BAUX KATHLEEN
Résidence Les Oustalous,
Bât La Palombière, App 47
57 route d'Espagne,
31100 TOULOUSE

Chambre des Appels Correctionnels
Cour d'Appel de TOULOUSE

CONCLUSIONS

POUR La partie civile **Kathleen BAUX**, N° 261, 57 route d'Espagne, 31100 TOULOUSE

CONTRE **SOCIETE GRANDE PAROISSE**
Monsieur SERGE BIECHLIN
Prévenus

SCP SOULEZ-LARIVIERE, Avocats au Barreau de PARIS
SCP MONFERRAN, Avocats au Barreau de TOULOUSE

EN PRESENCE :

Du **MINISTERE PUBLIC**
Des **PARTIES CIVILES**

PLAISE A LA CHAMBRE CORRECTIONNELLE DE LA COUR D'APPEL DE TOULOUSE

Lors de l'audience du 15 décembre 2011, la Cour d'appel a entendu Monsieur Eric GAMARD et M. Jérôme MAHEUT, témoins travaillant à EDF-RTE en 2001 cités par moi-même.

Eric GAMARD a confirmé à la Cour la récupération de 9 tronçons du câble 63KV rompu le 21 septembre 2001 au nord ouest du cratère. Ces tronçons ont bien été enlevés par deux équipes de EDF-RTE de Toulouse et de Pau.

.
Le témoin a indiqué que chacune de ces deux équipes a récupéré ces câbles pour les voir quelques jours plus tard revendus à des ferrailleurs.

La récupération des tronçons de câbles par la justice auprès d'EDF-RTE n'a eu lieu qu'en juillet 2002 et a été réalisée, selon Eric GAMARD qui y a participé, au hasard parmi des chutes de câbles, chez un grossiste ferrailleur.

Eric GAMARD est certain qu'un des deux tronçons ayant subi la rupture a été enlevé en septembre 2001 par l'équipe de EDF-RTE de Pau, l'autre ayant été enlevé par la sienne à Toulouse. Ces deux tronçons ont tous les deux été revendus à des ferrailleurs de leur choix.

Il n'y a donc aucune chance, selon Eric GAMARD, que ces deux tronçons se soient retrouvés même avec un extrême hasard au sein du grossiste ferrailleur sollicité en juillet 2002 par EDF-RTE.

Les 9 tronçons de EDF-RTE livrés à la justice n'ont donc aucune chance d'être tous issus du câble 63 kV Lafourguette – Pont des Demoiselles.

Les 2 tronçons de EDF-RTE liés à la rupture et analysés par les experts judiciaires et la société SERMA TECHNOLOGIES ne peuvent pas être tous les deux authentiques.

Les supérieurs hiérarchiques de Eric GAMARD lui ont confirmé par écrit en 2011 (lettre remise par Eric GAMARD et lue par le Président du tribunal Bernard BRUNET ce 15 décembre 2011) qu'il ne devait surtout pas remettre en cause le problème de l'authenticité des câbles soulevé par celui-ci car EDF n'avait jamais été mise en cause par la justice.

Jérôme MAHEUT confirme la date de Juillet 2002 pour les demandes d'obtention et pour la mise sous scellés de ces tronçons de câble par les experts judiciaires (pièce **D2711 – ANNEXE 1**).

Jérôme MAHEUT, le supérieur hiérarchique toulousain de Eric GAMARD en 2001 et 2002, a confirmé à la barre qu'aucun traçage écrit de la récupération de ces tronçons n'a été effectué au sein d'EDF-RTE et qu'il a supposé, à tort, que ces 9 tronçons de câbles avaient été automatiquement mis de côté pour les besoins de la justice par ses équipes dès les premiers jours.

Jérôme MAHEUT n'a donc remis aucun document lié à cet éventuel traçage aux experts judiciaires ou au SRPJ, et ceux-ci ne les lui ont jamais réclamés.

Sur la demande tendant à la délivrance d'une commission rogatoire

Je demande la récupération de la note d'audience du 15 décembre 2011 pour le passage d'Eric GAMARD et de Jérôme MAHEUT de EDF-RTE Toulouse.

Je demande également la récupération d'une copie de la lettre datée de 2011 du supérieur hiérarchique de Eric GAMARD communiquée par celui-ci à la cour et lue par le Président du Tribunal Bernard BRUNET.

Ceci introduit une première demande de Donner Acte des informations fournies à la Cour par le témoignage de M. Eric GAMARD, confirmé par le témoin Jérôme MAHEUT, sur l'absence d'authentification du câble expertisé, rendant cette expertise caduque.

Ceci semble venir contredire les experts judiciaires dans leurs conclusions concernant ce câble 63KV.

Les experts judiciaires n'ont ainsi :

1. Jamais exigé la vérification de l'authenticité des 9 tronçons du câble 63 kV alors que ceux-ci leurs ont été remis près de 10 mois après la catastrophe d'AZF
2. Jamais demandé de vérifier si les traces d'impacts sur ces 9 tronçons de câble pouvaient être compatibles chimiquement et mécaniquement avec l'explosion les projections du hangar 221
3. Jamais exigé le moindre document de la part de EDF-RTE permettant de suivre le traçage de la récupération de ces tronçons afin d'éviter la moindre erreur ou confusion
4. Jamais demandé à la société SERMA TECHNOLOGIE de vérifier la jonction des brins entre les deux bouts de tronçons concernés par la rupture et l'analyse mécanique et chimique de cette jonction, ce qui aurait permis de découvrir le problème de l'authenticité de ces deux tronçons (rapport **D5107 page 10 – ANNEXE 2** conclusions, **D5107 pages 11 - ANNEXE 3,** 7 tronçons non rompus et **D5107 pages 11 ANNEXE 4** tronçons de rupture)
5. Jamais répondu favorablement à la Défense qui souhaitait l'été 2003 réaliser une vérification de l'authenticité du câble et un pré-examen de contrôle peu onéreux et aisé (lettre du cabinet SOULEZ-LARIVIERE dans la pièce **D3814 page 1 à 3 – ANNEXE 5,** lettre de leur ingénieur conseil Dominique FRANCOIS **pièce D3814 page 8 et 9 – ANNEXE 6**)

Tout ceci introduit **des demandes d'explications auprès des experts judiciaires sur les 5 points suscités.**

Toute une partie de leur rapport final ayant été consacré à l'expertise de ce câble 63 kV rompu lors de l'explosion d'AZF et de son comportement, ces experts judiciaires pourraient-ils revoir les conséquences de ces nouvelles informations sur le contenu de leurs rapports et sur les interprétations du phénomène qui aurait rompu le câble (rapport des experts électriciens Pierre MARY et Paul ROBERT, dans les pièces **D6265 pages 45 et 46 – ANNEXE 7**) **?**

Je demande ainsi la **révision du rapport final des experts judiciaires du collège Principal de Daniel Van Schendel** (pièce **D6879 pages 62 à 69 – ANNEXE 8** et pages 70 à 80**) .**

Le rapport de Michel Meunier (pièce D4879), mandaté par la société Grande Paroisse, a mis en évidence la correspondance possible entre les événements de court-circuit des phases du câble 63 kV Lafourgette – Pont des Demoiselles et les légères variations d'amplitude et de phase des enregistrements électriques du téléperturbographe TPE d'AZF.
Cette correspondance lui a autorisé une synchronisation horaire absolue extrêmement importante entre les événements électriques de l'usine AZF et ceux d'EDF, synchronisation précise et stratégique reprise plusieurs fois par les experts judiciaires électriciens et par le collège principal des experts dans leur rapport final.

Michel MEUNIER a déclaré au début de son rapport qu'il n'a pas pu travailler sur les données brutes des téléperturbographes d'AZF (pièce **D4879 page 4 – ANNEXE 9**). Il a dû en fait se contenter d'un fichier issu d'une interrogation de ce TPE effectué par la Commission d'Enquête Interne de Total en dehors de tout cadre juridique et travailler avec des programmes maisons basés sur des tableurs du type Excel.

Etant donné qu'il a fait un rapprochement de ces données internes à AZF avec l'événement électrique de court-circuitage qui a précédé la rupture du câble 63 kV d'EDF, et étant donné que l'authenticité de ce câble et les conclusions sur le type de rupture qu'a subi ce câble sont potentiellement remise en cause par les nouvelles informations de M. Eric GAMARD, nous estimons indispensable de vérifier également l'authenticité des données exploitées par Michel MEUNIER et d'examiner à nouveau la fiabilité des interprétations réalisées par Michel MEUNIER grâce à l'événement de court-circuit et de rupture du câble des Demoiselles.

Les experts judiciaires électriciens Pierre MARY et Paul ROBERT ont fournis, dans la pièce D6269 page 50 à 69, des impressions des courbes électriques des 3 phases du TPE d'AZF ayant, selon eux et selon Michel MEUNIER, été impactées électriquement par la rupture du câble 63 kV d'EDF-RTE. Aucune information précise ne permet de contrôler que ces courbes sont bien issues du TPE d'AZF analysé sous contrôle judiciaire par AREVA T&D et non par une réutilisation d'un fichier informatique externe avec le logiciel WinAnalyse, comme celui remis à Michel MEUNIER par la société Grande Paroisse. Il serait donc souhaitable d'accéder à ces documents d'origine fournis par AREVA T&D montrant le format de stockage informatiques de ces données dans le TPE et la preuve de l'impression directe de ces données à partir du TPE.

Je demande également **l'authentification des données informatiques exploitées par l'expert Michel MEUNIER et par les experts électriciens Pierre MARY et Paul ROBERT**

La Cour appréciera la somme d'informations majeures que ces études peuvent représenter dans la recherche de la manifestation de la vérité sur la catastrophe toulousaine.

Nous ne connaissons donc pas la signature de la rupture de ce câble, les caractéristiques d'une telle défaillance, son origine ni même les impacts sur toutes les structures métalliques le supportant. Est-ce l'explosion seule du hangar 221 qui est responsable de cette rupture ? La question reste entière et d'actualité.

C'est ainsi que je demande à la Cour d'Appel que soit :

1. DONNER ACTE des révélations sur ce câble 63KV faites par les témoignages de M. Eric GAMARD et de M. Jérôme MAHEUT.
2. Je demande la récupération de la note d'audience du 15 décembre 2011 pour le passage de Eric GAMARD et de Jérôme MAHEUT de EDF-RTE Toulouse.
3. Je demande également la récupération de la lettre datée de 2011 du supérieur hiérarchique de Eric GAMARD communiquée par celui-ci à la cour et lue par le Président du Tribunal Bernard BRUNET
4. Je demande à la Cour que soit DELIVRER COMMISSION ROGATOIRE aux services de Police compétents à l'effet de :
    a. La révision du rapport final des experts judiciaires du collège Principal de Daniel Van Schendel.
    b. l'authentification des données informatiques exploitées par l'expert Michel Meunier et par les experts électriciens Pierre MARY et Paul ROBERT

PAR CES MOTIFS

Rejetant toutes conclusions contraires comme injustes ou mal fondées,

Par application des dispositions des articles 463 et 512 du Code de Procédure Pénale,

Considérant les témoignages de M. Eric GAMARD et de M. Jérôme MAHEUT recueillis par la chambre correctionnelle de la Cour d'Appel de Toulouse ce 15 décembre 2011,

Je demande donc à la cour d'appel de bien vouloir :

DONNER ACTE de ce nouvel élément à inscrire au dossier judiciaire.

COMMUNIQUER la note d'audience du 15 décembre 2011

COMMUNIQUER la lettre datée 2011 du supérieur hiérarchique de M. Eric GAMARD remise à la Cour par celui-ci en cette même audience.

DELIVRER commission rogatoire aux services de police compétents à l'effet de :

1. Procéder à toutes investigations à l'effet de répondre aux cinq points des experts judiciaires qui n'ont :

    a. Jamais exigé la vérification de l'authenticité des 9 tronçons du câble 63 kV alors que ceux-ci leurs ont été remis près de 10 mois après la catastrophe d'AZF
    b. Jamais demandé de vérifier si les traces d'impacts sur ces 9 tronçons de câble pouvaient être compatibles chimiquement et mécaniquement avec l'explosion les projections du hangar 221
    c. Jamais exigé le moindre document de la part de EDF-RTE permettant de suivre le traçage de la récupération de ces tronçons afin d'éviter la moindre erreur ou confusion
    d. Jamais demandé à la société SERMA TECHNOLOGIES de vérifier la jonction des brins entre les deux bouts de tronçons concernés par la rupture et son analyse mécanique et chimique, ce qui aurait permis de découvrir le problème de l'authenticité de ces 2 tronçons (Pièce D5107)
    e. Jamais répondu favorablement à la Défense qui souhaitait l'été 2003 réaliser une vérification de l'authenticité du câble et un pré-examen de contrôle peu onéreux et aisé (pièce D3814)

2. Procéder à toutes investigations à l'effet de la **révision du rapport final des experts judiciaires du collège Principal de Daniel Van Schendel** (pièce D6879 page 62 à 80**) .**

3. Procéder à également **l'authentification des données informatiques exploitées par l'expert Michel MEUNIER et par les experts électriciens Pierre MARY et Paul ROBERT** (rapports dans les pièces D4879, D6265 et D6269)

FAIT A TOULOUSE, Le 05 février 2012

Kathleen BAUX

ANNEXES

1. **D2711 - Mise sous scellés des câbles 63 kV le 9 Juillet 2002**
2. **D5107 page 10 - Conclusions du rapport de SERMA TECHNOLOGIES**
3. **D5107 page 11 - 7 des 9 tronçons de câbles remis à SERMA TECHNOLOGIES**
4. **D5107 page 12 - Les 2 extrémités de la rupture remis à SERMA TECHNOLOGIES**
5. **D3814 page 1 à 3 - Lettres du Cabinet de Me SOULEZ-LARIVIERE**
6. **D3814 page 8 et 9 - Lettre de l'ingénieur conseil Dominique FRANCOIS**
7. **D6265 page 45 et 46 - Rapport des experts électriciens Pierre MARY et Paul ROBERT**
8. **D6879 page 62 à 69 - Rapport final des experts judiciaires**
9. **D4879 page 4 - Rapport de Michel MEUNIER**

ANNEXE 1 – D2711
Mise sous scellés des câbles 63 kV le 9 Juillet 2002

RE JE FRANCAISE
MINISTERE DE L'INTERIEUR

DIRECTION GENERALE DE LA POLICE NATIONALE

S.R.P.J. TOULOUSE

P.V. : 2002/000336/ 27

D 2711

PROCES VERBAL

L'an deux mille deux,
le neuf juillet à seize heures trente cinq

Nous, **Jean-Pierre BELLAVAL**
ENQUETEUR DE POLICE
en fonction au SRPJ TOULOUSE

Officier de Police Judiciaire en résidence à Toulouse
---- Agissant en vertu et pour exécution de la Commission Rogatoire délivrée le 14 Juin 2002, par Messieurs Joaquim FERNANDEZ, et Thierry PERRIQUET, Juges d'Instruction au TRIBUNAL DE GRANDE INSTANCE DE TOULOUSE, ----------
---- Et relative à l'information suivie contre NORAY Robert, FAURE Gilles. PAILLAS Georges. CLEMENT Thierry. BIECHLIN Serge, MAILLOT René, DELAUNAY Eric, SIMARD Jacques, GIL Philippe, MOLE Richard, PETRIKOWSKI Stanislas, GELBER Jean-Claude, ALBRESPY Claire épouse CRUVELIER, des chefs de : ----------
- Homicides involontaires par violation manifestement délibérée d'une obligation particulière de sécurité ou de prudence imposée par la Loi ou le règlement, ----------
- Blessures involontaires ayant entraîné une ITT supérieure à 3 mois, par violation d'une obligation ....
- Blessures involontaires ayant entrainé une ITT inférieure à 3 mois, par violation d'une obligation....
- Destruction, dégradations ou détériorations involontaires de biens appartenant à autrui par l'effet d'un incendie ou d'une explosion, en raison d'une violation manifestement délibérée d'une obligation particulière de sécurité ou de prudence prévue par la Loi ou le règlement, ----------
---- Faits commis à TOULOUSE le 21 SEPTEMBRE 2001. ----------
---
---- Réquisitoire supplétif du 28 mai 2002 contre X... des chefs : ----------
- d'infractions à l'obligation d'évaluation des risques, -------
- d'infractions à la règlementation en matière de sécurité s'imposant en cas d'interventions d'entreprises extérieures, ---
- d'infractions à la règlementation en matières de gestion de la sous-traitance, ----------
---- Supplétif du 12/6/02 : homicide commis par maladresse, imprudence inattention, négligence ou manquement à une obliga-tion de sécurité ou de prudence imposée par la Loi ou le Règlement, et par une violation manifestement délibéré d'une obligation particulière de sécurité ou de prudence imposée par la Loi, sur Mme Louise FRITZCH,le 21/9/2001 à Toulouse, DCD le 24/9/2001.----------
---
---- Nous étant tr nsporté à la R.T.E. 87, rue Jean Gayral 31200 TOULOUSE, ----------
---- Sommes mis en présence de Monsieur MAHEUT Jerôme, né le 6 fevrier 1966 à Reims (51), Directeur adjoint du GET PYRENEES, et élisant domicile 25, chemin Jarlandis 31700 TOURNEFEUILLE, -----
---- Serment préalablement prêté dans les formes de Droit, il Nous déclare : ----------

AFFAIRE :

Contre/ NORAY, FAURE, PAILLAS,CLEMENT,BIECHLIN MAILLOT,DELAUNAY,... Homicides blessures involontaires...

OBJET :

Transport à la R.T.E. 87, rue Jean Gayral 31200 TOULOUSE, Mise sous scelles de câ-bles EDF.

?000187

---- " Conformément à la demande de M. ROBERT Paul, expert mandaté dans le cadre de la présente enquête, je mets à votre disposition les câbles récupérés sur la ligne 63 KV LA FOURGUETTE/PONT DES DEMOISELLES. ----------
---- Ces câbles ont été endommagés lors de l'explosion du 21 septemble 2001. ----------
---- Je vous présente deux palettes, où ont été disposées plusieurs couronnes de câbles : ----------
- Sur la 1ère figurent entre autres, les morceaux de câbles rompus , ----------
- Sur la seconde sont stockés des morceaux de câbles ayant subi des chocs suite aux projections issues de l'explosion. -------
---- Je constate que vous saisissez et placez sous scelles ces cables ainsi : ----------
-1ère palette : 5 couronnes mesurant approximativement et respectivement : 1ère - 40m, 2ème : 15m, 3ème 15m, 4ème : 20m et 5ème : 60m; ----------

SCELLE JPB 228

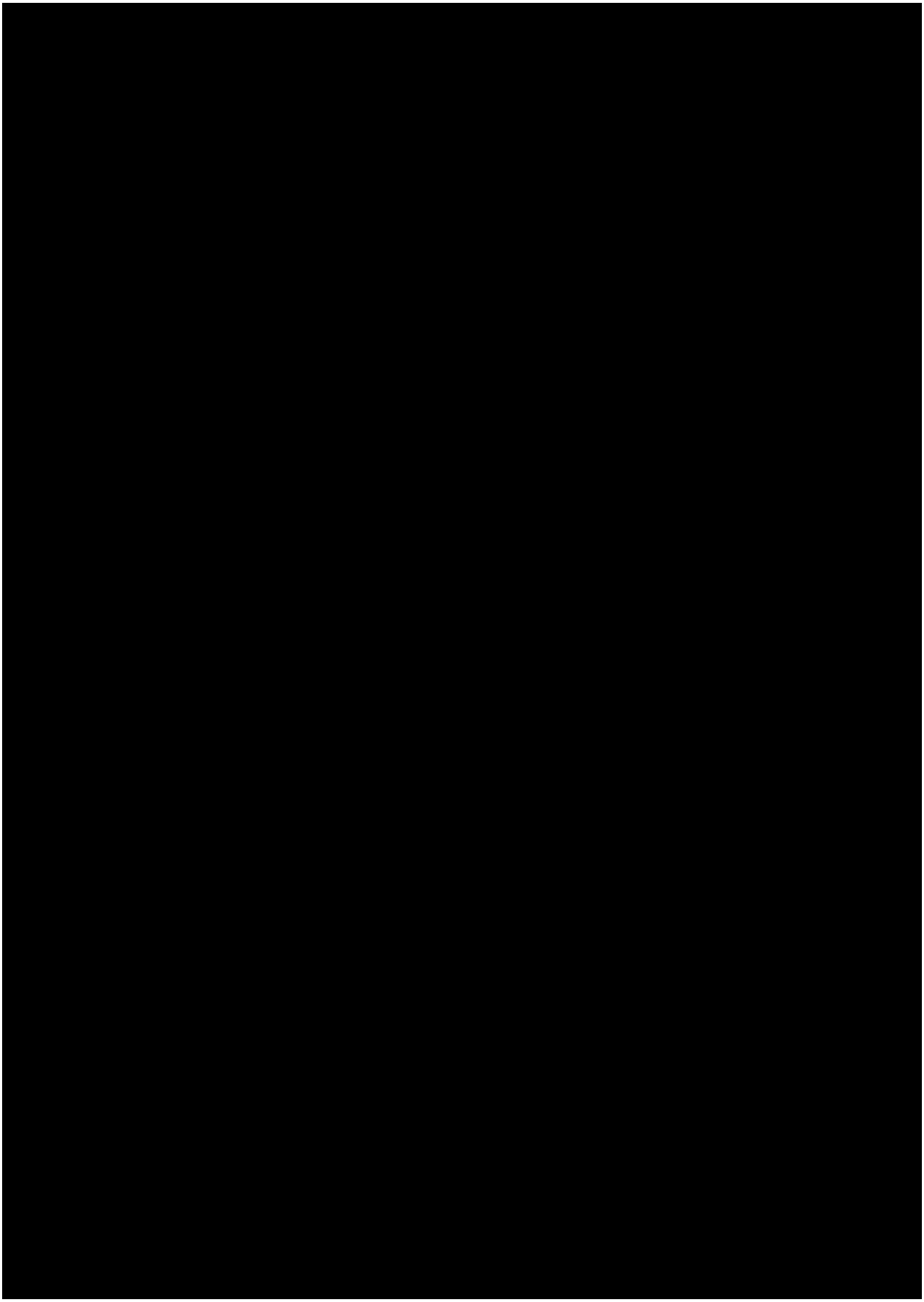
----SAISISSONS ET PLACONS SOUS SCELLE N°JPB 228 l'ensemble des cables disposés sur cette palette. ----------
-2ème palette : 4 couronnes mesurant approximativement et respectivement : 1ère : 20m, 2ème : 40m, 3ème : 60m, 4ème 60m---

SCELLE JPB 229

----SAISISSONS ET PLACONS SOUS SCELLE N°JPB 229 les cables disposés sur cette deuxième couronne. ----------
---- Informons M. MAHEUT qu'il est nommé gardien de ces deux scellés. A sa charge leur conservation et sauvegarde. ----------
---- Il nous déclare serment préalablement prêté dans les formes légales : " Je prends acte que je suis responsable de la garde de ces scellés jusqu'à la décision judiciaire".----------
---- Dont acte que M. MAHEUT signe avec Nous après avoir lu et persisté. ----------
M. MAHEUT. Le Capitaine de Police. L'OPJ.
-

02000187

ANNEXE 2 - pièce D5107 page 10
Conclusions du rapport de SERMA TECHNOLOGIES



SERMA TECHNOLOGIES

AF03-3833
8/40

INSPECTION VISUELLE

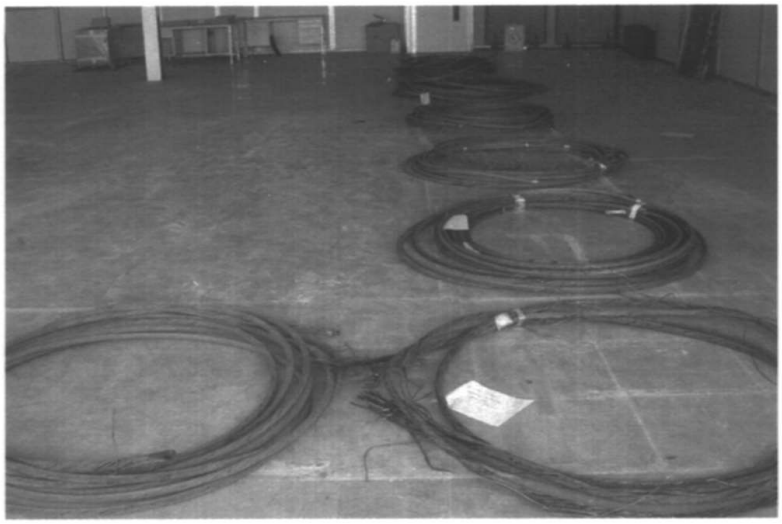


Figure 1. Vue d'ensemble des vestiges de câble.

ANNEXE 4 - D5107 page 12
Les 2 extrémités de la rupture remis à SERMA TECHNOLOGIES

INSPECTION VISUELLE

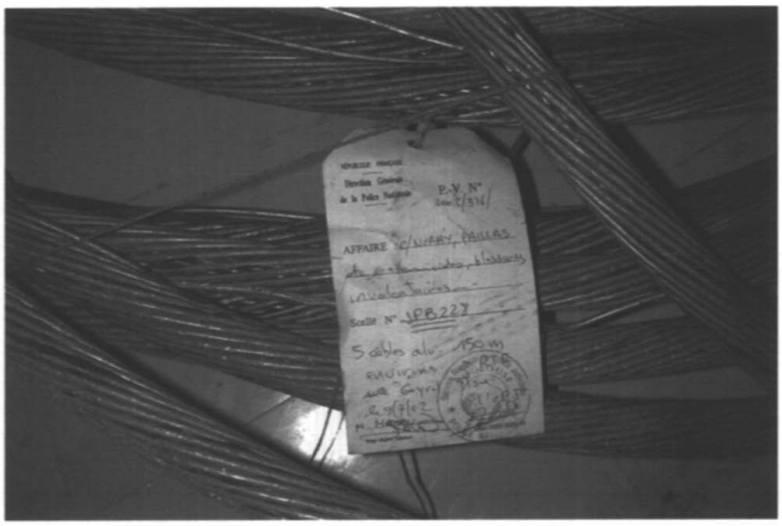


Figure 2. Vues d'ensemble des deux scellés.

SOULEZ LARIVIÈRE & ASSOCIÉS
CABINET D'AVOCATS AU BARREAU DE PARIS

Daniel Soulez Larivière *
ANCIEN MEMBRE DU CONSEIL DE L'ORDRE
Simon Foreman *
Chantal Bonnard *
Mauricia Courrégé *
Emmanuelle Berkovits
Amandine Sahal
Olivier Mingasson
Elisabeth Vandenheede
Mélanie Étienne
* ASSOCIÉS

D3814

Courrier Arrivé le
13 AOUT 2003
Cabinet du Juge d'Instruction
T. PERRIQUET

Monsieur Thierry PERRIQUET
Juge d'Instruction
TGI de Toulouse
3 Place du Salin - BP 7015
31068 TOULOUSE CEDEX 07

Paris, le 12 août 2003

Affaire : BIECHLIN et autres/MP

Monsieur le Juge,

Il nous semble utile de faire le point sur les progrès réalisés par les investigations sur les questions électriques. Ces progrès nous conduisent à vous soumettre de nouvelles demandes d'investigations sur le fondement de l'article 81-1 du CPP qui, par commodité, seront numérotées en continuité avec nos précédentes demandes. Nous vous soumettons également une demande concernant le dossier de SNPE à la DRIRE.

1 – Examen visuel du câble aérien de la « Ligne des Demoiselles »

Vous avez bien voulu nous autoriser à procéder à cet examen visuel qui a donc eu lieu le 22 juillet dernier et pour lequel nous nous sommes faits assister par Messieurs André Belot, professeur honoraire à l'Ecole supérieure d'électricité (Supélec), et Dominique François, métallurgiste, professeur honoraire à l'Ecole Centrale de Paris.

Malheureusement lors de cet examen l'officier de police judiciaire n'était pas autorisé à procéder à la levée provisoire des scellés comme nous vous l'avions demandé. Or le câble a été découpé en neuf tronçons qui sont enroulés sur eux-mêmes pour le stockage et attachés ensemble par les scellés ; l'impossibilité de lever ces derniers a considérablement réduit les possibilités d'observation, notamment en interdisant tout déroulement du câble. De plus, en l'état de nos observations et sous réserve d'indications contraires que donnerait EDF, les neuf tronçons n'ont pas été identifiés ce qui rend difficile, sinon impossible, la reconstitution du câble dans sa continuité.

Il a néanmoins été possible d'identifier, grâce à des étiquettes métalliques posées par EDF, les extrémités de la rupture accidentelle du câble, qui ont ainsi pu être distinguées des extrémités de chacun des tronçons.

Demande d'investigation n° 75 : nous vous prions de bien vouloir autoriser la défense assistée de ses experts à procéder à un nouvel examen visuel du câble de la « Ligne des Demoiselles », mais cette fois-ci en autorisant la levée des

22 AVENUE DE LA GRANDE ARMEE 75858 PARIS CEDEX 17 FRANCE TEL +33 (0) 1 47 63 37 22 FAX +33 (0) 1 42 67 83 05 PALAIS P 224

scellés et le déroulement du câble ; nous souhaitons à cette occasion tenter de reconstituer les deux parties du câble rompu et de déterminer si les traces observées le 22 juillet se situent toutes sur le même côté du câble ; nous souhaitons en reconstituer l'axe vertical en cherchant s'il est possible de repérer le haut et le bas et localiser d'éventuelles traces de chocs ainsi que le côté où elles se situeraient.

En l'état, le Professeur François a d'ores et déjà établi une note suite à l'examen visuel qu'il a pu effectuer dans les conditions qui viennent d'être décrites. Vous voudrez bien trouver cette note en annexe au présent envoi.

Il en ressort que sous réserve d'examens complémentaires peu coûteux et aisés à réaliser (examen micrographique et examen au microscope électronique à balayage), le câble aérien retrouvé à terre après la catastrophe pourrait ne pas avoir été cassé par un projectile contondant, comme on le pensait jusqu'alors, mais par fusion, selon toute vraisemblance provoquée par le court-circuit né de la rencontre entre ce câble et un autre câble de la même ligne haute tension.

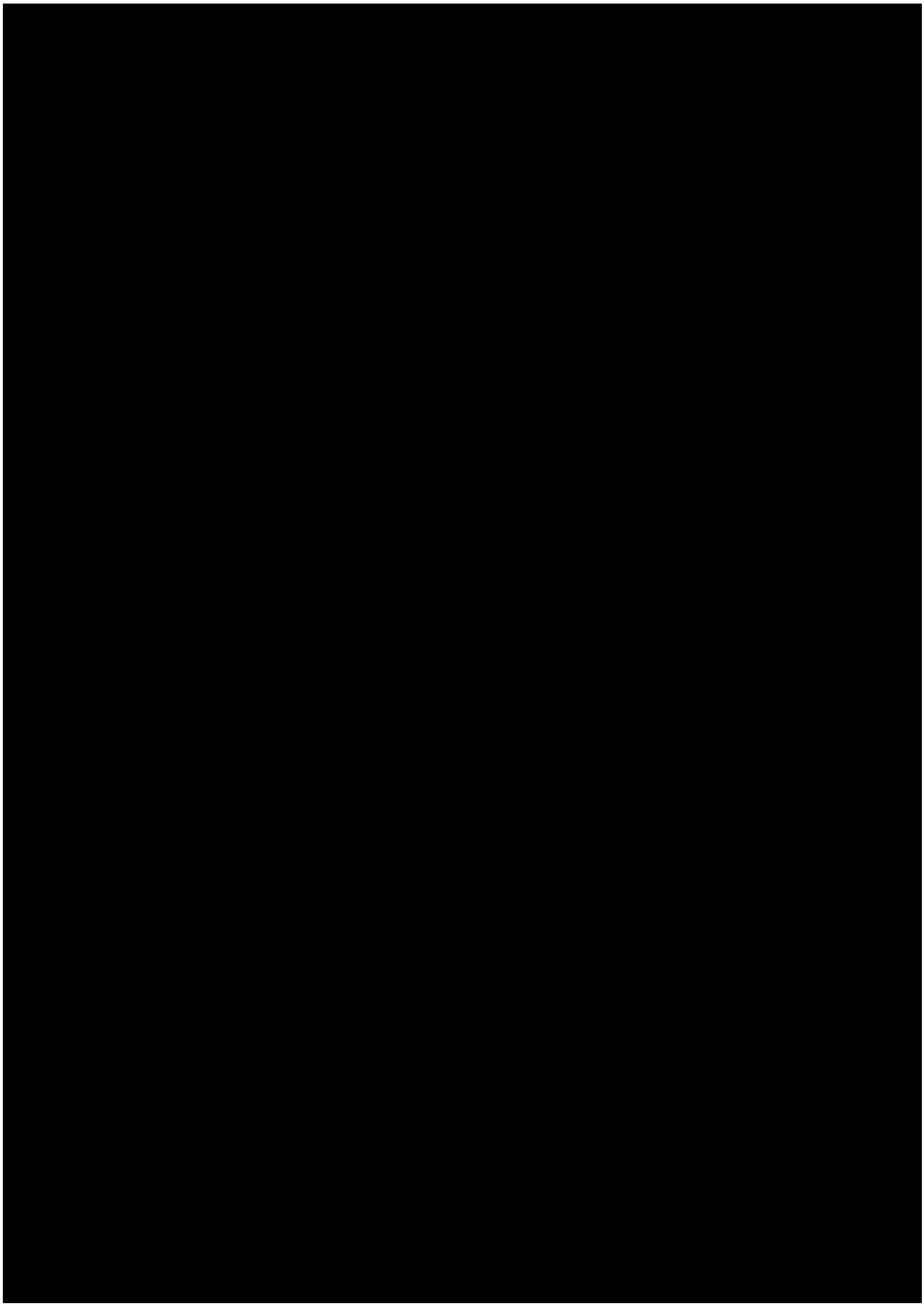
Demande d'investigation n° 76 : nous demandons que le câble sous scellés soit confié à un laboratoire compétent pour procéder à un examen micrographique et au microscope électronique à balayage, pour tenter de déterminer s'il a rompu sous l'effet d'un effort mécanique de traction, ou fondu sous l'effet d'un coup d'arc électrique[1].

Le Professeur François préconise également qu'il soit procédé à une analyse cinématique de la dynamique de déplacement du câble, qui permette d'estimer le temps séparant sa sollicitation par les effets de l'explosion et la rencontre entre les deux phases.

Demande d'investigation n° 77 : nous demandons que EDF soit invitée à communiquer tous documents ou études en sa possession relatifs :

- aux caractéristiques mécaniques et cinématiques des câbles « Aster 366 » (notamment toutes données permettant d'étudier leur réponse aux sollicitations susceptibles de résulter de chutes d'objets ou de vents violents et de calculer les risques de rencontres de phases entre elles)
- et aux caractéristiques mécaniques des isolateurs supportant ces câbles au niveau des pylônes (en particulier quelle est leur résistance par rapport à celle du câble lui-même ?)
- enfin nous souhaiterions qu'EDF indique si elle dispose d'outils informatiques permettant de modéliser ou simuler le comportement des trois phases d'un tel câble lorsque celui-ci est soumis à de fortes sollicitations et si elle accepterait de mettre ces outils à la disposition des experts judiciaires dans le cadre de la mission faisant l'objet de notre demande n° 78.

[1] De très nombreux laboratoires peuvent faire cette analyse, notamment à l'école des Mines, à l'Ecole Centrale (où Monsieur François est professeur honoraire), à l'ENS Mécanique aéronautique de Poitiers, au CETIM de Nantes, au Laboratoire National d'Essais boulevard Victor à Paris, où Madame Joguet, spécialiste des ruptures, a acquis une expérience reconnue dans cette discipline.



Dominique FRANÇOIS
Ingénieur-Conseil

Tél + 33 (0)141 13 13 29
Fax + 33 (0)141 13 30 40

e-mail : francois@mssmat.ecp.fr

Objet : rupture câble électrique
V/Réf. :
N/Réf. :

Gometz-le-Châtel, le 27 juillet 2003 ~~vendredi, janvier 1, 1999~~

Rapport d'examen sommaire de la rupture d'un câble de transport d'électricité

Au voisinage du lieu de l'explosion de l'usine AZF existe une ligne de transport d'électricité sous haute tension. Après l'explosion, un des câbles été retrouvé rompu environ au milieu d'une portée entre deux pylônes. Le 22 juillet 2003 nous avons pu examiner les tronçons restants, mis sous scellées dans un local d'EDF à Toulouse. Le but de cet examen était d'apprécier si une étude plus attentive des endommagements subis par ce câble pourrait apporter des éléments pour la compréhension du déroulement de l'accident.

La ligne sous haute tension court au nord de l'usine AZF en longeant une voie de chemin de fer. Elle comprend évidemment trois conducteurs.. L'emplacement de la rupture se situe à environ 250 m du point de l'explosion.

Les tronçons du câble sous scellées sont lovés sous forme de deux couronnes qu'il n'est pas possible de dérouler sans briser les scellées. L'examen n'en n'est pas facilité. Le câble comporte 37 torons d'environ 3,5 mm de diamètre. Il s'agit vraisemblablement d'un câble Aster 366 d'après la norme NF C 34-125. Il a été sectionné en plusieurs endroits.

On note que certaines coupures du câble ont certainement été effectuées à la pince. En divers emplacements, sur les deux couronnes, des zones fortement endommagées sont visibles sans qu'il y ait interruption de la continuité du câble. Seuls quelques torons sont rompus. L'examen visuel de ces zones montre des signes de fusion du métal. On relève aux extrémités des torons rompus des surfaces de rupture généralement inclinées, dépourvues des aspects habituels d'une rupture qui auraient résulté d'un effort excessif d'un effort de traction. Certaines parties sont parsemées de gouttes de métal fondu solidifiées. Quelques torons ont leurs extrémités rompues soudées entre elles. Il existe aussi des amincissements locaux sur certains torons. Le câble a donc visiblement subi des arcs électriques en divers emplacements. Les compter

Adresse postale : Le Petit Palaiseau, 49, rue Saint Jean de Beauregard, 91940 Gometz-le-Châtel
n° SIRET : 418 701 645 000 16
Membre d'une association agréée par l'administration fiscale acceptant à ce titre le réglement des honoraires par chèques libellés à son nom.

et les situer précisément n'est pas possible, puisqu'il faudrait, pour pouvoir le faire, les dérouler complètement.

Grâce à deux étiquettes métalliques fixées à leur voisinage, les extrémités du câble rompues lors de l'accident ont pu être identifiées vraisemblablement. L'aspect des torons sectionnés à ces extrémités n'est pas franchement différent de celui noté dans les zones endommagées. Leurs extrémités présentent des surfaces de ruptures inclinées avec des bords ourlés. Il existe des amincissements locaux. L'aspect n'évoque pas une rupture résultant d'un effort de traction excessif. Sans être capable de faire un examen exhaustif et approfondi, nous n'avons pas noté de trace d'impact par un objet dur ou tranchant. La rupture du câble serait alors due, comme les endommagements visibles ailleurs, à un coup d'arc électrique ayant provoqué la fusion du métal.

Il n'est pas possible, à l'issue de cet examen qui n'a pu être que très superficiel, de conclure de façon formelle sur la cause de la rupture du câble. Il faudrait, pour pouvoir le faire, repérer de façon indiscutable les deux extrémités rompues, et examiner au laboratoire, à l'aide de moyens plus puissants que la loupe, les torons détériorés. Des micrographies et des examens au microscope électronique à balayage effectués sur ces torons seraient susceptibles d'indiquer comment ils ont péri. On saura sans doute alors si cela provient d'un effort d'origine mécanique ou d'un coup d'arc électrique ayant provoqué une fusion du métal. Il y aurait lieu également de détecter sur toute la longueur des tronçons la présence éventuelle de traces d'impacts par des objets durs ou tranchants.

Si, comme le laisse supposer ce premier examen, c'est le coup d'arc qu'il faut retenir, le compte-rendu des événements fourni par EDF permettrait de conclure que la rupture du câble a été le résultat d'un court-circuit avec un câble voisin transportant une autre phase. Dans ce cas il s'agirait d'un déplacement du câble horizontalement et non pas verticalement. Celui-ci aurait pu être provoqué soit par l'impact d'un objet projeté par l'explosion, soit même par le souffle de cette dernière. Une analyse dynamique de la cinématique du déplacement devrait être réalisable et elle renseignerait sur la durée vraisemblable d'apparition du court-circuit.

Il me semble que des ingénieurs d'EDF seraient à même d'apporter des indications sur le comportement des lignes à haute tension sous l'effet de vents violents ou de chute d'objets. Il ne devrait pas être difficile autrement de créer un logiciel de calcul permettant de visualiser par simulation le déplacement du câble en fonction du temps. Une autre indication intéressante serait la résistance mécanique des supports du câble de façon à savoir si elle est inférieure ou supérieure à celle de ce dernier.

En conclusion, je recommande fermement un examen approfondi des tronçons du câble sectionné comportant en particulier la détection d'éventuels impacts et l'étude micrographique des extrémités rompues afin d'établir la cause de la rupture. Combiné avec une étude cinématique du comportement du câble sous l'effet du souffle ou d'un impact par un objet projeté par l'explosion, cet examen permettra selon toute vraisemblance d'estimer l'instant du court-circuit par rapport à l'instant de cette dernière.

Dominique François

Copie à
PJ :

Ainsi, le TPE d'AZF a été déclenché à 10h 17mn 39,411 parce que la tension de l'alternateur "TANV" a brusquement diminué. La baisse de la tension était un des évènements susceptibles de mettre en route le perturbographe.
La date indiquée est l'heure indiquée par l'horloge interne à l'appareil ; cette heure n'est pas, rappelons le, référencée à une horloge étalon. Pour avoir l'heure absolue, il suffit de comparer l'horloge de cet appareil à celle d'un autre appareil, dont l'horloge est correctement calée, et qui a observé le même évènement. A ce jour, nous n'avons pas su faire cette opération.
Le TPE envoie un signal à la GTC, disant qu'il s'est déclenché. Il le fait via l'ENI.
Le TPE fournit un enregistrement. Cela signifie une suite de valeurs numériques, égales à la valeur instantanée de la grandeur observée, à des dates régulièrement espacées (de 0,5 millisecondes, pour notre appareil).

Traitement des données des TPE

L'enregistrement brut n'est pas facile à exploiter et nous avons décidé de traiter ces informations pour les mettre sous une forme plus utilisable. Cela n'a rien d'original. Alstom propose, avec le TPE, des logiciels faisant parfois exactement la même chose.
Ne sachant pas exactement comment sont faits les logiciels Alstom, et devant la puissance des logiciels usuels qui permettent une programmation simple, nous avons préféré écrire nous même les programmes de traitement. Ainsi, il nous est toujours possible de répondre de façon exhaustive à toute question sur ces traitements. Les programmes sont écrits en utilisant le logiciel Excel ou le logiciel MATLAB ou encore le logiciel SCILAB.
On a calculé la valeur efficace des tensions et courants[2], les grandeurs homopolaires en valeur instantanée et en valeur efficace[3], le taux de composante inverse[4].

Le TPE d'AZF

Nous disposons d'un très grand nombre d'enregistrements puisque cet appareil a été utilisé avant, pendant et après la catastrophe. L'appareil a été régulièrement relevé et de nombreux évènements bien antérieurs, comme bien postérieurs, à la catastrophe ont été enregistrés.
Deux enregistrements sont plus intéressants que les autres :

---

[2] La valeur efficace de la tension ou du courant est utilisée par tous les électriciens.
La valeur efficace caractérise la puissance qu'il est possible d'obtenir avec une tension et un courant.
Elle est définie par intégration sur une période (20 millisecondes pour un réseau à 50 Hz, soit 40 échantillons sur les enregistrements exploités). Cette définition indique que cette notion est intimement liée à la périodicité des phénomènes. Ainsi, quand un évènement survient, pendant la transition entre la situation périodique antérieure et la situation postérieure à l'évènement, il y a une zone de transition non périodique pendant laquelle on continue à faire un calcul sur 20 ms. L'interprétation de la valeur obtenue à l'intérieur de cette zone est difficile.
Heureusement, ces transitions durent peu de temps.
A chaque instant, la valeur efficace est calculée sur la période (40 échantillons) qui précède l'instant considéré.

[3] Grandeurs homopolaires
Ces grandeurs sont caractéristiques de la relation qui existe entre le réseau et le sol. Très simples à calculer, c'est un tiers de la somme des tensions de chaque phase ou un tiers de la somme des courants dans chaque phase. La somme des courants dans chaque phase est appelée "courant résiduel" ; c'est trois fois le courant homopolaire. Le courant résiduel passe effectivement dans le sol.
Les grandeurs homopolaires sont des grandeurs à 50 Hz. On peut, bien évidemment, en calculer la valeur efficace.

[4] Grandeurs inverses
Elles sont caractéristiques d'un type de déséquilibre néfaste notamment pour les machines tournantes.
Les grandeurs inverses sont des sinusoïdes à 50 Hz. Elles sont calculées en valeurs efficaces ; la valeur instantanée n'est pas disponible dans nos programmes. Cependant la phase de ces grandeurs peut être calculée.
Les particularités du TPE rendent l'exploitation de la phase extrêmement difficile et nous ne l'avons pas utilisée.
Le taux de composante inverse est le rapport entre la composante inverse et la tension normale du réseau.

- B 2–3) Lignes aériennes 63 kV en conducteurs nus.

1-) Ligne 63 kV LA FOURGUETTE – PONT des DEMOISELLES.

Cette ligne triphasée constituée par des câbles de caractéristiques mentionnées en annexe 23b, phases repérées 3, 7, 11, disposées selon l'annexe 43 au droit du défaut biphasé et de sa rupture, alimente, au départ, en aérien en suivant le périphérique extérieur le poste SNCF du Pont des Demoiselles, elle est aussi raccordée en cours de route et en enterré, au poste source de CHATEAU par lequel elle peut être réalimentée.

Il y a eu un contact ou un rapprochement générateur d'arc entre ses phases 3 et 7 qui a alerté les protections des postes de LA FOURGUETTE et de CHATEAU. On peut imaginer, sans en avoir le preuve, que ce court-circuit provient d'un objet volant et non du souffle puisque vraisemblablement trop tardif.

L'annexe 27a, éditée par le RTE, montre que les protections de LA FOURGUETTE et le disjoncteur correspondant ont maintenu le courant de court-circuit biphasé pendant un temps de 110 ms confirmée par l'étude des oscillogrammes qui nous été transmis par le même organisme.

La même annexe et les oscillogrammes correspondants montrent que les protections de CHATEAU et le disjoncteur y afférant, ont maintenu le courant de court circuit biphasé pendant un temps de 140 ms

A l'échéance de ces temps la ligne était sans courant car protections et automatismes du RTE ayant vu de part et d'autre le défaut biphasé ont fait déclencher les disjoncteurs.

Par les effets de ce court-circuit la phase 7 s'etait coupée et les deux tronçons avaient touché le sol, les installations SNCF et la végétation.

A LA FOURGUETTE à l'échéance d'un temps de 5"300 après la fin du défaut biphasé, RTE au moyen de ses automatismes a émis l'ordre de réenclenchement. Par cette opération les protections de ce poste ont vu le défaut à la terre résultant de la chute d'un des cotés de la phase 7 et provoqué le déclenchement et le verrouillage définitif du disjoncteur correspondant. A CHATEAU à l'échéance d'un temps de 23'550 le comportement a été identique. Ces défauts électriques se sont produits au croisement de la ligne 63 kV avec les installations de la SNCF. Les travaux exécutés ou restant à exécuter quelques jours après le sinistre pour la remise en état des installations SNCF sont énumérés dans l'annexe 43.

Les temps mentionnés par RTE (annexe 27a) nous montreraient que le défaut biphasé, a eu lieu dans un temps de l'ordre d'une dizaine de secondes après l'arrivée de l'information concernant l'ouverture de la SETMI au poste de MOUNEDE mais la datation de l'ouverture de cette dernière demeure incertaine (cf § B-5).

Nota : les précisions de quelques dizaines de millisecondes en + ou en - pour le début ou la fin des évènements n'ont pas été prises en compte.

Nous avons pu examiner une première fois le 17.09.02 au RTE les portions de câble déposées de la phase 7 (photo 9-31 a et b, annexe 9) accompagnés de deux spécialistes du Ministère de la Défense, Direction des centres d'expertise et d'essais du Centre d'Essais Aéronautique de TOULOUSE, qui nous ont indiqué à l'issu de l'examen, que si un objet volant avait provoqué le contact et la rupture les probabilités de savoir de quel type d'objet il s'agissait étaient très faibles sinon inexistantes.

Ce câble a été remplacé par RTE sur la totalité d'un canton (distance ente deux pylônes d'arrêt). Il est de type 366 Aster et constitué de 37 brins « almélec » de diamètre unitaire 3,55 mm annexe 23b).

Afin de compléter notre première expertise nous avons effectué le 13.03.03 un nouvel examen des portions de câble préalablement déroulées par RTE. Outre la cassure de nombreux brins que l'on peut éventuellement attribuer à l'objet volant, des traces de chocs mécaniques, d'étirement des brins et des amorçages électriques sont visibles en plusieurs endroits.

Des amorçages peuvent être attribués au défaut biphasé entre les phases 3 et 7 et d'autres au contact avec le sol, les rails, la ligne, la caténaire SNCF, la végétation.... au moment des réenclenchement à LAFOURGUETTE et à CHATEAU qui ont suivi le défaut biphasé (photo 9-31 a et b, annexe 9).

Des constatations complémentaires ont été effectuées à la demande de M.VAN SCHENDEL par la Sté SERMA. Rapport en sa possession, mais dont la lecture ne nous a pas apporté d'élément supplémentaire concernant la rupture de la phase 7.

2) Ligne 63 kV LESPINET - PORTET.

Cette ligne aérienne isolée pour transporter l'énergie électrique sous une tension de 90 kV est utilisée en 63 KV, elle est donc surisolée (plus grand nombre d'assiettes).

Pour faire suite au courrier de Me SOULEZ LARIVIERE du 09.11.04 (D 5138) et à la demande de M.MEUNIER qui lors de la réunion au TGI du 19.10.04, a demandé qu'une précision soit apportée au témoignage de M.SENTENAC nous nous sommes rapprochés du RTE et obtenus les renseignements relatés ci-après.

Rappelons que M.SENTENAC dit avoir perçu un éclair lumineux au niveau d'un pylône HT portant le repère 16 et situé à plus de 3 kms du cratère.

Ce type de support est appelé support d'ancrage car il reçoit de part et d'autre des contraintes longitudinales créées par les câbles.

Selon l'annexe 43 et les entretiens que nous avons eus avec le Groupe d'Exploitation Transport du RTE :

* le câble de la phase centrale, d'un seul tenant, était maintenu aux chaînes d'isolateurs par les pinces d'ancrage.

* des travaux ont été effectués le 17.10.02 car une pince métallique d'ancrage avait laissé glisser le câble. Le RTE a remplacé la totalité du système d'ancrage composé de deux chaînes double de 9 assiettes chacune et de pinces métalliques d'ancrage nouveau modèle de technologie différente. La même annexe mentionne deux fonctionnement de protections les 09.07.02 et 17.08.04 qui confirment la déclaration de M. MOUYCHARD qui, au cours de la réunion au TGI du 19.10.04, a déclaré que si un éclair ou contournement d'une chaîne d'ancrage avait eu lieu le jour du sinistre l'anomalie aurait été vue par les dispositifs de protection.

L'ensemble du système d'ancrage remplacé apparaît de couleur blanche sur l'annexe 43.Le glissement du câble dans sa pince d'ancrage, mentionné par le RTE, n'est pas, à notre avis, de nature à générer un arc électrique à partir d'un conducteur non interrompu.

Le matériel a été ferraillé depuis l'époque du sinistre et il ne nous a pas été possible de procéder à des investigations concernant le témoignage de M.SENTENAC. Nous ne pouvons que rapporter ici nos entretiens avec les services compétents du RTE et les annexes, du même auteur, citées dans le texte.

45

Nous remarquons que ce temps est supérieur au temps origine de l'explosion T0, ce qui présente une information importante dans la chronologie des faits, mais n'est pas de nature à donner l'heure de déclenchement ou de déconnexion de la SETMI.

Les experts en électricité ont conclu :
"Les installations électriques n'ont pas subi de dégâts et la datation enregistrée par DEGS au poste de "Mounède" ne peut être utilisée pour la chronologie des événements".

5.6.4 Cas du défaut biphasé aérien entre les phases 3 et 7 du réseau 63KV

Il a eu lieu sur la ligne aérienne 63 KV "Château-Lafourguette – Pont des Demoiselles", entre les pylônes métalliques P9 et P10. C'est une ligne triphasée (phases 3,7 et 11), comprenant un câble de terre passant en tête de chaque pylône. Ces câbles aériens se situent à 20 mètres de haut environ.

Cette ligne longe la voie ferrée Toulouse-Muret, en courbe dans cette partie, les pylônes étant ancrés côté ville de Toulouse.

C'est le **câble de la phase 7** qui a été, après l'explosion du 21 septembre 2001, retrouvé sectionné sur la voie ferrée et la caténaire SNCF.

Ce défaut biphasé a été enregistré et daté à **08h18mn07.390s** en temps universel. Il a eu lieu entre les deux câbles aériens, évidemment, avant la rupture de la phase 7. Le courant délivré a pu être d'au moins 10000 A pendant 140 ms. D'après RTE, cette valeur de courant de court-circuit serait de l'ordre de 13300 A. Cette rupture se situe à 260 mètres environ et au Nord-Ouest du cratère, à peu près à égale distance de chaque pylône. C'est le câble le plus bas de la ligne qui fut sectionné.

Lors de nos constatations, nous avons pu remarquer que les câbles aériens avaient été criblés d'éclats consécutifs à l'explosion :

- le câble de la phase 11 a été manchonné entre les pylônes P9 et P8 (plus près du P9) et P9 et P10,
- le câble de phase 3 a été réparé entre P9 et P10,
- le câble de terre a été réparé en plusieurs endroits, entre les pylônes P20 et P11, P10 et P9, P9 et P8 et entre le poste de Lafourguette et P20.

Ces réparations sont appelées "proformed" par RTE.

A cette occasion, nous avons remarqué que les câbles aériens se croisaient. La phase 3 se trouve au-dessus de la phase 7 à environ 2 à 3 mètres de distance. Un endommagement majeur survenu sur le câble de phase 7 n'est donc pas lié au hasard, vu toutes les altérations mécaniques constatées sur cette partie de ligne aérienne.

Nous avons tenu à comprendre, sous quelles contraintes, ce câble s'était rompu et comment ce défaut biphasé avait pu avoir lieu.

L'un de nous, D. VAN SCHENDEL, l'a examiné le 28 novembre 2003, sur son lieu de stockage dans un local EDF, en présence de M. JP. BELLAVAL du SRPJ de Toulouse, au moment de sa remise à M. MASGRANGEAS, du laboratoire SERMA, requis le 14 octobre 2003 par M. PERRIQUET, Vice-Président chargé de l'Instruction, avec pour mission de :

- Procéder à l'analyse des vestiges de câble mis sous scellés JPB228 et JPB229 pour déterminer dans quelles conditions celui-ci s'est rompu.

Ce jour là, l'inspection visuelle de ce câble en deux morceaux placés sous scellés JPB228 et JPB229, représentant une longueur totale de l'ordre de 300 mètres, nous a permis de constater que :

- ce câble mesure 25 mm de diamètre extérieur,
- il est constitué de 37 brins en alliage d'aluminium (conforme à l'appellation almélec, d'après les analyses de ce matériau, faites par la suite par le laboratoire SERMA). Sa structure est la suivante :
  - un brin central entouré d'un toron de 6 brins,
  - un toron intermédiaire de 12 brins,
  - un toron externe de 18 brins.

Les brins extérieurs sont affectés par des traces de choc et frottements. Certains présentent des traces de fusion ainsi que des décohésions des torons.
Sur les faciès de rupture, sur quelques brins, nous remarquons une fusion de leurs extrémités.

Au cours de leurs travaux, le laboratoire SERMA a observé et analysé ce câble, ainsi que les faciès de rupture, avec les moyens appropriés. Dans leur rapport, remis le 18 octobre 2004 (D5107), leurs conclusions sont les suivantes :

"*Aucune anomalie matière n'est mise en évidence. Le matériau employé correspond à un alliage d'aluminium conforme à l'appellation Almelec.*
Aucun défaut métallurgique n'est mis en évidence dans la zone affectée par la rupture.

Les endommagements observés sur toute la longueur du câble (empreinte en V, zones fondues dans le toron extérieur) sont des dégradations post-rupture.

En l'absence de preuves matérielles obtenues au cours de nos examens et analyses métallurgiques, la rupture du câble 63 KV ne peut être attribuée à un endommagement antérieur de sa structure. L'hypothèse que nous pouvons retenir d'après nos investigations et notre expérience dans le domaine des ruptures de matériaux métalliques, est celle d'une rupture sous contraintes mécaniques de type traction dans le mode ductile : rupture par déformation du matériau.
Le scénario de la rupture peut s'expliquer comme suit : dans un premier temps, le câble a été sollicité par des efforts extérieurs qui ont d'abord entraîné sa déformation par allongement occasionnant le détoronnage aux abords de la zone où se concentre ladite déformation. Puis, la deuxième phase est celle de l'apparition d'un phénomène de striction réduisant ainsi la section utile du câble.

Par conséquence directe, la contrainte, s'exprimant par le rapport effort/section du câble, augmente fortement dans la mesure où, sous l'application de l'effort constant, la section du câble diminue. Dès lors que cette contrainte a dépassé la caractéristique de "résistance mécanique à la traction" du câble, celui-ci s'est rompu brutalement.

Cet événement, depuis la déformation jusqu'à la rupture brutale, s'est déroulé très rapidement, intervalle de temps que nos travaux de laboratoire n'ont pas permis (et ne pouvaient pas permettre) d'évaluer avec précision et certitude."

Nos examens et les conclusions de ce laboratoire, nous conduisent à établir que :

- pour que le défaut biphasé se produise, le câble de la phase 7 (qui s'est rompu) et le câble de la phase 3, furent contraints de se rapprocher jusqu'à une distance de 60 cm environ pour que l'amorçage soit possible en considérant la tension d'arc connue de 1000 V/cm. Pour cela, comme la phase 3 ne s'est pas sectionnée pour tomber sur la phase 7 se trouvant en dessous, il paraît logique de poser comme hypothèse que ce câble phase 7 est remonté par "coup de fouet" ou par effet élastique vers la phase 3 plus haute à l'origine de 2 à 3 mètres environ,

- l'énergie pouvant le faire déplacer vers le haut, n'a pas été induite par l'onde aérienne, ce câble n'offrant pas assez de surface apparente. Effectivement, à cette distance de 260 mètres environ, la surpression induite n'était que de 300 à 400 mbars, pas suffisante pour assurer un déplacement important, d'autant que le câble est lourd : 1 kg environ par mètre linéaire,

- il n'y a qu'un projectile animé d'une énergie cinétique importante, donc pesant, et mû par une vitesse élevée, le heurtant avec une incidence appropriée assez verticale, qui pouvait lui communiquer un mouvement ascensionnel par réaction au choc reçu,

- un tel choc avec un objet métallique contondant avait la capacité d'entailler un brin périphérique ou quelques uns, ce qui explique la décohésion de torons. Par la suite, la chute sur la voie ferrée et les installations de la SNCF ont pu également contribuer à accentuer ce type d'altération mécanique.

  Dans son parcours postérieur au choc initial, en remontant, la section amoindrie fut sollicitée par des effets d'allongement et à proximité de la phase 3 (moins de 60 cm), le court-circuit s'est produit. Sa puissance importante contribua à faire fondre d'autres brins, mais pas sur la totalité de la section du câble et à échauffer la zone concernée, ce qui diminua encore sa section initialement altérée mécaniquement.
  Cette séquence fut de très courte durée dans la mesure où le câble ne resta pas en position, appelé vers le bas par la gravité,

- après le court-circuit, en fin de retombée, la contrainte qui a été appliquée sur la section amoindrie par deux événements consécutifs a été supérieure à la résistance pratique à l'extension du matériau, et c'est la rupture.

  Les deux morceaux de câble sont alors tombés sur les structures de la SNCF se trouvant à la verticale,

- par la suite, 5,300 s plus tard, les automatismes du réseau ont reconnecté cette ligne depuis le poste de Lafourguette. Par cette opération, les protections de ce poste ont vu le défaut à la terre de la partie du câble au sol et provoqué le déclenchement et le verrouillage définitif du disjoncteur correspondant,

- le second renvoi de tension sur cette ligne a été effectué 23,550 s après, suivant le même processus automatisé, depuis le poste Château.

Les deux bouts de ce câble phase 7 se trouvant au contact de structures métalliques, à chaque renvoi de tension, les arcs qui se formèrent ont entraîné des points de fusion partielle de brins en aluminium périphériques et ce, en plusieurs endroits. Nous rappelons que le point de fusion de l'aluminium est de l'ordre de 660°C et que cette valeur a pu être atteinte facilement par les injections de courant précitées.

L'objet de cette étude est d'examiner s'il existe des solutions plausibles sur les plans mécaniques et balistiques qui satisfont le scénario des événements conduisant à la rupture de ce câble.

La démarche suivie est :

- définition de l'effort de traction que le câble a subi compte tenu de son état et des constatations par examen métallographique,
- calcul de l'énergie de déformation,
- définition des caractéristiques de l'objet impactant,
- calcul du mouvement du câble,
- recherche de trajectoires balistiques de l'objet impactant.

Caractérisation des éléments constitutifs du problème :

Le câble

Le câble en question a un diamètre extérieur de 25 mm environ. Sa matière est de Almelec. Ce matériau est un alliage d'aluminium, spécialement mis au point pour la fabrication des conducteurs électriques.

Il contient de faibles additions (0,5% environ) de silicium et de magnésium et grâce à une combinaison de traitements thermiques et mécaniques il acquiert une résistance à la rupture sensiblement double de celle de l'aluminium pur écroui, tout en conservant une conductibilité peu inférieure à celle du métal pur (15 %).

La normalisation en vigueur (norme EN 50182) ainsi que le référentiel technique de RTE à son chapitre 6 – catalogue des matériels identifie ce câble comme étant la référence 366 – AL4. Dans ce document, quelques données sont précisées :

- son diamètre exact est de 24,85 mm,
- sa section utile (section conductrice) est 366 mm²,
- sa masse linéique est de 1,009 kg/m.

Des recherches bibliographiques ont permis de trouver d'autres informations nécessaires aux calculs :

- résistance à la rupture de ce type de câble : 11785 daN,
- module de Young : 6200 daN/mm²

De ces données, on peut définir :

- la contrainte de rupture Cr = 11785 / 366 = 32 daN/mm²,
- la limite élastique : pour ce type d'alliage ayant subi des traitements thermiques et mécaniques d'écrouissage dans le but d'augmenter fortement sa résistance, la limite élastique est proche de la limite à la rupture, généralement de 10 à 15 % plus faible. Dans le cas présent, on choisira une limite élastique Ce = 28 daN/mm².
  Cette valeur n'a pas pu être confirmée par des recherches bibliographiques.

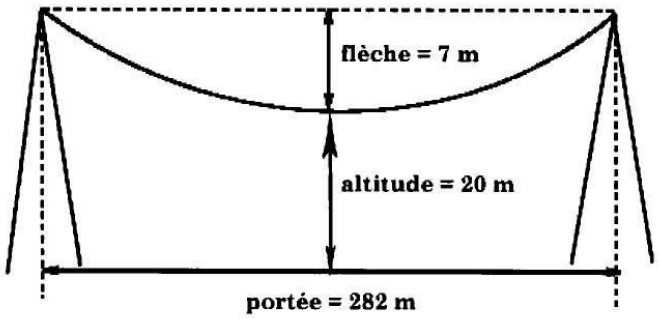
Les données relatives au câble sont résumées dans le tableau ci-après.

Câble 366 – AL4		
donnée	dimension	notation
Diamètre	24,85 mm	D
Section	366 mm²	Sc
Masse linéique	1,009 kg/m	ml
Module de Young	6200 daN/mm²	Ec
Charge de rupture	11785 daN	Fr
Contrainte de rupture	32 daN/mm²	Cr
Limite élastique	28 daN/mm²	Ce

Les examens métallurgiques du câble ont montré qu'il a été déformé au-delà de sa limite élastique sans pour cela rompre. La section est aussi partiellement fondue suite au court circuit lors du rapprochement entre phases.

L'installation

Le câble est tendu entre 2 pylônes distants de 282 mètres. Les points d'attache du câble sur les pylônes est sensiblement à la même hauteur.
Sa flèche est de 7 m.
Le ventre du câble, sa partie la plus près du sol, est à une altitude relative de 20m.
La tension mécanique du câble, exercée lors de la mise en place de la ligne, est T = 13000 N.



Scénario retenu

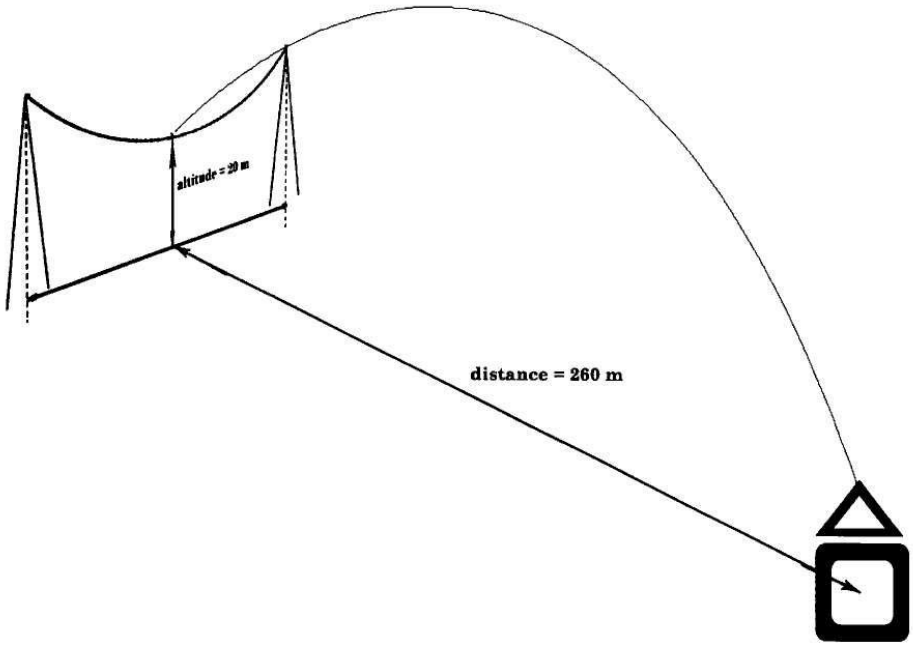
Le scénario retenu est représenté par le schéma ci-après.
Le hangar lieu de l'explosion est situé à 260 m de la ligne électrique.
L'explosion expulse un élément métallique du bâtiment 221, de masse, de vitesse et d'angle initial de trajectoire à définir.
L'élément en question est doté d'une énergie cinétique au moment de l'impact avec le câble exercée de haut en bas (angle de chute de l'élément proche de la verticale), suffisante pour générer un allongement et une déformation plastique partielle sans pour autant le rompre.

Lors de l'application de l'énergie de l'élément, le câble est déformé vers le bas.
Lorsque la totalité de l'énergie de l'élément est consommée, il tombe à terre et le câble est alors libre de remonter vers le haut sous l'effet de sa tension mécanique. Il se rapproche alors du câble supérieur et le court circuit s'établit.

L'ensemble de ses événements successifs s'est déroulé en 12 secondes environ, comme nous l'avons déterminé précédemment, et se décompose en 2 séquences :

- Séquence 1 : la trajectoire balistique de l'élément,
- Séquence 2 : la remontée élastique de la ligne impactée entre la position basse issue de l'impact avec l'élément et le contact avec la ligne électrique supérieure distante de 3 m *(*)* avant impact.

(*) Nous retenons la distance maximum



Déformation du câble

L'examen métallurgique a montré que le câble a été partiellement déformé dans son domaine plastique.

Ceci signifie que la contrainte appliquée était :

- supérieure à la limite élastique, donc > Ce = 28 daN /mm²,
- inférieure à la contrainte de rupture donc < Cr = 32 daN/mm².

Nous nommerons cette contrainte Ci dont nous fixons la valeur à Ci = 30 daN/mm².
Si Ci = 30 daN/mm², alors l'effort équivalent appliqué au câble est de

Fi = Ci x Sc = 30 x 366 = **10980 daN.**

Hypothèses de calcul :

- compte tenu de la dimension de la flèche devant la longueur, le câble est considéré comme horizontal,
- l'impact est au milieu du câble,