

Questions et remarques critiques sur le travail de Monsieur Etienne Vernaz

Ce petit document fait suite au débat organisé par l'association « Les jardins d'Epicure », où Monsieur Vernaz et Monsieur Péguin se sont exprimés et opposés sur le thème « Nucléaire, mythes et réalités ».

Le signataire de ce billet avait préalablement étudié des documents pour connaître les intervenants, et s'est plus qu'interrogé sur quelques erreurs de calcul entraînant la disparition « mathématique » de quelques tonnes de déchets. Je ne me suis intéressé qu'aux plus dangereux, les HA VL.

Les questions et remarques portent essentiellement sur le cours d'Etienne Vernaz : Le cycle du combustible nucléaire, qui sera référencé **α** dans ce document.

<http://www.visiatome.fr/Local/visiatome/files/409/Le.cycle.du.combustible.nucleaire.Etienne.Vernaz.pdf>

Il sera également utilisé les documents suivants :

Conférence Etienne Vernaz, Journées USTV-GDR Verres les 8 et 9 décembre 2011. Sera référencé **β** dans ce document :

<http://www.ustverre.fr/site/ustv/Rennes2011/Conf%C3%A9rence/Vernaz.pdf>

Le verre de l'antiquité à nos jours, Etienne Vernaz. Sera référencé **γ** dans ce document :

http://dl.dropbox.com/u/42101629/Etienne_Vernaz_102011.pdf

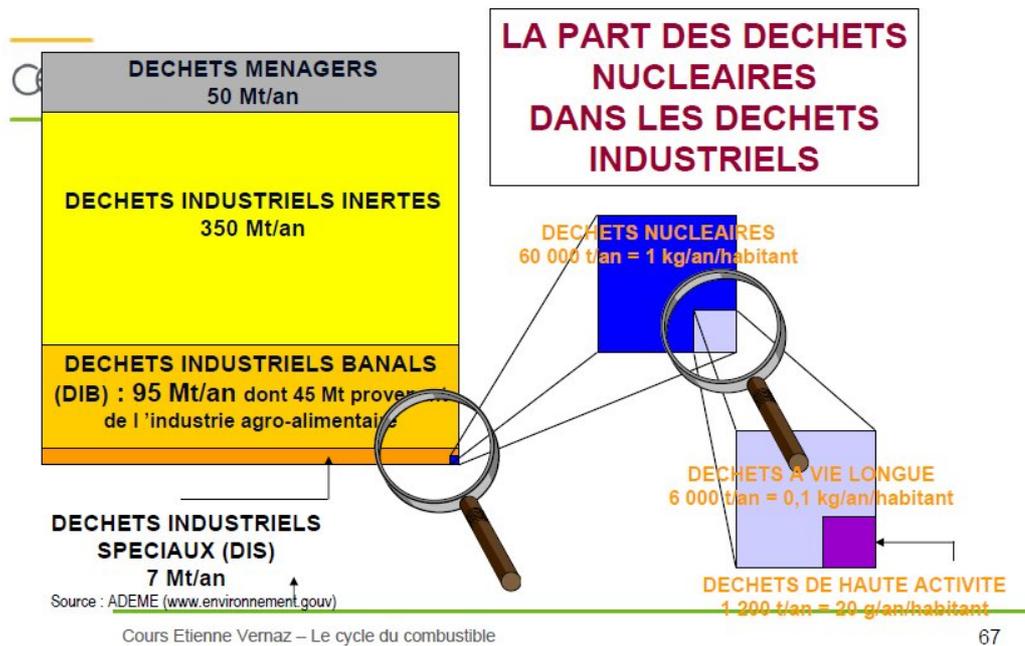
et :

Etudes CEA (nombreux auteurs) Conditionnement des déchets nucléaires. Sera référencé **δ** dans ce document :

<http://www.cea.fr/content/download/80678/1546704/file/Conditionnement-d%C3%A9chets-nucl%C3%A9aires-verres.pdf>

Le calcul des déchets HA VL annuels

Le point de départ des interrogations est la diapositive ci-dessous du document **U** page 67 :



Cette diapositive fort bien faite montre les importances relatives des déchets nucléaires dans l'ensemble des déchets produits en France. On notera que le petit carré DECHETS DE HAUTE ACTIVITE est bien inscrit dans le carré DECHETS A VIE LONGUE.

On peut donc déduire de cette diapositive, sans risque d'erreur d'interprétation que :

Affirmation n°1 :

« L'ensemble des déchets nucléaires haute activité vie longue (HA VL) se monte à 1200 tonne par an »

Fort bien !

On trouve ensuite, **U** page 72 :

Les déchets ultimes du retraitement aujourd'hui



- La solution de produit de fission qui contient aussi les actinides mineurs et environ 0,1% de l'U et du Pu, est vitrifiée
- Les coques et embouts sont rincés puis compactés
- Les déchets technologiques sont cimentés

Le volume annuel de déchets produit par le retraitement du combustible d'un réacteur de 1GWe est :

- 2.5 m³ de déchets de haute activité (verre)
- 5 m³ de déchets de moyenne activité (gaines métalliques compactées)
- 12 m³ de déchets de faible activité (cimentés)



Donc, les déchets HA VL représentent 2,5 m³ par Gwe.

Affirmation n°2 :

« les déchets HA VL représentent 2,5 m³ par Gwe, qui sont vitrifiés. »

Enfin page suivante , **α** page 73 :

Volume et activité des déchets solides nucléaires produit annuellement en France



Parc de 58 réacteurs
Puissance installée 62GWe

Déchets	Volume annuel	Répartition en volume
FA – MA (A)	7500 m ³	94.6 %
MAVL (B)	310 m ³	4 %
HAVL (C)	115 m ³	1,4 %

Déchets	α	βγ (hors tritium)
FA – MA (A)	< 0,1 %	< 0,1 %
MAVL (B)	0,4 %	2,3 %
HAVL (C)	99,5 %	97,6 %

Cours Etienne Vernaz – Le cycle du combustible

73

J'ai bien vérifié, sur le site energie.edf.com la puissance installée, qui est bien de 62 Gwe.

Sauf que 62 multiplié par 2,5 donne 155 m³, et non 115 . Une paille 40 m³ de HA VL oubliés, et ce uniquement sur ce type de déchets (les autres multiplications sont justes !).

Bon, *admettons qu'il ne s'agisse que d'une « coquille »*.

On trouve, sur le document **β**, page 13 :

Le colis de déchets vitrifiés



Données pour 1 conteneur

Puissance thermique ~ 2 kw

Activité moyenne βγ : 16 000 TBq

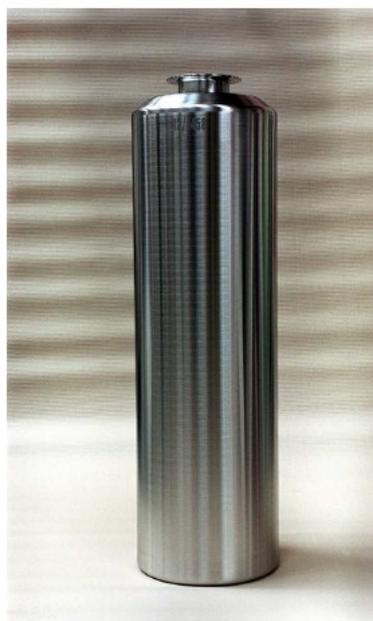
(au moment de la coulée)

Activité moyenne α : 230 TBq

Contamination surfacique < 4Bq. cm⁻²

Déchet C

* Spécifications approuvées internationalement



Volume de verre »
150 litres

Poids net de verre
» **400 kg**

Hauteur **1,3 m**

Diamètre **0,43 m**

Entreposé en
puits ventilé

En moyenne **0,7**
conteneur par t U

Donc, **un colis** = 150 litres, soit **0,15 m³**, poids de verre 400 kg, **densité déduite : 2,66**.

Un calcul simple donne pour les 155 m³ annuels :
155 divisé par 0,15 donne 1033 colis, qu'il faut donc produire annuellement.
Ces 1033 colis pesant 400 kg de verre, on obtient une masse de :
 $1033 * 400 = 413200$ kg soit **413 tonnes**

(à noter que les 115 m³ ne donnaient que 306 tonnes, une centaine de tonnes, qu'est-ce donc !!!)

Comme on peut le voir le problème apparaît clairement :

Question 1 :

1200 tonnes de déchets HA VL sont produits annuellement. 413 tonnes sont vitrifiées. Où passent donc les 787 tonnes annuelles manquantes, par quoi sont elles produites, quelle solution leur est « appliquée » ?

Ensemble de la production de déchets HA VL en France

Oublions maintenant ces ridicules tonnes de produits hautement toxiques et invisibles, et restons encore sur l'affirmation n°2 :

« les déchets HA VL représentent 2,5 m³ par Gwe, qui sont vitrifiés. »

Un petit tableau (*annexes 1et 2*) rappelle la production électrique de nos centrales jusqu'à fin 2010.

On y trouve 1614 Gwe pour les réacteurs en cours d'activité et 26 Gwe pour les réacteurs arrêtés définitivement, soit 1640 Gwe.

En suivant la règle ci-dessus qui explique qu'un Gwe produit génère 2,5 m³ de déchets (à ?) vitrifiés(er ?), on obtient **4100 m³** de produits de fission générés et (à?) vitrifiés(er?)

Or on trouve dans **β**, page 14 :

Bilan des Ateliers de Vitrification français

 <i>Fin 2010</i>	MARCOULE		LA HAGUE	
	UP1 - AVM	UP2 - R7	UP3 - T7	
date de mise en service	1978	1989	1992	
volume de solution ajustée (m ³)	2 685	8 571	6 263	
masse de verre produit (t)	1 133	3 324	2 888	
nombre de conteneurs produits	3 146	8 383	7 262	
activité β γ vitrifiée (10 ⁶ TBq)	17	127	116	

Soit au total :

- ✓ **18 791 conteneurs**
- ✓ **7 345 tonnes de verre (2670 m³)**
- ✓ **243 10⁶ TBq (6,6 10⁹ Ci)**

Etienne Vernaz CEA Marcoule

Journées USTV-GDR Verres les 8 et 9 décembre 2011

On voit que 2670 m³ de verre seulement ont été produits par les 3 ateliers français.

Question 2 :

Que sont donc devenus les 4110 – 2670 = 1440 m³, soit 3830 tonnes de déchets hautement radio toxiques ?

N'est-il pas évident que les ateliers existants de vitrification ne peuvent faire face au flux croissant de déchets hautement radio-toxiques ?

Que devienne les HA VL produits chaque année et non vitrifiés ?

Quel rapport y-a-t-il entre cette nouvelle poupée russe de déchets HA VL disparaissant et les 1200 tonnes annuelles annoncées dans votre cours, page 67

Étude sur l'altération par l'eau des déchets vitrifiés

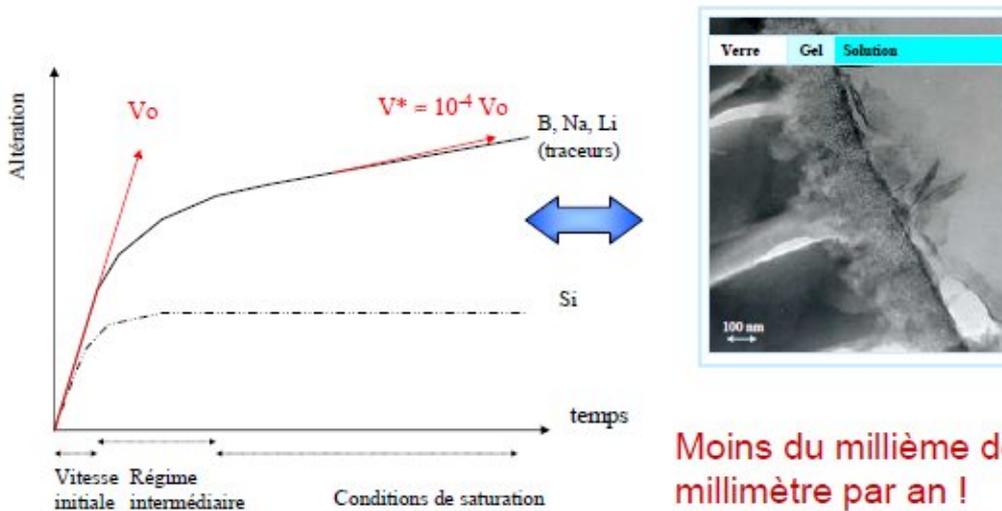
Le document δ du CEA, technique et assez complet, explique clairement, en sa page 51, sous titre « Le comportement à long terme des verres », *l'objectif de l'étude*.

En son premier paragraphe, il est dit :

« Dans l'hypothèse d'un stockage géologique profond de colis de déchets vitrifiés, l'eau souterraine arrivera tôt ou tard au contact du verre, après corrosion des conteneurs et surconteneurs. » ...

Dans la diapositive, page 51, de son cours sur le verre (document γ), Monsieur Vernaz nous donne l'altération annuelle du verre : « Moins du millième de millimètre par an ! » soit moins d'un micron.

Étude de la vitesse d'altération d'un verre par l'eau



Visiatome Fête de la Science 2011 : Le verre de l'antiquité à nos jours

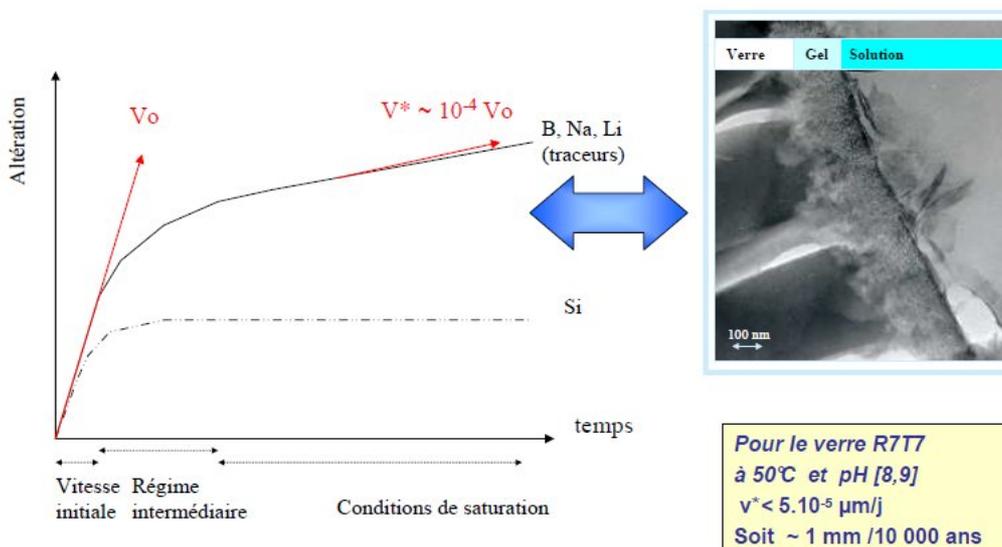
51

Or, dans la page 36 du document β du même Etienne Vernaz, on trouve :

Cinétique d'altération par l'eau



E.Vernaz et Al. Journal of Nuclear Materials 298 (2001) 27-36



Entre les deux documents, on a gagné (!!! ??) un facteur 10. L'altération annuelle n'est plus d'un micron, mais d'un dixième de micron.

Si l'on y regarde de plus près, ce dixième de micron annuel serait la traduction de la ligne supérieure :

$$v^* < 5.10^{-5} \mu\text{m}/\text{j}$$

Or, si l'on multiplie 5.10^{-5} par 365 jours, on obtient $1825 \cdot 10^{-5}$, soit enfin 0,01825 microns, ce qui ferait **moins de 2 microns tous les 100 000 ans !**

Curieux, **encore une erreur de calcul**, et cette fois ci n'allant pas dans le sens de la minimisation de l'effet du temps.

Il suffit alors d'aller consulter le document **δ** du CEA en sa page 57 :

« limiter » à une vingtaine ou une trentaine de compositions à étudier.

Les cinétiques d'altération observées lors de la lixiviation des verres nucléaires présentent plusieurs régimes : typiquement, par exemple pour les verres de type R7T7 en eau initialement pure, un régime de vitesse initiale est suivi d'une phase de chute de vitesse puis d'un régime de vitesse résiduelle.

L'exploration des domaines de composition des verres industriels (en particulier R7T7 et AVM) par le biais des plans d'expériences a permis de formuler des lois statistiques simples reliant la vitesse initiale ou la vitesse résiduelle aux teneurs des principaux constituants de ces verres. Par exemple, la formule empirique ci-dessous donne avec une précision de l'ordre de $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$ la valeur de la vitesse résiduelle à 50 °C des verres du domaine R7T7 (pour une altération en eau initialement pure et non renouvelée) :

$$Vr (10^{-5} \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}) = -261 \times \text{Si} - 1677 \times \text{B} - 431 \times \text{Na} - 359 \times \text{Al} + 61 \times \text{Fe} + 48 \times \text{FI} + 210 \times \text{FP} + 3207 \times (\text{Si} \times \text{B}) + 147 \times (\text{Si} \times \text{Na}) + 1513 \times (\text{Si} \times \text{Al}) + 602 \times (\text{Si} \times \text{Fe}) + 768 \times (\text{Si} \times \text{FI}) + 397 \times (\text{Si} \times \text{FP}) + 5389 \times (\text{B} \times \text{Na}) + 53 \times (\text{Na} \times \text{Al})$$

Dans cette formule on exprime la teneur massique des oxydes correspondants aux 7 variables du modèle (Si, B, Na, Al, Fe, fines [FI], produits de fission[FP] ramenée à la somme de ces

La comparaison des différents domaines de composition étudiés fait ressortir les points suivants :

- les valeurs des vitesses initiales sont du même ordre de grandeur pour tous les verres, non seulement à l'intérieur d'un domaine de composition, mais également pour l'ensemble des verres. Elles sont de l'ordre du μm par jour, soit de quelques $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$ à 100 °C et pH 7 (fig. 51), et augmentent avec la température et le pH;
- en revanche, les valeurs de vitesse à long terme sont très dépendantes de la composition : certains verres ne présentent pratiquement pas de chute de vitesse, alors que d'autres, riches en Ca, Ti et Zr, présentent une vitesse d'altération à long terme nulle ou quasi-nulle (fig. 52).

Ce sont ces valeurs de vitesses d'altération (initiale et résiduelle), associées à des valeurs de taux de fracturation des colis de verre, qui permettent de calculer des durées de vie des conteneurs de verre en situation de stockage. Ainsi, pour l'ensemble des verres R7T7 du domaine de composition spécifié, les modèles opérationnels prévoient une durée de vie (temps nécessaire pour altérer complètement la matrice vitreuse) de l'ordre de 300 000 ans, ce qui garantit des doses relâchées à l'exutoire du stockage bien en dessous des normes édictées par les autorités de sûreté.

On voit que les chiffres avancés sont plus inquiétants. Il y est question de micron **par jour** comme vitesse initiale, avec chute **ou pas** de la vitesse d'altération.

Le rayon des colis étant de 20,8 cm, le calcul sur 300000 ans donne 0,7 microns. Il semble donc que le chiffre retenu soit bien 1 micron (« un peu moins »).

Bon !

Prenons pour argent comptant la première affirmation de Monsieur Vernaz. L'altération serait de 1 micron par an.

En revenant sur le document **β**, page 14 de Monsieur Vernaz, **18791** conteneurs ont été produits depuis 1978.

L'enfouissement **définitif** à Bure n'étant ni définitivement acté, ni possible actuellement à cause de la résistance imbécile au progrès de quelques autochtones rétrogrades, ces colis sont actuellement stockés à Marcoule et la Hague, en puits ventilé, dites-vous...

Si ces colis étaient soumis aux eaux souterraines, but de ces travaux, on peut alors calculer l'altération conséquente :

Surface d'un colis (les dimensions sont fournies) dans le document **δ** : 2,68 m²

$$2,68 * 18791 = 50360 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume altéré} : 50360 * 1 \text{ micron} = 50360 * 10^{-6} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 50 \text{ litres}$$

La densité étant de 2,66, la masse de verre altérée est de 133 kilos.

La proportion de produits de fission étant actuellement de 15%, **la dissémination annuelle dans la nature de purs produits hautement radio toxiques serait de 20 kilos.**

Le même calcul appliqué aux **1033 nouveaux** colis **rajouterait environ 1 kilo par an.**

D'où la :

Question n°3 :

Peut-on dire, comme vous le faites, qu'on a résolu la question des déchets radioactifs quand la meilleure solution possible actuelle, la vitrification, rejette néanmoins dans l'environnement des quantités, en regard de leur haute toxicité et de leur vie longue, totalement inacceptable par nos sociétés ?

Et :

Question n°4 :

Où sont actuellement les colis produits ? Que vont-ils devenir si la solution de stockage DEFINITIF est abandonnée ? Où sont les tonnes de déchets HA VL produits annuellement et apparemment non vitrifiés (20 000 tonnes environ manquent si on part de la production de 1200 tonnes par an) ?

Annexe :1
Production totale des centrales nucléaires en activité depuis leur raccordement au réseau jusqu'en 2011

Centrale nucléaire	Nom du réacteur	Puissance nette (MWe)	Raccord. au réseau	Puissance produite depuis raccordement au réseau
				jusqu'en 2011 en MegaWatts
				Formule : Puissance nette * (2011 - Raccord. Au réseau)
Belleville	BELLEVILLE-1	1 310	1987	31440
Belleville	BELLEVILLE-2	1 310	1988	30130
Blayais	BLAYAIS-1	910	1981	27300
Blayais	BLAYAIS-2	910	1982	26390
Blayais	BLAYAIS-3	910	1983	25480
Blayais	BLAYAIS-4	910	1983	25480
Bugey	BUGEY-2	910	1978	30030
Bugey	BUGEY-3	910	1978	30030
Bugey	BUGEY-4	880	1979	28160
Bugey	BUGEY-5	880	1979	28160
Cattenom	CATTENOM-1	1 300	1986	32500
Cattenom	CATTENOM-2	1 300	1987	31200
Cattenom	CATTENOM-3	1 300	1990	27300
Cattenom	CATTENOM-4	1 300	1991	26000
Chinon-B	CHINON-B-1	905	1982	26245
Chinon-B	CHINON-B-2	905	1983	25340
Chinon-B	CHINON-B-3	905	1986	22625
Chinon-B	CHINON-B-4	905	1987	21720
Chooz-B	CHOOZ-B-1	1 500	1996	22500
Chooz-B	CHOOZ-B-2	1 500	1997	21000
Civaux	CIVAUX-1	1 495	1997	20930
Civaux	CIVAUX-2	1 495	1999	17940
Cruas	CRUAS-1	915	1983	25620
Cruas	CRUAS-2	915	1984	24705
Cruas	CRUAS-3	915	1984	24705
Cruas	CRUAS-4	915	1984	24705
Dampierre	DAMPIERRE-1	890	1980	27590
Dampierre	DAMPIERRE-2	890	1980	27590
Dampierre	DAMPIERRE-3	890	1981	26700

Dampierre	DAMPIERRE-4	890	1981	26700
Fessenheim	FESSENHEIM-1	880	1977	29920
Fessenheim	FESSENHEIM-2	880	1977	29920
Flamanville	FLAMANVILLE-1	1 330	1985	34580
Flamanville	FLAMANVILLE-2	1 330	1986	33250
Golfech	GOLFECH-1	1 310	1990	27510
Golfech	GOLFECH-2	1 310	1993	23580
Gravelines	GRAVELINES-1	910	1980	28210
Gravelines	GRAVELINES-2	910	1980	28210
Gravelines	GRAVELINES-3	910	1980	28210
Gravelines	GRAVELINES-4	910	1981	27300
Gravelines	GRAVELINES-5	910	1984	24570
Gravelines	GRAVELINES-6	910	1985	23660
Nogent	NOGENT-1	1 310	1987	31440
Nogent	NOGENT-2	1 310	1988	30130
Paluel	PALUEL-1	1 330	1984	35910
Paluel	PALUEL-2	1 330	1984	35910
Paluel	PALUEL-3	1 330	1985	34580
Paluel	PALUEL-4	1 330	1986	33250
Penly	PENLY-1	1 330	1990	27930
Penly	PENLY-2	1 330	1992	25270
Saint-Alban	ST. ALBAN-1	1 335	1985	34710
Saint-Alban	ST. ALBAN-2	1 335	1986	33375
St. Laurent	ST. LAURENT-B-1	915	1981	27450
St. Laurent	ST. LAURENT-B-2	915	1981	27450
Tricastin	TRICASTIN-1	915	1980	28365
Tricastin	TRICASTIN-2	915	1980	28365
Tricastin	TRICASTIN-3	915	1981	27450
Tricastin	TRICASTIN-4	915	1981	27450
Total MegaWatts produits jusqu'en 2011 :				1614170

Annexe 2 :
Production centrales arrêtées depuis leur mise en service jusqu'à leur fermeture

Centrale nucléaire	Nom	Puissance (MW)	Mise en service	Arrêt définitif	Puissance produite jusqu'à la fermeture en MegaWatts Formule : Puissance * (Arrêt définitif - mise en service)
Marcoule	G1 (CEA)	7	1956	1968	84
	G2 (CEA)	38	1959		
	G3 (CEA)	38	1960		
Chinon	Chinon A1/EDF1	70	1963	1973	700
	Chinon A2/EDF2	210	1965		
	Chinon A3/EDF3	480	1966		
Chooz	Chooz A	310	1967	1991	7440
Brennilis	EL4 (CEA)	70	1967	1985	1260
Saint-Laurent	Saint-Laurent A1/EDF4	480	1969	1990	10080
	Saint-Laurent A2/EDF5	515	1971		
Bugey	Bugey 1	540	1972	1994	11880
Creys-Malville	Superphénix (CEA)	1 200	1986	1998	14400
	Total MegaWatts produits par les centrales arrêtées jusqu'à fermeture :				26280