

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE CHIMIQUE

Option : Génie de la formulation.

Présenté par :

Melle Imène BESSAFA et Melle Asma BOUKABOUS

**MISE AU POINT D'UN GEL A VISEE
THERAPEUTIQUE A BASE D'EAU THERMO-
MINERALE DE HAMMAM GUERGOUR ET DE
HAMMAM MELOUANE**

Dirigés par:

Dr. Abdelkader HADJSADOK, Université de Blida

Romaissa MOKDAD

Septembre 2015

Résumé

Les eaux thermo-minérales de hammam Geurgour et de hammam Melouane sont classées, respectivement, parmi les eaux sulfatées calciques et chlorurées sodiques. Les caractéristiques très exceptionnelles des eaux thermo-minérales ont ouvert les portes aux chercheurs pour les exploiter, dans le but de bénéficier de leurs vertus. Dans ce contexte, notre travail consistait à formuler un produit de soin dédié aux problèmes dermatologiques et de rhumatisme. La démarche empruntée était basée sur la méthode des plans d'expériences, dont l'objectif était d'optimiser les caractéristiques sensorielles et rhéologiques. Le choix judicieux des excipients a permis d'obtenir une formulation d'un gel à comportement rhéologique structural, de bonne qualité sensorielle et satisfaisant sur le plan clinique.

Mots clés : Eau thermale, hammam Melouane, hammam Geurgour, sulfaté-calcique, chloruré-sodique, rhumatologie, l'arthrose, eczéma, psoriasis, carbopol/polymère, rhéologie, plan d'expériences.

Abstract

The thermo-mineral waters of hammam Melouane and hammam Geurgour are classified, respectively, of the calcium sulphates and chlorinated sodic waters. The very exceptional features of thermo-mineral waters have opened doors for researchers to exploit them in order to benefit from their virtues. In this context, our work was to develop a skincare product dedicated to skin problems and rheumatism. The approach taken was based on the method of design of experiments; the objective was to optimize the sensory and rheological characteristics. The judicious choice of excipients allowed to obtain a formulation of a structural gel rheological behavior, good quality Sensory and clinically satisfactory.

Keywords: thermal water, hammam Meloune, hammam Geurgour, sulfated lime, sodium-chlorinated, rheumatology, arthritis, eczema, psoriasis, carbopol / polymer, rheology, design of experiments.

ملخص

تصنف المياه المعدنية الحرارية، لحمام قرقورو حمام ملوان على التوالي من المياه الغنية بالكبريتات و الكالسيوم، وكلوريد الصوديوم. وقد فتحت المميزات الاستثنائية جدا للمياه المعدنية الحرارية الأبواب أمام الباحثين، لاستغلالها من أجل الاستفادة من فضائلها. في هذا السياق، كان هدفنا تركيب منتج للعناية بالبشرة مختص في مشاكل الجلد، والروماتيزم. واستند المنهج المتبع في طريقة تصميم التجارب، و الهدف منها هو تحسين الخصائص الحسية والانسيابية. سمح لنا الخيار الحكيم للمكونات الحصول على هلام، ذو خاصية انسيابية هيكلية و نوعية حسية جيدة، و مرضية طبياً.

كلمات البحث: المياه المعدنية الحرارية، حمام ملوان، حمام قرقور، كبريتات الكالسيوم، كلوريد الصوديوم، امراض الروماتيزم، التهاب المفاصل، الأكزيما، الصدفية، البوليمر، الريولوجيا، تصميم التجارب.

Ce chapitre est exposé et discuté l'essentiel des résultats expérimentaux et numériques issus de la modélisation en surface des réponses. Le détail de tous les résultats quantifiés est classé en annexes.

IV.1. TEST SENSORIEL

Une enquête comparative a été effectuée aux mêmes personnes interrogées sur les produits de référence et les produits formulés.

Les résultats de l'étude, relatifs à un échantillon type, sont représentés dans le tableau ci-dessous (tableau IV.1), et ceux des autres essais sont archivés en annexe 03.

Tableau IV.1: fiche d'appréciation sensorielle de l'un des produits formulés.

	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
Contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture du produit	07	09	02	02
Caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Etalement (de facile à très difficile)	10	07	02	01
Douceur	05	12	03	
Caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	06	09	04	01

L'évaluation finale de chaque propriété sensorielle se fait en additionnant les pourcentages entre excellents et bons et les pourcentages entre moyens et mauvais.

D'après la fiche d'appréciation, nous constatons que 85% des personnes apprécient bien la douceur du gel et 85% d'entre eux trouvent qu'elle s'étale facilement. En revanche, seulement 25% des évaluateurs (entre moyen et mauvais) pensent que le gel est collant, 80% d'entre eux aiment sa texture.

La note moyenne pondérée attribuée à ce produit par l'ensemble des évaluateurs est de 81,25 /100.

IV.2. TEST D'ÉCOULEMENT A L'ÉQUILIBRE

IV.2.1 Courbes d'écoulement des produits de référence

Sur la figure (IV.1) sont représentées les courbes d'écoulement en termes de viscosité apparente en fonction de la vitesse de cisaillement. A première vue, le comportement de deux gels de référence est globalement non newtonien, vu la variation affichée de la viscosité. Toutefois, il apparaît clairement la présence de deux zones distinctes : une zone au comportement newtonien dans la gamme de cisaillement $< 0,01 \text{ s}^{-1}$ et une deuxième zone rhéofluidifiante s'étalant jusqu'à une valeur de cisaillement de 1000 s^{-1} .

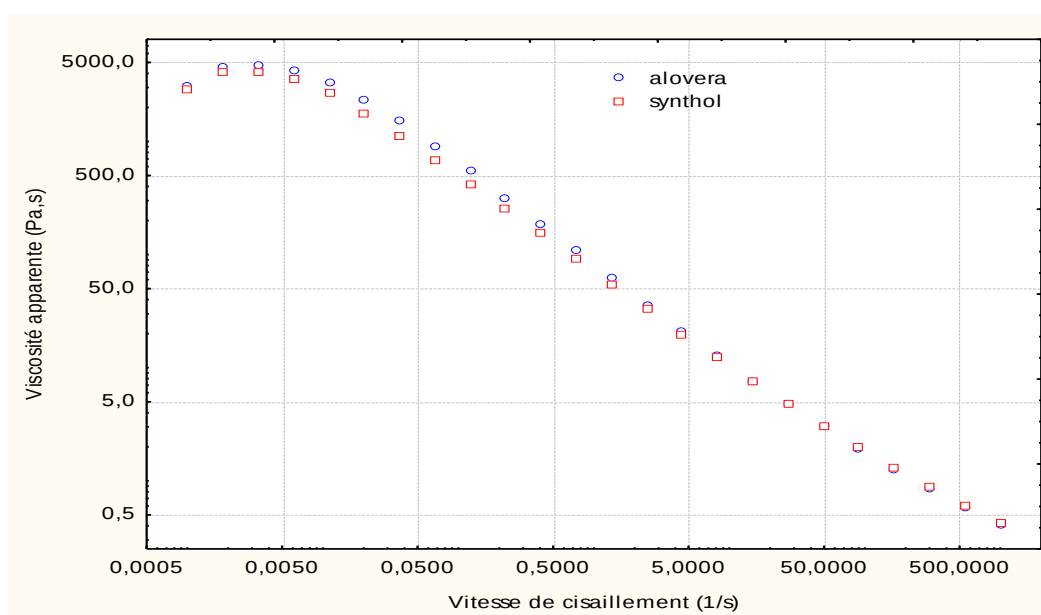


Figure IV.1 : Courbes d'écoulement des produits de références, T=20°C.

Dans la première zone, on distingue deux phénomènes antagonistes qui coexistent, générant ainsi un comportement newtonien avec $\eta_0 = \text{constante}$: une déstructuration partielle de la structure due à la présence de force de cisaillement de répulsion sous un très faible cisaillement ($\dot{\gamma}$ très petit) et une réorganisation partielle de la structure des macromolécules en pelote, due aux forces d'attraction de Van Der Waals et aux forces de rappel élastiques des macromolécules.

La résultante de la déstructuration et de la réorganisation partielle des macromolécules est alors nulle et par conséquent, la structure ne subit aucun changement significatif qui puisse générer une modification de la résistance à l'écoulement. De ce fait, la viscosité augmente et diminue en même temps et donc reste stable et devient constante. C'est la viscosité pour le taux de cisaillement nul η_0 .

La présence d'une viscosité η_0 au cisaillement nul pour les gels de référence, prouve que le produit ne doit pas nécessiter la présence d'un comportement plastique et donc une contrainte seuil. Ceci dénote l'importance du comportement « liquide » du produit (malgré l'appellation d'un gel) qui confère au produit un étalement facile et un écoulement aisé au faible cisaillement et donc sans pour autant exercer une sollicitation importante. Il s'avère que ce résultat impacte significativement la texture agréable souhaitée par les utilisateurs.

Dans la deuxième zone, l'augmentation de la vitesse de déformation de cisaillement met en jeu des forces répulsives de cisaillement plus importantes que l'attraction, en conséquence, l'étalement et la dispersion des macromolécules dominent leur re-enchevêtrement. En conséquence le fluide aura un comportement rhéofluidifiant, $\eta_0 = f(\dot{\gamma})$

Il est facile d'imaginer que dans une solution de polymère, en absence de sollicitation mécanique, c à d au repos, les molécules s'enchevêtrent très souvent entre elles pour obtenir des pelotes de macromolécules (figure IV.2).

Lorsque le gel (la solution polymérique) est sous sollicitation, ces pelotes (ou agrégats) résistent fortement à l'écoulement si bien que la viscosité apparente mesurée est très élevée. Toutefois, en augmentant d'avantage l'intensité de la contrainte de cisaillement, et donc la vitesse de déformation, les molécules seront orientées suivant la direction de cisaillement et enregistrent une dispersion au niveau de leur structure (figure IV.3), si bien que leur résistance à l'écoulement s'affaiblit d'où la diminution de la viscosité apparente.

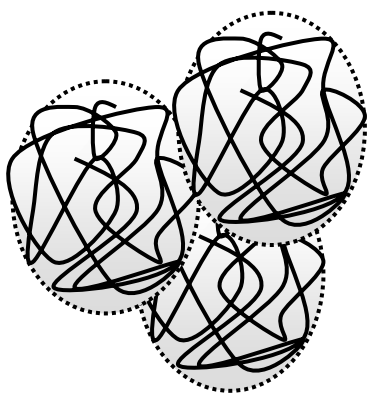


Figure IV.2 : Pelote de macromolécules.

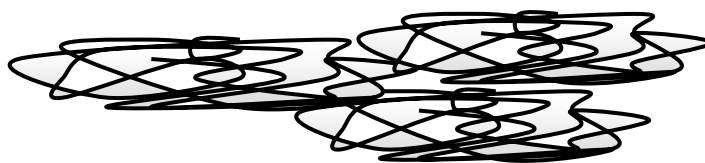


Figure IV.3 : Macromolécules sous cisaillement orientées dispersées.

Sur la figure (IV.4) est représentée la courbe d'écoulement d'un des essais de formulation de la matrice d'expériences. Les autres courbes d'écoulements des différents essais se trouvent en annexe 04. Clairement, l'allure de la courbe est similaire à celles des deux produits de référence, l'aloevera et le synthol. Ceci reconforte l'idée du choix des excipients qui ont conféré aux essais un comportement de type structural avec la présence d'une viscosité au taux de cisaillement nul.

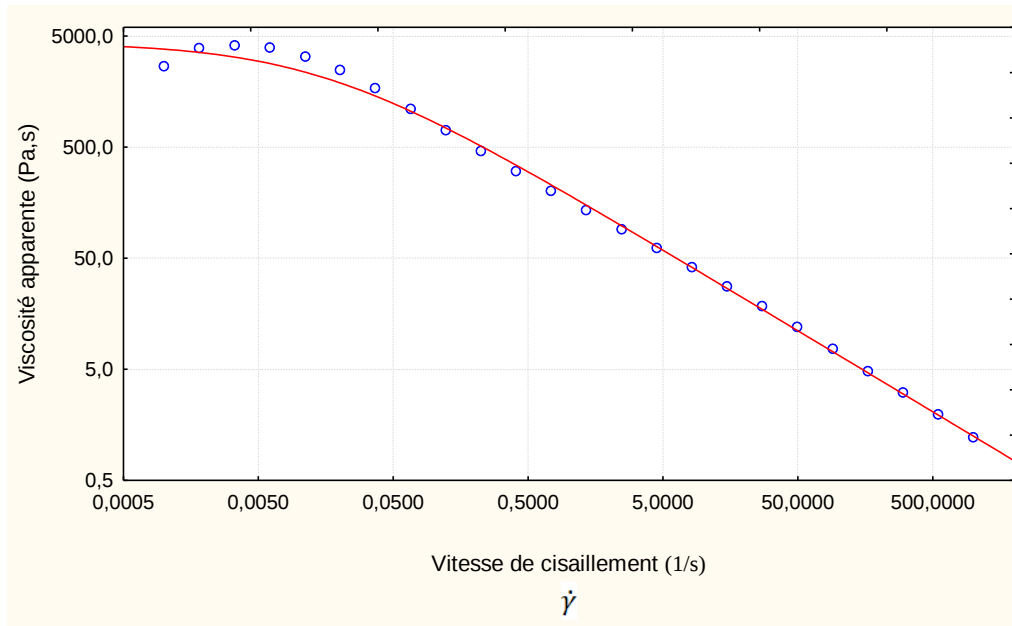


Figure IV.4 : Courbe d'écoulement de l'un des produits formulés à T=20°C.

IV. 2.2. Modélisation des courbes d'écoulement [73]

Les fluides à comportement structural, ne présentant pas de contrainte seuil, peuvent être généralement modélisés par le modèle de Cross ou celui de Carreau lorsqu'il est possible d'atteindre une plus large gamme de gradients de cisaillements. Ces modèles tiennent compte des limites du comportement rhéologique, à savoir qu'à très faible cisaillement, on observe généralement un comportement Newtonien, avec un plateau de viscosité noté η_0 ; le gradient de cisaillement n'est pas suffisant pour permettre un désenchevêtrement et un alignement des molécules dans le sens de l'écoulement. Et aux forts cisaillements, un deuxième plateau de viscosité apparaît, noté η_∞ ; la viscosité est alors indépendante de la vitesse de cisaillement. Dans notre cas d'étude nous avons opté pour le modèle de Cross qui vraisemblablement donne des résultats d'ajustement meilleurs.

L'équation de ce modèle est:

$$\eta - \eta_{\infty} = \frac{\eta_{\infty} - \eta_0}{1 + (K \cdot \dot{\gamma})^n} \dots \dots \dots (4)$$

Où :

K : Est le temps caractéristique nécessaire pour obtenir un début de déstructuration et donc un comportement rhéofluidifiant du gel. Nous préférons substituer ce paramètre par son inverse, $\frac{1}{K}$ qui a la dimension d'une vitesse de cisaillement, défini comme étant la vitesse de cisaillement critique, $D_{critique}$, nécessaire pour avoir un début de déstructuration de la dispersion.

η_0 : La viscosité du palier newtonien à faible taux de cisaillement.

η_{∞} : La viscosité du deuxième plateau newtonien à taux de cisaillement élevé.

n : Indice de loi de puissance.

Vue l'absence de la deuxième région newtonienne au fort cisaillement, on prendra $\eta_{\infty} = 0$ comme approximation afin de ne pas favoriser la variabilité de ce paramètre. Ceci donne :

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + (\frac{\dot{\gamma}}{D_{critique}})^n} \dots \dots \dots (5)$$

Il est évident, au vu de la figure (IV.5) que le modèle rhéologique de Cross génère de bonnes valeurs de corrélation entre les courbes théoriques et expérimentales. Cette corrélation s'exprime par le coefficient de détermination rhéologique R^2 qui paraît pour tous les essais proche de 1, (Tableau IV.2).

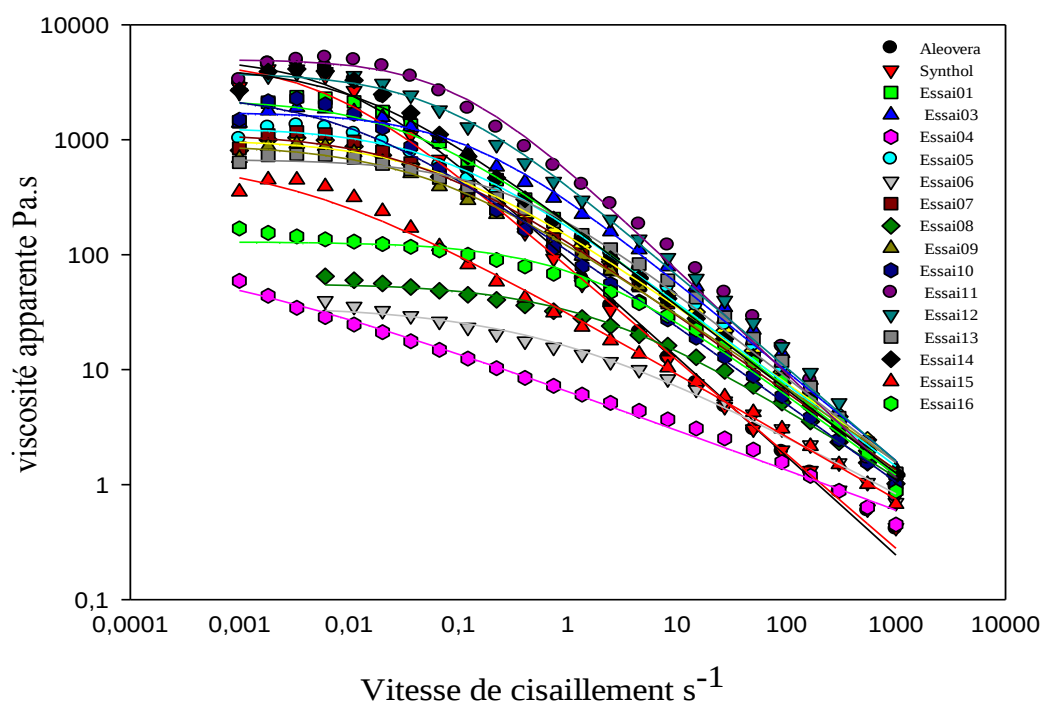


Figure IV.5 : Courbe de viscosité (en échelle double logarithmique) de produits de référence et les 16 essais à T=20°C.

Tableau IV.2: Paramètres rhéologiques du modèle de Cross.

Echantillons		η_0 (Pa.s)	$D_{critique}$ (s ⁻¹)	n	R ²
N° Essai	Ordre aléatoire				
1	7	2235,59	0,089	0,73	0,95
2	15	1002,88	0,169	0,67	0,97
3	12	1732,24	0,201	0,78	0,97
4	1	137,86	0,049	0,35	0,98
5	14	1273,91	0,158	0,71	0,97
6	5	35,66	0,806	0,51	0,97
7	13	1131,43	0,126	0,67	0,96
8	6	56,42	1,389	0,61	0,98
9	16	911,12	0,150	0,64	0,96
10	10	2540,16	0,044	0,67	0,90
11	4	4999,27	0,119	0,90	0,96
12	8	3795,79	0,114	0,81	0,96
13	11	673,24	0,391	0,74	0,98
14	2	4367,65	0,044	0,73	0,90
15	9	704,23	0,046	0,54	0,91
16	3	128,96	1,250	0,71	0,96

IV. 2.3. Matrice des réponses

Toutes les réponses obtenues à l'issue des différents contrôles effectués sur les produits finis sont rassemblées dans la matrice suivante :

Tableau IV.3: Matrice des réponses

N° Essai	Ordre aléatoire	η_0 (Pa.s)	$D_{critique}$ (s ⁻¹)	n	Texture Note/20	Etalement Note/20	Collant Note/20	Douceur Note/20
1	7	2235,59	0,089	0,73	12,00	17,50	18,50	17,50
2	15	1002,88	0,169	0,67	15,25	16,50	15,00	14,50
3	12	1732,24	0,201	0,78	14,45	15,50	12,25	15,75
4	1	137,86	0,049	0,35	6,25	7,75	10,25	10,75
5	14	1273,91	0,158	0,71	14,25	16,75	15,25	16,50
6	5	35,66	0,806	0,51	16,00	16,25	16,25	17,50
7	13	1131,43	0,126	0,67	13,00	12,25	15,00	13,75
8	6	56,42	1,389	0,61	8,00	10,25	10,25	12,00
9	16	911,12	0,150	0,64	15,75	17,75	17,25	16,50
10	10	2540,16	0,044	0,67	14,25	16,25	16,25	17,00
11	4	4999,27	0,119	0,90	12,25	13,25	12,00	13,75
12	8	3795,79	0,114	0,81	10,75	10,00	11,25	14,50
13	11	673,24	0,391	0,74	14,50	14,25	14,50	14,75
14	2	4367,65	0,044	0,73	12,50	13,50	15,25	15,25
15	9	704,23	0,046	0,54	13,75	13,75	14,75	14,75
16	3	128,96	1,250	0,71	14,00	14,00	15,25	15,75

IV.2.4. Evaluation de la qualité au sens statistique du modèle en surface de réponses

Dans le présent travail, l'analyse de régression a été basée sur l'évaluation de deux paramètres : R^2 et Q^2 [74].

R^2 : Permet d'évaluer le degré, en pourcentage, d'explication du modèle mathématique établi (réponse prédite) par rapport aux réponses mesurées. Un bon modèle doit avoir un R^2 proche de l'unité.

Q^2 : le coefficient Q^2 est très similaire au coefficient R^2 ; il est parfois appelé R^2 prédictif, il peut être négatif pour les très mauvais modèles et donc nul, du fait que sa valeur est strictement positive ou nulle. Des valeurs proches de l'unité désignent de la même façon des modèles bien ajustés aux données expérimentales et prédictifs.

Reproductibilité: est la variation de la réponse dans les mêmes conditions (erreur pure), souvent aux points centraux, comparés à toute la variation de la réponse. Une valeur de reproductibilité de 1 représente la reproductibilité parfaite.

Les expressions mathématiques, de ces deux coefficients sont [75] :

$$R^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2 - \sum e_i^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad 0 \leq R^2 \leq 1 \dots\dots\dots(6)$$

$$Q^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2 - \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{(1 - h_i)}}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad 0 \leq Q^2 \leq 1 \dots\dots\dots(7)$$

Où :

y_i : La réponse mesurée au point i.

$\bar{y}$: La moyenne de l'ensemble des réponses y_i mesurées.

e_i : Le résidu au point i.

$\hat{y}_i$: La réponse prédite par le modèle au point i.

h_i : La variance de prédiction au point i.

La qualité du modèle mathématique obtenue peut être évaluée par des tests statistiques qui sont donnés directement par le programme MODDE 6.0. Ces tests statistiques sont représentés dans la Figure IV.6.

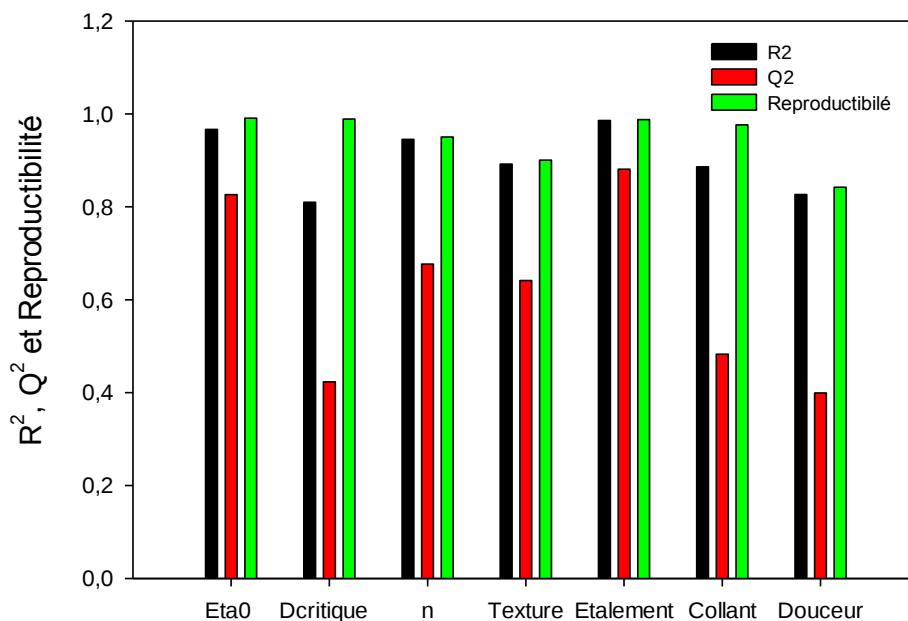


Figure IV.6: Histogrammes représentant R^2 , Q^2 et la reproductibilité des modèles en surface de réponses.

A la lumière de ces résultats statistiques, on peut dire que les modèles en surface de réponses présentent une très bonne qualité sur le plan de l'ajustement, en effet, les valeurs du coefficient de détermination R^2 sont très proches de 1.

Avec une prédiction entre 40% et 80%, ceci permettra de présenter des appréciations physicochimiques des effets des facteurs sur les réponses avec une assez bonne prédiction. Par ailleurs, les résultats de la reproductibilité sont remarquables (> 90 %).

Par ailleurs, il n'est pas intéressant d'étudier toutes les réponses, si celles-ci sont corrélées entre elles, aussi, en déterminant la matrice de corrélation réponse-réponse, tableau IV.4, issue des valeurs expérimentales de la matrice d'expériences. On remarque qu'en effet, il existe des réponses qui sont corrélées, affichant un coefficient de corrélation (en **gras** dans le tableau IV.4) $\geq 0,70$. Ces réponses sont : l'exposant n, la texture, l'étalement, la douceur et l'effet collant. On se propose, en conséquence de ne garder qu'une seule réponse de ces cinq, à savoir « l'étalement », du fait que cette réponse présente les meilleurs caractéristiques d'ajustement, de prédiction et de reproductibilité.

Tableau IV.4: Matrice de corrélation réponse-réponse.

Réponses	η_0	D_{critique}	n	Texture	Etalement	Douceur	collant
η_0	1,00	-0,29	0,69	-0,48	-0,59	-0,41	-0,60
D_{critique}	-0,29	1,00	0,45	0,04	-0,27	-0,52	-0,25
n	0,69	0,45	1,00	-0,54	-0,82	-0,84	-0,81
Texture	-0,47	0,04	-0,54	1,00	0,85	0,70	0,78
Etalement	-0,59	-0,27	-0,82	0,85	1,00	0,83	0,88
Collant	-0,41	-0,52	-0,84	0,70	0,83	1,00	0,87
Douceur	-0,60	-0,25	-0,81	0,78	0,88	0,87	1,00

Au terme de cette évaluation de la qualité des modèles, les réponses retenues pour la suite de l'étude sont η_0 , D_{critique} , et l'étalement.

Le modèle polynomial exprimant chaque réponse en fonction des facteurs de formulation, exprimés en coordonnées centrées réduites, s'écrivent alors :

$$\eta_0 = 2,92427 + 0,622512X_1 - 0,0644943X_2 - 0,0588421X_3 - 0,152542X_1^2 + 0,0459272X_2^2 + 0,0329512X_3^2 - 0,0016333X_1X_2 + 0,0238286X_1X_3 - 0,0439899X_2X_3$$

$$D_{critique} = -0,976702 - 0,24891X_1 + 0,391857X_2 - 0,335431X_3 + 0,111072X_1^2 \\ - 0,0935241X_2^2 - 0,146641X_3^2 - 0,154684X_1X_2 + 0,137369X_1X_3 \\ + 0,13117X_2X_3$$

$$\text{Étalement} = 13,9393 - 1,64X_1 - 0,846068X_2 + 1,15126X_3 - 0,0117468X_1^2 + 0,210927X_2^2 \\ - 0,0298614X_3^2 - 0,451443X_1X_2 - 0,448949X_1X_3 - 0,085166X_2X_3$$

IV.2.5. Etude de l'effet et de l'interaction des facteurs sur les réponses

Au terme de la modélisation en surface de réponse, on propose de déterminer l'effet de chaque facteur sur les différents ingrédients (Carbopol, HEC et l'eau thermique) des gels formulés.

IV.2.5.1. Effet du carbopol sur les réponses :

La courbe ci-dessous, illustre la variation des réponses en fonction de la quantité de Carbopol utilisée.

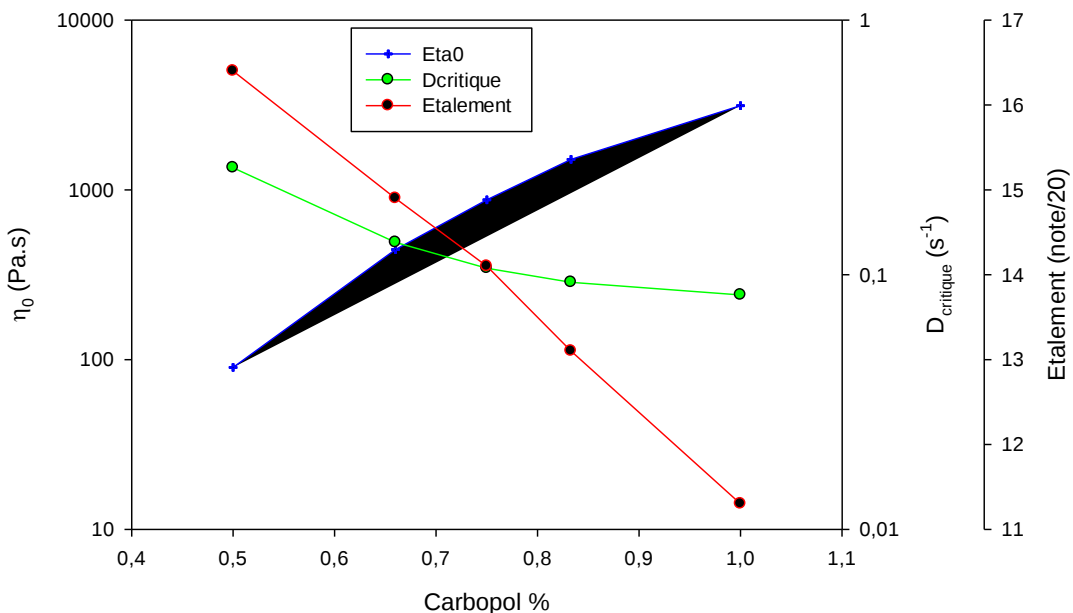


Figure IV.7: Courbe d'effet de la concentration du carbopol sur les trois réponses.

L'étalement qui représente toutes les autres caractéristiques sensorielles, est affecté par le carbopol, en effet son augmentation fait diminuer la note d'appréciation de l'étalement. En parallèle, on peut remarquer que l'effet de cet agent viscosifiant n'est pas linéaire sur les deux autres réponses, η_0 et $D_{critique}$.

Il agit significativement et positivement sur la viscosité au repos et négativement sur la vitesse de cisaillement critique dans le domaine (0.5% – 0.85%), puis ces deux effets semblent s'estomper, au-delà de 0.85%.

IV.2.5.2. Effet du HEC sur les trois réponses

La courbe suivante, illustre la variation des réponses en fonction de la quantité du HEC.

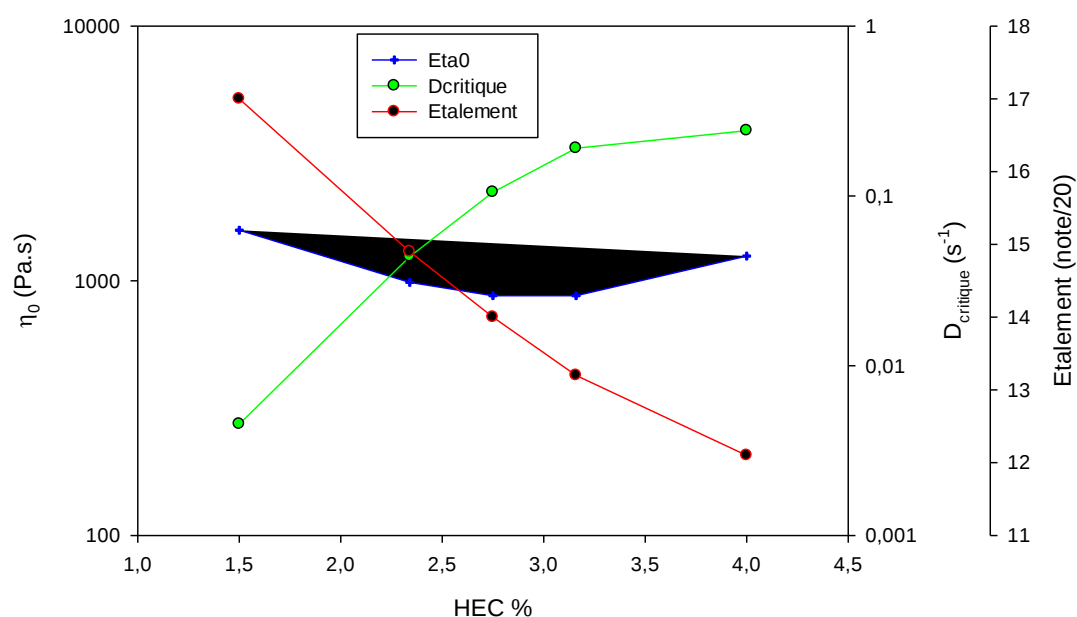


Figure IV.8: Courbe d'effet de la quantité du HEC sur les réponses.

On constate que le NATROSOL 250 HEC n'a quasiment pas d'effet sur η_0 . Ceci dénote que cet ingrédient ne peut être considéré comme agent gélifiant ou viscosifiant, en dépit de son domaine de variation qui contient des concentrations assez importantes. Toutefois, cet excipient paraît influencer significativement et positivement sur la vitesse de cisaillement critique. Ceci montre qu'il a la capacité de renforcer la structure, sans pour autant changer sa viscosité.

Avec l'augmentation du HEC, le système nécessite des valeurs de cisaillement plus grandes pour le déstructurer. En revanche, cet ingrédient ne semble pas améliorer les propriétés sensorielles. Aussi, pour le choix de sa quantité, un compromis doit être fait ; tenant compte de son effet intéressant dans le renforcement de la structure et de son effet néfaste sur le sensoriel.

IV.2.5.3. Effet de l'eau thermique sur les réponses

La courbe suivante, nous montrent la variation des réponses en fonction de la quantité d'eau.

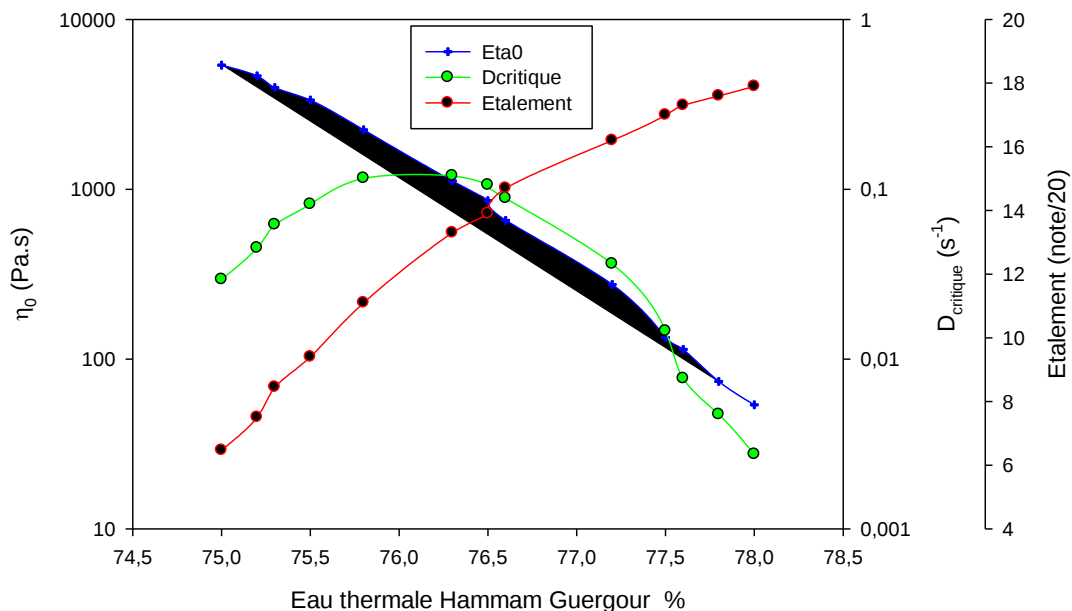


Figure IV.9: Courbes d'effet de la quantité d'eau thermique sur les réponses.

On observe tout d'abord un accroissement de $D_{critique}$ jusqu'à un maximum correspondant à la valeur de $0,1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$, puis une diminution jusqu'à un minimum correspondant à la valeur de $0,005 \text{ (s}^{-1}\text{)}$. L'explication qu'on peut avancer à ce comportement est que dans un premier temps l'augmentation de la quantité d'eau contribue à l'accroissement de la charge qui **écran**te les macromolécules et renforce leurs structures, par effet d'attraction de Van Der Waals. Au-delà d'une certaine concentration d'eau, il y a une surhydratation du polymère qui peut, probablement, entraîner un relâchement du système et par conséquent une diminution significative de $D_{critique}$.

Nous remarquons que l'effet de la quantité d'eau est inversement proportionnelle à η_0 . En effet, l'augmentation de la concentration d'eau entraîne une diminution de la quantité du gélifiant. Cela se traduit par une diminution η_0 . Notons qu'il apparait clairement que la viscosité conditionne fortement la consistance du gel, du fait que lorsque η_0 est plus importante, la structure du système est plus rigide.

Passant au paramètre sensoriel, auquel l'allure de la courbe d'étalement, augmente avec l'augmentation de la quantité de l'eau thermique. Alors on peut dire que l'applicateur du gel accepte l'existence d'eau dans le produit.

IV.3. DETERMINATION DE L'OPTIMUM

Suite à la phase de la modélisation en surface réponses, un balayage des trois facteurs de contrôle a été effectué, dans le but de faire ressortir la formule optimale qui correspond à :

- Une viscosité au taux de cisaillement nul maximal.
- Une vitesse de cisaillement critique minimale.
- Une note d'appréciation de l'étalement maximale.

La composition optimale étant identifiée, tableau (IV.5) par le logiciel MODDE6.0, par son module d'optimisation.

Tableau IV.5: Valeurs de l'optimum

Facteurs	Valeurs optimales (%)
Carbopol	1,00
HEC	1,50
Eau thermique	77,5
Glycérol	5,00
Propylène glycol	15,0

Le logiciel prévoit les réponses suivantes (tableau IV.6) :

Tableau IV.6: Valeurs des réponses

Réponses	Valeurs
η_0	1273,91
D _{critique}	0,158
n	0,710
Texture	14,25
Etalement	16,75
collant	15,25
Douceur	15,50

Vraisemblablement, la formule optimale correspond à l'essai N° 14. Après ce choix effectué sur l'essai 14, on a préparé une quantité suffisante suivant le même protocole de préparation pour mettre dans des récipients de 30 ml (19 récipients), dont un à été envoyé au laboratoire pour l'analyse bactériologique et les 18 autres ont été distribués aux patients atteints de maladies rhumatismales et dermatologiques pour un test clinique, avec des gels placebos.

IV.4. ANALYSE BACTERIOLOGIQUE

Les Résultats des analyses bactériologiques sont représentés dans le tableau suivant (Tableau IV.7), et le bulletin d'analyse microbiologique du gel optimal d'eau thermale de Hammam Guergour est classé en annexe 02.

Tableau IV.7 : Résultat de l'analyse bactériologique du gel optimal.

Paramètres recherchés	Résultats	Normes	Références
Germes aérobies à 30°C	10	Absence dans 1g	NA 8287
Coliformes totaux à 37°C	Absence	Absence dans 1g	ISO 4832
Coliformes fecaux à 44°C	Absence	Absence dans 1g	ISO 4832
Enterobacteries à 37°C	Absence	Absence dans 1g	ISO 8523
Pseudomonas aeruginosa	Absence	Absence dans 1g	ISO 22717
Staphylococcus aureus	Absence	Absence dans 1g	ISO 6888
Levures	Absence	Absence dans 1g	NA 8285
Moisissures	Absence	Absence dans 1g	NA 8285

Les résultats obtenus garantissent la conformité du gel optimal du point de vue bactériologique.

IV. 5. TEST D'EFFICACITE

Le Gel d'Eau Thermale de Guergour (Gel d'ETG), est destiné à être appliqué sur la peau. Il est indiqué dans la prise en charge des douleurs articulaires et dermatologiques (Psoriasis, Eczéma), en plus un placebo à été préparé à base d'eau distillée pour une étude comparative.

Les 18 récipients, ont été distribués ainsi que le placebo, dont 12 en rhumatologie, et 06 pour la dermatologie.

➤ Pour la rhumatologie

Douze malades ont bénéficié des produits (deux récipients : un contenant le produit, l'autre le placebo) souffrant des douleurs articulaires (lombalgie, cervicalgie, gonalgie et arthralgie des mains) d'âge entre 18 ans et 70 ans.

Après 15 jours d'application à raison de deux fois par jour, les malades ont été revus pour répondre au questionnaire.

08 malades ont été satisfaits du produit :

- La douleur à diminuée.
- Le gonflement aussi.
- Possibilité de la mobilisation.
- Pas d'effet d'intolérance.
- Pas d'effet secondaire sur le bilan.

Et 04 malades n'ont pas été satisfaits du produit, aussi pour le placebo n'a pas donné de résultat sur la douleur. Donc 75% des résultats sont positifs.

➤ Pour la dermatologie

06 malades ont reçu le produit souffrant de psoriasis et d'eczéma de contact appliquant deux fois par jour pendant 15 jours et répondant au questionnaire.

04 malades sur 06 ont été satisfaits du produit :

- Effet émollient et adoucissant.
- Disparition des croûtes.
- Diminution de l'inflammation facilitant la marche pour le psoriasis des pieds.

- Disparition de la rougeur.
- Amélioration de leur mode de vie.

Deux malades ne sont pas satisfaits du produit, et pour le placebo les 06 malades ont répondu par le positif pour l'effet émollient et adoucissant.

CONCLUSION GENERALE

La formulation est une préparation résultante d'un mélange de différentes matières premières, afin de répondre à une demande exprimée, en général, en termes de propriétés. Elle a pour principal objectif d'aider les personnes concernées.

Comme nous l'avons présenté à travers les différents chapitres, l'objectif de cette étude était double : nous souhaitons, d'une part, parvenir à une formule de gel de soin rhumatologique et d'autre part de soin dermique.

Afin de répondre à ces objectifs, nous avons pu concevoir, modéliser et optimiser la formulation de ce gel à base d'eau thermale. Les gels sont à l'heure actuelle une des présentations cosmétiques les plus recherchées. Ces liquides ne coulent pas ; ils se forment quand les molécules en solution se lient en un réseau qui piège un solvant.

Et nous avons défini les grandes catégories d'ingrédients (PA, gélifiant etc..) et validé les propriétés des actifs et des excipients, il s'agit de l'étape de préformulation ; cette étape nous a permis d'ajuster les quantités adéquates des différents ingrédients rappelons, par exemple, la concentration en Carbopol qui a été notre principale préoccupation où nous avons rencontré une difficulté pour obtenir l'aspect gel de notre formule et cela était à cause de l'utilisation d'une eau qui n'est pas ordinaire, une eau thermale qui est riche en sels minéraux, et nous sommes venus à la conclusion que les ions présentent dans l'eau gênent au déploiement et le gonflement des polymères.

L'utilisation de la méthode de plans d'expériences a été très indispensable car elle nous a permis d'interpréter les résultats expérimentaux avec un effort minimal sur le plan expérimental : la minimisation du nombre nécessaire d'expériences permet un gain en temps (surtout dans notre cas en graduation master où le temps est assez limité).

En matière de caractérisation des gels formulés ; la rhéologie a été le nerf sensible de notre étude, nous avons réalisé le test d'écoulement, qui nous a montré que le modèle de Cross était l'adéquat et le plus expressif pour nos résultats, on a enregistré un comportement de type structural.

D'autre part, nous avons tenté d'avoir des propriétés sensorielles meilleures que celles du produit de référence. Cet objectif a été atteint, puisque le résultat du test sensoriel a été satisfaisant.

Conclusion générale

Au terme de la modélisation en surface de réponses, on a déterminé l'effet de chaque facteur sur les différents ingrédients des gels formulés. Et on a noté que l'augmentation en agent gélifiant a un effet significatif sur les différentes réponses.

Cette étude nous a permis de trouver un optimum ayant des réponses conformes à nos attentes et similaires à l'un des essais de la matrice d'expérimentation.

Aussi, des échantillons ont été remis à des personnes souffrant de l'arthrose, l'eczéma et le psoriasis. Un suivi clinique sous contrôle dermatologique et rhumatologique a été réalisé, et nous avons pu avoir un résultat intéressant.

Enfin, on peut dire que l'utilisation des eaux thermales montre donc un intérêt certain dans le traitement de certaines pathologies: qu'elle soit utilisée pure à travers les soins réalisés en station thermale lors des cures, ou en forme gel lors des manifestations sus citées. L'eau thermale de Hammam Guergour a démontré son utilité.

Notre défi a été d'exploiter ces eaux thermales par leurs utilisations de façon quotidienne à travers notre produit, formulé pour les peaux sensibles et atopiques, et pour les affections rhumatismales, destinés à toute la famille.

Nous allons citer comme exemples deux des principales eaux thermales utilisées en rhumatologie en France et nous présenterons quelques produits de soins spécifiques formulés à base de ces eaux.

A.II .6. EAU THERMALE DE BOURBONNE-LES BAINS

A.II .6.1. Historique [47]

L'origine du thermalisme à Bourbonne Les bains à l'aube des temps, quand les premiers habitants de la région se baignaient, dans des trous d'eau alimentés par des sources chaudes. Persuadés que la chaleur de l'eau s'explique par une origine divine.

L'ouverture en 1735 de L'Hôpital Militaire Royal, puis la construction d'un établissement thermal à partir de 1783 marquent le début de la grande période du thermalisme à Bourbonne, qui a été encore favorisé par l'arrivée de fer à la fin du XIXe siècle et par la construction d'un nouvel établissement thermale entre 1977 et 1979.

A.II .6.2. Indications Thérapeutiques

Les eaux de Bourbonne-les-Bains sont médicalement reconnues pour leurs vertus thérapeutiques. Leur composition physico-chimique unique permet une action bénéfique pour le traitement rhumatologique, séquelles de traumatismes Ostéo-Articulaires et des affections ORL.

A.II .6.3. Caractéristiques physico-chimiques [48]

La source thermale de Bourbonne les bains provient d'une faille géologique, où elle est captée profondément à une température de 66°C. Ses vertus thérapeutiques sont connues depuis l'Antiquité. Son débit constant est de 1.200 m³/jour.

L'eau hyperthermale, de type chlorurée sodique, sulfatées calciques, avec une minéralisation importante qui atteint 1,8 g/l qui s'est constituée lentement sur les couches profondes de la Terre, au voisinage du socle volcanique du Massif Central, se charge sur son cheminement souterrain d'oligo-éléments, de sels minéraux, de micro-organismes, de gaz rares qui en font toute sa puissante originalité.

A.II .7. EAU THERMALE DE MONTBRUN

A.II .7.1. Historique [49]

Il existe en France, en drome provençale, un territoire montagneux préservé du mistral et de la canicule, Une oasis de soleil et de lumière aux senteurs de lavande et de thym.

Au pied du mont Ventoux, ce territoire abrite Montbrun-les-Bains, l'un des plus beaux villages de France perché à 600m d'altitude.

Grâce à ses sources d'eau fortement sulfurées déjà exploitées au temps des Romains, Montbrun-les-Bains fut une station très à la mode du XVI^e siècle à la révolution. Le thermalisme connaissant alors une grande vogue, le Marquis de SUAREZ d'AULAN fit construire en 1865 un établissement thermal copié sur celui de Baden-Baden.

Montbrun devient alors une ville d'eau importante citée en exemple dans les milieux médicaux. La première guerre mondiale fut hélas fatale aux activités de l'établissement qui ne put rouvrir à l'issue du conflit. Dans les années 1970-1980, la municipalité décida de relancer le thermalisme et grâce à la farouche détermination du maire, les nouveaux thermes ouvrirent leurs portes le 4 mai 1987.

A.II .7.2. Indications Thérapeutiques

Les eaux de Montbrun sont indiquées pour les traitements des affections des voies respiratoires, l'établissement thermal dispose d'un service de rhumatologie, et propose des soins indiqués en cas d'arthrose, de rhumatismes (péri-articulaires, abarticulaires, inflammatoires), d'ostéoporose, de séquelles de traumatismes.

A.II .7.3. Caractéristiques physico-chimiques [50]

L'eau thermale de Montbrun a un profil sulfurée calcique magnésienne riche en silice avec un dégagement spontané d'hydrogène sulfuré.

La richesse en minéraux et en oligo-éléments lui confère des propriétés remarquables dans ses sphères de prédilection mais aussi dans les troubles dermatologiques et la protection de la peau. Hypothermales, de minéralisation assez importante, elles ont une action protectrice contre les allergies et stimulent les défenses immunitaires.

Tableau 1.1 : Caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau de Montbrun.

Les paramètres	Montbrun
Température à l'émergence (°C)	14,600
pH	6,9700
Conductivité à 20°C (µS /cm)	2375,0
Résidu sec à 180°C (mg/l)	2694,5
Silice SiO ₂ (mg /l)	49,800
CO2 libre (mg/l)	-
Les anions (en mg/l)	
Chlorure Cl ⁻	15,700
Sulfates SO ₄ ²⁻	1587,0
Hydrogénocarbonates HCO ₃ ⁻	164,70
Phosphates PO ₄ ⁻	-
Nitrates NO ₃ ⁻	0,000
Nitrites NO ₂ ⁻	<0,025
Bromures Br ⁻	-
Fluorures F ⁻	3,100
Les cations (en mg/l)	
Calcium Ca ²⁺	6000
Magnésium Mg ²⁺	84,30
Sodium Na ⁺	23,20
Potassium K ⁺	2,400
Lithium Li ⁺	0,280
Fer Fe ²⁺	0,022
Manganèse Mn ²⁺	0,010
Strontium Sr ²⁺	13,50
Les oligo-éléments (en µg/l)	
Cuivre Cu	6,00
Zinc Zn	3,00
Bore B	120
Cadmium Cd	-
Chrome Cr	-
Plomb Pb	-
Sélénium Se	-
Les composants du soufre	
Sulphydrile	2,200 mg/l
Thiosulfates	13,66 mg/l

Tableau 1.2 : Caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau de Bourbonne – Les bains.

Composition physico-chimiques (en mg/l)	
Chlorure de sodium	5202
Sulfate de calcium	1398
Chlorure de potassium et de rubidium	199,2
Chlorure de lithium	88,7
Chlorure de calcium	78,5
Silice	74,8
Carbonate de calcium	74,3
Bromure de sodium	64,4
Chlorure de magnésium	53,8
Carbonate de magnésium	3,2
Carbonate de fer et de manganèse	2,3
Acide carbonique combiné	70,3
Composition physico-chimiques des gaz thermaux (en g/l)	
Gaz combustibles	0,97
Anhybride carbonique	5,10
Azote	88,32
Gaz rares : hélium, néon	4,85
Argon, krypton et xénon	0,76

A.II.8. EXEMPLES DES GELS FORMULES A BASE DE CES EAUX [51] :

Tableau 1.3 : Exemples des gels formulés à base d'eau thermale.

Produit	Eau thermale	Faciès chimique	Formule	Indication thérapeutique
Gel thermale Cryo-actif camphre 	l'eau thermale de Montbrun	sulfurée calcique magnésienne	30,,83% d'eau thermale 2 % Menthol. 1,8% huiles essentielles de camphre. 3,5% d'extrait d'harpago-Phytum. Excipients : 49,29% d'origine naturelle 12 % biologiques. Sans parabène. Sans phenoxyethanol.	Efficacité sur le bien être articulaire. Très efficace aussi sur toutes douleurs musculaires.
Arthro-Baume 	L'eau thermale de Bourbonne-Les bains	chlorurée sodique, sulfatées calciques	Eau thermale de Bourbonne-Les bains 72%. Extrait d'harpagophytum 7%. Silicium solubilisé 2%. Beurre de laurier 2%. Huiles essentielles d'Eucalyptus 2%. Salicylate de méthyle 1,5%. Oléorésine de capsicum 0,1%.	Il détente et soulage durablement les articulations sensibles.

Et pour la dermatologie, Il existe une variété de marques de soins spécifiques à base d'eau thermale qui entrent dans la prise en charge de certaines pathologies dermatologiques. Pour les plus connues nous citerons : Avène, Uriage, La Roche Posay et Vichy, mais aussi Evian, Jonzac et St Gervais Mont Blanc.

Les laboratoires d'AVENE et d'URIAGE ont lancé des gammes de soins particuliers qui répondent aux besoins de certaines pathologies cutanées telles que l'eczéma atopique, l'acné, les xéroses et l'hyperkératose. Ces soins deviennent alors des adjuvants aux traitements médicaux. En effet, ces soins sont développés en collaboration avec des dermatologues et des pharmaciens. Les revendications indiquées sur les produits sont prouvées par des tests cliniques sous contrôle dermatologique [52,53].

Tableau 1.4 : Les soins à base d'eau thermale pour les peaux à tendance atopique.

LES SOINS DES PEAUX ATOPIQUES
Indications : - Sécheresses sévères (couche cornée poreuse favorisant l'évaporation excessive de l'eau) - Peaux sujettes aux irritations, à cause de la pénétration des molécules environnementales dans l'épiderme, aux rougeurs et aux démangeaisons. Observation : L'utilisation d'hydratants adaptés représente le traitement de fond de la maladie, Les poussées d'eczéma seront-elles traitées par des dermocorticoïdes sur les zones inflammatoires. Composition : En plus de l'eau thermale qui apaise et atténue les sensations d'inconfort, on trouve des agents émollients et hydratants qui permettent la restauration du film hydrolipidique.
XERACALM A.D Crème relipidante d'AVENE Efficacité clinique : Après 1 mois d'application, l'examen dermatologique a démontré qu'il y a eu jusqu'à 97% de diminution des démangeaisons et 69% de diminution de la sécheresse cutanée.
XÉMOSE d'URIAGE : Lait Émollient Efficacité clinique : 81% des personnes constatent une diminution des démangeaisons après une application quotidienne pendant 1 mois.

Tableau 1.5 : Les soins à base d'eau thermale pour les peaux à tendance squameuse.

LES SOINS DES PEAUX A TENDANCE SQUAMEUSE
Indications : - Peaux très sèches, rêches, désquamantes, épaisses et rugueuses. - Peaux à tendance psoriasique ou ichtyosique. Composition : L'association de l'eau thermale, qui assure l'apport en sels minéraux, à des agents kératolytiques et des agents émollients, diminue la desquamation de la peau tout en hydratant les couches supérieures de l'épiderme.
Akérat 10 crème corporelle du Laboratoire AVENE Résultats cliniques : Amélioration de la desquamation dans 95% des cas et diminution des sensations de tiraillements dans 90% des cas après un mois d'utilisation.
Akérat S soin du psoriasis du Laboratoire AVENE Indications : à utiliser en relais d'Akerat 10 pour un soin localisé des épaissements excessifs chroniques en plaque de la couche cornée, et des callosités rebelles.
Kératosane 15 d'URIAGE : Ce lait crème corporel associe des actifs kératolytiques et un complexe hydratant puissant pour lutter contre la desquamation et la sécheresse cutanée sévère.

❖ Hammam Guergour



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة الموارد المائية
MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU

الوكالة الوطنية للموارد المائية
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

Créée par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981 - Compte Trésorerie d'Alger N° 0019800065 clé 59

BULLETIN D'ANALYSE

Demandeur
Point d'eau
Lieu
Date d'envoi

HADJ SADOK
EAU THERM H GUERGOUR
SETIF
09/03/15

130

But de l'analyse AEP

Calcium	mg/L	395	200	Nitrate (NO3)	mg/L	26,2	50	Fer	mg/L	0,3
Magnésium	mg/L	135	150	Nitrite (NO2)	mg/L	0,000	0,1	Manganèse	mg/L	0,5
Sodium	mg/L	390	200	Ammonium (NH4)	mg/L	0,000	0,5	Cuivre	mg/L	1,5
Potassium	mg/L	7	20	Phosphates (PO4)	mg/L	0,092	1,5	Zinc	mg/L	5
Chlorure	mg/L	615	500	P/Total	mg/L			Plomb	mg/L	0,05
Sulfate	mg/L	1 520	400	Silice (SiO2)	mg/L	25,9	20	Chrome Total	mg/L	0,05
Bicarbonates	mg/L	244		NTK NH4	mg/L			Cadmium	mg/L	0,01
Carbonates	mg/L	0		M.Org (O2 mg/L)	mg/L	4,2	5	Mercure	mg/L	0,001
OH	mg/L	0		DCO (O2 mg/L)	mg/L			Cyanure	mg/L	0,05
pH	mg/L	8,0	6,5 > 8,5	DBO5 (O2 mg/L)	mg/L			Arsenic	mg/L	0,05
CE	μS/cm	5 200	2800	COT (C)	mg/L			Phénols	mg/L	0,002
Résidu Sec	mg/L	3 162	2000	MES à 105°	mg/L			Baryum	mg/L	0,002
TH	°F	155	50	MES à 600°	mg/L			Fluor	mg/L	2
TAC	°F	20						Iode	mg/L	
TA	°F	0		Détergents	mg/L			Antimoine	mg/L	0,005
				H2S	mg/L			Aluminium	mg/L	0,2
				HCA	μg/L			Antimoine	mg/L	0,005
				HPA	μg/L			Bore	mg/L	0,3
				PCB	μg/L			Sélénium	mg/L	0,01
Pesticides Totaux	μg/L									
Aldrine	μg/L									
Dieldrine	μg/L									
Lindane	μg/L									
DDT	μg/L									

Eau très dure et très en chargée sels minéraux



Annexe 02 : les bulletins d'analyse de l'eau thermique de Hammam Guergour et Hammam Melouane

❖ Hammam Melouane



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة الموارد المائية
MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU
الوكالة الوطنية للموارد المائية
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES
Créée par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981 - Compte Trésorerie d'Alger N° 0019800065 clé 59

BULLETIN D'ANALYSE

Demandeur
Point d'eau
Lieu
Date d'envoi

HADJ SADOK
EAU THERM H MELOUANE
AINDEFLA
09/03/15

129

But de l'analyse AEP

Calcium	mg/L	1 220	200	Nitrate (NO3)	mg/L	26,2	50	Fer	mg/L	0,3
Magnésium	mg/L	128	150	Nitrite (NO2)	mg/L	0,038	0,1	Manganèse	mg/L	0,5
Sodium	mg/L	11 800	200	Ammonium (NH4)	mg/L	>2	0,5	Cuivre	mg/L	1,5
Potassium	mg/L	180	20	Phosphates (PO4)	mg/L	0,428	1,5	Zinc	mg/L	5
Chlorure	mg/L	22 000	500	P/Total	mg/L			Plomb	mg/L	0,05
Sulfate	mg/L	1 250	400	Silice (SiO2)	mg/L	31,0	20	Chrome Total	mg/L	0,05
Bicarbonates	mg/L	275		NTK NH4	mg/L			Cadmium	mg/L	0,01
Carbonates	mg/L	0		M.Org (O2 mg/L)	mg/L	94	5	Mercure	mg/L	0,001
OH	mg/L	0		DCO (O2 mg/L)	mg/L			Cyanure	mg/L	0,05
pH	mg/L	7,3	6,5<8,5	DBO5 (O2 mg/L)	mg/L			Arsenic	mg/L	0,05
CE	μS/cm	75 000	2800	COT (C)	mg/L			Phénols	mg/L	0,002
Résidu Sec	mg/L	44 335	2000	MES à 105°	mg/L			Baryum	mg/L	0,002
TH	°F	358	50	MES à 600°	mg/L			Fluor	mg/L	2
TAC	°F	23						Iode	mg/L	
TA	°F	0		Détergents	mg/L			Antimoine	mg/L	0,005
				H2S	mg/L			Aluminium	mg/L	0,2
Pesticides Totaux	μg/L			HCA	μg/L			Antimoine	mg/L	0,005
Aldrine	μg/L			HPA	μg/L			Bore	mg/L	0,3
Dieldrine	μg/L			PCB	μg/L			Sélénium	mg/L	0,01
Lindane	μg/L									
DDT	μg/L									

Eau très dure et très en chargée sels minéraux



ANRH / D.R.C : Route de Guarrouaou BP . 150 Soumaa البليدة - الصومعة - 150 . ووم م : طريق قرواوا ص ب .
Tél. : 025 39.90.25 - Fax :025 39.90.24 - Télex : 62.13 Email : drc@anrh.dz

Annexe02 : les bulletins d'analyses microbiologiques de l'eau thermique (Guergour et Melouane) et du gel (Hammam Guergour).

- ❖ Analyse microbiologique de l'eau thermique de Hammam Guergour et Hammam melouane.

BIOQUALITAL

**LABORATOIRE D'ANALYSE DE LA QUALITE ALIMENTAIRE, COSMETIQUE
DES DETERGENTS ET DE L'EAU**

Autorisé par décision du ministère du commerce N° 19/2010
Route de ben chaoua cité de l'université lot n°26 KHRAICIA-ALGER
TEL:020-24-22-91

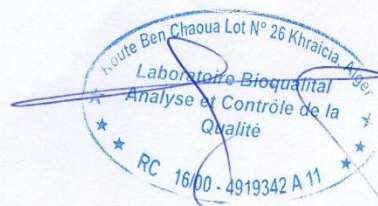
Résultat d'Analyse Microbiologique

Client: Laboratoire des Analyses fonctionnelles chimiques - USDBlida
Adresse: Département de génie des procédés chimiques- université de Blida/ Blida
N° d'inscription au laboratoire: 1640/15
Analyse effectuée le: 19/04/2015
Produit: EAUX THERMALES DE HAMMAM GUERGOUR & HAMMAM MLOUANE
Echantillon: 01 unité
Contenance / Unité: 180 ml
Prélevé le: 18/04/2015
Reçu au laboratoire le: 19/04/2015

Paramètres recherchés	Eau Hamame Guergour	Eau Hamame Mlouane	Référence
Germes aérobies 22°C	30	55	NA763
Germes aérobies 37°C	15	22	NA763
Coliformes totaux	Absence	Absence	ISO9308
Coliformes fécaux	Absence	Absence	ISO9308
Anaérobies S-R	Absence	Absence	ISO6461
Streptocoques fécaux	Absence	Absence	NA765
Salmonelles	Absence	Absence	ISO6340

Conclusion : Les deux échantillons d'eau thermique sont de bonne qualité microbiologique selon le J.O N°35/98

Alger le 23/04/2015



Annexe02 : les bulletins d'analyses microbiologiques de l'eau thermique (Guergour et Melouane) et du gel (Hammam Guergour).

❖ Analyse microbiologique du gel optimal de l'eau thermique de Hammam Guergour.

BIOQUALITAL

LABORATOIRE D'ANALYSE DE LA QUALITE ALIMENTAIRE, COSMETIQUE
DES DETERGENTS ET DE L'EAU

Autorisé par décision du ministère du commerce N° 19/2010
Route de ben chaoua cité de l'université lot n°26 KHRAICIA-ALGER
TEL:020-24-22-91

Résultat d'Analyse Microbiologique

Client : Laboratoire des Analyses fonctionnelles chimiques - USDBlida
Adresse: Département de génie des procédés chimiques- université de Blida/ Blida
N° d'inscription au laboratoire : 2899/15
Analyse effectuée le : 07/06/2015
Produit: Gel
Contenance/unité : 100 mL
Prélevé le : 07/06/2015
Reçu au laboratoire le: 07/06/2015

PARAMETRES RECHERCHES	RESULTATS	NORMES	REFERENCES
Germes aérobies à 30°C	10	Absence dans 1g	NA 8287
Coliformes totaux à 37°C	Absence	Absence dans 1g	ISO 4832
Coliformes fecaux à 44°C	Absence	Absence dans 1g	ISO 4832
Enterobacteries à 37°C	Absence	Absence dans 1g	ISO 8523
Pseudomonas aeruginosa	Absence	Absence dans 1g	ISO 22717
Staphylococcus aureus	Absence	Absence dans 1g	ISO 6888
Levures	Absence	Absence dans 1g	NA 8285
Moisissures	Absence	Absence dans 1g	NA8285

Conclusion : Echantillon de bonne qualité microbiologique.

Alger le 13/06/2015

Signature



Annexe 03 : fiche d'appréciation des produits formulés et de références.

ALOE VERA	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	08	09	03	
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	14	04	02	
Douceur	08	07	03	02
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	04	11	04	01
La note moyenne	81,25/100			

Tableau 3.1: Fiche d'appréciation du produit de référence (Aloe Vera).

Synthol	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	02	03	06	09
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	17	02	01	
Douceur	09	06	06	03
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	19	01	02	
La note moyenne	73,75/100			

Tableau 3.2: Fiche d'appréciation du produit de référence (Synthol).

Essai 01	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	05	03	06	09
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	03	02	01	
Douceur	03	06	06	03
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	06	01	02	
La note moyenne	36,25/100			

Tableau 3.3: Fiche d'appréciation de l'essai 01.

Annexe 03 : fiche d'appréciation des produits formulés et de références.

Essai 02	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	03	11	04	02
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	03	11	04	02
Douceur	04	10	05	01
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	03	13	04	
La note moyenne	72,5/100			

Tableau 3.4: Fiche d'appréciation de l'essai 02.

Essai 03	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	02	05	07	06
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	01	04	06	06
Douceur	04	12	05	01
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	03	06	13	
La note moyenne	42,5/100			

Tableau 3.5: Fiche d'appréciation de l'essai 03.

Essai 04	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	05	05	07	05
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	13	05	06	01
Douceur	11	08	05	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
<i>Collant</i>	14	06	13	
La note moyenne	83,75/100			

Tableau 3.6: Fiche d'appréciation de l'essai 04.

Annexe 03 : fiche d'appréciation des produits formulés et de références.

Essai 05	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	02	08	08	02
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	04	07	08	01
Douceur	06	11	03	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	05	11	04	
La note moyenne	67,5/100			

Tableau 3.7: Fiche d'appréciation de l'essai 05.

Essai 06	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	05	09	04	02
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	11	06	02	01
Douceur	08	10	02	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	07	08	04	01
La note moyenne	80/100			

Tableau 3.8: Fiche d'appréciation de l'essai 06.

Essai 07	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	04	11	04	01
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	05	08	06	01
Douceur	04	11	05	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	04	10	06	
La note moyenne	71,25/100			

Tableau 3.9: Fiche d'appréciation de l'essai 07.

Annexe 03 : fiche d'appréciation des produits formulés et de références.

Essai 08	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	07	10	03	
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	11	05	02	02
Douceur	10	10	04	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	10	05	05	
La note moyenne	85/100			

Tableau 3.10: Fiche d'appréciation de l'essai 08.

Essai 09	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	04	08	08	
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	04	10	04	02
Douceur	07	09	04	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	06	09	05	
La note moyenne	66,25/100			

Tableau 3.11: Fiche d'appréciation de l'essai 09.

Essai 10	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	04	10	05	01
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	09	08	02	01
Douceur	10	08	02	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	06	13	01	
La note moyenne	85/100			

Tableau 3.12: Fiche d'appréciation de l'essai 10.

Annexe 03 : fiche d'appréciation des produits formulés et de références.

Essai 11	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit		02	01	17
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	01	02	04	13
Douceur	01	07	06	06
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	01	06	06	07
La note moyenne	26,25/100			

Tableau 3.13: Fiche d'appréciation de l'essai 11.

Essai 12	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit		01	10	09
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	03	01	10	06
Douceur	03	07	05	05
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	02	05	04	10
La note moyenne	27,5/100			

Tableau 3.14: Fiche d'appréciation de l'essai 12.

Essai 13	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	05	03	08	04
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	03	09	06	02
Douceur	05	05	10	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	02	08	06	04
La note moyenne	50/100			

Tableau 3.15: Fiche d'appréciation de l'essai 13.

Annexe 03 : fiche d'appréciation des produits formulés et de références.

Essai 15	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	08	08	03	01
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	13	06		01
Douceur	08	10	02	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	11	08		01
La note moyenne	90/100			

Tableau 3.16: Fiche d'appréciation de l'essai 15.

Essai 16	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
contact immédiat (évaluation entre deux doigts d'une même main)				
Texture produit	06	08	05	01
caractéristiques sensorielles au cours de l'application (évaluées sur le dos de la main)				
Étalement (de facile à très difficile)	07	08	05	02
Douceur	07	07	04	
caractéristiques sensorielles après l'application (évaluées sur le dos de la main juste après l'absorption complète du produit)				
Collant	02	12	02	01
La note moyenne	71,25/100			

Tableau 3.17: Fiche d'appréciation de l'essai 16.

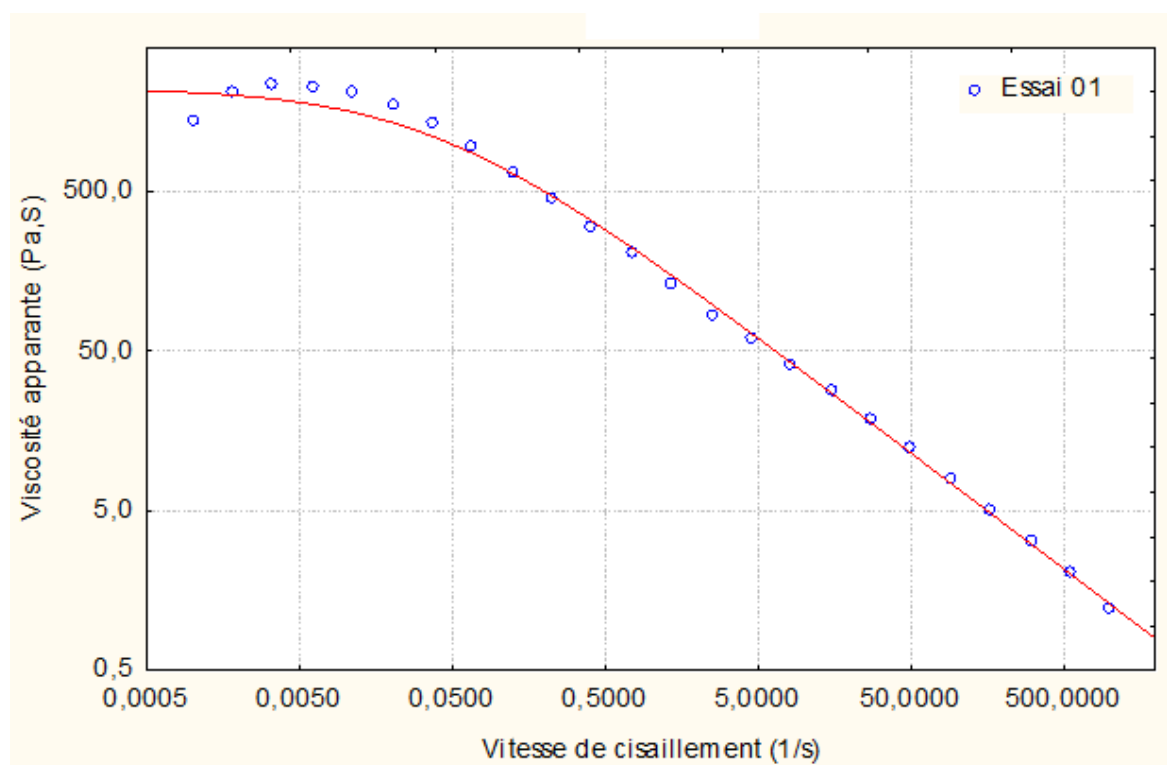


Figure 4.1 : Courbe d'écoulement de l'essai 1.

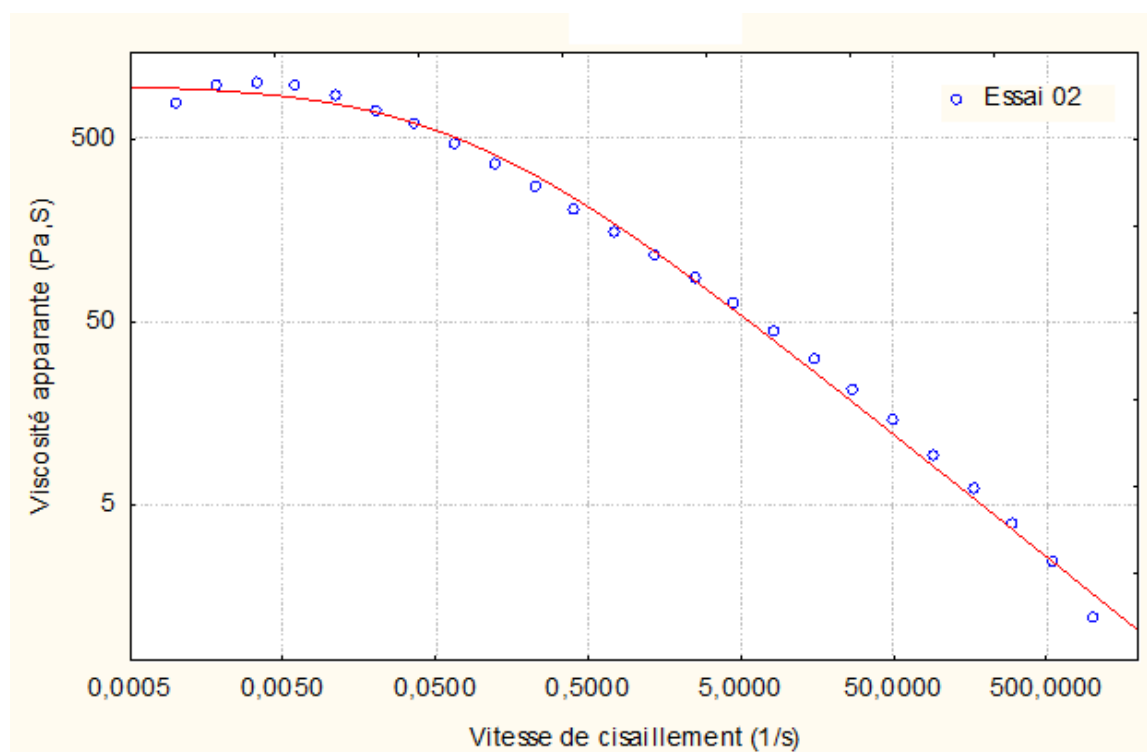


Figure 4.2 : Courbe d'écoulement de l'essai 2.

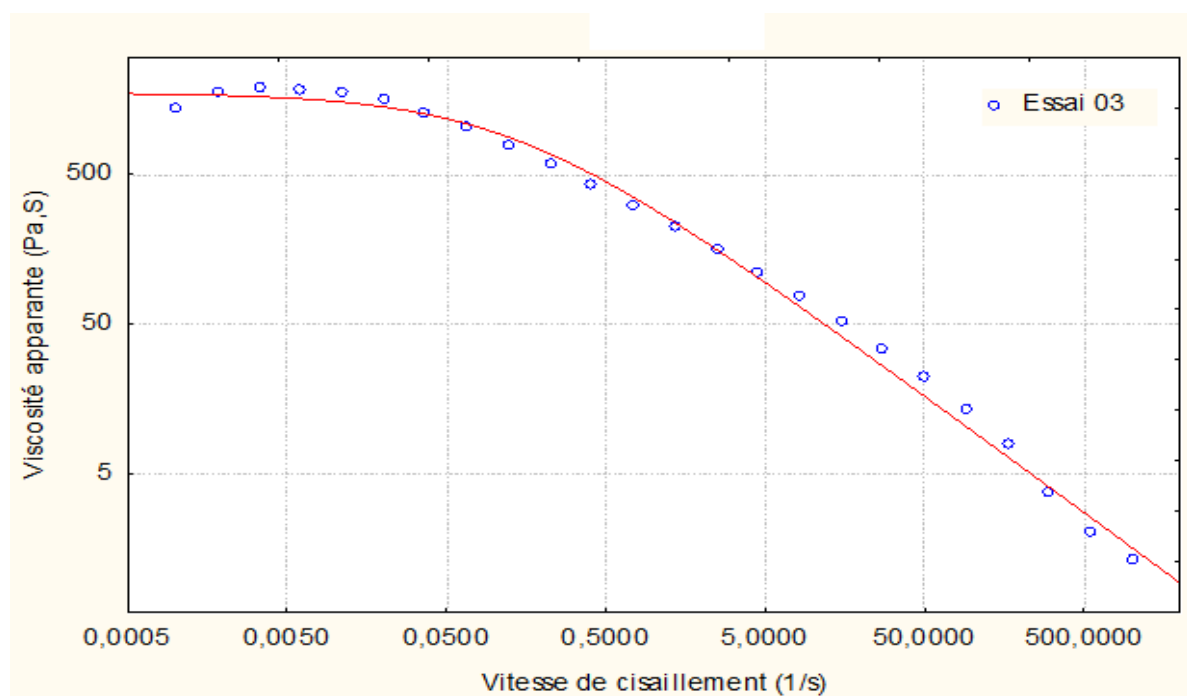


Figure 4.3 : Courbe d'écoulement de l'essai 3.

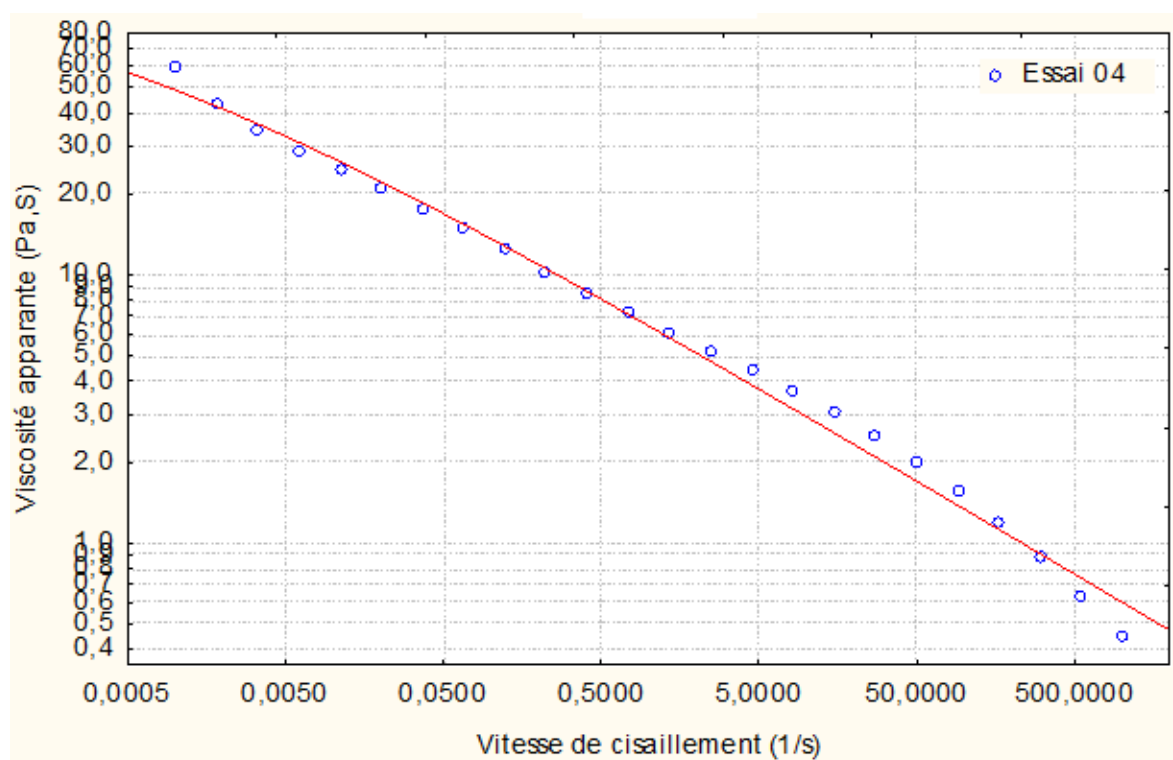


Figure 4.4 : Courbe d'écoulement de l'essai 4.

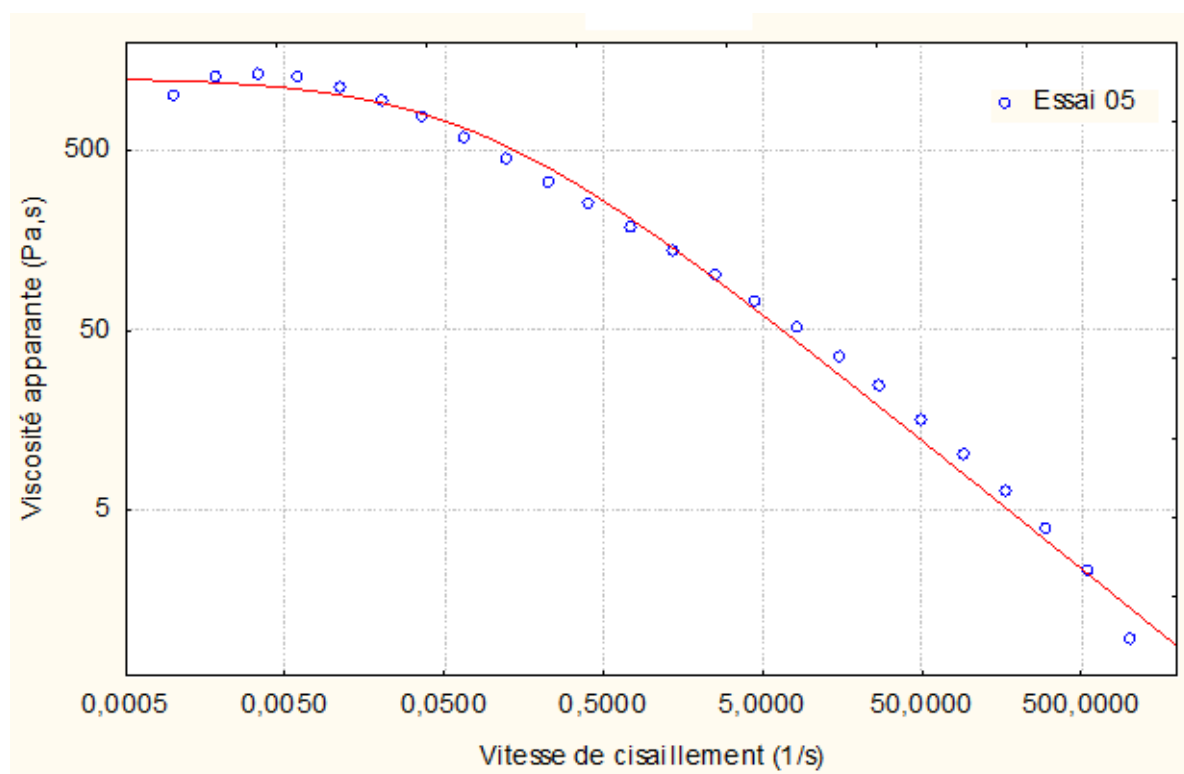


Figure 4.5 : Courbe d'écoulement de l'essai 5.

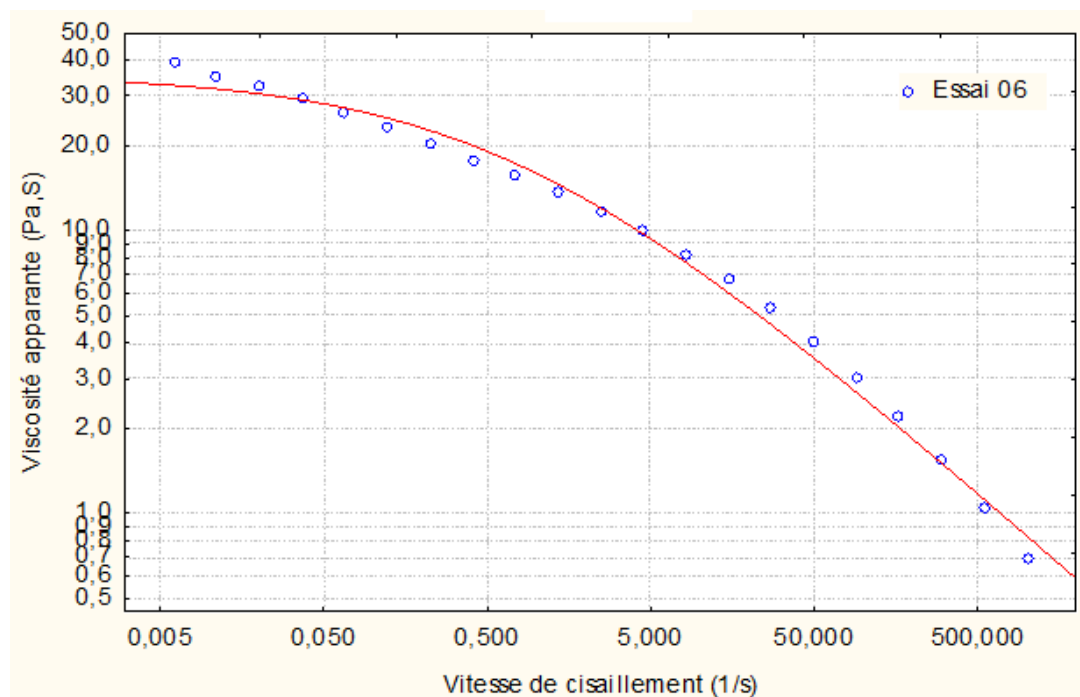


Figure 4.6 : Courbe d'écoulement de l'essai 6.

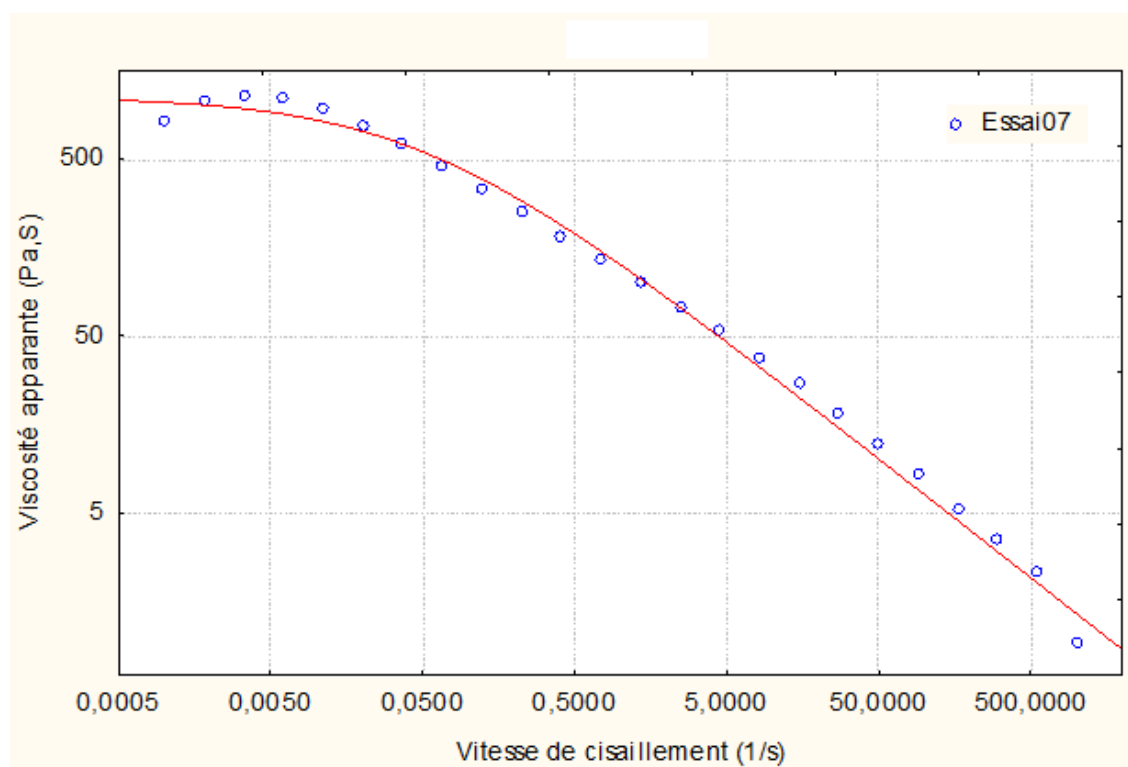


Figure 4.7 : Courbe d'écoulement de l'essai 7.

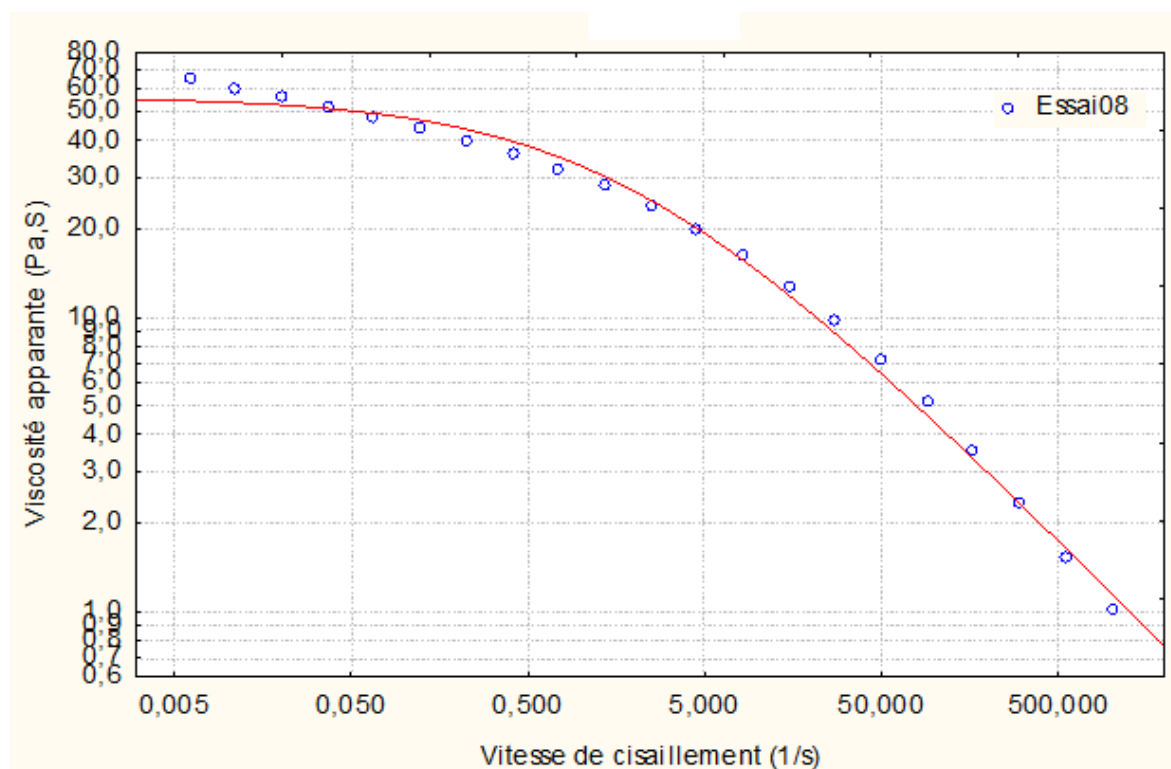


Figure 4.8 : Courbe d'écoulement de l'essai 8.

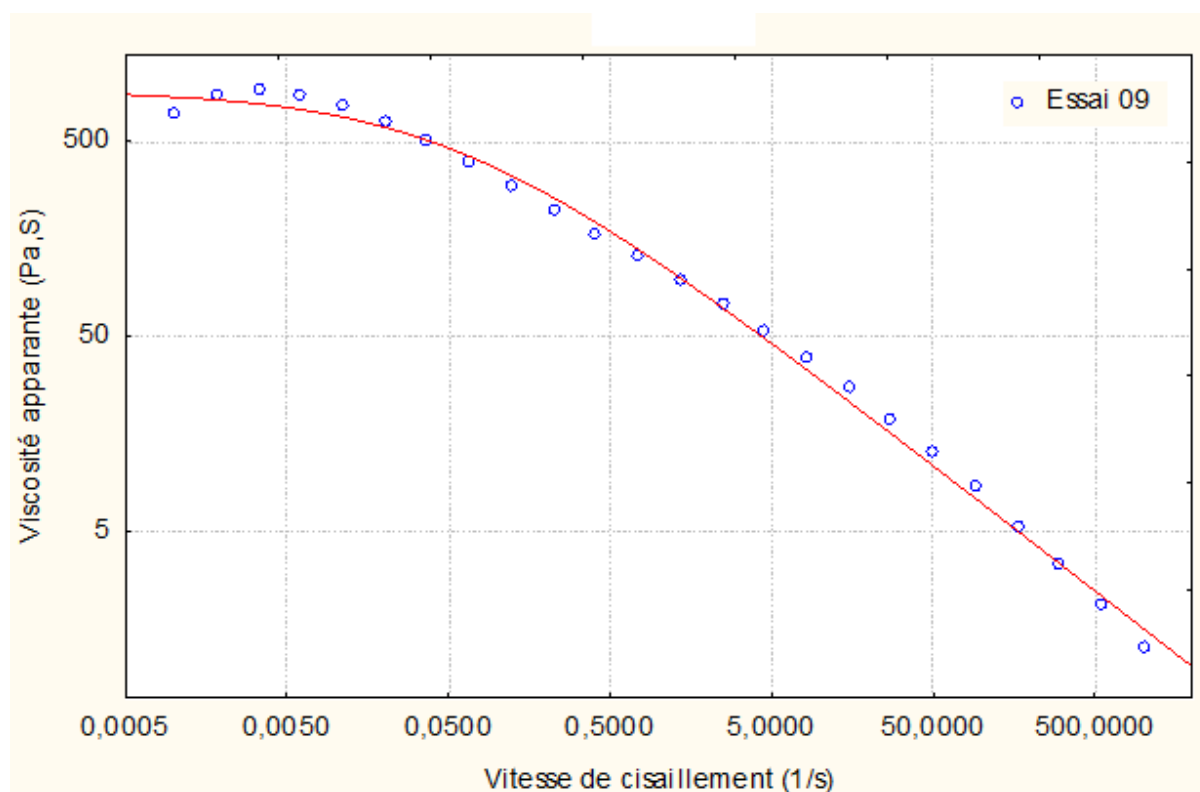


Figure 4.9 : Courbe d'écoulement de l'essai 9.

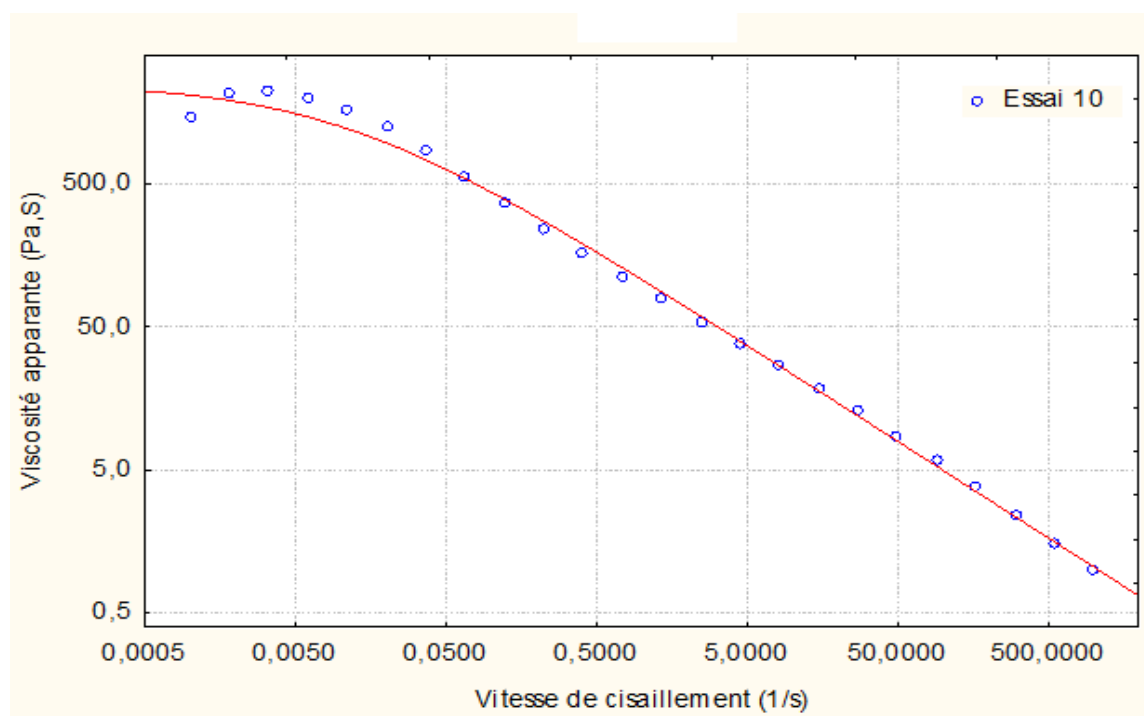


Figure 4.10 : Courbe d'écoulement de l'essai 10.

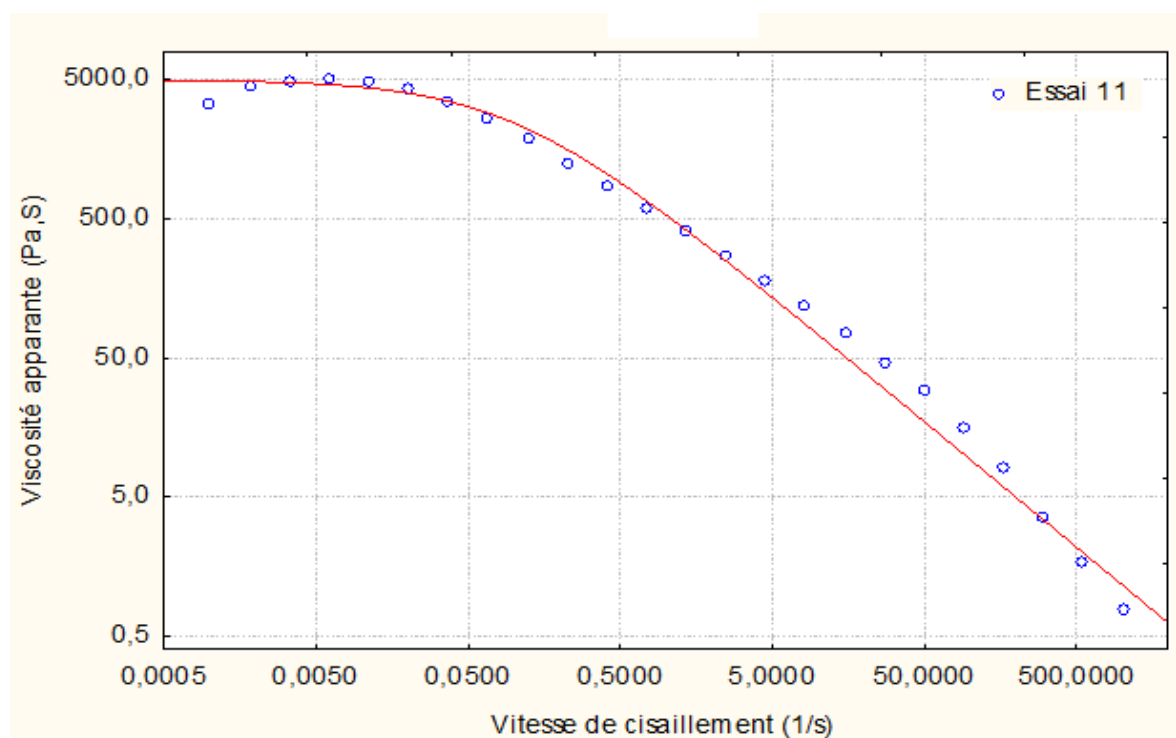


Figure 4.11 : Courbe d'écoulement de l'essai 11.

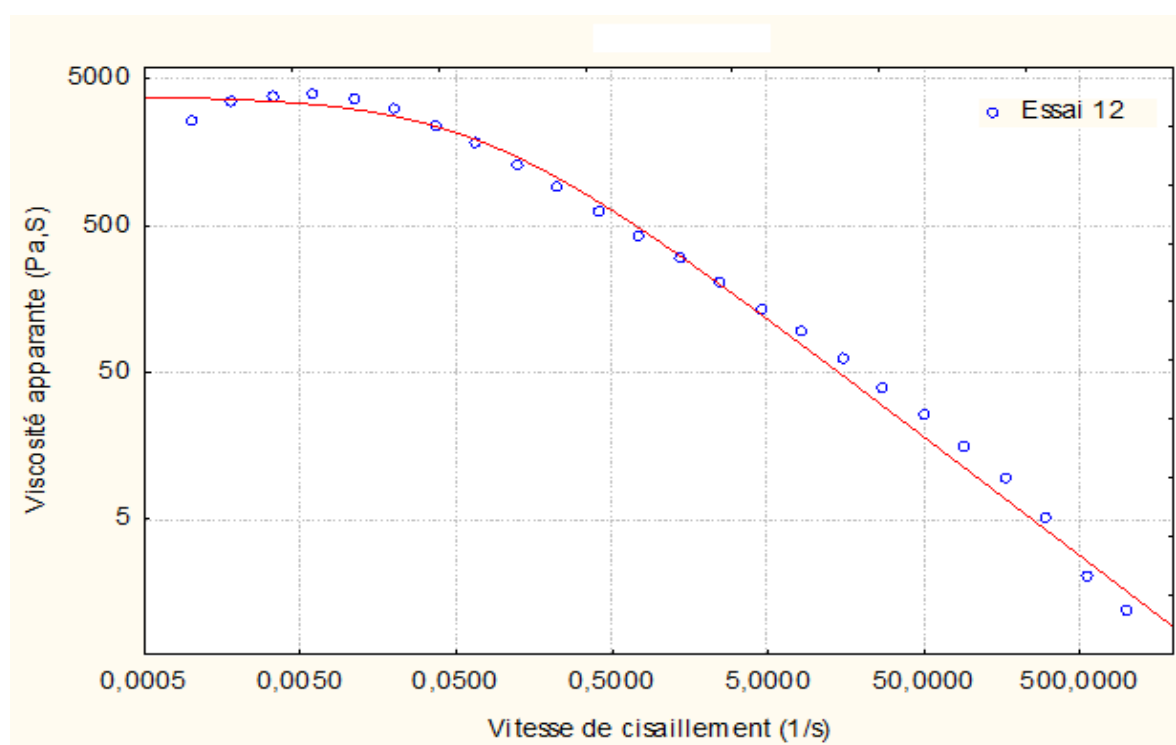


Figure 4.12 : Courbe d'écoulement de l'essai 12.

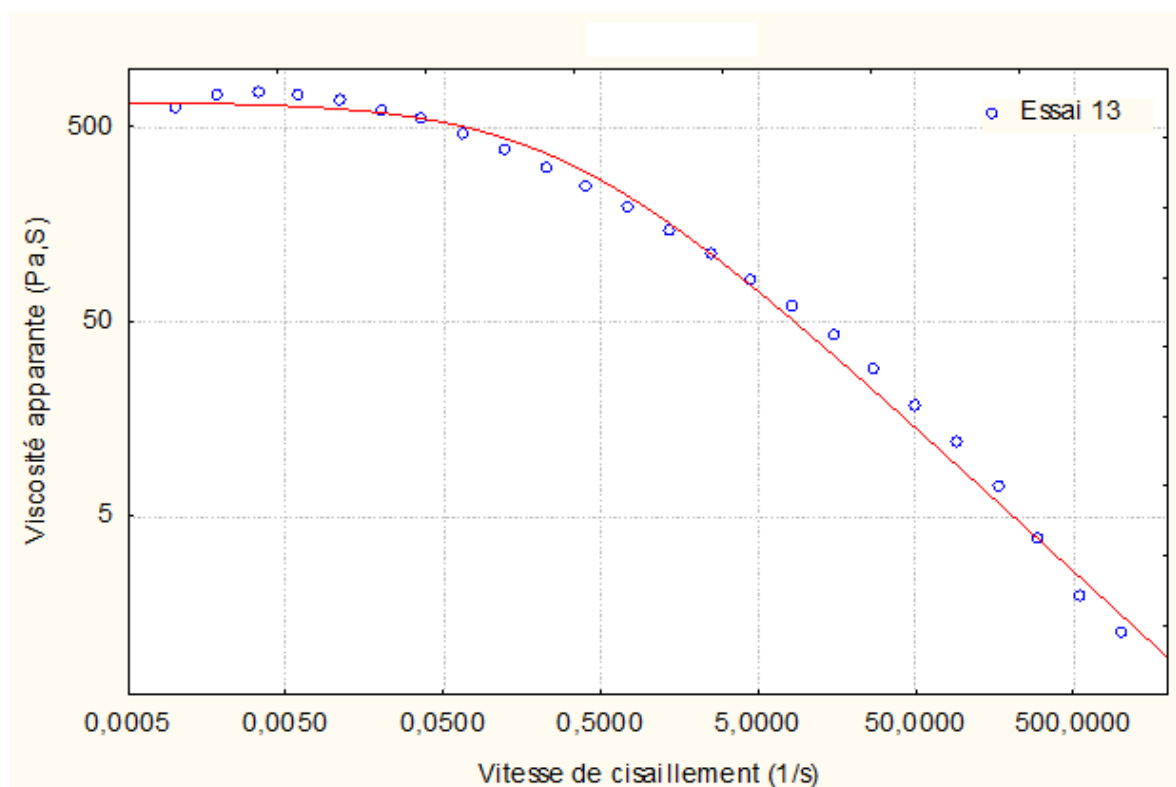


Figure 4.13 : Courbe d'écoulement de l'essai 13.

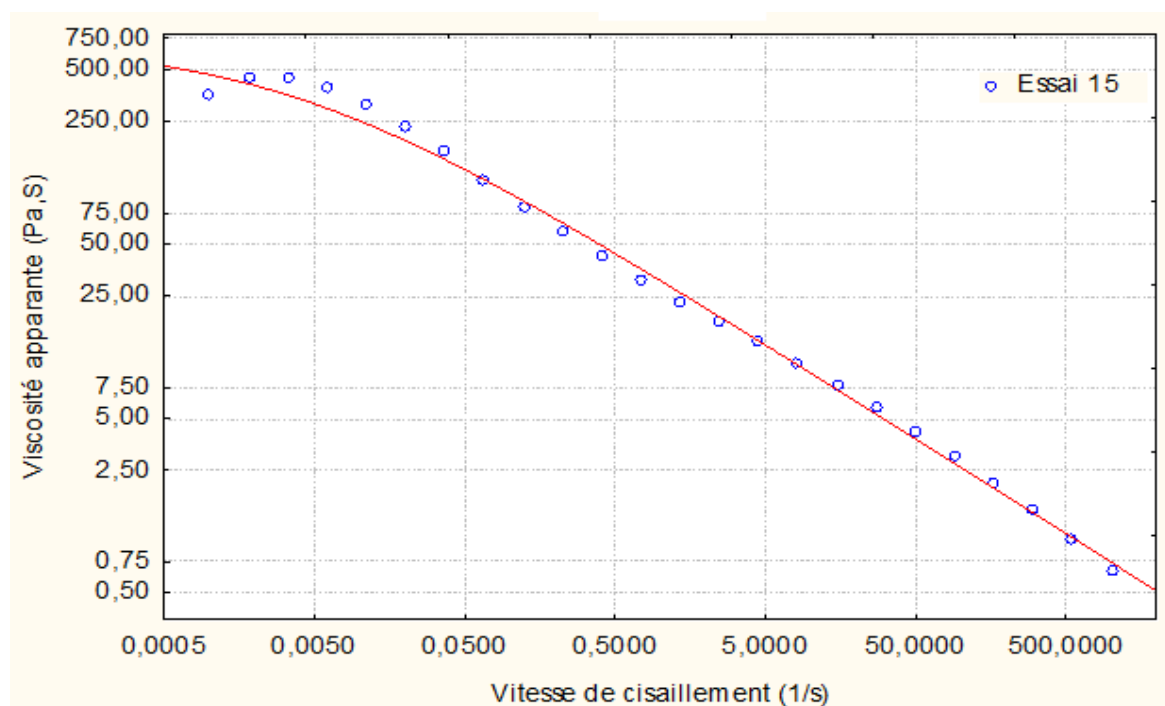


Figure 4.15 : Courbe d'écoulement de l'essai 15.

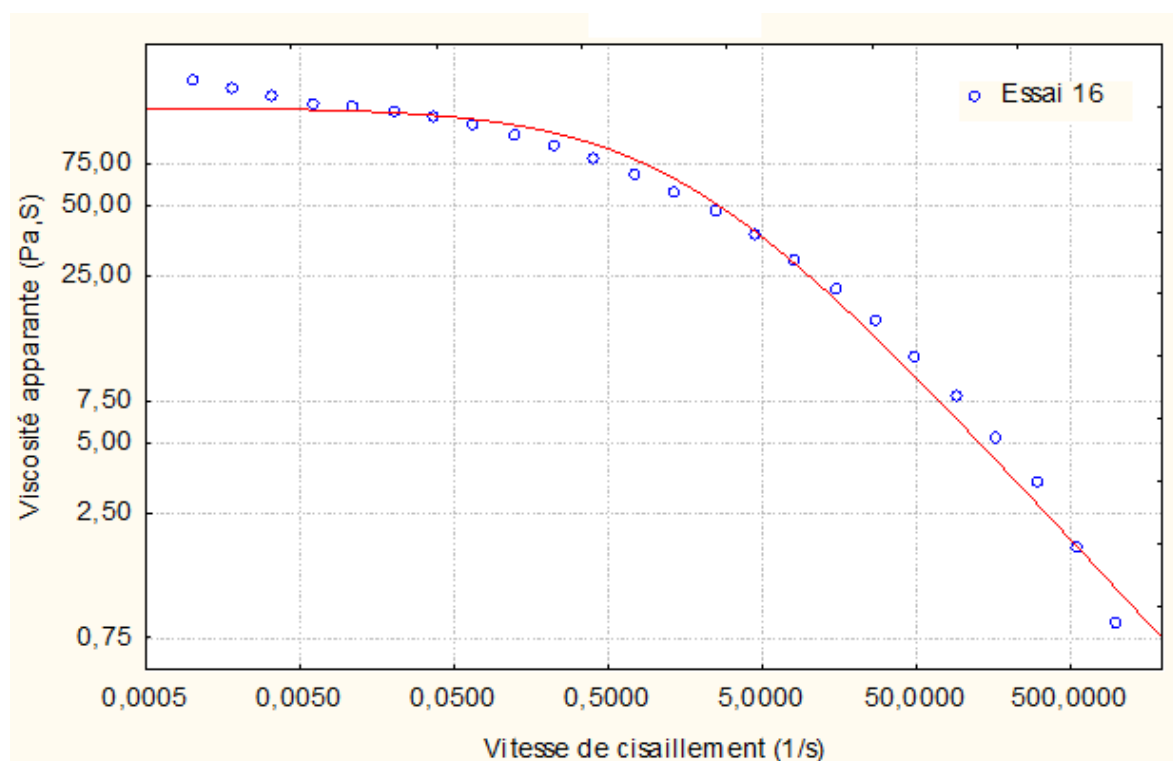


Figure 4.16 : Courbe d'écoulement de l'essai 16.

Références Bibliographiques

- [1] JALTEL .M, « La santé par les eaux. Clermont-Ferrand : L'instant Durable », Soprep-Diffusion, (1983).
- [2] PIERRE MAIN, « Eau thermale », (Septembre 2001).
- [3] AUBYJ.F, « Les eaux minérales », collection Que .Sai. Je, Edition Presse Universitaire De France (1994).
- [4] LAURE SANDERS, « Les eaux thermales en traitement adjuvant dermatologique et dermo-cosmétologique exemple de l'eau thermale d'Avène », Thèse docteur en pharmacie, (25 /02/2013).
- [5] « Inventaire et caractérisation des sources thermales de Guadeloupe », Rapport final, (Février 2007).
- [6] ANNE CHWONICE, « L'usage de l'eau thermale en nébuliseur », Thèse présenté et soutenue publiquement le (13 juillet 2007).
- [7] GEORGES POPOFF, « Spécificité, législation et contrôle des eaux minérales naturelles utilisées dans les établissements thermaux François », Press Therm Climat (2010) , 147,2:107-119.
- [8] FEVE ANNE, « L'eau thermale, matière première de produits cosmétique », thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, présenté et soutenue publiquement (05/12/2004).
- [9] PR.LOUIS TRAISSAC, JEAN CAMELLAS ; CELINE OHAYONCOURTES ; DIDIER BRUNSCHWING, « Crénothérapie en Oto-rhino-laryngologie, Oto-rhino-laryngologie ».
- [10] ABANE IBTISSEM, « Le thermalisme en Oto-rhino-laryngologie », Thèse N°144/11, (Année 2011).
- [11] URBAIN.P, « Les sources thermo-minérales en France : Etude géologique in précis de pharmacologie et de thérapeutique hydrominérales », L'expansion scientifique Française, Paris (1964).
- [12] BORDAT P, COUSSE H, NEUZIL E, DUFY B « Eau thermale d'Avène et dynamique du calcium intracellulaire » ; Bull. Soc. Pharm ; Bordeaux, (2000), p: 21-44.
- [13] Décrit exécutif N°04-196 du 15 Juillet 2004 relatif à l'exploitation des eaux minérales et des eaux de sources.
- [14] LANOTHE ANDRE, « Régénération d'eaux thermales », Brevet Européen N°027189B1.
- [15] ALBAN DURIEZ, « Origine et processus de minéralisation d'eau thermales en milieu continental méditerranée : cas de système géothermal des Thermopyles », Thèse de docteur en science spécialité : science de la terre.

- [16] S. OUALI, « Les sources Thermales en Algérie bulletin ».
- [17] HAMID ALIMANI ; MOHAMED BELARBI ALAOUI, « Le thermalisme et le développement durable dans la région de Fès – Boulemane ».
- [18] DR OLIVIER DUBOIS, PR JEAN PIERRE OLIE, PR ROGER SALAMON, DR CHRISTIANE VAUGEOIS, « Thermalisme psychiatrique : une alternative thérapeutique dans les troubles anxieux ».
- [19] MOHAMED BOUGHLALI, « thermalisme et thalassothérapie en Algérie » Presse therm climat (2003), p : 140- 161-165.
- [20] « Thermalisme des vertus hautement thérapeutiques ».
- [21] HADDAD H., GHOUALEM H., « caractérisation physico-chimique des eaux du bassin hydrographique côtier Algérois. ».
- [22] GHA ATHAMENA MALIKA, « Etude des Ressources Thermales de l'Ensemble Allochtone Sud Sétifien ».
- [23] SOPHIE PECASTAINGS , « Apport de modèles de bio-films à Pseudomonas aeruginosa et Legionella pneumophila à la maîtrise de la qualité microbiologique des réseaux d'eaux minérales naturelles ».
- [24] BALINT.G, BUCHANAN.W, ADAM.A et AL , « The effect of the thermal mineral water of Nagubaracska on patients with Knee-joint osteo-arthritis-a double blind study », Clin rheumatol, (2007).
- [25] LAURENTIES .A, « Intérêt de l'utilisation des eaux thermales dans les produits dermo-cosmétiques » ; Cas particulier de l'eau thermale d'Avène, (2002) ; Thèse de Pharmacie, Toulouse, p : 70-77.
- [26]
- <https://www.google.dz/search?q=la+rhumatologie+et+les+eaux+thermales&biw=1517&bih=714&site=webhp&source=lnms&sa=X&ved=0CAUQAUoAGoVChMI54DOpNmVxwIVJq3bCh1LawCj&dpr=0.9>.
- [27] ALAIN BLACQUE-BELAIR, Dictionnaire médical clinique, pharmacologique et thérapeutique, 3^{ème} édition (1969).
- [28] L.PERLEMUTER, A.CENAC, Dictionnaire pratique de médecin clinique, 2^{ème} édition.

[29] P.LAFFORGUE et J.NARGESON, L'arthrose, Faculté de médecine, (Mars 2006), Marseille.

[30] « Arthrose », COFER, Collège Français des Enseignants en Rhumatologie, Date de création du document (2010-2011).

[31] AMANDA CRESSWELL, « Guide sur le traitement Melville, Maîtriser l'eczéma », La Société canadienne d'eczéma.

[32] BERARD F., NICOLAS J.F, « Physiopathologie du psoriasis », Ann Dermatol Venereol, (2003), p: 837-842

[33] « Arthrose, un aperçu des options de traitement », La société de l'arthrite, 393 Avenue Université Toronto (ontario).

[34] PR.C.F ROQUES, « Therma-arthrose, un essai randomisé contrôlé qui évalue le traitement de l'arthrose de genou par le cure thermale », Analyse scientifique, Président du conseil scientifique de L'AFRETH.

[35] EMILIN FERARD, « Arthrose ou arthropathie chronique dégénérative », (03 Juin 2013).

[36] KONE.S, « Contribution à la formation de pommades dermiques à base d'extrait de plante à propriétés anti-fongéniques et antibactériennes », Thèse de Doctorat en pharmacie, Bamako (1993).

[37] M.LIENRE, M.ALLAIN, « Cours de pharmacologie par l'association Français des enseignements des facultés de médecine », 3^{ème} Année Ellyes (1993).

[38] LOMPO MARIUS, « Activité anti-inflammatoire des extraits d'ecarces de tronc de KHAYA SENEGALENSIS.A JUSS (MELIAACEAE), Mise au point d'une forme galénique topique, phase1 », Thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de troisième sicle.

[39] AUDE LEROUX, « Photo allergies de contact au Kétoprofène gel, Etude de réaction associées à l'octocrylène à partir des cas Nantais de la base nationale de pharmacovigilance », Diplôme d'état de docteur en pharmacie, (2011).

[40] P.WEHRLE, « Gel, formes galéniques appliquées sur la peau/ suspositoires », Pharmacie galénique : formulation et technologie pharmaceutique, Maloine (2007).

[41] Le grand G : Manuel du préparateur en pharmacie, 10^{ème} édition Masson Paris (1986).

[42] Le Hir A : Abrégée de pharmacie galénique, 4^{ème} édition revue et complétée, Masson Paris (1983).

[43] KOPINO.A, « Etude du marché du médicament traditionnels améliorés (MTA) et mise au point de pommade dermique à base de mitracarpus Scaber-Zucc (Rubiaceae) », Thèse de doctorat en pharmacie, Bamako.

[44] Guide pratique des médicaments 2^{ème} édition DOROSZ sous la direction de D vital DURAND, C. LEZEUNE.

[45] « Pharmacologie des médicaments appliqués par voie topique », collège des enseignants dermatologie de France, Cours sémiologie – CEDEF (2011).

[46] <http://tpe-guillaume-lucas.e-monsite.com/pages/l-absorption-cutanee.html>.

[47] HENRY TROISGROS, « Bourbonne les bains et sa région », Histoire et tourisme nouvelle édition revue, (2005).

[48] Rapport final « Préserver et protéger les ressources en eau souterraines, le site de Bourbon lancy (71) », (Octobre 2011).

[49] Annales des mines, « les eaux minérales naturelles, l'inventaire complet des sources en France », (1998).

[50] N. COURTOIS Avec la collaboration de P.VIGOUROUX, « Ressource en eau thermale de la station de Montbrun –les bains », Rapport final, (Décembre 2004).

[51] <http://www.eau-thermale-montbrun.com/fr/articulations/3-gel-thermal-cryo-actif-camphre.html>.

[52] <http://www.uriage.com/FR/fr/l-eau-d-uriage>.

[53] <http://www.pharmechange.com/sections.php?op=viewarticle&artid=172>

[54] NECHAD I., F.K., FADIL F « Qualité physico-chimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (Moyen Atlas, Maroc) », Larhyss Journal, (12/2014). 20(127-146).

[55] JEAN RODIER, BEMARD LEGUBE, NICOLE MERLET Et Al, « L'analyse de l'eau » ; 9e édition.

[56] KAHOUL.M, T.M. , « Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville D'Annaba (Algérie) » , Larhyss, (2014), p 19.

[57] VERGINI R ; « Les vertus curatives du magnésium », Edition Pietteur, (1996) p : 128.

[58] ANNE LABAYE, « Le Thermalisme à La Roche-Posay : Intérêt Dans Les Suites Des Cancers Mammaire », Thèse Docteur En Pharmacie (Mai 2013).

[59] LARREGUE. M ; Zinc et peau. , « Extrait de conférence, Poitiers, prononcée le 25 septembre 1992 aux entretiens de Bichat », Actualités pharmaceutique, (Novembre 1992), N°303 p: 17-18.

[60] LECCIAS M.T, RICHARD J.M, FAVIER A, « Intérêt des oligoéléments en cosmétologie », J Med Esth et Chir Derm, (1996) ; Vol XX : 175-178.

[61] « Neutralizing Carbopol® and Pemulen® Polymers in Aqueous and Hydroalcoholic Systems », The Specialty Chemicals Innovator, (January 2002).

[62] SASUTJARIT. R et al, « Viscoelastic properties of carbopol ultrez10 gels and their relationships to piroxicam diffusion coefficients in gel bases », Pharm Res (2005), p : 2134–2140.

[63] RAYMOND C ROWE, PAUL J SHESKEY and MARIAN E QUINN, «Handbook of Pharmaceutical Excipients »,Sixth Edition.

[64] « Natrosol, Hydroxyéthylcellulose A Nonionic Water Soluble Polymer », Physical and chemical properties, Aqualon ; 250 - 11G REV. 8- 99 2M.

[65] SPIEGEL AJ, NOSEWORTHY MM, « Use of non aqueous solvents in parenteral products», J Pharm Sci (1963), p: 917–927.

[66] J. W. LAWRIE, «Glycerol and the Glycols», Monograph Series, American Chemical Society; (1928,) New York, p. 388.

[67] A. HADJ SADOK Et Al, « Etude de l'influence des facteurs de formulation sur les propriétés viscoélastiques d'un gel à base de Carbopol », Rev. Sci. Technol., Synthèse p: 96 - 102 (2013).

[68] STECKELHARTWIG, HOFFMAN KARIN, «Hydrogel composition for the treatment of dermatological disorders », Brevet EP 2 201 930 A1, (30/06/2010).

[69] JACQUES DUBOIS ; FABRE PIERRE; « Spa water based cosmetic compositions and method for preparing same », Brevet EP 1 995 013793 A1, (26 /05/ 1995).

[70] BERTRAND JEAN-CHRISTOPHE, DUBOIS MARTINE, « Compositions pharmaceutiques à action anti-inflammatoire comprenant du kétoprofène », Brevet EP 1 234 573 B1; (27/07/2005).

[71] Noveon, « Les Architectes, Structurer ».

[72] ABDELWAHAB M. BUBTIENA, AHMED H. ELSHAFIE and OTHMAN JAAFAR, « Performance improvement for pipe breakage prediction modeling using regression method », International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(25), pp. 6025-6035, (23 October, 2011).

[73] LAURA GILBERT, « Caractérisation physico-chimique et sensorielle d'ingrédients cosmétiques : une approche méthodologique »,THESE Présentée et soutenue publiquement Le (10 décembre 2012) au Havre Pour obtenir le grade de Docteur en Chimie Organique et Macromoléculaire de l'Université du Havre.

[74] M.REBIHA, N.MOULAI-MOSTAFA, A.HADJ SADOK, « Propriétés physicochimiques et rhéologiques d'un mélange aqueux de biopolymères et d'un tensioactif non ionique », Revue Synthèse N°23, (Octobre 2011).

[75] VIVIER.S, « Stratégies d'optimisation par la méthode des plans d'expériences et application aux dispositifs électro-techniques modélisés par éléments finis », Thèse de doctorat soutenue à l'université de Lille (France), (Juillet2002).

Introduction générale

Partie théorique

Chapitre I :

Les eaux thermales

Chapitre II :

Les semi-solides à base d'eau thermale

Partie expérimentale

Chapitre III :

Matériels et méthodes

Chapitre IV :

Résultats expérimentaux et discussion

Conclusion générale

Annexes

Bibliographie

Remerciements

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les cinq années de maîtrise nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

Avant de faire quelconque développements au sujet de cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de débiter ce mémoire par des remerciements aux personnes qui nous ont beaucoup aidé au cours de ce mémoire.

Le présent travail a été effectué au sein du laboratoire de Pharmacie (340) de l'Université Saad Dahleb Blida-1 (USDB).

Tout d'abord nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi, le courage et la patience et de nous avoir permis d'en arriver là.

Surtout un grand merci à notre encadreur Monsieur A.HADJ SADOK, Chargé de Cours à l'Université de Blida-1, d'avoir proposé ce sujet de mémoire. Nous souhaitons lui témoigner notre profonde reconnaissance, toute notre gratitude et nos respect pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail, pour les discussions enrichissantes et instructives qui ont été très motivantes et la confiance qu'il nous a constamment témoignée.

On tient à remercier vivement Mr A.AOUBED pour son temps, ses conseils précieux dans notre recherche.

Nous adressons nos sincères remerciements à R.MOKDAD pour sa contribution à ce mémoire, ses conseils et son soutien moral durant notre parcours sans oublier L.BRADAI pour son aide précieuse dans la réalisation de nos expériences.

Nous remercions également tous les membres de l'option génie chimique, on vous souhaite le meilleur dans vos projets futurs.

Enfin, Nous adressons nos remerciements, à toutes les personnes qui nous ont encouragé et soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma
vie et mon bonheur ; maman que j'adore.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et
de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde
dans son vaste paradis, à toi mon père.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à mes sœurs, Naoual,
Yasmine et Naima, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en
premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.*

A mon binôme Imène et toute sa famille

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes
côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes
aimables amis, collègues d'étude.*

Et tous ceux qui mon aider de près ou de loin.

ASMAA

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tous simplement que : Je dédie ce mémoire à :

A Ma tendre Mère: Tu représente pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

A Mon très cher Père : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A Mes chers et adorable frères Hichem et Abd Errahman, En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

Nullé dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments et mon profond attachement.

A tout membre de ma famille, mes grands mères, mes oncles et leurs épouses et mes cousins et cousines (Nawel et Yasmine)

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

À mes amis de toujours : Romaissa, Amel, Lamia, Meriem, Soumia, mon binome Asma ,Khalida, Ahlem ,Asma.

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer.

IMENE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
-----------------------	----

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : LES EAUX THERMALES

I.1. DEFINITION	03
I.2. ORIGINE	04
I.3. FORMATION DES EAUX THERMALES	04
I.4. CLASSIFICATION DES EAUX THERMALES	05
I.4.1. Température	05
I.4.2. Minéralisation	05
I.4.3. Composition chimique	05
I.5. CONTROLE DES EAUX THERMALES	09
I.6. LE THERMALISME	09
I.6.1. Histoire	09
I.6.2. Définition	10
I.6.3. Les soins crénotherapiques	11
I.6.4. Les stations thermales médicalisées	12
I.7. INTERET MEDICALE	14
I.7.1. Utilisation des eaux thermales en rhumatologie et en dermatologie	16
I.8. CONCLUSION	17

CHAPITRE II : LES SEMI-SOLIDES A BASE D'EAU THERMALE

II.1. EN RHUMATOLOGIE	18
II.1.2.1. Qu'est-ce que l'arthrose ?	18
II.2. EN DERMATOLOGIE	20
II.2.1. L'eczéma... Qu'est-ce que c'est ?	20
II.2.2. Le psoriasis	21
II.3. LES TRAITEMENTS MEDICAUX	22
II.3.1. Thérapeutiques locales	23
II.3.2. Composition des hydrogels	24
II.3.3. Effet anti-inflammatoire des gels	25
II.4. DIFFUSION CUTANEE DES MEDICAMENTS	26
II.4.1. Processus de pénétration des substances dans la peau	26
II.5. CONCLUSION	27

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1. MATERIELS	28
III.1.1. Matières premières	28
III.1.2. Matériels de préparation des essais des gels thermo minéraux	36
III.1.3. Matériels de caractérisation	36
III.2. METHODES	37
III.2.1. Essais de préformulation	37
III.2.2. Méthode de planification expérimentale	37
III.2.2.1. Choix des facteurs et de leur domaine d'intérêt	37
III.2.2.2. La Modélisation en Surface de Réponse, RSM	38
III.2.2.3. Matrice d'expériences	39
III.2.3. Méthode de préparation des gels	39
III.2.3.1. Mode opératoire	39
III.2.4. Méthode de caractérisation	41
III.2.4.1. Analyse rhéologique	41
III.2.4.2. Test sensoriel	42
III.2.4.3. Test microbiologique	42
III.2.4.4. Test clinique	43

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

IV.1. TEST SENSORIEL	45
IV.2. TEST D'ÉCOULEMENT A L'EQUILIBRE	46
IV.2.1. Courbes d'écoulement des produits de référence	46
IV.2.2. Modélisation des courbes d'écoulement	48
IV.2.3. Matrices des réponses	51
IV.2.4. Évaluation de la qualité du modèle mathématique	51
IV.2.5. Etude de l'effet et de l'interaction des facteurs sur les réponses	54
IV.2.5.1. Effet du Carbopol sur les réponses	54
IV.2.5.2. Effet du HEC sur les réponses	55
IV.2.5.3. Effet de l'eau thermique sur les réponses	56
IV.3. DETERMINATION DE L'OPTIMUM	57
IV.4. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES	58
VI.5. TEST D'EFFICACITE	59
CONCLUSION GENERALE	61

Références Bibliographiques

Annexes

Glossaire

Boues thermales	Boues végéto-minérales obtenues par maturation d'une boue dans un bassin où circule une eau minérale.
Cure thermique	Ensemble des thérapeutiques appliquées au patient pendant son séjour dans une station thermique.
Crénothérapie	application thérapeutique des eaux minérales (aussi thermalisme).
Dermatose	Maladie de la peau.
Eau minérale	Eau de source naturelle douée de propriétés thérapeutiques.
Eau thermique	Au sens strict, eau chaude ; en pratique, est souvent utilisé comme synonyme d'eau minérale.
Eaux juvéniles	eaux minérales naturelles d'origine profonde.
Eaux vadoses	eaux minérales naturelles d'origine superficielle.
Stratum corneum	La Stratum corneum ou couche cornée, est la couche la plus éloignée de l'épiderme, et comprend la surface de la peau. Elle est composée principalement de cellules mortes.
Thermalisme	Ensemble des questions qui se rapportent aux sources thermales, à leur industrie, à leur exploitation et à leur utilisation. Est souvent utilisé comme synonyme de traitement par les eaux thermales.

Abréviations

AINS	Les anti-inflammations non stéroïdiennes
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
C-à-d	C'est-à-dire
EDTA	Acide éthylène diamine tétra-acétique
ETG	Eau Thermale de Guergour
HEC	Hydroxyéthylcellulose
ISO	L'Organisation internationale de normalisation
MP	Matière Première
NA	Normes Algérienne
OMS	Organisation mondiale de la santé
PA	Principe actif
PG	Le propylène glycol
PLS	Partial Least Squares ou les moindres carrés partiels (français)
PR	La polyarthriterhumatoïde
RSM	Response Surface Modelling(modélisation en surface de réponse)
SEAAL	Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
TEA	Triéthanolamine.

Nomenclature

R^2	Coefficient de détermination rhéologique	
$\dot{\gamma}$	Vitesse de cisaillement	S^{-1}
η_{app}	Viscosité apparente	Pa.s
$D_{critique}$	Le temps caractéristique de l'enchevêtrement	S^{-1}
η_0	La viscosité du palier newtonien à faible taux de cisaillement	
η_∞	La viscosité du deuxième plateau newtonien à taux de cisaillement élevé	
n	Indice de loi de puissance	
R^2	Coefficient de détermination.	
Q^2	Coefficient de prédiction.	
y_i	La réponse mesurée au point i	
$\bar{y}$	La moyenne de l'ensemble des réponses y_i mesurées	
e_i	Le résidu au point i	
$\hat{y}_i$	La réponse prédite par le modèle au point i	
h_i	La variance de prédiction au point i	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE II : LES SEMI-SOLIDES A BASE D'EAU THERMALE

Figure II.1: Schéma représentatif des endroits touchés par l'arthrose.	19
Figure II.2: Schéma d'une articulation normale avec ses différents constituants et son évolution arthrosique (arthrose débutante et terminale).	20
Figure II.3: Schéma représente l'altération de la fonction barrière.	21
Figure II.4: Schéma comparatif entre une peau normale et une peau psoriasique.	22

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

Figure III.1: Molécule de triéthanolamine.	35
Figure III.2: Protocole opératoire.	41

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

Figure IV.1 : Courbes d'écoulement des produits de références, T=20°C.	46
Figure IV.2: Pelote de macromolécules.	47
Figure IV.3: Macromolécules sous orientés dispersés.	47
Figure IV.4: Courbe d'écoulement de l'un des produits formulés, T=20°C.	48
Figure IV.5: Courbe de viscosité (en échelle double logarithmique) du produit de références et les 16 essais.	50
Figure IV.6: Histogrammes représentent R^2 , Q^2 et de la reproductibilité des modèles de surface de réponses.	52
Figure IV.7: Courbe d'effet de la concentration du carbopol sur les trois réponses.	54
Figure IV.8: Courbe d'effet de la quantité du HEC sur les réponses.	55
Figure IV.9 : Courbe d'effet de la quantité d'eau thermale sur les réponses.	56

ANNEXE 04

Figure 4.1: Courbe d'écoulement de l'essai 1.
Figure 4.2: Courbe d'écoulement de l'essai 2.
Figure 4.3: Courbe d'écoulement de l'essai 3.

Figure 4.4: Courbe d'écoulement de l'essai 4.
 Figure 4.5: Courbe d'écoulement de l'essai 5.
 Figure 4.6: Courbe d'écoulement de l'essai 6.
 Figure 4.7: Courbe d'écoulement de l'essai 7.
 Figure 4.8: Courbe d'écoulement de l'essai 8.
 Figure 4.9: Courbe d'écoulement de l'essai 9.
 Figure 4.10 : Courbe d'écoulement de l'essai 10.
 Figure 4.11: Courbe d'écoulement de l'essai 11.
 Figure 4.12: Courbe d'écoulement de l'essai 12.
 Figure 4.13: Courbe d'écoulement de l'essai 13.
 Figure 4.15: Courbe d'écoulement de l'essai 15.
 Figure 3.16: Courbe d'écoulement de l'essai 16.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : LES EAUX THERMALES

Tableau I.1 : Classification des eaux thermales en fonction de leur température.	05
Tableau I.2 : Classification des eaux thermales en fonction de leur minéralisation.	05
Tableau I.3 : Les composés du soufre.	06
Tableau I.4 : Caractéristique principales des eaux sulfurées.	06
Tableau I.5 : Récapitulatif de la classification des eaux thermales selon les principaux éléments chimiques.	08
Tableau I.6 : Les huit stations thermales médicalisées sur le territoire Algérien.	12
Tableau I.7 : Les caractéristiques physico-chimique des eaux thermales de Hammam GUERGUOUR et Hammam MELOUANE.	14
Tableau I.8 : Orientations du thermalisme et indications les plus fréquentes.	15

CHAPITRE II : LES SEMI-SOLIDES A BASE D'EAU THERMALE

Tableau II.1 : Comparatif succinct entre les oléogels et les hydrogels.	25
---	----

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

Tableau III.1 : les valeurs mesurées de la conductivité et la minéralisation de Hammam Guergour et Melouane.	29
Tableau III.2 : Valeurs du pH.	30
Tableau III.3 : Analyse chimique en éléments majeurs (mg/l).	30
Tableau III.4 : Analyse chimique des éléments mineurs en mg/l.	32
Tableau III.5 : Résultat de l'analyse bactériologique des eaux thermales étudiées.	33
Tableau III.6 : Matrice d'expériences.	39

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

Tableau IV.1 : Fiche d'appréciation de l'un des produits formulés.	45
Tableau IV.2 : Paramètres rhéologiques du modèle de Cross.	50
Tableau IV.3 : Matrice des réponses.	51
Tableau IV.5 : Matrice de corrélation réponse-réponse.	53
Tableau IV.6 : Valeurs de l'optimum.	57
Tableau IV.7 : Valeurs des réponses.	57
Tableau IV.8 : Résultat de l'analyse bactériologique du gel optimal.	58

ANNEXES 01

Tableau 1.1 : Caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau de Montbrun.	
Tableau 1.2 : Caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau de Bourbonne – Les bains.	
Tableau 1.3 : Exemples des gels formulés à base d'eau thermale.	
Tableau 1.4 : Les soins à base d'eau thermale pour les peaux à tendance atopique.	
Tableau 1.5 : Les soins à base d'eau thermale pour les peaux à tendance squameuse.	

ANNEXES 03

Tableau 3.1 : Fiche d'appréciation du produit de référence (Aloe -Vera).	
Tableau 3.2 : Fiche d'appréciation du produit de référence (Synthol gel).	
Tableau 3.3 : Fiche d'appréciation de l'essai 01.	

Tableau 3.4 : Fiche d'appréciation de l'essai 02.

Tableau 3.5 : Fiche d'appréciation de l'essai 03.

Tableau 3.6 : Fiche d'appréciation de l'essai 04.

Tableau 3.7 : Fiche d'appréciation de l'essai 05.

Tableau 3.8 : Fiche d'appréciation de l'essai 06.

Tableau 3. 9: Fiche d'appréciation de l'essai 07.

Tableau 3.10: Fiche d'appréciation de l'essai 08.

Tableau 3.11: Fiche d'appréciation de l'essai 09.

Tableau 3.12 : Fiche d'appréciation de l'essai 10.

Tableau 3.13 : Fiche d'appréciation de l'essai 11.

Tableau 3.14: Fiche d'appréciation de l'essai 12.

Tableau 3.15 : Fiche d'appréciation de l'essai 13.

Tableau 3.16 : Fiche d'appréciation de l'essai 15.

Tableau 3.17: Fiche d'appréciation de l'essai 16.

INTRODUCTION GENERALE

Les eaux thermales sont utilisées depuis des siècles dans le traitement de diverses pathologies. La puissance thérapeutique des sources thermales était connue depuis l'Antiquité et le recours aux effets bénéfiques de ces eaux chaudes et naturelles remonte à nos plus lointains ancêtres. L'appréciation empirique des vertus mystérieuses des eaux thermales, trouve aujourd'hui une véritable justification scientifique.

Elles peuvent être utilisées dans des situations très variées en dehors des cures. En effet, leurs différentes propriétés (composition unique, riche en minéraux et en oligoéléments) les amènent à être proposées dans un grand nombre de situations cliniques. La dermatologie et la rhumatologie, sont parmi les principales indications de l'utilisation d'eau thermale en dehors de la cure.

Etant persuadés des effets bénéfiques de l'eau thermale, quelques laboratoires dermatologiques ont décidé de la substituer à l'eau distillée habituellement utilisée dans les formules classiques afin de mieux soulager les peaux sensibles. De ce fait, plusieurs marques mondiales de soins dermiques à base d'eau thermale ont vu le jour.

Il existe sur le territoire Algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Ces ressources naturelles et précieuses, dont l'exploitation est limitée, à l'heure actuelle, aux simples pratiques crénothérapiques, ne demandent qu'à être valorisées, laissant penser qu'il est très intéressant d'exploiter cette richesse naturelle dans le domaine de la dermo-cosmétologie.

Le travail que nous présentons porte sur la formulation et l'élaboration d'un gel à base d'eau thermale pour servir de traitement complément aux soins médicamenteux. En prenant comme exemple deux sources thermales à indication purement dermatologique et rhumatologique, Ces sources seront celles de Hammam Guergour et Hammam Melouane.

Le présent document est organisé en deux grandes parties. La première est consacrée à la synthèse bibliographique nécessaire à la bonne compréhension de ce travail. Elle comporte deux chapitres :

Le premier de cette revue est dédié à l'eau thermale. Au cours de ce chapitre, nous analyserons les propriétés de ces eaux. L'importance du thermalisme sera mise en évidence et nous ferons un bref tour d'horizon sur les principales stations thermales algériennes.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de maladie arthrosique et de dermatose (Eczéma et psoriasis) qui ont été choisis pour traiter en fonction des propriétés de l'eau thermale étudiée et on va vous présenté quelques exemples spécifiques formulés à partir d'eau thermale.

La partie expérimentale de ce travail est présentée dans deux chapitres. Le troisième chapitre comporte:

Le matériel et les méthodes qui ont été utilisés, les excipients utilisés dans cette formule qui est basée sur une recherche bibliographique. Nous avons appliqué une démarche pour l'élaboration du gel, les essais réalisés suivant un plan d'expériences afin d'obtenir un gel.

Le quatrième chapitre, regroupera les résultats expérimentaux, leurs exploitations et leurs interprétations.

Enfin, une conclusion générale, nous rappellerons les principaux résultats obtenus, ainsi que les voies envisagées pour une suite d'étude plus approfondie.

La prodigieuse richesse de l'Algérie en eaux thermo-minérales est connue depuis bien longtemps et l'efficacité de ces eaux est bien établie. L'Algérie contient en abondance des sources thermo-minérales très variées et répondant à tous les besoins thérapeutiques moderne.

Dans ce premier chapitre, nous étudierons ces eaux mystérieuses aux vertus thérapeutiques, l'ensemble de leur propriété sera détaillé. Ensuite, on va prendre comme exemple deux sources naturelles, comme Hammam Guergour et Hammam Melouane pour étudier l'intérêt thérapeutique de ces eaux naturelles dans la maladie rhumatismale et dermatologique.

I.1. DEFINITION

Une eau thermale est tout d'abord une **eau minérale naturelle**, c'est-à-dire une eau possédant un ensemble de caractéristiques qui sont de nature à lui apporter des propriétés favorables à la santé [1].

C'est une eau profonde qui, à l'émergence, sa température est supérieure à la température moyenne annuelle de la région, elle possède des caractéristiques physico-chimiques constantes pour chaque source (débit, température, concentration en minéraux et en gaz) et, ceci indépendamment des modifications climatiques et environnementales (saisons, pluviométrie, sécheresse). En plus de son utilisation comme eau de boisson, elle est aussi utilisée comme un remède contre plusieurs maladies et affections [2].

Bien que communément admise l'expression « eau thermale » qui indique uniquement le caractère naturellement chaud de l'eau, est relativement impropre pour désigner l'eau utilisée pour la cure thermale. En toute rigueur, on devrait en effet parler d'**eau minérale naturelle**, car toute eau susceptible d'être utilisée pour les soins entrant dans le cadre d'une cure thermale (cure de boisson ou traitement externe) possède des caractéristiques qui lui confèrent des propriétés favorables à la santé et reconnues par l'Académie Nationale de Médecine, ce qui est précisément la définition d'une eau minérale naturelle [3].

Donc, on peut dire que l'eau thermale est définie par :

- Son origine profond, garantissant sa pureté microbiologique.
- Ses caractéristiques physico-chimiques déterminées et stables.
- Ses effets pharmacologiques la différenciant des autres eaux.

I.2. ORIGINE

Une eau minérale naturelle peut avoir trois origines : superficielle, profonde ou mixte [3], [4].

- **Eau minérale d'origine superficielle** : Aussi appelée météorique ou géothermale, Ce sont des eaux de pluie infiltrées dans le sol et qui ont parcouru des profondeurs parfois très grandes, un trajet avant de resurgir à la surface.
- **Eau minérale d'origine profonde (juvénile)** : Elles proviennent des couches les plus profondes de la lithosphère et selon une hypothèse très récente, ces eaux se formeraient chimiquement dans le magma au cœur du globe (pyrosphère et même barysphère) terrestre. Elle résulterait alors de la combinaison directe de l'hydrogène et de l'oxygène gazeux de la pyrosphère ou même de la barysphère.
- **Eau minérale d'origine mixte** : Elles résultent d'un mélange, dans des proportions variables lors de leur remontée, entre des eaux juvéniles d'origine profonde et des eaux superficielles.

I.3. FORMATION DES EAUX THERMALES

La "machine thermique" qui est à l'origine de la thermalité fonctionne schématiquement de la façon suivante [7], [15] :

La densité de l'eau diminue quand sa température augmente. Aussi, l'eau réchauffée dans les profondeurs de la terre tend à remonter vers la surface; sa circulation est facilitée par le fait que l'élévation de température diminue sa viscosité. C'est l'effet de "thermosiphon" : l'eau froide s'enfonce, pour se réchauffer, puis remonte.

Sa circulation en profondeur draine une chaleur accumulée depuis des centaines, voire des millions d'années. Cette chaleur provient pour une grande part des 15 à 20 premiers kilomètres de la croûte terrestre, et, pour une part plus modeste, du manteau, encore plus profond.

Les eaux les plus profondes, dites plutoniennes, sont les plus anciennes (on estime leur âge en millions d'années) et sont généralement les plus chaudes. Les eaux dites neptuniennes, sont plus superficielles, plus fraîches et généralement les plus récentes.

I.4. CLASSIFICATION DES EAUX THERMALES

Les eaux thermales sont classées en fonction de leur température, leur origine géologique et leur composition chimique et minérale. A présent, Les eaux thermales sont principalement définies selon leurs:

I.4.1. Température :

Elle regroupe quatre catégories représentées dans le tableau I.1 [4] :

Tableau I.1 : Classification de l'eau thermique selon sa température d'émergence.

Désignation	Température à l'émergence °C
Eaux froides	Moins de 20°C
Eaux hypo-thermales	20 à 35 °C
Eaux thermales	35 à 50 °C
Eaux hyperthermales	Au-dessus de 50°C

Cette classification historique ne reflète plus les températures utilisées depuis que les stations s'approvisionnent sur des forages parfois très profonds dont la température peut être différente.

I.4.2. Minéralisation :

Les eaux thermales ont une teneur en sels minéraux très variable, ce qui leur confère des propriétés différentes. En effet, une eau faiblement minéralisée, qui se caractérise notamment par une résistivité élevée est très différente d'une eau fortement minéralisée [6].

La classification des eaux thermales en fonction de leur teneur en minéraux comporte cinq catégories allant de quelques milligrammes par litre à plusieurs grammes par litre. Cette classification est détaillée dans le tableau I.2.

Tableau I.2 : Classification des eaux thermales en fonction de leur minéralisation.

Eau	Teneur en sels minéraux (exprimée en résidu fixe à 180°C)
Très faiblement minéralisée	< 50 mg/l
Faiblement minéralisée ou oligo-minérale	50 mg/l < [c] < 500 mg/l
Moyennement minéralisée	500 mg/l < [c] < 1 000 mg/l
Minéralisée	1 000 mg/l < [c] < 1500 mg/l
Fortement minéralisée	> 1500 mg/l

I.4.3. Composition chimique :

Cependant, la minéralisation totale ne permet pas de caractériser et de différencier les eaux minérales naturelles car ce paramètre ne prend pas en considération leur profil chimique [7].

Donc la classification est basée sur la composition en sels minéraux caractéristiques, c'est-à-dire sur la présence et l'importance de divers anions et cations.

Les eaux thermales sont classées en fonction de l'existence dans leur composition d'un anion soit par sa concentration, soit par sa nature chimique. A l'intérieur de ces divisions, on établit ensuite des subdivisions en fonction cette fois des cations présents.

La classification chimique est composée de six groupes :

a) les eaux sulfurées :

Sodiques de type « pyrénéen » ou calciques, ces eaux sont caractérisées par la présence d'hydrogène sulfuré et de sulfures acides [4].

Elles possèdent du soufre, présent sous plusieurs états d'oxydation, c'est-à-dire de la forme la plus réduite jusqu'à la plus oxydée (Tableau I.3) :

Tableau I.3 : Les composés du soufre [8].

Désignation	Formule	
Les sulfures	$[H_2S]$, $[HS]^-$, $[S]^{2-}$, $[RS]^-$	Soufre réduit
Ions polysulfures	$[HS]^{n-}$, $[S_n]^{2-}$	
Soufre élémentaire	$[S_8]$	précipité ou colloïdal
thiosulfates	$[S_2O_3]^{2-}$	Soufre oxydé
sulfates	$[SO_4]^{2-}$	
Sulfites	$[SO_3]^{2-}$	

Une eau est dite sulfurée à partir d'une teneur en sulfures de 0,3 mg/L, les eaux les plus sulfurées allant jusqu'à 150 mg/l [6].

On distingue deux types d'eau sulfurés :

- Les eaux sulfurées sodiques.
- Les eaux sulfurées calciques.

Leurs caractéristiques sont récapitulées dans le tableau suivant (Tableau I.4) :

Tableau I.4 : Caractéristique principales des eaux sulfurées [9].

Critères	Eaux sulfurées sodiques	Eaux sulfurées calciques
Température	Hyperthermale jusqu'à 72 °C	Le plus souvent froides
Minéralisation totale	Faible	Le plus souvent > 1 g/L
pH	De 8 à 10	De 6,5 à 7,5
Cation majeur	Sodium 90 à 95 % de la totalité des cations	Calcium
Autres caractéristiques	Magnésium à l'état de traces (10^{-6} M/L) marqueur de mélange Silice jusqu'à 50 % de la minéralisation totale	

Ces eaux sont fortement utilisées dans le traitement des affections respiratoires, notamment grâce aux propriétés de l'hydrogène sulfuré, de la silice et du sodium [7].

b) les eaux sulfatées [10] :

Ces eaux ne comportent que des sulfates mais pas de soufre réduit, elles proviennent de la dissolution des sulfates dans le sol ; leur concentration en calcium est limitée par la solubilité du sulfate du Ca^+ qui est d'environ 2g/l, ce qui en fait des eaux à minéralisation globale faible, de l'ordre de quelques g/l.

Ils existent trois types d'eaux sulfatées :

- Eaux sulfatées calciques.
- Eaux sulfatées sodiques.
- Eaux sulfatées mixtes.

Ces eaux traitent souvent les affections des voies urinaires et peuvent également intervenir dans le traitement des eczémas et des séquelles de brûlures.

c) Les eaux chlorurées sodiques:

Où prédomine le chlorure de sodium en concentration supérieure ou égale à 300g/l, provenant souvent de gisements de sel gemme, ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement des troubles du développement et de l'énurésie [11].

Il existe deux sous catégories [6] :

- **Les eaux chlorurées sodique fortes (chaudes) :** la dissolution de sel dans d'anciens dépôts lagunaires peut faire atteindre le seuil de saturation de l'eau, soit 300 g/L.
- **Les eaux chlorurées sodique faibles (froides) :** sont minéralisées seulement à quelques grammes par litre d'eau.

Ces eaux sont très corrosives pour les matériaux métalliques. Elles sont beaucoup utilisées en rhumatologie, du fait de leur température optimale pour le corps humain.

d) Les eaux bicarbonatées gazeuses:

Ces eaux renferment un excès de dioxyde de carbone libre en quantité supérieure à 250 mg/l et des ions hydrogénocarbonates $[\text{HCO}_3^-]$ à plus de 1 g/l.

Le pH de ces eaux est systématiquement acide. Le sodium est le cation associé prépondérant et plus rarement on trouve du calcium.

Les eaux bicarbonatées qui contiennent également du sodium sont particulièrement indiquées pour les troubles de la digestion. Celles qui contiennent du calcium ont un effet

anti-inflammatoire qui agit sur les maladies de la peau. Elles sont ainsi indiquées pour le traitement de l'acné et des brûlures [12].

e) Les eaux ferrugineuses :

Eau qui contient une forte teneur en fer, bien qu'elles soient accompagnées généralement de bicarbonates ou de sulfates. La teneur en fer bivalent Fe^{2+} varie entre 0,5 et 20 mg/L [11].

Les eaux ferrugineuses sont indiquées en cas d'obésité, de rhumatismes, d'affections hépatiques, biliaires et pour certaines affections dermatologiques.

f) Les eaux peu minéralisées [7] :

Ce sont des eaux faiblement minéralisées (minéralisation inférieures à 500 mg/L). Dans cette catégorie on trouve les eaux oligo-minérales. La présence d'éléments traces comme le cuivre, l'arsenic le sélénium, le zinc ou le vanadium à des teneurs de l'ordre du microgramme par litre.

Il est difficile d'attribuer une activité thérapeutique à des éléments traces contenus dans l'eau à des teneurs de l'ordre du microgramme par litre. Pourtant les effets sont indiscutables : le sélénium dans les eaux de la Roche-Posay donne d'excellents résultats en dermatologie.

Par ailleurs, les eaux qui contiennent de l'arsenic interviennent dans le traitement des allergies et celles qui contiennent du cuivre sont indiquées en dermatologie.

On résume la classification des eaux thermales selon leur composition chimique dans le tableau ci-dessous (tableau I.5) :

Tableau I.5 : Récapitulatif de la classification des eaux thermales selon les principaux éléments chimiques.

Type d'eau	Composition	Teneur
Sulfurée	Présence de sulfures et d'hydrogène sulfurésodiques, (calciques, thiosulfatées, chloro-sulfurées)	Sulfures > 0,3mg/l
Sulfatée	Anions sulfates prépondérants (sodiques magnésiennes, calciques)	Sulfates >200mg/l
Chlorurée sodique	Anions chlorures prépondérants (sodiques fortes, sodiques faibles)	Chlorure > 250mg/l et sodium > 200mg/L
bicarbonatée gazeuse	Anions bicarbonates prépondérants (sodiques, mixtes, calciques)	Hydrogénocarbonate > 1g/l et CO_2 > 250mg/1
Ferrugineuse		Fer bivalent > 0,5 mg/l
faiblement minéralisée	Eaux oligométalliques, oligominérales	Riche en oligo-éléments

I.5. CONTROLE DES EAUX THERMALES

Les eaux thermales ont une composition physico-chimique et bactériologique particulière. Elles ne peuvent faire l'objet d'aucun traitement autre que la séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration. Ces traitements doivent être réalisés à l'aide de procédés physiques, mettant en œuvre des matériaux inertes et ne doivent dans aucun cas modifier les caractéristiques de cette eau [13].

Il a été prouvé que les eaux des nappes les mieux protégées présentent une population bactérienne constante. Ces bactéries font partie intégrale du système écologique stable constitué par la nappe. Ces micro-organismes particuliers sont communément appelés le « plancton thermal ». La stérilisation de ces eaux par des procédés physiques tels que la chaleur ou les rayons ultra-violets peut détruire ces éléments vivants, entraînant ainsi la perte des propriétés curatives de ces eaux [14].

Donc, en ce qui concerne les critères d'analyses microbiologiques, le contrôle portera sur la recherche des microorganismes pathogènes susceptibles d'affecter la santé de l'homme.

I.6. LE THERMALISME

I.6.1. Histoire

Les traces retrouvées dans les stations thermales remontent à l'époque romaine. En effet les romains accordaient une importance très particulière aux sources thermales, très souvent ils construisent leurs sites autour de ces sources, comme c'est le cas pour les sites suivants : Aquae Mauretaniae Cesarienne (Hammam Righa) ; Aquae Sirenses (Hammam Bouhanifia) ; Aquae Chibilita Nae (Hammam Meskhoutine).

Les sources thermales furent aussi bien exploitées par les arabes, en effet très souvent des sources portant le nom d'un marabout qui a vécu dans la région comme hammam Bouhadjar qui doit son nom au marabout Sid Ahmed Bouhadjar qui a vécu dans la tribu des Ouled Bouhadjar avant la colonisation française et dont le mosolé est situé au Sud-Est de la ville de Hammam Bouhadjar.

Les Turcs aussi très amateurs des bains chauds construisent dans les villes plusieurs bains avec des installations permettant le stockage de l'eau de source.

Pendant l'époque coloniale les français construisent des hôpitaux thermaux autour des sources pour y soigner les blessés et convalescents.

Aujourd'hui comme dans le passé les stations thermales sont très sollicitées par les algériens pour divers traitements d'ordre rhumatologique, dermatologique et psychiatrique [16].

I.6.2. Définition

Le terme « Thermes » vient du grec thermos qui veut dire chaud ; établissements de bains public anciens. Etablissement thermal où l'on fait une cure, où l'on vient prendre des eaux ayant des vertus médicinales.

Le thermalisme est la science d'utilisation des eaux de sources minérales à des fins thérapeutiques ou de bien-être ou de remise en forme.

Les traitements sont applicables à de nombreuses affections et problèmes pathologiques, et ce, suivant les sources d'eau.

Les cures thermales sont souvent recommandées aux personnes souffrant de rhumatismes, et de maladies de l'appareil locomoteur, de maladies de peau (eczéma, psoriasis,...), d'affections cardio-vasculaires, dans le sevrage tabagique, les perturbations endocriniennes, le surpoids, ou les maladies respiratoires d'origine allergique.

Le thermalisme offre des soins nombreux en fonction des affections : bains en baignoire ou en piscines, douches stimulantes ou émollientes, aérosols, douches pharyngées, inhalations de vapeurs thermales, cataplasmes de boues, ... La cure en elle même peut s'associer à des activités de remise en forme telles que massage, relaxation, gymnastique.

Le thermalisme constitue, en effet, une véritable alternative médicale très adaptée aux patients soumis au traitement médicamenteux, mais insuffisamment soulagés.

Thérapeutique naturelle par excellence, le thermalisme s'inscrit parfaitement dans la recherche actuelle d'une vie et d'un environnement plus naturel, permettant à l'individu de préserver sa santé.

D'ailleurs, depuis 1986, l'Organisation Mondiale de la Santé confère un statut officiel à la Fédération Internationale du Thermalisme, ce qui donne au thermalisme une validité scientifique et un rôle social.

Le thermalisme, étant un ensemble d'activités liées à l'exploitation et à l'utilisation des eaux minérales, a su se moderniser pour mettre à profit les dernières technologies afin d'utiliser les eaux minérales à des fins thérapeutiques tant pour adulte et l'enfant.

Derrière le thermalisme se profile une structure qui incarne les différentes activités d'exploitations des thermes. Il s'agit bel et bien de la station thermale. Celle-ci peut être définie comme la localité qui est dotée d'un ou de plusieurs établissements spécialisés dans le traitement d'affections diverses par les eaux de sources minérales. Et le site qui dispose d'une structure (douche, baignoire, boue...) et des équipements (hôtels ou lieux parallèles pour hébergement sur place) est un établissement thermal [17].

I.6.3. Les soins crénotherapiques

La cure thermale est caractérisée par l'utilisation de soins crénotherapiques répartie en quatre formes différentes:

- Douche thermale (projection d'une masse d'eau à forte pression (3 à 4 bars)).
- Bains bouillonnants : bains complets (envahissant l'ensemble des téguments du sujet), tièdes ou chauds, d'une durée de 10 à 20 minutes. Il existe de nombreuses variétés de bains bouillonnants.
- Massages sous l'eau : durée de 10 à 20 minutes ; massages sédatifs réalisés par un masseur-kinesithérapeute alors que le patient reçoit des filets d'eau sur la face postérieure de l'ensemble du corps.
- Bains en piscine : avec possibilité de douches en immersion.

Les produits thermo-minéraux sont avérées, dans de nombreuses études, possédant une efficacité supérieure à celle de l'hydrothérapie non thermale. Les produits de la crénothérapie agissent essentiellement par leurs propriétés physiques de thermalité et par leur minéralité ; la peau est perméable aux éléments minéraux. L'action par nociception assure des effets directs de décontraction musculaire, des effets antispasmodiques et de vasodilatation. L'activité antalgique de la crénothérapie a été largement démontrée.

Elle est sans doute favorisée par l'inhibition de la transmission de la douleur au niveau médullaire postérieure. Une autre hypothèse est la stimulation des opioïdes endogènes par stimulation cutanée.

Par ailleurs, les capacités endocriniennes démontrées des cellules épidermiques stimulées par la crénothérapie peuvent expliquer les modifications sur l'axe cortico-surrénalien rencontrées dans le cadre de séjours thermaux [18].

I.6.4. Les stations thermales médicalisées

Tableau I.6 : Les huit stations thermales médicalisées sur le territoire Algérien.

	Wilaya	T (°C)	Altitude (m)	Facies Chimique	Indication Thérapeutique
Hamam Bouhrara	TLEMSEN	45	282	Sulfatées et bicarbonatées Sodiques	Rhumatologiques, Dermatologiques, gynécologiques et respiratoires
Hamam Bouhadjar	AIN TEMOUCHENT	70	150	Chlorurées Sodiques	Rhumatismes et les séquelles de traumatismes ostéo-articulaires
Hamam Bouhanifia	MASCARA	20-70	230	Chloro- sulfatées	Le rhumatisme Dégénératif (arthrose), le rhumatisme inflammatoire Chronique, les séquelles de traumatisme et tous les autres cas Liés aux problèmes de la sphère (orl).
Hamam Rabbi	SAIDA	40	---	Sulfurées	Dermatologie, douleurs rhumatismales aiguës, articulaires, Fièvres anémiques, affections cutanées et respiratoires.
Hamam Righa	AIN DEFLA	54	525	Sulfatées calciques	Arthrites, affections rhumatismales, troubles nerveux, blessures et traumatismes.
Hamam Guergour	SÉTIF	44	700	Sulfatées- calciques et Chlorurée sodiques	Rhumatologiques et neurologiques,
Hamam Meskoutine	GUELMA	90-98	320	Bicarbonaté calciques, chloruré Sodique, radioactives	Rhumatologiques Respiratoires (ORL et bronches).
Hamam Salhine	BISKRA	70	140	Sulfurées et chlorurées sodiques	Rhumatismales, Respiratoires et dermatologiques.

a) Hamam GUERGOUR :

La station thermale de hamam Guergour est située à 60 Km au Nord-Ouest de Sétif à la sortie des gorges traversées par l'Oued Boussellem , dominée notamment par le Djebel Kraim el-Rar et le Djebel Tafat culminant à plus de 700 mètres d'altitude Les études physico chimiques faites à diverses reprises ont toutes conclu à la radioactivité des eaux thermales et minérales, elles sont classées au 1er rang en Algérie et au 3ème rang mondial après les bains de Brembach (Allemagne) et les bains de Jachimov (Tchécoslovaquie), son taux de radioactivité est de 122 milli-microcuries/l.

Elles se placent par leur composition chimique dans le groupe des eaux sulfatées-calciques et chlorurées sodiques dont les eaux sont hyperthermales à une température avoisinant les 44° degrés.

Dans le cadre du développement du tourisme thermal en Algérie, le gouvernement décida la construction d'un complexe thermal au milieu des années soixante dix au niveau d'un ancien site romain qui surplombe le village de Hammam Guergour sur une superficie de 14 hectares, Il fut inauguré le 20 juin 1987 [16].

Elles sont indiquées dans les affections rhumatismales, dermatologiques et en phlébologie et en gynécologie et ne cesse de prendre de l'ampleur et de l'estime auprès de toutes les personnes qui s'y rendent [19].

b) Hammam MELOUANE :

Est situé dans la wilaya de Blida à une altitude de 105 mètres, Hammam Melouane se trouve dans le bassin hydrographique Côtier Algérois, il est de nature et thermalité des eaux : ferrugineuses et chlorurées, sodique [20].

Une minéralisation très élevée aux sources thermales de Hammam Melouane, ce sont des eaux riches en sels minéraux.

Cette source peut facilement remplacer les eaux de salins-moutiers et de Brides-les-bains, on y soigne avec succès les affections rhumatismales et dermatologiques, elle offre toutes les ressources thérapeutiques de l'hydrothérapie chaude et salées [21].

Tableau I.7: Les caractéristiques physico-chimique des eaux thermales de Hammam Guergour et Hammam Melouane [15, 18,19].

Analyse des paramètres physiques		
	Hammam GUERGOUR	Hammam MELOUANE
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	4200	50909
Minéralisation (mg/l)	2620	---
T ($^{\circ}\text{C}$)	44 (hyperthermale)	39 (Eau thermale)
pH	7,43 (basique)	7,4(basique)
Analyse des paramètres chimiques		
Eléments majeurs (mg/l)		
	Hammam GUERGOUR	Hammam MELOUANE
Calcium Ca^{+}	360	800
Magnesium Mg^{+2}	144	140
Sodium Na^{+}	300	800
Potassium K^{+}	7	200
Chlorure Cl^{-}	585	---
Sulfate SO_4^{-2}	1000	2400
Bicarbonate HCO_3^{-}	293	---
Nitrate NO_3^{-}	0	0
Eléments mineurs (mg/l)		
	Hammam GUERGOUR	Hammam MELOUANE
Cadmium Cd	<0,035	---
Nickel Ni	<0,092	---
Baryum Ba	<0,059	---
Cuivre Cu	<0,110	---
Aluminium Al	<3,440	---
Plomb Pb	<0,530	---
Lithium Li	trace	---
Strontium Sr	<11,46	---
Fer Fe	0,25	---
Fluor F	1,43	---
Silice SiO₂	28,28	---

I.7. INTERET MEDICALE

Le thermalisme est recommandé pour le traitement des maladies chroniques, notamment lorsque le traitement médical devient soit insuffisant pour soulager le patient, soit trop lourd à supporter [10].

L'indication de la cure thermique ne semble pas être envisagée d'emblé mais elle est prescrite dans le cadre d'une stratégie thérapeutique.

En France, Il existe une douzaine orientations thérapeutiques pour les traitements et les soins administrés par les stations agréées et conventionnées, en fonction notamment de la spécificité de leurs eaux.

Tableau I.8 : Orientations du thermalisme et indications les plus fréquentes [23].

ORIENTATION	INDICATION FREQUENTE
Rhumatologie et traumatismes ostéoarticulaires	Rhumatismes chroniques Arthrose Tendinites Lombalgies Rachis opérés et imparfaitement soulagés Séquelles de traumatismes ostéo-articulaires
Voies respiratoires et affections ORL (enfants dès 3 ans)	Rhinites Otites séreuses Sinusites Pharyngites Asthme Bronchites chroniques Dilatation des bronches
Gynécologie	Algies pelviennes
Phlébologie	Insuffisance veineuse Séquelles de phlébites Cicatrisation des ulcères veineux Diminution des lymphoedèmes
Maladies cardio-artérielles	Artérite des membres inférieurs Hypertension artérielle Angor chronique Syndrome de Raynaud
Maladies de l'appareil digestif et Métabolique	Colopathies fonctionnelles Troubles fonctionnels de la digestion Diverticulose intestinale Obésité Diabète
Maladies de l'appareil urinaire	Prévention des récidives de lithiase urinaire Infections urinaires récidivantes Prostatite récidivante
Neurologie	Névrites Polynévrites Séquelles de zona Hémiplégie Maladie de Parkinson
Affections psychosomatiques	Troubles du sommeil Dépression chronique
Trouble du développement de l'enfant	Eunurésie
Dermatologie (enfants dès 6 mois)	Eczéma de l'adulte et de l'enfant Psoriasis Cicatrices hypertrophiques de brûlures Prurit Urticaire rebelle
Affection de la muqueuse bucco-linguale	Parodontopathies Mycoses buccales

I.7.1. UTILISATION DES EAUX THERMALES EN RHUMATOLOGIE ET EN DERMATOLOGIE

La rhumatologie représente 60 % des cures thermales effectuées. En effet, l'eau thermale permet de soulager considérablement et durablement les douleurs articulaires [24]. Aussi, La dermatologie fait partie des principales indications du thermalisme. En effet, la peau, par sa surface de contact avec l'eau et sa perméabilité, se prête tout particulièrement aux gestes de la pratique thermale.

Les principales pathologies rhumatologiques concernées par le thermalisme sont :

- **Polyarthrite** : La polyarthrite rhumatoïde (PR) est la plus fréquente des diverses formes de rhumatismes inflammatoires chroniques regroupées sous l'appellation « arthrite », elle est caractérisée par une atteinte articulaire souvent bilatérale et symétrique, évoluant par poussée vers la déformation et la destruction des articulations atteintes.
- **Spondylarthrite** : La spondylarthrite, encore appelée spondylarthrite ankylosante est un rhumatisme inflammatoire qui touche surtout certaines articulations, dont celles de la colonne vertébrale lombaire, et les articulations sacro-iliaques du bassin -région des fesses.

Notre étude se base sur l'arthrose :

- **L'arthrose** : l'arthrose est une maladie qui touche les articulations, on l'appelle aussi arthropathie chronique dégénérative. Elle est caractérisée par la douleur, mécanique et diurne et la difficulté à effectuer des mouvements articulaires.

Les principales pathologies dermatologiques concernées par le thermalisme sont :

- **L'eczéma** : C'est une dermatose chronique inflammation, non contagieuse accompagnée de rougeur et de démangeaison. Trois types d'eczéma peuvent être observés : La dermatite atopique, la dermatite séborrhéique et l'eczéma de contact.
- **Le psoriasis** : Il est la conséquence d'un renouvellement trop rapide de l'épiderme entretenu par une réaction inflammatoire chronique. Il se caractérise par la présence de pellicules et desquamation sur la peau.
- **L'acné** : C'est une dermatose inflammatoire chronique du follicule pilo-sébacé. Elle atteint 80% des adolescents. Une cure thermale n'est envisageable que dans les formes séculaires, cicatricielles ou en cas d'intolérance ou d'incompatibilités médicamenteuses. Les résultats à long terme sont en général excellents.

I.8. CONCLUSION

Les eaux minérales naturelles exploitées dans les établissements thermales ont une forte spécificité qui les distingue des eaux destinées à la consommation humaine utilisées dans les centres de balnéothérapie. Elles doivent avoir des propriétés favorables à la santé et respecter des critères précis comme l'origine profonde, la stabilité de leur composition chimique et une pureté originale notamment microbiologique.

La composition chimique d'une eau ne permet pas de déterminer si elle peut être classée "eau minérale naturelle" ou non. Seul le dossier clinique réalisé selon les lignes directrices élaborées par l'Académie nationale de médecine permet le classement et son utilisation dans un établissement thermal.

Les eaux minérales naturelles sont des eaux très complexes et doivent être caractérisées selon leurs éléments dissous.

Il est aussi évident que certaines eaux comme les eaux sulfurées, chlorurées et sulfatées les prédisposent à une utilisation dans un établissement thermal pour le traitement des voies respiratoires ou des maladies métaboliques. Mais il ne s'agit que d'une présomption d'efficacité [21].

En Algérie, Il existe plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croit régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, huit seulement sont médicalisées et on a déjà citée ses stations.

Les établissements disposent de structures d'accueil et d'équipements adéquats ainsi qu'un encadrement médical et paramédical qualifié pour prodiguer des soins basés sur des méthodes scientifiques de la crénothérapie aux différents malades et curistes. Les autres stations thermales éparpillées à travers le territoire national enregistrent par contre un déficit dans les infrastructures d'accueil, elles sont surtout sollicitées par les curistes pour les bains thermaux traditionnels [16].

Les eaux thermales sont utilisées depuis des siècles dans le traitement de diverses pathologies. Médecine alternative vieille de plus de 2000 ans, elle connaît aujourd'hui un nouvel essor dans une volonté de retour aux sources.

La dermatologie fait partie des principales indications du thermalisme. En effet, la peau, par sa surface de contact avec l'eau et sa perméabilité, se prête tout particulièrement aux gestes de la pratique thermique. Invalidante, à composante psychique notable et fortement récurrente, les dermatoses font appel à une consommation importante de médicaments et de soins et elles ont une influence considérable sur la qualité de vie [25].

D'autre part la cure thermique en rhumatologie est le plus souvent prescrite pour résorber les douleurs articulaires, les tendinites, les mal de dos. Les traitements pharmaceutiques, notamment antalgiques, sont parfois insuffisants. Il est alors intéressant d'utiliser les cures thermales comme une nouvelle approche de cette pathologie, en bénéficiant des bienfaits des eaux thermales.

Les stations thermales prodiguent des soins permettant de retrouver la mobilité et de réduire sensiblement la douleur afin d'améliorer le confort de la vie quotidienne [26].

II.1. EN RHUMATOLOGIE

II .1.2.1. Qu'est-ce que l'arthrose ? [27, 28,29]

Les arthroses sont des affections articulaires chroniques dégénératives, survenant habituellement après la cinquantaine, frappant tout particulièrement les articulations qui soutiennent le poids du corps (genou, hanche, rachis), (figure II.1).

Elles sont caractérisées anatomiquement par des lésions destructrices, irréversibles des cartilages, des lésions proliférantes du tissu osseux adjacent (ostéophytes) et des lésions inflammatoires inconstantes de la synoviale.

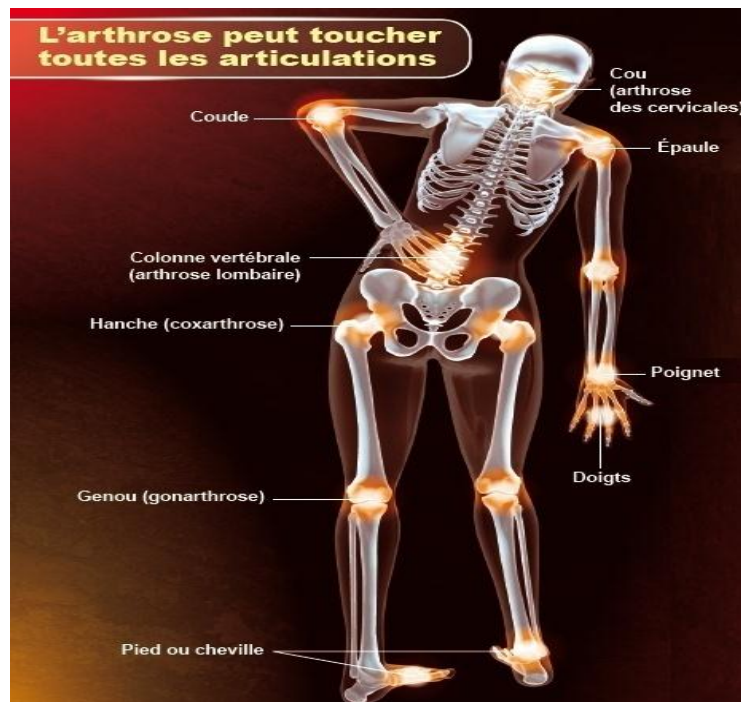


Figure II.1: Schéma représentatif des endroits touchés par l'arthrose.

Selon l'OMS, L'arthrose est la résultante des phénomènes mécaniques et biologiques qui déstabilisent l'équilibre entre la synthèse et la dégradation du cartilage et de l'os sous-chondral, Ce déséquilibre peut être initié par de multiples facteurs : génétiques, de développement, métaboliques et traumatiques.

L'arthrose débutante se traduit par des fissures puis des érosions du cartilage qui finit, au fil des années, par disparaître. Lorsque les cartilages de l'os ont disparu, on parle d'arthrose terminale. Celle-ci s'accompagne d'une réaction de condensation de l'os (ostéocondensation), d'excroissances anormales (les « ostéophytes ») et de cavités (géodes), ainsi que de poussées de congestion de la membrane synoviale avec épanchement de synovie (figure II.2).

Toutes les articulations peuvent être touchées par l'arthrose, mais à des fréquences très variables. Celles les plus atteintes sont la colonne vertébrale, les mains, les genoux et les hanches [30].

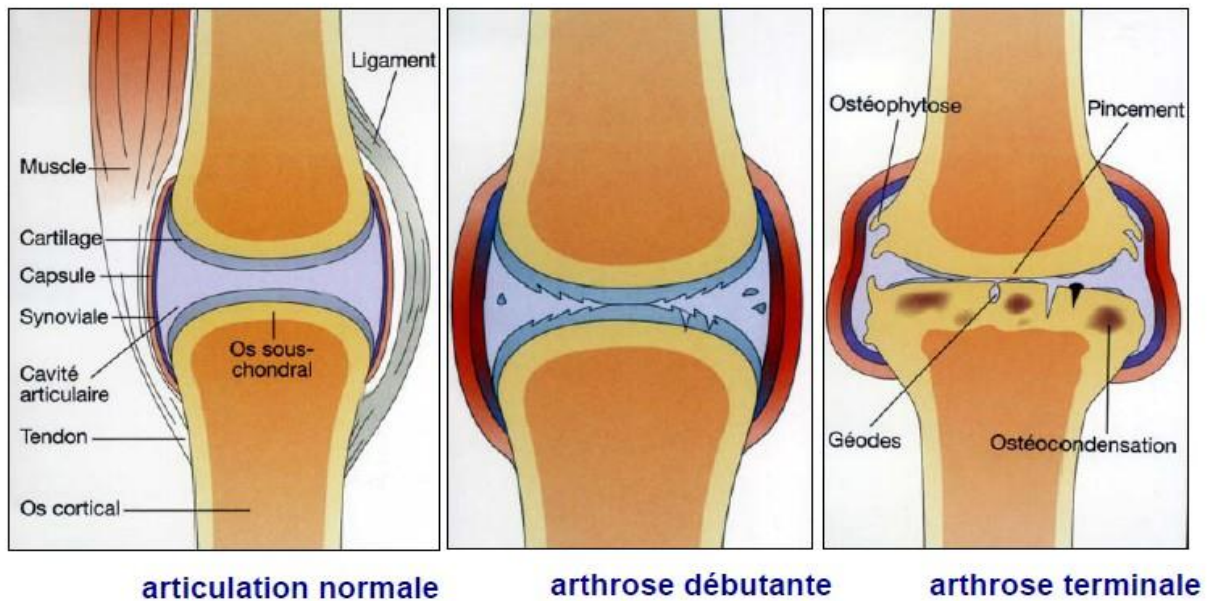


Figure II.2: Schéma d'une articulation normale avec ses différents constituants et son évolution arthrosique (arthrose débutante et terminale).

II.2. EN DERMATOLOGIE

L'altération des différentes couches cutanées induit des pathologies dermatologiques, appelées communément dermatoses. Nombreuses, nous nous limiterons aux dermatoses justifiables de cures thermales [25].

II.2.1. L'eczéma... Qu'est-ce que c'est?

L'eczéma est une affection cutanée inflammatoire chronique caractérisée par une sécheresse de la peau et des plaques rouges très prurigineuses. Ces plaques eczémateuses peuvent suinter, former des squames, des croûtes, ou durcir. Le schéma II.3 illustre le comportement anormal d'une peau affectée, en comparaison d'une peau saine.

Les symptômes peuvent être de légers à graves, et l'affection peut avoir des répercussions négatives sur la qualité de vie. L'eczéma peut survenir n'importe où sur la peau; cependant, on le retrouve habituellement au niveau des muscles fléchisseurs (plis des bras ou arrière des genoux).

Il y a de nombreux types d'eczéma, le plus fréquent étant la dermatite atopique. L'atopie est une prédisposition héréditaire à l'eczéma, à l'asthme et à la rhinite allergique (rhume des foins). Les personnes atteintes d'eczéma peuvent aussi souffrir de l'une des autres maladies atopiques [31].

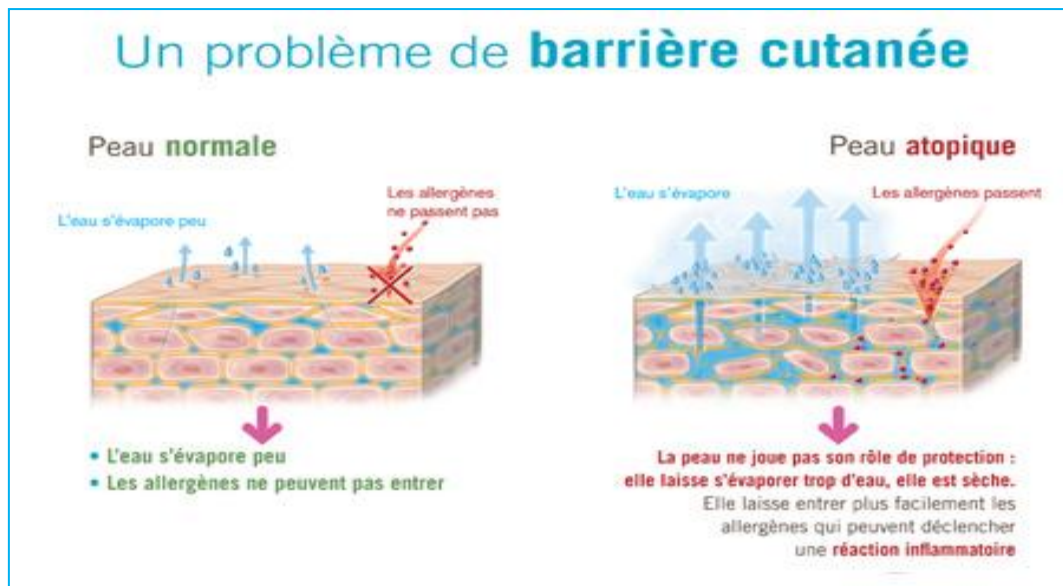


Figure II.3: Schéma représente l'altération de la fonction barrière.

II.2.2. Le psoriasis [32]

Dermatose fréquente, le psoriasis touche 2 % de la population. Le facteur génétique est très important, mais des facteurs déclenchants sont également retrouvés : le stress, les facteurs climatiques et certains médicaments comme les bêtabloquants ou encore le lithium.

Lors du psoriasis, on observe un phénomène de parakératose, c'est-à-dire une persistance des noyaux dans les cellules de la couche cornée car il y a augmentation du turn-over cellulaire (prolifération et élimination) et de ce fait la maturation n'a pas le temps de s'effectuer.

Le psoriasis est une maladie chronique, qui évolue par poussée, et qui se caractérise par des plaques circonscrites de formes variables présentant des lésions de deux niveaux, figure (II.4).

- une couche superficielle, squameuse, sèche blanche, se détachant facilement et pouvant recouvrir toute la lésion.
- une couche plus profonde, érythémateuse, rose, souple, non indurée, qui dépasse souvent la couche squameuse.

Lors de cette dermatose, la localisation est symétrique, élective, et touche les coudes, genoux, cuir chevelu, ongles. Une guérison complète n'existe pas, mais on peut cependant espérer l'espacement des poussées et la réduction de la surface corporelle atteinte.

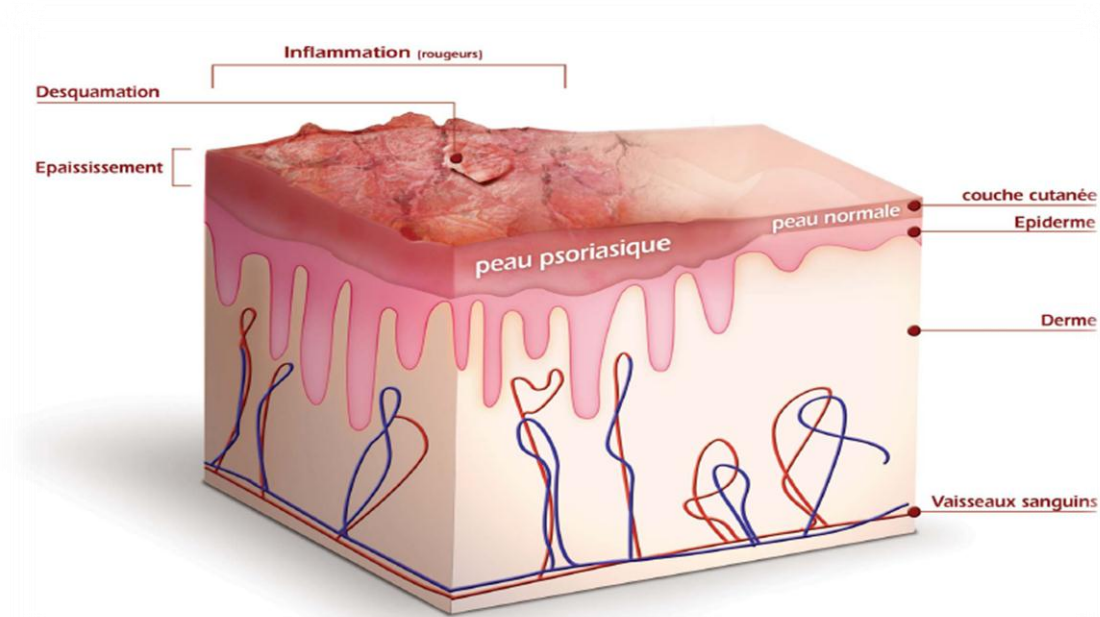


Figure II.4 : Schéma comparatif entre une peau normale et une peau psoriasique.

II .3. LES TRAITEMENTS MEDICAUX

En matière de lutte contre la douleur osseuse, articulaire et les maladies dermatologiques, il existe une multitude de traitements efficaces, qu'ils soient médicaux, fonctionnels ou bien chirurgicaux. La stratégie thérapeutique sera définie par le spécialiste, après examen clinique du patient, en consultation et analyse des examens complémentaires pour être adaptée à chaque cas.

- ❖ **Les traitements médicaux antidouleur :** Les médicaments anti douleurs seront au mieux utilisés en association avec d'autres thérapeutiques médicales pour lutter efficacement contre la douleur. Il existe différentes classes médicamenteuses qui agissent sur les différents paramètres de la douleur.

Les antalgiques (le paracétamol), les anti-inflammations non stéroïdiens (AINS) par voie orale, et en cas de fortes douleurs associées à une inflammation, ce qui est le cas de crise d'arthrose des injections de corticoïdes dans l'articulation douloureuse ou des comprimés de cortisone peuvent être efficaces.

- ❖ **Les traitements locaux :** Les traitements locaux doivent être privilégiés, en cas d'arthrose, les AINS peuvent aussi être appliqués directement sur les articulations douloureuses sous forme de crème, pommade ou gel anti-inflammatoire, un ou deux fois par jour, pendant quelques jours ou quelques semaines [33].

Pour le psoriasis et l'eczéma, Il existe plusieurs formes de traitements locaux qui sont destinés à être appliqués sur les plaques.

❖ **Le thermalisme** : Le thermalisme est utilisé depuis des siècles pour lutter contre les maladies rhumatologiques et dermatologiques [34].

Il existe des cures thermales spécialisées dans la prise en charge des patients souffrant d'arthrose. En effet, l'eau thermique permet de soulager considérablement et durablement les douleurs articulaires.

Dans la plupart des cas, ce sont des médicaments et des séances de kinésithérapie qui sont prescrits, mais la cure thermique a également montré son efficacité à soulager les patients, notamment ceux qui souffrent d'arthrose du genou, du dos ou de la hanche. D'une durée de quelques jours à plusieurs semaines, le séjour peut inclure des soins variés en fonction des établissements : des bains chauds, des bains de vapeurs, des massages, des applications de boue ou encore des douches au jet [35].

Ces soins combinent l'eau thermique et la chaleur afin de réduire les symptômes de l'arthrose. La cure permet de diminuer la douleur et de retrouver une meilleure mobilité de la zone touchée. Une baisse de la consommation de médicaments est aussi fréquemment observée.

La cure thermique est un complément fréquent des traitements classiques et l'histoire de son utilisation remonte à la Mer Morte dont les eaux ont un grand intérêt dans le traitement du psoriasis et d'autres dermatoses.

II .3.1. Thérapeutiques locales

Dans la thérapeutique, sont utilisés de nombreux médicaments destinés à être appliqués sur la peau. Ces médicaments existent sous une multitude de formes, les plus utilisés sont principalement : les pommades, les crèmes et les gels. Elles ont l'avantage de permettre aux principes actifs d'atteindre la circulation générale sans subir les modifications hépatiques [36].

- **Les crèmes**

Sont des composés biphasiques comportant une émulsion de deux phases non miscibles. Pour stabiliser ces émulsions, on a recours à des tensio-actifs qui peuvent être irritants comme par exemple le sodium-lauryl-sulfate. Par ailleurs des conservateurs sont souvent nécessaires pour assurer la stabilité des crèmes.

- **Les pommades**

Sont des préparations de consistance ferme constituées uniquement, ou presque, de corps gras (hydrocarbonés). Les pommades ont un pouvoir hydratant supérieur aux crèmes du fait de leur effet occlusif qui favorise le maintien de l'hydratation du stratum corneum [37].

- **gel anti-inflammatoire [38,39]**

Les gels AINS sont particulièrement efficaces au moment de la phase aigüe, du processus inflammatoire ; c'est la raison pour laquelle, ils sont utilisés en rhumatologie, en cas de poussées inflammatoires, survenant au cours d'une arthrose.

Les AINS ayant une action dermique et transdermique, il a été prouvé que la formulation sous forme de gel, donne de meilleur résultat de pénétration cutanée que les crèmes.

Un gel est un système galénique transparent à phase unique. Il peut être aqueux, huileux ou alcoolique. Sa consistance est obtenue par addition de polymères.

D'après la pharmacopée européenne « les gels sont constitués de liquides gélifiés à l'aide d'agent gélifiant approprié » [40].

On distingue deux types de gel [41] :

- ❖ **Oléogels ou gels hydrophobes:** environ 70 à 80% d'huile obtenue par gélification de cette huile (Huiles grasses gélifiées par de la silice colloïdale ou savon d'aluminium ou de zinc)
- ❖ **Hydrogel ou gel hydrophile :** qui est constitué de 70 à 90% d'eau et qui fait l'objet de notre travail.

II .3.2. Composition des hydrogels [42]

Il est composé généralement de solvant, l'ingrédient essentiel et dans la plupart du temps, on utilise l'eau et un excipient. On appelle excipient, toute substance sans activité thérapeutique spéciale permettant l'incorporation des médicaments. Les excipients employés pour la fabrication des préparations dermiques doivent répondre à un certain nombre de critères généraux et particuliers.

Les critères généraux sont [43] :

- une consistance convenable qui permet un étalement facile.
- une suffisante stabilité physique et chimique pour permettre une bonne conservation.

- moindre incompatibilité possible avec les autres constituants de la pommade et les matériaux de conditionnement.
- une pénétration facile des principes actifs dans les tissus.
- une bonne tolérance et un pouvoir allergisant faible.

Les excipients pour gels peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Selon la nature de l'excipient. La préparation peut avoir des propriétés hydrophiles ou hydrophobes. Elle peut contenir des additifs appropriés tels que :

- **Agent épaississant (viscosifiant)** : Leur rôle est de modifier les propriétés rhéologiques du milieu (augmente la viscosité de la formulation) et permet la gélification tels que la gomme de Xanthane, le carbopol, Les polymères réticulés acrylates/C10-30 alkyl acrylate.
- **Agent humectant** : il provoque un effet immédiat et à long terme d'hydratation cutanée. Il ralentit l'évaporation de l'eau de la peau, et permet d'éviter certaine cristallisation par exemple : le glycérol, le propylène glycol, le sorbitol.
- **Agent neutralisant (régulateur d'acide)** : qui contrôle l'acidité ou l'alcalinité de la formulation tels que : le triéthanolamine, la diéthanolamine.
- **Agents conservateurs** : Nous en distinguons plusieurs catégories telles que les agents complexants (ex. EDTA), les agents antioxydants (ex. sulfites, acide ascorbique, α -tocophérol) ainsi que les agents antimicrobiens (alcool benzylique, acide benzoïque et sorbique, parabènes) qui sont tolérés mais souvent non utilisés pour des raisons de sécurité.

Une petite comparaison entre les 2 types de gel dans le tableau II.1 suivant:

Tableau II.1 : Comparatif succinct entre les oléogels et les hydrogels.

Oléo-gels	Hydrogels
gels restent dans téguments de la peau sans pénétrer	gels agréables à passer, sensation de fraîcheur, ne graisse pas la peau

II .3.3. Effet anti-inflammatoire des gels [44]

- Topique utilisé localement pour son action antalgique, anti-inflammatoire et antioedémateuse.
- Les gels anti-inflammatoires bénéficient d'un passage transcutané démontré du principe actif avec distribution dans les structures périarticulaires et articulaires sous-jacentes et concentration.

II .4. DIFFUSION CUTANEE DES MEDICAMENTS [45]

La pharmacocinétique des produits topiques décrit les modalités de pénétration des substances actives à travers de la peau. Il s'agit d'un domaine complexe car de nombreux paramètres influent sur les capacités de pénétration des produits dans la peau.

L'obstacle principal à la pénétration des médicaments appliqués sur la peau est constitué par la couche cornée (stratum corneum), partie la plus superficielle de l'épiderme.

En thérapeutique, la pénétration à travers la peau normale des molécules de poids moléculaire élevé, en règle supérieur à 1000 Daltons, est très difficile en raison de la cohésion du stratum corneum.

II.4.1. Processus de pénétration des substances dans la peau :

Les substances appliquées sur la peau vont migrer suivant un processus de diffusion qui s'apparente aux lois de Fick : Elle favorise de façon générale le passage d'une substance à travers une membrane appliquée à la peau. Elle permet de prédire les quantités absorbées (Q) en fonction de la concentration (C) par la formule [46] :

$$Q = K_p * S * t * C \dots\dots\dots(1)$$

Où :

S : La surface d'application.

t : Le temps d'application.

K_p : Le coefficient de perméabilité, K_p est défini par le produit du coefficient de partage (K_m), du coefficient de diffusion (D) au sein du stratum corneum, divisé par e, l'épaisseur de stratum corneum :

$$K_p = \frac{(K_m * D)}{e} \dots\dots\dots(2)$$

K_{mc} : Coefficient de partage entre la couche cornée et le véhicule.

K_{me} : Coefficient de partage entre l'épiderme et la couche cornée.

K_{md} : Coefficient de partage entre le derme et l'épiderme

$D_c; D_e; D_d$: Constantes de diffusion respectives de chaque structure traversée (c= couche cornée, e = épiderme, d = derme)

Le flux de diffusion d'une substance à travers une membrane est proportionnel au gradient de concentration de la substance [46].

Pour chaque substance donnée, un coefficient de diffusion dépendant de la taille de la molécule et de la température conditionne le flux de diffusion. Le sens du flux de migration de la substance se fait en direction de la concentration la plus basse, c'est-à-dire vers la profondeur de l'épiderme.

La cinétique de pénétration d'une substance à travers la peau peut être schématiquement modélisée en trois phases :

- ✓ la libération du principe actif à partir de son excipient
- ✓ la pénétration du stratum corneum
- ✓ la diffusion dans les tissus vivants : l'épiderme, le derme et la circulation systémique au travers des vaisseaux dermiques [45].

Des exemples sur des gels formulés à base d'eau thermale pour les maladies rhumatismales et dermatologiques sont présents dans l'annexe 01.

II.5. CONCLUSION

Les eaux thermales peuvent être utilisées dans des situations très variées en dehors des cures. En effet, leurs différentes propriétés les amènent à être proposées dans un grand nombre de situations cliniques. La dermatologie est l'une des principales indications de l'utilisation d'eau thermale en dehors de la cure. La peau, par sa perméabilité et ses caractéristiques est sensible à la pénétration des minéraux des eaux thermales. De nombreux produits dermo-cosmétologiques à base d'eau thermale sont ainsi développés ces dernières années sur le marché.

On a aussi la rhumatologie qui est une des plus anciennes indications de cure : les douleurs articulaires chroniques sont susceptibles de bénéficier de soins thermaux. Le choix du médicament et la nature de l'eau oriente déjà vers un effet plus ou moins sédatif. L'effet durable est obtenu par le passage à travers la peau des composants actifs de l'eau thermale ; c'est ce qu'on essaye de faire dans le présent travail.

On présente dans ce chapitre expérimental le matériel et les méthodes qui ont été utilisés, dans le but de planifier, de fabriquer et d'analyser les essais de formulation du gel à base des eaux thermales de hammam Guergour et de hammam Melouane.

III.1. MATERIEL

Les gels proprement dit sont constitués exclusivement d'eau, sous formes semi-fluides, ces dernières sont obtenue généralement grâce au mélange eau / polymères Carbopol.

L'élaboration d'un gel nécessite l'utilisation d'actifs qui ont un fort pouvoir desquamant d'une part, et des matières ayant le pouvoir d'augmenter l'hydratation cutanée d'autre part. L'ensemble des M.P utilisés dans cette formulation sont :

III.1.1. Matières premières

❖ L'eau thermale de Hammam GUERGOUR et de Hammam MELOUANE

C'est le principe actif utilisé dans notre formule, nous avons choisi d'étudier les eaux thermales de Hammam MELOUNE et Hammam GUERGOUR en raison de leur composition particulière qui leur confère des vertus curatives, particulièrement efficaces dans le cas du traitement des affections rhumatismales et dermatologiques.

1) Echantillonnage et analyses

Les prélèvements des eaux ont été effectués au niveau de l'émergence. Pour l'analyse physico-chimique, on prélève dans des flacons en polyéthylène, des échantillons d'eau thermale d'un volume de 500 ml qui sont, ensuite, conservés à 4°C pendant le transport au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes (AFNOR., 1997; Rodier et al. 1996) [54,55].

Et pour l'analyse microbiologique, Les échantillons d'eau sont prélevés selon la même fréquence de celle des paramètres physico-chimiques. Ces prélèvements sont effectués dans des flacons stériles de 500 ml en verre à bouchon rodé, en laissant dans le flacon un espace d'air afin de faciliter la remise en suspension des micro-organismes par agitation avant l'ensemencement dans les milieux de culture appropriés. Les prélèvements sont acheminés au laboratoire dans une glacière à une température $\pm 4^{\circ}\text{C}$ afin d'effectuer des analyses bactériologiques [56].

Les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-), la silice (SiO_2), ainsi que le cycle de l'azote (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+) ont été analysés aux laboratoires de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Blida.

Les analyses chimiques ont été effectuées par photométrie de flamme pour les cations et par colorimétrie pour les anions et la silice. Le dosage des bicarbonates a été réalisé par titrimétrie.

Les analyses des éléments métalliques en traces de l'eau thermale de Hammam Guergour, ont été réalisées par absorption atomique et à l'aide d'un photomètre. Le dosage a été effectué dans le Laboratoire d'Analyse SEAAL (Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger), Kouba, Alger. En ce qui concerne l'eau thermale de Hammam Melouane, son dosage a été fait au laboratoire d'Analyse de la Qualité Alimentaire, Cosmétique, Détergents et de l'eau : BIOQUALITAL Kharaicia-Alger.

Pour l'analyse bactériologique, les analyses microbiologiques ont été faites au sein du Laboratoire BIOQUALITAL Kharaicia-Alger selon les normes algériennes et les normes ISO.

2) Etude analytique des paramètres physiques :

a) Conductivité

Par définition ; la conductivité électrique est la propriété qu'a une eau pour conduire le courant électrique, elle dépend de la quantité d'ions que renferme cette eau ainsi que de sa température. Elle peut donc servir à estimer la teneur en sels dissous dans cette eau [22].

Les valeurs mesurées sur notre terrain ont été ramenées à une température standard de 20 °C. La conductivité des points d'eau étudiée est portée dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Les valeurs mesurées de la conductivité et la minéralisation des eaux thermales de Hammam Guergour et Melouane.

Point d'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/l)	Classification
Hammam MELOUANE	75000	44335	Fortement minéralisée
Hammam GUERGOUR	5200,0	3162,0	Fortement minéralisée

Les valeurs relativement élevées de la conductivité électrique de l'eau et de la minéralisation témoignent d'un apport salin important suite à la dissolution des évaporites.

b) pH

Par définition ; le pH est la mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau. C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau [22].

$$pH = -\log(H^+)$$

Les valeurs du pH mesurées sont portées dans le tableau III.2 qui montre que tous les points d'eau ont des valeurs qui oscillent autour de la neutralité ; entre 7.3 à hammam Melouane et 8 à Hammam Guergour.

Tableau III.2 : Valeurs du pH des deux eaux thermales de Hammam Guergour et Melouane.

Point d'eau	pH	Etat
Hammam MELOUANE	7,3	pH neutre
Hammam GUERGOUR	8,0	pH basique

3) Etude analytique des paramètres chimiques :

a) Eléments majeurs :

Les éléments chimiques dits majeurs correspondent aux anions et cations qui constituent de façon prépondérante la minéralisation des eaux.

Les résultats d'analyses chimiques en éléments majeurs effectués sur les échantillons prélevés d'eau de hammam Melouane et Guergour sont reportés dans le tableau III.3.

Tableau III.3 : Analyse chimique en éléments majeurs (mg/l).

ANIONS/ CATIONS	Hammam GUERGOUR	Hammam MELOUANE
Calcium Ca^{+}	395,0	1220,00
Magnesium Mg^{+2}	135,0	128,00
Sodium Na^{+}	390,0	11800,00
Potassium K^{+}	7,000	180,00
Ammonium NH_4^{+}	0,000	>2,000
Chlorure Cl^{-}	615,0	22000
Sulfate SO_4^{-2}	1520	1250,0
Bicarbonate HCO_3^{-}	244,0	275,00
Phosphates PO_4^{-}	0,092	0,4280
Nitrates NO_3^{-}	26,20	26,200
Nitrites NO_2^{-}	0,000	0,0380
Silice SiO_2	25,90	31,000

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés des deux Hammams, montrent des teneurs variables des différents éléments dosés d'un hammam à un autre, l'examen de l'analyse montre que : l'anion SO_4^{-2} est prédominant sur les anions de hammam Guergour et l'anion Cl^- est prédominant sur les anions de hammam Melouane, et concernant les cations les plus dominants sont Ca^+ pour hammam Guergour et Na^+ pour hammam Melouane.

Donc, on peut dire que l'eau de Hammam Guergour a un profil chimique **sulfaté calcique**, et celle de Hammam Melouane **chloruré sodique**.

Les minéraux présents dans ces eaux à des concentrations importantes peuvent leur conférer des propriétés dermatologiques et rhumatologiques intéressantes. En effet, ces composants contribuent à la régénération et à la protection de l'épiderme. Le magnésium abonde dans les os et les tissus mous (muscles, viscères, peau, nerfs) et participe aux modifications de la perméabilité et à la respiration cellulaire [57]. Le calcium, par exemple, renforce la barrière naturelle de la peau et en protège les couches supérieures de l'épiderme, aussi se rencontre principalement dans la structure de l'os. Le sodium, contribue à une bonne hydratation de la peau. En ce qui concerne les Bicarbonates, cet élément nutritif est essentiel au renouvellement de la peau [58]. Et pour le potassium, son intérêt réside dans ses propriétés décontractantes, nécessaire en cas de rhumatismes.

Ces eaux sont aussi particulièrement riches en silice. La Silice permettrait d'apaiser l'épiderme irrité et inflammatoire, d'accélérer le processus de cicatrisation, et d'améliorer la souplesse et l'élasticité de la peau [58].

b) Eléments mineurs [22]

Les éléments mineurs sont les éléments présents à de très faibles teneurs dans les eaux étudiées. La présence d'éléments mineurs ou éléments traces ou encore oligoéléments dans les eaux thermales est d'une grande importance car elle permet de préciser les caractères et l'origine de ces eaux. Ces éléments sont regroupés dans deux catégories:

- **Les terres rares ou lanthanides** : elles ont des teneurs extrêmement faibles dans les eaux souterraines. Elles ne sont pas actuellement utilisées en hydrogéologie.
- **Les métaux**: ce sont les plus employés, ils se regroupent dans trois familles:
 - Les alcalins et alcano-terreux : Rb, Sr, Li, Ba.
 - Les métaux de transition : Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, As, Sb.

- Les métaux lourds : Zn, Cd, Pb, U.

Les résultats d'analyses chimiques des éléments effectués sur les échantillons prélevés d'eau sont reportés dans le tableau III.4

Tableau III.4 : Analyse chimique des éléments mineurs en mg/l.

Analyse chimique des éléments mineurs en mg/l		
Eléments chimiques	Hammam MELOUANE	Hammam GUERGOUR
Fer	0,02	<0,02
Manganèse	3,34	0,064
Zinc	0,36	0,053
Cuivre	34,7	<0,05

La composition en oligo-éléments des eaux thermales explique un grand nombre de leurs propriétés thérapeutiques. Par exemple, le zinc quant à lui freine le vieillissement de la peau et participe à la cicatrisation cutanée [59], aussi favorise l'ostéogénèse et la multiplication des fibroblastes osseux.

Le cuivre présente une action anti-inflammatoire, favorise l'oxygénation, la régénérescence du collagène et de l'élastine, responsables de la solidité du cartilage, des os, des cheveux et des vaisseaux. Le manganèse active de nombreux systèmes enzymatiques nécessaires à la néoglucogénèse et au superoxyde dismutase [60].

Notons que, nous n'avons pas pu analyser tous les oligoéléments susceptibles d'être présent en dose significative dans les eaux thermales, tel que le strontium, le lithium et le fluor.

Les bulletins d'analyse des deux eaux thermales de Hammam Guergour et de Hammam Melouane sont classés en annexe 02.

4) Analyse bactériologique :

Les analyses bactériologiques sont représentées dans le tableau suivant (Tableau III.5) et le bulletin d'analyse microbiologique des deux eaux thermales de Hammam Guergour et de Hammam Melouane est classé en annexe 02.

Tableau III.5: L'analyse bactériologique des eaux thermales étudiées.

Paramètres recherchés	Hammam Guergour	Hammam Melouane	Références
Germes aérobies 22°C	30	55	NA 763
Germes aérobies 37°C	15	22	NA 763
Coliformes totaux	Absence	Absence	ISO 9308
Coliformes fécaux	Absence	Absence	ISO 9308
Anaérobies S-R	Absence	Absence	ISO 6461
Streptocoques fécaux	Absence	Absence	NA 765
Salmonelles	Absence	Absence	ISO 6340

L'analyse montre que les eaux étudiées sont conformes aux normes Algériennes.

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons de l'eau, ont permis de dégager le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux thermales.

L'approche hydro-chimique montre que l'eau thermale de Hammam Guergour est microbiologiquement saine au pH voisinant la neutralité, hautement minéralisée, d'une composition sulfatée-calcique. Leur minéralisation fait d'elles des eaux tout particulièrement utilisées dans le traitement dermatologique et rhumatismes.

Aussi, pour l'eau thermale de Hammam Melouane une eau microbiologiquement saine au pH voisinant la neutralité, d'une composition chlorurée sodique. Mais, d'une minéralisation très élevée, ce sont des eaux riches en sels minéraux. Par exemple, le taux de NaCl dépasse les normes (35 à 45 g/l $\Rightarrow$ Eau de mer), Les teneurs élevées semblent être liées à une potentielle intrusion de pollution.

Certain auteurs [21], ont constaté que les valeurs élevées de ces paramètres peuvent être observées dans les cours d'eau polluée, au niveau des zones de rejets industriels (industrie minière, fonderie, usines de pâte et papier, usines de textile, tanneries...). Elle est très riche en matière organique 94 mg/l dépassant les normes (5 mg/l) lui donnant ainsi une coloration brune. D'après, les résultats physico- chimique, on déduit l'impossibilité d'utiliser cette eau à cause de sa salinité.

Dans ce qui suit, sont élucidés les différents excipients rentrant dans la formulation du gel thermominéral.

❖ Le carbopol

Ce sont des polymères d'acide acrylique réticulés avec des éthers de glycol ou polyalcényliques divinyl. Ils sont produits à partir de particules de polymère primaire d'environ 0,2 à 6,0 microns de diamètre en moyenne. Les Carbomers ont été élaboré et breveté en 1957. Les Carbomers absorbent facilement l'eau, se gonflent et s'hydratent [61].

Il existe plusieurs grades de carbopol, qui dépendent principalement de la viscosité. On a opté pour le grade « **ultrez10** », de part sa facilité de dispersion dans l'eau et de sa viscosité relativement élevée, 45000-65000 *mPa*, qui confère au produit fini l'aspect d'un gel transparent de viscosité modulable, il présente des propriétés sensorielles améliorées : aspect brillant, touché lisse, effet collant limité, par rapport aux autres carbopol. Le carbopol étant utilisé comme un agent gélifiant.

En plus de l'épaississement et de stabilisation des systèmes, l'ultrez10 confère une légère et rafraichissante expérience sensorielle aux formulations de soins de la peau [62].

❖ Triéthanolamine (TEA)

La triéthanolamine est aussi connu sous le nom de trolamine de formule brute $C_6H_{15}NO_3$. C'est un liquide clair, incolore à jaune pâle, un peu visqueux, ayant une légère odeur d'ammoniaque [63].

C'est une base, son rôle dans la préparation des gels est d'augmenter la viscosité de la solution (Carbopol / eau) en neutralisant les molécules du polymère du Carbopol.

Quelques propriétés physiques :

- point d'ébullition : 335,4 °C
- point d'éclair : 179 °C

- point de fusion : 21,6 °C

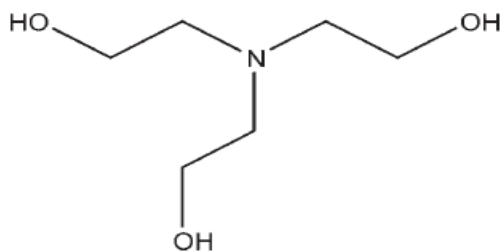


Figure III.1 : Molécule du TRIETHANOLAMINE.

❖ Hydroxyéthylcellulose

Hydroxyéthylcellulose est un polymère non ionique, soluble dans l'eau largement utilisé dans des formulations pharmaceutiques. Il est principalement utilisé en tant qu'agent épaississant dans des formulations ophtalmiques et topiques, mais il est aussi utilisé comme agent filmogène de revêtement, comme dans notre cas. Nous avons opté pour le grade « Natrosol 250 HEC » qui est généralement utilisé dans la formulation des gels anti-inflammatoires pharmaceutiques [63-64].

Le Natrosol 250 hydroxyéthylcellulose, se dissout facilement dans l'eau froide ou chaude pour donner des solutions claires, il confère au produit fini un caractère filmogène, suite au contact avec la peau.

❖ Le Glycérol

Le glycérol, ou glycérine, est un composé chimique de formule $C_3H_8O_3$. C'est un liquide incolore, visqueux et inodore au goût sucré. La glycérine est utilisée dans une grande variété de formulations pharmaceutiques y compris par voie orale, otique, ophtalmique, topique et préparations parentérales.

Dans les formulations cosmétiques et pharmaceutiques topiques, le glycérol est utilisé principalement pour ses propriétés émollientes et humectantes, comme dans notre cas on l'utilise comme un agent humectant, il provoque un effet immédiat et à long terme une hydratation cutanée. Il ralentit l'évaporation de l'eau de la peau [65].

Quelques propriétés physiques :

- point d'ébullition : 290 °C
- point d'éclair : 160 °C
- point de fusion : 17,8 °C

❖ **Le propylène glycol**

Le propylène glycol (PG) ou propane-1,2-diol, est un composé chimique de formule $C_3H_8O_2$, c'est un liquide incolore, visqueux qui à très peu d'odeur, un goût légèrement amer, et une faible pression de vapeur [66].

Le propylène glycol est largement utilisé comme solvant, agent d'extraction, et conservateur dans une variété dans les formulations pharmaceutiques, on l'a utilisé comme agent conservateur, avec une concentration $\geq 15\%$. Aussi il maintient le taux d'humidité du produit et retarde la déshydratation [63].

Quelques propriétés physiques :

- point d'ébullition : 188,2 °C
- point d'éclair : 107 °C
- point de fusion : -59 °C

III.1.2. Matériels de préparation des essais des gels thermo minéraux

- Mélangeur de type IKA RW16 basic
- Plaque d'agitation STUART
- Verreries courantes de laboratoire (Bécher de 100 ml,...)
- pH mètre de marque WTW INOLAB
- Balance de marque électronique KERN EG

III.1.3. Matériels de caractérisation

- pH mètre de marque WTW INOLAB
- Rhéomètre (ANTON PAAR PHYSICA RHEOLAB MCR 302)

L'étude du comportement rhéologique est réalisée à l'aide d'un rhéomètre rotatif muni d'un système de mesure de type « plan-plan » de 20 mm de diamètre. Le rhéomètre est relié à un thermostat, où la température est fixée à 20°C. Ce rhéomètre est piloté par un microordinateur qui permet la commande, la saisie et l'analyse des résultats d'étude.

III.2. METHODES

Dans le domaine de la formulation, les méthodes d'optimisation sont toujours sujettes à un développement perpétuel visant à obtenir la formule la plus parfaite ou plutôt magique.

La composition du gel thermo minéral sera élaborée en fonction des propriétés des matières premières sélectionnées et sa réalisation se fera suite à une recherche bibliographique. La formule finale devrait présenter des propriétés sensorielles équivalentes ou meilleures. Pour cela, nous suivrons une approche méthodologique se basant sur les techniques des plans d'expériences.

III.2.1. Essais de préformulation

Avant d'entamer la formulation, on réalise quelques pré-essais dans l'objectif et de cerner le domaine de variation des concentrations des matières premières, et de l'ensemble des conditions opératoires du procédé de fabrication (ordre d'ajout des phases, vitesse et temps d'agitation).

Ces essais permettent également de tenir compte de la forte salinité de l'eau thermale qui peut altérer considérablement les propriétés rhéologiques et sensorielle du gel, par la réduction sévère du potentiel zêta par effet écran. Aussi, une augmentation potentielle des agents gélifiants et épaississants est nécessaire à cet effet.

III.2.2. Méthode de planification expérimentale

Dans cette étape, nous allons suivre une approche plus méthodologique. La démarche adoptée dans ce travail est basée sur la méthode des plans d'expériences qui permet de rationaliser au maximum le nombre d'essais expérimentaux et d'en assurer une meilleure qualité des résultats [67]. Pour ce faire, le logiciel MODDE 6.0 de la firme UMETRIC a été utilisé.

III.2.2.1. Choix des facteurs et de leur domaine d'intérêt

Dans notre cas, nous avons choisi d'étudier l'influence de trois paramètres qui ont un impact certain sur les propriétés rhéologiques et sur la stabilité du gel, en l'occurrence : l'ULTREZ 10, le NATROSOL 250 HEC et l'eau thermale. Les facteurs à figer sont le glycérol à 5% et le propylène glycol à 15% en fraction massique [68].

Le domaine d'intérêt des facteurs de contrôle est [69,70] :

- ULTREZ 10 : 0,5 – 1 %
- NATROSOL 250 HEC: 1,5– 4 %
- Eau thermale Guergour : 75–78 %

Les réponses sélectionnées dans cette étude sont les caractéristiques issues du contrôle rhéologique et du test sensoriel.

III.2.2.2. La Modélisation en Surface de Réponse, RSM

A partir des valeurs des réponses, une modélisation mathématique par un polynôme quadratique avec interaction, sera effectuée liant les réponses aux facteurs centrés réduits, X_1 , X_2 et X_3 , compris entre 0 et 1 et qui sont associés respectivement au carbopol, au HEC et à l'eau. La résolution du système d'équation polynomial se fait par la méthode PLS (partial least square). Suite à cela, les effets propres de chaque facteur de contrôle sur les réponses seront déduits et par la même l'optimum de la composition sera identifié.

La matrice d'expériences qui répond à l'objectif du RSM est un plan de mélange de type D-optimal. Cette matrice générée par un algorithme du logiciel MODDE 6.0, contient 16 essais, dont 3 représentant le centre de gravité du plan, afin de vérifier la reproductibilité. Le D-optimal permet la réalisation d'un nombre minimal d'essais et l'obtention d'un maximum d'information avec un minimum de variabilité. Le modèle polynomial s'écrit comme suit:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{1,1}X_1^2 + a_{2,2}X_2^2 + a_{3,3}X_3^2 + a_{1,2}X_1X_2 + a_{1,3}X_1X_3 + a_{2,3}X_2X_3 \dots \dots \dots (3)$$

Où:

Y_i : représente la $i^{\text{ème}}$ réponse.

X_j : représente le $j^{\text{ème}}$ facteur centré réduit.

a_i : représentent les coefficients du modèle.

III.2.2.3. Matrice d'expériences

La matrice d'expériences proposée est donnée dans le tableau ci-dessous (tableau III.6).

Tableau III.6: Matrice d'expériences.

N° Essai	Ordre aléatoire	Carbopol	Hydroxyéthylcellulose	Eau thermique
1	4	0,1670	0,833	0,0000
2	14	0,0000	0,833	0,1670
3	16	0,1670	0,000	0,8330
4	11	0,0000	0,000	1,0000
5	6	0,1670	0,556	0,2780
6	8	0,1670	0,278	0,5560
7	1	0,0000	0,556	0,4440
8	12	0,0000	0,278	0,7220
9	15	0,1110	0,833	0,0556
10	10	0,0556	0,833	0,1110
11	13	0,1110	0,000	0,8890
12	3	0,0556	0,000	0,9440
13	7	0,0833	0,417	0,5000
14	5	0,0833	0,417	0,5000
15	2	0,0833	0,417	0,5000
16	9	0,0833	0,417	0,5000

III.2.3. Méthode de préparation des gels**III.2.3.1. Mode opératoire**

Le carbopol se présente sous forme de poudre qu'on dissout dans l'eau, pour obtenir une dispersion acide de pH compris entre 2 et 3, qu'on doit neutraliser avec du triéthanolamine au pH 7.

Les macromolécules se déploient graduellement jusqu'à atteindre mille fois leur volume après neutralisation, ce gonflement des structures polymériques donne naissance à des micro-gels. C'est le contact entre ces micro-gels qui est responsable des propriétés gélifiantes [71].

➤ **phase 1** : dispersion du Carbopol[®] ULTREZ 10

Le protocole adopté est le suivant :

Pour une préparation de 1g/g de Carbopol[®] ULTREZ 10, on dispose d'un bécher contenant 43g d'eau thermale qu'on met sous agitation.

On incorpore progressivement la poudre par petites doses afin d'éviter les grumeaux. Puis on mélange pendant une durée de deux heures à 300 tours/min et on laisse reposer durant 30 minutes. La solution a alors un pH acide (2-3).

On incorpore ensuite 15g de propylène glycol et 5g de glycérol, sous agitation. On laisse reposer le produit durant 30 minutes lorsqu'on s'assure de l'homogénéité de la mixture visqueuse.

Arrive la phase de la neutralisation avec de la TEA qui est quantifiée à environ 25-35 gouttes (selon les proportions). On obtient alors un gel transparent, de pH égal à 7, contenant des petites bulles qui disparaissent spontanément. Il est à noter que le mélange se fait avec un agitateur à hélice spéciale pour fluide très visqueux (Mélangeur IKA RW16 basic). Cette hélice doit être entièrement immergée afin d'éviter la formation de bulles. Le procédé se termine par une vérification de l'aspect du gel et de son pH. Ce dernier est corrigé avec de la TEA si besoin.

➤ **phase 2** : dispersion du NATROSOL 250 HEC

Avec la même démarche, on réalise la dispersion du HEC en solution, dans un autre bécher, contenant 34.5g d'eau thermale sous agitation à 300tr/min. Dès que le HEC est complètement incorporée, on augmente la vitesse jusqu'à 700tr/min pendant une durée de 2 heures. On obtient une dispersion homogène du HEC en solution présentant l'aspect transparent et visqueux.

➤ **Phase 3** : On réalise le transfert de la préparation de la **phase 1** dans le mélange de la **phase 2** par petites doses sous agitation, à vitesse modérée. On obtient un gel transparent d'aspect homogène et lisse, prêt pour l'étape de caractérisation.

Le protocole opératoire est illustré par le logigramme ci-dessous, figure (III.2).

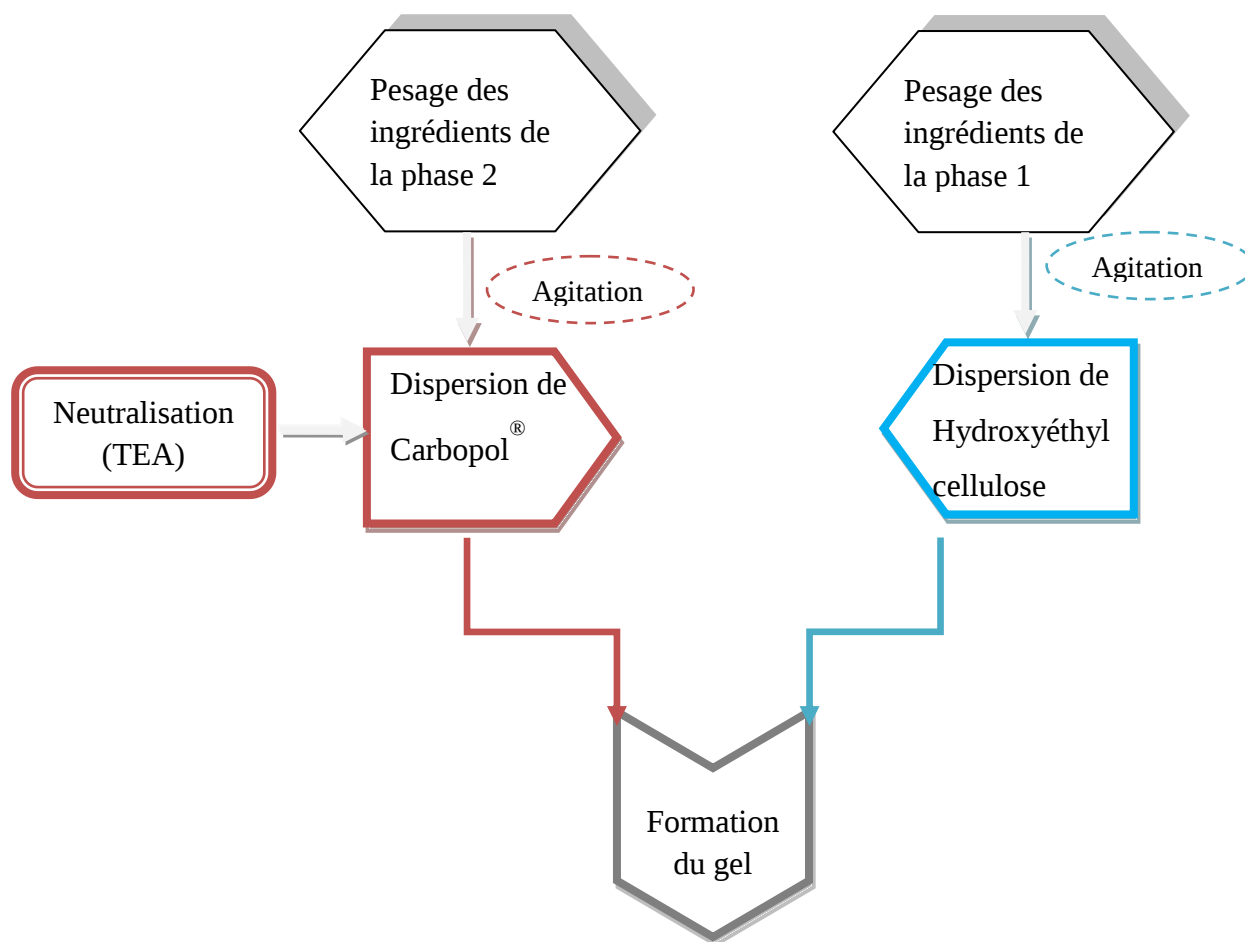


Figure III.2 : Protocole opératoire.

III.2.4. Méthode de caractérisation

III.2.4.1. Analyse rhéologique

L'objectif de ce test est de caractériser le comportement rhéologique des essais de la matrice d'expériences ainsi que les gels de référence, à savoir, l'Aloe-vera gel et Synthol gel. Le test qui porte notre intérêt et celui des courbes d'écoulement en régime continu sous cisaillement variable, se traduisant par la viscosité apparente, η_{app} en fonction de la vitesse de cisaillement, $\dot{\gamma}$.

Pour l'obtention des courbes d'écoulement, on fait varier la vitesse de cisaillement par pas logarithmique de 0,001 à 1000 s⁻¹, avec un nombre de point de mesure de 24, et un temps de mesure pour chaque point suffisamment long pour atteindre l'état d'équilibre, auquel la viscosité enregistre un palier se traduisant par un équilibre dynamique des deux cinétiques antagonistes de déstructuration – restructuration.

Pour le traitement de modélisation des courbes d'écoulement d'équilibre, on privilégie l'utilisation du logiciel STATISTICA qui offre une multitude de technique de méthodes d'optimisation non linéaires se basant sur un calcul itératif (Quasi-Newton, Simplex, Simplex and quasi-Newton, Hooke-Jeeves pattern moves, Hooke-Jeeves and quasi-Newton, Rosenbrock pattern search, Rosenbrock and quasi-Newton) [72]. .

III.2.4.2. Test sensoriel

L'analyse sensorielle représente l'ensemble des méthodes qui permettent d'évaluer en aval les qualités organoleptiques d'une matière première ou d'un produit fini.

On effectue ce test pour des groupes de 20 « juges » afin d'évaluer des critères sensoriels tels que la texture, la douceur, l'étalement... etc.

Nous attribuons le barème suivant à l'ensemble des appréciations:

Excellent =20, Bon = 15, Moyen = 10, Mauvais = 5

III.2.4.3. Test microbiologique

L'objectif de ce contrôle est d'apporter les moyens de vérifier que les gels préparés répondent aux exigences microbiologiques spécifiées.

L'analyse consiste à la recherche et le dénombrement des germes aérobies viables totaux (**mésophiles et champignons**) et la recherche des germes spécifiés. Cette analyse a été effectuée dans le laboratoire d'Analyse de la Qualité Alimentaire, Cosmétique, Détergents et de l'eau : BIOQUALITAL Kharaiicia-Alger.

Les manipulations ont été accomplies sous une hotte à flux laminaire. La préparation s'effectue par dissolution 1 /10 du gel et l'ensemencement dans des boîtes de Pétri stériles avec les milieux de culture appropriés.

Les essais d'incubation ont été réalisés dans deux type de boîtes de Pétri, la première boîte est incubée à 37 °C pendant 72±06 heures, pour détecter les bactéries aérobies mésophiles (milieu de culture sélectif Agar Plate- Count). L'autre boîte est incubée à 22°C pendant 5 jours pour détecter les levures et moisissures (milieu sélectif Agar SABOURAUD).

III.2.4.4. Test clinique

Un essai clinique (ou étude clinique) est une étude scientifique réalisée en thérapeutique médicale humaine pour évaluer l'efficacité et la tolérance d'une méthode diagnostique ou d'un traitement.

Pour évaluer l'efficacité du gel thermominéral issu de la méthode des plans d'expériences, deux échantillons ont été remis à des personnes souffrant d'arthrose, d'eczéma et de psoriasis. (Un représentant la formule optimale et l'autre, un placebo à base d'eau distillée).

Après 15 jours d'application, on récupère les patients aux nombres de 18 (12 en rhumatologie et 06 pour les dermatoses) le questionnaire qui leur a été soumis contenant leur appréciation en fonction des critères suivants :

➤ Pour la rhumatologie :

S'il y a apparition de :

I. Signes d'intolérance :

- rougeur
- picotement
- gonflement

II. Amélioration clinique :

1) la douleur :

- Disparition
- Diminution

2) gonflement :

- Disparition
- Diminution

III. Perturbation du bilan ou d'une tare existence comme :

- Hypertension artérielle
- Diabète

➤ ***Pour la dermatologie :***

Les effets cliniques recherchés :

- Effet émollient et hydratant.
- La rougeur :
 - Disparition
 - Diminution
- Les croûtes :
 - Disparition
 - Diminution
- L'inflammation :
 - Disparition
 - Diminution