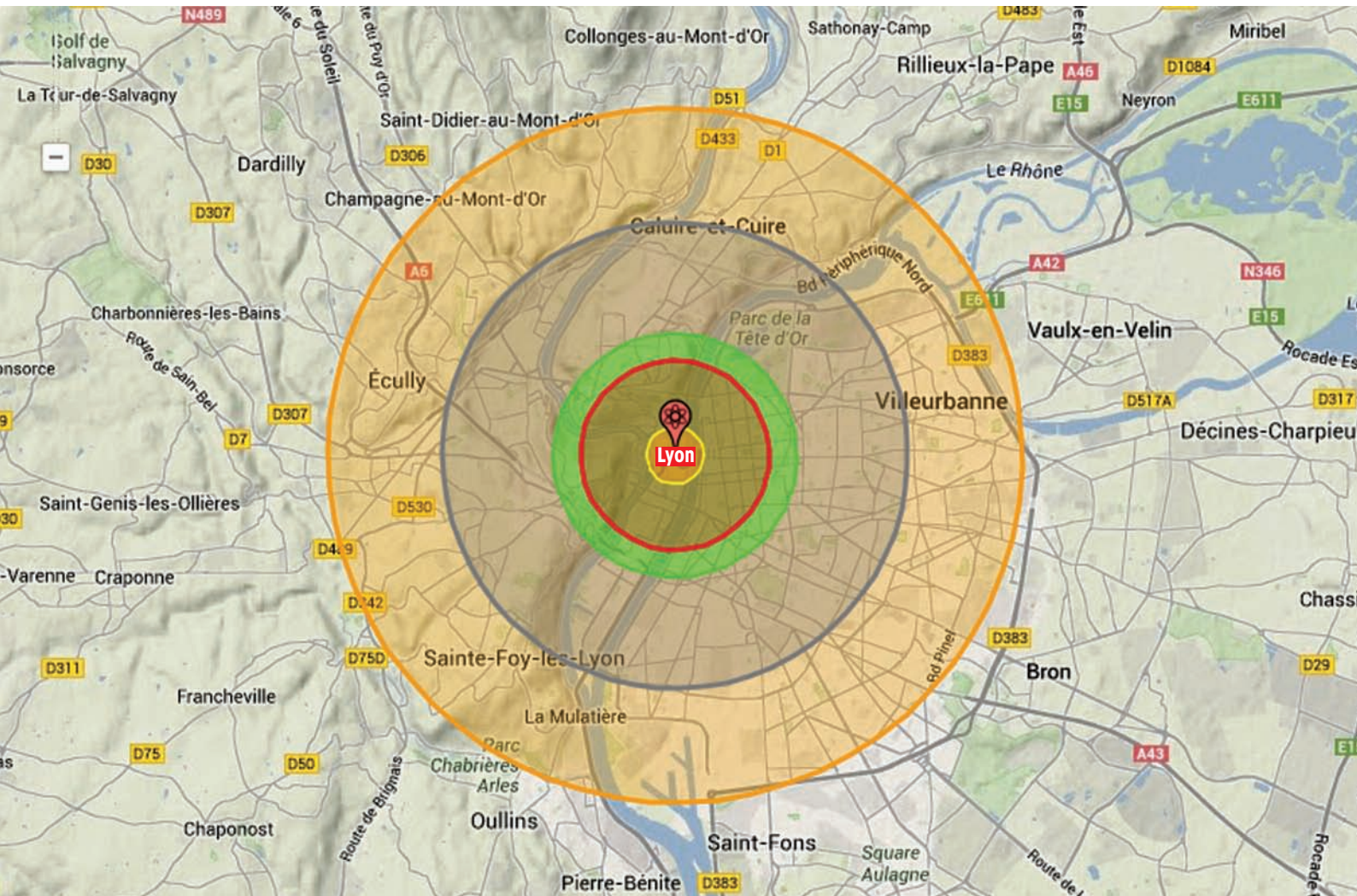


# Et si une bombe nucléaire explosait sur Lyon ?



*And if a nuclear bomb exploded in Lyon (France)?*

**Dominique Lalanne**

# Sommaire / Contents

Introduction / <i>Introduction</i> .....	3
Le drame de l'explosion .....	4
<i>The tragedy of the explosion itself</i> .....	5
Lyon et la région / <i>Lyon and its region</i> .....	6
Les heures qui suivent l'explosion .....	8
<i>The hours following the explosion</i> .....	9
Conséquences pour le futur .....	10
<i>Consequences for the future</i> .....	11
La journée qui suit, le nuage radioactif et les premiers secours .....	12
<i>The next day, the radioactive cloud and the first aid services</i> .....	13
La vallée de la chimie .....	14
<i>The Chemical Valley</i> .....	15
Le cas d'une bombe qui explose au sol .....	16
<i>The case of a bomb exploding at ground level</i> .....	17
Le cas d'une bombe explosant en altitude : l'impulsion électromagnétique .....	18
<i>The case of a bomb exploding in mid-air: electromagnetic impulse</i> .....	19
Les conséquences radiologiques pour la santé humaine sur le long terme .....	20
<i>Long time radiological consequences for human health</i> .....	21
En guise de conclusion / <i>By way of conclusion</i> .....	23

Illustration de Une réalisée à partir du logiciel mis en ligne par Alex Wellerstein avec une bombe de 150 kilotonnes sur : <http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/>  
*A 150-kiloton bomb - A front page illustration made from the software posted by Alex Wellerstein, available at <http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/>*

## RÉDACTION / WRITING

**Dominique Lalanne**, ancien directeur de recherche en physique nucléaire au CNRS, est conseiller spécial auprès de l'Observatoire des armements, membre du comité de pilotage de ICAN-France et également co-président du collectif Armes nucléaires STOP ([www.arnesnuclairesstop.com](http://www.arnesnuclairesstop.com)).

*Dominique Lalanne, former director of research in nuclear physics at the CNRS, is Special Advisor to the Observatoire des armements, member of the Steering Committee of ICAN-France and co-chairman of collective Armes nucléaires STOP ([www.arnesnuclairesstop.com](http://www.arnesnuclairesstop.com)).*

## REMERCIEMENTS / THANKS

Je remercie particulièrement Bruno Barrillot, Bernard Laponche, Monique et Raymond Sené pour les échanges et les informations qu'ils m'ont fourni pour faire cette étude. Remerciements également à Marc Morgan et Peter Nicholls pour leurs contributions.

*I would particularly like to thank Bruno Barrillot, Bernard Laponche, Monique and Raymond Sené for our exchanges and for the information they have provided for this study. Thanks also to Marc Morgan and Peter Nicholls for their contributions.*

**COORDINATION** : **Patrice Bouveret**, Observatoire des armements

Cette publication peut être reproduite, en tout ou en partie, à condition de mentionner la source.

*This publication may be reproduced in whole or in part, provided the source is acknowledged.*

## SUPPLÉMENT A :

- **Damoclès, la lettre**, n° 144-145, 3 & 4-2013 • ISSN 0296-1199 • 187 montée de Choulans 69005 Lyon • directeur de publication : Tony Fortin.
- **Armes nucléaires STOP**, n° 235, février 2014 • ISSN 2108-3940 / CPPAP 0116G88171 • 21<sup>er</sup> rue Voltaire 75011 Paris • directrice de publication : Bernadette Lucet.

*Dépôt légal à date de parution • Imprimé sur papier recyclé par IML (69850)*

Nous étudions dans cet ouvrage le cas d'une bombe de 150 kilotonnes qui viendrait d'exploser sur la ville de Lyon, en France. 150 kilotonnes, c'est-à-dire 150 000 tonnes de TNT ou encore 150 millions de kilogrammes de TNT, le trinitrotoluène, l'explosif de référence. C'est la puissance explosive d'une des 6 bombes présentes dans la tête d'un des missiles M51 d'un sous-marin français. Seize missiles sont présents dans un tel sous-marin, et prêt à partir, en « état d'alerte », prêt à partir pour parcourir 8 000 kilomètres. Il est possible d'imaginer pire s'il s'agit d'une des bombes de 300 kilotonnes transportées par un Rafale français pour ses missions de « gesticulation » pour reprendre le vocabulaire des officiels français.

Les raisons de cette explosion peuvent être multiples, un accident ou une erreur comme cela a été évité de justesse dans plusieurs cas que nous relatent des documents déclassifiés récemment, ou encore un acte terroriste. Nous sommes ainsi menacés par les 2 000 bombes en état d'alerte dans le monde, dont certaines sont dix fois plus puissantes que celle de 150 kilotonnes que nous étudions. Dans le cas d'une agression militaire volontaire la frappe par une seule bombe peut enclencher un processus avec des centaines de frappes et mettre ainsi en péril la totalité de l'humanité. Ce cas extrême ne sera pas étudié dans cet ouvrage.

Nous prenons le cas d'une seule bombe de 150 kilotonnes qui explose à 800 mètres d'altitude, l'altitude de référence pour cette puissance de bombe, l'altitude qui provoque les dégâts au sol les plus étendus pour une puissance de 150 kilotonnes. Nous mentionnerons aussi le cas d'une bombe qui explose au niveau du sol, ce qui provoque une contamination radioactive plus importante.

Une telle étude sur la ville de Manchester en Angleterre a été présentée à Oslo lors de la conférence de mars 2013 sur les « conséquences humanitaires catastrophiques d'une frappe nucléaire » et le document de référence est publié par *Article 36*<sup>1</sup>. D'autres travaux ont aussi concerné une explosion sur Oslo. Nous présentons ici le scénario d'une explosion sur Lyon en France.

*In this study we consider the case of a 150 kT bomb which would just have exploded over the town of Lyon, in France. 150 kilotons, that is to say 150,000 tons of TNT or, put another way, 150 million kilograms of TNT, trinitrotoluene, the yardstick for explosives. This is the explosive power of one of the 6 bombs contained in the warhead of each one of the M51 missiles carried by French nuclear submarines. Each submarine carries 16 such missiles, ready to fire, in "alert status", ready to be launched and to travel 8,000 km. Worse can be envisaged, for example the 300 kT bombs carried by French Rafale planes for their "gesticulation" missions, to use the language of French official doctrine.*

*Such an explosion could have many different causes, an accident or an error such as those narrowly avoided in several cases brought to light by recently declassified documents, or a terrorist attack. We live under permanent threats of this nature from the 2,000 bombs in alert status on earth, some of them ten times more powerful than the 150 kT bomb under study here. In the case of a voluntary military act of aggression a strike using a single bomb could trigger a process involving hundreds of strikes, and thus threatening humanity as a whole. This extreme case will not be considered in this study.*

*We will consider the case of a single bomb of 150 kT exploding at a height of 800 metres, the reference altitude for a bomb of this power, an altitude which causes the most destruction on the ground for a 150 kT bomb. We will also mention the case of a bomb exploding at ground level, which provokes greater contamination by radioactivity.*

*A similar study was presented regarding the town of Manchester in England, in Oslo at the March 2013 conference on the "catastrophic humanitarian consequences of a nuclear strike"; the reference document is published by *Article 36*<sup>1</sup>. Other work was presented envisaging an explosion over Oslo. We present here the scenario of an explosion over Lyon in France.*

<sup>1</sup>. Humanitarian Consequences: short case study of the direct humanitarian impacts from a single nuclear weapon detonation on Manchester, UK, February 2013, Report. <http://www.article36.org/case-study-nuclear-attack-onmanchester/>.

## Le drame de l'explosion

Tout dépend de l'heure, de la date et des conditions météorologiques. Mais la brutalité de la frappe va concerner toute la région, toute la France même et toute la communauté internationale.

La bombe explose en créant une boule de feu de quelques dizaines de millions de degrés qui se transforme, en une seconde environ, en une boule de feu qui fait à peu près un kilomètre de diamètre. Sous cette boule dont la surface est à 5 000 degrés (la température de la surface du soleil) tout ce qui est inflammable est immédiatement vaporisé par la chaleur. Une onde de choc est créée par cette fournaise et la plupart des immeubles en béton armé sont déformés ou effondrés dans une zone de plus de 2 kilomètres de diamètre, les débris des immeubles sont en feu et forment un incendie continu. Toutes les personnes présentes dans cette zone sont tuées, seuls survivent ceux qui étaient présents dans les souterrains comme le métro, mais leur retour en surface leur est souvent fatal du fait de l'incendie généralisé.

Dans une zone de 3 kilomètres de diamètre, l'émission intense de neutrons et de rayons gamma aura des conséquences mortelles pour ceux qui auraient été protégés de l'onde de chaleur et de l'onde de choc.

Dans une zone de 10 kilomètres de diamètre la plupart des immeubles sont détruits ou endommagés car l'incendie est en continu sur une grande partie de la surface, les brûlures des habitants sont au deuxième degré, le taux de mortalité atteint environ 50 %, tous sont blessés. Le flux de neutrons et de rayons gamma pourra avoir des conséquences sur la santé de ceux qui échapperont à l'onde de chaleur et à l'onde de choc. Le bilan immédiat est d'environ 200 000 morts et 200 000 blessés s'il s'agit d'un jour ouvrable et d'une heure de travail, moins s'il s'agit d'une période de vacances comme le 15 août... ou la nuit si les banlieusards sont chez eux.

Plusieurs incendies se déclarent notamment dans le centre de stockage de produits pétroliers au port Édouard Herriot dans le 7<sup>ème</sup> arrondissement.

Ainsi les premiers instants après l'explosion créent une situation absolument impossible à comparer à d'autres catastrophes naturelles ou actes de guerre. Du fait de l'incendie et des destructions qui sont en continu sur toute la surface, du fait des rayonnements neutronique et gamma qui auront des conséquences sur le long terme et du fait des conséquences régionales de déstabilisation qui s'en suivent.

Les conséquences de l'explosion d'une bombe nucléaire ont été étudiées en détail depuis les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, et en particulier par les États-Unis dans leurs 219 essais atmosphériques réalisés de 1945 à 1962.



L'étude de référence a été publiée en 1957 dans un document américain en diffusion publique, traduit en français en 1963 pour le « Ministère des armées » en « diffusion restreinte ». Elle a été actualisée en 1977 aux États-Unis<sup>1</sup>. Les moyens actuels permettent de simuler sur ordinateur les effets caractéristiques d'une frappe nucléaire, un programme grand public est disponible sur internet, à l'initiative d'un chercheur Alex Wellerstein, « nuclearsecrecy »<sup>2</sup> qui permet de choisir sa ville, la puissance de la bombe, les conditions d'explosion, en altitude ou en surface, et donne les destructions produites, le nombre de victimes, les pollutions radioactives. Mais ces conséquences catastrophiques demandent à être commentées et ne sont pas les seules.

1. *The Effects of Nuclear Weapons*, compiled and edited by Samuel Glasstone and Philip J. Dolan, Third edition, Prepared and published by the United States Department of Defense and the United States Department of Energy, 1977.

2. <http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/>

## The tragedy of the explosion itself

Everything depends on the time, the date and climatic conditions. But the force of the strike will affect the whole region, the whole of France and even the international community as a whole.

The bomb explodes creating a fireball of some tens of millions of degrees' heat, which within approximately one second becomes a ball with a diameter of about one kilometre. Under this ball, the surface of which attains 5,000 degrees (the temperature of the surface of the sun) anything combustible is immediately vaporised by the heat. A shockwave is generated by this furnace, and most buildings are deformed or swept away over an area of more than 2 km in diameter, the debris from the buildings catches fire and generate as continuous blaze. All living beings in this zone are killed, the only survivors are those who happened to be underground –e.g. in the metro– but if they come up to the surface of the earth they are likely to die because of the all-pervasive fire.

Over an area of 3 km in diameter, the intensive emission of neutrons and gamma rays will have fatal consequences for those who may have survived the heat wave and the shock wave.

In an area of 10 km in diameter, most buildings are destroyed or damaged, fire rages continuously over most of the area, inhabitants sustain second degree burns, the death rate amongst them is approximately 50%, all are injured. The flow of neutrons and gamma rays could have consequences for the health of those who survive the heat wave and shock-wave. The immediate casualty toll is approximately 200,000 dead and 200,000 injured if the explosion takes place on a working day during working hours, it is less if it takes place on a Bank Holiday such as on 15th August... or at night if inhabitants of the suburbs are in their homes.

Clearly the first moments after the explosion create a situation which cannot be compared to other natural catastrophes or acts of war. This is because of the fire, and of the destruction continuously caused on the surface; because of the neutron and gamma radiations and their long-term consequences; and because of the regional consequences and the ensuing destabilisation.

The consequences of a nuclear bomb's exploding have been studied in detail since the bombings of Hiroshima and Nagasaki, in particular by the United States in the course of their 219 atmospheric tests conducted between 1945 and 1962.



The reference study on the subject was published in 1957 in an American document, made public in English; the study was translated into French in 1963 for the "Ministère des armées" (Army Ministry) and published on a "restricted" basis. The study has been updated in 1977 in the United States<sup>1</sup>. Modern technology makes possible to simulate the characteristic effects of a nuclear strike on computers; the "nuclearsecrecy" program<sup>2</sup>, aimed at the general public, has been made available on internet at the initiative of research scientist Alex Wellerstein; the program lets the user choose their town, the power of the bomb, the conditions in which it explodes, in the air or on the ground, and calculates the resulting destruction, the number of victims, and the scale of radioactive pollution. But such catastrophic consequences need to be commented on and are not the only consequences.

1. *The Effects of Nuclear Weapons*, compiled and edited by Samuel Glasstone and Philip J. Dolan, Third edition, Prepared and published by the United States Department of Defense and the United States Department of Energy, 1977.

2. <http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/>



**Couloirs ferroviaires de marchandises en Europe**

Lyon commande tout le sud de l'Europe pour le trafic de marchandise par voie ferrée.

**Main rail goods links in Europe**

Lyon is the gateway to the whole of southern Europe for the transport of goods by rail.

Distances maximum à l'épicentre de l'explosion pour les effets de différentes puissances explosives de bombes nucléaires Maximum distances at the epicentre of the explosion for effects of nuclear bombs of different explosive power		
	destruction immeuble béton destruction of a concrete building	incendie généralisé General fire
15 kT (Hiroshima)	700 mètres	1,8 kilomètre
150 kT (bombe française / French bomb)	1,3 kilomètre	5 kilomètres
1 MT (US ou russe / US or Russian)	2,7 kilomètres	12 kilomètres
10 MT (US ou russe / US or Russian)	5 kilomètres	35 kilomètres

Dans la colonne « destruction immeuble béton » il s'agit des dégâts causés sur un immeuble en béton armé de 3 étages correspondant à d'importantes déformations de la structure et un début d'effondrement. Dans la colonne « incendie généralisé » il faut comprendre que toute matière combustible d'usage domestique est enflammée.

The "destruction of a concrete building" column shows the damage done to a three storey reinforced concrete building including significant structural damage and incipient collapse. The "general fire" column indicates that within the distance given any combustible matter for ordinary domestic use will burst into flames.

**Réseau électrique**

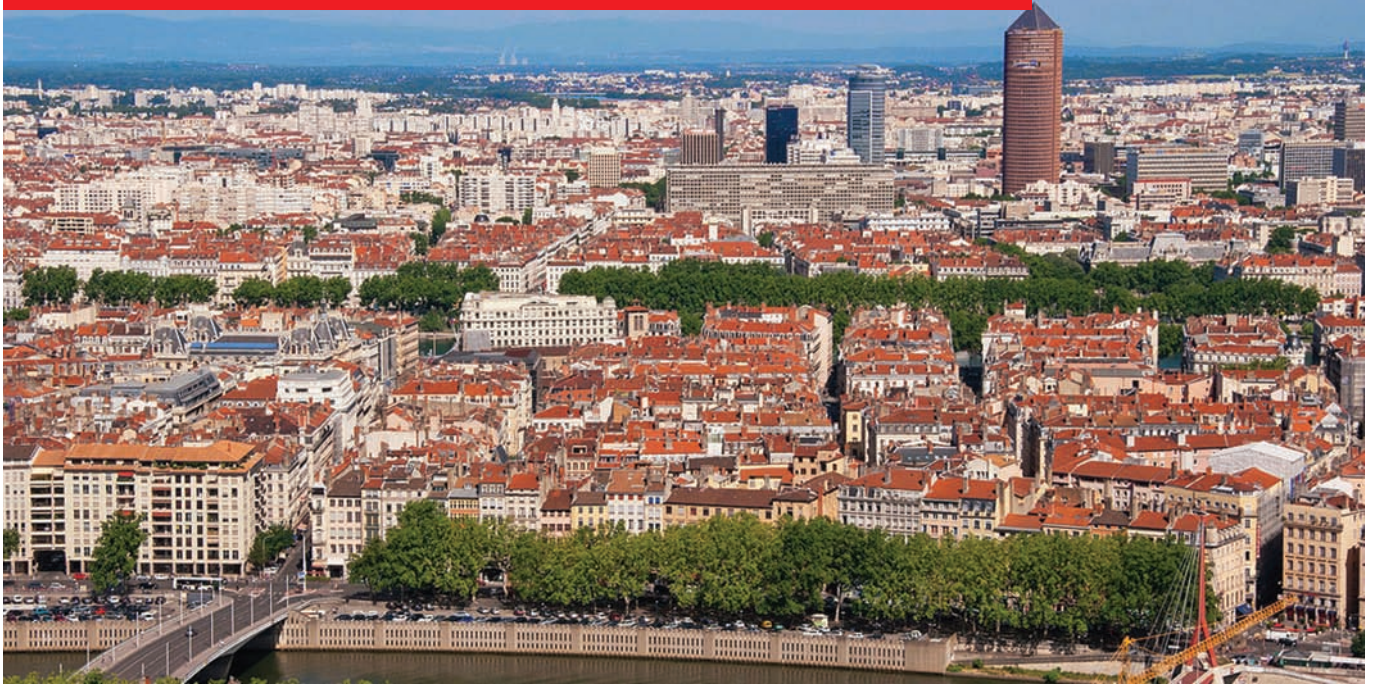
Lyon est la plaque tournante pour tout le sud de la France et l'alimentation vers l'Italie et la Suisse.

**Electricity network**

Lyon is the hub for the whole of southern France, and for conveying electricity to Italy and Switzerland.



## Lyon et sa région / Lyon and its region



Vue du centre ville de Lyon / View of downtown Lyon • D.R.

Lyon est une ville entourée dans sa périphérie par plusieurs autres localités, Villeurbanne, Caluire-et-Cuire, Écully, Sainte-Foy-lès-Lyon et bien d'autres, distantes du centre ville de 5 à 10 kilomètres. Toutes ces localités sont directement affectées par l'explosion.

Lyon est un centre économique, scientifique, universitaire de rayonnement international. Par sa population c'est la troisième ville de France avec près de 500 000 habitants. La région urbaine de Lyon compte 3 millions d'habitants. Tous ces habitants vont être confrontés à la nécessité de secours mais aussi à la panique liée à la désorganisation des moyens de secours.

Toute la région Rhône-Alpes est liée à Lyon qui ouvre la vallée du Rhône et qui est proche d'autres villes de grande activité comme Grenoble ou Genève. Lyon est une plaque tournante pour toutes les communications vers le sud de l'Europe, le bassin méditerranéen et l'Italie. Le réseau ferré comme autoroutier mais aussi les réseaux électriques, les réseaux de communication, de gaz, d'eau, ont leur centre régional à Lyon ou dans la région proche. D'une façon plus générale, une perturbation grave de la région lyonnaise comme une frappe nucléaire va déstabiliser toute la région Rhône-Alpes, toute la vallée du Rhône, et se répercuter sur la Suisse proche et une bonne moitié de la France.

Le Rhône passe dans la ville avant d'irriguer toute la vallée jusqu'à la Méditerranée.

Lyon is a town surrounded in its immediate vicinity by several other urban centres, Villeurbanne, Caluire-et-Cuire, Ecully, Sainte-Foy-lès-Lyon and many others, all within a distance of 5 to 10 km from the town centre, and all standing to be directly affected by the explosion.

Lyon is an economic, scientific, and university centre with an international reach and influence. By its population it is the third city in France with approximately 500,000 inhabitants. Lyon's urban region has 3 million inhabitants. All of whom will be confronted with the need to receive assistance, but also with panic linked to the disorganisation of emergency services.

The whole of the Rhône-Alpes region is connected to Lyon which stands at the aperture of the Rhone valley and which is close to other high-activity towns such as Grenoble or Geneva. Lyon is a focal point for all communications towards the South of Europe, the Mediterranean basin and Italy. The railway and motorway networks, as well as networks for electricity, communications, gas, and water, all have their main hub in Lyon or in its immediate vicinity. More generally, any serious disruption of the Lyon region such as a nuclear strike would destabilise the whole of the Rhône-Alpes region and the whole of the Rhône valley, and would have repercussions on nearby Switzerland and on at least half of France.

The Rhône passes through the city before irrigating the whole valley right to the Mediterranean.

## Les heures qui suivent l'explosion

La destruction d'une ville comme Lyon crée une perturbation telle que le réseau électrique est partiellement détruit et disjoncte sur toute la région Rhône-Alpes. Les réacteurs nucléaires sont immédiatement en arrêt d'urgence et doivent impérativement être refroidis par les circuits de secours, en supposant qu'il soient tous opérationnels. Les services de secours sont tous détruits, les pompiers comme la police de la région lyonnaise ont perdu toute capacité d'intervention, les hôpitaux en centre ville sont détruits, ceux de la périphérie sont partiellement touchés mais rendus incapables de tout secours du fait de l'absence d'électricité et de moyen d'accès. Dans la zone en feu, la chaleur est telle que les survivants se jettent dans le Rhône ou la Saône pour échapper à des brûlures plus graves que celles qu'ils ont déjà. Le nuage de fumée formé par l'incendie de toute la ville crée une pollution de l'atmosphère chargée de produits chimiques et toxiques.

Le réseau routier est totalement paralysé dans un rayon de plusieurs dizaines de kilomètres, les secours qui sont appelés en renfort des villes voisines sont incapables d'accéder dans la région. La population qui a survécu cherche à fuir la zone. Beaucoup cherchent à retrouver les membres de leur famille dont ils étaient séparés au moment de l'explosion. Les routes et les voies ferrées étant inutilisables, l'exode est un gigantesque chaos, l'armée est inévitablement appelée sur les lieux pour essayer de gérer une situation ingérable.

La panique se comprend car les suites de telles destructions peuvent avoir des conséquences encore plus graves que l'explosion elle-même. Les réacteurs nucléaires, le centre P4 de virus de Lyon, les industries chimiques, les stockages de pétrole et de gaz, toutes ces installations, partiellement rendues inopérantes, partiellement détruites et présentant de possibles fuites peuvent entraîner des suites accidentelles qui aggravent la situation. La fuite des personnes compétentes rendue inévitable par la nécessité de secours crée une situation de mauvaise gestion de nombreux secteurs. C'est donc une série de catastrophes en cascades qui peut arriver. Nous n'évoquerons pas les catastrophes secondaires enclenchées.

Toutes les communications sont interrompues. Les lignes téléphoniques fixes comme mobiles ne fonctionnent plus, la télévision ne peut plus être utilisée du fait de l'absence d'électricité et la radio est le seul moyen d'information pour ceux qui disposent de batterie, du moins dans leur voiture qu'ils ne peuvent utiliser puisque les routes sont coupées ou bloquées. Cette situation d'absence de communication fait empirer la désorganisation des secours.



Photo Hayashi Shigeo



## The hours following the explosion

The destruction of a town such as Lyon creates such disruption that the electricity network is partially destroyed, and power failures occur throughout the Rhône-Alpes region. Nuclear reactors are immediately halted as an emergency measure, making it essential for them to be cooled by emergency cooling systems, assuming these are still functioning. Emergency services have all been destroyed, the fire brigade and the police of the Lyon region have lost any capacity to intervene, hospitals in the town centre have all been destroyed, those on the periphery have been partially hit but are incapable of providing any assistance because of the absence of electricity and of access. In the area covered by the fire, the heat is such that survivors jump into the Rhône or the Saône to avoid being burned to an even worse degree than they are already. The cloud of smoke generated by the fire burning across the whole town fills the atmosphere with a pollution based on chemical and toxic products.

The road network is totally paralysed in a radius of several dozen kilometres, the emergency services called in as reinforcements from nearby towns cannot get access to the region. The surviving population attempts to flee the region. Many try to find members of their families from whom they were separated at the time of the explosion. As the roads and railways are unusable, the exodus is one gigantic chaos, and the army inevitably is called in to attempt to manage an unmanageable situation.

Popular panic is easy to understand, since the sequels to such destruction can have even more serious consequences than the explosion itself. Nuclear reactors, the Lyon P4 virus centre, chemical industries, stocks of petrol and gas, all such installations, rendered partially inoperative, partially destroyed and subject to possible leaks may generate accidental effects which will make the situation worse. The flight of competent staff made inevitable by the need to find assistance creates a situation of mismanagement in many areas. So a series of catastrophes may occur in sequence. We will not consider the secondary catastrophes engendered.

All means of communication are interrupted. Landlines like mobile phone lines no longer function, television can no longer be used because of the absence of electricity; and the radio is the only means of information available for those who have batteries – at least for those having taken to their cars, which cannot be used to get around since all roads are blocked or cut off. This situation of absence of communication worsens the disorganisation of emergency services.

Nagasaki, immeuble en béton armé situé à 500 mètres de l'hypocentre. L'étage supérieur de ce bâtiment de 3 étages est totalement détruit, la moitié de l'aile nord est écrasée et l'intérieur ravagé par le feu. Une bombe de 150 kilotonnes produirait de tels effets à 1,5 kilomètre de l'hypocentre.

*Nagasaki, reinforced concrete building located 500 metres from the seismic focus. The upper storey of this 3 storey building is completely destroyed, half of the northern wing is crushed and the inside has been entirely destroyed by fire. A 150kT bomb would have comparable effects 1,5 km from the seismic centre.*

## Le laboratoire P4 Jean Mérieux



DR

Le laboratoire P4 Jean Mérieux est situé dans la tour Inserm Cervi à côté de l'ENS Lyon (quartier de Gerland dans le 7<sup>e</sup> arrondissement). Il s'agit du seul laboratoire P4 civil de France.

Le Label « P4 » (Pathogène de classe 4) signifie que ce laboratoire répond aux normes internationales de sûreté biologique les plus drastiques et permet à des équipes internationales de chercheurs de travailler sur des agents pathogènes peu connus et dangereux.

Les principaux agents de classe 4 sont des virus générant soit des fièvres hémorragiques : Ebola, Lassa, Marburg, Congo-Crimée ; soit des maladies infectieuses à haut pouvoir de dissémination et à haut taux de mortalité.

Le laboratoire doit être maintenu en dépression pour éviter toute éventuelle fuite d'agent pathogène. Un système de plusieurs sas assure la sécurité.

## La pollution radioactive

Juste après l'explosion, la boule de feu s'élève dans l'atmosphère pour créer un nuage en forme de champignon. Dans l'aspiration ascensionnelle de l'air, le nuage emporte les résidus de l'arme nucléaire extrêmement radioactifs, le reste du plutonium qui n'a pas fissionné (plusieurs kilogrammes de plutonium), et aussi les produits de fission de l'amorce de plutonium et les produits créés par l'activation neutronique des éléments de la bombe et de l'atmosphère ambiante. Ces éléments radioactifs vont se fixer sur les gouttelettes d'eau de condensation qui vont être créées dans le nuage puis transportées par le vent en altitude. Au bout d'une dizaine de minutes, dans le cas d'une explosion d'une bombe de 150 kilotonnes, le nuage a atteint son ampleur maximum avec une altitude d'environ 6 000 mètres et une largeur de 7 kilomètres.

Les particules véhiculées par le nuage ont des dimensions assez faibles, de quelques centièmes de microns (millièmes de millimètre) à quelques dizaines de microns. Elles vont pouvoir aller à de grandes distances avant de retomber sur la surface du sol, sauf en cas de pluie qui balayerait le ciel contaminé.

Dans le cas d'une explosion au niveau du sol, les granules sont constituées des éléments soufflés dans le cratère, ce qui correspond à une masse considérable de terre, de béton et d'autres matériaux rendus radioactifs par activation neutronique. Ceci explique que la pollution radioactive suite à une explosion au sol est sans commune mesure avec une explosion en altitude.

## Les conséquences pour le futur

La zone du point d'impact de la bombe (1 kilomètre de diamètre) sera, à long terme, inutilisable pour toute activité normale. Il sera nécessaire de procéder à la décontamination des sols. Les points « zéro » d'Hiroshima et de Nagasaki sont transformés en parcs mais ne comportent plus d'habitations et autres bâtiments à usage permanent. Les sols ont été bétonnés.

Les sols des points d'impact devront être arasés. Les couches de terre et débris sont devenus des déchets radioactifs et les matériels utilisés pour le déblayage sont contaminés (par exemple, les engins qui servaient à déblayer les points zéro sur les sites sahariens ont été « enfouis dans les sables » et pour les sites polynésiens, jetés dans l'océan... Pour Rongelap où il n'y a pas eu de tirs, mais à proximité de Bikini, les Américains ont dû enlever la couche de terre jusqu'au platier corallien et ramener des terres non contaminées pour replanter et proposer aux habitants de retourner chez eux, mais le problème n'est toujours pas réglé en 2014...). En France, il faudra un nouveau site de stockage de l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) !

La gestion de « l'après » est donc également quasiment ingérable...

## Radioactive pollution

Just after the explosion, the fireball rises in the atmosphere and creates a mushroom-shaped cloud. As air is sucked upwards, the cloud carries away the highly radioactive residues of the nuclear weapon, the remainder of the plutonium which has not been subject to fission (several kilograms of plutonium), and also the fallout from the fission of plutonium, and the products of the neutron-based activation of elements from the bomb and from the surrounding atmosphere. These radioactive elements adhere to the droplets of condensed water which are generated in the cloud, then carried by the wind at a high altitude. In the case of the explosion of a 150 kT bomb, after about ten minutes, and at an altitude of approximately 6000 m, the cloud reaches its maximum size, with a width of 7 km.

The particles carried by the cloud are fairly small in size, with a width ranging from a few hundredths of a micron (thousandths of a millimetre) to a few tens of microns. They are able to cover a big distance before falling to the earth's surface, unless it rains in which case the rain will sweep across the contaminated sky. In the case of an explosion at ground level, the granules are made up of elements blown into the crater, collectively amounting to a considerable mass of earth concrete, and other materials all of which will have been made radioactive by neutron-based radiation. This explains why radioactive pollution further to a ground-based explosion is incomparably greater than such pollution occurring after an explosion at a high altitude.

## The Jean Mérieux P4 Laboratory



D.R.

The Jean Mérieux P4 Laboratory is located in the Inserm Cervi tower next to the Lyon ENS (*École nationale supérieure*) (Gerland quarter in the 7th arrondissement). It is the only P4 civilian laboratory in France.

The "P4" Label (Pathogenesis of class 4) means that this laboratory meets the most stringent international biological security norms and enables international teams of researchers to work on little known pathogenic agents.

The main class 4 agents are viruses generating either haemorrhagic fevers: Ebola, Lassa, Marburg, Congo-Crimée; or infectious diseases of high dissemination capability and high mortality rates.

The laboratory must be kept at low atmospheric pressure to avoid any possible leakage of pathogenic agents. Security is ensured by a system of multiple airlocks.

## Consequences for the future

The area of the point of impact of the bomb (1 km in diameter) will not be usable for any normal human activity for a long time to come. It will be necessary to undertake decontamination of the soil. The "zero" impact points in Hiroshima and Nagasaki have been turned in to parks but no longer contain any human habitations nor other buildings supporting any long-term use. The ground has been covered in concrete.

The soil around the impact points will need to be levelled. Layers of earth and debris will have been turned into radioactive waste, and any materials used to clear the soil will also be contaminated (for example, the machines used to clear the zero points on test sites in the Sahara have been "buried in the sand", and those used at Polynesian sites have been thrown into the ocean. At Rongelap, where tests were not conducted but which is near to Bikini, the Americans had to remove layers of earth right to the coral reef and bring in non-contaminated earth in order to replant the area, before inviting the inhabitants to come back, but in 2014 the problem is still not solved...). In France, a new storage site will be required for the ANDRA ("Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs" – national agency for the management of nuclear waste)!

In short, management of the "post-explosion" future will be virtually impossible...

## La journée qui suit, le nuage radioactif et les premiers secours

Le champignon atomique s'est élevé de plusieurs kilomètres dans l'atmosphère, emportant avec lui les produits de fission créés lors de l'explosion et les restes de quelques kilogrammes de plutonium qui n'ont pas explosé. Le vent dominant dans la région lyonnaise est un vent sud-ouest et le nuage se dirige donc vers Genève (Suisse). La vitesse moyenne habituelle du vent est d'une vingtaine de kilomètres à l'heure, Genève est donc atteint en une journée. Ce qui explique la panique sur les routes en grande partie bloquées par les gens qui veulent fuir en voiture. La décision d'évacuer Genève ne sera probablement pas prise. D'autres situations pourraient concerner toute la vallée du Rhône si le vent était plein nord et violent.

Les secours encadrés par l'armée sont mobilisés dans toute la France mais leur coordination n'a jamais été prévue à ce niveau d'ampleur. Le réseau électrique en Rhône-Alpes ne peut pas être rétabli, ni le réseau téléphonique. Éteindre les incendies est impossible du fait que le réseau d'eau est inutilisable.

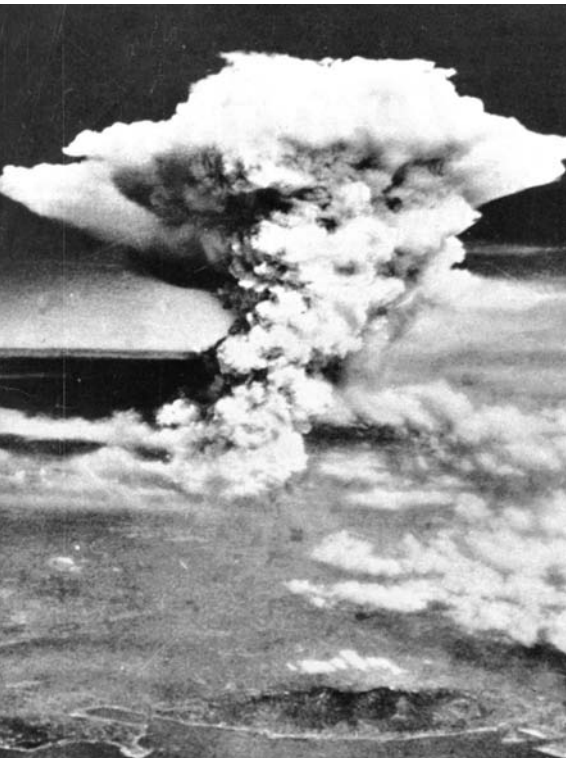
Les pays européens proposent d'envoyer des secours mais leur coordination est impossible à organiser dans un délai court. Seuls des hélicoptères peuvent avoir accès aux zones sinistrées. Les armées suisses, allemandes et italiennes mettent leur matériel à disposition de la France. Des hôpitaux sous tentes sont improvisés dans la région par l'armée qui a interdit toute circulation automobile et qui va essayer de dégager les routes.

L'émotion des personnalités politiques est à son comble. Le Président de la République a pris les pleins pouvoirs en vertu de l'article 16 de la Constitution et les responsables de cette catastrophe sont recherchés. S'agit-il d'un accident lors d'un essai, s'agit-il d'un tir suite à une erreur, s'agit-il d'une agression d'un pays hostile ou d'un groupe terroriste. Toutes les questions sont posées mais, en l'absence de réponse, le pouvoir politique est totalement incapable de formuler une réaction. C'est une sorte de paralysie qui s'installe. Une agression majeure qui n'a pas été dissuadée par l'arme nucléaire française devrait impliquer un tir nucléaire de représailles, mais cette question n'est même pas posée.

Les jours qui suivent cette première journée se ressemblent de par le chaos et la désinformation. Le Rhône charrie des corps et le ciel continue d'être pollué par la fumée des incendies, les images télé commencent à inonder la planète, l'horreur d'Hiroshima semble multipliée par dix, cent ou mille, les commentateurs manquent de mots pour décrire la situation. La moitié de la France a arrêté quasiment toute activité autre que les secours à la région lyonnaise.



## *The next day, the radioactive cloud and the first aid services*



The atomic mushroom has risen several kilometres into the atmosphere, carrying the fissile materials produced by the explosion and the residue of several kilograms of unexploded plutonium. The prevailing wind in the Lyon region is a South-Westerly wind and the cloud in consequence is moving towards Geneva (Switzerland). The average speed of the wind is approximately twenty kilometres an hour, so the cloud reaches Geneva in one day. This explains the panic on the roads, which are to a large extent blocked by people hoping to escape by car. The decision to evacuate Geneva will probably not be taken. Other situations could affect the whole of the Rhône valley if the wind were from the North and were violent.

Emergency services managed by the army are mobilised throughout France but the scale of coordination required has never been foreseen. Neither the electricity nor the phone networks in Rhône-Alpes can be reinstated. It is impossible to put out the fires because the water network is unusable.

European countries offer to send assistance but it is impossible to organise the coordination of aid in a short time. Access to affected areas is possible only by helicopter. The Swiss, German and Italian armies make their equipment available to France. The army improvises tent hospitals in the region; it has also prohibited all car journeys and will attempt to unblock roads.

The agitation of political personalities reaches unprecedented heights. The President of the Republic has assumed full powers by virtue of article 16 of the Constitution, and a search is underway for those responsible for the catastrophe. Is it the result of an accident during a test, has a missile launch been made in error, is it the result of an attack by a hostile country or a terrorist group. All these questions are raised, but in the absence of any answer, the political authorities are totally incapable of reacting in any way. A sort of paralysis takes over. A major aggression which French nuclear weapons have proven unable to deter should trigger reprisals in the form of a nuclear strike, but this question is not even stated.

The days following the first day are therefore all alike in being characterised by chaos and disinformation. The Rhône is full of bodies and the sky continues to be polluted by smoke caused by fires, scenes relayed by television begin to inundate the whole planet, the horror of Hiroshima seems to be multiplied by ten, a hundred or a thousand, commentators cannot find words to describe the situation. In half of France, all activity has virtually ceased, except that of attempting to bring assistance to the Lyon region.

# La vallée de la chimie

À 8 kilomètres du centre de Lyon, la vallée de la chimie est une zone d'activités d'environ 800 hectares avec près de 6 500 emplois directs dans l'industrie chimique et 10 grands groupes mondiaux de chimie et pétrochimie présents sur le territoire (Total, Arkema, Rhodia-Solvay, Bluestar Silicones, Air Liquide, Bayer, Mérieux...). Cela comporte des risques, risque d'explosion, risque d'incendie, risque de pollution, risque de nuage toxique. Cette vallée de la chimie qui a été conçue dans les années 1960 est maintenant située quasiment dans l'agglomération urbaine et totalise 9 sites classés Seveso-seuil haut, ce qui signifie le maximum de dangerosité.

Les liens techniques se traduisent par les multiples embranchements ferroviaires, conduites aériennes et souterraines qui relient les établissements, et par la station d'épuration des eaux commune. Mais, en région Rhône-Alpes, le moteur du complexe est constitué par la raffinerie Elf mise en service en 1964 qui approvisionne la région en carburants de haute qualité. C'est surtout le vapocraqueur, situé au nord de l'usine, qui représente l'enjeu majeur. Cette unité fournit les matières premières pétrochimiques (éthylène, propylène, butadiène et aromatiques) à toutes les usines chimiques de la région.

Le risque d'explosion est l'un des risques majeurs du couloir de la chimie où sont manipulés beaucoup de gaz liquéfiés hautement inflammables (butane, propane, éthylène, chlorure de méthyle, etc.). Ces incidents pourraient se produire à Rhône gaz (Solaize), à Totalfina-Elf (Feyzin) — dans la partie sud de la raffinerie —, à Rhodia organique et Atofina (Saint-Fons), et à Butagaz (Port Édouard Herriot). C'est ce type d'explosion qui a causé l'une des premières grandes catastrophes industrielles, à la raffinerie de Feyzin, le 4 janvier 1966.

Le risque d'incendie concerne tous les lieux de stockage de produits hautement inflammables, très nombreux dans le couloir de la chimie. C'est le cas à Rhodia organique, Rhodia silicones (siloxanes et solvants), Rhodia P. I. Belle étoile (hydrogène), Atofina Pierre-Bénite (fluorure de vinylidène). Ces incendies peuvent s'accompagner d'émission de fumées toxiques à Ciba (Saint-Fons) et Rhodia silicones (libération d'acide chlorhydrique). Exemple d'incendie récent : le 26 juin 2004, un nuage noir chargé en dioxyde de soufre et en azote s'élève au-dessus de la raffinerie Totalfina-Elf de Feyzin, conséquence d'un incendie « banal ».

Le risque de « boule de feu géante » est un phénomène difficile à expliquer, lié à l'évaporation de l'eau

qui projette un liquide inflammable à des centaines de mètres. Mais les Lyonnais en ont une connaissance très empirique, puisqu'il s'est déjà produit en juin 1987 lors de l'incendie du port Édouard Herriot (Lyon 7<sup>ème</sup>). Un bac de plusieurs tonnes avait d'abord été projeté à 200 mètres de haut, provoquant un incendie d'un bac de stockage de gazole qui a fini par exploser, formant une boule de feu de 450 mètres de haut et 200 mètres de diamètre. C'est l'un des principaux risques industriels dans l'agglomération lyonnaise. Au port Édouard Herriot bien sûr, où sont concentrés les principaux dépôts pétroliers (218 millions de litres, répartis dans 17 réservoirs !), mais aussi à Saint-Priest (94 millions de litres), Feyzin (Totalfina-Elf), Saint-Fons (Rhodia) ou Pierre-Bénite (183 millions de litres).



D.R.

Le risque de nuage toxique est sans doute le pire des scénarios pour les Lyonnais : un produit toxique s'échappant d'une usine et formant un nuage mortel au-dessus de la ville. Ce n'est pas du tout de la science-fiction, et cela a d'ailleurs bien failli se produire en 1976, lorsqu'un nuage d'acroléine s'est échappé de l'usine Atofina, à Pierre-Bénite. Le nuage était immense, pouvant couvrir une grande partie de l'agglomération... et contenait un gaz mortel en quelques minutes. Heureusement, il s'est enflammé au contact d'une étincelle, devenant ainsi inoffensif. Dans l'usine Atofina à Pierre-Bénite, on trouve encore de l'acroléine, mais aussi des produits guère plus rassurants, comme le chlore, gaz suffocant utilisé dans les tranchées en 14-18, le brome, réputé « tueur d'ozone », ou encore de l'acide fluorhydrique, du trifluorure de bore ou de l'anhydride sulfurique. D'autres usines sont aussi surveillées de près, comme Rhodia à Saint-Fons (chlore), Avantec à Saint-Priest (Ammoniac) et Brenntag à Chassieu (chlore, acide fluorhydrique).

# The Chimical Valley

8 km from the centre of Lyon, the Chemical Valley is an enterprise zone of about 800 hectares hosting approximately 6,500 direct jobs in the chemical industry and 10 major worldwide chemical and petrochemical groups with operations in France (Total, Arkema, Rhodia-Solvay, Bluestar Silicones, Air Liquid, Bayer, Meyrieux...). The Chemical Valley conceived in the 1960s, is now almost fully located within the urban agglomeration and contains 9 sites classed at a high Seveso threshold, the maximum level of danger.



D.R.

Technical and logistical links take the form of multiple rail junctions, aerial and underground conduits joining the different sites, and the nearby water treatment plant. But, in the Rhône-Alpes region, the powerhouse of the complex is the Elf refinery which went live in 1964 and which provides the region with high-quality fuel. The installation with respect to which most is at stake is the steam cracker located on the northern side of the factory. This unit supplies petrochemical raw materials (ethylene, propylene, butadiene and aromatics) to all the chemical factories in the region.

An explosion is one of the major risks of this chemical corridor, where many highly inflammable gases are handled (butane, propane, ethylene, methyl chloride, etc.). Such incidents could occur at Rhône gaz (Solaize), at Totalfina-Elf (Feyzin) in the southern part of the refinery, at Rhodia organique and Atofina (Saint-Fons), and at Butagaz (Port E. Herriot). This type of explosion was responsible for one of the earliest great industrial catastrophes, at the Feyzin refinery, on 4th January 1966.

The risk of fire concerns all highly inflammable products, of which there are many storage areas in the chemical corridor. Examples include Rhodia Organique, Rhodia Silicones (siloxanes and solvents), Rhodia P. I. Belle étoile (hydrogen), Atofina Pierre-

Bénite (vinylidene fluoride). Fires could occur together with propagation of toxic fumes at Ciba (Saint-Fons) and at Rhodia Silicones (release of hydrochloric acid). In one example of a recent fire, on 26th June 2004, a black cloud full of sulphur dioxide and nitrogen went up above the Totalfina-Elf refinery at Feyzin, as a consequence of a "simple" initial fire.

The risk of a "giant fireball" is difficult to explain, linked as it is to an evaporation of water which can project an inflammable liquid to a distance of several hundred metres. But the inhabitants of Lyon have a very practical knowledge of this phenomenon, since it already occurred in June 1987 at the time of the fire at the Edouard Herriot port (Lyon 7th *arrondissement*). A container of several tons weight had initially been hurled 200 metres in the air, provoking a fire in a diesel oil storage container, which ended up exploding and generating a 450 meter high, 200 meter wide fireball. This is one of the main industrial risks in the Lyon urban area. These exist not only at the Edouard Herriot port, where the main oil storage facilities are located (218 million litres, distributed between 17 reservoirs!), but also at Saint-Priest (94 million litres of oil), Feyzin (Totalfina-Elf), Saint-Fons (Rhodia) and Pierre-Bénite (183 million litres of oil).

The risk of a toxic cloud is probably the worst scenario of all for the inhabitants of Lyon. Such a cloud can be created by a toxic product leaking from a factory and forming a lethal cloud above the town. This scenario is not by any means just science fiction; indeed it very nearly occurred in 1976, when a cloud of acrolein broke away from the Atofina factory at Pierre-Bénite. The cloud was huge, large enough to cover most of the urban area, and it contained a gas which could kill in just a few minutes. Fortunately, it caught fire after coming into contact with a spark, which rendered it harmless. Acrolein is still to be found in the Atofina factory at Pierre-Bénite, together with other scarcely more reassuring products, such as chlorine, a suffocating gas used in the trenches in World War I, bromine, hydrofluoric acid, boron trifluoride and sulphur trioxide. Other factories require close security surveillance, such as Rhodia at Saint-Fons (chlorine), Avantec at Saint-Priest (ammonia) and Brenntag at Chassieu (chlorine, hydrofluoric acid).

## Le cas d'une bombe qui explose au sol

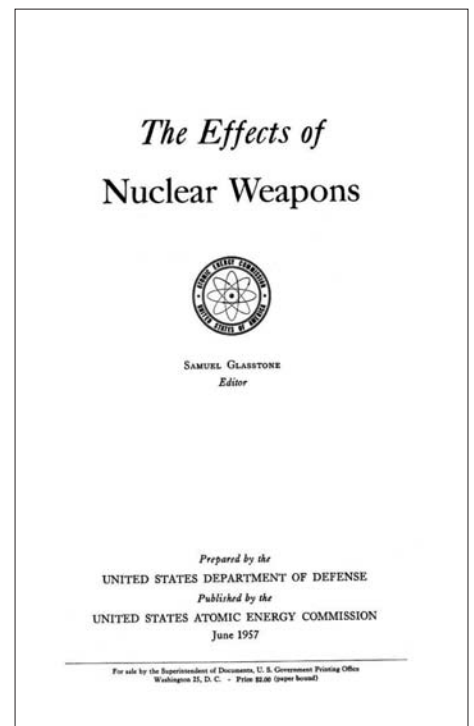
L'éventualité d'une bombe de 150 kilotonnes qui explose au sol semble difficile à imaginer sauf à penser qu'une équipe de terroristes puisse avoir volé une bombe portée par un missile ASMP, qui équipe normalement un avion Rafale, et disposer des connaissances pour faire exploser cette bombe d'une puissance explosive de 300 kilotonnes. Un cas plus « réaliste » serait une bombe de 20 kilotonnes, de technologie plus simple car faisant recours à la seule fission, et construite sans difficulté par un pays disposant de matière fissile.

L'explosion au sol d'une bombe de 150 kilotonnes crée, comme l'explosion en altitude, une boule de feu d'environ 1 kilomètre de diamètre à une température d'environ 5 000 degrés, mais ceci en plein centre ville. L'effet en est encore plus violent, l'effet de la chaleur mais aussi l'effet de l'onde de choc. Une grande quantité de terre, de béton et d'autres matériaux s'incorporent au nuage de haute température par fusion ou vaporisation. Ces particules, appelées granules, servent de support de condensation aux produits de fission et autres résidus radioactifs. Ces granules vont constituer des retombées radioactives extrêmement préjudiciables sur des distances qui pourront atteindre des dizaines voire des centaines de kilomètres. L'explosion au sol crée un cratère d'environ 200 mètres de diamètre et 50 mètres de profondeur pour une bombe de 150 kilotonnes. La pollution radioactive à grande distance aura des conséquences plus graves sur le moyen et long terme.

Au delà de 3 à 4 kilomètres les effets de l'explosion au sol sont moins grands que ceux d'une explosion en altitude car le nuage à haute température en altitude est vu sous un plus grand angle et les ondes de choc, au niveau du sol, ont tendance à s'atténuer plus vite. Par rapport à une bombe lâchée à 800 mètres, les zones de dommages sont réduites d'environ 15 % à 30 %, ainsi les blessés brûlés au deuxième degré sont contenus dans un cercle de diamètre 8 kilomètres au lieu de 10 kilomètres...

Signalons les chiffres concernant une bombe de 20 kilotonnes : la zone des brûlés au deuxième degré est d'un diamètre de 4 à 5 kilomètres dans le cas d'une explosion au niveau du sol. Pour une bombe de 300 kilotonnes qui explose au sol, cette zone a un diamètre d'une douzaine de kilomètres.

Ces considérations montrent qu'il existe de nombreuses différences suivant l'altitude et la puissance de la bombe, mais quelles soient ces conditions, une explosion nucléaire dans une ville comme Lyon va créer une situation absolument ingérable par les secours tels qu'ils existent actuellement.



En 1957, le ministère de la défense américain publie l'étude *The Effects of Nuclear Weapons* qui sera mise à jour en 1977. Le ministère français de la défense l'a traduite en 1963, mais, comme le montre la couverture, sa diffusion est restreinte...



## The case of a bomb exploding at ground level

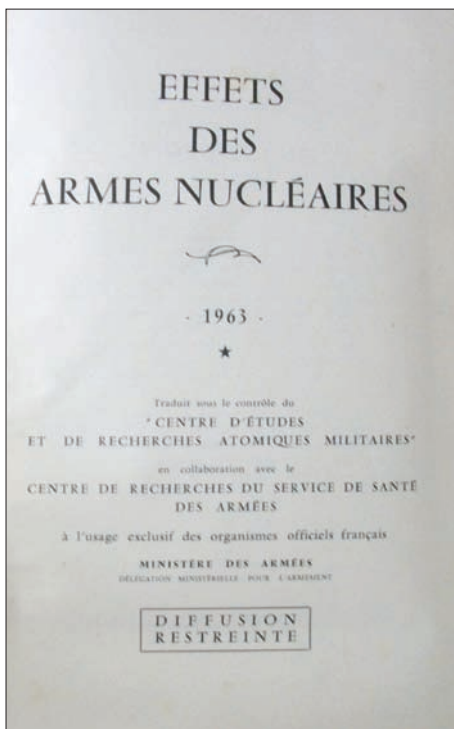
The eventuality of a 150 kT bomb exploding at ground level is difficult to imagine, unless one supposes that a team of terrorists were to steal a bomb carried by an Air to Ground Missile, such as those which normally equip Rafale airplanes, and that such a team were to have the know-how to detonate such a bomb, whose actual explosive power is 300 kT. A more "realistic" scenario would involve a 20 kT bomb, made with a simpler technology because requiring fission only, and easy to produce for any country having access to fissile material.

A ground-level explosion of a 150 kT bomb, like a similar explosion in the air, creates a fireball of approximately 1 km in diameter, at a temperature of about 5,000 degrees ; this time however the fireball is generated right in the town centre. The effect is even more violent - the effect of the heat, that is, but also the effect of the shockwave. A large quantity of earth, of concrete, and of other materials gets incorporated into the high-temperature cloud by fusion or vaporisation. These particles, called granules, foster the condensation of fissile materials and other radioactive residues. These granules constitute radioactive fallout of a highly dangerous kind, over distances which can stretch as far as tens or even hundreds of km. The ground-level explosion creates a crater approximately 200 m wide and 50 m deep, for a 150 kT bomb. Long-distance radioactive pollution has more serious consequences in the medium and long term.

Beyond 3 to 4 kilometres the effects of the ground-level explosion are less devastating than those of an aerial explosion because the high-temperature overhead cloud impacts the earth at a greater angle and the shockwaves, on the ground, tend to be attenuated more quickly. As compared with a bomb launched at 800 metres, the area covered by the devastation is approximately 15% to 30% smaller, so victims with 2nd degree burns are located within a circle 8 km wide rather than 10 km wide..

Let us point out the figures for a 20 kT bomb: the area in which victims suffer 2nd degree burns is 4 to 5 km wide in the case of a ground-level explosion. For a 300 kT bomb exploding on the ground, this area is approximately twelve kilometres wide.

These considerations show that there are many differences depending on the height and power of the bomb, but that whatever the conditions, a nuclear explosion in a town like Lyon will create a situation which the authorities and aid services as currently structures will be absolutely incapable of managing.



In 1957, the US Department of Defence published the study *The Effects of Nuclear Weapons*, which has been updated in 1977. The French Ministry of Defence has translated in 1963 but, as shown on the book cover, its distribution was limited...

## Le cas d'une bombe explosant en altitude : l'impulsion électromagnétique

Une bombe qui explose à haute altitude provoque des effets très différents. À haute altitude signifie au-delà d'une distance de 40 kilomètres de la surface du sol. Nous ne sommes plus dans l'atmosphère mais dans l'ionosphère, l'air est raréfié et contient des électrons dissociés des atomes. La bombe qui explose dans un tel environnement va créer autour d'elle une vague d'électrons allant à une vitesse proche de celle de la lumière et ces électrons vont parcourir une distance suffisante dans le champ magnétique terrestre pour créer une impulsion électromagnétique de forte ampleur. Il s'agit d'une frappe dite IEM, « frappe à Impulsion électromagnétique ».

L'onde de chaleur et l'onde de choc sont faiblement ressenties au niveau du sol mais l'impulsion électromagnétique est dévastatrice. Tous les circuits électriques et électroniques sont mis hors d'usage au niveau du sol. Du fait de la hauteur du phénomène, la surface au sol concernée est très grande. Une bombe d'une mégatonne (un million de tonnes de TNT) qui exploserait au dessus de la France à 400 kilomètres d'altitude détruirait toute l'électronique au sol sur l'ensemble du territoire et dans plusieurs pays voisins.

Le cas d'une bombe moins puissante d'environ 150 kilotonnes à 40 kilomètres d'altitude concernerait « seulement » 3 à 4 départements français. Dans un tel cas, les réacteurs nucléaires de la zone ne pourraient plus être refroidis car les pompes de secours seraient inutilisables. L'arme nucléaire elle-même produirait moins de dégâts mais les conséquences « indirectes » seraient beaucoup plus graves, en particulier pour les réacteurs nucléaires qui imposent qu'un système électrique de secours reste opérationnel pour assurer l'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur. Pour toutes les installations industrielles qui demandent une maintenance active par de l'électronique ou de l'électricité, le problème serait le même. L'industrie chimique serait donc elle aussi le siège d'accidents très graves. Bien évidemment tous les systèmes de communications seraient détruits et d'une façon générale tous les dispositifs qui font appel à de l'électricité et de l'électronique. Autant dire que sur une surface très vaste, la vie telle que nous la connaissons serait totalement paralysée.

La doctrine française se pose la question d'une possible utilisation IEM pour certaines de ses frappes.

Simulation des effets d'une impulsion électromagnétique réalisée en 1979 par les États-Unis sur un Boeing E-4 transformé en poste de commandement

*Simulating the effects of a electromagnetic impulse conducted in 1979 by the United States on a Boeing E-4 converted into a command post (source Wikipedia).*

## *The case of a bomb exploding in mid-air: electromagnetic impulse*

A bomb exploding at a high altitude provokes very different effects. By “high altitude” is meant anything above 40 km from the earth’s surface. This is no longer within the atmosphere, but already within the ionosphere, air is rarefied and contains electrons dissociated from atoms. A bomb exploding in such an environment creates a wave of electrons around it, travelling at a speed close to that of light; these electrons will travel sufficiently far within the earth’s magnetic field to create an electromagnetic pulse of great force. This is known as an EMP, “Electromagnetic Pulse”, strike.



The heat wave and shockwave are not strongly felt at ground level but the electromagnetic pulse is devastating. All electric and electronic circuits are rendered inoperative. On account of the height at which the phenomenon occurs, the area affected on the earth’s surface is vast. A one megaton bomb (one million tons of TNT) exploding above France at a height of 400 km would destroy all ground-level electronic systems in France and in several neighbouring countries.

The case of a less powerful bomb of about 150 kT exploding at a height of 40 km would “only” affect 3 to 4 French “départements”. Under this scenario, the nuclear reactors in the affected areas could no longer be cooled because the emergency pumps

would be unusable. The nuclear device itself would produce less destruction but the “indirect” consequences would be much worse, in particular with respect to nuclear reactors for which it is absolutely imperative to have a fully functioning reserve system of electric power, in order to ensure that the residual heat from the reactor is evacuated. The problem would arise for all such industrial installations requiring active electrical or electronic maintenance. The chemical industry would therefore also be hit by very serious accidents. Of course, communication systems would be destroyed, but more generally all installations requiring electricity and electronics. In short over a vast area, life as we know it would be completely paralysed.

The question of the possible use of EMP for certain types of strikes is currently under consideration within French military doctrine.

## Les conséquences radiologiques pour la santé humaine sur le long terme

Il faut étudier séparément les « retombées immédiates » et les « retombées différées ». Les retombées immédiates sont le fait de granules de taille d'environ 1 micron et tombent dans la région proche de l'explosion.

Les éléments qui viennent en contact avec la peau peuvent créer des « radiodermites bêta » car les rayons bêta émis (qui sont en fait des électrons) vont endommager la peau. Les populations soumises à de tels effets lors d'essais atmosphériques de bombes nucléaires ont eu des lésions qui ont pu se guérir plus ou moins rapidement, certains enfants qui étaient bébés lors des explosions ont eu des retards de croissance osseuse.

Le cas de contamination interne est plus grave. Certaines retombées peuvent pénétrer dans l'appareil digestif ou les poumons et toute quantité de matière radioactive présente dans l'organisme, même très faible, peut entraîner des atteintes très importantes. La situation peut être aggravée par le fait que certains éléments chimiques tendent à se concentrer dans certains tissus.

L'iode 131 est un cas typique de concentration sur la thyroïde. Sa période radioactive (durée pour diviser la radioactivité par 2) est de 8 jours mais sa « période biologique » (correspondant au temps où l'organisme évacue la moitié du produit) peut atteindre 90 jours, donc pratiquement tout l'iode radioactif qui a contaminé quelqu'un se désintègre dans sa thyroïde.

Les produits de fission qui se retrouvent dans les retombées immédiates sont principalement le strontium 89 et le strontium 90, le césium 137 et le baryum 140, éléments qui constituent le premier groupe de produits les plus dangereux. Il faut aussi prendre en compte le plutonium (période radioactive 24 000 ans, période biologique 200 ans) qui va rester quasiment définitivement dans l'organisme et provoquer des lésions osseuses sur le long terme. Le plutonium se fixera en premier lieu dans les poumons, l'uranium plutôt dans les reins. Dans les essais atmosphériques effectués, l'ingestion de produits radioactifs par les populations locales s'est plutôt produite par la nourriture et l'eau.

Le danger à long terme des retombées différées vient principalement du césium 137 et du strontium 90. En particulier le strontium 90 peut demeurer longtemps sur le squelette. Des expériences sur des animaux ont prouvé qu'il peut créer anémie, nécrose osseuse, et cancer. Le strontium étant plus soluble que le calcium, il est privilégié pour être absorbé par les plantes et donc passer dans la chaîne alimentaire.

Il faut enfin considérer les effets génétiques qui vont affecter les générations futures. Les gonades et les ovaires soumis aux rayonnements radioactifs vont occasionner des mutations de gènes. L'opinion des généticiens est qu'il n'existe pas de seuil pour les mutations génétiques résultant d'une exposition à la radioactivité. Le radioisotope le plus concerné est le césium 137 qui se répartit dans tout l'organisme.



*Hibakusha*

## Long time radiological consequences for human health

Immediate fallout" and "long-term fallout" need to be considered separately. The immediate fallout is linked to granules of approximately 1 micron in size and fall in the immediate vicinity of the explosion.

Elements coming into contact with skin can create "Beta Radiodermatitis" because the beta rays emitted (which are in fact electrons) damage human skin. Local inhabitants subjected to such effects during atmospheric nuclear weapons tests have had wounds which healed more or less fast, some children who were babies at the time of the explosions have seen the growth of their bones retarded.

Cases of internal contamination are more serious. Certain fallout effects can enter into the digestive system or the lungs, and any amount of radioactive material entering the organism, no matter how small, can trigger very serious contamination. The situation can be made worse by the fact that some chemical elements tend to be concentrated in a few specific tissues.

Iodine 131 is a typical case of concentration on the thyroid gland. Its radioactive period (the length of time it takes for its radioactivity to be divided by 2) is 8 days but its "biological period" (corresponding to the time taken by the organism to evacuate half of any material) can be as long as 90 days, so that practically all the radioactive iodine in a contaminated person disintegrates within his or her thyroid gland.

The products of fission contained in the immediate fallout consist mainly of strontium 89 and strontium 90, caesium 137 and barium 140, elements which belong to the foremost group of most dangerous products. Plutonium should also be taken into account (with its radioactive period of 24,000 years, and biological period of 200 years); plutonium will remain in the organism almost once and for all, and will provoke long-term ruptures in the bone structure. Plutonium will settle in the first instance in the lungs, whereas uranium will take root in the kidneys. In atmospheric tests performed, the body of local populations was contaminated by radioactive products mainly via food and water.

The main sources of long-term danger from deferred fallout are caesium 137 and strontium 90. Strontium 90 in particular can contaminate the skeleton for very long period. Experiments on animals have proved that it can provoke anaemia, bone necrosis, and cancer. As strontium is more soluble than calcium, it is more readily absorbed by plants and so can infiltrate the whole nutritional chain.

Finally, the genetic effects affecting future generations need to be considered. Gonads and ovaries subjected to radioactive rays will cause gene mutations. The opinion of geneticists is that there is no threshold for genetic mutations resulting from exposure to radioactivity. The most directly concerned radioisotope is caesium 137 which gets propagated throughout the organism.



Hibakusha



Nagasaki, à 3,5 kilomètres de l'hypocentre, une sentinelle descend de son poste d'observation lorsqu'est sonnée la fin de l'alerte. Il se débarrasse de son sabre qu'il accroche à un bardeau et est en train de déboutonner sa veste lorsqu'il voit l'éclair. Son ombre est imprimée dans la paroi de bois. Une bombe de 150 kilotonnes donnerait un tel effet à 8 kilomètres de l'hypocentre.

*Nagasaki, 3,5 km from the seismic centre, a sentinel comes down from his observation post when the siren notifies the end of the alert. He takes off his sword which he is tying to a shingle and begins to unbutton his jacket when he sees the flash caused by the explosion. His shadow is printed on the wooden wall. A 150 kT bomb would cause a comparable effect 8 km from the seismic centre.*

Photo Matsumoto Eiichi

*« Il faut éliminer les armes nucléaires  
avant qu'elles ne nous éliminent... »  
John Kennedy, 1961*

*« We must eliminate nuclear weapons  
before they eliminate us »  
John Kennedy, 1961*

Les scénarios de destruction par une bombe nucléaire présentés à la Conférence d'Oslo ont conduit le Comité international de la Croix-Rouge (CICR) à lancer un appel pour un désarmement nucléaire basé sur le fait qu'une frappe nucléaire, même limitée à une bombe, crée une situation où les secours sont dans l'incapacité d'être apportés aux populations concernées. Le scénario d'une bombe sur la ville de Lyon en est un exemple. Il faudra des mois de mobilisation pour secourir les personnes blessées, empêcher des accidents « secondaires » conséquences des dommages subis, gérer le traumatisme social de toute la population, voire de toute l'Europe, et éviter des désordres internationaux possibles, voire une guerre généralisée en conséquence.

Seule la prévention, comme en médecine, peut être la réponse adaptée. Seule l'élimination des armes nucléaires est la solution pour éviter de telles catastrophes.

Un traité d'interdiction des armes nucléaires doit être l'objectif prioritaire des États et des peuples.

The scenarios concerning destruction by a nuclear bomb presented at the Oslo Conference have led the International Comity of the Red Cross (ICRC) to call for nuclear disarmament, on the grounds that a nuclear strike, even if limited to one bomb, creates a situation in which no assistance can be given to the affected populations. The scenario of a bomb over the town of Lyon illustrates this principle. Months of mobilisation will be necessary to attend to the injured, to prevent "secondary" accidents resulting from the damage inflicted, to manage the social trauma suffered by the whole of the local population, or even of all of Europe, and to avoid the international unrest, or even the widespread warfare, which could result from such a strike.

As with medicine, the only adequate response lies in prevention. The only solution to avoid such catastrophes lies in the elimination of nuclear weapons.

A treaty prohibiting nuclear weapons has to be the priority objective of all States and all peoples.

« Sachant que certains de nos dirigeants dans le monde continuent à préparer les conditions d'une guerre nucléaire qui pourrait à tout moment être déclenchée, soit intentionnellement soit par erreur, chacun de nous, dans la mesure où il ne ferait pas tout ce qui est en son pouvoir pour les en empêcher, se rendrait coresponsable de ce crime immense contre l'Humanité. »

Stéphane Hessel et Albert Jacquard, 2012

« Knowing that certain leaders of the world continue to prepare for a possible nuclear war which can be triggered at any moment either intentionally or by mistake, if each one of us does not do anything to stop them, that would make oneself be co-responsible of this horrible crime against humanity. »

Stéphane Hessel and Albert Jacquard, 2012



La **Campagne internationale pour l'abolition des armes nucléaires (ICAN)** est une coalition mondiale d'organisations non gouvernementales travaillant pour un monde sans armes nucléaires. Nous exhortons tous les pays à entamer des négociations maintenant sur un traité d'interdiction complète des armes nucléaires. Pour en savoir plus : [www.icanw.org/](http://www.icanw.org/)

**ICAN France** est le relais, pour la France. Plus de détails sur : <http://icanfrance.org/>

The **International Campaign to Abolish Nuclear Weapons (ICAN)** is a global coalition of non-government organisations working for a nuclear-weapon-free world. We are urging all nations to start negotiations now on a treaty banning nuclear weapons completely. Find out more at [www.icanw.org/](http://www.icanw.org/)

**ICAN France** is over for France. More details on: <http://icanfrance.org/>



L'**Observatoire des armements** est un centre d'expertise indépendant créé en 1984 à Lyon (France). Il a pour objectif d'étayer les travaux de la société civile sur les questions de défense et de sécurité et ce, dans la perspective d'une démantèlement progressive. L'Observatoire intervient sur deux axes prioritaires : les transferts et l'industrie d'armement et de sécurité ; les armes nucléaires et leurs conséquences. Il publie des études et une lettre d'information, *Damoclès*. Pour en savoir plus : [www.obsarm.org/](http://www.obsarm.org/)

The **Observatoire des armements** is an independent expertise center founded in France in 1984. It supports the work of civil society in regard to defense and security issues and advocates for a gradual demilitarization of society. The Observatoire des armements focuses on two topics: armaments transfers and the armaments industry, and nuclear weapons and their consequences. It publishes studies and a newsletter, *Damoclès*. More details on: [www.obsarm.org/](http://www.obsarm.org/)