

Courants de contact et quantification des incertitudes dans les modèles électromagnétiques

C. Geuzaine, V. Beauvois, P. Dular, R. Sabariego
(unité ACE)

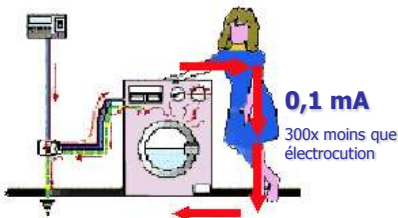
Jean-Louis Lilien, P.-P. Barbier
(unité TDEE)

Université de Liège

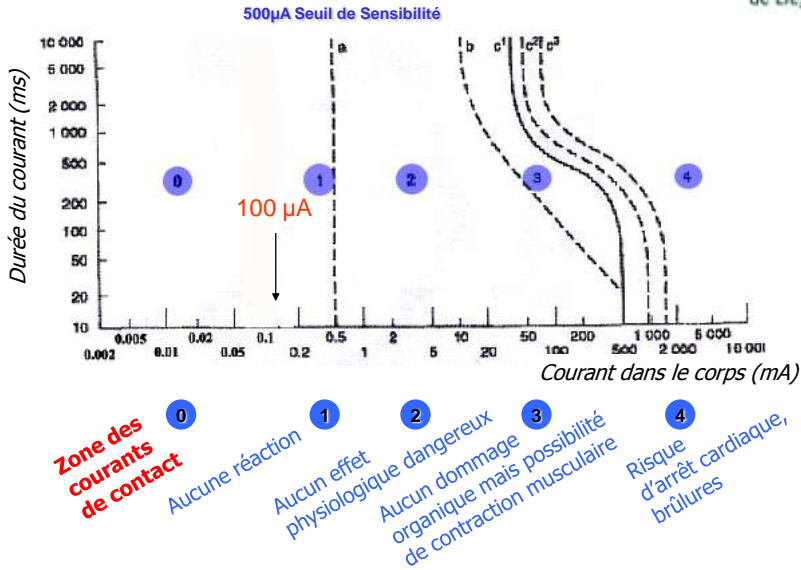
Courant de contact

→ Peut apparaître quand une personne touche 2 surfaces conductrices

→ Pas une électrocution



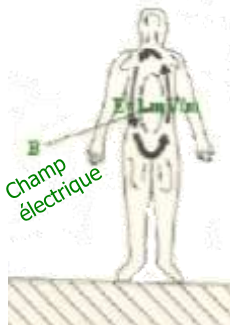
→ En fonctionnement normal : quelques μA



Champ magnétique

100 µT

1 mV/m



Champ électrique

10 kV/m

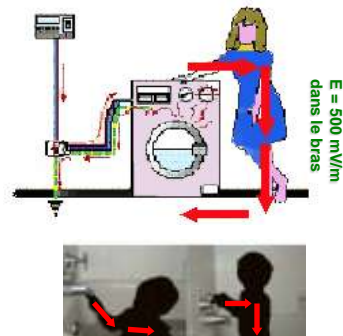
20 mV/m



Courant de contact

100 µA = 0,1 mA

500 mV/m



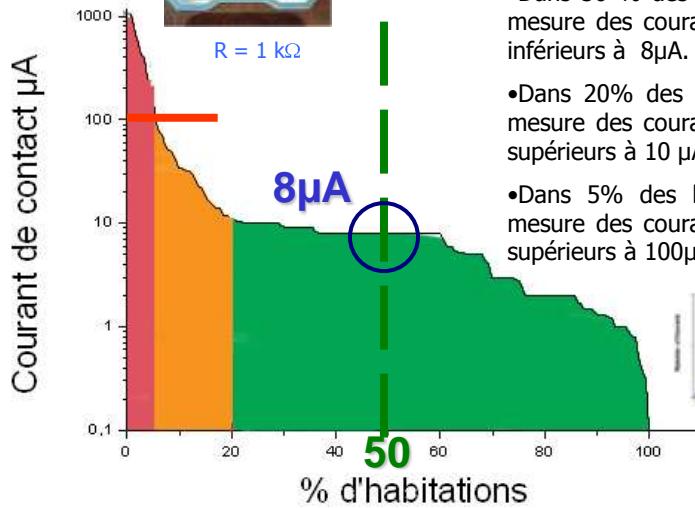
L'OMS estime que, en dessous de qq dizaines de mV/m, on reste dans le "bruit" biologique

Courant de contact – Mesures



$R = 1\text{ k}\Omega$

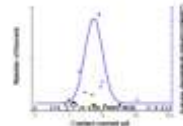
Total : 150 habitations
belges proches de lignes HT



- Dans 50 % des habitations, on mesure des courants de contact inférieurs à $8\mu\text{A}$.

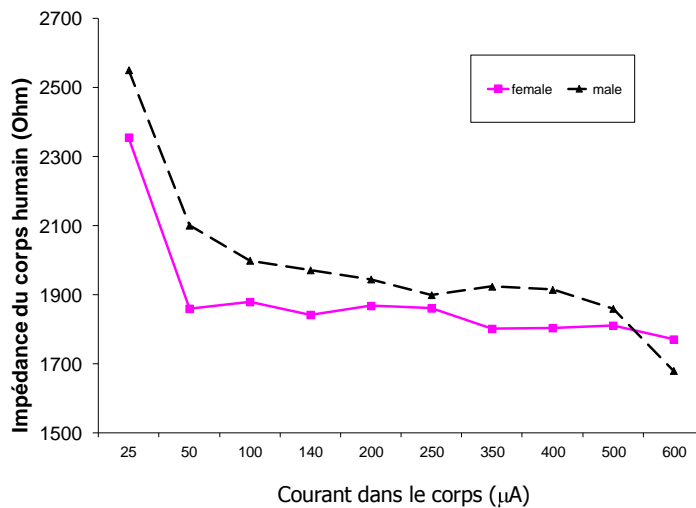
- Dans 20% des habitations, on mesure des courants de contact supérieurs à $10\mu\text{A}$

- Dans 5% des habitations, on mesure des courants de contact supérieurs à $100\mu\text{A}$

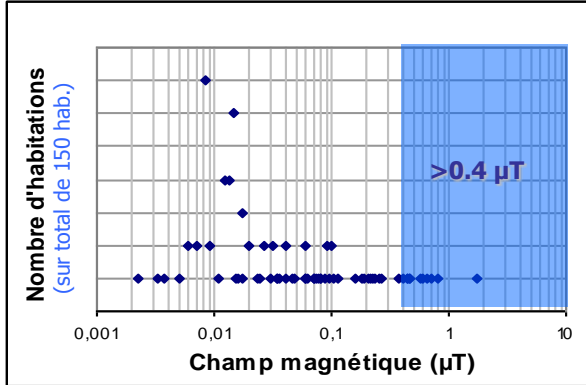


5

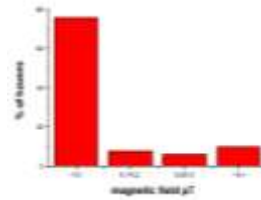
Résistance du corps humain – Mesures



6

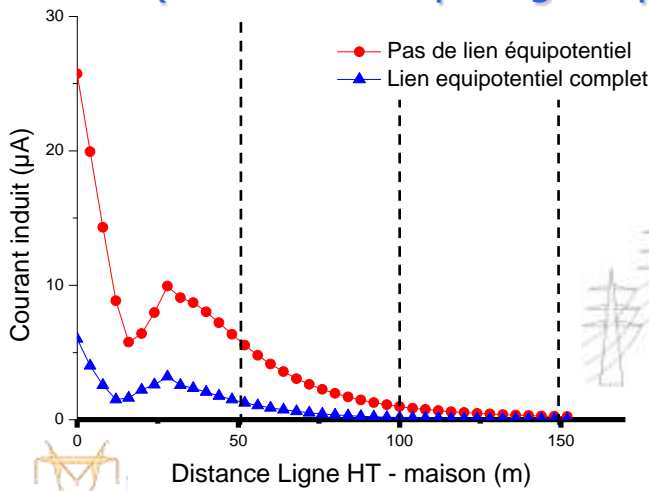


150 habitations belges proches de lignes HT

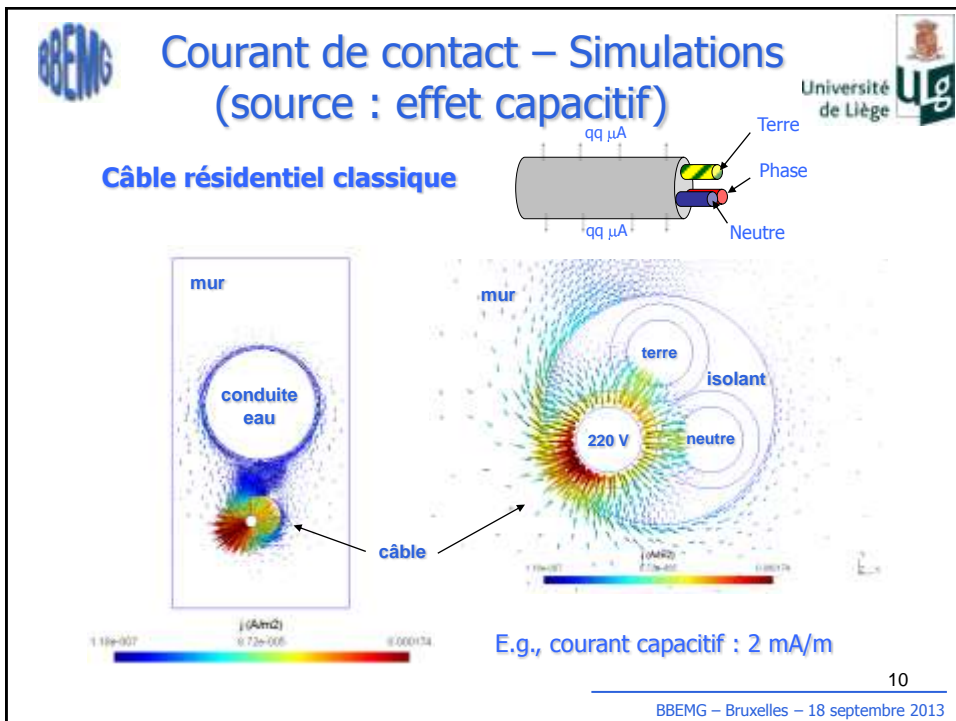
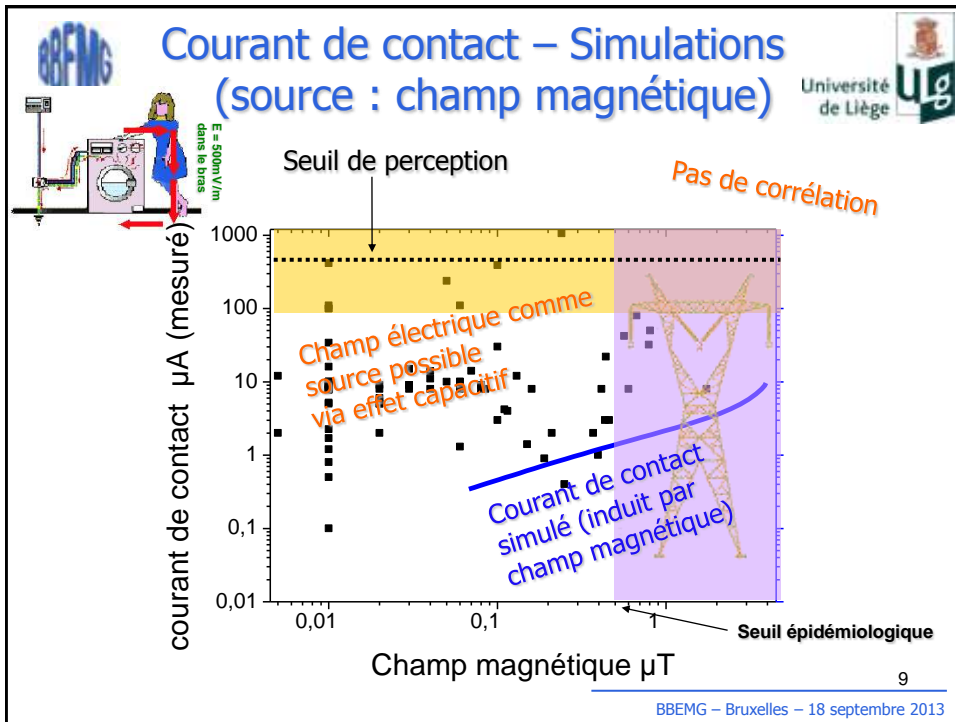


Champ magnétique > 0,4 µT : 10% habitations visitées
Valeur médiane : 0,02 µT

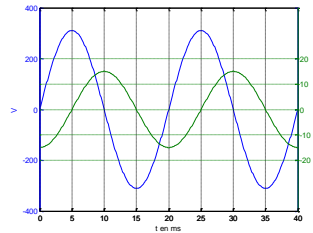
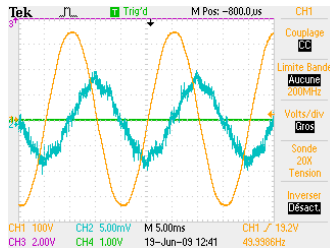
7



8

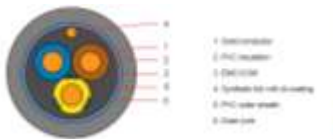


Câble résidentiel classique



Courant de fuite capacitif : entre 2 et 10 $\mu\text{A}/\text{m}$

Câble résidentiel gainé/blindé (VMVB)



**Courant de fuite capacitif :
négligeable**

11

BBEMG – Bruxelles – 18 septembre 2013

- Incertitudes sur les propriétés électriques des tissus humains
 - Etablir un **lien quantitatif** entre la valeur des **courants** dans le corps humain et la valeur du **champ électrique interne** requiert la connaissance de la conductivité électrique des tissus humains, qui est complexe à mesurer/estimer
 - **Objectif** : quantifier comment les incertitudes sur les conductivités influencent les valeurs du champ électrique interne et les densités de courant
 - Les tissus humains sont hautement hétérogènes, éventuellement anisotropiques, avec des propriétés qui dépendent de l'âge, de conditions physiologiques, et qui changent rapidement après la mort
 - Les mesures effectuées in vitro peuvent ne pas être représentatives ; les mesures in vivo sont en général effectuées sur des animaux
 - Les estimations numériques ne sont pas concluantes
 - Bases de données de propriétés mesurées, remises en question (techniques diverses de mesures)

12

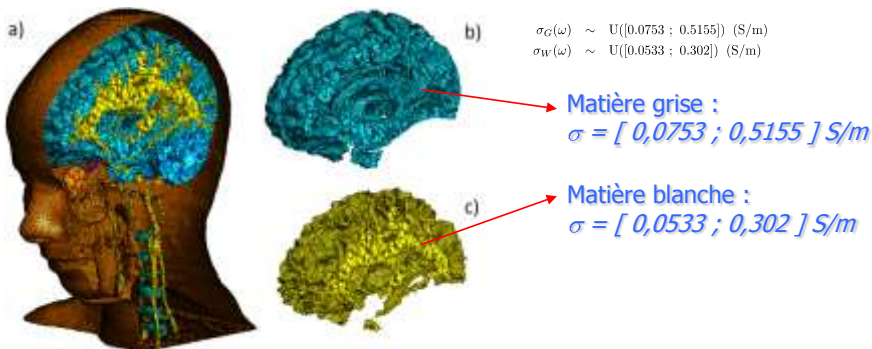
BBEMG – Bruxelles – 18 septembre 2013

- Approche classique : méthode de *Monte Carlo*
 - Génération aléatoire de propriétés dans des intervalles donnés (distribution de probabilité sur les données)
 - Calculs déterministes avec chaque jeu de données
 - Agrégation des résultats de calculs : distribution de probabilité des résultats
 - Inconvénient : très grand nombre de calculs requis, trop lourd pour des modèles réalistes (plusieurs semaines de calcul)
- Approche développée et appliquée
 - Solveur probabiliste ("Méthode de chaos polynomial non-intrusif", "variables aléatoires") couplé aux logiciels maison GetDP/Gmsh
 - Temps de calcul significativement réduit (quelques heures ou même minutes)
 - Modèles réalistes du corps humain

13

BBEMG – Bruxelles – 18 septembre 2013

Incertitude sur la conductivité (σ) des tissus humains



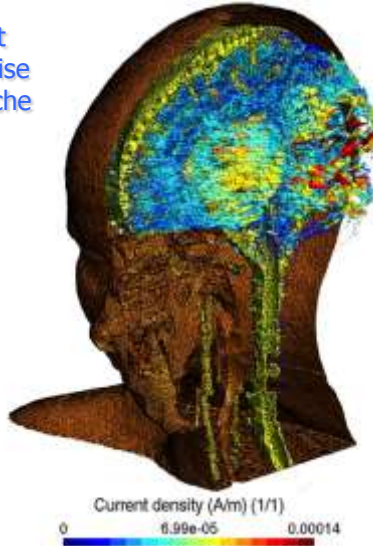
Maillage de la tête : 300 000 noeuds, 27 tissus

14

BBEMG – Bruxelles – 18 septembre 2013

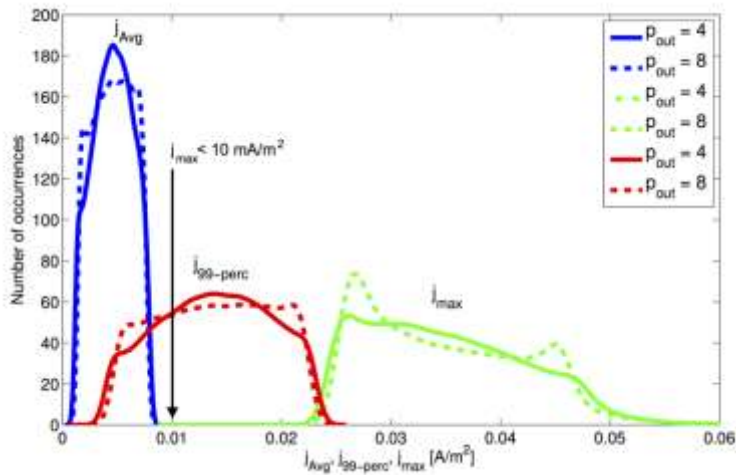
Densité de courant dans la matière grise et la matière blanche

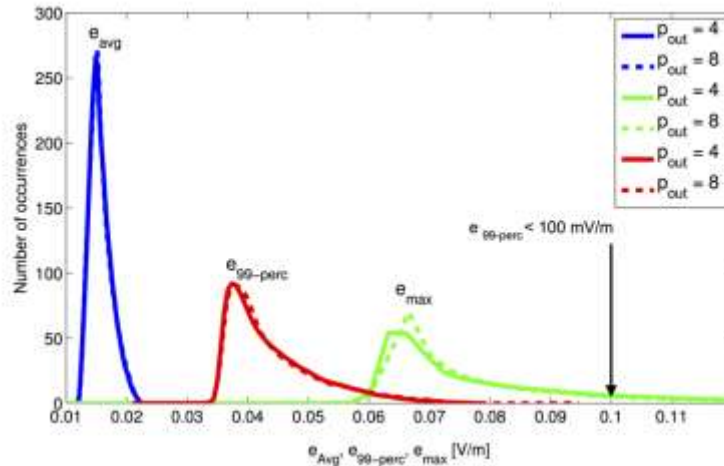
La probabilité de dépasser des seuils de champ sélectriques et de courants peut être calculée



Densité de courant dans la matière grise

Exemple : $I = 1000$ A (50Hz) proche de la tête



Densité de courant
dans la matière blanche
Exemple : $I = 1000 \text{ A}$ (50Hz) proche de la tête

17

BBEMG – Bruxelles – 18 septembre 2013

- En Belgique, les **courants de contact** sont la **cause la plus probable de champ électrique élevé dans le corps humain**
- Habitations belges proches de lignes HT : courant de contact moyen mesuré de **$7\mu\text{A}$ (pas de problème)**
- **5%** des habitations ont des courants de contact supérieurs à **$100\mu\text{A}$, niveau insensible mais à corriger**
- Pas de différence entre les Etats-Unis et la Belgique au niveau des valeurs de courant de contact malgré des différences significatives au niveau des installations électriques
- **Corrélation très limitée**, sauf cas particulier, entre le courant de contact et le **champ magnétique** (mesures et calculs)
- Les mesures montrent que les courants de contacts sont dûs principalement aux **effets capacitifs** entre les câbles électriques et les conduites d'eau ; confirmation par calculs

18

BBEMG – Bruxelles – 18 septembre 2013