

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60700-1**

1998

AMENDEMENT 1  
AMENDMENT 1  
2003-02

---

---

**Amendement 1**

**Valves à thyristors pour le transport d'énergie  
en courant continu à haute tension (CCHT) –**

**Partie 1:  
Essais électriques**

**Amendment 1**

**Thyristor valves for high voltage direct current  
(HVDC) power transmission –**

**Part 1:  
Electrical testing**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**K**

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue

## AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électroniques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| FDIS        | Rapport de vote |
| 22F/81/FDIS | 22F/85/RVD      |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cet amendement.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Page 10

## 2 Références normatives

Changer la référence à la CEI 61803 de la façon suivante:

CEI 61803:1999, *Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT)*

Supprimer la note de bas de page.

## 3 Définitions

### 3.1.1 tension d'épreuve

Remplacer deux fois, page 12, le terme «tension d'épreuve» par le terme «tension de tenue d'essai».

### 3.2.3 niveaux de thyristors redondants

Remplacer, page 14, la définition 3.2.3 par la nouvelle définition suivante:

nombre maximal de niveaux de thyristors dans la valve à thyristors qui peuvent être court-circuités extérieurement ou à l'intérieur de la valve en cours de service sans influencer le fonctionnement sûr de la valve à thyristors comme le démontrent les essais de type et qui s'il était dépassé, et seulement dans ce cas, exigerait le débranchement de la valve pour remplacer des thyristors en défaillance ou accepter un risque augmenté de défauts

## FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronics systems and equipment.

The text of this amendment is based on the following documents:

|             |                  |
|-------------|------------------|
| FDIS        | Report on voting |
| 22F/81/FDIS | 22F/85/RVD       |

Full information on the voting for the approval of this amendment can be found in the report on voting indicated in the above table.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

Page 11

## 2 Normative references

*Change the reference to IEC 61803 as follows:*

IEC 61803:1999, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

*Delete the footnote at the bottom of the page.*

## 3 Definitions

### 3.1.1

#### **test withstand voltage**

*This correction applies to the French text only.*

### 3.2.3

#### **redundant thyristor levels**

*Replace, on page 15, definition 3.2.3 by the following new definition:*

the maximum number of thyristor levels in a thyristor valve that may be short-circuited externally or internally during service without affecting the safe operation of the thyristor valve as demonstrated by type tests, and which if and when exceeded, would require shutdown of the valve to replace the failed thyristors or acceptance of increased risk of failures

Ajouter, à la page 14 après la définition 3.2.4, les nouvelles définitions suivantes:

### 3.2.5

#### **niveau de thyristor**

partie de la valve à thyristor constituée d'un thyristor ou des thyristors montés en parallèle avec leurs auxiliaires directs et un réacteur, s'il y a

### 3.2.6

#### **section de valve**

ensemble électrique constitué d'un certain nombre de thyristors et d'autres composants ayant toutes les caractéristiques de la valve à thyristors complète à certain échelle

Page 18

## 4.3.2 Essais de fonctionnement

Dans la deuxième phrase du premier paragraphe, remplacer les mots «rapport de comptage» par les mots «facteur d'échelle».

Page 20

## 4.4.1 Critères applicables aux niveaux de thyristors

A la fin du point b) remplacer les mots «et l'essai de type est continué» par les mots «et cet essai de type doit être recommencé».

Page 24

## 6.3.1 Essai sur support de valve sous tension continue

Ajouter à la fin du troisième paragraphe, la nouvelle NOTE 2 comme suit:

NOTE 2 Avant le recommencement de l'essai de polarité opposée le support de la valve à thyristors peut être court-circuité et mis à la terre pendant quelques heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai de courant continu.

et renuméroter la NOTE existante en «NOTE 1».

Remplacer, à la page 26, les trois lignes suivantes du paragraphe 6.3.1:

$k_1 = 1,6$  pour un essai de 1 min;

$k_1 = 1,3$  pour un essai de 3 h;

$k_t = 1,0$  pour un essai de 3 h.

par:

$k_1 = 1,6$  pour la tension d'essai de 1 min;

$k_1 = 1,3$  pour la tension d'essai de 3 h;

$k_t = 1,0$  pour la tension d'essai de 3 h.

Add, on page 15 after definition 3.2.4, the following new terms and definitions:

### 3.2.5

#### **thyristor level**

part of a thyristor valve comprising a thyristor, or thyristors connected in parallel, together with their immediate auxiliaries, and reactor, if any

### 3.2.6

#### **valve section**

electrical assembly, comprising a number of thyristors and other components, which exhibits pro-rated electrical properties of a complete valve

Page 19

### 4.3.2 Operational tests

*This correction applies to the French text only.*

Page 21

### 4.4.1 Criteria applicable to thyristor levels

*At the end of item b), replace the words "and the type test continued." by the words "and this type test repeated."*

Page 25

### 6.3.1 Valve support d.c. voltage test

*Add, at the end of the third paragraph, new NOTE 2 as follows:*

NOTE 2 Before repeating the test with opposite polarity, the valve support may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of the d.c. voltage test.

*and renumber the existing NOTE as "NOTE 1".*

*This correction applies to the French text only.*

Page 26

### 6.3.2 Essai sur support de valve sous tension alternative

*Remplacer la troisième phrase du deuxième paragraphe par la nouvelle phrase suivante:*

Pendant la dernière 1 min de l'essai de 30 min spécifié, le niveau de décharge partielle doit être contrôlé et enregistré.

*Remplacer, à la page 26, les quatre lignes suivantes du paragraphe 6.3.2:*

$k_2 = 1,3$  pour un essai de 1 min;

$k_2 = 1,15$  pour un essai de 30 min;

$k_t = 1,0$  pour un essai de 30 min;

$k_r = 1,0$  pour un essai de 30 min.

*par:*

$k_2 = 1,3$  pour la tension d'essai de 1 min;

$k_2 = 1,15$  pour la tension d'essai de 30 min;

$k_t = 1,0$  pour la tension d'essai de 30 min;

$k_r = 1,0$  pour la tension d'essai de 30 min.

Page 28

## 7 Essais diélectriques pour unités de valves multiples (MVU)

*Remplacer partout dans l'article 7, l'abréviation «MVU» par «UVM».*

### 7.3.1 Essai de MVU sous tension continue à la terre

*Ajouter, page 30 à la fin du cinquième paragraphe, la nouvelle NOTE 2 comme suit:*

NOTE 2 Avant le recommencement de l'essai de polarité opposée UVM peut être court-circuité et mis à la terre pendant quelques heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai de courant continu.

*et renuméroté la NOTE existante en «NOTE 1».*

*Remplacer, à la page 30, les trois lignes suivantes du paragraphe 7.3.1:*

$k_3 = 1,6$  pour un essai de 1 min;

$k_3 = 1,3$  pour un essai de 3 h;

$k_t = 1,0$  pour un essai de 3 h.

*par:*

$k_3 = 1,6$  pour la tension d'essai de 1 min;

$k_3 = 1,3$  pour la tension d'essai de 3 h;

$k_t = 1,0$  pour la tension d'essai de 3 h.

Page 27

### 6.3.2 Valve support a.c. voltage test

*Replace the third sentence of the second paragraph by the following new sentence:*

During the last 1 min of the specified 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded.

*This correction applies to the French text only.*

Page 28

## 7 Dielectric tests for multiple valve units (MVU)

*This correction applies to the French text only.*

### 7.3.1 MVU d.c. voltage test to earth

*Add, on page 31 at the end of the fifth paragraph, new NOTE 2 as follows:*

NOTE 2 Before repeating the test with opposite polarity, the MVU may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of d.c. voltage test.

*and renumber the existing NOTE as "NOTE 1"*

*This correction applies to the French text only.*

Page 30

### 7.3.2 Essai de MVU sous tension alternative

*Remplacer, à la page 32, les quatre lignes suivantes du paragraphe 7.3.2:*

$k_4 = 1,3$  pour un essai de 1 min;

$k_4 = 1,15$  pour un essai de 30 min;

$k_r = 1,0$  pour un essai de 30 min;

$k_t = 1,0$  pour un essai de 30 min.

*par:*

$k_4 = 1,3$  pour la tension d'essai de 1 min;

$k_4 = 1,15$  pour la tension d'essai de 30 min;

$k_r = 1,0$  pour la tension d'essai de 30 min;

$k_t = 1,0$  pour la tension d'essai de 30 min.

Page 36

### 8.3.1 Essai de valve sous tension continue

*Ajouter, à la fin du quatrième paragraphe, la nouvelle NOTE 2 comme suit:*

NOTE 2 Avant le recommencement de l'essai de polarité opposée les bornes de la valve à thyristors peuvent être court-circuitées entre elles et mises à la terre pendant quelques heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai de courant continu.

*et renuméroter la NOTE existante en «NOTE 1».*

*Remplacer, à la page 38, les deux lignes suivantes du paragraphe 8.3.1:*

$k_7 = 1,6$  pour un essai de 1 min;

$k_7 = 0,8$  pour un essai de 3 h.

*par:*

$k_7 = 1,6$  pour la tension d'essai de 1 min;

$k_7 = 0,8$  pour la tension d'essai de 3 h.

Page 38

### 8.3.2 Essai de valve sous tension alternative

*Remplacer la dernière phrase du deuxième paragraphe par la phrase suivante:*

La valeur de décharge partielle ne doit pas dépasser 200 pC pendant la dernière 1 min (voir annexe B).

Page 31

### 7.3.2 MVU a.c. voltage test

*This correction applies to the French text only.*

Page 37

### 8.3.1 Valve d.c. voltage test

*Add, at the end of the fourth paragraph, new NOTE 2 as follows:*

NOTE 2 Before repeating the test with opposite polarity, the valve terminals may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of d.c. voltage test.

*and renumber the existing NOTE as “NOTE 1”.*

*This correction applies to the French text only.*

Page 39

### 8.3.2 Valve a.c. voltage test

*Replace the last sentence of the second paragraph by the following new sentence:*

The value of partial discharge shall not exceed 200 pC during the last 1 min. (see annex B).

Remplacer les deux premières équations de 8.3.2 par ce qui suit:

$$U_{tav1r} = \sqrt{2}U_{v0max} \times k_r \times k_c \times k_8$$

et

$$U_{tav1d} = \sqrt{2}U_{v0max} \times k_r \times k_8$$

Remplacer, à la quatrième ligne après la deuxième équation de 8.3.2, « $U_{v0m}$ » par « $U_{v0max}$ ».

Ajouter, page 40 à la fin de 8.3.2, le texte suivant:

Quand  $U_{tav2}$  dépasse la valeur efficace maximale de la tension de fonctionnement au niveau de la valve de plus de 15 %, la procédure alternative suivante peut être appliquée:

Appliquer la tension d'essai  $U_{tav1}$  pendant 15 s ensuite  $U_{tav2}$  pendant 10 min. La valeur de décharge partielle ne doit pas dépasser 200 pC pendant la dernière minute de l'essai de 10 min.

A la fin de l'essai de 10 min la tension d'essai doit être réduite jusqu'à  $U_{tav3}$  et maintenue constante pendant 30 min, ou:

$$U_{tav3} = k_9 \times U_{rms}$$

où

$U_{rms}$  est la valeur efficace maximale de la tension au niveau de la valve aux conditions de fonctionnement les plus sévères.

Page 40

### 8.3.4 Essai de valve sous tension de choc de manœuvre

Remplacer le troisième paragraphe par ce qui suit:

L'essai de polarité positive doit être répété après que l'alimentation de l'équipement électronique de la valve ait été initialement coupée.

Page 50

### 9.3.1 Essais en service continu maximal

Remplacer la première phrase par ce qui suit:

Le courant d'essai doit être basé sur le courant continu maximal en régime permanent à la température ambiante maximale.

Remplacez l'équation par ce qui suit:

$$U_{tpv1} = U_{v0max} \times k_n \times k_{13}$$

Remplacer, la deuxième ligne après l'équation de 9.3.1 par:

$U_{v0max}$  est la tension maximale à vide entre phases en régime établi sur le côté valve du transformateur;

Replace the first two equations of 8.3.2 by the following:

$$U_{tav1r} = \sqrt{2}U_{v0max} \times k_r \times k_c \times k_8$$

and

$$U_{tav1d} = \sqrt{2}U_{v0max} \times k_r \times k_8$$

Replace, in the fourth line after the second equation in 8.3.2, “ $U_{v0m}$ ” by “ $U_{v0max}$ ”

Add, on page 41 at the end of 8.3.2, the following text:

Where  $U_{tav2}$  exceeds the maximum effective r.m.s. content of the valve operating voltage  $U_{vrms}$  by more than 15 %, the following alternative test procedure may be adopted:

Apply the test voltage  $U_{tav1}$  for 15 seconds and then  $U_{tav2}$  for 10 min. The value of partial discharge during the last minute of the 10 minute test shall not exceed 200 pC.

At the end of the 10 min test, reduce the test voltage to  $U_{tav3}$  and maintained at this level for 30 min, where:

$$U_{tav3} = k_9 \times U_{vrms}$$

where

$U_{vrms}$  is the maximum r.m.s. content of the valve voltage under the most severe continuous operating conditions.

Page 41

### 8.3.4 Valve switching impulse test

Replace the third paragraph by the following:

The positive polarity test shall be repeated with the valve electronics initially de-energized.

Page 51

### 9.3.1 Maximum continuous operating duty tests

This correction applies to the French text only.

Replace the equation by the following:

$$U_{tpv1} = U_{v0max} \times k_n \times k_{13}$$

Replace, the second line after the equation in 9.3.1, by the following:

$U_{v0max}$  is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

Page 50

### 9.3.1.1 Essai de tension d'allumage continue maximale

Remplacer les équations a) et b) par ce qui suit:

a)  $u_{fr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$

b)  $u_{fi} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\gamma + \mu)$

Remplacez les six lignes après les équations par ce qui suit:

où

$\alpha$  est l'angle de retard en régime établi correspondant à une telle condition de service du redresseur qui mène à la valeur la plus élevée de  $u_{fr}$ , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement continu.

$(\gamma + \mu)$  est la somme de l'angle d'extinction en régime établi et l'angle d'empiètement de commutation, correspondants à une telle condition de service de l'onduleur qui mène à la valeur la plus élevée de  $u_{fi}$ , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement continu.

Page 52

### 9.3.1.2 Essai de tension de rétablissement continue maximale

Remplacer les équations a) et b) par ce qui suit:

a)  $u_{rr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\alpha + \mu)$

b)  $u_{ri} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma$

Supprimer, à la deuxième ligne après l'équation b), la phrase:

« $k_c$  est le facteur de dépassement de commutation en sens inverse (voir 8.3.2);»

Remplacer les définitions de  $\alpha_{max}$ ,  $u_{max}$  et  $\gamma_{max}$  par ce qui suit:

$(\alpha + \mu)$  est la somme de l'angle de retard en régime établi et l'angle de rétablissement de commutation, correspondants à une telle condition de service du redresseur qui mène à la valeur la plus élevée de  $u_{rr}$ , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement continu.

$\gamma$  est l'angle d'extinction en régime établi correspondant à une telle condition de service de l'onduleur qui mène à la valeur la plus élevée de  $u_{ri}$ , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement continu.

Page 51

**9.3.1.1 Maximum continuous firing voltage test**

Replace equations a) and b) by the following:

a)  $u_{fr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$

b)  $u_{fi} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\gamma + \mu)$

Replace the six lines after the equations by the following:

where

$\alpha$  is the steady-state delay angle corresponding to the rectifier service condition that leads to the highest value of  $u_{fr}$ , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature;

$(\gamma + \mu)$  is the sum of the steady-state extinction angle and overlap angle corresponding to the inverter service condition that leads to the highest value of  $u_{fi}$ , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

Page 53

**9.3.1.2 Maximum continuous recovery voltage test**

Replace equations a) and b) by the following:

a)  $u_{rr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\alpha + \mu)$

b)  $u_{ri} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma$

Delete, on the second line after equation b, the following words:

" $k_c$  is the commutation overshoot factor (see 8.3.2);"

Replace the definitions of  $\alpha_{max}$ ,  $u_{max}$  and  $\gamma_{max}$  by the following:

$(\alpha + \mu)$  is the sum of the steady-state delay angle and overlap angle corresponding to the rectifier service condition that leads to the highest value of  $u_{rr}$ , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature;

$\gamma$  is the steady-state extinction angle corresponding to the inverter service condition that leads to the highest value of  $u_{ri}$ , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

Page 52

### 9.3.1.3 Essai thermique

Remplacer le titre de ce paragraphe par le titre suivant:

### 9.3.1.3 Essai d'échauffement

Remplacer l'équation par ce qui suit:

$$\sum \Delta V^2 = (1,75 + 1,5m^2) \times 2 \times U_{tpv1}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2 (\alpha + \mu)]$$

Remplacer la définition de  $\alpha_{\max}$  et  $u_{\max}$  par ce qui suit:

$\alpha$  et  $\mu$  correspondent au fonctionnement du redresseur ou de l'onduleur en régime établi pour qui la valeur  $U_{tpv1}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2 (\alpha + \mu)]$  est maximale, coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement continu.

Page 52

### 9.3.2 Essai en service temporaire maximal ( $\alpha = 90^\circ$ )

Remplacer l'équation par ce qui suit:

$$U_{tpv2} = U_{v0\max} \times k_n \times k_r \times k_{14}$$

Remplacer, page 54, la deuxième ligne après l'équation par ce qui suit:

$U_{v0\max}$  est la tension maximale à vide entre phases en régime établi sur le côté valve du transformateur.

Page 54

### 9.3.3 Essais sous tension alternative minimale

Remplacer l'équation et les définitions par ce qui suit:

$$U_{tpv3} = U_{v0\min} \times \frac{N_{tut}}{N_t} \times k_{15}$$

où

$U_{v0\min}$  est la tension minimale à vide entre phases en régime établi sur le côté valve du transformateur;

$N_{tut}$  est le nombre de niveaux de thyristors en essai, connectés en série;

$N_t$  est le nombre total de niveaux de thyristors connectés en série, y compris les niveaux redondants;

$k_{15}$  est le facteur de sécurité d'essai;

$k_{15} = 0,95$ .

Page 53

**9.3.1.3 Heat-run test**

*This correction applies to the French text only.*

*Replace the equation by the following:*

$$\sum \Delta V^2 = (1,75 + 15m^2) \times 2 \times U_{tpv1}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2 (\alpha + \mu)]$$

*Replace the text of definition  $\alpha_{\max}$  and  $u_{\max}$  by the following:*

$\alpha$  and  $\mu$  correspond to the rectifier or inverter steady-state service condition for which  $U_{tpv1}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2 (\alpha + \mu)]$  is maximum, coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

Page 53

**9.3.2 Maximum temporary operating duty test ( $\alpha = 90^\circ$ )**

*Replace the equation by the following:*

$$U_{tpv2} = U_{v0\max} \times k_n \times k_r \times k_{14}$$

*Replace, on page 55, the second line after the equation by the following:*

$U_{v0\max}$  is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

Page 55

**9.3.3 Minimum a.c. voltage tests**

*Replace the equation and definitions by the following:*

$$U_{tpv3} = U_{v0\min} \times \frac{N_{tut}}{N_t} \times k_{15}$$

where

$U_{v0\min}$  is the lowest steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

$N_{tut}$  is the number of series-connected thyristor levels under test;

$N_t$  is the total number of series-connected thyristor levels in a complete valve, including redundant levels;

$k_{15}$  is a test safety factor;

$k_{15} = 0,95$ .

### 9.3.3.1 Essai à angle de retard minimal

Remplacer l'équation par ce qui suit:

$$u_{fr} = U_{tpv3} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$$

Remplacer dans le deuxième alinéa « $\alpha_{\min}$ » par « $\alpha$ ».

Remplacer, page 56, dans le quatrième et dans le cinquième alinéa « $\alpha_{\min}$ » par «minimale  $\alpha$ ».

Page 56

### 9.3.3.2 Essai à angle d'extinction minimal

Remplacer la première équation par ce qui suit:

$$u_{ri} = U_{tpv3} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma$$

Remplacer la deuxième équation par ce qui suit.

$$t_{off} = \frac{\gamma}{360 \times f}$$

Supprimer la deuxième ligne après la deuxième équation.

Remplacer, à la troisième ligne après la deuxième équation « $\gamma_{\min}$ » par « $\gamma$ ».

Remplacer, dans l'avant-dernier alinéa, «pour la valeur  $\gamma_{\min}$  transitoire» par «pour la valeur minimale  $\gamma$  transitoire».

Remplacer, dans le dernier alinéa, «pour les valeurs de  $\gamma_{\min}$  à la fois en régime établi et transitoire» par «pour les valeurs minimales  $\gamma$  à la fois en régime établi et transitoire».

Page 56

### 9.3.4 Essai à manque de tension temporaire

Remplacer, page 58, l'équation par ce qui suit:

$$U_{tpv4} = U_{v0N} \times \frac{N_{tut}}{N_t} \times k_u \times k_{16}$$

Remplacer, page 58, à la quatrième ligne après l'équation « $n_t$ » par « $N_{tut}$ ».

Remplacer, page 58, à la cinquième ligne après l'équation « $n_v$ » par « $N_t$ ».