Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®

Samuel Boivin

▶ **To cite this version:**

Samuel Boivin. Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®. Sciences du Vivant [q-bio]. 2010. hal-01733702

HAL Id: hal-01733702
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733702

Submitted on 14 Mar 2018

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.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

ACADEMIE DE NANCY-METZ
UNIVERSITE HENRI POINCARE-NANCY 1
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2010 **N° : 3213**

THESE

Présentée pour le

DIPLOME D'ETAT
EN CHIRURGIE DENTAIRE

Par

BOIVIN Samuel

Né le 31 août 1984 à Dole (39).

Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®

Présentée et soutenue publiquement le 01 Avril 2010

Examinateurs de la thèse :

M. J.-P. LOUIS	Professeur des Universités	Président
M. J.-P. SALOMON	Maître de Conférences des Universités	Juge
M. J. SCHOUVER	Maître de Conférences des Universités	Juge
M. C. RAPIN	Professeur des Universités	Juge

Nancy-Université
Université Henri Poincaré

Faculté d'Odontologie

Président : Professeur J.P. FINANCE — *Doyen : Docteur Pierre BRAVETTI*

Vice-Doyens : Pr. Pascal AMBROSINI - Dr. Jean-Marc MARTRETTE

Membres Honoraires : Dr. L. BABEL - Pr. S. DURIVAUX - Pr. G. JACQUART - Pr. D. ROZENCWEIG - Pr. M. VIVIER

Doyen Honoraire : Pr. J. VADOT

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique	Mme	**DROZ Dominique (Desprez)**		Maître de Conférences
	M.	PREVOST Jacques		Maître de Conférences
	M.	BOCQUEL Julien		Assistant
	Mlle	PHULPIN Bérengère		Assistant
	M.	SABATIER Antoine		Assistant
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme	**FILLEUL Marie Pierryle**		Professeur des Universités*
	M.	BOLENDER Yves		Maître de Conférences
	Mlle	PY Catherine		Assistant
	M.	REDON Nicolas		Assistant
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	M.	*Par intérim ARTIS Jean Paul*		Professeur 1er grade
	Mme	JANTZEN-OSSOLA Caroline		Assistant
Sous-section 57-01 Parodontologie	M.	**AMBROSINI Pascal**		Professeur des Universités*
	Mme	BOUTELLIEZ Catherine (Bisson)		Maître de Conférences
	M.	MILLER Neal		Maître de Conférences
	M.	PENAUD Jacques		Maître de Conférences
	M.	GALLINA Sébastien		Assistant
	M.	JOSEPH David		Assistant
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique Anesthésiologie et Réanimation	M.	**BRAVETTI Pierre**		Maître de Conférences
	M.	ARTIS Jean-Paul		Professeur 1er grade
	M.	VIENNET Daniel		Maître de Conférences
	M.	WANG Christian		Maître de Conférences*
	M.	BALLY Julien		Assistant
	M.	CURIEN Rémi		Assistant
	Mlle	SOURDOT Alexandra		Assistante
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M.	**WESTPHAL Alain**		Maître de Conférences*
	M.	MARTRETTE Jean-Marc		Maître de Conférences*
	Mlle	ERBRECH Aude		Assistante Associée au 01/10/2007
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M.	**ENGELS-DEUTSCH Marc**		Maître de Conférences
	M.	AMORY Christophe		Maître de Conférences
	M.	MORTIER Eric		Maître de Conférences
	M.	CUNY Pierre		Assistant
	M.	HESS Stephan		Assistant
	Mlle	PECHOUX Sophie		Assistante
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M.	**SCHOUVER Jacques**		Maître de Conférences
	M.	LOUIS Jean-Paul		Professeur des Universités*
	M.	ARCHIEN Claude		Maître de Conférences*
	M.	DE MARCH Pascal		Maître de Conférences
	M.	BARONE Serge		Assistant
	Mlle	BEMER Julie		Assistante
	Mlle	RIFFAULT Amélie		Assistante
	Mlle	MONDON Hélène		Assistant
	M.	SIMON Franck		Assistant
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mlle	**STRAZIELLE Catherine**		Professeur des Universités*
	M.	RAPIN Christophe (Section 33)		Professeur des Universités
	Mme	MOBY Vanessa (Stutzmann)		Maître de Conférences*
	M.	SALOMON Jean-Pierre		Maître de Conférences
	Mme	JAVELOT Cécile (Jacquelin)		Assistante Associée au 01/01/2009

souligné : *responsable de la sous-section* *temps plein

Mis à jour le 01.02.2010

Par délibération en date du 11 décembre 1972,
la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que
les opinions émises dans les dissertations
qui lui seront présentées
doivent être considérées comme propres à
leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner
aucune approbation ni improbation.

LOUIS Jean-Paul

Officier des Palmes Académiques
Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences Odontologiques
Docteur d'Etat en Odontologie
Professeur des Universités
Membre de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire
Sous-section : Prothèses

Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de présider mon jury de thèse.

A travers votre enseignement, vous nous avez appris la rigueur dans le travail grâce à votre expérience clinique et à votre grand sens de la pédagogie.

Je vous remercie pour vos bons conseils prodigués, aussi bien en clinique qu'à la faculté.

SCHOUVER Jacques

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences Odontologiques
Maître de Conférences des Universités
Responsable de la sous-section : Prothèses

Vous me faites l'honneur d'accepter de juger mon travail, je vous en suis très reconnaissant.

Je vous remercie sincèrement pour votre enseignement et pour votre pédagogie dont vous avez fait preuve tout au long de mes études.

Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect, ainsi que de mon admiration la plus sincère.

SALOMON Jean Pierre

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités
Sous-section : Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie

Vous êtes à l'origine de ce travail et vous avez permis de concrétiser cette étude.

Je vous suis très reconnaissant d'avoir pris le temps de diriger ce projet.

Tout au long de mon cursus, j'ai également pu apprécier vos qualités humaines et votre disponibilité. Vos conseils éclairés m'aident chaque jour dans mon exercice.

Soyez assuré de notre gratitude.

RAPIN Christophe

Professeur des universités
Habilité à diriger des recherches en physique
Docteur en sciences des matériaux
Responsable du CES de " technologie des matériaux appliqués en art dentaire"
Co-directeur de la licence " matériaux pour la santé"

Vous avez accepté avec gentillesse de prendre part à mon jury.

J'ai eu la change de profiter de vos qualités humaines et professionnelles durant mes expériences au sein de votre faculté.

Pour la gentillesse et l'intérêt que vous m'avez témoigné lors de mes années d'études, qu'il me soit permis aujourd'hui de vous exprimer ma profonde estime et ma vive reconnaissance.

A MES PARENTS

En espérant que cette thèse concrétise vos 25 années d'éducation. Merci pour vos sacrifices qui me permettent aujourd'hui d 'être très heureux dans mon exercice professionnel. Je suis très fier d 'être votre grand. Prenez soin de vous.

A MA PETITE SŒUR CHERIE

Ma championne. Merci de m 'avoir soutenu par tes petits mots qui m 'ont permis d'atteindre mon but. Tu comptes beaucoup pour moi.

A MON PETIT FRERE

Mon champion. Je suis très fier de ton parcours mais surtout de te voir sur un podium.

A MA FAMILLE

A mes papys et ma mamie, partis trop tôt.

A MES ENTRAINEURS

AU SPORT UNIVERSITAIRE, AU SIUAPS,

Merci de m'avoir permis de connaître le niveau national et de me frotter aux meilleurs. Merci pour votre organisation et votre engagement. J 'ai un profond respect pour vous.

A MES AMIS.

Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®

1. Introduction……………………………………………………………..…1

2. Les résines composites et la lumière……………………………………..2

2.1. Les caractéristiques des résines composites….…………………….……………….…..2

2.1.1. Les constituants………..……………………………………………………………..…2

2.1.1.1. La phase organique………..…………………………………………….......2

2.1.1.2. La phase inorganique…..………………………………………….…..….3

2.1.1.3. L'agent de couplage………………………………...……………………......3

2.2. Le comportement de la lumière en fonction des caractéristiques de la matière.…..........4

2.2.1 Interaction entre lumière et matière…………………………………………….……4

2.2.2. Rayonnement de la couleur…………..…………………………………...……4

2.2.3. Loi de Beer Lambert – Absorbance – Transmittance……………………………….5

2.2.4. Les paramètre de la couleur……………………..…………………....……... 6

2.3. L'effet de la couleur et de la translucidité sur la profondeur de polymérisation…..……7

3. Les lampes à photo polymériser les composites……………………….….…..8

3.1 Le cahier des charges d'un générateur de photo polymérisation……..……………...…...10

3.2. Les lampes halogènes et LED…………………….……………..………………….....10

3.2.1. Lampes halogènes………………………………………………………….........13

3.2.2. Lampes à diodes électroluminescentes……………………………….….……14

3.3. Conclusion……………….……………...…………………………………….……… 16

4. Etude de l'absorption d'une résine composite:Amaris®.……….………… 17

4.1. Introduction….……………………………………………………..……….….….. 17

4.2. Matériels…….……………………...……………………………………………..…...17

4.2.1 Les résines composites : Amaris...….….... 17

4.2.2 Les Récepteurs……………………..…………..……..……………………………18

4.2.2.1 Le radiomètre (demetron)…………………….....………………………............18

4.2.2.2.Le spectrophotomètre…….…….………………………………….….……....18

4.2.3. Lampe halogène translux Energy d'heraus Kulzer…..……..…………….…........ 18

4.3. Protocole expérimental…..………..………………………………………………….....19

4.3.1. Préparation des échantillons de composite…….…………………………..….…..... .19

4.3.2 Protocole de mesure……………..….……….…...……………….…………………....20

4.4. Résultats………………....…………………………………………………………........20

4.4.1. Radiomètre……..……....20
4.4.2. Spectrophotomètre …..……..…….....31
4.4.2.1.En fonction de la couleur..……..…….…….31
4.4.2.2. Par épaisseur…….....49
4.4.3.Paramètres colorimétriques…….…….....…….....56
4.4.4. Courbes de corrélation..…….....……...…….....65
4.4.5. Coefficient de corrélation……..…….……96

5. Conclusion……...…… 99

6. Bibliographie…….…… 101

1. Introduction :

La demande croissante pour des restaurations invisibles ainsi que la recherche de matériaux de substitution à l'amalgame ont mené à un boom croissant des composites. L'industrie dentaire a développé des matériaux modernes à base de composite difficilement distinguables des dents naturelles. Ces possibilités ont non seulement augmenté les attentes des patients, mais ont aussi poussé les ambitions des praticiens soucieux d'esthétique. En conséquence, les dentistes spécialisés en dentisterie esthétique demandent des matériaux qui offrent des possibilités plus étendues que les matériaux composites précédents.

Une dent n'est pas simplement un "carreau blanc". Elle est composée de dentine et d'émail et est implantée dans un tissu mou. Connaissant la structure d'une dent, il est compréhensible qu'il soit nécessaire de travailler avec un assortiment de masses de dentine, d'émail et de caractérisation, afin de réaliser des restaurations invisibles et naturelles.

Ainsi, le but de ce travail est de s'intéresser aux coefficients d'absorption de lumière par les résines composites, et ceci, en fonction de la couleur (dentine et émail) et de l'épaisseur. En conséquence, nous nous intéresserons plus particulièrement à un composite utilisé dans des restaurations esthétiques : L'Amaris de Voco qui sera soumis à une lampe halogène.
Avant la description et les résultats de cette étude nous ferons, dans une première partie, un rappel sur les résines composites et nous analyserons l'impact de la lumière sur les résines composites. Dans une seconde partie, nous décrirons les lampes halogènes et LED.

2. Les résines composites et la lumière.

2.1. Les caractéristiques des résines composites.

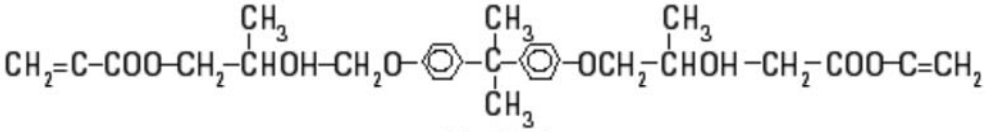
2.1.1. Les constituants.

Un composite est, par définition, un mélange de deux matériaux au moins. Chacun des constituants contribue aux propriétés du composite. L'objectif est de cumuler les propriétés favorables des divers constituants et de minimiser les défauts. Les résines composites à usage dentaire combinent une phase dispersée ou charge inorganique possédant d'excellentes propriétés mécaniques et esthétiques, à une phase dispersante ou phase organique ou matrice résineuse. Cette dernière sert de liant, permet l'insertion du matériau sous forme plastique, durcissant in situ, mais ayant malheureusement une faible résistance mécanique, un coefficient d'expansion thermique élevé et une rétraction de prise importante. Les deux phases sont liées entre elles par un procédé de couplage appelé silanisation. Les trois constituants des résines composites dentaires seront successivement décrits :

• la phase organique ;
• la phase inorganique ;
• l'agent de couplage. (22 ;26)

2.1.1.1. La phase organique.

La matrice de Bowen ou BIS-GMA est la plus répandue.



Bis-GMA

La phase organique ou dispersante ou continue représente 25 à 50 % du volume du composite. Elle comprend la résine, les abaisseurs de viscosité, le système de polymérisation et divers additifs.

La résine matricielle est le composant chimiquement actif du composite. Initialement, il s'agit d'un monomère fluide qui est converti en un polymère rigide par une réaction d'addition. Cette possibilité de passer d'une masse plastique à un solide rigide permet l'utilisation de ce matériau pour la restauration directe. Généralement, la matrice organique est basée sur la chimie des méthacrylates, plus particulièrement des diméthacrylates permettant la création de *cross-linking*. La polymérisation permet la formation d'un réseau tridimensionnel dans lequel les charges sont dispersées et fixées. Suite à la faible flexibilité du polymère en formation, seule une partie des monomères est convertie en polymère (taux de conversion moyen). La sélection des monomères influence fortement la viscosité, la rétraction de prise, l'absorption d'eau et les propriétés mécaniques du composite. (18 ;19 ;26)

2.1.1.2. la phase inorganique.

Les composites actuels contiennent une grande diversité de particules variant par la taille, la composition et le pourcentage. La taille des particules utilisées dans les composites varie entre 0,02 μm et 50 μm. Le pourcentage de charges varie entre 35 et 90 % en poids, ce qui correspond à environ 20 à 77 % en volume. Les charges inorganiques améliorent les propriétés des résines. L'augmentation du pourcentage de charges modifie favorablement les propriétés mécaniques et physiques et réduit la rétraction de prise. La diminution de la dimension des charges améliore l'état de surface, l'esthétique et la résistance à l'usure.
Il existe donc des combinaisons nombreuses qui justifient en partie le grand nombre d'options commerciales, c'est le rapport charge/résine considéré en volume qui représente le principal critère de choix en fonction du cas clinique.(22 ;26)

2.1.1.3. L'agent de couplage.

Un composant essentiel des résines composites est l'agent de couplage entre les particules inorganiques et la phase organique continue.
Les premières résines chargées furent totalement insatisfaisantes, parce que la liaison entre la matrice et la charge était inadéquate. Les propriétés d'un composite augmentent lorsque l'affinité de la charge pour la matrice résineuse augmente. L'adhésion entre la résine et la charge facilite le transfert des stress entre ces deux composants et empêche la perte des particules à la surface de la restauration. Des agents de couplage (silane) sont utilisés afin de

lier la charge à la résine. Les organosilanes, tel le mercaptopropyl triméthoxysilane, sont généralement utilisés. En présence d'eau, les groupes méthoxy (-OCH3) sont hydrolysés en silanol (-Si-OH) qui peuvent se lier à d'autres silanol à la surface des charges par formation d'une liaison siloxane (-Si-O-Si). Le groupe méthacrylique situé à l'autre extrémité de l'organosilane pourra former une liaison covalente avec la résine du composite lors de la polymérisation, assurant ainsi l'union entre la phase organique et inorganique. La silanisation non seulement augmente les propriétés mécaniques du composite, mais permet également de réduire la perte des particules due à la pénétration de l'eau entre résine et charges.
Grâce aux méthodes douces de préparation des charges par la nanotechnologie, il est possible actuellement de créer directement des charges organominérales. (22 ;26)

2.2. Le comportement de la lumière en fonction des caractéristiques de la matière.

2.2.1 Interaction entre lumière et matière.

Lorsque la lumière frappe la matière, trois phénomènes peuvent se produire : l'énergie peut être réfléchie, transmise, ou absorbée. La plupart du temps, ces trois phénomènes se produisent simultanément, mais dans des proportions différentes suivant les matériaux soumis aux rayonnements. (27)

2.2.2. Rayonnement de la couleur.

Les couleurs des objets obéissent aux lois de l'absorption et de la réflexion. Lorsque la lumière entre en contact avec un objet, elle est réfléchie, absorbée ou transmise selon que l'objet en question est opaque, translucide ou transparent. Un objet opaque réfléchit toutes les longueurs d'ondes, un translucide transmet une lumière diffuse et un transparent permet une transmission maximale des longueurs d'ondes. En application dentaire, nous sommes davantage confrontés à l'opacité et à la translucidité qu'à la transparence, du fait des structures hétérogènes des matériaux utilisés. (15)

- L’absorption.

Lorsque la lumière tombe sur un matériau, une partie des radiations n’est ni réfléchie, ni transmise, mais est absorbée. Elle se transforme alors en chaleur.

Si chaque longueur d’onde de la lumière est absorbée dans la même proportion, l’objet est dit achromatique, sans couleur et donc apparaît soit blanc, soit gris, soit noir, suivant l’importance de l’absorption.

Le plus souvent, cette absorption est sélective: le matériau absorbe préférentiellement certaines longueurs d’ondes et diffuse les autres: il apparaît coloré.

La couleur d’une résine composite influencent la dispersion et l’absorption du matériau (12).

- la réflexion.

est le changement de direction d’une onde sur une surface réfléchissante. L’angle formé par la normale à la surface et la direction du rayon incident s’appelle l’angle incident. Une partie des ondes ne pénètre pas le milieu, mais se réfléchit. L’angle formé par le rayon réfléchi et la normale à la surface est l’angle de réflexion.

D’après les lois d’optiques géométriques, ces deux angles sont égaux. Les ondes traversant la surface limite subissent un changement de direction, elles se réfractent.

La couleur réfléchie est la longueur d’onde que l’objet n’a pas absorbée et qu’ 'il nous renvoi. Un pigment rouge absorbe sa couleur complémentaire et ne réfléchit que le rouge.

- la transmission.

Les couleurs transmises sont le résultat d’une émission de lumière au travers un objet coloré tel un filtre. Un filtre rouge transmet la lumière rouge et absorbe la bleue et la verte. (27)

2.2.3. Loi de Beer Lambert – Absorbance – Transmittance

La couleur d'un corps en transmission (transparence) représente sa capacité à absorber certaines longueurs d'onde. L'absorption d'une longueur d'onde λ par un produit est modélisée par la loi de Beer-Lambert :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot \rho \cdot x}$$

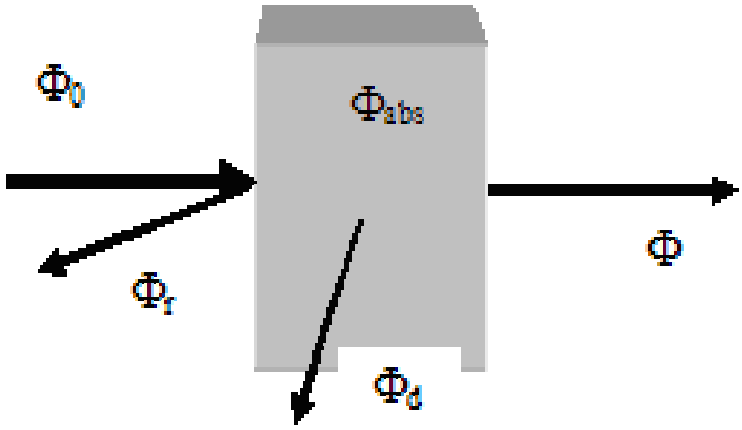
où

- I_0 est l'intensité incidente de la radiation λ, et I est l'intensité sortante ;
- μ est le coefficient d'absorption, qui dépend du produit et de λ ;
- ρ est la masse volumique du produit ;

- *x* est le chemin parcouru dans le produit.

Considérons une substance qui reçoit un flux lumineux incident Φ_0.
La lumière peut être réfléchi (Φ_r), diffusée (Φ_d), absorbée (Φ_a) et transmise ($\Phi_t = \Phi$).
La conservation de l'énergie permet d'écrire :

$$\Phi_0 = \Phi_r + \Phi_d + \Phi_a + \Phi$$



La spectroscopie d'absorption repose sur l'étude du rapport du flux incident sur le flux transmis.

2.2.4. Les paramètres de la couleur.

La couleur est décrite par trois attributs: teinte + luminosité + saturation

- La Teinte ou tonalité chromatique: est l'aspect subjectif de la longueur d'onde ; elle regroupe les sensations que l'on peut traduire dans le langage courant par les adjectifs vert, rouge, bleu…
- Saturation: Peut-être considérer comme la dimension d'une couleur qui se réfère à une échelle de sensations croissantes partant d'une sensation achromatique (blanc, gris ou noir), et allant par degrés vers la couleur pure spectrale considérée. Ces variations se traduisent dans le langage courant par les adjectifs saturé et lavé. C 'est l'intensité d'une teinte c'est-à-dire la quantité de pigment dans la teinte (claire à foncé).

- Luminosité : peut-être considérer comme la dimension d’une couleur qui se réfère à une échelle de sensation se déplaçant du noir en allant par degré des gris vers le blanc. Ces variations, dans le langage courant se traduisent par les adjectifs clair et foncé. (27)

L'opacité est l'inverse de la transparence. Qui s'oppose au passage de la lumière.
Il ne faut pas confondre transparence et translucidité.

- La notion de transparence est associée à un matériau qui laisse passer la lumière et fait apparaître, de manière distincte, les objets placés derrière; par conséquent, la lumière ne se réfléchit pas sur la surface de ce matériau.
- La notion de translucidité est associée à un matériau qui ne permet pas de voir distinctement les objets placés derrière. Une partie de la lumière est absorbée et le matériau apparaît plus opaque. (28)

2.3. L'effet de la couleur et de la translucidité sur la profondeur de polymérisation.

Idéalement, un composite photo polymérisable est optiquement transparent et, par conséquent, se caractérise par une grande profondeur de polymérisation. La profondeur de polymérisation est mesurée selon la norme ISO 4049. Dans ce but, un échantillon de 6 mm d'épaisseur est illuminé avec une lampe pendant 40 secondes, dans des conditions définies. Ensuite, la partie non polymérisée de l'échantillon de composite est grattée, et l'épaisseur restante est mesurée avec un pied à coulisse. En plus du degré de translucidité, la profondeur de polymérisation dépend du temps d'exposition, de la teinte (quantité de pigments contenus dans le composite) et de l'intensité lumineuse de la lampe.

3. Les lampes à photo polymériser les composites.

La photo polymérisation a deux contreparties. La première, c'est la longueur du temps de réalisation d'une stratification, ce qui a généré l'essor de lampes à haute énergie pour des temps d'irradiation plus courts. La seconde, à l'inverse, ce sont les contraintes brutales induites par la photo polymérisation, suffisamment intenses pour casser le joint d'étanchéité que forme le matériau au contact des parois cavitaires. Des lampes halogènes progressives ont été développées pour initier une polymérisation en douceur. Les principes régissant l'amorçage photochimique des composites ont connu ces dernières années de nouveaux développements, avec l'apparition d'une part de nouvelles sources lumineuses de haute énergie et la proposition de nouveaux dispositifs programmés pour une irradiation séquentielle ou progressive et d'autre part, de la technologie des lampes électroluminescentes. Il est important de connaître l'influence de ces nouveaux générateurs de lumière sur les performances des biomatériaux composites et sur celles des nouveaux matériaux à base de polymères (compomères, composites compactables ou bioactifs). En effet, la qualité de la polymérisation d'une matrice de composite va influencer les performances du matériau ; c'est vrai pour ses performances mécaniques (résistance à l'endommagement par usure, fatigue), mais également pour d'autres propriétés majeures :

:– propriétés optiques : indice de réfraction, résistance à la dyschromie ;

– propriétés biologiques : la présence de monomères résiduels peut induire des problèmes de biocompatibilité sur le plan local (cytotoxicité pulpaire) ou sur le plan général (allergie).

De nombreuses variables peuvent influencer le degré de polymérisation d'une matrice de composite. Ces principales variables sont :

– la nature de la lampe ;

– le temps de polymérisation ;

– la nature et la structure des biomatériaux composites ou dérivés (composites dits compactables, compomères) ;

– l'épaisseur du matériau ;

– la teinte du matériau ;

– la technique incrémentale.

Pendant vingt ans, les lampes halogènes ont été utilisées et ont permis de polymériser les composites. Ces dernières années, l'émergence de nouvelles technologies a considérablement bouleversé et diversifié le marché des lampes à photo polymériser pour les résines dentaires. Dès lors, il nous a paru intéressant de faire un point technique sur les principes de fonctionnement de ces matériels, qui restent assez obscurs pour la plupart des praticiens.

Il existe aujourd'hui un certain nombre de possibilités pour déclencher puis accompagner la polymérisation des monomères présents dans de nombreux produits dentaires comme les composites en dentisterie restauratrice ou les adhésifs en orthodontie. Depuis de nombreuses années sont disponibles des composites photo polymérisables dont la réaction de réticulation est déclenchée par une lumière émise dans une gamme de longueur d'onde située entre 400 et 500 nm.

L'objectif d'une lampe à photo polymériser est de lancer puis d'accompagner la réaction de prise des matériaux composites. À la différence d'une réaction de polymérisation classique qui suppose de mettre en présence deux composés (ou plus) réagissant entre eux au moment de leur mise en contact, la photo polymérisation permet que ces composés soient toujours en présence l'un de l'autre, sous forme inactive, et qu'en absence de lumière, ils ne réagissent pas. C'est un troisième corps, lui aussi présent, qui rend l'un d'eux suffisamment actif (ou excité) pour qu'il vienne réagir sur le deuxième. Cette réaction de photo polymérisation se passe en trois temps.

Dans la réaction proprement dite de polymérisation c'est un premier corps, appelé photo-initiateur, qui absorbe l'énergie photonique émise et va passer dans un état réactif. D'une manière générale, et plus spécifiquement en dentisterie, les photo initiateurs font partie de la famille des dicétones sensibles dans des zones de longueurs d'onde situées entre 390 et 490 nm. Plus précisément, la zone de meilleure sensibilité du photo-initiateur le plus utilisé en dentisterie restauratrice, la camphoroquinone (CQ), se situe à 470 nm (± 20 nm). L'idéal est donc d'avoir le maximum d'intensité dans une zone située entre 400 et 500 nm pour les lampes à photo polymériser. C'est ce que les lumières halogènes, plasmatiques et à diodes électroluminescentes nous offrent. L'important est d'avoir une lumière émise dans la zone où la camphoroquinone l'absorbe, mais qui est suffisamment large pour recouvrir tout le spectre de 425 à 500 nm, car il existe d'autres photo initiateurs sensibles à des longueurs d'onde différentes. L'idéal serait aussi qu'elle ne soit émise que dans une gamme de longueur d'onde efficace pour éviter les effets thermiques ou autres dispersions énergétiques.

Nous allons essayer de détailler les deux sources technologiques principales utilisées dans les lampes présentes sur le marché, c'est-à-dire :

– les lampes halogènes ;

– les lampes à diodes électroluminescentes (LED).

3.1. Le cahier des charges d'un générateur de photo polymérisation.

Une lampe à photo polymériser doit répondre à des critères de performance, de sécurité biologique ou de confort d'utilisation. Elle doit :

• produire un spectre adapté à l'amorçage de la polymérisation de tous les matériaux photo polymérisables. Les paramètres de ce spectre sont déterminés en termes d'irradiance et de longueur d'onde ;

• selon la norme ISO 4049, toute lampe à photo polymériser doit permettre d'obtenir un taux de conversion des monomères à 2 mm de profondeur, au moins égal à 80% de ce qu'il est en surface;

• ne pas induire d'altérations des tissus mous, en particulier pulpaires. En effet, malgré la faible conductivité thermique de la dentine, lors de la photo polymérisation de restaurations composites volumineuses, une élévation thermique peut être observée au niveau de l'organe dentaire. Cette élévation de température, lorsqu'elle dépasse 42,5 °C, peut induire des lésions irréversibles du parenchyme pulpaire ;

• présenter une flexibilité d'emploi par l'intermédiaire de programmes variés ;

• générer le moins de bruit possible ;

• être fiable et durable ;

• être maniable. Les lampes doivent offrir par leur légèreté et leur ergonomie une manipulation facile et permettre une excellente vision du champ opératoire quelle que soit la situation clinique. (13)

3.2. Les lampes halogènes et LED.

Au vu des données de la littérature, il apparaît que les lampes halogènes et les lampes à diodes électroluminescentes de deuxième génération assurent un meilleur degré de conversion de composite à une profondeur de 2 mm. D'autre part, il est indispensable de rappeler qu'il est impossible de polymériser vite et bien.

Les lampes plasma dont les atouts commerciaux avaient trouvé leur fondement dans le gain de temps lors de la polymérisation ne sont pas conseillées en raison de la qualité marginale médiocre procurée par la polymérisation rapide. (2)

Les premières lampes UV donnaient une profondeur de polymérisation limitée en raison de la faible transparence aux UV. De plus, elles étaient dangereuses pour les yeux et les tissus mous. La performance des lampes halogènes s'est progressivement améliorée au fur et à mesure des développements : comme la profondeur de polymérisation augmentait, les temps d'exposition pouvaient être considérablement réduits.

Les lampes à arc plasma et les lampes laser, qui procurent une forte intensité lumineuse, n'ont pas conquis le marché car elles produisent trop de chaleur et leur coût est trop élevé. Les diodes à lumière bleue (LED) sont maintenant utilisées comme les plus récentes sources de lumière dans les lampes à polymériser. Les LED ont les propriétés suivantes :

- lumière en sortie à température ambiante
- haute stabilité mécanique
- durée de vie élevée
- spectre d'émission étroit

Tandis que la puissance lumineuse des premières lampes LED était relativement basse (environ 400 mW/cm²), les lampes actuelles peuvent atteindre des intensités lumineuses de 900 mW/cm² si on les utilise avec un courant plus fort. (21)

Le principal système actuellement utilisé pour polymériser les composites dentaires est la photo polymérisation.

Dans ce cas, la polymérisation est déclenchée au gré de l'opérateur par un amorçage photochimique, le plus souvent à l'aide d'une lampe produisant de la lumière visible.

La lumière halogène, d'une intensité de 400 à 500 mW/cm2 environ, est ainsi utilisée depuis plus de vingt ans et permet de polymériser les composites sur des épaisseurs de 2 à 3 mm. Dans le cadre d'une recherche visant un mode de polymérisation plus rapide permettant au praticien de travailler plus efficacement, sont apparues, au cours des dernières années, des lampes halogènes avec intensités supérieures à 1000 mW/cm2, des lampes à plasma d'intensités deux fois supérieures et des lasers. L'apparition récente de lampes à diodes électroluminescentes (encore dénommées *LED : light emitting diode*) crée une alternative intéressante au processus classique de photo polymérisation. Ainsi cette partie a pour but de

revoir les deux types de sources utilisées dans notre étude, à savoir les lampes halogènes et LED.

Tous les appareils émettant des lumières bleues vont provoquer la polymérisation des composites dentaires photo polymérisables contenant de la camphoroquinone. Les sources lumineuses varient en ce qui concerne la puissance de sortie, le diamètre de l'embout de polymérisation, le nombre et la forme des embouts et la libération de chaleur.
De nombreuses sources utilisent des lampes régulières destinées à la projection audiovisuelle (lampe halogène) où un filtre spécial sélectionne la longueur d'ondes appropriée à ± 470 nm. Les unités photo polymérisantes conduisent la lumière bleue jusqu'au site de photo polymérisation par des fibres optiques, un tube de quartz ou un liquide (5). Ces systèmes de polymérisation génèrent toujours de la chaleur, en quantité variable. Ceci dépend non seulement de l'intensité lumineuse mais également de la filtration plus ou moins efficace des longueurs d'ondes plus grandes, génératrices de chaleur. La lumière bleue, responsable de la photo polymérisation du matériau composite, est par elle-même peu productrice de chaleur. La capacité d'une lampe à polymériser peut être déterminée de manière directe ou indirecte. De manière directe, l'intensité exacte d'irradiation, encore appelée flux et exprimée en mW de la lumière émise, peut être mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre.
Cette intensité peut être exprimée en mW/cm2 (irradiance) en tenant compte du diamètre de la fibre optique. Un radiomètre peut également être utilisé pour ce type de mesure mais sa précision est beaucoup moins bonne.
Les méthodes indirectes sont représentées par la mesure sur un échantillon de composite polymérisé de la dureté en surface et en profondeur, de la profondeur de polymérisation et du taux de conversion. Ces mesures indirectes sont beaucoup plus précises que les mesures directes et seules, permettent de connaître la réponse du matériau au rayonnement reçu, avec toute la connotation clinique que cela représente. Il a été démontré une bonne corrélation entre le degré de conversion (nombre de doubles liaisons ouvertes) et les propriétés mécaniques du matériau, particulièrement en ce qui concerne la dureté.

La polymérisation des composites est également influencée par un certain nombre de facteurs. Certains paraissent évidents (intensité de la source lumineuse, temps d'exposition, distance de la source lumineuse par rapport au composite), bien qu'il n'y ait pas de relation directe entre intensité et temps. D'autres sont plus subtils comme la teinte et/ou la transparence du

matériau. Ainsi, plus un composite sera de teinte opaque ou foncée, et plus faible sera la profondeur de polymérisation, ainsi le matériau absorbera plus de lumière. (1) (8)

L'intensité de sortie des appareils à photo polymériser présente des risques de perte graduelle et non détectable. Il a été démontré que la lumière émise diminue suite au vieillissement des lampes halogènes. Ceci risque à terme d'entraîner une polymérisation incomplète, en particulier dans les zones les plus profondes. La surchauffe de l'ampoule est une cause majeure de détérioration : il faut veiller à laisser fonctionner le ventilateur au-delà du temps d'exposition. Des enquêtes réalisées dans des pratiques privées ont mis en évidence que de nombreuses lampes testées montraient une perte de 45 à 90 %. (1) Un tiers des lampes avaient une intensité inférieure à 200 mW/cm2. Il est donc important de tester périodiquement avec un radiomètre sa lampe à photo polymériser et de remplacer l'ampoule si l'intensité chute en dessous de 280 mW/cm2. Les lampes permettant la photo polymérisation des résines composites dentaires peuvent être classifiées en fonction de la source lumineuse et de l'énergie qu'elles produisent. On distingue ainsi des lampes à faible énergie et des lampes à forte énergie.

L'intensité lumineuse représente le flux lumineux par unité d'angle solide émis par la source dans une direction donnée. Son unité est le candela
Le Flux lumineux émis par une source représente la puissance rayonné par la source dans tout l'espace qui l'entoure. On l'exprime en lumen le flux lumineux l'intensité lumineuse. (11)

3.2.1. Lampes halogènes.

La plupart des sources de lumière bleue visible employées en dentisterie utilisent une lampe halogène à quartz avec un filament en tungstène qui, à l'aide d'un filtre, produit de la lumière dans le domaine du bleu de la lumière visible, soit entre 400 et 500 nm. Le spectre d'une lampe halogène est un spectre émis en continu. Les lampes halogènes peuvent produire des énergies basses ou hautes et pour des temps différents. Toutes les lampes conventionnelles utilisent comme générateur une ampoule de 50 à 100 W pour produire en moyenne 500

mW/cm2. La lumière est produite par le passage d'un courant électrique à travers un très fin filament de tungstène. Le filament est recouvert de quartz et est placé dans une atmosphère de gaz inerte, qui évite l'oxydation du filament et prolonge sa durée de vie. Le filament fonctionne comme une résistance et se retrouve tellement chauffé (2000 à 3000°C) par le courant qui le traverse qu'il émet des radiations électromagnétiques dont une partie sous la forme de lumière visible . (23) Une lampe halogène émet donc une large gamme de longueurs d'onde, couvrant un très large spectre de lumière. Pour obtenir de la lumière d'une couleur spécifique, une grande partie du spectre doit être filtrée et une grande part de la puissance irradiée ne peut donc pas être utilisée. Le rendement d'une lampe halogène est relativement faible: seule une très faible quantité de l'énergie produite est convertie en lumière bleue, le reste étant converti en chaleur, ce qui nécessite un procédé de refroidissement de la lampe. Cette chaleur induite lors de l'émission entraîne à la longue une dégradation de la fibre optique assurant le transport de la lumière. Cette chaleur peut être importante, au point d'entraîner des réactions pulpaires. (11) Tout ceci entraîne une diminution de la puissance de la lampe halogène au cours du temps, diminuant ainsi le taux de polymérisation du composite et par là-même ses propriétés mécaniques avec les conséquences cliniques que l'on imagine aisément. Les ampoules halogènes classiques employées pour la photo polymérisation des composites dentaires ont une durée de vie limitée dans le temps, de l'ordre de 50 à 100 heures (15).

Les lampes halogènes rapides sont beaucoup plus puissantes que les lampes halogènes traditionnelles. Cette différence est due à l'utilisation d'ampoules plus puissantes et/ou à l'apparition d'embouts « turbo ». Dans ces embouts, l'augmentation de la concentration de la lumière dans la fibre focalise la lumière et la concentre sur une petite surface.

Les dernières tendances ont vu apparaître des programmes plus conviviaux et de puissance modulable (de 100 mW/cm2 jusqu'à 1000mW/cm2 voire plus). Il n'y a cependant pas à ce jour de consensus quant à la formule idéale de puissance modulable.

3.2.2. Lampes à diodes électroluminescentes.

Communément appelées *light emitting diodes (LED)* en anglais, ce sont en fait des lampes utilisant des semi-conducteurs qui en récupèrent les principales propriétés. La partie la plus importante d'une *LED* est la puce semi-conductrice localisée au centre de l'ampoule. La puce a deux régions séparées par une jonction. La région p est dominée par des charges positives

électriques alors que la région n'est dominée par des charges électriques négatives. La jonction se comporte comme une barrière aux flux d'électrons entre les régions n et p. Ce n'est que lorsqu'une tension d'accélération suffisante est appliquée que le courant peut passer et que les électrons peuvent traverser la jonction pour aller dans la région p. À cet endroit, ils sont attirés par les charges positives et peuvent se recombiner. Chaque fois qu'un électron se recombine avec une charge positive, l'énergie potentielle électrique est transformée en énergie électromagnétique. Pour chaque recombinaison, un quantum d'énergie électromagnétique est donc émis sous la forme d'un photon lumineux et dans une fréquence caractéristique du matériau semi-conducteur. La couleur de la lumière émise par une *LED* est déterminée par la composition chimique du semi-conducteur (4)(26). La diode émettant une lumière monochromatique, presque toute la puissance dégagée par une *LED* peut être convertie en radiations lumineuses dans la forme désirée. Il est ainsi possible de les cibler sur le spectre d'absorption de la camphoroquinone , entraînant ainsi un minimum de production de chaleur(16)(21). Par comparaison avec une lampe halogène conventionnelle, une lampe à technologie *LED* est beaucoup plus efficace pour convertir l'énergie électrique en lumière, avec une sortie relativement stable. De plus, les diodes ont une durée de vie de 10000 heures, soit quasiment illimitée. Une *LED* émettant dans le domaine du bleu de la lumière visible génère un spectre allant de 450 à 490 nm, pratiquement centré sur le pic d'absorption de la camphoroquinone. Il n'y a alors plus besoin d'utiliser de filtres, ce qui autorise une diminution de la puissance initiale de la lampe. L'échauffement est donc très faible, et l'alimentation peut se faire en basse tension : 6 ou 12 V. Cette consommation moindre d'électricité permet réellement d'avoir une lampe sans cordon, uniquement alimentée par batterie. Comme il y a très peu de dégagement de chaleur, il y a moins d'échauffement au niveau pulpaire. L'absence d'échauffement de la résine composite durant l'insolation peut également être considérée comme un inconvénient car ce facteur contribue à l'augmentation du taux de conversion. Cette faible exothermie pourrait de la même manière poser problème lors de l'utilisation de ce type de lampe dans une technique de blanchiment. Parmi les autres avantages, on peut noter l'absence de bruit (pas de ventilateur) et l'absence d'effet mémoire de la batterie (à l'inverse des téléphones cellulaires, par exemple), la rendant rechargeable à l'infini. Par contre, ces lampes sont caractérisées par une faible puissance d'émission (200 à 300 mW/cm).(17)Enfin, leur spectre étroit, ciblé sur la longueur d'onde d'excitation de la camphoroquinone, empêche l'utilisation de composites n'en contenant pas (les photo initiateurs activés à 430 nm sont peu touchés) par opposition aux lampes halogènes dont le

spectre, bien que filtré, demeure plus large. Compte tenu de ces spécificités, il est intéressant d'analyser à partir de travaux récents les propriétés des composites polymérisés par les lampes *LED*, surtout en les comparant aux lampes halogènes. Bien que la puissance d'émission paraisse faible, l'excitation parfaite de la camphoroquinone semble donner au matériau composite photo polymérisé par l'intermédiaire d'une lampe *LED* des propriétés mécaniques et physiques identiques à celles obtenues lors de l'utilisation d'une lampe halogène. (3)(5)(7)(10)

En effet, pour des épaisseurs d'échantillons de 2 mm, et pour une même durée d'exposition (de 20 à 60 secondes), toutes les mesures de dureté, résistance à la traction, à la compression ou à la flexion, module d'élasticité, effectuées sur des échantillons de composite polymérisés avec des lampes halogène ou des lampes *LED*, ne présentent pas de différence statistiquement significative. (6)(24)De même, toutes les mesures de contraction de polymérisation et les tests d'étanchéité sont semblables. Enfin, si la profondeur de polymérisation reste pour l'instant légèrement plus importante avec les lampes halogènes, l'élévation thermique enregistrée au niveau de la paroi dentinaire est par contre plus faible avec une lampe *LED*. (9)(25)

3.3. Conclusion.

Les principes régissant l'amorçage photochimique des composites ont connu ces dernières années de nouveaux développements, avec l'apparition d'une part de nouvelles sources lumineuses de haute énergie et la proposition de nouveaux dispositifs programmés pour une irradiation séquentielle ou progressive, et d'autre part, de la technologie des lampes électroluminescentes. Il nous a semblé important de connaître le fonctionnement de ces nouveaux générateurs de lumière, car il est bien établi que la qualité de la polymérisation d'une matrice de composite va influencer les performances du matériau ; c'est vrai pour ses performances mécaniques (résistance à l'endommagement par usure, fatigue), mais également pour d'autres propriétés majeures (optiques, biologiques). La nature de la lampe et le temps de polymérisation peuvent influencer le degré de polymérisation d'une matrice de composite. Mais d'autres facteurs, tous importants, l'influencent (nature et structure des biomatériaux, épaisseur du matériau, teinte du matériau, technique incrémentale).

Les lampes LED offrent actuellement de nombreux avantages par rapport aux autres sources lumineuses, et semblent être bien adaptées à la dentisterie moderne, surtout depuis l'apparition des lampes LED de deuxième génération.

4. Etude de l'absorption d'une résine composite: Amaris®.

4.1. Introduction.

Plusieurs facteurs influencent l'absorption d'une résine composite :

- L'intensité de la source lumineuse :
  - distance embout matériau (l =1/d2)
  - composantes de la lampe (nature et énergie du rayonnement photonique émis)
- Durée d'exposition
- Matériau de restauration :
  - La teinte du composite
  - La nature chimique (charges) et structure de la résine composite
- L'épaisseur du composite
- La grosseur des particules

D'une façon générale, l'épaisseur d'un matériau intervient sur la teinte finale d'un objet translucide. La saturation augmente avec l'épaisseur alors que la luminosité décroit simultanément.
Dans notre étude, seulement deux paramètres varieront : l'épaisseur et la couleur.

4.2. Matériels.

4.2.1 Les résines composites : Amaris®.

Matériaux de restauration esthétique photo polymérisable faisant intervenir deux masses différentes qui remplaceraient et présenteraient les qualités optiques de la dentine et de l'émail Il s'agit d'une résine composite développée par Voco.

L’étude porte à la fois sur des couleurs emails et dentines.

Couleur dentine : les six teintes de base opaques couvrent tout le spectre de teinte dentine: O1 O2, O3, O4, O5, OB.

Couleur émail : la teinte de base sélectionnée est confirmée ou adaptée par une teinte translucide

TN (transparence neutre)

TL (translucide claire)

TD (translucide foncé)

4.2.2 Les Récepteurs.

4.2.2.1 Le radiomètre (demetron).

Accessoire servant à mesurer la puissance de la lumière visible émise par les lampes de polymérisation.

Le résultat est exprimé en mW/cm2 qui est l’unité d’énergie utilisée pour décrire la concentration d’énergie distribué sur une zone donnée. Plus la mesure est élevée, plus la puissance de la lumière bleue émise est élevée.

4.2.2.2. Le spectrophotomètre.

Spectro Avantes DH 2000. Il permet de mesurer une longueur d’onde.

4.2.3. Lampe halogène translux Energy d’heraus Kulzer

Puissance de sortie 900mW/cm2

Conducteur de lumière 8mm

Contrôle de la puissance lumineuse par le testeur intégré car plusieurs facteurs peuvent influer sur l’efficacité d’une source lumineuse ; avec le temps, la densité de la lumière d’activation va

décliner. Il est essentiel que les sources lumineuses soient testées fréquemment et il nécessite pour cela des testeurs spécifiques.

4.3. Protocole expérimental.

4.3.1. Préparation des échantillons de composite.

- On dévisse le tube de composite, on effectue deux tours et l'on attend que le composite sorte de la seringue.
- On sectionne le composite sorti avec une lame de rasoir
- On le dépose sur une plaque de verre polie à l'aide du tube à composite.
- A distance de cette boule de composite, nous positionnons deux cales calibrées mesurant chacune, 0,5 mm d'épaisseur puis 1mm, 1,5mm, 2mm, 2,5mm, 3mm.
- On applique une autre lame de microscope en écrasant avec précaution le composite, sans faire de bulles et en faisant en sorte que le composite se répartisse uniformément entre les deux lames de microscope.
- Une fois ces étapes réalisées, nous photo polymérisons le composite à travers les lames de microscope en prenant soin de diriger la lumière afin de bien polymériser tout l'échantillon. L'échantillon est alors réalisé.
- On prépare d'autres échantillons pour chaque type de composite en procédant de la même façon décrit précédemment.
- On place chaque échantillon préparé dans une enveloppe numérotée.

Ainsi,
Pour le composite Amaris de Voco, nous avons réalisé cinq pastilles d'épaisseur 0.5 mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm et ceci pour chaque couleur.

4.3.2 Protocole de mesure.

- Avec le radiomètre.

L'embout de la lampe à photo polymériser halogène est toujours placé parallèlement à la surface du capteur.
Au préalable, nous réalisons des mesures témoins, sans composite. L'embout de la lampe à photo polymériser halogène est situé à 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm du capteur. Ces distances correspondent à l'épaisseur des pastilles. Nous réalisons 5 mesures par distance. On sépare 2 expositions de 15 secondes (afin de laisser refroidir la lampe).

Puis, nous plaçons la pastille (situé dans l 'enveloppe) sur le capteur, à l'aide d'une précelle. Cette pastille est au contact direct avec la lampe.

Nous réalisons cinq mesures par échantillon avec la lampe halogène KULZER et le composite Amaris. Les pastilles sont exposées pendant 10 s.

- Avec le spectrophotomètre.

Nous procédons à la même mis en place qu'avec le radiomètre sauf que nous enregistrons une longueur d'onde.

4.4. Résultats.

4.4.1. Radiomètre.

A partir d'une courbe enregistrée sur ordinateur, nous calculons le pourcentage de transmission à partir d'une moyenne et d'une surface sous la courbe.
Nous réalisons un tableau par couleur. Chaque tableau comprend toutes les épaisseurs.

	e	moyenne	% de transmission	moyenne des 5 pastilles	surface sous la courbe	% de transmission	moyenne des 5 pastilles
O1	0,5mm	0,014235117	41,69%		0,142456227	41,70%	
		0,014795648	43,33%		0,146920958	43,01%	
		0,014795648	43,33%		0,156850924	45,91%	
		0,014297399	41,87%		0,143079037	41,88%	
		0,013923712	40,78%	42,20%	0,132491244	38,78%	42,26%
	1mm	0,00725963	21,87%		0,072666331	21,88%	
		0,00725963	21,87%		0,072701348	21,89%	
		0,007508754	22,62%		0,075192595	22,64%	
		0,007633317	23,00%		0,076473234	23,03%	
		0,007321911	22,06%	22,29%	0,07332416	22,08%	22,31%
	1,5mm	0,004270135	13,10%		0,042771382	13,11%	
		0,003896448	11,95%		0,039139567	12,00%	
		0,003771886	11,57%		0,037893944	11,61%	
		0,003647323	11,19%		0,036578287	11,21%	
		0,003709605	11,38%	11,83%	0,037201098	11,40%	11,87%
	2mm	0,002277138	7,21%		0,022876436	7,36%	
		0,002214857	7,01%		0,022253625	7,16%	
		0,002214857	7,01%		0,022253625	7,16%	
		0,002277138	7,21%		0,022876436	7,36%	
		0,002401701	7,60%	7,21%	0,024122059	7,76%	7,36%
	2,5mm	0,001218359	4,00%		0,012288642	4,04%	
		0,001218359	4,00%		0,012288642	4,04%	
		0,00128064	4,21%		0,012876436	4,23%	
		0,00128064	4,21%		0,012876436	4,23%	
		0,00128064	4,21%	4,13%	0,012876436	4,23%	4,15%
	3mm	0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%	2,24%	0,006683339	2,28%	2,28%

O2	0,5mm	0,014110555	41,33%		0,141210605	41,34%	
		0,013923712	40,78%		0,13934217	40,79%	
		0,013425462	39,32%		0,134359676	39,33%	
		0,014110555	41,33%		0,141210603	41,34%	
		0,014048274	41,14%	40,78%	0,140587793	41,15%	40,79%
	1mm	0,007571035	22,81%		0,075815406	22,83%	
		0,007197348	21,69%		0,072078536	21,71%	
		0,007508754	22,62%		0,075192595	22,64%	
		0,007321911	22,06%		0,073324159	22,08%	
		0,007135067	21,50%	22,14%	0,071455724	21,52%	22,16%
	1,5mm	0,003896448	11,95%		0,039069532	11,98%	
		0,003709605	11,38%		0,037823909	11,59%	
		0,003896448	11,95%		0,039622309	12,14%	
		0,00402101	12,73%		0,040315155	12,36%	
		0,003771886	11,57%	11,91%	0,037692344	11,55%	11,92%
	2mm	0,001965733	6,22%		0,019653785	6,32%	
		0,001903452	6,03%		0,019139567	6,15%	
		0,001903452	6,03%		0,019139567	6,15%	
		0,001903452	6,03%		0,019139567	6,15%	
		0,001903452	6,03%	6,06%	0,019139567	6,15%	6,19%
	2,5mm	0,00128064	4,21%		0,012288642	4,04%	
		0,00128064	4,21%		0,012288642	4,04%	
		0,00128064	4,21%		0,012288642	4,04%	
		0,00128064	4,21%		0,012288642	4,04%	
		0,00128064	4,21%	4,21%	0,012288642	4,04%	4,04%
	3mm	0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%		0,006683339	2,28%	
		0,000657829	2,24%	2,24%	0,006683339	2,28%	2,28%

O3	0,5mm	0,01274037	37,31%		0,127508753	37,32%	
		0,012927213	37,86%		0,129377187	37,87%	
		0,012055278	35,31%		0,120657827	35,32%	
		0,012864932	37,68%		0,12252626	35,87%	
		0,012927213	37,86%	37,20%	0,129377187	37,87%	36,85%
	1mm	0,006263131	18,87%		0,062736365	18,89%	
		0,006263131	18,87%		0,062780387	18,91%	
		0,005827163	17,56%		0,058688091	17,67%	
		0,006138569	18,50%		0,061135535	18,41%	
		0,006138569	18,50%	18,46%	0,062113554	18,71%	18,52%
	1,5mm	0,002837669	8,70%		0,028481738	8,73%	
		0,003024512	9,28%		0,030350172	9,30%	
		0,00289995	8,89%		0,02910455	8,92%	
		0,002526263	7,75%		0,025367682	7,78%	
		0,003149074	9,66%	8,86%	0,030038766	9,21%	8,79%
	2mm	0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%	4,05%	0,012911453	4,15%	4,15%
	2,5mm	0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%	2,16%	0,006683339	2,28%	2,21%
	3mm	3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%	0,12%	3,50173E-05	0,01%	0,01%

O4	0,5mm	0,011681591	34,21%		0,116815905	34,19%	
		0,012117559	35,49%		0,12190345	35,68%	
		0,011930715	34,94%		0,119412204	34,95%	
		0,011370185	33,30%		0,113806898	33,31%	
		0,011992996	35,12%	34,61%	0,120035016	35,14%	34,66%
	1mm	0,005515758	16,62%		0,055262629	16,64%	
		0,005017509	15,12%		0,050280139	15,14%	
		0,005017509	15,12%		0,050280139	15,14%	
		0,005266633	15,87%		0,052771384	15,89%	
		0,005204352	15,68%	15,68%	0,052148573	15,70%	15,70%
	1,5mm	0,002526263	7,75%		0,025367682	7,78%	
		0,002526263	7,75%		0,025367682	7,78%	
		0,002526263	7,75%		0,025367682	7,78%	
		0,002526263	7,75%		0,025367682	7,78%	
		0,002526263	7,75%	7,75%	0,025367682	7,78%	7,78%
	2mm	0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%	4,05%	0,012911453	4,15%	4,15%
	2,5mm	0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%	2,16%	0,006683339	2,20%	2,20%
	3mm	3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%	0,12%	3,50173E-05	0,01%	0,01%

O5	0,5mm	0,01056053	30,93%		0,105710355	30,94%	
		0,011619309	34,03%		0,116298145	34,04%	
		0,011245622	32,94%		0,112561276	32,95%	
		0,01112106	32,57%		0,111315653	32,58%	
		0,011432466	33,48%	32,79%	0,115052521	33,68%	32,84%
	1mm	0,004581541	13,80%		0,045920457	13,83%	
		0,004706103	14,18%		0,047166081	14,20%	
		0,004706103	14,18%		0,047166081	14,20%	
		0,004706103	14,18%		0,047166081	14,20%	
		0,004706103	14,18%	14,10%	0,047166081	14,20%	14,13%
	1,5mm	0,001903452	5,84%		0,019139567	5,87%	
		0,001903452	5,84%		0,019139567	5,87%	
		0,002028014	6,22%		0,02038519	6,25%	
		0,002028014	6,22%		0,02038519	6,25%	
		0,001903452	5,84%	5,99%	0,019139567	5,87%	6,02%
	2mm	0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%		0,012911453	4,15%	
		0,00128064	4,05%	4,05%	0,012911453	4,15%	4,15%
	2,5mm	0,000657829	2,16%		0,006994745	2,30%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%		0,006683339	2,20%	
		0,000657829	2,16%	2,16%	0,006683339	2,20%	2,22%
	3mm	3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%		3,50173E-05	0,01%	
		3,50173E-05	0,12%	0,12%	3,50173E-05	0,01%	0,01%

OB	0,5mm	0,01604127	46,98%		0,160587791	47,01%	
		0,014982491	43,88%		0,149999996	43,91%	
		0,016165833	47,35%		0,161833413	47,37%	
		0,016165833	47,35%		0,16214482	47,46%	
		0,015418459	45,16%	46,14%	0,154359675	45,18%	46,19%
	1mm	0,009626313	29,00%		0,096438216	29,04%	
		0,009626313	29,00%		0,096438216	29,04%	
		0,01	30,13%		0,100175084	30,17%	
		0,009875437	29,75%		0,098929461	29,79%	
		0,009875437	29,75%	29,53%	0,099552272	29,98%	29,60%
	1,5mm	0,006263131	19,21%		0,062552272	19,17%	
		0,006263131	19,21%		0,062806399	19,25%	
		0,00564032	17,30%		0,057823909	17,72%	
		0,006263131	19,21%		0,062806399	19,25%	
		0,005889445	18,06%	18,60%	0,059069532	18,11%	18,70%
	2mm	0,003332416	10,55%		0,033499247	10,77%	
		0,003771886	11,94%		0,037893944	12,18%	
		0,003709605	11,74%		0,037271133	11,98%	
		0,003647323	11,55%		0,036648321	11,78%	
		0,003771886	11,94%	11,54%	0,037893944	12,18%	11,78%
	2,5mm	0,00233942	7,69%		0,023569282	7,74%	
		0,002526263	8,30%		0,025437717	8,36%	
		0,002401701	7,89%		0,024192094	7,95%	
		0,002401701	7,89%		0,024192094	8,25%	
		0,002401701	7,89%	7,93%	0,024192094	7,95%	8,05%
	3mm	0,00128064	4,37%		0,012358676	4,21%	
		0,001342921	4,58%		0,013604299	4,64%	
		0,00128064	4,37%		0,012981488	4,43%	
		0,00128064	4,37%		0,012981488	4,43%	
		0,00128064	4,37%	4,41%	0,012981488	4,43%	4,43%

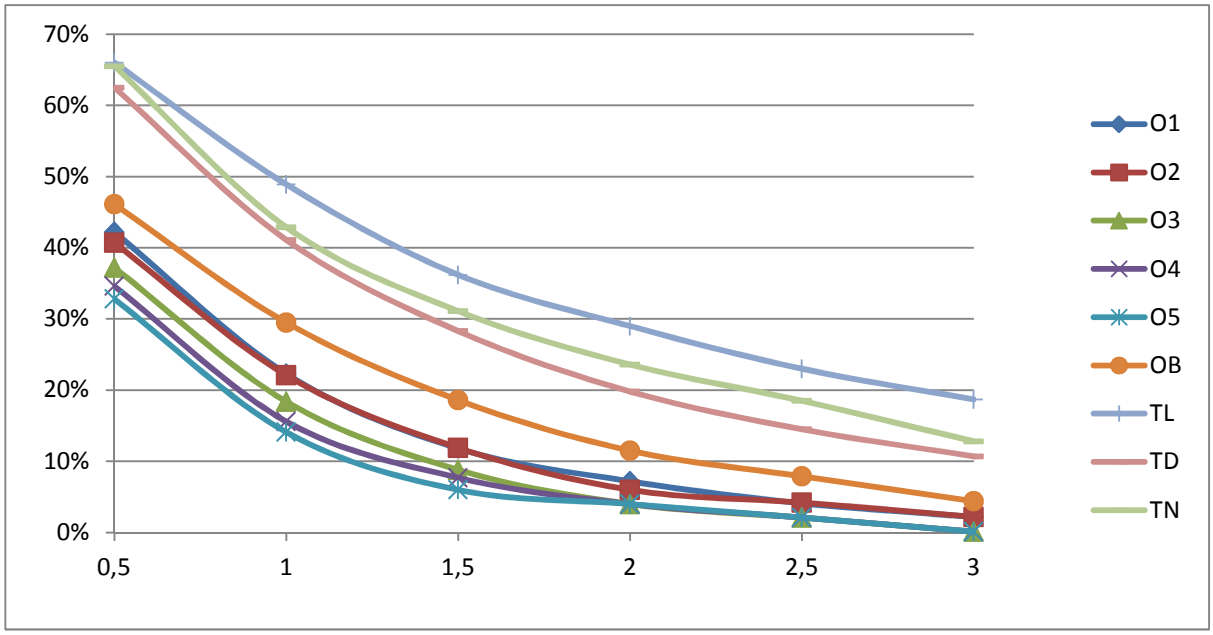
TD	0,5mm	0,021335167	62,49%		0,213526761	62,50%	
		0,021646573	63,40%		0,216640819	63,42%	
		0,02145973	62,85%		0,214772382	62,87%	
		0,020774638	60,84%		0,207921464	60,86%	
		0,020961481	61,39%	62,19%	0,209789896	61,41%	62,21%
	1mm	0,013487744	40,64%		0,135052525	40,67%	
		0,013487744	40,64%		0,135052522	40,67%	
		0,013799149	41,58%		0,138477987	41,70%	
		0,013550025	40,83%		0,135675334	40,86%	
		0,013923712	41,95%	41,13%	0,139412204	41,98%	41,18%
	1,5mm	0,009564032	29,33%		0,095815402	29,37%	
		0,009314907	28,57%		0,093324156	28,60%	
		0,009252626	28,38%		0,092701345	28,41%	
		0,009003502	27,61%		0,090210102	27,65%	
		0,009128064	27,99%	28,38%	0,091455724	28,03%	28,41%
	2mm	0,005764882	18,25%		0,057823908	18,59%	
		0,006574537	20,81%		0,065920455	21,20%	
		0,006449975	20,42%		0,064674833	20,80%	
		0,006263131	19,83%		0,062806399	20,20%	
		0,006263131	19,83%	19,83%	0,062806399	20,20%	20,20%
	2,5mm	0,004456978	14,65%		0,044744868	14,70%	
		0,004394697	14,44%		0,044122057	14,49%	
		0,004394697	14,44%		0,044122057	14,49%	
		0,004456978	14,65%		0,044744868	14,70%	
		0,004456978	14,65%	14,57%	0,044744868	14,70%	14,61%
	3mm	0,003149074	10,75%		0,031665829	10,80%	
		0,003149074	10,75%		0,031665829	10,80%	
		0,003149074	10,75%		0,031665829	10,80%	
		0,003149074	10,75%		0,031665829	10,80%	
		0,003149074	10,75%	10,75%	0,031665829	10,80%	10,80%

TL	0,5mm	0,022518509	65,95%		0,225360179	65,97%	
		0,022082541	64,67%		0,221000498	64,69%	
		0,021895698	64,13%		0,219132065	64,15%	
		0,022829915	66,86%		0,228474239	66,88%	65,13%
		0,021833417	63,94%	65,11%	0,218509253	63,96%	
	1mm	0,016228114	48,90%		0,162456225	48,92%	
		0,01604127	48,33%		0,160587787	48,36%	
		0,016352676	49,27%		0,163701847	49,30%	
		0,016103552	48,52%		0,161210602	48,55%	
		0,016477238	49,65%	48,93%	0,16494747	49,67%	48,96%
	1,5mm	0,012117559	37,16%		0,121350674	37,19%	
		0,011494747	35,25%		0,115122556	35,29%	
		0,011992996	36,78%		0,12010505	36,81%	
		0,011868434	36,40%		0,118859427	36,43%	
		0,011557028	35,44%	36,21%	0,115745368	35,48%	36,24%
	2mm	0,009377188	29,68%		0,093946967	30,21%	
		0,009190345	29,09%		0,092701346	29,81%	
		0,009065783	28,70%		0,090832913	29,21%	
		0,009252626	29,29%		0,092701345	29,81%	
		0,00894122	28,30%	29,01%	0,089587291	28,81%	29,57%
	2,5mm	0,007321911	24,06%		0,073394194	24,11%	
		0,006885943	22,63%		0,069034512	22,67%	
		0,006885943	22,63%		0,069034512	22,67%	
		0,00676138	22,22%		0,06778889	22,27%	
		0,007197348	23,65%	23,04%	0,07214857	23,70%	23,08%
	3mm	0,00564032	19,25%		0,056578287	19,29%	
		0,005328914	18,18%		0,05346423	18,23%	
		0,005328914	18,18%		0,05346423	18,23%	
		0,00564032	19,25%		0,057201098	19,51%	
		0,005515758	18,82%	18,74%	0,056578287	19,29%	18,91%

TN	0,5mm	0,022331666	65,40%		0,224737368	65,79%	
		0,022331666	65,40%		0,223491743	65,42%	
		0,022331666	65,40%		0,223491745	65,42%	
		0,022518509	65,95%		0,225360179	65,97%	
		0,022331666	65,40%	65,51%	0,223491743	65,42%	65,60%
	1mm	0,01435968	43,27%		0,143771885	43,30%	
		0,014982491	45,14%		0,149999997	45,17%	
		0,013114057	39,51%		0,131315654	39,54%	
		0,014172836	42,70%		0,14190345	42,73%	
		0,014546523	43,83%	42,89%	0,146885942	44,23%	43,00%
	1,5mm	0,010186843	31,24%		0,102043519	31,28%	
		0,010186843	31,24%		0,102043519	31,28%	
		0,010186843	31,24%		0,102043519	31,28%	
		0,009937719	30,48%		0,099552272	30,51%	
		0,010249124	31,43%	31,13%	0,102666331	31,47%	31,16%
	2mm	0,007571035	23,97%		0,07588544	24,40%	
		0,00725963	22,98%		0,072771382	23,40%	
		0,007508754	23,77%		0,075262629	24,20%	
		0,007508754	23,77%		0,075262629	24,20%	
		0,007508754	23,77%	23,65%	0,075262629	24,20%	24,08%
	2,5mm	0,005702601	18,74%		0,057201098	18,79%	
		0,00564032	18,54%		0,056578287	18,58%	
		0,00564032	18,54%		0,056578287	18,58%	
		0,00564032	18,54%		0,056578287	18,58%	
		0,00564032	18,54%	18,58%	0,056578287	18,58%	18,62%
	3mm	0,003771886	12,87%		0,037893944	12,92%	
		0,003771886	12,87%		0,037893944	12,92%	
		0,003771886	12,87%		0,037893944	12,92%	
		0,003771886	12,87%		0,037893944	12,92%	
		0,003771886	12,87%	12,87%	0,037893944	12,92%	12,92%

Tableau récapitulatif.

Ce tableau représente le pourcentage de transmission de la lumière émis par la lampe halogène en fonction de l'épaisseur de composite (0.5mm à 3 mm).



Les résultats de cette étude avec le radiomètre nous permettent de montrer que l'épaisseur d'une résine composite influence très nettement la transmission de la lumière émise par la lampe . Ainsi, plus l'épaisseur de résine composite augmente, plus l'absorption de la lumière par le composite est importante.

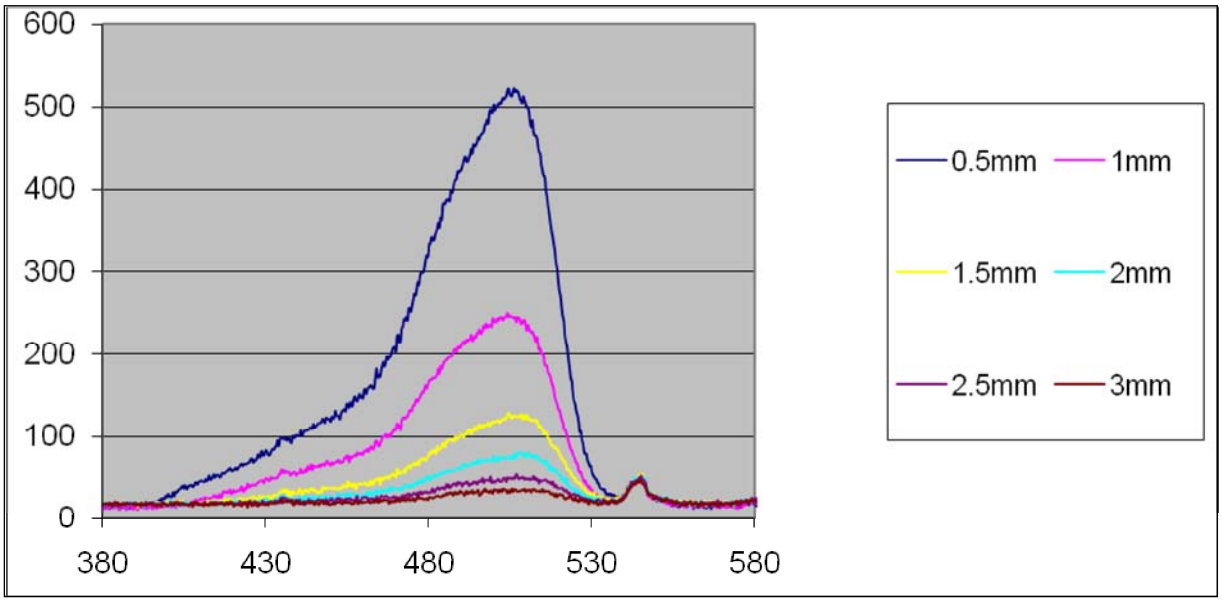
Cette étude montre également que la couleur d' une résine composite influence l'absorption de la lumière émise. Les couleurs émail transmettent plus de lumière que les couleurs dentine.Ainsi pour une épaisseur de 0.5mm , les couleurs émail transmettent 70% de la lumière alors que les couleurs dentine absorbent plus de la moitié de la lumière émise.Pour une épaisseur de 3mm, les couleurs émail absorbent plus de 80% de la lumière émise par la lampe, alors que pour les couleurs dentine, l'absorption est quasi-totale.

4.4.2. Spectrophotomètre.

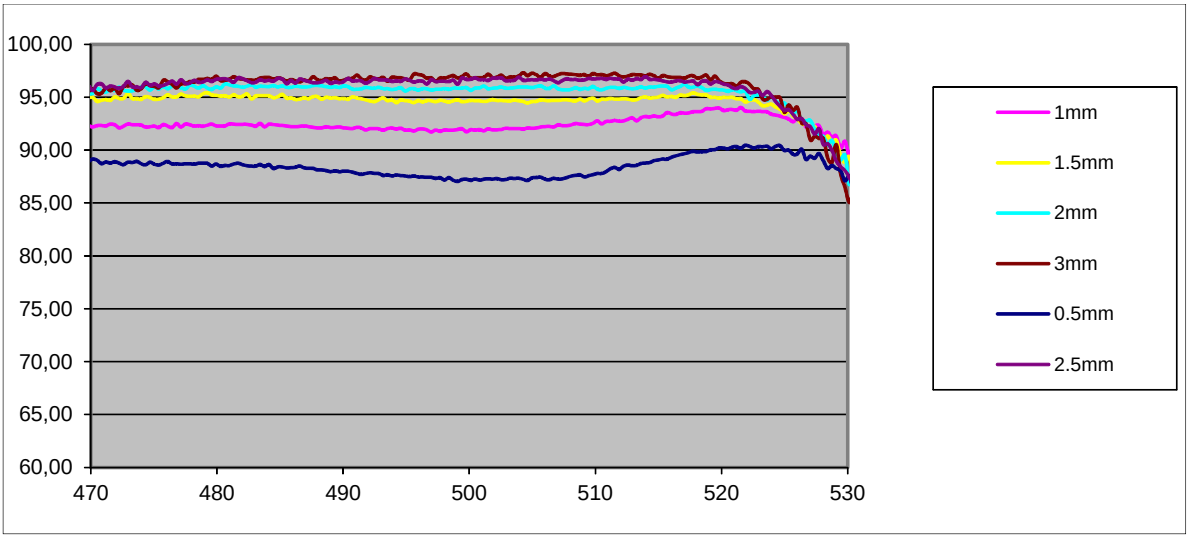
4.4.2.1 .En fonction de la couleur.

- O1

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur O1.



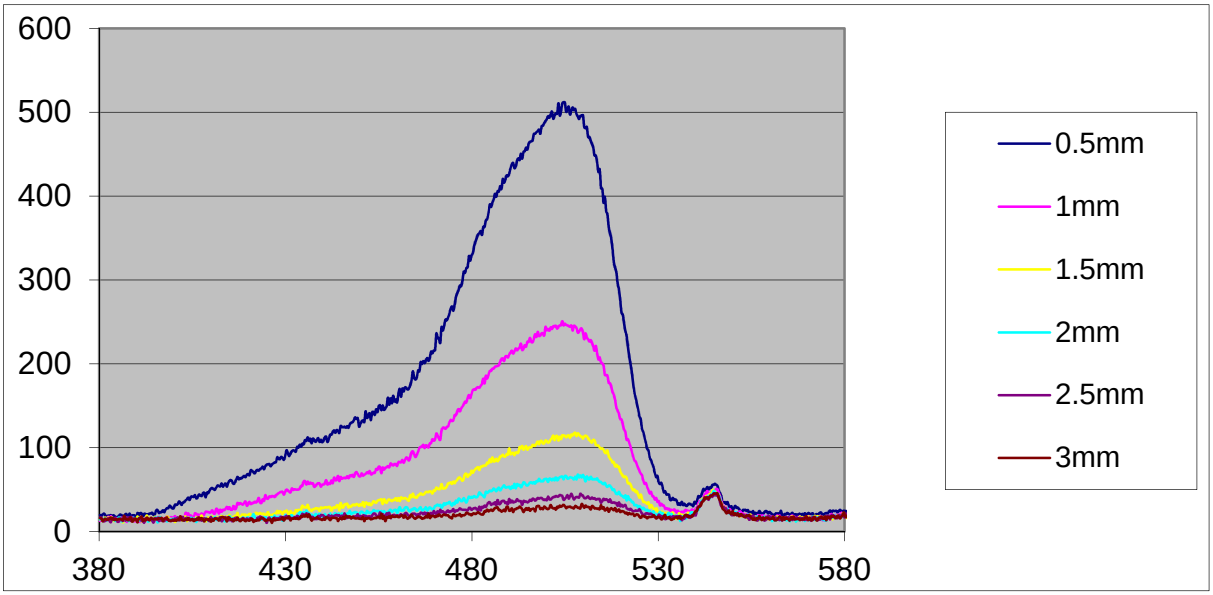
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur O1



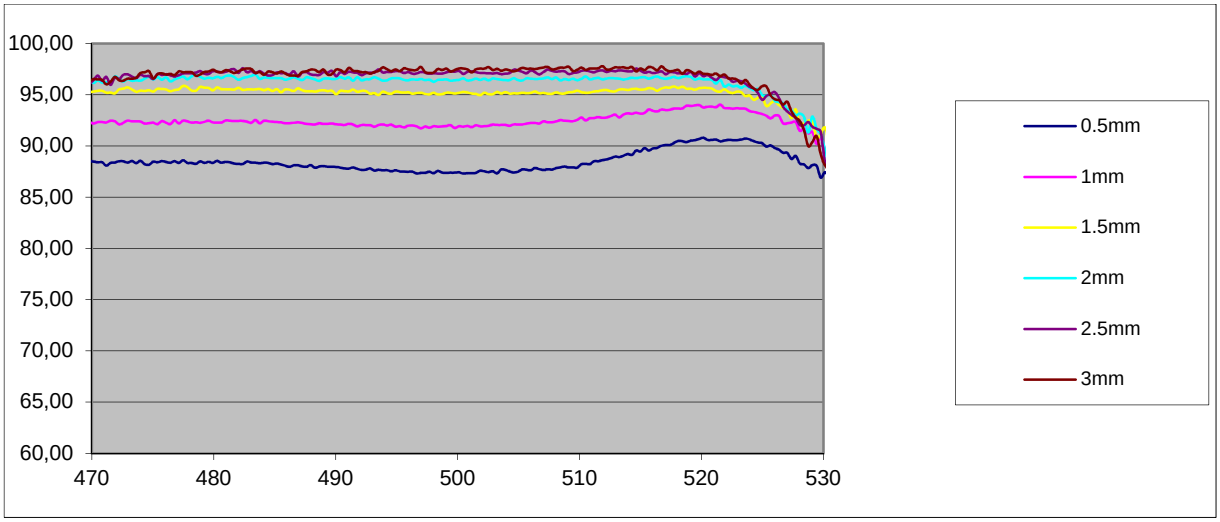
	O1					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	13,75	12,75	18,25	17,25	19,5	16
385,32	17,5	11,75	16,5	16,25	18	16
390,34	16	14,75	17,5	18	19	18,75
395,01	20,75	15,5	17,75	19,75	19,25	19
400,02	27,75	16,25	21,75	18,75	15,75	15,75
405,03	38	16,5	22,25	19,5	16,75	19
410,03	46,75	23	20,25	16,25	19	17,25
415,02	53,5	29	19,25	18	20	17
420	59	32,75	23,25	21,25	20,25	19,75
425,33	71	39	26,25	19	21	22
430,3	84,25	50	26,25	24,5	19,75	17
435,26	100,25	60	33,5	28,75	22,25	19,25
440,22	101,5	56	33,25	25,75	19,5	20,75
445,16	112	63	36	23,75	21	16,75
450,1	119,5	65,75	38	28	24,5	17
455,03	141	77,25	38,75	31	24,5	19,5
460,31	156,25	82,75	43,25	29	26	20,75
465,22	173,25	91,5	42,5	32,5	26	23
470,13	203,5	109,75	51,5	36,25	27	20,5
475,03	259	132,5	66	38,25	28,75	23,5
480,27	334,5	168,5	80	51,5	32	26,25
485,16	382,75	191,5	87,5	55,75	36,75	28,75
490,03	424,25	211,25	101,75	60,25	42,5	32,75
495,25	463,75	226	112,25	69,25	44,25	34,75
500,11	503	240	117,75	76,25	45,75	35,5
505,3	513,75	246,25	126	72,75	49,5	33,5
510,15	499,75	229,25	127,75	78,75	48,5	34,5
515,33	416,25	197,75	104,25	67,5	47	32,5
520,15	277,5	133,5	79	53	37,25	30
520,5	271	128	76,75	53	37	30
525,31	132,75	69	45,25	33,75	28,5	22,25
530,12	57,75	36,25	27,5	27,25	21,75	22
535,27	30	24,75	21,75	20,5	21	17,25
540,06	28,75	27,5	29	30	28,75	24,75

- O2.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur O2.



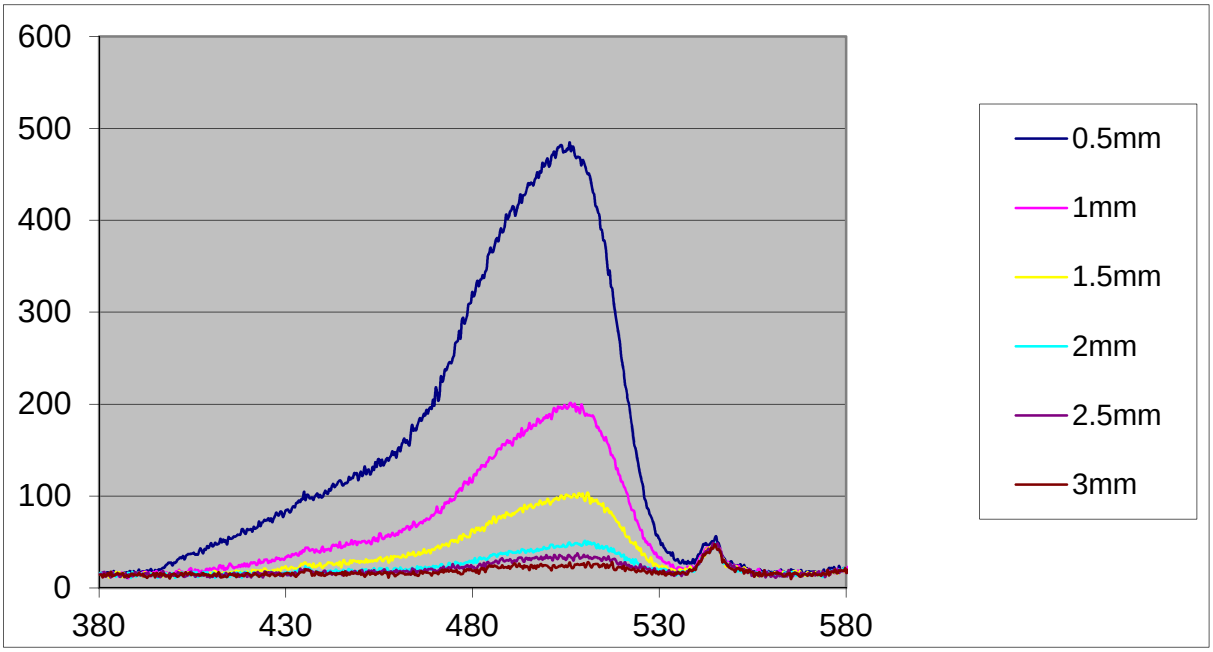
Ce tableau représente l' influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur O2



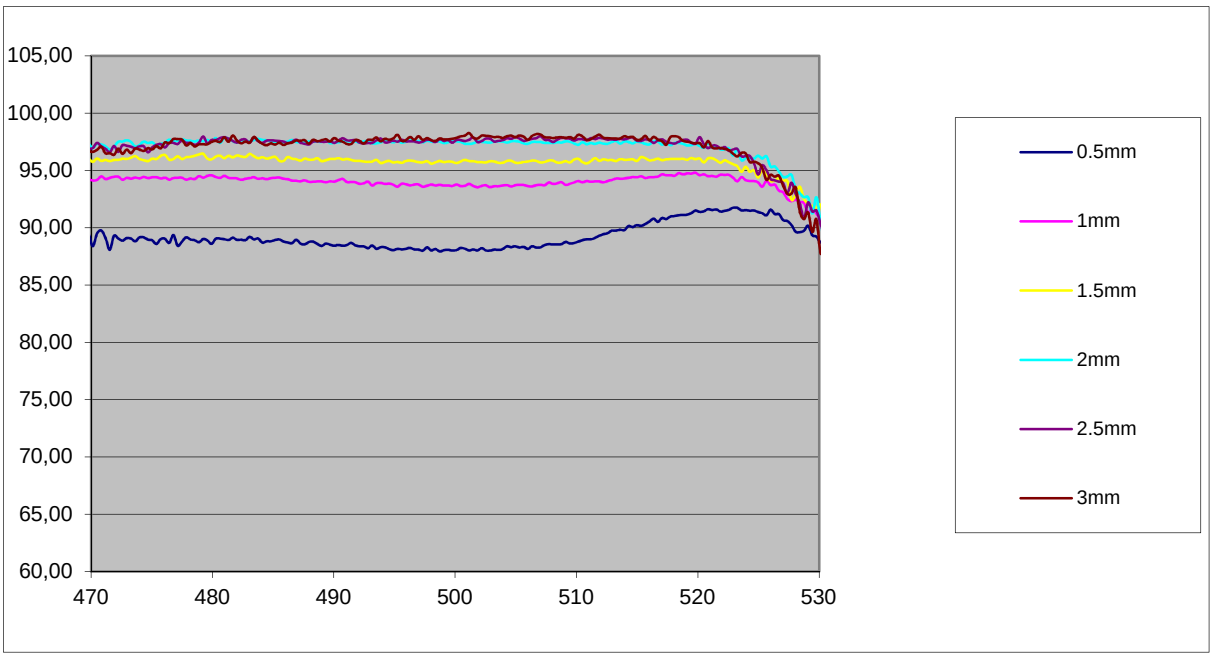
	O2					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	19,5	12,75	14,25	14,25	16,75	15,75
385,32	18,75	11,75	12,5	16,5	12	15,25
390,34	22	14,75	17,75	14,5	14,25	10,75
395,01	20,75	15,5	17,5	16,25	16	15
400,02	27,75	16,25	15	15,5	12,75	13
405,03	41,5	16,5	13,5	15,75	14	15
410,03	51,25	23	16,75	16,25	17,25	11,75
415,02	60,5	29	19,75	18,25	13,75	16
420	68,5	32,75	19,75	16,75	14	13,5
425,33	80	39	23	14,75	14,75	14
430,3	97	50	25	18,5	18,5	16
435,26	109	60	29	21	20	17,75
440,22	108,5	56	28	18	19	15,5
445,16	124,5	63	28,75	21,5	18,75	14,5
450,1	128,25	65,75	32,5	22,75	18,5	15,25
455,03	149,5	77,25	37,25	24,5	18,25	17,5
460,31	164,25	82,75	39,75	25,25	18	17
465,22	183,25	91,5	40,25	24,75	18,75	16,25
470,13	216,25	109,75	48,5	30,25	22	17
475,03	263,25	132,5	59,5	34	26,75	20,25
480,27	332	168,5	70	40,5	27	21,25
485,16	387	191,5	82,75	48	31,75	26
490,03	426,75	211,25	99	53,25	38,75	24,75
495,25	463	226	99,5	56,25	35,5	28
500,11	491,75	240	107,5	62,5	37,25	27
505,3	500,5	246,25	112,25	66	40,75	27,75
510,15	482,25	229,25	113,25	64,25	40	28,25
515,33	392	197,75	97,25	56,5	39	29
520,15	260,75	133,5	68,5	43	31,75	24,25
525,31	133,75	69	44	28,75	23,75	16,25
530,12	58,5	36,25	21,25	21,25	20	17,5
535,27	32	24,75	19	18,75	18	15,5
540,06	33,25	27,5	23,5	22,25	19,25	24,5

- O3.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur O3.



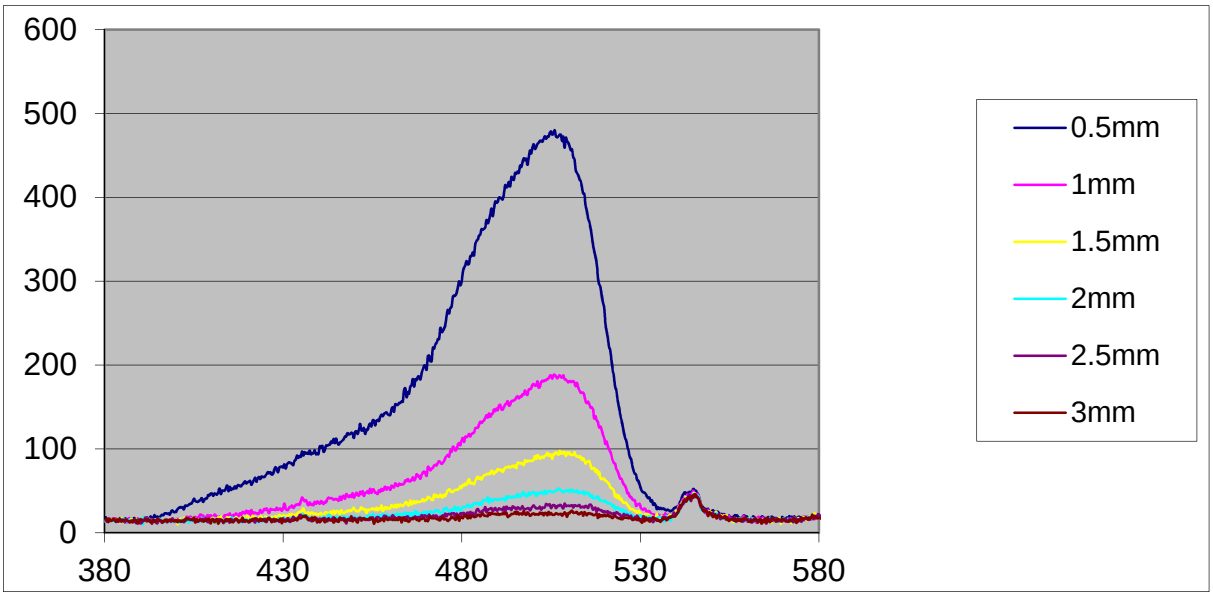
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur O3.



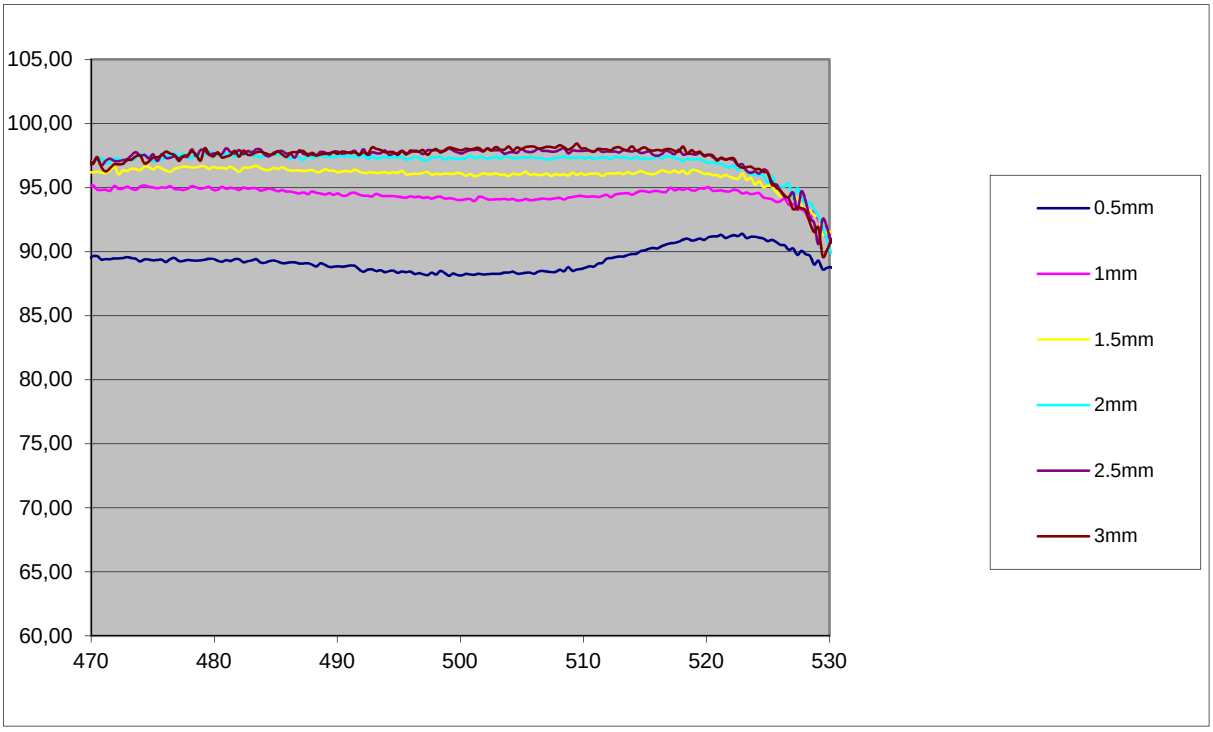
	O3					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	14,5	15	15	16,25	15,25	14,25
385,32	16	12,5	17	14	14	14,75
390,34	15,5	15,25	14,25	16,5	14,5	13,75
395,01	16,25	14,75	14	14,75	15,25	11,5
400,02	24,5	13,75	12,25	14,5	13,25	15,75
405,03	37,25	16,75	17	14,25	14,75	15,75
410,03	45,75	20	15,75	11,75	13	13,5
415,02	55,25	26,5	16,25	12,25	15,25	15,75
420	64	23,25	16,5	15,25	14,5	15,25
425,33	73,75	27,25	18	16	17	14
430,3	84,25	33,75	21	16,5	14	16,5
435,26	104,75	43,5	27,75	23,5	20,5	20,25
440,22	99	39,5	24,25	16	18,5	13,5
445,16	116	44,25	26,75	18,25	13,75	17,25
450,1	122,25	49,25	29,25	16,75	18,75	14,5
450,46	126,5	50,75	28,25	20,5	19,25	15,5
455,03	139,75	59	32,5	21,25	17,5	17,25
460,31	150,25	61,75	33,75	18,25	17,75	16
465,22	171,5	67,75	36,25	23,5	18	13,5
470,13	198,5	82,5	43,75	23,75	18,75	16,5
475,03	250	95,75	50,25	24,5	23	18,75
480,27	322	121,5	61,75	27	23	18,5
485,16	370,25	140,75	70,5	35,25	26,75	24,25
490,03	403,5	159,75	79,75	39,75	31,25	21
495,25	440,25	179,5	89	39,75	32,5	19,5
500,11	465	185	97	43,25	32,5	23,75
505,3	474,75	195	101,25	45,5	32,5	22,75
510,15	463,5	187,5	94,75	51,25	33,75	22,5
515,33	378,5	160,5	82,75	43,75	33	25,25
520,15	251,75	115,25	62,5	35	20,75	21,25
525,31	121,25	62,75	36	22,25	21	18,5
530,12	54,5	32,25	20,75	19,5	16,75	18
535,27	31,25	22,5	19	17,5	15,5	16,75
540,06	30,75	25,75	23,5	23	24,25	25

- O4.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur O4.



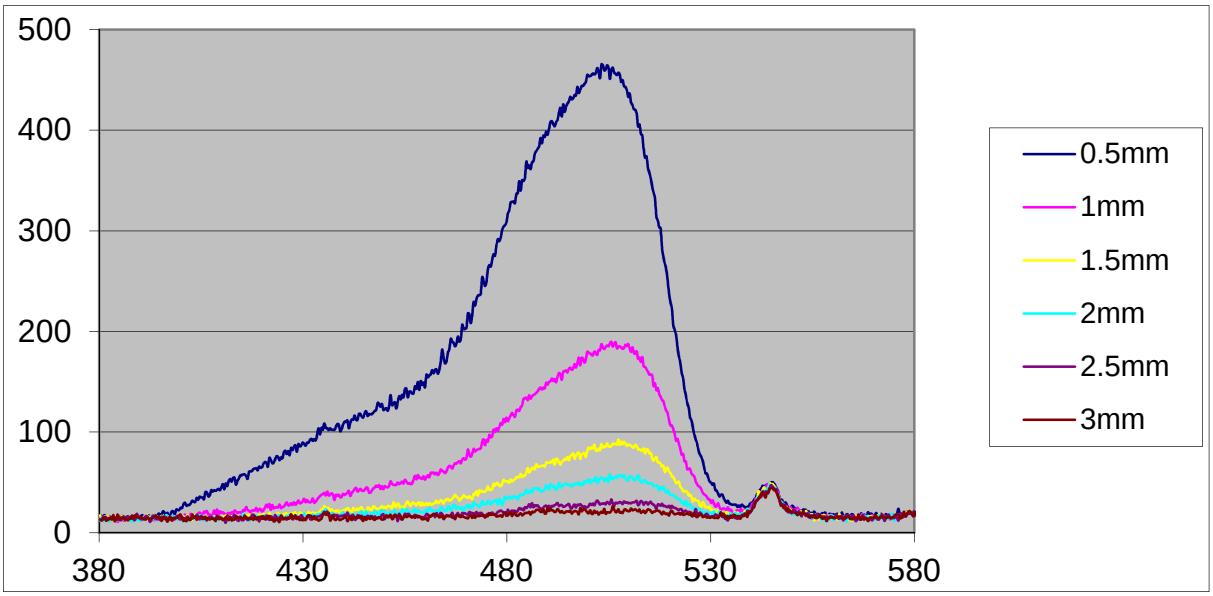
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur O4 .



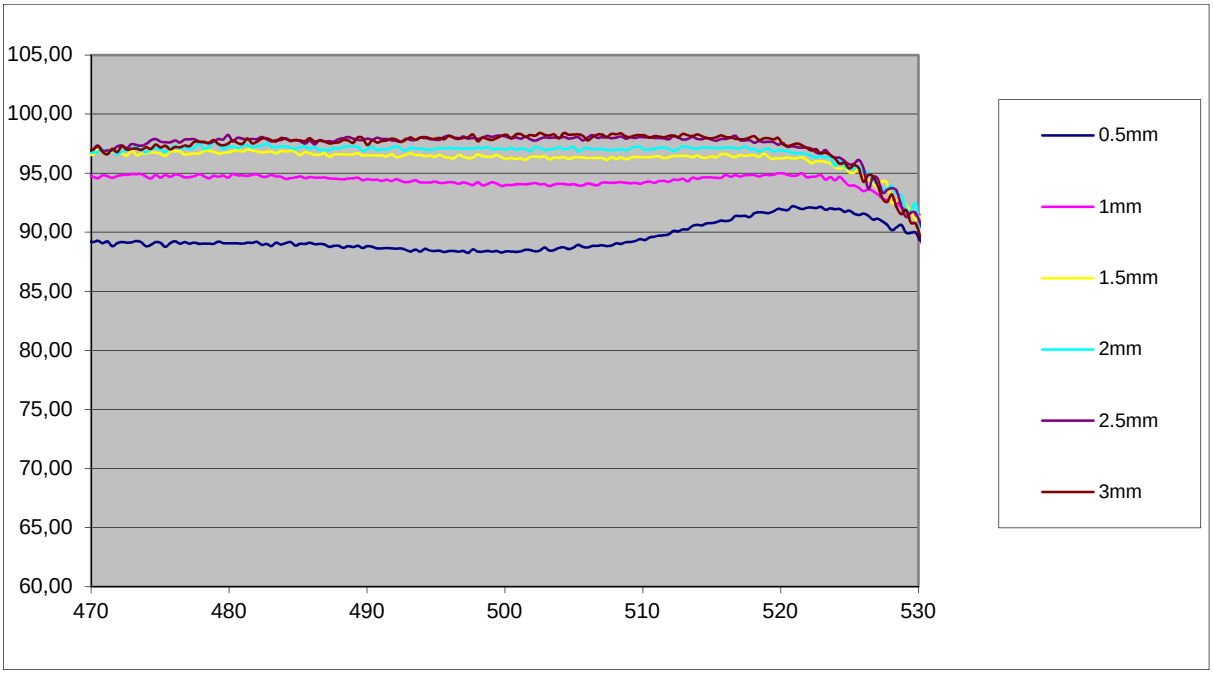
	O4					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	18,5	12,75	15	13	15,5	16
385,32	15,25	15	12,25	17	14,25	15,25
390,34	15,75	14	12,25	15	11,75	15,25
395,01	18,25	14	13,5	15,25	13	16,5
400,02	24,75	16,25	16	14,5	15	14,5
405,03	40,5	16,75	14,5	15,25	16,5	17,75
410,03	46,75	18,5	16,75	15,25	15	15,5
415,02	54,75	23	18,5	14,25	12	16
420	60,25	23,75	19,75	14	13,5	14,25
425,33	69,75	29	18,25	16,75	12,75	14,75
430,3	81,5	34,75	20	18,25	14	13,75
435,26	96,75	42	26,25	22,25	19,25	18,5
440,22	103	34,5	22,5	16	16,75	12,5
445,16	107,25	39,25	25,75	18,75	15,25	14,25
450,1	120	44	26,75	19,25	17	15,75
455,03	134	51,5	29	22,5	18,25	16
460,66	149,5	54,75	31	22	20,75	15
465,22	165,75	61,5	32,5	19,5	16,75	13,25
470,13	194,5	67,75	39,25	23,5	18,75	15,5
475,03	243,75	85,5	45,5	28,5	18,5	15,75
480,27	310,25	113	57	30,75	23,25	17,25
485,16	355,75	132,25	65,75	35,25	24,5	19,25
490,03	394,5	146	76	38,75	26,5	23
495,25	428	161,25	77	42,5	27,75	22,25
500,11	463,25	177,25	87,25	48,5	32,5	23
505,3	474,75	183,75	88	48,5	32	21,5
510,15	460,75	181	95,75	51	31,75	23,25
515,33	375	156,25	85	47,75	29,5	23
520,15	251,5	105,75	62	38	24,25	20
525,31	120,75	57,75	35,5	23	22,25	17,75
530,12	52,25	29,75	22	20,75	16	13,5
535,27	28,25	20,5	16,75	18,25	14,25	13,75
540,06	30	23,25	25,75	22,5	21,25	22,25

- O5.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur O5.



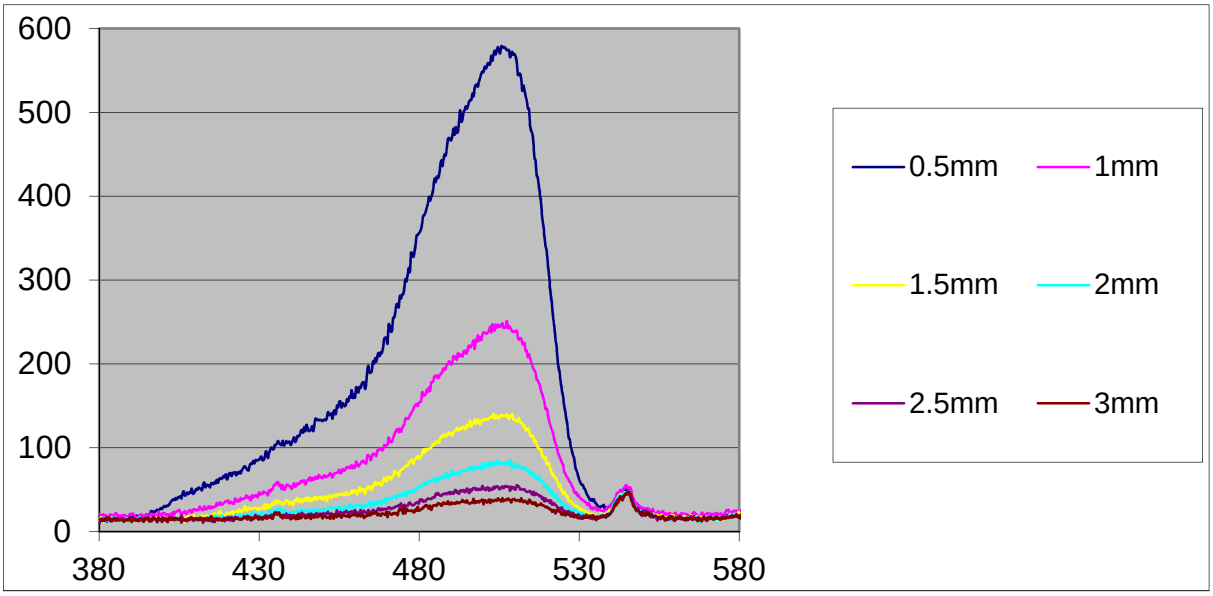
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur O5.



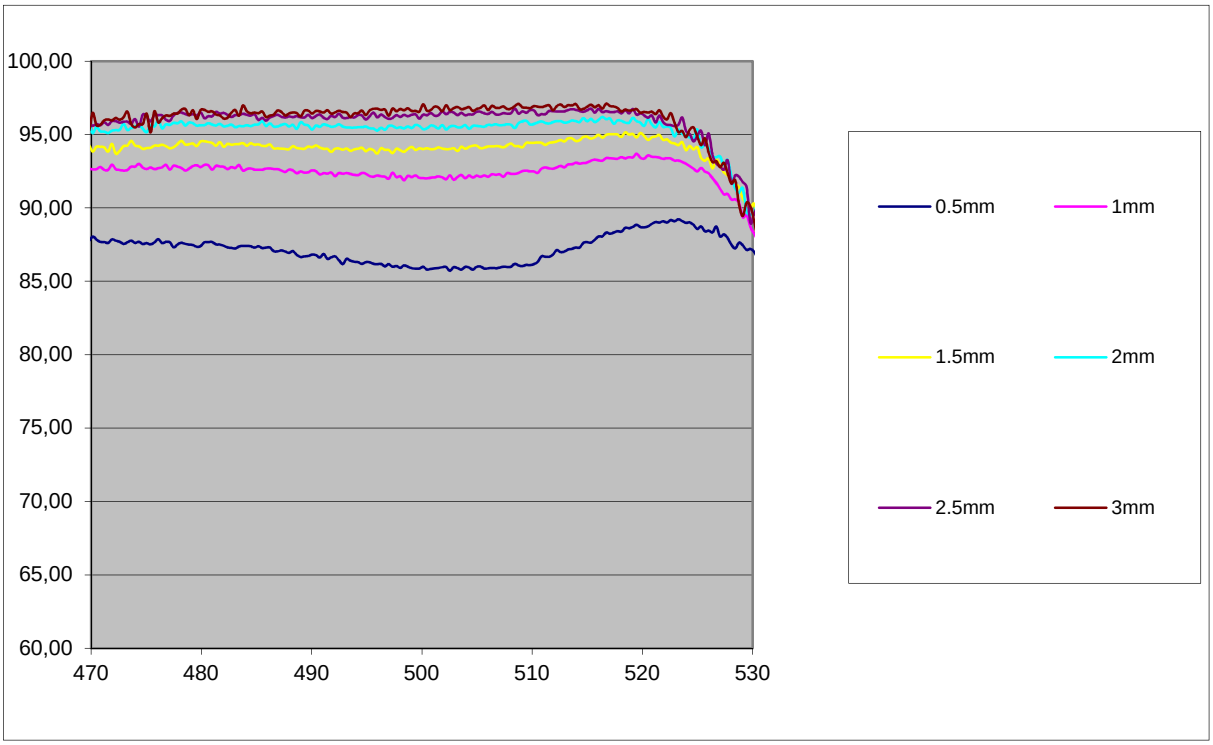
	O5					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	16	15,5	17,25	11,75	13	12,75
385,32	14	12,5	13,75	15,5	12,5	14
390,34	16,5	12,5	14,25	12,25	13,25	15,75
395,01	17,75	15,75	13,75	14,75	13	14
400,02	24,75	16	13,5	14,25	13,25	18
405,03	35	18,75	14,25	12,75	15,5	16,25
410,03	45	19,5	15,5	12,75	14,25	14,75
415,02	57	19,75	13	15,5	12,5	13,75
420	65,25	21	17,5	14,25	13,75	16,25
425,33	79,75	26	18,5	13,5	13,75	13,5
430,3	88,5	33,75	19,75	19,25	13,5	13,75
435,26	108,5	39,5	26,5	20,25	20,75	18,75
440,22	110,25	37,5	22,75	16,75	17,75	15,25
445,16	118,5	42,25	21,5	17,25	15,5	15,5
450,1	123	46,25	25,5	21	13,5	15,75
455,03	142,75	52,5	26	20,75	18,75	17
460,31	157	55,25	29,25	22,75	18,5	14,25
465,22	170	61,25	32,5	21,5	17,25	16,5
470,13	203,5	74,25	35,5	25,5	18,5	14,75
475,03	249	92,25	42,5	28,75	18	16,75
480,27	317	110,75	51	34,25	22,75	17
485,16	362,5	131,75	64,25	39,5	25,75	19,75
490,03	395,5	147,25	69,5	46	25	25,5
495,25	428,75	162,75	72	47,25	28,5	20,75
500,11	453,75	178,5	84,5	52,75	26,5	19,25
505,3	451	187,75	85,25	58	28,5	20
510,15	436,5	183	87	56	29,5	21,5
515,33	351,5	157,25	79,25	49,25	30,75	21,75
520,15	229	106,75	59,25	37,75	24,25	20,75
525,31	111,75	59	35,75	26	19,5	16,75
530,12	49,75	29,75	22,5	19,75	16	15,25
535,27	27,75	21	17,25	15	15,5	15,25
540,06	29,5	27,25	21,5	21,25	22,25	22

- OB.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur OB.



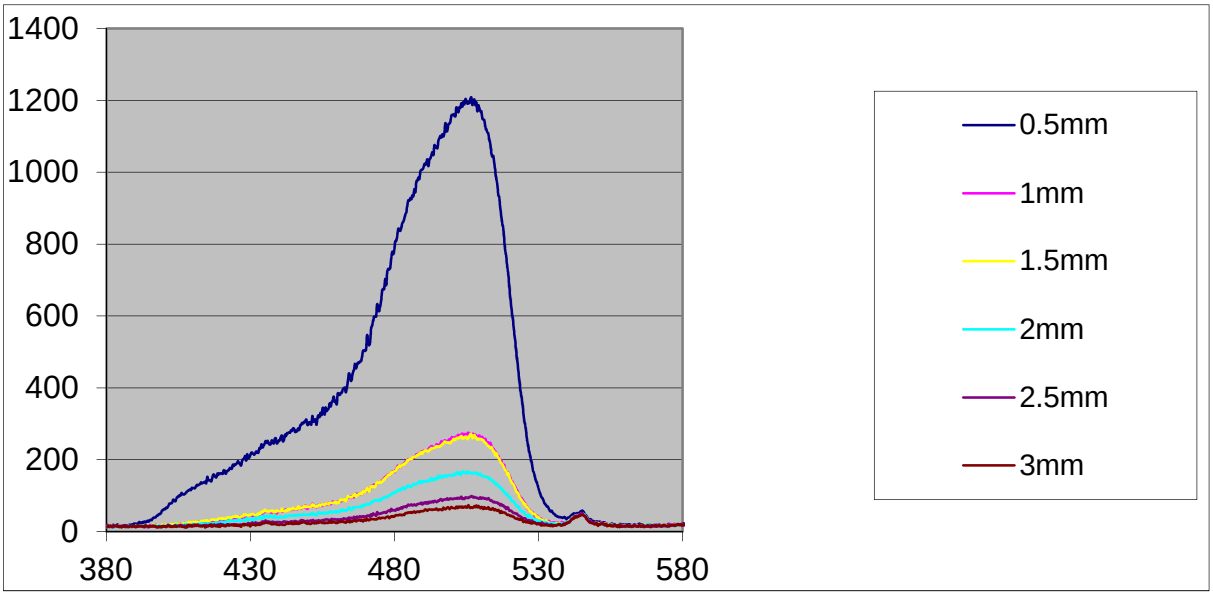
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur OB.



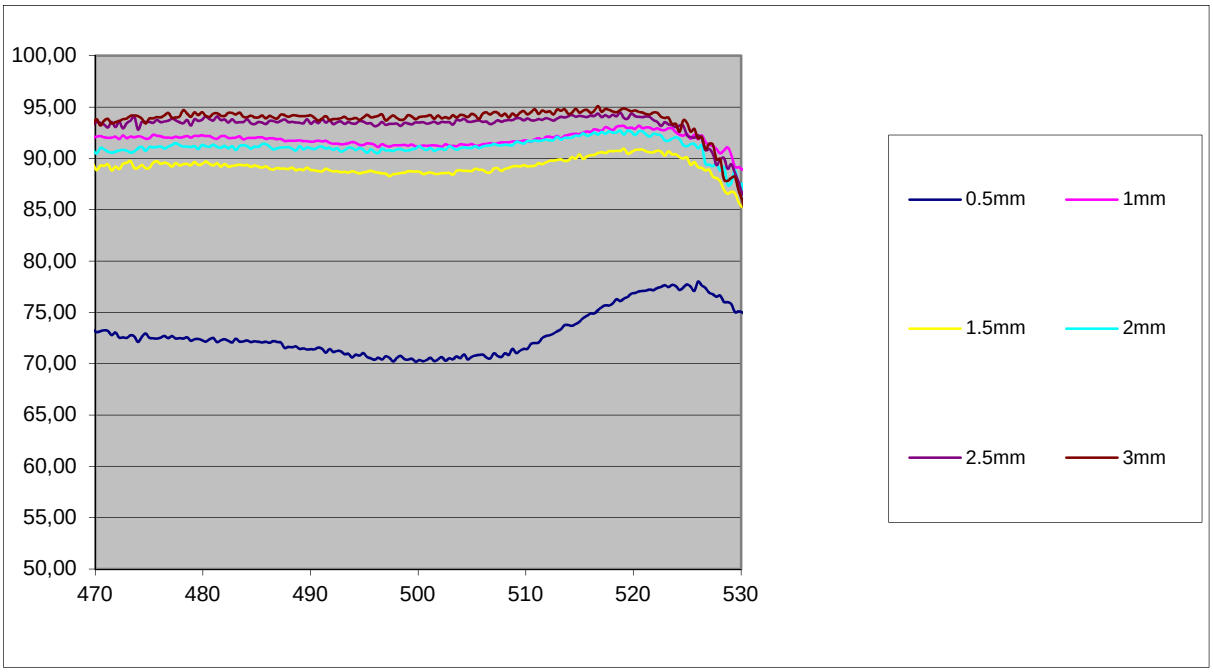
	OB					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	17,5	21	13,25	14,25	10	14,5
385,32	13,75	22	14	14	16	12,75
390,34	17,75	21,5	14,25	14,25	13,25	11,75
395,01	17,25	20,75	16,5	14	16	14,75
400,02	29	22	15,25	16	17,25	14,75
405,03	41	26	15,5	14,5	14	15,25
410,03	48,25	26,25	16,25	14,5	15,75	15
415,02	57,5	29,75	18	16,75	14,75	18,25
420	62	36	22,5	16,75	16,5	14
425,33	77,5	39,25	28,5	20,25	17	18
430,3	87	44,25	27,25	20,75	16,25	16
435,26	103,25	57,25	36,5	25,25	22	20,75
440,22	105,75	51	34,25	21,5	19,5	16
445,16	124	61,5	40,75	26,5	19,75	16,5
450,1	133	66	38,25	27,5	22	17,5
455,03	154,5	73,75	44,75	28,25	20,75	20,5
460,31	172	83,25	48	31,5	21,25	20,25
465,22	191,25	89,25	49,75	30	23,5	21,75
470,13	224,5	103,75	63,5	38,5	27,25	17,25
475,03	283,25	126	75,25	46,75	29,25	21,25
480,27	357,75	154,5	89,25	54,5	38,25	25,5
485,16	416,75	184,75	105,25	61,5	45	31,5
490,03	466,75	199,25	117,25	72	47	34,75
495,25	508	219,25	125,25	75,25	49,25	34,75
500,11	548	237,5	133,75	81,5	50,75	32,5
505,3	570,5	246	138,5	81,25	50,75	37,25
510,15	566,5	238,5	132,75	79,75	50,25	36,75
515,33	475	198	114,5	67,5	44,25	33
520,15	321	141,75	80,75	54,25	36,75	28,25
525,31	149,75	71,25	47,5	33	22	22,25
530,12	60,5	40,75	25,25	21,25	18	16
535,27	33,25	27,75	19,75	17,5	17,5	13,5
540,06	30,75	33	26,25	24,25	24,25	22,75

- TD.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur TD



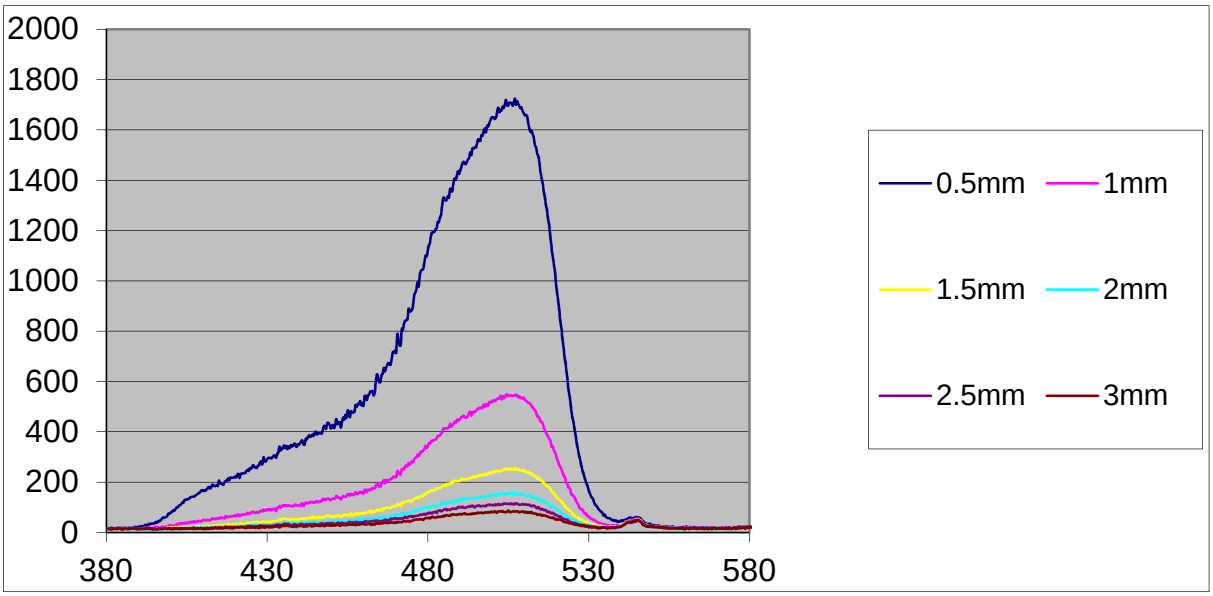
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur TD.



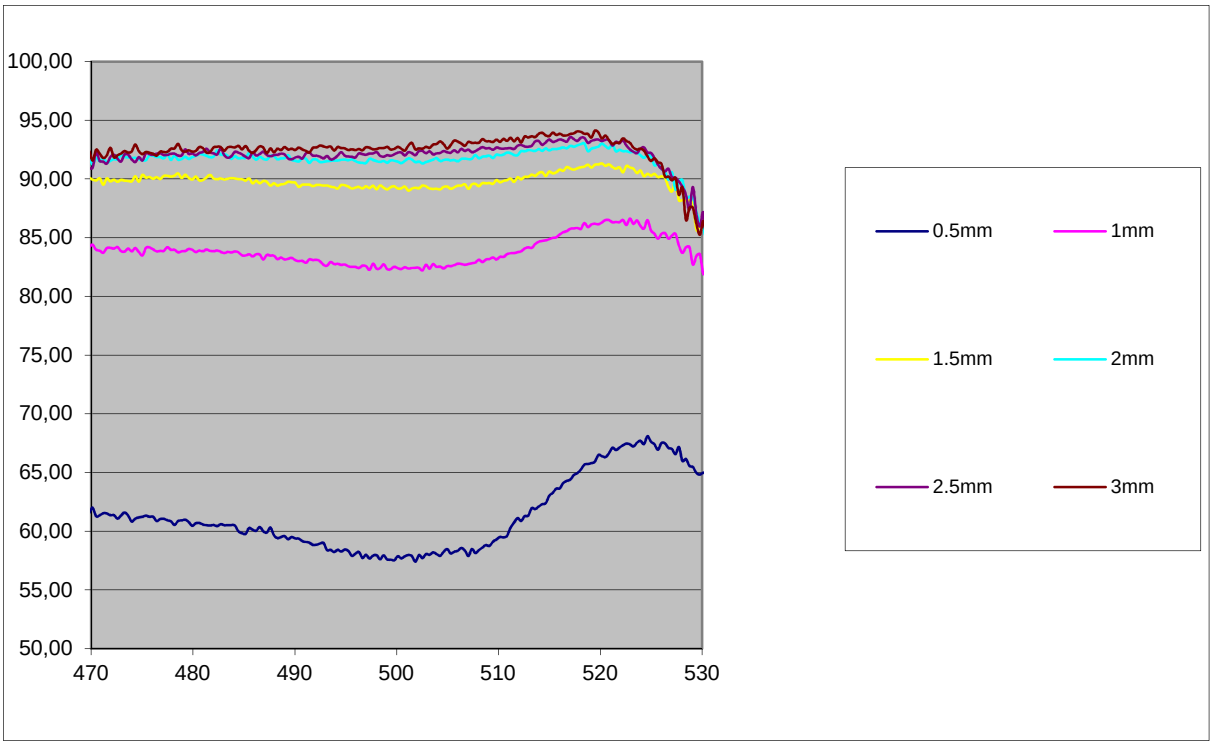
	TD					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	15,25	12,5	16,5	12	18,75	13
385,32	14	13,75	12,25	15,5	14	11,25
390,34	21,75	14	16,5	17,25	12,5	14,5
395,01	31,25	17,25	14,75	13,25	13,5	15,5
400,02	62,5	16	18	16,25	14	14,25
405,03	96,5	21,75	20,5	18,75	16	15,75
410,03	120,75	20,75	26,25	21,25	18,25	14,5
415,02	152,25	26,25	31	23	16	14,25
420	161,5	31,75	36,75	28	16,5	18,5
425,33	190,25	38	40,25	29,75	19,5	18,5
430,3	219,5	44,75	47,75	34,75	21,75	20,5
435,26	251,75	55,5	57,5	39,25	30,75	25,5
440,22	254	57,5	56	41,25	26,25	19
445,16	286	64	64,5	45,5	28	21,5
450,1	297,5	68,25	69	48	29,25	23,5
455,03	343,25	75,5	75,25	51,75	32	23,5
460,31	384,75	83,5	82,25	56	34	24,5
465,22	425,75	97,5	96,25	60,25	37,25	26,75
470,13	505,75	110,75	115	74,75	40	30,25
475,03	627,75	137,75	138,75	85,75	49,75	36,25
480,27	807,5	171,25	168,5	110	58	45
485,16	921	198,75	200,75	126,5	72,5	53,25
490,03	1012,5	224,75	222,5	139,25	80,25	56,5
495,25	1088	239	237	155,5	86,5	59,5
500,11	1159,5	262,5	252	154,75	90,75	66
505,3	1190,75	273,25	257,25	161	93,5	68
510,15	1169,5	263	257,25	154,75	91,5	68,5
515,33	981,75	219	218	129,75	80,75	59,5
520,15	655,25	152	145,25	95,25	58,5	43,5
525,31	299,25	79,25	76,75	48,5	36,75	28,75
530,12	116,5	38,5	38,25	25,75	23,25	20,75
535,27	49,75	25,75	21	22,75	17,75	18
540,06	37	26,5	26,5	26	24,5	23,25

- TL.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur TL.



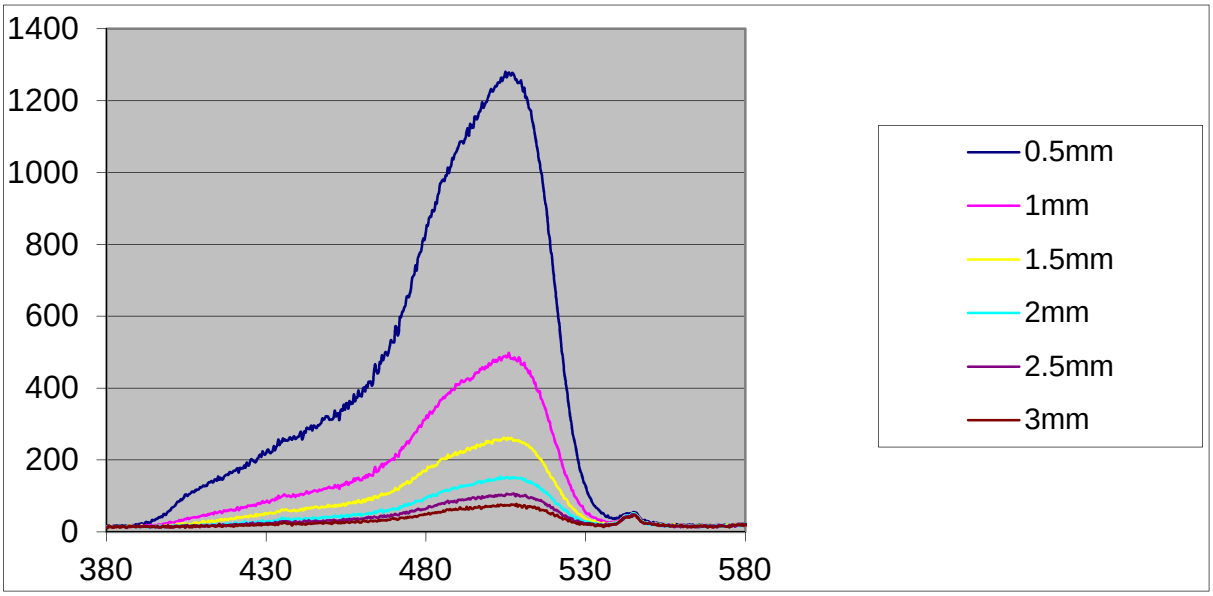
Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur TL.



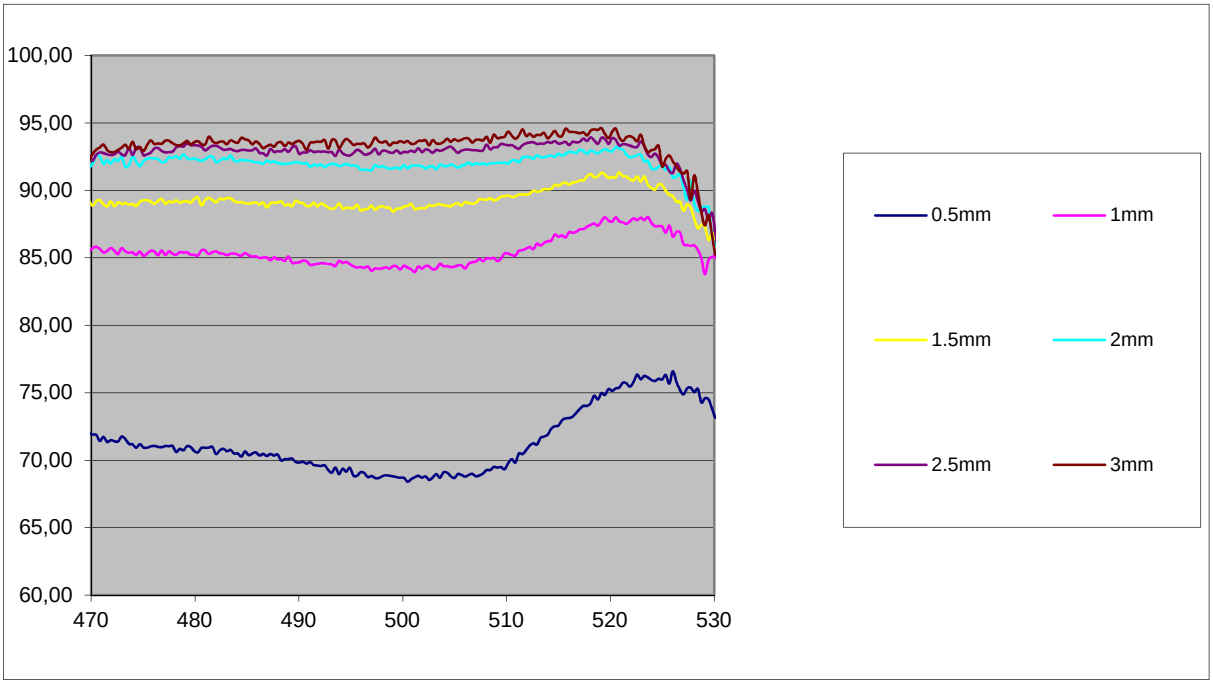
	TL					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	16	15,75	13	13	14,25	13,75
385,32	16,25	15,5	14,25	16,25	15,25	12,75
390,34	23,5	15,75	15	14	14,25	12,5
395,01	35,5	20,5	16,75	14,25	13,5	15,25
400,02	78,5	27,5	21	15	13,25	15
405,03	130,75	36,75	19,75	16,25	15,5	16,25
410,03	164,25	48,75	23,75	18,5	15,5	15
415,02	206	58,25	26,75	19	21	18
420	221	68,25	33,75	22	21,25	19,5
425,33	260,5	80,75	38,5	26,5	22,75	20,75
430,3	296,25	92	42,5	31,5	25	21
435,26	346	108,75	55	36,75	34,5	24,75
440,22	354	109,5	52,75	35	33,5	24,75
445,16	400,25	124	57	42	33	29,5
450,1	418	131,5	65	43,25	36,75	29,75
455,03	484,75	152,25	71	46,5	36	30,5
460,31	542,25	169,25	77,25	55,25	41,25	31,75
465,22	597,5	181,75	90,25	58,25	44,5	35,75
470,13	713,25	219,25	103,75	68,75	56	41,25
475,03	885,5	283	122,5	81	65	46,75
480,27	1139,5	354,5	160	100,25	78,5	58,5
485,16	1329	412,5	188,25	117	91	63,75
490,03	1437,75	452,75	205,75	130,25	99	73,25
495,25	1545	488,25	223	138,25	106	78
500,11	1647,5	523,75	241,25	149,75	108	80,25
505,3	1707,75	543,25	253,25	154	114,25	83,25
510,15	1657,75	527,25	245,25	148,75	110,75	82
520,15	952,25	292,25	137,25	86	67,25	53,5
525,31	433,25	143,5	69	49,75	38	32
530,12	163	62,75	36,75	29,25	22,25	20
535,27	63,75	31,5	23,75	17	20	19
540,06	47,25	30,75	28,75	26,5	24,25	23,5

- TN.

Ce tableau représente l'influence de la transmission de la lumière en fonction de l 'épaisseur pour la couleur TN.



Ce tableau représente l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de l'épaisseur, pour la couleur TN.

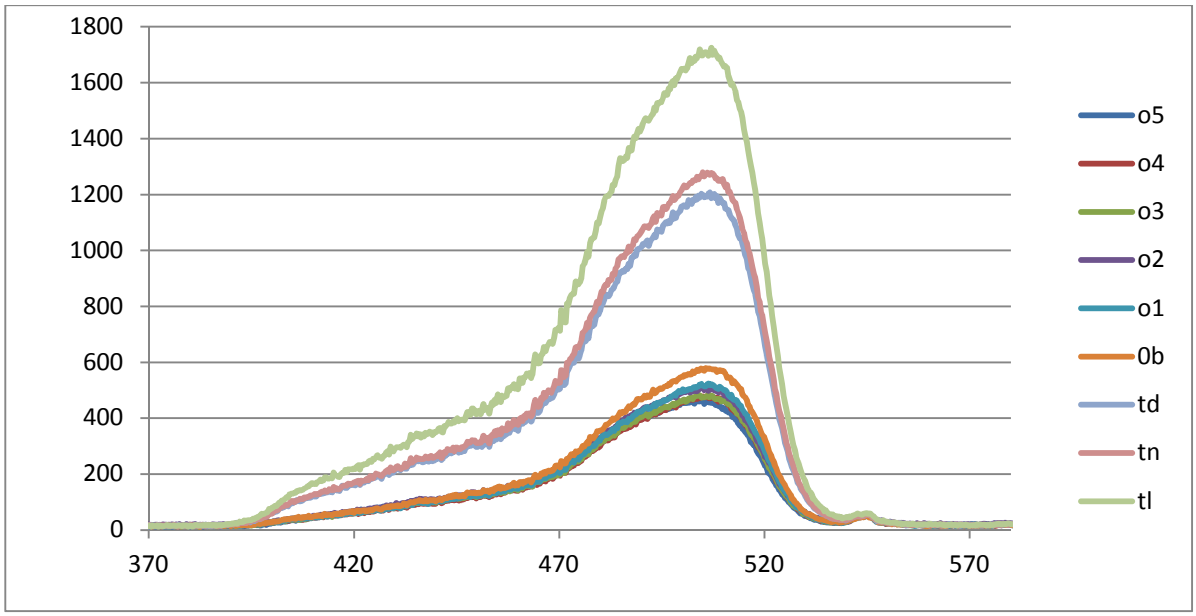


	TN					
longueurs d'onde	0,5	1	1,5	2	2,5	3
380,28	17,5	13,25	14,75	15,75	14,5	10,25
385,32	16	14,75	15,5	15,25	14,5	14,75
390,34	22	13,5	12	13,75	14,25	13,25
395,01	31,5	18,75	15,5	14,75	13,25	15,25
400,02	59,75	27,25	17,75	16	16	14,25
405,03	103,5	35,25	22	17,75	16	14,25
410,03	125,5	45	28,5	17	17	15,25
415,02	154	54,25	31	19,75	18,75	17
420	170,25	61	37	21,25	21	14,5
425,33	202,25	72,25	44	25,75	19,5	18,75
430,3	226,25	86,75	49,5	28,75	24,25	19,75
435,26	259,75	100,5	60	36,5	29,5	24,25
440,22	264,75	100,25	58,75	37,25	27,25	22,5
445,16	295	115,5	68,5	37,25	29	23,25
450,1	311,75	122,25	72,25	40,5	32,25	25,5
455,03	357,25	138,75	75,5	43,75	33,75	27,5
460,31	397,75	149,5	89	47,5	35	31,25
465,22	444,25	170	96,75	56,5	39,25	32,5
470,13	527,5	200,75	114,75	62,75	48,25	35,75
475,03	663,75	254,5	136,25	75,5	57	42
480,27	852,75	324	172	96,5	65,5	48,75
485,16	978,75	369,75	203,75	111	79	55,75
490,03	1068,5	410,25	217,5	122,5	88,25	61,5
495,25	1154,75	437,5	237	134	94,75	68,5
500,11	1224,25	463,75	249,75	142,75	99,25	71,25
505,3	1264,75	485,25	255,75	152	106	74
510,15	1237,25	465,5	247,5	149,25	99,5	67,5
515,33	1038,5	388,75	205,75	127,25	88,5	66,25
520,15	704,5	262,75	142,25	87,5	60,75	46,25
525,31	314,75	128,5	72,25	47,75	37,5	29,75
530,12	125	51,75	35,75	29	23	21,75
535,27	52,5	28,5	21	20	17,75	17,25
540,06	37,75	26,5	25,5	26,25	25	24,25

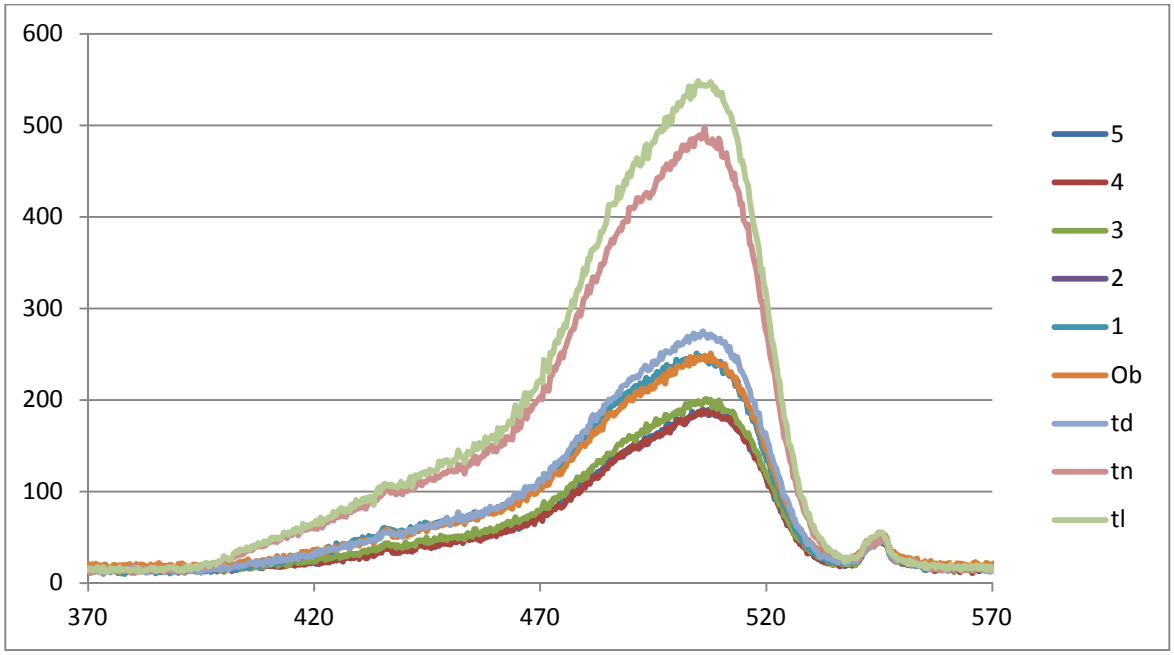
4.4.2.2 .En fonction de l'épaisseur.

Les tableaux suivants représentent l'influence de la transmission de la lumière en fonction de la couleur, pour chaque épaisseur.

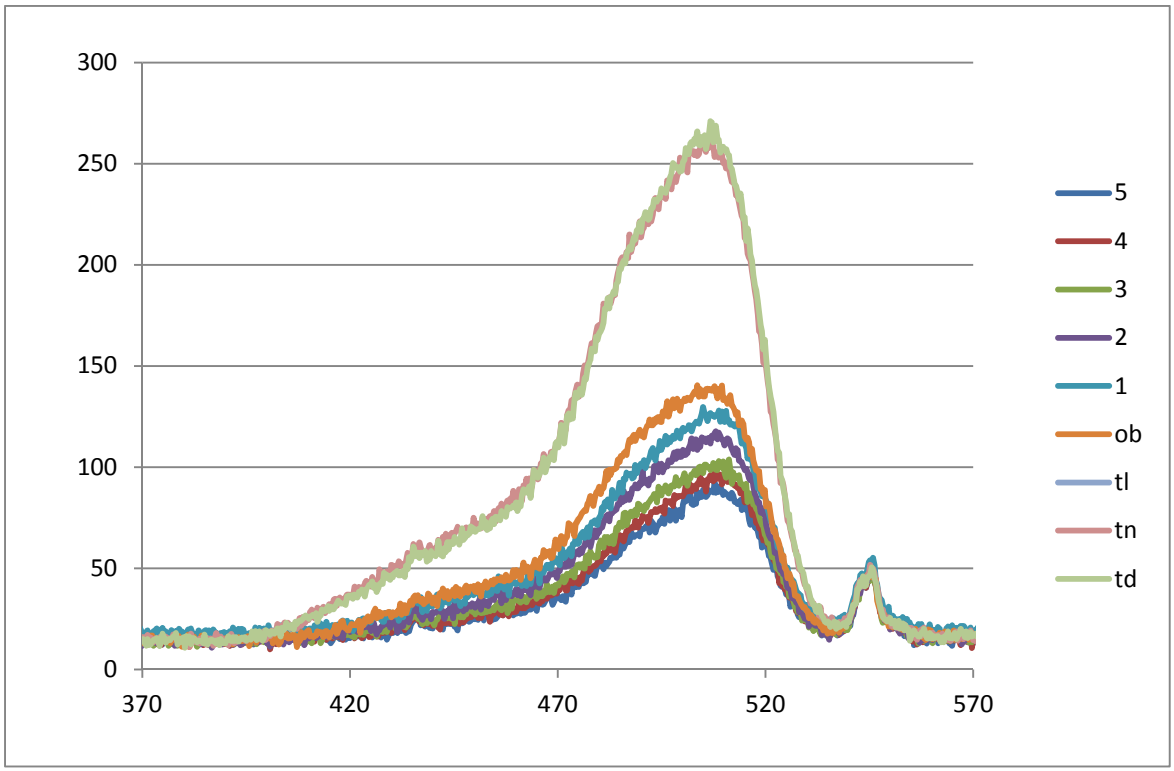
- 0.5mm



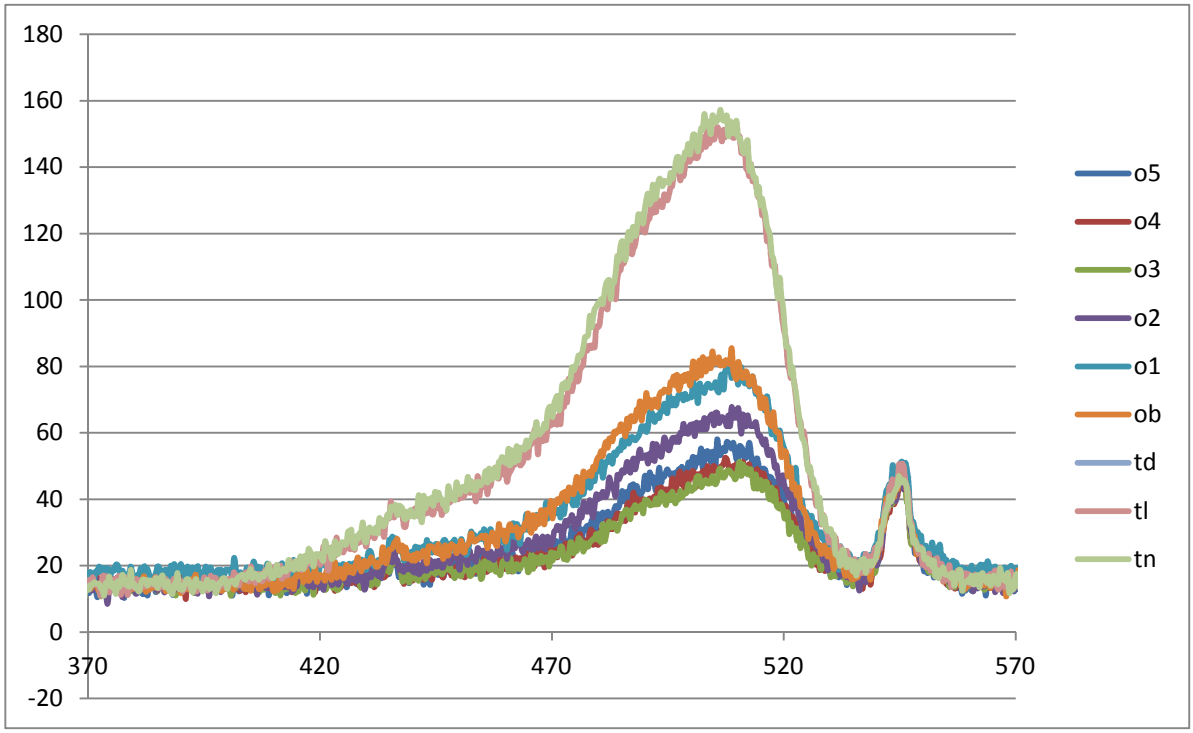
- 1mm



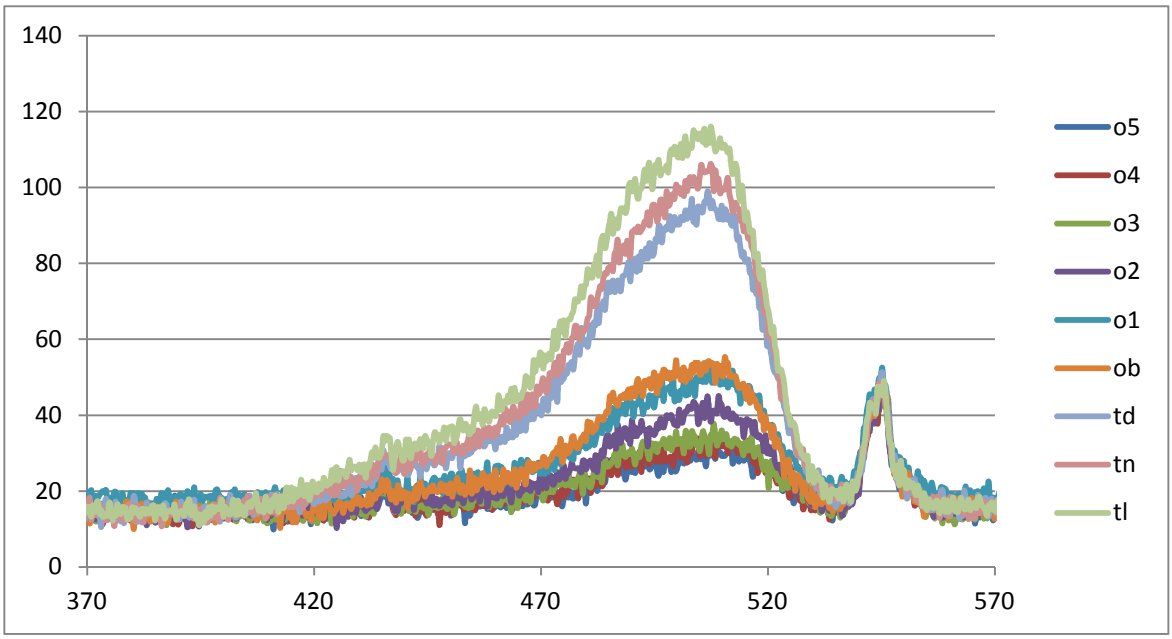
- 1.5mm


300
250
200
150
100
50
0
370
420
470
520
570
5
4
3
2
1
ob
tl
tn
td

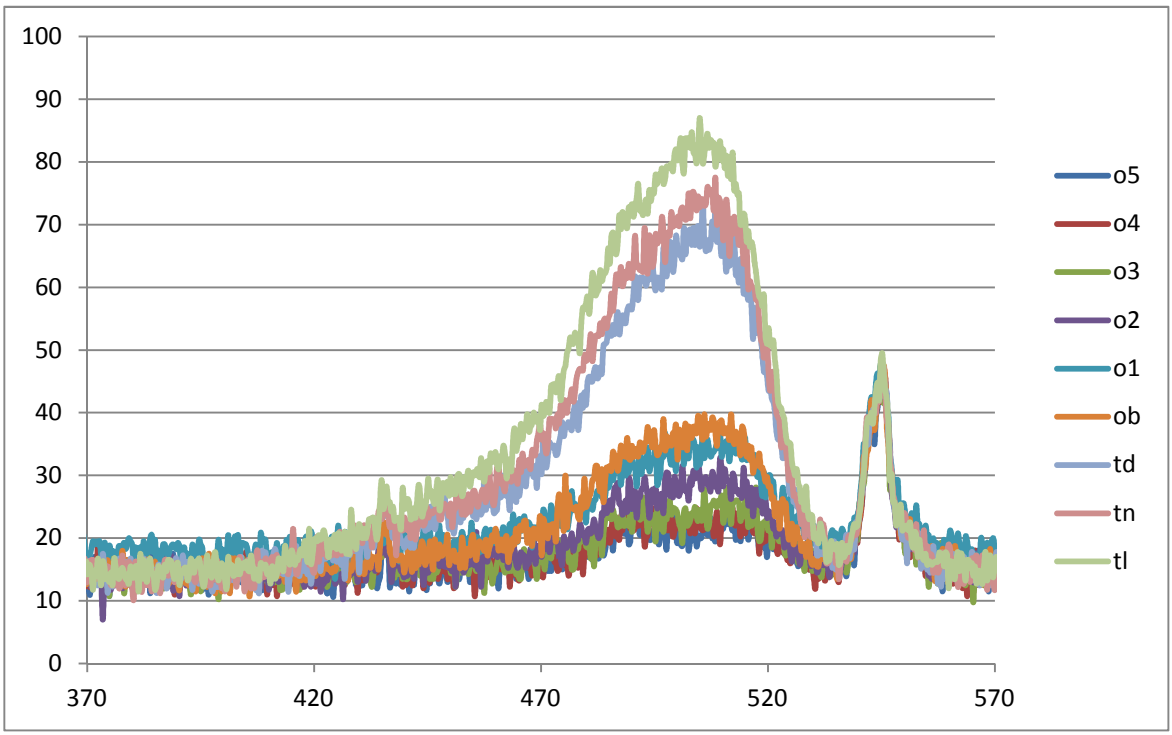
- 2mm


180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
370
420
470
520
570
o5
o4
o3
o2
o1
ob
td
tl
tn

- 2.5mm

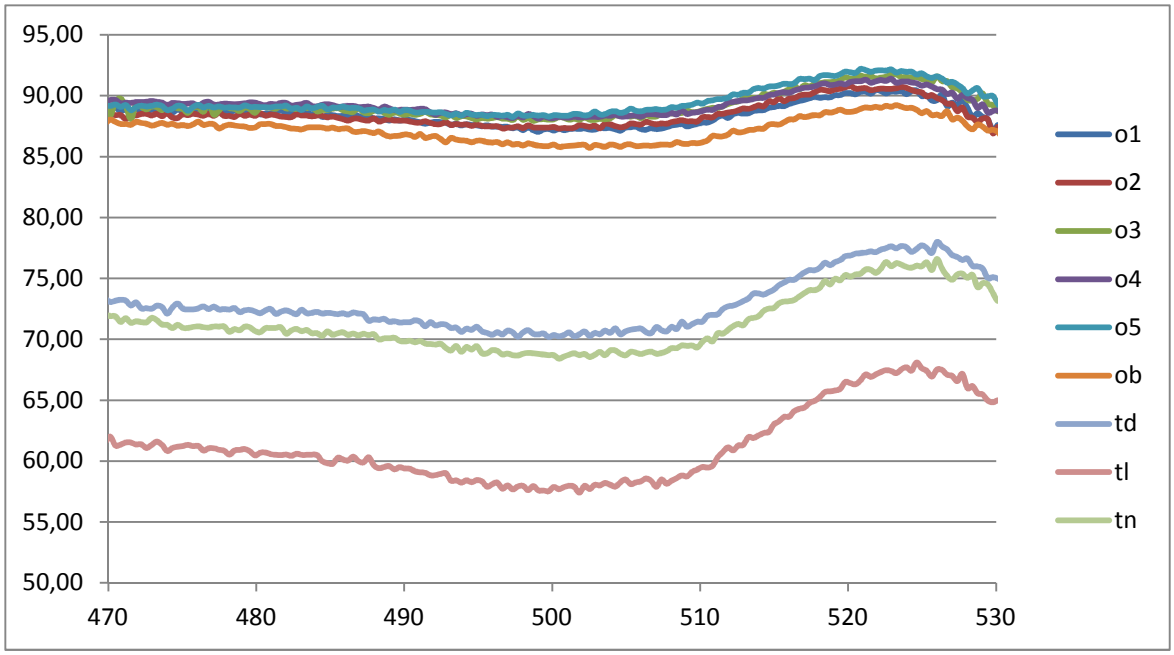

140
120
100
80
60
40
20
0
370
420
470
520
570
o5
o4
o3
o2
o1
ob
td
tn
tl

- 3mm

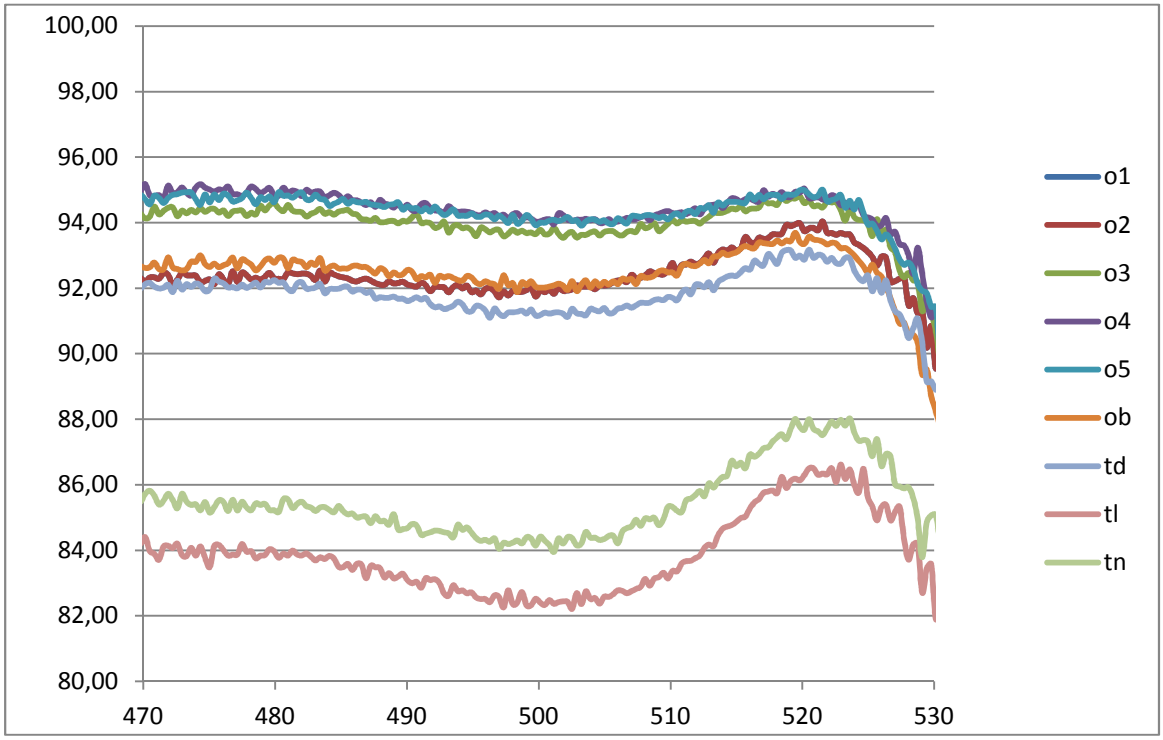

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
370
420
470
520
570
o5
o4
o3
o2
o1
ob
td
tn
tl

Les tableaux suivants représentent l'influence du pourcentage d' absorption en fonction de la couleur, pour chaque épaisseur.

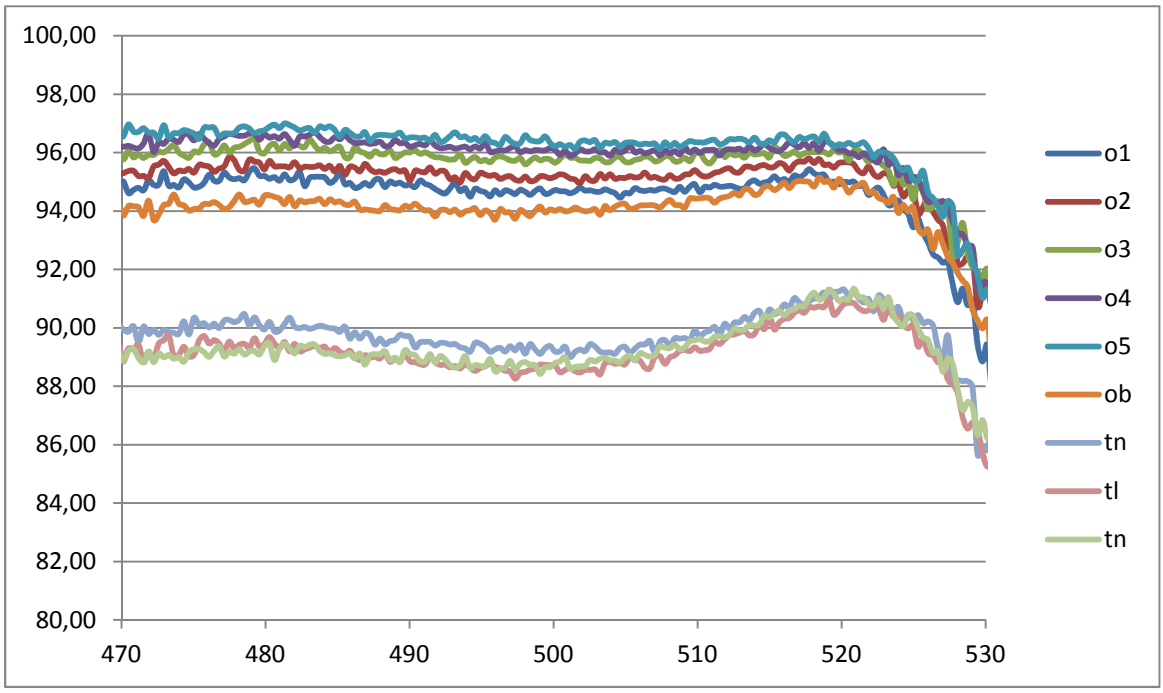
- 0.5mm



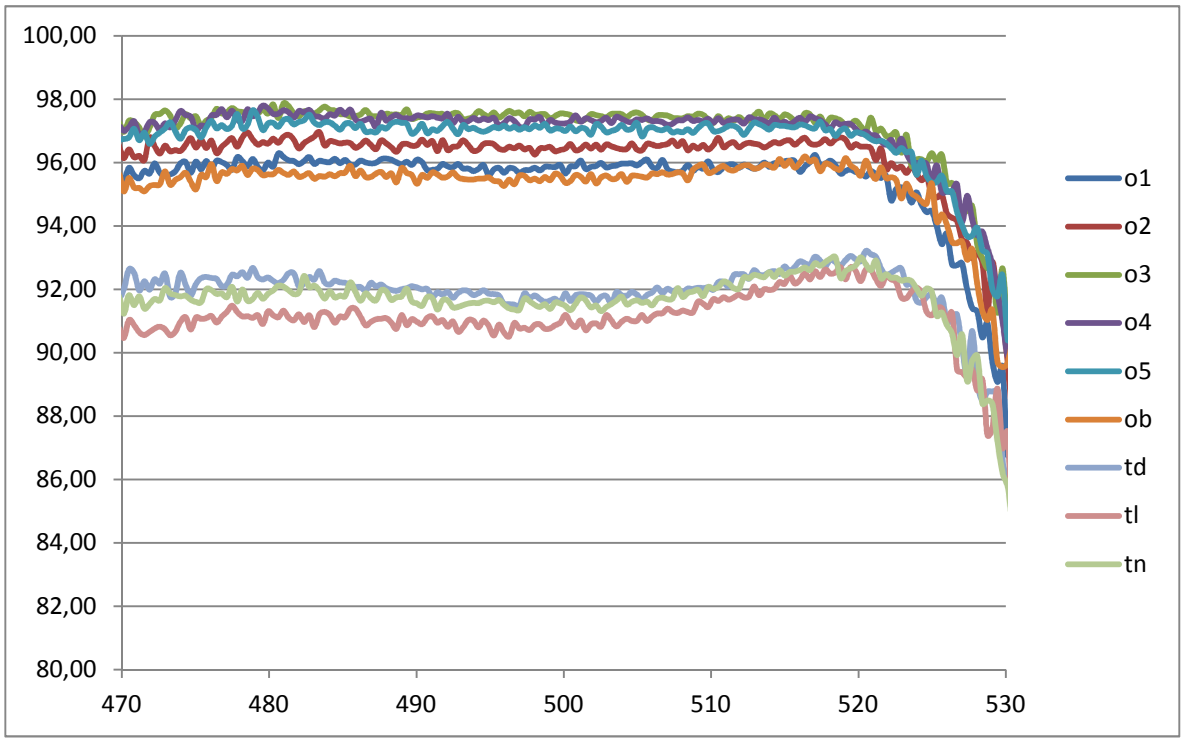
- 1mm



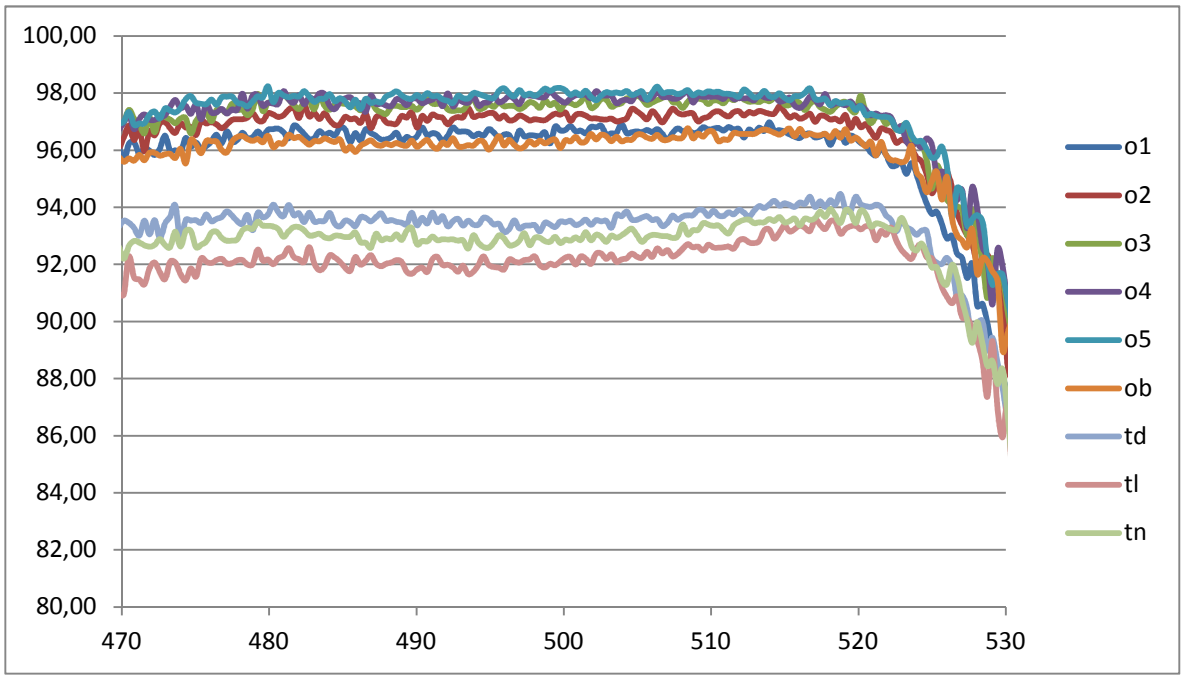
- 1.5mm


100,00
98,00
96,00
94,00
92,00
90,00
88,00
86,00
84,00
82,00
80,00
470
480
490
500
510
520
530
o1
o2
o3
o4
o5
ob
tn
tl
tn

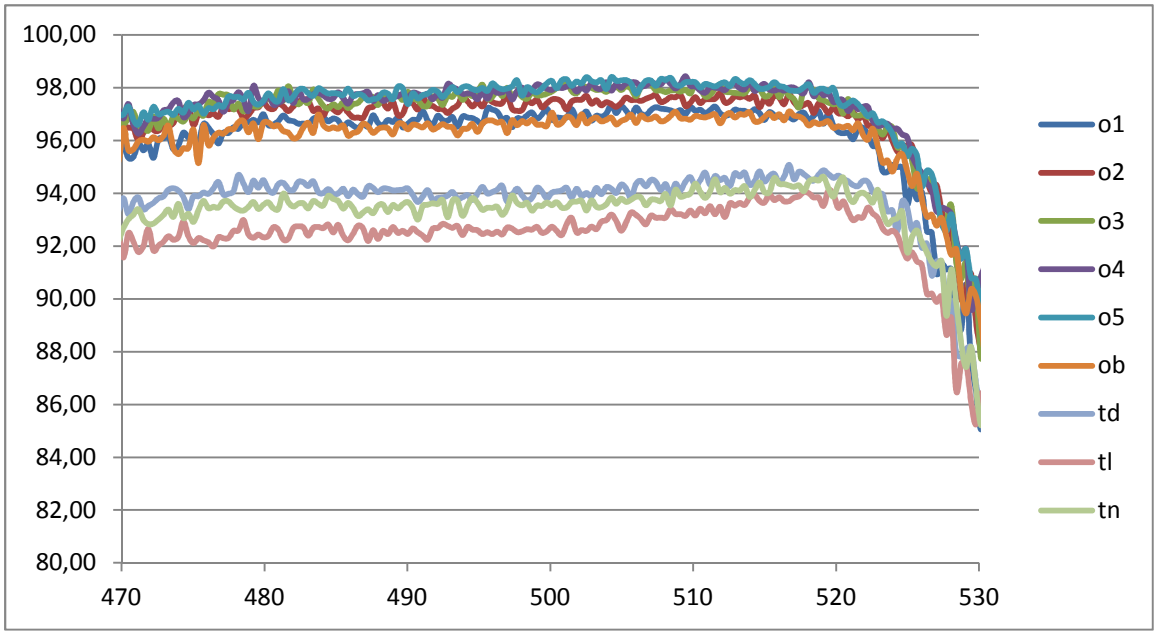
- 2mm


100,00
98,00
96,00
94,00
92,00
90,00
88,00
86,00
84,00
82,00
80,00
470
480
490
500
510
520
530
o1
o2
o3
o4
o5
ob
td
tl
tn

- 2.5mm


100,00
98,00
96,00
94,00
92,00
90,00
88,00
86,00
84,00
82,00
80,00
470
480
490
500
510
520
530
o1
o2
o3
o4
o5
ob
td
tl
tn

- 3mm


100,00
98,00
96,00
94,00
92,00
90,00
88,00
86,00
84,00
82,00
80,00
470
480
490
500
510
520
530
o1
o2
o3
o4
o5
ob
td
tl
tn

Les résultats de cette étude nous montre que la lampe halogène. translux Energy d'heraus Kulzer émet une large gamme de longueurs d' onde, entre 395 et 540 nm, avec un pic maximal d' absorption à environ 505nm, ce qui ne correspond pas au pic d'absorption de la camphoroquinone.

Il est possible de provoquer une réaction de polymérisation par l'exposition à des radiations électromagnétiques telles que celles de la lumière visible à condition que le spectre de la lumière émise soit en concordance avec le spectre d'absorption du photo-initiateur. L'initiation de la polymérisation dépend alors de la scission d'une molécule jouant le rôle d'initiateur par une lumière visible dans une longueur d'onde appropriée. Dans les systèmes utilisant la lumière visible, le photo-initiateur le plus utilisé dans les composites dentaires est la camphoroquinone. Cette molécule absorbe de l'énergie entre 450 et 500 nm, qui correspond au domaine du bleu de la lumière visible , son pic d'absorption se situant à 466,5 nm. C'est la dissociation de la camphroquinone sous l'action du rayonnement lumineux qui va créer des sites réactifs qui vont décomposer l'amine tertiaire. D'autres systèmes de photo-initiateurs sont utilisés par quelques fabricants. Les longueurs d'ondes d'activations peuvent être très différentes de celles de la camphoroquinone. Si cela ne présente pas d'inconvénient pour les sources lumineuses à large spectre (halogènes), il peut y avoir perte sensible, voire absence de polymérisation avec les systèmes à spectre plus restreint (lasers, lampe à plasma, LED).
Pour le cas de la camphoroquinone, l 'absorption maximale est divisée par environ 2,5 par rapport au pic maximal que peut émettre la lampe halogène.

Aussi cette étude permet de tirer les mêmes conclusions que celles obtenues avec le radiomètre, à savoir l'influence de l' épaisseur et de la couleur de la résine composite sur l' absorption de la lumière. Ainsi, quand l'épaisseur passe de 0.5mm à 3mm, nous remarquons une difference d'absorption de 80%. Ainsi, plus l'épaisseur de la résine composite augmente, plus l'absorption de la lumière est importante. Les couleurs émail transmettent plus de lumière que les couleurs dentine.

4.4.3. Paramètres colorimétriques.

-O1 Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
O1 0.5mm AMARIS C.2°	M.	80,10	-2,56	7,63	8,05	108,58	32,99	14,49	54,61	56,76	58,19	0,3221	0,3348
	S.D.	0,31	0,09	0,10	0,12	0,44	0,66	0,31	0,65	0,62	0,86	0,0002	0,0006
O1 1mm AMARIS C.2°	M.	72,98	-2,20	6,98	7,32	107,53	26,22	14,48	43,36	44,98	46,22	0,3222	0,3343
	S.D.	0,33	0,09	0,16	0,18	0,29	0,70	0,40	0,63	0,62	0,84	0,0004	0,0006
O1 1.5mm AMARIS C.2°	M.	70,80	-1,98	4,97	5,35	111,71	29,41	10,41	40,27	41,73	44,53	0,3183	0,3298
	S.D.	0,21	0,07	0,14	0,15	0,62	0,61	0,34	0,41	0,41	0,59	0,0003	0,0005
O1 2mm AMARIS C.2°	M.	67,78	-2,14	4,54	5,02	115,30	27,41	9,40	36,37	37,75	40,57	0,3171	0,3292
	S.D.	0,30	0,05	0,14	0,14	0,50	0,66	0,25	0,30	0,30	0,42	0,0002	0,0003
O1 2.5mm AMARIS C.2°	M.	67,48	-2,10	3,21	3,84	123,24	30,64	6,15	35,90	37,21	41,20	0,3141	0,3255
	S.D.	0,22	0,02	0,08	0,08	0,58	0,42	0,44	0,55	0,58	0,78	0,0005	0,0004
O1 3mm AMARIS C.2°	M.	66,81	-2,23	2,99	3,73	126,76	30,60	5,52	35,20	36,59	40,60	0,3132	0,3256
	S.D.	0,40	0,08	0,14	0,11	1,75	0,86	0,37	0,37	0,37	0,55	0,0003	0,0004

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
O1 0.5mm AMARIS C.2°	M.	15,25	0,81	17,29	23,05	0,59
	S.D.	0,33	0,00	0,26	0,37	0,00
O1 1mm AMARIS C.2°	M.	6,57	0,91	9,02	9,58	0,79
	S.D.	0,17	0,00	0,03	0,22	0,00
O1 1.5mm AMARIS C.2°	M.	3,14	0,96	4,70	4,47	0,89
	S.D.	0,32	0,00	0,11	0,18	0,00
O1 2mm AMARIS C.2°	M.	1,44	0,98	2,66	2,18	0,94
	S.D.	0,11	0,00	0,01	0,34	0,01
O1 2.5mm AMARIS C.2°	M.	1,10	0,98	1,68	0,96	0,97
	S.D.	0,45	0,01	0,19	0,47	0,01
O1 3mm AMARIS C.2°	M.	0,18	1,00	0,79	0,53	0,99
	S.D.	0,24	0,00	0,03	0,48	0,01

-O2 Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
O2 0.5mm AMARIS C.2°	M.	77,12	-1,95	9,03	9,24	102,21	24,00	18,40	50,13	51,88	51,53	0,3265	0,3379
	S.D.	0,24	0,06	0,09	0,10	0,30	0,45	0,16	0,39	0,40	0,47	0,0001	0,0003
O2 1mm AMARIS C.2°	M.	68,95	-1,29	8,09	8,19	99,03	18,03	18,52	38,15	39,33	39,20	0,3270	0,3370
	S.D.	0,37	0,05	0,14	0,15	0,27	0,66	0,29	0,43	0,43	0,55	0,0003	0,0004
O2 1.5mm AMARIS C.2°	M.	64,84	-1,16	6,17	6,27	100,62	19,17	14,64	33,02	33,99	35,18	0,3231	0,3326
	S.D.	0,32	0,06	0,12	0,12	0,52	0,56	0,28	0,29	0,30	0,40	0,0003	0,0003
O2 2mm AMARIS C.2°	M.	64,23	-1,28	4,50	4,68	105,83	22,87	10,16	31,60	32,60	35,04	0,3185	0,3285
	S.D.	0,25	0,04	0,12	0,13	0,21	0,49	0,29	0,35	0,36	0,48	0,0003	0,0004
O2 2.5mm AMARIS C.2°	M.	62,61	-1,46	3,35	3,66	113,53	24,26	7,66	30,12	31,11	34,12	0,3159	0,3263
	S.D.	0,21	0,02	0,10	0,09	0,53	0,43	0,28	0,27	0,27	0,38	0,0002	0,0004
O2 3mm AMARIS C.2°	M.	62,81	-1,61	2,75	3,18	120,29	26,09	5,95	30,29	31,33	34,82	0,3141	0,3249
	S.D.	0,18	0,05	0,10	0,11	0,46	0,39	0,28	0,24	0,23	0,35	0,0003	0,0004

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
O2 0.5mm AMARIS C.2°	M.	16,19	0,79	18,49	22,68	0,56
	S.D.	0,15	0,00	0,14	0,21	0,00
O2 1mm AMARIS C.2°	M.	6,97	0,90	9,60	8,97	0,77
	S.D.	0,16	0,00	0,09	0,19	0,00
O2 1.5mm AMARIS C.2°	M.	3,13	0,95	5,12	3,82	0,89
	S.D.	0,34	0,01	0,14	0,26	0,01
O2 2mm AMARIS C.2°	M.	1,04	0,98	2,09	1,86	0,94
	S.D.	0,29	0,00	0,13	0,38	0,01
O2 2.5mm AMARIS C.2°	M.	0,78	0,99	1,36	0,88	0,97
	S.D.	0,15	0,00	0,04	0,24	0,01
O2 3mm AMARIS C.2°	M.	0,30	1,00	0,74	0,56	0,98
	S.D.	0,21	0,00	0,03	0,34	0,01

-O3 Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
O3 0.5mm AMARIS C.2°	M.	75,19	-1,60	12,77	12,87	97,12	10,40	26,86	47,28	48,80	44,72	0,3358	0,3466
	S.D.	0,29	0,12	0,14	0,15	0,45	0,42	0,14	0,45	0,45	0,48	0,0001	0,0002
O3 1mm AMARIS C.2°	M.	66,54	-0,56	11,45	11,47	92,78	6,97	27,63	35,07	35,92	32,98	0,3373	0,3455
	S.D.	0,28	0,04	0,11	0,11	0,16	0,39	0,30	0,43	0,43	0,50	0,0003	0,0004
O3 1.5mm AMARIS C.2°	M.	62,75	-0,48	8,75	8,76	93,14	10,81	22,32	30,52	31,26	30,28	0,3315	0,3396
	S.D.	0,22	0,05	0,08	0,08	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,42	0,0003	0,0004
O3 2mm AMARIS C.2°	M.	61,09	-0,71	6,58	6,61	96,13	14,69	17,21	28,60	29,35	29,77	0,3260	0,3346
	S.D.	0,26	0,04	0,11	0,11	0,23	0,39	0,31	0,25	0,24	0,34	0,0003	0,0004
O3 2.5mm AMARIS C.2°	M.	60,27	-1,07	6,01	6,10	100,08	15,67	15,61	27,47	28,27	29,01	0,3241	0,3336
	S.D.	0,30	0,02	0,14	0,14	0,21	0,52	0,39	0,25	0,25	0,36	0,0004	0,0005
O3 3mm AMARIS C.2°	M.	60,25	-1,34	5,48	5,64	103,69	17,06	13,54	27,65	28,53	29,74	0,3218	0,3321
	S.D.	0,27	0,04	0,12	0,12	0,29	0,44	0,29	0,31	0,32	0,41	0,0003	0,0003

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
O3 0.5mm AMARIS C.2°	M.	16,16	0,79	19,22	21,75	0,55
	S.D.	0,15	0,00	0,15	0,32	0,00
O3 1mm AMARIS C.2°	M.	6,48	0,90	9,60	7,70	0,79
	S.D.	0,06	0,00	0,05	0,28	0,01
O3 1.5mm AMARIS C.2°	M.	2,93	0,95	4,96	3,25	0,90
	S.D.	0,12	0,00	0,05	0,23	0,01
O3 2mm AMARIS C.2°	M.	1,33	0,98	2,41	1,41	0,95
	S.D.	0,15	0,00	0,10	0,13	0,00
O3 2.5mm AMARIS C.2°	M.	0,55	0,99	1,27	0,55	0,98
	S.D.	0,07	0,00	0,03	0,30	0,01
O3 3mm AMARIS C.2°	M.	0,19	1,00	0,68	0,28	0,99
	S.D.	0,25	0,00	0,06	0,19	0,01

-O4 Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
O4 0.5mm AMARIS C.2°	M.	72,31	-1,43	17,53	17,59	94,67	-4,21	37,46	42,58	43,93	35,90	0,3479	0,3589
	S.D.	0,29	0,11	0,14	0,15	0,32	0,31	0,20	0,47	0,48	0,48	0,0002	0,0003
O4 1mm AMARIS C.2°	M.	62,00	0,03	15,95	15,95	89,89	-5,12	39,61	29,92	30,51	24,73	0,3513	0,3582
	S.D.	0,26	0,07	0,09	0,09	0,27	0,16	0,36	0,29	0,29	0,31	0,0004	0,0004
O4 1.5mm AMARIS C.2°	M.	58,50	-0,08	11,06	11,06	90,42	3,36	29,61	25,98	26,50	23,97	0,3398	0,3466
	S.D.	0,32	0,03	0,09	0,09	0,17	0,29	0,33	0,29	0,30	0,35	0,0004	0,0004
O4 2mm AMARIS C.2°	M.	56,18	-0,56	9,38	9,39	93,39	5,90	25,81	23,67	24,26	22,67	0,3352	0,3436
	S.D.	0,23	0,02	0,10	0,10	0,13	0,29	0,27	0,18	0,18	0,23	0,0003	0,0003
O4 2.5mm AMARIS C.2°	M.	54,63	-0,84	8,71	8,75	95,51	6,60	23,82	22,07	22,70	21,55	0,3328	0,3423
	S.D.	0,31	0,04	0,11	0,10	0,31	0,35	0,35	0,26	0,27	0,33	0,0004	0,0004
O4 3mm AMARIS C.2°	M.	55,27	-1,18	7,95	8,03	98,45	8,57	20,77	22,59	23,30	22,71	0,3293	0,3397
	S.D.	0,36	0,06	0,10	0,10	0,47	0,39	0,29	0,18	0,18	0,24	0,0003	0,0003

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
O4 0.5mm AMARIS C.2°	M.	17,52	0,76	21,38	21,10	0,52
	S.D.	0,23	0,00	0,15	0,36	0,00
O4 1mm AMARIS C.2°	M.	7,03	0,89	10,88	7,57	0,75
	S.D.	0,33	0,01	0,14	0,21	0,01
O4 1.5mm AMARIS C.2°	M.	2,91	0,95	5,12	2,95	0,89
	S.D.	0,34	0,01	0,17	0,12	0,00
O4 2mm AMARIS C.2°	M.	1,26	0,98	2,63	1,26	0,95
	S.D.	0,10	0,00	0,04	0,13	0,01
O4 2.5mm AMARIS C.2°	M.	0,54	0,99	1,50	0,54	0,98
	S.D.	0,36	0,01	0,06	0,19	0,01
O4 3mm AMARIS C.2°	M.	0,12	1,00	0,90	0,28	0,99
	S.D.	0,24	0,00	0,05	0,10	0,00

-O5 Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
O5 0.5mm AMARIS C.2°	M.	71,99	-1,39	17,59	17,65	94,52	-4,53	37,74	42,13	43,44	35,41	0,3483	0,3590
	S.D.	0,24	0,04	0,04	0,04	0,13	0,10	0,20	0,44	0,45	0,46	0,0002	0,0004
O5 1mm AMARIS C.2°	M.	58,36	0,86	19,02	19,04	87,40	-11,73	49,22	25,90	26,20	19,11	0,3637	0,3680
	S.D.	0,29	0,05	0,09	0,09	0,17	0,10	0,33	0,42	0,41	0,40	0,0004	0,0006
O5 1.5mm AMARIS C.2°	M.	53,61	0,84	13,94	13,97	86,54	-3,83	40,30	21,25	21,49	17,49	0,3528	0,3568
	S.D.	0,37	0,04	0,09	0,09	0,20	0,16	0,40	0,36	0,36	0,38	0,0005	0,0006
O5 2mm AMARIS C.2°	M.	51,36	0,15	11,16	11,16	89,22	0,51	33,37	19,32	19,68	17,14	0,3442	0,3505
	S.D.	0,19	0,03	0,12	0,12	0,13	0,25	0,28	0,19	0,18	0,22	0,0003	0,0004
O5 2.5mm AMARIS C.2°	M.	50,38	-0,43	10,32	10,33	92,36	1,93	30,54	18,42	18,87	16,81	0,3406	0,3488
	S.D.	0,28	0,03	0,12	0,12	0,16	0,28	0,20	0,10	0,10	0,12	0,0002	0,0002
O5 3mm AMARIS C.2°	M.	49,84	-0,84	9,70	9,74	94,97	2,97	28,73	17,79	18,30	16,52	0,3381	0,3479
	S.D.	0,29	0,02	0,07	0,07	0,11	0,19	0,40	0,26	0,26	0,31	0,0004	0,0006

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
O5 0.5mm AMARIS C.2°	M.	17,00	0,76	20,91	20,54	0,53
	S.D.	0,13	0,00	0,12	0,38	0,01
O5 1mm AMARIS C.2°	M.	7,51	0,87	12,02	7,10	0,73
	S.D.	0,21	0,00	0,09	0,17	0,00
O5 1.5mm AMARIS C.2°	M.	2,94	0,95	5,68	2,63	0,88
	S.D.	0,34	0,01	0,14	0,19	0,01
O5 2mm AMARIS C.2°	M.	1,23	0,98	2,57	1,19	0,94
	S.D.	0,16	0,00	0,12	0,16	0,01
O5 2.5mm AMARIS C.2°	M.	0,53	0,99	1,54	0,75	0,96
	S.D.	0,32	0,01	0,08	0,33	0,02
O5 3mm AMARIS C.2°	M.	0,21	1,00	0,68	0,21	0,99
	S.D.	0,09	0,00	0,02	0,16	0,01

-OB Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
OB 0.5mm AMARIS C.2°	M.	84,41	-1,70	0,83	1,89	153,95	64,24	0,59	63,09	65,15	75,83	0,3092	0,3193
	S.D.	0,35	0,06	0,10	0,07	2,69	1,07	0,22	0,57	0,57	0,82	0,0002	0,0003
OB 1mm AMARIS C.2°	M.	78,92	-1,78	0,01	1,79	179,83	57,39	-1,55	53,59	55,38	65,53	0,3071	0,3173
	S.D.	0,39	0,14	0,21	0,14	6,74	1,34	0,32	0,54	0,53	0,83	0,0002	0,0004
OB 1.5mm AMARIS C.2°	M.	76,91	-1,91	-0,49	1,98	194,33	55,84	-2,99	49,96	51,67	61,79	0,3057	0,3162
	S.D.	0,26	0,07	0,17	0,04	5,06	0,97	0,38	0,48	0,47	0,77	0,0003	0,0005
OB 2mm AMARIS C.2°	M.	75,87	-1,81	-1,41	2,30	217,86	57,14	-4,81	48,11	49,74	60,36	0,3041	0,3144
	S.D.	0,30	0,09	0,15	0,08	3,83	1,00	0,29	0,45	0,45	0,70	0,0002	0,0004
OB 2.5mm AMARIS C.2°	M.	75,23	-1,86	-1,69	2,52	222,14	57,05	-5,50	46,85	48,47	59,09	0,3034	0,3139
	S.D.	0,31	0,08	0,19	0,07	4,33	1,10	0,47	0,67	0,66	1,06	0,0004	0,0006
OB 3mm AMARIS C.2°	M.	75,05	-1,83	-2,13	2,81	229,38	58,24	-6,62	46,40	47,94	59,02	0,3025	0,3126
	S.D.	0,21	0,08	0,13	0,07	2,91	0,75	0,26	0,47	0,50	0,71	0,0003	0,0002

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
OB 0.5mm AMARIS C.2°	M.	14,14	0,83	15,07	24,07	0,63
	S.D.	0,39	0,00	0,33	0,40	0,00
OB 1mm AMARIS C.2°	M.	6,18	0,92	7,43	10,52	0,81
	S.D.	0,25	0,00	0,19	0,21	0,00
OB 1.5mm AMARIS C.2°	M.	2,97	0,96	3,98	4,76	0,91
	S.D.	0,20	0,00	0,12	0,37	0,01
OB 2mm AMARIS C.2°	M.	1,53	0,98	2,14	2,33	0,95
	S.D.	0,19	0,00	0,10	0,39	0,01
OB 2.5mm AMARIS C.2°	M.	0,72	0,99	1,21	1,19	0,98
	S.D.	0,18	0,00	0,05	0,66	0,01
OB 3mm AMARIS C.2°	M.	0,30	1,00	0,63	0,46	0,99
	S.D.	0,14	0,00	0,09	0,89	0,02

-TD AMARIS Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
TD 0.5mm AMARIS C.2°	M.	75,00	-1,14	7,77	7,86	98,34	24,56	16,92	47,25	48,63	49,30	0,3255	0,3350
	S.D.	0,37	0,12	0,08	0,10	0,82	0,44	0,15	0,60	0,59	0,70	0,0001	0,0003
TD 1mm AMARIS C.2°	M.	62,39	-0,60	9,27	9,29	93,70	9,54	23,70	30,36	31,10	29,70	0,3330	0,3411
	S.D.	0,33	0,06	0,05	0,05	0,34	0,19	0,09	0,23	0,24	0,25	0,0001	0,0002
TD 1.5mm AMARIS C.2°	M.	54,69	0,04	7,94	7,94	89,68	7,27	22,54	22,11	22,56	21,90	0,3321	0,3389
	S.D.	0,18	0,06	0,03	0,03	0,44	0,08	0,13	0,21	0,20	0,22	0,0001	0,0002
TD 2mm AMARIS C.2°	M.	48,69	0,23	5,71	5,72	87,69	7,82	18,55	17,05	17,34	17,55	0,3282	0,3338
	S.D.	0,29	0,05	0,09	0,08	0,55	0,24	0,26	0,23	0,23	0,28	0,0002	0,0004
TD 2.5mm AMARIS C.2°	M.	45,82	0,16	3,40	3,41	87,35	9,85	13,41	15,10	15,36	16,30	0,3230	0,3285
	S.D.	0,33	0,06	0,10	0,10	1,00	0,30	0,38	0,17	0,17	0,24	0,0004	0,0005
TD 3mm AMARIS C.2°	M.	42,86	0,27	2,59	2,61	84,11	9,30	10,23	12,94	13,16	14,36	0,3199	0,3252
	S.D.	0,25	0,06	0,10	0,09	1,35	0,21	0,38	0,11	0,11	0,15	0,0004	0,0004

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
TD 0.5mm AMARIS C.2°	M.	32,18	0,57	33,98	35,93	0,26
	S.D.	0,37	0,00	0,37	0,47	0,00
TD 1mm AMARIS C.2°	M.	17,85	0,71	20,57	16,91	0,46
	S.D.	0,15	0,00	0,15	0,20	0,00
TD 1.5mm AMARIS C.2°	M.	10,92	0,80	14,03	8,93	0,60
	S.D.	0,15	0,00	0,11	0,17	0,01
TD 2mm AMARIS C.2°	M.	6,83	0,86	9,60	4,89	0,72
	S.D.	0,17	0,00	0,05	0,08	0,00
TD 2.5mm AMARIS C.2°	M.	4,20	0,91	6,46	3,15	0,80
	S.D.	0,32	0,01	0,12	0,13	0,01
TD 3mm AMARIS C.2°	M.	3,16	0,93	5,07	2,14	0,84
	S.D.	0,23	0,00	0,13	0,10	0,01

-TL AMARIS Lab Opacité Illuminant C.2°

		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
TL 0.5mm AMARIS C.2°	M.	76,48	-0,95	1,37	1,67	124,79	47,24	2,67	49,58	50,92	58,58	0,3116	0,3201
	S.D.	0,36	0,14	0,14	0,19	1,70	0,84	0,13	0,64	0,62	0,82	0,0001	0,0003
TL 1mm AMARIS C.2°	M.	65,01	-0,84	0,92	1,25	132,31	32,49	1,65	33,12	34,02	39,47	0,3107	0,3191
	S.D.	0,34	0,10	0,07	0,12	1,51	0,49	0,09	0,48	0,48	0,60	0,0001	0,0002
TL 1.5mm AMARIS C.2°	M.	58,15	-0,97	-0,71	1,20	216,11	28,60	-3,18	25,36	26,07	31,40	0,3061	0,3148
	S.D.	0,34	0,05	0,06	0,01	3,66	0,46	0,12	0,27	0,27	0,35	0,0001	0,0002
TL 2mm AMARIS C.2°	M.	54,11	-0,91	-2,40	2,56	249,19	27,77	-8,61	21,38	21,99	27,60	0,3012	0,3099
	S.D.	0,21	0,04	0,06	0,04	1,24	0,32	0,16	0,27	0,26	0,37	0,0001	0,0003
TL 2.5mm AMARIS C.2°	M.	50,88	-0,90	-3,40	3,52	255,14	26,31	-11,99	18,53	19,07	24,53	0,2982	0,3070
	S.D.	0,18	0,05	0,06	0,05	0,94	0,25	0,24	0,24	0,23	0,34	0,0001	0,0003
TL 3mm AMARIS C.2°	M.	49,43	-0,86	-4,47	4,55	259,04	26,77	-16,69	17,49	18,00	23,95	0,2942	0,3028
	S.D.	0,22	0,05	0,10	0,09	0,80	0,41	0,19	0,15	0,15	0,24	0,0001	0,0002

		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
TL 0.5mm AMARIS C.2°	M.	30,03	0,61	31,06	35,44	0,30
	S.D.	0,23	0,00	0,20	0,52	0,00
TL 1mm AMARIS C.2°	M.	17,44	0,73	18,79	17,42	0,49
	S.D.	0,38	0,01	0,32	0,42	0,01
TL 1.5mm AMARIS C.2°	M.	10,45	0,82	11,78	9,75	0,63
	S.D.	0,28	0,00	0,22	0,27	0,01
TL 2mm AMARIS C.2°	M.	6,77	0,87	8,04	5,74	0,74
	S.D.	0,14	0,00	0,13	0,30	0,01
TL 2.5mm AMARIS C.2°	M.	4,85	0,90	5,90	3,64	0,81
	S.D.	0,08	0,00	0,08	0,14	0,01
TL 3mm AMARIS C.2°	M.	3,02	0,94	3,98	2,43	0,86
	S.D.	0,09	0,00	0,09	0,20	0,01

-TN AMARIS Lab Opacité Illuminant C.2°

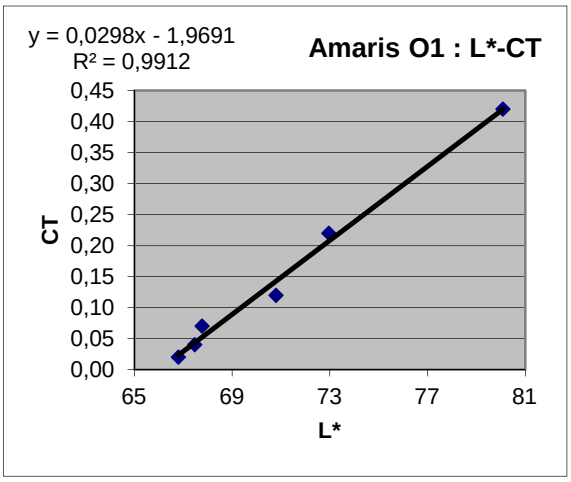
		L*w	a*w	b*w	C*w	h°w	WB w	YI w	Xw	Yw	Zw	xw	yw
TN 0.5mm AMARIS C.2°	M.	75,40	-1,01	5,48	5,57	100,48	32,07	11,85	47,48	48,79	51,88	0,3205	0,3293
	S.D.	0,44	0,10	0,07	0,09	0,89	0,68	0,34	0,60	0,57	0,79	0,0002	0,0007
TN 1mm AMARIS C.2°	M.	62,89	-0,55	6,33	6,35	94,97	16,51	16,24	30,69	31,44	32,24	0,3252	0,3332
	S.D.	0,32	0,06	0,05	0,05	0,46	0,23	0,17	0,33	0,32	0,39	0,0001	0,0004
TN 1.5mm AMARIS C.2°	M.	54,82	-0,23	5,35	5,35	92,46	12,36	15,31	22,44	22,92	23,78	0,3245	0,3315
	S.D.	0,37	0,07	0,05	0,05	0,75	0,25	0,13	0,19	0,19	0,22	0,0001	0,0003
TN 2mm AMARIS C.2°	M.	50,62	-0,07	3,09	3,10	91,25	13,49	9,58	18,67	19,05	20,82	0,3189	0,3254
	S.D.	0,25	0,06	0,26	0,26	0,97	0,52	0,20	0,17	0,17	0,23	0,0002	0,0003
TN 2.5mm AMARIS C.2°	M.	46,69	0,03	1,92	1,92	88,99	12,72	6,10	15,23	15,52	17,51	0,3157	0,3216
	S.D.	0,10	0,07	0,26	0,26	2,35	0,39	0,19	0,20	0,21	0,26	0,0002	0,0002
TN 3mm AMARIS C.2°	M.	44,32	-0,03	0,28	0,28	89,50	13,67	0,68	13,86	14,14	16,65	0,3104	0,3166
	S.D.	0,17	0,05	0,16	0,16	15,36	0,30	0,27	0,13	0,12	0,18	0,0002	0,0004

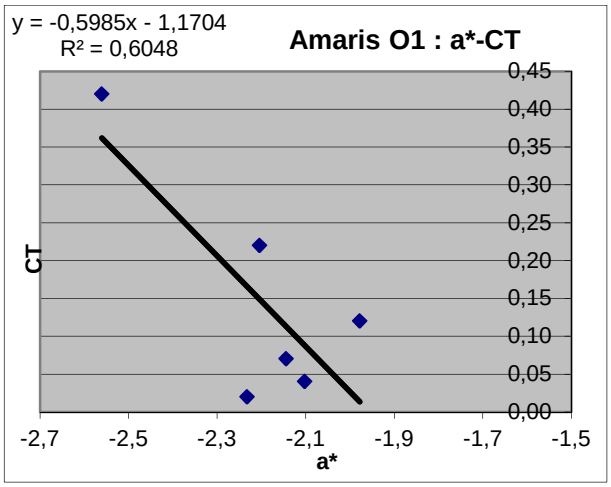
		DL*	CR L*	DT	DY	CR Y
TN 0.5mm AMARIS C.2°	M.	32,59	0,57	34,08	35,79	0,27
	S.D.	0,38	0,00	0,34	0,48	0,00
TN 1mm AMARIS C.2°	M.	18,10	0,71	20,26	17,05	0,46
	S.D.	0,26	0,00	0,23	0,23	0,00
TN 1.5mm AMARIS C.2°	M.	11,10	0,80	13,68	9,27	0,60
	S.D.	0,19	0,00	0,17	0,10	0,00
TN 2mm AMARIS C.2°	M.	6,68	0,87	9,14	5,37	0,72
	S.D.	0,15	0,00	0,11	0,09	0,00
TN 2.5mm AMARIS C.2°	M.	5,00	0,89	7,12	3,28	0,79
	S.D.	0,17	0,00	0,24	0,24	0,01
TN 3mm AMARIS C.2°	M.	2,87	0,94	4,46	2,13	0,85
	S.D.	0,19	0,00	0,07	0,10	0,01

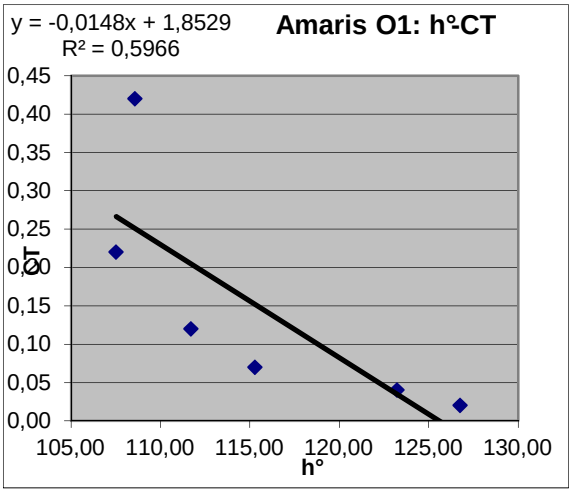
4.4.4. Courbes de corrélation.

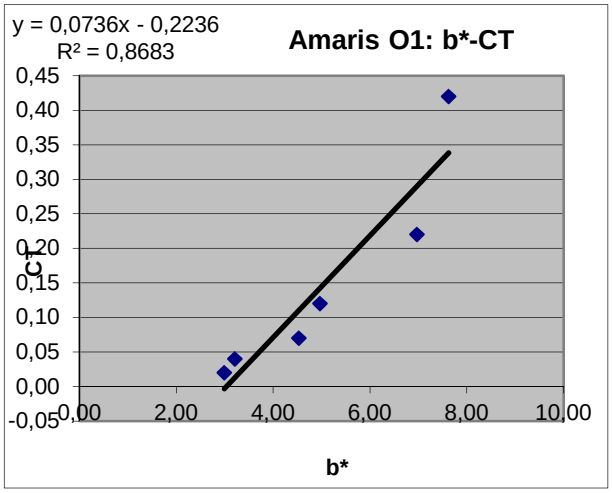
Pour chaque couleur, nous établissons une courbe de corrélation entre un paramètre colorimétrique et le coefficient de transmission.

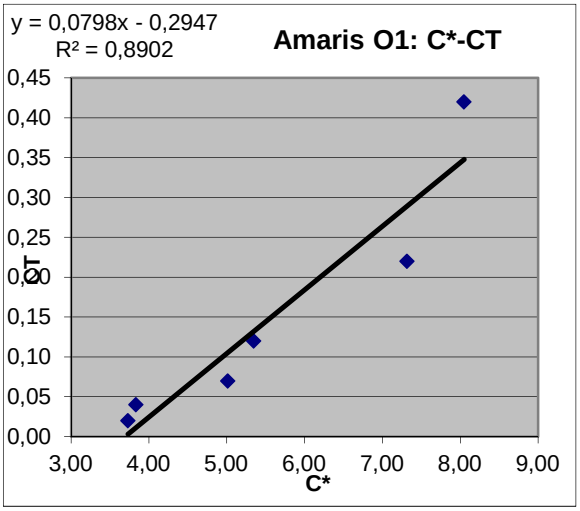
-O1

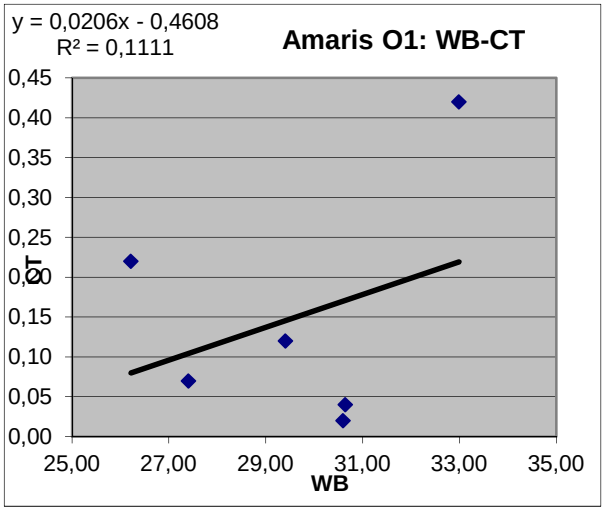


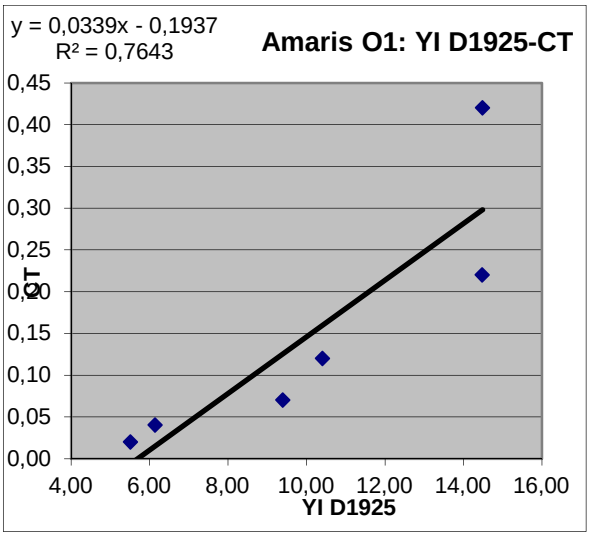


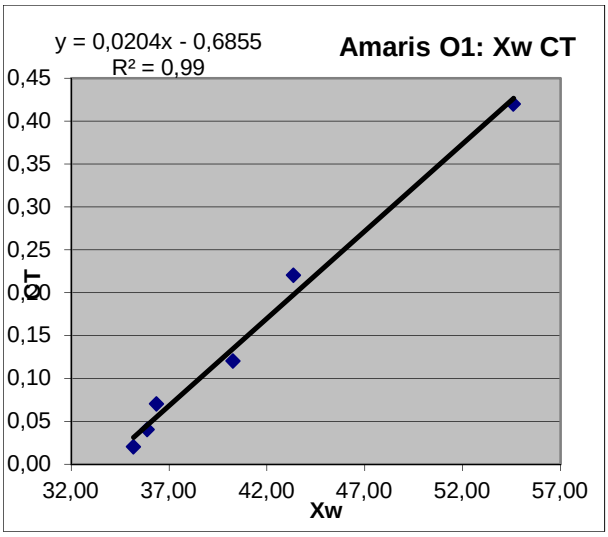


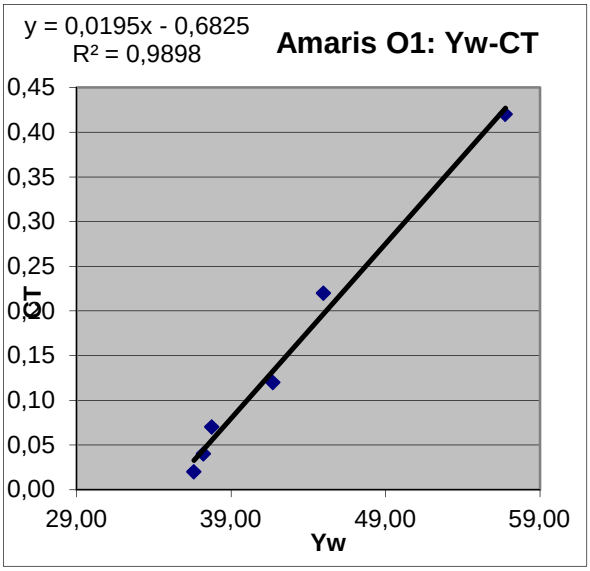


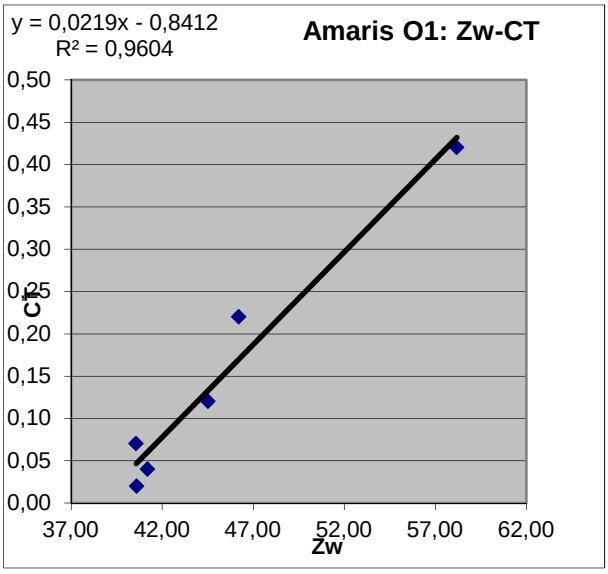


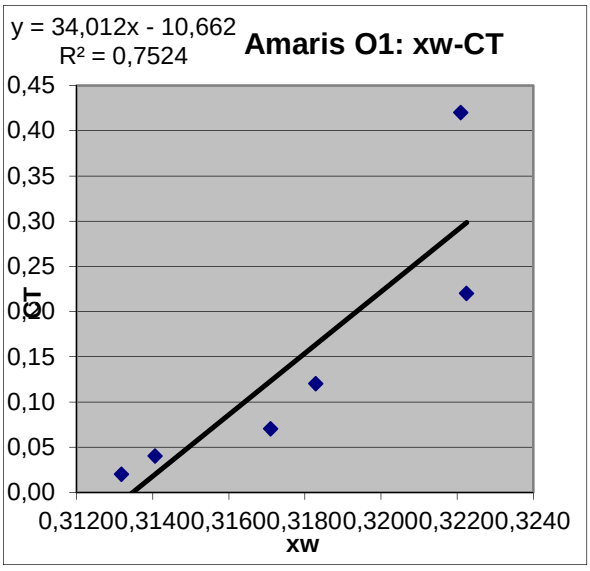


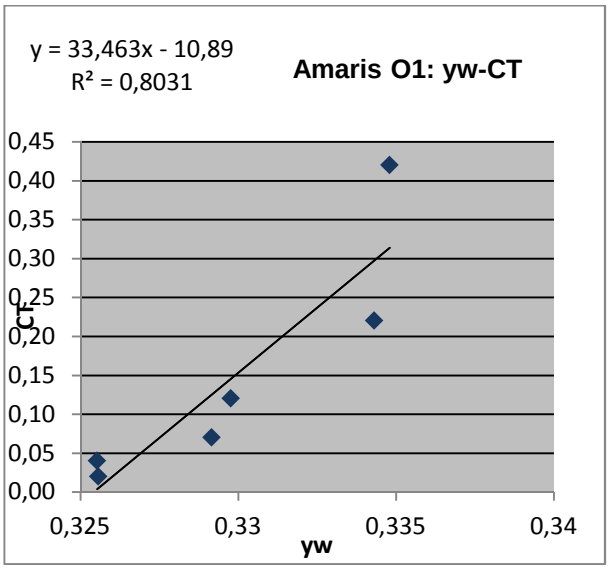

y = 0,0339x - 0,1937
R² = 0,7643
Amaris O1: YI D1925-CT
CT
YI D1925

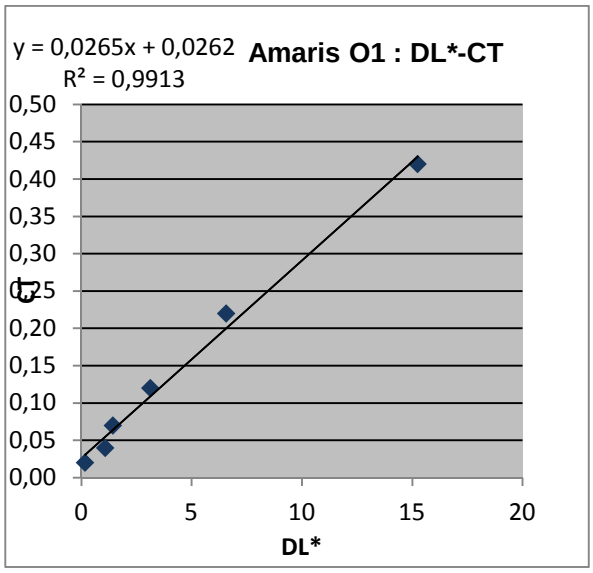

y = 0,0204x - 0,6855
R² = 0,99
Amaris O1: Xw CT
CT
Xw

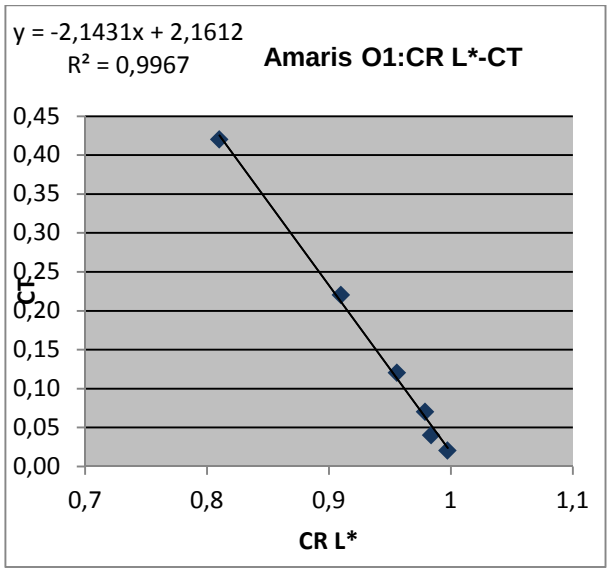

y = 0,0195x - 0,6825
R² = 0,9898
Amaris O1: Yw-CT
CT
Yw

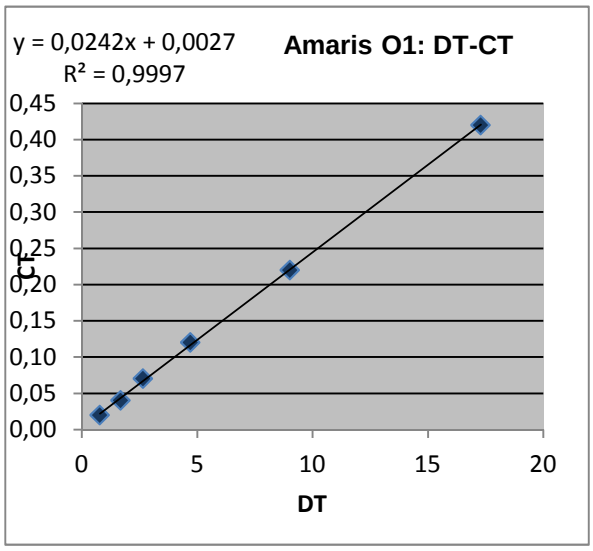

y = 0,0219x - 0,8412
R² = 0,9604
Amaris O1: Zw-CT
CT
Zw

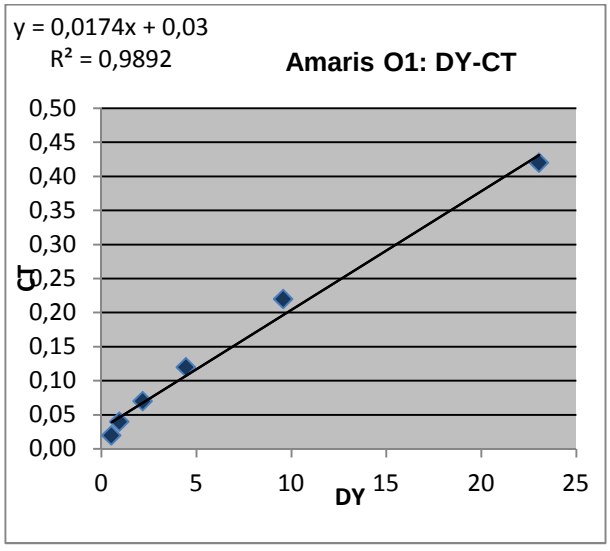

y = 34,012x - 10,662
R² = 0,7524
Amaris O1: xw-CT
CT
xw

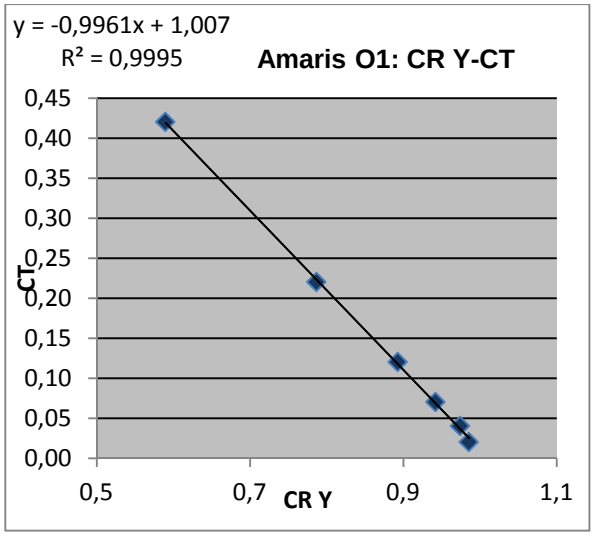

y = 33,463x - 10,89
R² = 0,8031
Amaris O1: yw-CT
CT
yw


y = 0,0265x + 0,0262
R² = 0,9913
Amaris O1 : DL*-CT
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DL*

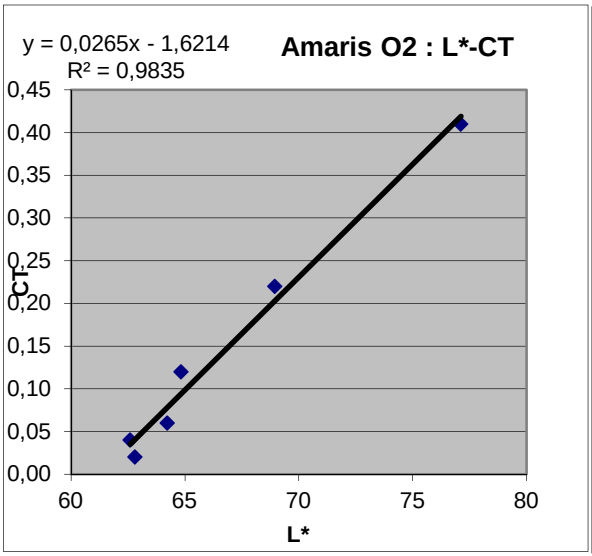

y = -2,1431x + 2,1612
R² = 0,9967
Amaris O1:CR L*-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,7
0,8
0,9
1
1,1
CR L*

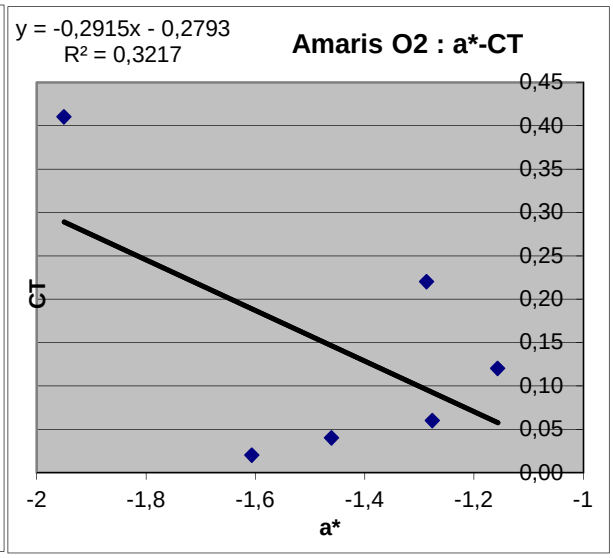

y = 0,0242x + 0,0027
R² = 0,9997
Amaris O1: DT-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DT

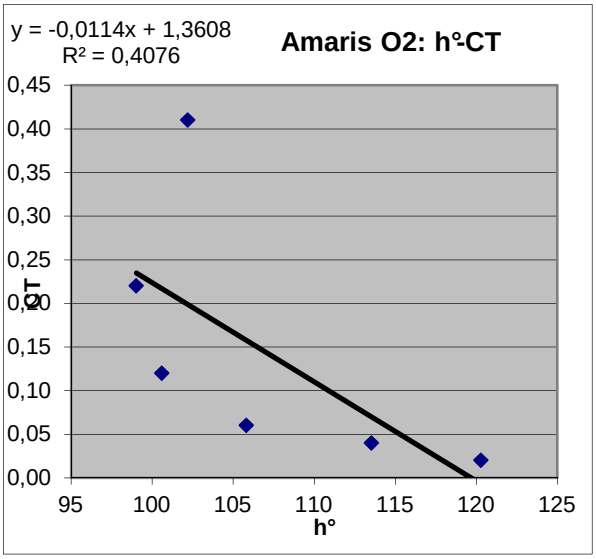

y = 0,0174x + 0,03
R² = 0,9892
Amaris O1: DY-CT
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
25
DY

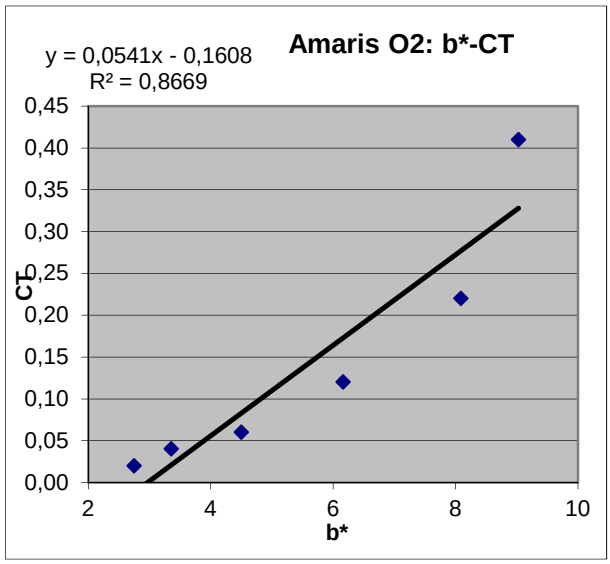

y = -0,9961x + 1,007
R² = 0,9995
Amaris O1: CR Y-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,5
0,7
0,9
1,1
CR Y

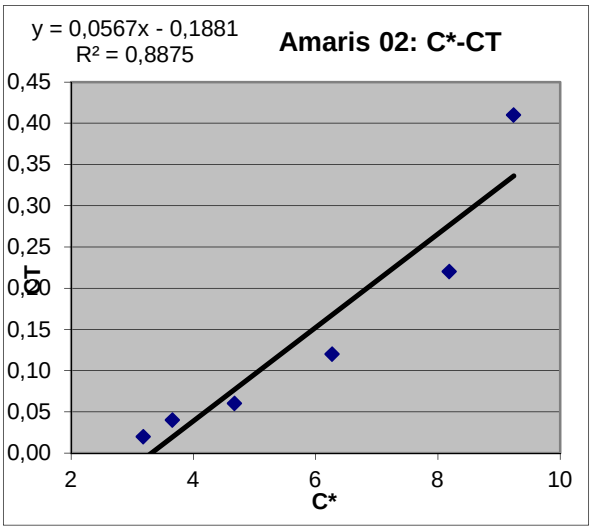
- O2

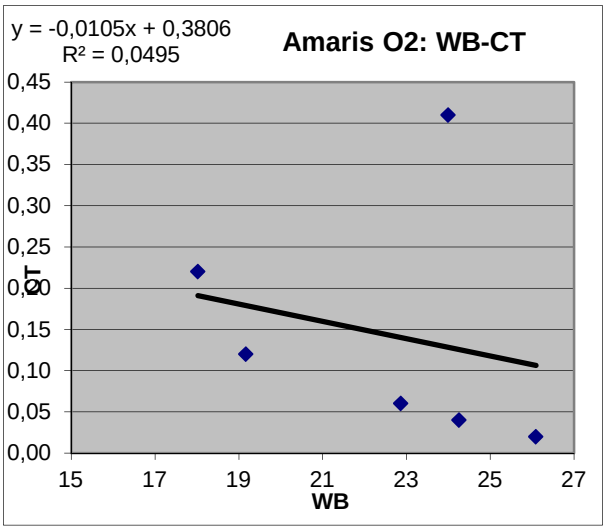

y = 0,0265x - 1,6214
R² = 0,9835
Amaris O2 : L*-CT
CT
L*

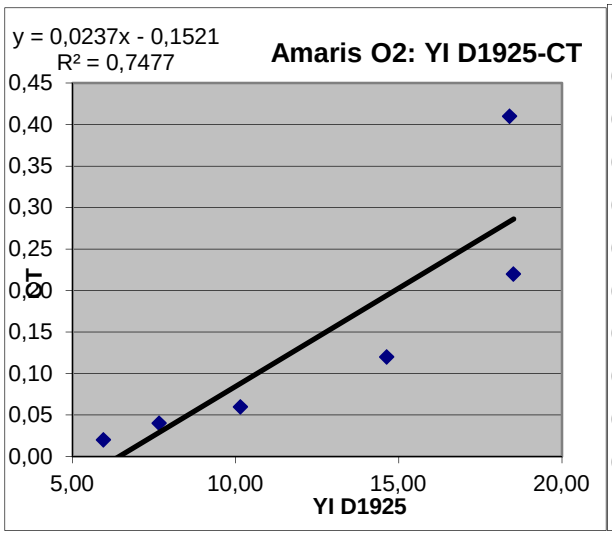

y = -0,2915x - 0,2793
R² = 0,3217
Amaris O2 : a*-CT
CT
a*

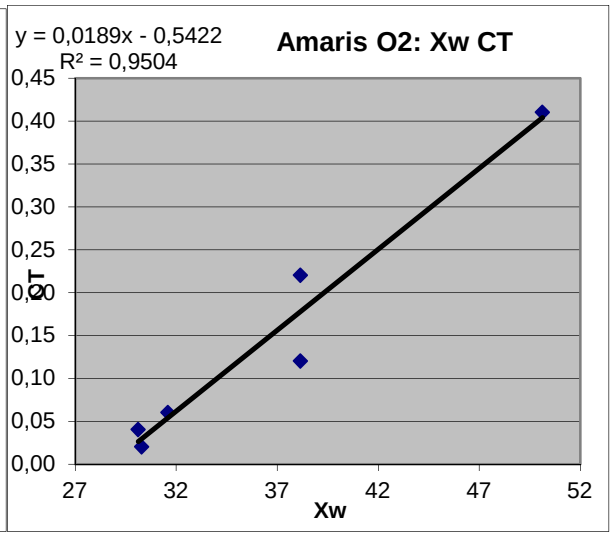

y = -0,0114x + 1,3608
R² = 0,4076
Amaris O2: h°-CT
CT
h°

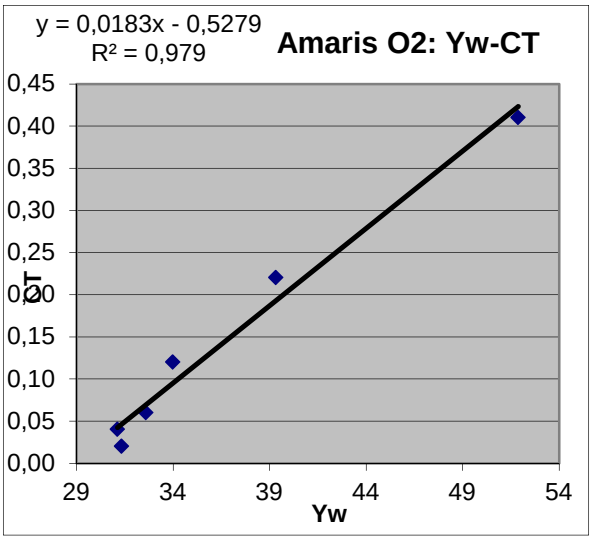

y = 0,0541x - 0,1608
R² = 0,8669
Amaris O2: b*-CT
CT
b*

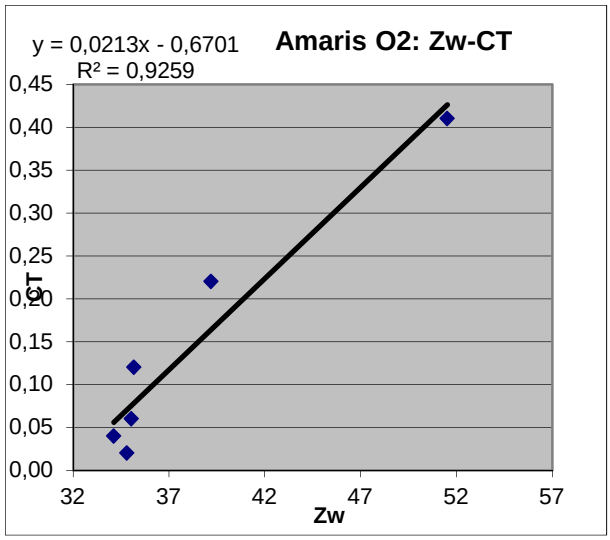

y = 0,0567x - 0,1881
R² = 0,8875
Amaris 02: C*-CT
CT
C*

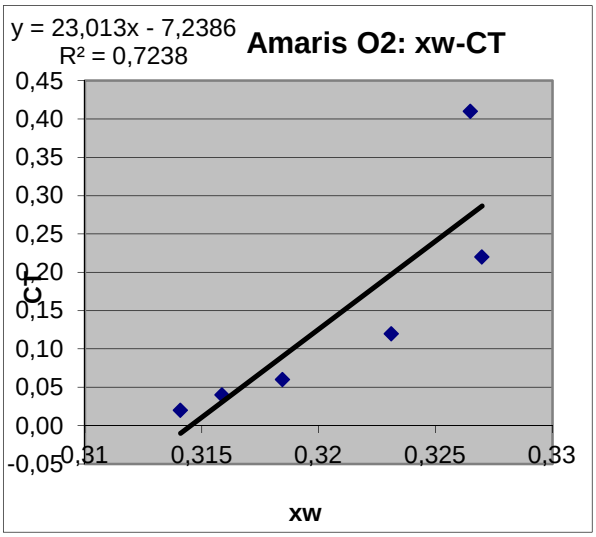

y = -0,0105x + 0,3806
R² = 0,0495
Amaris O2: WB-CT
CT
WB

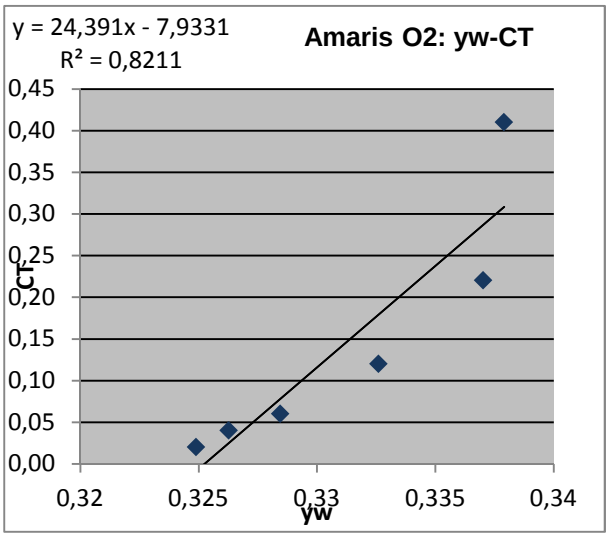

y = 0,0237x - 0,1521
R² = 0,7477
Amaris O2: YI D1925-CT
CT
YI D1925

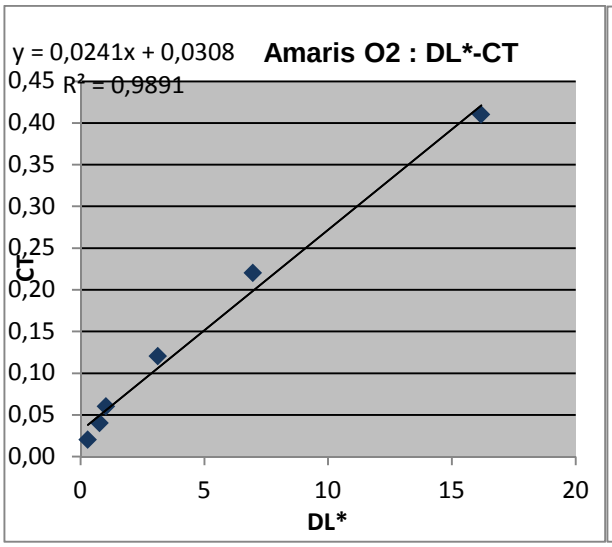

y = 0,0189x - 0,5422
R² = 0,9504
Amaris O2: Xw CT
CT
Xw

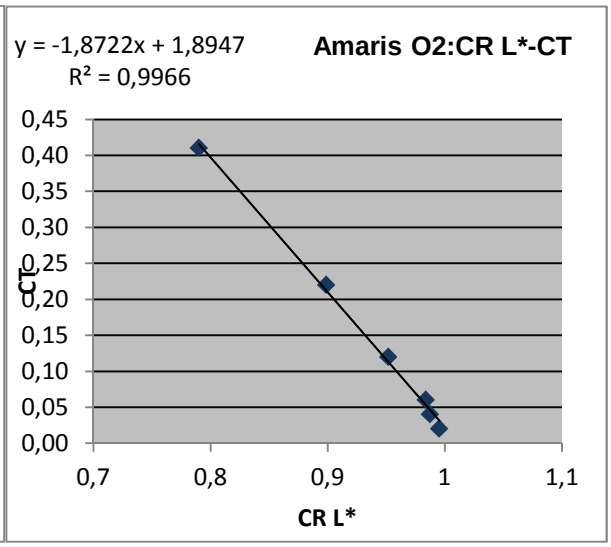

y = 0,0183x - 0,5279
R² = 0,979
Amaris O2: Yw-CT
CT
Yw

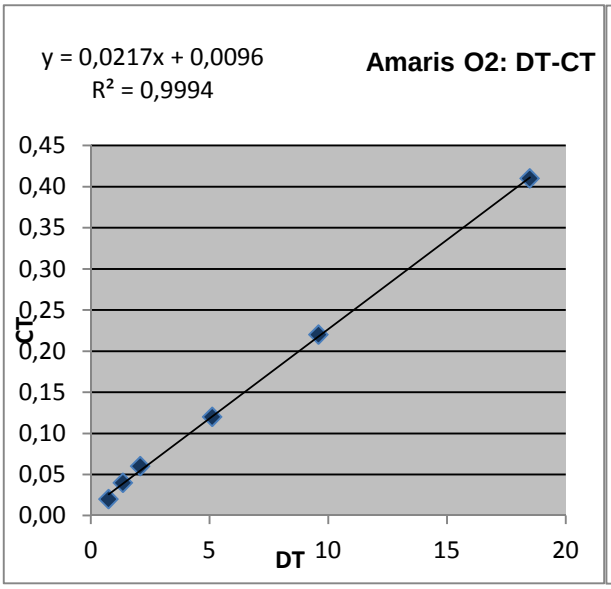

y = 0,0213x - 0,6701
R² = 0,9259
Amaris O2: Zw-CT
CT
Zw

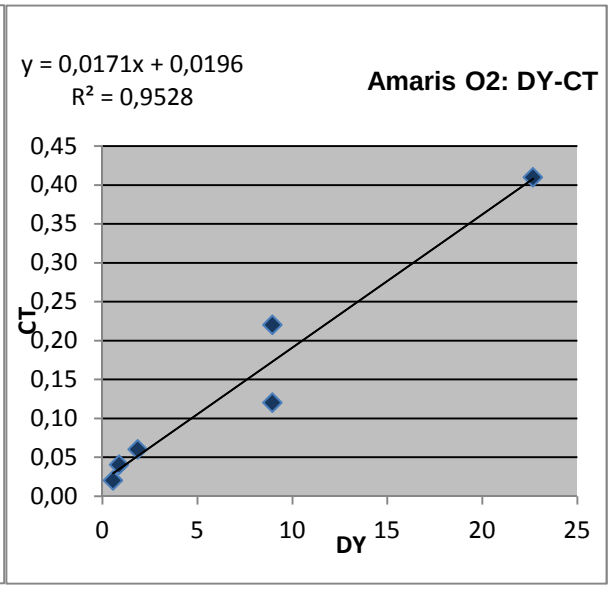

y = 23,013x - 7,2386
R² = 0,7238
Amaris O2: xw-CT
CT
xw

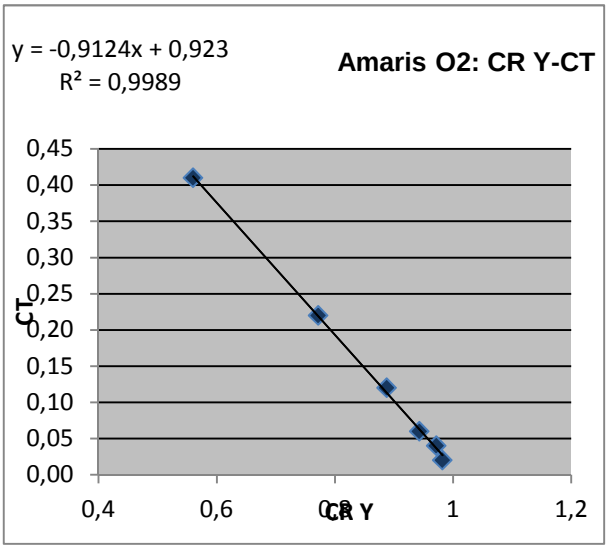

y = 24,391x - 7,9331
R² = 0,8211
Amaris O2: yw-CT
CT
yw


y = 0,0241x + 0,0308
R² = 0,9891
Amaris O2 : DL*-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DL*

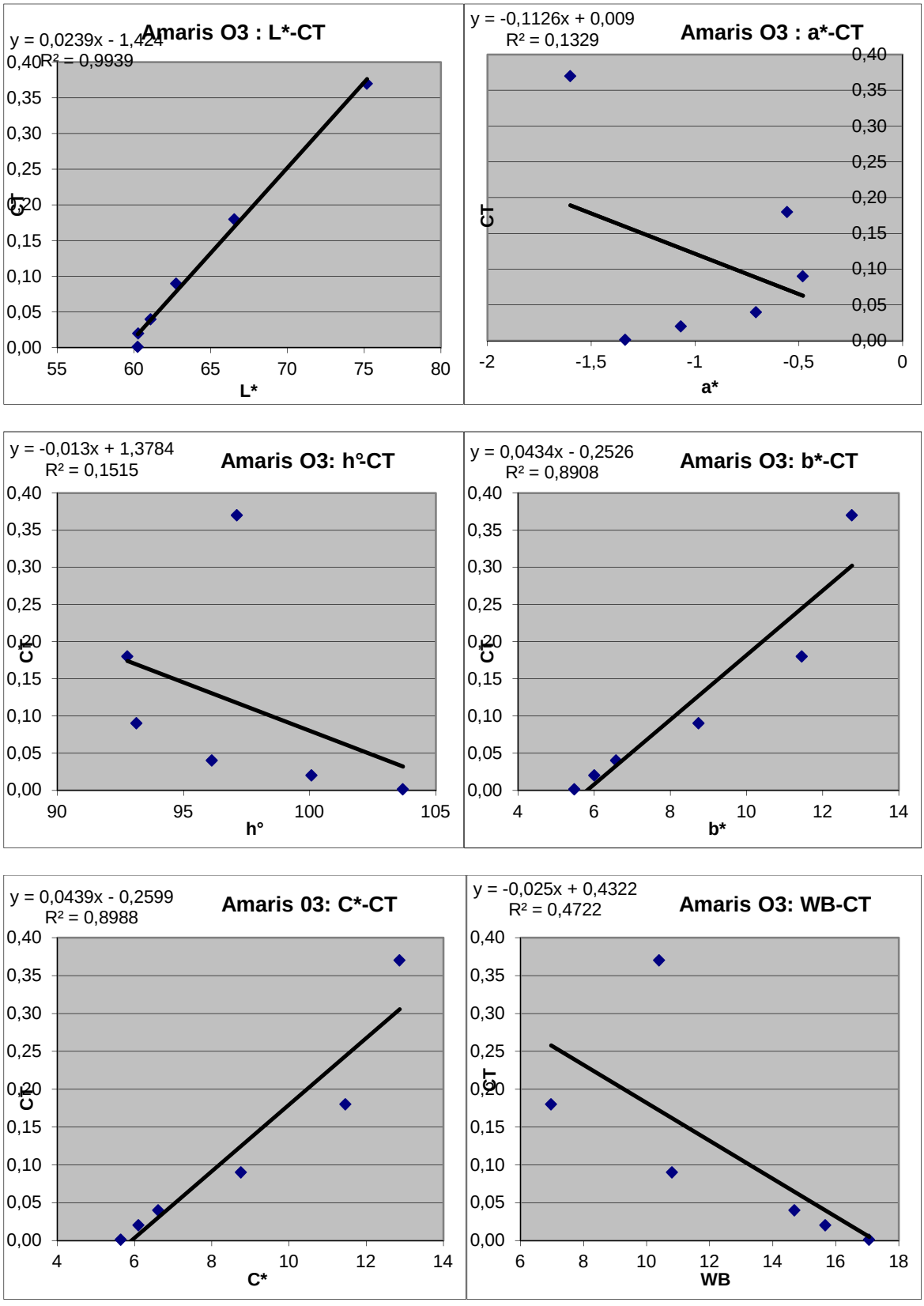

y = -1,8722x + 1,8947
R² = 0,9966
Amaris O2:CR L*-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,7
0,8
0,9
1
1,1
CR L*

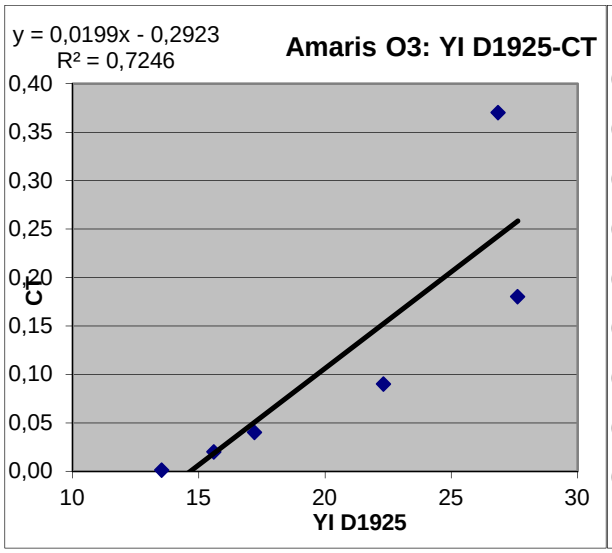

y = 0,0217x + 0,0096
R² = 0,9994
Amaris O2: DT-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DT

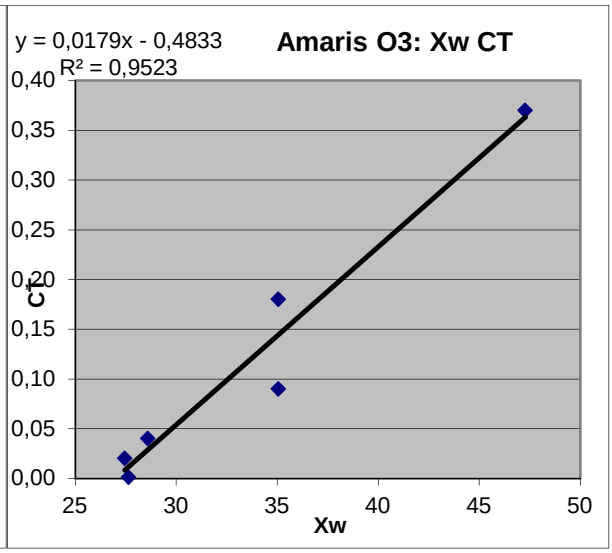

y = 0,0171x + 0,0196
R² = 0,9528
Amaris O2: DY-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
25
DY

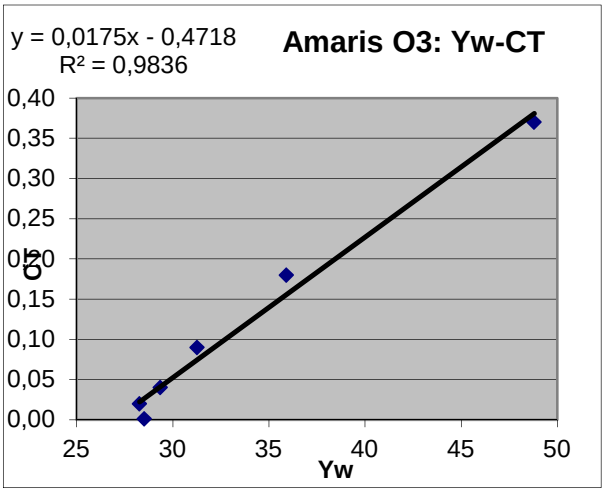

y = -0,9124x + 0,923
R² = 0,9989
Amaris O2: CR Y-CT
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,4
0,6
1
1,2
CR Y

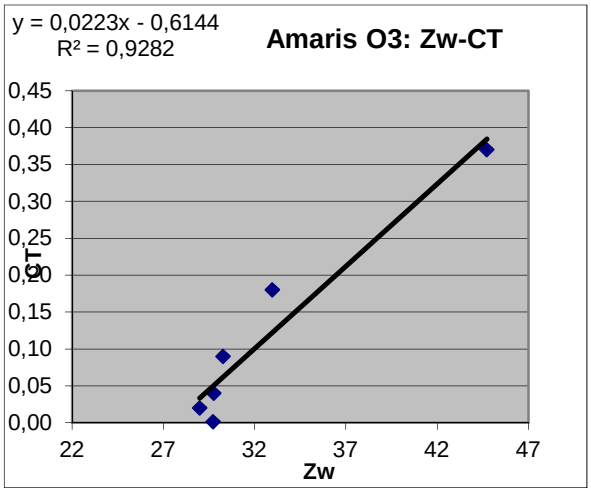
- O3

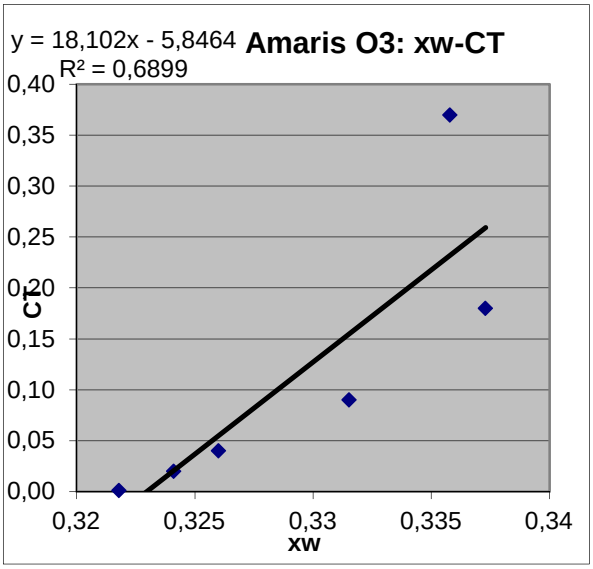

y = 0,0239x - 1,424
R² = 0,9939
Amaris O3 : L*-CT
CT
L*
y = -0,1126x + 0,009
R² = 0,1329
Amaris O3 : a*-CT
CT
a*
y = -0,013x + 1,3784
R² = 0,1515
Amaris O3: h°-CT
CT
h°
y = 0,0434x - 0,2526
R² = 0,8908
Amaris O3: b*-CT
CT
b*
y = 0,0439x - 0,2599
R² = 0,8988
Amaris 03: C*-CT
CT
C*
y = -0,025x + 0,4322
R² = 0,4722
Amaris O3: WB-CT
CT
WB

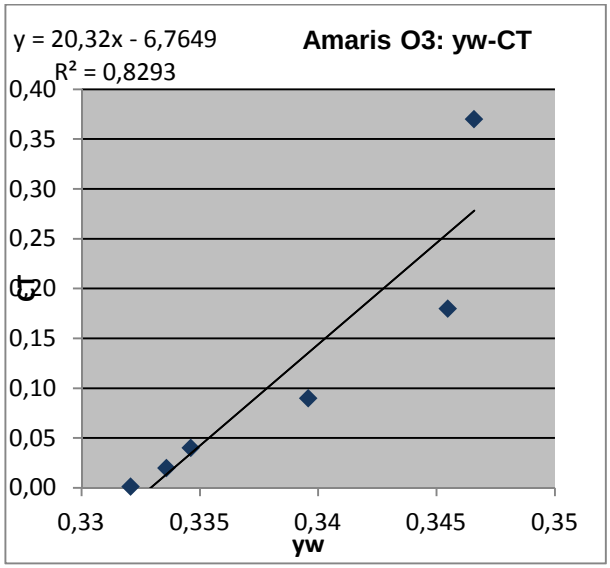

y = 0,0199x - 0,2923
R² = 0,7246
Amaris O3: YI D1925-CT
CT
YI D1925

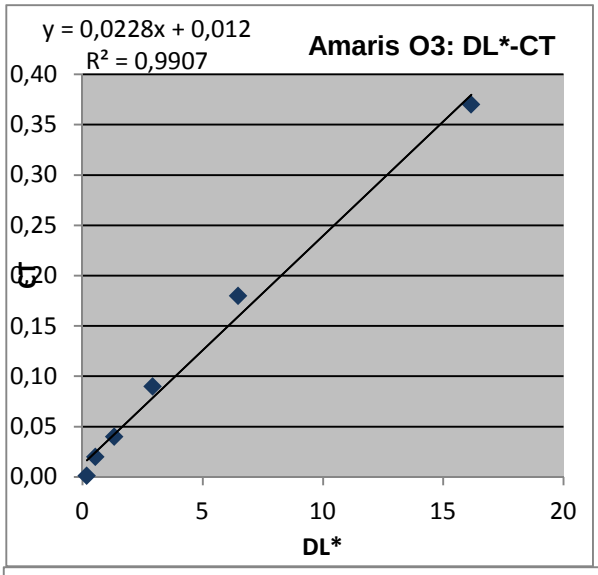

y = 0,0179x - 0,4833
R² = 0,9523
Amaris O3: Xw CT
CT
Xw

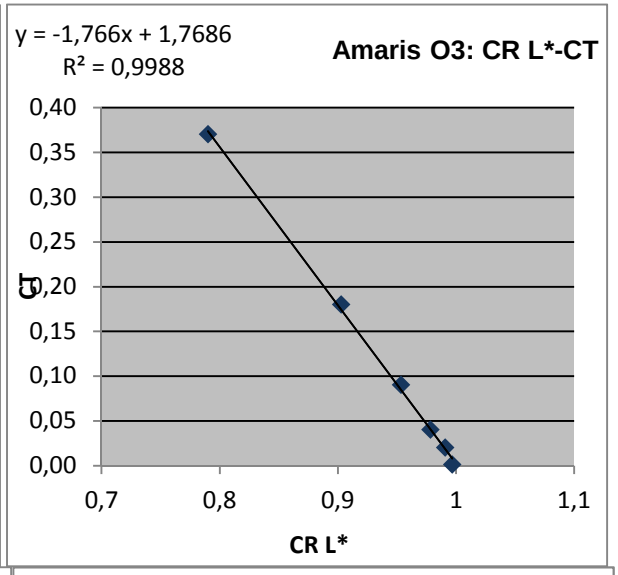

y = 0,0175x - 0,4718
R² = 0,9836
Amaris O3: Yw-CT
CT
Yw

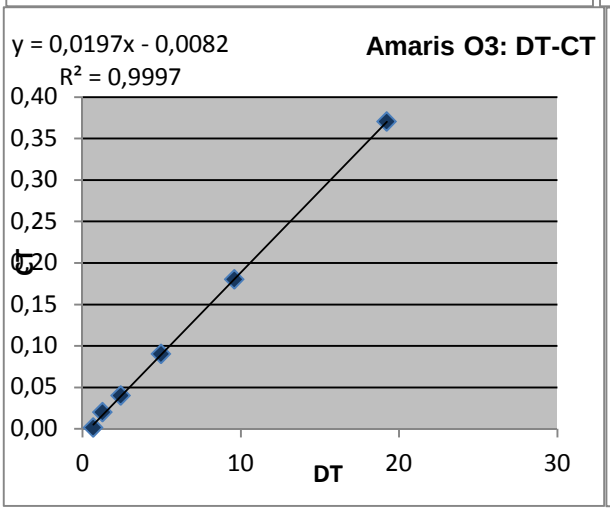

y = 0,0223x - 0,6144
R² = 0,9282
Amaris O3: Zw-CT
CT
Zw

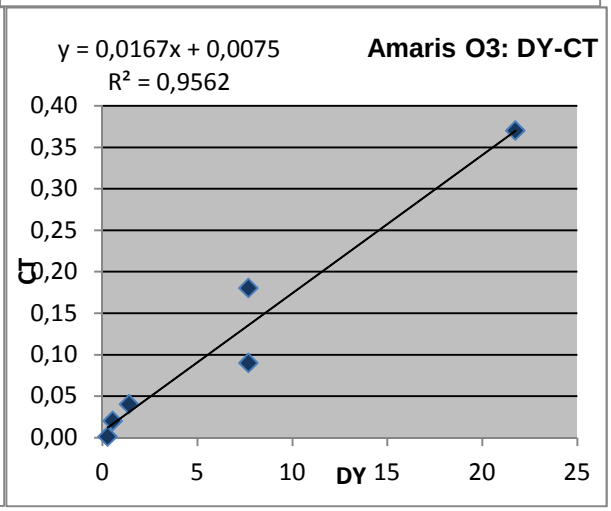

y = 18,102x - 5,8464
R² = 0,6899
Amaris O3: xw-CT
CT
xw

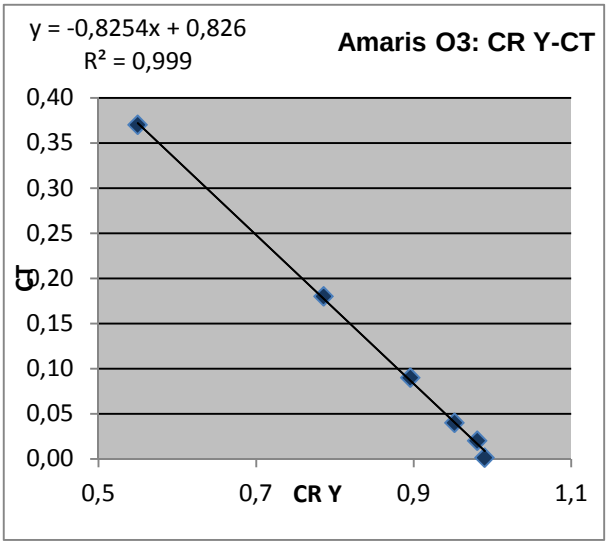

y = 20,32x - 6,7649
R² = 0,8293
Amaris O3: yw-CT
CT
yw


y = 0,0228x + 0,012
R² = 0,9907
Amaris O3: DL*-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DL*

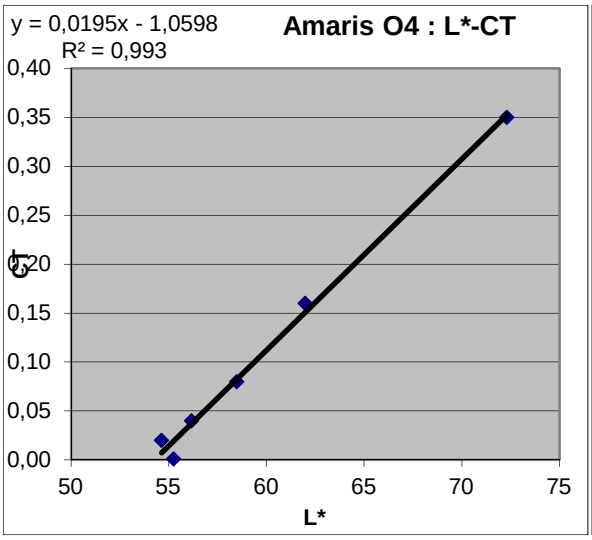

y = -1,766x + 1,7686
R² = 0,9988
Amaris O3: CR L*-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,7
0,8
0,9
1
1,1
CR L*

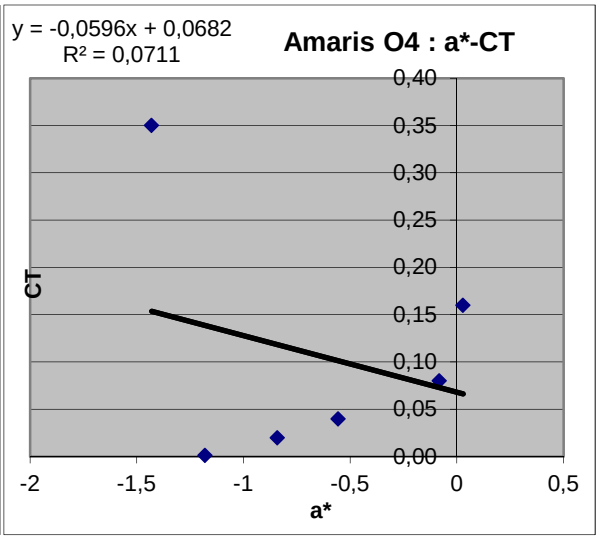

y = 0,0197x - 0,0082
R² = 0,9997
Amaris O3: DT-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
10
20
30
DT

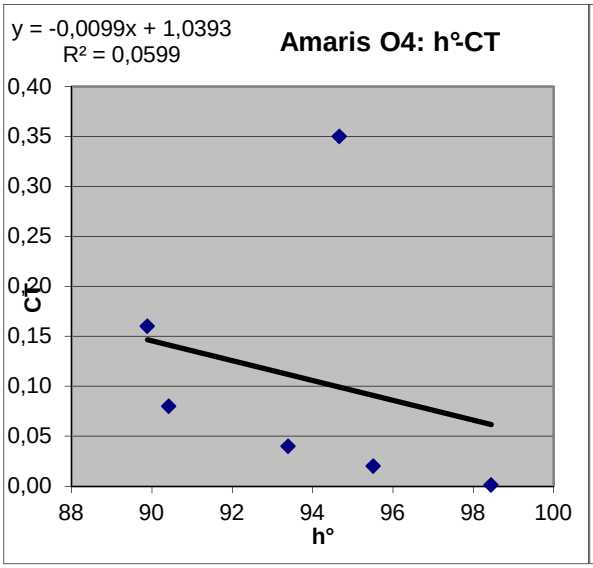

y = 0,0167x + 0,0075
R² = 0,9562
Amaris O3: DY-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
25
DY

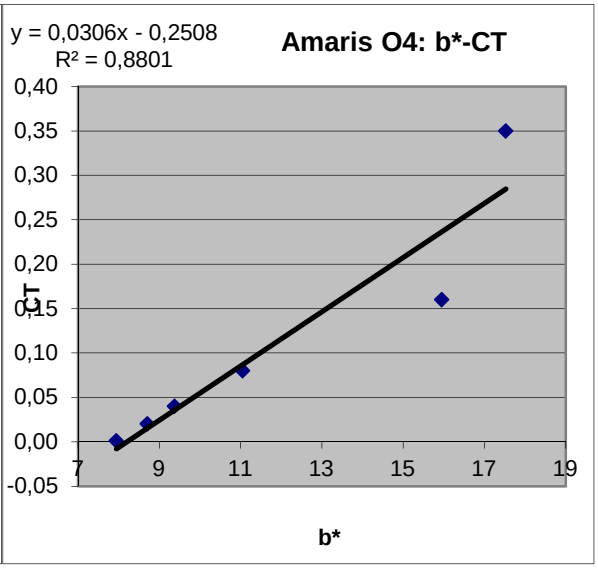

y = -0,8254x + 0,826
R² = 0,999
Amaris O3: CR Y-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,5
0,7
0,9
1,1
CR Y

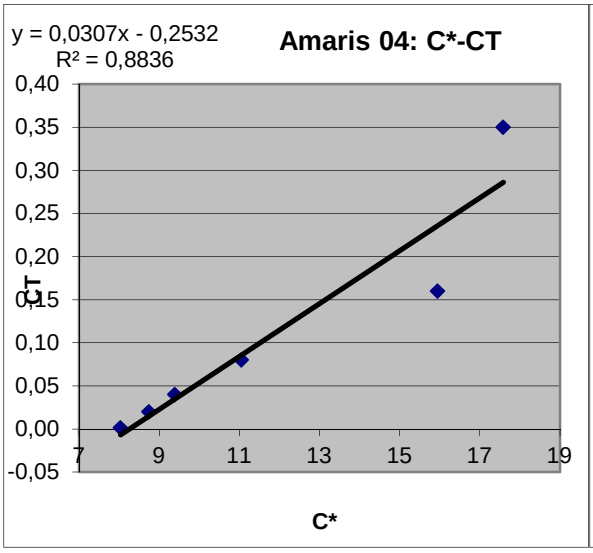
- O4

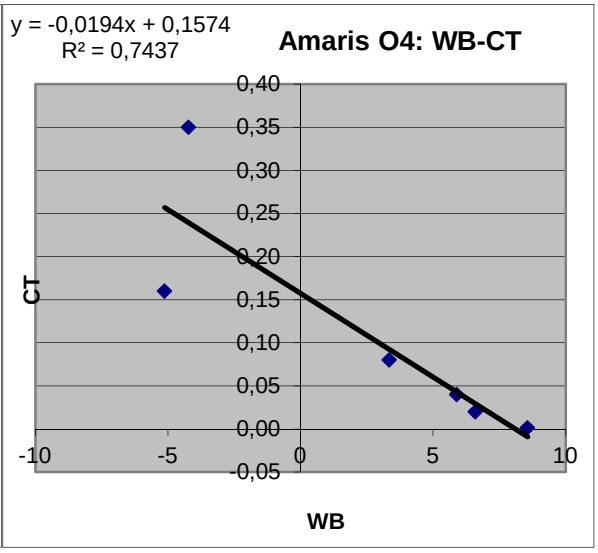

y = 0,0195x - 1,0598
R² = 0,993
Amaris O4 : L*-CT
CT
L*

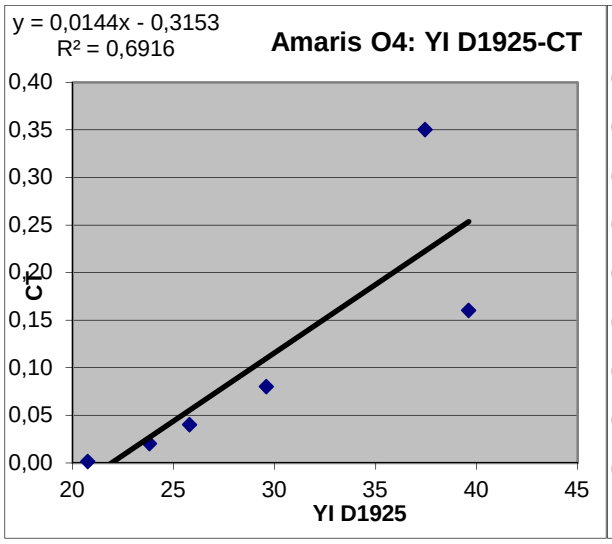

y = -0,0596x + 0,0682
R² = 0,0711
Amaris O4 : a*-CT
CT
a*

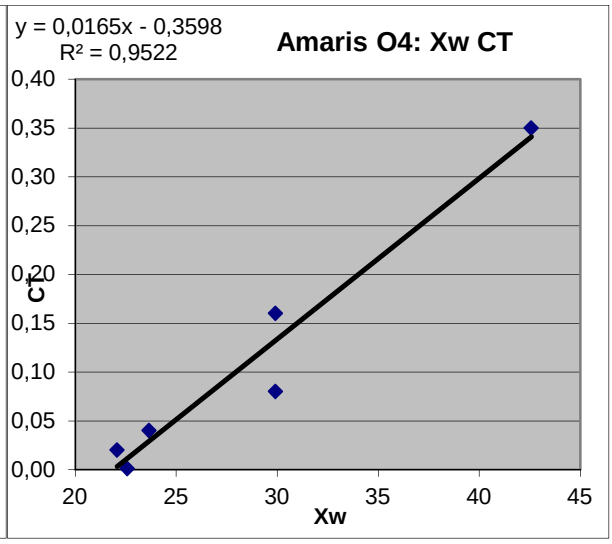

y = -0,0099x + 1,0393
R² = 0,0599
Amaris O4: h°-CT
CT
h°

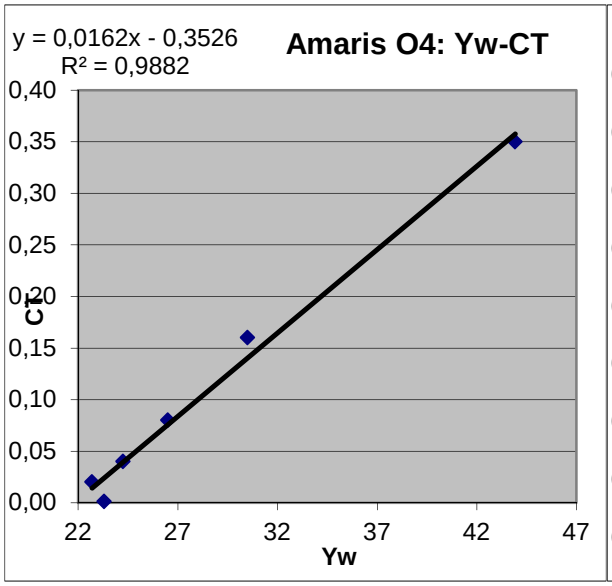

y = 0,0306x - 0,2508
R² = 0,8801
Amaris O4: b*-CT
CT
b*

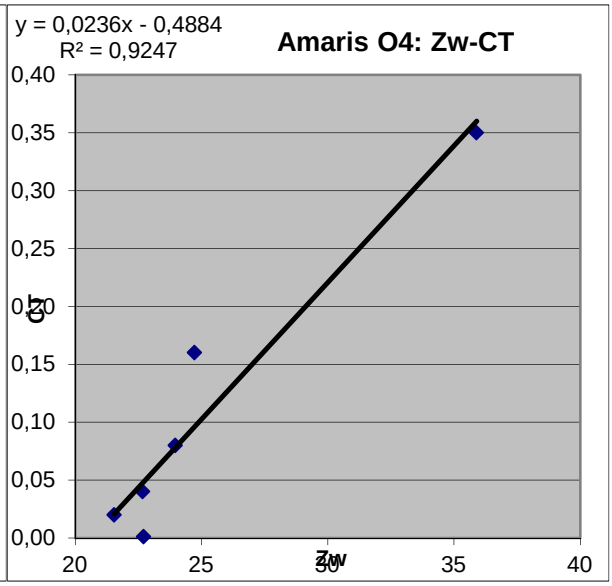

y = 0,0307x - 0,2532
R² = 0,8836
Amaris 04: C*-CT
CT
C*

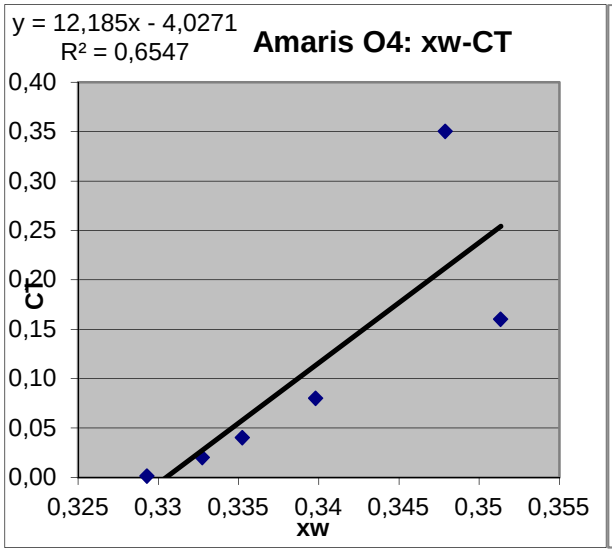

y = -0,0194x + 0,1574
R² = 0,7437
Amaris O4: WB-CT
CT
WB

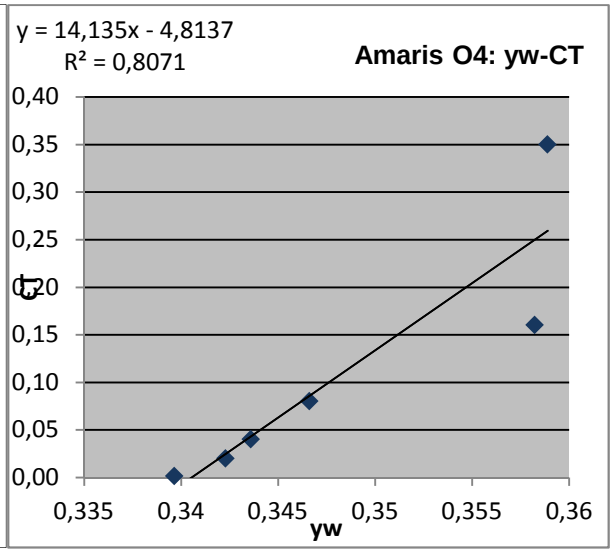

y = 0,0144x - 0,3153
R² = 0,6916
Amaris O4: YI D1925-CT
CT
YI D1925

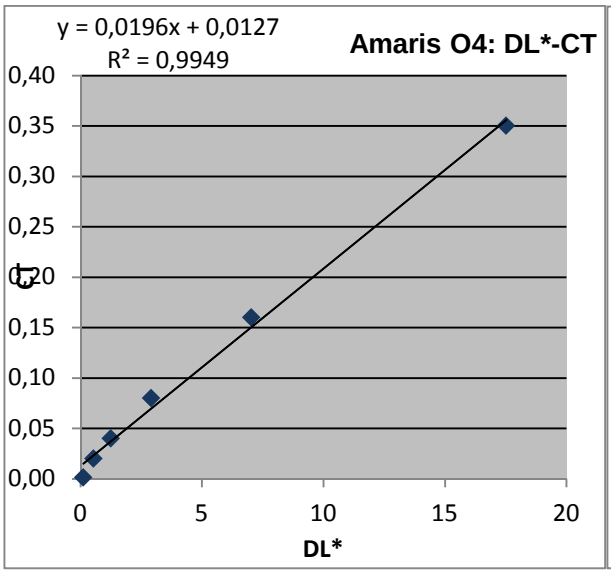

y = 0,0165x - 0,3598
R² = 0,9522
Amaris O4: Xw CT
CT
Xw

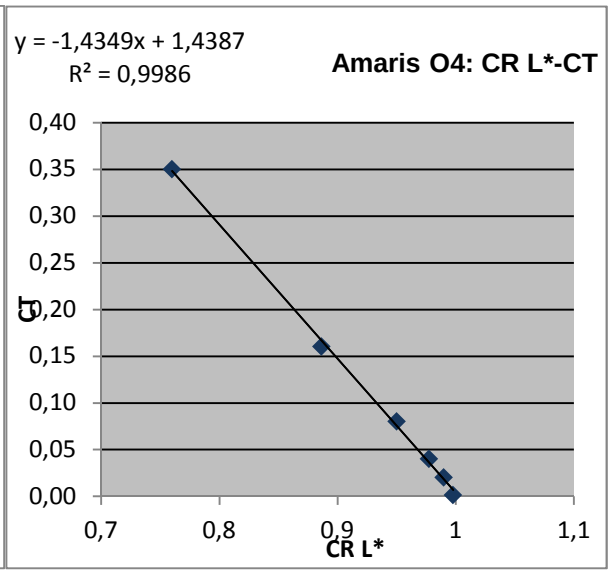

y = 0,0162x - 0,3526
R² = 0,9882
Amaris O4: Yw-CT
CT
Yw

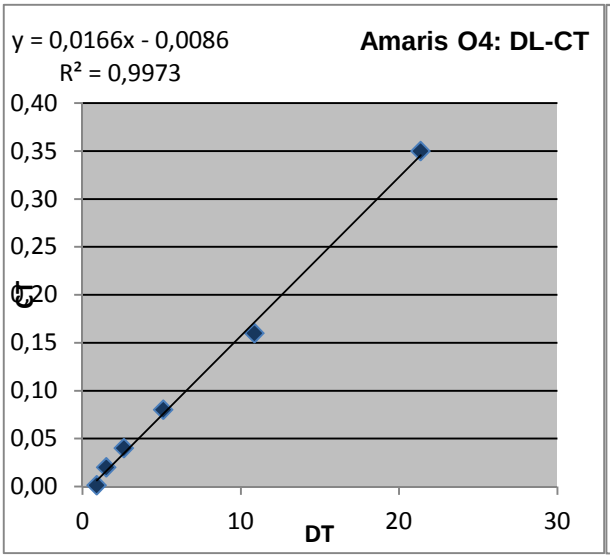

y = 0,0236x - 0,4884
R² = 0,9247
Amaris O4: Zw-CT
CT
Zw

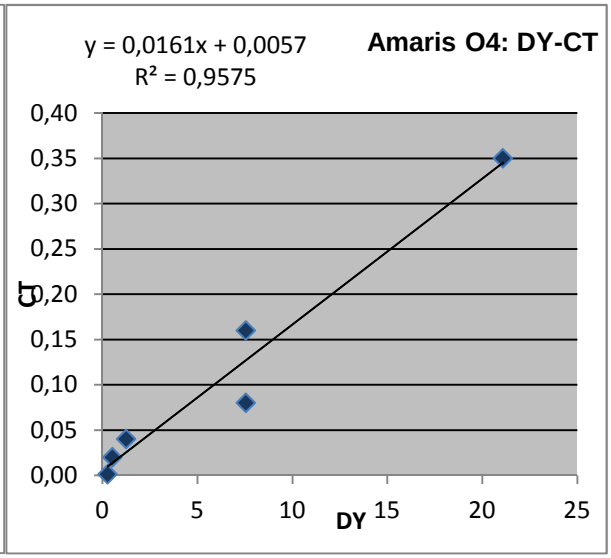

y = 12,185x - 4,0271
R² = 0,6547
Amaris O4: xw-CT
CT
xw

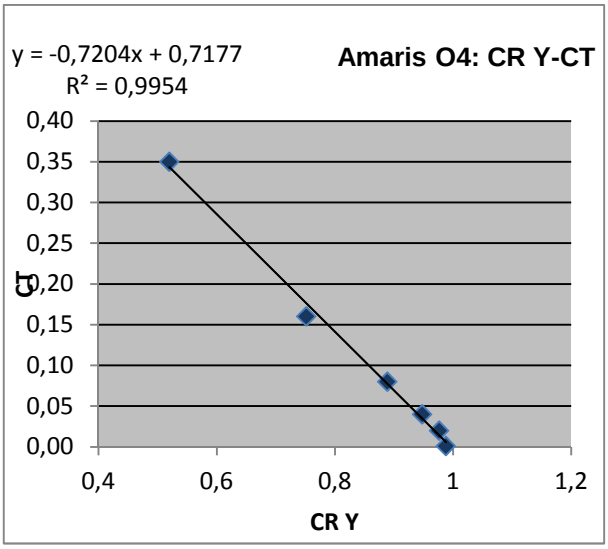

y = 14,135x - 4,8137
R² = 0,8071
Amaris O4: yw-CT
CT
yw


y = 0,0196x + 0,0127
R² = 0,9949
Amaris O4: DL*-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DL*

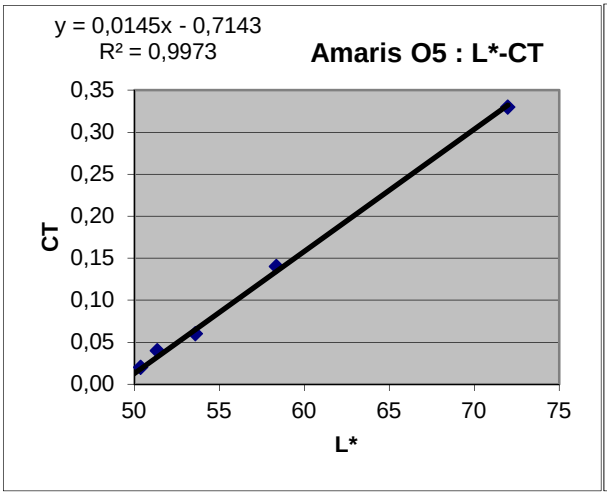

y = -1,4349x + 1,4387
R² = 0,9986
Amaris O4: CR L*-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,7
0,8
0,9
1
1,1
CR L*

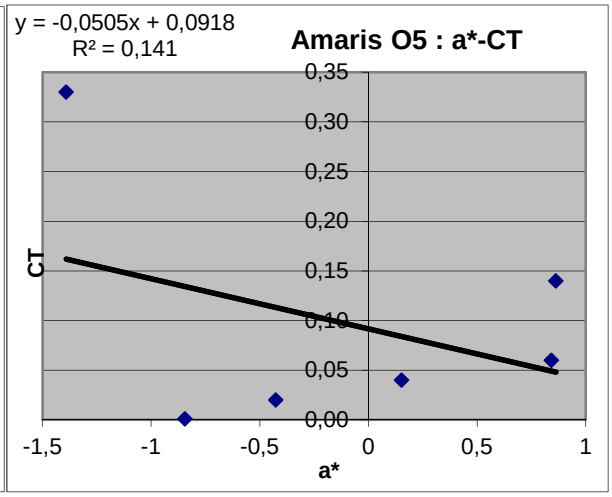

y = 0,0166x - 0,0086
R² = 0,9973
Amaris O4: DL-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
10
20
30
DT

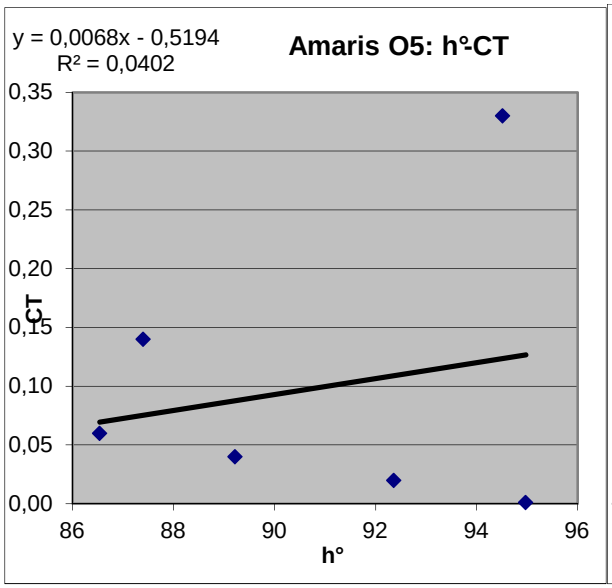

y = 0,0161x + 0,0057
R² = 0,9575
Amaris O4: DY-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
25
DY

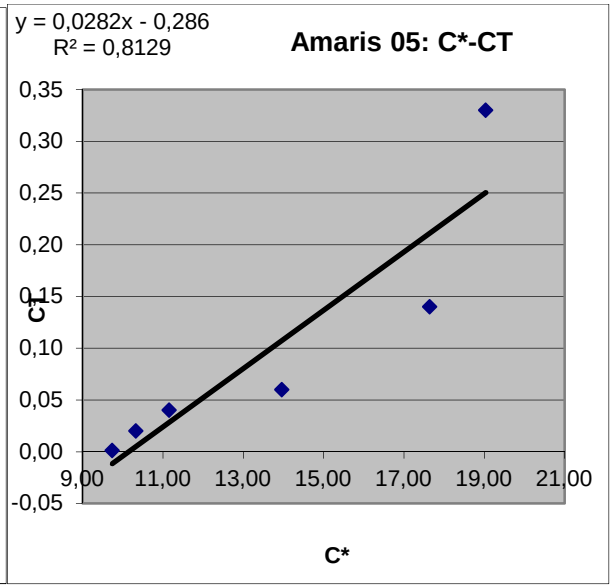

y = -0,7204x + 0,7177
R² = 0,9954
Amaris O4: CR Y-CT
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,4
0,6
0,8
1
1,2
CR Y

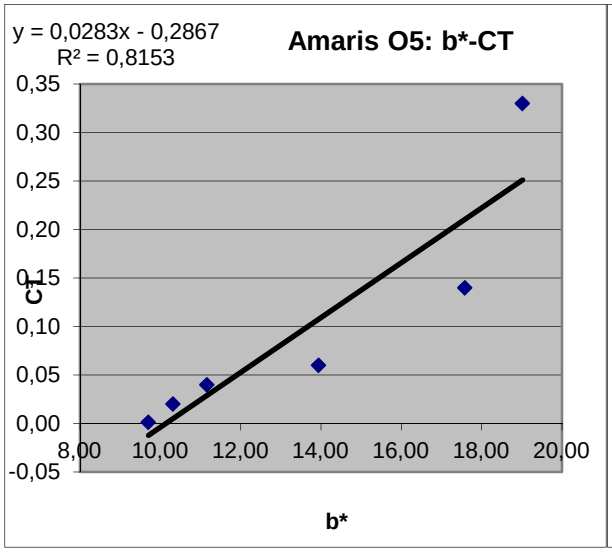
- O5

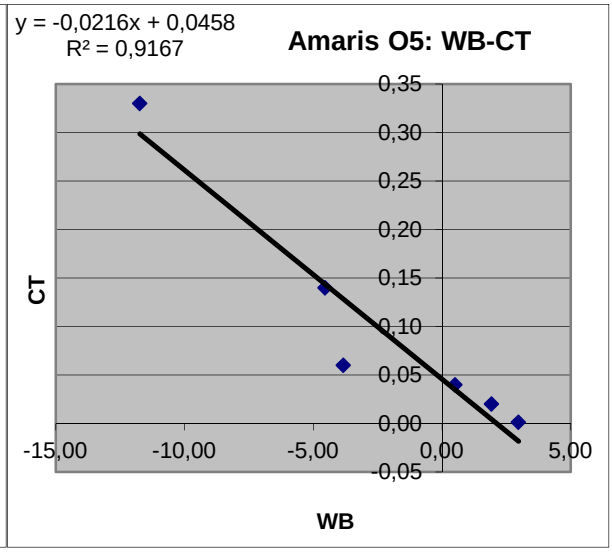

y = 0,0145x - 0,7143
R² = 0,9973
Amaris O5 : L*-CT
CT
L*

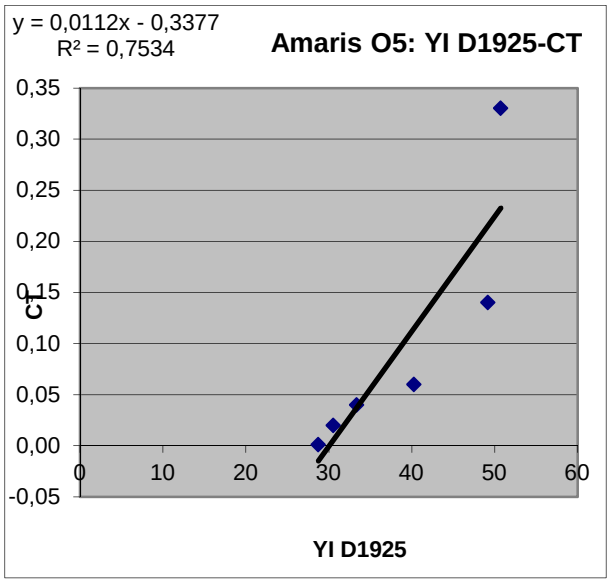

y = -0,0505x + 0,0918
R² = 0,141
Amaris O5 : a*-CT
CT
a*

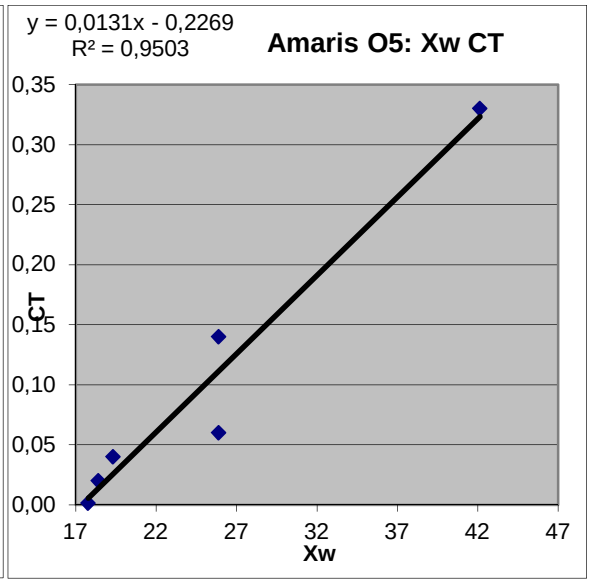

y = 0,0068x - 0,5194
R² = 0,0402
Amaris O5: h°-CT
CT
h°

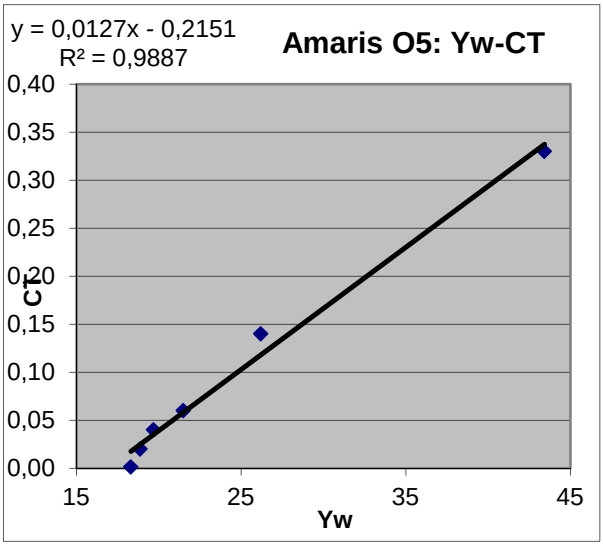

y = 0,0282x - 0,286
R² = 0,8129
Amaris 05: C*-CT
CT
C*

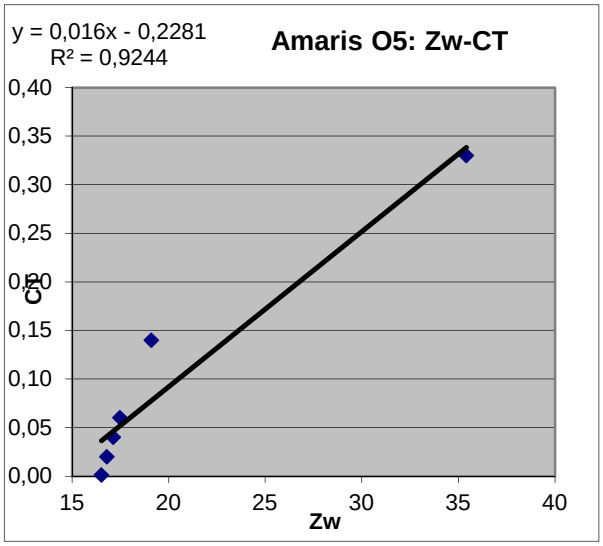

y = 0,0283x - 0,2867
R² = 0,8153
Amaris O5: b*-CT
CT
b*

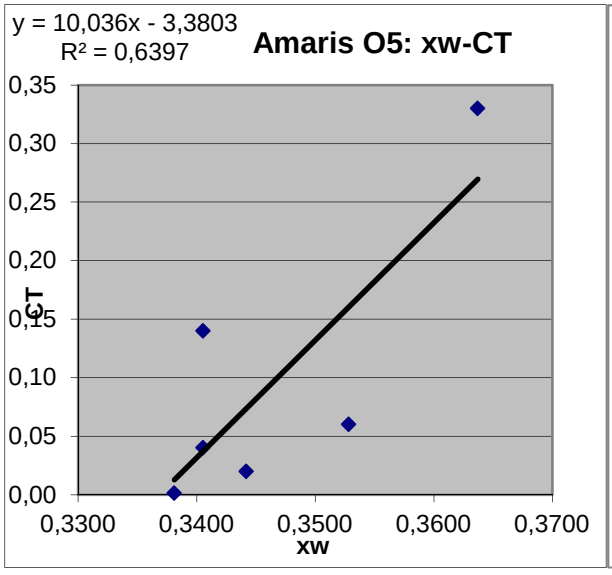

y = -0,0216x + 0,0458
R² = 0,9167
Amaris O5: WB-CT
CT
WB

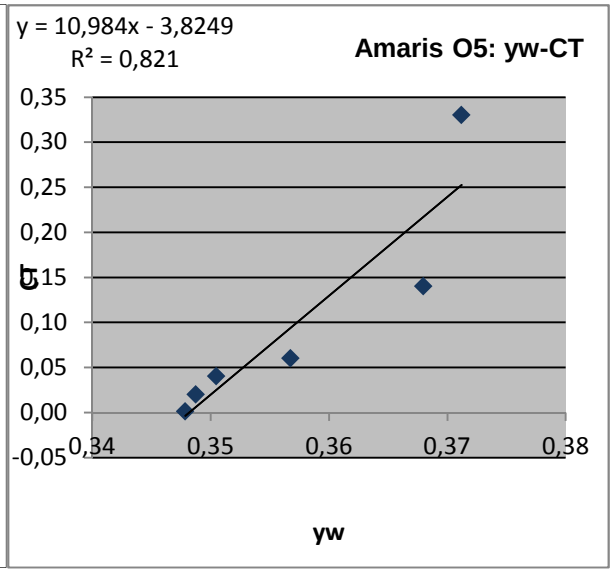

y = 0,0112x - 0,3377
R² = 0,7534
Amaris O5: YI D1925-CT
CT
YI D1925

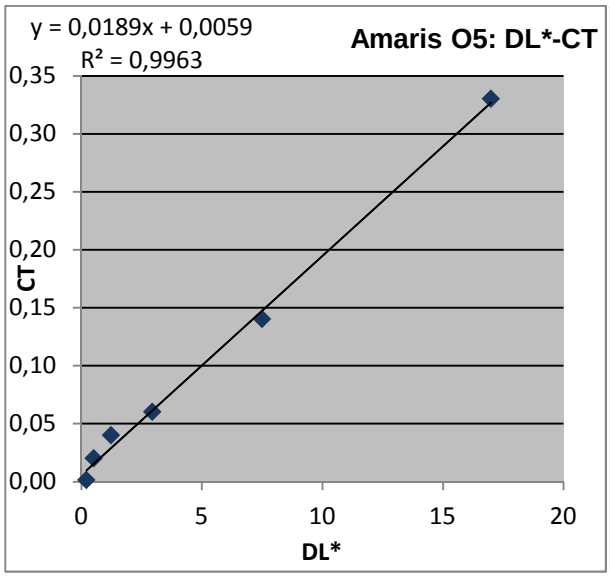

y = 0,0131x - 0,2269
R² = 0,9503
Amaris O5: Xw CT
CT
Xw

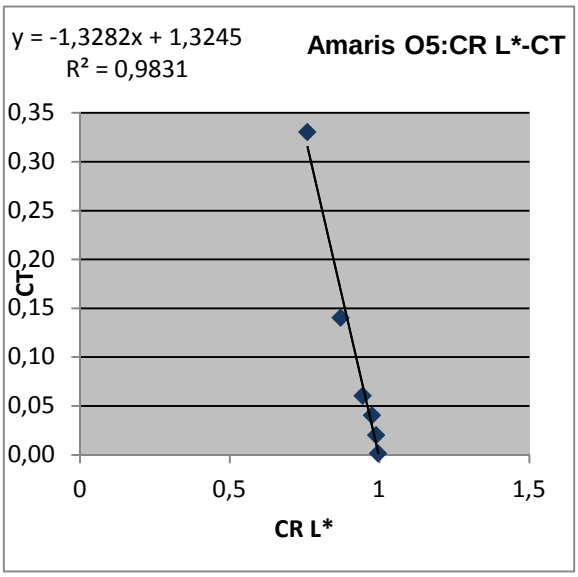

y = 0,0127x - 0,2151
R² = 0,9887
Amaris O5: Yw-CT
CT
Yw

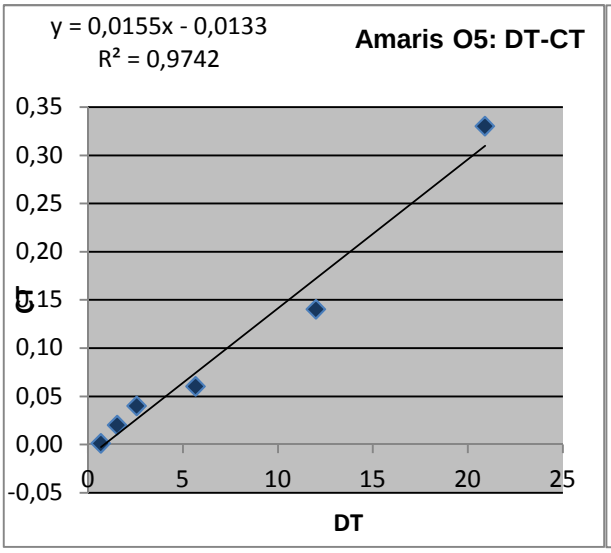

y = 0,016x - 0,2281
R² = 0,9244
Amaris O5: Zw-CT
CT
Zw

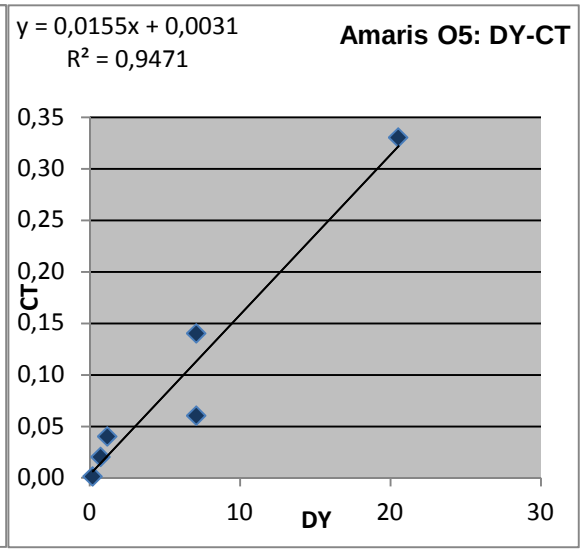

y = 10,036x - 3,3803
R² = 0,6397
Amaris O5: xw-CT
CT
xw

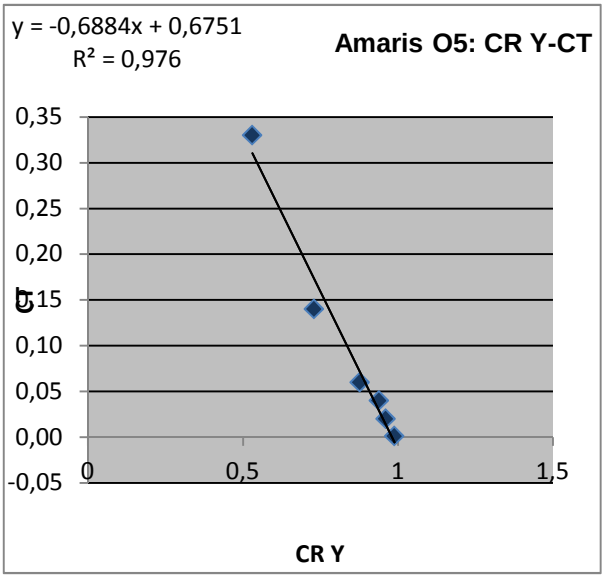

y = 10,984x - 3,8249
R² = 0,821
Amaris O5: yw-CT
CT
yw


y = 0,0189x + 0,0059
R² = 0,9963
Amaris O5: DL*-CT
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
5
10
15
20
DL*

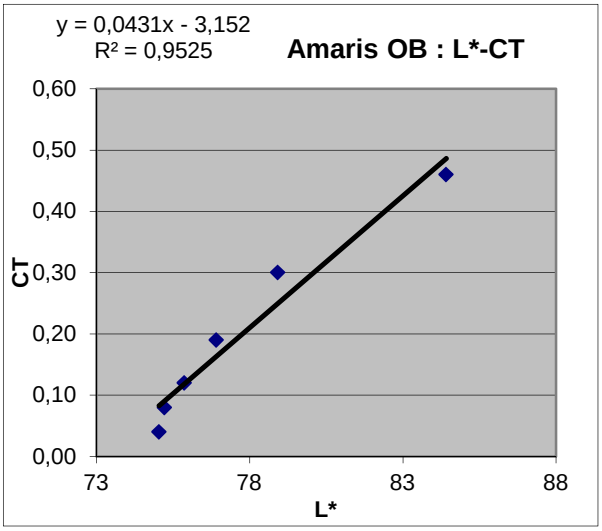

y = -1,3282x + 1,3245
R² = 0,9831
Amaris O5:CR L*-CT
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
0,5
1
1,5
CR L*

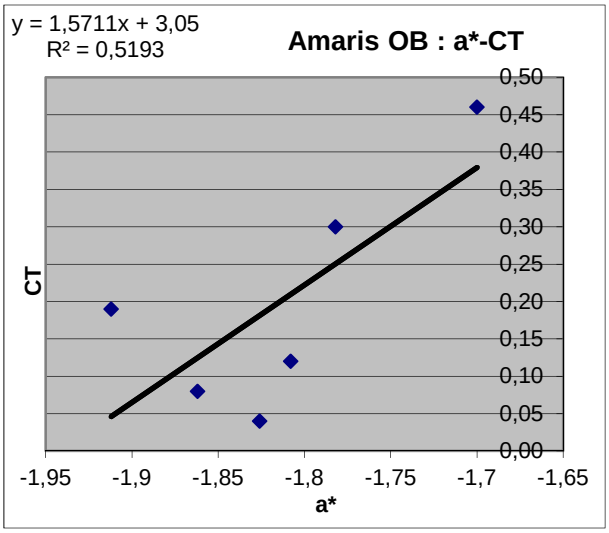

y = 0,0155x - 0,0133
R² = 0,9742
Amaris O5: DT-CT
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
-0,05
CT
0
5
10
15
20
25
DT

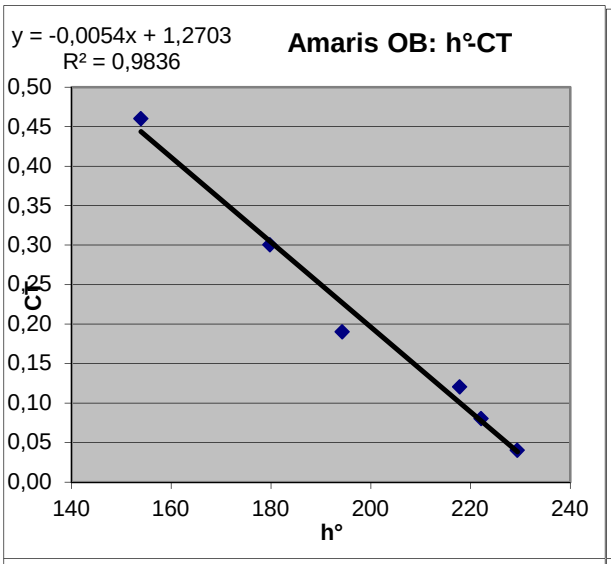

y = 0,0155x + 0,0031
R² = 0,9471
Amaris O5: DY-CT
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
10
20
30
DY

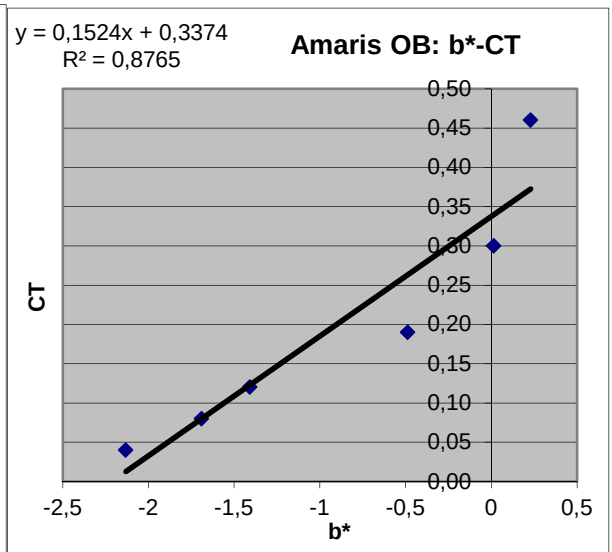

y = -0,6884x + 0,6751
R² = 0,976
Amaris O5: CR Y-CT
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
-0,05
CT
0
0,5
1
1,5
CR Y

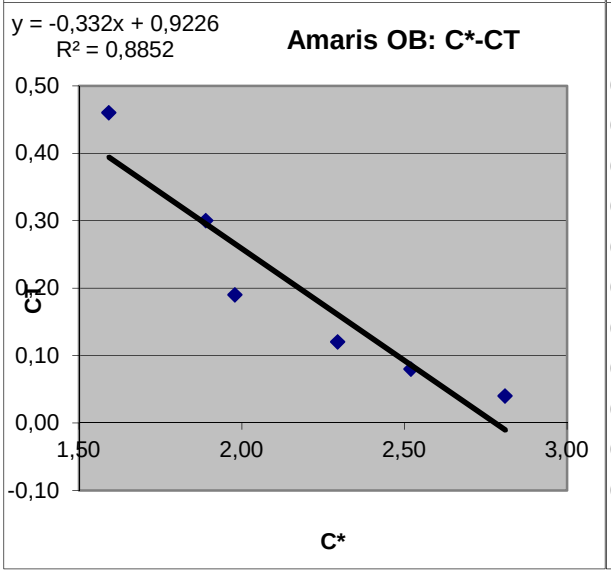
- OB

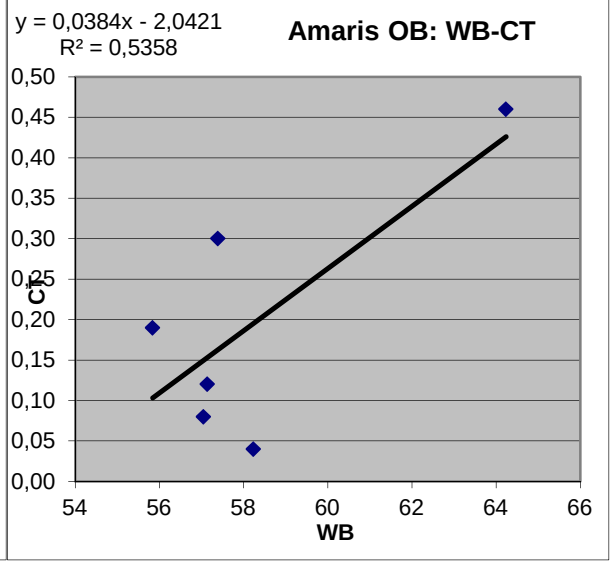

y = 0,0431x - 3,152
R² = 0,9525
Amaris OB : L*-CT
CT
L*

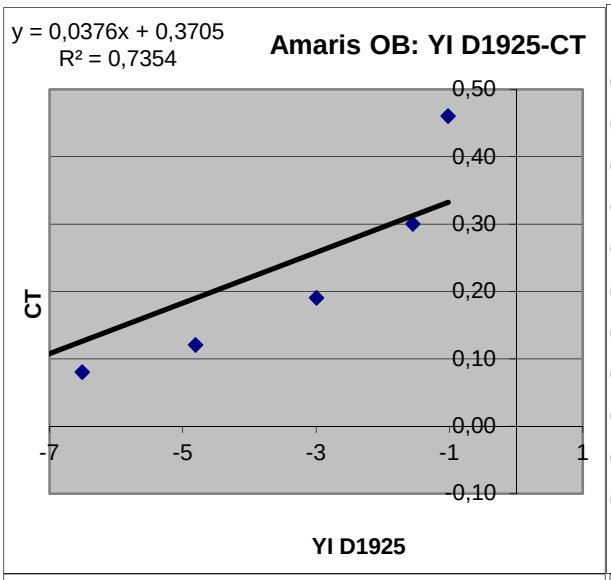

y = 1,5711x + 3,05
R² = 0,5193
Amaris OB : a*-CT
CT
a*

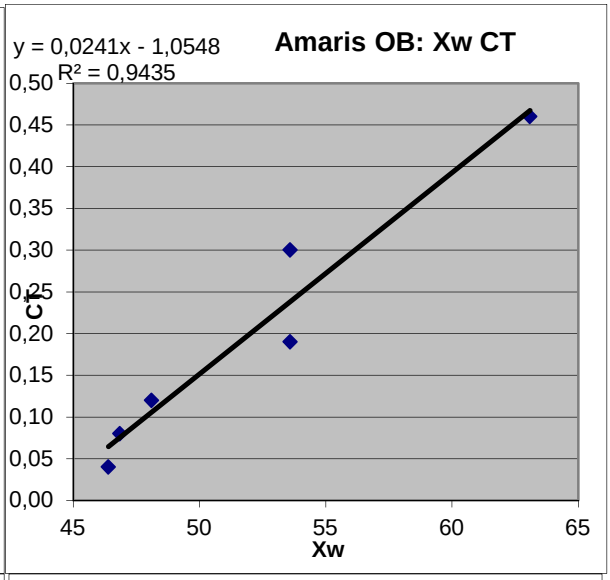

y = -0,0054x + 1,2703
R² = 0,9836
Amaris OB: h°-CT
CT
h°

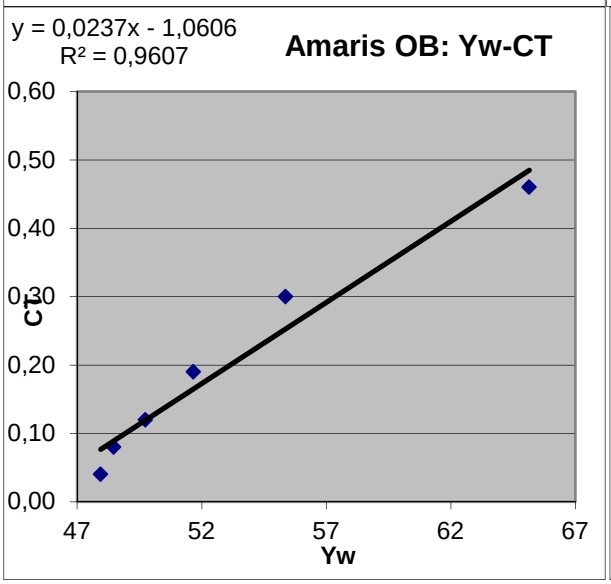

y = 0,1524x + 0,3374
R² = 0,8765
Amaris OB: b*-CT
CT
b*

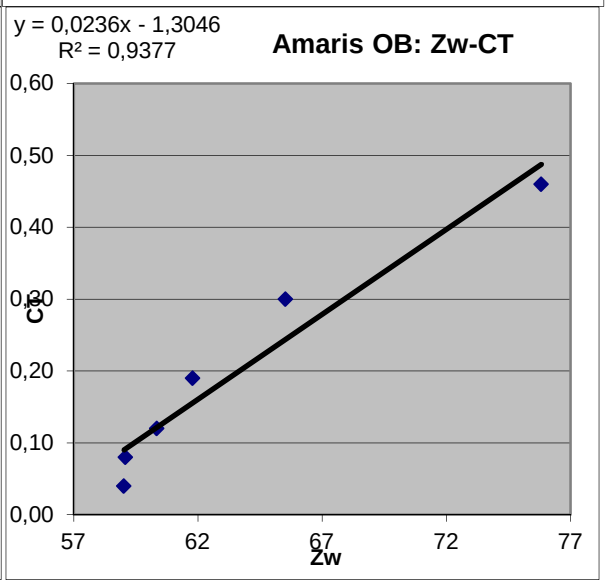

y = -0,332x + 0,9226
R² = 0,8852
Amaris OB: C*-CT
CT
C*

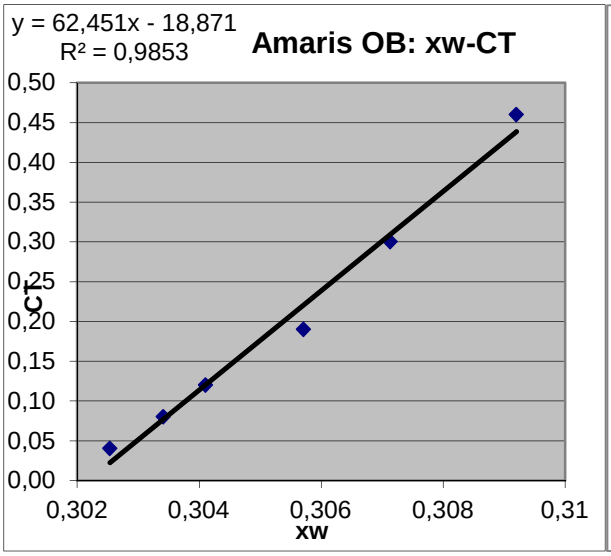

y = 0,0384x - 2,0421
R² = 0,5358
Amaris OB: WB-CT
CT
WB

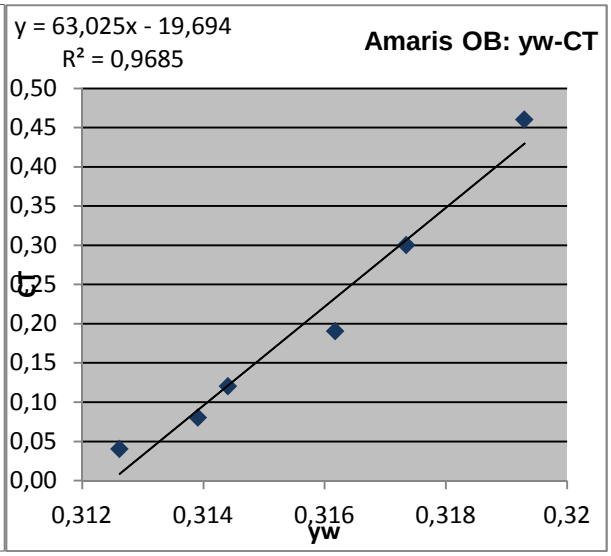

y = 0,0376x + 0,3705
R² = 0,7354
Amaris OB: YI D1925-CT
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
-0,10
CT
-7
-5
-3
-1
1
YI D1925

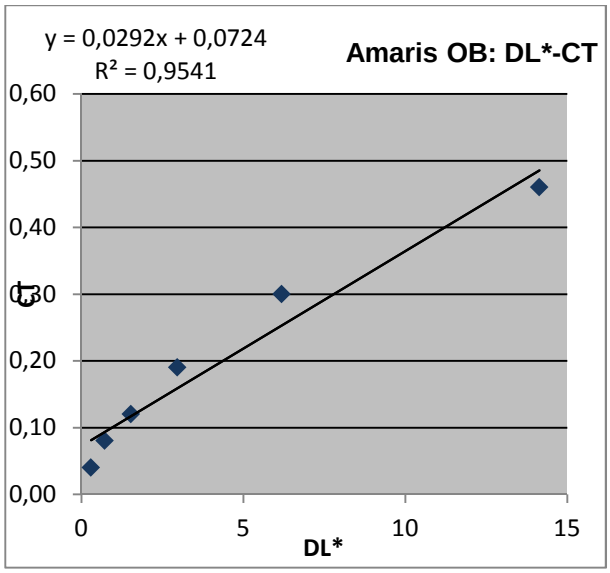

y = 0,0241x - 1,0548
R² = 0,9435
Amaris OB: Xw CT
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
45
50
55
60
65
Xw

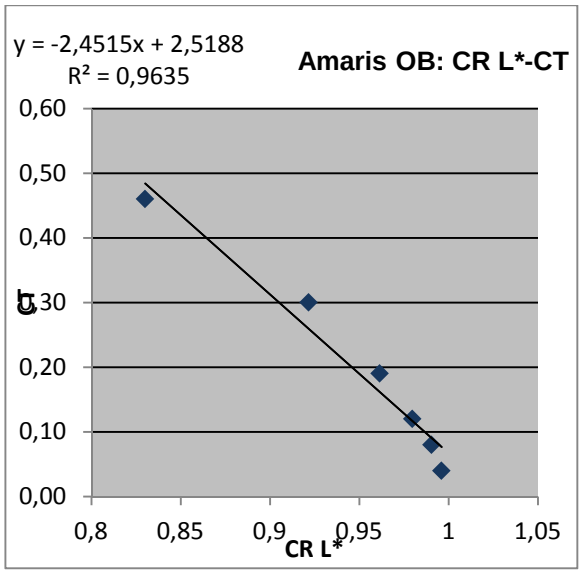

y = 0,0237x - 1,0606
R² = 0,9607
Amaris OB: Yw-CT
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
47
52
57
62
67
Yw

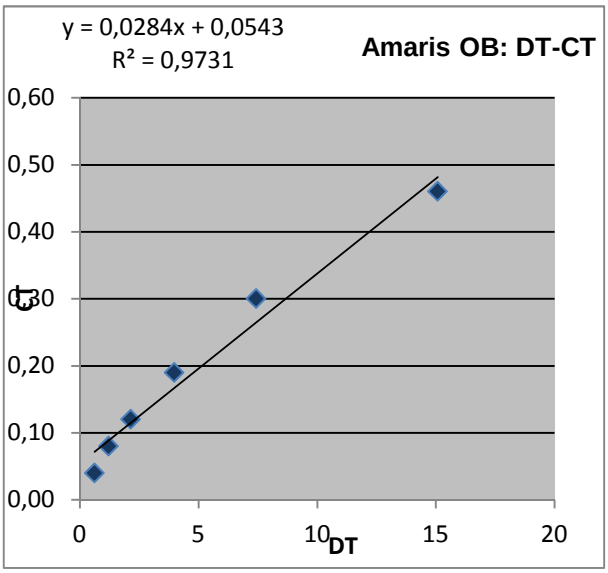

y = 0,0236x - 1,3046
R² = 0,9377
Amaris OB: Zw-CT
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
57
62
67
72
77
Zw

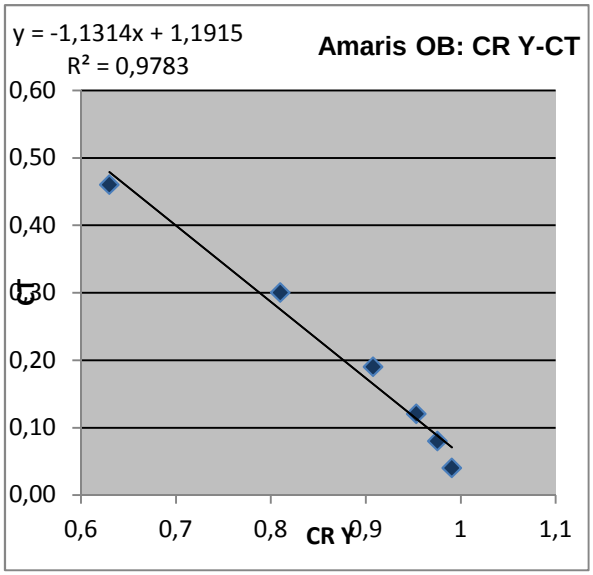

y = 62,451x - 18,871
R² = 0,9853
Amaris OB: xw-CT
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,302
0,304
0,306
0,308
0,31
xw

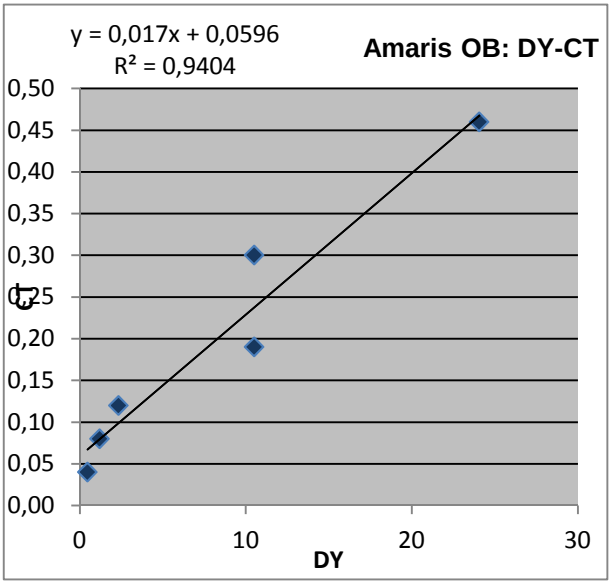

y = 63,025x - 19,694
R² = 0,9685
Amaris OB: yw-CT
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0,312
0,314
0,316
0,318
0,32
yw


y = 0,0292x + 0,0724
R² = 0,9541
Amaris OB: DL*-CT
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
5
10
15
DL*

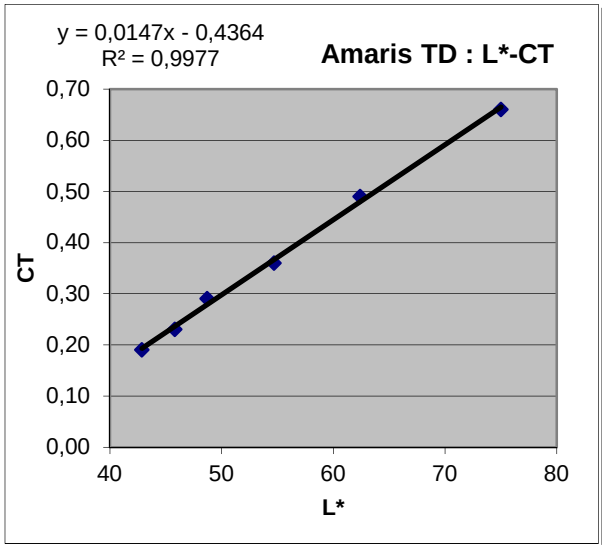

y = -2,4515x + 2,5188
R² = 0,9635
Amaris OB: CR L*-CT
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0,8
0,85
0,9
0,95
1
1,05
CR L*

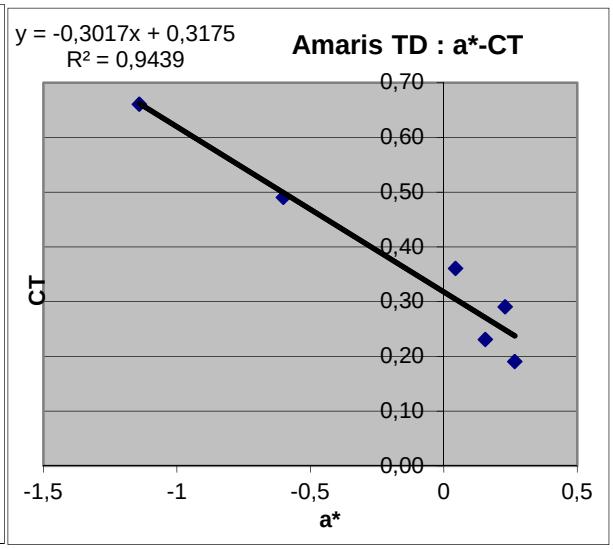

y = 0,0284x + 0,0543
R² = 0,9731
Amaris OB: DT-CT
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
5
10
15
20
DT

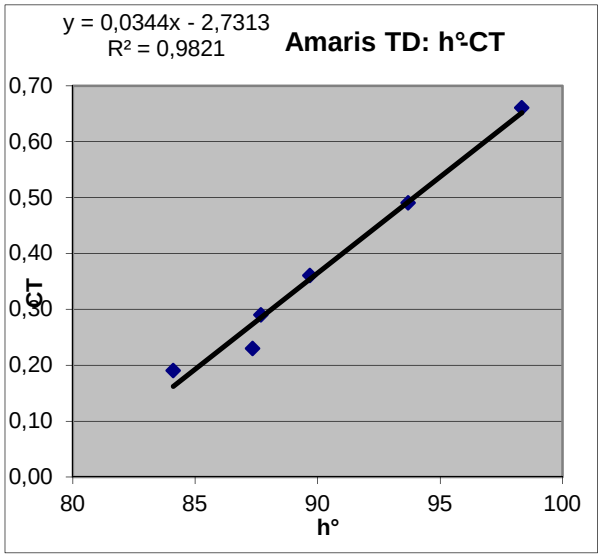

y = -1,1314x + 1,1915
R² = 0,9783
Amaris OB: CR Y-CT
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
CR Y

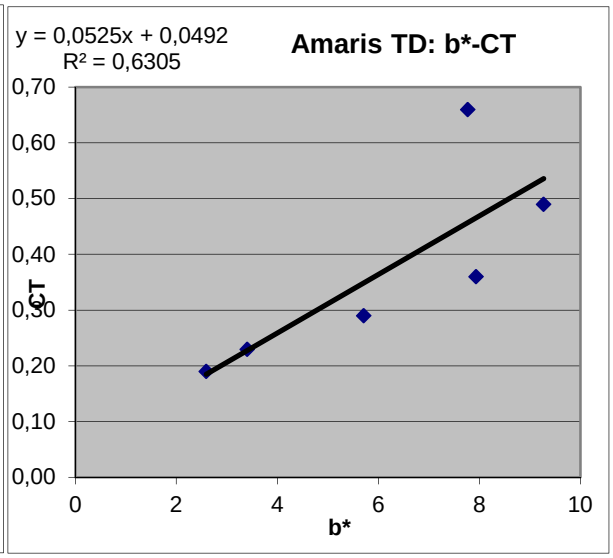

y = 0,017x + 0,0596
R² = 0,9404
Amaris OB: DY-CT
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
CT
0
10
20
30
DY

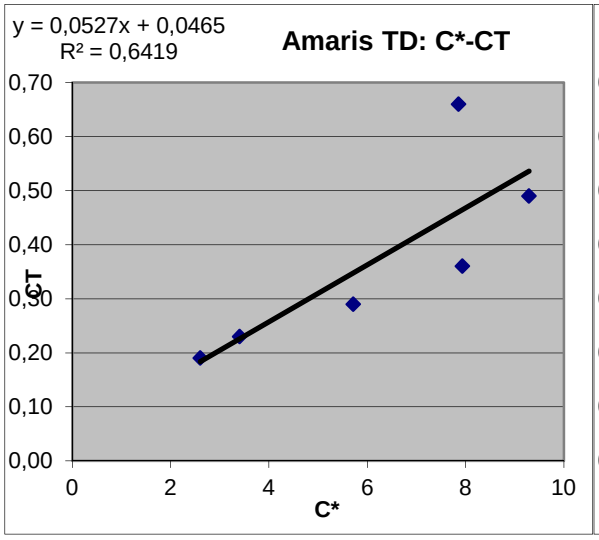
- TD

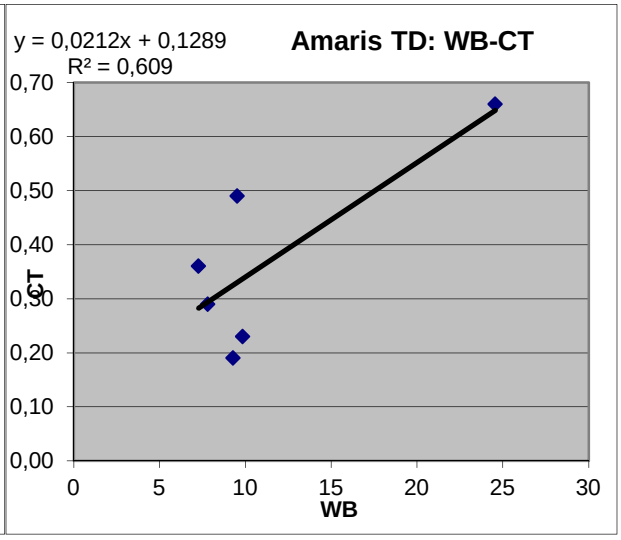

y = 0,0147x - 0,4364
R² = 0,9977
Amaris TD : L*-CT
CT
L*

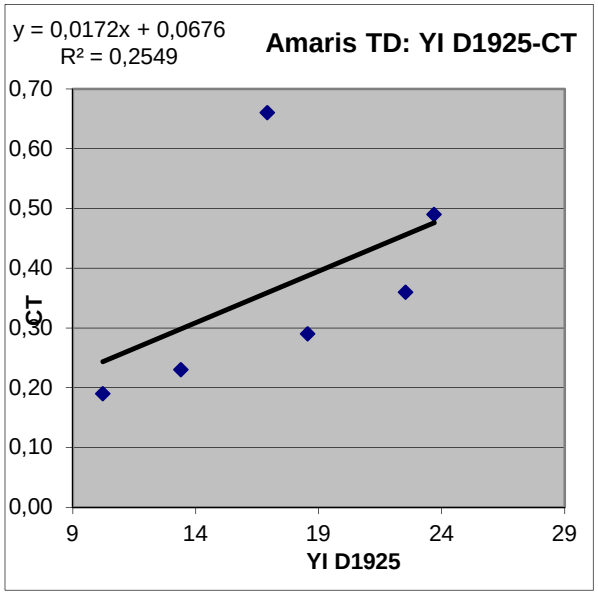

y = -0,3017x + 0,3175
R² = 0,9439
Amaris TD : a*-CT
CT
a*

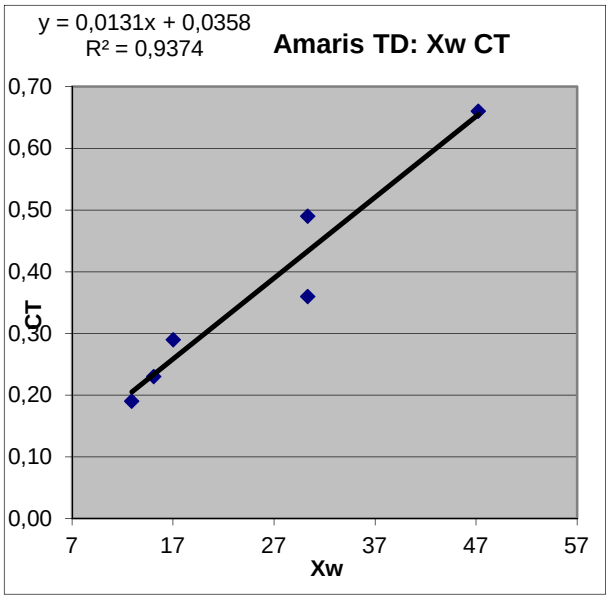

y = 0,0344x - 2,7313
R² = 0,9821
Amaris TD: h°-CT
CT
h°

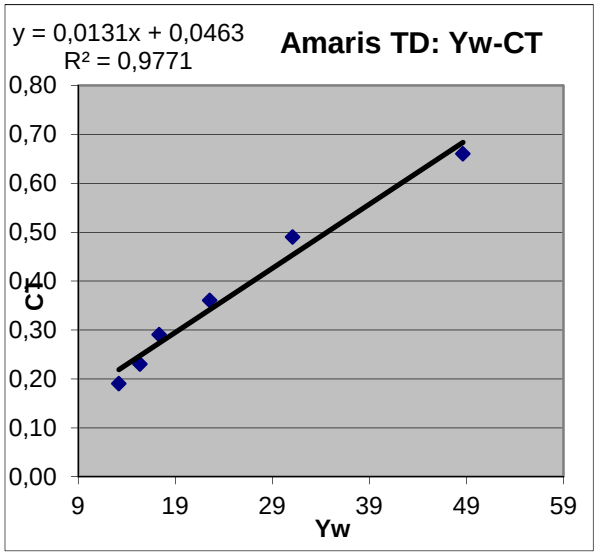

y = 0,0525x + 0,0492
R² = 0,6305
Amaris TD: b*-CT
CT
b*

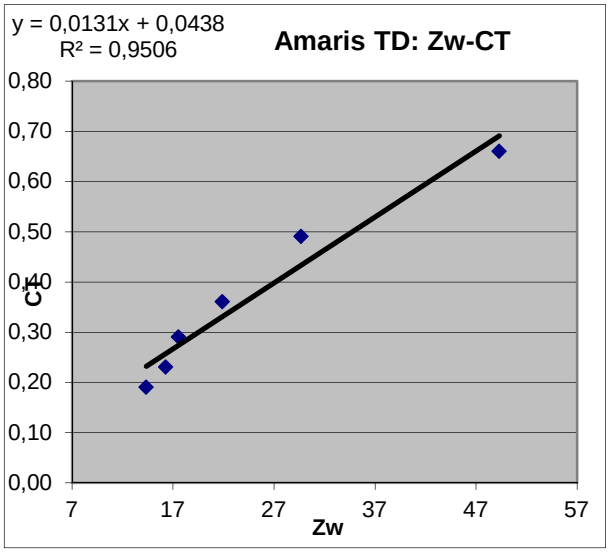

y = 0,0527x + 0,0465
R² = 0,6419
Amaris TD: C*-CT
CT
C*

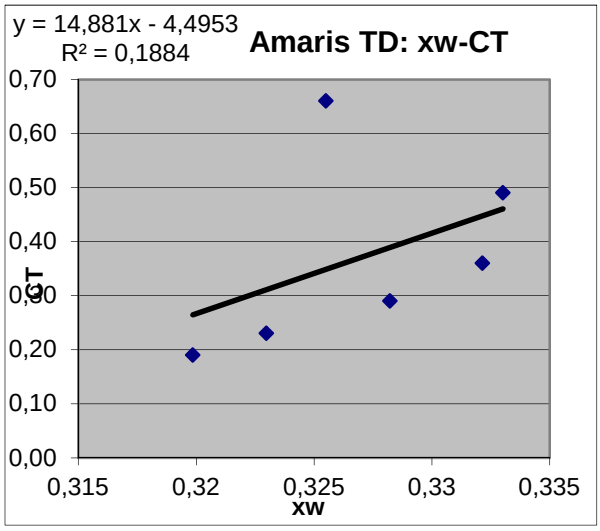

y = 0,0212x + 0,1289
R² = 0,609
Amaris TD: WB-CT
CT
WB

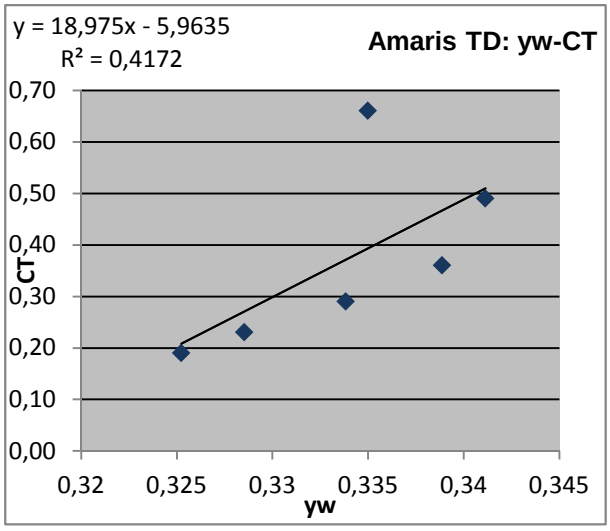

y = 0,0172x + 0,0676
R² = 0,2549
Amaris TD: YI D1925-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
9
14
19
24
29
YI D1925

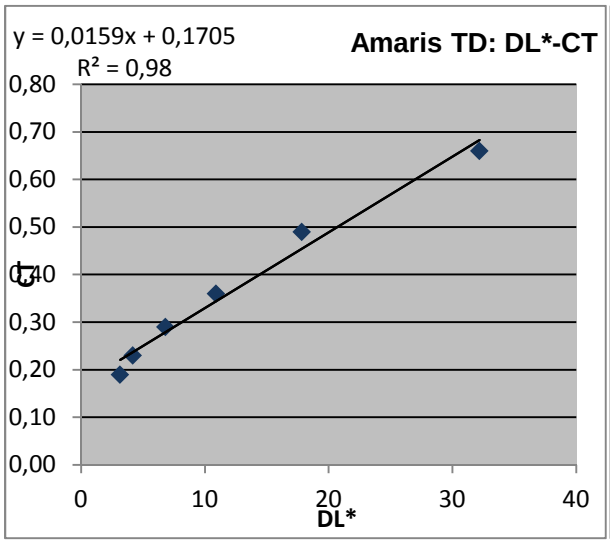

y = 0,0131x + 0,0358
R² = 0,9374
Amaris TD: Xw CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
7
17
27
37
47
57
Xw

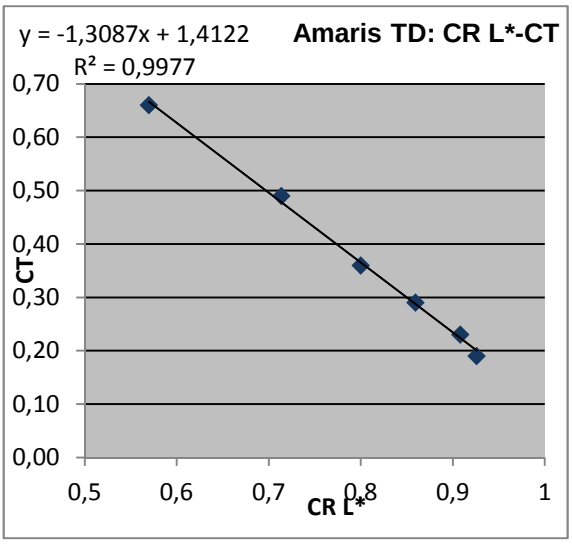

y = 0,0131x + 0,0463
R² = 0,9771
Amaris TD: Yw-CT
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
9
19
29
39
49
59
Yw

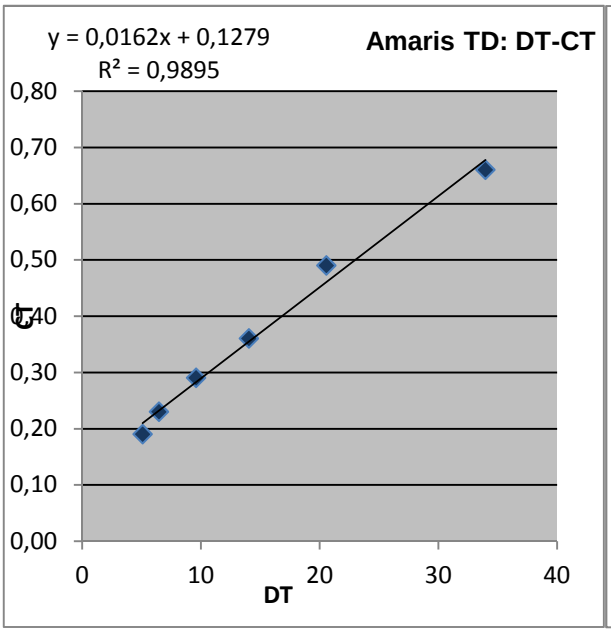

y = 0,0131x + 0,0438
R² = 0,9506
Amaris TD: Zw-CT
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
7
17
27
37
47
57
Zw

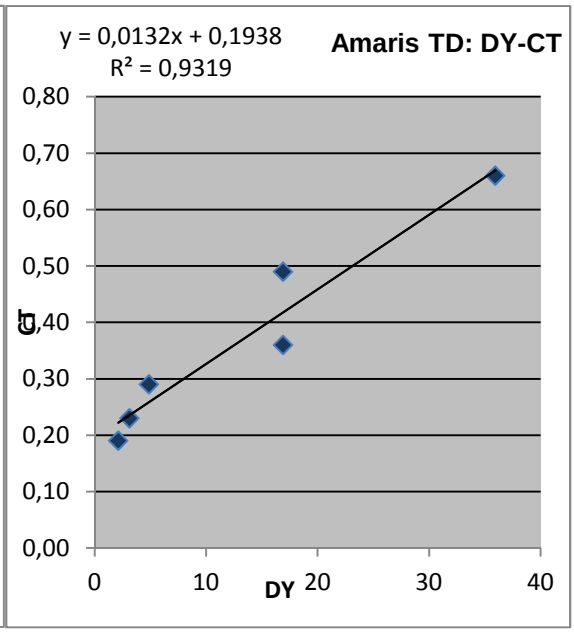

y = 14,881x - 4,4953
R² = 0,1884
Amaris TD: xw-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0,315
0,32
0,325
0,33
0,335
xw

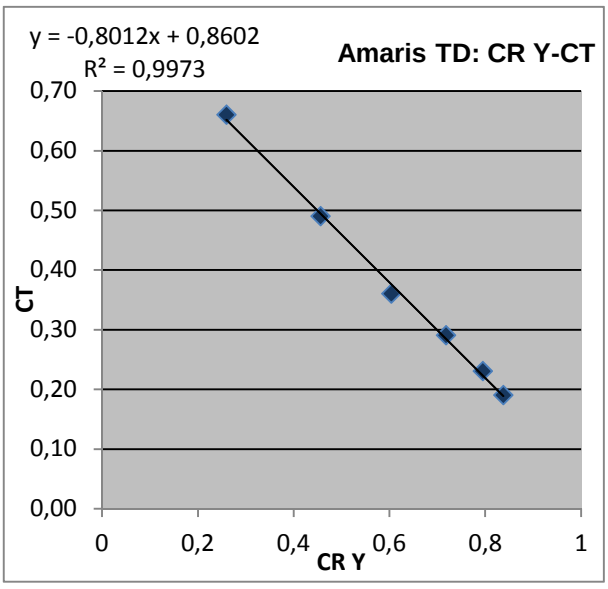

y = 18,975x - 5,9635
R² = 0,4172
Amaris TD: yw-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0,32
0,325
0,33
0,335
0,34
0,345
yw


y = 0,0159x + 0,1705
R² = 0,98
Amaris TD: DL*-CT
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DL*

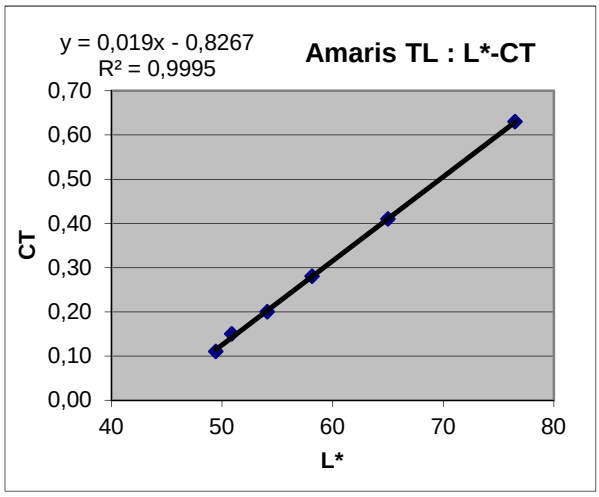

y = -1,3087x + 1,4122
R² = 0,9977
Amaris TD: CR L*-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
CR L*

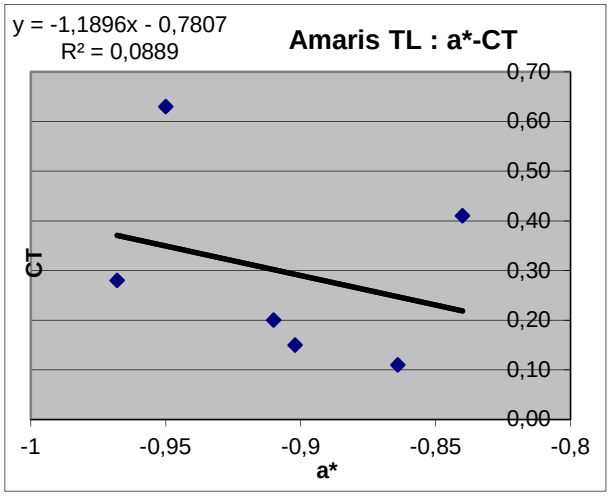

y = 0,0162x + 0,1279
R² = 0,9895
Amaris TD: DT-CT
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DT

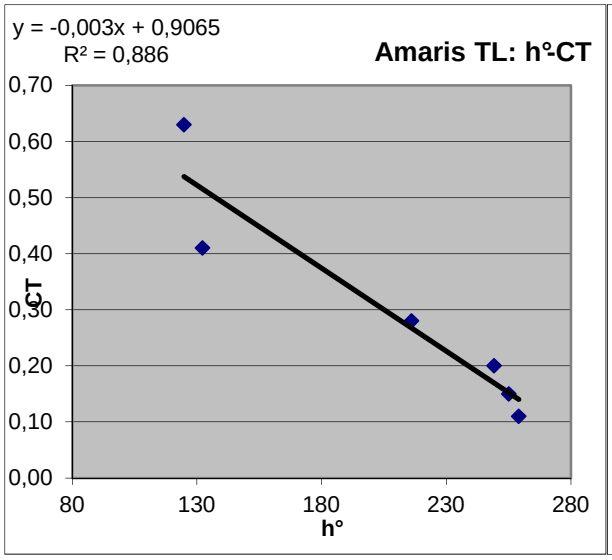

y = 0,0132x + 0,1938
R² = 0,9319
Amaris TD: DY-CT
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DY

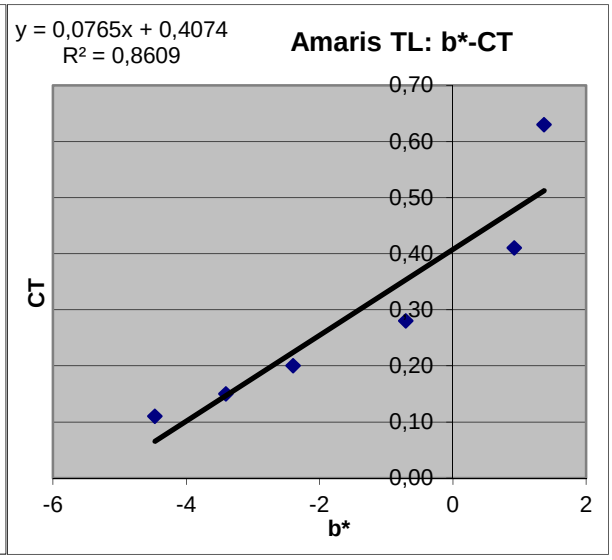

y = -0,8012x + 0,8602
R² = 0,9973
Amaris TD: CR Y-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
CR Y

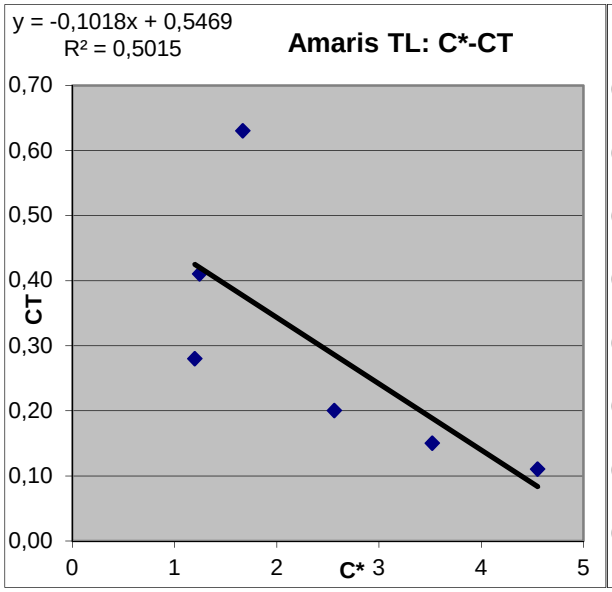
- TL

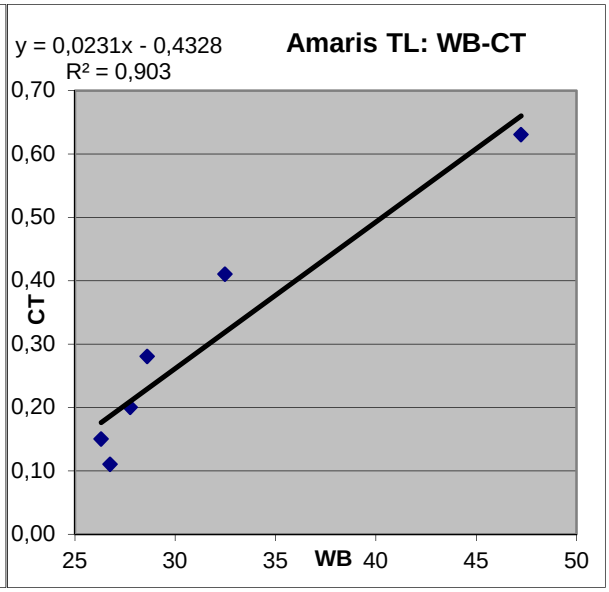

y = 0,019x - 0,8267
R² = 0,9995
Amaris TL : L*-CT
CT
L*

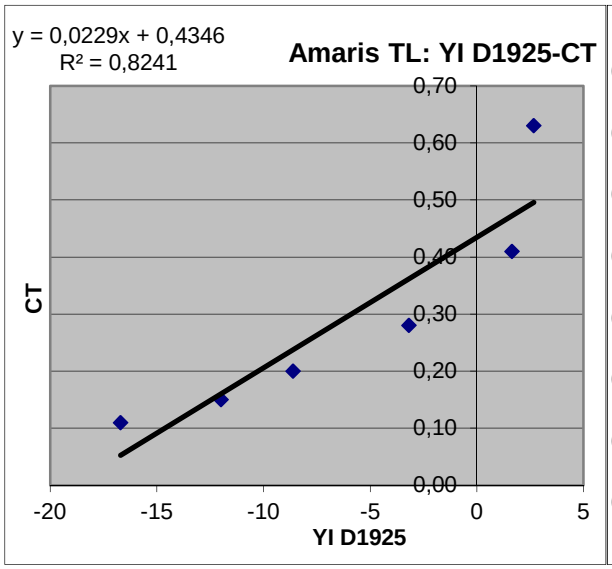

y = -1,1896x - 0,7807
R² = 0,0889
Amaris TL : a*-CT
CT
a*

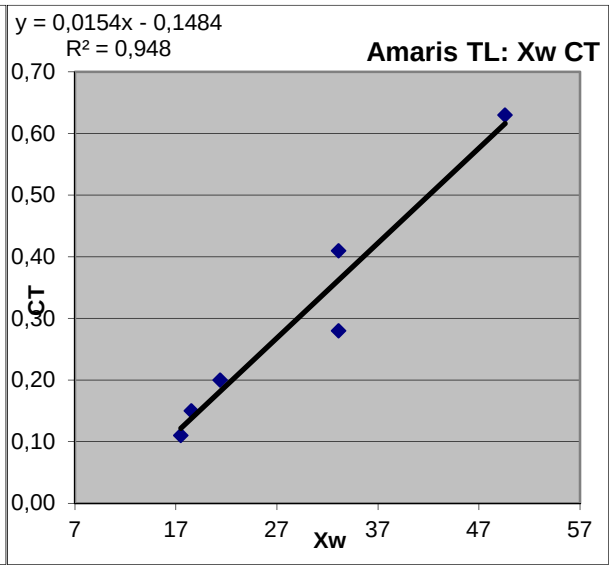

y = -0,003x + 0,9065
R² = 0,886
Amaris TL: h°-CT
CT
h°

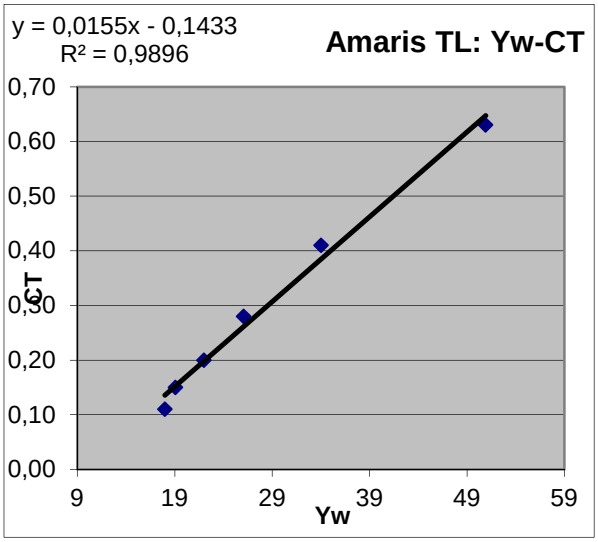

y = 0,0765x + 0,4074
R² = 0,8609
Amaris TL: b*-CT
CT
b*

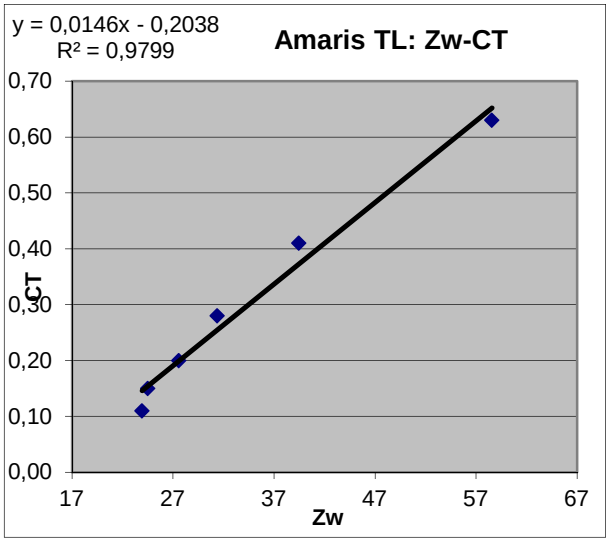

y = -0,1018x + 0,5469
R² = 0,5015
Amaris TL: C*-CT
CT
C*

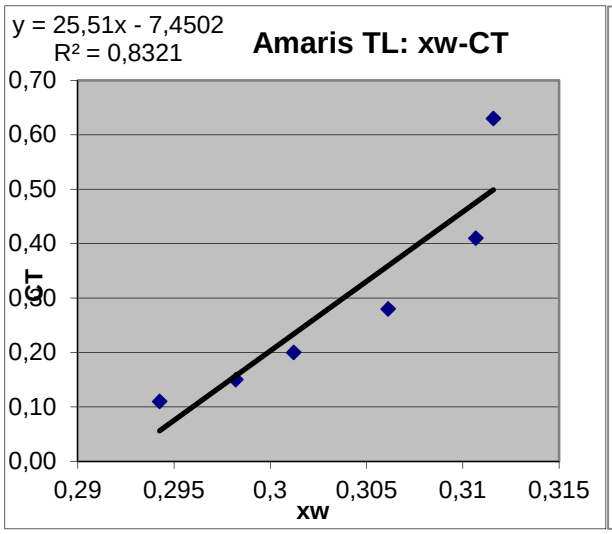

y = 0,0231x - 0,4328
R² = 0,903
Amaris TL: WB-CT
CT
WB

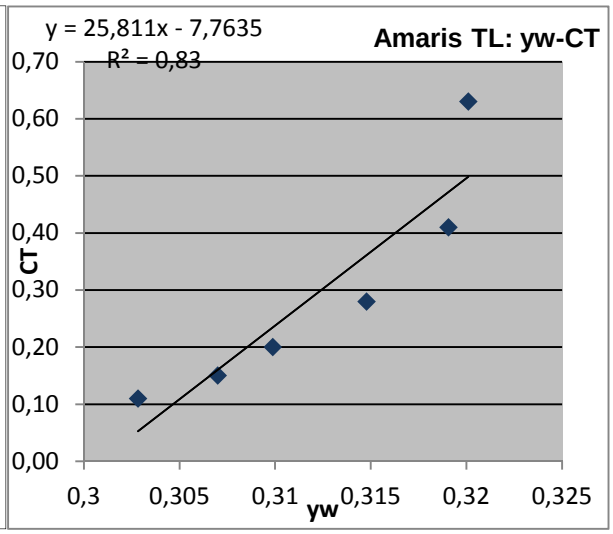

y = 0,0229x + 0,4346
R² = 0,8241
Amaris TL: YI D1925-CT
CT
YI D1925
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
-20
-15
-10
-5
0
5

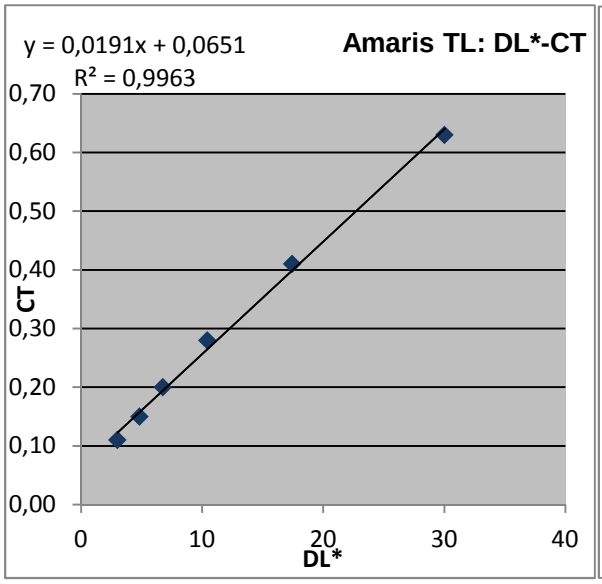

y = 0,0154x - 0,1484
R² = 0,948
Amaris TL: Xw CT
CT
Xw
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
7
17
27
37
47
57

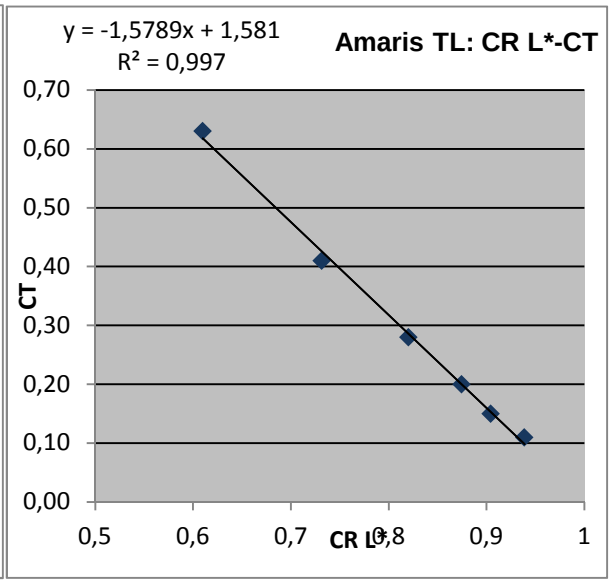

y = 0,0155x - 0,1433
R² = 0,9896
Amaris TL: Yw-CT
CT
Yw
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
9
19
29
39
49
59

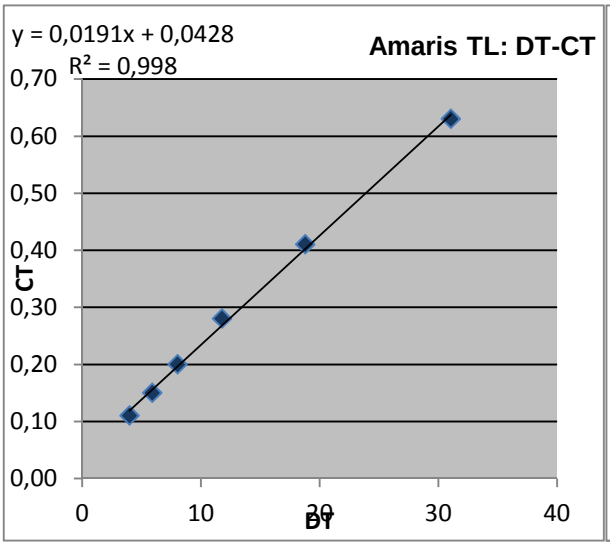

y = 0,0146x - 0,2038
R² = 0,9799
Amaris TL: Zw-CT
CT
Zw
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
17
27
37
47
57
67

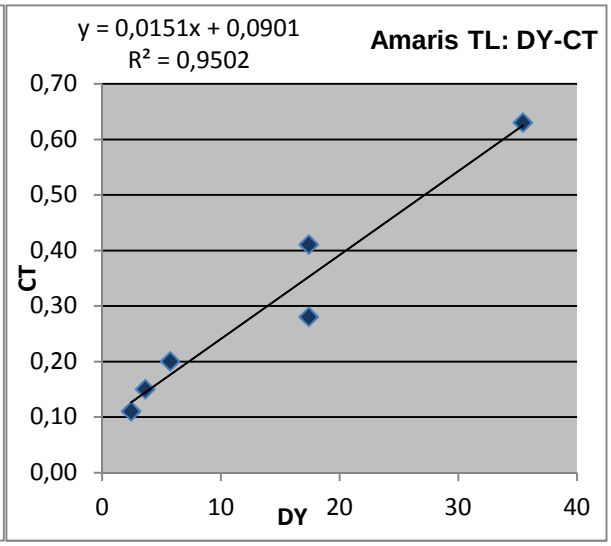

y = 25,51x - 7,4502
R² = 0,8321
Amaris TL: xw-CT
CT
xw
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,29
0,295
0,3
0,305
0,31
0,315

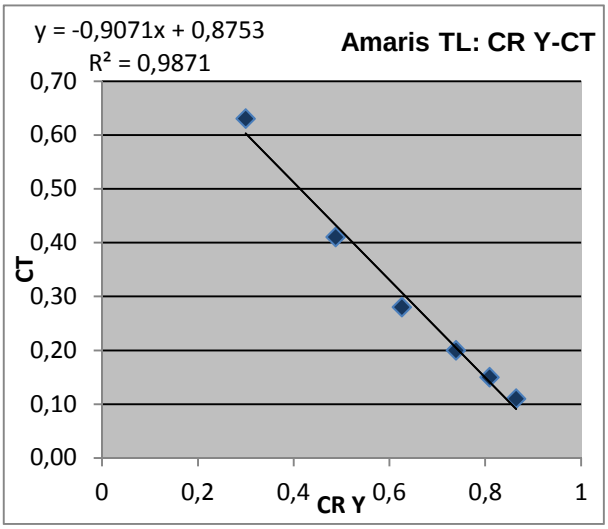

y = 25,811x - 7,7635
R² = 0,83
Amaris TL: yw-CT
CT
yw
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,3
0,305
0,31
0,315
0,32
0,325


y = 0,0191x + 0,0651
R² = 0,9963
Amaris TL: DL*-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DL*

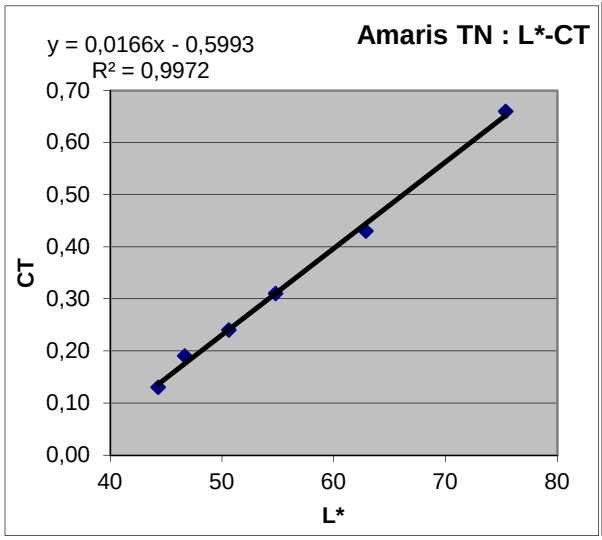

y = -1,5789x + 1,581
R² = 0,997
Amaris TL: CR L*-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
CR L*

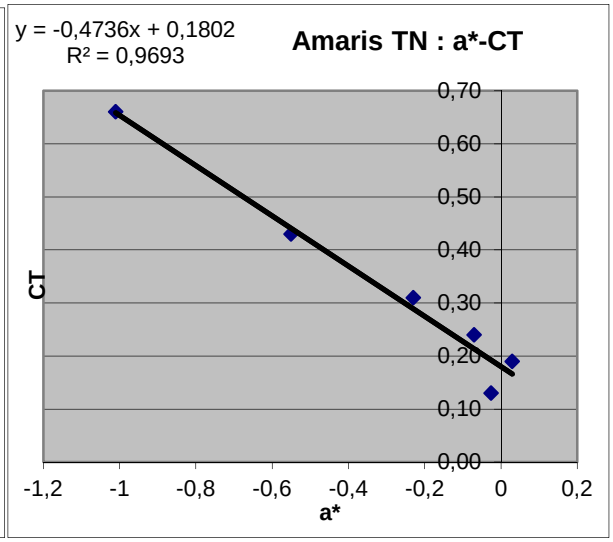

y = 0,0191x + 0,0428
R² = 0,998
Amaris TL: DT-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DT

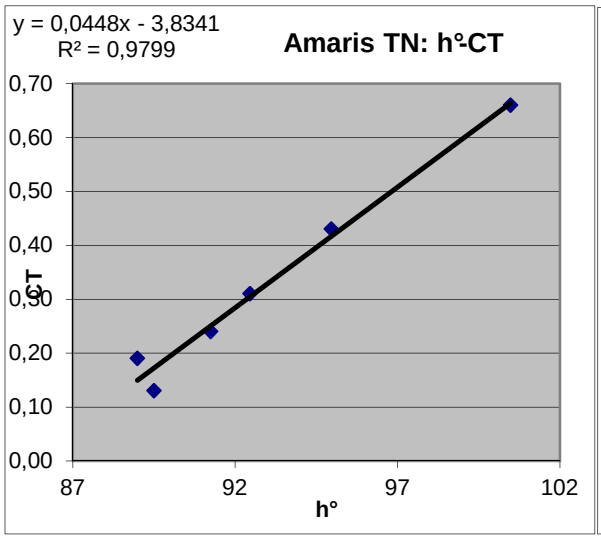

y = 0,0151x + 0,0901
R² = 0,9502
Amaris TL: DY-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DY

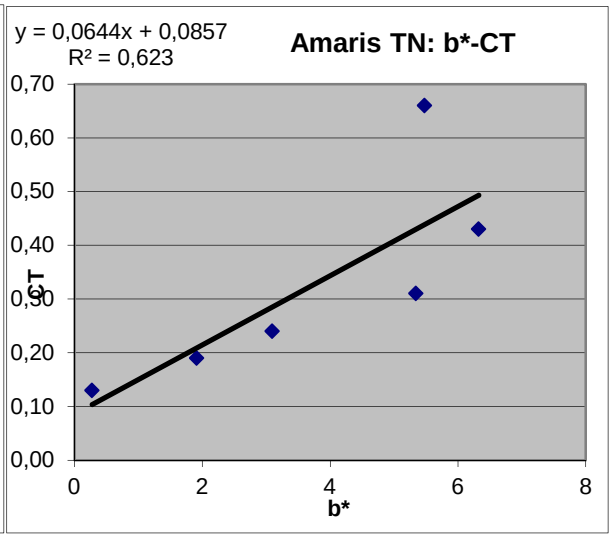

y = -0,9071x + 0,8753
R² = 0,9871
Amaris TL: CR Y-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
CR Y

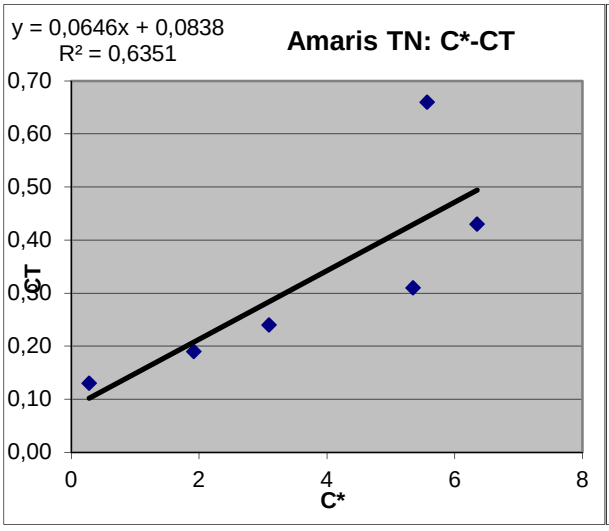
- TN

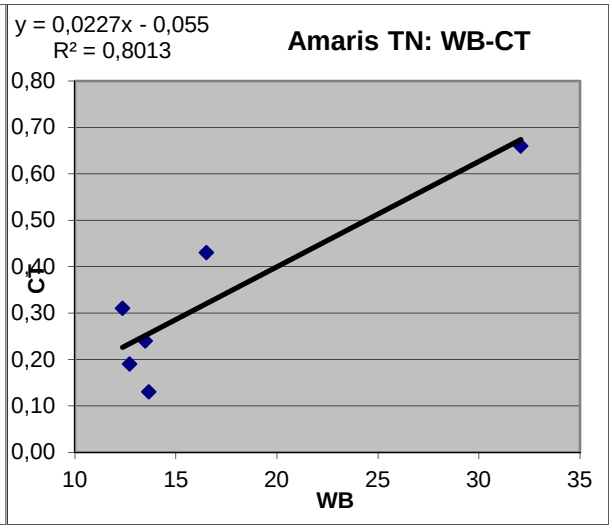

y = 0,0166x - 0,5993
R² = 0,9972
Amaris TN : L*-CT
CT
L*
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
40
50
60
70
80

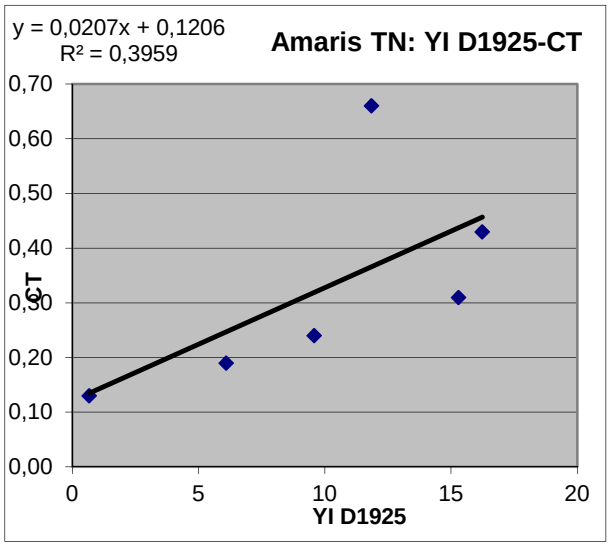

y = -0,4736x + 0,1802
R² = 0,9693
Amaris TN : a*-CT
CT
a*
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
-1,2
-1
-0,8
-0,6
-0,4
-0,2
0
0,2

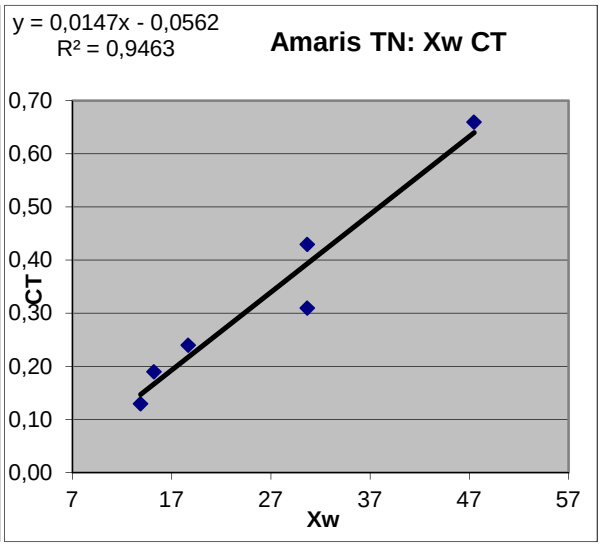

y = 0,0448x - 3,8341
R² = 0,9799
Amaris TN: h°-CT
CT
h°
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
87
92
97
102

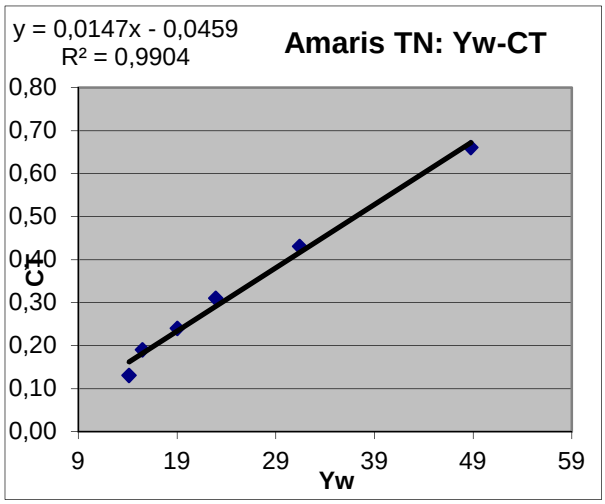

y = 0,0644x + 0,0857
R² = 0,623
Amaris TN: b*-CT
CT
b*
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
2
4
6
8

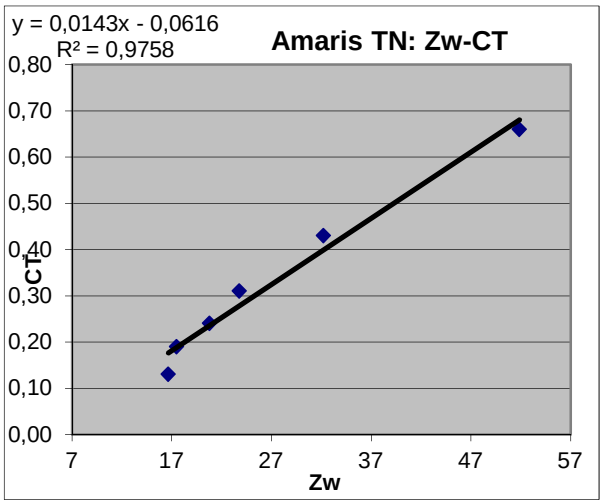

y = 0,0646x + 0,0838
R² = 0,6351
Amaris TN: C*-CT
CT
C*
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
2
4
6
8

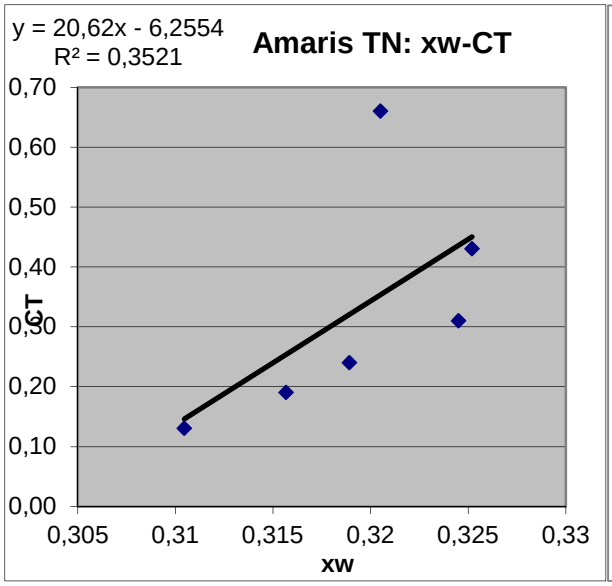

y = 0,0227x - 0,055
R² = 0,8013
Amaris TN: WB-CT
CT
WB
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
10
15
20
25
30
35

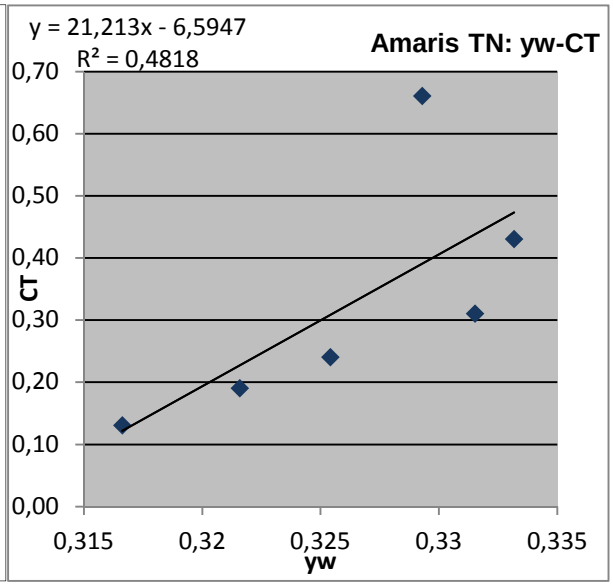

y = 0,0207x + 0,1206
R² = 0,3959
Amaris TN: YI D1925-CT
CT
YI D1925

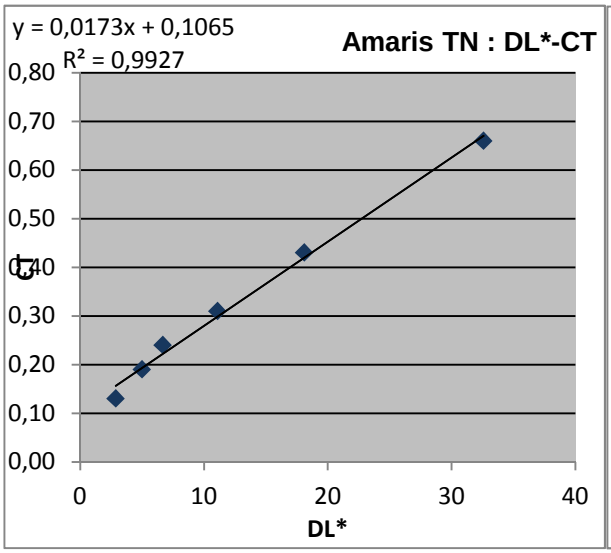

y = 0,0147x - 0,0562
R² = 0,9463
Amaris TN: Xw CT
CT
Xw

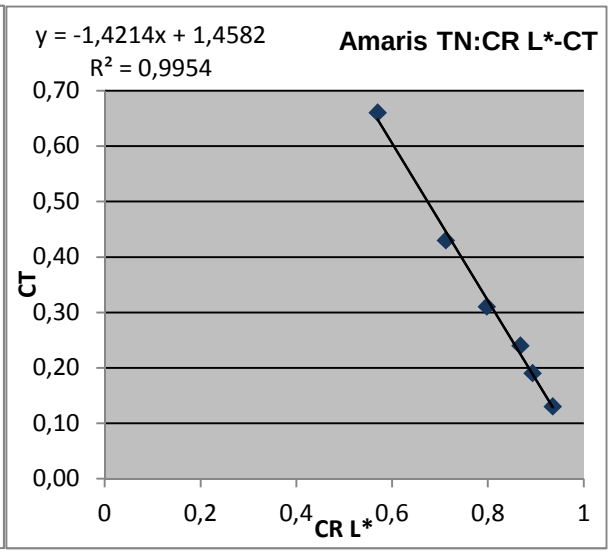

y = 0,0147x - 0,0459
R² = 0,9904
Amaris TN: Yw-CT
CT
Yw

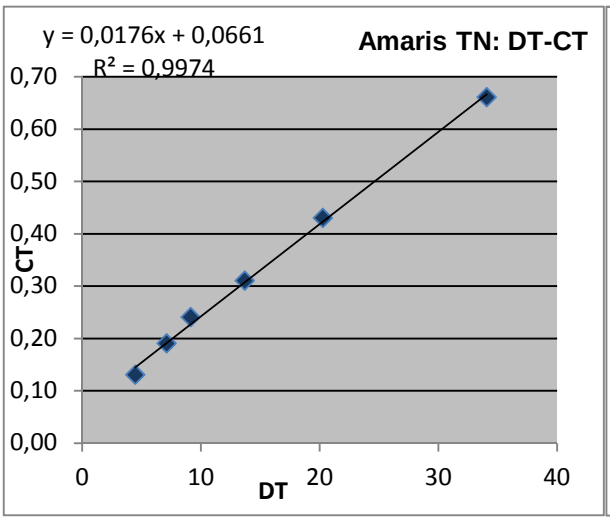

y = 0,0143x - 0,0616
R² = 0,9758
Amaris TN: Zw-CT
CT
Zw

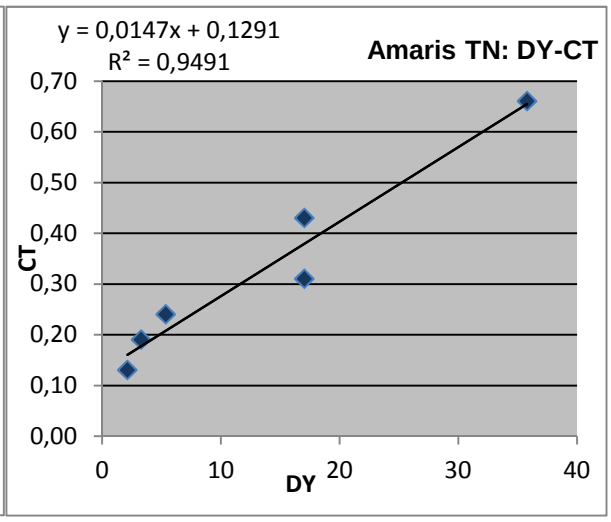

y = 20,62x - 6,2554
R² = 0,3521
Amaris TN: xw-CT
CT
xw

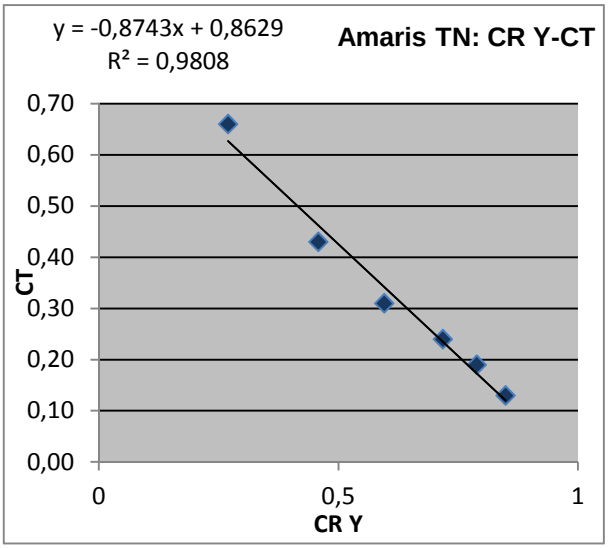

y = 21,213x - 6,5947
R² = 0,4818
Amaris TN: yw-CT
CT
yw


y = 0,0173x + 0,1065
R² = 0,9927
Amaris TN : DL*-CT
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DL*


y = -1,4214x + 1,4582
R² = 0,9954
Amaris TN:CR L*-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
CR L*


y = 0,0176x + 0,0661
R² = 0,9974
Amaris TN: DT-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DT


y = 0,0147x + 0,1291
R² = 0,9491
Amaris TN: DY-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
10
20
30
40
DY


y = -0,8743x + 0,8629
R² = 0,9808
Amaris TN: CR Y-CT
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
CT
0
0,5
1
CR Y

4.4.5. Coefficient de corrélation.

L*w	Equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0298x - 1,9691	R² = 0,9912
O2	y = 0,0265x - 1,6214	R² = 0,9835
O3	y = 0,0239x - 1,424	R² = 0,9939
O4	y = 0,0195x - 1,0598	R² = 0,993
O5	y = 0,0145x - 0,7143	R² = 0,9973
OB	y = 0,0431x - 3,152	R² = 0,9525
TL	y = 0,019x - 0,8267	R² = 0,9995
TD	y = 0,0147x - 0,4364	R² = 0,9977
TN	y = 0,0166x - 0,5993	R² = 0,9972

a*w	equation	coefficient de corrélation
O1	y = -0,5985x - 1,1704	R² = 0,6048
O2	y = -0,2915x - 0,2793	R² = 0,3217
O3	y = -0,1126x + 0,009	R² = 0,1329
O4	y = -0,0596x + 0,0682	R² = 0,0711
O5	y = -0,0505x + 0,0918	R² = 0,141
OB	y = 1,5711x + 3,05	R² = 0,5193
TL	y = -1,1896x - 0,7807	R² = 0,0889
TD	y = -0,3017x + 0,3175	R² = 0,9439
TN	y = -0,4736x + 0,1802	R² = 0,9693

b*w	Equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0736x - 0,2236	R² = 0,8683
O2	y = 0,0541x - 0,1608	R² = 0,8669
O3	y = 0,0434x - 0,2526	R² = 0,8908
O4	y = 0,0306x - 0,2508	R² = 0,8801
O5	y = 0,0283x - 0,2867	R² = 0,8153
OB	y = 0,1524x + 0,3374	R² = 0,8765
TL	y = 0,0765x + 0,4074	R² = 0,8609
TD	y = 0,0525x + 0,0492	R² = 0,6305
TN	y = 0,0644x + 0,0857	R² = 0,623

C*w	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0798x - 0,2947	R² = 0,8902
O2	y = 0,0567x - 0,1881	R² = 0,8875
O3	y = 0,0439x - 0,2599	R² = 0,8988
O4	y = 0,0307x - 0,2532	R² = 0,8836
O5	y = 0,0282x - 0,286	R² = 0,8729
OB	y = -0,332x + 0,9226	R² = 0,8852
TL	y = -0,1018x + 0,5469	R² = 0,5015
TD	y = 0,0527x + 0,0465	R² = 0,6419
TN	y = 0,0646x + 0,0838	R² = 0,6351

h°w	Equation	coefficient de corrélation
O1	y = -0,0148x + 1,8529	R² = 0,5966
O2	y = -0,0114x + 1,3608	R² = 0,4076
O3	y = -0,013x + 1,3784	R² = 0,1515
O4	y = -0,0099x + 1,0393	R² = 0,0599
O5	y = 0,0068x - 0,5194	R² = 0,0402
OB	y = -0,0054x + 1,2703	R² = 0,9836
TL	y = -0,003x + 0,9065	R² = 0,886
TD	y = 0,0344x - 2,7313	R² = 0,9821
TN	y = 0,0448x - 3,8341	R² = 0,9799

WB w	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0206x - 0,4608	R² = 0,1111
O2	y = -0,0105x + 0,3806	R² = 0,0495
O3	y = -0,025x + 0,4322	R² = 0,4722
O4	y = -0,0194x + 0,1574	R² = 0,7437
O5	y = -0,0216x + 0,0458	R² = 0,9167
OB	y = 0,0384x - 2,0421	R² = 0,5358
TL	y = 0,0231x - 0,4328	R² = 0,903
TD	y = 0,0212x + 0,1289	R² = 0,609
TN	y = 0,0227x - 0,055	R² = 0,8013

YI w	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0339x - 0,1937	R² = 0,7643
O2	y = 0,0237x - 0,1521	R² = 0,7477
O3	y = 0,0199x - 0,2923	R² = 0,7246
O4	y = 0,0144x - 0,3153	R² = 0,6916
O5	y = 0,0112x - 0,3377	R² = 0,7534
OB	y = 0,0376x + 0,3705	R² = 0,7354
TL	y = 0,0229x + 0,4346	R² = 0,8241
TD	y = 0,0172x + 0,0676	R² = 0,2549
TN	y = 0,0207x + 0,1206	R² = 0,3959

Xw	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0204x - 0,6855	R² = 0,99
O2	y = 0,0189x - 0,5422	R² = 0,9504
O3	y = 0,0179x - 0,4833	R² = 0,9523
O4	y = 0,0165x - 0,3598	R² = 0,9522
O5	y = 0,0131x - 0,2269	R² = 0,9503
OB	y = 0,0241x - 1,0548	R² = 0,9435
TL	y = 0,0154x - 0,1484	R² = 0,948
TD	y = 0,0131x + 0,0358	R² = 0,9374
TN	y = 0,0147x - 0,0562	R² = 0,9463

Yw	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0195x - 0,6825	R² = 0,9898
O2	y = 0,0183x - 0,5279	R² = 0,979
O3	y = 0,0175x - 0,4718	R² = 0,9836
O4	y = 0,0162x - 0,3526	R² = 0,9882
O5	y = 0,0127x - 0,2151	R² = 0,9887
OB	y = 0,0237x - 1,0606	R² = 0,9607
TL	y = 0,0155x - 0,1433	R² = 0,9896
TD	y = 0,0131x + 0,0463	R² = 0,9771
TN	y = 0,0147x - 0,0459	R² = 0,9904

Zw	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0219x - 0,8412	R² = 0,9604
O2	y = 0,0213x - 0,6701	R² = 0,9259
O3	y = 0,0223x - 0,6144	R² = 0,9282
O4	y = 0,0236x - 0,4884	R² = 0,9247
O5	y = 0,016x - 0,2281	R² = 0,9244
OB	y = 0,0236x - 1,3046	R² = 0,9377
TL	y = 0,0146x - 0,2038	R² = 0,9799
TD	y = 0,0131x + 0,0438	R² = 0,9506
TN	y = 0,0143x - 0,0616	R² = 0,9758

xw	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 34,012x - 10,662	R² = 0,7524
O2	y = 23,013x - 7,2386	R² = 0,7238
O3	y = 18,102x - 5,8464	R² = 0,6899
O4	y = 12,185x - 4,0271	R² = 0,6547
O5	y = 10,036x - 3,3803	R² = 0,6397
OB	y = 62,451x - 18,871	R² = 0,9853
TL	y = 25,51x - 7,4502	R² = 0,8321
TD	y = 14,881x - 4,4953	R² = 0,1884
TN	y = 20,62x - 6,2554	R² = 0,3521

yw	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 33,463x - 10,89	R² = 0,8031
O2	y = 24,391x - 7,9331	R² = 0,8211
O3	y = 20,32x - 6,7649	R² = 0,8293
O4	y = 14,135x - 4,8137	R² = 0,8071
O5	y = 10,984x - 3,8249	R² = 0,8213
OB	y = 63,025x - 19,694	R² = 0,9685
TL	y = 25,811x - 7,7635	R² = 0,83
TD	y = 18,975x - 5,9635	R² = 0,4172
TN	y = 21,213x - 6,5947	R² = 0,4818

DL*	Equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0265x + 0,0262	R² = 0,9913
O2	y = 0,0241x + 0,0308	R² = 0,9891
O3	y = 0,0228x + 0,012	R² = 0,9907
O4	y = 0,0196x + 0,0127	R² = 0,9949
O5	y = 0,0189x + 0,0059	R² = 0,9963
OB	y = 0,0292x + 0,0724	R² = 0,9541
TL	y = 0,0191x + 0,0651	R² = 0,9963
TD	y = 0,0159x + 0,1705	R² = 0,98
TN	y = 0,0173x + 0,1065	R² = 0,9927

CR L*	equation	coefficient de corrélation
O1	y = -2,1431x + 2,1612	R² = 0,9967
O2	y = -1,8722x + 1,8947	R² = 0,9966
O3	y = -1,766x + 1,7686	R² = 0,9988
O4	y = -1,4349x + 1,4387	R² = 0,9986
O5	y = -1,3282x + 1,3245	R² = 0,9831
OB	y = -2,4515x + 2,5188	R² = 0,9635
TL	y = -1,5789x + 1,581	R² = 0,997
TD	y = -1,3087x + 1,4122	R² = 0,9977
TN	y = -1,4214x + 1,4582	R² = 0,9954

DT	Equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0242x + 0,0027	R^2 = 0,9997
O2	y = 0,0217x + 0,0096	R^2 = 0,9994
O3	y = 0,0197x - 0,0082	R^2 = 0,9997
O4	y = 0,0166x - 0,0086	R^2 = 0,9973
O5	y = 0,0155x - 0,0133	R^2 = 0,9742
OB	y = 0,0284x + 0,0543	R^2 = 0,9731
TL	y = 0,0191x + 0,0428	R^2 = 0,998
TD	y = 0,0162x + 0,1279	R^2 = 0,9895
TN	y = 0,0176x + 0,0661	R^2 = 0,9974

DY	equation	coefficient de corrélation
O1	y = 0,0174x + 0,03	R^2 = 0,9892
O2	y = 0,0171x + 0,0196	R^2 = 0,9528
O3	y = 0,0167x + 0,0075	R^2 = 0,9562
O4	y = 0,0161x + 0,0057	R^2 = 0,9575
O5	y = 0,0155x + 0,0031	R^2 = 0,9471
OB	y = 0,017x + 0,0596	R^2 = 0,9404
TL	y = 0,0151x + 0,0901	R^2 = 0,9502
TD	y = 0,0132x + 0,1938	R^2 = 0,9319
TN	y = 0,0147x + 0,1291	R^2 = 0,9491

CR Y	Equation	coefficient de corrélation
O1	y = -0,9961x + 1,007	R^2 = 0,9995
O2	y = -0,9124x + 0,923	R^2 = 0,9989
O3	y = -0,8254x + 0,826	R^2 = 0,999
O4	y = -0,7204x + 0,7177	R^2 = 0,9954
O5	y = -0,6884x + 0,6751	R^2 = 0,976
OB	y = -1,1314x + 1,1915	R^2 = 0,9783
TL	y = -0,9071x + 0,8753	R^2 = 0,9871
TD	y = -0,8012x + 0,8602	R^2 = 0,9973
TN	y = -0,8743x + 0,8629	R^2 = 0,9808

De cette étude, nous pouvons conclure qu'il existe une corrélation entre l'absorption lumineuse et les paramètres colorimétriques mais que cette corrélation n' est pas la même pour tous les paramètres colorimétriques.

5. Conclusion.

Les pertes de substances coronaires peuvent être restaurées de façon directe ou indirecte à l'aide de résines composites ou de céramiques par des inlays/onlays. Ces matériaux sont assemblés par des procédures de scellement et/ou de collage. Les industriels nous offrent de nombreux matériaux de scellement qui sont soit photo polymérisables, soit duals. Afin de connaître le type de matériau à utiliser, il est indispensable de connaître la quantité de lumière absorbée par le matériau de restauration.

Cette étude a été réalisée à partir d'échantillons de résines composites d'épaisseur et de couleur différente, d'une lampe à photo polymériser, de deux récepteurs (capteur et spectrophotomètre). Nous avons ainsi quantifié le pourcentage d'absorption de la résine composite Amaris en fonction de la couleur et de l'épaisseur.

Les résultats de ce travail sont multiples. En effet, nous montrons, pour ce composite amaris, que son épaisseur influence la transmission de la lumière émise par la lampe. D'une façon plus précise, l'absorption de la lumière augmente avec l'épaisseur du composite.

Les couleurs dentine absorbent plus de lumière que les couleurs émail. Les couleurs dentine absorbent entre 50 et 70% de la lumière émise lorsque la lampe est au contact avec le composite et lorsque ce dernier posséde une épaisseur de 0,5mm. Pour les couleurs émail l'absorption est moindre puisqu 'elle répresente entre 30 et 40 % de la lumière émise, pour la même épaisseur.

L'absorption augmente avec l'épaisseur pour être quasi-totale à 3mm pour les couleurs dentine. Elle représente 80 à 90% pour les couleurs émail.

De plus nous montrons aussi qu' il existe une corrélation entre l' absorption de la lumière et lesparamètres colorimétriques mais qu' elle n' est pas la même pour tous les paramètres colorimétriques étudiés. Les paramètres colorimétriques qui ont des coefficients de corrélation les plus significatifs sont l*w , Yl w, DL*, CR L*, Xw,Yw,Zw, DT, DY , CR Y.

Ce travail a de nombreuses consequences cliniques puisqu'il montre qu'en fonction de la couleur et de l'épaisseur, notre attitude vis-à-vis des restaurations doit évoluer. Lorsque nous

avons une couleur dentine à 3mm , il faut utiliser des matériaux de scellement dual puisque la lumière ne passe pratiquement plus. Idéalement, il faudrait une polymérisation par la lumière pour initier la polymérisation du composite le plus superficiel complétée par un phénomène chimique d'auto polymérisation pour le composite le plus profond. En fonction de la couleur et de l'épaisseur l'initiation de la polymérisation peut être obtenue par une source lumineuse dans le cas des colles photo polymérisables, ce qui permet un temps de manipulation important. La polymérisation peut être aussi chimique, par un mélange de type « base-catalyseur », ce qui permet d'obtenir une polymérisation complète sous des obturations opaques. On trouve également des colles dont la polymérisation est mixte « photo-chémo ».

Sachant que toutes nos études ont été réalisées au contact direct, qu'elles auraient été les résultats si nous avions été à distance du composite ?

De plus, concernant la transmission de lumière, l'épaisseur d'une résine composite et sa couleur ont beaucoup plus d'impact que le choix de la résine composite. (20)
Le choix de la source lumineuse et les conditions d'illumination sont des variables critiques que le praticien doit considérer lorsqu'il polymérise une résine composite.
Pour polymériser efficacement une résine composite, il faudrait idéalement connaître la nature chimique des photo-initiateurs présents dans la résine et leur spectre d'absorption de la lumière, mais aussi utiliser une source dont le spectre d'émission correspond aux spectres d'absorption des photo-initiateurs.

Bibliographie :

1. BARGHI N, BERRY T, HATTON C.
Evaluating intensity output of curing lights.
JADA, 1994; 125: 992-6.

2. BOLLA M, St-Georges AJ, FORTIN D
Photopolymérisation des composites dentaires : quoi de neuf ?
J. dent. Qué, 2002, vol XXXIX.

3. Clinical Research Associates.
Les lampes à polymériser .
CRA Newsletter, 2000 : 4 (6) : 1-6

4. CRAFORD MG, HOLONIAK N, KISH FA.
In pursuit of the ultimate lamp.
Sci Am. 2001; 284: 62-7

5. DAVIDSON CL, DE GEE AJ.
Light-curing units, polymerisation, and clinical implications.
J. Adhes- Dent, 2000; 2 (3): 167-73

6. DUKE E.
Light-emitting diodes in composite resin photopolymerisation.
Oral health, 2002; 92 (1): 27-9

7. JANDT KD, MILLS RW, BLACWELL GB, ASHWORTH SH.
Depth of cure and compressive strenght of dental composites cured with blue lignt emitting diodes.
Dent. Mater, 2000; 16 : 41-7

8. KAWAGUCHI M, FUKUSHIMA T, MIYAZAKI K.
The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites.
J.Dent.Res.1994; 73: 516-21

9. KNESEVIC A, TARLE Z, MENIGA A, SUTALO J, PICHLER G.
Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes.
J Oral Rehabil, 2001; 28: 586-91

10. KURACHI C, TUBOY AM, MAGALHAES DV, BAGNATO VS.
Hardness evaluation of a dental composite polymerised with experimental LED-based devices.
Dent Mater., 2001 Jul; 17 (4) : 309-15.

11. LE DENMAT D., NGUYEN T., BONIFAY P.
La couleur en odontologie : caractéristiques objectives.
Cah. Prothèse, 1987,57 :49-72

12. LEE YK.
Influence of scattering/absorption characteristics on the color of resin composites
Dent. Mater.,. 2007; 23(1):124-31.

13. LEHMANN N
Le journal de la société odontologique de paris
Paris :Sol, 2007 (n°7)

14. LEMIRE P.A.BURK B.
La couleur en dentisterie
Paris : julien Prélat, 1975 ; 90 p

15. MAHIAT Y
La matière apprivoisée
Paris : Ed.CRG, 1998, 249p.

16. MILLS RW.
Blue light emitting diodes; an alternative method of light curing.
Br. Dent J.,1995, letter 178: 169

17. MILLS RW, JANDT KD, ASHWORTH SH.
Dental composite depth of cure with halogen and blue emitting diode technology.
Br. Dent J., 1999, 186 (8): 388-91

18. MOUNT et HUME
Préservation et restauration de la structure dentaire
ATD.Art et technique dentaires, 1992 p187- 189

19. MORTIER E
Cours de 2009.Les résines composites.3ème année. Faculté de chirurgie dentaire de Nancy

20. MYERS ML, CAUGHMAN WF, RUEGGEBERG FA.
Effect of restoration composition, shade, and thickness on the cure of a photoactivated resin cement.
J .Prosthodont. 1994 Sep; 3(3):149-57.

21. PELISSIER B., CHAZEL JC, CASTANY E, DURET F
Lampes à photopolymériser.
In Encycl.Méd.chir.,stomatologie.2003. Disponible sur : http://wwwem-consulte.com/article/15719

22 ROTH F
Les composites
Paris: Mason,1991,211p

23. RUEGGEBERG FA.
Contemporary issues in photocuring.
Compend. Contin. Educ. Dent., 1999; 20: S4-15

24. STAHL F, ASHWORTH SH, JANDT KD, Mills RW.
Light-emitting (LED) diode polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential.
Biomaterials, 2000; 21: 1379-85

25. TARLE Z, KNEZEVIC A, MENIGA A, SUTALO J, PICHLER G.
Temperature rise in composites samples cured by superbright light emitting diodes.
J. Dent. Res., 1998 ; 77 (686) : abstr n°433

26 .Vreven J., Raskin A., Sabbagh J., Vermeersch G., Leloup G. Résines composites. EMC (Elsevier SAS, Paris),
Odontologie, 23-065-E-10, 2005.
Disponibles sur www.emc-consulte.com

27. VOLBART Philippe
Etude des facteurs modifiant le comportement de la lumière à trvers les céramiques dentaires.231P
Thèse dentaire. Nancy ; 1996,n°34

28. WEISS P. A.
Vers une réconciliation de l'esthétique des restaurations céramo-métalliques avec la santé des tissus mous
Rev. Int. Parod. Dent. Restaur., 1981, 34, 356,

BOIVIN SAMUEL : Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®

Th : Chir.-Dent. : Nancy : 2010. 103 F

Mots clés : - résines composites
- absorption de la lumière
- lampe à photo polymériser
- restaurations semi-directe et indirecte
- ciments et colles

BOIVIN SAMUEL : Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®

Th : Chir.-Dent. : Nancy : 2010

Les objectifs de cette contribution sont d'exposer chronologiquement la structure et la composition des résines composites puis le comportement de la lumière face à ces résines composites en développant plus précisément leur mode de polymérisation par les lampes à photo polymériser.

L'étude expérimentale, in vitro, consiste à évaluer les coefficients d'absorption de la lumière d'une lampe à photo-polymériser par les différentes couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride ,Amaris® ,susceptible d'être utilisée dans les restaurations des pertes de substance coronaire en techniques semi-directe et indirecte.

La connaissance des exigences spécifiques de chaque contexte clinique va permettre à l'omnipraticien de ne pas être perplexe mais acteur et responsable pour décider des matériaux avec lesquels il opère.

JURY :	Pr. J. P. LOUIS	Professeur des universités	Président
	Dr. J. Schouver	Maître de conférence	Juge
	Dr. J. P. Salomon	Maître de conférence	Juge
	Pr. C. Rapin	Professeur des universités	Juge

Adresse de l'auteur : BOIVIN Samuel

43 rue SAURUPT

54000 NANCY

Nancy-Université
Université Henri Poincaré

Faculté d'Odontologie

Jury : Président : J.P LOUIS – Professeur des Universités
Juges : J. SCHOUVER – Maître de Conférence des Universités
J.P.SALOMON – Maître de Conférence des Universités
C.RAPIN – Professeur des Universités

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: **Monsieur BOIVIN Samuel, Gabriel, Jacky**

né(e) à: **DÔLE (Jura)** le **31 août 1984**

et ayant pour titre : **« Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentine et émail d'une résine composite micro-hybride : Amaris®»**

Le Président du jury,

JP. LOUIS

Le Doyen,
de la Faculté d'Odontologie

Le Doyen
Dr P. BRAVETTI

P. BRAVETTI

Autorise à soutenir et imprimer la thèse 3213

NANCY, le 19.02.2010

Le Président de l'Université Henri Poincaré, Nancy-1

LE PRÉSIDENT

J-P. FINANCE