



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1999/09/30

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2000/04/06

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2006/07/11

(30) Priorité/Priority: 1998/10/06 (FR98 12477)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C08F 112/08* (2006.01),
C08F 297/04 (2006.01), *C08F 2/38* (2006.01),
C08F 220/44 (2006.01), *C08F 220/12* (2006.01),
C08F 212/08 (2006.01), *C08F 293/00* (2006.01),
C08F 10/02 (2006.01), *C08F 4/38* (2006.01),
C08F 4/00 (2006.01), *C08F 110/02* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
SENNINGER, THIERRY, FR;
ROBIN, SOPHIE, FR;
GNANOU, YVES, FR

(73) Propriétaire/Owner:
ARKEMA, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : POLYMERISATION RADICALAIRE EN PRESENCE DE PLUSIEURS RADICAUX LIBRES STABLES

(54) Title: RADICAL POLYMERISATION IN THE PRESENCE OF A NUMBER OF STABLE FREE RADICALS

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un procédé de polymérisation radicalaire d'au moins un monomère en présence d'au moins deux radicaux libres stables de natures différentes. L'usage de deux radicaux libres stables différents se traduit par une productivité supérieure à celle que l'on attendrait en calculant la moyenne arithmétique des productivités obtenues avec chacun des radicaux libres stables lorsqu'ils sont utilisés individuellement.

ABRÉGÉ

L'invention concerne un procédé de polymérisation radicalaire d'au moins un monomère en présence d'au moins deux radicaux libres stables de natures différentes. L'usage de deux radicaux libres stables différents se traduit par une productivité supérieure à celle que l'on attendrait en calculant la moyenne arithmétique des productivités obtenues avec chacun des radicaux libres stables lorsqu'ils sont utilisés individuellement.

POLYMERISATION RADICALAIRE EN PRESENCE DE PLUSIEURS RADICAUX LIBRES STABLES.

L'invention concerne un procédé de polymérisation radicalaire en
5 présence de plusieurs radicaux libres stables.

La polymérisation radicalaire en présence d'un radical libre stable mène à un polymère de polydispersité étroite et permet la réalisation de polymères à bloc par un mécanisme de polymérisation vivante.

La présence d'un radical libre stable lors d'une polymérisation se
10 traduit cependant généralement par un ralentissement de la vitesse de polymérisation.

L'importance de ce ralentissement dépend de la nature du radical libre stable.

Certains radicaux libres stables ralentissent moins la
15 polymérisation, mais d'un autre côté, procurent un moins bon contrôle de ladite polymérisation et/ou sont onéreux et/ou se dégradent au cours de la polymérisation. Il est donc utile d'avoir accès à des systèmes de polymérisation radicalaire contrôlée à la fois rapide, peu onéreux et bien contrôlés par le radical libre stable, le plus longtemps possible au cours de
20 la polymérisation.

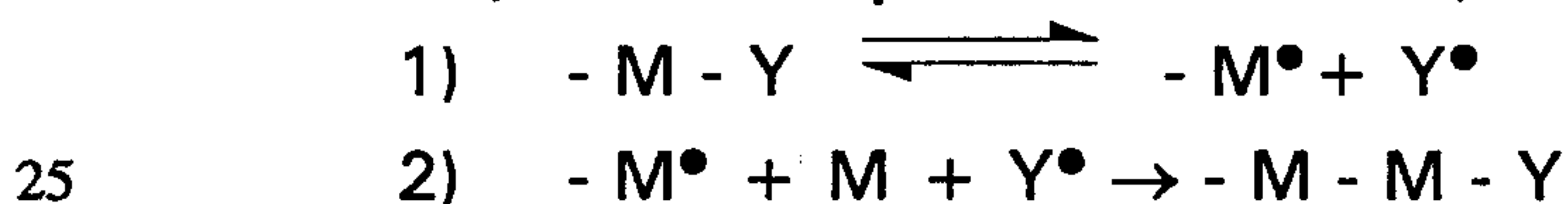
Une polymérisation radicalaire est d'autant mieux contrôlée grâce à la présence d'un radical libre stable, que la courbe représentant l'évolution de la masse moléculaire moyenne en nombre en fonction de la conversion de monomère en polymère se rapproche de la linéarité. C'est
25 grâce au fait qu'un procédé de polymérisation radicalaire est contrôlé par un radical libre stable que ledit procédé permet la réalisation de polymères séquencés (c'est-à-dire à blocs) par introduction successive de différents monomères dans le milieu de polymérisation.

Il est rappelé que la notion de radical libre stable est connue de
30 l'homme du métier pour désigner un radical tellement persistant et non réactif vis-à-vis de l'air et de l'humidité dans l'air ambiant, que le radical pur peut être manipulé et stocké sans plus de précautions à la température ambiante que le sont la majorité des produits chimiques commerciaux (voir à ce sujet D. Griller et K. Ingold, Accounts of Chemical
35 Research, 1976, 9, 13-19, ou Organic Chemistry of Stable Free Radicals, A. Forrester et coll., Academic Press, 1968).

Il ne faut pas confondre un radical libre stable avec les radicaux libres dont la durée de vie est éphémère (quelques millisecondes) comme

les radicaux libres issus des amorceurs habituels de polymérisation comme les peroxydes, hydroperoxydes et amorceurs de type azoïques. Les radicaux libres amorceurs de polymérisation tendent à accélérer la polymérisation. Au contraire, les radicaux libres stables tendent
 5 généralement à ralentir la polymérisation. On peut généralement dire qu'un radical libre est stable au sens de la présente invention s'il n'est pas amorceur de polymérisation et si, dans les conditions d'utilisation de la présente invention, la durée moyenne de vie du radical est d'au moins cinq minutes. Au cours de cette durée moyenne de vie, les molécules du
 10 radical libre stable alternent en permanence l'état de radical et l'état de groupement lié par une liaison covalente à une chaîne de polymère. Bien entendu, il est préférable que le radical libre stable présente une bonne stabilité pendant toute la durée de son utilisation dans le cadre de la présente invention. Généralement, un radical libre stable peut être isolé à
 15 l'état de radical à la température ambiante. Un radical libre stable est suffisamment stable pour que son état de radical libre puisse être caractérisé par les méthodes spectroscopiques.

Le radical libre stable forme pendant la polymérisation une liaison réversible avec la chaîne de polymère en croissance. En bout de chaîne de
 20 polymère, le radical libre stable alterne en permanence l'état de groupement lié par une liaison covalente à ladite chaîne et l'état de radical libre stable détaché de ladite chaîne pour laisser s'insérer une unité de monomère, suivant le processus suivant,



dans lequel -M représente une unité de monomère de la chaîne en croissance, M représente une unité de monomère et $Y^{\bullet}$ représente le radical libre stable pour le cas où ce dernier est monofonctionnel, c'est-à-dire que sa molécule n'est porteuse que d'un seul site présentant l'état de
 30 radical. Ce processus se répète pour faire croître la chaîne de polymère par insertion de monomère entre la chaîne en croissance et le radical libre stable.

Pour le cas où un amorceur de polymérisation radicalaire a été introduit dans le milieu de polymérisation, un autre moyen pour se rendre
 35 compte du degré de contrôle de la polymérisation est de comparer la masse moléculaire moyenne en nombre observée (M_n expérimentale) à la masse moléculaire moyenne en nombre théorique (M_n théorique) telle qu'on la calcule par l'équation :

$$M_n \text{ théorique} = \frac{(M) \cdot C \cdot M_o}{F_{AMO} (AMO)}$$

5

dans laquelle

(M) représente le nombre de mole de monomère,

C représente la conversion du monomère en polymère (pouvant aller de 0 pour une conversion nulle à 1 pour une conversion totale) égale

10 au rapport :

masse de polymère formé

masse de monomère restante + masse de polymère formé

15 F_{AMO} représente la fonctionnalité de l'amorceur, c'est-à-dire le nombre de sites présentant l'état de radical libre que chaque molécule d'amorceur est capable de générer,

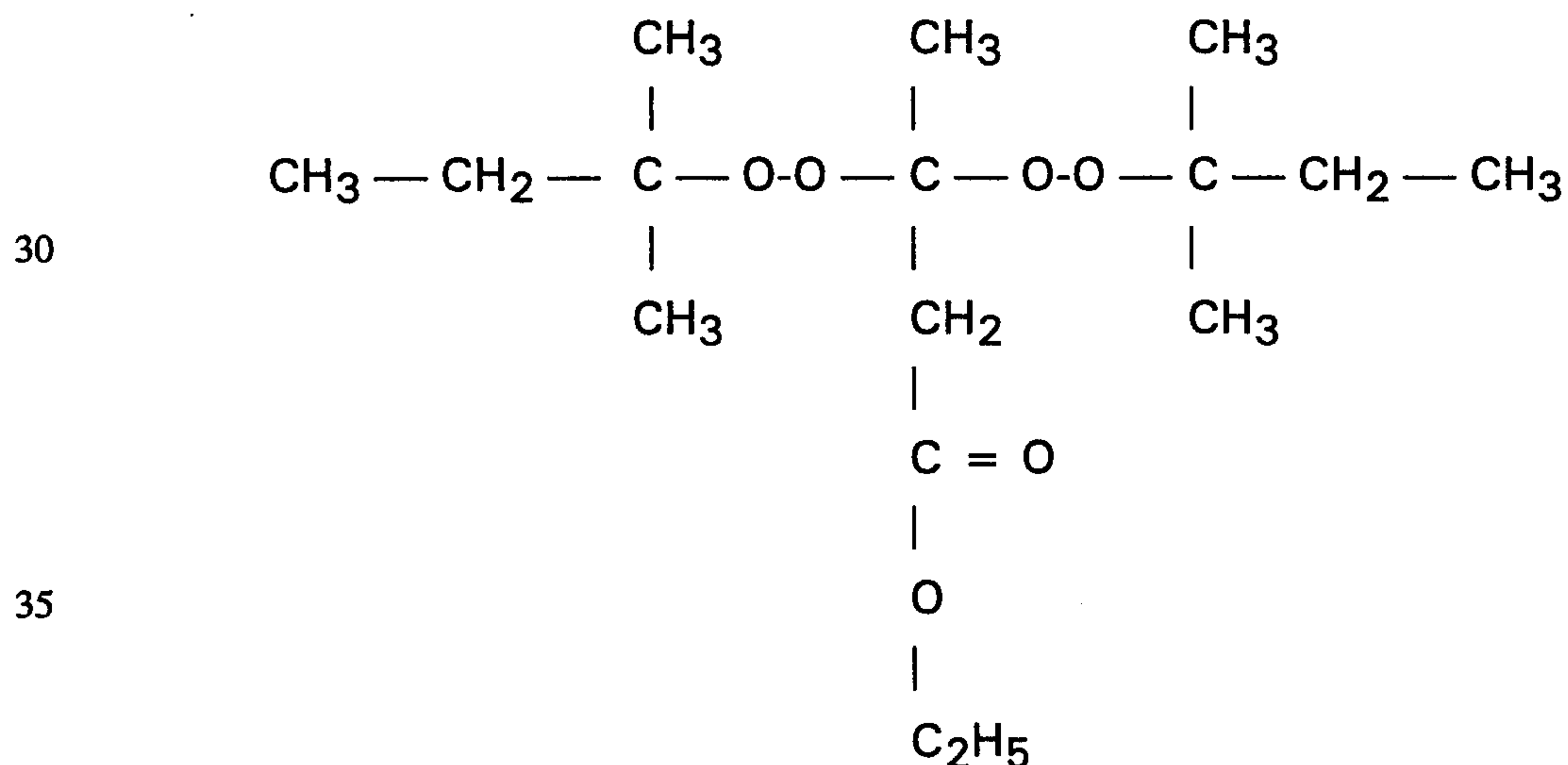
(AMO) représente le nombre de mole d'amorceur,

M_o représente la masse molaire du monomère.

20 Le contrôle de la polymérisation est d'autant meilleur que M_n expérimentale est proche de M_n théorique.

Comme exemple d'amorceur dont la fonctionnalité F_{AMO} est de 2, on peut citer le peroxyde de dicumyle.

25 Comme exemple d'amorceur dont la fonctionnalité F_{AMO} est de 4, on peut citer le 3,3-di(tert-amylperoxy)-butyrate d'éthyle que l'on peut représenter par :



car il contient deux enchaînements -O-O- susceptibles chacun de générer deux sites présentant l'état de radical libre, à savoir -O•.

L'invention répond aux problèmes sus-mentionnés. L'invention concerne un procédé de polymérisation radicalaire d'au moins un monomère en présence d'au moins deux radicaux libres stables de natures différentes, caractérisé en ce que les constantes d'équilibre des radicaux libres stables vis-à-vis du monomère, présentent
 10 un rapport supérieur à 5. Les deux radicaux libres stables sont choisis de façon à ce qu'ils présentent des constantes d'équilibre différentes compte tenu du monomère à polymériser et de la température de polymérisation.

Cette constante d'équilibre d'un radical libre stable vis-à-vis d'un monomère caractérise l'équilibre de la réaction :



dans laquelle

M représente une unité de monomère, laquelle est liée à une autre unité de monomère ou à un reste d'amorceur,

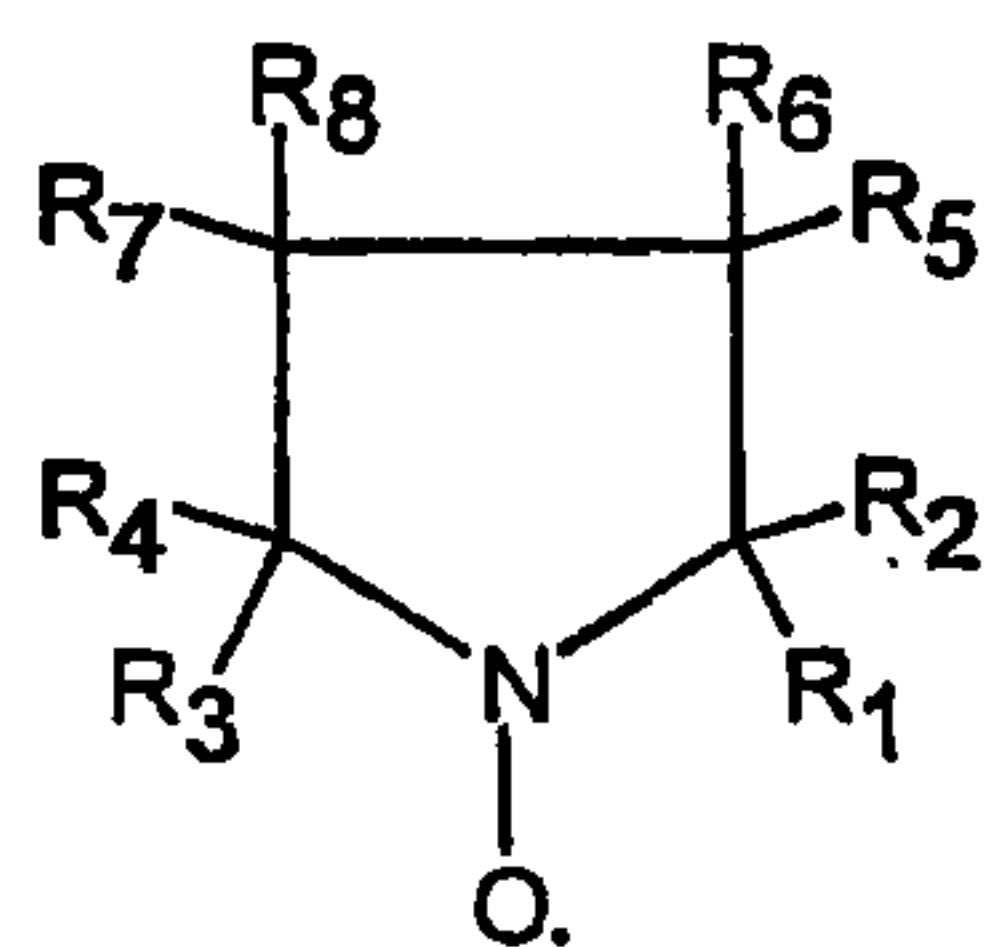
M• représente une unité de monomère sous forme radicalaire,
 20 Y F_Y• représente le radical libre stable dont la fonctionnalité est égale à F_Y, ce qui signifie que la molécule de radical libre stable présente un nombre de sites présentant l'état de radical égal à F_Y,

Y représente le groupement issu du radical libre stable lorsque celui-ci est relié à autant d'unité de monomère que sa fonctionnalité, lui faisant perdre de ce fait son état de radical.

Pour un monomère donné et une température de polymérisation donnée, au moins deux des radicaux libres stables présentent de préférence des constantes d'équilibre telles que leur rapport soit supérieur à 5, de manière encore préférée supérieur à 10 et de manière encore préférée supérieur à 100.

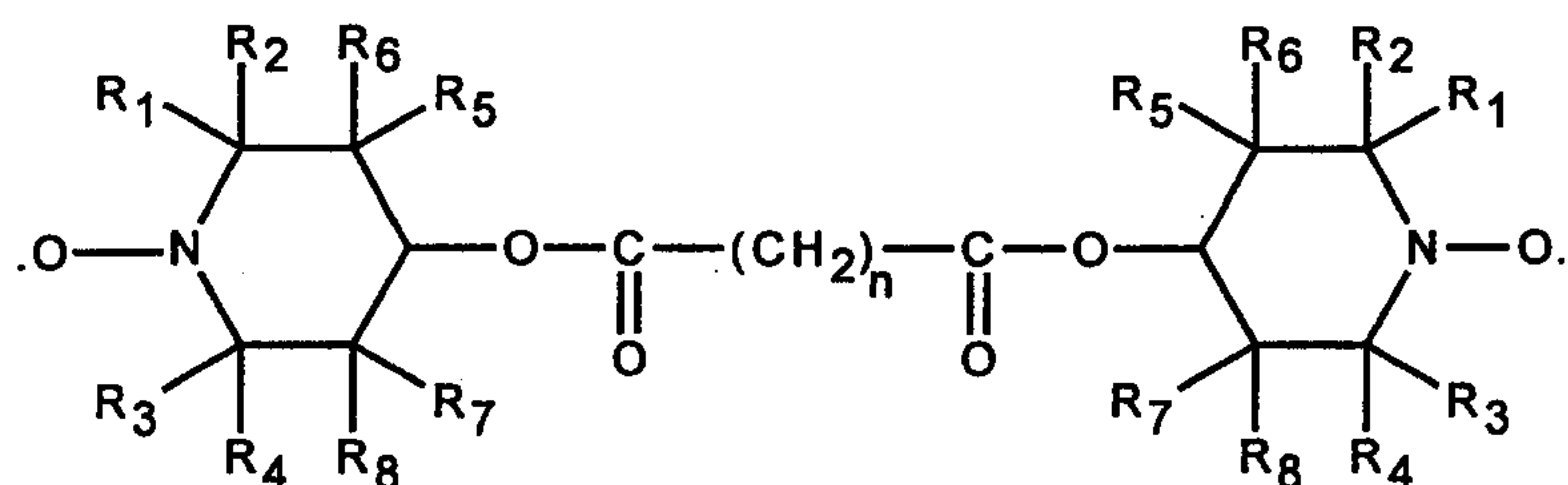
30 Comme exemple de radical libre stable dont la fonctionnalité est égale à 1, on peut citer une molécule représentée par :

4a



dont les groupements R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 et R8 représentent des radicaux alkyle.

Comme exemple de radical libre stable dont la fonctionnalité est égale à 2, on peut citer une molécule représentée par :



5

dont les groupements $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8$ représentent des radicaux alkyle et n représente un nombre entier non nul, par exemple allant de 1 à 20.

La constante d'équilibre K est telle que

$$K = \frac{[— M^{\bullet}] \cdot [Y F_Y^{\bullet}]}{[(— M)_{F_Y} — Y]}$$

dans laquelle :

$[— M^{\bullet}]$ représente la concentration en espèce portant au moins une unité de monomère sous forme radicalaire,

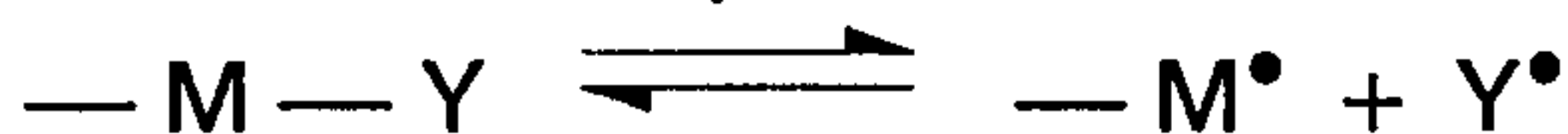
$[Y F_Y^{\bullet}]$ représente la concentration en radical libre stable,

$[(— M)_{F_Y} — Y]$ représente la concentration en espèce portant l'enchaînement $(— M)_{F_Y} — Y$ dans lequel le radical libre stable est porté sous une forme liée par autant de liaisons covalentes que sa fonctionnalité à autant d'unités de monomère que sa fonctionnalité.

Ainsi, lorsque le radical libre stable est monofonctionnel ($F_Y = 1$), la contante d'équilibre

$$K = \frac{[— M^{\bullet}] \cdot [Y^{\bullet}]}{[— M — Y]}$$

caractérise l'équilibre



$Y^{\bullet}$ représentant le radical libre stable monofonctionnel. Ainsi, lorsque le radical libre stable est bifonctionnel ($F_Y = 2$), la constante

d'équilibre

$$K = \frac{[— M^{\bullet}] \cdot [Y^2^{\bullet}]}{[— M — Y — M —]}$$

caractérise l'équilibre



$\text{Y}^{2\bullet}$ représentant le radical libre stable bifonctionnel.

La vitesse de polymérisation est d'autant plus faible que le couple monomère/radical libre stable a une constante d'équilibre faible, pour un monomère donné.

Il a été constaté que l'usage d'un mélange de radicaux libres stables présentant des constantes d'équilibre différentes se traduit par une productivité supérieure à celle que l'on attendrait en calculant la moyenne arithmétique des productivités obtenues avec chacun des radicaux libres stables lorsqu'ils sont utilisés individuellement, dans des conditions de polymérisation par ailleurs identiques. En d'autre terme la présence de deux radicaux libres stables résulte en une synergie lors de la polymérisation.

Par productivité, on entend la quantité de polymère obtenu par heure de polymérisation lorsque la conversion de monomère en polymère est de 0,95.

Ainsi, dans le cas de l'usage de deux radicaux libres stables, on observe la relation :

$$P > xP_1 + (1-x)P_2$$

dans laquelle

P représente la productivité dans le cas de l'usage de deux radicaux libres stables, respectivement présents avec les fractions molaires x et 1-x,

P₁ représente la productivité dans le cas de l'usage du seul premier radical libre stable lorsqu'il est en concentration égale à la somme des concentrations des deux radicaux libres stables,

P₂ représente la productivité dans le cas de l'usage du seul second radical libre stable lorsqu'il est en concentration égale à la somme des concentrations des deux radicaux libres stables.

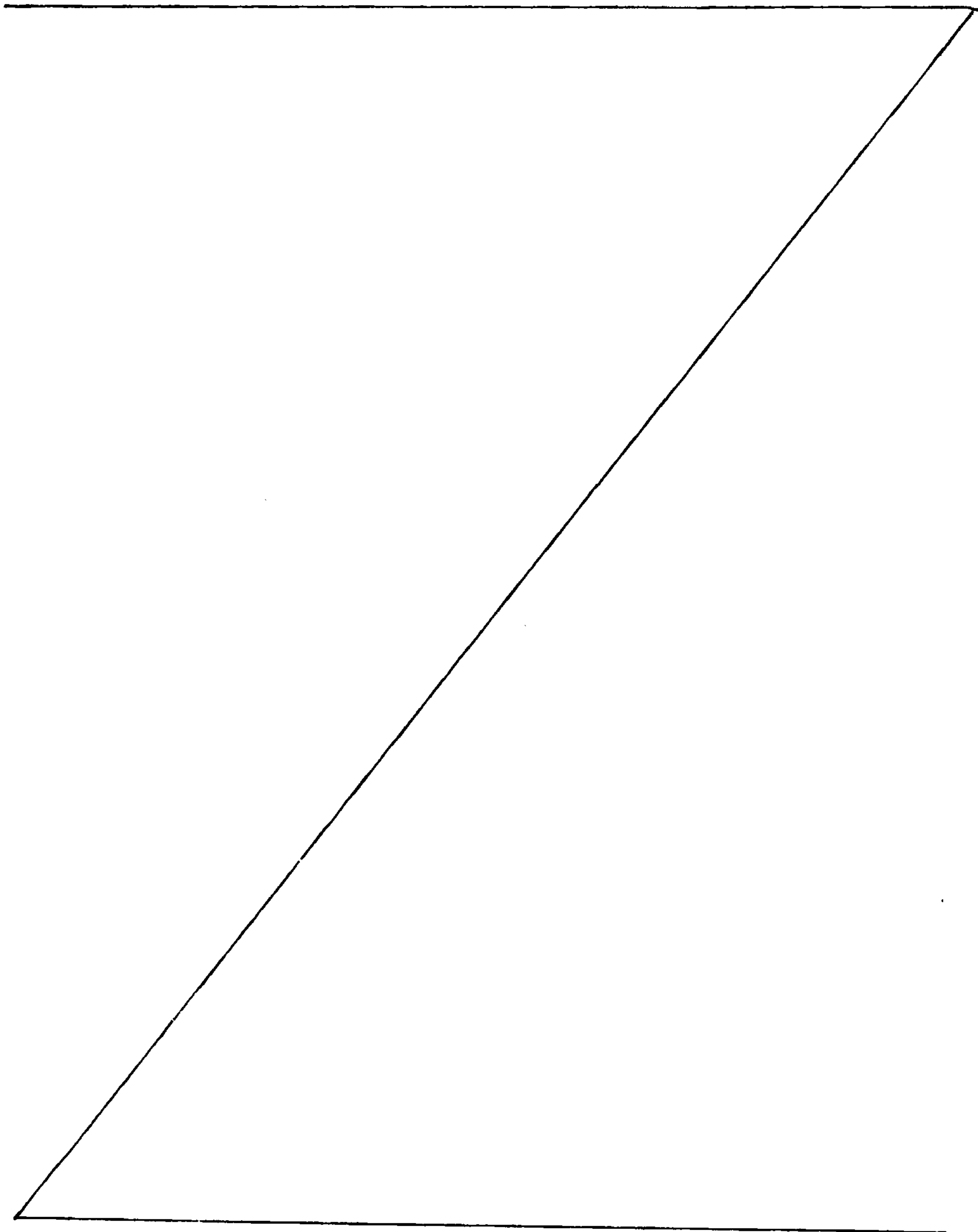
Il a été constaté que l'usage d'un mélange de radicaux libres stables présentant des constantes d'équilibre différentes se traduit par une vitesse de polymérisation supérieure à celle que l'on attendrait en calculant la moyenne arithmétique des vitesses de polymérisation obtenues avec chacun des radicaux libres stables lorsqu'ils sont utilisés

6a

individuellement. Ainsi, dans le cas de l'usage de deux radicaux libres stables, on observe pendant la polymérisation correspondant à une conversion supérieure à 0,5, la relation :

$$C > x C_1 + (1-x) C_2$$

dans laquelle



C représente la conversion de monomère en polymère dans le cas de l'usage d'un mélange de deux radicaux libres stables, respectivement présents avec les fractions molaires x et $1-x$, ladite conversion C étant supérieure à 0,5,

5 C_1 représente la conversion de monomère en polymère dans le cas de l'usage du seul premier radical libre stable lorsqu'il est en concentration égale à la somme des concentrations des deux radicaux libres stables,

10 C_2 représente la conversion de monomère en polymère dans le cas de l'usage du seul second radical libre stable lorsqu'il est en concentration égale à la somme des concentrations des deux radicaux libres stables.

La constatation de la synergie résultant de la présence de deux radicaux libres stables lors de la polymérisation, ladite constatation étant réalisée sur la base des conversions, implique la comparaison de trois
15 polymérisations à la même durée de polymérisation, dans des conditions de polymérisation comparables,

- une première polymérisation étant réalisée en présence de deux radicaux libres stables avec une conversion de monomère en polymère supérieure à 0,5, la somme du nombre de mole des deux radicaux libres
20 stables étant égale à n ,

- une seconde polymérisation étant réalisée en présence de l'un des deux radicaux libres stables, ledit radical libre stable étant présent à raison d'un nombre de mole n , ladite seconde polymérisation ne présentant pas nécessairement une conversion supérieure à 0,5,

25 - une troisième polymérisation étant réalisée en présence de l'autre des deux radicaux libres stables, ledit radical libre stable étant présent à raison d'un nombre de mole n , ladite troisième polymérisation ne présentant pas nécessairement une conversion supérieure à 0,5.

Pour la réalisation de la présente invention, la combinaison d'au
30 moins deux radicaux libres stables peut par exemple être telle que :

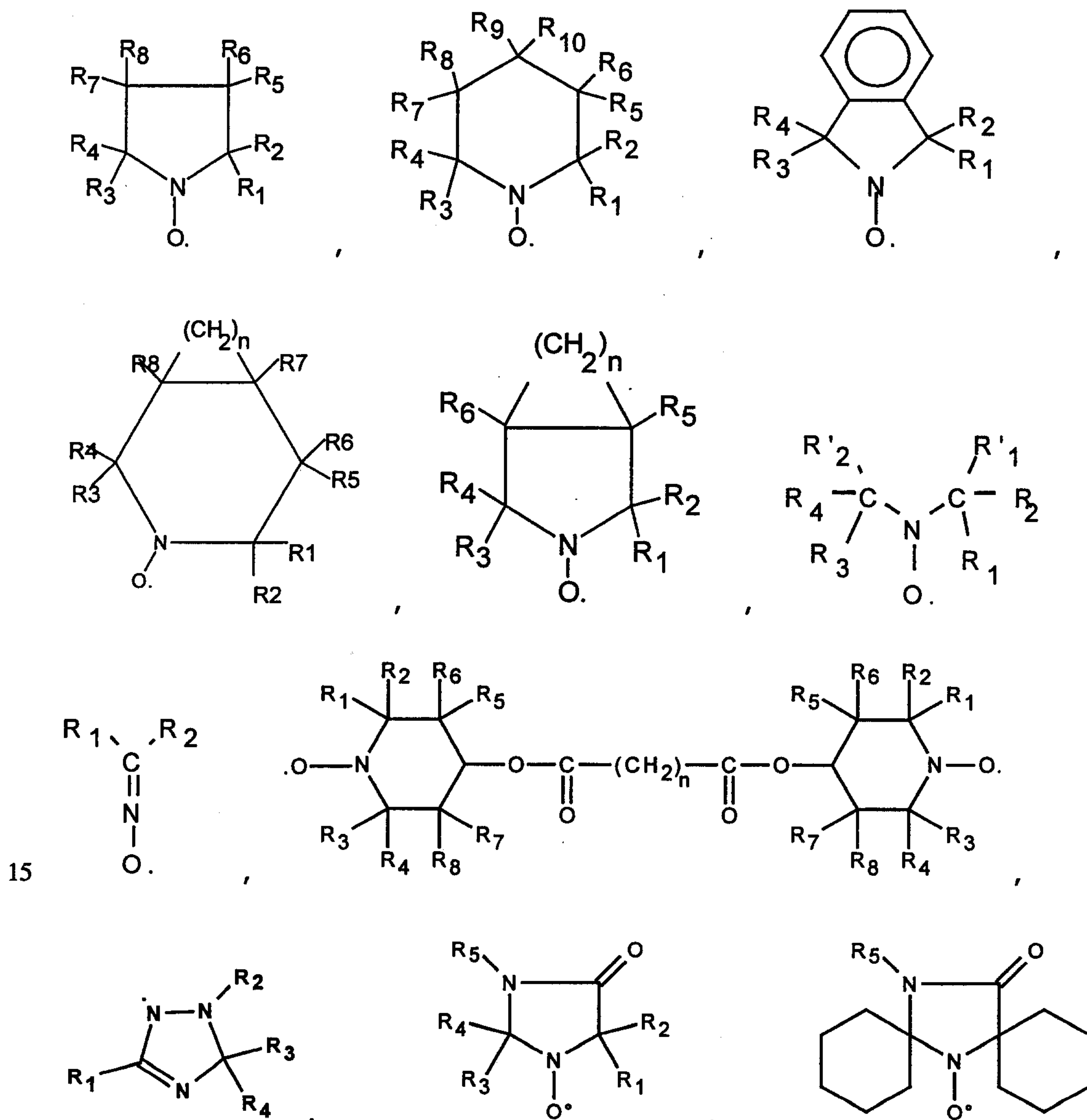
- le premier radical libre stable ralentit fortement la polymérisation, est très stable thermiquement (faible dégradation au cours de la polymérisation) et présente un faible coût,

35 - le second radical libre stable ralentit moins fortement la polymérisation, est moins stable thermiquement et présente un coût plus élevé.

La combinaison de deux tels radicaux libres stables conduit à une forte vitesse de polymérisation malgré l'usage du radical libre stable

devant théoriquement la ralentir fortement (sur la base du calcul de la moyenne arithmétique des conversions obtenues avec chacun des radicaux libres stables lorsqu'ils sont utilisés individuellement), et procure un bon contrôle de la polymérisation, pour une durée suffisante et un coût 5 modéré.

La famille des radicaux libres stables inclut notamment les composés agissant comme inhibiteurs de polymérisation radicalaire pour le stockage de monomères, les radicaux nitroxyles stables c'est-à-dire comprenant le groupement $=N-O^\bullet$. On peut utiliser comme radical libre 10 stable par exemple les radicaux représentés par les formules suivantes:



dans lesquelles n représente un nombre entier non nul et R1, R2, R3, R4, 20 R'1 et R'2 pouvant être identiques ou différents représentent un atome

d'hydrogène, un atome d'halogène tel que le chlore, le brome ou l'iode, un groupement hydrocarboné linéaire, ramifié ou cyclique, saturé ou insaturé tels qu'un radical alkyle ou phényle, ou un groupement ester -COOR ou un groupement alcoyle -OR, ou un groupement phosphonate -PO(OR)₂, ou
 5 une chaîne de polymère pouvant par exemple être une chaîne de poly(méth)acrylate d'alkyle comme le polyméthacrylate de méthyle, de polydiène comme le polybutadiène, de polyoléfine comme le polyéthylène ou le polypropylène, mais étant de préférence une chaîne de polystyrène, et dans lesquelles R5, R6, R7, R8, R9 et R10, pouvant être identiques ou
 10 différent, peuvent être choisis dans la même famille de groupement que celle qui vient d'être envisagée pour R1, R2, R3, R4, R'1 et R'2, et de plus peuvent représenter un groupement hydroxyde -OH, un groupement acide tel que -COOH ou -PO(OH)₂ ou -SO₃H.

En particulier, on peut utiliser comme radical libre stable le
 15 2,2,5,5-tétraméthyl-1-pyrrolidinyloxy commercialisé sous la marque PROXYL*, le 2,2,6,6-tétraméthyl-1-piperidinyloxy, généralement commercialisé sous la dénomination TEMPO*, le 4-hydroxy-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy commercialisé sous la dénomination 4-hydroxy TEMPO*, le 4-méthoxy-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy
 20 communément appelé 4-méthoxy-Tempo, le 4-oxo-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy communément appelé 4-oxo-Tempo, le bis(1-oxyl-2,2,6,6-tétraméthylpipéridine-4-yl)sébacate commercialisé sous la marque CXA* 5415 par la société Ciba Specialty Chemical, le 2,2,6,6-tétraméthyl-4-hydroxypipéridine-1-oxyl monophosphonate, le 3-carboxy-2,2,5,5-
 25 tétraméthylpyrrolidinyloxy (communément appelé 3-carboxy proxyl).

On peut également utiliser comme radical libre stable ceux de la liste suivante :

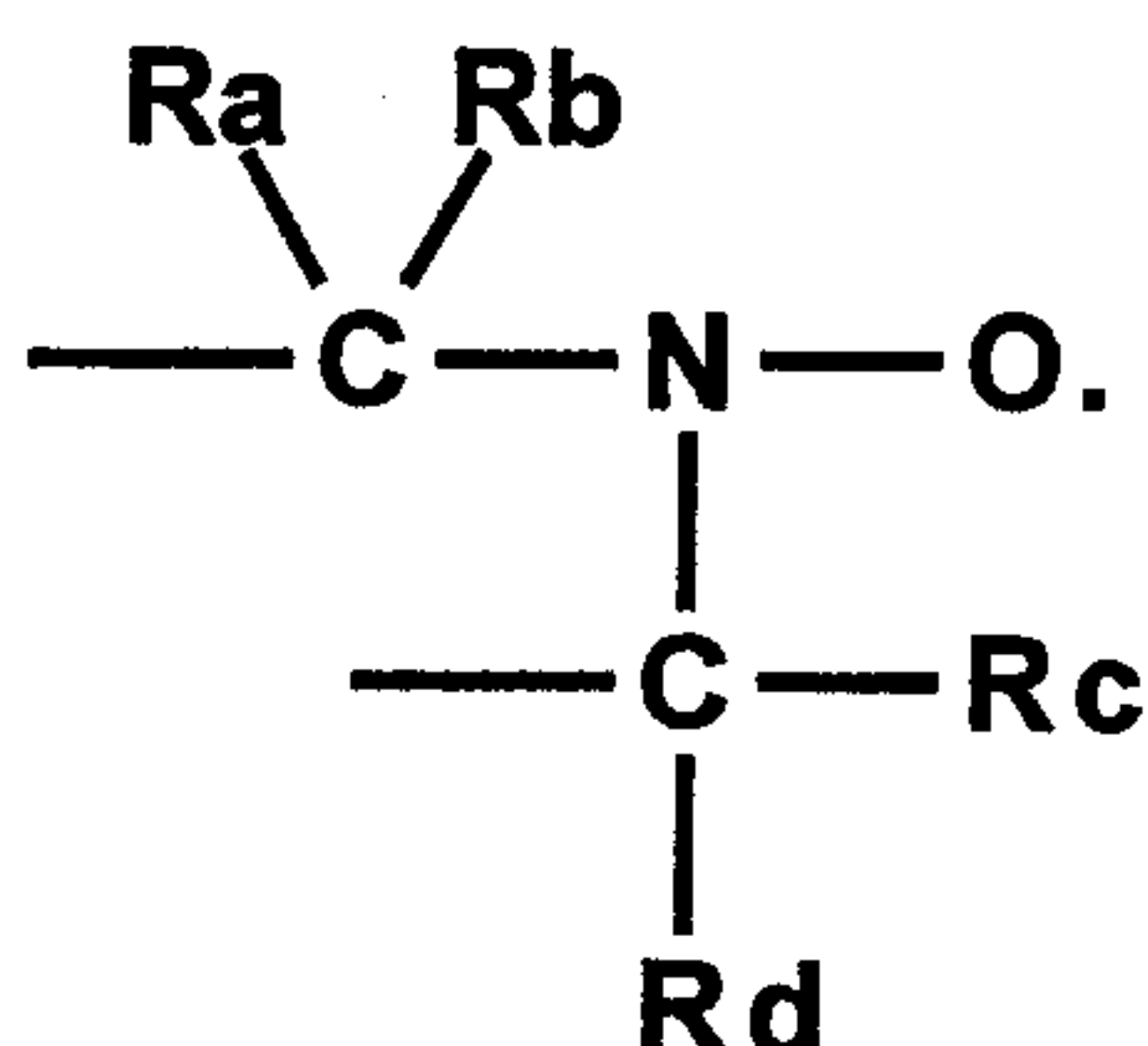
- N-tertiobutyl-1-phényl-2 méthyl propyl nitroxyde,
- N-tertiobutyl-1-(2-naphtyl)-2-méthyl propyl nitroxyde,
- 30 - N-tertiobutyl-1-diéthylphosphono-2,2-diméthyl propyl nitroxyde,
- N-tertiobutyl-1-dibenzylphosphono-2,2-diméthyl propyl nitroxyde,
- N-phényl-1-diéthyl phosphono-2,2-diméthyl propyl nitroxyde,
- N-phényl-1-diéthyl phosphono-1-méthyl éthyl nitroxyde,
- N-(1-phényl 2-méthyl propyl)-1-diéthylphosphono-1-méthyl éthyl
 35 nitroxyde,
- N-tertiobutyl-1-di(2,2,2-trifluoroéthyl)phosphono-2,2-diméthylpropyl nitroxyde,
- N-tertiobutyl-[(1-diéthylphosphono)-2 méthyl propyl] nitroxyde,

* (marques de commerce)

- N-(1-méthyléthyl)-1-cyclohexyl-1-(diéthylphosphono) nitroxyde,
- N-(1-phényl benzyl)-[(1-diéthyl phosphono)-1-méthyl éthyl]nitroxyde,
- 2,4,6-tri-tert-butylphenoxy.

5 Dans le cadre de la présente invention, au moins deux des radicaux libres stables peuvent par exemple être tels que :

- le premier présente dans sa structure l'enchaînement

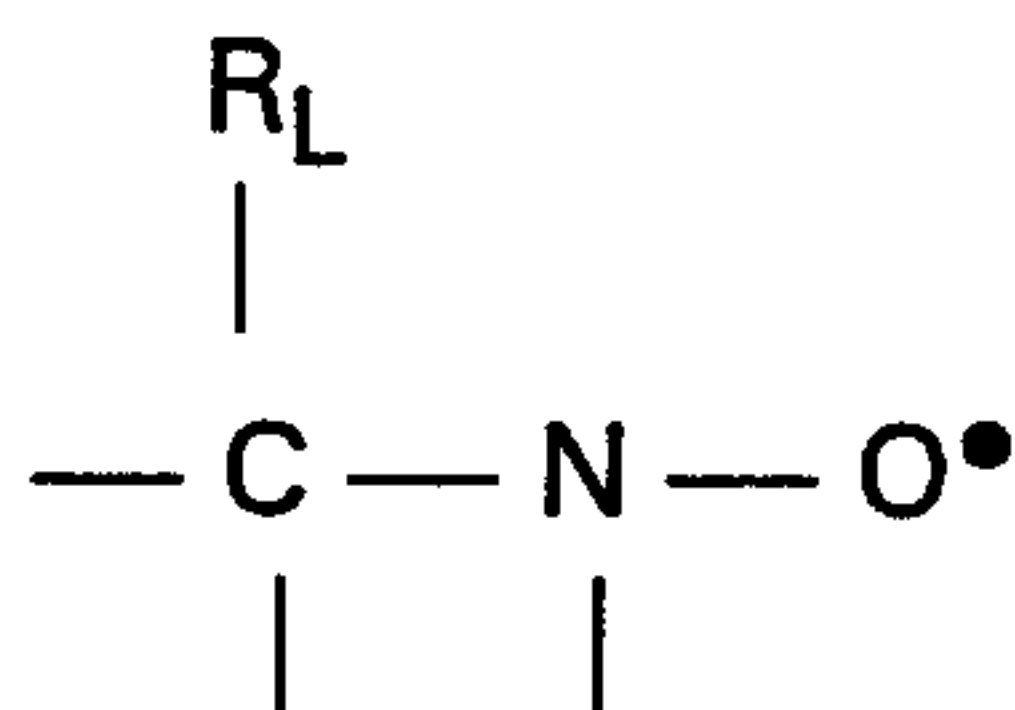


10

dans lequel les radicaux Ra, Rb, Rc et Rd, pouvant être identiques ou différents, sont soit un atome d'hydrogène, soit un radical méthyle,

- le second présente dans sa structure l'enchaînement

15



20

dans lequel R_L représente un radical monovalent dont la masse molaire est supérieure à 15. Le radical R_L peut par exemple être choisi dans la liste proposée pour le choix des radicaux R1, R2, R3, R4, R'1 et R'2 vus précédemment, dès lors qu'il présente une masse molaire supérieure à 15.

25

Dans cette combinaison de radicaux libres stables, R_L a de préférence une masse molaire supérieure à 30, par exemple allant de 40 à 400.

Au moins deux des radicaux libres stables peuvent donc être tels que :

30

- le premier soit choisi parmi

le 2,2,6,6-tétraméthyl-1-piperidinyloxy (communément appelé Temp^o),

* (marque de commerce)

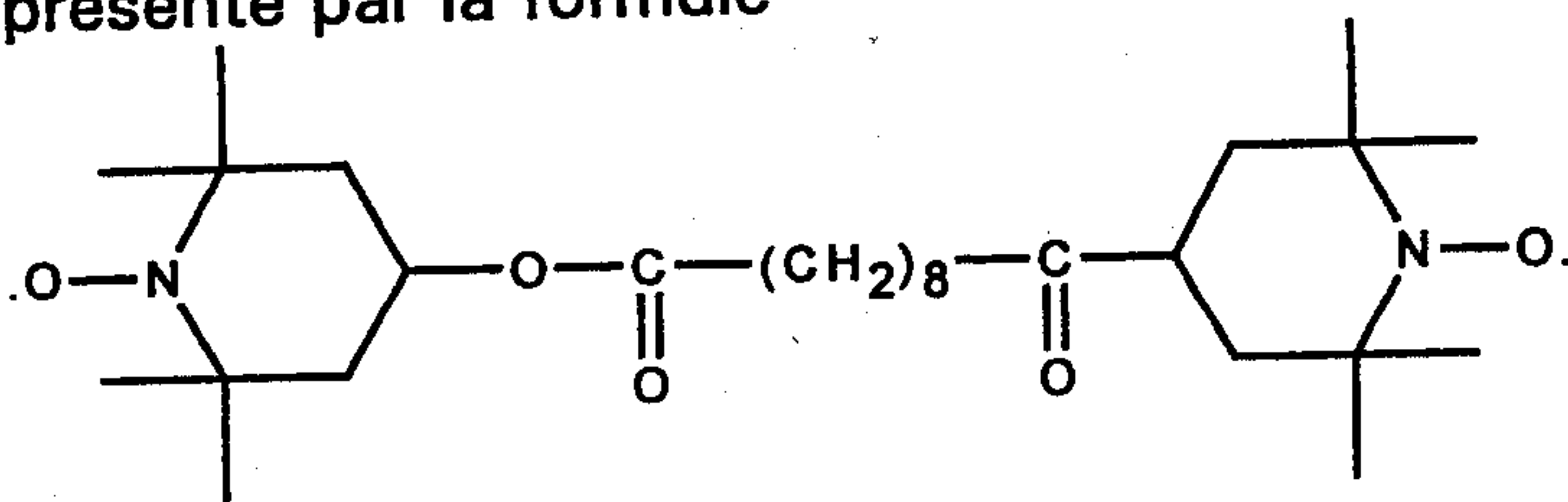
le 4-hydroxy-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy (communément appelé 4-hydroxy-Tempo*),

le 4-méthoxy-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy (communément appelé 4-méthoxy-TEMPO*),

le 4-oxo-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy (communément appelé 4-oxo-TEMPO*),

le bis(1-oxyl-2,2,6,6-tétraméthylpipéridine-4-yl) sébacate pouvant être représenté par la formule

10



le 2,2,6,6-tétraméthyl-4-hydroxypipéridine-1-oxyl monophosphonate,

le 3-carboxy-2,2,5,5-tétraméthylpirrolidinyloxy (communément appelé 3-carboxy proxyl),

et,

- le second soit choisi parmi

le N-tertiobutyl-1-diéthyl-phosphono-2,2-diméthylpropylnitroxyde,

le N-tertiobutyl-1-dibenzylphosphono-2,2-diméthylpropyl nitroxy

20

de,

le N-tertiobutyl-1-di(2,2,2-trifluoroéthyl)phosphono-2,2-diméthylpropyl nitroxyde,

le N-tertiobutyl-[(1-diéthylphosphono)-2 méthyl propyl] nitroxyde,

le N-(1-méthyléthyl)-1-cyclohexyl-1-(diéthylphosphono) nitroxyde,

le N-(1-phényl benzyl)-[(1-diéthyl phosphono)-1-méthyl éthyl] nitroxyde.

Les radicaux libres stables peuvent être présents de sorte qu'à la température de polymérisation :

$$\sum_{i=1}^t [F_{SFR}^i \times (SFR^i)] \text{ aille de } 5.10^{-7} \text{ à } 0,5 \text{ mole par mole de}$$

30

monomère et de préférence de 5.10^{-6} à 0,5 mole par mole de monomère

* (marques de commerce)

présent dans le milieu de polymérisation, F_{SFRi} représentant la fonctionnalité du $i^{\text{ème}}$ radical libre stable SFR^i présent dans le milieu de polymérisation, c'est-à-dire le nombre de sites sur la même molécule de radical libre stable présentant l'état de radical, t représentant le nombre de radicaux libres stables dans le milieu de polymérisation,

(SFR^i) représentant le nombre de mole du $i^{\text{ème}}$ radical libre stable.

La quantité (SFR^i) prend en compte la totalité des espèces jouant le rôle du $i^{\text{ème}}$ radical stable, c'est-à-dire ledit radical libre stable sous forme libre, mais aussi sous forme liée par une liaison covalente au sein d'une molécule, ladite molécule étant capable de le générer dans les conditions d'utilisation. Une telle molécule est dite porteuse d'un groupement générateur d'un radical libre stable. En effet, chaque radical libre stable peut être introduit sous forme libre et/ou sous forme lié par une liaison covalente dans une molécule de façon à ce que lors de son utilisation, la molécule libère le radical libre stable. Par exemple, pour le cas d'un radical libre stable monofonctionnel, celui-ci peut être introduit sous la forme d'une molécule comprenant un groupement générateur de radical libre stable que l'on peut représenter par $— A — Y$, de façon à ce que lors de la polymérisation, ce groupement se scinde pour former $— A^{\bullet} + Y^{\bullet}$, $Y^{\bullet}$ représentant le radical libre stable monofonctionnel. Bien entendu, le groupement $— A — Y$ ne présente pas lui-même le caractère radicalaire mais il génère in situ une molécule présentant ce caractère.

Au moins deux radicaux libres stables peuvent être présents dans le milieu de polymérisation en quantités telles que le rapport

$$\frac{F_{SFR^1} \cdot (SFR^1)}{F_{SFR^2} \cdot (SFR^2)}$$

aille de 0,001 à 1 000,

$$F_{SFR^2} \cdot (SFR^2)$$

et de manière encore préférée de 0,01 à 100,

dans lequel

F_{SFR^1} représente la fonctionnalité d'un premier radical libre stable

SFR^1 ,

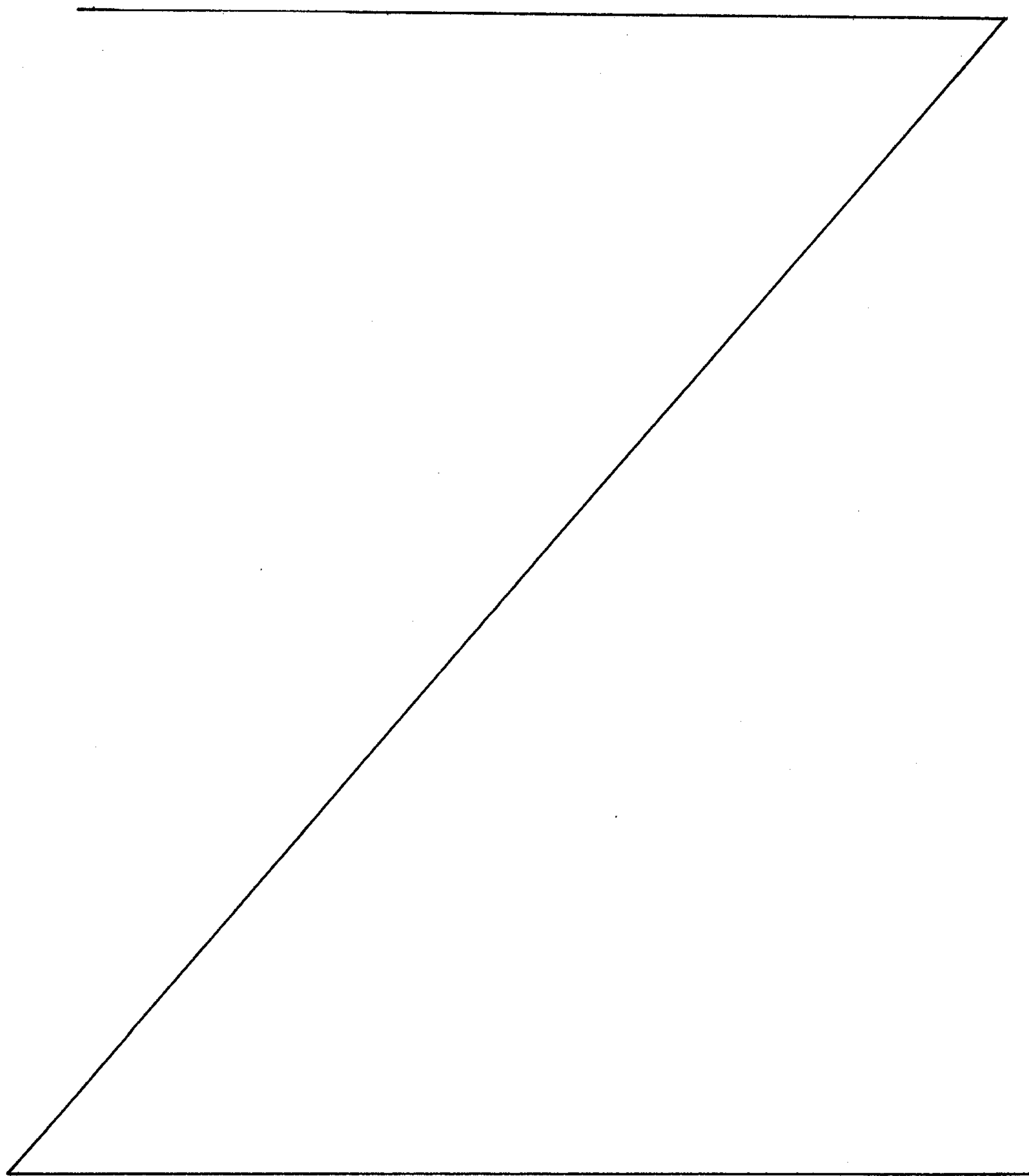
(SFR^1) représente le nombre de mole dudit premier radical libre stable,

12a

F_{SFR^2} représente la fonctionnalité d'un second radical libre stable SFR^2 ,

(SFR^2) représente le nombre de mole dudit second radical libre stable.

Au moins un amorceur de polymérisation radicalaire peut être utilisé pour initier la polymérisation. Un tel amorceur peut être introduit en quantité telle que $F_{AMO} \cdot (AMO)$ aille de $1 \cdot 10^{-5}$ à 0,1 et de préférence de $1 \cdot 10^{-4}$ à 0,1 mole par mole de monomère, F_{AMO} et (AMO) ayant les significations précédemment données.



Les quantités de radical libre stable et d'amorceur pourront être telles que le rapport :

$$\frac{\sum_{i=1}^t F_{SFR}^i \cdot (SFR^i)}{\sum_{j=1}^z [F_{AMO}^j \times (AMO^j)]}$$

valeur de 0,05 à 5

et de préférence de 0,5 à 2,5, F_{AMO}^j représentant la fonctionnalité du jème amorceur AMO^j et (AMO^j) représentant le nombre de mole du jème amorceur par mole de monomère, pour le cas où t radicaux libres stables devraient intervenir et pour le cas où z amorceurs de polymérisation devraient intervenir, i, j, t et z étant des nombres entiers non nuls.

L'amorceur peut être choisi parmi les amorceurs de polymérisation radicalaires connus pour amorcer la polymérisation du monomère devant polymériser.

L'amorceur est un amorceur de polymérisation radicalaire pouvant être choisi parmi les peroxydes de diacycle, les peroxyesters, les peroxydes de dialkyle, les peroxyacétals. Des amorceurs particulièrement adaptés sont les suivants :

- carbonate d'isopropyle et de peroxy-tert-butyle,
- carbonate d'éthyle-2 hexyle et de peroxy-tert-butyle,
- peroxyde de dicumyle,
- peroxyde de ditertiobutyle,
- bis(tert-butylperoxy)-1,1 cyclohexane,
- bis(tert-butylperoxy) 1-1,1 triméthyl-3,3,5 cyclohexane,
- tertiobutylperoxyacétate,
- peroxyde de cumyle et de tertiobutyle,
- perbenzoate de tertiobutyle,
- éthyl-2 perhexanoate de tertiobutyle.
- bis(tert-butylperoxy)-2,2butane,
- bis(tert-butyl)-4,4valérate de butyle,
- bis(tert-butyl)-3,3butyrate d'éthyle,
- 2,2-bis(4,4-ditert-butylperoxycyclohexyl)propane.

Le procédé selon l'invention permet la préparation de polymères à blocs. En effet, la polymérisation d'un premier monomère par le procédé selon l'invention mène à un bloc de polymère vivant. Il est alors possible

de raccorder à ce premier bloc, un bloc d'un autre polymère en plaçant le premier bloc de polymère vivant dans un milieu de polymérisation d'un second monomère. Il est ainsi possible de réaliser des copolymères à blocs, par exemple, des copolymères comprenant un ou plusieurs blocs de polystyrène et un ou plusieurs blocs de polybutadiène, ou des copolymères comprenant un ou plusieurs blocs de polystyrène et un ou plusieurs blocs du type (méth)acrylate.

En pratique, la réalisation des blocs peut se faire à la suite les uns des autres, dans le même appareillage. Lorsque le premier monomère est consommé de façon à réaliser le premier bloc, il suffit d'introduire le second monomère destiné à la réalisation du second bloc, sans arrêter l'agitation et sans refroidissement ou autre interruption. Bien entendu, suivant la nature des monomères, les conditions de constitution de chacun des blocs, comme la température du milieu de polymérisation, pourra être adaptée.

Bien entendu, il est possible d'accoler autant de blocs que l'on souhaite au polymère vivant en plaçant celui-ci dans un milieu de polymérisation d'un monomère dont on souhaite constituer un bloc.

Ainsi, l'invention concerne également un procédé de préparation d'un polymère à blocs comprenant au moins une étape selon l'invention, menant à un premier bloc vivant, ledit bloc vivant étant ensuite placé en présence d'au moins un autre monomère dont on souhaite constituer un bloc accolé au premier bloc, de façon à former un dibloc vivant, et ainsi de suite, suivant le nombre de blocs que l'on souhaite réaliser.

Ainsi, la présente demande concerne également un procédé de préparation d'un polymère dibloc comprenant une étape de polymérisation d'un premier monomère conformément à l'invention, de façon à obtenir un premier bloc vivant, suivie d'une étape au cours de laquelle le premier bloc vivant est placé en présence d'un second monomère que l'on polymérise de façon à former un second bloc accolé au premier bloc.

La présente demande concerne donc également un procédé de préparation d'un polymère tribloc comprenant une étape de polymérisation d'un troisième monomère en présence du polymère dibloc préparé conformément à ce qui vient d'être dit, de façon à former un troisième bloc accolé au polymère dibloc.

A titre d'exemple, les polymères à blocs suivants peuvent être réalisés :

polystyrène-b-polyméthacrylate de méthyle,

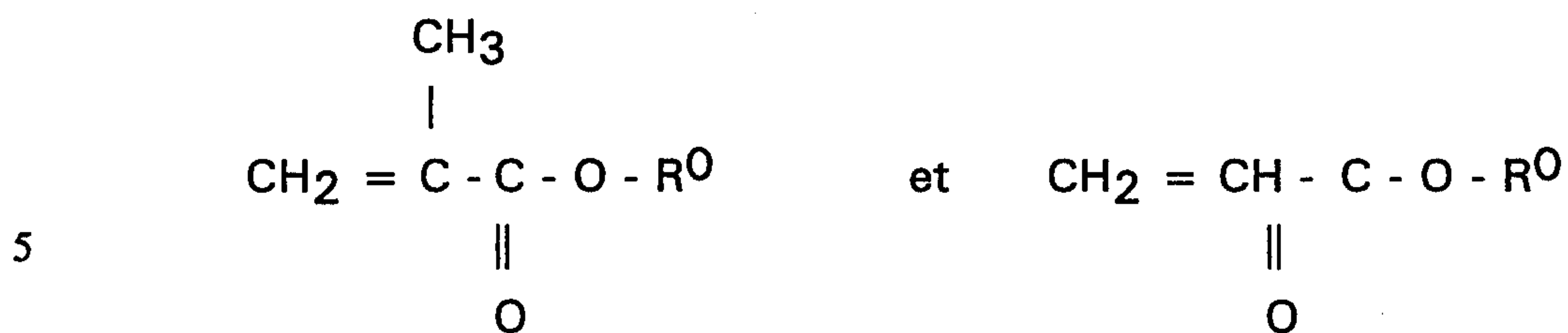
polystyrène-b-polystyrènesulfonate,
 polystyrène-b-polyacrylamide,
 polystyrène-b-polyméthacrylamide,
 polyméthacrylate de méthyle-b-polyacrylate d'éthyle,
 5 polystyrène-b-polyacrylate de butyle,
 polybutadiène-b-polyméthacrylate de méthyle,
 polyisoprène-b-polystyrène-co-acrylonitrile,
 polybutadiène-b-polystyrène-co-acrylonitrile,
 polystyrène-co-acrylate de butyle-b-polyméthacrylate de méthyle,
 10 polystyrène-b-polyacétate de vinyle,
 polystyrène-b-polyacrylate de 2-hexyléthyle,
 polystyrène-b-polyméthacrylate de méthyle-co-acrylate d'hydroxyéthyle,
 polystyrène-b-polybutadiène-b-polyméthacrylate de méthyle,
 polybutadiène-b-polystyrène-b-polyméthacrylate de méthyle,
 15 polystyrène-b-polyacrylate de butyle-b-polystyrène,
 polystyrène-b-polybutadiène-b-polystyrène,
 polystyrène-b-polyisoprène-b-polystyrène,
 polyacrylate de perfluorooctyle-b-polyméthacrylate de méthyle,
 polyacrylate de perfluorooctyle-b-polystyrène,
 20 polyacrylate de perfluorooctyle-b-polyacrylate de behenyle,
 polyacrylate de perfluorooctyle-b-polyméthacrylate de stéaryle,
 polyacrylate de n-octyle-b-polyméthacrylate de méthyle.

Par monomère, on entend tout monomère polymérisable ou
 copolymérisable par voie radicalaire. Le terme "monomère" recouvre les
 25 mélanges de plusieurs monomères.

Le monomère peut être choisi parmi les monomères vinyliques,
 vinylidéniques, diéniques, oléfiniques et allyliques.

Par monomères vinyliques, on entend les (méth)acrylates, les
 monomères vinylaromatiques, les esters vinyliques, le (méth)acrylonitrile,
 30 le (méth)acrylamide et les mono- et di-(alkyl à 1 à 18 atomes de carbone)-
 (méth)acrylamides, et les monoesters et diesters de l'anhydride maléique
 et de l'acide maléique.

Les (méth)acrylates sont en particulier ceux des formules
 respectivement :



5 dans lesquelles R^0 est choisi parmi les radicaux alkyle comprenant de 1 à 18 atomes de carbone, linéaires ou ramifiés, primaires, secondaires ou
 10 tertiaires, cycloalkyle comprenant de 5 à 18 atomes de carbone, (alcoxy à 1 à 18 atomes de carbone)-alkyle à 1 à 18 atomes de carbone, (alkylthio à 1 à 18 atomes de carbone)-alkyle à 1 à 18 atomes de carbone, aryle et arylalkyle, ces radicaux étant éventuellement substitués par au moins un atome d'halogène (tel que le fluor) et/ou au moins un groupe hydroxyle
 15 après protection de ce groupe hydroxyle, les groupes alkyle ci-dessus étant linéaires ou ramifiés ; et les (méth)acrylates de glycidyle, de norbornyle, d'isobornyle.

Comme exemples de méthacrylates utiles, on peut citer les méthacrylates de méthyle, d'éthyle, de 2,2,2-trifluoroéthyle, de n-propyle,
 20 d'isopropyle, de n-butyle, de sec.-butyle, de tert.-butyle, de n-amyle, d'i-amyle, de n-hexyle, de 2-éthylhexyle, de cyclohexyle, d'octyle, d'i-octyle, de nonyle, de décyle, de lauryle, de stéaryle, de phényle, de benzyle, de β -hydroxy-éthyle, d'isobornyle, d'hydroxypropyle, d'hydroxybutyle.

Comme exemples d'acrylates de la formule ci-dessus, on peut
 25 citer les acrylates de méthyle, d'éthyle, de n-propyle, d'isopropyle, de n-butyle, de sec.-butyle, de tert.-butyle, d'hexyle, de 2-éthylhexyle, d'isooctyle, de 3,3,5-triméthylhexyle, de nonyle, d'isodécyle, de lauryle, d'octadécyle, de cyclohexyle, de phényle, de méthoxyméthyle, de méthoxyéthyle, d'éthoxyméthyle, d'éthoxyéthyle, de perfluorooctyle, de
 30 behenyle.

Par monomère vinylaromatique au sens de la présente invention, on entend un monomère aromatique à insaturation éthylénique tel que le styrène, le vinyltoluène, l'alphaméthylstyrène, le méthyl-4-styrène, le méthyl-3-styrène, le méthoxy-4-styrène, l'hydroxyméthyl-2-styrène,
 35 l'éthyl-4-styrène, l'éthoxy-4-styrène, le diméthyl-3,4-styrène, le chloro-2-styrène, le chloro-3-styrène, le chloro-4-méthyl-3-styrène, le tert.-butyl-3-styrène, le dichloro-2,4-styrène, le dichloro-2,6-styrène et le vinyl-1-naphtalène.

Comme esters vinyliques, on peut citer l'acétate de vinyle, le propionate de vinyle, le chlorure de vinyle et le fluorure de vinyle.

Comme monomère vinylidénique, on cite le fluorure de vinylidène.

Par monomère diénique, on entend un diène choisi parmi les
5 diènes linéaires ou cycliques, conjugués ou non-conjugués comme par exemple le butadiène, le 2,3-diméthyl-butadiène, l'isoprène, le 1,3-pentadiène, le 1,4-pentadiène, le 1,4-hexadiène, le 1,5-hexadiène, le 1,9-décadiène, le 5-méthylène-2-norbornène, le 5-vinyl-2-norbornène, les 2-alkyl-2,5-norbornadiènes, le 5-éthylène-2-norbornène, le 5-(2-propényl)-2-
10 norbornène, le 5-(5-héxényl)-2-norbornène, le 1,5-cyclooctadiène, le bicyclo[2,2,2]octa-2,5-diène, le cyclopentadiène, le 4,7,8,9-tétrahydroindène et l'isopropylidène tétrahydroindène.

Comme monomère oléfiniques, on peut citer l'éthylène, le butène, l'hexène et le 1-octène. Les monomères oléfiniques fluorés peuvent
15 également être cités.

Le procédé selon l'invention peut être mené entre 50 et 200°C et de préférence entre 100 et 150°C.

Le monomère peut être différent de ceux du groupe suivant : acide acrylique, acide méthacrylique, esters de l'acide acrylique, esters de
20 l'acide méthacrylique, acrylonitrile.

La polymérisation radicalaire peut être amorcée thermiquement, c'est-à-dire sous l'effet de la température et en l'absence d'amorceur de polymérisation radicalaire. La polymérisation peut également être amorcée par un amorceur de polymérisation radicalaire. Certains monomères
25 nécessitent l'usage d'un amorceur, comme les acrylates ou méthacrylates. Les monomères nécessitant l'usage d'un amorceur sont ceux habituellement considérés par l'homme du métier comme nécessitant l'usage d'un amorceur.

Cette question sur la présence ou non d'un amorceur se pose
30 essentiellement pour le début de la polymérisation. Ainsi, dans le cas de la réalisation d'un copolymère à blocs, cette question se pose pour l'amorçage de la polymérisation du premier bloc. En effet, pour la réalisation du second bloc, et, le cas échéant du ou des suivants, la polymérisation s'effectuera par un mécanisme de polymérisation vivante,
35 sans qu'il ne soit nécessaire d'ajouter de l'amorceur. Cependant, il n'est pas exclu d'ajouter de l'amorceur au moment de l'ajout d'un nouveau monomère pour la réalisation d'un nouveau bloc, si l'on souhaite accélérer la vitesse de polymérisation.

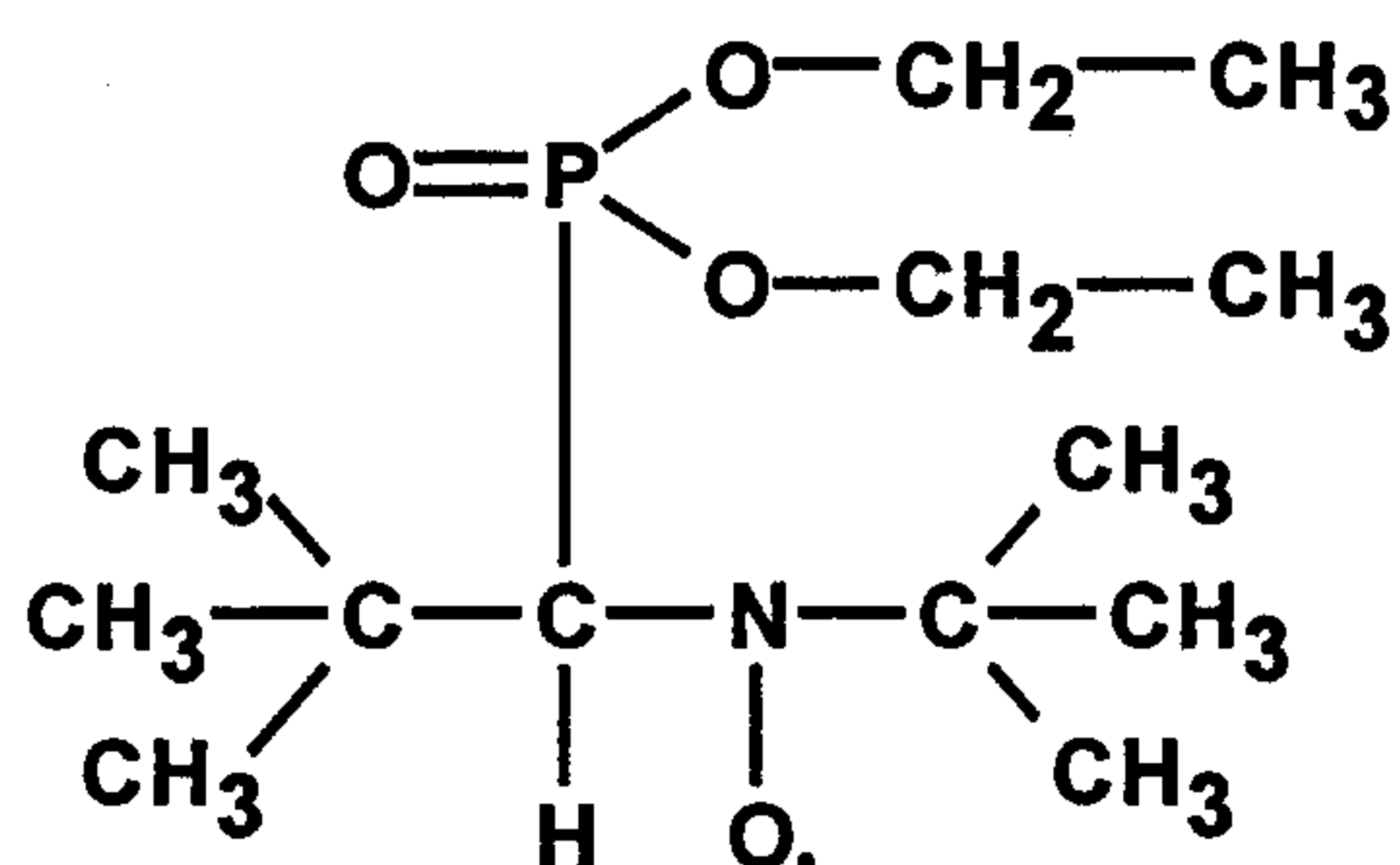
La polymérisation peut être menée sous une pression allant de 0,1 bar à 3 000 bars, et de préférence de 0,8 à 100 bars. L'utilisation de hautes pressions, par exemple de 500 à 3 000 bars est recommandée pour la polymérisation de monomères gazeux dans des conditions normales de température et de pression, comme l'éthylène seul ou en présence d'autres monomères.

La polymérisation peut être menée en solution, en masse, en émulsion, en suspension ou dans un milieu supercritique.

Le milieu de polymérisation peut être destiné à mener à un polymère vinylaromatique choc comme le polystyrène choc, auquel cas ledit milieu comprend au moins un monomère vinylaromatique pouvant être le styrène et un caoutchouc, ce dernier étant généralement un polydiène conjugué tel qu'un ou plusieurs polybutadiènes. Un polymère vinylaromatique choc comprend une matrice de polymère vinylaromatique entourant des nodules de caoutchouc, lesdits nodules pouvant présenter des morphologies variées comme celles de gouttelette, capsule, oignon, labyrinthe ou salami.

Dans les exemples qui suivent, on utilise les abréviations suivantes :

- DEPN : N-tertiobutyl-1-diéthyl-phosphono-2,2-diméthylpropyl nitroxyde dont la formule développée est :



- TEMPO*: 2,2,6,6-tétraméthyl-1-piperidinyloxy
 - AIBN : azo bis(isobutyronitrile)

Le DEPN présente vis-à-vis du styrène à 125°C une constante d'équilibre de $7,4 \cdot 10^{-9}$ mole par litre. Cette constante d'équilibre a été mesurée par la technique décrite dans la thèse de doctorat de Didier Benoit, Université de Bordeaux I, France, soutenue le 16 octobre 1997.

Le Tempo* présente vis-à-vis du styrène à 125°C une constante d'équilibre de $1 \cdot 10^{-11}$ mole par litre.

* (marque de commerce)

Cette constante d'équilibre a été mesurée par Fukuda,
Macromolecules 1996, 29, 6393.

EXEMPLE 1 (COMPARATIF)

Polymérisation du styrène en présence de DEPN,

rapport $[F_{SFR} \times (SFR)] / [F_{AMO} \times (AMO)] = 1$:

L'AIBN ($9 \cdot 10^{-5}$ mole), le styrène ($3,45 \cdot 10^{-2}$ moles) et le DEPN
 5 ($1,8 \cdot 10^{-4}$ mole) sont introduits dans un tube de Schlenk sous azote. Le
 mélange est dégazé à froid plusieurs fois par un cycle vide / azote, puis
 porté à 125°C dans un bain d'huile pendant plusieurs heures. La
 conversion en polymère est déterminée par gravimétrie : environ 50 mg
 de mélange est pesé précisément puis le monomère est évaporé sous
 10 vide, la conversion étant déterminée à partir de la différence de poids due
 à l'évaporation. Les échantillons prélevés sont analysés par
 Chromatographie d'Exclusion Stérique (CES) avec des étalons de
 polystyrène. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats.

Temps (h)	Conversion	M_n expérimentale (g/mole)	M_n théorique (g/mole)	M_w / M_n
0	0	0	0	
0,5	0,28			
2,5	0,76	19 200	15 200	1,1
5	0,95			
6	0,98	25 000	19 600	1,2

15

EXEMPLE 2 (COMPARATIF)

Polymérisation du styrène en présence de Tempo*,

rapport $[F_{SFR} \times (SFR)] / [F_{AMO} \times (AMO)] = 1$:

On procède comme pour l'exemple 1 sauf que le DEPN est
 20 remplacé par le même nombre de moles de Tempo*. Le tableau ci-dessous
 rassemble les résultats.

* (marques de commerce)

Temps (h)	Conversion	M _n expérimentale (g/mole)	M _n théorique (g/mole)	M _w / M _n
0	0	0	0	-
0,5	0,01	-	-	
2,5	0,02	-	-	
5	0,05			
7	0,16	-	-	
9	0,31			
11	0,42			
13	0,61			
14	0,66			
15,5	0,75			
18	0,81			
20	0,80			
23	0,86	15 900	17 200	1,2
26,5	0,96			

EXEMPLE 3

Polymérisation du styrène en présence de TEMPO* et de DEPN :

- 5 On procède comme pour l'exemple 1 sauf que le DEPN est remplacé par le même nombre de mole d'un mélange à 50 % en mole de DEPN et 50 % en mole de TEMPO*. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats.

Temps (h)	Conversion	M _n expérimentale (g/mole)	M _n théorique (g/mole)	M _w / M _n
0	0	-	-	-
5	0,70	-	-	-
5,25	0,75	-	-	-
7,25	0,98	18 300	19 600	1,2
9,5	0,99			

La synergie entre les deux radicaux libres stables peut être vérifiée en comparant la conversion expérimentale au bout de 5 heures à celle

* (marques de commerce)

théoriquement attendue compte tenu des conversions obtenues au bout de 5 heures avec chaque radical stable pris individuellement (voir exemples 1 et 2).

Cette synergie peut également être constatée par la mesure de l'écart en % entre la masse moléculaire théorique et la masse moléculaire expérimentale au bout de 5 heures de polymérisation par la formule :

(Mn expérimentale - Mn théorique)
écart = $\frac{\text{Mn expérimentale} - \text{Mn théorique}}{\text{Mn théorique}}$ x 100

Le tableau ci-dessous réalise ces comparaisons.

Radicaux stables utilisés	Conversion expérimentale après 5h de polymérisation	Conversion calculée par moyenne arythmétique	Ecart entre Mn expérimentale et Mn théorique (%)
DEPN seul (exemple 1)	0,95	-	27
Tempo* seul (exemple 2)	0,05	-	7,5
50% DEPN + 50% Tempo* (exemple 3)	0,70	0,50 [(0,5x0,95) + (0,5x0,05)]	7

Cette synergie peut également être constatée par la comparaison des productivités (conversion = 0,95) obtenues pour les exemples 1 à 3 :

Radicaux stables utilisés	Productivité expérimentale (mg/h)	Productivité calculée par moyenne arythmétique
DEPN seul (exemple 1)	684	-
Tempo* seul (exemple 2)	130	-
50% DEPN + 50% Tempo* (exemple 3)	487	407 [(0,5x684) + (0,5x130)]

EXEMPLE 4 (COMPARATIF)

On mélange 0,6 g du polystyrène obtenu à l'issue de l'exemple 1 avec 2,4 g d'acrylate de n-butyle dans un tube de Schlenk et l'on dégaze la solution obtenue par un cycle vide-azote. La pression étant revenue à une atmosphère d'azote, le tube de Schlenk est placé dans un bain d'huile à 125°C. La conversion de l'acrylate de n-butyle est suivie par gravimétrie. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats.

* (marques de commerce)

Temps (h)	Conversion	M _n expérimentale (g/mole)	M _n théorique (g/mole)	M _w / M _n
0	0	25 000	25 000	
3	0,22			
5	0,30			
5,25	0,34			
7,25	0,42	50 700	67 000	1,4
9,25	0,54			

EXEMPLE 5 (COMPARATIF)

On procède comme pour l'exemple 4, sauf que l'on utilise au départ 0,53 g du polystyrène de l'exemple 2 et 2,6 g d'acrylate de n-butyle. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats.

Temps (h)	Conversion	M _n expérimentale (g/mole)	M _w / M _n
0	0	17 800	-
1,13	0,08	-	-
3	0,10	-	-
5	0,12	-	-
7	0,19	-	-
11,5	0,20	-	-
14,5	0,26	-	-
20,75	0,23	-	-
37,6	0,32	20 500	1,3

EXEMPLE 6

10 On procède comme pour l'exemple 4, sauf que l'on utilise au départ 1 g du polystyrène de l'exemple 3 et 5,1 g d'acrylate de n-butyle. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats.

Temps (h)	Conversion	M_n expérimentale (g/mole)	M_w / M_n
0	0	20 000	
3	0,39		
5	0,44	31 600	1,6
7	0,51		
9	0,53		
11,5	0,56		
14	0,60		
17	0,62	36 800	1,4
19	0,65		
21	0,65		
23	0,69		

On constate qu'au bout de 5 heures, la conversion de l'acrylate de n-butyle est supérieure à celle observée pour le même temps d'essai dans le cas des exemples 4 et 5.

REVENDICATIONS

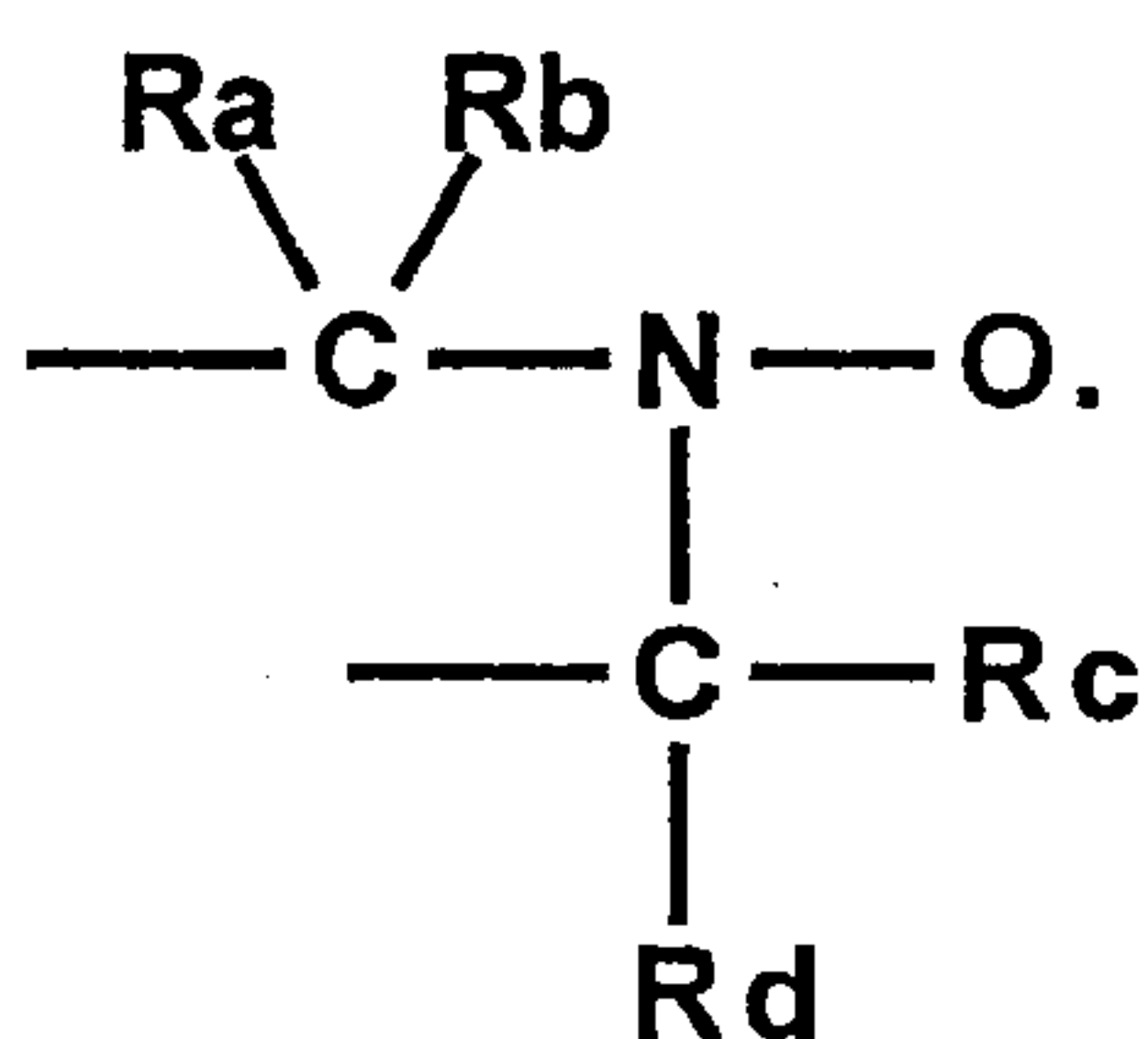
1. Procédé de polymérisation d'au moins un monomère polymérisable par voie radicalaire en présence d'au moins deux radicaux libres stables différents, caractérisé en ce que les constantes d'équilibre des radicaux libres stables vis-à-vis du monomère, présentent un rapport supérieur à 5.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport est supérieur à 10.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le rapport est supérieur à 100.

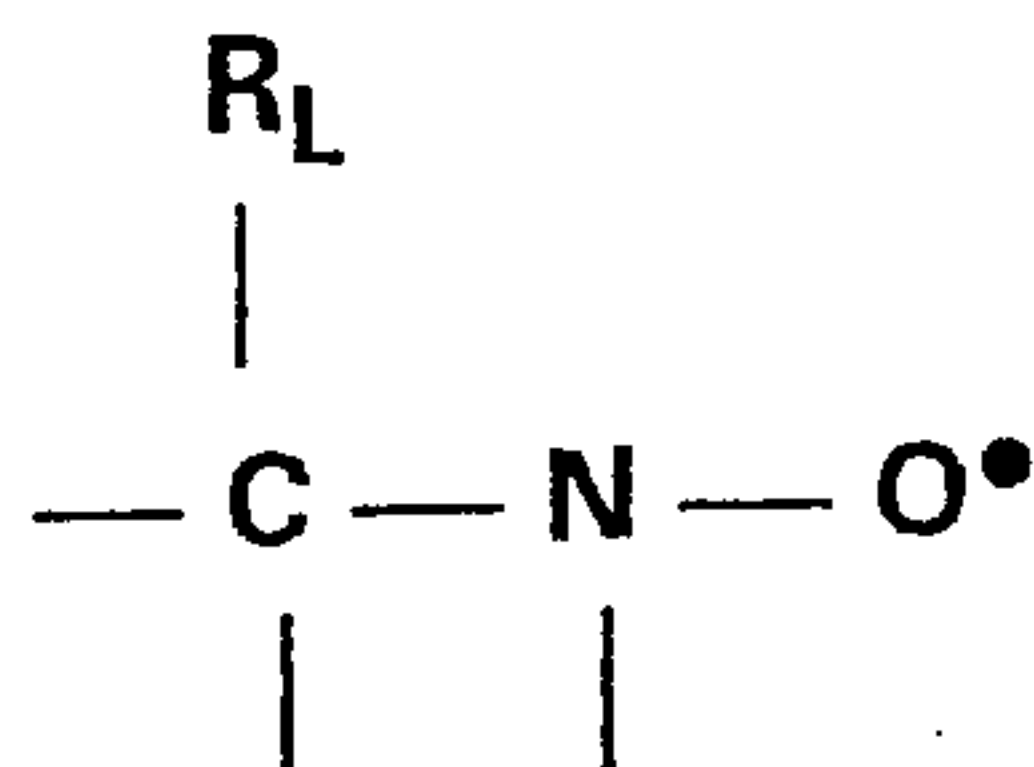
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'au moins deux des radicaux libres stables sont tels que:

- le premier présente dans sa structure l'enchaînement



dans lequel les radicaux Ra, Rb, Rc et Rd, qui sont identiques ou différents, sont soit un atome d'hydrogène, soit un radical méthyle,

- le second présente dans sa structure l'enchaînement



dans lequel R_L représente un radical monovalent dont la masse molaire est supérieure à 15.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que R_L présente une masse molaire supérieure à 30.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que R_L présente une masse molaire allant de 40 à 400.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que:

- l'un des deux radicaux libres stables est choisi dans le groupe constitué par:

le 2,2,6,6-tétraméthyl-1-piperidinyloxy,

le 4-hydroxy-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy,

le 4-méthoxy-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy,

le 4-oxo-2,2,6,6-tétraméthyl-1-pipéridinyloxy,

le bis(1-oxyl-2,2,6,6-tétra méthylpipéridine-4-yl) sébacate,

le 2,2,6,6-tétraméthyl-4-hydroxypipéridine-1-oxyl monophosphonate, et

le 3-carboxy-2,2,5,5-tétraméthylpirrolidinyloxy,

et,

- l'autre des deux radicaux libres stables est choisi dans le groupe constitué par:

le N-tertiobutyl-1-diéthyl-phosphono-2,2-diméthylpropylnitroxyde,
 le N-tertiobutyl-1-dibenzylphosphono-2,2-diméthylpropyl nitroxyde,
 le N-tertiobutyl-1-di(2,2,2-trifluoroéthyl)phosphono-2,2-diméthyl
 propyl nitroxyde,
 le N-tertiobutyl-[(1-diéthylphosphono)-2 méthyl propyl] nitroxyde,
 le N-(1-méthyléthyl)-1-cyclohexyl-1-(diéthylphosphono) nitroxyde, et
 le N-(1-phényl benzyl)-[(1-diéthyl phosphono)-1-méthyl éthyl]
 nitroxyde.

10 8. Procédé selon l'une quelconque des
 revendications 1 à 7, caractérisé en que, à la température
 de polymérisation

$$\sum_{i=1}^t [F_{SFR^i} \times (SFR^i)] \text{ aille de } 5.10^{-7} \text{ à } 0,5 \text{ mole par mole de}$$

monomère présent dans le milieu de polymérisation, F_{SFR^i}
 représentant la fonctionnalité du $i^{\text{ème}}$ radical libre stable
 SFR^i présent dans le milieu de polymérisation, t
 représentant le nombre de radicaux libres stables dans le
 20 milieu de polymérisation, (SFR^i) représentant le nombre de
 mole du $i^{\text{ème}}$ radical libre stable.

9. Procédé selon la revendication 8, caracté-
 risé en ce que:

$$\sum_{i=1}^t [F_{SFR^i} \times (SFR^i)] \text{ aille de } 5.10^{-6} \text{ à } 0,5 \text{ mole par mole de monomère.}$$

10. Procédé selon l'une quelconque des revendi-
 30 cations 1 à 9, caractérisé en ce que au moins deux radicaux

libres stables sont présents dans le milieu de polymérisation en quantités telles que le rapport

$$\frac{F_{SFR^1} \cdot (SFR^1)}{F_{SFR^2} \cdot (SFR^2)} \quad \text{aille de 0,001 à 1 000,}$$

dans lequel

F_{SFR^1} représente la fonctionnalité d'un premier radical libre stable SFR^1 ,

10 (SFR^1) représente le nombre de mole dudit premier radical libre stable,

F_{SFR^2} représente la fonctionnalité d'un second radical libre stable SFR^2 ,

(SFR^2) représente le nombre de mole dudit second radical libre stable.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que

$$\frac{F_{SFR^1} \cdot (SFR^1)}{F_{SFR^2} \cdot (SFR^2)} \quad \text{aille de 0,01 à 100.}$$

20

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'au moins un amorceur de polymérisation radicalaire est introduit dans le milieu de polymérisation en quantité telle que $F_{AMO} \cdot (AMO)$ aille de $1 \cdot 10^{-5}$ à 0,1 mole par mole de monomère présent dans le milieu de polymérisation, F_{AMO} représentant la fonctionnalité de l'amorceur, (AMO) représentant le nombre de mole d'amorceur présent dans le milieu de polymérisation.

30

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que F_{AMO} . (AMO) va de 1.10^{-4} à 0,1 mole par mole de monomère.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il est mené entre 100 et 150°C.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que plusieurs monomères sont introduits successivement de façon à mener à un
10 copolymère à blocs.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que la conversion de monomère en polymère est supérieure à 0,5.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la présence des deux radicaux libres stables résulte en une synergie lors de la polymérisation.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce qu'au moins un monomère
20 est choisi dans le groupe constitué par les monomères vinyliques, vinyldiéniques, diéniques, oléfiniques et allyliques.

19. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'au moins un monomère est vinylaromatique.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'au moins un monomère est le styrène.

21. Procédé selon la revendication 19 ou 20, caractérisé en ce qu'il mène à un polymère vinylaromatique choc, comprenant une matrice de polymère vinylaromatique et des nodules de caoutchouc.

22. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'au moins un monomère est acrylate ou méthacrylate.

10 23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que le monomère est différent de ceux du groupe suivant: acide acrylique, acide méthacrylique, esters de l'acide acrylique, esters de l'acide méthacrylique et acrylonitrile.