



**HAL**  
open science

## Etude de la représentativité d'un essai de vieillissement accéléré par un calcul de champs tridimensionnel

Sylvain Vitet, Laurent Krähenbühl, Sven Wanser, Khaled Ben Driss

► **To cite this version:**

Sylvain Vitet, Laurent Krähenbühl, Sven Wanser, Khaled Ben Driss. Etude de la représentativité d'un essai de vieillissement accéléré par un calcul de champs tridimensionnel. Modélisation numérique 3-D dans les systèmes électromagnétiques, Mar 1991, Gif-sur-Yvette, France. pp.127-134. hal-00418118

**HAL Id: hal-00418118**

**<https://hal.science/hal-00418118>**

Submitted on 17 Sep 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ETUDE DE LA REPRESENTATIVITE D'UN ESSAI DE VIEILLISSEMENT ACCELERE PAR UN CALCUL DE CHAMPS TRIDIMENSIONNEL

VITET Sylvain  
Ingénieur Chercheur

WANSER Sven  
Etudiant

ELECTRICITE DE FRANCE  
Direction des Etudes et Recherches  
1 Avenue du Général de Gaulle  
92141 CLAMART CEDEX

KRAHENBUHL Laurent  
Chargé de recherches CNRS

BEN DRISS Khaled  
Etudiant

LABORATOIRE D'ELECTROTECHNIQUE  
Ecole Centrale de Lyon  
36 Avenue Guy de Collongue  
69131 ECULLY CEDEX

## RESUME:

L'essai de vieillissement accéléré est utilisé par EDF pour qualifier les isolateurs composite utilisés sur son réseau. Cette communication justifie, grâce à des calculs de champs, l'emploi d'une maquette MT pour la qualification d'isolateur HT au cours de cet essai. Elle montre toutefois que pour la qualification d'appareils, à enveloppe synthétique, dotés de parties internes actives, l'utilisation d'une maquette est plus difficile.

De plus, la modélisation de la couche de pollution présente à la surface de l'objet en essai pendant certains cycles de l'essai de vieillissement accéléré, est nécessaire pour expliquer certaines des dégradations observées au cours de l'essai. Elle nécessite l'utilisation d'un code de calcul spécifique.

## 1 GENERALITES:

Electricité de France étudie depuis le milieu des années 70 les isolateurs et les enveloppes isolantes réalisées en matériaux synthétiques. De nombreux travaux ont été réalisés, en particulier sur les isolateurs composite [1], [2], [3], [4]. Ces matériaux synthétiques sont soumis au vieillissement naturel en service et risquent de perdre dans le temps leurs caractéristiques initiales. Aussi pour garantir que les propriétés des isolateurs ou des appareillages à enveloppe synthétique resteront suffisantes pendant au moins 30 ans (durée de vie présumée de ces isolations), un essai de vieillissement accéléré en laboratoire a été établi par EDF [5]. Cet essai simule le vieillissement naturel des isolateurs en reproduisant la majeure partie des contraintes subies en réseau, et susceptibles de les dégrader. L'isolateur est soumis pendant 5000 heures à un cycle de contraintes climatiques (pluie, chaleur, humidité, rayonnement, pollution par aspersion de brouillard salin), ainsi qu'à une tension 50 Hz

## SUMMARY:

An ageing test is used by EDF in order to qualify composite insulators used on its network. The electrical field calculation results exposed in this paper justify that qualification ageing tests for HV and EHV composite insulators can be carried out on an MV model insulator. Nevertheless, it is more difficult to use an MV model when polymeric housed switchgears with active internal parts are to be qualified.

Moreover, the pollution layer coating the surface of the test object during some cycles of the ageing test must be included in the model, if we want to explain some of the defects created during an ageing test. To achieve these calculations, a specific code must be used.

appliquée en permanence. L'avantage principal de l'essai de vieillissement accéléré est son coefficient d'accélération: l'expérience montre qu'un essai de 5000 heures (soit un peu plus de 6 mois) correspond à une contrainte d'environ 10 ans en réseau [1].

Nous allons dans cette communication souligner par deux exemples concrets, l'apport de la modélisation par un code de calcul de champs 3D pour l'étude des essais de vieillissement accéléré d'isolations synthétiques. Nous déterminerons tout d'abord la représentativité d'une maquette 20 kV utilisée pour les essais de qualification d'isolateurs HT. Dans une deuxième application, nous aborderons le cas d'un transformateur de courant. La dernière partie traitera de la prise en compte dans la modélisation de la couche de pollution créée sur l'objet en essai de vieillissement accéléré lors de la pulvérisation d'un brouillard salin.

## 2 VALIDATION D'UNE MAQUETTE MT POUR L'ESSAI D'UN ISOLATEUR COMPOSITE HT SOUS VIEILLISSEMENT ACCELERE:

Rappelons tout d'abord que les isolateurs composite sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine, ancré dans des parties métalliques d'extrémité et protégé par un revêtement en matériaux synthétiques. Ce revêtement peut être constitué d'un seul ou de plusieurs matériaux isolants (Figure 1).

Pour pouvoir être utilisé sur le réseau EDF, un isolateur doit subir différents essais de qualification dont un essai de vieillissement accéléré de 5000 heures [1]. Cet essai est réalisé dans une enceinte climatique, dont les dimensions ne permettent pas l'application d'une tension supérieure à 24 / 3 kV. On peut donc qualifier dans cette enceinte des isolateurs composite pour les réseaux MT français. Pour la qualification d'un isolateur composite destiné à un réseau de tension nominale supérieure à 20 kV, EDF a choisi de réaliser l'essai de vieillissement sur une maquette 20 kV de l'isolateur HT. Des règles précises sont établies pour la construction de ces maquettes [5]. La représentativité de cet essai a été établie en comparant les types et les formes des dégradations qui avaient été observées en laboratoire et au cours d'essais en conditions naturelles (en particulier dans les stations d'essais sous pollution naturelle de Saint-Rémy des Landes et de Martigues) : pour un type d'isolateur donné, les dégradations s'initient et se développent de manière identique au cours des deux essais. L'objectif de l'étude présentée dans cette partie est de montrer que les contraintes électriques subies par la maquette MT en essai de vieillissement accéléré sont similaires à celles subies par un isolateur HT en réseau (en conditions nominales).

La volonté de modéliser la maquette MT et l'isolateur HT dans leur environnement (salle de vieillissement accéléré, support ou conducteur en ligne), a conduit à retenir une modélisation par un code de calculs de champ tridimensionnel. Le code retenu est un code développé à l'Ecole Centrale de Lyon et fondé sur les équations intégrales de frontière: PHI3D [6]. Ce code permet le calcul de champs électriques ou magnétiques linéaires dans des structures tridimensionnelles.

### 2.1 Modélisation de la maquette MT:

La première étape consiste à déterminer une modélisation simplifiée de l'isolateur MT et de son environnement, qui reste une représentation fidèle de la réalité et n'altère pas les phénomènes physiques, mais dont le nombre d'inconnues soit inférieur à la limite imposée par l'ordinateur (actuellement, EDF réalise les calculs sur une station de travail HP 9000).

Si l'on ne prend pas en compte la modélisation de l'environnement d'essais de la maquette MT (i.e. si l'on ne modélise pas la salle d'essais, les autres isolateurs en essai à proximité de la maquette, ...), on constate que le dispositif à modéliser est axisymétrique. L'utilisation des symétries du problème a permis de le modéliser de façon très précise tout en respectant les contraintes de calcul. Cette modélisation très précise de la maquette MT a été considérée comme le modèle de référence. Ce modèle a permis de juger de la validité des simplifications qu'il était nécessaire d'apporter à la modélisation de la maquette pour pouvoir ultérieurement la modéliser dans son environnement d'essais (Figure 2).

Pour choisir des simplification pertinentes, on a étudié l'influence de:

- \* la forme des pièces métalliques d'extrémité de la maquette et des ailettes,
- \* du nombre d'ailettes modélisées,
- \* la modélisation du noyau.

Pour établir la validité d'une simplification, les résultats de calcul sur chaque modèle simplifié étaient comparés à ceux obtenus sur le modèle de référence, selon les critères suivants:

- \*comparer qualitativement les répartitions de potentiel et de champ dans un plan de coupe vertical passant par l'axe de l'isolateur,

- \*comparer quantitativement ces mêmes répartitions sur plusieurs lignes droites définies le long de l'isolateur (figure 3). Ces lignes sont définies dans la partie inférieure de l'isolateur, qui est la plus contrainte et dans laquelle l'étude de la répartition du champ et du potentiel est donc la plus intéressante.

- \*comparer quantitativement les valeurs de champ maximal.

Ces critères ont aussi été définis en fonction de la localisation et des types des principaux défauts rencontrés sur des isolateurs composite au cours d'essais de vieillissement accéléré [1].

Regardons par exemple l'influence du nombre d'ailettes modélisées. Deux cas ont été traités: le premier en modélisant la totalité des ailettes avec des bords arrondis (il s'agit du cas de référence); le second en ne modélisant que 3 ailettes (une près de l'électrode à la masse, deux près de l'électrode au potentiel). Les résultats de la comparaison montrent que la répartition du potentiel sur les deux ailettes inférieures (côté MT) est très proche dans les deux cas: l'erreur maximale sur la ligne 2 et sur la ligne 3 est inférieure à 0,2 % et de l'ordre de 4% sur la ligne 1 (figure 4). On peut donc ne modéliser qu'un nombre limité d'ailettes, sans altérer les résultats obtenus dans les parties intéressantes pour l'étude (ici près de l'électrode MT), mais en

diminuant de plus de 30% le nombre d'inconnues.

Plus généralement, l'étude de la modélisation de la maquette a permis de montrer que:

- \*les pièces métalliques d'extrémité peuvent être fortement simplifiées, mais les surfaces de contact électrodes-revêtement doivent être modélisées avec soin,

- \*l'on peut retenir une modélisation simplifiée des ailettes: forme symétrique avec extrémités aiguës,

- \*la modélisation d'un nombre limité d'ailettes, à proximité des électrodes est suffisante,

- \*la modélisation du noyau ( et donc d'une interface noyau-revêtement) n'est pas nécessaire.

La modélisation finale de la maquette MT dans son environnement est présentée à la figure 5. L'étude paramétrique sur la maquette MT a donc permis d'effectuer une modélisation 3D sans être gêné par la limite maximale du nombre d'inconnues.

## 2.2 Modélisation de l'isolateur HT en réseau:

Cette partie est consacrée à la modélisation d'un isolateur composite 400 kV. Comme dans le cas de la maquette MT, la modélisation 3D conduit à choisir des simplifications pertinentes. Seulement, dans le cas de l'isolateur, la réalisation d'un modèle axisymétrique "exact" n'est plus possible. Pour déterminer un modèle de référence de l'isolateur HT, on a choisi, a priori, de tenir compte des simplifications qui avaient été établies pour la maquette MT (modélisation simplifiée de la forme des ailettes et de leur nombre, pas de modélisation du noyau). Ce cas de référence a alors servi de base pour l'étude de la modélisation des constituants de l'environnement de l'isolateur HT en réseau: pièces de garde, présence et longueur du conducteur, longueur des pièces de fixation, pylône. On a par exemple montré qu'une modélisation très simplifiée du pylône était suffisante, mais indispensable. La modélisation retenue pour l'isolateur HT en réseau est présentée à la figure 6.

## 2.3 Validité de la maquette MT:

L'objectif principal de la modélisation de la maquette MT et de l'isolateur HT en réseau est de répondre à la question: "La maquette MT utilisée au cours de l'essai de vieillissement accéléré est-elle représentative de l'isolateur HT utilisé en réseau?". Pour répondre à cette question, on a comparé les résultats de calcul de PHI3D sur les modèles finals de la maquette MT et de l'isolateur HT. Les principaux critères de comparaison utilisés pour l'étude de la maquette MT ont été retenus. En particulier, pour la comparaison de potentiel, on a retenu la notion de champ moyen le long de différentes lignes (différence de

potentiel entre les deux extrémités de la ligne divisée par la longueur de la ligne).

En conclusion, les valeurs du champ moyen calculées soit à travers la première ailette (côté potentiel), soit à la surface supérieure de cette ailette sont du même ordre de grandeur pour les deux modèles (tableau 1). La modélisation par calcul de champs a donc permis de confirmer les résultats expérimentaux: la maquette MT est bien représentative de l'isolateur HT en réseau.

## **3 MODELISATION D'UN TRANSFORMATEUR DE COURANT:**

Ce second exemple de modélisation concerne un transformateur sec de courant moulé dans une résine et conçu pour le réseau MT. Contrairement à un isolateur, un tel matériel est, bien sûr, doté de parties métalliques internes. L'objectif du travail était de savoir si la réalisation d'un essai de vieillissement sur une enveloppe sans partie interne (appelée dans la suite du document postiche) était représentative, ou si l'essai devait nécessairement être réalisé sur un appareil complet. Par ailleurs, on souhaitait identifier les parties de l'enveloppe qui pourraient être le lieu privilégié d'éventuelles dégradations.

Comme pour l'étude la maquette MT d'isolateur, le problème est de nature 3D et a été résolu à l'aide du code PHI3D. La figure 7 présente une modélisation complète et détaillée du transformateur de courant. Cependant le nombre d'inconnues de cette modélisation est trop important pour permettre sa résolution. Une approche paramétrique identique à celle du problème précédent a donc été retenue pour diminuer le nombre d'inconnues.

Pour comparer les différentes modélisations du problème et valider les simplifications retenues, on a étudié les équipotentielles sur les surfaces du transformateur, ainsi que dans plusieurs coupes du problème. On a ainsi pu mettre en évidence qu'une modélisation simplifiée mais représentative du transformateur devait tenir compte de l'influence de la géométrie des conducteurs d'alimentation, en particulier de la longueur de leur projection horizontale. Au contraire l'influence de la forme des ailettes de l'enveloppe, ou celle des isolateurs situés à proximité du transformateur de courant sont négligeables.

La modélisation des parties actives internes à une influence considérable sur la répartition de E et de V à la surface du transformateur. Le primaire et le secondaire du transformateur doivent être modélisés avec précision. La figure 8 présente la répartition du potentiel pour une modélisation simplifiée (absence de secondaire et primaire simplifié). La figure 9 présente la répartition du potentiel pour le postiche. On constate que le gradient de potentiel est plus élevé sur les ailettes

dans le cas du transformateur complet que dans le cas du postiche.

Ce résultat, qui était prévisible, confirme la nécessité de réaliser les essais de vieillissement accéléré sur les matériels complets lorsqu'ils présentent des parties internes actives. Contrairement au cas des isolateurs composite, la qualification d'un appareil avec des parties internes actives à partir d'une maquette MT apparaît plus difficile à réaliser.

#### 4 PRISE EN COMPTE D'UNE COUCHE DE POLLUTION:

Au cours de l'essai de vieillissement accéléré, l'objet en essai est soumis à une pulvérisation de brouillard salin. Ce brouillard salin forme alors à la surface de l'objet en essai une couche conductrice, qui va être le siège de courants de fuite, d'arcs, ... Il s'agit du phénomène de pollution des isolations externes [7], [8]. Le passage du courant et l'apparition d'arcs vont contribuer aux dégradations des enveloppes synthétiques. Une localisation des zones de dégradations nécessite donc de prendre en compte dans la modélisation la couche conductrice formée à la surface de l'enveloppe.

Pour valider ces affirmations, une modélisation a été réalisée avec le logiciel PHI3D en représentant une couche de pollution par une surface équipotentielle, et en supposant que seules les surfaces supérieures des deux premières ailettes étaient recouvertes de pollution, alors que le reste de l'appareil était sec (Figure 10). En comparant les résultats de calcul, avec et sans couche de pollution (Figure 8), on note que les couches de pollution dévient les équipotentielles. Le gradient de champ devient donc très élevé près des deux extrémités des surfaces conductrices, i.e. dans les régions où ont pu être constatées des dégradations du matériau synthétique, lors d'essais.

Il est donc très probable que les dégradations observées sont liées aux gradients élevés déterminés par le calcul. La prise en compte d'une couche de pollution est donc particulièrement pertinente pour expliquer certaines dégradations observées sur les isolations synthétiques. Il faut cependant utiliser une modélisation plus fine que celle qui a été retenue pour le dernier exemple.

#### 5 CONCLUSION:

Cette communication a souligné par deux exemples concrets l'apport de la modélisation par un code de calcul de champs à l'étude de la représentativité d'un essai de vieillissement accéléré de matériels à enveloppe synthétique.

On a ainsi validé l'utilisation d'une maquette MT pour effectuer des essais de qualification d'isolateurs HT, et justifié d'effectuer les essais, non sur un postiche mais sur un matériel complet, dans le cas d'un transformateur de courant.

On a aussi mis en évidence l'influence du phénomène de pollution pour l'explication des dégradations observées sur des matériels soumis à un essai de vieillissement accéléré. Plus généralement, ce phénomène est la cause de nombreuses dégradations de matériels installés en réseau et est l'objet de nombreuses études au niveau international. EDF a donc décidé de disposer d'un code de calculs de champs permettant la modélisation de ce phénomène. Dans ce but, un modèle de conduction surfacique tridimensionnel est actuellement développé au Laboratoire d'Electrotechnique de Lyon avec le soutien d'Electricité de France.

#### Bibliographie:

- [1] A.CIMADOR, "Essai de vieillissement accéléré pour isolateurs en matériaux synthétiques", RGE, N°11, décembre 1990.
- [2] B.BEAUMONT, "Les isolateurs composite des lignes aériennes à très haute tension", EDF - Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Série B, N°4, 1979.
- [3] M.COJAN et coll. "Polymeric transmission insulators: their application in France, Italy, and in the UK.", CIGRE 1980, Paper 22-10, septembre 1980.
- [4] R.G.HOULGATE, D.A.SWIFT, A.CIMADOR, F.POURBAIX, G.MARRONE, P.NICOLINI, "Field experience and laboratory research on composite insulators for overhead lines", CIGRE 1986, paper 15-15, septembre 1986.
- [5] Code d'essai de vieillissement des isolateurs composite, HN 66E01, octobre 1989.
- [6] L.KRÄHENBÜHL et coll. "Etude d'une chambre de coupure au SF6; Analyse tridimensionnelle des contraintes électriques", Journées d'Etudes SEE "Développements récents des méthodes numériques appliquées aux machines électriques", mars 1987.
- [7] A.CIMADOR, S.VITET, "La pollution des isolations externes", Revue de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, Epure N°27, juillet 1990.
- [8] A.CIMADOR, S.VITET, "La pollution des isolateurs", EDF - Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Série B, à paraître.

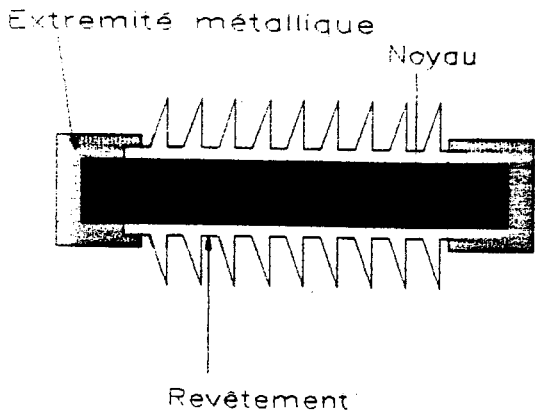


Figure 1: Schéma d'un isolateur composite

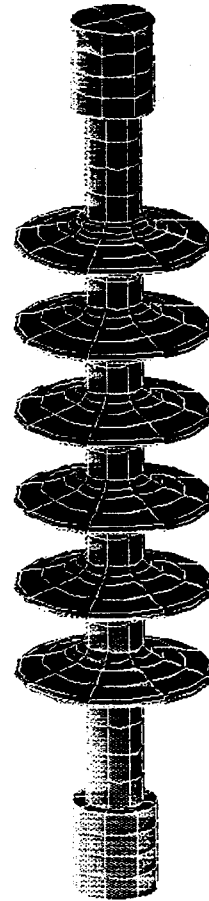


Figure 2: Modèle de référence axisymétrique de la maquette MT

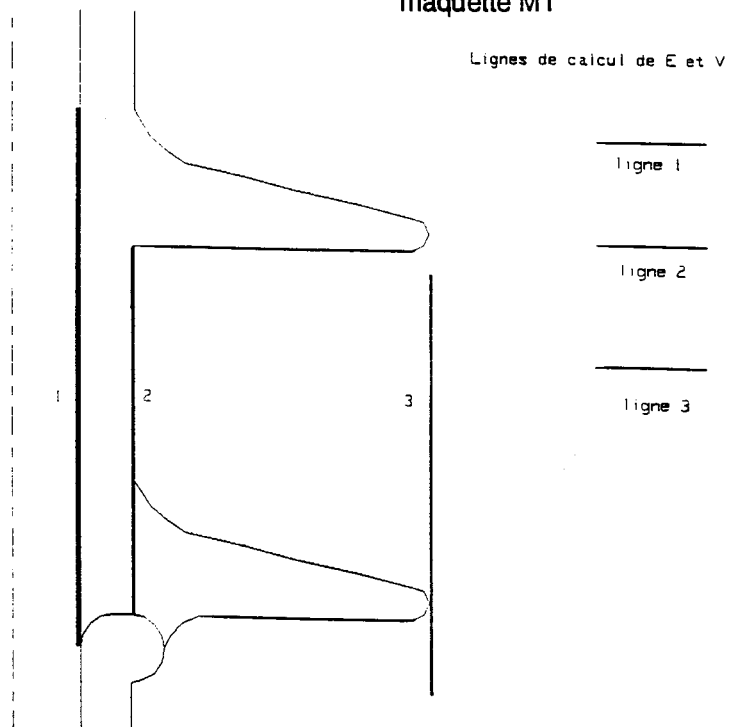


Figure 3: Définition des lignes retenues pour la comparaison du potentiel et du champ électriques sur différents modèles simplifiés

- 1 interface noyau - revêtement
- 2 base de l'ailette inférieure
- 3 extrémité des ailettes inférieures

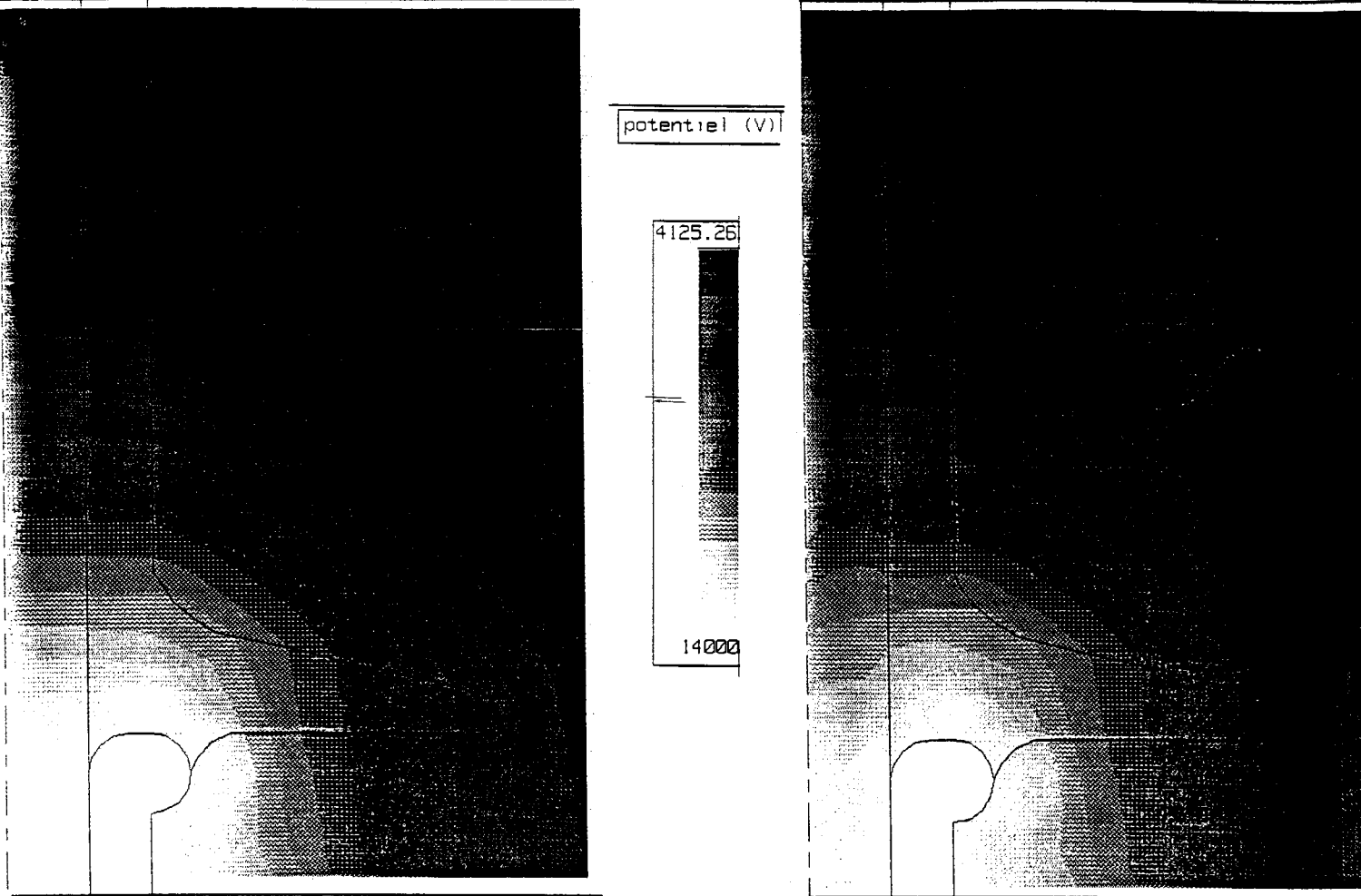


Figure 4: Comparaison de la répartition du potentiel sur deux modèles de la maquette MT; influence du nombre d'ailettes modélisées.

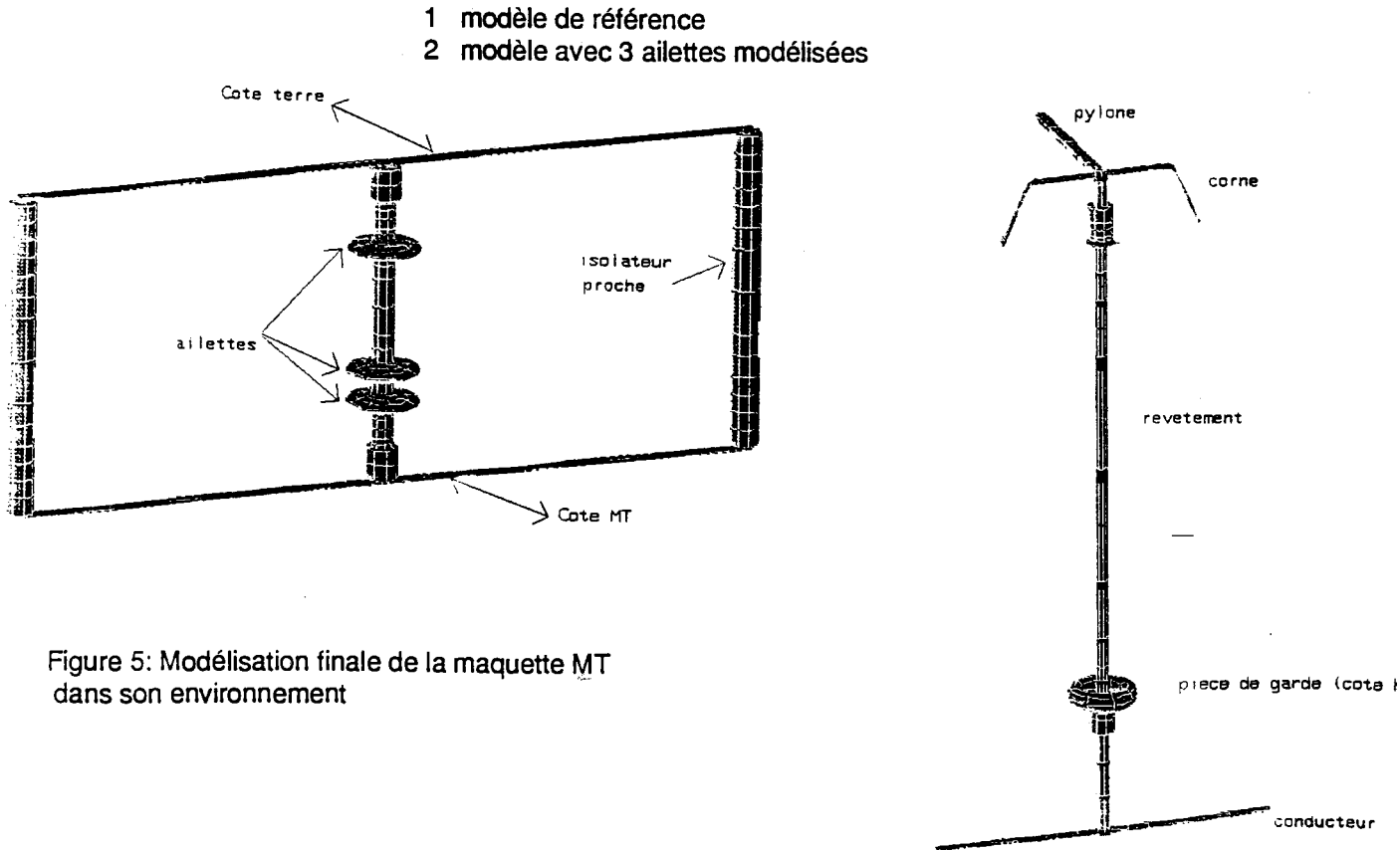


Figure 5: Modélisation finale de la maquette MT dans son environnement

Figure 6: Modélisation finale de l'isolateur HT en réseau

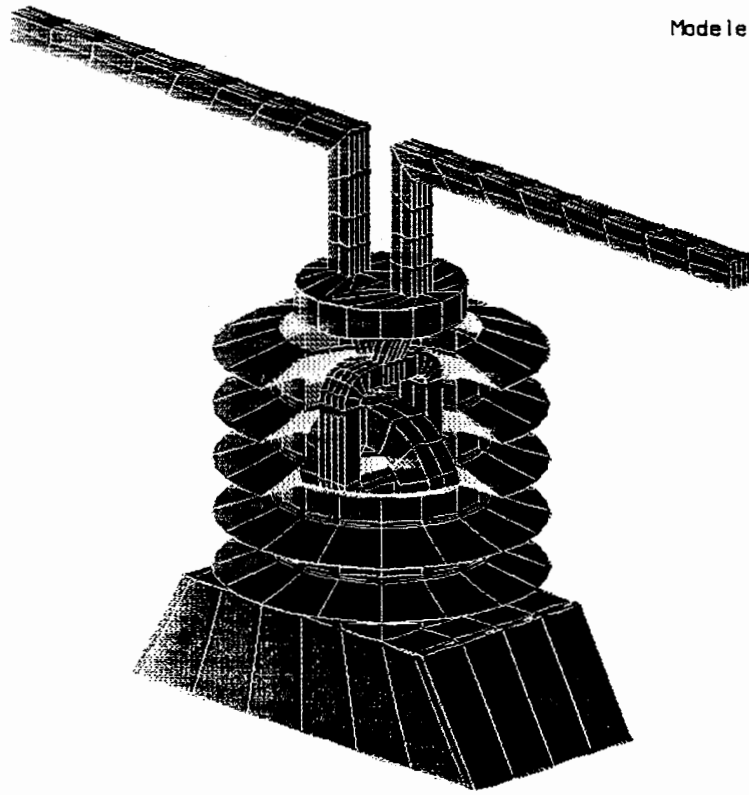


Figure 7: Modélisation détaillée du transformateur de courant

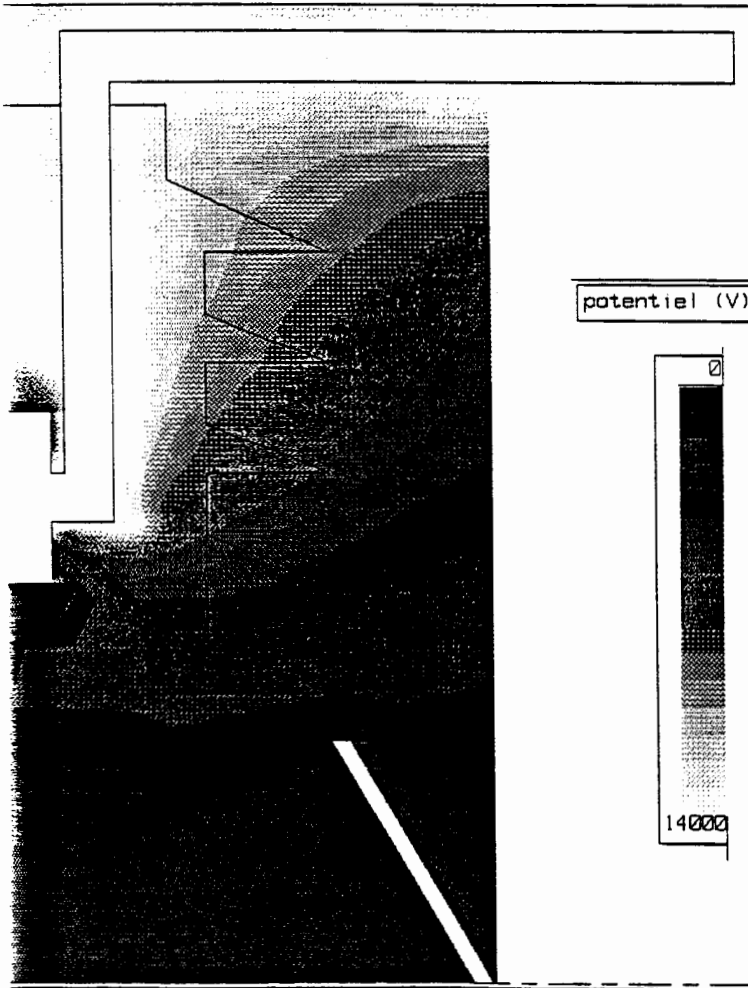


Figure 8: Répartition du potentiel dans le cas d'une modélisation simplifiée du transformateur de courant

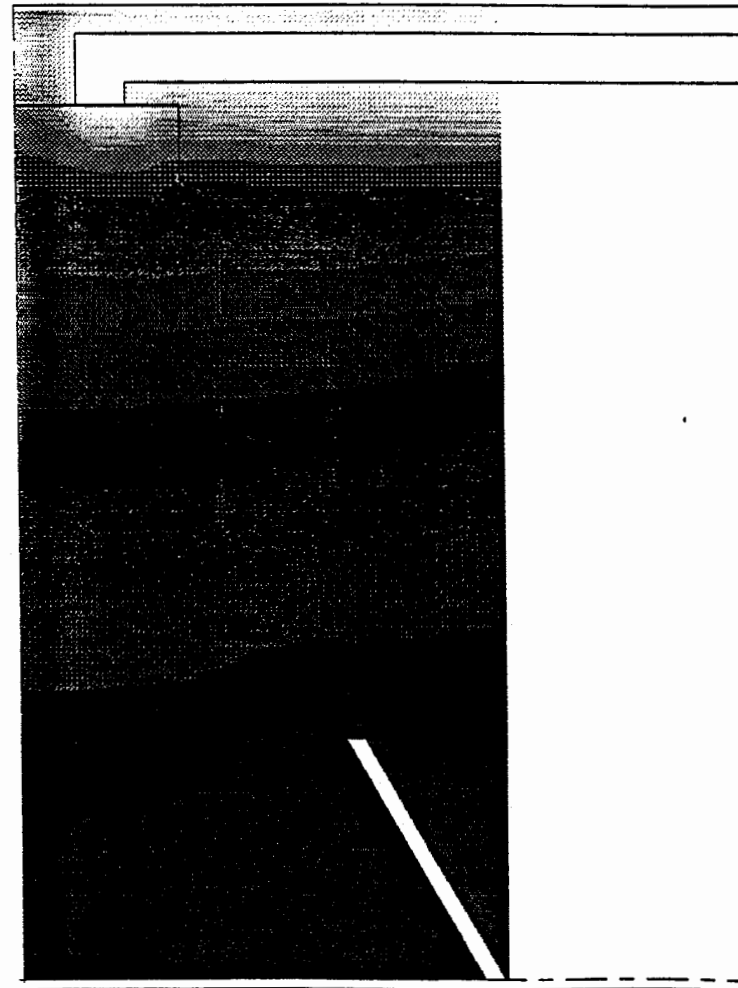


Figure 9: Répartition du potentiel dans le cas du postiche



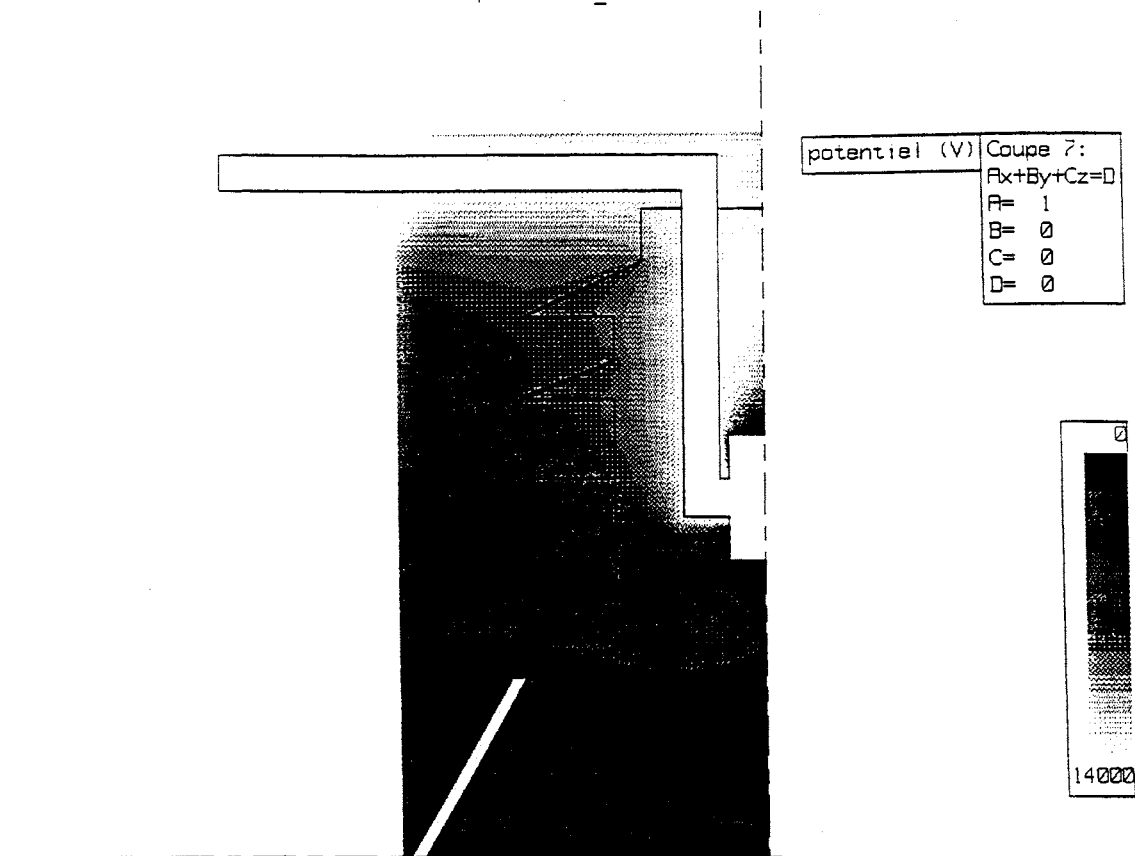


Figure 10: Répartition du potentiel dans le cas d'une modélisation simplifiée du transformateur de courant; prise en compte d'une couche de pollution

	Isolateur THT	Maquette MT
Hauteur (mm)	3400	450
Nombre d'ailettes	61	6
Diamètre des ailettes (mm)	165	98
Tension appliquée à 50 Hz (kV)	240	14
Environnement	Conducteur, pièces de garde, corne, pylône	Conducteur, mise à la terre, 2 autres isos
Champ moyen maximal à travers la 1ère ailette (côté tension) (kV/cm)	2,66	1,66
Champ moyen maximal à la surface de la 1ère ailette (kV/cm)	1,04	0,85
Module du champ maximal (kV/cm)	4,9	4,8

Tableau 1: Comparaison synthétique des résultats de la modélisation sur la maquette MT et l'isolateur HT.