Préparation du benzyl 2-acétamido-3,6-di-O-benzyl-
2-désoxy-4-O-(2,3,4-tri-O-acétyl-6-O-tosyl- β -
D-glucopyranosyl)- α -D-glucopyranoside (composé 141)

- 5 A une solution du composé 139 (200 g- dans la pyridine (5ml), on ajoute de l'anhydride acétique (5ml). Après une nuit à température ambiante, le mélange réactionnel est concentré à sec. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (25 g) dans un mélange acétate d'éthyle/hexane (3/1, v/v). On obtient ainsi le composé 141 (208 mg, 90%)
- 10 sous forme de sirop. $[\alpha]_D^{20} = + 70^\circ$ (1, chloroforme).
Analyse élémentaire : Calculé pour $C_{48}H_{55}NSO_{16}$ (934, 023) C, 61,78 ; H, 5,94 ; N, 1,5 ; O, 27,41 ; S, 3,43.
Trouvé : C, 61,58 ; H, 5,91 ; N, 1,27 ; S, 3,23.

- 15 Le spectre RMN confirme la structure recherchée.

3: Préparation du benzyl 2-acétamido-3,6-di-O-benzyl-
2-désoxy-4-O(2,3,4-tri-O-acétyl-6-désoxy-6-
iodo- β -D-glucopyranosyl)- α -D-glucopyranoside
(composé 142)-

- 20 1) A partir du composé 141 -

A une solution du composé 141 (150 mg dans l'acétone (5 ml), on ajoute de l'iodure de sodium (150 mg). Le mélange est chauffé à 70°C dans un tube scellé pendant 7 heures. Après évaporation à sec, le résidu est repris par l'eau et le

25 chloroforme. La phase chloroformique est lavée avec de l'eau et séchée sur sulfate de sodium. Après évaporation à sec, le résidu est cristallisé dans un mélange chloroforme/pentane (102 mg, 70%). p.f. 173-174°C $[\alpha]_D^{20} = + 78,5^\circ$ (1,2, chloroforme).

- 30 Analyse élémentaire : Calculé pour $C_{41}H_{48}O_{13}NI$ (889,733) C, 55,34 ; H, 5,44 ; N, 1,57 ; O, 23,38 ; I, 14,28.
Trouvé : C, 54,98 ; H, 5,52 ; N, 1,45 ; O, 23,57 ; I, 14,10.
Le spectre RMN correspond à la structure recherchée.

2) A partir du composé 139 via le composé 143 -

Une solution du composé (1 g) et de N-iodo-succinimide (1 g) dans le DMF (50 ml) est agitée à 0°C pendant 30 minutes. De la triphénylphosphine (1,2 g) est alors ajoutée lentement en une heure. Après chauffage à 50°C pendant une

5 heure, du méthanol (1 ml) est ajouté puis le mélange réactionnel est concentré à sec. Le produit est extrait au chloroforme. La phase chloroformique est lavée avec de l'eau, avec une solution de thiosulfate de sodium puis de nouveau

10 avec de l'eau. Après séchage et évaporation du chloroforme, le résidu est déposé sur une colonne de gel de silice (50 g). Le composé 143 contaminé par de la triphénylphosphine est élué par un mélange acétate d'éthyle méthanol (15/1, v/v).

15 Après évaporation du solvant de chromatographie et séchage, le dérivé 143 est dissous dans la pyridine (10 ml) puis acétylé par de l'anhydride acétique (10 ml). Après traitement classique, le dérivé 142 est cristallisé dans un mélange chloroforme/pentane. Le rendement par rapport au composé 139

20 est de 85%. Ce composé est en tout point analogue à celui obtenu à partir du composé 141.

4: Préparation du benzyl 2-acétamido-3,6-di-O-benzyl-2-désoxy-4-O-(2,3,4-tri-O-acétyl-6-désoxy- β -D-xylo-hex-5-(énopyranosyl)- α -D-glucopyranoside-2 (composé 144) -

25

A une solution du composé 142 (400 mg) dans la pyridine anhydre (5ml), on ajoute du fluorure d'argent (400 mg). La suspension est agitée dans le noir pendant 48 heures. Le mélange est

30 ensuite versé sous agitation dans l'éther (200 ml). Après filtration, la phase étherée est lavée avec une solution à 10 % de NaHSO₄, puis avec une solution à 10% de NaHCO₃ et enfin avec de l'eau. Après séchage et concentration à sec, le résidu est cristallisé dans un mélange chloroforme/éther

119

(206 mg ; 60%).p.f. 184-185°C. $[\alpha]_D^{20} = + 70^\circ$ (1,4, chloroforme).

Analyse élémentaire : Calculé pour $C_{41}H_{47}N O_{13}$ (761,821) :
C, 64,69 ; H, 6,22 ; N, 1,84.

7 Trouvé : C, 64,5 ; H, 5,96 ; N, 1,79.

Le spectre RMN est conforme à la structure recherchée.

5:Préparation du benzyl 2-acétamido-3,6-di-O-benzyl-2-désoxy-4-O-(α -L-idopyranosyl)- α -D-glucopyranoside (composé 145) -

- 10 Le composé 144(380 g) est dissous dans du tétrahydrofurane (8 ml) fraîchement distillé. Après refroidissement à 0°C sous atmosphère d'azote, l'hydrure de bore (BH_3 , 1M dans THF, 1 ml) est ajouté puis on laisse la température remonter jusqu'à la température ambiante. Après une heure de
- 15 réaction, une nouvelle addition d'hydrure est effectuée (1ml). Après 30 minutes, de l'éthanol est ajouté goutte à goutte. Lorsque le dégagement gazeux a cessé, le mélange est dilué par du THF (10 ml). De la soude (3 M, 1,2 ml) est ajoutée suivie par de l'eau oxygénée (120 vol ; 0,8 ml). Après
- 20 deux heures à 50°C, la solution est versée dans du chloroforme. La phase chloroformique est lavée avec une solution aqueuse d'acide chlorhydrique (0,1N) puis avec de l'eau. Après séchage (Na_2SO_4) et concentration à sec, le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (45 g)
- 25 dans un mélange acétate d'éthyle/méthanol (15/4 ; v/v). Le dérivé 145 est élué d'abord (63 mg ; 15 %) suivi du dérivé 139 (225 mg ; 54%) Le dérivé 145 est cristallisé dans un mélange acétate d'éthyle/méthanol. p.f. 191°C. $[\alpha]_D^{20} = + 64,4^\circ$ (1,méthanol).
- 30 Analyse élémentaire : Calculé pour $C_{35}H_{43}NO_{11} \cdot H_2O$: C, 62,57 ; H, 6,75 ; N, 2,08.
Trouvé C, 62,42 ; H, 6,55 ; N, 1,88.

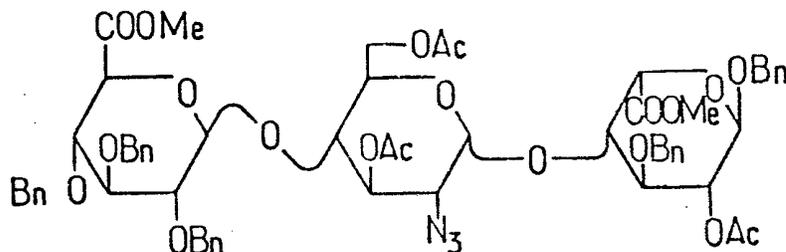
6:Préparation du 2-acétamido-1,3,6-tri-O-acétyl-2-désoxy-4-O(2,3,4,6-tétra-O-acétyl-(α -L-idopyranosyl)-D-glucopyranose - (Composé 138) -

35

Une solution du dérivé 145 (35 mg) dans le méthanol (10 ml) est agitée en présence de catalyseur (Pd/C, 5% ; 25mg) sous atmosphère d'hydrogène pendant 48 heures. Après filtration et évaporation, le résidu (17 mg) est

5 acétylé par un mélange pyridine/anhydride acétique (2ml/1ml). Après traitement classique, le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (10 g) éluée par l'acétate d'éthyle. Après cristallisation, on obtient le composé 138 (14 mg ; 32%). p.f. 191°C. $[\alpha]_D^{20} = +8^\circ$ (0,6, chloroforme).

EXEMPLE 38 - Synthèse du trisaccharide 149 de formule



(149)

Cette synthèse est réalisée en 3 étapes (voir figure 28).

- 5 Tout d'abord, on procède à la glycosylation de l'ortho-
 ester d'un dérivé d'acide L-iduronique. On élimine ensuite
 sélectivement le groupe monochloroacétyle, puis on
 fait réagir l'un des alcools formés avec un disaccharide.

10 1) - Glycosylation de l'orthoester 38 par l'alcool benzy-
 lique -

- Une solution de l'orthoester 38 (118mg 0,25 mM) obtenu se-
 lon l'exemple 5 et d'alcool benzylique (0,15 ml,
 15 mM, fraîchement distillé) dans du chlorobenzène anhydre
 (10 ml) est chauffée à 140°C à l'abri de l'humidité. Après
 15 distillation lente de 8 ml de solvant, une solution de
 perchlorate de 2,6-diméthylpyridinium (2,5µM) dans le
 chlorobenzène (2ml) est ajoutée goutte à goutte en 30 mn
 avec distillation simultanée de solvant (2ml). Le mélange
 réactionnel est alors agité 30 mn dans ces conditions, avec
 20 addition goutte à goutte de solvant frais et distillation
 simultanée, de telle sorte que le volume réactionnel reste
 constant et égal à environ 2 ml. Après refroidissement et
 dilution avec du chloroforme (50 ml), la phase organique est
 lavée avec une solution aqueuse à 5% d'hydrogénocarbonate
 25 de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium) filtrée
 et évaporée.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de si-
 lice (8 g). L'éluion par le mélange hexane-acétate d'éthyle

(2 : 1, v/v) permet d'obtenir une fraction contenant le mélange 146 de glycosides α et β qui n'ont pas été séparés à ce stade (102 mg, 81%), R.M.N. (90 MHz, CDCl_3) :

5 δ : 7,30 (m, 10H, 2 Ph, 3,98 (s, 2H, Cl-CH₂-CO), 3,74 (s, 3H, COOMe), 2,08 et 2,03 (2s, 3H au total, OAc forme β et α ; β : $\alpha \approx 2$: 1).

2) - O-démonochloroacétylation sélective -

Une solution du mélange 146 précédent (102 mg) dans de la pyridine (5ml) et de l'éthanol absolu (1ml) est chauffée
10 à 100°C pendant 20 min. en présence de thiourée (25mg). Après refroidissement, le mélange réactionnel est évaporé à sec et le résidu est repris par un mélange eau-chloroforme (1:1, v/v, 50 ml). La phase organique est lavée avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium),
15 filtrée et évaporée.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (10 g). L'élution par le mélange acétate d'éthyle-hexane (4:3, v/v) permet d'isoler (par ordre d'élution) :

20 - le glycoside β 148 (26mg, 25 %), sirop incolore, $[\alpha]_D^{20} + 70^\circ$ (c1, chloroforme) R.M.N. (90MHz, CDCl_3) : δ : 7,30 (m, 10H, 2 Ph) ; 5,05 (m, 1H, H₂) ; 4,90 (d, 1H, H₁, 1,2 J = 2H_Z) ; 3,78 (s, 3H, COOMe) ; 3,12 (1H, OH, échangé avec D₂O) ; 2,05 (s, 3H, OAc).

25 - le glycoside α 147 (54 mg, 50% à partir de 38) sirop incolore, $[\alpha]_D - 65^\circ$ (c1, chloroforme) R.M.N. (90 MHz, CDCl_3) : δ : 7,30 (m, 10H, 2 Ph) ; 5,05 (2H, H₁ et H₂, constantes de couplage très faibles pour J_{1,2} \leq 1Hz) ; 3,78 (s, 3H, COOMe) ; 2,80 (1H, OH, échangé avec D₂O) ; 2,06 (s, 3H, OAc).

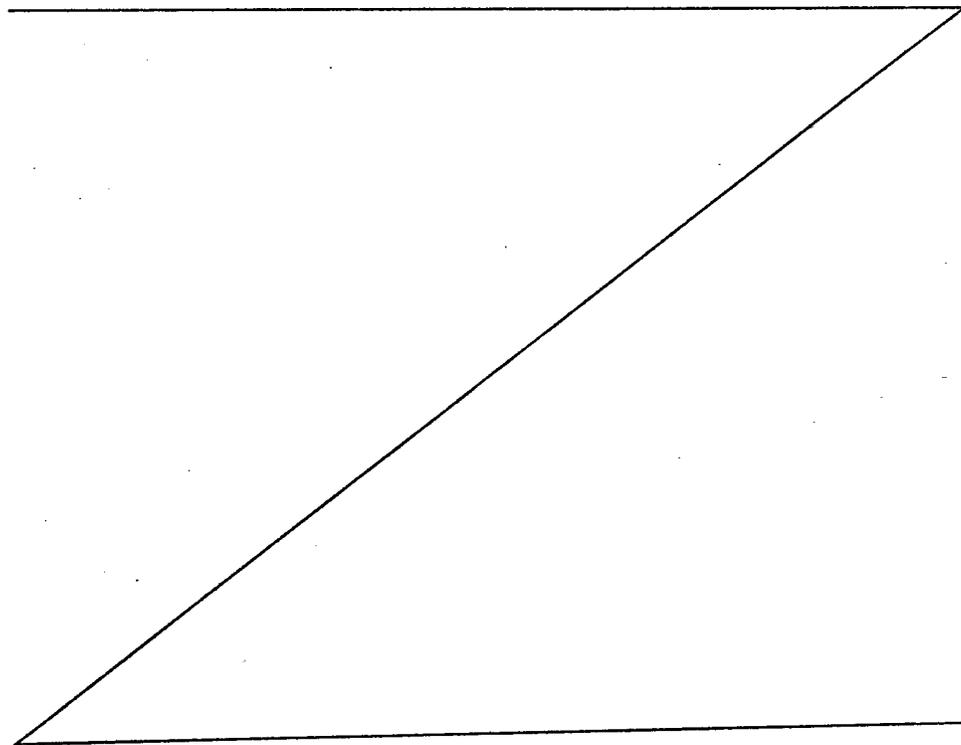
30 3) - Glycosylation de l'alcool 147 à l'aide du disaccharide 97.

Une solution de l'alcool 147 (22mg, 50 μM), et du bromure 97 obtenu selon l'exemple b (57 mg, 70 μM) dans du dichlo-

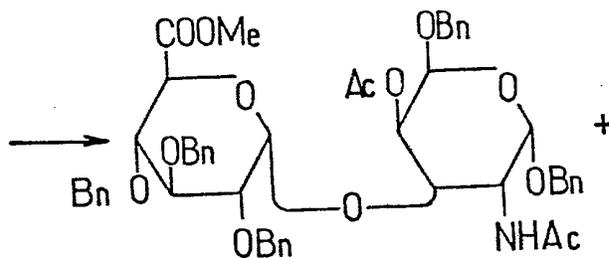
méthane anhydre (1,5 ml) est agitée à l'abri de la lumière et de l'humidité en présence de tamis moléculaire 4 Å (poudre, 50 mg). Le mélange réactionnel est refroidi à -20°C et de la sym-collidine (110 µl) et du triflate d'argent (26 mg, 100 µM) sont ajoutés successivement. Le mélange réactionnel est agité 2h dans ces conditions, dilué avec du dichlorométhane (50 ml) les solides sont essorés et le filtrat est lavé avec une solution aqueuse glacée d'HCl 0,1M, avec de l'eau, avec une solution aqueuse à 5% d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séché (sulfate de sodium), filtré et évaporé.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (8 g, gel 230-400 mesh). L'élution par le mélange toluène-acétate d'éthyle (5:1, v/v) permet d'isoler le trisaccharide 149 sous forme d'un sirop incolore (50 mg, 86%).

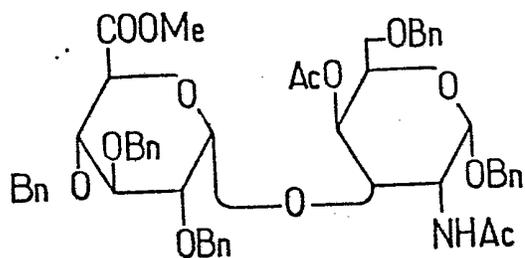
Le spectre R.M.N. (270 MHz, CDCl₃) est conforme avec la structure attendue. Ce spectre est représenté sur la figure 34.



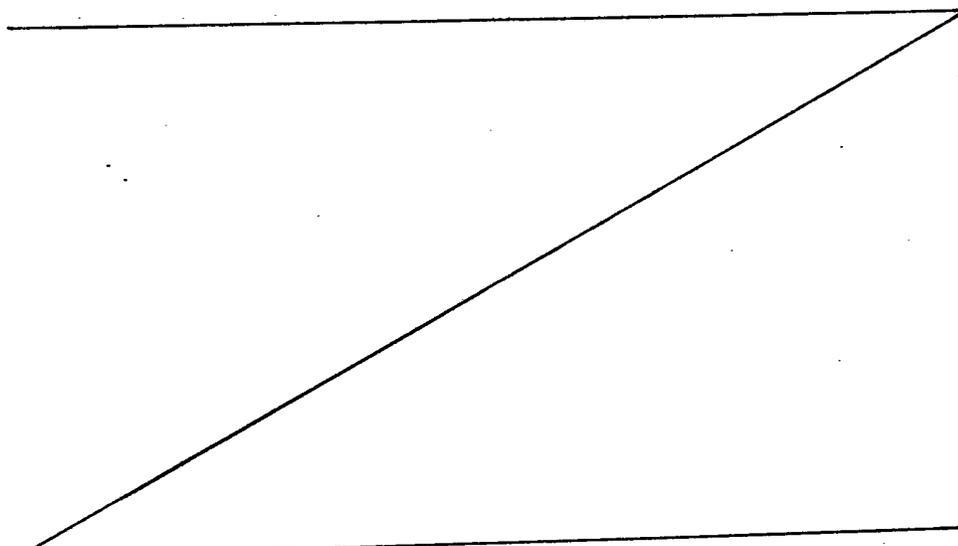
Exemple 39 : Synthèse des disaccharides 160 et 161 de formule



(160).



(161)



1) Préparation du benzyl-2-acétamido-2-désoxy- α -D-galactopyranoside 151.

Une suspension de N-acétyl-D-galactosamine 150 (3 g) dans de l'alcool benzylique anhydre (40 ml) contenant 5 2 % d'acide chlorhydrique (gaz, séché) est agitée à 70°C à l'abri de l'humidité pendant 16 heures. Après refroidissement, la solution limpide est versée lentement dans de l'éther froid (400 ml). Le précipité est alors refroidi 2 heures à -20°C, puis essoré. Les solides sont rincés avec 10 de l'éther, puis dissous dans un mélange méthanol-eau (4:1, v/v, 100 ml) et portés à ébullition pendant 1/2 heure en présence de charbon actif (1 g). La solution chaude est filtrée, puis évaporée à sec. Le résidu est soumis à une cristallisation fractionnée dans le 2-propanol pour donner 15 le composé 151 (2,54 g, 60 %) ; P.F = 205-206° ; $[\alpha]_D + 210^\circ$ (c.1, H₂O).

(Lit. : H.M. FLOWERS and D. SHAPIRO, J. Org. Chem., 30 (1965) 2041-43,

P.F = 203-205°, $[\alpha]_D + 204^\circ$ (c0.98, H₂O)).

20 2) Acétalation du composé 151.

a) Acétalation par l'acétone en milieu acide.

Une suspension du composé 151 (311 mg, 1 mM) dans de l'acétone anhydre (20 ml) est agitée à l'abri de l'humidité en présence d'acide para-toluènesulfonique 25 (monohydrate, 40 mg). Le mélange devient homogène après 1 heure, et est agité 3 heures 30 au total. De la triéthyl-

lamine (0,5 ml) est ajoutée et le mélange réactionnel est évaporé à sec. Le résidu est repris avec du chloroforme (50 ml), la phase organique est lavée avec une solution aqueuse à 5 % d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (20 g). L'élution par l'acétate d'éthyle donne :

- 5
10
15
- le composé 152, sirop, (222 mg, 63 %), $[\alpha]_D + 193^\circ$ (c1, méthanol), R.M.N. (90 MHz, CDCl₃) : δ : 7,30 (s, 5H, Ph) ; 5,95 (d, 1H, NH, J = 8,5 Hz), 4,92 (d, 1H, H₁, J_{1,2} = 3,5 Hz), 2,80 (1H, OH, échangé avec D₂O), 1,97 (s, 3H, NAc), 1,55 et 1,32 (2s, 2 x 3H, Isopropyl) ;
 - le composé 153, sirop. (110 mg, 31 %) ; $[\alpha]_D + 154^\circ$ (c1, chloroforme), R.M.N. (90 MHz, CDCl₃) : δ : 7,32 (s, 5H, Ph), 5,80 (d, 1H, NH, J = 8,5 Hz), 5,0 (d 1H, H₁, J_{1,2} = 3,5 Hz) ; 2,75 (1H, OH, échangé avec D₂O) ; 1,96 (s, 3H, NAc) ; 1,46 (s, 6H, Isopropyl).

b) Acétylation par le 2-méthoxypropène
(contrôle cinétique).

20
25

Ce composé 151 (311 mg, 1 mM) est dissous dans du N,N-diméthylformamide anhydre (8 ml). Du 2-méthoxypropène (0,3 ml) et de l'acide para-toluènesulfonique (monohydrate, 3 mg) sont ajoutés successivement, et le mélange réactionnel est agité à l'abri de l'humidité pendant 3 heures.

30

Un traitement identique à celui décrit au paragraphe a, suivi d'une chromatographie sur colonne de gel de silice (20 g), donne, par élution avec le mélange dichlorométhane-méthanol (15:1, v/v, contenant 0,1 % de triéthylamine).

- Le composé 152, sirop (34 mg, 10 %)
- Le composé 153, sirop (299 mg, 85 %)

- Benzoylation du composé 153.

35

Une solution du composé 153 (90 mg, 0,25 mM) dans un mélange de dichlorométhane anhydre (5 ml) et de

127 .

pyridine anhydre (1 ml) est traité à 0°C à l'abri de l'humidité par du chlorure de benzoyle (60 µl, 0,5 mM) pendant 4 heures. Du méthanol (1 ml) est alors ajouté, et après 15 minutes, le mélange réactionnel est dilué avec du dichlorométhane (20 ml). La phase organique est lavée avec une solution aqueuse à 10 % d'hydrogènesulfate de sodium, avec de l'eau, avec une solution aqueuse à 5 % d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium); filtrée et évaporée. Le résidu gélatineux est cristallisé dans un mélange acétate d'éthyle-éther-hexane pour donner le composé 154 (105 mg, 90 %), $\rho_F = 185-186^\circ\text{C}$; $[\alpha]_D + 189^\circ$ (c1, chloroforme), R.M.N. (90 MHz, CDCl_3): δ : 8,05 (m, 2H, H ortho de benzoyle) ; 7,40 (m, 8H, 1Ph + H méta, para de benzoyle), 5,73 (d, 1H, NH, $J = 9\text{H}_z$), 5,33 (d. de d., 1H, H_3 , $J_{2,3} = 10\text{H}_z$, $J_{3,4} = 3,5\text{H}_z$), 1,83 (s, 3H, NAc), 1,48 et 1,39 (2s, 2 x 3H, Isopropyl).

N.B. : La présence à $\delta = 5,33$ ppm d'un doublet de doublet ayant des constantes de couplage de 10 et 35 H_z montre de manière non ambiguë la présence d'un groupement électro-attracteur (benzoate) en C-3, et donc assure la position en 4 et 6 de l'isopropyldène.

- Hydrolyse et benzylation sélective en 6 du composé 154.

Un mélange du composé 154 (72 mg) et d'acide acétique à 80 % (5 ml) est chauffé à 100°C sous agitation pendant 30 minutes. Après refroidissement à la température ambiante, le mélange réactionnel est évaporé à sec, évaporé avec de l'eau (3 fois 10 ml), puis avec du toluène. Le résidu solide est séché au dessiccateur sous haut-vide.

Le diol brut est dissous dans un mélange de pyridine anhydre (0,5 ml) et de dichlorométhane (3 ml). Du cyanure de benzoyle (33 mg) est ajouté et le mélange réactionnel est agité pendant 16 heures. Du méthanol (5 ml) est ajouté, et, après 1 heure sous agitation, le mélange réactionnel est évaporé à sec. Le résidu est cristallisé dans un

mélange acétate d'éthyle-hexane pour donner le composé 155
(71 mg, 86 % à partir du composé 154); PF = 180-181°C;

$[\alpha]_D^{25} + 109^\circ$ (c1, chloroforme); R.M.N. (90 MHz, CDCl₃):

δ : 8,02 (m, 4H, H ortho des 2-benzoyle); 7,40 (m, 11H,

5 1Ph + H méta., para des 2-benzoyle); 5,88 (d, 1H, NH, J = 9Hz);

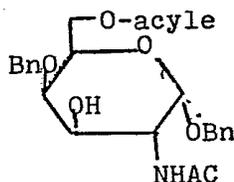
5,38 (d. de d., 1H, H₃, J_{2,3} = 10Hz, J_{3,4} = 3Hz), 5,02

(d, 1H, H₁, J_{1,2} = 35Hz),

3,30 (1H, OH, échangé avec D₂O), 1,81 (s, 3H, NAc).

10 On notera que par benzylation, O-débenzylation, puis acylation sélective en C-6, le composé 155 peut conduire à un dérivé du type

15



20 qui est un précurseur convenablement protégé utilisable pour la synthèse de la chondroïtine-6-sulfate.

- Benzylation du dérivé 152.

Le composé 151 (200 mg, 057 mM) est dissous dans du N,N-diméthylformamide anhydre (5 ml). De la baryte anhydre (700 mg, 4,5 mM), de l'hydroxyde de baryum octa-
25 hydraté (158 mg, 0,5 mM) et du bromure de benzyle (120 µl, 1 mM) sont ajoutés successivement. Le mélange réactionnel est agité à l'abri de l'humidité pendant 20 heures. Du méthanol (0,5 ml) est ajouté, puis, après 30 minutes, le mélange réactionnel est filtré, les solides sont rincés avec
30 du chloroforme (50 ml). La phase organique est lavée avec une solution froide d'acide acétique à 50 %, avec de l'eau, avec une solution aqueuse à 5 % d'hydrogénocarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée. Le résidu est lavé sur une colonne de gel de
35 silice (10 g). L'élution par le mélange acétate d'éthyle-

hexane (3:1, v/v) donne le composé 156 sous forme d'un verre incolore qu'il n'a pas été possible de cristalliser (228 mg, 91 % ; $[\alpha]_D + 136^\circ$ (c 1,5, chloroforme), R.M.N. (90 MHz, $CDCl_3$) : δ : 7,30 (m, 10H, 2 Ph), 5,86 (d, 1H, NH, $J = 8,5 H_z$), 4,89 (d, 1H, H_1 , $J_{1,2} = 3,5 H_z$) ; 1,93 (s, 3H, NAC), 1,55 et 1,31 (2s, 2 x 3 H, Isopropyl.).

- Hydrolyse acide du dérivé 156.

Un mélange du composé 156 (150 mg) et d'acide acétique à 80 % (5 ml) est agité à 100°C pendant 1/2 heure. 10 Après refroidissement à la température ambiante, le mélange réactionnel est évaporé à sec, évaporé avec de l'eau (3 fois 10 ml), puis avec du toluène. Le résidu gélatineux est cristallisé dans l'éthanol pour donner le diol 157 (121 mg, 89 %), PF = 183-184°C $[\alpha]_D + 171^\circ$ (c 1, 15 méthanol).

- Préparation du dérivé 4-O-acétylé 158.

Un mélange du composé 157 (100 mg), de toluène anhydre (5 ml), de triméthylorthoacétate (0,5 ml) et d'acide para-toluène sulfonique (monohydrate, 1 mg) est agité à l'abri de l'humidité pendant 1 heure (le milieu devient homogène après environ 45 minutes). De la triéthylamine (0,2 ml) est ajoutée et le mélange réactionnel est dilué avec du toluène (20 ml). La phase organique est lavée avec de l'eau (2 fois), séchée (sulfate de sodium), 25 filtrée et évaporée. Le spectre de R.M.N. du produit brut est en accord avec la structure attendue (δ : 3,24 (s, 3H, OMe) ; 1,65 (s, 3H, CMe), mais l'orthoester instable est engagé immédiatement dans la réaction suivante :

Un mélange de l'orthoester précédent et d'acide acétique à 80 % (5 ml) est agité 10 minutes à la température ambiante, puis évaporé à sec. Ce résidu est évaporé avec de l'eau, puis avec du toluène. Une cristallisation dans un mélange acétate d'éthyle-hexane donne le composé 158 (95 mg, 85 % à partir du composé 157), PF = 146°-147°C,

$[\alpha]_D + 94^\circ$, (c_1 , chloroforme), R.M.N. (90 MHz, CDCl₃) : δ :
7,32 (m, 10H, 2 Ph),

5,92 (d, 1H, NH, $J = 8,5 \text{ Hz}$), 5,37 (d. de d., 1 H, H₄, $J_{3,4} = 3 \text{ Hz}$, $J_{4,5} = 1 \text{ Hz}$),

5 4,96 (d, 1H, H₁, $J_{1,2} = 3,5 \text{ Hz}$), 3,60 (1H, OH, échangé avec D₂O),

2,11 et 1,95 (2s, 2 x 3 H, OAc et NAc).

(La présence à $\delta = 5,37$ d'un doublet de doublet ayant des constantes de couplage de 3 et 1 Hz montre de manière non
10 ambiguë la présence d'un groupement acylé (acétate) en C-4).

Le dérivé 158 est un précurseur de choix pour la préparation du disaccharide de base des :

- chondroïtine-4-sulfate,

-

15 (acide L-ïduronique 1 \rightarrow 3 N-Ac-D-galactosamine-4-O-sulfate).

- Condensation entre l'alcool 158 et l'imidate 159.

Imidate 159 : Lit. : R.R. SCHMIDT and G. GRUNDLER, Synthesis, (1981) 885-87.

Une solution de l'alcool 158 (76 mg, 0,17 mM) et
20 de l'imidate 159 (175 mg, 0,28 mM) dans le dichlorométhane anhydre (2,5 ml) est agitée à l'abri de l'humidité en présence de tamis moléculaire 4 Å (poudre, 100 mg). Le mélange réactionnel est refroidi à 0°C, et de l'éthérate de trifluorure de bore (BF₃ : Et₂O, 4 µl, 32 µM) est ajouté en une
25 seule fois. Après agitation 1 heure à 0°C, puis 3 jours à la température ambiante, de l'hydrogénocarbonate de sodium (100 mg) est ajouté. Après 15 minutes, les solides sont essorés, rincés avec du dichlorométhane (50 ml) et la phase organique est lavée avec une solution aqueuse à 5 % d'hydro-
30 génocarbonate de sodium, avec de l'eau, séchée (sulfate de sodium), filtrée et évaporée.

Le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (18 g). L'éluion par le mélange acétate d'éthyle-hexane (1:1, v/v) permet d'isoler :

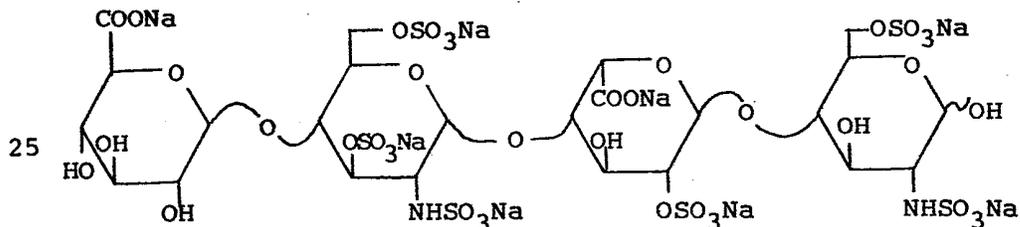
35 - une fraction disaccharidique (62 mg),

- le produit de départ qui n'a pas réagi (47 mg, 60 %).

La fraction disaccharidique est rechromatographiée sur une colonne de gel de silice (5 g, gel 230-400 mesh). L'élution par le mélange dichlorométhane-acétate d'éthyle (5:1, v/v) permet d'isoler (par ordre d'élution) :

- le disaccharide $1 \xrightarrow{\alpha} 3$ 161, sirop incolore (24 mg, 15 %),
 $[\alpha]_D + 98^\circ$ (c1, chloroforme) ; R.M.N. (90 MHz, $CDCl_3$) :
 δ : 7,30 (m, 25H, 5 Ph) ;
 10 5,65 (d, 1H, NH, $J = 9,5 H_z$) ; 5,52 (d. de d., 1 H, H_4 ,
 $J_{3,4} = 3H_z$) ;
 5,05 (d, 1H, $H'_{1,2}$, $J_{1,2} = 3,5 H_z$) ; 4,95 (d, 1H, H_1 ,
 $J_{1,2} = 3,5 H_z$) ; 3,63 (s, 3H, COO_{Me}), 1,92 et 1,82
 (2s, 2 x 3 H, OAc et NAc) ;
 15 - le disaccharide $1 \xrightarrow{\beta} 3$ 160, sirop incolore (24 mg, 15 %),
 $[\alpha]_D + 80^\circ$ (c1, chloroforme) ; R.M.N. (90 MHz, $CDCl_3$) : δ :
 7,30 (m, 25 H, 5 Ph) ; 5,48 (d, 1H, NH, $J = 9H_z$) ;
 5,46 (d. de d., 1 H, H_4 , $J_{3,4} = 3H_z$) ;
 4,97 (d, 1H, H_1 , $J_{1,2} = 3,5 H_z$) ; 3,78 (s, 3H, COO_{Me}) ;
 20 2,04 et 1,61 (2s, 2 x 3H, OAc et NAc .)

EXEMPLE 40 : Fixation du tétrasaccharide sur BSA :

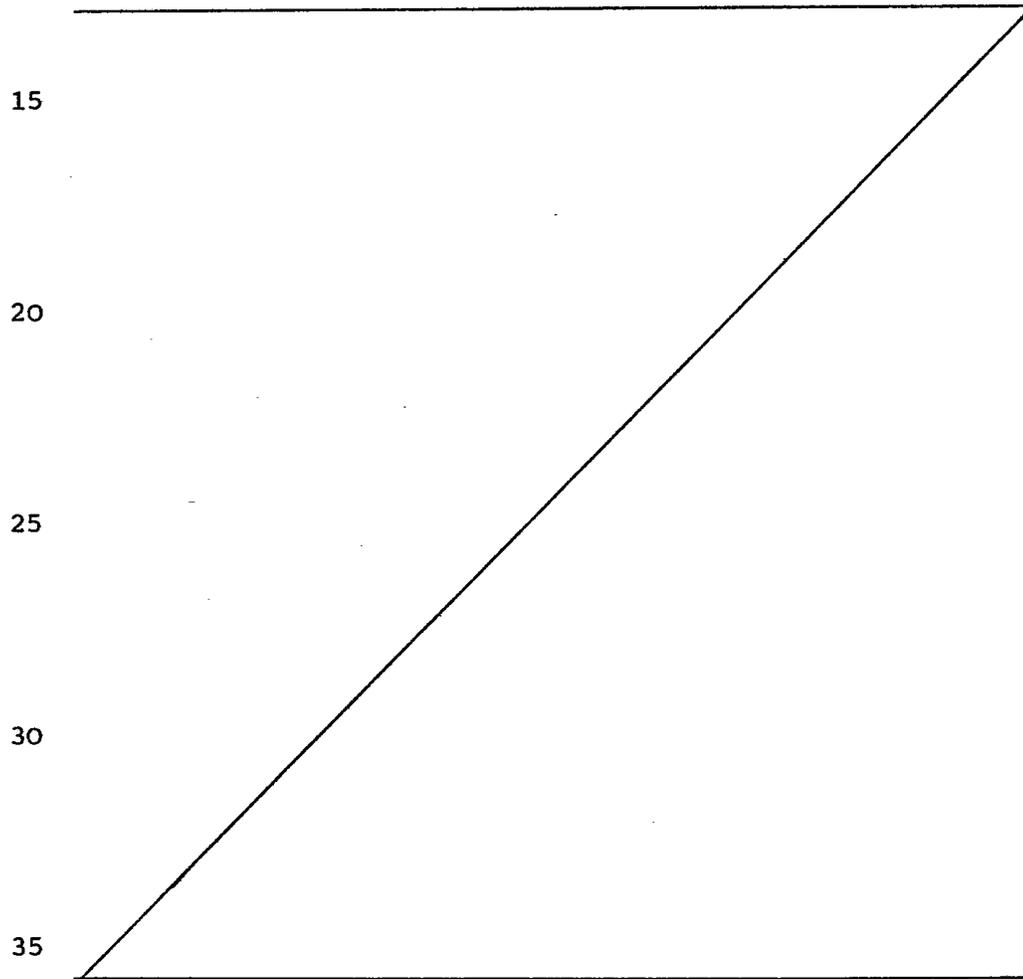


- A une solution de bovine sérum albumine (BSA :
 7 mg ; 0,1 μ mole) et de tétrasaccharide (15 mg ; 10 μ moles)
 30 dans un tampon phosphate de sodium (0,15 M ; pH 7,0 ;
 2,5 ml), on ajoute du cyanoborohydrure de sodium (13 mg ;
 200 μ moles) et porte la solution à 37°C pendant cinq
 jours. Le mélange réactionnel est ensuite chromatographié
 sur une colonne de Séphadex G-50 (1 x 100 cm), éluee par
 35 l'eau, de façon à séparer les sels et le pentasaccharide
 non fixé du conjugué protéine-oligosaccharide. Dans ces

conditions, on obtient une fixation de 12 moles de tétra-saccharide par mole de BSA.

La même réaction peut être effectuée sur un support insoluble tel que le 2-aminoéthyl-polyacrylamide ou la 2-aminoéthyl-cellulose, ou tout autre support contenant une fonction amine primaire.

De même, en travaillant en présence d'antithrombine III (au lieu de BSA), dans les conditions définies ci-dessus, on obtient une fixation de l'oligosaccharide sur l'antithrombine III, et par là une antithrombine III activée en permanence (BJÖRK et al., FEBS Letters, 143 (1982), 96-100).



SYNTHÈSE DU DISACCHARIDE 163

A une solution du composé 2 (5,6 g) et de cyanure mercu-
 rique (3,5 g) dans le dichloroéthane (40 ml), on ajoute, après
 distillation d'environ 30 ml de solvant, du tamis moléculaire 4 Å (1 g)
 5 puis le composé 1 (3,44 g ; 8,82 mmoles). Après une nuit sous agitation
 les solides sont éliminés par filtration, puis lavés avec du dichloro-
 méthane. Celui-ci est joint à la solution puis la phase organique
 obtenue est lavée avec une solution saturée d'iodure de potassium, puis
 avec de l'eau. Après séchage et concentration à sec, le sirop obtenu
 10 (10 g) est désacétylé en présence de méthanolate de sodium (2 M, 1 ml)
 dans le méthanol (20 ml). Le composé 163 obtenu (2,7 g) après
 chromatographie sur gel de silice (50 g ; chloroforme/méthanol ; 20/1 ;
 v/v). C'est un sirop ($[\alpha]_D^{20} - 12^\circ$ (1,1 ; chloroforme) qui est engagé
 tel quel dans la synthèse de 5.

15 SYNTHÈSE DU COMPOSE 164

Le disaccharide 163 (2,7 g) est dissous dans du DMF anhydre
 (27 ml) puis on ajoute successivement à cette solution du chlorure de
 trityl (4,42 g) de la diméthylaminopyridine (135 mg) puis de la triéthyl-
 amine (2,7 ml). Après deux jours à température ambiante, le mélange
 20 réactionnel est concentré sous vide, puis le résidu est chromatographié
 sur gel de silice (50 g ; hexane puis hexane/acétate d'éthyle ; 2/1
 puis 1/1 ; v/v). On obtient ainsi 164 (2,6 g). C'est un sirop ; $[\alpha]_D^{20}$
 - 16,3° (1,3 ; chloroforme).

SYNTHÈSE DU DISACCHARIDE 166

Le sirop obtenu à l'issue de la préparation de 164 (2,4 g)
 est dissous dans du DMF (40 ml). On ajoute alors de l'hydroxyde de
 barium octahydrate (1,64 g), de l'oxyde de barium (7,08 g) et enfin
 du bromure de benzyle (2 ml). Après 4 heures de réaction, du méthanol
 est ajouté puis suivi de chloroforme (100 ml). Les solides sont essorés
 30 puis la phase chloroformique est concentrée à sec. Le disaccharide 165
 obtenu à ce stade est directement transformé en 166. Pour cela, le résidu
 est repris dans du dichlorométhane (20 ml) puis une solution de BF_3
 dans le méthanol (2 ml) est ajoutée,

à 0°C, à l'abri de l'humidité. Après 4 heures de réaction, le mélange réactionnel est dilué par du dichlorométhane puis lavé avec une solution aqueuse de bicarbonate de sodium. Après séchage et concentration, le résidu est chromatographié sur une colonne de gel de silice (100 g ; 5 hexane/acétate d'éthyle ; 4/1 puis 1/1 ; v/v). On obtient ainsi $\underline{166}$ $[\alpha]_D^{20} - 2^\circ$ (0,7, chloroforme).

SYNTHESE DU COMPOSE 166

Le dérivé $\underline{166}$ est dissous dans l'acétone (20 ml). On ajoute alors, à 0°C, une solution d'oxyde de chrome (VI) (670 mg) dans l'acide sulfurique 3,5 M (3 ml). Après 1,5 heures, de la glace et de l'eau sont ajoutées au mélange réactionnel, puis le produit oxydé est extrait au chloroforme. La phase chloroformique est lavée à l'eau, séchée, et concentrée à sec. Le résidu, dissous dans l'éther est méthylé par addition de diazométhane livrant ainsi $\underline{168}$ qui est purifié sur gel de silice (hexane/acétate d'éthyle ; 4/1 puis 1/1 ; v/v). C'est un sirop $[\alpha]_D^{20} - 8,5^\circ$ (1, chloroforme). L'analyse élémentaire et le spectre IR confirment la structure attendue pour $\underline{168}$.

REMARQUE : $\underline{168}$ peut-être acétylé et transformé en halogénure de la façon décrite dans l'exemple 25 (passage de $\underline{94}$ à $\underline{97}$).

REVENDEICATION

Procédé de synthèse organique d'oligosaccharides
constituant ou correspondant à des fragments de muco-
polysaccharides acides, caractérisé en ce qu'on fait
5 réagir deux composés :

- constitués ou terminés respectivement par des
motifs A de structure glucosamine, en particulier D-
glucosamine, ou galactosamine, en particulier D-galacto-
samine et des motifs U de structure acide glucuronique,
10 en particulier D-glucuronique, ou acide iduronique, en
particulier L-iduronique ;

- l'un des motifs A ou U étant un alcool
dans lequel le groupe -OH de la fonction alcool occupe
l'une quelconque des positions 3, 4 ou 6 dans le cas d'un
15 motif A et 2, 3 ou 4 dans le cas d'un motif U, l'autre
motif possédant un carbone anomère activé, c'est-à-dire
comportant un groupement réactif capable d'établir avec
le groupe -OH de l'alcool la liaison de glycosylation
-O- recherchée, selon la stéréochimie souhaitée, pour
20 former une séquence -A-U- ou -U-A;

- le groupement réactif de A ou U étant compatible
avec les groupements protecteurs et/ou précurseurs et/ou
fonctionnels présents sur les motifs ;

- toutes les positions de A et U excepté celles
25 dont le carbone anomère est activé portant des groupes
-OH, amine ou carboxyle, ou des précurseurs de tels
groupes, les groupes eux-mêmes lorsqu'ils sont présents
étant bloqués par un ou avantageusement plusieurs types
de groupements protecteurs, ces groupements protecteurs
30 étant compatibles entre eux et avec les précurseurs
ci-dessus, ces groupements protecteurs et précurseurs
étant inertes vis-à-vis de la réaction de glycosylation
et avec les groupes réactifs, autorisant la mise en place,
au cours d'opérations ultérieures, de substituants donnés

aux diverses positions et ce, le cas échéant, de manière séquentielle, les conditions de mises en oeuvre pour faire réagir les produits de départ étant choisies de manière à ne pas altérer la structure des motifs de ces produits et la nature des divers substituants présents, sous réserve que l'établissement de la liaison inter glycosidique ne conduise pas à l'obtention d'un disaccharide à structure [2-N-sulfate ou (2-N-acétyl)-6-O-sulfate-D-glucosamine]-[acide -méthyl-D-glucuronique].