

## Application de la Résine Polyépoxyde Novolaque dans le Conditionnement des Déchets Radioactifs dans une Matrice de Ciment

### [ Application of Novolac Polyepoxide Resin in the Conditioning of Radioactive Waste in Cement Matrix ]

*Atiqa BEKHTA<sup>1</sup>, Touria LAMBARKI EL ALLIOUI<sup>2</sup>, Abderrahim BOUIH<sup>2</sup>, Bouchra EL HILAL<sup>1</sup>, and Ahmed EL HARFI<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratory of Polymers, Radiation and Environment (LPRE) - Team of Organic and Macromolecular Chemistry (TOMC),  
Department of Chemistry,  
University Ibn Tofail, Faculty of Sciences,  
Kenitra, Morocco

<sup>2</sup>Unit operating radioactive waste, National Center for Energy Sciences and Nuclear Techniques (CNESTEN),  
BP 1382 RP 10001 Rabat, Morocco

---

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The definition of a process of conditioning by cementation of solid radioactive waste has required many works intended research optimize the composition of matrices and improved their resistance. In this work, we introduced the polymer (epoxy Novolac resin) and / or epoxy Novolac composite material in a nuclear application to assess its impact. Following a research study on the management of ion exchange resins, radioactive waste generated by the Triga Mark II reactor CNESTEN, this study is an add-in to improve the compressive strength of the matrix conditioning the ion exchange resin by the introduction of the epoxy Novolac polymer and to evaluate its impact on the die packaging.

**KEYWORDS:** Ion exchange resins, radioactive waste, Triga Mark II reactor, compressive strength, conditioning.

**RESUME:** La définition d'un procédé de conditionnement par cimentation des déchets radioactives solides a requis de nombreux travaux de recherche destinés à optimiser la composition des matrices et d'améliorer leurs résistances. Dans ce travail, nous avons introduit le polymère (résine époxyde novolaque) et/ou matériau composite époxy novolaque dans une application nucléaire pour évaluer son impact. Suite à une étude de recherche sur la gestion des résines échangeuses d'ion, déchet radioactif généré par le réacteur Triga Mark II du CNESTEN, la présente étude est un complément dans le but d'améliorer la résistance à la compression de la matrice de conditionnement de la résine échangeuse d'ion par l'introduction du polymère époxyde novolaque et d'évaluer son impact sur la matrice de conditionnement.

**MOTS-CLEFS:** Résines échangeuses d'ion, déchet radioactif, réacteur Triga Mark II, résistance à la compression, conditionnement.

## 1 INTRODUCTION

L'utilisation des techniques nucléaires dans divers domaines telles que la recherche scientifique, l'industrie et la santé génère des déchets radioactifs. Ces déchets sont de différentes natures. Comme tout pays en développement, le Maroc s'occupe de la gestion des déchets radioactifs à travers le Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques

Nucléaires (CNESTEN). A cet effet, le CNESTEN a mis en place, au Centre d'Etude Nucléaire de la Maâmora (CENM), une Unité d'Exploitation de Déchets Radioactifs (UED) chargée de la gestion des déchets radioactifs [1, 2, 3] à l'échelle national.

La gestion des déchets radioactifs a pour objectif principal de minimiser le risque de ces derniers ainsi que le volume des déchets entreposés [3]. L'UED a adopté plusieurs processus de traitement pour les déchets radioactifs générés, citons :

- Le compactage qui est un processus de traitement pour les déchets radioactifs solides compactable
- L'évaporation étant un processus de traitement pour les effluents liquides aqueux
- Le conditionnement est un processus de traitement des déchets radioactifs non compactable

La gestion des résines échangeuses d'ions (REI) [3, 4], déchet radioactif généré par le réacteur Triga Mark II du CNESTEN, a fait l'objet de plusieurs études de recherche pour déterminer la formulation qui présente une résistance à la compressibilité plus élevée par rapport à la formulation utilisée.

Sachant que les formulations utilisées sont composées, de deux formulations à savoir le ciment, REI et eau soit le ciment, REI, sable et eau [3].

Les résultats présentés dans le cadre de ces recherches ont été très promoteurs, ce qui nous a donné la réflexion à l'introduction de polymère synthétique, utilisé récemment dans plusieurs applications afin de pallier à des produits autrefois polluants. Cette étude concernant l'introduction d'un polymère synthétique tel que le polymère époxy novolaque [5, 6] dans la matrice de conditionnement de la résine échangeuse d'ion menée au sein des laboratoires de l'UED pour évaluer l'impact du polymère synthétique sur le confinement de la matrice [7, 8].

## 2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1 MATÉRIELS

Nous avons utilisé plusieurs produits parmi les quels :

- Le polymère (époxy novolaque) est un produit synthétique sous forme gel de coloration jaune.
- Les résines échangeuses d'ions [3,4] type MDP-15, sous forme de perles sphérique claires utilisées dans la purification des circuits d'eau de réacteur ainsi que les piscines de stockage du combustible usé du réacteur trika mark II de type PUROLITE NRW 37, ce sont des résines échangeuses de cations fortement acide de type gel. L'échange d'ions est un procédé par lequel les ions contenu dans une solution sont éliminés pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge électrique. Les propriétés physico-chimiques de la résine :
  - Squelette hydrocarboné : Polystyrenique croisé au DVB de type gel
  - Groupement fonctionnel : R-SO<sub>3</sub><sup>-</sup>
  - Aspect physique : Billes ambre foncé, translucides
  - Forme ionique à la livraison : H<sup>-</sup>
  - Teneur en humidité : 51-55 % (forme H<sup>+</sup>)
  - Gonflement maximum : Na<sup>+</sup> -H<sup>+</sup> : 5%
  - Limite de température : 120°C
  - Limite de PH : De 0 à 14
  - Densité apparente : Environ 800 g/l
  - Densité réelle : 1,20 (forme H<sup>+</sup>)
  - Capacité totale d'échange : Min 1,7 eq/l (forme H<sup>+</sup>)
- Le ciment portland utilisé CPJ 45 est un ciment dont les caractéristiques techniques sont conformes à la norme marocaine NM 10.1.004.
- L'eau utilisée est celle de robinet.
- Le methylene dianiline (MDA) étant le durcisseur sous forme sphère fournis par Araldich.co.

### 2.2 MÉTHODES

Les méthodes utilisées dans ce travail sont les suivantes :

- Les moules utilisés sont cylindriques de diamètre 4,5cm et de hauteur de 5 cm et de diamètre 5cm et de hauteur de 10 cm.
- Le Malaxeur 3R : est un appareil permet d'obtenir d'une manière constante un mélange d'une grande homogénéité tout en réduisant la durée de malaxage. On peut leur descriptif comme suivant :
  - Capacité malaxeur automatique mortier 5 litres
  - Introduction automatique du sable
  - Malaxeur automatique mortier fourni avec bol inox capacité 4,7 litres
  - Alimentation : 380 V 50 HZ
  - Dimensions : 340 x 460 x 700 mm
  - Poids : environ 28 kg
- La presse Carver 4350.L : est une presse hydraulique manuelle qui permet de déterminer la résistance à la compression.

### 2.3 PROTOCOLE DE LA PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES

Nous avons mélangé les composants de la formulation, la durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir une pâte mortier homogène. Dans un premier temps, nous avons introduit le ciment puis les résines, ainsi que nous avons mélangé le tout manuellement ensuite en versant progressivement des quantités de l'eau chaude et le polymère solubilisé dans le chloroforme ou chauffé après avoir mis le malaxeur en marche à vitesse moyenne. Nous arrêtons le malaxeur, puis enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent à la paroi et au fond du récipient en le repoussant ensuite le malaxage vers le milieu de celui-ci. Nous Reprenons ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s. Nous avons versé le mélange dans les moules 4x5 cm et les moules 5x10 cm, et nous avons conservé les moules dans les normes à une température de 20°C qui correspond à la température ambiante à 3heurs du temps. Nous avons ensuite enlevé les moules doucement, la compression des éprouvettes obtenues sont les jours 7, 14, 21 et 28 jours.

Concernant le revêtement des éprouvettes, nous avons préparé la formulation composée de ciment, de la résine et de l'eau dont le même protocole ci-dessus, puis nous avons les revêtus par le polymère après 7 jours.

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1 ESSAIS DE 1 À 11

Les essais réalisés dans cette première partie du travail présentent un pourcentage de REI fixe et une variation du pourcentage du ciment, de l'eau et du polymère (Novolaque (N), Diglycidyle Ether bisphénol A (DGEBA), Epaissement(Ep)) [9, 10]

Le tableau 1 présente l'ensemble des formulations des différents essais précitées :

Tableau 1. Essai de 1 à 11

Essai	% /masse (g)	REI	Ciment	Eau	Chloroforme	Polymère		
						N	DGEBA	Ep
Référence	%	12	67.92	20.19	-	-	-	-
	kg	0.079	0.453	0.135	-	-	-	-
Essai 1	%	12	66.92	-	11.19	10		
	g	0.6	6.69	-	0.12	0.4	0.05	0.05
Essai 2	%	12	66.92	13.19	-	10		
	g	1.2	6.69	0.272	-	0	0.5	0.5
Essai 3	%	12	66.92	17.19	0.1	6		
	g	15.6	86.69	22.05	0.2	7.8	0	0
Essai 4	%	12	66.92	11.19	1.4	10		
	g	15.6	86.69	14.54	2	11	0	0
Essai 5	%	12	60	-	13	15		
	g	15.6	79	-	16.9	19.5	0	0
Essai 6	%	12	66.92	17.19	-	6		
	g	15.6	86.69	22.05	-	5.2	2.6	0
Essai 7	%	12	64.92	13.19	1	10		
	g	15.6	84.39	17.15	1.2	9	4	0
Essai 8	%	12	64.92	13	-	15		
	g	15.6	84.4	16.9	3	7	9.75	
Essai 9	%	12	66.92	17.19	-	6		
	g	15.6	86.69	22.05	-		7.8	
Essai 10	%	12	64.92	13.19	-	10		
	g	15.6	84.39	17.15	-	0	13	0
Essai 11	%	12	60	13	-	15		
	g	15.6	79	16.9	-	0	19.5	0

Le tableau 2 présente les résultats de la résistance à la compression pour les différents essais réalisés

Tableau 2. Résultats de la résistance des matrices des différents essais 1 à 11.

Essai	Poids (Kg)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Résistance (pound)	Résistance (MPa)	observation
1	0.080	4	5	0	0	Trop poreux
2	0.01	4	5	0	0	Trop poreux
3	0.095	4	5	594	0.16	R.A.S
4	0.109	4	5	0	0	R.A.S
5	0.180	4	5	0	0	R.A.S
6	0.110	4	5	550	0.15	R.A.S
7	0.145	4	5	550	0.15	R.A.S
8	0.129	4	5	0	0	R.A.S
9	0.170	4	5	220	0.06	R.A.S
10	0.109	4	5	220	0.06	R.A.S
11	0.156	4	5	0	0	R.A.S

D'après le tableau 2, nous avons remarqué que :

- Les matrices obtenues pour l'essai 1 et 2 sont très poreux dès 3 heures de séchage, ce qui explique la mesure de la résistance. Les figures 1 et 2 illustrent l'état des matrices des essais 1 et 2 présentant une porosité importante et pas de confinement.
- Les matrices des essais 3,4 et 5 (figure 3) composées de REI, ciment et une quantité de polymère époxy novolaque soluble dans du chloroforme à différents pourcentages 6%, 10% et 15% sont des matrices solides.
- La résistance à la compression pour 10 et 15% de polymère « N » est nulle par contre celle de 6% est de 0.16MPa.
- Les matrices des essais 6,7 et 8 (figure 4) sont des matrices solides qui ont une résistance de l'ordre de 0.15MPa.
- Les matrices des essais n°9,10 et 11 (figure 5) composées de REI, ciment et une quantité de polymère DGEBA à différents pourcentages 6%, 10% et 15% sont des matrices solides.
- La résistance à la compression pour les essais 9 et 10 est de 0.06MPa, pour l'essai 11 la résistance est nulle.



**Fig. 1. Photographie de la matrice de l'essai 1**



**Fig. 2. Photographie de la matrice de l'essai 2**



**Fig. 3. Photographie des matrices des essais (réf, 3,4 et 5)**



**Fig. 4. Photographie des matrices des essais (6,7, 8)**



Fig. 5. Photographie des matrices des essais (9,10, 11)

La figure 6 illustre la variation de la résistance la compression en fonction du pourcentage des polymères pour l'essai de 3 à 11.

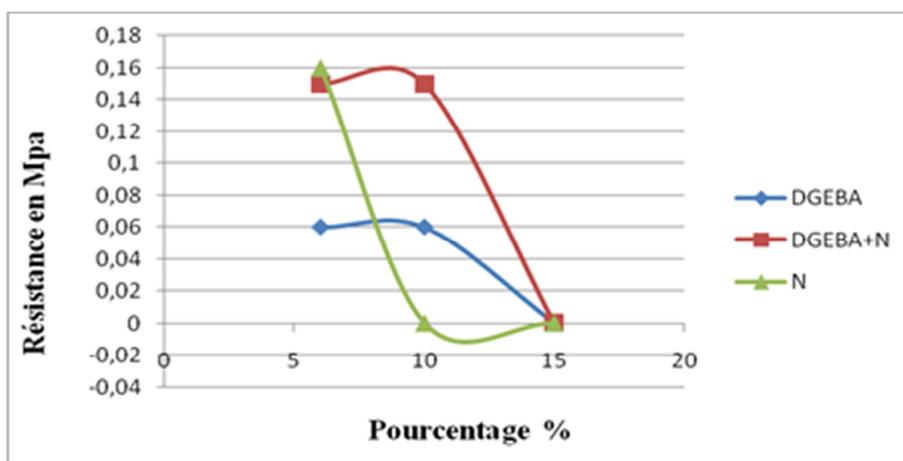


Fig. 6. Résistances des essais de 3 à 11

Selon la figure 6 nous avons constaté que :

- La résistance à la compression diminue au fur et à mesure que les pourcentages des constituants augmentent.
- La résistance à la compression de l'essai 3 (à 6% de polymère époxyde novolaque) est supérieure par rapport à celle de l'essai 6 (à 6% de polymère mixte (DGEBA, Novolaque)).
- La comparaison est la même pour le pourcentage à 10 %.
- La résistance à la compression est nulle pour l'ensemble des essais à 15%.

En conclusion pour cette première partie d'étude, La résistance à la compression est relativement faible par rapport à la résistance de la formulation de référence [4].

C'est pour cela nous avons réalisé d'autres essais (12 et 13) pour essayer d'augmenter la résistance à la compression à partir de la formulation initiale.

### 3.2 ESSAIS DE 12 ET 13

Les deux essais réalisés dans cette partie du travail présentent une formulation de base revêtue par une couche de polymère époxy novolaque après 7 jours de séchage d'une part, et d'autre part revêtues par deux couches de même polymère à un intervalle de 07 jours.

- **Essais 12:**

Les matrices préparées selon la formulation de référence (tableau 3) ont été revêtues après 07 jours par le polymère époxy novolaque et comparées à des matrices non revêtues.

Le tableau 3 présente la formulation de base:

**Tableau 3. Formulation de l'étude à 0 % de polymère**

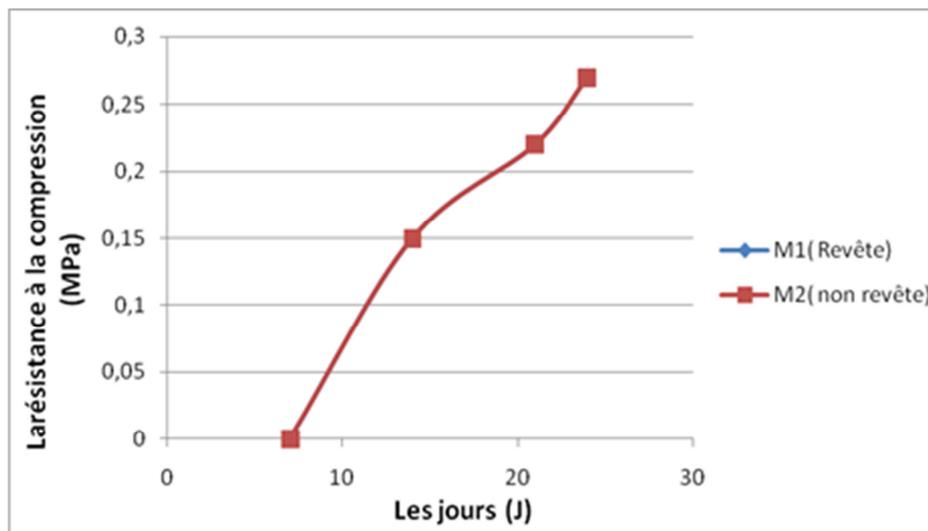
Constituants	REI	Ciment	Eau
Pourcentage (%)	12	67.92	20.19
Quantité (g)	141.6	801.456	238.242

Les résultats de la résistance à la compression pour les matrices à 7,14, 21 et 28 jours sont représentés dans le tableau 12:

**Tableau 4. Résistance des matrices Essai 12.**

Temps (jours)	Poids (kg)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Résistance (pound)		Résistance (MPa)	
				Revêtue	Non revêtue	Revêtue	Non revêtue
7 j	0.128	4	5	0	0	0	0
14j	0.120	4	5	550	550	0,15	0,15
21j	0.116	4	5	814	814	0,22	0,22
28j	0.109	4	5	1000	1000	0,27	0,27

Les résultats du tableau 4 sont illustrés dans la figure 7:



**Fig. 7. Variation de la résistance à la compression pour l'essai 12 en fonction du temps**

La figure 7 nous montre que :

- La résistance à la compression augmente en fonction du temps pour les deux matrices.
- La résistance à la compression pour la matrice revêtue par le polymère est identique à la matrice non revêtue.
- La figure 8 présente l'état de confinement des matrices.

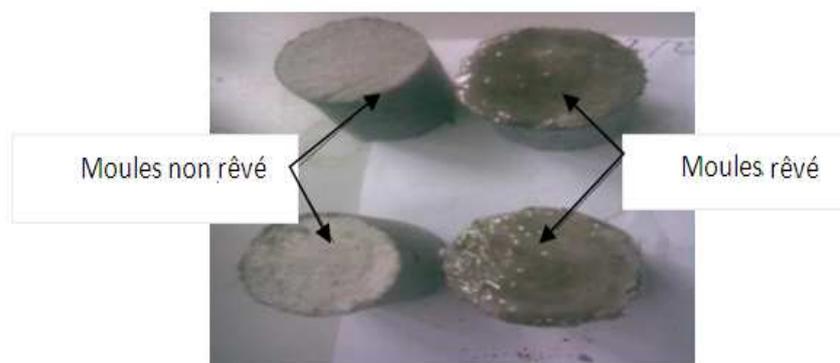


Fig. 8. Photographie de la matrice de l'essai de revêtement d'une couche

• **Essais 13:**

Les matrices préparées selon la formulation de référence (tableau 3) ont été revêtues 2 fois à un intervalle de 07 jours par le polymère époxy novolaque et comparées à des matrices non revêtues.

Les résultats de la résistance à la compression pour ces matrices à 7,14, 21 et 28 jours sont représentés dans le tableau 5:

Tableau 5. Résistance des matrices Essai 13

Temps (jours)	Poids (kg)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Resistance (pound)		Resistance (MPa)	
				Revête	Non revête	Revête	Non revête
7j	0.128	4	5	770	1100	0.21	0.3
14j	0.120	4	5	1100	1540	0.3	0.42
21j	0.116	4	5	1540	1700	0.42	0.46
28j	0.109	4	5	1700	2000	0.46	0.54

Les résultats du tableau 5 sont illustrés dans la figure 9 :

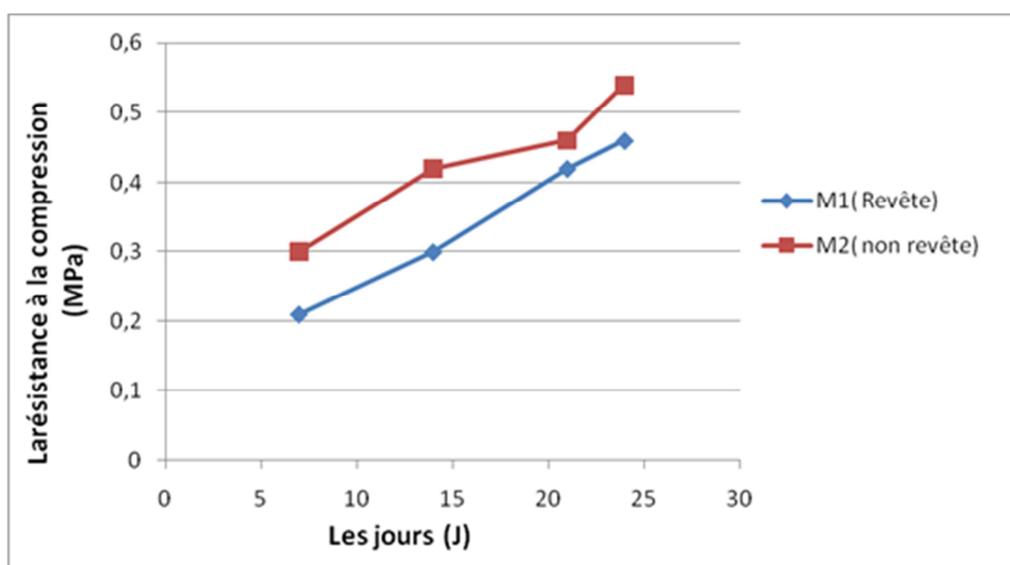


Fig. 9. Variation de la résistance à la compression pour l'essai 13 en fonction du temps

La figure 9 nous montre que :

- La résistance à la compression augmente en fonction du temps pour les deux matrices.
- La résistance à la compression de l'essai revêtue de Polymère (époxyde novolaque) est inférieure à celle du non revêtue (formulation de base).
- la figure 10 présente l'état de confinement des matrices :



*Fig. 10. Photographie de la matrice de l'essai de revêtement de deux couches*

En conclusion pour ces deux essais réalisés, nous pouvons conclure que le revêtement par le polymère époxy novolaque à une couche meilleure que par deux couches.

### 3.3 ESSAI N°14

Dans le cadre de cette étude, nous avons essayé de chercher une autre méthode pour introduire le polymère époxy novolaque dans la matrice de ciment afin d'améliorer la résistance à la compression.

Cet essai consiste à chauffer le polymère à température de 70 °C et le mélanger avec de l'eau chaude pour le rendre fluide.

Le tableau 6 présente la formulation à 6% de polymère époxy Novolaque :

*Tableau 6. Formulation de l'essai 14*

Constituants	REI	Ciment	Eau chaude	Polymère (N)
Pourcentage (%)	12	63	19	6
Quantité (g)	120	630	190	60

La matrice obtenue après un temps de séchage de 5 heures est une matrice solide voir figure 11 :



*Fig. 11. Photographie de la matrice de l'essai à 6% de polymère chauffé*

Les résultats de la résistance à la compression sont représentés dans le tableau 7:

Tableau 7. Résultats de la résistance de l'essai 14

Temps (jours)	Poids (kg)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Resistance (pound)	Resistance (MPa)	Observation
7j	0.420	9.5	5.6	550	0.15	RAS
14j	0.406	9.5	5.6	1100	0.3	RAS
21j	0.386	9.5	5.6	2000	0.54	RAS
28j	0.408	9.5	5.6	2200	0.6	RAS

Les résultats du tableau 7 sont illustrés dans la figure 12 :

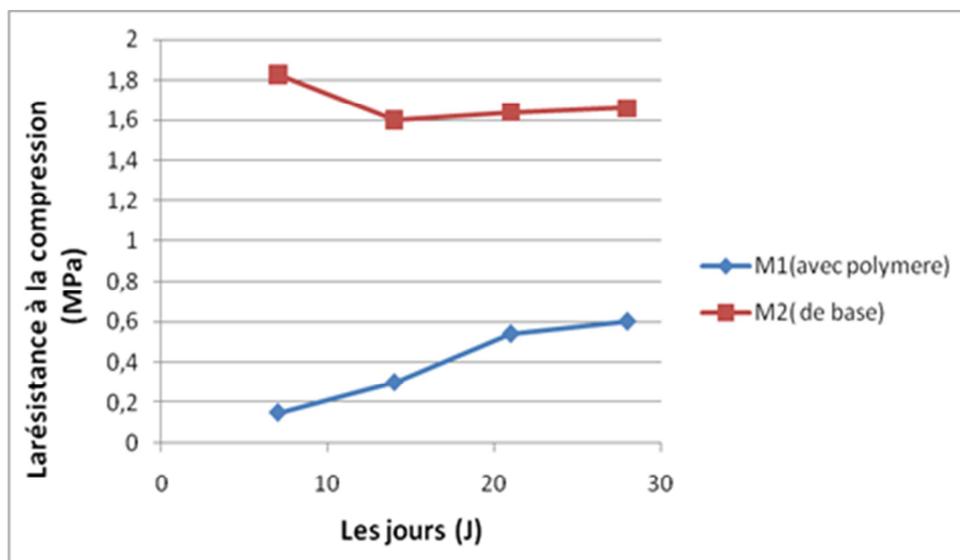


Fig. 12. Variation de la résistance à la compression pour l'essai 14 en fonction du temps

La figure 12 nous montre que :

- La résistance à la compression augmente en fonction du temps pour la matrice qui contient le polymère époxyde novolaque.
- La résistance à la compression augmente en fonction du temps pour la matrice de base.
- La résistance à la compression des matrices avec le Polymère époxyde novolaque de l'essai 14 est inférieure à celle des matrices de base (formulation de base).

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que cette essai réalisée on a une influence faible par rapport la matrice composée de ciment, REI et l'eau chaude.

### 3.4 ESSAI 15

Dans le cadre de cette étude, nous avons essayé de chercher une autre méthode pour introduire le polymère époxy novolaque dans la matrice de ciment afin d'améliorer la résistance à la compression.

Cet essai consiste à chauffer le polymère à température de 70 °C et le mélanger avec de l'eau très chaude pour le rendre fluide.

Le tableau 8 présente la formulation à 1,48 % de polymère (N):

**Tableau 8. Formulation de l'essai 15**

Constituants	REI	Ciment	Eau	Polymère (N)
Pourcentage (%)	12	69,67	24,19	1,48
Quantité (Kg)	0,365	2,039	0,721	0,045

La matrice obtenue après un temps de séchage de 5 heures est une matrice solide voir la figure 13:



**Fig. 13. Photographie de la matrice de l'essai 16 à 1,48 % de polymère**

Les résultats de la résistance à la compression sont représentés dans le tableau 9 :

**Tableau 9. Résultats de la résistance de l'essai 15**

Temps (jours)	Ech n°	Poids (kg)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Resistance (pound)	Resistance (MPa)	Observation
7j	1	0.408	9.5	5.6	3000	0.81	Trop poreux
7j	2	0.406	9.2	5.6	3500	0.95	Trop poreux
14j	1	0.378	9.5	5.6	3800	1.03	RAS
14j	2	0.393	9.5	5.6	3500	0.95	RAS
21j	1	0.367	9.6	5.6	5400	1.46	RAS
21j	2	0.388	9.8	5.6	4000	1.08	RAS

Les résultats du tableau 9 sont illustrés dans la figure 14:

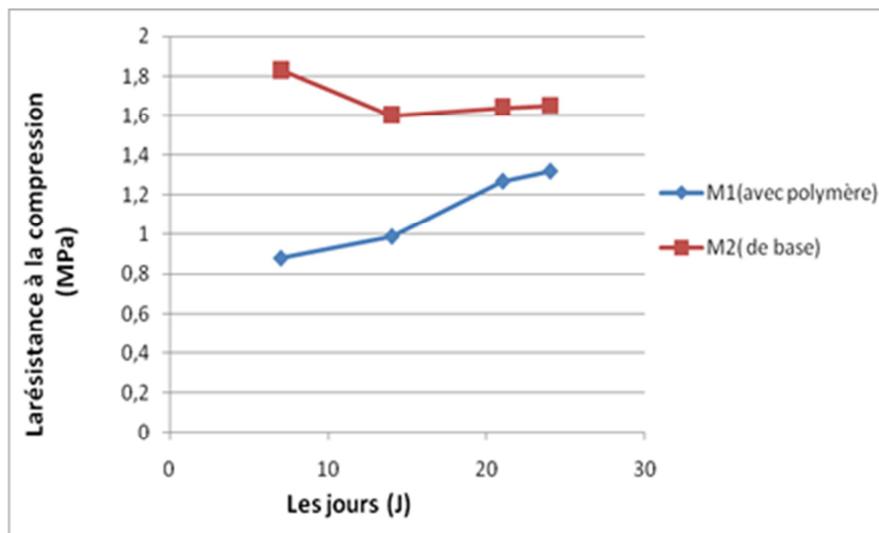


Fig. 14. Variation de la résistance à la compression pour l'essai 15 en fonction du temps.

La figure 14 nous montre que :

- La résistance à la compression augmente en fonction du temps pour la matrice qui contient le polymère époxyde novolaque.
- La résistance à la compression augmente en fonction du temps pour la matrice de base.
- La résistance à la compression des matrices avec le Polymère époxyde novolaque de l'essai 15 est inférieure à celle des matrices sans polymère(N).

Selon ces résultats, nous pouvons conclure que cette essai réalisée on n'a pas une meilleure influence sur la matrice composée de ciment, REI et eau chaud.

### 3.5 ESSAI 16

Dans cette étude, Nous avons essayé de chercher une autre méthode pour améliorer la résistance à la compression avec l'ajout du polymère époxy novolaque dans la matrice de ciment.

Le tableau 10 présente la formulation à 6% de polymère époxy Novolaque :

Tableau 10. Formulation de l'essai 16

Constituants	REI	Ciment	Eau	Polymère (N)
Pourcentage (%)	12	67	19	6
Quantité (g)	120	670	190	60

La matrice obtenue par des étapes de préparation voir la figure 15:

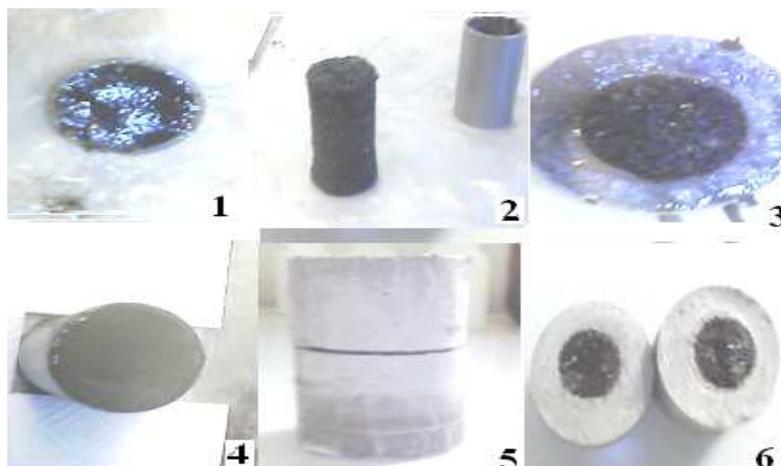


Fig. 15. Photographie des étapes de préparation de la matrice de l'essai 16

Les résultats de la résistance à la compression sont représentés dans le tableau 11:

Tableau 11. Résultats de la résistance de l'essai 16

Temps (jours)	Poids (kg)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Resistance (pound)	Resistance (Mpa)	Observation
7j	0.410	9.5	5.6	4000	1.08	RAS

Nous pouvons conclure que La résistance à la compression de cet essai est importante par rapport à d'autres études car leur valeur à 7 jours est égale la valeur de 28 jour de l'essai 15, mais la matrice obtenue se divise en deux.

#### 4 CONCLUSION

Dans notre étude nous avons fait l'approche de différentes méthodes dans plusieurs essais. Dans un premier temps nous avons utilisé comme méthode l'ajout de polymère dans la formulation prés établie (ciment/eau) à conditions de leur solubilisation dans le solvant (chloroforme, eau chaude) et/ou par le chauffage. Ainsi que par la mise en œuvre de la pré-formulation un bloc de matrice de ciment, et enfin par le confinement (revêtement) des matrices de base par le polymère (N). D'après les résultats obtenus nous sommes arrivés à trouver des matrices solides à différentes résistances. La résistance à la compression de l'essai est relativement supérieure par rapport aux autres formulations identifiées (réalisées) jusqu'à présent. En perspectives nous comptons bien utilisé les polymères sous forme de granulats dans les nouvelles formulations de la matrice de conditionnement des déchets radioactifs qui sont des résines échangeuses d'ions (REI) utilisées dans l'adoucissement de l'eau du réacteur triga mark II sans les avoir solubilisés préalablement.

#### REFERENCES

- [1] Abderrahim Bouih "Spécification de prise en charge des déchets radioactifs de CENM/UED", D/UED/EX/01version 2009.
- [2] K. Sakr, M. S. Sayed, M. B. Hafez\* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 256, No. 2 (2003) 179–184.
- [3] Z. Faiz ; S. Fakhi ; A. Bouih ; A. Idrissi ; M. Mouldouira *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (6) (2012) 1129-1136.
- [4] Bouchra Elhilal, T. Lambarki El Alloui, A. Bouih, A. El Harfi. "Characterization of ion exchange resins used in the purification of nuclear reactor water circuits TRIGA MARK II" article soumis au Journal of Materials and Environmental Science (JMES)
- [5] Atiqa Bekhta and Ahmed Elharfi. "Synthesis of novolac matrix and study of a new composite in the presence of trisodium phosphate. Characterization and viscometric study, rheological and thermal degradation" article soumis.
- [6] International Atomic Energy Agency, "Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Waste in Polymer", Technical Report Series, 289(1988), IAEA, Vienna.

- [7] Oussama EL ALAOUI. " optimisation de la formulation et de la tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde" Thèse de doctorat (2012) Tunis.
- [8] J. P. AGRAWAL, N. M. BHIDE, S. R. NAIDU, J. Thermal Anal. 39 (1993) 351.
- [9] Shibalovich, V. et al. Khim. Prom. St. Rubezhok 3 (1988) 28.
- [10] W. Burchard, S.Bantle and S. A. Zahir., Makromol.Chem., 182, 145 (1981).