

UNIVERSITE DE LA POLYNESIE FRANÇAISE

DOSSIER D'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

De la décharge de laboratoire à la décharge atmosphérique

Présenté à Punaauia le 21 août 2007 par
M. Pascal ORTEGA

Composition du jury

- Professeur Alain TOUREILLE, Université de Montpellier (**rapporteur et Président**)
- Professeur Gérard Touchard, Université de Poitiers (**rapporteur**)
- Professeur Jean-Luc FRANCESCHI, Université de Toulouse (**rapporteur**)
- Professeur Jean-Pierre Barriot, Université de la Polynésie française
- Docteur Eric Defer, Chercheur à l'Observatoire de Paris (LERM)

Table des matières

1. Curriculum vitae

- 1-1 Etat civil
- 1-2 Titres universitaires
- 1-3 Fonctions
- 1-4 Charges d'enseignement
- 1-5 Charges administratives (de 1994 à 2006)
- 1-6 Laboratoire d'affectation
- 1-7 Thèmes de recherche
- 1-8 Historique de mes activités d'enseignant-chercheur

2. Description des travaux de recherche 1992-2007

- 2-1 Etude fondamentale sur les décharges électriques - Généralités
- 2-2 Décharges atmosphériques
- 2-3 La rosée comme ressource alternative d'eau potable
- 2-4 Projets de recherche et d'intégration à des équipes

3. Publications et Communications

4. Activités "d'animation de la Recherche"

5. Activités d'encadrement

- 5-1 Encadrement de thèses de doctorat
- 5-2 Encadrement de stages de fin d'étude, DEA ou Master 2 (6 mois)
- 5-3 Encadrement de stages de maîtrise ou 4^{ème} année d'Ecole (2 mois)

6. Jurys de thèses, referee, expertise, Rapports

7. Activités internationales

- 7-1 Séjours à l'étranger

8. Collaborations

9. Information et vulgarisation scientifiques

10. Proposition de Jury pour l'HDR

11. Annexe : copie de publications

1. CURRICULUM VITAE

1-1 Etat civil

Pascal Ortéga

Né le 27 mars 1962 à Oujda (Maroc)

Nationalité française, Marié, 2 enfants

Domicile : BP 381 466 98718 Punaauia, Polynésie française

Tél : ++689 419392 Mel : Pascal.Ortega@upf.pf

1-2 Titres universitaires

Doctorat (Génie Electrique) de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, juin 1992

"Comportement diélectrique de grands intervalles d'air soumis à des ondes de tension de polarité positive ou négative"

DEA physique des plasmas du CPAT de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, juin 1989

"Etude de l'instabilité de décroissance paramétrique dans l'interaction laser-matière"

1-3 Fonctions

1989 - 1993 : ALER puis ATER à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

1993 : stage post-doctoral à l'University of Wales, College of Cardiff

1994 : Maître de Conférences (63^{ème} section) à l'Université de la Polynésie française (UPF)

De 1994 à 2000 : chercheur isolé à l'UPF

De 2000 à 2007 : membre du Laboratoire Terre-Océan (LTO, Equipe d'Accueil)

1-4 Charges d'enseignement

Actuellement à l'UPF :

Electromagnétique (CM et TD des semestres 1 à 6 en Licence Sc. Physique)

Optique physique (CM et TD en L3)

Electronique (TP en L3)

Electronique médicale (CM TD en PCEM1)

Depuis 1990 (UPPA et UPF):

Quasiment tous les enseignements du DEUG SM à l'exception de la thermodynamique.

- Mécanique du point et du solide

- Optique (géométrique et physique)

- Electronique (analogique et numérique)

- Physique atomique et nucléaire

- Notions de Relativité et de mécanique quantique

Ondes et Vibrations à l'IUFM de la Polynésie française

Réalisation d'une quinzaine de Travaux pratiques en physique et électronique à l'UPF (10 TP de L3 et 5 TP originaux pour les sciences de la Vie)

1-5 Charges administratives (de 1994 à 2006)

Responsable Pédagogique du DEUG Sciences de la Matière (2 ans)

Membre du Conseil Administratif de l'UPF (3 ans)

Membre du Conseil Scientifique de l'UPF (depuis septembre 2006)

Membre de la commission de spécialistes n°4 (depuis 2000)

1-6 Laboratoire d'affectation

Membre du Laboratoire Terre Océan (LTO) de l'Université de la Polynésie Française depuis 2000. Ce laboratoire est issu d'un regroupement de 5 chercheurs de disciplines variées : 1

géophysicien, 2 physiciens et 2 informaticiens. Le champ des thèmes étudiés est relativement large mais reste centré autour d'un dénominateur commun à savoir la compréhension et la prise en compte de l'environnement et des risques naturels en Polynésie Française.

1-7 Thèmes de recherche

Décharges électriques de laboratoire (étude expérimentale et modélisation)
Décharge électrique atmosphérique (détection, prévention, analyse du signal)
Foudre et Météorologie dans le Pacifique
Production d'eau potable à partir de la rosée

1-8 Historique de mes activités d'enseignant-chercheur

- Juin 1992 je présente ma thèse sur les décharges électriques grandes distances dans l'air.
- 1992-94 : je suis enseignant et chercheur au LGE de l'Univ. de Pau et je travaille sur la décharge électrique en polarité négative. Dans le cadre d'un stage post-doctoral de 6 mois je travaille au LHT de Cardiff sur l'amorçage des petits intervalles d'air soumis à des chocs foudre.
- 1994, j'intègre l'UPF où je dispense des nouveaux cours et finis de publier les travaux engagés à Pau.
- 1995, je me rends pendant 2 mois à l'Université de Tucuman (Argentine) où je travaille sur la mesure des ions dans l'air en vue d'une étude sur les premières couronnes.
- 1995-1998, je me consacre à mes enseignements à l'UPF où je monte une quinzaine de Travaux Pratiques originaux et bien adaptés aux enseignements dispensés et rédige de nouveaux cours.
- 1998 je démarre mes études sur la foudre en PF
- 1998-2003 en collaboration avec les Univ. de Munich et Tucuman nous organisons une dizaine de campagnes de mesures relatives à l'effet couronne dans l'air sous des impulsions de tension.
- 2000, j'intègre l'équipe Terre-Océan, et propose d'étudier l'activité électrique des orages à Tahiti
- 2003-2005, je monte un réseau de localisation des coups de foudre à Tahiti.
- 2003-2004, je travaille en collaboration M. Daniel Beysens (CEA/CNRS) sur la production d'eau potable à partir de la rosée
- 2006, je démarre une collaboration avec M. Philippe Ricaud (Lab. d'Aérodynamique de l'UPS de Toulouse) sur la chimie atmosphérique en relation avec l'électricité atmosphérique.

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX DE RECHERCHE 1992-2007

2-1 Etude fondamentale sur les décharges électriques - Généralités

La principale motivation de ces études est de caractériser la perte de rigidité diélectrique totale ou partielle d'un intervalle d'air soumis à une impulsion de tension. L'établissement d'un canal conducteur (arc) entre les 2 électrodes se fait de façon progressive aussi bien dans le temps que dans l'espace. On utilise généralement une configuration d'électrodes pointe-plan pour imposer un sens de propagation au canal de pré-décharge, le leader, qui précède le court-circuit. Le leader se propage de la région de champ élevé, la pointe, vers le plan. Le leader est un canal faiblement ionisé (électrons et ions positifs), relativement bon conducteur et chaud ($T > 1500\text{K}$). Il doit son développement à une autre phase, le "streamer". Le streamer est un front d'ionisation s'auto propageant dans des conditions de champ bien déterminées. Son développement conduit à la formation de filaments relativement froids ($T = 300\text{K}$) et faiblement conducteurs. Dans le cas du leader positif (propagation vers des potentiels décroissants) les streamers positifs se développent depuis l'extrémité libre du leader, qu'on appelle le stem, et occupent une espèce de cône qu'on appelle la couronne. Tant que la tension appliquée croît, le développement de couronnes se succède, les streamers ionisent l'air vierge et contribuent à l'allongement de canal du leader qui évacue les charges vers l'anode (Figure 1, gauche). Le stem est une phase de transition entre streamer et leader.

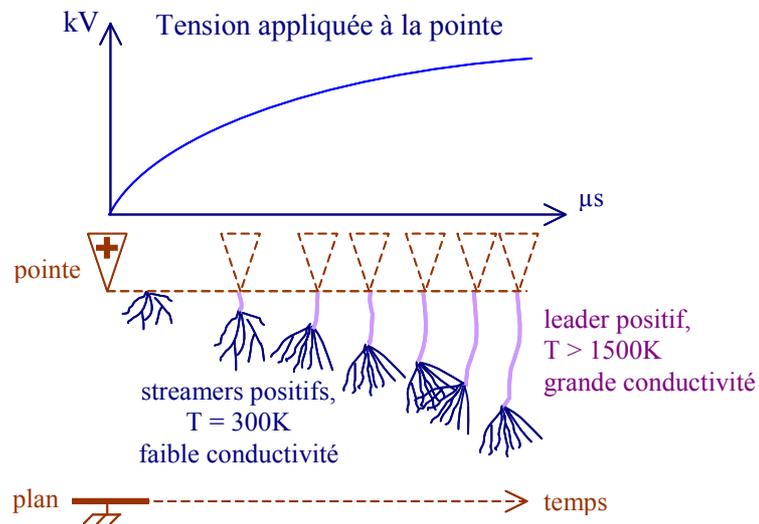


Figure 1 : développement de la décharge électrique positive avec la tension appliquée à l'anode

Pour le leader négatif (propagation vers des potentiels croissants) le mécanisme de propagation est plus complexe et pas parfaitement décrit. On y observe des streamers positifs

et négatifs émis depuis un stem spatial déconnecté du leader et, sur de grandes distances, un leader spatial bi-directionnel (ou bipolaire) participe au développement de la pré-décharge (Figure 2). Le stem spatial, composé d'ions négatifs et positifs semble être créé à l'extrémité des couronnes. Ce stem spatial peut dégénérer en bi-leader spatial (Figure 2). Il est alors intéressant de bien connaître les mécanismes de propagation du canal de décharge afin de proposer des modèles capables de prévoir les conditions d'amorçage d'un intervalle pour différentes situations (forme et polarité de la contrainte de tension, géométrie de l'intervalle et paramètres atmosphériques).

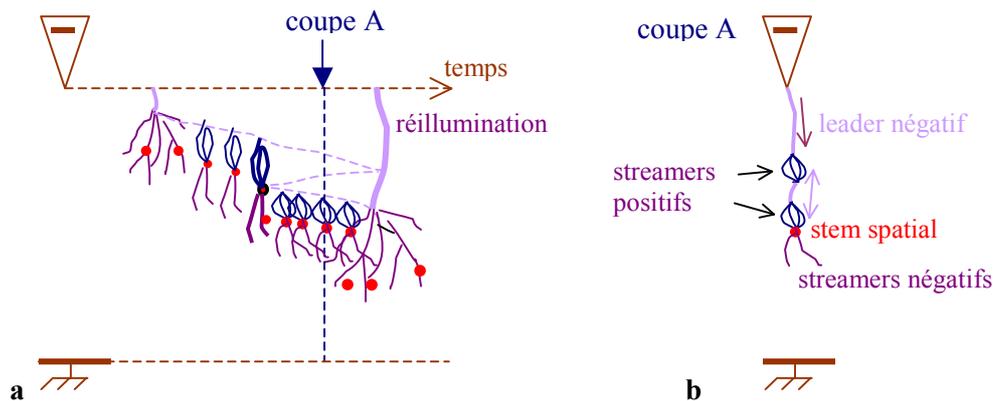


Figure 2 : développement de la décharge électrique négative **a)** temporel, **b)** instantané

D'une manière générale, l'étude expérimentale consiste principalement en des mesures électriques, mesures de tension, de courant, de charges et de champ électrique. Suivant la longueur de l'intervalle inter-électrode, les tensions varient de quelques dizaines de kilovolts à plusieurs mégavolts. Les courants, suivant les phases de la décharge, varient de quelques milliampères à quelques centaines d'ampères. Les temps associés aux différentes phases sont souvent à la limite de résolution de nos appareils de mesure (quelques centaines de picosecondes) mais ne dépassent jamais la milliseconde. Les mesures électriques sont souvent complétées par des mesures optiques. Des photomultiplicateurs sensibles dans l'UV ou l'IR ainsi que les convertisseurs d'images, fournissent des diagnostics fondamentaux pour l'étude phénoménologique. Entre 1990 et 2003 j'ai mené des campagnes de mesures dans les laboratoires haute tension des universités de Munich, de Cardiff et de Tucuman ainsi qu'au *LHT* des Renardières de *EDF*. J'ai été membre du Laboratoire Génie électrique de Pau, en tant que doctorant (3.5 ans), puis en tant qu'*ATER* (2 ans).

Au *LHT* de Pau, la plupart des instruments sont conçus au laboratoire. En particulier la mesure de courant (ou de charge) demande des précautions particulières. Elle est réalisée à partir de l'électrode haute tension et les impulsions enregistrées présentent des durées de front

inférieures à la nanoseconde et des crêtes qui peuvent atteindre l'ampère. Enfin, des mesures un peu particulières, comme la strioscopie [18] et l'interférométrie [15], ont été développées dans ce laboratoire (Figure 3). Ces techniques de mesure ont pour objectif de visualiser l'empreinte thermique du canal de décharge, la première de façon qualitative, la seconde permettant une réelle mesure de la densité des neutres dans le canal.

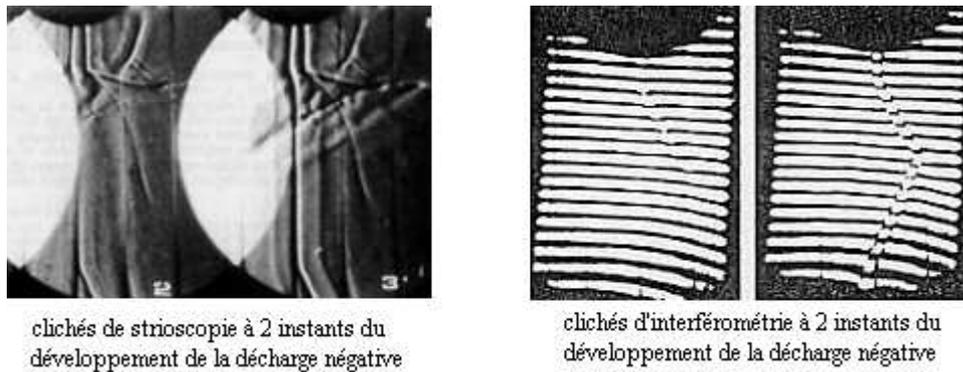


Figure 3 : mesures strioscopiques et interférométriques

Décharge positive grande distance (LHT Munich)

Mon travail de thèse a porté principalement sur l'étude des décharges électriques positives sur un intervalle de 2,2 mètres soumis à des impulsions de tension oscillantes. Des oscillations de fréquence variable étaient superposées à une impulsion de tension afin de "chahuter" la propagation de la décharge. Ces perturbations m'ont permis de mettre en évidence le comportement des phases leader et streamer dans des champs électriques perturbés. J'ai proposé un modèle original capable de prévoir les paramètres d'amorçage de l'intervalle pour une large gamme de forme d'impulsion de tension [1, 12, 13]. Ce modèle s'appuie sur la relation tension-charge mise expérimentalement en évidence et qui caractérise la propagation du leader. Le modèle a été testé sur d'autres configurations d'électrodes et sa validité est acquise pour des intervalles supérieurs à 2 mètres.

Décharge négative – Décharge foudre (LHT Les Renardières)

J'ai également engagé une étude sur la décharge négative que j'ai poursuivie au-delà de ma thèse grâce à un poste d'ATER. J'ai tout d'abord participé à une campagne de mesures sur la décharge négative au LHT Les Renardières (EDF). Ce laboratoire dispose d'un générateur de Marx de 6MV (450kJ) qui permet de développer des décharges sur un intervalle pointe plan de 17 mètres. L'objectif de cette campagne était de comparer les caractéristiques des décharges de laboratoire avec celles de la décharge atmosphérique entre nuage et sol (foudre). En laboratoire, lorsque l'intervalle est suffisamment grand, le stem spatial en aval de la

décharge peut dégénérer en leader. Il s'agit alors d'un leader "spatial" connecté à l'électrode uniquement par l'intermédiaire de streamers. Son développement est bi-directionnel et lorsqu'il connecte le leader négatif, il engendre une importante élongation du canal de décharge. C'est ce mécanisme qui confère à la décharge négative une propagation discontinue caractéristique et que les scientifiques de la foudre qualifient de "traceur par bonds" ou "stepped leader". Les mesures ont permis de mettre en évidence des relations évidentes entre les décharges de laboratoire et la décharge de foudre avec, bien évidemment, des écarts sur les ordres de grandeur des différents paramètres [2, 14].

Etude du stem spatial (LHT de Pau)

Sur des intervalles plus réduits, de l'ordre du mètre, je me suis appliqué à étudier en détail le développement du stem spatial. Des enregistrements photographiques au convertisseur d'images, associés à des mesures de courant, ont permis de décrire les processus de formation et de propagation du stem spatial. Ce stem, formé dans la trace des streamers de la première couronne négative, se comporte comme une électrode flottante en émettant de façon alternée des streamers négatifs, vers l'anode plane, et de streamers positifs connectés à la cathode via le leader négatif. Son activité, en termes d'émission de streamers, est régulée par les variations du champ électrique extérieur d'une part, et par son temps de relaxation d'autre part. Nous avons donc déterminé la forme de l'impulsion de tension qui conduit à une propagation quasi continue du stem spatial (Figure 4). Dans ces conditions nous avons pu mesurer les vitesses de propagation et les quantités de charges "consommées" par les différents éléments de la décharge. Ce travail a coïncidé avec le stage de *DEA* et le début de la thèse de M. Thierry Reess [3, 16, 20].

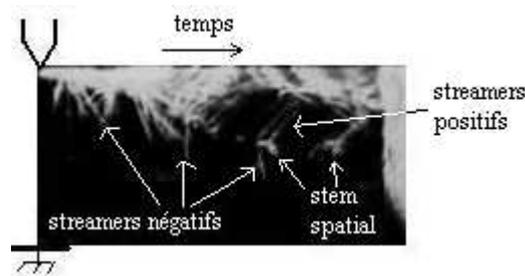


Figure 4 : développement spatio-temporel du stem spatial

Correction atmosphérique sur les paramètres d'amorçage (LHT Cardiff)

Dans le cadre d'un stage post-doctoral au LHT de l'Université de Cardiff, j'ai entièrement monté une manipulation destinée à tester la tenue diélectrique d'un petit intervalle d'air en fonction de la pression, de l'humidité et de la température. Cette étude présente un caractère

plutôt industriel mais nous avons tenté de mettre nos connaissances sur la physique de la décharge, au service de l'ingénieur pour élaborer un facteur de correction des paramètres d'amorçage en fonction des paramètres atmosphériques. Les systèmes haute tension sont généralement testés en laboratoire pour déterminer les contraintes électriques maximales qu'ils peuvent subir. Les conditions climatiques du laboratoire où sont réalisés les tests peuvent être très différentes de celles du lieu où le système sera installé. Ceci entraîne, soit des essais plus complexes en laboratoire (reconstitution des conditions climatiques prévues), soit un surdimensionnement des équipements. Dans les deux cas des coûts importants sont engagés. Durant ce stage de 6 mois, j'ai travaillé avec un étudiant de l'Université de Swansea qui débutait sa thèse. Nous avons construit un générateur de Marx capable de produire des impulsions de choc de foudre, impulsions destinées à simuler les surtensions occasionnées par les impacts de foudre, dont l'amplitude maximale était de 250 kV. L'intervalle tige-plan de 20 cm était logé dans une chambre étanche où l'atmosphère était parfaitement contrôlée (pression, température, humidité). Durant ces 6 mois nous avons réalisé une grande quantité d'essais. Ces essais consistent à mesurer le niveau de tension qui produit 50% de claquage pour des conditions atmosphériques variables. Ces premiers résultats ont été publiés en conférences [17, 19, 30]. Après mon départ l'étudiant n'a malheureusement pas poursuivi sa thèse et ma nomination à l'Université de la Polynésie Française a interrompu ce travail. Récemment, j'ai repris toutes les données et j'ai établi une relation linéaire de la tension d'amorçage en fonction des paramètres atmosphériques. Cette fonction repose sur des considérations physiques de la décharge et sur nos résultats expérimentaux. Elle permet non seulement de corriger des mesures faites dans des conditions climatiques particulières mais également de prévoir les valeurs minimale et moyenne de la tension de claquage d'un intervalle d'air de longueur comprise entre 20 et 100 cm, pour des rayons d'anode de 2 à 50 cm et des formes d'impulsion allant du choc de manœuvre (250/2000 μ s) au choc foudre (2/50 μ s) [10]

Etude de la première couronne (LHT de Munich et Tucuman)

En 1998, je participe au projet d'étude relatif à l'impulsion de première couronne dans l'air et en grande distance (photo ci-contre) qu'avait récemment lancé Ricardo Diaz U. de Tucuman) et Falk Rühling (U. Tech de Munich). L'objectif est de réaliser une série de mesures la plus complète possible afin de caractériser et modéliser au moins la première phase



Figure 5 : première couronne positive

d'ionisation qui caractérise les décharges électriques grande distance, la première couronne (Figure 5) [21, 22, 23, 24]

Les paramètres qui peuvent influencer l'apparition et le développement de la première couronne sont la forme de l'impulsion de tension, le matériau et le rayon de courbure de l'électrode conique, et les conditions atmosphériques. L'idée qui consiste à réaliser les mêmes expériences dans 2 laboratoires différents repose sur la volonté d'obtenir des conditions climatiques naturellement variées. Les manipulations en chambre étanche ne permettent des études que sur de petits intervalles et les parois souvent trop proches modifient la distribution du champ électrique dans l'intervalle. Outre la pression et la température du gaz, sa teneur en vapeur d'eau est un paramètre important et son effet est plutôt controversé dans la littérature. Au total une dizaine de campagnes a été réalisée entre 1998 et 2003. Les résultats des premières campagnes nous ont ensuite montré que la densité des ions positifs et négatifs de l'air était également un paramètre fondamental. Une attention particulière s'est portée sur la mesure de ce paramètre et des ionomètres capables de distinguer les ions légers (O_2^-) des ions plus lourds ($O_2^-(H_2O)_n$) ont été élaborés.

• *Relation tension-charge de la première couronne*

A partir des résultats de mesure je me suis particulièrement intéressé à la relation qui lie la tension appliquée et les charges mises en jeu lors du développement de la première couronne. La mesure de la charge est déduite soit d'une sonde capacitive soit par intégration de la mesure du courant. Les deux types de sonde, fabriqués pour les circonstances, sont logés dans l'électrode haute tension et connectés aux oscilloscopes via une fibre optique. Le principe de ces sondes avait été conçu lors de ma thèse au LGE de Pau. Les résultats expérimentaux ont fait clairement apparaître une relation quadratique entre les deux paramètres. En justifiant quelques approximations sur la géométrie de la couronne, j'ai appliqué le théorème de Gauss et obtenu une relation quadratique qui lie la charge réelle déposée dans l'intervalle et la tension appliquée, justifiant ainsi la relation quadratique empirique. J'ai également appliqué le théorème de Maxwell-Ampère et dans ce cas, j'obtiens une relation quadratique entre la charge mesurée et la tension appliquée. En effet, nous savons que la charge mesurée ne correspond pas exactement à la charge déposée dans l'intervalle, de ce fait, cette troisième relation réduit les approximations nécessaires à l'application du théorème de Gauss [5, 25]. D'autre part, cette relation fait apparaître le champ à l'extrémité des streamers qui est un paramètre mesurable et calculable. Je pense que ce modèle peut s'appliquer au cas des couronnes de leader, même si celles-ci se développent en milieu déjà ionisé (par les couronnes

précédentes). Si le leader est assimilable à une électrode (hypothèse qui sera peut être la difficulté du travail) on pourrait alors prévoir la charge produite par les couronnes de leader. La quantité de charge drainée par le leader est un paramètre fondamental pour caractériser ses propriétés électriques et thermodynamiques. Enfin, j'ai récemment testé ce modèle dans le cas d'une configuration fil-cylindre. Le modèle pourra donc être utile pour la modélisation de l'atténuation de la propagation d'une impulsion de courant le long d'une ligne.

• *Distribution statistique de la tension d'apparition*

L'apparition de la première couronne est de nature aléatoire. A partir de nos données j'ai testé différentes lois statistiques afin de caractériser la distribution des tensions (ou des temps) d'apparition de la première couronne. Généralement, c'est une distribution dite de "quasi-poisson" (Poisson-like en anglais) qui est adoptée pour décrire la distribution statistique du phénomène. J'ai appliqué les lois de Gauss (Normale) de Weibull et de Gumbel [21, 32]. L'intérêt de ces deux dernières distributions est qu'elles sont bornées. Or, nous savons qu'une tension minimale existe pour déclencher une première couronne. Expérimentalement, ce paramètre est difficilement mesurable et nécessite l'enregistrement d'un grand nombre de données. Les résultats de cette étude montrent que la loi de Gumbel est la plus adaptée et qu'elle pourrait être utilisée pour obtenir le seuil d'apparition de la première couronne à partir d'un nombre réduit de mesures.

• *Modèle du volume critique*

Je me suis également intéressé à la distribution statistique des tensions d'apparition de la première couronne en polarité positive. J'ai utilisé un modèle bien connu, le modèle du volume critique. Les streamers positifs qui constituent la première couronne sont déclenchés par une avalanche électronique dont l'origine est un électron qu'on qualifie d'électron germe. Le modèle exprime que la probabilité de déclenchement de la première couronne est liée à la probabilité de présence d'un ion O_2^- , source de l'électron germe, dans un volume

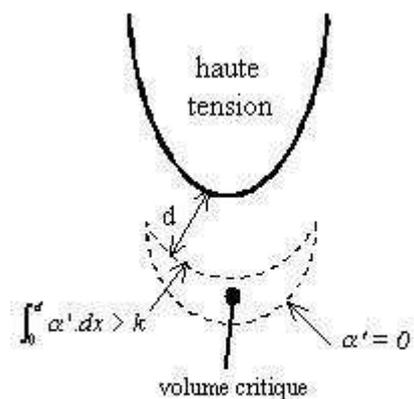


Figure 6 : définition du volume critique

critique. Cette probabilité est donc liée à la densité des ions et à leur durée de vie. Le volume critique est défini par 2 surfaces (Figure 6), la première indiquant le lieu où le coefficient d'ionisation est supérieur au coefficient d'attachement et la seconde est située à une distance

de l'anode telle que l'avalanche puisse atteindre une taille critique. C'est bien entendu le champ électrique local qui permet de quantifier ces deux critères.

En air sec le problème est relativement simple. En air humide, les molécules d'eau hydratent les ions $O_2^- \rightarrow O_2^-(H_2O)_n$ avec $n = 1, 2, 3, \dots$) et modifient leur densité. Les effets de l'humidité sur les paramètres d'apparition de la première couronne sont controversés et ne sont pas complètement pris en compte dans le modèle du volume critique. Cependant, un effet s'avère être unanime: l'humidité réduit la dispersion des mesures. J'ai donc appliqué le modèle à notre configuration d'essais afin de mettre en évidence l'influence de ce paramètre sur la distribution des tensions d'apparition et sur sa valeur minimale. Le calcul de champ est fait grâce à un programme utilisant la méthode des simulations de charges et fourni par le LHT de Munich. C'est une étudiante en Mathématiques Appliquées, Aurélie Laplagne, qui se charge au cours d'un stage d'études de modéliser la distribution du champ électrique dans l'intervalle. Fort de cet outil et de nos résultats d'essais, j'ai pu mettre en évidence une faiblesse du modèle qui consistait à considérer la densité d'ions négatifs constante. J'ai montré que le processus d'agrégation des molécules d'eau sur les ions O_2^- , s'il réduisait la probabilité d'apparition de la couronne en champ faible, agissait comme réservoir d'ions qui devenaient source d'ions O_2^- lorsque le champ électrique augmentait suffisamment. La comparaison des résultats du modèle et de nos distributions expérimentales fait apparaître un paramètre ajustable par la méthode des moindres carrés. Cette mesure montre que la densité totale des ions négatifs (O_2^- + ses hydrates) en champ nul est exponentiellement liée à la mesure de l'humidité. D'autre part, des mesures réalisées par mes collègues argentins à l'aide de différents types d'ionomètres ont montré que la densité des "gros" ions était liée de la même façon à l'hygrométrie (exponentiellement) alors que celle des petits ions était constante vis-à-vis de ce paramètre. Dans cette étude, les gros ions sont distingués des petits ions par leur mobilité. La comparaison de la relation fournie par les Argentins et celle déduite du volume critique renforce ma nouvelle hypothèse. Cependant, une étude supplémentaire sur la densité ionique de l'air est nécessaire et la définition claire d'un "petit" ion ou d'un "gros" ion est indispensable pour la suite de cette discussion [11, 29].

2-2 Décharges atmosphériques

Désireux d'avoir une activité de recherche sur le Territoire polynésien, en 1997 je fabrique et développe un réseau de compteurs de coups de foudre de type *CIGRE*. Il s'agit de détecteurs normalisés conçus pour compter (compteur électro-mécanique) les décharges électriques

nuage-sol dans un rayon d'environ 30 km. Je modifie l'électronique de ces compteurs et les connecte à un PC afin d'automatiser l'enregistrement et, surtout, d'enregistrer la date (date et heure) de chaque événement. Le premier objectif de mon travail est de caractériser les orages océaniques et tropicaux. Bien que les observations satellites apportent de précieuses informations sur l'ensemble du globe (continents et océans confondus), les mesures au sol apportent toujours des informations indispensables. La position stratégique de Tahiti au milieu de l'océan autorise des mesures au sol des paramètres des décharges océaniques. Le deuxième objectif consiste à montrer que l'activité orageuse peut être considérée comme un indice des évolutions climatiques [8].

Aspect Météorologique

Statistiques et oscillations climatiques dans le Pacifique Sud

Au bout de quatre années d'enregistrement, ces compteurs m'ont permis d'établir une première statistique de l'activité orageuse autour de Tahiti: comparaison de l'activité entre la côte ouest (sous le vent) et la côte est (au vent), distribution journalière des orages, durée des orages et fréquence de foudroiement [26, 36, 37]. Le nombre mensuel de jours d'orage s'est avéré être proportionnel au niveau kéraunique (nombre de jours où l'orage a été entendu) publié par Météo France. Grâce à cette corrélation j'ai pu extrapoler mes enregistrements et remonter jusqu'en 1968 grâce aux enregistrements de Météo France. J'ai pu mettre en évidence une corrélation entre des oscillations climatiques connues dans le Pacifique sud et l'activité orageuse locale. Ces oscillations climatiques sont variées, tant en amplitude qu'en fréquence. La plus connue est l'*El Niño South Oscillation (ENSO)* dont la période est estimée à environ 7 ans. La plus longue est l'*Interdecadal Pacific Oscillation (IPO)* de période d'environ 20 ans et l'oscillation de *Madden and Julian* ou la *Tropical Intra-Season Oscillation (TISO)* de période de 30-60 jours. Elles se mesurent en termes d'anomalies de précipitations, de vent, de températures ou autres. Leur caractéristiques propres font encore l'objet d'études approfondies. Une analyse de Fourier de la série temporelle des données foudre fait apparaître un pic à 56 jours qui démontre une corrélation entre l'activité orageuse autour de Tahiti et la *TISO*. Une corrélation avec l'*ENSO* est plus délicate à mettre en évidence. Le niveau kéraunique n'est pas suffisant et mes données *CIGRE* sont trop récentes. Le nombre de coups enregistrés, par opposition au nombre de jours d'orage, semble lié avec cette oscillation mais une période plus longue d'observation paraît indispensable à une conclusion fiable.

Index de prévision

Opérant progressivement une conversion thématique vers la météorologie, j'ai pu recalculer les quelques indices thermodynamiques utilisés en climat tempéré pour prédire localement le risque orageux. J'ai sélectionné 3 indices, Adedokun², Faust et TTI Mod Index. Ces indices se calculent à partir d'étiagrammes construits grâce aux données de radio-sondages effectués 2 fois par jour par Météo France Polynésie (ballons sondes qui enregistrent température, pression, direction et vitesse de vent sur une colonne d'air). Aucun des 3 indices n'est parfaitement fiable mais TTI Mod présente un seuil supérieur qui, s'il est atteint, donne une probabilité de 69% d'orage proche dans les 12 heures qui suivent et un seuil inférieur qui exprime une probabilité de 64% de non-orage dans les 12 heures qui suivent [26]. Mon intention était de modifier et d'adapter ces indices dont le calcul est basé sur des différences de pressions d'états thermodynamiques entre deux isobares. Malheureusement cette étude n'a pu être menée à terme car je n'ai pu obtenir de financement pour me procurer régulièrement les radiosondages vendus par MF.

Zone de Convergence du Pacifique Sud (ZCPS)

J'ai intégré le réseau international de localisation des coups de foudre (Wide World Lightning Location Network, WWLLN) développé par le Low-FrequencyElectroMagnetic (LF-EM) institut de Dunedin en Nouvelle Zélande et qui, à partir d'une vingtaine de stations au sol, enregistre les ondes très basse fréquence (sferics) émises par les décharges atmosphériques tout autour du globe. Ce réseau est également géré par l'Université de Washington. Ces ondes très basse fréquence (3-30kHz) se propagent dans le guide d'onde Terre-Ionosphère sur des milliers de kilomètres. La localisation est obtenue par une technique goniométrique à partir de la mesure des temps d'arrivée des ondes issues des différentes stations. Cependant, la dispersion du milieu déforme le signal et rend imprécise cette mesure. Le LF-EM a alors développé une technique d'analyse (Time of Group Arrival, TOGA) qui permet de réduire cette erreur et de localiser les décharges avec une précision de l'ordre de 10 km. Ce réseau fonctionne correctement lorsque la décharge produit des courants de crête d'au moins 30 kA, ce qui représente une proportion relativement faible de l'ensemble des décharges. Une étude comparative avec des réseaux américain et brésilien a permis d'estimer à 10% son efficacité de détection. Une des 24 antennes qui constituent le réseau est installée à Tahiti. Je reçois mensuellement les données de l'ensemble du globe sous forme de CDs. J'ai utilisé, entre autres, ces données pour étudier la relation entre climat et activité orageuse dans notre région. Le Pacifique Sud est le siège d'une zone de convergence, la ZCPS (Zone de Convergence du

Pacifique Sud) particulièrement influente sur le climat de la Polynésie française. Il s'agit d'une bande convective et instable confinée entre l'anticyclone de l'île de Pâques et l'anticyclone de Kermadec. Elle s'étire vers le sud-est depuis approximativement la Nouvelle Guinée jusqu'à environ 30°S, 120°W. Elle n'a été clairement définie que depuis le développement des observations satellites.

Aujourd'hui, sa position est définie par le lieu des maxima de précipitation. On observe des déplacements par rapport à sa position moyenne en relation avec les oscillations climatiques décrites plus haut. Son activité, en termes de précipitations, semble être liée à des oscillations intra-saisonnières et son déplacement vers le Nord et vers l'Est observé pendant les phases Niño, pourrait être modulé par une oscillation plus lente, comme l'*IPO* (période de 20 ans). Ainsi, position de la ZCPS et oscillations climatiques sont intimement liées. Pour augmenter les pouvoirs de diagnostic, j'ai étudié la distribution du lieu des décharges atmosphériques détectées par *WWLL* dans la zone où se développe la ZCPS. J'ai proposé une technique qui permet de comparer la zone d'activité orageuse maximale avec la position de la ZCPS [7, 38]. La zone étudiée est découpée en mailles d'environ 100 km² et à chaque maille est associé le nombre de coups enregistrés. Dans chaque colonne de mailles, je recherche la maille comprenant le maximum des données. J'obtiens finalement une distribution des maxima en fonction de la longitude que je peux comparer à la position de la ZCPS. La Figure 7 montre un exemple de distribution mensuelle des maxima de coups de foudre (Septembre 2005) comparée avec la position moyenne du même mois de la ZCPS. Ce travail a fait l'objet d'un stage de 4^{ème} année d'école d'ingénieur de M. Thibault Guignes.

Ainsi les régions de forte convection peuvent aussi être déterminées par l'activité orageuse. Cependant, une bonne corrélation entre orage et pluie n'est pas toujours aussi évidente que celle de la figure 6. Quand les anomalies de pluie sont importantes, les maxima d'orage sont en limite de la ZCPS. Ainsi cette étude permettra également de trouver des corrélations entre activité électrique et précipitations. C'est une relation qui n'est pas bien connue en particulier au dessus des océans et qui présente un intérêt pour la caractérisation des systèmes fortement convectifs. D'autre part, la mesure des décharges électriques est relativement simple et représente une mesure complémentaire aux mesures satellites ou aux mesures radars (qui n'existent pas à Tahiti).

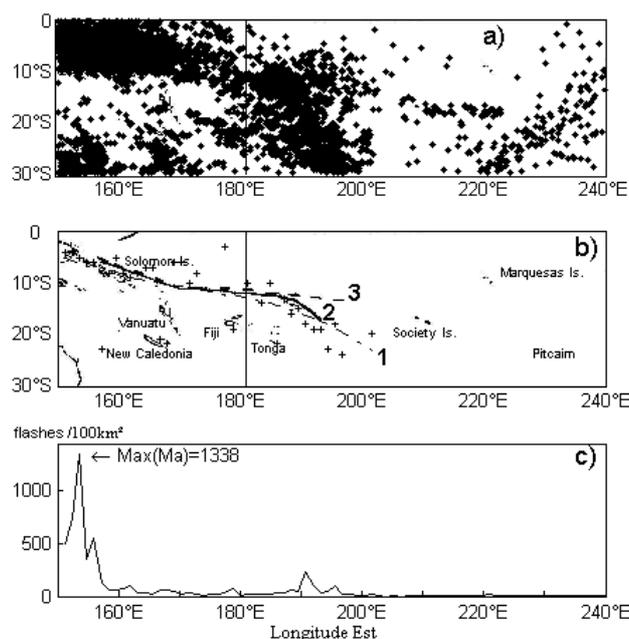


Figure 7 : **a)** distribution totale des impacts de foudre détectés par *WWLL* en septembre 2005
b) (1) position moyenne de la ZCPS en septembre 2005, (2) position moyenne de la ZCPS à partir des 30 derniers mois de septembre (3) régression polynomiale sur la distribution des maxima de densités de foudroiement (supérieures à un seuil) en fonction de la longitude (+)

Système de localisation de la foudre – Système de protection.

Electricité De Tahiti est la société qui produit et distribue l'électricité à Tahiti. Elle rencontre de sérieux problèmes liés à la foudre en particulier au niveau d'une ligne haute tension qui relie les centrales hydrauliques de l'intérieur de l'île et la centrale thermique située sur la côte ouest. En période de pluies, les centrales hydrauliques fournissent toute l'énergie et la centrale thermique est désactivée. Lorsque la ligne HT est endommagée, la réactivation de la centrale thermique est très longue, ce qui entraîne une situation de black out prolongé. La protection totale et idéale contre la foudre est une notion peu réaliste. La prévention basée sur la détection et sur des études statistiques est une alternative souvent plus intéressante. En 2003, j'ai proposé à EDT de monter un système de détection des orages à faible coût qui serait capable de prévoir tout risque élevé d'orage sur l'île, l'objectif étant de redémarrer la centrale thermique lorsque la probabilité de foudroiement dépasse un certain seuil. J'ai construit un réseau de localisation de la foudre en temps réel (Localisation des Impacts de Foudre à Tahiti, *LIFT*), adapté à la configuration de notre île, à l'aide de détecteurs commercialisés et relativement bon marché, *BOLTEK*®. Ces détecteurs sont vendus pour fonctionner seuls. Le système utilise un capteur magnétique capable de déduire l'azimut du lieu de la foudre ou des éclairs dont le principe est bien connu. Connecté à une carte d'acquisition, le détecteur imprime à l'écran le lieu des impacts de foudre grâce à un logiciel. Les points sont superposés

sur une carte de la région (≈ 300 km de rayon autour du lieu d'implantation du détecteur). J'ai testé un de ces détecteurs sur une saison et j'ai pu évaluer son efficacité en comparant les impacts aux images satellites infra rouge qui renseignent sur l'emplacement des convections profondes, sources probables d'orage. Si les directions sont cohérentes avec les images satellites, les distances, déduites des amplitudes des signaux enregistrés, sont trop approximatives. Ce système ne peut donc pas être utilisé comme système de prévention fiable. J'ai alors proposé de construire un réseau de trois de ces capteurs magnétiques et de localiser par triangulation (Figure 8).

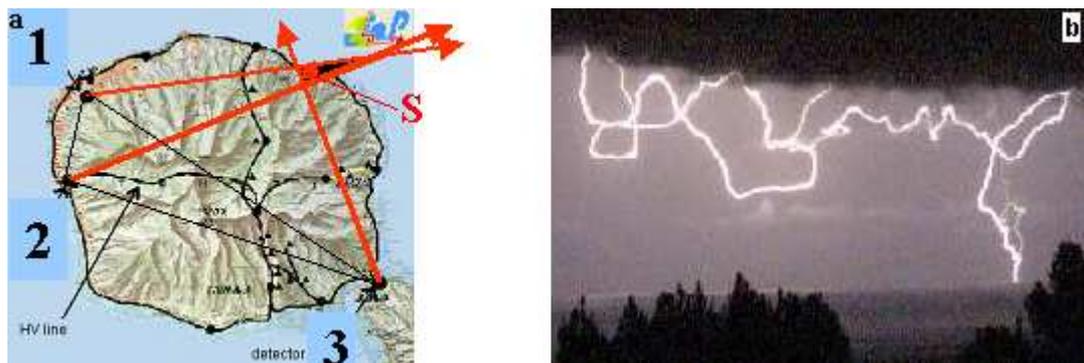


Figure 8 : a) Réseau LIFT; emplacement des 3 détecteurs Boltek; principe de la triangulation et définition de la surface S b) Coup nuage sol avec une tortuosité particulièrement développée (Christian Durocher, Tahiti)

Cette opération m'est apparue faisable dans la mesure où la compagnie *Boltek* fournissait les pilotes de sa carte et que *EDT* disposait d'un réseau interne de communication. Toute la partie informatique, lecture des cartes d'acquisition Boltek, construction et gestion du réseau, s'est faite dans le cadre d'un stage de 5^{ème} année d'école d'ingénieur de 2 étudiants, Nicolas Lange et Jérôme Oufella, que j'ai encadrés avec la collaboration de Dominique Lelouard de *EDT*. Le réseau se compose de trois PC, un pour chaque antenne et fonctionne en mode Maître-esclave. La mise à l'heure est réalisée par *GPS*.

Chaque capteur contient 2 bobines croisées à travers lesquelles la variation du flux du champ magnétique rayonné par la foudre induit 2 tensions dont le rapport des amplitudes est proportionnel à la tangente de l'azimut. Un réseau de trois capteurs avec une résolution temporelle suffisante permet, par triangulation, de localiser correctement les sources électromagnétiques. Ce type de détecteur est assez bien connu mais il introduit des erreurs systématiques dues, entre autre, aux réflexions des objets métalliques environnants. Le problème de la tortuosité, du branchement (plusieurs canaux de foudre) et des réflexions ionosphériques (sky waves) introduit également des erreurs. Pour palier à ce problème, les systèmes modernes utilisent des détecteurs magnétiques à large bande passante (au delà du MégaHertz) afin d'enregistrer correctement le front et la valeur crête du signal magnétique.

Dans ces conditions, le signal mesuré correspond à l'émission du bas du canal de foudre qui est généralement rectiligne. Le problème des réflexions ionosphériques et de la tortuosité est alors réglé mais toujours pas celui du branchement. Le système d'acquisition *Boltek* présente une bande passante étroite, dans les très basses fréquences (autour de 50 kHz), domaine de fréquence qui correspond au maximum d'énergie rayonnée. L'antenne détecte les éclairs sur de longues distances mais l'azimut mesuré présente une grande erreur (inclinaison du canal + superposition des réflexions ionosphériques). D'autre part, l'utilisation des infrastructures d'*EDT* a imposé l'emplacement des antennes. Je n'ai pas pu éviter la proximité d'objets métalliques sources de réflexions et donc d'erreur également.

LIFT fonctionne depuis février 2004. La localisation n'était pas satisfaisante. Cependant, l'accumulation des données pendant toute l'année 2004 m'a permis de proposer deux algorithmes de correction qui rendent le système efficace [8, 28]. Dans un premier temps je considère les localisations fournies par *WWLL* comme exactes. Je peux donc définir l'erreur que commet chaque détecteur en comparant l'azimut mesuré θ_L (matérialisé en rouge sur la Figure 9a) et l'azimut "réel" θ_W (en vert sur la même Figure). Le Figure 9b représente la distribution des erreurs $\Delta\theta = \theta_W - \theta_L$ pour un détecteur en fonction de son azimut. J'utilise une série de Fourier de la fonction $2\theta_L$ pour obtenir une première correction. La Figure 9c, montre qu'après cette correction l'erreur est aléatoire mais elle reste importante.

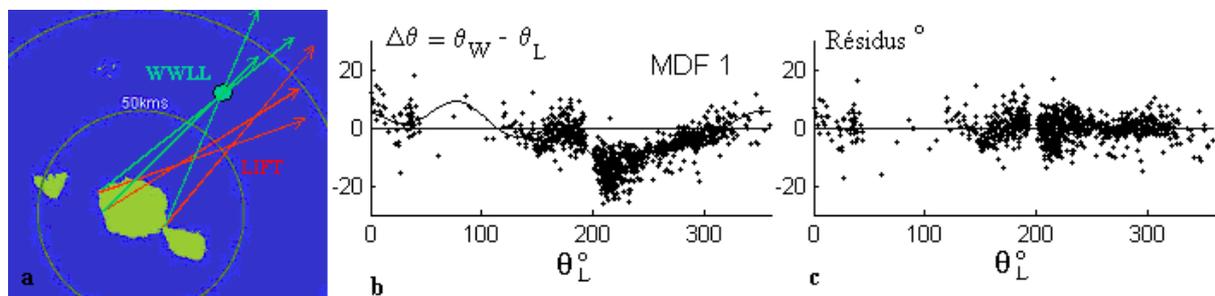


Figure 9 : a) définition des angles θ_L en rouge et θ_W en vert; b) Erreur de l'antenne n°1 $\Delta\theta$; c) Résidus de l'erreur après correction par la série de Fourier

J'applique alors une deuxième correction. Le calcul de l'azimut à partir du rapport des deux tensions induites suppose un champ magnétique parfaitement horizontal. L'existence d'une composante verticale au niveau de l'antenne induit une erreur sur le calcul de θ_L . J'introduis une composante d'inclinaison variable, je calcule l'erreur sur la mesure, recalculé la triangulation et la surface S du triangle formé par l'intersection des trois vecteurs (Figure 8). Par une itération sur les paramètres de l'inclinaison (3 angles en l'occurrence) je cherche la solution qui minimise la surface S de chaque triangulation.

Une comparaison des localisations obtenues après cette double correction avec d'autres systèmes de localisation, des photos satellites qui donnent la position des fortes convections et de témoignages oculaires m'a permis de valider cette méthode qui donne de bons résultats Les Figures 10a et 10b sont des enregistrements issus de données accumulées depuis 1997 par la campagne de mesure satellite *TRMM* (Tropical Rainfall Measuring Mission) équipé d'un système de détection optique *LIS* (Lightning Image Sensor). Les 2 clichés représentent une séquence de 90 secondes et les points rouges issus de *LIFT* superposés, une séquence de 3 minutes. La Figure 10c, montre des localisations issues de *LIFT* superposés à une photo satellite (*MF*) prise dans l'infrarouge. Plus le nuage est blanc, plus il est froid donc plus la convection est grande et plus la probabilité d'avoir des éclairs est importante.

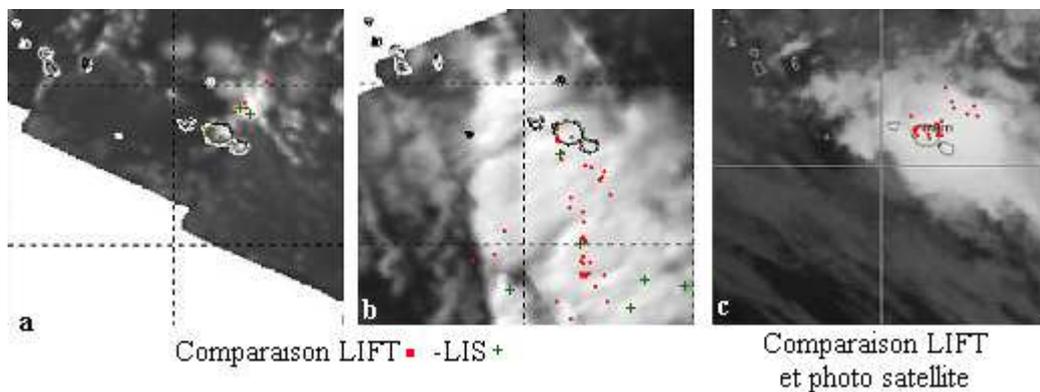


Figure 10 : a) et b) Exemples de comparaisons des impacts *LIS* (vert) et *LIFT* (rouge); c) impacts *LIFT* superposés sur une image satellite *IR*. Les zones très blanches sont des Cumulonimbus sources de décharges.

Pendant l'année 2004, la ligne *HT* a été très souvent foudroyée et a été endommagée à deux reprises. Grâce à l'analyse de ces données j'ai pu proposer un critère d'alarme basé sur la fréquence des coups enregistrés dans une zone bien définie. La figure 11 montre une séquence de 70 minutes qui a précédé un des 2 incidents. Le rectangle noir indique la zone que je considère critique pour établir le critère d'alarme.

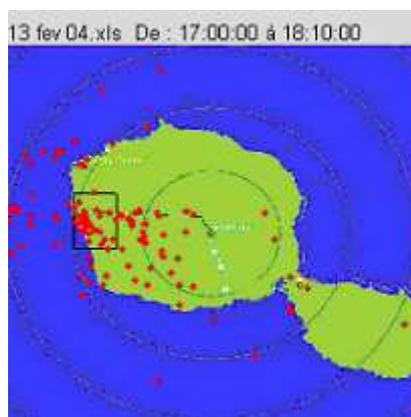


Figure11 : impacts foudre détectés par LIFT pendant 70 minutes. Le rectangle représente la zone critique où sont comptabilisés les impacts pour le critère d'alarme.

LIFT peut donc être utilisé comme système de prévention. Le système n'a pas été réellement testé car en 2005 la ligne n'a pas été sérieusement menacée et en 2006 une antenne a été démontée pour cause de travaux sur un bâtiment. Sur ma proposition, l'entreprise devrait financer prochainement l'installation d'une quatrième antenne et d'un stagiaire de Master2. Je pense que ce système, peu coûteux, peut être utilisé comme système complémentaire de prévention pour surveiller des zones réduites comme des villes ou des zones industrielles.

Plate-forme d'observation des orages autour de Tahiti.

Outre la localisation et la densité de foudroiement au sol, les statistiques essentielles pour obtenir un réel système de prévention sont la mesure du courant d'arc, son sens, sa dérivée par rapport au temps (sa raideur) et son intégrale (charge totale mise en jeu), le nombre de coups subséquents, le rapport entre le nombre de décharges dans les nuages et entre sol et nuage. Dans l'état, *LIFT* ne peut pas fournir de telles informations. J'ai souhaité développer une plate-forme d'observation des décharges atmosphériques pour obtenir ce type d'informations mais aussi pour étudier plus en détails les signaux rayonnés par la foudre. En effet, la situation particulière de Tahiti au milieu de l'océan lui confère une structure de "laboratoire grandeur nature" idéale pour l'étude des décharges océaniques et tropicales beaucoup moins approfondie que celle des décharges continentales. L'Office National des Etudes et Recherches de l'Aérospatial s'est associé à ce projet depuis 2005. L'*ONERA* m'a fourni une sonde de champ calibrée qui me permet d'enregistrer le champ électrique rayonné par les décharges atmosphériques (Figure 12). On montre que le champ mesuré à la surface de l'antenne est proportionnel à l'amplitude du courant d'arc en retour. L'intégration du courant mesuré à l'antenne fournit un signal proportionnel au champ électrique rayonné et donc au courant d'arc.

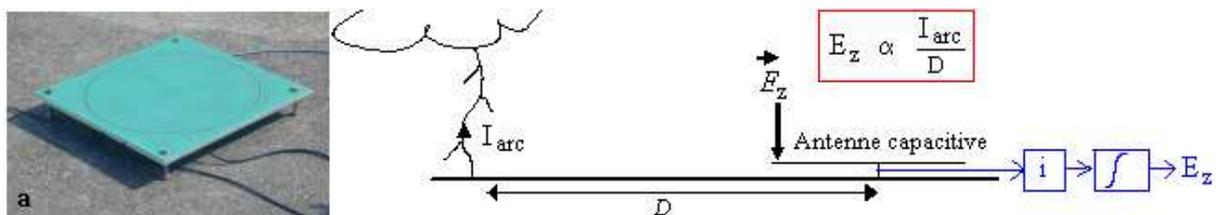


Figure 12 : a) antenne capacitive de l'ONERA, b) principe de la détection du champ électrique rayonné.

Le premier objectif était de permettre au système *LIFT* de distinguer les différents types de décharge, positive, négative, nuage-sol, inter ou intra-nuage ... L'enregistrement de tels signaux demande un système d'acquisition performant. En effet, la durée typique d'un front d'impulsion est inférieure à la microseconde et une séquence entière d'un coup de foudre dure en moyenne un peu moins d'une seconde. Comme le montre la Figure 13, le nuage se

décharge en plusieurs étapes et le premier pic, correspondant à l'arc en retour, est généralement suivi d'une succession de pics associés aux "coups subséquents". La phase précurseur qui précède l'arc en retour est également intéressante à analyser et concerne un domaine de fréquences encore différent.

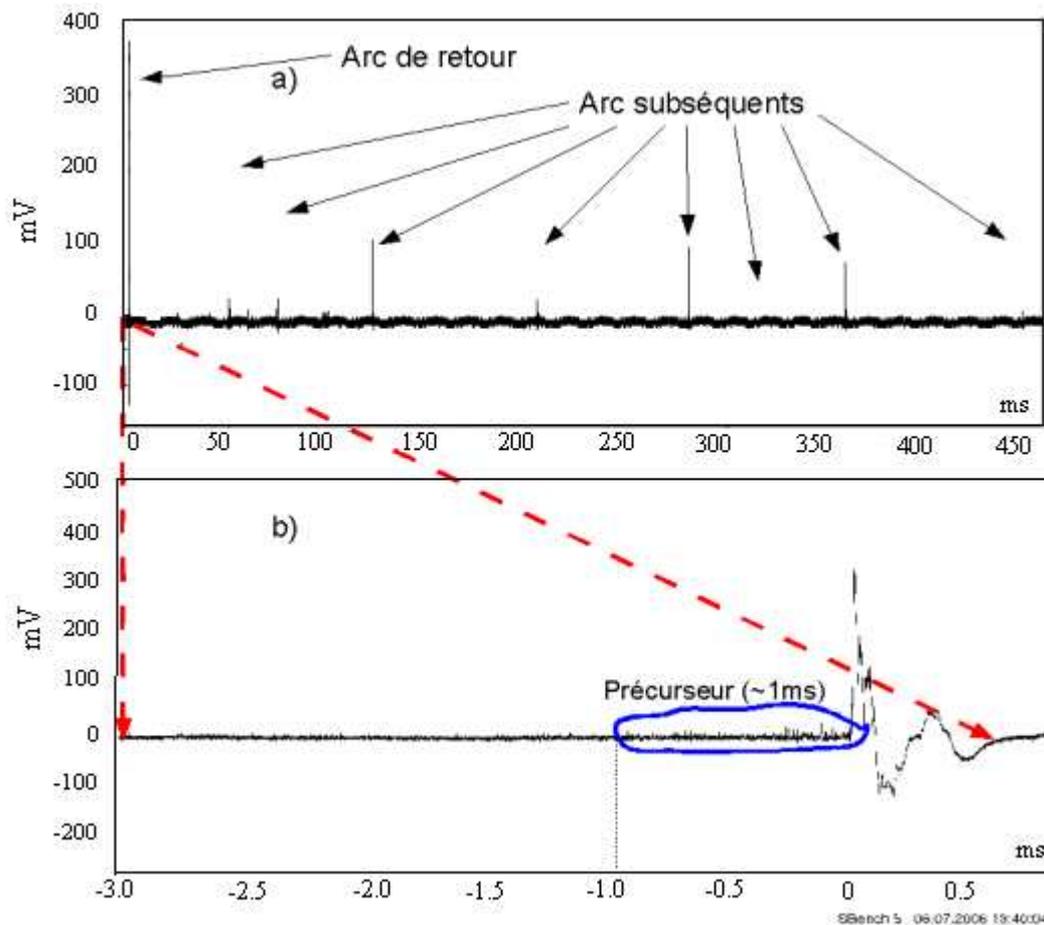
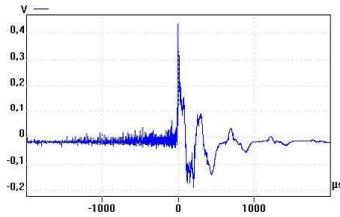


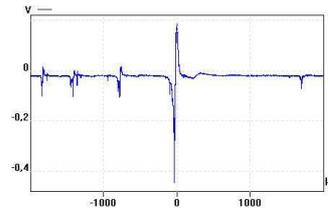
Figure 13 : a) enregistrement complet du champ rayonné par un coup de foudre b) détail de premier pic (arc en retour) où apparaît le signal associé à la phase précurseur (traceur par bond).

La taille d'un fichier est de l'ordre de 30Mo et un orage peut développer une centaine de signaux. Aux signaux de foudre réels se mêlent des signaux parasites, le tout saturant très rapidement le disque du *PC*.

En 2005, j'ai obtenu un financement du ministère de l'Outre Mer qui m'a permis de m'équiper d'une carte d'acquisition performante, d'un *DSP* (Digital Signal Processor) et d'accueillir un stagiaire de Master2 de l'Université de Montpellier, M. Jens Boeckermann. L'étudiant avait pour objectif de rédiger un code de pilotage de ces deux cartes. Nous avons analysé un certain nombre de signaux enregistrés (Figure 14) pour déterminer des critères de filtrage entre signal foudre et signal parasite.



Arc en retour (nuage-sol)



éclair (inter nuage)

Figure 14 : Signaux enregistrés avec un oscilloscope numérique

L'étudiant a rédigé un code qui, avant le stockage de l'information, filtre et mesure les paramètres du premier arc en retour en temps réel. Ensuite, en parallèle avec une étude menée à l'*ONERA*, nous avons travaillé sur la programmation d'un *DSP* avec des objectifs similaires. L'avantage du *DSP* est qu'il est beaucoup moins coûteux et qu'il peut fonctionner de façon autonome, sans *PC*. Le *DSP* utilisé comprend 8 processeurs en parallèle qui peuvent réaliser un grand nombre d'opérations. Nous nous sommes limités au filtrage et à la mesure de différents paramètres. Chaque pic d'un signal comme celui de la Figure 13 peut être analysé comme une information. La grande difficulté de ce travail fut la minimisation en temps réel de chacune des opérations. Le *DSP* sera utilisé dans le cadre du développement d'un réseau de détection foudre en Ile de France (*PROFEO*, *ONERA*). Une mise en place d'un réseau similaire en Polynésie française est également envisagé. Ce travail sera l'un des objectifs d'un travail de thèse financé par le Ministère de la Recherche et de la Technologie qui démarre au mois d'avril 2007.

2-3 La rosée comme ressource alternative d'eau potable

En 2003, avec l'équipe du *CEA/CNRS* de M. Daniel Beysens nous avons lancé une étude relative à la production d'eau potable à partir de la rosée en Polynésie française. Tout d'abord, à partir de données météorologiques, nous avons évalué la rentabilité d'une éventuelle production d'eau de rosée[6, 27].

Grâce à un financement du Ministère de l'Outre Mer une étude expérimentale in situ a été menée à Tahiti et à Tikehau (atoll de Polynésie française). La condensation est produite à la surface d'un plan incliné (1m²) recouvert d'un matériau hydrophile (Foil) dont les propriétés radiatives sont telles que son refroidissement par rayonnement infra rouge est optimal (Figure 15). Le refroidissement radiatif s'appréhende très simplement comme la somme des radiations émises et reçues. La nuit, le rayonnement reçu du ciel se trouve à 100% dans la bande du moyen et lointain infra-rouge. Dans cette bande de fréquences, le ciel présente un déficit autour de la fréquence 10μm comme le montre la Figure 15c. Un matériau d'une grande

émissivité autour de cette fréquence peut dissiper une grande quantité d'énergie par transfert radiatif.

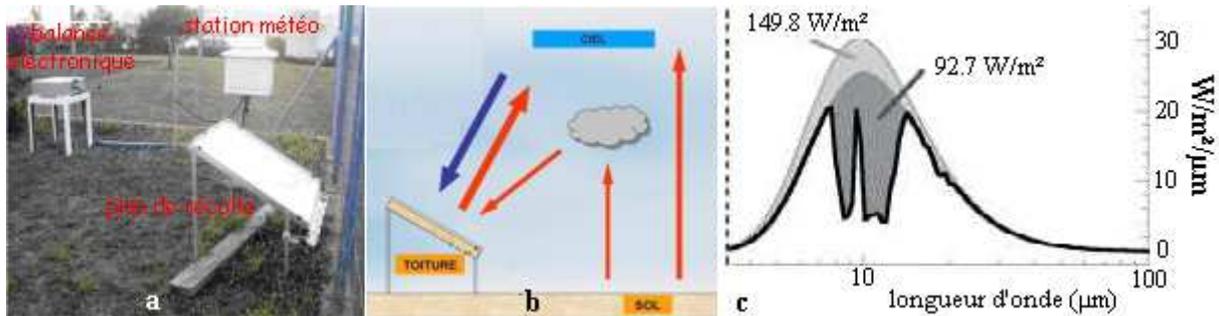


Figure 15 : a) ensemble de mesure. La balance permet de dater la formation de rosée, et le plan incliné récolte la rosée totale; b) principe du refroidissement radiatif. Le foil peut descendre jusqu'à 10° en dessous de la température ambiante; c) caractéristiques spectrales du rayonnement IR reçu du ciel clair par un plan horizontal + émittance d'un corps noir à 288.1K (surface gris foncé) et à 303.1K (surface gris clair)

La récolte quotidienne de rosée est associée à des mesures météorologiques (P , T , HR , vent, couverture nuageuse) en continu. Un échantillon de foil est également installé sur une balance électronique qui enregistre toutes 15 minutes la masse de rosée condensée. Les mesures sont réalisées durant une saison sèche (mai-octobre). Les rendements de production d'eau potable dans des situations réelles ont pu être chiffrés et les critères d'optimisation du procédé énoncés [9]. La principale conclusion est que la production journalière est relativement faible en comparaison de celles obtenues dans d'autres sites (Corse, Israël, Inde, Croatie). Ce résultat est évidemment surprenant car l'hygrométrie est importante en Polynésie française. Des mesures de radiance globale du ciel (grâce à un radiomètre installé près du site de mesure) nous ont permis d'expliquer ce paradoxe. En effet, il semble que dans les climats méditerranéens, par exemple, la vapeur d'eau soit concentrée dans les basses couches de la troposphère alors qu'à Tahiti elle reste en quantité importante aux hautes altitudes. Cette vapeur d'eau produit alors un effet de serre qui limite le refroidissement radiatif du foil et, donc, la production d'eau potable. L'effet du vent s'est avéré être un paramètre décisif sur les rendements de récolte. Des paravents naturels ont été utilisés et nous avons pu mettre en évidence leur efficacité. Tous ces résultats expérimentaux ont permis de valider des modèles numériques développés par l'étudiant à l'Université de Corte. Des analyses chimiques de l'eau récoltée ont également été réalisées sur l'ensemble des échantillons récoltés. La minéralisation de l'eau est du même ordre que celle des eaux commercialisées en Polynésie française [31]. L'étudiant a soutenu sa thèse le 10 avril 2007. J'étais membre du jury.

L'étude a été soumise au ministère du développement durable de la Polynésie française et l'équipement de certains *fare* (petite maison typique, Figure 16a) est envisagé. Les peintures

commercialisées peuvent être dopées d'une poudre leur conférant des propriétés radiatives et hydrophiles. Les toitures de *fare* recouvertes d'une telle peinture retrouveraient les mêmes propriétés que le foil. Une simulation des quantités d'eau récoltable grâce à un tel équipement est présentée Figure 16b.



a

paramètre	Estimation fare MTR 54m ² à Tikehau avec peinture OPUR	données expérimentales toiture Croatie (14/04-10/08)
surface développée en toiture	92 m ²	15,36 m ²
<Vol rosée> moyen par nuit de rosée pour 92 m ²	10,90 litres	11,82 litres
Vol rosée maximal pour 92 m ²	15,71 litres	36,05 litres
<Vol rosée> moyen pour 30 jours secs pour 92 m ²	191 litres (6,40 l/jour)	279 litres (9,30 l/jour)

b

Figure 16 : à gauche Fare MTR, habitation très répandue dans les atolls; à droite, simulation des récoltes envisageables sur une toiture peinte avec une peinture dopée.

2-4 Projets de recherche et d'intégration à des équipes

Décharges de laboratoire

Lors des cinq années de manipulations dans les *LHT* de Munich et Tucumán, nous avons accumulé énormément de résultats. Je souhaite, dans un futur proche, poursuivre l'exploitation de ces données. Je m'assigne deux objectifs à court terme:

- adapter le modèle du volume critique à la polarité négative
- appliquer mon modèle de couronne (relation charge-tension) à la configuration fil-cylindre

Puis, à plus long terme je souhaiterais utiliser ce même modèle pour:

- déterminer les paramètres de démarrage du leader positif
- l'adapter au cas des couronnes de leader

Foudre et météo.

Développement de la plate-forme de mesures des orages : J'ai obtenu du ministère de l'Enseignement et de la Recherche une bourse de thèse de 3 ans dont le sujet concerne l'évolution des moyens de diagnostic afin de caractériser et de modéliser les décharges atmosphériques de type océanique. Au niveau de la mesure, je souhaite développer le système de détection des orages suivant 2 deux axes. Le premier, dans la lignée de *LIFT*, en ajoutant un quatrième détecteur et en améliorant l'algorithme de correction. Pour vérifier l'effet (ou l'importance) de la composante horizontale du champ magnétique mise en évidence dans la fonction de correction, je souhaite construire une antenne magnétique mesurant les trois composantes du champ rayonné. L'intérêt de *LIFT* est qu'il autorise un système d'acquisition simple, basse fréquence et, éventuellement, avec une résolution à trois dimensions. Le deuxième axe, développé en association avec l'*ONERA*, concerne la poursuite du système d'acquisition sur *DSP* développé en 2006 par l'étudiant de Master2. Dans ce cas, le système d'acquisition aurait une meilleure résolution fréquentielle et serait adapté à une localisation par la méthode des temps d'arrivée (*TOA*). Il permettra également une analyse en temps réel du signal (temps de front, durée, amplitude, fourrier...nombre de coups subséquents, rapport décharge au sol/ éclairs intra nuage...).

Etude théorique de la décharge atmosphérique. Le développement de cette étude sera fortement lié à la qualité et à l'avancée de la plate forme. Il est cependant prévu de comparer, voire d'améliorer, les différents modèles de propagation du courant le long du canal de la décharge. Ces modèles, (il en existe plusieurs TL, MTL, MULS, TCS pour les plus connus) permettent de prévoir les effets du foudroiement directs ou indirects par rayonnement électromagnétique. L'*ONERA*, qui poursuit ses campagnes d'étude des décharges en

laboratoire, a proposé des simulations auto-cohérentes de propagation du leader qui peuvent être améliorées. Il s'agit de modèles basés soit sur une approche électrostatique de l'équilibre de propagation soit sur les équations de l'hydrodynamique. Nous avons l'intention d'appliquer ou d'extrapoler ces modèles au cas du stem spatial (appelé pilote dans le cas de la foudre). Cette étude couplée in situ et en laboratoire permettra d'étudier les relations entre activité électrique et propriétés microphysiques des orages.

Etudes météorologiques. Comme décrit plus haut, le Pacifique Sud est le siège de phénomènes climatiques particuliers et, dans la lignée des travaux déjà publiés, je souhaite utiliser la donnée foudre comme indicateur pour l'étude de l'évolution climatique. A l'échelle du Pacifique je dispose des données *WWLL* et la *NASA* fournit un ensemble de données accumulées depuis 1997 par sa campagne de mesure satellite *TRMM* (système *LIS*). A l'échelle de la Polynésie française je souhaite développer le réseau de compteurs *CIGRE* et, à l'échelle locale, j'utilise le système *LIFT*. Les corrélations entre la foudre et les caractéristiques des systèmes convectifs sont les principales fonctions à mettre en évidence. J'entretiens aujourd'hui de bons rapports avec Météo France avec qui je souhaiterais développer une collaboration d'étude.

Projet annexe : Le Laboratoire de Géophysique de Pamatai (*CEA*, Tahiti) dispose d'un réseau de capteurs infra-sons dans le cadre de sa mission de surveillance de l'activité sismique dans le Pacifique. Ce réseau détecte les signaux foudre comme des parasites. Nous envisageons d'étudier les caractéristiques des infra-sons émis par la foudre.

Radiosciences

Dans le cadre du prochain plan quadriennal de l'*UPF* (2008-2011), je prévois de m'investir dans la valorisation de l'Observatoire Géodésique de Tahiti (*OGT*) et en particulier dans l'étude de la propagation des signaux électromagnétiques et lumineux dans l'atmosphère. L'atmosphère neutre provoque des délais dans la réception des signaux *GPS*, les réseaux de stations permanentes permettent de modéliser en temps réel la distribution spatio-temporelle de la vapeur d'eau atmosphérique en utilisant des méthodes tomographiques. Il s'agit donc de calibrer la propagation des signaux *GPS-GALILEO* dans la troposphère et l'ionosphère, par comparaison de la propagation sur les 2 fréquences *GPS* et par l'élaboration de modèles de correction de troposphère sèche et humide. Cet aspect constituerait un parfait complément de la détection foudre en vue d'une étude prévision météorologique.

Développement d'un Observatoire Atmosphérique du Pacifique

Nous avons envisagé, en collaboration avec le Laboratoire d'Aérodologie de Toulouse, de développer à Tahiti un Observatoire de l'Environnement Polynésien basé sur des thématiques scientifiques liées **a)** à la qualité de l'air en zone peu polluée (pollution de fond) et éventuellement demande sociétale, **b)** aux processus physico-chimiques associés à la convection tropicale (dynamique dans l'*UTLS* [Haute Troposphère-Basse Stratosphère en anglais] et chimie des *Li-NOx*, composés azotés produits par les éclairs influant sur la molécule d'ozone), et **c)** à l'évolution à long terme de la composition chimique de l'atmosphère et son impact sur l'évolution du climat (tendance de l'ozone et de la vapeur d'eau). Il prend appui sur un site multi-instrumenté, avec des mesures in situ, des sondages et de la télédétection. De plus, les instruments de l'*OGT* participeraient à la validation des plateformes spatiales. Les interprétations se feraient en utilisant le modèle *MOCAGE* de Météo-France/CNRM et le modèle moyenne échelle *MESO-NH* installés à l'*UPF*, et la vision globale des processus serait donnée par l'assimilation multi-capteurs spatiaux avec *MOCAGE-PALM* du *CERFACS*, installé lui aussi à l'*UPF*, au sein du Programme d'Assimilation Français *ADOMOCA*.

3. PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Articles dans des revues internationales à comité de lecture

- [1] **P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert :
Predictive modelling of leader propagation under standard and oscillatory waveshapes, Journal of Phys.D. Appt. Phys, 27 pp1-9, (1994)
- [2] **P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert :, B. Hutzler, G. Riquel :
Performance of a 17m air rod-plane gap under negative switching impulse, Journal of Phys.D. Appl. Phys, 27 pp2379-23 87, (1995).
- [3] T. Reess, **P. Ortéga**, A. Gibert, P. Domens, and P. Pignolet :
An experimental study of negative discharge in a 1.3 m point-plane air gap : the function of the space stem in the propagation mechanism; J. Phys. D: Appl. Phys. 28, pp2306-2313, (1995)
- [4] D. Beysens, M. Muselli, I. Milimouk, C. Ohayon, S. Berkowicz, E. Soyeux, **P. Ortega**:
Passive radiative condensers to extract water from air, Croatian Meteorological Journal, Vol. 39, pp 59-69, (2004)
- [5] **P. Ortéga**, F. Rühling, F. Heilbronner, R. R. Díaz and M. Rodière :
Charge-voltage relationship of the first impulse corona in long airgaps ; Journal of Phys.D. Appl. Phys, 38, pp2215-2226, (2005)
- [6] D. Beysens, M. Muselli, I. Milimouk, C. Ohayon, S. Berkowicz, E. Soyeux, **P. Ortega**
Application of passive radiative cooling for dew condensation; Energy, Vol. 31, pp1967-1979, (2006)
- [7] **P. Ortéga**, T. Guignes
Lightning activity analyses with respect to the SPCZ location, Geophys. Res. Lett., 34, L11807, doi:10.1029/2007GL029730.
- [8] **P. Ortéga**
A Three Magnetic Direction Finder Network for a local warning device, Journal of Lightning Research, Vol.2, pp 18-27 (2007)
- [9] **P. Ortéga**, R.T. Waters, A. Haddad, R. Hameed, T. Davies
Impulse Breakdown Voltages of Air Gaps: a New Approach To Atmospheric Correction Factors, acceptée pour publication à IEEE, juillet (2007)
- [10] **P. Ortéga**, R. Diaz, F. Heilbronner
Humidity effect on the inception of the first positive corona, acceptée pour publication à Journal of Phys. D : Appl. Phys., en août 2007
- [11] O. Clus, **P. Ortéga**, M. Muselli, I. Milimouk, D. Beysens
Dew formation in humid tropical climate (French Polynesia); soumis à Journal of Hydrology en juin (2006)
- [12] Richard Dowden, Robert Holzworth, Craig J Rodger, János Lichtenberger, Abram R. Jacobson, Erin Lay, James Brundell, Thomas Lyons, Steven O'Keefe, Zen-ichiro Kawasaki, Colin Price, Victor Manuel Martins Prior, **Pascal Ortéga**, James Weinman, Yuri Mikhailov, Ronald Woodman, Xiushu Qie, Gary Burns, Andrew Collier, Osmar Pinto Junior, Ricardo Diaz, Claudia Adamo, Earle R. Williams, Sushil Kumar, Graciela Raga, Jose M. Rosado, Eldo E. Avila, Mark A. Clilverd, Thomas Ulich, Peter Gorham, Nic Hannekum, Thomas Osipowicz, Tony Whitaker, Yang Zhao
World-Wide Lightning Location Using VLF Propagation in the Earth-Ionosphere Waveguide, soumis à IEEE Antennas and Propagation Magazine, août 2007

Proceedings à des congrès avec comité de lecture (* + présentation orale)

- [13] *F. Rühling, F. Heilbronner, **P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert, J. Dupuy, :

- Long airgap discharges under non standard positive impulse : Experimental set-up and effect of superimposed oscillations, ISH, Dresden, (1991)
- [14] ***P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert, J. Dupuy, F. Rühling, F. Heilbronner :
Long airgap discharges under non standard positive impulse :Physical interpretation, ISH Dresden, (1991)
- [15] ***P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert, Gibert : B. Hutzler, G. Riquel :
A very long spark under negative impulse, Gas Discharge Proceedings, pp580-584, (1992)
- [16] P.Bayle, D. Vukicevic, **P. Ortéga**, A. Gibert :
Spatio-temporal evolution of thermal imprint of long air gaps by laser interferometry, Gas Discharge, Swansea, (1992)
- [17] ***P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert, P.Pignolet :
Experimental study of negative atmospheric large air gap, ICPIG, Bochum, 1993
- [18] *A.J. Davies, R.R. Hameed, **P.Ortéga**, R.T.Waters and W.T.Williams :
The effect of humidity on positive-impulse breakdown of rod/plane gaps, ICPIG, Bochum, (1993)
- [19] **P. Ortéga**, P. Domens, A. Gibert, P.Pignolet :
Analyse de l’empreinte thermique d’une décharge électrique dans un gas, colloque annuel de la société des thermiciens, (1993)
- [20] *A.J. Davies, R.R. Hameed, **P.Ortéga**, R.T.Waters and W.T.Williams :
The effect of humidity on positive-impulse breakdown of rod/plane gaps, ICPIG, Bochum, (1993)
- [21] *T.Reess, **P.Ortéga**, A.Gibert, J.Paillol, P.Domens, P.Pignolet, A.Bondiou, P.Lalande, I.Gallimberti, G.Marchiesi :
Experimental study of space stem propagation in negative discharge air gaps, ISH, Graz, (1995)
- [22] **P. Ortéga**, F. Rühling, F. Heilbronner and R. R. Díaz :
Charge-voltage relation OF first corona in inhomogeneous electric field : influence of electrode curvature, ISH, Londres (1999)
- [23] R.R. Díaz , F. Rühling , F. Heilbronner , **P.Ortéga** :
The corona inception under negative impulse voltage in inhomogeneous fields, ISH, Londres (1999)
- [24] *F. Rühling, F. Heilbronner, **P.Ortéga**, R.R. Díaz :
Laboratory-relevant corona inception of a 1-M-airgap under impulse voltage, ISH, Londres (1999)
- [25] *F. Rühling, F. Heilbronner and R. R. Díaz, **P. Ortéga** :
How does the laboratory’s ion density affect the first discharge under impulse voltage, Int. Sym Of Gas Disch., Glasgow, (2000).
- [26] *F. Rühling F. Heilbronner, **P. Ortéga** :
Discharge inception under impulse voltage : Influence of lab air ion density and resulting charge-voltage relation, ISH Delf, (2003)
- [27] **P. Ortéga**, M. Rodière and V. Laurent :
Stability indices as thunderstorm forecast, ICAE, Versailles Jun 2003.
- [28] *D. Beysens, M. Muselli, I. Milimouk, C. Ohayon, S. Berkowicz, E. Soyeux, **P. Ortega** :
Passive Radiative Condensers to Extract Water from Air, Bull. of the Croatian Meteorological Society, 39, 59-69, (2004)
- [29] ***P. Ortéga**
Lightning location system in Tahiti ; VIII Int. Symp. on Lightning protection, São Paulo, Nov 2005
- [30] **P. Ortéga**, M. Rodière, R. Diaz, F. Heilbronner, F. Rühling

- Influence of negative ions on the humidity effect on the first corona inception, ICPIG, Prague, juillet 2007
- [31] **P. Ortéga**, R.T. Waters, A. Haddad, R. Hameed, T. Davies
Atmospheric correction factor for impulse breakdown voltage, ICPIG, Prague, juillet 2007
- [32] O. Clus, **P. Ortega**, M. Muselli, I. Milimouk-Melnitchouk, D. Beysens
Dew water physical and chemical characteristics in tropical climate (French Polynesia), IV International Conference on Fog, Fog collection and Dew, Chili, juillet 2007
- [33] **P. Ortéga**
Probability distribution of the first positive corona inception, Plasma Environmental - Atmospheric electricity - Space charge - Electrical discharges, Applications and prevention – Electrostatics Science and Technology", Tahiti, août 2007
- [34] J.-P. Julien, **P. Ortéga** and F. Marchi
An exemple of cross-fertilization in science : electrode simulation from meter to nanoscale, Plasma Environmental - Atmospheric electricity - Space charge - Electrical discharges, Applications and prevention – Electrostatics Science and Technology", Tahiti, août 2007

Participation à des congrès sans publication (*présentation orale)

- [35] *M. Doom, J.-P. Julien, F. Marchi et **P. Ortéga**
Simulation de potentiels créés par des électrodes chargées : application à la microscopie AFM ; Journées de Simulation Numérique, Jussieu (2003)
- [36] *D. Beysens, M. Muselli, I. Milimouk, C. Ohayon, S. Berkowicz, E. Soyeux, **P. Ortega** :
Passive Radiative Condensers to Extract Water from Air, Proceedings : 2nd International Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems in Dubrovnik, Croatia, June (2003).
- [37] A.J. Davies, R.R. Hameed, **P.Ortéga** and R.T.Waters :
Air breakdown at high altitude, Foudre et Montagne, Chamonix, (1994).
- [38] **P. Ortéga**, M. Rodière, C. Moreau and V. Laurent :
Correlation between the Cloud-to-ground flash activity and the meteorological parameters over Tahiti Island. Western Pacific Geophysics Meeting, Wellington New Zealand, July 2002.
- [39] **P. Ortéga**, M. Rodière, C. Moreau and V. Laurent :
Lightning activity, stability indices and climatic anomalies over Tahiti Islands. Fall Meetings, San Francisco Dec 2002.
- [40] Julien, F. , L. Morin **P. Ortéga**
Evidence d'une force répulsive entre pointe et charge déposée en AFM, Journées de Simulation Numérique, Jussieu (2005).
- [41] **P. Ortéga**, T. Guignes
Lightning activity, stability indices and climatic anomalies over Tahiti Islands. Fall Meetings, San Francisco, Dec 2006.
- [42] J.-P. Julien, **P. Ortéga** and F. Marchi
Simulation of charge nanocrystals: application to atomic force microscopy, CITSA, Orlando (Floride), Juillet 2007

4. ACTIVITÉS "D'ANIMATION DE LA RECHERCHE"

- Membre du comité d'organisation du Point d'Etape des Assises de la Recherche Française dans le Pacifique (Novembre 2006).
Il s'agit d'un colloque qui vise à promouvoir et à développer la recherche française dans le Pacifique.

- Membre du comité de pilotage de L'Initiative Française en Faveur des Récifs Coralliens
Cette institution, placée sous la double tutelle du Ministère de l'Écologie et du Développement durable et du Ministère de l'Outre-mer a pour missions la promotion d'une politique active de préservation des écosystèmes menacés, dans le cadre du développement durable des collectivités de l'outre-mer concernées.
- Membre du comité d'organisation du colloque: "Plasma Environmental - Atmospheric electricity - Space charge - Electrical discharges, Applications and prevention – Electrostatics Science and Technology" Tahiti 20-23 août 2007
(<http://lea.sp2mi.univ-poitiers.fr/tahitimeeting/>)
- Membre du comité scientifique du congrès "International Conference on Gas Discharge and their application" Cardiff, septembre 2008 (<http://gd2008.cf.ac.uk>)

5. ACTIVITES D'ENCADREMENT

5-1 Encadrement de thèses de doctorat

- Thèse de doctorat de M. Nam Kahan HO,
 - taux d'encadrement 95%
 - directeur de thèse : J.P. Barriot (taux 5%)
 - titre : Etude expérimentale et théorique de la décharge atmosphérique océanique en vue de l'élaboration d'un système de prévention des orages.
 - début avril 2007

Je n'ai pas officiellement encadré les étudiants suivants mais j'ai travaillé et encadré une partie de leur travail de thèse, ce travail ayant été sanctionné par une ou plusieurs publications:

- Thèse de doctorat de M. Thierry REESS, Université de Pau et des Pays de l'Adour (12 mois)
 - Directeur de thèse M. Pierre Domens (Univ. de Pau):
 - Titre : Etude expérimentale du développement de la décharge négative (12 mois).
 - Début de la thèse : septembre 1992
- Thèse de doctorat de M. R HAMMED, University of Wales, College of Cardiff (6 mois):
 - Directeur de thèse M. Antony Davies (Univ. de Swansea, Pays de Galles)
 - Titre : Influence de la densité de l'air et de l'humidité sur les paramètres d'amorçage
 - Début de la thèse : septembre 1992
- Thèse de doctorat de M. Owen CLUS, Université de Corse, UMR CNRS (6 mois) :
 - Directeur de thèse : M. Daniel Beysens (CEA) et M. Marc Musselli (Univ. de Corse)
 - Titre :
 - Début de la thèse : septembre 2003

5-2 Encadrement de stages de fin d'étude, DEA ou Master 2 (6 mois)

- Thierry REESS, DEA, Université de Pau et des Pays de l'Adour
Etude des décharges électriques grandes distances de polarité négative, (1992)
- Nicolas LANGE, Université Pierre et Marie CURIE
Réalisation de pilotes pour la lecture des données des capteurs foudre, (2002)
- Jérôme OUFELLA, ESIL, Université de Marseille
Architecture du réseau de localisation de la foudre, (2003)
- Jens BOECKERMANN : MASTER 2 STPI, Université de Montpellier II,
Traitement de signaux foudre, (2006)

5-3 Encadrement de stages de maîtrise ou 4^{ème} année d'Ecole (2 mois)

- Aurélie MIHALIC , Inst. Des Sc. De l'ingénieur de Toulon et du Var
Calcul du volume critique et méthode de simulation de charges (2003)
- Simon JULIEN, ENSEITA, Brest
Analyses et corrélations de données météorologiques et foudre, , (2005)
- Thibault GUIGNES, ENSEITA, Brest
Logiciel de lecture des données foudre (LIFT et WWLLN), (2005)
- Jean-Maxime JARDIN, ENSEITA, Brest
Analyses et corrélation de données météorologiques et foudre, (2006)
- Thibault GUIGNES, ENSEITA, Brest
Corrélation entre ZCPS et activité orageuse, (2006)

6. JURYS DE THESES, REFEREE, EXPERTISE, RAPPORTS

Jurys de thèses:

- Owen CLUS, Université de Corse, avril 2007
Condenseurs radiatifs de la vapeur d'eau atmosphérique comme source alternative d'eau potable
- Isabelle L'elgoualc'h, ONERA, prévu juillet 2007
Etude du rayonnement électromagnétique des éclairs

Referee

- Institution of Engineering and Technology (anciennement IEE Proceedings)
- Int. Conf.on Gas discharge and their applications

Expertise

Conseils pour la protection foudre dans le projet d'aménagement d'une zone industrielle au près de M. Olivier Dubief, consultant en Sécurité générale - Incendie - Malveillance – Environnement/risques technologiques - Sécurité et santé au travail

Rapports pour justification de financement

- Rapport de mise en fonctionnement du système de détection LIFT (Oct. 2003) → 15 000 €.
- Rapport d'analyse du réseau LIFT et proposition de critères d'alarme en vue de la protection de la ligne 90kV TEP1 (Nov. 2004).
- Rapport au Ministère de l'Outre Mer pour financement de l'étude sur la rosée en PF (juin 2005) → 20 000 €.
- Rapport au Ministère de l'Outre Mer pour financement de l'étude (juin 2007) → 10 000 €.

7. ACTIVITES INTERNATIONALES

7-1 Séjours à l'étranger

- Université de Padoue, 1994, (1 semaine)

- Stage Post-Doctoral à l'Université du Pays de Galle, Pr. R.T.Waters, 1993, (6 mois)
- 3 Campagnes d'essais au LHT de l'Université de Tucuman (Argentine), Pr. R. Diaz, 1995, 2000 et 2002, (4 mois en tout)
- 4 Campagnes d'essais à l'Université Technique de Munich, 1998- 2002 (2 mois en tout)

8. COLLABORATIONS

- **Université de Cardiff (Pays de Galle), Pr. R.T.Waters**
- Université de Padoue (Italie), Pr. I. Gallimberti
- Université Technique de Munich (Allemagne), Dr. F. Rühling,
- Université de Tucuman (Argentine), Pr. R. Diaz,
- Office National des Etudes et Recherches de l'Aérospatial (*ONERA*), Dr. P. Lalande
- CEA-ESEME, Paris, DR. D. beysens,
- Université de Corse - UMR CNRS 6134, Dr. M. Muselli
- Low Frequency-ElectroMagnetic (LF*EM) de Dunedin (Nouvelle Zélande), Pr. R. Dowden
- Laboratoire d'Aerologie, Observatoire Midi-Pyrenees, Dr. P. Ricaud,

9. INFORMATION ET VULGARISATION SCIENTIFIQUES

- Coordonnateur de la Fête de la Science en Polynésie française 2004-2006
- Président d'une association locale (diffusion scientifique et promotion de la Recherche)
- Participation à la Fête de la Science de 1999 à 2005 sur les thèmes suivants :
 - La foudre
 - La physique dans la cuisine (gaz, induction ,micro-onde...)
 - Fontaine de rosée
 - L'électricité statique
 - Ondes et vibrations
 - La modulation d'amplitude
 - Réalisation d'un pendule de Foucault dans le hall de l'assemblée de Polynésie
- Membre de l'association OPUR (Organisation Pour l'Utilisation de la Rosée)

10. PROPOSITION DE JURY POUR L'HDR

- M. Gérard Touchard, Professeur à l'Université de Poitiers (**rapporteur**)
Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques – Electrofluidodynamique
Boulevard Marie et Pierre Curie - BP 30179 –
86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL CEDEX
Gerard.Touchard@lea.univ-poitiers.fr

- Professeur Jean-Luc FRANCESCHI (**rapporteur**)
LAPLACE
Université Paul Sabatier (Toulouse III)
118 route de Narbonne.
31062 TOULOUSE CEDEX 9
jean.luc.franceschi@lget.ups-tlse.fr

- Professeur Alain TOUREILLE (**rapporteur**)
Institut d'Electronique du Sud - Groupe "Energie et Matériaux"
UMR CNRS 5214
Université Montpellier 2 - CC 079
34095 Montpellier Cedex 5 - FRANCE
Alain.Tourelle@univ-montp2.fr

- M. Jean-Pierre Barriot, Professeur à l'Université de la Polynésie française
BP 6570, 98702 Faaa, Polynésie française
Laboratoire Terre Océan
+(689) 803 855
barriot@upf.pf

- M. Eric Defer, Chercheur au Laboratoire d'Etude et du Rayonnement de la Matière en
Astrophysique - Observatoire de Paris
LERMA - Observatoire de Paris,
61, Avenue de l'Observatoire 75014 PARIS - FRANCE
Tél. : +33 1 40 51 20 06
fax : +33 1 40 51 20 02
eric.defer@obspm.fr

11. ANNEXE : COPIE DE PUBLICATIONS

- 1 - Predictive modelling of leader propagation under standard and oscillatory waveshapes, Journal of Phys.D. Appt. Phys, 27 pp1-9, (1994)
- 2 - Performance of a 17m air rod-plane gap under negative switching impulse, Journal of Phys.D. Appl. Phys, 27 pp2379-23 87, (1995).
- 3 - An experimental study of negative discharge in a 1.3 m point-plane air gap : the function of the space stem in the propagation mechanism; J. Phys. D: Appl. Phys. 28, pp2306-2313, (1995)
- 4 - Charge-voltage relationship of the first impulse corona in long airgaps ; J. of Phys.D. Appl. Phys, 38, pp2215-2226, (2005)
- 5 - Application of passive radiative cooling for dew condensation; Energy, Vol. 31, pp1967-1979, (2006)
- 6 - Lightning Activity Analyses with Respect to the SPCZ Location, acceptée pour publication dans Geophysical Research Letter, mars (2007)
- 7 - A Three Magnetic Direction Finder Network for a local warning device : acceptée avec corrections mineures pour publication dans Journal of Lightning Research, mars (2007)
- 8 - Impulse Breakdown Voltages of Air Gaps: a New Approach To Atmospheric Correction Factors, soumis à IEEE, février (2007)
- 9 - Humidity effect on the inception of the first positive corona, sera soumise à Journal of Phys. D : Appl. Phys., en mai 2007
- 10 - Dew formation in humid tropical climate (French Polynesia); soumis à Journal of Hydrology en juin (2006)