

出國報告（出國類別：開會）

赴法國參加「低放射性廢棄物最終處置」 研討會及 ANDRA 設施參訪

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：黃秉修組長

賴宥丞

派赴國家：法國

出國期間：107 年 06 月 25 日～107 年 07 月 04 日

報告日期：107 年 08 月 10 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴法國參加「低放射性廢棄物最終處置」研討會及 ANDRA 設施參訪

頁數 36 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆 /23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃秉修/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程監/02-23657210 ext: 2323

賴宥丞/台灣電力公司/核能後端營運處/安全評估專員/02-23657210 ext:2328

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2018/06/25-2018/07/04 出國地區：法國

報告日期：2018/08/10

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物處理

內容摘要：(二百至三百字)

為增進本公司對放射性廢棄物處置之相關知識，並了解國外最終處置技術，本次赴法國參加 2018 世界核能展覽會(WNE2018)之法國放射性廢棄物最終處置專責機構 ANDRA 舉辦之「國際低放射性廢棄物最終處置研討會與設施參觀」；並與世界核能展覽會(WNE)中之國際放射性廢棄物處理相關公司進行技術交流，了解目前國際放射性廢棄物處置最新技術及設備；並於會議後接續參加 ANDRA 舉辦之低放處置研討會與設施參觀，參觀法國放射性廢棄物最終處置專責機構 CSA 廢棄物處置設施及 CMHM 處置技術研究中心。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目次

壹、目的	1
貳、過程	2
參、工作內容	4
肆、心得及建議	34

壹、目的

赴法國參加 2018 世界核能展覽會(WNE2018)之法國放射性廢棄物最終處置專責機構 ANDRA 舉辦之國際低放射性廢棄物最終處置研討會；並與世界核能展覽會(WNE2018)中之國際放射性廢棄物處理相關公司進行技術交流，會議主題與研討項目包括：

- (一) 全球低放射性廢棄物最終處置設施之設計、運轉現況與經驗，
- (二) 全球放射性廢棄物處置基本政策與技術標準導則
- (三) 放射性廢棄物最終處置設施工程障壁材料
- (四) 放射性廢棄物最終處置場址調查、地質環境分析及評估技術(包括地質調查，地表至地下之水文地質調查、監測及水力試驗，地球化學調查，岩石力學調查，核種傳輸研究等)。
- (五) 放射性廢棄物最終處置場安全評估案例、地震分析及地下水水文建模方法
- (六) 放射性廢棄物最終處置創新電漿科技
- (七) 全球除役放射性廢棄物處理與處置最新發展
- (八) 除役放射性廢棄物數位化研管理最新發展
- (九) 法國 Orano 公司放射性廢棄物處理小組討論會
- (十) 放射性廢棄物運輸法規與技術最新發展

並於研討會後參訪 ANDRA 之低放處置設施，包含法國低放射性廢棄物最終處置場 CSA 以及 CMHM 處置技術研究中心。

貳、過程

自 107 年 06 月 25 日出發，迄 07 月 04 日返國（共計 10 天），停留巴黎。詳細訪問行程如下：

日期	地點與行程	工作內容
06 月 25 日（一）	台北到巴黎	去程
06 月 26 日（二）	巴黎	參加「國際低放射性廢棄物最終處置」研討會
06 月 27 日（三）	巴黎	參加「國際低放射性廢棄物最終處置」研討會
06 月 28 日（四）	巴黎	參加「國際低放射性廢棄物最終處置」研討會
06 月 29 日（五）	巴黎	參加「國際低放射性廢棄物最終處置」研討會
06 月 30 日（六）	蘇萊內迪伊縣	參訪 CSA 廢棄物處置設施
07 月 01 日（日）	巴黎	整理資料
07 月 02 日（一）	默茲省比爾鎮	參訪 CMHM 處置技術研究中心
07 月 03 日（二）	巴黎到台北	返程
07 月 04 日（三）	台北	返程

會議紀錄照片：



參、工作內容

一、低放射性廢棄物最終處置研討會

(一) 法國國家放射性管理局(National Agency for Radioactive Waste, ANDRA)現況介紹：

ANDRA 為法國放射性廢棄物專責機構，成立於 1979 年，原為原子能及再生能源署(CEA)之附屬機構。1991 年法國廢棄物法案通過後成為獨立組織，負責所有放射性廢棄物的長期管理，主要接受能源部、環境部及研究部的監督。

ANDRA 負責的業務主要分 3 項：

1. 工業：ANDRA 一方面須明訂並建立出廢棄物接收標準及其管理制度；另一方面，須設計處置場的選址、設計建造、運轉、封閉及監控等一系列的管理流程。此部分業務亦包含了業者或生產者因“小範圍核能活動”清理而得之廢棄物(例如私人企業產生之放射性廢棄物)，以及為復原遭受污染之場址而收集之廢棄物。
2. 資訊：主要為定期公佈國家放射性物質及廢棄物存量之刊物；另外亦包含與上至國家層級，下至地方層級之利害關係人的積極對話、溝通。
3. 研究開發：在沒有當前處置系統下，提出放射性廢棄物長期安全的解答。在 2006 年的計畫法案通過後，由於最終處置仍處於研究階段，此業務亦包含了廢棄物的長期貯存研究。

ANDRA 總部位於巴黎近郊，主要部門有科技處、計畫處、工業處(亦負責公眾服務業務)、風險管理處及作為總秘書處的的支援處，另外還有人資處、溝通及國際事務處。工業處除了總部設點外，亦有現場工作人員，包含：

1. CSM(Centre de Stockage de la Manche)中/低放射性廢棄物最終處置場，為淺地表處置，自 1994 年開始運轉，位於芒什省(Manche)，鄰近 AREVA 的 La Hague 再處理設施，目前處於封閉後監控階段。
2. CSFMA(Centre de l'Aube)中/低放射性廢棄物最終處置場，為淺地表處置，接收低階及中階短半衰期放射性廢棄物，位於奧布省(Aube)。
3. CMHM(The Meuse & Haute-Marne Centre)處置技術研究中心，位於默茲省(Meuse)比爾鎮(Bure)，包含研究深地質處置之地下實驗室及 Soudron 展廳。
4. CSTFA(Centre de Morvilliers)地表處置場，與 CSFMA 同樣位於奧布省，接收極低放射性

廢棄物，處置方式為地表處置。

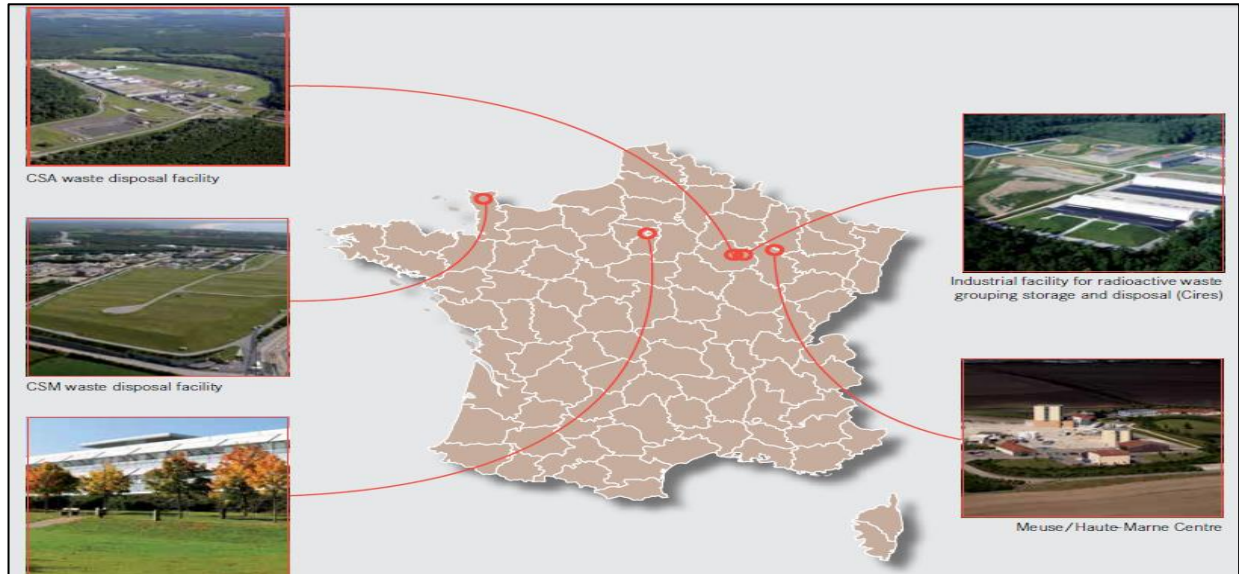


圖 1 法國放射性廢棄物處置場分布圖

(二) 法國放射性廢棄物處置介紹

低放射性廢棄物最終處置場的設計，世界各國皆採「多重障壁」的概念，也就是利用多項的防護措施，隔絕放射性廢棄物於人類生活環境之外。這些多重障壁包括低放射性廢棄物固化體、廢棄物容器、填充材料、工程設施、排水設施等工程障壁及天然障壁等。低放射性廢棄物處置方式的選擇，須配合當地自然、社會、環境與廢棄物特性等進行通盤考量，故各國採取的作法不盡相同。目前法國、美國、日本、瑞典、英國、西班牙、德國及芬蘭等國家，都已興建低放射性廢棄物最終處置場，且順利運轉。各國的處置方式雖因本身條件而異，但都能做到將低放射性廢棄物與人類生活環境隔離，以保障大眾安全，維護環境品質。法國目前採取的方式為多重障壁淺地表處置。

表 1 法國中低放射性廢棄物處置現況

處置場（開始運轉）	廢棄物種類/容量	形式	現況
CSFMA(Aube)（1992）	中低放射性-短半衰期 /1,000,000m ³	ENSF	運轉中
CSM(Manche)（1979）	中低放射性-短半衰期/527,000 m ³	ENSF	1994 年關閉
CSTFA(Morvilliers)（2003）	極低放射性-短半衰期/650,000 m ³	SNSF	運轉中

註：ENSF：工程化近地表設施、SNSF：單純近地表設施

表 2 法國放射性廢棄物之分類

	短半衰期廢棄物	長半衰期廢棄物
極低放射性 10 ~ 100 Bq/g	Centre de Morvillers (來自於核設施除役所產生的放射性廢棄物)(VLLW ; TFA)	
低放射性 <10 ⁵ Bq/g	Centre Aube (來自於核電廠廢棄物)	目前規劃中，預計 2019 運轉 (石墨、鏷，由於拆除石墨緩和劑之氣冷式電廠所產生)
中放射性 <10 ⁸ Bq/g	+ Centre Manche (LILW-SL ; FA/MA-VC)	
高放射性 >10 ⁹ Bq/g	來自於再處理廠之廢棄物(研究期間：1991~2006) 最終處置場(Cigéo geological disposal facility)預計 2025 年運轉(HLW ; HA)。	

註：1.半衰期分類：(1) 短半衰期：半衰期短於 30 年。(2) 長半衰期：半衰期長於 30 年。

2.長半衰期低放射性廢棄物，正在規劃深度在 15 公尺以上的地表下處置設施。

ANDRA 在法國已經接收了超過 40 年各電廠及其他核能相關設施運轉產生的放射性廢棄物，並發展出一套放射性廢棄物分類的方法，目前各種不同的放射性廢棄物可依其活度高低分為 4 類，極低放射性(VLL)、低放射性(LL)、中放射性(IL)以及高放射性(HL)廢棄物如圖 2 所示，各類廢棄物之限值為極低放射性 10 ~ 100 Bq/g；低放射性<10⁵ Bq/g；中放射性<10⁸ Bq/g；高放射性> 10⁹ Bq/g。各類廢棄物又可依其半衰期決定其處置方式，其中極低放射性廢棄物自 2003 年後皆存於法國 Morvillers 的 CSTFA 處置場；短半衰期的中、低放射性廢棄物則存於 La Aube 的 CSFMA 處置場；另外長半衰期的低放射性廢棄物目前仍在研究處置方式；而高放射性及中放射性長半衰期廢棄物則預計於 2025 年高放 Cigéo 處置場開始運轉後進行深地質處置。

法國為全世界使用核能發電比例最高的國家。福島事件發生後，法國採取持續使用核能，加強核能安全的策略。目前，法國電力公司(EDF, Électricité de France S.A.) 於其國內擁有 58 個核能機組分佈在 20 個核電廠，包括了 34 個 900 MWe 的機組，20 個 1,300 MWe 的機組和 4 個 1,450 MWe 的機組，皆為 PWR。如此龐大的核能產業，其對應產生的廢棄物數量也非常大，據統計 EDF 每年產生約約 10,000 立方公尺放射性廢棄物，截至 2016 年

底為止國內已存放 154 萬立方公尺放射性廢棄物，其中近 60%來自核電廠，27%來自研究機構，9%來自國防，其餘來自工業和醫療領域。

國營法國電力公司(EDF)、法國放射性廢棄物專責機構 ANDRA、法國核能和替代能源研究所(CEA)、法國國營企業 ORANO、法國 ASSYSTEM 公司、法國 FRAMATOME 公司及數百家企業，建構龐大的核能供應鏈，致力於核反應器設計及建造、鈾礦提煉、核燃料製程、核燃料循環、核後端業務等各項業務之拓展。



圖 2 法國放射性廢棄物分類及處置方式

圖 3 顯示了核能發電自鈾礦開採至燃料在處理之閉路循環(Close Cycle)中，各階段所產生的放射性廢棄物，大致可分為運轉廢棄物、除役廢棄物及再處理廢棄物，其餘階段產生之廢棄物例如鈾燃料製程所產生的數量相較之下較少，大致為其他業界所產之廢棄物及受汙染場址除汙所產之廢棄物。

針對運轉產生之廢棄物，ANDRA 目前已有 CSFMA 及 CSTFA 等 2 座處置場，專門處置中、低放射性廢棄物，此 2 座設施存放了 90%來自法國核能電廠的核廢棄物，並存有完整的廢棄物桶交運紀錄，僅 10%因安全理由而不能於此 2 處處置場進行處置。

此外，ANDRA 亦介入整體的廢棄物處理流程，生產者在送放射性廢棄物到 ANDRA 的處置設施之前，須滿足其訂定的放射性廢棄物驗收標準，包含固化體品質、容器標準、交運明細、廢棄物內容等。

針對除役廢棄物，ANDRA 已開始著手於為數龐大的除役議題，例如：

1. 除役極低放射性廢棄物存量之確認，並依處置設施之設計、運轉等方面進行評估。
2. 石墨廢棄物的存量分析，此類廢棄物源自法國第一代核電廠；以及發展期合適的處置概念，並研究其處置設施合適的地點。

3. 依 CSFMA 廢棄物接收類型，分析除役 PWR 壓力槽頂部合適的處置系統。
4. 分析 PWR 壓力槽及蒸氣產生器合適的廢棄物處理方式及處置系統。

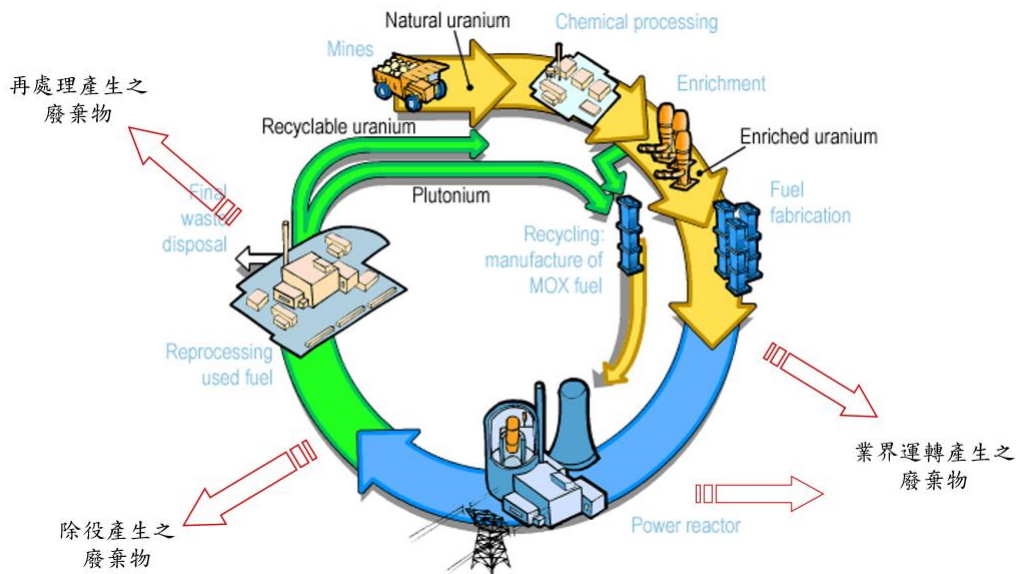


圖 3 燃料循環及放射性廢棄物產生途徑

針對再處理廢棄物，ANDRA 於 1999 年 8 月於默茲省比爾鎮地下 500 公尺處興建了一 30 平方公里的 CMHM 地下實驗室(Underground Research Laboratory, URL)，其地面景觀如圖 4 所示，著手進行深地質處置研究，展開 Cigéo 計畫，並用於研究長半衰期中放射性及高放射性廢棄物，並於 2013 年選定此為最終處置場場址，預計 2025 年開始運轉、接收高階核廢棄物。

此實驗室位於 490 公尺深處之矽質黏土岩 (argillite) 層，此矽質黏土岩已有 1,500 萬年歷史，被稱為 Callovo-Oxfordian 構造。從 2004 年起，ANDRA 開始在豎井及 100 公尺之橫坑進行 Callovo-Oxfordian 之直接調查及現地試驗。經過多年的研究，ANDRA 取得足夠數據判斷 Meuse/Haute-Marne 場區之 Callovo-Oxfordian 構造是適合進行高放射性廢棄物之最終處置。其矽質黏土層之透水性非常低，且均勻分佈在很大之區域。同時平均深度達 500 公尺，不受斷層影響，因此其地震危險度很低，且因深度夠而不受未來氣候變遷之影響。

未來進行處置時廢棄物之包件有兩種：中放射性廢棄物 (B 類廢棄物：泛指用過燃料再處理後之技術核廢料筒) 將盛裝在混凝土容器內，高放射性廢棄物 (C 類廢棄物：泛指

用過燃料再處理後之玻璃固化廢料筒)。若在 Callovo-Oxfordian 構造進行處置，則處置設施將位於 Callovo-Oxfordian 構造中間之單一層面，且根據包件型式分成幾區，並以 250 公尺之矽質黏土岩來隔開。法國的高放射性廢棄物最終處置設施以黏土層為介質之示意圖分別如圖 5。



圖 4 法國 Meuse/Haute-Marne 地下實驗室之地面景觀

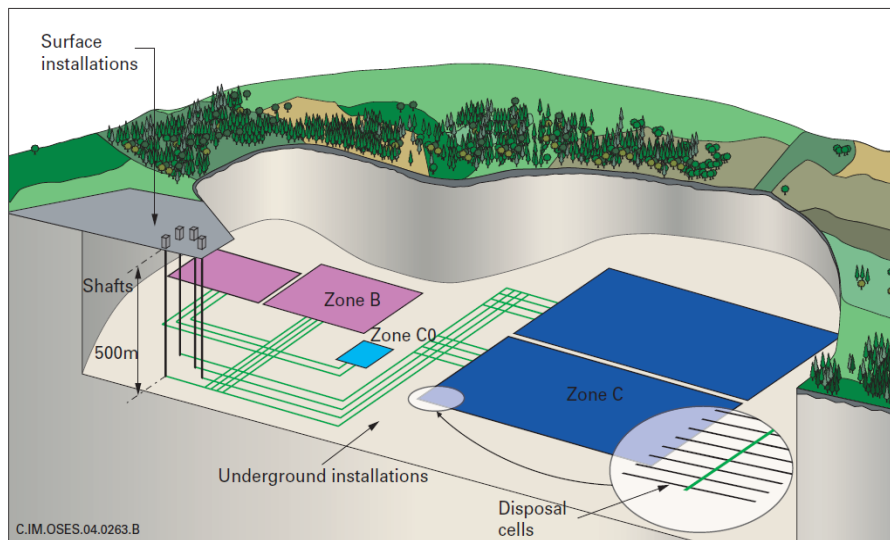


圖 5 法國的高放射性廢棄物最終處置設施示意圖(以黏土層為介質)

(1) Cigéo 計畫時程：

2010-2012 年：在 30 平方公里之限制區域內進行地質調查，且研究地面設施之佈置方案。

2013-2014 年：就所選定之場址進行公開辯論。

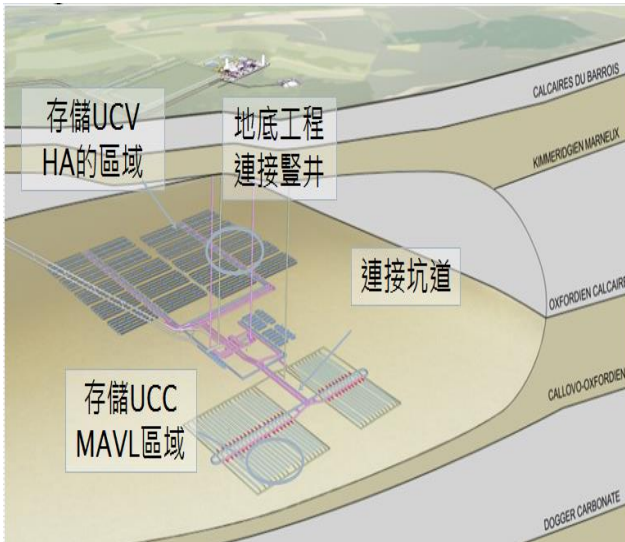
2016 年：根據新法規決定深地質處置再取出之條件。

2017 年：提送處置場之執照申請。

2020 年：在取得相關執照後，開始興建最終處置設施。

2025 年：最終處置設施開始運轉，預計將持續 85 年。

(2) 可逆深地處置解決方案 Cigéo 設計參數



地下面積：大約 15 到 20 平方公里

隧道結構總長度：390 公里

4 豎井：長度約為 570 公尺

斜坡：2 坡道，從 10%到 12%的斜率、長度約為 5000 公尺

聯絡支撐區域：100 多公里

UCC MAVL 堆放坑道：50~60 個、250~400 公尺長度

UCV HA 水平擺放坑道：大約 6000 個、40 公尺水平擺放坑道

挖掘：7-8 百萬立方米、40%再利用回填

圖 6 Cigéo 規劃示意圖

針對化學、醫療及其他非核能業界所產的放射性廢棄物，ANDRA 在描繪其存量及廢棄物的特性調查，已有超過 15 年的經驗。目前針對此些種類繁多的廢棄物，ANDRA 已發展出一套概念方法，主要用於像是含鐳廢棄物等中放射性及長半衰期低放射性廢棄物。

法國廢棄物的管理亦包含了保護境內醫療、工業及研究活動導致的場址污染，做為廢棄物的專責機構，ANDRA 亦有責任處理受污染場址，包含老舊的電廠，研究機構及學校等。例如，ANDRA 在巴黎近郊將原廠址為曾使用過鐳的公司，後來搭建的新房屋清理乾淨。另外法國南部某場址，曾有前運營商丟棄的放射性產品，ANDRA 亦介入進行場址清理工作。

ANDRA 對於放射性廢棄物的管理策略如圖 7。廢棄物產出時先暫貯於各廠內靜置，若活度在一定程度以上，則須採包封、隔離之方式貯存。經存放一定時間後，放射性廢棄物之活度已有一定程度的降低，再視其分類決定處置方法。淺地表處置適用於極低放射性、低放射性及短半衰期中放射性廢棄物，並於設施封閉後處置 300 年；深地層處置則適用於長半衰期中放射性以及高放射性廢棄物並於設施封閉後處置十萬年。

ANDRA 統計國內放射性廢棄物存量及活度之關係如圖 8，截至 2015 年年底，高放射性廢棄物產出之數量最少，但其內所含活度卻佔所有廢棄物的 98%；另外所有放射性廢棄物所佔體積當中，高比例來自於低放射性或極低放射性廢棄物。事實上，來自運轉及除役

所產出之放射性廢棄物，舉凡運轉期間產出之樹脂、可燃、可壓、及其他廢液、淤泥等須固化之廢棄物，亦或是除役期間廠房、圍阻體、管路、圍牆之拆除，大部分皆為低放射性廢棄物，其中僅極少量會有極高放射性而成為高放射性廢棄物，就法國目前產出之廢棄物而言，僅用過核子燃料經在處理後產生的玻璃固化廢棄物會成為高放射性廢棄物。

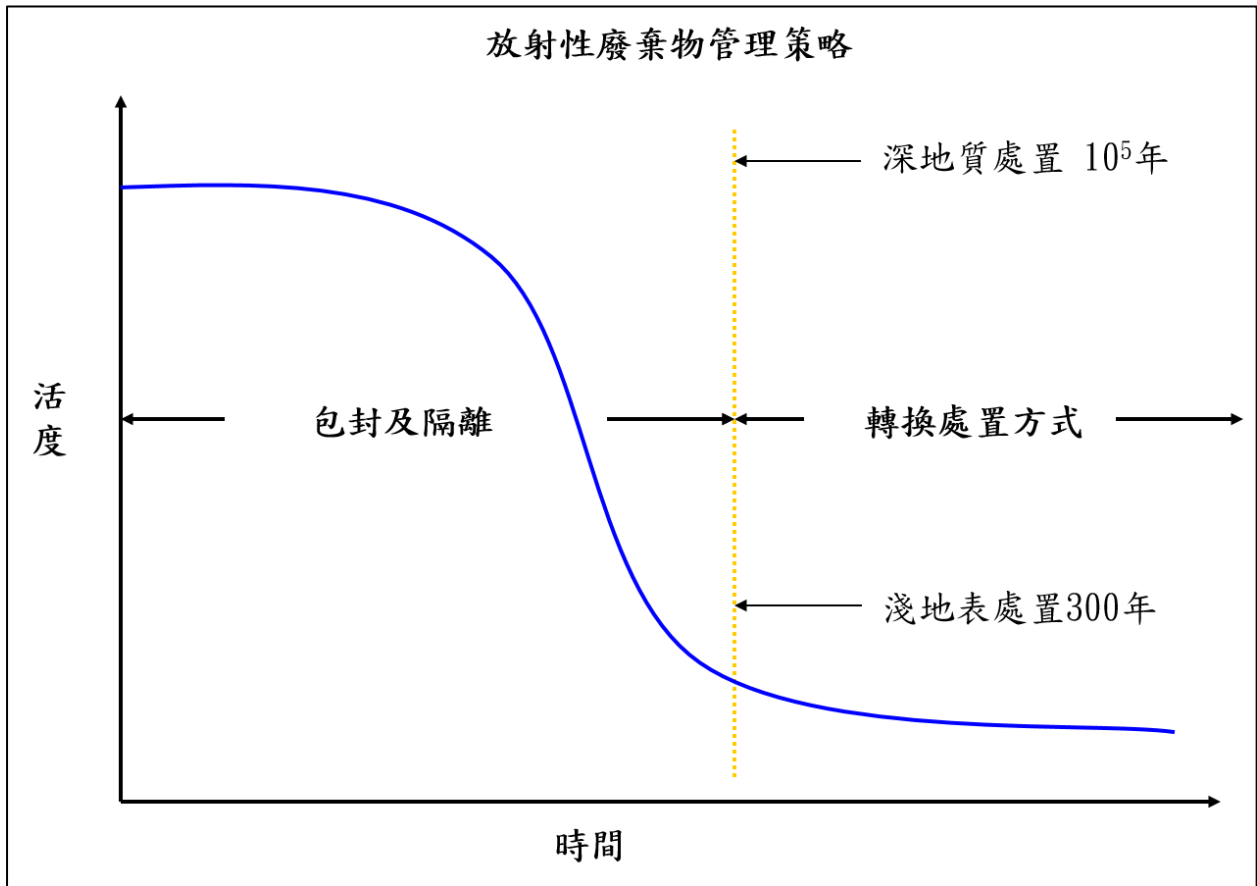


圖 7 法國放射性廢棄物管理策略

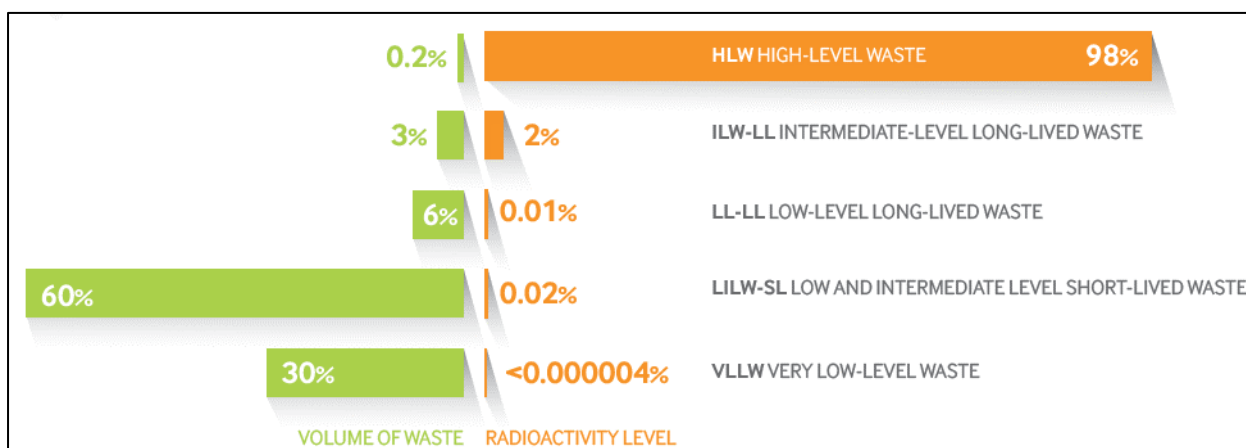


圖 8 法國各類放射性廢棄物活度及體積百分比

二、國際核能展(World Nuclear Exhibition,WNE)

WNE 為世界性大型核能展覽會，每年由不同國家舉辦，並吸引世界各國廠商及顧客參展，會中由各廠商展示其核能由前端至後端之最新相關技術，並加強各國之技術交流，促進核能產業的進步。

(一) 參展廠商介紹

1. 法國原子能和替代能源研究所(CEA)

為法國重要的研究、開發和創新機構，主要業務涵蓋低碳能源（核能和再生能源）、信息與衛生技術、特大型實驗裝置、國防與全球安全四大領域。在這些領域，CEA 發揮基礎研究實力雄厚的優勢，助力企業發展。CEA 所進行的基礎研究和可應用到許多領域，包括核反應爐的設計，電路的製造，放射性同位素治療疾病的使用，地震和海嘯的傳播，電腦系統的安全等等方面。

CEA 下屬研究中心共十個，分佈於法國各地。CEA 與國內各大科研機構、地方政府和大學建立了合作夥伴關係，並積極參與法國能源研究協作聯盟（ANCRE）、生命與衛生科學研究聯盟（ALLISTENE）、數碼科學與創新聯盟（AVIESAN）和環境科學聯盟（AllEnvi）等國家科研協同機制內的研究活動。

CEA 亦積極發展國際關係，推動法國核電出口政策，促進與核能國家和計劃發展核電國家的雙邊關係：俄羅斯、美國、日本、印度和中國皆為 CEA 的主要合作夥伴。

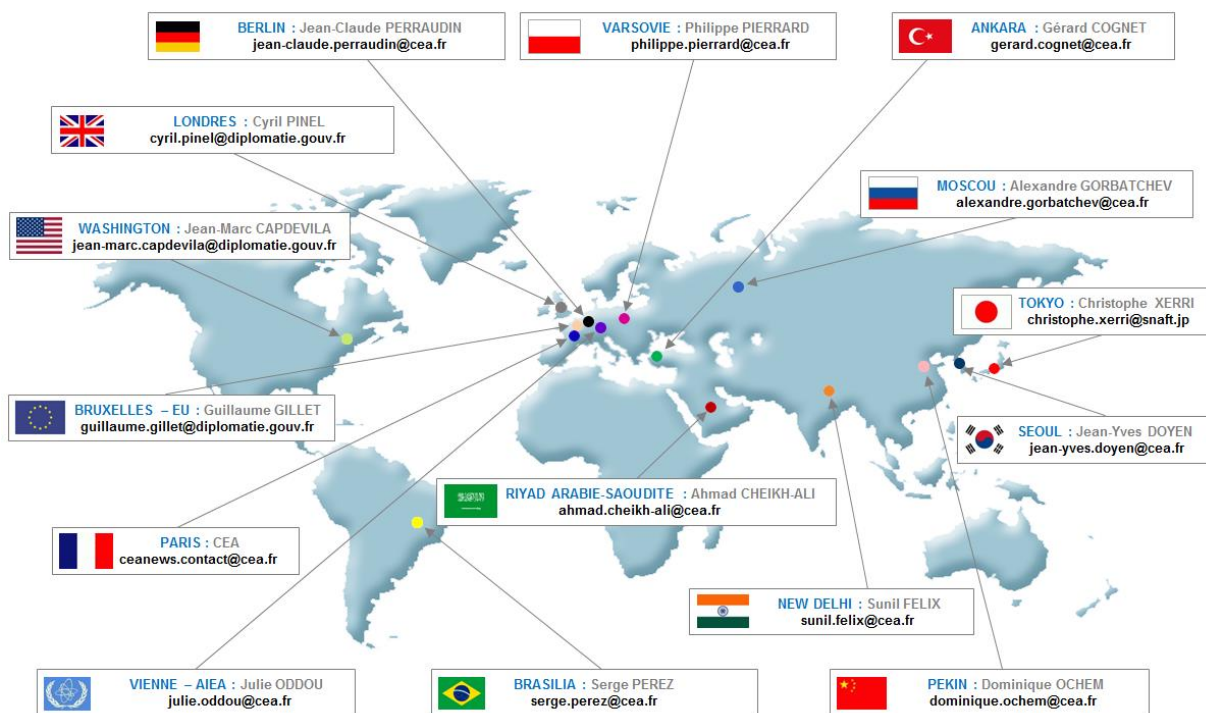


圖 9 CEA 共同合作國家

2. ORANO 公司

前身為 AREVA NC 公司，創立於 2001 年，為法國國營企業，致力於核反應器設計及建造、鈾礦提煉、核燃料製程、核後端業務等核燃料循環之各項業務，其後公司改組並出售反應器設計、建造之業務(AREVA NP 公司)及股權予法國電力公司(EDF)，並於 2018 年更名為 ORANO，現專門從事核後端業務和可再生能源相關業務，由法國政府底下的法國原子能和替代能源委員會(CEA)持有。

ORANO 現業務範圍包含鈾礦開採鈾礦提煉、燃料製程再處理、除役等核後端業務離岸風力、生殖能、太陽能等再生能源相關業務。

另外 ORANO 擁有法國 La Hague 再處理廠，提供全世界核能廠家用過燃料再處理的服務，其客戶涵蓋歐洲的德國、比利時、荷蘭、瑞士、西班牙，以及亞洲的日本等國。

現行再處理採用玻璃固化法，將再處理後廢棄物與玻璃原材料混合，經高溫加熱熔融後，製成玻璃固化體。國際上通稱為「玻璃固化廢棄物 (Vitrified Waste)」，裝入以不銹鋼

製成之圓筒狀容器後，密封貯存。以現行再處理技術將用過核子燃料進行再處理後，其每公噸用過核子燃料所產生之高放射性廢棄物體積約為 0.4 立方公尺，約為用過核子燃料直接處置體積之 5 分之 1，

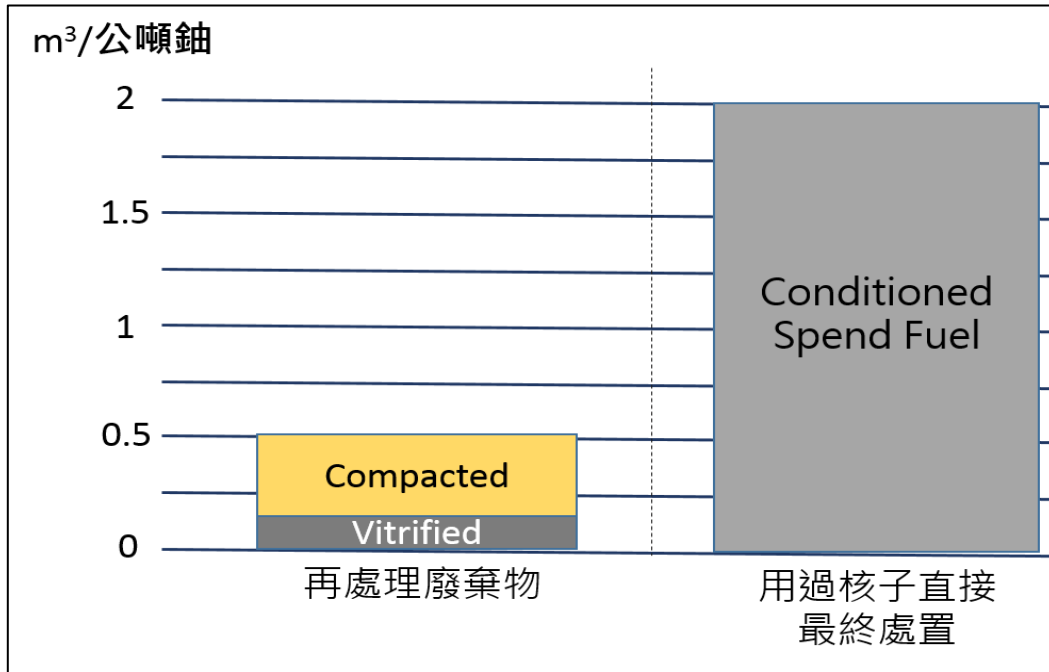


圖 10 用過核子燃料再處理後高放射性廢棄物體積

3. 法國電力公司(EDF)

成立於 1946 年，是負責全法國發、輸、配電業務的國有企業，現業務跨及全球。EDF 專門負責電力設施的設計、建設和營運。為世界電力最大生產商。2009 年，EDF 向英國政府買下其國營事業「英國能源公司」之核能電廠股權，成為英國最大發電生產者之一；並於 2017 年接收 AREVA 公司核能機組業務(AREVA NP)。

其業務範圍包含發電&配電、電廠設計、建造及拆除、能源交易及運輸、機組開發、外銷再生能源等相關業務。

時至今日，法國電力集團已經是一個國際化的企業集團，在歐洲、美洲、亞洲都有業務。並有 47 條跨國輸電線；在全球的核電營運中共有 73 個核反應器分布在法國和英國。



圖 11 英國 Hinkley Point C 核電廠

4. ASSYSTEM 公司

法國公司，創於 1966 年之大型跨國企業，負責核能、風力、火力等電力設施及公共建設、運輸之相關建造、設計、成效改善，另公司亦致力於安全、防護等相關服務

業務涵蓋計劃管理&工程-包含計劃管理、選址及許可申請、設計、數位化&效能-包含產業控制系統、產業數位化、儀控工程、安全&防護。



圖 12 ASSYSTEM 全球業務範圍

5. FRAMATOME 公司

法國公司，創於 2001 年，前為 Areva 之子公司，現為 EDF (75.5%)，MHI(19.5%)及 Assystem (5%)共同擁有。公司專門設計及提供高品質的核能蒸汽供應系統、核能設備，及相關核燃料服務。

現有業務包含核島區重要組件提供工程、設計、核燃料組件之設計、研究、製造、許可申請及相關服務、儀表和控制、核電廠維護及工程服務。

FRAMATOME 在法國、德國、美國、中國皆有設立分部，目前其核電廠業務包含了法國的 Flamanville 3 核電廠、中國的台山核電廠以及英國的 Hinkley Point C 核電廠。

6. NUVIA 公司

法國公司，主要負責核電廠除役業務及其相關設備之製作、研發。另亦承接其他核能

前後端之相關業務。

目前業務範圍包含了核能機組、乾貯設施等設計、建造及運轉、高敏感性工業設施的保護、演習安排及風險防範、專業技能培訓，特定工作課程。特殊設備製程及問題解決、核能設施除役廢棄物處理、保健物理。

7. ROSATOM 公司

俄羅斯公司，創於 2007 年，前身為俄羅斯聯邦原子能機構，現為俄羅斯最大的核能發電公司；ROSATOM 除了國內發電外，亦外銷核能機組至全球，另外公司也生產核醫學、中子及超級電腦等產品。

業務範圍有核燃料循環、鈾礦開採&濃縮、核能機組製造及維護、核後端業務、研究開發、核醫學、核能破冰船、非核能設備製造、風力發電。



圖 13 ROSATOM 全球核電合作國家

8. 中國廣核集團(China General Nuclear Power Group, CGN)

簡稱中廣核，原中國廣東核電集團，成立於 1994 年，為大陸中央企業，由核心企業中國廣核集團有限公司及 40 多家主要成員公司組成。2013 年，中國廣東核電集團更名為中國廣核集團。

截至 2017 年 12 月底，中廣核擁有在運核電機組 20 台，裝機容量 2,147 萬千瓦；在建核電機組 8 台，裝機 1,027 萬千瓦；擁有風電控股裝機達 1,130 萬千瓦，太陽能光伏發

電項目控股裝機容量 231 萬千瓦，海外新能源控股裝機 1,160 萬千瓦。

目前中廣核業務範圍包含核能發電、鈾礦開採、核後端業務、再生能源相關業務、核能機組外銷。



圖 14 中廣核全球核電合作國家

9. 中國核工業集團有限公司(China National Nuclear Corporation, CNNC)

簡稱中核集團，為中國國務院資產監督管理委員會管理的中央企業，1999 年創立，前身為第二機械工業部，集團由 100 多家企事業單位和科研院所組成，現有員工約 10 萬人，其中專業技術人才達 3.6 萬人，中國科學院、工程院院士 16 人。

業務範圍包含核能發電、核能軍事運用、核燃料循環、機組開發及外銷、核後端業務、再生能源相關業務。



圖 15 中核集團甘肅西北處置場

10. ATMEA

ATMEA 原為三菱重工(MHI)及 Areva 公司的合資企業，後 Areva 的核能機組產業由 EDF 買下，故現由 MHI 及 EDF 共同持有。

公司特色在於綜合其 2 家母公司之特點，研發新型核能機組及核能先導科技。目前已研發出 ATMEA-1 的中型核能機組，為 1,100 MWe 的第 3 代 PWR。



圖 16 ATMEA-1 設計概念

11. 三菱重工業株式會社(Mitsubishi Heavy Industries, MHI)

簡稱三菱重工，是日本綜合機械製造商，也是日本最大的國防工業承包商，為一大型跨國企業。其業務範圍涵蓋交通運輸、船舶、航空太空、鐵路車輛、武器、軍事裝

備、電動馬達、發動機、能源、空調設備等各種機械機器設備之生產製造。

核能發電方面，MHI 建造了國內第 1 座 PWR 發電廠，並持續開發新型反應爐 APWR。

目前三菱重工的業務包含能源、航空、航太、交通系統、物流、基礎建設、煉鋼、煉油、自動化軟體設備、稀土金屬提煉設備、船舶、能源儲存。

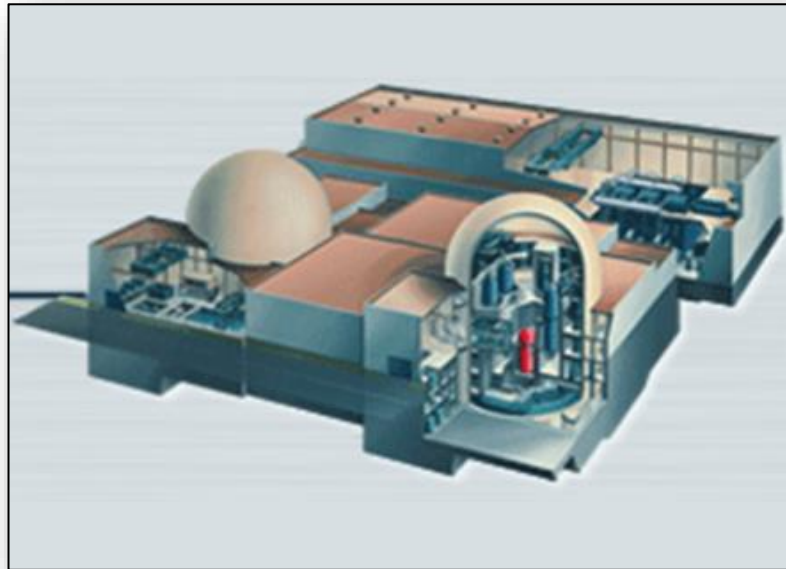


圖 17 MHI 第 3 代改良型 APWR

12. Wälischmiller 公司

德國公司，成立於 1946 年，原為從事提供醫療輔助設備之公司，其後於 1950 年從一家製藥廠得到一份紙有關協助 Sr-90 運輸、包封作業之合約，因而踏足核能界。公司主要生產機械手臂，可在符合國家相關法規標準的情況下，借人為遠端操作機械進行精密細部動作，有效減少劑量的接收。



圖 18 Wälischmiller 機械手臂

(二) 核後端相關產品介紹

1. 電漿焚化爐 PIVIC

此計畫由 ORANO、CEA、ANDRA 共同參與，並由法國政府的「未來投資計劃」進行支持。PIVIC 為一個集「焚化」、「玻璃化」為一體的電漿焚化爐，如圖 14 所示，PIVIC 由 3 個部份組成，引入室、燃燒室以及熔解艙，以下就各艙室進行說明。

引入室：為廢棄物投入口，廢棄物無須無須針對放射性廢棄物進行前處理(分類、壓縮)廢棄物投入後會先進行焚燒，再進行金屬熔化。

燃燒室：以純氧電漿進行焚燒，可完全燒毀有機物質，且設有緊湊型廢氣處理系統，周邊為金屬水冷壁，故無須更換耐火材料。

熔解艙：金屬於此熔化，並於此加入玻璃物值以進行玻璃化作業，再以電磁攪拌後，產生最終雙相性產物，步驟完成後並不會有其他排出之物質。

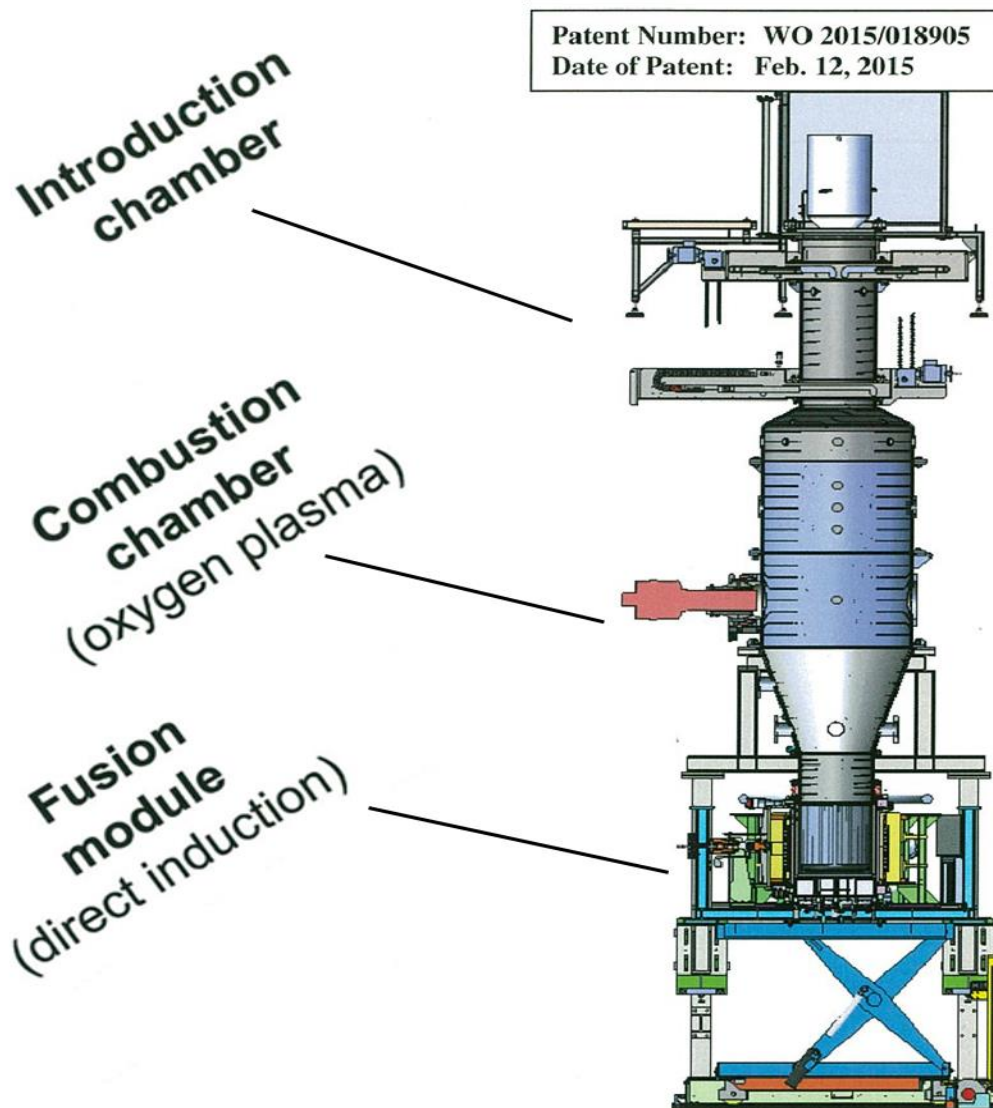


圖 19 PIVIC 設計圖

PIVIC 可針對不同廢棄物類型進行不同方式之減容，若廢棄物形式為有機物質，則於燃燒室以純氧電漿進行燃燒；若為金屬廢棄物，則於熔解艙進行廢棄物熔解，並可將燃燒殆盡的廢棄物殘渣結合為玻璃化產物。有效縮小受汙染(Pu-239)物質及其他中放射性廢棄物體積。

使用 PIVIC 後所產出之放射性廢棄物，其最終產物已無有機物質，金屬部分則與玻璃化合產生一雙相性的玻璃&金屬物質，此產物有高度遲滯性及穩定性。依此方式產出之廢棄物，其減容比為 8。廢棄物將以 ORANO 研發之容器進行盛裝，如圖 20 所示，左邊為 PIVIC 罐，右邊為 PIVIC 包件，一個包件可盛裝 2 個 PIVIC 罐。

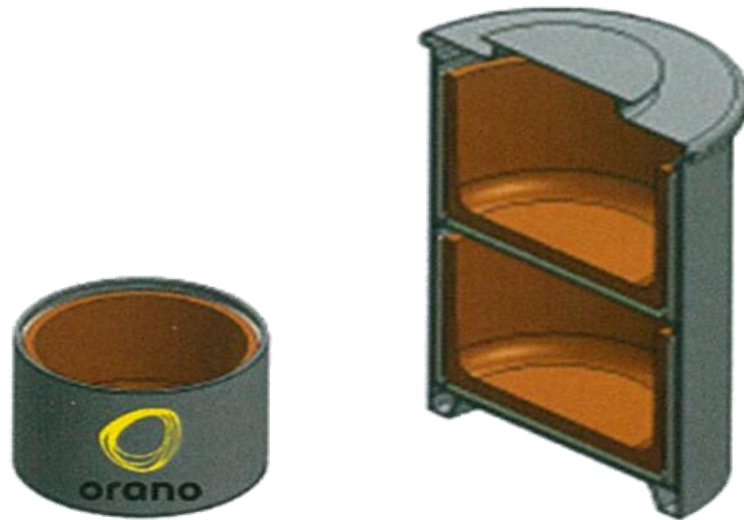


圖 20 PIVIC 包裝容器

2. 加馬射線 3D-Mapping 攝像系統 MANUELA

為 ORANO 所推出最新型之加馬射線 3D-Mapping 攝像系統，結合核種分析、劑量計算、熱點以及 3D 成像等多項技術，並可資料輸出至虛擬實境中進行操作練習。以下針對產品之特色進行說明：



圖 21 MANUELA 實體

熱點及核種空間定位：可將加馬射線強度視覺化、可針對放射性核種進行空間定位以及核種特性分析。

累計劑量評估：於 3D 重組映像中進行運轉員(以頭像辨別)的數據整合，用以評估各人累計劑量，並依合理抑低原則(As Low As Reasonable Achievable, ALARA)視情形進行干預。

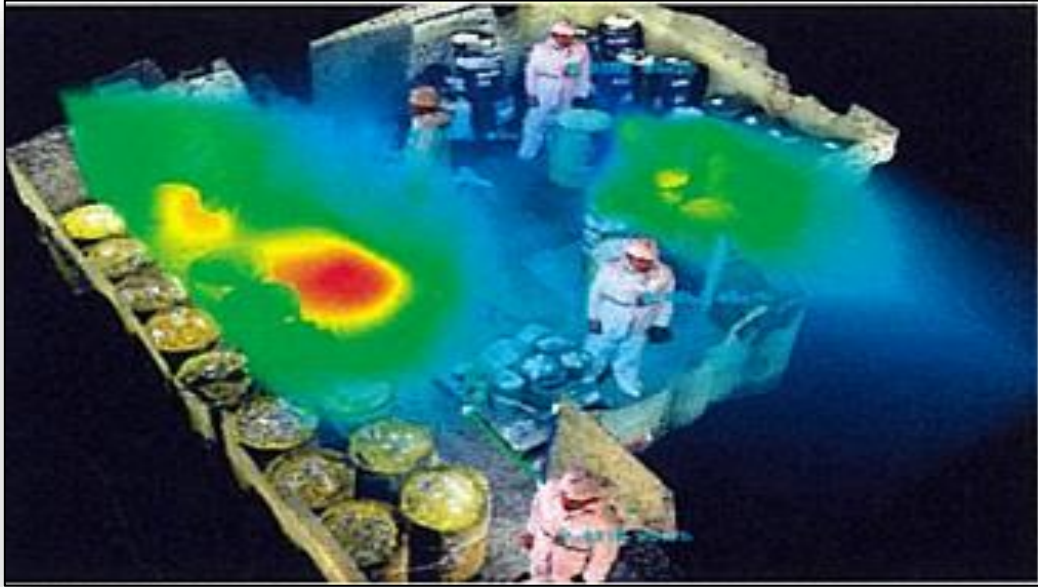


圖 22 MANUELA 熱點分析

信息傳輸:使運轉員事先了解工作環境，依情況進行排練、了解風險，使實際操作可靠度提升、可將數據導出到虛擬現實界面，讓運轉員進行練習。

產品規格：可獨立維持 4 小時掃描

重量：約為 1.5 公斤

可量測類型：劑量率及加馬射線光譜(CdZnTe)

資料輸出：可與多種不同活動評估模擬工具銜接

可與虛擬實境(MANUELA VR)銜接

可與擴增實境(MANUELA AR)銜接

本產品曾於法國 Tricastin 電廠、Cattenom 電廠、Chinon 電廠、Fessenheim 電廠及 La Hague 再處理廠進行其功能研究及測試，目前已正式使用。

3. 輻射屏蔽 IRIS

產品設計如圖 23 所示，特色如下所述:

設計：由多片中空機械組件組裝而成，可依輻射源強度於組件內加入鉛屏蔽，以確保工作人員在工作地點有效的輻射屏蔽。

適應需求：IRIS 中間的開口可依不同的操作儀器(探針、調查竿、暨械手臂等)進行開

口大小調整，並可完全關閉保障工作地點安全。

操作執行：在需要快速安裝屏蔽的工作地點，易於處理及組裝，屏蔽開闔以手動操作。

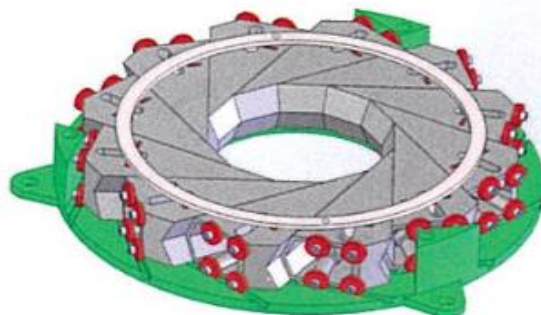


圖 23 IRIS 設計圖

IRIS 可依不同的工作環境，在保留原設計的情形下，進行量身訂做，例如簽屏蔽厚度、直徑、組件數量等；其裝卸亦非常簡單，僅需 1 分鐘便可完成組裝；且提供有效的輻射防護，可大幅降低人員輻射劑量。

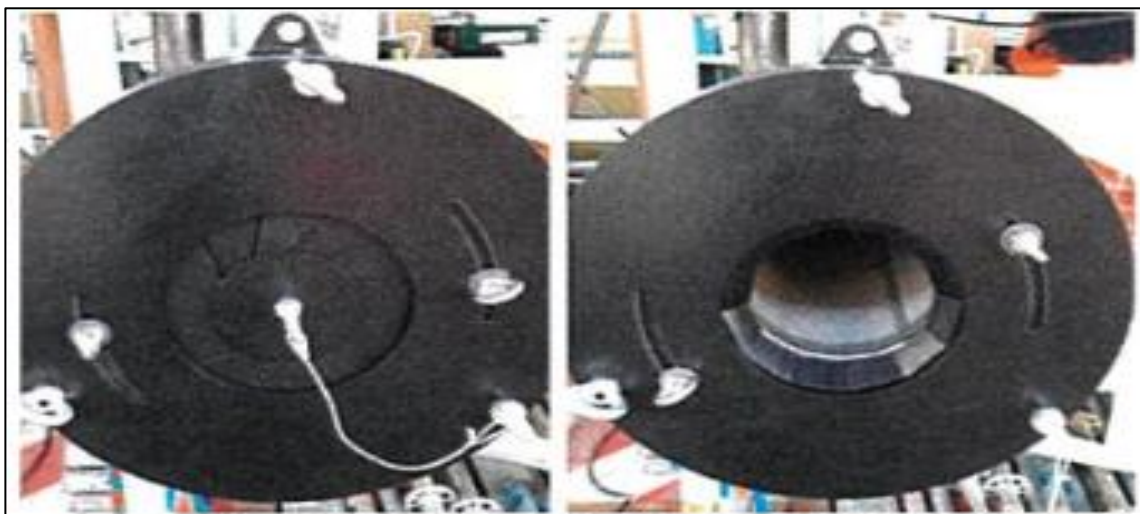


圖 24 IRIS 實際操作情形

4. 加馬射線照像機 NuVISION

典型輻射防護設備僅能測量某指定地點的劑量率或是確認核種，卻無法遠距離定位放射源；早期加馬照相機在數年前亦有生產，但不是無法確認射源，就是無法準確定位熱點。

由 NUVIA 及 CEA 共同合作開發的 NuVISION 是一款實時便攜式伽馬射線成像儀，結合現有伽馬照相機各類優點，可快速準確的找到熱點，估計劑量率並確定放射性核種，從而迅速表徵環境；亦可準確量測距離，並於高輻射背景下進行劑量及特定核種量測 (20keV~1.4MeV)，並依不同核種上色，以迅速分辨各類核種，另外 NuVISION 易於除汙，且無冷卻系統，因而大幅降低其重量。



圖 25 NuVISION 實體

NuVISION 由一台伽馬射線照相機以及一台平板電腦組合而成，為可拆卸式裝置，可遠距離利用平板電腦，以 Wifi 或網路線形式連結伽馬照相機。

NuVISION 可應用於原位特性描述、保健物理及放射線防護、緊急事故反應等相關事項，並有效減少人員攝入劑量。

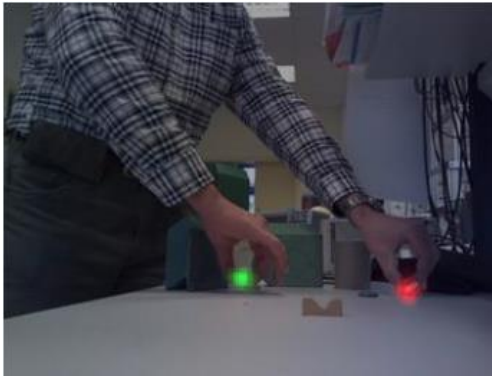


圖 26 NuVISION 核種辨別

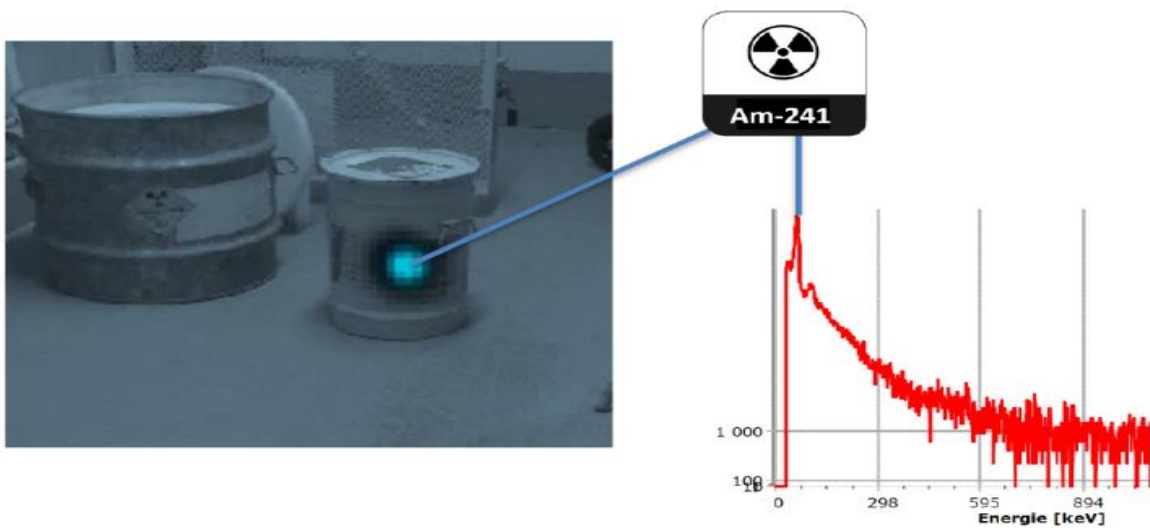


圖 27 NuVISION 核種強度測定

產品規格：電池可維持 7 小時

重量：約為 3 公斤

可量測類型：劑量率及加馬射線光譜(CdZnTe)

能量範圍：20~1.4MeV

產品特色：通過 IP65 防水防塵設計、易除汙、量測高解析度、可遠端遙控、易於分辨核種、無冷卻系統

三、ANDRA 設施參訪

(一) CSFMA 中/低放射性廢棄物最終處置場

La Aube 處置場為接替 La Manche 處置場封閉而於 1981 年開始計畫建造，並於 1985 年公開徵求低放處置場址，經由自願場址方案，由地方的市長提出申請，政府則給予一定的經濟及社會回饋做為回報。ANDRA 從原先的 5 個候選場址中評選，最後由位於法國東北地區的盧伯縣勝出。

ANDRA 於 1992 年完成建造 Aube 處置場，接收來自各界之低放廢棄物，處置場位於巴黎東方 250 公里處，此處置場周圍為森林環繞，場區範圍有 95 公頃，其中 30 公頃作為處置設施用，設施高度為海拔 160 公尺。

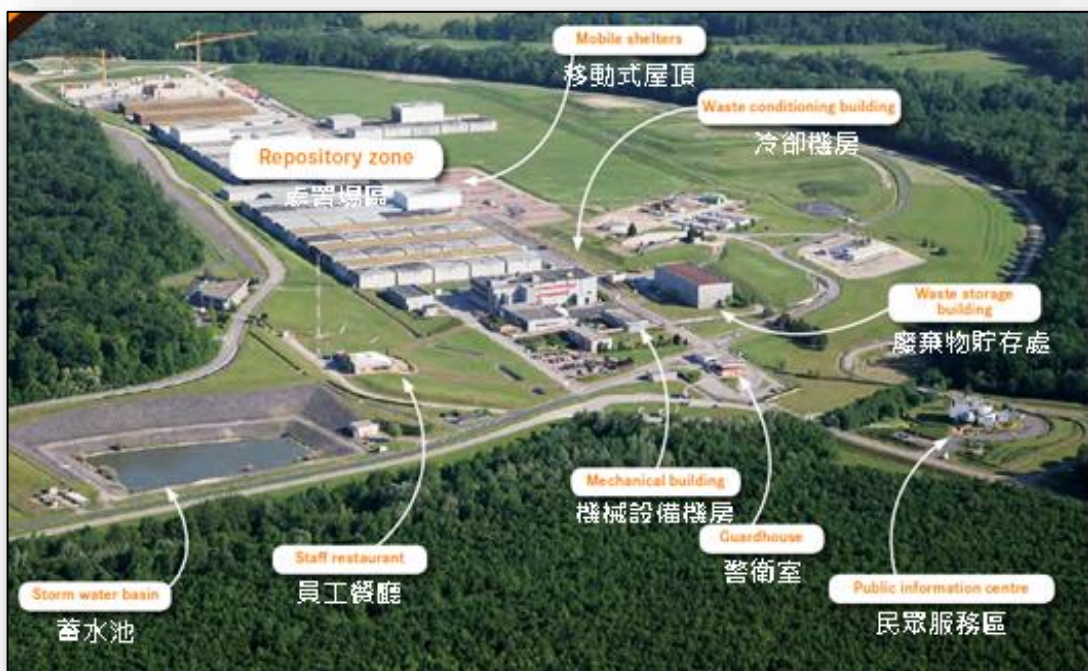


圖 28 Aube 處置場俯瞰圖

處置場地質結構優良，由一層透水砂層覆蓋在不透水黏土層之上，透水砂層可使滲漏的水分轉移到單一出口，再加上處置場之自然斜波，使得滲透水一致流向 **Noues d'Amance** 小溪，讓監測工作得以順利進行；黏土層則可防止深度地下蓄水層受污染，因此也能避免放射性核種遷移太遠。



圖 29 La Aube 處置場

處置場共建有 400 個處置單元，總處置容量為 1 百萬立方公尺，處置方式為地上混凝土處置窖，處置區採模組式，每一模組約為 2,200 立方公尺容量，廢料桶可疊 5 層，每一層疊滿後灌以水泥漿，固定後再疊第二層。當模組運作時，上面有活動式的遮雨蓬以防雨水，當 5 層疊滿後，該模組即以水泥漿封閉，外面塗上防水漆、柏油、砂、黏土及最外層覆蓋 6 公尺厚之表面土壤，上面種植花草與矮灌木，這種結構亦為多重障壁的概念。模組下方有良好的集水管路、設施與維護用通道，可收集微量滲透過模組之雨水，並加以偵測、分析、處理與排放。另外，有一座 30,000 立方公尺防洪池，配以每天 50 立方公尺之生物處理法來調節排水量與消防用水。

Aube 處置場營運年限為 50 年，每年所接收之廢棄物平均有 10,000 至 15,000 立方公尺，蘆伯處置場為淺地層之處置設施，所接收的放射性廢棄物是以金屬桶或混凝土箱盛裝，廢棄物包件是放置於混凝土結構物處置，其多層蓋板設計可防止處置區域在運轉期間的雨水滲入。

Aube 處置場之輻射劑量限值如下：

運轉階段：對於運轉人員為 20 毫西弗/年，對於一般大眾為 1 毫西弗/年。

封閉後階段：考量最可能之節下，對一般大眾為 0.25 毫西弗/年

置窖

處置場接收流程：

1. 接收(於距離 15 公里處 Brienne-le-Chateau 火車站接收來自各產生地之放射性廢棄物)、計測與裝桶、暫存、壓縮處置、放置、回填與覆蓋、水之收集與監測、環境監測資訊與宣導



圖 30 Aube 處置場取桶設施

圖 31 Aube 處置場廢棄物桶處置



廢料桶卸載



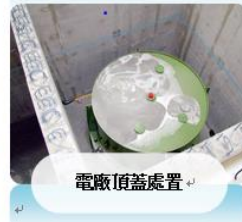
混凝土筒處置



廢料桶填塞



處置場景



電廠頂蓋處置



廢料桶處置

圖 32 Aube 處置場水之收集與監測 & 處置場運轉

(二) CMHM 處置技術研究中心

在 1991 年 12 月 30 日，法國國會通過放射性廢棄物管理法，ANDRA 因應而生，做為一公共機構，ANDRA 被指派開始研究高放射性及長半衰期中放射性廢棄物之深地質處置，其首要任務為建造地下研究實驗室。1994 至 1996 年間，ANDRA 研究了法國各行政區域之地質環境，根據其地質特性調查，最終有 4 個場址被選出，包含地質為泥質層的

三個場址 Gard, Meuse, Haute-Marne，以及花崗岩的 Vienne。考慮到 Meuse 及 Haute-Marne 兩地結合起來的泥質層連續性，更佳適合做為設施建造場所，最終由於 Gard 被排除，以及關於 Vienne 的研究無定論，法國政府宣布 Meuse 及 Haute-Marne 獲選為地下研究實驗室場址。1999 年，ANDRA 依據公眾調查結果，授權於 Meuse 的 Bure 建造地下實驗室，並於 2000 年開始進行挖掘作業。

從 2004 年起，ANDRA 開始在豎井及 100 公尺之橫坑進行調查及現地試驗，地質調查位於 Meuse 及 Haute-Marne 兩地的接壤處，調查內容包含泥質及此處過去形成的泥岩、地層的可行性。經過多年的研究，ANDRA 取得足夠數據判斷 Meuse /Haute-Marne 場區之地質構造是適合進行高放射性廢棄物之最終處置。其矽質黏土層之浸透性非常低，地層及岩體已保持 1.6 億年穩定，分佈範圍大且均勻。同時平均深度達 500 公尺，厚達 130 公尺，不受斷層影響，因此其地震危險度很低，且因深度夠而不受未來氣候變遷之影響。

ANDRA 於 2005 年證明 Meuse/Haute-Marne 地下實驗室周圍的 250 平方公里可進行深地質處置之可行性。2006 年 6 月 26 日，根據法國放射性廢棄物管理之公共辯論及研究評估結果，放射性物質及廢棄物的可維持管理法案通過，採納以深地質處置方式進行高放射性及長半衰期中放射性廢棄物之長期管理，ANDRA 因而受指派執行深地質設施的設計及發展。

2009 年 ANDRA 提出以一地下 30 平方公里之面積，此區域位於最安全的邊界內，且有較低的水頭梯度，於此建立深地質最終處置場，並於地面建立相關設施。ANDRA 在 2009 年向法國政府提送之報告中亦包含未來處置設施建造及營運之法，此包含詳細的地下設施佈置，廢棄物包件之傳送、置放及再取出程序等，被法國國家評估委員會(National Assessment Board)、ASN、ANDRA 之科學委員會及地方地下實驗室之資訊暨監督委員會核准。此計畫被稱為 Cigéo 計畫，並於 2010 年進入工程設計階段。

2014 年，ANDRA 向法國政府提出 Cigéo 計畫深層地質處置的規劃藍圖，2015 至 2016 年，規劃了處置設施監管至少 100 年，以及廢棄物可再取出概念。

地下實驗室包含 2 個豎井，直徑分別為 4 及 5 公尺，深度為 503 及 508 公尺，連接地底設施及表面；一條實驗坑道，總長 41 公尺，在深度 445 公尺處，位於泥板岩上部用

於觀察及量測；一條總長 1,700 公尺的網路坑道，位於地下 490 公尺處泥板岩正中央。

CMHM 亦包含了科技展覽設施、圖書館以及 OPE 量測站&環境標本銀行。

科技展覽設施佔地 4,000 平方公尺，用於實驗以及做為公眾資訊中心對外開放，展出包含 Cigéo 計畫地底設施小尺寸設計原型，以及其他可能於未來深地質處置時可作為技術解決方案的工業模型。

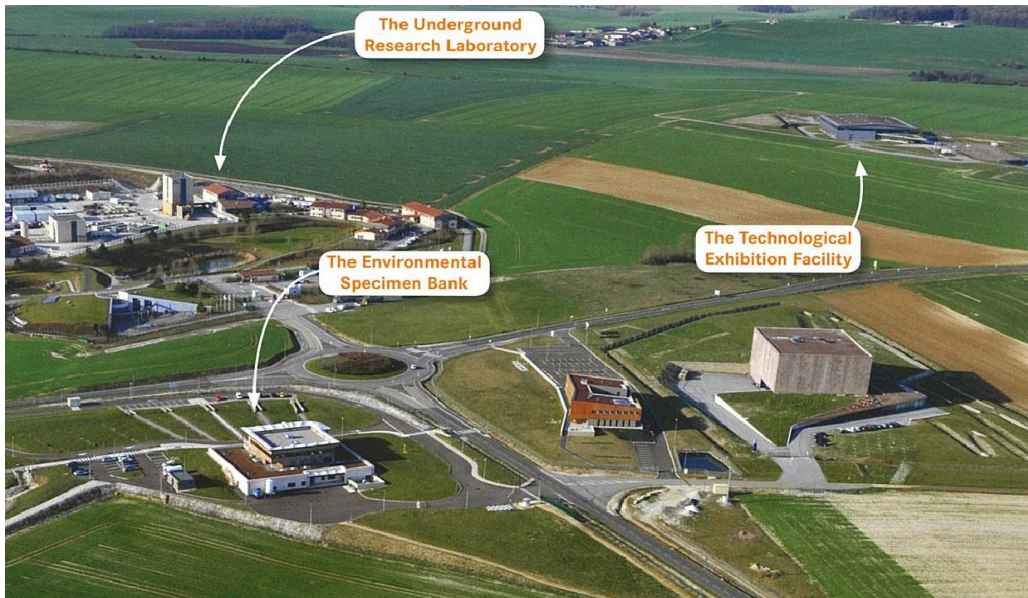


圖 34 CMHM 設施分布圖

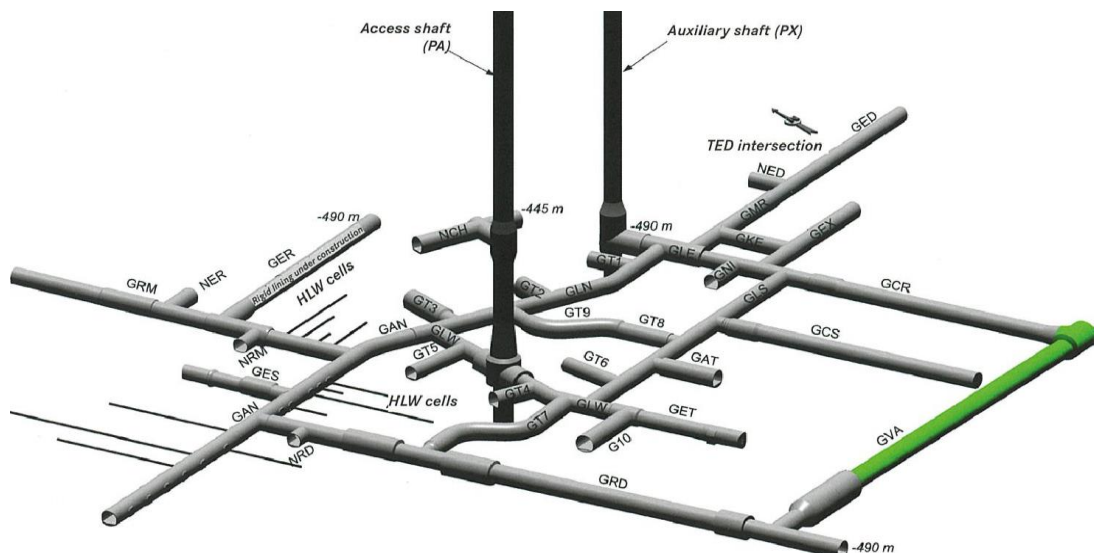


圖 35 CMHM 地下實驗室設計圖

圖書館佔地 7,000 平方公尺，館內收藏了於為尋找合適處置地形而進行地表鑽孔期間地質岩蕊樣品，包含了 Gard、Meuse、Haute-Marne 及 Vienne 等地的樣品。

2007 年 ANDRA 成立了環境長期觀測台(Perennial Observatory of the Environment, OPE)，以圍繞未來處置設施建立目前環境的初始狀態，並於 10 年期間監控因 Cigéo 設施建造、運轉而產生的任何改變，未定義其環境初始狀態，必須佐以觀測站、通常樣品及衛星圖進行監控。OPE 有別於一般環境監控，其反映了 Cigéo 計畫卓越的性質及使用壽命而更顯其設施獨特性。OPE 因其量測設備及規定，與許多相關領域的科學專家組織合作，這類組織亦被分配到進行量測及分析的工作。OPE 的區域研究佔地 900 平方公里，圍繞著整座 CMHM 設施，其中以佔地 240 平方公里，圍繞著 Cigéo 的 OPE 站有更加詳盡的研究。2014 年 ANDRA 對外開放了位於 Bure 的環境標本銀行，環境標本銀行用於保存 OPE 長期監測所得之樣品及數據，用以得知設施周遭環境之變化，一樓設有旅客服務中心，可讓參觀者了解並認識環境，或是參觀樣品保存室。

ANDRA 於 CMHM 的活動，截止 2016 年底，已創造 360 個直接工作機會，以及許多間接工作機會；ANDRA 並與當地大學進行合作，辦理工作研修以及實習機會供當地年輕人參與，協助相關博士論文之撰寫；ANDRA 亦贊助當地計畫，以拓展 CMHM 地區的社會、文化活動，2016 年 ANDRA 共贊助了 200 個計畫，總額超過 200,000 歐元。目前 CMHM 每年有超過 10,000 名訪客，已成為當地最吸引人的景點之一。

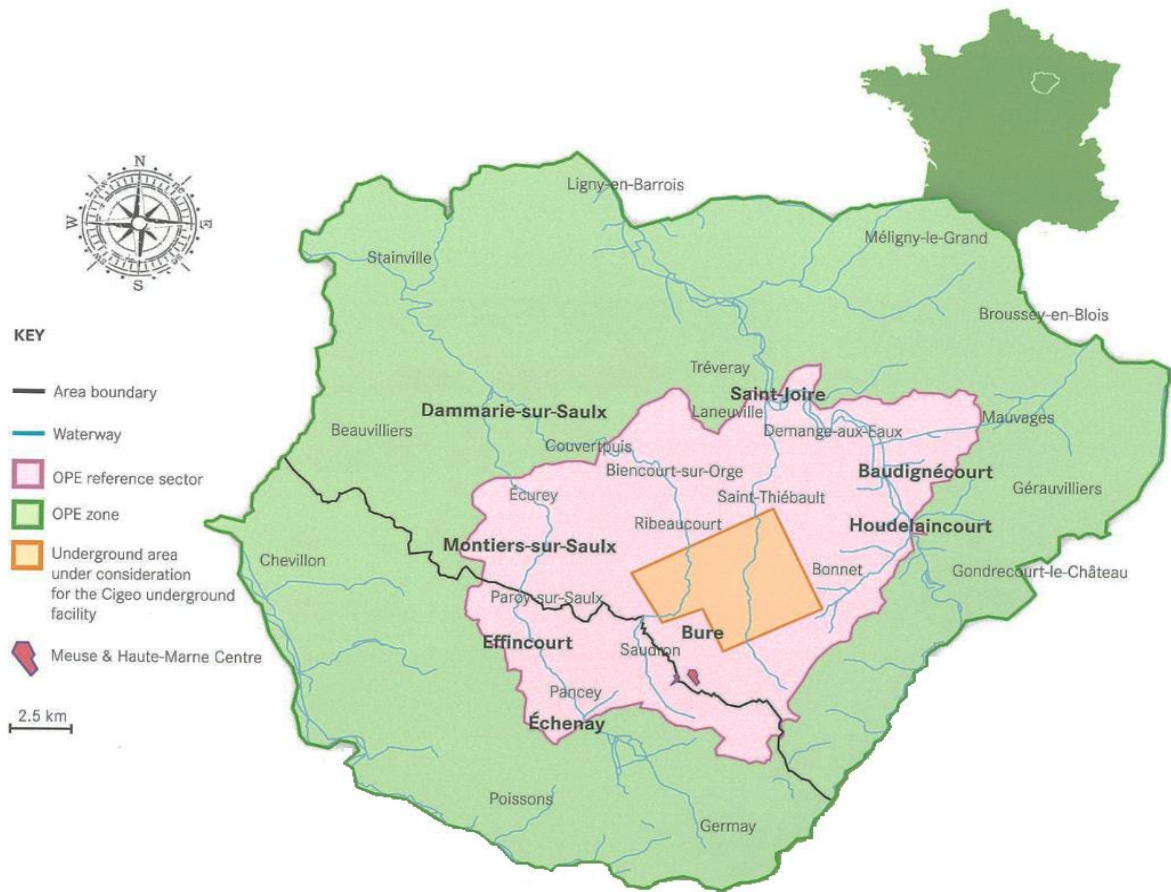


圖 36 OPE 監測範圍

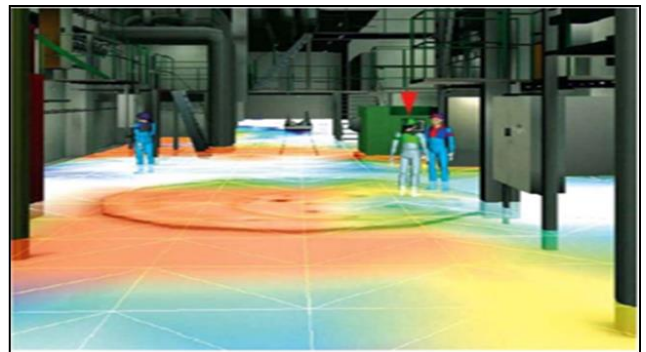
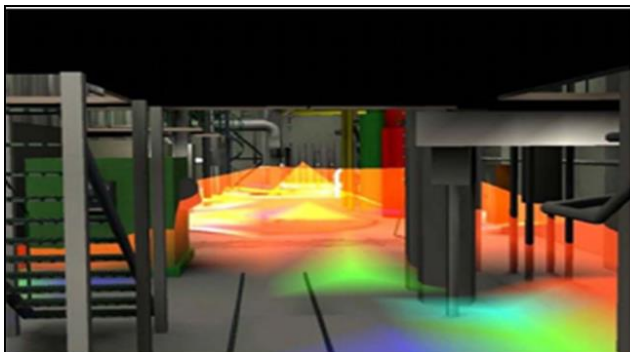
肆、心得及建議:

■心得方面：

- 一、為解決核廢料問題，法國在 1979 年成立國家核廢料管理局（ANDRA）。員工約 650 人，下設 10 個部門（4 個管理及溝通部門、6 個技術及業務部門），3 個最終處置設施。該局為獨立運作之專責機構，負責規劃、興建及營運法國的高階、低階核廢料處置工作。
ANDRA 為法國放射性廢棄物處置之專責機構，對各類不同放射性廢棄物皆有其對應處置方式，且成效極佳。台灣未來或許可效法此方式成立相關專責機構，而非再以台電公司負責，以專責機構專心處理一件事情就能夠將事情做得比較完善。
- 二、法國目前針對低放射性廢棄物採用多重障壁淺層處置。ANDRA 會將每季在處置場與其周圍環境所量測到的結果公開發表，包括雨水、地下水、地表水、植物與大氣的經常性輻射分析，並持續告知民眾這些量測結果，取得民眾信任。
- 三、法國於 1999 年 8 月建立【默茲/上馬恩省】高放廢棄物地下研究實驗室，此實驗室位於 490 公尺深處之泥岩層(矽質黏土層) (argillite)，稱為 Cigeo Program；預計 2025 年高放廢棄物場之工程與貯存處置同步開展，工程與營運將長達 85 年。
- 四、媒體、政治、技術層面都應包含在最終處置場選址時的考量。另，有關溝通方面，溝通目的是增進彼此了解和支持、建立相互信任和信譽、鼓勵正向的態度、行為和信念。溝通，不僅需要專業知識能力，也需要完備的風險溝通能力。

■建議方面：

- 五、本次 WNE2018 廠商所發表之核能產品，有部分與核後端業務相關，可做為放射性廢棄物處置之用，未來若各核電廠進入除役作業，可考慮利用目前之最新除役設計技術 3-D radiological mapping 技術進行全廠輻射特性調查，以確保人員輻射劑量低於限值、對廠區各處之射源進行定位、精確估算廢棄物量、並可進行虛擬實境訓練及廢棄物分類。



- 六、瑞典 Studsvik Nuclear 是一家號稱是核除役服務(D&D)的領導供應商，已與瑞典 Westinghouse 和法國 EDF Cyclife 聯手，將以 ndcon 的公司名稱提供所謂的“全方位除役服務”，它的直接目標市場是德國和北歐國家，但它也看到了整個歐洲的潛力。國際原子能機構（IAEA）預估，到 2050 年，全球核能後端除役市場的價值估計約為 1 萬億美元，英國政府估計未來為了除役自己的核電廠而花費了大約 1190 億英鎊（1670 億美元）的成本，德國報告估計耗資 380 億歐元（合 470 億美元）用於核電廠除役和核廢棄物後端管理；這些數據表明，對於已經活躍在核工業的公司以及那些尋找出路的公司來說，D&D 服務市場應該是具有吸引力的長期前景，台電公司核能事業部成立能源服務子公司，也應著眼此一市場。
- 七、以法國為例，最終處置場場址選定之可行與否，技術層面並無問題，最重要的因素為與當地居民之溝通，ANDRA 多年來在各選定場址所投入的經費、所進行的建設及其爭取當地文化的認同等多項努力，正是本公司值得借鏡的地方。
- 八、法國為確保最終處置場的資訊代代相傳，透過將備份資料存放在國家檔案局進行永久保存，最終處置實驗室的資訊也將放入圖書館供學術研究，此一作法，值得參考。
- 九、核電廠除役採用遠端切割拆除之方式雖然證實可行，但卻耗費過多的物力與時間成本，這一點非常值得我們未來核能電廠除役採用之拆除工法進行思考與借鏡。過去，常以輻射防護與輻射安全為本位進行考量，認為要盡可能降低輻射劑量與輻射風險來達到合理抑低，然而，在合理抑低的原則中，亦須把「操作時間與經濟因素」納入考量，因此應該從中尋求最佳化之選擇，找到可同時兼顧輻射安全與經濟條件之方案。
- 十、法國在核能領域之發展與後端廢棄物處置之規劃皆相當成熟，未來建議除了針對設施參訪理解整體概念外，可安排進一步的技術討論，讓我們能更加確實了解法國在做各類技術發展與評估之想法及成果，藉以增強我們在技術層面上之能力與考量方向。
- 十一、法國後端廢棄物處置之回饋計畫中，回饋金是繳納給當地政府，並不直接給予個人。而地方政府收取之回饋金將運用於區域發展之規劃、公共設施維護、促進產業發展、福利措施、地方之區域發展措施、地方稅稅率之調整，建議追蹤此回饋方式的優缺及影響。