

## Polyamide 6-6

### PA 6-6

#### Présentation du polymère

Le PA 6-6 est obtenu par polycondensation de l'acide adipique avec l'hexaméthylènediamine. C'est un thermoplastique blanchâtre semi-cristallin. C'est le nylon aliphatique non renforcé le plus solide et le plus résistant à l'abrasion et aux faibles températures. Sa très faible viscosité de fusion peut causer des difficultés de transformation industrielle et son exposition aux intempéries peut entraîner une fragilisation et un changement de couleur à moins qu'il ne soit stabilisé ou protégé.

Il est employé pour la fabrication de pièces mécaniques, d'engrenages sans lubrifiant, de pales de ventilateur et de tissus du fait de sa bonne résistance chimique, mécanique et thermique. Le PA 6-6 est également utilisé dans le domaine du sport, sous forme de filaments pour les cordes ou de composite pour les structures de vélos, etc.

Numéro CAS \_\_\_\_\_ 32131-17-2

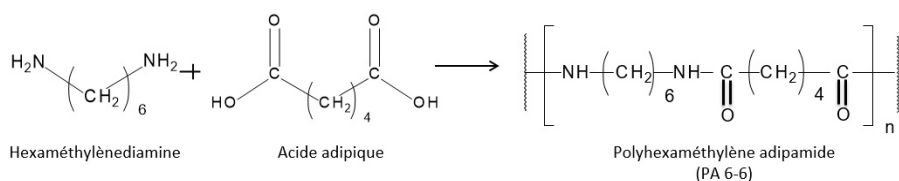
Famille du polymère \_\_\_\_\_ Polyamides

Synonymes \_\_\_\_\_

- Polyhexaméthylène adipamide
- nylon
- nylon 6-6

#### Synthèse

##### Formule développée n°1



#### Caractéristiques

##### Propriétés physico-chimiques

Température de fusion (°C) \_\_\_\_\_ 268

Température de transition vitreuse (°C) \_\_\_\_\_ 57

## Additifs

| Classe de l'additif   | Nom de l'additif                  |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Charges               | Fibres de verre                   |
| Charges               | Billes de verre                   |
| Charges               | Graphites                         |
| Charges               | Bisulfure de molybdène            |
| Charges               | Silicates                         |
| Charges               | Polytétrafluoroéthylène en poudre |
| Plastifiants          | Phosphates                        |
| Plastifiants          | Phtalates                         |
| Plastifiants          | Benzoates                         |
| Retardateur de flamme | Composé phosphoré                 |
| Retardateur de flamme | Composé à base de bore            |
| Retardateur de flamme | Composé à base d'aluminium        |
| Retardateur de flamme | Composé à base de bismuth         |
| Divers                | Stéarate de zinc                  |
| Divers                | Stéarate de calcium               |

## Mise en oeuvre

### Utilisation des polymères

À la livraison, les polyamides en poudres à mouler ou en granulés sont généralement prêts à l'emploi, avec une teneur en humidité maximale de 0,2 %. Si ce n'est pas le cas, il est indispensable de prévoir un séchage préalable pour prévenir tout risque de dégradation lors de la transformation.

### Solvants intervenant dans les procédés

Les solvants les plus employés sont l'acide formique (FT-149)<sup>1</sup>, l'acide trichloroacétique. Généralement l'emploi des solvants est réservé au collage.

<sup>1</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_149](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_149)

Des acides forts comme l'acide formique, des phénols comme le méthacrésol (FT-97)<sup>2</sup> et des solvants chlorés sont également utilisés pour analyse en laboratoire. Leur emploi diminue de plus en plus car la profession les remplace par des produits de substitution moins dangereux.

<sup>2</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_97](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_97)

### Procédés mis en oeuvre

| Procédé           | Gamme de température (°C) | Informations complémentaires                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Injection-moulage | 270-290 °C                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Extrusion         | 255-265 °C                | L'extrusion du polyamide 6-6 est difficile car la latitude de mise en oeuvre d'un tel polymère est restreinte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Usinage           |                           | Fraisage, perçage, taraudage, tournage. Ne présente pas de difficulté particulière.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Assemblage        |                           | Par collage : On a recours à des produits spécifiques dont les principaux sont : phénol, m-crésol, alcools lourds, acide formique, solvants chlorés. Certaines colles sont à base de résine phénol-formol, de résorcine-formol, pré-condensées et polymérisées à chaud ; il existe également des colles époxydiques et des colles de polyuréthane. Par soudage : Possible par friction, par vibrations, par impulsions thermiques et à haute fréquence plus rarement ou par ultra-sons. |
| Rilsanisation     |                           | Au préalable, les surfaces métalliques à revêtir doivent subir une préparation pour enlever les graisses, la rouille, les écailles de laminage, etc. On procède :<br>- par décapage par projection de sable, de corindon ou de grenaille d'acier ;                                                                                                                                                                                                                                      |

- par traitement chimique, à l'aide de différents produits, tels que : trichloréthylène, acide sulfurique à 10 %, etc. ;
  - parfois, les surfaces métalliques à recouvrir sont revêtues d'une sous-couche avant le trempage ; celle-ci peut contenir des solvants aromatiques ou chlorés.
- Le revêtement des pièces métalliques peut être obtenu par différents procédés, à des températures pouvant atteindre 380-400 °C :
- le trempage qui consiste à plonger les pièces préalablement chauffées dans une cuve contenant la poudre en suspension dans l'air ou dans un gaz inerte ;
  - la projection au pistolet-chalumeau de la poudre de polyamide à travers une flamme sur la surface métallique préchauffée ;
  - la projection au pistolet électrostatique.

## Risques chimiques

### Risques spécifiques liés au polymère

[1-4]

Les polyamides, une fois polymérisés, ne présentent pas de risque particulier à température ambiante à l'exception du danger habituel dû aux poussières inertes lorsque les résines sont manipulées à l'état pulvérulent (au cours de la « rilsanisation » notamment).

Il n'en est pas de même au cours de la polycondensation qui peut intervenir en même temps que la mise en œuvre dans certains cas comme le moulage de pièces massives ou le rotomoulage.

D'une manière générale, les diamines aliphatiques ou aromatiques sont des produits toxiques.

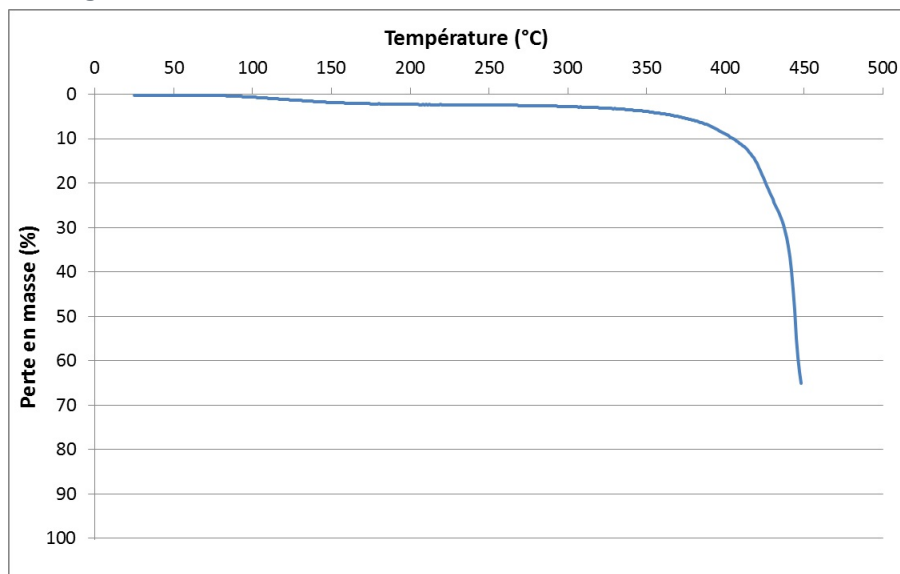
**L'hexaméthylène diamine**, en particulier, est un produit corrosif, irritant pour la peau, les yeux et le système respiratoire. On a également noté des anémies du type hémolytique et des dermites eczématiformes.

### Dégradation thermique : résultats expérimentaux

#### Protocole de dégradation thermique<sup>3</sup>

<sup>3</sup>[http://www.inrs.fr/dms/plastiques/DocumentCompagnonPlastiques/PLASTIQUES\\_DocCompagnon\\_6-1/Protocole%20DgtTh%20avril%202019.pdf](http://www.inrs.fr/dms/plastiques/DocumentCompagnonPlastiques/PLASTIQUES_DocCompagnon_6-1/Protocole%20DgtTh%20avril%202019.pdf)

### Thermogramme



Le polyamide 6.6 commence à se dégrader à 330°C. Il est faiblement dégradé entre 100 et 330°C où il subit une perte en masse de 3 %.

A 450 °C, il est dégradé à 70 %.

### Tableau des produits de dégradation thermique

| Famille   | Détails                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aldéhydes | 220 °C<br><b>Acétaldéhyde</b>                                                             |
|           | 280 °C<br><b>Formaldéhyde, acétaldéhyde, acrylaldéhyde, aldéhydes C3 à C6</b>             |
|           | 320 °C<br><b>Acétaldéhyde, acrylaldéhyde</b>                                              |
|           | 450 °C<br><b>Formaldéhyde (1%), acétaldéhyde (0,6%), acrylaldéhyde, aldéhydes C3 à C6</b> |
|           | Lien Fiche Toxicologique<br><b>FT-7<br/>FT-120</b>                                        |

|                           |                          |                                                                                    |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | Lien Méthode METROPOL    | <b>M-4</b><br><b>M-66</b>                                                          |
| Alcools                   | 220 °C                   |                                                                                    |
|                           | 280 °C                   | <b>Méthanol, éthanol, isopropanol, butanol, méthoxypropanol</b>                    |
|                           | 320 °C                   | <b>Méthanol, , méthoxypropanol</b>                                                 |
|                           | 450 °C                   |                                                                                    |
|                           | Lien Fiche Toxicologique | <b>FT-5</b><br><b>FT-66</b><br><b>FT-80</b>                                        |
|                           | Lien Méthode METROPOL    | <b>M-26</b><br><b>M-83</b><br><b>M-24</b>                                          |
| Cétones                   | 220 °C                   | <b>Tétrahydropyranone</b>                                                          |
|                           | 280 °C                   | <b>Acétone, méthyléthylcétone, méthylvinylcétone, cyclopentanone</b>               |
|                           | 320 °C                   | <b>Acétone</b>                                                                     |
|                           | 450 °C                   | <b>Cyclopentanone</b>                                                              |
|                           | Lien Fiche Toxicologique | <b>FT-3</b>                                                                        |
|                           | Lien Méthode METROPOL    | <b>M-192</b><br><b>M-106 ; M-191</b>                                               |
| Acides                    | 220 °C                   | <b>Acide acétique</b>                                                              |
|                           | 280 °C                   | <b>Acide acétique</b>                                                              |
|                           | 320 °C                   | <b>Acide acétique</b>                                                              |
|                           | 450 °C                   | <b>Acide acétique</b>                                                              |
|                           | Lien Fiche Toxicologique | <b>FT-24</b>                                                                       |
|                           | Lien Méthode METROPOL    |                                                                                    |
| Hydrocarbures aromatiques | 220 °C                   |                                                                                    |
|                           | 280 °C                   | <b>Traces de benzène, toluène</b>                                                  |
|                           | 320 °C                   | <b>Benzène, toluène, éthylbenzène</b>                                              |
|                           | 450 °C                   | <b>Traces de benzène</b>                                                           |
|                           | Lien Fiche Toxicologique | <b>FT-49</b><br><b>FT-74</b><br><b>FT-266</b>                                      |
|                           | Lien Méthode METROPOL    | <b>M-40 ; M-237 ; M-243</b><br><b>M-41 ; M-240 ; M-256</b><br><b>M-238 ; M-265</b> |
| Hydrocarbures saturés     | 220 °C                   |                                                                                    |
|                           | 280 °C                   | <b>C3 à C13</b>                                                                    |
|                           | 320 °C                   | <b>C3 à C13</b>                                                                    |
|                           | 450 °C                   | <b>C4 à C6</b>                                                                     |
|                           | Lien Fiche Toxicologique |                                                                                    |
|                           | Lien Méthode METROPOL    |                                                                                    |
| Lactames                  | 220 °C                   | <b>Caprolactame</b>                                                                |
|                           | 280 °C                   | <b>Caprolactame</b>                                                                |
|                           | 320 °C                   | <b>Caprolactame</b>                                                                |
|                           | 450 °C                   | <b>Caprolactame</b>                                                                |

|          |                          |                                                                  |
|----------|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
|          | Lien Fiche Toxicologique |                                                                  |
|          | Lien Méthode METROPOL    | <b>M-183 ; M-189</b>                                             |
| Nitriles | 220 °C                   |                                                                  |
|          | 280 °C                   |                                                                  |
|          | 320 °C                   |                                                                  |
|          | 450 °C                   | <b>Acrylonitrile, nitriles C5 à C8</b>                           |
|          | Lien Fiche Toxicologique | <b>FT-105</b>                                                    |
|          | Lien Méthode METROPOL    |                                                                  |
| Autres   | 220 °C                   | <b>Traces de pyridine, vinylpyrrolidone, anhydride phtalique</b> |
|          | 280 °C                   | <b>Traces de pyridine</b>                                        |
|          | 320 °C                   |                                                                  |
|          | 450 °C                   | <b>Cyclohexane, pyridine, méthylfurane, N-butylacétamide</b>     |
|          | Lien Fiche Toxicologique | <b>FT-17</b>                                                     |
|          | Lien Méthode METROPOL    | <b>M-188</b>                                                     |

## Produits de dégradation décrits dans la bibliographie

Vers 400 °C, température pouvant être atteinte lors de la rilsanisation, la décomposition devient très nette. Les gaz dégagés sont, en plus de ceux précédemment cités :

— de l'ammoniac (**FT-16**)<sup>4</sup> toxique et irritant pour les muqueuses oculaires et respiratoires ;

<sup>4</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_16](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_16)

— de l'oxyde de carbone toxique (**FT-47**)<sup>5</sup> ;

<sup>5</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_47](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_47)

— de l'anhydride carbonique (**FT-238**)<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_238](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_238)

## Risques en cas d'incendie / explosion

[5,6]

**Pouvoir calorifique (Kcal/Kg)** \_\_\_\_\_ 7500

### Descriptif :

Les polyamides sont le plus souvent peu inflammables. Leur comportement au feu varie suivant la nature chimique du polyamide, sa température de fusion et la forme des objets réalisés avec ce matériau.

Les produits libérés sont des composés nitriles (acrylonitrile (**FT-105**)<sup>7</sup>, acétonitrile (**FT-104**)<sup>8</sup>, acide cyanhydrique (**FT-4**)<sup>9</sup>...) ou des aldéhydes (acétaldéhyde (**FT-120**)<sup>10</sup>, acroléine (**FT-57**)<sup>11</sup>, crotonaldéhyde...) tous dangereux.

<sup>7</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_105](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_105)

<sup>8</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_104](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_104)

<sup>9</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_4](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_4)

<sup>10</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_120](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_120)

<sup>11</sup> [http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_57](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_57)

La présence de certains adjuvants (plastifiants) modifie ce comportement au feu dans le sens d'une plus grande inflammabilité.

## Risques associés aux additifs

### Fibres de verre :

Danger d'irritation de la peau et des voies respiratoires, notamment au moment de leur incorporation dans les résines.

### Composé phosphoré :

Nocifs et irritants pour la peau et les muqueuses.

### Phtalates :

La toxicité des phtalates varie de "non classé" jusqu'à "toxique pour la reproduction" selon le type de phtalate utilisé. Certains phtalates comme le Phtalate de Diisobutyle (DIBP), Phtalate de Dibutyle (DBP) ou le phtalate de bis-2-éthylhexyle (DEHP) sont classés comme toxique pour la reproduction de catégorie 1B par le règlement CLP.

## Bibliographie générale

- 1 | HARRIS RL, BINGHAM E, CORHSEN B, POWELL CH. - Patty's industrial hygiene and toxicology. CD-ROM. John Wiley and Sons, 5e édition, 2005. mult. p.
- 2 | MERCIER J-P, MARECHAL E. - Chimie des polymères. Synthèse, réactions, dégradations. Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996. 466 p.
- 3 | LAFOND D, GARNIER R. - Toxicité des produits de dégradation thermique des matières plastiques. Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-541-C-10 Elsevier Masson, 2008 12p.
- 4 | ARFI C, C. R-L, RENACCO E, PASTOR J. - Gaseous toxic emission from plastic materials during their thermal decomposition. Extrait de : Geosciences and water resources : environmental data modeling. 1997, pp. 125-135.
- 5 | Comportement au feu des matières plastiques. Face au risque. 1988, 241, mars, pp. 33-34.
- 6 | VOVELLE C, DELFAU JL. - Combustion des plastiques. Techniques de l'Ingénieur, AM3170, 2007. 25 p.

## Historique

| Version           | date          | Modification(s) faisant l'objet de la nouvelle version |
|-------------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| Polyamide 6-6 V01 | Avril 2017    | Création                                               |
| Polyamide 6-6 V02 | Décembre 2017 | Ajout du thermogramme                                  |
| Polyamide 6-6 V03 | Mai 2023      | Correction de la formule développée                    |