

法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSN)

對核子事故緊急應變之作為

2013 年11月

壹、法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSN)之設立

法國輻射防護暨核能安全研究所(The Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety, IRSN)係依據2001年5月9日第2001-398號法案(Act)和2002年2月22日第2002-254號命令(Decree)而設置之獨立公共機構(Independent Public Establishment)，隸屬於法國核能安全署(Nuclear Safety Authority, ASN)，除提供ASN相關技術支援外，也執行環境、健康、工業、國防、科技等部會所委託之相關研究。IRSN在核能安全及輻射防護領域中，結合其他相關單位專家進行各項研究工作，提供民生與國防等主管機關之技術諮詢與支援。此外，IRSN也對法國、歐盟及國際社會之公私部門提供技術諮詢及服務。當核子意外事故發生時(含輻射事故)，負責事故分析評估、輻射劑量評估、環境輻射監測、提供地方政府下達民眾防護行動命令之諮詢與建議。

IRSN下設有11個所區，其中主要的三個所區為Fontenay-aux-Roses、Cadarache及Le Vésinet，本文所介紹之緊急應變處技術緊急中心(Technical Emergency Center, TEC)位於Fontenay-aux-Roses所區，也是IRSN總部。IRSN 2012年預算約兩億歐元，其中約八千五百萬歐元用來執行ASN交付之安全管理相關研究，員工總計約有1700人，專業技術與研究人員超過1000人。

IRSN的技術部門(Operational Division)組織圖如下圖所示，共有五個部門，分別為：

- 保安與防止核武繁衍(Defense, Security and Non-Proliferation)
- 核能安全(Nuclear Safety)
- 輻射防護(Radiation Protection)
- 劑量實驗室(Dosimetry Laboratory)
- 國際事業發展(International Business Development)

核能安全部門包括三個處，分別為核能安全技術處(Nuclear Safety Expertise)、安全研究處(Safety Research)及安全政策、系統與新反應器處(Safety Doctrine, Systems

and New Reactors)。輻射防護部門包括四個處，分別為輻射防護處(Radiation Protection)、環境處(Environment)、核子廢料與地圈處(Nuclear Waste and Geosphere)及緊急應變處(Emergency Response)。緊急應變處負責IRSN核子事故緊急應變事宜，本文所介紹之技術緊急中心即隸屬於該處。



IRSN 技術部門組織圖

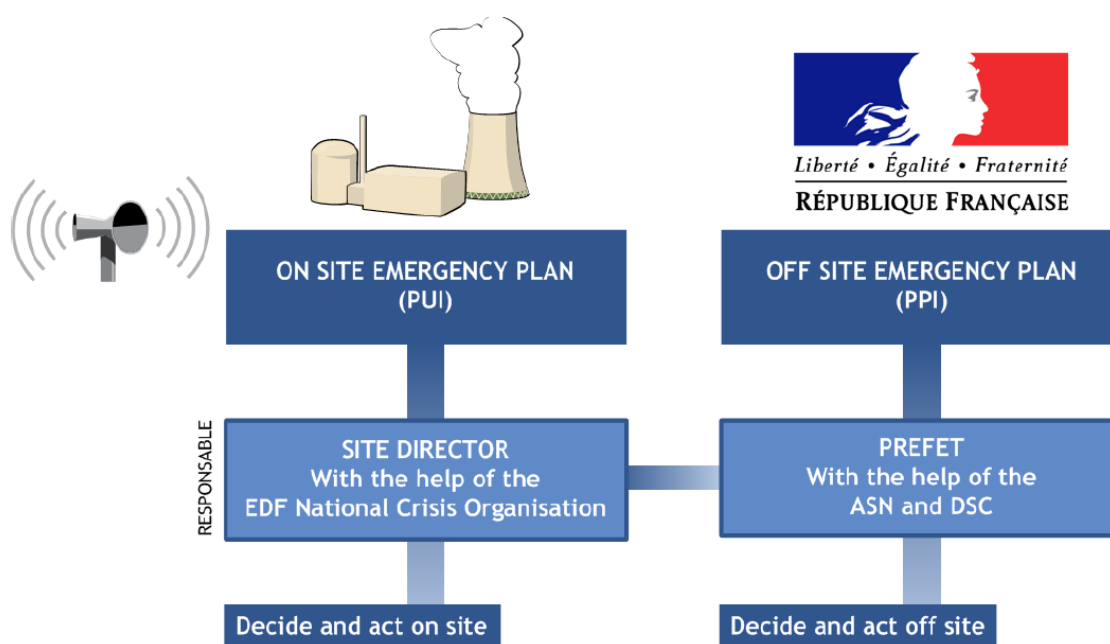
貳、法國核子事故緊急應變體系之運作

法國目前擁有19座核能電廠，58個壓水式機組，核能機組數量僅次於美國，所有核能機組均屬國營，由法國電力公司(EDF)經營。

法國核子事故緊急應變體系如下圖所示，分為廠內應變及廠外應變兩個部份，廠內應變由發生事故的核能電廠廠長(Site Director)負責，位於巴黎之法國電力公司總部應提供必要之支援與協助；廠外應變由地方首長(Prefect)負責，核能安全署(包括所屬IRSN)及內政部民事安全局(Directorate of Civil Security, DSC)應提供必要之支援與協助。

法國法規規定，每座核能電廠每年應舉行廠內演習一次，每三年應舉行國家級演習一次。廠內演習，主要在測試核電廠之各項應變能力，並未動員民眾參與演習，由於法國核能電廠多達19座，ASN及IRSN原則上每年選擇其中 8 座參與演習；廠外演習為國家級演習，原則上每年有 12~15 次演習，除ASN及IRSN須參與外，地方政府將動員民眾進行掩蔽、疏散等演練。另原則上每兩年進行無預警演習(Un-Announced Exercise)一次，大

部份為廠內演習，所謂無預警係指未事先告知那天要進行演習。不論廠內、廠外或無預警演習，核能電廠都無法事先知道演習劇本。



法國核子事故緊急應變體系

法國廠內應變機制原則上與我國相似，事故發生時，核電廠廠長負責所有現場應變之指揮，包括警報之施放、廠內救災與事故評估、事故後果之減緩、廠內員工之通報與保護、地方政府與主管機關之通報，新聞之發佈，並與總公司保持密切聯繫，而總公司應啟動緊急應變組織，提供技術支援及協助搶救電廠事宜。

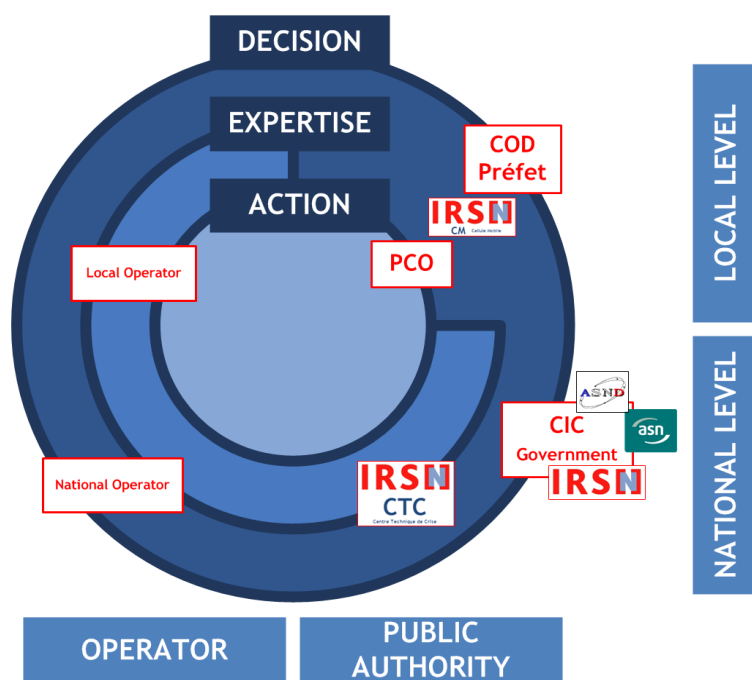
法國廠外應變機制與我國不盡相同，主要差異為法國地方首長負責民眾防護行動（例如掩蔽、疏散、服用碘片）命令之下達，以確保民眾生命及財產安全，我國係由中央災害應變中心指揮官下達民眾防護行動命令，地方政府依照命令執行民眾之掩蔽、疏散、服用碘片、食物及飲水管制等防護措施。

法國核子事故緊急應變運作如下圖所示，可由不同面向觀察如下：

- （一）首先可分為四個區塊，左上角為核能電廠，左下角為法國電力公司總部，右上角為地方政府，右下角為中央應變中心（主要為ASN及所屬IRSN）。
- （二）其次，可分為上半部及下半部兩大區塊。上半部為地方層級，包括核電廠及地方政府；下半部為國家層級，包括法國電力公司總部及中央應變中心。

(三) 此外，亦可分為左半部及右半部兩大區塊。左半部為業者，包括核電廠及法國電力公司總部；右半部為政府機構(Public Authorities)，包括地方政府及中央應變中心。

當發生核子事故需緊急應變時，ASN及所屬IRSN扮演非常重要角色，除須監督核能電廠之緊急搶救、事故影響之減輕及資訊之通報等作為是否符合法規要求外，也要提供專業技術諮詢作為地方政府下達民眾防護行動命令之參考，並隨時提供透明化資訊予各級政府機關、一般民眾、新聞媒體、鄰近國家及國際機構，例如國際原子能總署(IAEA)及歐盟 (European Union) 。



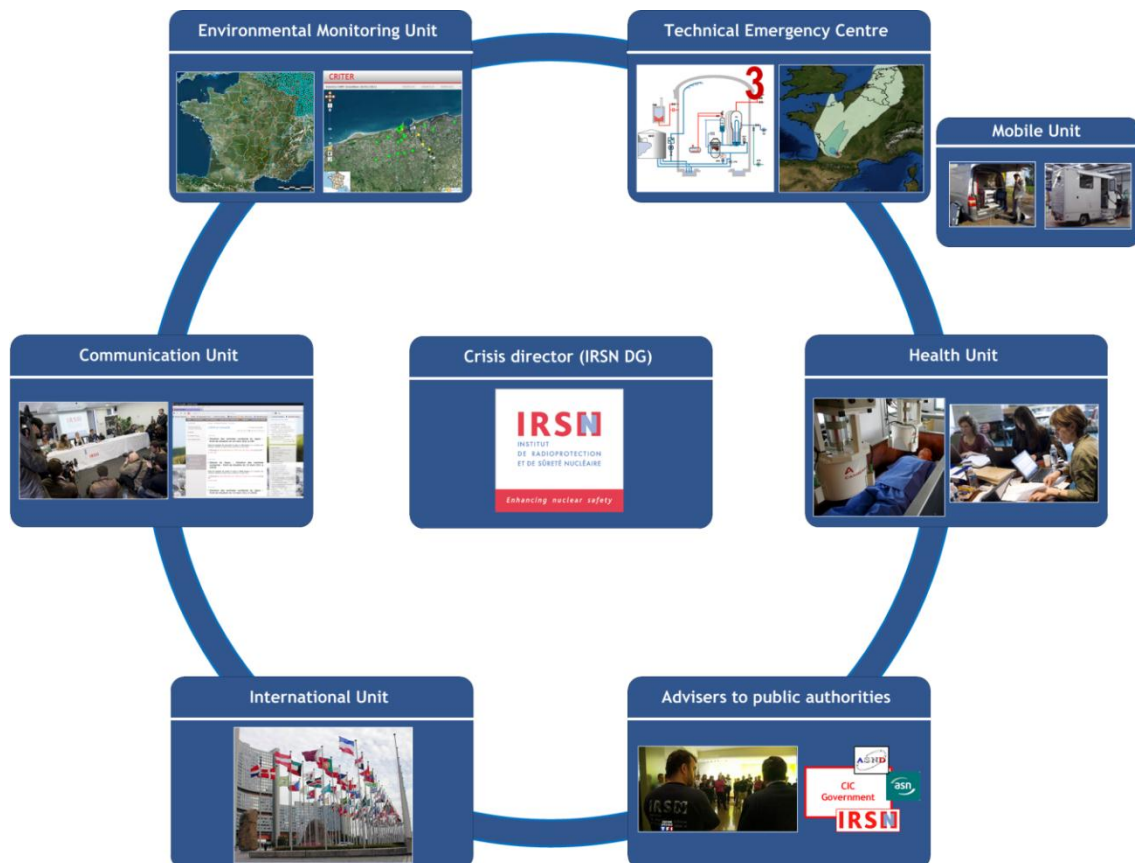
法國核子事故緊急應變運作圖

參、IRSN 在核子事故緊急應變之任務

IRSN 在平常情況下，負責核能安全及輻射防護之研究，以提供 ASN 安全管制之技術支援，也提供民生及國防等主管機關之技術諮詢與支援服務。發生核子事故時，主要任務為事故分析、輻射劑量評估、環境輻射監測、並提供地方政府下達民眾防護行動命令之諮詢與建議。平時每星期約有 24 位緊急應變人員 24 小時隨時待命（每星期輪替一次），核子事故發生時，IRSN 總部（位於 Fontenay-aux-Roses 所區）成立緊急應變中心，並由該所所長擔任總指揮官，每梯次待命之 24 位應變人員應於接獲緊急動員通知後一

小時內，抵達緊急應變處技術緊急中心。IRSN 員工總計約 1700 人，其中約有 470 人投入緊急應變作業，所受總訓練時數每年約 2000 個小時。緊急應變中心包括以下幾個主要功能編組：

- 技術緊急中心(Technical Emergency Center, TEC)，為IRSN緊急應變中心最重要之幕僚單位，待命成員應於接獲緊急動員通知後一小時內抵達技術緊急中心，本中心事故評估組與劑量評估組之軟硬體設備、編組、演習與訓練將在下節中再作詳細介紹。
- 機動組（Mobile Unit）：附屬於技術緊急中心，負責至事故現場進行取樣，執行機動性環境及人員輻射偵測（包括空中偵測），並配置移動型實驗室進行環境樣品分析。
- 環境監測組(Environmental Monitoring Unit)：目前法國全國建置250 個加馬輻射監測站及51個空浮微粒監測站，預計2014 年增加為450個加馬輻射監測站；另全國主要河川上總共建置 7 個水質監測站，持續取水樣進行加馬能譜分析。
- 醫療組(Health Unit)：提供民眾輻射醫療及後續心理健康之建議與諮詢，並協助醫療院所執行輻射緊急醫療作業。
- 訊息溝通組（Communication Unit）：提供最新事故發展訊息予新聞媒體、一般民眾、各級政府機關及鄰近國家了解參考。
- 國際組(International Unit)：核子事故可能影響鄰近國家，須通報國際原子能總署及歐盟，俾國際組織隨時掌握最新狀況，必要時應尋求國際支援。
- 諮詢組（Advisers to Public Authorities）：提供民眾或各級政府機關對事故狀況之諮詢，以減少無謂的恐慌。



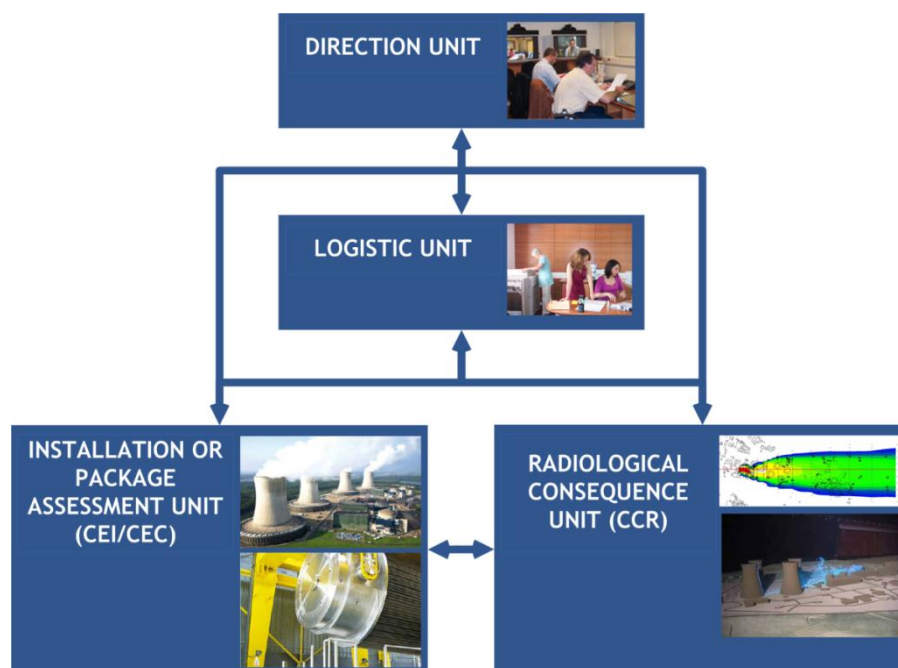
IRSN 在核子事故緊急應變之任務

肆、技術緊急中心編組、設備、演習與訓練

核子事故發生時，IRSN 應成立緊急應變中心，其最重要的幕僚單位為緊急應變處轄下之技術緊急中心(Technical Emergency Center, TEC)。TEC 組織架構如下圖所示，其下設有 4 個編組：

- 指揮組 (Direction Unit)，負責TEC之運作及對外聯繫與諮詢，並將事故分析與輻射劑量評估結果向ASN及其他相關單位報告，每梯隊配置約4~5人。
- 設施評估組 (Installation or Package Assessment Unit)，類似我國的事故評估組，每梯隊配置約7~8人。
- 輻射後果組 (Radiological Consequence Unit)，類似我國的劑量評估組，每梯隊配置約7~8人。
- 後勤組(Logistic Unit)，提供行政支援，每梯次配置約4~5人。

註：另有機動組(Mobile Unit)也受TEC指揮，辦理相關事項。



IRSN 技術緊急中心組織圖

事故評估組(亦稱為設施評估組)與劑量評估組(亦稱為輻射後果組)為TEC最重要的兩個編組，謹將這兩個組之軟硬體設備、編組、演練與訓練詳述如下：

一、軟硬體設備

(一)事故評估組

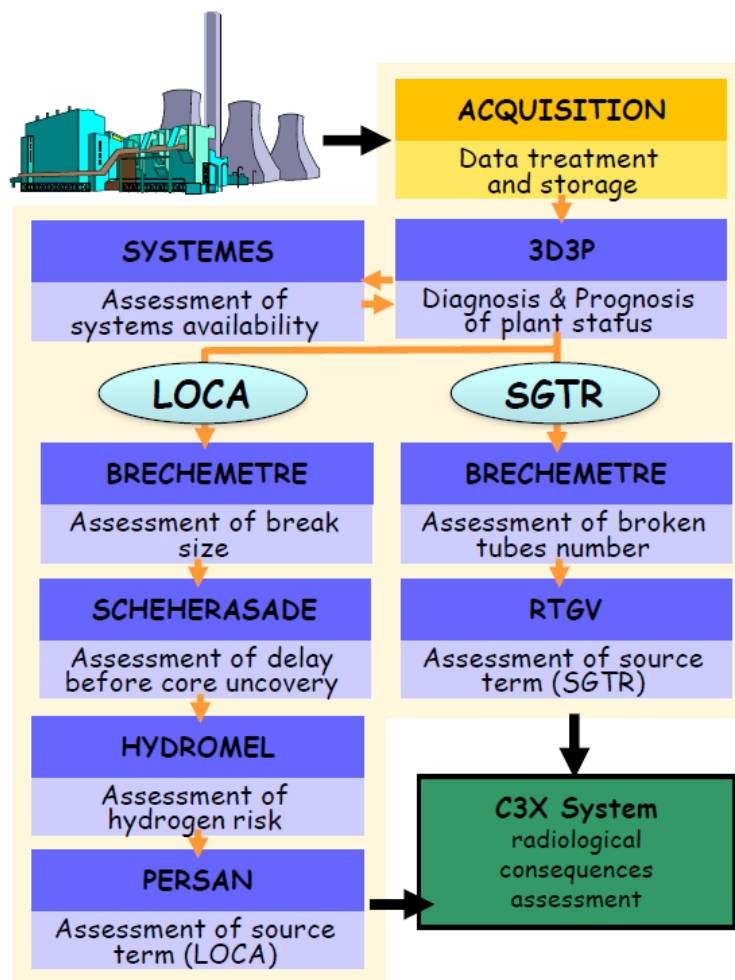
事故評估組透過具多方會議通話功能之電話系統，與事故現場及法國電力公司總部進行聯繫，隨時掌握並評估現場最新狀況，所使用之軟體系統稱為 SESAME，共有 8 個子系統(如下圖所示)，總計配置 7 台電腦，其中一個子系統稱為 AQUISITION(配置 2 台專屬電腦)負責接收電廠的數據，經處理後放入公用資料庫，供其他 7 個子系統使用。另 5 台電腦均建置有其他 7 個子系統，供應變人員使用。SESAME 處理兩個典型的事故，一個是蒸汽產生器破管(Steam Generator Tube Rupture, SGTR)事故，一個是冷卻水流失事故(Loss-of-Coolant Accident, LOCA)，各個子系統的功能說明如下：

- ACQUISITION 子系統：負責接收電廠的數據，經處理後放入公用資料庫，供其他 7 個子系統使用。
- 3D3P子系統：用於診斷與預測電廠狀態。

- BRECHEMETRE子系統：評估SGTR事故後破管根數，或LOCA事故後破口大小。
- RTGV子系統：評估 SGTR事故後之輻射源項(source term)。
- SCHEHERASDE子系統：評估爐心裸露時間。
- HYDROMEL子系統：評估LOCA事故後發生氫爆之風險。
- PERSAN子系統：評估 LOCA事故後之輻射源項。

劑量評估組之軟體系統可依據氣象資料與SGTR/LOCA事故序列評估所得之輻射源項，預估環境及民眾輻射劑量。

註：我國核子事故緊急應變支援系統係採用美國電力研究院(EPRI)發展的嚴重事故分析程式MAAP5，預測事故之演變。另我國的系統預先考慮電廠全黑、大破口冷卻水流失、蒸汽產生器破管等三項典型事故，可依據事故類型迅速提供輻射源項，供劑量評估程式使用。



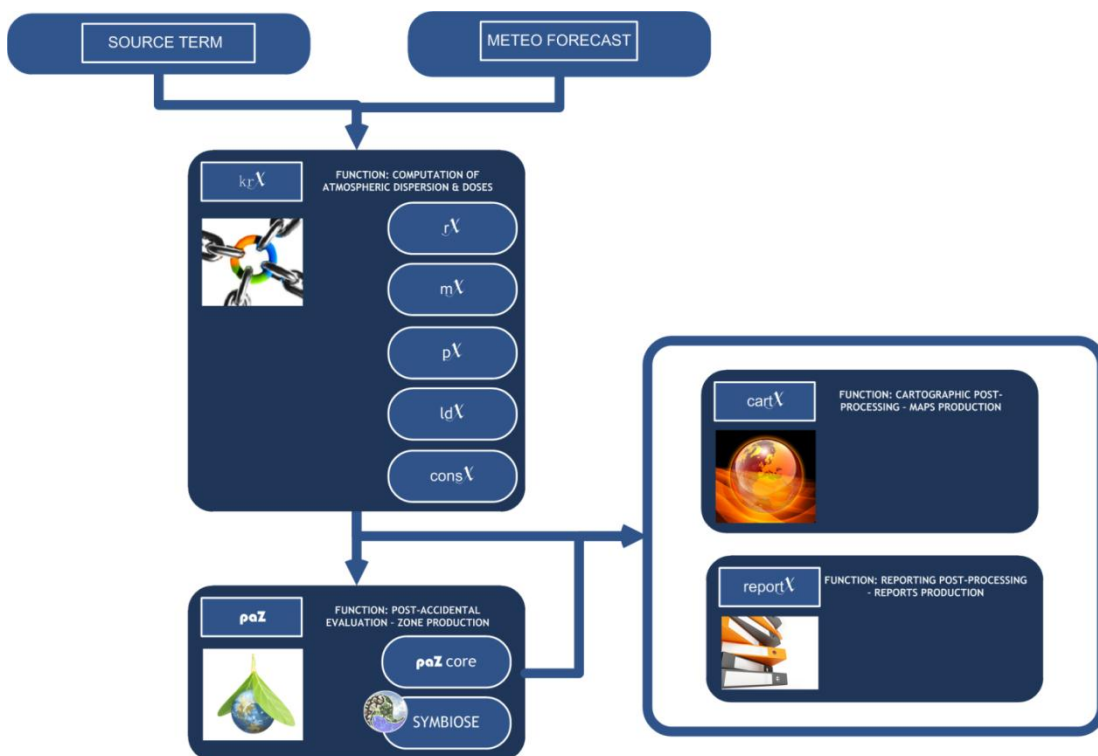
技術緊急中心事故評估組之軟體系統 SESAME

(二)劑量評估組

劑量評估組透過環境輻射偵測數據、當地氣象即時資訊及事估評估組提供之輻射源項，以評估不同方位民眾所受輻射劑量，作為地方首長下達民眾防護行動命令之參考依據。本組所用軟體系統稱為 C^3X ，共有 4 個子系統（如下圖所示），本組配置 4~5 台電腦，各台電腦均建置此 4 個子系統，供應變人員使用。各個子系統的功能說明如下：

- **krX**子系統：負責於接收輻射源項及氣象資料後，進行大氣擴散與劑量評估，其中 **pX**軟體可模擬小尺寸大氣擴散模型，**ldX**軟體可模擬大尺寸大氣擴散模型。
- **cartX**子系統：負責將運跑結果圖像化。
- **reportX**子系統：負責將運跑結果變成報告(含詳細數據)。
- **paZ**子系統：負責事故後期之劑量評估（**Post-Accident Evaluation**），包括輻射污染透過食物鏈之傳遞。

註：我國緊急應變劑量評估系統使用大氣亂流與煙流擴散模式，考慮電廠周圍三維複雜地形與各種氣象因素之影響（適合台灣核電廠之地理環境條件），運算結果以視覺化輸出，簡明扼要地提出民眾防護行動之分析與建議，以供地方政府首長決策參考。



技術緊急中心劑量評估組之軟體系統 C^3X

二、人員編組

演習進行時，技術緊急中心事故評估組與劑量評估組每一輪值班(梯隊)均配置 7~8 人，另有指揮組、後勤組及機動組，每一梯隊待命成員總計約 24 人。每組均有 6 個梯隊輪值，每梯隊成員由 IRSN 具相關背景人員組成，參與演習總待命人力（含輪值）約 145 人($24 \times 6 = 144$)，專業人力相當可觀。平時，每個梯隊輪流負責一個星期且全天候 24 小時之待命，接獲緊急動員通知後，必需於一個小時內抵達技術緊急中心，所以成員們一般都會住在 IRSN 鄰近地區。

三、演練與訓練

每個梯隊每年至少要參加 2 次演習，且在每次演習前均先舉辦訓練。每個電廠每年舉行一次廠內演習，每三年舉行一次國家級演習，由於法國目前有 19 座核電廠，IRSN 每年要參加 12~15 次的國家級演習，並選擇參加 8 次廠內演習，所以各梯隊成員參與演習頻度頗高。

技術緊急中心須負責事故評估組與劑量評估組軟硬體之建置與維護，以及各梯隊成員之訓練與評核。演習進行時，技術緊急中心指派專屬同仁負責評核各梯隊成員之表現，演習結束當天，各組即進行檢討會議，隨後再召開技術緊急中心整體檢討會議。

伍、心得與建議

一、IRSN 緊急應變處技術緊急中心事故評估組與劑量評估組軟硬體設施之架構與概念與我國差異不大，然而其編組及訓練容有不同。技術緊急中心負責事故評估組與劑量評估組軟硬體之建置與維護，因各梯隊成員來自 IRSN 其他單位相關同仁，所以技術緊急中心同仁也須負責各梯隊成員之訓練與評核。

二、技術緊急中心事故評估組與劑量評估組每一輪值班(梯隊)均配置 7~8 人，另有指揮組、後勤組及機動組，每一梯隊待命成員總計約 24 人。每組均有 6 個梯隊輪值，參與演習總待命人力（含輪值）約 145 人($24 \times 6 = 144$)，專業人力相當可觀。

三、技術緊急中心各梯隊待命成員接獲緊急通知後，需於一個小時內抵達 IRSN 緊急應變中心，所以成員們一般都會住在 IRSN 鄰近地區。

四、IRSN 員工總計約 1700 人，其中約共有 470 人參與緊急應變作業，所受總訓練時數每年達到 2000 個小時，投入之總人力與總訓練時數均相當可觀。演習時，IRSN 扮演相當重要幕僚角色，提供 ASN 及相關機關之專業諮詢與技術支援協助。

五、為提升我國核子事故緊急應變知能，建議相關主管機關可視實際需要派員赴 IRSN 觀摩緊急應變作業，或可於適當時機邀請 IRSN 專家觀摩我國核安演習，提供專業指導，增進台法技術交流。

陸、參考資料

一、IRSN Emergency Preparedness and Response – IRSN role, organisation, methodology and means. (簡報資料)

二、IRSN Computation of Consequences & Cartography Platform: C³X(簡報資料)

三、IRSN Methodology – Facilities Assessment tools(簡報資料)

四、IRSN Dealing with a Nuclear Accident.