



HAL
open science

Inclusions de parasites en résine : mise au point technique et intérêts pédagogiques

Sarah Leprince

► **To cite this version:**

Sarah Leprince. Inclusions de parasites en résine : mise au point technique et intérêts pédagogiques. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. <dumas-03933288>

HAL Id: dumas-03933288

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03933288v1>

Submitted on 27 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2022 - Thèse n° 105

INCLUSIONS DE PARASITES EN RÉSINE : MISE AU POINT TECHNIQUE ET INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 25 novembre 2022
Pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

Par

LEPRINCE SARAH

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2022 - Thèse n° 105

INCLUSIONS DE PARASITES EN RÉSINE : MISE AU POINT TECHNIQUE ET INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 25 novembre 2022
Pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

Par

LEPRINCE SARAH

Liste des enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (14-09-2022)

Pr	ABITBOL	Marie	Professeur
Dr	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Pr	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Dr	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Dr	BECKER	Claire	Maître de conférences
Dr	BELLUCO	Sara	Maître de conférences
Dr	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
Pr	BENOIT	Etienne	Professeur
Pr	BERNY	Philippe	Professeur
Pr	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur
Dr	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
Dr	BRUTO	Maxime	Maître de conférences
Dr	BRUYERE	Pierre	Maître de conférences
Pr	BUFF	Samuel	Professeur
Pr	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
Dr	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
Pr	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Pr	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Pr	CHABANNE	Luc	Professeur
Pr	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
Dr	CHAMEL	Gabriel	Maître de conférences
Dr	CHETOT	Thomas	Maître de conférences
Dr	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Maître de conférences
Pr	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Pr	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Dr	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
Dr	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences
Dr	GALIA	Wessam	Maître de conférences
Pr	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
Dr	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Dr	GREZEL	Delphine	Maître de conférences
Dr	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
Dr	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	JUNOT	Stéphane	Professeur
Pr	KODJO	Angeli	Professeur
Dr	KRAFFT	Emilie	Maître de conférences
Dr	LAABERKI	Maria-Halima	Maître de conférences
Dr	LAMBERT	Véronique	Maître de conférences
Pr	LE GRAND	Dominique	Professeur
Pr	LEBLOND	Agnès	Professeur
Dr	LEDOUX	Dorothee	Maître de conférences
Dr	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
Dr	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences
Dr	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
Pr	LEPAGE	Olivier	Professeur
Pr	LOUZIER	Vanessa	Professeur
Dr	LURIER	Thibaut	Maître de conférences
Dr	MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
Pr	MARCHAL	Thierry	Professeur
Dr	MOSCA	Marion	Maître de conférences
Pr	MOUNIER	Luc	Professeur
Dr	PEROZ	Carole	Maître de conférences
Pr	PIN	Didier	Professeur
Pr	PONCE	Frédérique	Professeur
Pr	PORTIER	Karine	Professeur
Dr	POUZOT-NEVORET	Céline	Maître de conférences
Pr	PROUILLAC	Caroline	Professeur
Pr	REMY	Denise	Professeur
Dr	RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
Pr	ROGER	Thierry	Professeur
Dr	SAWAYA	Serge	Maître de conférences
Pr	SCHRAMME	Michael	Professeur
Pr	SERGEANTET	Delphine	Professeur
Dr	TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
Dr	VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
Pr	VIGUIER	Eric	Professeur
Dr	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	ZENNER	Lionel	Professeur

A Monsieur le Professeur Stéphane TOBOIS

De l'Université Claude Bernard Lyon 1, Faculté de Médecine de Lyon

Pour nous faire l'honneur de présider la soutenance de cette thèse. Hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur Lionel ZENNER

De VetAgro Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour son encadrement et soutien dans la réalisation de cette thèse. Sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Gilles BOURGOIN

De VetAgro Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour nous faire l'honneur de participer à ce jury de thèse. Sincères remerciements.

TABLE DES MATIÈRES

Tables des annexes	11
Table des figures.....	13
Table des tableaux	17
Liste des abréviations	19
Introduction	21
I. La résine epoxy, un polymère aux multiples usages	23
A. La résine, un polymère utilisé dans la fabrication des matières plastiques	23
1. Définitions	23
2. Caractéristiques des polymères	26
B. Les différents types de résine et leurs usages	36
1. Résines époxy.....	37
2. Résines phénoliques	38
3. Résines amine.....	38
4. Résines polyester.....	38
5. Résines polyuréthane.....	39
6. Résines ultraviolet.....	40
C. Le choix de la résine époxy comme résine d'inclusion	41
II. Fabrication des résines à inclusion	43
A. Matériels et méthodes.....	44
1. Une résine sans bulles d'air.....	44
2. Inclusion du parasite.....	53
3. Le ponçage et polissage.....	60
B. Résultats	62
1. Obtenir une coulée de résine	62

2.	Une résine sans bulles	63
3.	Inclusion du parasite.....	69
4.	Le ponçage et polissage.....	77
C.	Discussion	81
1.	Une résine sans bulles	81
2.	Inclusion du parasite.....	82
3.	Le ponçage et le polissage.....	82
4.	Conclusion.....	84
III.	L'inclusion en resine de parasites pour favoriser l'apprentissage de la parasitologie vétérinaire.....	85
A.	L'apprentissage de la parasitologie vétérinaire aujourd'hui	85
1.	Apprentissage « classique » ou « par organe/hôte »	86
2.	Apprentissage « passif » ou « actif ».....	87
B.	Intérêt de l'ajout de la résine en complémentaire des méthodes d'apprentissage classique.....	88
1.	La multiplicité des voies d'apprentissage	88
2.	Intérêt de la résine dans un cadre pédagogique.....	94
	Conclusion.....	101
	Bibliographie	103
	Annexes	115

TABLES DES ANNEXES

Annexe 1: Fiche technique RESINPRO résine époxy transparente effet eau	115
Annexe 2: Fiche d'agrément du comité d'éthique	119
Annexe 3: Procédure de séchage et d'inclusion en résine d'un parasite	120
Annexe 4: Fiche dangers utilisation de résine époxy	125
Annexe 5: Le questionnaire VARK	126
Annexe 6 : Tableau de répartition des heures d'enseignements allouées à la parasitologie à VetAgro Sup Lyon (année 2022-2023)	132

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma des différentes réactions pouvant conduire à la formation d'un polymère .	25
Figure 2 Structure schématique d'un polymère amorphe (inorganisée) ou cristallin (organisé)	31
Figure 3 : Exemples caractéristiques de graphes $\sigma = f(\epsilon)$	35
Figure 4 : Formule chimique d'un époxyde	37
Figure 5 : Formule chimique de l'uréthane	40
Figure 6 : Insectes inclus en résine (images internet libres de droit)	43
Figure 7 : Schéma (A) d'un moule en silicone noir utilisé lors de la réalisation d'une coulée de résine, en parallèle des exemples de moules utilisés (B ; C).....	45
Figure 8 : Photo de comparaison de la forme d'une coulée de résine (5gA et 3gB) selon le moule utilisé (à gauche moule noir ; à droite moule orange).....	46
Figure 9 : Matériel nécessaire à la réalisation d'une inclusion en résine	48
Figure 10 : Schéma des étapes pour couler une épaisseur de résine	51
Figure 11 : Photos des étapes de lavage d'un parasite aux ultrasons	55
Figure 12 : Photos des différents bains prévus pour le séchage des parasites.....	56
Figure 13 : Photo d'un parasite sec non écarté (à gauche) et d'un parasite sec écarté avec des épingles de couture (à droite) (bouchon de stylo de 6 cm de long pour échelle).....	57
Figure 14 : Schéma des étapes nécessaires pour inclure un parasite dans la résine.....	58
Figure 15 : Photo d'une mouche incluse dans une résine, avec des bulles collées à son corps visibles sur l'agrandissement à droite	59
Figure 16 : Photo du plastidipND, utilisé dans le recouvrement de surface pour les rendre lisses	60
Figure 17 : Photo d'une DREMEL (outil rotatif).....	61
Figure 18 : Pâte à polir EPODEX ND glossy finish	62

Figure 19 : Photos de résines non homogènes, craquelées et liquides à certains endroits (Résultats après 4 jours de séchage).....	63
Figure 20 : Photos de comparaison d'une résine mélangée lentement (à gauche) et rapidement (à droite)	64
Figure 21 : Photos de deux essais de dégazage naturel sur une épaisseur de coulée de résine	65
Figure 22 : Photos de résines coulées avec dégazage naturel de 2 coulées d'épaisseur (à gauche) et 3 coulées d'épaisseur (à droite).....	65
Figure 23 : Photos de comparaison du nombre de bulles restantes dans la résine après dégazage naturel (à gauche) avec le dégazage à la plaque chauffante (à droite)	66
Figure 24 : Photos de résines durcies dans le verre suite au chauffage trop long et trop important du mélange	67
Figure 25 : Photos de comparaison du nombre de bulles restantes après dégazage à la plaque chauffante 3 minutes (à droite) et 4 minutes (à gauche).	67
Figure 26 : Photos de résines dégazées à l'aide d'une pompe à vide (a) dans le verre doseur avant coulée dans le moule (gauche) et (b) dans le moule (droite).....	68
Figure 27 : Photos de comparaison des bulles restantes après dégazage à la pompe à vide (à gauche) et dégazage naturel (à droite) sur des résines de 2 coulées d'épaisseur	69
Figure 28 : Photos d'un parasite (mélophage) avant lavage aux ultrasons (à gauche) et après lavage aux ultrasons (à droite)	70
Figure 29 : Photo prise mi-juillet d'une tique mise en résine fin mars (4 mois d'âge) après être restée 2 mois dans l'alcool 70°, qui n'a pas évolué depuis sa mise dans la résine	70
Figure 30 : Photos d'une même résine (2 mois d'âge), avec le dos (à gauche) qui a gardé la couleur d'origine, et le devant (à droite) recouvert d'un voile blanc	71
Figure 31: Photos d'un parasite posé sur une coulée de résine liquide, avec à droite la vue de profil montrant son enfoncement léger dans l'épaisseur de la coulée	72
Figure 32 : Photo montrant une mouche posée sur une coulée de résine liquide, enfoncée quasiment sur toute l'épaisseur de la résine.....	72

Figure 33: Photos de comparaison d'un mélophage (a) qui est remonté à la surface de la résine après avoir été posé sur une coulée sèche et d'un mélophage (b) bien au centre de la résine car "collé" à l'aide d'une goutte de résine avant d'avoir été recouvert de résine liquide	73
Figure 34 : Photo montrant une mouche incluse en résine abimée par une flamme lors du retrait des bulles par la chaleur	74
Figure 35 : Photos de comparaison de bulles retirées par une flamme (à gauche) avec bulles retirées par la pompe à vide(à droite) sur deux mouches incluses en résine	75
Figure 36 : Photos montrant un mélophage inclus sans traitement (à gauche) et un inclus avec recouvrement plastidipND (à droite).....	76
Figure 37 : Photo d'une mouche incluse en résine avec ses poils cassés, après tentative de recouvrement préalable au pinceau par de la résine.....	77
Figure 38 : Photos montrant une résine démoulée après 12h de séchage (à gauche) et cette même résine une fois qu'une pression est exercée sur sa surface (à droite).....	78
Figure 39 : Photo montrant la résine de la figure 38 une fois que la pression des doigts est relâchée.....	78
Figure 40 : Photo d'une résine en cours de ponçage, présentant de nombreuses rayures à sa surface	79
Figure 41 : Photos des différentes étapes du ponçage de la face supérieure d'une coulée de résine	80
Figure 42: Photos d'une résine avant ponçage (à gauche), après ponçage (au milieu) et après ponçage et polissage (à droite)	81
Figure 43 : Photos de comparaison de deux résines, à gauche conservée pendant plusieurs semaines sans protection contre les UV, à droite conservée à l'abri complet de la lumière dès sa création.....	83
Figure 44: Cycle de Kolb	91
Figure 45 : Schéma, à compléter par les étudiants, réalisés par les professeurs de parasitologie de VetAgro Sup Lyon	97
Figure 46 : Photos d'inclusion en résine d'un tænia conservé dans de l'alcool	98

Figure 47: Schéma issu des cours de parasitologie de VetAgro Sup Lyon, illustrant la topographie des lésions selon l'espèce d'acarien en cause 99

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Les principaux polymères thermoplastiques.....	27
Tableau II : Les principaux polymères thermodurcissables.....	30
Tableau III : Les principaux élastomères	33
Tableau IV : Tableau récapitulatifs des types de matériaux en fonction du module d'Young (E module d'Yong et ϵR l'allongement à la température)	35
Tableau V : Classification de la toxicité du formaldéhyde, traduit de l'anglais.....	95

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADN : acide désoxyribonucléique

ARN : acide ribonucléique

ISO : International Standardisation Organisation

TD : thermodurcissable

Tg : température de transition vitreuse

TP : thermoplastique

UV : ultraviolets

WAAVP: World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology

INTRODUCTION

La résine est un matériau transparent, liquide avant préparation et solide après utilisation, utilisé dans des domaines allant de l'industrie jusqu'à l'usage non professionnel pour la réalisation de petits objets décoratifs. L'intérêt de ce matériau est sa grande transparence et la possibilité d'emprisonner en son cœur des objets afin qu'ils soient ensuite visibles et préservés.

Le but de ce travail a été de mettre au point une technique permettant la réalisation d'inclusions en résine de parasites visibles à l'œil nu, reproductible ensuite pour des travaux pratiques de reconnaissance de parasites. Il fallait donc obtenir une résine transparente, lisse, manipulable et sans bulles, ni au sein de la résine ni collées au parasite. Le parasite inclus dans la résine doit être propre, présent en entier – toutes ses pattes ainsi que les appendices doivent être présents –, et bien étalé afin que toutes ses structures soient visibles.

L'apprentissage de la parasitologie est toujours très important au sein du cursus de formation des vétérinaires, car ces derniers y sont confrontés de façon journalière lors de leur pratique clinique (van Doorn, Nijse, Ploeger 2018). Comme beaucoup d'autres enseignements, la parasitologie s'efforce de se renouveler et d'innover afin de varier les méthodes d'apprentissage pour motiver les élèves à apprendre cette matière.

Jusqu'à présent, l'apprentissage de la parasitologie était majoritairement réalisé à travers des cours magistraux et travaux pratiques. Les travaux pratiques reprennent les parasites vus en cours, leurs cycles, les moyens de les identifier et de lutter contre eux, avec une autre approche complétant le cours magistral. Dans ce cadre, la résine, comme moyen de présentation et préservation des parasites, pourrait trouver de nombreuses applications pédagogiques que nous allons présenter dans cette thèse, notamment pour la reconnaissance directe des parasites mais également comme moyen de représentation de parasites au sein de jeux éducatifs.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur la définition du terme résine, ses nombreuses utilisations et les raisons qui nous ont poussé à sélectionner la résine époxy pour ce travail. Dans un deuxième temps, nous détaillerons les différentes étapes et essais qui ont conduit à la réalisation d'une inclusion réussie en résine d'un parasite. Enfin, nous présenterons les intérêts pédagogiques que peuvent avoir de telles inclusions en résine.

I. LA RESINE EPOXY, UN POLYMERE AUX MULTIPLES USAGES

Il existe deux définitions du terme résine. La première définition est celle de la norme internationale ISO 472 :2013, qui définit les termes utilisés dans l'industrie des plastiques, et qui indique que la résine est un « solide, semi-solide ou pseudo-solide d'origine organique, qui a une masse moléculaire indéfinie et souvent élevée, et qui généralement se ramollit ou fond au-delà d'une certaine température ». La seconde définition, plus large, est établie par une annotation sous la norme ISO 472 :2013 précisant que « dans certains pays, le terme [de résine] est utilisé au sens large pour désigner tout polymère [naturel ou synthétique] utilisé dans la fabrication de matières plastiques ».

Dans la littérature, le terme résine désigne en général un polymère thermodurcissable (Reyne 1998; Sanchez et al. 2018 ; Dominguez 2007). Cependant, il est parfois utilisé pour évoquer les polymères thermoplastiques, avec la précision « résine thermoplastique » et non pas seulement « résine ».(Mazumdar 2001)

Ainsi, pour éclaircir cette notion plurale qu'est une résine, il faut revenir à la définition des polymères et matières plastiques en général. Ensuite sera défini plus précisément les différentes résines existantes et leurs utilisations, pour finir sur les différentes raisons qui ont conduites à sélectionner la résine époxy pour la réalisation de ce travail.

A. La résine, un polymère utilisé dans la fabrication des matières plastiques

1. Définitions

Un polymère est une macromolécule formée de l'association de plusieurs molécules de plus petites masses, appelées monomères, par des liaisons covalentes. (Dominguez 2007; Reyne 1998).

On peut répartir les polymères en plusieurs catégories selon leur origine (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008) : les naturels, artificiels et synthétiques.

- ❖ les polymères **naturels** sont présents dans la matière vivante, non créé par l'homme (exemples : cellulose, ADN, ARN, amidon) ;
- ❖ les polymères **artificiels** proviennent de macromolécules naturelles modifiées par l'homme, sans modification du squelette (exemple : cellulose nitrosée) ;

- ❖ les polymères **synthétiques** sont fabriqués par l'homme à partir de monomères, c'est le cas de la résine époxy par exemple.

Un monomère est une petite molécule présentant au moins deux sites d'attaches. (Dominguez 2007). Cette molécule présente une faible masse moléculaire (<100) (Reyne 1998).

Elle donne son nom au polymère, précédé du préfixe « poly ». Il en va ainsi pour de nombreux matériaux. Par exemple, le monomère du polystyrène est la molécule styrène et celui du polyépoxyde est un époxyde.

Les monomères peuvent former des polymères par trois types de réaction chimiques : la polymérisation, la polycondensation et la polyaddition. Selon le type de réaction, des polymères aux qualités différentes sont obtenus (voir **Figure 1**) (Reyne 1998) :

- ❖ La **polymérisation** est une « transformation, à partir de [...] monomère[s] qui s'associent sous l'effet direct ou combiné de pression et température, en présence ou non de catalyseurs, pour donner un polymère se présentant sous la forme d'une macromolécule à chaîne linéaire ». Ainsi « le motif structural de la molécule d'origine est répété plusieurs milliers de fois. Si l'on opère à partir de molécules différentes, on parle de copolymères ».
- ❖ La **polycondensation** est une « réaction, plus lente que la polymérisation, entre des molécules de bases différentes, qui donne un polycondensat sous forme d'un réseau linéaire ou tridimensionnel dans lequel le motif structural de la molécule de base est répété seulement quelques centaines de fois. C'est donc une macromolécule de taille plus réduite, qui provoque aussi un résidu (eau généralement) ».
- ❖ La **polyaddition** est une « réaction sans résidu, consistant en l'addition successive de molécule monomère sur une molécule initiatique ».

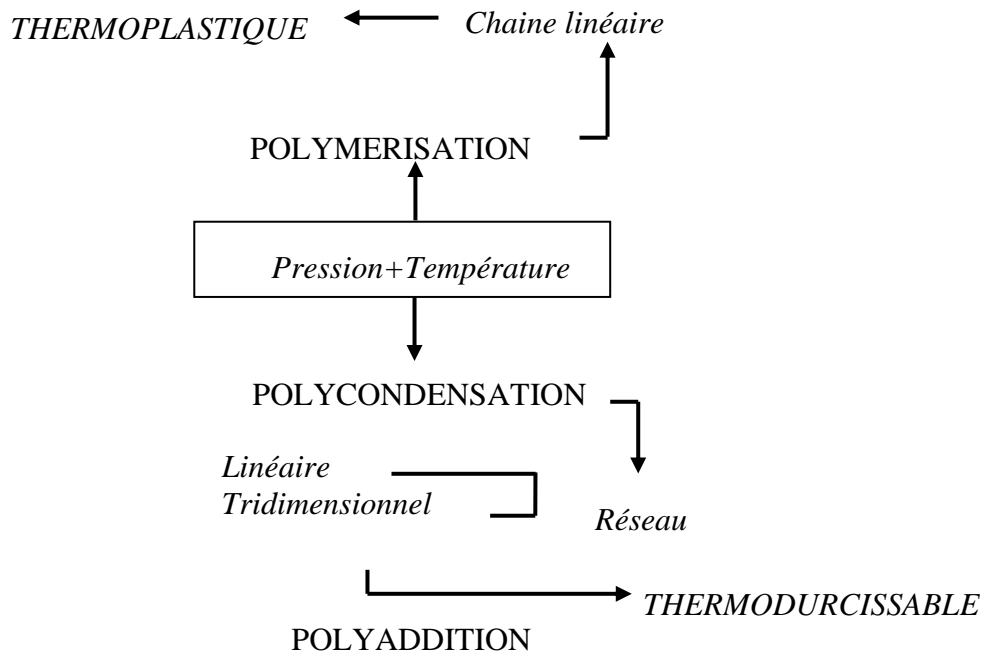


Figure 1: Schéma des différentes réactions pouvant conduire à la formation d'un polymère (Reyne 1998)

Une macromolécule est une molécule de masse moléculaire variable, qualifiée par certains auteurs de relativement élevée (Jenkins et al. 1996).

Les polymères sont un ensemble de macromolécules dont la masse moléculaire est variable pour une même molécule. En effet cette masse dépend du degré de polymérisation des monomères, qui est variable à chaque réaction. On définit pour chaque polymère des valeurs moyennes plutôt que de donner une masse précise (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

Si un polymère est associé à une charge inorganique (par exemple des fibres de verre ou des particules colloïdales), il forme un matériau composite. Le polymère utilisé est fréquemment une résine. (Mazumdar 2001) L'utilisation de plusieurs composants permet d'avoir une synergie des fonctions (Reyne 1998), résolvant de nombreux problèmes techniques qui se sont présentés dans l'industrie.

En effet, les matériaux composites ont en général des meilleures performances techniques pour une masse plus faible. Par exemple ils sont en général 3 à 5 fois plus solide qu'un alliage en aluminium ou en acier tout en étant plus léger, en faisant des composés très recherchés dans l'industrie automobile ou aéronautique. (Mazumdar 2001).

Les polymères ont de nombreuses applications dans l'industrie car ils sont faciles à utiliser, sont peu coûteux par rapport à d'autres produits tels le métal, et présentent des propriétés thermiques et mécaniques intéressantes. Par exemple la plupart des polymères sont résistants à la corrosion. Une partie des polymères sont thermoformables. Ainsi ils sont notamment utilisés dans des domaines comme l'agroalimentaire, l'automobile, l'aérospatiale, le bâtiment, mais aussi les emballages, la santé, les peintures.

Les matières plastiques (ou résine si l'on utilise la définition large) peuvent être fabriquées à partir de ces différents types de polymère. La « matière plastique » est ainsi parfois utilisé en synonyme de polymère dans l'industrie, bien qu'un tel emploi soit abusif car celui-ci renvoie plutôt aux polymères synthétiques.

2. Caractéristiques des polymères

(1) Classification des polymères

On peut séparer les polymères en trois catégories selon :

- leur réaction face à la chaleur : les thermoplastiques et les thermodurcissables (ou résine si l'on utilise la définition stricte) ;
- leur structure moléculaire : amorphe ou cristalline ;
- leur température de transition vitreuse : plastique ou élastomère.

(a) Chaleur

La norme ISO 472 :2013 définit un polymère thermoplastique (TP) comme un matériau « susceptible d'être, de manière répétée, ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température caractéristique du plastique considéré ».

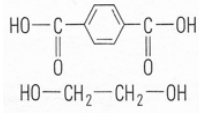
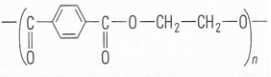
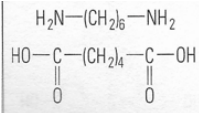
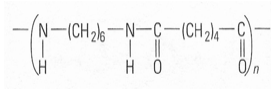
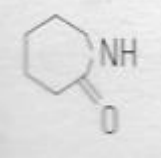
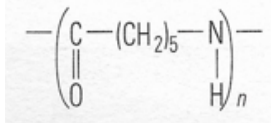
Ainsi, on peut appliquer une forme à ce polymère linéaire ou ramifié en le chauffant, qu'il conservera une fois refroidi. Ce processus est répétable, rendant ces polymères recyclables. (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008)

Les principaux polymères TP synthétiques sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (**voir tableau I**), avec le monomère dont ils sont tirés, leur formule chimique semi-complète, leur nom commun ainsi que leurs applications fréquentes. (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008)

Tableau I : Les principaux polymères thermoplastiques (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008)

Monomères	Polymères	Nom commun (Abréviation)	Noms commerciaux	Applications
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---CH}_2)_n\text{---}$	Polyéthylène (PE)	Dowlex, Lupolen, Hostalen, Supralen, ...	Films, emballages, récipients, tuyaux, jouets,...
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---}(\text{CH}_2\text{---CH})_n\text{---} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Polypropylène (PP)	Fortilen, Fiberfil, Dapen, Appryl,...	Films, emballages, récipients, tuyaux, jouets,...
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---}(\text{CH}_2\text{---CH})_n\text{---} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	Polystyrène (PS)	Lustrex, Fostarene, Polystrol, Stapron,...	Emballages, jouets, articles médicaux, ameublement,...
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---}(\text{CH}_2\text{---CH})_n\text{---} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Poly(chlorure de vinyle) (PVC)	Vestolit, Geon, Vinoflex, Vinidur,...	Tuyauterie, revêtement de sol, fenêtres, maroquinerie,...

$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$	Poly(méthacrylate de méthyle) (PMMA)	Plexiglas, acrylite, Elvacite, Altuglas,...	Plaques pour vitres, pièces automobiles,...
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array}$	$\text{V}-\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array} \right)_n$	Polyacrylonitrile (PAN)	Acrilan, Orlon,...	Fibres textiles, fibres de carbone, adhésifs,...
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \quad \text{CH}_2=\text{CH} \\ \quad \quad \\ \text{C}_6\text{H}_5 \quad \quad \text{C}\equiv\text{N} \end{array}$	$-\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_x - \left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array} \right)_y -$	Poly(styrène/acrylonitrile) (SAN)	Luran, Styrex, Tyril,...	Electroménager, industrie, automobile
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$-\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_x - \left(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right)_y -$	Poly(styrène/buta diène) ou PS choc (SB)	Styroblend, Lacqrene, Edistir	Emballage, électroménager, ameublement
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \diagdown \quad / \\ \text{O} \end{array}$	$\text{HO}-(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_n-\text{H}$	Poly(oxyde d'éthylène) (POE)	Carbowax, Polywax	Agroalimentaire, textile, cosmétique, lubrifiant

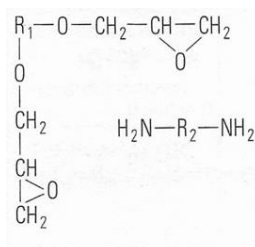
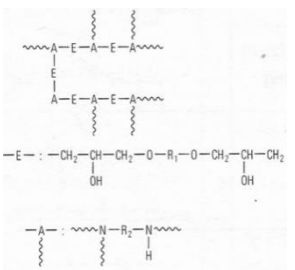
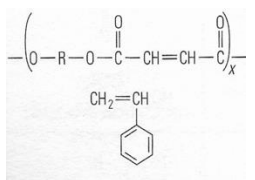
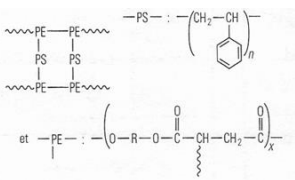
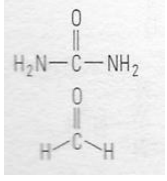
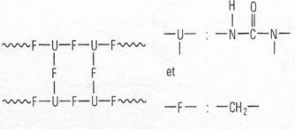
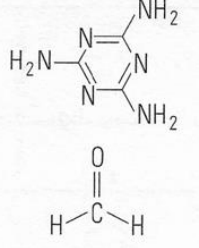
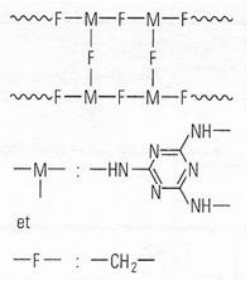
 <p>HO-C(=O)-C₆H₄-C(=O)-OH HO-CH₂-CH₂-OH</p>	 <p>$\left(\text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C}(=\text{O}) \text{---} \text{O} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{O} \right)_n$</p>	Poly(téréphtalate d'éthylène) (PET)	Dacron, Tergal, Mylar, Celenar	Bouteilles, textiles, films
 <p>H₂N-(CH₂)₆-NH₂ HO-C(=O)-(CH₂)₄-C(=O)-OH</p>	 <p>$\left(\text{N} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \text{---} \text{C}(=\text{O}) \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{C}(=\text{O}) \right)_n$</p>	Polyhexaméthylène adipamide ou polyamide-6,6 (PA 6,6)	Akulon, Ultramid, Maranyl, Nylon	Fibres textiles, pièces automobiles, électriques
	 <p>$\left(\text{C}(=\text{O}) \text{---} (\text{CH}_2)_5 \text{---} \text{N} \text{---} \text{H} \right)_n$</p>	Polycaprolactame ou polyamide-6 (PA 6)	Akulon, Ultramid, Zytel 6, Nylon	Fibres, pièces automobiles, électroménager

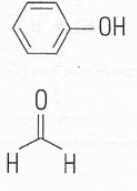
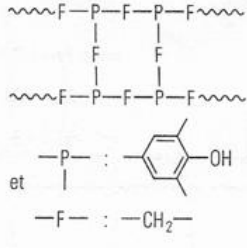
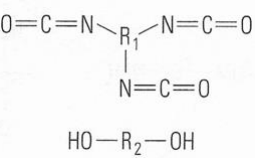
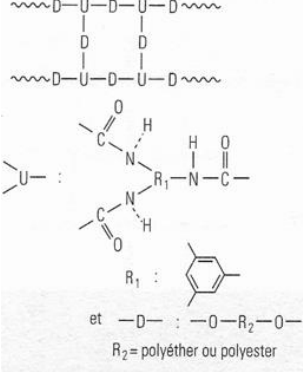
La norme ISO 472 :2013 définit un polymère thermodurcissable (TD) comme un matériau traité par la chaleur, ou par d'autres moyens tels qu'un rayonnement ou des catalyseurs ». Une résine est un polymère thermodurcissable. (Dominguez 2007; Reyne 1998)

La réaction se produisant lors de cette transformation est la réticulation, définie comme étant la « formation de liaisons chimiques aboutissant à un réseau moléculaire en trois dimensions » par la norme ISO 472 :2013. La réaction de réticulation a lieu grâce à un agent de réticulation, appelé « durcisseur » dans le commerce. Cette réaction est exothermique et irréversible, rendant les polymères TD plus difficile à recycler que les TP. (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008)

Les principaux polymères TD synthétiques sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (**voir tableau II**), avec le monomère dont ils sont tirés, leur formule chimique semi-complète, leur nom commun et leurs applications fréquentes (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

Tableau II : Les principaux polymères thermodurcissables (Chassanieux, Lefebvre, Pascual2008)

Monomère(s) et/ou polymères	Polymères	Nom commun	Noms commerciaux	Applications
		Résines époxy(époxy/amine)	Aramdite, Rutapox, Epitoke, Ablebond	Adhésifs, revêtements, peintures, composites
		Résines polyester insaturés	Synolite, Norsodyne, Alpolit, Vestopal	Matériaux composites, objets inclus, mastics
		Aminoplastes (urée/formol)	Cibramin, Pollopas, Urochem, Basopor	Adhésifs, revêtements, stratifiés
		Aminoplastes (mélamine/formol)	Beetle, Uroplast, Lerite, Melochem	Adhésifs, industrie du papier, stratifiés

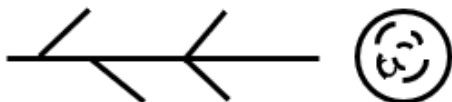
		Phénoplastes (phénol/formol)	Norsophen, Rutaphen, Cascophen	Industrie du bois, isolation, imprégnation, divers
		Polyuréthanes	Baydur, Bayflex, Vovanol, Plasthivau	Mousses, peintures, verniss, adhésifs

(b) Structure moléculaire

Un polymère solide peut être cristallin, c'est-à-dire avec les chaînes du polymère parallèles entre elles et reliées par des liaisons de Van der Waals ou hydrogène (Voir **figure 2**).

Il peut être amorphe s'il n'est pas organisé en réseau. Les chaînes sont alors très ramifiées et désordonnées. (Reyne 1998). Sa structure est dans ce cas similaire à celle d'un liquide. (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

Molécules inorganisées



Molécules organisées

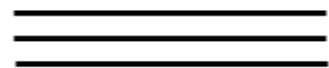


Figure 2 Structure schématique d'un polymère amorphe (inorganisée) ou cristallin (organisé)
(Reyne 1998)

Un polymère semi-cristallin présente des zones cristallisées et des zones amorphes. Le polyéthylène, le polyester et les polyamides sont des polymères semi-cristallins. Les polymères TP sont amorphes ou semi-cristallin, les TD (ou résine) sont amorphes.

Ce classement présente cependant des limites, car les propriétés d'un polymère dépendent du temps et de la température.

(c) Température de transition vitreuse

La transition vitreuse concerne uniquement l'état amorphe (pour les polymères amorphes et les parties amorphes des semi-cristallins). Il s'agit d'une transformation thermodynamique qui « est de nature cinétique et ne correspond pas à un changement d'état » (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

Cette transformation a lieu dans une zone de température désignée par T_g (*glass transition temperature*, soit la température de transition vitreuse). Sous la température T_g , le polymère est à l'état vitreux ; au-dessus, il est à l'état caoutchouteux. Cette température est variable selon la vitesse de chauffe du matériau.

Chaque polymère dispose d'une T_g qui lui est propre, ce qui permet de les classer selon que T_g est soit inférieure ou supérieure à la température ambiante (20°C) (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008) :

- ❖ Les **plastiques** (ou **résines** au sens large) : polymère amorphe vitreux à une température supérieure à la température ambiante ($T_g > 20^\circ\text{C}$)
- ❖ Les **élastomères** (=caoutchouc) : polymère amorphe à l'état caoutchouteux à température ambiante ($T_g \ll 20^\circ\text{C}$).

Les élastomères sont parfois définis comme une classe à part des TP ou TD. Bien qu'ils soient similaires aux TD, et qu'ils soient fabriqués par réticulation, ils se différencient par leur élasticité, c'est-à-dire leur « capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contraintes mécaniques ». (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008). Il existe des élastomères TP, mais si cela n'est pas précisé, il est convenu qu'un élastomère est TD.

Les principaux élastomères sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (**voir tableau III**), avec le polymère en formule chimique semi-complète, le nom commun et les applications fréquentes (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

Tableau III : Les principaux élastomères (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008)

Polymère	Structure	Composition	Noms commerciaux	Applications
Caoutchouc naturel (NR: natural rubber)	$-(\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{CH}-\text{CH}_2)_n-$	Polyisoprène naturel 99% cis-1,4	/	Pneumatiques, adhésifs, chaussures
Polyisoprène (IR: isoprene rubber)	$-(\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{CH}-\text{CH}_2)_n-$	Polyisoprène synthétique 92-95% cis-1,4	Cariflex IR, Kraton IR, Nipol, Natsyn	En mélange avec d'autres élastomères
Polybutadiène (BR: butadiene rubber)	$-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_n-$	48 à 72% trans-1,4 selon technique	Synpol, Buna CB, Diene, Intene	Pneumatiques, En mélange avec d'autres élastomères
SBR (styrene butadiene rubber)	$\begin{array}{c} -(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_x \\ -(\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}})_y- \end{array}$	30 à 55% trans-1,4 selon technique	Krylène, Ricon, Europrene, Synaprene	Bande de roulement des pneumatiques
NBR (nitrile butadiene rubber)	$-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_x-(\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}})_y-$	70 à 80% trans-1,4	Chemigum, Krynac, Perbunan, Hycar	Tuyaux et joint pour carburant, revêtement

Polychloroprène (CR:chloroprene rubber)	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---}\overset{\text{Cl}}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{CH---CH}_2)_n\text{---}$	80 à 88% trans-1,4	Neoprene, Butachlor, Baypren, Skyprene	Courroies, tuyaux, câbles
EPM et EPBM*	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---CH}_2)_x\text{---}(\text{CH}_2\text{---}\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}})_y\text{---}$	/	Keltan, Buna AP, dutral, Nordel	Joins de portes et fenêtres automobiles, câbles

*(EPM :copolymère éthylène et propylène et EPBM : copolymère éthylène propylène diène)

(2) Propriétés mécaniques

Les polymères sont viscoélastiques, c'est-à-dire qu'ils présentent un comportement intermédiaire entre visqueux et élastique lorsqu'ils sont soumis à une pression. (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008; Meyers, Chawla 2009). Une déformation élastique disparaît dès que la force appliquée disparaît. Un comportement visqueux se définit par une résistance à la déformation. Ainsi, les polymères se déforment, mais dès que la force appliquée est arrêtée, la forme originelle n'est pas retrouvée tout de suite.

La relation entre contrainte nominale σ et l'allongement relatif ε permet de répartir les différents polymères en matériaux fragile, ductile ou caoutchouteux (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

La contrainte nominale σ est un rapport entre la force appliqué sur un polymère sur la section du polymère sur laquelle la force est appliquée, elle a l'unité d'une pression.

L'allongement relatif ε (=déformation nominale) est un rapport sans unité entre l'allongement produit par la déformation d'un polymère et sa longueur initiale.

Le module d'Young est $E = \sigma/\varepsilon$, il a l'unité d'une pression. Plus la valeur de ce module est petite, plus le matériau est élastique. Il est fréquemment utilisé pour caractériser un polymère, et donc pour caractériser une résine.

On peut ainsi réaliser des graphes (Voir **figure 3**) en mesurant σ en fonction d' ε , qui nous permet de répertorier les polymères en matériau fragile, ductile et caoutchouteux. Grace à ces

graphes on peut également calculer la contrainte à la rupture σ_R et l'allongement à la rupture ϵ_R .

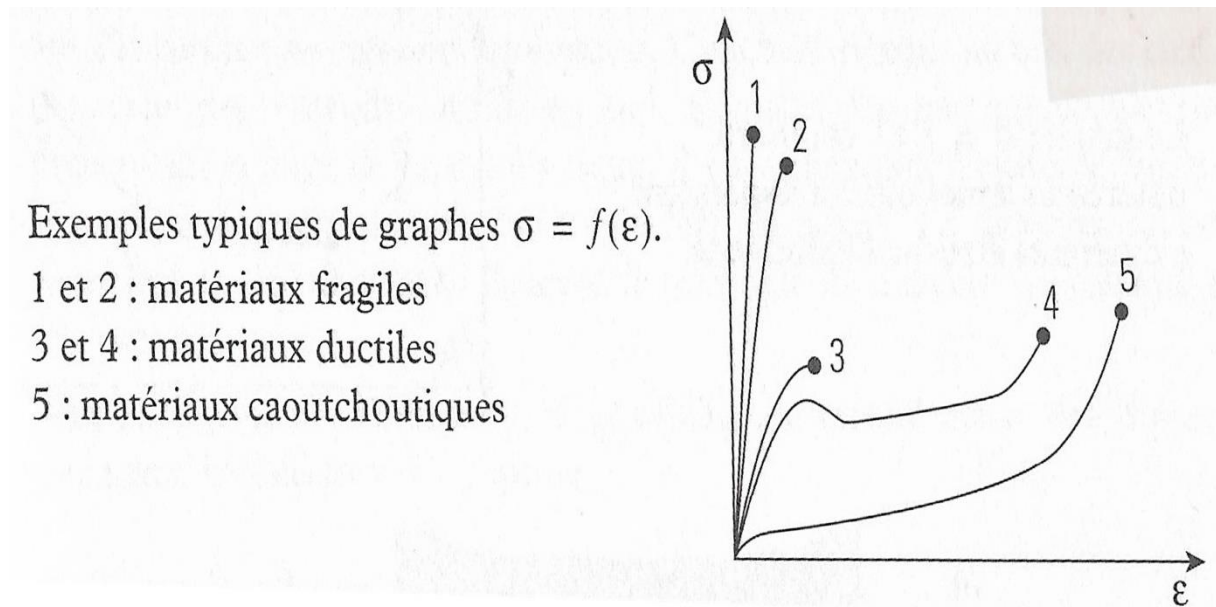


Figure 3 : Exemples caractéristiques de graphes $\sigma = f(\epsilon)$ (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008)

Tableau IV : Tableau récapitulatifs des types de matériaux en fonction du module d'Young (E module d'Yong et ϵ_R l'allongement à la température)

Type de matériau	ϵ_R	E	Exemples
Fragile	Faible	Important	Les TD et TP rigides à température d'usage qui deviennent plastiques par chauffage

Ductile	Plus important	Moins grand	Polymères semi-cristallins et certains amorphes au voisinage de leur transition vitreuse
Caoutchouteux	Élevé	Faible	Élastomères

Comme vu auparavant, le comportement d'un polymère dépend de la valeur de sa température de transition vitreuse T_g . Selon sa position par rapport à la température ambiante, les polymères amorphes peuvent être élastomères ou vitreux à température ambiante (Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008). Cette température est importante à connaître pour savoir à quelle température il faudra travailler pour que le polymère obtienne la caractéristique physique souhaitée.

B. Les différents types de résine et leurs usages

Les résines sont des matières plastiques (définition large), et le plus fréquemment des polymères thermodurcissables. Maintenant que nous avons vu les différentes notions permettant de caractériser ses polymères, nous pouvons détailler les principaux types de résines existant et leurs usages.

Les caractéristiques intéressantes des résines sont leur faible poids, leur résistance à la corrosion, le caractère adhésif qu'elles présentent (Barrere, Dal Maso 1997; Cheremisinoff 1998), ainsi que leur aspect liquide avant préparation et solide après réaction. L'ensemble de ces propriétés en fait un matériau de revêtements et adhésif très pratique d'utilisation. Elles sont également, comme tous les polymères, des matériaux moins coûteux que les métaux.

La réaction de formation des résines est une polycondensation (entre des monomères différents) en un réseau tridimensionnel suivi d'une polyaddition des macromolécules formées. Ces macromolécules formées par polycondensation sont appelées prépolymères. Cette réaction est également appelée réticulation. Cette réaction est causée par la chaleur, un rayonnement ou un catalyseur (norme ISO 472 :2013).

Il existe de très nombreux usages à la résine : pour le revêtement de sol, la fabrication de peinture/d'adhésif/de latex, ou encore l'inclusion d'objets pour de la décoration ou de la conservation.

Nous allons maintenant détailler les principales résines existantes. Pour rappel les principaux polymères thermodurcissables sont récapitulés dans le **tableau II**.

1. Résines époxy

Les résines époxy sont des polyéthers formés par réaction entre des époxydes (Voir **figure 4**) et d'autres groupement. Généralement l'autre groupement est une amine, un phénol ou un polyacide (Barrere, Dal Maso 1997; Paluvai, Mohanty, Nayak 2014).

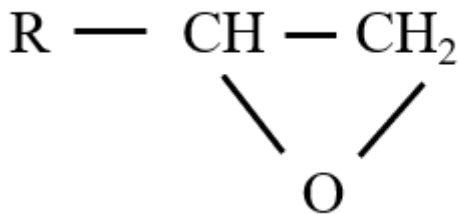


Figure 4 : Formule chimique d'un époxyde(Paluvai, Mohanty, Nayak 2014)

Les caractéristiques de l'époxy sont une bonne résistance thermique et chimique (Tg = 150-200°C), une résistance mécanique importante, une bonne isolation électrique et des propriétés adhésives (Barrere, Dal Maso 1997).

Elle offre une bonne protection des matériaux qu'elle recouvre, tel que les canettes de soda, les lits, l'ameublement, ou encore les peintures de bateaux (Dominguez 2007; Paluvai, Mohanty, Nayak 2014; Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

Ces résines sont utilisées sous forme liquide, réticulable par l'ajout d'un durcisseur (Reyne 1998). Selon la présentation, la résine époxy peut avoir une épaisseur de coulée maximale de quelques centimètres à plusieurs mètres (l'épaisseur maximale étant déterminée par le chauffage de la résine au cours de sa formation).

L'époxy est sensible au rayonnement ultraviolet (UV), et doit être conservée à l'abri du soleil. À défaut, elle jaunit lorsqu'elle y est exposé (Paluvai, Mohanty, Nayak 2014).

C'est une résine très utilisée pour la réalisation d'inclusion, car elle est très facilement disponible et très répandue d'utilisation pour les particuliers. Elle est utilisée notamment pour la réalisation de bijoux, de peinture, de diorama ou de marques pages.

2. Résines phénoliques

Les résines phénoliques sont produites par réaction des phénols et des aldéhydes. Dans le **tableau II**, elles sont appelées « résines phénoplastes ».

Les résines phénoliques sont intéressantes pour leur grande résistance mécanique et leur résistance à la chaleur avec charge ($T_g=150\text{ °C}$), en faisant des polymères utilisés fréquemment pour la réalisation de matériaux composites (Mazumdar 2001). Le plus fréquemment la résine est associée à de la fibre de verre, de la cellulose, des minéraux (mica, argile, silice), des fibres aramides et du papier pour former des matériaux composites (Allen, Ishida 2001).

Elles sont utilisées notamment pour de l'ameublement (électrique, radio et télévision), les poignées d'ustensiles de cuisine résistants à la chaleur ainsi que les boucles et autres objets similaires (Dominguez 2007; Chassanieux, Lefebvre, Pascual 2008).

3. Résines amine

Les résines amine sont produites par réaction entre le formaldéhyde (autre nom du méthanal) et de l'urée ou de la mélanine (Dominguez 2007). Dans le **tableau II**, elles sont appelées « résines aminoplastes ».

Leurs propriétés intéressantes sont similaires à celles des résines phénoliques. (cf. partie I.B.1)

En plus des usages similaires aux résines phénoliques, les résines amines sont utilisées dans la fabrication de la vaisselle légère, ainsi que des comptoirs et autres surfaces de tables.

Par rapports aux résines phénoliques qui sont naturellement sombre (Allen, Ishida 2001; Dominguez 2007), les résines amines sont transparentes et peuvent ainsi être colorées par l'ajout de pigments (Dominguez 2007).

4. Résines polyester

Les résines polyester sont formées par polycondensation entre un polyacide et un polyalcool dans un solvant (le polyester) puis réticulation de l'ester formé (Bradai et al. 2008; Reyne 1998).

Il en existe une grande diversité. Elles sont liquides, réticulable par l'ajout d'un durcisseur (Reyne 1998).

Ces résines peuvent être thermodurcissables (si elles sont insaturées) ou thermoplastiques (si elles sont saturées) (Mazumdar 2001; Reyne 1998). Ici seront étudiées les résines polyesters au sens strict, c'est-à-dire les résines polyesters insaturées.

Lors du séchage, l'oxydation permet la formation d'un matériau composite très résistant à faible coût de production, ce qui en fait un agent de surface très intéressant (Bradai et al. 2008). Elles sont principalement utilisées dans la construction de bateaux, piscines, et autre objet en contact permanent avec de l'eau du fait de sa résistance à celle-ci (Dominguez 2007). Elles sont également utilisées sous forme non renforcée (non composite), comme isolant électrique ou agent d'enrobage ou de moulage (Reyne 1998).

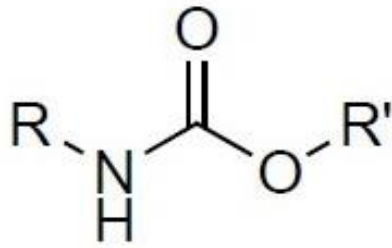
Elles rentrent également dans la composition des peintures, et sont utilisées pour réaliser des inclusions d'objets. C'est une résine très intéressante pour l'inclusion car elle peut être coulée en grande épaisseur et en une seule couche. Elle est donc utilisée pour l'inclusion d'objets relativement grands tels que des insectes ou des outils.

5. Résines polyuréthane

La résine polyuréthane est formée par polyaddition entre des dialcools ou des polyols avec des polyisocyanates (un isocyanate(-N=C=O= est une base conjuguée de l'acide isocyanique (H-N=C=O)) (Dominguez 2007). La formule chimique d'un uréthane est donnée dans la **Figure 5**.

Ces résines peuvent être thermodurcissables ou thermoplastiques, selon les polyols et les isocyanates sélectionnés (Mazumdar 2001; Reyne 1998). Ces résines peuvent également être des élastomères, cela en fait des résines très polyvalentes.

Elles sont utilisées notamment dans l'industrie automobile, pour les pare-chocs, capots, tôle de carrosserie sous forme de résine, mais aussi les fauteuils, coussins et matelas en mousse sous forme d'élastomère (Mazumdar 2001). Elle est également utilisée comme encapsulant électrique ou en revêtement de sol, en extérieur comme en intérieur.



Uréthane

Figure 5 : Formule chimique de l'uréthane

Cette résine peut être utilisée pour former un matériau composite, c'est le cas du **polyuréthane ciment** qui est une résine qui présente une très bonne résistance mécanique/chimique et thermique, tolère très bien l'humidité permanente, la chaleur permanente et les chocs thermiques. Cette résine est notamment utilisée pour réaliser des sols en agroalimentaires.

6. Résines ultraviolet

Le terme « résine UV » est un terme utilisé pour des usages non professionnels dans la réalisation de petits bijoux d'inclusion, c'est pourquoi il paraissait intéressant de la décrire dans ce travail. Il existe peu de bibliographie à son sujet, les caractéristiques décrites étant celles des fiches techniques des produits vendus.

La plupart du temps, cette résine est du polyester ou de l'uréthane acrylate.

La résine UV n'a qu'un seul composant, à la différence de l'époxy ou du polyester qui sont composés d'un monomère et d'un durcisseur qui nécessitent d'être mélangés). L'exposition à des rayons UV permet la polymérisation et donc le durcissement.

L'épaisseur de coulée est de un à trois millimètre maximum selon les présentations. Selon l'épaisseur de la couche et la puissance de la lampe à UV, la résine durcie en maximum trois minutes. Cette rapidité en fait une résine très intéressante pour la réalisation de petits bijoux par des particuliers, pour un résultat rapide et temporaire.

Sa tenue dans le temps est en revanche mauvaise car la résine UV ne résiste ni à la chaleur ni à l'abrasion : elle présente des rayures très rapidement. Pour la protéger, il est possible de

recouvrir la résine UV d'une couche de résine plus résistante, tel que l'époxy ou le polyuréthane.

C. Le choix de la résine époxy comme résine d'inclusion

Comme nous l'avons vu, il existe de très nombreuses résines, utilisées dans des domaines aussi vastes que l'industrie (Mazumdar 2001), la santé (Komabayashi et al. 2020), jusqu'à la décoration de bijoux.

Nous avons déterminé que les résines les plus adaptées à notre projet sont les résines époxy et polyester. En effet, la résine époxy présente les avantages d'être très facilement accessible, avec beaucoup de documentation à son sujet pour un usage non professionnel. Elle semblait également pratique d'utilisation, avec une quantité fixe de durcisseur à ajouter au prépolymère appelé « résine ». Le ratio résine/durcisseur est variable en fonction des présentations, il est par exemple de 5/3 pour la résine époxy RESIN PRO ND, et de 2/1 pour la résine époxy SICOMIN ND. De plus elle est disponible en très faible ou grande quantité, permettant de faire des essais avec une petite quantité (pour la résine RESIN PRO ND, possibilité d'acheter au format 160g).

La résine polyester était moins facile à se procurer, et sous une présentation moins pratique d'usage. En effet la résine n'est pas disponible dans un format inférieur à 1 kg. De plus la quantité de durcisseur à ajouter est plus variable, et est indiqué en pourcentage selon l'épaisseur de coulée souhaitée.

Par rapport à la résine UV, qui était elle aussi facile à trouver, elle présentait des caractéristiques plus intéressantes comme sa hauteur de coulée plus grande, le fait qu'elle ne nécessitait pas de lampe à UV, et sa plus grande résistance aux rayures et à l'abrasion.

II. FABRICATION DES RÉSINES À INCLUSION

Le but de ce travail était de mettre au point une technique permettant l'inclusion en résine de parasites visibles à l'œil nu, afin de créer un support utilisable ensuite pour des travaux pratiques de reconnaissances de parasites. Les résines ainsi créées seront regardées à l'œil nu mais aussi à la loupe binoculaire.

L'idée vient de l'inclusion en résine d'insectes, qui est assez répandu, notamment pour des raisons esthétiques, ou pour la création de cabinets de curiosités.

La **Figure 6** présente quelques images tirées d'internet qui ont inspirées ce travail.



Figure 6 : Insectes inclus en résine (images internet libres de droit)

Il fallait donc obtenir une résine transparente, lisse, manipulable et sans bulles, ni au sein de la résine ni collées au parasite. Le parasite présent dans la résine doit être propre, présent en entier (toutes ses pattes, appendice et autres doivent être présentes) et bien étalé afin que toutes ses structures soient visibles.

Ce travail a été réalisé en trois temps. Premièrement développer une technique de fabrication de résine, sans bulles d'air ni parasites. Puis s'intéresser plus précisément aux difficultés qu'ajoutent l'inclusion du parasite, notamment la nécessité d'avoir plusieurs coulées de résine les unes sur les autres. Et enfin développement de la technique de polissage la plus simple, rapide et économique possible, afin d'avoir une résine transparente, sans rayures et qui résiste à l'usure du temps.

A. Matériels et méthodes

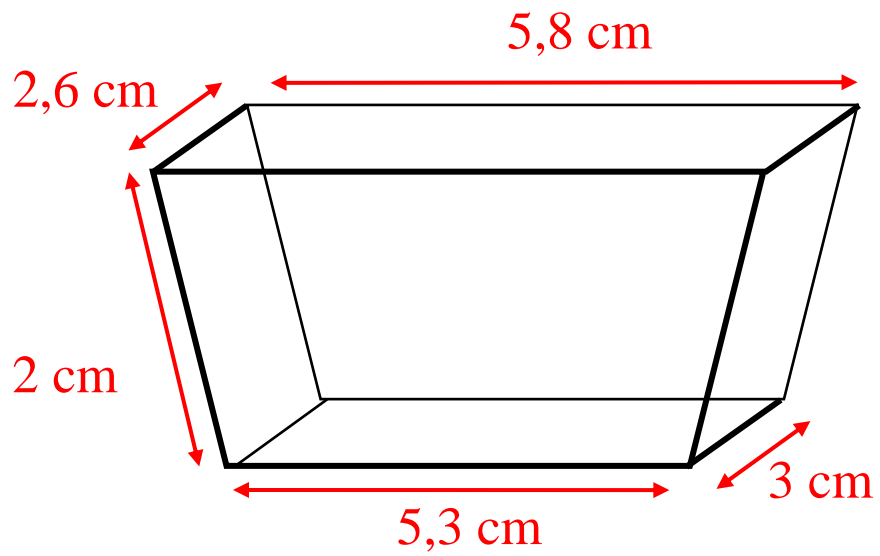
1. Une résine sans bulles d'air

(1) Matériel nécessaire à une coulée de résine

Pour couler une épaisseur de résine, il faut le matériel nécessaire afin de mesurer et mélanger la résine et de retirer les bulles d'air. Il faut également prévoir le matériel de protection individuel. L'ensemble de ce matériel est récapitulé dans la **figure 9**.

La pompe à vide utilisée (légende **(m) de la figure 9**) est la pompe VPC 130 de la marque WVR (débit 18 L/min, vide 133 mbar).

Pour tous les avantages évoqués au paragraphe I.C, la résine choisie a été l'époxy. La présentation commandée a été la résine époxy transparente effet eau de la marque ResinPro (Voir **annexe 1**, fiche technique). Les moules en silicone utilisés sont des moules à financier, marque Carrefour (moules à 48 mini-financiers, 40*30 cm) couleur noire. Un moule mesure : hauteur 2 cm ; largeur 2,6 cm à la base et 3 cm en haut ; longueur 5,3 cm à la base et 5,8 cm en haut (Voir **figure 7**). La plaque de moules a été coupée afin que chaque moule soit séparé des autres, pour simplifier le stockage et la manipulation. Le moule orange de la **figure 7** était légèrement différents en taille par rapport au moule noir, la résine durcie n'avait pas exactement la même forme. Le moule orange était un peu plus large et long que le moule noir, avec des angles plus francs et moins arrondis, ainsi pour une coulée de poids identique (5gA et 3gB, voir explications partie II.A.1.2) la taille de la résine finale n'était pas la même (Voir **figure 8**).



(A)



(B)



(C)

Figure 7 : Schéma (A) d'un moule en silicone noir utilisé lors de la réalisation d'une coulée de résine, en parallèle des exemples de moules utilisés (B ; C)

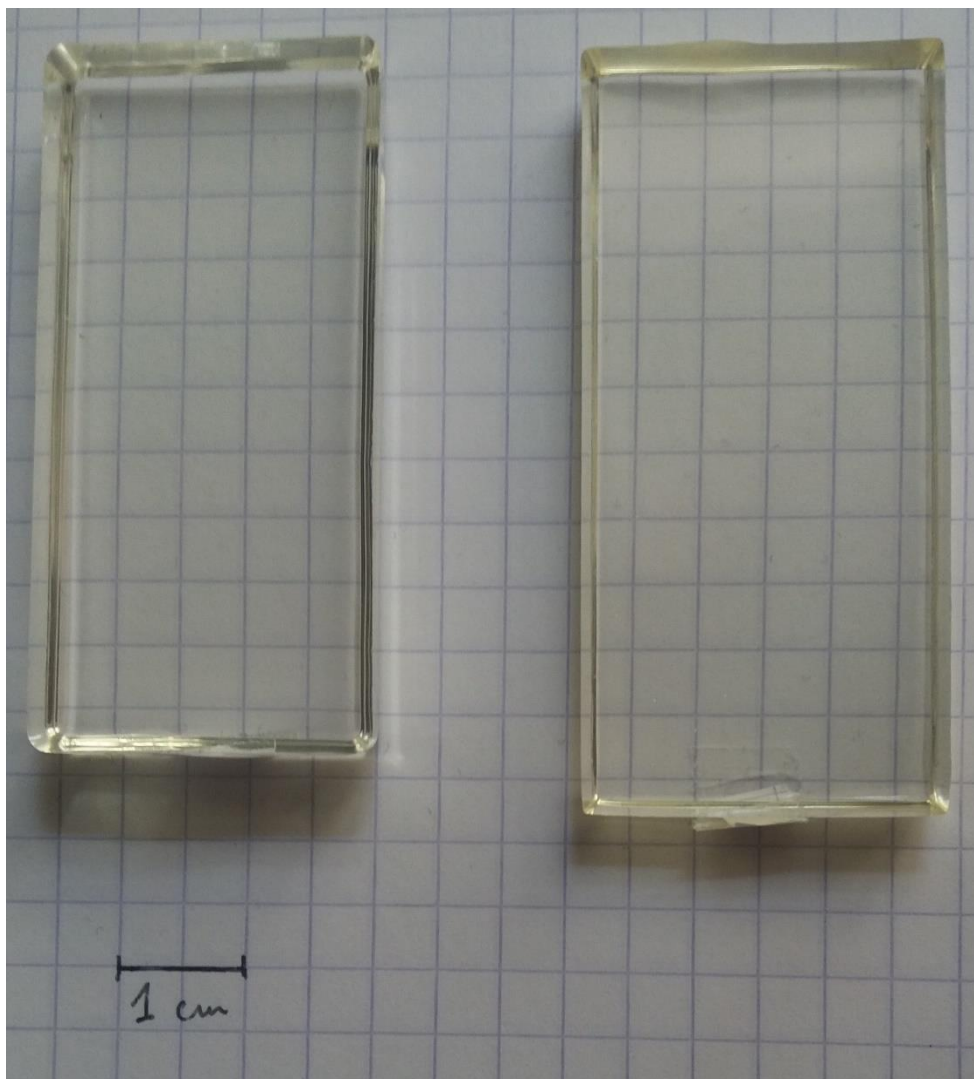


Figure 8 : Photo de comparaison de la forme d'une coulée de résine (5gA et 3gB) selon le moule utilisé (à gauche moule noir ; à droite moule orange)

Le matériel nécessaire à la réalisation d'une coulée de résine est présenté dans la **figure 9**. La légende est détaillée à la suite de la figure. Les légendes (e), (f) et (h) seront utiles pour la partie II.A.2, l'inclusion du parasite.

En protection individuelle, à la place du masque FFP2 (a), une hotte a été utilisée lorsque cela a été possible. Les résines ont été également laissées à sécher sous cette hotte éteinte pendant 24 heures, la hotte était ensuite allumée pendant 5 minutes avant utilisation le lendemain, afin d'évacuer les éventuelles vapeurs résiduelles de la réaction.



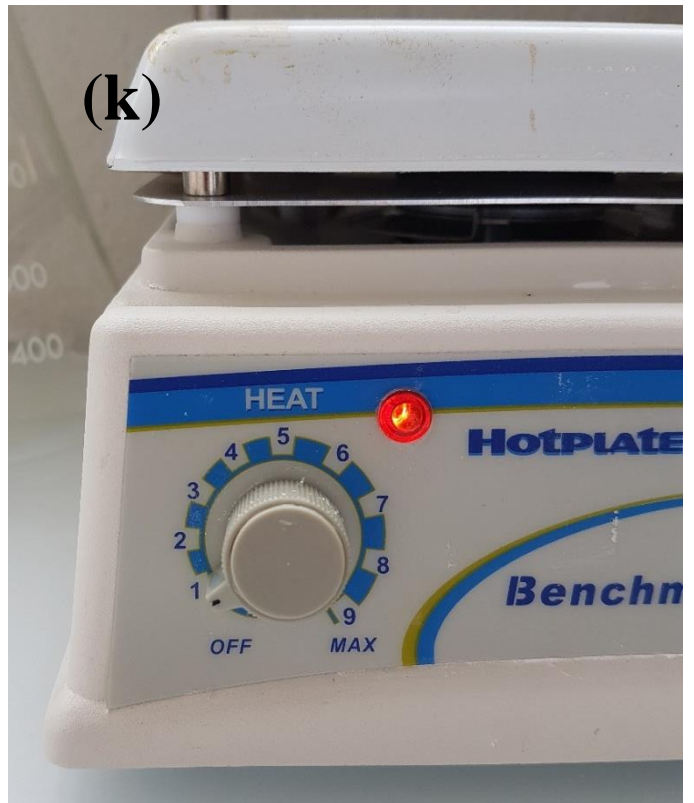
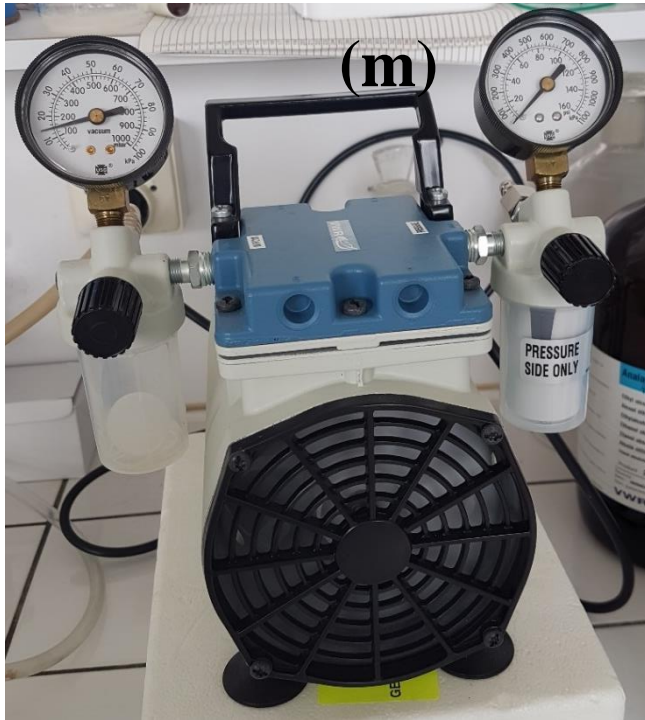


Figure 9 : Matériel nécessaire à la réalisation d'une inclusion en résine

Légende de la **figure 9** :

- (a) Masque de protection contre les poussières FFP2 et les gaz et vapeurs
- (b) Verre jetable à fond plat
- (c) Gants de protection
- (d) Moules en silicone
- (e) Parasites à inclure dans la résine
- (f) Pinceau pour manipuler les parasites
- (g) Bâtonnet en bois pour mélanger les composants de la résine
- (h) Épingles pour faire sécher les parasites en position
- (i) Balance de précision (0,1-2 kg)
- (j) Composants de la résine : pot A résine ; pot B durcisseur
- (k) Plaque chauffante
- (l) Allume-feu
- (m) Pompe à vide
- (n) Chambre à vide
- (o) Chronomètre

(2) Méthode pour couler une couche de résine

Il y a plusieurs étapes à la réalisation d'une coulée de résine, celles-ci sont récapitulées dans la **figure 10**. Cette méthode a été utilisée à chaque fois qu'il a fallu couler une épaisseur de résine.

La première étape était de rincer à l'eau les moules et verres puis de les sécher, afin de retirer les éventuelles impuretés qui pourraient s'y être déposées.

La résine s'utilise en mélangeant deux composants : A la résine et B le durcisseur avec un ration $A/B = 100/60$. C'est-à-dire pour 5g de A, on ajoute 3g de B. Les 2 composants sont ajoutés l'un à la suite de l'autre dans le verre doseur placé sur la balance de précision. La quantité de résine nécessaire, pour les moules en silicone « standard » (Voir **figure 7**), était 3g de B et 5g de A pour une coulée fine de résine. La coulée obtenue faisait 4 mm de hauteur pour les moules orange et 5 mm de hauteur pour les noirs.

Les deux composants devaient être mélangés lentement, afin d'éviter au maximum l'ajout de bulles d'air lors de cette étape. Le mélange obtenu devait être parfaitement homogène, sinon certaines zones de la résine ne durcissaient pas et l'objet obtenu était inutilisable.

Une fois que le mélange était homogène, il fallait retirer les bulles d'air qui avaient pu s'insérer dans la résine au cours du mélange. Il était impossible d'éviter l'insertion de bulles d'air lors du mélange, l'étape de retrait des bulles était indispensable. Différentes méthodes de retrait des bulles d'air ont été testées, elles seront détaillées dans la partie II.A.1.(3).

La résine était ensuite versée sans bulles dans le moule en silicone, lentement afin d'éviter de réintroduire des bulles d'air lors de cette étape. Il est arrivé que le retrait des bulles ait été effectué après avoir verser la résine dans le moule, et non avant. Si cela a été le cas cela a été précisé. Sans précision particulière, l'ordre des étapes suivi est celui indiqué dans la **figure 10** qui suit.

Enfin, la résine liquide versée dans le moule était laissée 24h sur une surface plane et lisse, recouverte afin qu'aucune poussière ne vienne s'y déposer lors du durcissement. Pour notre résine, la catalyse précisée sur la notice est d'« environ 12h et atteint une bonne dureté en 24h-48h (en fonction de la température de catalyse) » (Voir **annexe 1**). À 20°C, la catalyse était considérée complète et la résine pouvait être démoulée (ou une autre couche pouvait être ajoutée) au bout de 24h. Attention, même si la résine était démoulable en 24h, le durcissement n'était pas complet et elle était encore malléable. Il a fallu attendre encore 24-48h avant de la poncer et de la polir.

Lorsque cela a été possible, toutes ces étapes ont été réalisées sous hotte protectrice exceptée l'étape de dégazage.

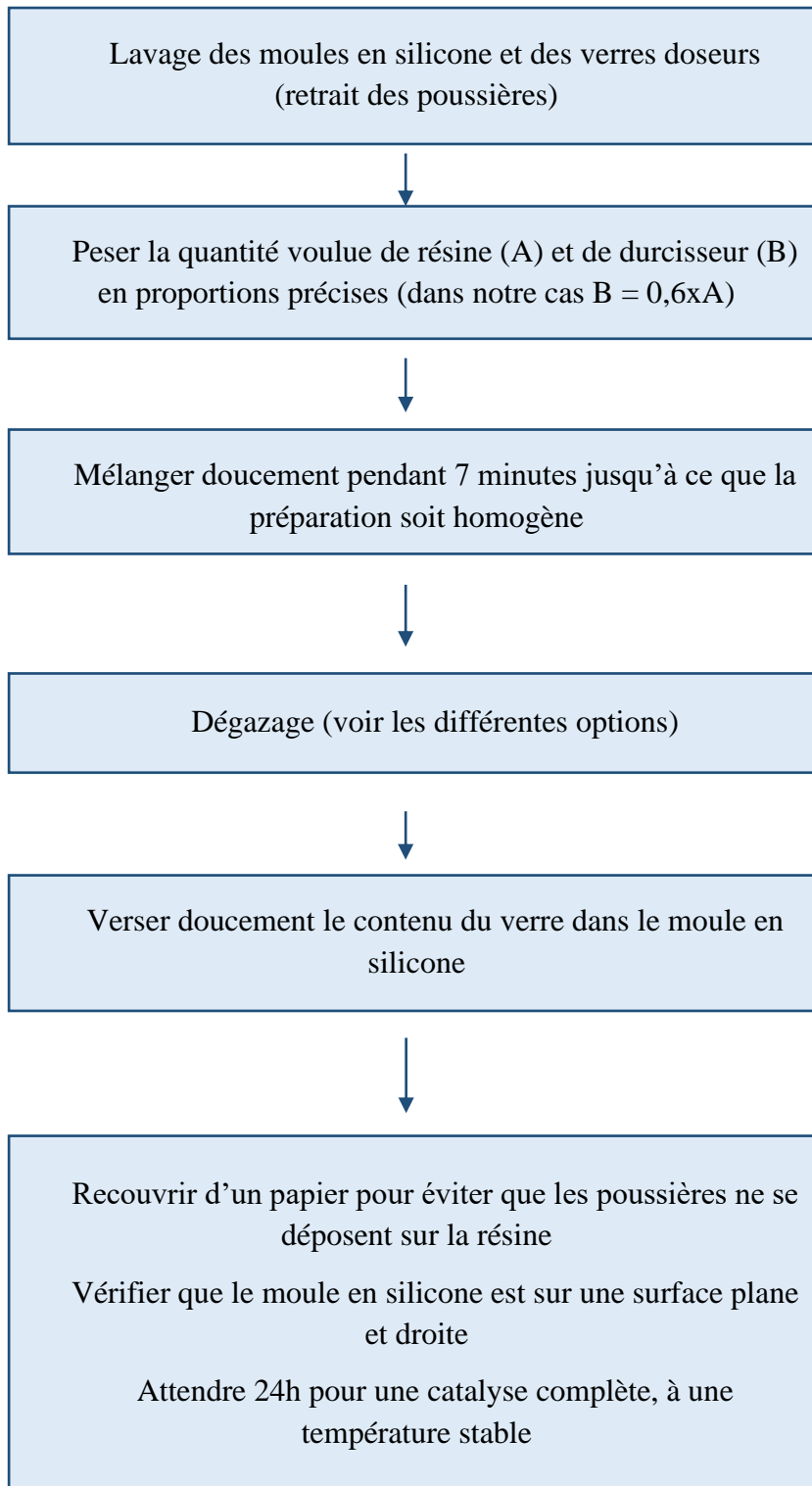


Figure 10 : Schéma des étapes pour couler une épaisseur de résine

(3) Méthodes de dégazage

(a) Dégazage « naturel »

La première méthode testée a été le « dégazage naturel ». C'est-à-dire qu'une fois que le mélange était homogène dans le verre doseur, celui-ci était laissé à reposer à l'air libre pendant 10 minutes, avant de couler la résine dans le moule. En 10 minutes le mélange a eu le temps de passer d'un état liquide fluide à un état liquide visqueux et plus épais, mais encore transférable dans un moule.

(b) La chaleur

Il a été testé de retirer les bulles à l'aide de la chaleur. En effet la chaleur aide les bulles emprisonnées dans la résine à remonter et sortir du mélange. Le chauffage a été effectuée à l'aide d'une plaque chauffante ou d'une flamme.

Pour la plaque chauffante, celle-ci était mise à chauffer 10 minutes avant de poser le verre dessus. Après usage la plaque était éteinte et laissée 15 minutes sans utilisation afin qu'elle refroidisse et qu'à chaque nouvelle utilisation elle est une température stable. Différents niveaux de chaleur ont été testés, la plaque offre 9 crans de chauffage (voir **photo (k) figure 9**). Les crans 1,3 et 4 ont été testés. Pour chaque essai le verre doseur était posé 3, 4 ou 5 minutes sur la plaque chaude.

Pour la flamme, un allume-feu a été utilisé (voir **photo (l) figure 9**). Ce retrait de bulles a été essayé une fois la résine coulée dans le moule, et non avant. La flamme a été posée à environ 1 cm de hauteur au-dessus de la résine coulée dans le moule, en effectuant des aller-retours sur toute la longueur de résine coulée. 3 à 5 aller-retours étaient effectués, jusqu'à ce qu'aucune bulle de soit visible macroscopiquement.

(c) Aspiration des bulles

Pour aider les bulles à sortir de la résine, l'aspiration par le vide à l'aide d'une pompe à vide a été testée. Le verre a été placé dans la chambre à vide jusqu'à ce que le vide soit complet, c'est-à-dire que le manomètre indicateur de pression au sein de la chambre vide soit stable, la pression négative affichée était alors de -26 Hg. La pompe à vide associée à notre chambre à vide a nécessité environ 1min30 pour réaliser le vide au sein de la chambre. Selon la qualité de la

pompe à vide, l'aspiration des bulles peut être plus ou moins efficace (voir **photos (m) et (n)** de la **figure 9**).

2. Inclusion du parasite

Après avoir obtenu une coulée de résine satisfaisante, il fut temps de réaliser un bloc de résine, avec un parasite contenu dedans.

Cela a été réalisé en 3 étapes : une première coulée de résine, dépôt du parasite sur la coulée sèche, pose d'une deuxième coulée de résine qui viendra recouvrir complètement le parasite. Ainsi le parasite ne sera pas collé à un des bords de la résine mais centré. Pour les coulées sans parasite, la taille standard à mélanger est de 3gB + 5gA. Pour les coulées recouvrant tique ou mélophage (« petite » taille), la taille standard de résine pour les recouvrir est de 3gB+5gA. Pour les coulées recouvrant mouches ou guêpes (« grande » taille), la taille standard pour les recouvrir est de 6gB + 10g A. Afin de réaliser ce bloc il a fallu tout le matériel nécessaire à la réalisation d'une coulée de résine (voir II.A.1.(1)) et les parasites qu'il a fallu récupérer et préparer pour la mise en résine (légendes **(e),(f) et (h)** de la **figure 9**). L'**annexe 2** présente l'avis favorable émis par le comité d'éthique concernant la récupération et l'utilisation de parasites (numéro d'agrément : 2218).

(1) Récupération des parasites

Certains parasites ont directement été fournis par le service de parasitologie de VetAgro Sup Lyon, que je remercie une nouvelle fois. Il s'agissait principalement de tiques et de mouches. Ces parasites étaient conservés dans des pots en plastique fermé, à l'air ou bien avec de l'alcool à 70°. D'autres ont été récupérés grâce au service d'autopsie, qui récupérait les parasites vus lors des autopsies réalisées à l'école vétérinaire par les étudiants. Ces parasites étaient transmis dans des pots en plastique fermé, conservés dans de l'alcool à 70°. Je les remercie de nouveau également. Des tiques ont été récupérées dans l'environnement, à partir de début avril. Il fallait une paire de ciseaux et un pot hermétique afin d'y mettre le brin d'herbe et la tique présente au bout de celle-ci. Elles ont été récupérées en bordure des chemins et dans la forêt qui jouxte VetAgro Sup Lyon, par moi-même et Mme Magalie René-Martelet, que je remercie une nouvelle fois. D'autres encore ont été apportés par le service de dermatologie, en la personne de M. Didier Pin, que je remercie de nouveau également.

(2) Euthanasie des parasites

Pour les parasites vivants, l'euthanasie a été obtenue de 2 manières différentes, soit par immersion dans l'alcool à 70° (comme pour les parasites récupérés en autopsie) ou congélation à -18°C pendant 24h minimum.

(3) Manipulation des parasites

La manipulation des parasites a été faite avec précaution, afin de ne pas endommager les pattes ou autres appendices fragiles. Un pinceau et une pince mousse ont été les instruments de prédilection pour cette étape.

(4) Lavage des parasites

Les différents parasites présents devaient être propres, afin d'être bien visible et sans tâches lors de la visualisation à la loupe binoculaire. Différentes méthodes pour les rincer ont été testées, comme le rinçage aux ultrasons ou au liquide vaisselle, cette dernière étant détaillée dans les travaux de (Mouret et.al 2007) pour la création d'une collection d'abeilles.

Pour les ultrasons, la machine utilisée était la Household Ultrasonic Cleaner VGT 1200/ 1,3L (Voir **figure 11**). De l'eau était placé dans la cave à ultrasons (1). Le parasite était placé dans une cassette laissant passer des liquides (2), puis plongé dans le bac avec de l'eau du robinet (3). Différents programmes de nettoyage ont été testés, 90s(secondes) et 180 s (4). Le parasite était ensuite sorti de la machine et laissé à sécher à l'air libre.

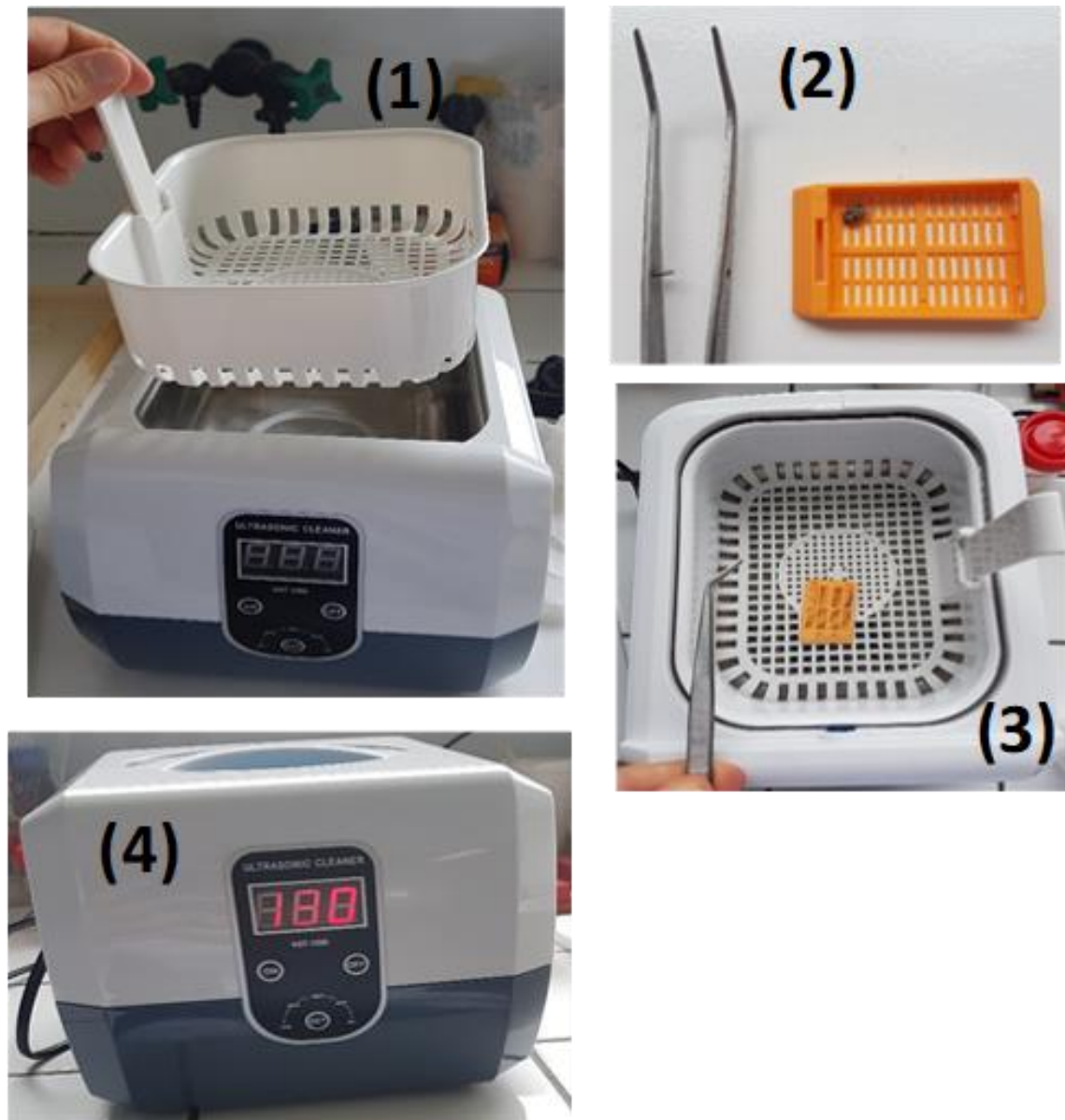


Figure 11 : Photos des étapes de lavage d'un parasite aux ultrasons

Pour le liquide vaisselle, les parasites étaient placés dans un pot en verre avec un fond d'eau et de 2 gouttes de liquide vaisselle. Le pot était ensuite fermé et agité précautionneusement afin de laver les parasites. Ensuite le couvercle du pot était changé pour un couvercle percé qui laissait passer l'eau (mais trop petit pour laisser passer les parasites), le pot était rincé avec de l'eau jusqu'à ce qu'aucune mousse ne se forme. Les parasites étaient ensuite déposés sur du papier absorbant, afin d'éliminer l'eau résiduelle. Si les parasites apparaissaient suffisamment propres à l'œil nu, cette étape n'était pas réalisée.

(5) Séchage des parasites

Après lavage des parasites ceux-ci étaient prêts à être séchés. Le parasite était plongé dans différents bains pendant au moins 24h chacun afin de le déshydrater. Le premier était un bain d'alcool à 70°, puis un bain d'alcool pur (100%), puis un bain de xylène (voir **figure 12**).



Figure 12 : Photos des différents bains prévus pour le séchage des parasites

Ensuite le parasite a été placé à l'air une fois bien déshydraté, afin de lui donner sa forme finale pour l'inclusion. Le parasite était posé sur une plaque de polystyrène, des épingles de couture étaient insérées entre les pattes du parasite afin de lui donner la forme souhaitée (pattes écartées individualisées, voir **figure 13**). Pour qu'il ne se réhydrate pas trop, cette plaque en polystyrène a été placée dans une boîte hermétique avec de la silice afin de retirer l'humidité éventuellement présente dans celle-ci. Si le parasite semblait garder ses pattes écartées quand celles-ci ne sont pas maintenues par des épingles, il n'était pas placé dans la boîte et immédiatement inclus dans la résine.



Figure 13 : Photo d'un parasite sec non écarté (à gauche) et d'un parasite sec écarté avec des épingles de couture (à droite) (bouchon de stylo de 6 cm de long pour échelle)

(6) Les différentes recettes d'inclusion

Les parasites ont été lavés, séchés et écartés, ils étaient prêts à être inclus en résine. Selon le moment où le parasite a été inclus dans la résine, différents résultats ont été obtenus. Les étapes permettant l'inclusion d'un parasite dans une résine sont récapitulées dans la **figure 14**.

Il a été testé de placer le parasite :

- Directement sur la première coulée de résine non sèche, ou bien après avoir attendu 20 minutes que la résine ait commencée à prendre. Il a été posé sur la résine et déplacé pour être bien au centre du moule et droit à l'aide d'une épingle. Il a fallu attendre 24h avant de recouvrir les « morceaux » du parasite qui dépassent.
- Posé sur la première coulée de résine sèche. Le parasite était ensuite placé comme désiré, au centre du moule et droit, puis directement recouvert d'une couche de résine.
- Posé sur la première coulée de résine sèche sur laquelle une goutte de résine non sèche a été déposée au centre du moule. Le parasite était en quelque sorte collé avec de la résine sur la première coulée sèche. Il a fallu attendre 24h pour que la goutte avec le parasite ait séché avant de couler la couche suivante. Par rapport à la deuxième technique, celle-ci a permis que le parasite reste en position lors de son recouvrement par la deuxième coulée.

Voici le schéma présentant les étapes nécessaires à l'inclusion d'un parasite dans une résine.

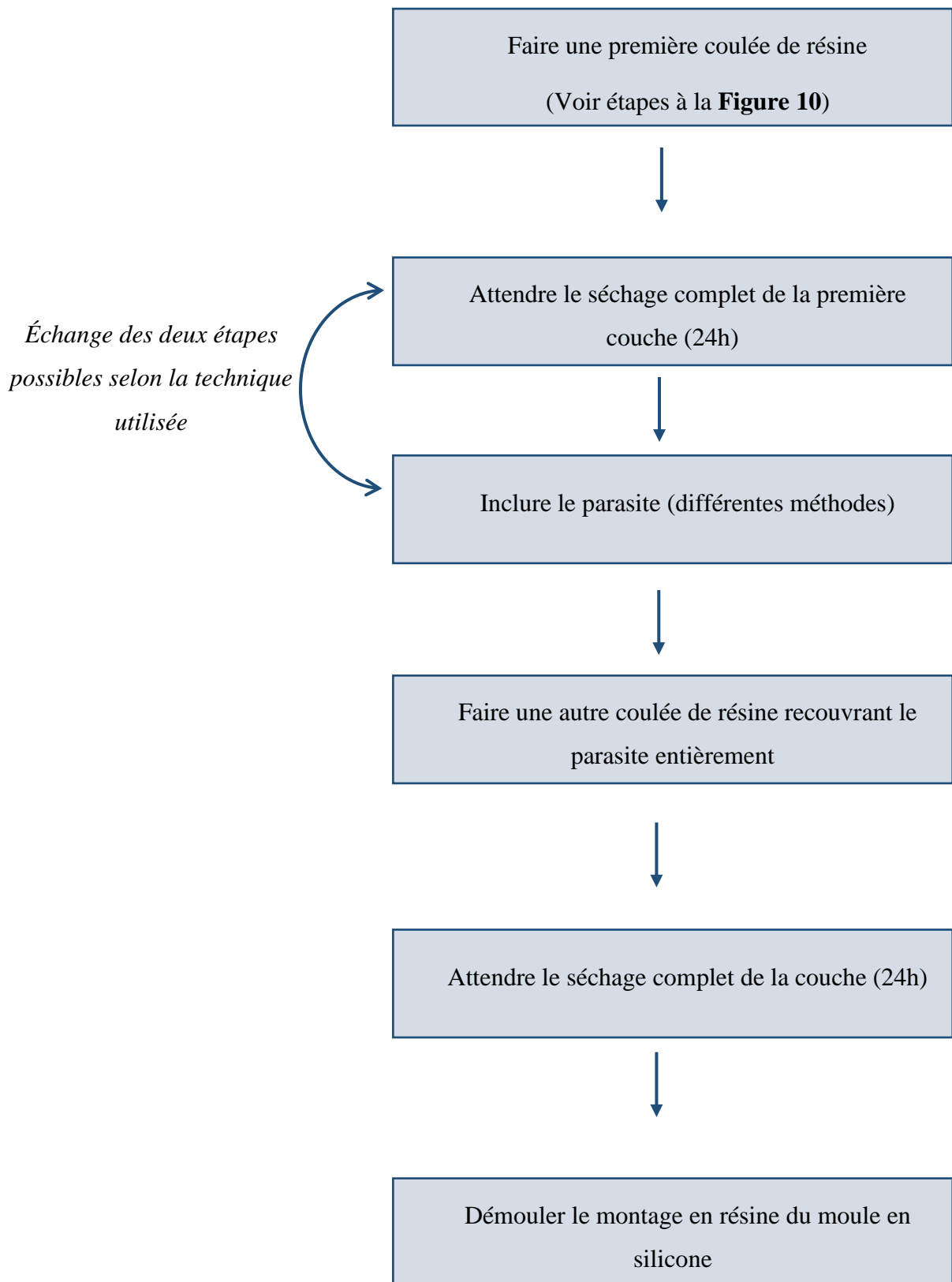


Figure 14 : Schéma des étapes nécessaires pour inclure un parasite dans la résine

(7) Retrait des bulles collées au parasite

Après avoir inclus le parasite, des bulles semblaient accrochées au parasite (Voir **figure 15**). Différentes méthodes ont été testées pour retirer spécifiquement ces bulles particulièrement tenaces malgré le dégazage de la résine avant insertion du parasite. Ce problème était beaucoup plus présent sur les parasites avec poils (comme les mouches) que sur les parasites à exosquelette globalement lisse (comme les tiques). Les méthodes testées étaient :

- Retrait des bulles avec une flamme appliquée à proximité du parasite (photo **(I) figure 9**).
- Retrait des bulles par recouvrement du parasite avant de le couler dans la résine (avec plastidipND (voir **figure 16**) ou par application de résine liquide au pinceau avant de le poser dans la goutte de résine liquide).
- Retrait des bulles en repassant dans la pompe à vide le bloc de résine avec la goutte non sèche de résine et le parasite dessus

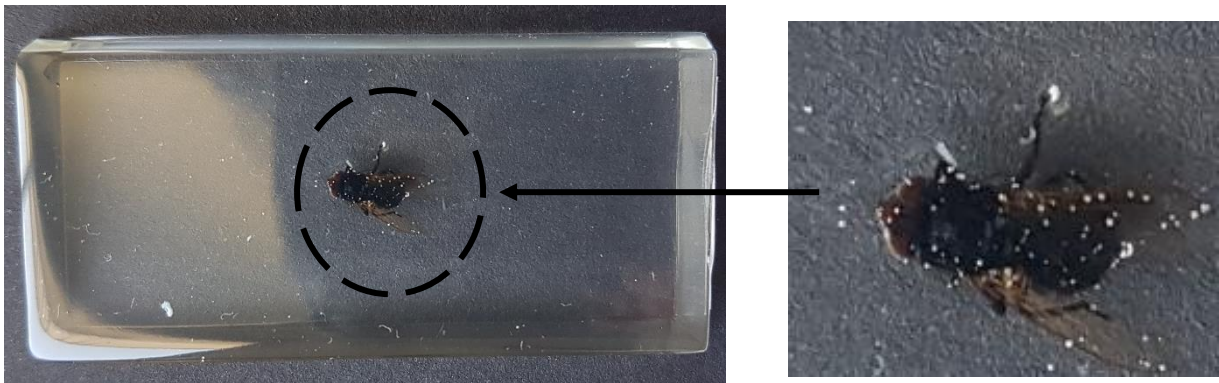


Figure 15 : Photo d'une mouche incluse dans une résine, avec des bulles collées à son corps visibles sur l'agrandissement à droite



Figure 16 : Photo du plastidipND, utilisé dans le recouvrement de surface pour les rendre lisses

3. Le ponçage et polissage

Pour polir une résine il faut d'abord qu'elle ait séchée pendant 72h afin de s'assurer de sa rigidité, ce qui la rend plus facile à poncer, malgré le fait qu'elle soit démoulable dès 24h de séchage. Il y a 2 grandes étapes, une première de ponçage avec des feuilles de verre de différents grains, puis une deuxième où la résine a été polie avec un chiffon doux et une pâte à polir.

(1) Le ponçage

Le ponçage avait deux utilités :

- Mettre à niveau le « haut » de la résine qui peut ne pas avoir les bords nets
- Rendre lisse et sans rayures la surface (ou plus tard lors de l'entretien, retirer les rayures qui ont pu s'accumuler au cours du temps)

La résine a été poncée successivement avec des feuilles de verre de différents grains, du plus gros au plus fin. Le polissage de la résine a été démarré avec des feuilles de grain 340, puis 600, 800,1000,1200, 1500,2000, 2500 et enfin 3000. Le ponçage a été réalisé à la main ou avec l'aide d'une Dremel (ND) (Voir **figure 17**). Cet outil rotatif auquel l'extrémité est interchangeable pour y appliquer différents outils a permis un gain de temps considérable. Afin d'utiliser la Dremel les feuilles de verre des différents grains étaient placées à l'extrémité rotative de celle-ci. Entre chaque passage de feuille de verre la résine a été plongée dans un bol d'eau savonneuse afin de retirer les poussières résultantes du ponçage, et permettre ainsi un ponçage homogène de la surface. Malgré l'ajout d'eau, de nombreuses poussières ont été mises en suspension avec

le ponçage, il fallait donc réaliser cette étape dans un endroit bien aéré, en utilisant un masque au minimum FFP2 (légende (a) de la **figure 9**), qui protège des poussières.



Figure 17 : Photo d'une DREMEL (outil rotatif)

(2) Le polissage

Une fois que le ponçage a été réalisé et que la surface était homogène, la résine a été séchée avec un tissu ou papier absorbant. Puis une noisette de pâte à polir a été appliquée sur la surface, et à l'aide d'un chiffon doux celle-ci a été étalée en cercles afin d'incorporer la pâte dans toutes les petites rayures de la surface, en une à deux minutes. Cette étape pouvait également être réalisée avec l'outil Dremel, l'embout de la Dremel avait simplement été changée pour un embout en coton par rapport à du papier de verre.

La pâte à polir utilisée dans cette étude est celle fournie par EPODEX, spécialement conçue pour la résine (Voir **figure 18**).



Figure 18 : Pâte à polir EPODEX ND glossy finish

B. Résultats

1. Obtenir une coulée de résine

Avant de chercher à obtenir le moins de bulles possibles, il a été cherché à réaliser une coulée de résine époxy. En suivant les instructions il semble difficile de se tromper, cependant il est à prendre en compte lors du mélange des composants A et B de la résine, qu'il faut adapter le temps de mélange à la quantité de résine présente dans le verre. En effet pour un petit mélange (5gA, 3gB) six à sept minutes de mélange lent suffisent pour obtenir un mélange homogène. Cependant lorsqu'il a été tenté de préparer des plus grandes quantités de résine, le temps de mélange n'a pas été suffisamment prolongé par rapport à la durée initiale de 6 minutes. La résine n'étant pas homogène partout, elle n'a pas durci uniformément, rendant les blocs obtenus inutilisables. La **figure 19** présente des résines après 4 jours de séchage, craquelées et liquides à certains endroits. Les moules en silicone issus de cette préparation furent impossibles à réutiliser.



Figure 19 : Photos de résines non homogènes, craquelées et liquides à certains endroits (Résultats après 4 jours de séchage)

2. Une résine sans bulles

Comme indiqué précédemment, le mélange lent des 2 composants de la résine est indispensable car même en étant précautionneux, il reste des bulles non visibles au sein de la résine. Lorsque le mélange était rapide, les bulles qui s'inséraient dans la résine étaient de très grandes tailles. Ces bulles étaient extrêmement gênantes car elles étaient visibles et cachaient ce que l'on souhaitait voir. De plus, la résine était de moins bonne qualité car chaque bulle présente affaiblissait la structure de la résine, la rendant plus sujette aux fissures avec le temps.

La **figure 20** montre la différence à l'œil nu du mélange des 2 composants et des bulles visibles ou non, entre un mélange lent (à gauche) et rapide (à droite). Pour le mélange lent, la photo montre des irrégularités au sein de la résine, tout simplement car le mélange n'est pas encore homogène, il faut continuer à mélanger précautionneusement. Pour le mélange rapide, les bulles visibles le sont principalement au niveau du bâton mélangeur car il y a un meilleur contraste.



Figure 20 : Photos de comparaison d'une résine mélangée lentement (à gauche) et rapidement (à droite)

(1) Dégazage naturel

Le dégazage naturel n'a pas permis de retirer toutes les bulles. Même si celles présentes étaient petites et n'empêchait pas de voir un parasite au travers (Voir **figure 21**), dès que plusieurs épaisseurs étaient superposées, un tapis de bulles se formait (Voir **figure 22**). Les points blancs visibles sur les différentes résines sont ces bulles de petite taille.

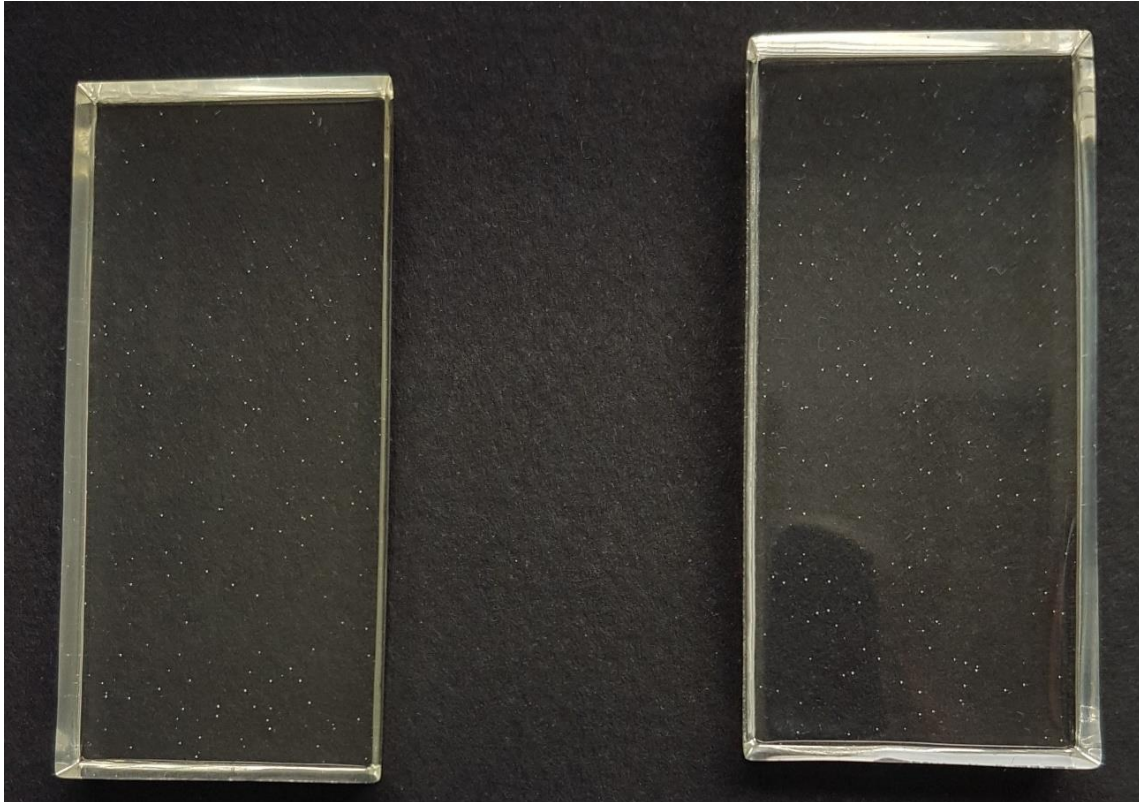


Figure 21 : Photos de deux essais de dégazage naturel sur une épaisseur de coulée de résine

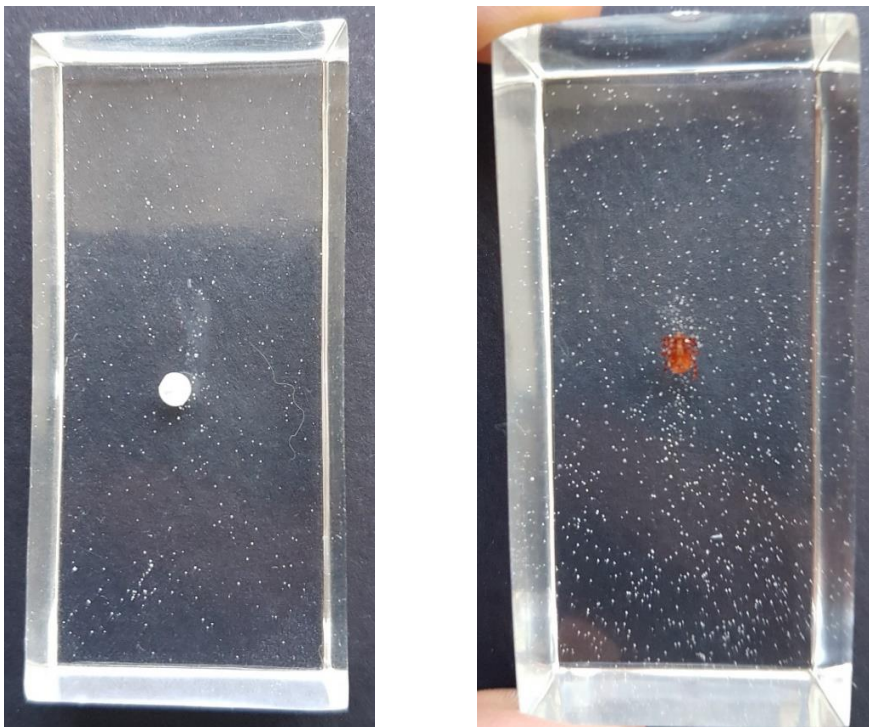


Figure 22 : Photos de résines coulées avec dégazage naturel de 2 coulées d'épaisseur (à gauche) et 3 coulées d'épaisseur (à droite)

(2) Dégazage par la chaleur

Les tests à la plaque chauffante ont permis de retirer les bulles de manière plus efficace que le dégazage naturel (Voir **figure 23**), cependant chauffer à la plaque chauffante s'est révélé plus risqué, car la chaleur accélérât la réaction de manière significative. Si le verre doseur était laissé au cran supérieur à 1 plus de 3 minutes, la résine durcissait dans le verre (Voir **figure 24**).

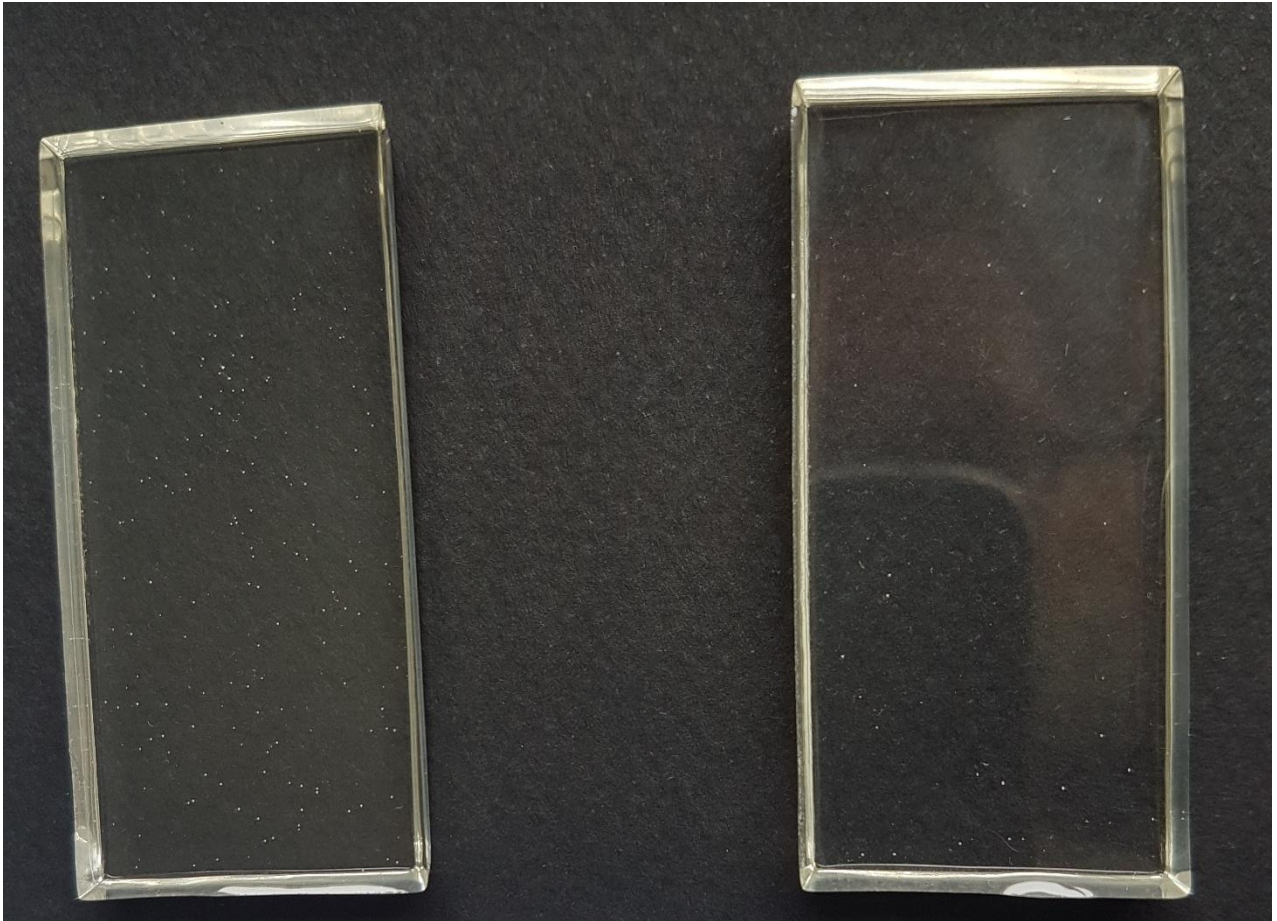


Figure 23 : Photos de comparaison du nombre de bulles restantes dans la résine après dégazage naturel (à gauche) avec le dégazage à la plaque chauffante (à droite)

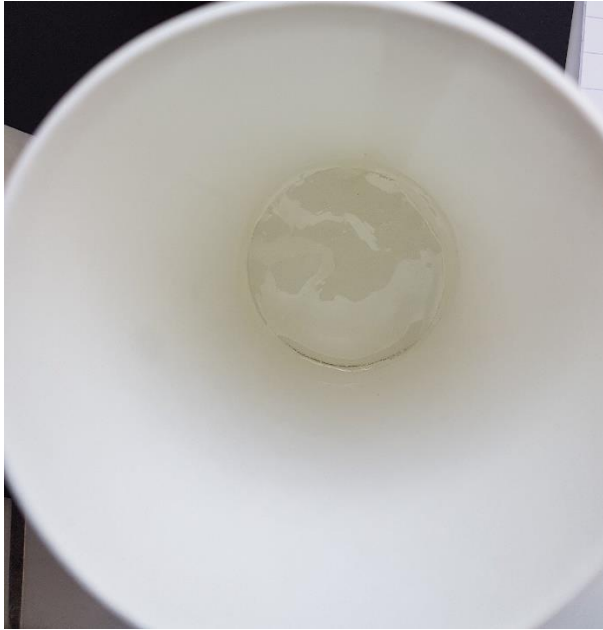


Figure 24 : Photos de résines durcies dans le verre suite au chauffage trop long et trop important du mélange

Faire chauffer au cran 1 quatre ou cinq minutes était plus efficace que de faire chauffer trois minutes pour retirer les bulles présentes dans la résine (Voir **figure 25**).



Figure 25 : Photos de comparaison du nombre de bulles restantes après dégazage à la plaque chauffante 3 minutes (à droite) et 4 minutes (à gauche).

(3) Dégazage par aspiration des bulles

La pompe à vide a été testée pour retirer les bulles présentes au sein de la résine. Il était possible de retirer les bulles de la résine lorsque celle-ci était présente dans le verre doseur après mélange des deux composants (voir **figure 26 (a)**), ou bien après que la résine a été versée dans le moule (voir **figure 26 (b)**). Dans ce cas ce n'était pas le verre mais le moule qui était placé dans la pompe à vide.



Figure 26 : Photos de résines dégazées à l'aide d'une pompe à vide (a) dans le verre doseur avant coulée dans le moule (gauche) et (b) dans le moule (droite)

Le retrait des bulles par la pompe à vide était la méthode la plus simple et la plus efficace. Même avec plusieurs couches, la résine restait très transparente et aucune bulle n'empêchait de visualiser le parasite (Voir **figure 27**).



Figure 27 : Photos de comparaison des bulles restantes après dégazage à la pompe à vide (à gauche) et dégazage naturel (à droite) sur des résines de 2 coulées d'épaisseur

3. Inclusion du parasite

(1) Le lavage et séchage des parasites

Pour les ultrasons la méthode n'était pas concluante, bien que les parasites semblassent lavés (Voir **figure 28**), ils étaient très humides en sortie du lavage, ce qui compliquait le séchage par la suite.



Figure 28 : Photos d'un parasite (mélophage) avant lavage aux ultrasons (à gauche) et après lavage aux ultrasons (à droite)

Il a également été testé de sécher les parasites uniquement dans leur bain d'alcool à 70°. Cela a été efficace lorsque les parasites restaient plusieurs mois dans le bain d'alcool (voir **figure 29**).



Figure 29 : Photo prise mi-juillet d'une tique mise en résine fin mars (4 mois d'âge) après être restée 2 mois dans l'alcool 70°, qui n'a pas évolué depuis sa mise dans la résine

Sinon en quelques semaines un voile blanc apparaissait sur les parasites, les rendant beaucoup moins visibles et perturbant la diagnose d'espèce. La **figure 30** qui suit illustre ce propos, en montrant les deux faces d'une même résine, le devant (à gauche) qui a gardé sa couleur et transparence d'origine et le dos (à droite) recouvert d'un voile blanc au bout de

quelques semaines de conservation, car le parasite n'était pas assez sec lorsqu'il a été mis en résine. Avec le temps le devant suivra la même évolution.



Figure 30 : Photos d'une même résine (2 mois d'âge), avec le dos (à gauche) qui a gardé la couleur d'origine, et le devant (à droite) recouvert d'un voile blanc

(2) Inclusion du parasite

Lorsque le parasite était directement posé sur la première coulée de résine non sèche, il semblait « flotter » car la résine non durcie était visqueuse. Cependant sur les 24h de durcissement le parasite s'enfonçait légèrement dans la résine. Si le parasite était « léger » (comme une tique par exemple) il s'enfonçait raisonnablement (Voir **figure 31**) mais ne touchait pas le fond. En revanche si le parasite était plus « lourd » (comme un mélophage ou une mouche) il s'enfonçait quasiment jusqu'au fond de la première coulée de résine (Voir **figure 32**). Pour ces parasites il fallait donc une première couche de résine sèche avant de rajouter le parasite.

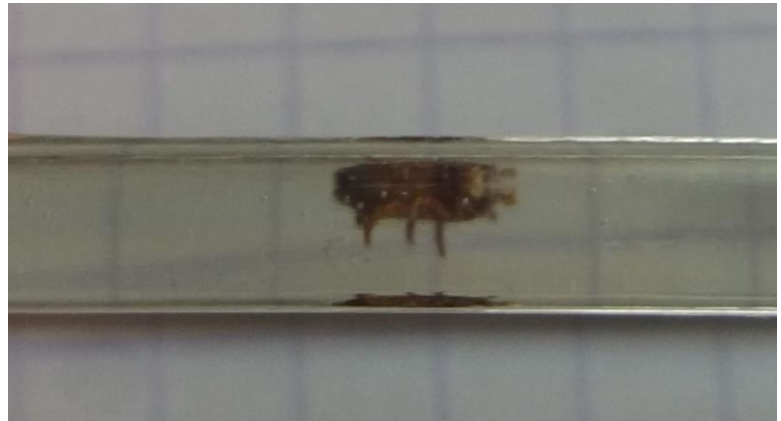


Figure 31: Photos d'un parasite posé sur une coulée de résine liquide, avec à droite la vue de profil montrant son enfoncement léger dans l'épaisseur de la coulée



Figure 32 : Photo montrant une mouche posée sur une coulée de résine liquide, enfoncée quasiment sur toute l'épaisseur de la résine

Lorsque le parasite était posé sur la première coulée sèche et recouvert d'une couche entière celui-ci était déplacé avec la résine lorsqu'elle était coulée. Il fallait alors replacer le parasite, la résine étant visqueuse il pouvait rester des traces de notre passage sous forme de pique ou de tracé dans la résine. De plus pour les parasites « lourd » comme les mélophages, ils remontaient lors du durcissement et ne restait pas sur la première coulée de résine (Voir **figure 33 (a)**).

Poser une goutte de résine avec le parasite dessus semblait être la méthode la plus sûre pour que le parasite reste en position lors de la coulée de résine suivante (Voir **figure 33 (b)**).

(a)



(b)



Figure 33: Photos de comparaison d'un mélophage (a) qui est remonté à la surface de la résine après avoir été posé sur une coulée sèche et d'un mélophage (b) bien au centre de la résine car "collé" à l'aide d'une goutte de résine avant d'avoir été recouvert de résine liquide

(3) Retrait des bulles collées aux parasites

Pour les différentes méthodes testées, les résultats étaient mitigés.

Pour le retrait des bulles avec une flamme appliquée à proximité du parasite, cette méthode semblait bien fonctionner mais trop risquée car le parasite était trop à proximité de la flamme, il était donc difficile d'éviter d'abîmer l'échantillon (Voir **figure 34**).

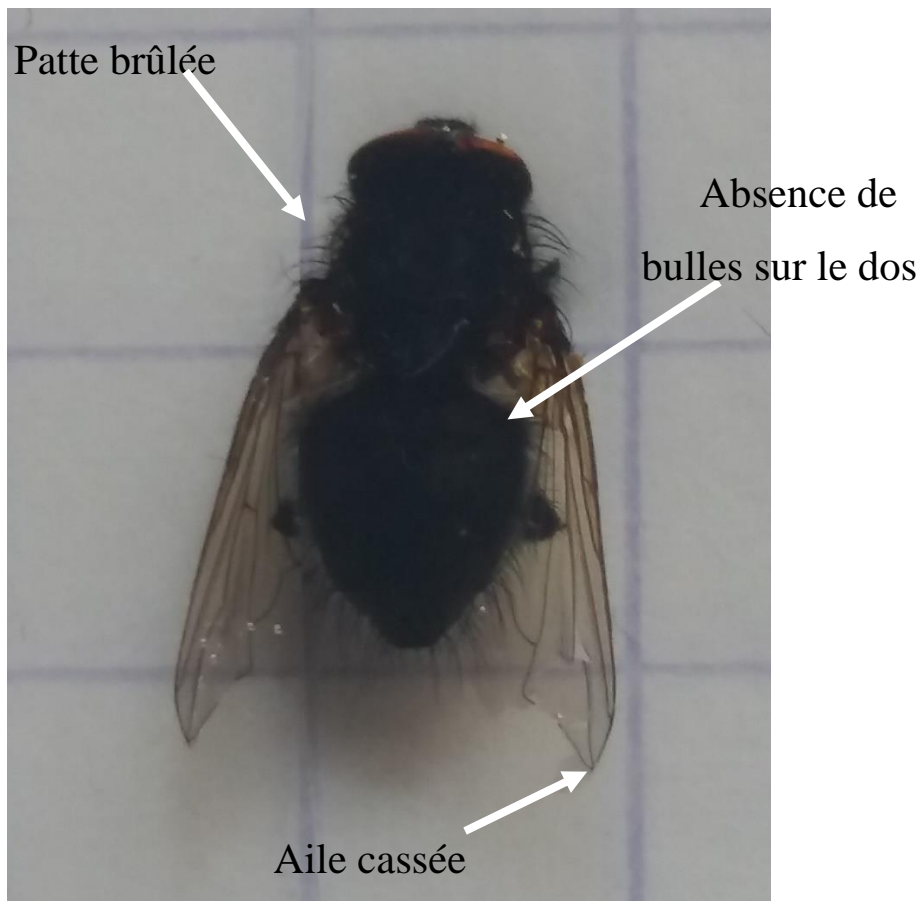


Figure 34 : Photo montrant une mouche incluse en résine abimée par une flamme lors du retrait des bulles par la chaleur

Pour le retrait des bulles en repassant dans la pompe à vide le bloc de résine avec la goutte non sèche de résine et le parasite dessus l'efficacité était limitée, sûrement dû au fait que la pompe n'était pas assez puissante pour aspirer les bulles coincées dans les poils du parasite. La **figure 35** illustre l'efficacité limitée de la pompe à vide, car elle montre (photo de droite) qu'après séchage il reste des bulles collées au corps de la mouche qui est repassée dans la pompe à vide. La photo de gauche, pour comparaison, est la mouche incluse en résine de la **figure 34**.



Figure 35 : Photos de comparaison de bulles retirées par une flamme (à gauche) avec bulles retirées par la pompe à vide(à droite) sur deux mouches incluses en résine

Pour le retrait des bulles par recouvrement du parasite avant de le couler dans la résine avec plastidipND, le recouvrement était efficace mais le plastidipND est coloré, ajoutant un recouvrement gris au parasite lors de sa visualisation une fois la résine séchée (Voir **figure 36**).



Figure 36 : Photos montrant un mélophage inclus sans traitement (à gauche) et un inclus avec recouvrement plastidipND (à droite)

Pour le retrait par application de résine liquide au pinceau, le parasite étant sec, lors d'application de résine au pinceau, même précautionneuse, les poils se cassaient et tombaient dans la résine (Voir **figure 37**).



Figure 37 : Photo d'une mouche incluse en résine avec ses poils cassés, après tentative de recouvrement préalable au pinceau par de la résine

4. Le ponçage et polissage

Le ponçage était à réaliser au moins 72h après la dernière coulée de résine. En effet en 12 à 24h la résine était suffisamment durcie pour être démoulable, mais elle était encore malléable et une nouvelle forme pouvait lui être appliquée par simple légère pression des doigts (Voir **figure 38**). Cette forme n'était cependant pas acquise, et dès que la pression des doigts était relâchée la résine s'étalait de nouveau (Voir **figure 39**). Ceci illustre le comportement viscoélastique de la résine (cf. I.A.2. (2)).

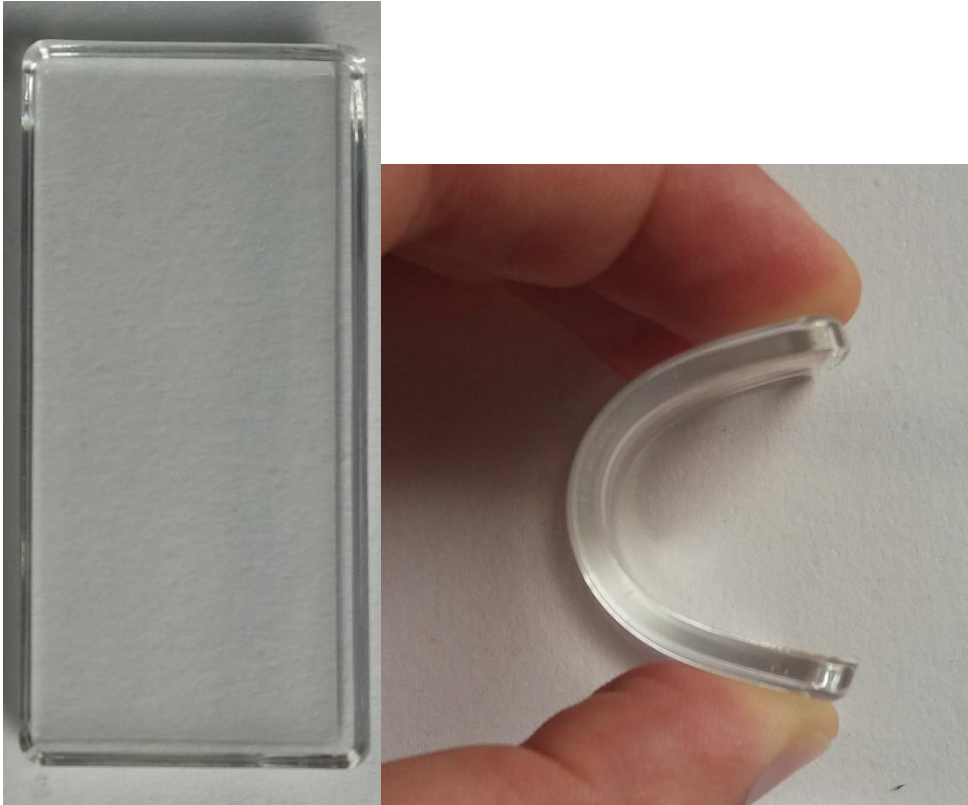


Figure 38 : Photos montrant une résine démoulée après 12h de séchage (à gauche) et cette même résine une fois qu'une pression est exercée sur sa surface (à droite)



Figure 39 : Photo montrant la résine de la figure 38 une fois que la pression des doigts est relâchée

Le ponçage a permis d'obtenir une surface de résine lisse et agréable au toucher. L'étape de ponçage ajoute des rayures à la surface de la résine qui était déjà transparente (comme le montre la résine de la **figure 38** qui est transparente sans ponçage supplémentaire).

La **figure 40** montre une résine en cours de ponçage, présentant de nombreuses rayures visibles à l'œil nu. Afin de la rendre plus transparente, il fallait poncer jusqu'à un grain très fin, cela a eu pour conséquence de faire perdre de la matière à la résine, qui n'était pas très épaisse (1 à 1,5 cm d'épaisseur pour les résines incluant des mouches).

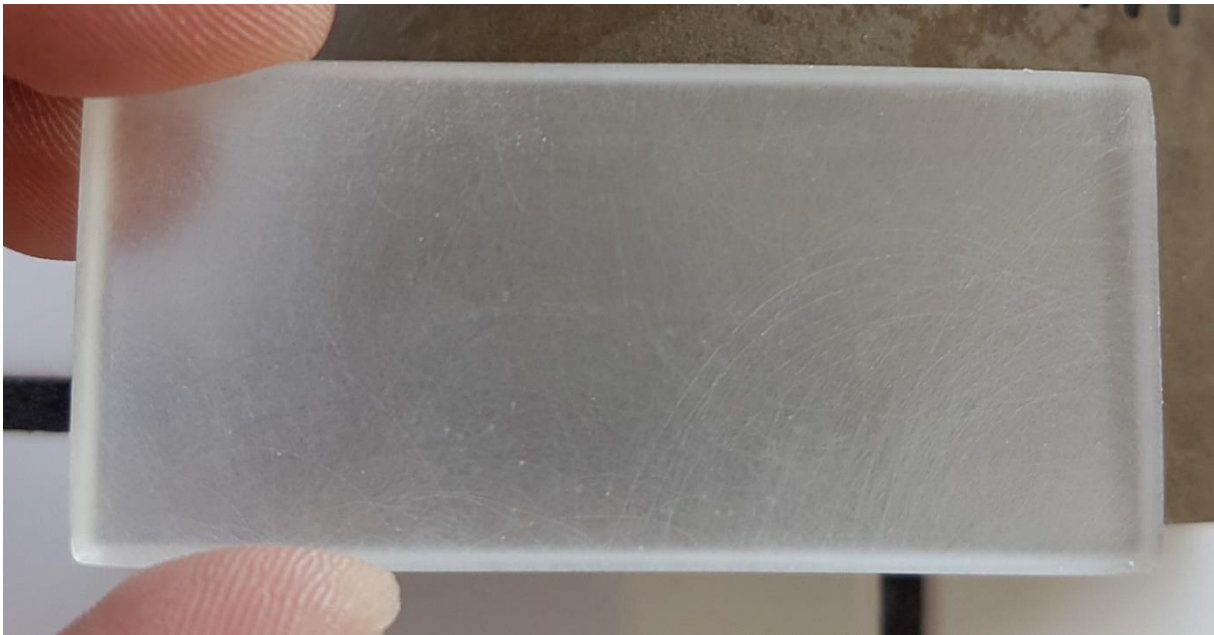


Figure 40 : Photo d'une résine en cours de ponçage, présentant de nombreuses rayures à sa surface

L'état de la résine après passage des différents grains est récapitulé dans la **figure 41**. Pour ce ponçage, la résine a été poncée avec une Dremel afin de gagner du temps, l'opération ayant pris environ 30 minutes pour toutes les étapes du ponçage d'une face.



Figure 41 : Photos des différentes étapes du ponçage de la face supérieure d'une coulée de résine

Le polissage était l'étape qui suivait le ponçage, mais elle pouvait aussi être réalisée au cours du temps si trop de rayures s'étaient installées. La **figure 42** montre une résine avant traitement, puis après ponçage et polissage.



Figure 42: Photos d'une résine avant ponçage (à gauche), après ponçage (au milieu) et après ponçage et polissage (à droite)

C. Discussion

1. Une résine sans bulles

De toutes les méthodes que nous avons vues, celles qui semblent fonctionner sont la chaleur et la pompe à vide. La chaleur présente toutefois l'inconvénient d'être un peu plus risquée d'utilisation, car le risque de surchauffer la résine et donc qu'elle durcisse dans le verre mélangeur est important.

Par ailleurs, il n'est pas impossible de cumuler les techniques, par exemple de passer chaque coulée de résine dans la pompe à vide, et de faire un passage avec un allume-feu par-dessus la résine pour enlever les bulles résiduelles qui pourraient remonter lors de la catalyse. Dès lors, la méthode la plus efficace et sans risque est l'aspiration des bulles par mise sous vide. Avec la pompe à vide à notre disposition, il fallait être précautionneux pour éviter l'ajout de bulles extérieures que notre pompe à vide n'aurait pas forcément la puissance d'expulser.

Il est à noter que nous avons constaté que certains artistes réalisaient avec succès de très grandes coulées de résine malgré un nombre important de bulles introduites après mélange, car la pompe à vide que ces derniers semblaient être d'une bien plus grande qualité et permettait de retirer toutes les bulles introduites. Ainsi, il est possible de retirer toutes les bulles efficacement

avec un matériel plus puissant. Malheureusement ces artistes ne précisent pas la pompe qu'ils utilisent, ni ses caractéristiques.

2. Inclusion du parasite

L'intérêt de réaliser des inclusions de parasites en résine plutôt que des parasites dans l'alcool était justement d'avoir une meilleure conservation et de pouvoir réutiliser les résines comme pièce de travaux pratiques sur plusieurs années. Dès lors, le séchage des parasites est une étape à ne pas négliger car c'est sa qualité qui permet la bonne conservation de la résine dans le temps. Si ce séchage est incomplet, le parasite continuera à évoluer au sein de la résine, jusqu'à ce que sa visualisation soit compromise. Certains parasites ne pourront donc pas être conservés dans la résine tel quel, comme des tiques bien gorgées. Si l'on souhaite les conserver, il faut attendre qu'elles aient séchées, et donc que le corps se soit flétri.

En fonction du parasite inclus, il était ainsi plus ou moins facile d'obtenir un résultat satisfaisant. Les parasites présentant des poils à leur surface (mouche, mélophage) était plus difficile à inclure sans avoir une seule bulle à leur surface. Dans ce cadre, les méthodes étudiées (la chaleur, repasser dans la pompe à vide) présentent une certaine efficacité, bien que celle-ci soit limitée. Il serait intéressant de tester l'inclusion de ces parasites compliqués avec une pompe à vide plus puissante.

En tout état de cause, la présence de bulles résiduelles n'empêche pas de bien visualiser les parasites. De telles résines semblent acceptables pour une utilisation de reconnaissance des parasites lors des travaux pratiques.

Ainsi pour inclure le parasite, nous concluons que la méthode la plus efficace était :

- pour déshydrater le parasite : le passage dans les 3 bains successifs (alcool à 70°, alcool pur, puis xylène) ;
- pour ne pas avoir de bulles : repasser dans la pompe à vide une fois le parasite introduit et passage de l'allume-feu aux zones qui le nécessitent.

3. Le ponçage et le polissage

Le ponçage est une étape longue et fastidieuse, qui permet d'apporter de la brillance et de la transparence à des objets qui l'auraient perdu avec le temps. Dans notre cas, la résine est déjà transparente et les moules noirs aux bords arrondis ne sont pas désagréables au toucher ni

coupants. Ainsi, poncer l'intégralité de chaque bloc de résine ne paraît pas indispensable, d'autant plus qu'il fait perdre une grande quantité de matière (environ 20% par côté). Si un ponçage de la résine est prévu, il faut donc couler des résines beaucoup plus grandes afin d'anticiper cette perte. Il paraît plus simple et plus économique de simplement poncer les bords du haut de la résine, seul endroit non lisse après démoulage.

De plus, il faut conserver la résine dans un contenant doux, chacune séparée par du tissu non abrasif, afin d'éviter la création de rayures supplémentaires. Il faut également la conserver à l'abri de la lumière car elle peut jaunir avec le temps. Le jaunissement semble inévitable puisque les résines seront manipulées par des étudiants, mais il peut être retardé avec une bonne conservation à l'abri de la lumière UV. Pour exemple la **figure 43** montre deux résines, celle de gauche, 7 mois d'âge, n'a pas été protégée de la lumière pendant ses 3 premières semaines suivant sa création. Celle de droite, 3 mois d'âge, a été conservée à l'abri de la lumière dès sa création. On remarque que la résine de gauche est légèrement jaunie, la comparaison des deux résines en termes de conservation n'est pas indiquée car les deux résines n'ont pas le même âge, mais cela permet de voir que le jaunissement de la résine est possible.



Figure 43 : Photos de comparaison de deux résines, à gauche conservée pendant plusieurs semaines sans protection contre les UV, à droite conservée à l'abri complet de la lumière dès sa création

4. Conclusion

Il est désormais possible de créer une inclusion en résine d'un parasite. La procédure de création d'un bloc de résine avec séchage d'un parasite, inclusion de celui-ci dans la résine et utilisation de la pompe à vide sont récapitulés dans l'**annexe 3**. De plus les précautions à prendre lors de la manipulation des produits sont détaillées dans l'**annexe 4**, qui sera affichée dans le laboratoire. Nous allons voir comment la résine peut être utilisée comme outil d'apprentissage et donc favoriser la retenue d'information concernant les parasites chez les étudiants vétérinaire de VetAgro Sup Lyon.

III. L'INCLUSION EN RESINE DE PARASITES POUR FAVORISER L'APPRENTISSAGE DE LA PARASITOLOGIE VÉTÉRINAIRE

Bien que l'apprentissage dans les études supérieures passe premièrement et majoritairement par le cours magistral (Vercruysse, Eckert 2002; Freeman et al. 2014), d'autres méthodes d'apprentissage ont été développées afin d'augmenter l'attention et la motivation des élèves (Gottstein, Eckert 2002; Fox, Blake, Jacobs 2018; Strube, Raue, Janecek 2018).

Ces méthodes passent par la prise en compte des variations individuelles des étudiants dans la façon d'apprendre et d'étudier, notamment en tentant d'identifier leurs méthodes préférentielles d'apprentissage, ou *learning styles*. Il existe un très grand nombre de théories sur les préférences individuelles d'apprentissage, qui ont toutes pour point commun de valoriser une approche multimodale de celui-ci (Prithishkumar, Michael 2014; Bradbury 2016; Taheri et al. 2021), c'est-à-dire utilisant plusieurs manières d'apprendre le même contenu afin d'augmenter la retenue d'information.

Nous allons premièrement évoquer la manière dont est enseignée la parasitologie aujourd'hui, puis nous évoquerons l'intérêt de varier les méthodes d'apprentissage, notamment à travers l'utilisation de nouveaux matériaux tel que la résine. Enfin nous évoquerons les pistes possibles d'utilisation de la résine maintenant qu'il est possible de créer ce support.

A. L'apprentissage de la parasitologie vétérinaire aujourd'hui

Il existe de très nombreux parasites, causant un grand nombre de maladies, chez l'Homme et l'animal. Ces maladies ont des conséquences sanitaires et économiques importantes. Avec le développement du concept de *One Health* (Une seule santé), les vétérinaires d'aujourd'hui et de demain se doivent d'avoir les connaissances nécessaires afin de protéger les populations animale et humaine (Fallahi et al. 2016; Atehmengo, Nnagbo 2014; Liu et al. 2018; Eckert 2013; Jenkins et al. 2015).

La parasitologie, comme beaucoup d'autres disciplines vétérinaires, voit son champ s'étendre, et donc son apprentissage devenir bien plus conséquent qu'il ne l'était auparavant (Fox, Blake, Jacobs 2018; Gottstein, Eckert 2002). En conséquence, de nombreuses matières ont vu leurs nombres d'heures allouées réduire, dont la parasitologie. En 2002, la World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (WAAVP) recommande que la parasitologie soit enseignée sur au moins 70h à 90h de cours. Cette association fondée en 1963

a pour but principaux « d'encourager la recherche en parasitologie vétérinaire et de promouvoir l'échange d'informations et de matériel entre les chercheurs, les praticiens vétérinaires et les enquêteurs en santé animale »(Eckert 2013). Bien que l'apprentissage de la parasitologie soit très variable en fonction des pays en termes de nombre d'heures, de répartition des enseignements théoriques et pratiques et des années au cours desquelles elle est enseignée (Vercruysse, Eckert 2002), la plupart des universités suivent ces recommandations même si certaines sont en dessous (van Doorn, Nijse, Ploeger 2018; Krecek 2002). VetAgro Sup Lyon respecte ces recommandations, avec 81 heures allouées à la parasitologie. L'**annexe 6** présente la répartition de ces heures entre cours magistraux et travaux pratiques ou dirigés, avec le semestre et l'unité d'enseignement concernés.

Ces heures allouées à la parasitologie sont réparties en chapitres, qui diffèrent dans la manière de présenter la parasitologie selon l'apprentissage choisi. Pour exemple, à VetAgro Sup Lyon les heures sont réparties en deux grands blocs : dans un premier temps un apprentissage de la parasitologie fondamentale (l'apprentissage taxonomique, cf III.A.1) et dans un second temps les maladies parasitaires sont détaillées, par animal atteint (parasitologie des carnivores domestiques, parasitologie des ruminants). Pour certaines espèces, la parasitologie n'est qu'une petite partie de l'enseignement, et n'est plus une matière à part entière, c'est le cas pour la parasitologie en élevage porcin et avicole qui sont incluses dans la matière « Monogastrique » qui regroupe les maladies des suidés, des oiseaux et des poissons et pour la parasitologie des équidés.

1. Apprentissage « classique » ou « par organe/hôte »

L'apprentissage de la parasitologie est classiquement taxonomique, c'est-à-dire que les cours sont organisés selon le type de parasites étudiés et pas selon l'animal ou l'organe impacté. Sont distingués : l'entomologie (insectes), l'acarologie (acariens), l'helminthologie (vers), la protozoologie (parasites unicellulaires) et la mycologie (champignons). Ensuite sont présentés les maladies parasitaires, leur épidémiologies, leurs moyens diagnostiques et de prévention (Krecek 2002; Strube, Raue, Janecek 2018; Fox, Blake, Jacobs 2018). L'approche taxonomique est précise, exhaustive, et permet de compartimenter dans son esprit les parasites en catégories distinguables. Le reproche fait à cette approche est son manque d'application directe sur le terrain. En effet, en pratique les vétérinaires sont confrontés à des symptômes chez une espèce animale qu'ils peuvent plus ou moins regrouper en organes atteints, non pas à un groupe de

parasites en particulier. De plus, les parasitoses font partie du diagnostic différentiel, mais ne sont que rarement la seule option possible pour expliquer les symptômes.

Afin de compléter l'approche taxonomique, les dernières décennies ont vu naître d'autres manières de transmettre l'information. Cela peut prendre la forme de cours magistraux par organe ou hôte, de réflexion en petits groupes sur des cas cliniques ou des sujets particuliers ou encore de mise en pratique des techniques diagnostiques évoquées auparavant (Clausen et al. 2018; Strube, Raue, Janecek 2018; Gottstein, Eckert 2002).

Si les cours magistraux sont réalisés par organe/hôte, la parasitologie peut n'être qu'une partie des sujets présentés au sein de ces cours. C'est pourquoi la WAAVP recommande d'avoir au moins une partie de l'apprentissage de la parasitologie qui reste taxonomique, afin de garder un enseignement uniquement de parasitologie, non pas comme partie d'un sujet, qui aurait pour conséquence d'« effacer » la parasitologie comme matière en soi, perdant de l'importance et de l'intérêt aux yeux des étudiants (Clausen et al. 2018; Krecek 2002).

2. Apprentissage « passif » ou « actif »

Dans les études supérieures, il existe différentes manières de transmettre les informations. La première est le cours magistral. Cet apprentissage est qualifié de *passif* dans le sens où les apprenants reçoivent l'information en écoutant, éventuellement en prenant des notes, mais sans qu'ils participent activement à la présentation. Le cours magistral est réalisé par un professeur devant un nombre d'étudiants importants. Il est intéressant car il permet une entrée en matière, la découverte des termes importants pour la compréhension plus précise de la suite (Bradbury 2016). Il est aussi économe car il requiert un professeur pour des classes de plusieurs centaines d'individus, sur un temps relativement court pour transmettre beaucoup d'informations. En comparaison, les travaux pratiques ou travaux dirigés en plus petit comité sont plus coûteux et plus chronophage. Mais ils ont l'avantage d'être de l'apprentissage *actif*, dans le sens où les étudiants sont stimulés, et ils participent à l'avancement de la réflexion et donc intègrent mieux les informations acquises lors des cours magistraux (Freeman et al. 2014). L'apprentissage actif peut s'intégrer dans un cursus de différentes manières et à différents niveaux. Cela peut être simplement par l'utilisation d'un petit questionnaire au sein d'un cours magistral afin de faire participer les étudiants, de voir ce qu'ils ont retenus et d'adapter le reste du cours en fonction. Cela peut également être par résolution de problèmes en petits groupes (comme des cas

cliniques), très appréciés dans le monde médical car cela ressemble à la pratique future (Freeman et al. 2014; Lujan, DiCarlo 2006).

Ainsi, les universités peuvent avoir recours à l'une ou l'autre de ses stratégies. Selon ce qui est privilégié, différentes voies d'apprentissage sont stimulées. Nous allons détailler les différentes voies d'apprentissage dont disposent les apprenants, les nouvelles méthodes d'apprentissage comme la *gamification* ou les *serious games* et en quoi la résine est intéressante comme outil pédagogique.

B. Intérêt de l'ajout de la résine en complémentaire des méthodes d'apprentissage classique

1. La multiplicité des voies d'apprentissage

“Through understanding the ways in which people learn we can plan the most effective ways in which we can help them to learn”(Taylor, Hamdy 2013)

“En comprenant comment les individus apprennent, nous pouvons prévoir les moyens les plus efficaces pour les aider à apprendre ».

Il est de l'intérêt des apprenants et des professeurs de comprendre comment les individus apprennent, afin de leur présenter toutes les méthodes qui seront bénéfiques à leur apprentissage.

De très nombreux modèles d'apprentissage ont été développés. Bien que l'idée que les individus ait des préférences d'apprentissage soit très répandue et acceptée, les preuves scientifiques de l'efficacité de son application ne sont pas nombreuses (Álvarez-Montero, Leyva-Cruz, Moreno-Alcaraz 2018; Taylor, Hamdy 2013). Malgré tout, les élèves sont tout de même sensible à la prise en compte de leurs besoins en terme d'apprentissage et leurs variations individuelles (Lujan, DiCarlo 2006).

(1) L'apprentissage des adultes

L'apprentissage des adultes présente des particularités qu'il est bon de noter avant de détailler les différentes manières de stimuler l'apprentissage (Skinner, Derryberry 1954; Balleux 2002) :

- Un adulte possède déjà des expériences et des souvenirs, qui influent sur sa façon d'apprendre et d'intégrer de nouvelles informations ;

- Un adulte a besoin de comprendre pourquoi il apprend et quel est le but derrière cet apprentissage afin d'être motivé ;
- Un adulte appartient à un groupe social, la motivation d'apprendre sera augmentée si l'apprentissage répond aux besoins sociaux de l'individu.

Il existe de nombreuses façons de classer les modèles d'apprentissage. Nous détaillerons le modèle de Curry, qui explique une partie des théories de l'apprentissage. Puis nous évoquerons les stratégies d'apprentissage développées par les étudiants, pour terminer sur la motivation, indispensable à développer pour favoriser l'apprentissage.

(a) Le modèle de Curry

Une classification des modèles proposée par Curry en 1983 (Chevrier et al. 2000) en trois niveaux : externe, intermédiaire et interne selon que l'on se concentre sur l'environnement ou l'individu. Le niveau le plus externe serait donc le plus sujet à changement, et le niveau le plus interne serait le plus fiable (car moins changeant) afin d'anticiper la façon d'apprendre d'un individu.

(i) *Le niveau externe*

Il détaille les préférences liées à l'environnement tel que la luminosité, le bruit ambiant, l'heure de la journée, la fatigue de l'individu en question. Une partie du modèle de Dunn et Dunn (Dunn, Dunn 1979) rentre dans cette catégorie.

(ii) *Le niveau intermédiaire*

Il se base sur les préférences d'apprentissage d'un individu.

Les préférences d'apprentissage, ou « Learning styles » est une notion développée depuis les années 80. Une préférence d'apprentissage est un « ensemble de conditions ou d'usages avec lesquels un apprenant percevra, enregistrera, intégrera, et pourra réutiliser de la manière la plus efficace et la plus productive ce qu'il est en train d'essayer d'apprendre » (Lujan, DiCarlo 2006).

Une des préférences est basée sur la modalité sensorielle préférentielle. C'est le cas du modèle VARK développé par Fleming en 1995 (Fleming 1995; 2012). Il a développé un questionnaire de 16 questions (Voir **annexe 5**) permettant de classer nos préférences de transmission d'information en 4 catégories :

Visuel (Visual : V) : Ils préfèrent recevoir les informations de manière visuelle, c'est-à-dire à l'aide de graphiques, diagrammes, schémas, tableaux.

Oral (Aural : A) : Ils préfèrent recevoir les informations par voie orale. C'est le mode principal de passation d'information en études supérieures à l'aide du cours magistral.

Lire/Écrire (Read/Write : R ou W) : Ils préfèrent recevoir les informations en lisant ou écrivant.

Kinesthésique (Kinesthetic : K) : Ils préfèrent recevoir les informations en utilisant le toucher, la vue, le goût et l'odorat. Leur apprentissage passe par une application concrète de ce qu'ils étudient. Ces personnes sont donc plus sensibles aux travaux pratiques et autres méthodes d'application des connaissances. Gentaz (2018) évoque le sens haptique, ou tactilo-kinesthésique, comme étant la stimulation de la peau avec intégration spatiale des objets touchés. C'est l'intégration des informations cutanées et proprioceptives reçues par la main. Ainsi cela va plus loin que le simple toucher, car est également intégrée l'information tridimensionnelle de l'objet.

En général, la majeure partie des étudiants est sensible à plusieurs de ses façons de transmettre de l'information. Plusieurs études dans lesquelles le questionnaire a été présenté à des étudiants du monde médical ont montré que la plupart des étudiants (au moins 60%) avaient au moins 2 manières préférentielles de recevoir l'information (VA ou VR ou VK ou AR ou AK ou RK) (Lujan, DiCarlo 2006; Samarakoon, Fernando, Rodrigo 2013).

(iii) Le niveau interne

Il se base sur la personnalité cognitive. C'est-à-dire que l'apprentissage est impacté par les traits de personnalité de l'apprenant, par exemple le fait qu'il soit extraverti ou introverti. C'est le cas du modèle de Kolb basé sur l'apprentissage expérientiel (Balleux 2002; Chevrier et al. 2000).

Avec l'apprentissage expérientiel, l'apprenant vit des expériences, les intègre et en fait découler des connaissances abstraites. La construction passe par le vécu et non par l'écoute ou la lecture (Deterding et al. 2011; Dichev, Dicheva 2017). La **figure 44** montre le cycle de Kolb (Taylor, Hamdy 2013), expliquant cet apprentissage par l'expérience, et classant les individus en : "**activistes**" qui ressentent et agissent, "**réflecteurs**" qui ressentent et observent, "**théoriciens**" qui observent et réfléchissent et "**pragmatiques**" qui pensent et agissent. Selon

la personnalité de l'apprenant, seule une partie du cycle de Kolb est utilisée (l'observation, la réflexion, l'action ou le ressenti).

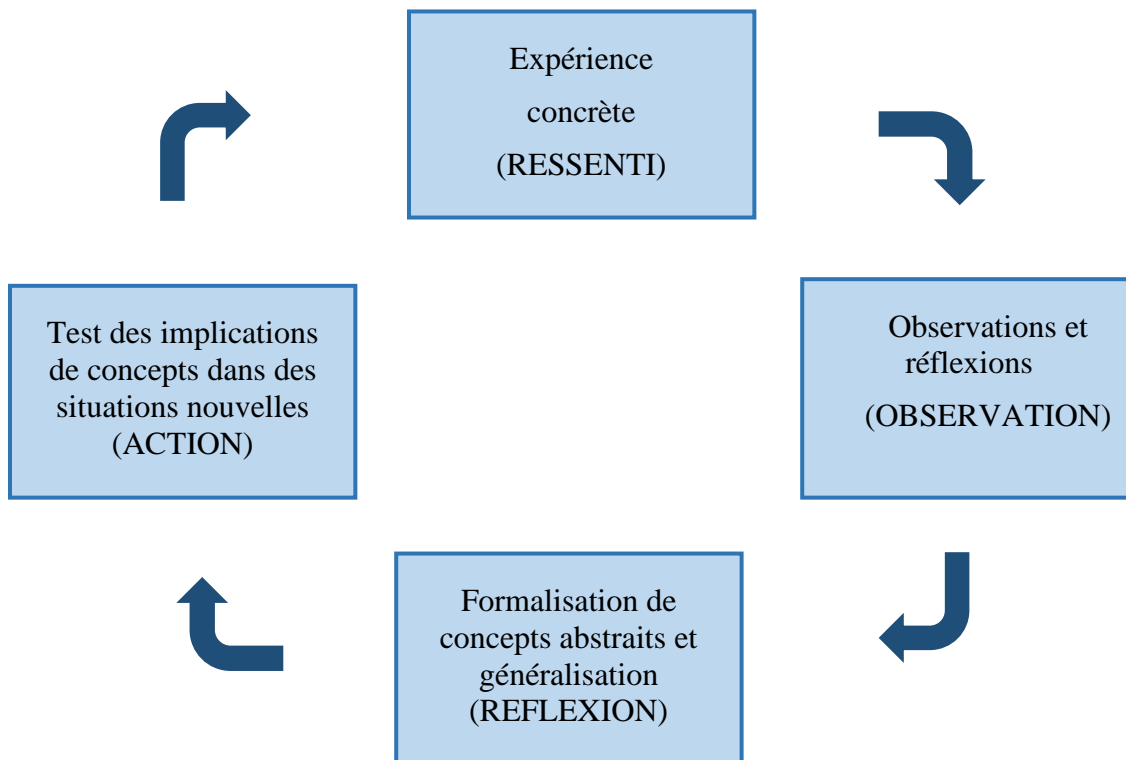


Figure 44: Cycle de Kolb (Taylor, Hamdy 2013)

(b) Stratégies d'apprentissage

Une autre manière de classer l'apprentissage est par la stratégie adoptée pour retenir les informations. On parle alors d'apprentissage superficiel ou profond (Samarakoon, Fernando, Rodrigo 2013).

(i) Superficiel

L'apprentissage **superficiel** est basé sur l'apprentissage des faits bruts, sans compréhension particulière du lien qui unit ces faits.

(ii) Profond

L'apprentissage **profond** nécessite que l'étudiant ait une compréhension profonde de ce qu'il apprend afin de retenir les informations.

(iii) Stratégique

Une troisième catégorie, l'apprentissage **stratégique**, est réalisé par les étudiants qui alternent l'apprentissage profond ou superficiel selon le contexte.

Classiquement on considère que les étudiants ayant recours à l'apprentissage profond ou stratégique réussissent à l'université par rapport aux étudiants n'utilisant que l'apprentissage superficiel (Samarakoon, Fernando, Rodrigo 2013).

(c) La motivation comme moteur de l'apprentissage

Tous les modèles vus précédemment expliquent la manière de retenir l'information, d'autres théories de l'apprentissage se sont basées sur les raisons qui poussent les étudiants à retenir l'information, sur leurs *motivations*. La motivation se définit comme « ce qui est responsable du comportement humain en l'énergisant et en lui donnant du sens et de la direction » (Dörnyei 1998). Il est donc logique de penser qu'en motivant les étudiants à apprendre, en leur expliquant l'intérêt pour leur pratique future, ils aient plus tendance à travailler pour s'améliorer dans une matière. De plus, la motivation ne prend pas en compte le niveau de l'individu dans sa capacité à réussir, au contraire la motivation permet de dépasser les difficultés personnelles en redoublant d'efforts (Malone 1981).

On parle également de motivation intrinsèque lorsque l'activité est réalisée sans arrière-pensée de gain social ou monétaire. Chez les étudiants en études supérieures, il est important de développer cette motivation intrinsèque, définit par Malone par « *challenge, curiosity and fantasy* » soit « le défi, la curiosité et le fantastique » (Pivec, Dziabenko, Schinnerl 2003) :

- ✓ Le *défi* se définit comme des buts ou objectifs aux aboutissements inconnus.
- ✓ La *curiosité* possède 2 éléments, une sensorielle et une cognitive. La curiosité cognitive est suscitée quand les apprenants pensent que leurs connaissances sont incomplètes ou mauvaises. La curiosité sensorielle peut être stimulée avec un objet intrigant ou beau à regarder, mais aussi par le renouvellement et le changement. En effet quelque chose de nouveau est toujours stimulant et invite à s'en approcher, à le déchiffrer et le comprendre.
- ✓ Le *fantastique* évoque les compétences et dons utilisés au cours de l'apprentissage.

Ainsi, en stimulant la curiosité, en invitant au défi et en émerveillant on stimule la motivation intrinsèque à apprendre. C'est dans cet optique qu'est développé la notion d'apprentissage par

le jeu. Dans les dernières décennies les jeux sur ordinateur se sont développées, il a vite été remarqué qu'ils ont la particularité d'être intrinsèquement motivant pour les joueurs, et donc qu'ils pourraient être utilisés à des fins pédagogiques.

(2) L'apprentissage par le jeu : *gamification* et *serious games*

On parle de *gamification* lorsque des éléments de jeu sont repris dans un contexte qui n'est pas celui du jeu, dans notre cas il s'agit d'un contexte éducatif. Les éléments de jeu sont par exemple le système de récompenses : lorsqu'une réponse est juste, l'étudiant reçoit une récompense (des points, de la nourriture, une exonération de travail supplémentaire). Cette notion s'est développée et répandue dans l'éducation dans les années 2010 (Deterding et al. 2011; Dichev, Dicheva 2017; Linnenbrink, Pintrich 2002). La *gamification* n'est pas un jeu, seulement l'utilisation de caractéristiques propres au jeu, à l'inverse des *jeux sérieux* (*serious games*) qui eux sont des jeux à part entière dont le but n'est pas de divertir mais d'apprendre (Susi, Johannesson, Backlund 2015).

L'intégration des jeux ou d'éléments de jeux dans le cadre de l'apprentissage a plusieurs intérêts. Ils servent à remotiver les étudiants à étudier, à cultiver la curiosité et à faire apprécier l'apprentissage. Les jeux permettent aussi aux apprenant de se placer dans un contexte d'apprentissage actif. L'utilisation de ces jeux est intéressante pour la pratique clinique future car celle-ci demande de pouvoir débattre, d'avoir un esprit d'analyse et un esprit critique, et de fréquemment faire appel à plusieurs disciplines en même temps (comme la parasitologie, l'imagerie et la médecine interne en même temps). Ainsi, au travers de jeux et de résolution de problème, l'interdisciplinarité est possible et rend l'application future en situation concrète plus simple pour les étudiants (Pivec, Dziabenko, Schinnerl 2003).

Bien que l'utilisation de ces outils dans le processus d'apprentissage soit de plus en plus fréquente, il n'existe pas de preuves scientifiques de sa supériorité par rapport aux méthodes classiques d'apprentissage dans le cadre de la réussite scolaire (Jim, Elizabeth, Marcus 2016; Taheri et al. 2021; Álvarez-Montero, Leyva-Cruz, Moreno-Alcaraz 2018; Gentry et al. 2019; Dichev, Dicheva 2017). Néanmoins il est généralement apprécié par les étudiants, et ne semble pas néfaste à l'apprentissage pour autant (Ober 2016; Lujan, DiCarlo 2006; Steinman, Blastos 2002; Da Rosa et al. 2003). C'est une méthode complémentaire, qui ne met pas en danger les autres formes d'apprentissage, mais qui permet de changer l'approche sur ce qui est à apprendre, de l'aborder d'une manière plus ludique et donc plus motivante.

2. Intérêt de la résine dans un cadre pédagogique

Les inclusions en résine de parasites sont donc des réalisations transparentes, manipulables, et observables à la loupe binoculaire. L'intérêt premier de ces résines est bien évidemment la reconnaissance de familles et d'espèces de parasites. Mais elles permettent bien plus que cela.

Pour la reconnaissance, l'intérêt est d'avoir un parasite stable et manipulable dans tous les sens, que l'on peut mettre entier sous la loupe et qu'on voit bien à plat, par rapport à des modèles conservés dans un récipient contenant de l'alcool ou du formol, qui est la méthode principale d'observation des parasites lors des travaux pratiques de reconnaissances de parasites à VetAgro Sup.

(1) Aspect sécuritaire

Une fois que le bloc de résine a été coulé, il reste stable dans le temps. Il n'émet plus de vapeur et n'est pas dangereux à être manipulée, par rapport au formol. Le formol (solution contenant du formaldéhyde), est un stabilisateur des tissus très utilisés pour la conservation de pièces anatomiques (Adamović et al. 2021). Cette solution est très toxique, à court terme (irritation des voies respiratoires) et long terme (cancérogène). Le **tableau V** présente les différents dangers que présente l'exposition au formaldéhyde.

Tableau V : Classification de la toxicité du formaldéhyde (Cammalleri et al. 2022), traduit de l'anglais

Catégories de danger	Définition
Carcinogène 1B	H350 : peut causer des cancers par inhalation
Mutagène 2	H341 : est suspecté d'être à l'origine d'anomalies génétiques
Toxicité aiguë 3	H301 : toxique si avalé
Toxicité aiguë 3	H311 : toxique si en contact avec la peau
Toxicité aiguë 3	H331 : toxique si inhalé
Corrosif pour la peau 1B	H314 : à l'origine de brûlures cutanées sévères et de dommages oculaires
Sensibilité cutanée 1	H317 : peut causer une allergie cutanée

(2) Stimulation de nombreux sens

En plus de la sécurité qu'elle apporte, la résine, en tant qu'objet manipulable, stimule les sens haptique (tactilo-kinesthésique) et visuel. Comme vu dans la partie III.B.1, il est préférable de stimuler de nombreuses voies d'apprentissage afin d'augmenter la retenue d'information. Après une présentation en cours magistral des différentes espèces de parasites, la visualisation des parasites grandeur nature, avec possibilités d'observer leurs différences et ressemblances à la loupe stimule des voies différentes d'apprentissage que celles stimulées par l'écoute et l'écriture faite en cours magistral, la retenue d'information est bien meilleure que si une seule voie était privilégiée (Gentaz 2018).

(3) Innovation et motivation intrinsèque

Les résines ne sont pas un outil fréquemment utilisé en études supérieures pour favoriser l'apprentissage. Elles sont fréquemment retrouvées en pièces de collection pour mettre en valeur un objet trouvé esthétique, comme des scorpions ou des fleurs séchées. C'est donc un

outil nouveau, qui attire l'œil car l'objet inclut paraît flotter au sein de la résine. Il stimule la curiosité et présente un aspect esthétique. L'aspect esthétique des parasites est un sujet ouvert à discussion, mais il est indéniable qu'une fois mis sous la loupe binoculaire ils présentent un aspect brillant, quasi hypnotique, qui force le regard, incite à observer dans les moindres détails et donc à se questionner sur le nom et l'usage de tel ou tel appendice non visible à l'œil nu.

(4) Pistes d'utilisation de la résine à VetAgro Sup Lyon

Cette thèse a permis de mettre au point la technique pour réaliser des résines, le but étant qu'une collection soit ensuite créée par le personnel de VetAgro Sup Lyon. Voici quelques idées et pistes envisagées pour d'autres utilisations de la résine dans un cadre pédagogique (autre que la reconnaissance directe et à la loupe binoculaire).

Les blocs de résine peuvent être utilisés comme pièce d'un jeu, par exemple pour replacer les parasites dans leur zone préférentielle d'installation chez l'hôte (*jeu sérieux*). L'animal hôte est fait de profil sur une planche, avec tel ou tel organe mis en valeur et une zone rectangulaire où placer le parasite. Il existe déjà des schémas à compléter réalisés par les professeurs du service de parasitologie à VetAgro Sup Lyon (Voir **figure 45**), l'idée est de s'en inspirer et de réaliser cette planche en très grande taille, avec comme instructions de placer les parasites au bon endroit.

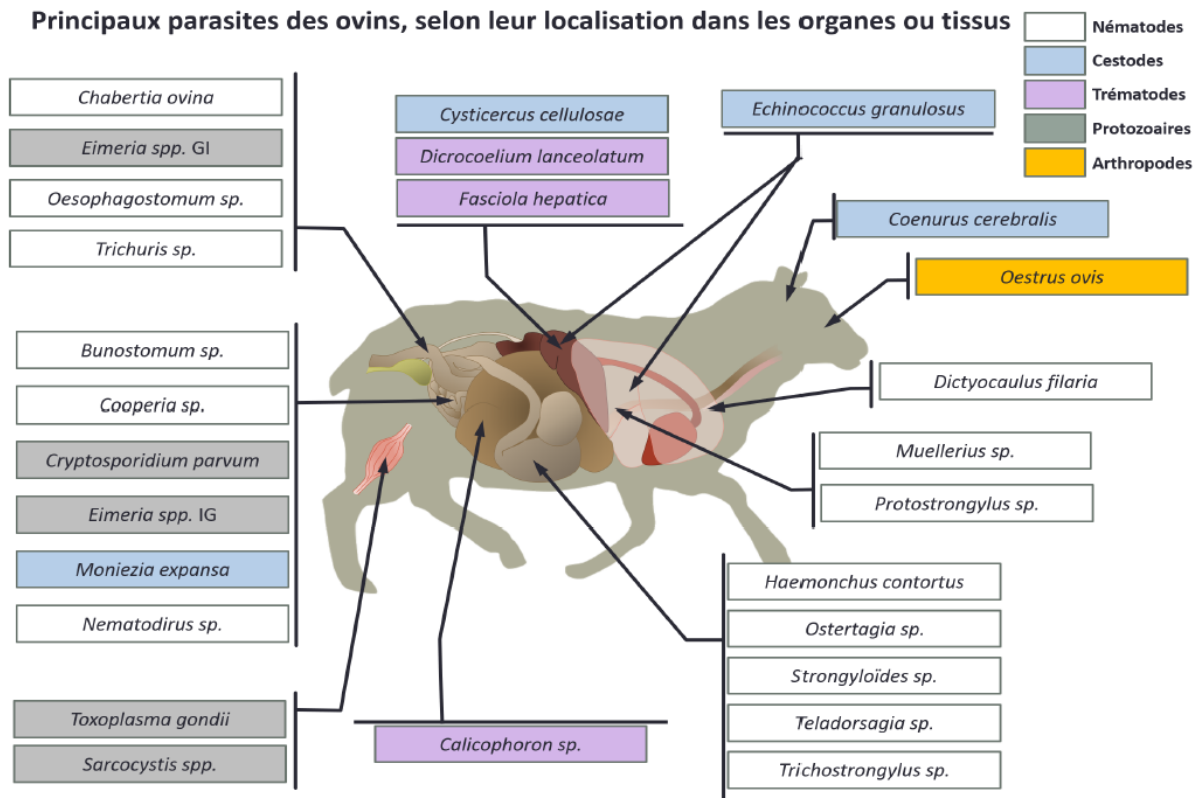


Figure 45 : Schéma, à compléter par les étudiants, réalisés par les professeurs de parasitologie de VetAgro Sup Lyon

Pour l'instant, seules des inclusions d'arthropodes ont été fructueuses pour être visualisées à la loupe, les réalisations avec des parasites internes tel que des ténias ont évolués au cours du temps avec la formation d'un « halo » autour de certaines zones du parasite, probablement car le séchage n'était pas complet (Voir **figure 46**). Dans une optique de jeu pédagogique, il est moins gênant que les parasites ne soient pas parfaits, il est donc possible d'envisager une utilisation de ces résines, même si elles ne sont pas satisfaisantes pour la diagnose d'espèce.

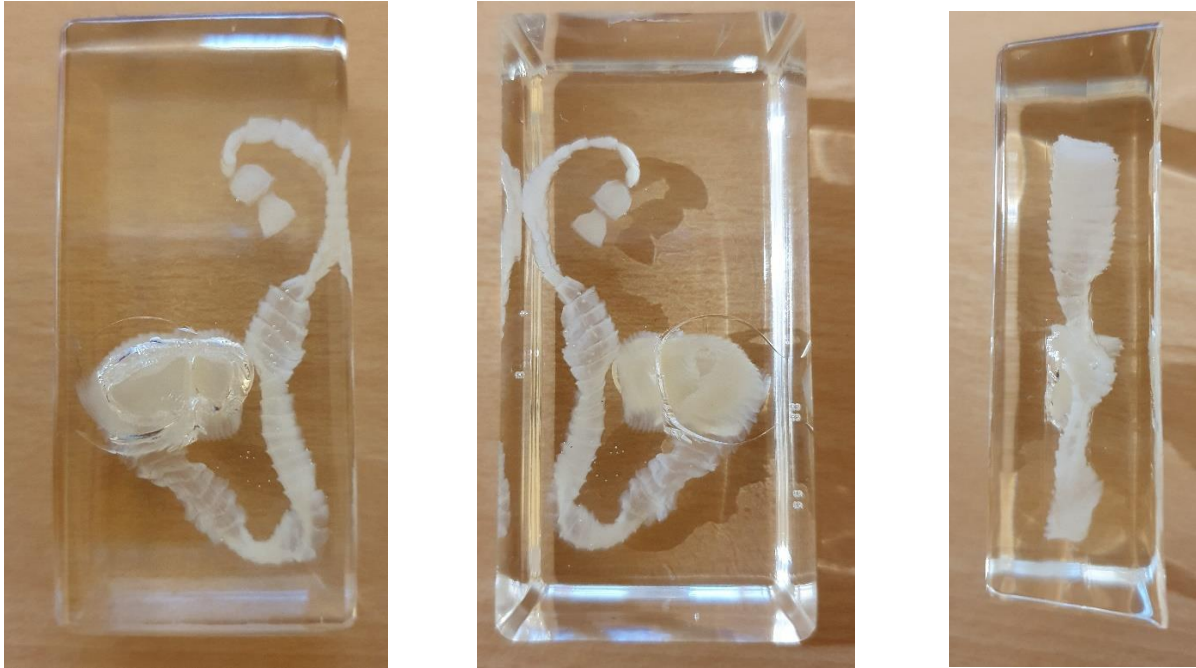


Figure 46 : Photos d'inclusion en résine d'un tænia conservé dans de l'alcool

Les planches vues précédemment sont centrées sur l'hôte, il est également possible de centrer sur un organe, par exemple les parasites de l'estomac. En plus des planches, les cycles parasitaires peuvent être recréés, avec chaque bloc de résine représentant le parasite à chaque étape de son cycle. Les étudiants auraient à replacer chaque résine au bon endroit du cycle.

On peut également imaginer que pour les parasites de plus petite taille, tel que les gales ou champignons, une image soit placée au sein de la résine, montrant le parasite à un grossissement convenable. Ainsi ces parasites invisibles à l'œil nu pourraient être intégrés dans les idées évoquées précédemment. On pourrait imaginer un schéma d'animal, avec un thème sur les animaux à placer, par exemple les différentes gales/pseudo-gales et leurs localisation préférentielle selon l'animal en question. La **figure 47** présente un schéma issu des cours de parasitologie des ruminants des 2^{ème} années (année 2019-2020), illustrant la localisation préférentielle des lésions de tel ou tel gale, ici chez les bovins.

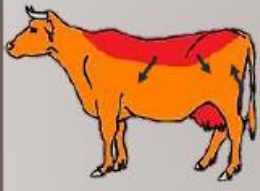
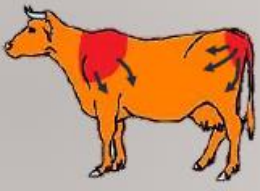
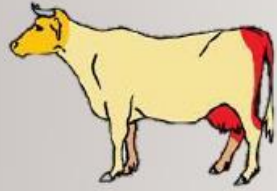
	<i>Sarcoptes scabiei</i>	<i>Psoroptes ovis</i>	<i>Chorioptes bovis</i>
Épidémiologie	Rare à très rare Contagion +++	Races à viande + à +++ Contagion +++ Hiver	Races laitières ++ Contagion + Hiver
Topographie lésionnelle			
Expression clinique	Prurit +++ Extensive	Prurit +++ Extensive Surinfections ++	Prurit + Localisée Surinfection
Gravité/fréquence	+++ / ≈0	+++ / ++	+ / ++

Figure 47: Schéma issu des cours de parasitologie de VetAgro Sup Lyon, illustrant la topographie des lésions selon l'espèce d'acarien en cause

Ainsi les blocs de résine, en tant qu'outil pédagogique peuvent avoir de nombreux usages, comme pièce d'un jeu pour replacer les parasites dans leur organe, hôte ou zone préférentielle. Ces propositions ne sont pas les seules possibles. En effet une fois la méthode mise au point, les blocs de résine se créent en une semaine environ, et se conservent dans le temps, permettant de nouvelles utilisations dans de nouveaux cadres futurs. Les retours des étudiants seront un outil indispensable pour faire évoluer ces blocs selon leurs envies et leurs besoins.

CONCLUSION

La résine époxy est un polymère thermodurcissable utilisé dans des domaines très variés. Sa stabilité dans le temps, sa facilité d'utilisation, sa transparence et son esthétisme favorisent son utilisation dans un cadre autre qu'industriel ou récréatif : un cadre pédagogique.

Le but de ce travail a été de mettre au point une technique permettant la réalisation d'inclusions en résine de parasites visibles à l'œil nu, utilisables ensuite pour des travaux pratiques de reconnaissance de parasites. Ce travail a été réparti en 3 étapes : obtention d'une résine transparente sans bulles ; puis inclusion d'un parasite propre, sec afin qu'il se conserve dans le temps et bien étalé sans bulles à sa surface afin que toutes ses structures soient visibles ; et enfin mise au point de techniques de ponçage et de polissage de la résine brute obtenue.

Une technique ayant été mise au point, il a été possible d'envisager ses utilisations futures au-delà d'une simple lame à regarder à la loupe binoculaire, notamment en tant qu'innovateur dans la façon d'apprendre aux étudiants la parasitologie vétérinaire. En effet, malgré l'indéniable nécessité d'avoir des vétérinaires compétents en parasitologie pour contrer les maladies animales et humaines présentes et à venir, l'apprentissage de la parasitologie a connu un recul dans son enseignement, notamment en nombres d'heures allouées. De nombreuses méthodes ont été développées afin de motiver les étudiants à apprendre cette matière, notamment par la diversification des méthodes d'apprentissage (passage à de l'enseignement actif, stimulant d'autres préférences sensorielles d'apprentissage). Dans ce cadre, la résine est un outil qui présente de nombreuses perspectives d'utilisation, par exemple en objet à replacer dans son organe préférentiel (gamification) ou en base pour recréer les cycles parasitaires grandeur nature.

BIBLIOGRAPHIE

ABDUL-GHANI, R., 2015. Towards e-parasitology: making use of virtual microscopy. *Tropical medicine & international health: TM & IH*. février 2015. Vol. 20, no. 2, pp. 227-229. DOI [10.1111/tmi.12426](https://doi.org/10.1111/tmi.12426).

ADAMOVIĆ, D., ČEPIĆ, Z., ADAMOVIĆ, S., STOŠIĆ, M., OBROVSKI, B., MORAČA, S. et VOJINOVIĆ MILORADOV, M., 2021. Occupational Exposure to Formaldehyde and Cancer Risk Assessment in an Anatomy Laboratory. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 25 octobre 2021. Vol. 18, no. 21, pp. 11198. DOI [10.3390/ijerph182111198](https://doi.org/10.3390/ijerph182111198).

ALLEN, D.J. et ISHIDA, H., 2001. Thermosets : Phenolics, Novolacs , and Benzoxazine. In: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*.

ÁLVAREZ-MONTERO, F., LEYVA-CRUZ, M. et MORENO-ALCARAZ, F., 2018. Learning Styles Inventories: an update of Coffield, Moseley, Hall, & Ecclestone's Reliability and Validity Matrix. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*. 1 décembre 2018. Vol. 16, pp. 597-629. DOI [10.25115/ejrep.v16i46.2237](https://doi.org/10.25115/ejrep.v16i46.2237).

ATEHMENGO, N. et NNAGBO, C.S., 2014. Emerging Animal Parasitic Diseases: A Global Overview and Appropriate Strategies for their Monitoring and Surveillance in Nigeria. *The Open Microbiology Journal*. 2014. Vol. 8, pp. 87-94. DOI [10.2174/1874285801408010087](https://doi.org/10.2174/1874285801408010087).

AYASH, G., OSMAN, E., SEGAAN, L., RAYYAN, M. et JOUKHADAR, C., 2020. Influence of resin cement shade on the color and translucency of zirconia crowns. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. mars 2020. Vol. 12, no. 3, pp. e257-e263. DOI [10.4317/jced.56425](https://doi.org/10.4317/jced.56425).

BALLEUX, A., 2002. Évolution de la notion d'apprentissage expérientiel en éducation des adultes: vingt-cinq ans de recherche. *Revue des sciences de l'éducation*. 7 octobre 2002. Vol. 26, no. 2, pp. 263-286. DOI [10.7202/000123ar](https://doi.org/10.7202/000123ar).

BALMAYOR, E.R., ÁLVAREZ, S.F., ALONSO, L.M. et LUNA, A., 2003. Obtaining new formulations of inclusion resin for optical microscopy. Introduction of its use in animal tissue. *Revista de Oncología*. 2003. Vol. 5, no. 5, pp. 280.

BARRERE, C. et DAL MASO, F., 1997. Résines époxy réticulées par des polyamines : structure et propriétés. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. mai 1997. Vol. 52, no. 3, pp. 317-335. DOI [10.2516/ogst:1997043](https://doi.org/10.2516/ogst:1997043).

BOBADE, S.K., PALUVAI, N.R., MOHANTY, S. et NAYAK, S. K., 2016. Bio-Based Thermosetting Resins for Future Generation: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2016. Vol. 55, no. 17, pp. 1863.

BOURNE, L. B. et MILNER, F. J., 1963. Polyester resin hazards. *British Journal of Industrial Medicine*. avril 1963. Vol. 20, pp. 100-109. DOI [10.1136/oem.20.2.100](https://doi.org/10.1136/oem.20.2.100).

BRADAI, C., BOURAOUI, T., HAMMED, N. et ELHALOUANI, F., 2008. Réticulation et comportement mécanique d'une résine polyester insaturée pour différents taux de catalyseur. *Annales De Chimie-science Des Matériaux - ANN CHIM-SCI MAT*. 30 août 2008. Vol. 33, pp. 293-302. DOI [10.3166/acsm.33.293-302](https://doi.org/10.3166/acsm.33.293-302).

BRADBURY, N.A., 2016. Attention span during lectures: 8 seconds, 10 minutes, or more? *Advances in Physiology Education*. 1 décembre 2016. Vol. 40, no. 4, pp. 509-513. DOI [10.1152/advan.00109.2016](https://doi.org/10.1152/advan.00109.2016).

BRYDSON, J.A., 2011. Phenolic Resins - an overview (pdf) | ScienceDirect Topics. *Polymer Matrix composite and technology*. [en ligne]. 2011. [Consulté le 13 juillet 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/phenolic-resins/pdf>

CAMMALLERI, V., POCINO, R.N., MAROTTA, D., PROTANO, C., SINIBALDI, F., SIMONAZZI, S., PETYX, M., IAVICOLI, S. et VITALI, M., 2022. Occupational scenarios and exposure assessment to formaldehyde: A systematic review. *Indoor Air*. janvier 2022. Vol. 32, no. 1, pp. e12949. DOI [10.1111/ina.12949](https://doi.org/10.1111/ina.12949).

CARFAGNA, C., AMENDOLA, E. et GIAMBERINI, M., 1997. Liquid crystalline epoxy based thermosetting polymers. *Progress in Polymer Science*. 1997. Vol. 22, no. 8, pp. 1607.

CHASSANIEUX, C., LEFEBVRE, H. et PASCUAL, S., 2008. *L'indispensable en polymères*. L'indispensable.

CHEREMISINOFF, N., 1998. *Advanced Polymer Processing Operations - 1st Edition*.

CHEVRIER, J. et CHARBONNEAU, B., 2000. Le savoir-apprendre expérientiel dans le contexte du modèle de David Kolb. *Revue des sciences de l'éducation*. 2000. Vol. 26, no. 2, pp. 287-324. DOI [10.7202/000124ar](https://doi.org/10.7202/000124ar).

CHEVRIER, J., FORTIN, G., LEBLANC, R. et ET. AL, 2000. Problématique de la nature du style d'apprentissage. *Éducation et francophonie*. 1 janvier 2000. Vol. 28, pp. 3. DOI [10.7202/1080455ar](https://doi.org/10.7202/1080455ar).

CLAUSEN, P-H., STELZER, S., NIJHOF, A., KRÜCKEN, J. et VON SAMSON-HIMMELSTJERNA, G., 2018. Established and novel approaches for teaching and learning of veterinary parasitology in Berlin. *Veterinary Parasitology*. 15 mars 2018. Vol. 252, pp. 58-61. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.028](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.028).

COOK, D.A. et ARTINO, A.R., 2016. Motivation to learn: an overview of contemporary theories. *Medical Education*. octobre 2016. Vol. 50, no. 10, pp. 997-1014. DOI [10.1111/medu.13074](https://doi.org/10.1111/medu.13074).

DA ROSA, A.C.M, OSOWSKI, L.F., TOCCHETTO, A.G. et ET.AL, 2003. An Alternative Teaching Method for the Regulation of the Immune Response. 2003. DOI <http://cogprints.org/3194/1/res00069.pdf>.

DELOR-JESTIN, F., DROUIN, D., CHEVAL, P.-Y. et LACOSTE, J., 2006. Thermal and photochemical ageing of epoxy resin – Influence of curing agents. *Polymer Degradation and Stability*. 2006. Vol. 91, no. 6, pp. 1247.

DETERDING, S., DIXON, D., KHALED, R. et ET.AL, 2011. Gamification: Toward a Definition. . 2011. pp. 4.

DICHEV, C. et DICHEVA, D., 2017. Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. décembre 2017. Vol. 14, no. 1, pp. 9. DOI [10.1186/s41239-017-0042-5](https://doi.org/10.1186/s41239-017-0042-5).

DIEMER, F., STARK, H., HELFGEN, E-H., ENKLING, N., PROBSTMEIER, R., WINTER, J. et KRAUS, D., 2021. In vitro cytotoxicity of different dental resin-cements on human cell lines. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*. 20 janvier 2021. Vol. 32, no. 1, pp. 4. DOI [10.1007/s10856-020-06471-w](https://doi.org/10.1007/s10856-020-06471-w).

DIXIT, D. et ET.AL, 2016. Lightweight composite materials processing. In: *Lightweight ballistic composites (Second Edition)*.

DOMINGUEZ, B., 2007. Polymers Chemistry and Physics of Modern Materials Cowie. *Polymers Chemistry and Physics of Modern Materials Cowie*. [en ligne]. 1 janvier 2007. [Consulté le 29 juin 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.academia.edu/39229048/Polymers_Chemistry_and_Physics_of_Modern_Materials_Cowie

DÖRNYEI, Z., 1998. Motivation in second and foreign language learning. *Language Teaching*. 1998. Vol. 31, no. 3, pp. 117.

DUNN, R.S. et DUNN, K.J., 1979. Learning styles/Teaching styles: Should They Can they be matched ? . 1979. Vol. Educational Leadership, pp. 238-244.

ECKERT, J., 1989. New aspects of parasitic zoonoses. *Veterinary Parasitology*. 1 juillet 1989. Vol. 32, no. 1, pp. 37-55. DOI [10.1016/0304-4017\(89\)90154-4](https://doi.org/10.1016/0304-4017(89)90154-4).

ECKERT, J., 2013. World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (WAAVP): The 50th anniversary in 2013—History, achievements, and future perspectives. *Veterinary Parasitology*. 1 août 2013. Vol. 195, no. 3, pp. 206-217. DOI [10.1016/j.vetpar.2013.04.002](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.04.002).

EFTEKHAR, N. et STRONG, D.R., 1998. Towards dynamic modeling of a teaching/learning system : part 1- The Unified Theory part 2: A new theory on types of learners. *Int J Eng Educ*. 1998. Vol. 14, no. 6, pp. 388-406.

FLEMING, N.D., 1995. I'm different; not dumb Modes of presentation (V.A.R.K.) in the tertiary classroom. *Research and Development in Higher Education*. 1995. Vol. 18, pp. 308-313.

FLEMING, N.D., 2012. Facts, Fallacies and Myths: VARK 2012. pp. 3.

FOX, M., BLAKE, D. et JACOBS, D., 2018. Veterinary parasitology teaching at London – Meeting the 'Day-One Competency' needs of new veterinarians. *Veterinary Parasitology*. 30 avril 2018. Vol. 254, pp. 131-134. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.029](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.029).

FRANCO, G. et CANDURA, F., 1985. [Production technology and use of composite materials in the aeronautics industry, risks and pathology in the manufacturing workers]. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro*. mai 1985. Vol. 7, no. 2-3, pp. 45-57.

FREEMAN, S. et al. 2014. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 10 juin 2014. Vol. 111, no. 23, pp. 8410-8415. DOI [10.1073/pnas.1319030111](https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111).

GENTAZ, E., 2018. *La main, le cerveau et le toucher. Approches multisensorielles et nouvelles technologies*. Dunod. Psycho sup.

GENTRY, S.V., GAUTHIER, A., L'ESTRADE EHRSTROM, B., WORTLEY, D., LILIENTHAL, A., TUDOR CAR, L., DAUWELS-OKUTSU, S., NIKOLAOU, C.K., ZARY, N., CAMPBELL, J. et CAR, J., 2019. Serious Gaming and Gamification Education in Health Professions: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*. 28 mars 2019. Vol. 21, no. 3, pp. e12994. DOI [10.2196/12994](https://doi.org/10.2196/12994).

GOH, C. L., 1988. An epidemiological comparison between hand eczema and non-hand eczema. *The British Journal of Dermatology*. juin 1988. Vol. 118, no. 6, pp. 797-801. DOI [10.1111/j.1365-2133.1988.tb02598.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.1988.tb02598.x).

GOTTSTEIN, B et ECKERT, J, 2002. Various approaches of teaching veterinary parasitology. *Veterinary Parasitology*. 2 octobre 2002. Vol. 108, no. 4, pp. 267-272. DOI [10.1016/S0304-4017\(02\)00225-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00225-X).

GRANDJEAN, E., 1957. The danger of dermatoses due to cold-setting ethoxyline resins (epoxide resins). *British Journal of Industrial Medicine*. janvier 1957. Vol. 14, no. 1, pp. 1-4. DOI [10.1136/oem.14.1.1](https://doi.org/10.1136/oem.14.1.1).

GROSSBERG, S., 2019. The resonant brain: How attentive conscious seeing regulates action sequences that interact with attentive cognitive learning, recognition, and prediction. *Attention, Perception & Psychophysics*. 2019. Vol. 81, no. 7, pp. 2237-2264. DOI [10.3758/s13414-019-01789-2](https://doi.org/10.3758/s13414-019-01789-2).

GUIMOND-PLOURDE, R., 2010, L'application pédagogique de la visualisation, *Education Canada* ; 2000. Vol 40, pp. 4.

HALARY, J-L., LAUPRÊTRE, F. et MONNERIE, L., 2008. *Mécanique des matériaux polymères*. Paris, France: Belin, DL 2008. ISBN 978-2-7011-4591-4.

HATWELL, Y., STRERI, A. et GENTAZ, E. (éd.), 2003. *Touching for knowing: cognitive psychology of haptic manual perception*. Amsterdam ; Philadelphia: John Benjamins Pub. Advances in consciousness research, v. 53. ISBN 978-90-272-5185-5. BF275 .T69 2003

HEWITT-TAYLOR, J. et GOULD, D., 2002. Learning preferences of pediatric intensive care nurses. *Journal of advanced nursing*. 2002. DOI [10.1046/J.1365-2648.2002.02178.X](https://doi.org/10.1046/J.1365-2648.2002.02178.X).

JABBAR, A., GAUCI, C.G. et ANSTEAD, C.A., 2021. Parasitology Education Before and After the COVID-19 Pandemic. *Trends in Parasitology*. janvier 2021. Vol. 37, no. 1, pp. 3-6. DOI [10.1016/j.pt.2020.10.009](https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.10.009).

JENKINS, A. D., KRATOCHVÍL, P., STEPTO, R. F. T. et SUTER, U. W., 1996. Glossary of basic terms in polymer science (IUPAC Recommendations 1996). *Pure and Applied Chemistry*. 1 janvier 1996. Vol. 68, no. 12, pp. 2287-2311. DOI [10.1351/pac199668122287](https://doi.org/10.1351/pac199668122287).

JENKINS, E.J., SIMON, A., BACHAND, N. et STEPHEN, C., 2015. Wildlife parasites in a One Health world. *Trends in Parasitology*. mai 2015. Vol. 31, no. 5, pp. 174-180. DOI [10.1016/j.pt.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.01.002).

JIM, L., ELIZABETH, E. et MARCUS, M., 2016. Gamification of cognitive assessment and cognitive training: A systematic review of applications, approaches and efficacy. *Frontiers in*

Public Health. [en ligne]. 2016. Vol. 4. [Consulté le 27 septembre 2022]. DOI [10.3389/conf.FPUBH.2016.01.00007](https://doi.org/10.3389/conf.FPUBH.2016.01.00007).

KOMABAYASHI, T., COLMENAR, D., CVACH, N., BHAT, A., PRIMUS, C. et IMAI, Y., 2020. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental Materials Journal*. 28 septembre 2020. Vol. 39, no. 5, pp. 703-720. DOI [10.4012/dmj.2019-288](https://doi.org/10.4012/dmj.2019-288).

KRECEK, R. C, 2002. Resolution on teaching veterinary parasitology: World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (WAAVP). *Veterinary Parasitology*. 2 octobre 2002. Vol. 108, no. 4, pp. 333-335. DOI [10.1016/S0304-4017\(02\)00233-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00233-9).

LAZZARI, M., LEDO-SUÁREZ, A., LÓPEZ, T., SCALARONE, D. et LÓPEZ-QUINTELA, M.A., 2011. Plastic matters: an analytical procedure to evaluate the degradability of contemporary works of art. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. mars 2011. Vol. 399, no. 9, pp. 2939-2948. DOI [10.1007/s00216-011-4664-5](https://doi.org/10.1007/s00216-011-4664-5).

L'ECUYER, C., 2014. The Wonder Approach to learning. *Frontiers in Human Neuroscience*. 6 octobre 2014. Vol. 8, pp. 764. DOI [10.3389/fnhum.2014.00764](https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00764).

LIU, G-H., ZHANG, L-X., ZOU, F-C., YUAN, Z-G., ZHAO, G-H., HU, M., SUO, X. et ZHU, X.Q., 2018. Veterinary parasitology teaching in China in the 21st century – Challenges, opportunities and perspectives. *Veterinary Parasitology*. 15 mars 2018. Vol. 252, pp. 70-73. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.037](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.037).

LORENZO, A.R. et LORENZO, B.R., 2013. Learning Styles of Teacher Education Students: Basis in Improving the Teaching - Learning Process | Elsevier Enhanced Reader. *Social and Behavioral Sciences*. 103. 2013. pp. 595-605.

LUJAN, H.L et DICARLO, S.E., 2006. First-year medical students prefer multiple learning styles. *Advances in Physiology Education*. mars 2006. Vol. 30, no. 1, pp. 13-16. DOI [10.1152/advan.00045.2005](https://doi.org/10.1152/advan.00045.2005).

MALONE, T.W., 1981. Toward a Theory of Intrinsically Motivating Instruction. *Cognitive Science*. 1981. Vol. 5, no. 4, pp. 333-369. DOI [10.1207/s15516709cog0504_2](https://doi.org/10.1207/s15516709cog0504_2).

MAZUMDAR, S., 2001. *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. [en ligne]. [Consulté le 4 juillet 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.routledge.com/Composites-Manufacturing-Materials-Product-and-Process-Engineering/Mazumdar/p/book/9780849305856>

MEYERS, MA et CHAWLA, K.K., 2009. *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge University Press. 3ème Edition, pp.95-148

MILLER, G. E., 1990. The assessment of clinical skills/competence/performance. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*. septembre 1990. Vol. 65, no. 9 Suppl, pp. S63-67. DOI [10.1097/00001888-199009000-00045](https://doi.org/10.1097/00001888-199009000-00045).

MOURET, H., CARRÉ, G., ROBERTS, S. PM. et VAISSIÈRE, N. Morison et Bernard E., 2007. Mise en place d'une collection d'abeilles (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes) dans le cadre d'une étude sur la biodiversité. *Oabeilles FR*. [en ligne]. 1 mars 2007. [Consulté le 31 mars 2022]. Disponible à l'adresse: <https://oabeilles.net/osmia/mise-en-place-dune-collection-dabeilles-hymenoptera-apoidea-apiformes>

OBER, C. P., 2016. Novel Card Games for Learning Radiographic Image Quality and Urologic Imaging in Veterinary Medicine. *Journal of Veterinary Medical Education*. janvier 2016. Vol. 43, no. 3, pp. 263-270. DOI [10.3138/jvme.0715-108R](https://doi.org/10.3138/jvme.0715-108R).

OKEMOW, Stefanie Joelle, 2020. Storyboarding in Medical Animation. In: REA, P.M. (éd.), *Biomedical Visualisation: Volume 6*. [en ligne]. Cham: Springer International Publishing. pp.131-143. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. [Consulté le 16 août 2021]. ISBN 978-3-030-37639-0.

PALMIERI, J.R., ELSWAIFI, S.F. et FRIED, K.K., 2011. Emerging need for parasitology education: training to identify and diagnose parasitic infections. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. juin 2011. Vol. 84, no. 6, pp. 845-846. DOI [10.4269/ajtmh.2011.10-0733](https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0733).

PALUVAI, N.R., MOHANTY, S. et NAYAK, S. K., 2014. Synthesis and Modifications of Epoxy Resins and Their Composites: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2014. Vol. 53, no. 16, pp. 1723.

PENZHORN, B.L, 2018. A century of teaching veterinary parasitology in South Africa - Lessons learnt. *Veterinary Parasitology*. 15 mars 2018. Vol. 252, pp. 62-66. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.032](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.032).

PETERS, W. et GILLES, H. M., 1978. Course in diagnostic parasitology. *British Medical Journal*. 9 septembre 1978. Vol. 2, no. 6139, pp. 769. DOI [10.1136/bmj.2.6139.769-c](https://doi.org/10.1136/bmj.2.6139.769-c).

PIVEC, M, DZIABENKO, O. et SCHINNERL, I., 2003. Aspects of game-based learning. Dans: *3rd International Conference on Knowledge Management (I-KNOW '03)*. 1 janvier 2003. pp. 10.

PRITHISHKUMAR, I. J. et MICHAEL, S. A., 2014. Understanding your student: using the VARK model. *Journal of Postgraduate Medicine*. juin 2014. Vol. 60, no. 2, pp. 183-186. DOI [10.4103/0022-3859.132337](https://doi.org/10.4103/0022-3859.132337).

RAULT, J., 2022. *Les polymères solides, amorphes, élastomères, semi-cristallins, propriétés microscopiques et macroscopiques*. ISBN 2.85428.554.9.

REYNE, M., 1998. *Les plastiques*. puf. Collection Que sais-je ?

RODRIGUEZ-MELLA, Y., LÓPEZ-MORÁN, T., LÓPEZ-QUINTELA, M.A. et LAZZARI, M., 2014. Durability of an industrial epoxy vinyl ester resin used for the fabrication of a contemporary art sculpture. *Polymer Degradation and Stability*. 2014. Vol. 107, pp. 277-284.

SAMAHA, A.E., ELFADL, A.K. et ANWAR, M.N., 2022. The micro-shear bond strength of resin cements to aged laser bleached enamel after using different desensitizing agents. *Clinical and Experimental Dental Research*. février 2022. Vol. 8, no. 1, pp. 248-256. DOI [10.1002/cre2.496](https://doi.org/10.1002/cre2.496).

SAMARAKOON, L., FERNANDO, T. et RODRIGO, C., 2013. Learning styles and approaches to learning among medical undergraduates and postgraduates. *BMC medical education*. 25 mars 2013. Vol. 13, pp. 42. DOI [10.1186/1472-6920-13-42](https://doi.org/10.1186/1472-6920-13-42).

SANCHEZ, C., BERRONES, G., CRUZ, G. et MONTANTE, C., 2018. *APPLICATIONS OF COMPOSITE POLYMERS Team*. [en ligne]. 2018. [Consulté le 29 juin 2022]. Disponible

à l'adresse :

https://www.academia.edu/39559324/APPLICATIONS_OF_COMPOSITE_POLYMERS_Team

SCHMIDT, H. G., 1983. Problem-based learning: rationale and description. *Medical Education*. janvier 1983. Vol. 17, no. 1, pp. 11-16. DOI [10.1111/j.1365-2923.1983.tb01086.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1983.tb01086.x).

SCHNYDER, M., HERTZBERG, H., MATHIS, A., SCHÖNMANN, M., HEHL, A. et DEPLAZES, P., 2018. Veterinary parasitology teaching - Ten years of experience with the Vetsuisse curriculum. *Veterinary Parasitology*. 15 mars 2018. Vol. 252, pp. 148-152. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.033](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.033).

SHARMA, V., [sans date]. CHOOSING THE RIGHT RESIN – POLYESTER RESIN. [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2022]. Disponible à l'adresse: https://www.academia.edu/31114576/CHOOSING_THE_RIGHT_RESIN_POLYESTER_RESIN

SHUKLA, V., BAJPAI, M., SINGH, D. K., SINGH, M. et SHUKLA, R., 2004. Review of basic chemistry of UV-curing technology. *Pigment & Resin Technology*. 2004. Vol. 33, no. 5, pp. 272.

SKINNER, ML. et DERRYBERRY, M., 1954. Health education for outpatients. *Public Health Reports*. novembre 1954. Vol. 69, no. 11, pp. 1107-1114.

SPURR, A.R., 1969. A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *Journal of Ultrastructure Research*. 1 janvier 1969. Vol. 26, no. 1, pp. 31-43. DOI [10.1016/S0022-5320\(69\)90033-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5320(69)90033-1).

STANLEY, E.R., HAFFORD, A., NASEMAN, R., LI, J., WORLEY, M. et MEHTA, B.H, 2021. Assessment of pharmacy technician learning preferences and implications for training. *American journal of health-system pharmacy: AJHP: official journal of the American Society of Health-System Pharmacists*. 19 février 2021. Vol. 78, no. Suppl 1, pp. S16-S25. DOI [10.1093/ajhp/zxaa362](https://doi.org/10.1093/ajhp/zxaa362).

STEINMAN, R.A. et BLASTOS, M.T., 2002. A trading-card game teaching about host defence. *Medical Education*. 2002. Vol. 36, no. 12, pp. 1201-1208. DOI [10.1046/j.1365-2923.2002.01384.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2002.01384.x).

STRUBE, C., RAUE, K. et JANECEK, E., 2018. Simple, but not easy – Opportunities and challenges from teachers’ and students’ perspectives in the 21st century of veterinary parasitology teaching. *Veterinary Parasitology*. 15 mars 2018. Vol. 252, pp. 74-79. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.034](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.034).

SUSI, T, JOHANNESSON, M et BACKLUND, P, 2015. Serious Games - An Overview. . 18 novembre 2015.

TAHERI, M., FALAHCHAI, M., JAVANAK, M., et ET AL., 2021. Analyzing the relationship between learning styles (Kolb and VARK) and creativity with the academic achievement of dental students. *Journal of Education and Health Promotion*. 2021. Vol. 10, pp. 252. DOI [10.4103/jehp.jehp_1492_20](https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1492_20).

TANAKA, Y., BAUER, R. et ET.AL, 1987. *Epoxy Resins / Chemistry and Technology*/. [en ligne]. Clayton May. [Consulté le 1 juillet 2022]. Disponible à l’adresse: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9780203756713/epoxy-resins-clayton-may>

TAYLOR, D.C.M et HAMDY, H., 2013. Adult learning theories: implications for learning and teaching in medical education: AMEE Guide No. 83. *Medical Teacher*. novembre 2013. Vol. 35, no. 11, pp. e1561-1572. DOI [10.3109/0142159X.2013.828153](https://doi.org/10.3109/0142159X.2013.828153).

ULLMANN, F. et ET.AL, 2016. *Ullmann’s Polymers and Plastics : Products and Processes*. Wiley CVH. Weinheim. ullmz. ISBN 978-3-527-33823-8.

VALENTE, P., LORA, P., LANDELL, M., SCHIEFELBEIN, C. S., GIRARDI, F., SOUZA, Leonardo Dos R., ZANONATO, Angela et SCROFERNEKER, M. L., 2009. A game for teaching antimicrobial mechanisms of action. *Medical teacher*. 2009. DOI [10.1080/01421590802637958](https://doi.org/10.1080/01421590802637958).

VAN DOORN, D. C. K., NIJSSE, E. R. et PLOEGER, H. W., 2018. Pitfalls and opportunities of teaching veterinary parasitology within an integrated curriculum. *Veterinary Parasitology*. 15 mars 2018. Vol. 252, pp. 85-88. DOI [10.1016/j.vetpar.2018.01.036](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.01.036).

VERCRUYSSSE, J. et ECKERT, J., 2002. Teaching of undergraduate veterinary parasitology in some European countries. *Veterinary Parasitology*. 2 octobre 2002. Vol. 108, no. 4, pp. 309-315. DOI [10.1016/s0304-4017\(02\)00230-3](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(02)00230-3).

WEINER, B., 1979. A theory of motivation for some classroom experiences. *Journal of Educational Psychology*. février 1979. Vol. 71, no. 1, pp. 3-25.

ZHOU, D., LYDON-STALEY, D.M., ZURN, P. et BASSETT, D.S., 2020. The growth and form of knowledge networks by kinesthetic curiosity. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. octobre 2020. Vol. 35, pp. 125-134. DOI [10.1016/j.cobeha.2020.09.007](https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.09.007).

ANNEXES

Annexe 1: Fiche technique RESINPRO résine époxy transparente effet eau



RESINA EPOXY TRANSPARENTE

DESCRIPTION DU PRODUIT

RESINA EPOXY TRANSPARENTE – RESINPRO : Système époxy de haute qualité développé pour un usage amateur, artisanal et industriel. Il garantit d'excellents résultats aussi bien pour les applications de films (1 mm) que pour les pièces coulées jusqu'à 2 cm d'épaisseur. En plus de ses propriétés autonivelantes élevées et d'une transparence parfaite, il garantit une bonne étanchéité mécanique pour le renforcement et les applications en fibre de carbone. Formulé avec des composants à haute résistance aux UV, il permet des créations durables (faible jaunissement). Le produit se caractérise par une faible viscosité qui réduit la présence de bulles d'air après durcissement dans les créations artistiques, des obturations épaisses et facilite l'imprégnation de la fibre de carbone. La résistance à l'humidité haute performance garantit une surface parfaitement brillante et parfaitement transparente.

La résine époxy transparente RESINPRO est idéale pour les applications suivantes :

- Créations artistiques ;
- Modellisme ;
- Revêtement de sol artistique ;
- Réparation de fibre de verre ;
- Revêtements de protection pour une utilisation en extérieur ;
- Nautisme ;
- Imprégnation de tissus techniques (fibre de verre, fibre de carbone, Kevlar).

DOMAINES D'UTILISATION

- **Artistique** : Utilisable comme résine époxy pour la coulée et l'enrobage
- **Artisanale**: Création de tables et de surfaces d'appui (haute résistance mécanique et hautes températures)

- **Industriel** : Peut être utilisé comme résine autolissante transparente pour les sols.
- **Decoratif** : parfaitement compatible avec les pâtes de coloration et les poudres métalliques, il permet une extrême polyvalence chromatique.

PRINCIPALES UTILISATIONS

- Créations artistiques;
- Bois et transformation associée ;
- Modellisme ;
- Sols artistiques ;
- Réparation de fibre de verre ;
- Revêtements de protection pour une utilisation en extérieur ;
- Nautisme ;
- Imprégnation de tissus techniques (fibre de verre, fibre de carbone, Kevlar).

PROCÉDURE D'APPLICATION

- ✓ Respecter le ratio d'utilisation A+B (100:60 en poids) avec une balance, suivant la formule simple :

$$\text{grammes de } A \times 0,60 = \text{grammes de } B$$

Quelques exemples :

$$100g A \times 0,60 = 60g B$$

$$150g A \times 0,60 = 90g B$$

- ✓ Une fois les composants combinés dans un récipient propre, bien mélanger pendant au moins 3 minutes. Cela évitera les irrégularités qui endommageraient la finition de surface.
- ✓ Toutes les résines époxy sont sensibles à l'humidité (y compris celle de l'air). Par conséquent, afin d'éviter l'opacité de la surface, il est conseillé d'appliquer au moins 20 ° C-25 ° C (en particulier lors de l'application de la résine en fines épaisseurs de 1-2 mm)
- ✓ Si vous voulez faire des "coulées" d'une épaisseur de plusieurs centimètres, il faut diviser l'application en plusieurs "coulées" d'un maximum de 250g chacune (en tout cas pas plus de 2cm d'épaisseur à la fois) et attendre qu'elle durcisse avant d'ajouter la deuxième couche. En fait, les résines époxy, si elles sont appliquées en grande quantité,

elles peuvent développer une réaction exothermique (atteignant des températures élevées, supérieures à 150 °C).

- ✓ Si des bulles d'air restent à la surface, ne vous inquiétez pas : utilisez simplement un sèche-cheveux ou une autre source de chaleur pour faciliter leur sortie.
- ✓ Le système époxy transparent mûrit après environ 12h et atteint une bonne dureté en 24h-48h (en fonction de la température de catalyse). Si vous souhaitez polir mécaniquement la surface (papier de verre + crème à polir), nous vous recommandons d'attendre 24 heures de plus pour laisser le temps au produit d'atteindre une dureté maximale et donc d'être plus facile à polir !

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
Couleur	Transparente
Densité	1,08 ± 0,02 kg/l
Viscosité Composant A	800 ± 120 mPa s (20°C)
Viscosité Composant B	300 ± 100 mPa s (20°C)
POT LIFE 25°C	50 ± 10 minutes (150g)
Application par coulée autonivelante	Consommation théorique 1,600 g/mq
3251 Résistance à la compression	> 75 MPa
Résistance à la flexion	> 90 MPa
Force d'adhésion	> 4,0 MPa
Dureté	Shore D 80 EN ISO 868
Résistance à l'abrasion	< 100 mg
Résistance chimique	Hydroxyde de sodium 20% - Classe I et II Acide sulfurique 20% Classe I et II

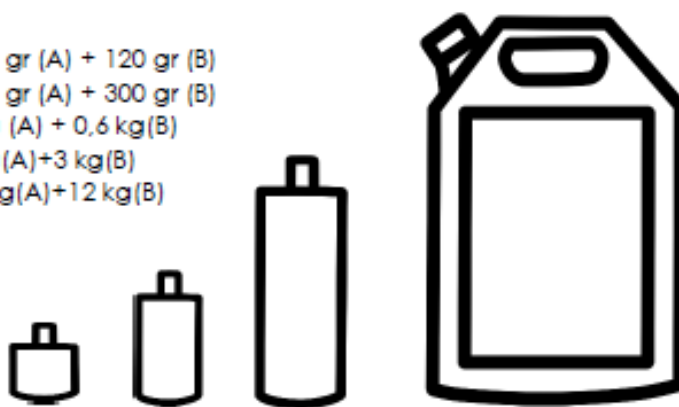
NOTE

Lors de l'application de TRANSPARENT RESINPRO, il faut tenir compte du fait que des changements de facteurs tels que la porosité de la surface, l'humidité, la température et la méthode d'application peuvent modifier la catalyse du produit.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**CONDITIONNEMENTS**

Disponibles →

- ✓ 200 gr (A) + 120 gr (B)
- ✓ 500 gr (A) + 300 gr (B)
- ✓ 1kg (A) + 0,6 kg(B)
- ✓ 5kg(A)+3 kg(B)
- ✓ 20kg(A)+12 kg(B)




RESINPRO TRANSPARENTE est conditionnée dans des contenants scellés, à utiliser dans les 12 mois à compter de la date d'emballage. Protégez le matériau de l'humidité, du gel et de la lumière directe du soleil.

Température de stockage : +10° e +35°C.

Les produits doivent rester dans leurs contenants d'origine non ouverts. MESURES DE SÉCURITÉ SANITAIRE Pendant la préparation et l'application de TRANSPARENT RESINPRO, il est recommandé d'utiliser des vêtements de protection tels que des gants, des lunettes et un masque. Pendant l'application, ne pas manger, ne pas boire et ne pas fumer. En cas de contact avec les yeux ou la peau, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un médecin. Il est également recommandé de ne pas jeter le produit dans l'environnement. POUR PLUS D'INFORMATIONS CONCERNANT L'UTILISATION SÉCURISÉE DU PRODUIT, IL EST RECOMMANDÉ DE CONSULTER LA DERNIÈRE VERSION DE LA FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ. PRODUIT À USAGE PROFESSIONNEL.

Annexe 3: Procédure de séchage et d'inclusion en résine d'un parasite

 Laboratoire de Parasitologie	PROCEDURE	Version 1.0 14-10-22
	Déshydratation de parasites pour inclusion en résine	

1. Objet et domaine d'application

Déshydratation des parasites avant mise en résine

2. Documents de référence

Thèse Sarah Leprince : Inclusions de parasites en résine : mise au point technique et intérêts pédagogiques

3. Hygiène et sécurité

Port de blouse et de gants.

Travail sous hotte pour le xylène

4. Principe de la méthode

Laisser tremper le parasite dans différents bains afin de le déshydrater.

5. Matériels nécessaires

Pots hermétiques, pinceau pour manipuler les parasites

6. Réactifs (chimiques et biologiques)

Alcool 70%, alcool 100%, xylène, parasite


7. Contrainte de la méthode

Réalisation sur au moins 3 jours.

8. Mode opératoire

- Mettre le parasite dans un pot hermétique contenant de l'alcool à 70% et le laisser pendant au moins 24h.

- Transférer le parasite dans un pot hermétique contenant de l'alcool à 100% et le laisser pendant au moins 24h.
- Transférer le parasite dans un pot hermétique contenant du xylène et le laisser pendant au moins 24h sous hotte.

 Laboratoire de Parasitologie	PROCEDURE	Version 1.0
	Inclusion en résine de parasite	14-10-22

1. Objet et domaine d'application

Technique d'inclusion en résine époxy d'un parasite (tique, mouche, mélophage). Création de pièces de collection pour la reconnaissance d'espèces en TP.

2. Documents de référence

Thèse Sarah Leprince : Inclusions de parasites en résine : mise au point technique et intérêts pédagogiques

3. Hygiène et sécurité

Port de blouse et de gants.

Travail sous hotte ou avec masque FFP2 dans pièce aérée.

4. Principe de la méthode

Réalisation d'une coulée de résine (voir dessous), une fois sec (24h après) mettre une goutte du mélange sur la première coulée et poser le parasite séché dessus, une fois sec (24h après) refaire une coulée recouvrant le parasite.

5. Matériels nécessaires

Verre jetable à fond plat, moules en silicone, parasites à inclure dans la résine, pinceau pour manipuler les parasites, bâtonnet en bois pour mélanger les composants de la résine, balance de précision (0,1-2 kg), composants de la résine : pot A (résine) et B (durcisseur), allume-feu, pompe à vide, chambre à vide, chronomètre

6. Réactifs (chimiques et biologiques)

Composants A (résine) et B (durcisseur), parasite

7. Contrainte de la méthode

Réalisation sur au moins 3 jours.

8. Mode opératoire.

Une coulée de résine :

1. Lavage des moules en silicone et des verres doseurs (retrait des poussières)
2. Peser la quantité voulue de résine (A) et de durcisseur (B) en proportions précises (dans notre cas $B = 0,6 \times A$), démarrer par peser la plus petite quantité des deux (le B)
coulée simple de résine $3gB + 5gA$, coulée recouvrant mouche $6gB + 10gA$

3. Mélanger doucement pendant 7 minutes jusqu'à ce que la préparation soit homogène *les 7 minutes sont pour un mélange de maximum 6gB + 10gA, mettre 10 minutes si 12gB + 20gA (des lignes blanches pales sont visibles lorsque le mélange n'est pas homogène, à la fin du temps prévu vérifier que la préparation est totalement transparente)*
4. Aspiration des bulles dans la pompe à vide (voir photos explicatives plus bas)
5. Verser doucement le contenu du verre dans le moule en silicone
6. Recouvrir d'un papier pour éviter que les poussières ne se déposent sur la résine, vérifier que le moule en silicone est sur une surface plane et droite et attendre 24h pour une catalyse complète, à une température stable

Inclusion d'un parasite :

1. Réaliser une coulée de résine
2. (attendre 24h)
3. Utiliser une goutte d'un mélange coulé dans un autre moule, la déposer au centre de notre première coulée, poser le parasite déshydrater dessus
4. (attendre 24h)
5. Réaliser une coulée de résine, recouvrant le parasite.
6. (attendre 24h)
7. Démouler le bloc de résine, le conserver à l'abri de la lumière, dans un tissu

Procédure pompe à vide :

1. Poser le verre avec la résine dans la chambre à vide
2. Poser le couvercle et fermer la chambre à vide (robinet droit orienté perpendiculairement par rapport à la sortie, voir figure 2 (a))
3. Allumer la pompe à vide
4. Arrêter quand la pression cesse de descendre au sein de la chambre (vide fait) *attention dans la notice il est précisé que la pression ne doit pas dépasser -27 mmHg*
5. Ouvrir en partie le robinet pour que la pression réaugmente dans la chambre de façon progressive (voir figure 2 (b))
6. Une fois que la pression est remontée au-dessus de -10 mmHg, ouvrir le robinet en entier (robinet parallèle par rapport à la sortie, voir figure 2(c))
7. Retirer le couvercle et récupérer le verre



Photo 1: Chambre à vide avec son couvercle

(a) Robinet fermé (à droite)



(b) Robinet entrouvert (à droite)



(c) Robinet ouvert (à droite)



Photo 2: Position du robinet de la chambre à vide (fermé, entrouvert, ouvert)

ATTENTION

La résine est un produit irritant pour la peau.

Portez des équipements de protection individuelle lors de la manipulation



ATTENTION

La résine est dangereuse pour l'environnement.

Ne rien jeter à l'évier ou dans la nature.

Le questionnaire VARK (Version 7.0)

De quelle façon j'apprends le mieux ?

Ce questionnaire vous renseignera sur le style d'apprentissage que vous favorisez pour acquérir et utiliser les idées et les informations. Choisir la réponse qui décrit le mieux votre préférence et encercler la lettre correspondante. Vous pouvez encercler plus d'une lettre si une réponse unique ne vous suffit pas. Ne pas répondre à la question si aucune solution ne vous convient.

1. Vous aidez une personne qui souhaite se rendre à l'aéroport, à la gare ou en centre-ville.

- a. vous allez avec elle
- b. vous lui indiquez oralement la direction
- c. vous lui écrivez sur une feuille les directions (sans carte)
- d. vous lui dessinez une carte

2. Vous êtes incertain de l'orthographe du mot « dépendant » ou « dépendent ». Que faites-vous ?

- a. vous visualisez le mot mentalement et choisissez l'orthographe selon l'apparence
- b. vous les répétez mentalement et choisissez
- c. vous cherchez le mot dans un dictionnaire
- d. vous écrivez les deux versions sur un papier et choisissez.

3. Vous organisez un séjour de vacances pour un groupe de touristes et souhaitez avoir leur avis sur le programme.

- a. vous décrivez quelques-uns des hauts lieux touristiques ou culturels
- b. vous utilisez une carte ou un site Web pour leur montrer les sites
- c. vous leur donnez une copie imprimée de l'itinéraire
- d. vous les contactez par téléphone ou e-mail.

4. Vous voulez cuisiner un plat spécialement pour votre famille.

- a. vous cuisinez un plat que vous connaissez sans recette

- b. vous demandez des suggestions à des amis
- c. vous feuillotez un livre de cuisine et choisissez la recette d'après les illustrations
- d. vous cherchez une recette bien précise dans un livre de cuisine.

5. Un groupe de touristes souhaiteraient connaître les parcs et réserves naturels existant dans votre région.

- a. vous leur faites ou organisez une présentation spécialement pour eux
- b. vous leur montrez des sites Internet ou des livres sur ces réserves
- c. vous les emmenez vous-même visiter ces lieux
- d. vous leur donnez les brochures et documentations sur ces réserves

6. Vous voulez acheter un appareil photo numérique ou un téléphone mobile. Mis à part le prix, qu'est qui vous influencera dans votre choix ?

- a. le fait de l'essayer ou de le tester
- b. la lecture détaillée de ses caractéristiques et performances
- c. son design et son look modernes
- d. l'avis du vendeur sur ce produit

7. Rappelez-vous le temps où vous appreniez des nouveautés (pas de celles qui font intervenir des performances physiques !). Vous appreniez mieux

- a. en regardant une démonstration
- b. en écoutant quelqu'un expliquer et en posant des questions
- c. en utilisant des diagrammes, des tableaux et des images
- d. en lisant un manuel d'instructions.

8. Vous avez un problème au genou. Vous préférez que le docteur

- a. vous donne une adresse Web ou un document où vous trouverez des explications
- b. utilise un modèle en plastique du genou et vous montre ce qui ne va pas
- c. vous décrit simplement ce qui ne va pas

d. vous montre sur un schéma ce qui ne va pas.

9. Vous devez apprendre un nouveau programme ou jeu sur un ordinateur.

a. vous lisez le manuel d'instructions fourni avec le programme

b. vous discutez avec des personnes qui connaissent déjà le programme

c. vous utilisez l'aide du programme ou l'aide en ligne

d. vous suivez sur le schéma fourni avec le manuel d'utilisation

10. Vous aimez les sites Web avec

a. des choses sur lesquelles on peut cliquer

b. un joli design et des jolies images

c. d'intéressantes descriptions et explications

d. des animations, des vidéos, etc..

11. À part le prix, qu'est ce qui pourrait influencer votre décision d'acheter un ouvrage de non-fiction ?

a. son aspect est attractif

b. vous en avez lu rapidement quelques paragraphes

c. un ami vous en a parlé et vous le recommande

d. il relate des histoires et des expériences vraies.

12. Vous utilisez un manuel, un site ou un CD pour apprendre à utiliser votre nouvel appareil photo numérique. Vous aimeriez avoir

a. une possibilité de poser des questions à propos de cet appareil précis

b. des instructions claires sur toutes ses possibilités

c. des diagrammes décrivant l'appareil, ses différentes parties et leurs fonctions

d. de nombreux exemples de bonnes et mauvaises photos et les méthodes pour les améliorer

13. Préférez-vous un enseignant ou un exposant qui utilise

a. des démonstrations, des modèles et des sessions pratiques

- b. des discussions et échanges avec questions-réponses
- c. des extraits de manuels, ouvrages et autres lectures
- d. des diagrammes, graphiques, figures...

14. Vous avez terminé un test ou une compétition. Vous désirez avoir un retour de ce que vous avez fait

- a. sous forme d'exemples
- b. sous forme de description écrite de vos résultats
- c. de la part qu'une personne qui vous détaille toutes vos réponses
- d. sous forme de graphiques qui vous montrent ce que vous avez accompli.

15. Vous choisissez ce que vous allez manger dans un restaurant

- a. vous choisissez un plat que vous avez déjà consommé dans ce restaurant
- b. vous écoutez les recommandations du serveur ou de vos amis
- c. vous choisissez d'après le descriptif du plat
- d. vous jetez un coup d'oeil à ce que les voisins mangent

16. Vous devez faire une conférence ou un important discours lors d'une occasion spéciale.

- a. vous faites des diagrammes ou des graphiques pour expliquer chaque point de votre discours
- b. vous écrivez quelques mots clés et répétez votre discours à de nombreuses reprises
- c. vous écrivez tout votre discours et l'apprenez en le lisant plusieurs fois
- d. vous rassemblez de nombreux exemples ou anecdotes qui rendront votre discours concret et réaliste

Le classement des réponses

Utiliser le tableau suivant pour trouver la catégorie VARK correspondant aux réponses que vous avez données, en entourant les lettres correspondantes.

EXEMPLE : Si vous avez répondu b et c à la question 3, entourer V et R sur la ligne correspondantes

Question	Catégorie a	Catégorie b	Catégorie c	Catégorie d
3	K	V	R	A

REPONSES :

Question	Catégorie a	Catégorie b	Catégorie c	Catégorie d
1	K	A	R	V
2	V	A	R	K
3	K	V	R	A
4	K	A	V	R
5	A	V	K	R
6	K	R	V	A
7	K	A	V	R
8	R	K	A	V
9	R	A	K	V
10	K	V	R	A
11	V	R	A	K
12	A	R	V	K
13	K	A	R	V
14	K	R	A	V

15	K	A	R	V
16	V	A	R	K

CALCUL DU SCORE

Compter le nombre de chaque lettre entourée pour avoir votre score pour chaque catégorie :

Nombre de **V** :

Nombre de **A** :

Nombre de **R** :

Nombre de **K** :

Annexe 6 : Tableau de répartition des heures d'enseignements allouées à la parasitologie à VetAgro Sup Lyon (année 2022-2023)

Nom du module et semestre où il est enseigné	Nombre d'heures (Nombre de cours magistral de 45 minutes)	Nombres heures (Travaux dirigés et/ou travaux pratiques, nombre de sections de 45 minutes)
S3 : partie du module <i>AGENTS INFECTIEUX</i>	6h (8)	/
<i>S5 : PARASITOLOGIE GÉNÉRALE 1 : HELMINTHOLOGIE ET PROTOZOLOGIE</i>	11,25h (15)	14,25h (19)
<i>S5 : MEDECINE PREVENTIVE</i>	/	2,25h (3)
<i>S6 : PARASITOLOGIE GÉNÉRALE 1 : ENTOMOLOGIE, ACAROLOGIE ET MYCOLOGIE</i>	8,25h (11)	9,75h (13)
<i>S7 : MALADIES PARASITAIRES DES RUMINANTS</i>	10,5h (14)	4,5h (6)
<i>S8 : MALADIES PARASITAIRES DES CARNIVORES</i>	12,75h (17)	1,5h (2)
SOUS-TOTAL par type d'enseignements	38,25h (65)	32,25h (43)
TOTAL sur l'intégralité du cursus vétérinaire	81h (108 séquences de 45 minutes)	

INCLUSION EN RESINE DE PARASITES : MISE AU POINT TECHNIQUE ET INTERETS PEDAGOGIQUES

LEPRINCE Sarah

Résumé

La résine époxy est un polymère thermodurcissable utilisé dans des domaines très variés. Sa stabilité dans le temps, sa facilité d'utilisation, sa transparence et son esthétisme permettent d'envisager son utilisation dans un cadre autre qu'industriel ou récréatif : un cadre pédagogique.

Le but de ce travail a été de mettre au point une technique permettant la réalisation d'inclusions en résine de parasites visibles à l'œil nu, utilisables ensuite pour des travaux pratiques de reconnaissance de parasites. Ce travail a été réparti en 3 étapes : l'obtention d'une résine transparente sans bulles ; l'inclusion d'un parasite propre, sec, bien étalé et sans bulles à sa surface afin que toutes ses structures soient visibles et qu'il se conserve dans le temps ; le polissage et le ponçage de la résine brute obtenue.

Malgré la nécessité de disposer de vétérinaires compétents en parasitologie afin de lutter contre les maladies animales et humaines présentes et à venir, l'apprentissage de la parasitologie a connu un recul dans son enseignement, notamment en nombre d'heures allouées. De nombreuses méthodes ont été développées afin de motiver les étudiants à apprendre cette matière, notamment par la diversification des méthodes d'apprentissage (passage à de l'enseignement actif, stimulant d'autres préférences sensorielles d'apprentissage). Dans ce cadre, les parasites inclus en résine constituent un outil qui présente de nombreuses perspectives d'utilisation, par exemple en pièces d'un jeu consistant à replacer chaque parasite dans son organe ou hôte préférentiel (*jeux sérieux*), ou en base pour recréer les cycles parasitaires grandeur nature.

Mots-clés

Parasites, Résine, Apprentissage, Pédagogie

Jury

Président du jury : **Dr TOBOIS Stéphane**
Directeur de thèse : **Pr ZENNER Lionel**
2^{ème} assesseur : **Dr BOURGOIN Gilles**