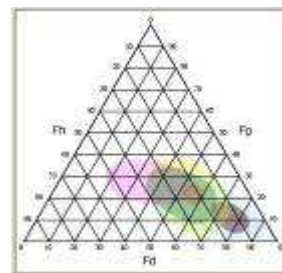


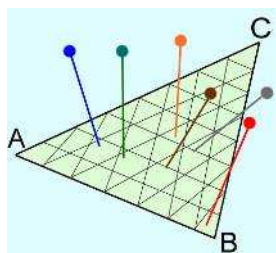
X Durant la première année d'étude de l'Ecole de Formation Supérieure de l'ISCR est proposé, depuis de nombreuses années et ce, bien avant la loi 626/94 prévoyant la formation-information relative aux normes de sécurité, un module sur les ["Risques chimiques en atelier et sur les chantiers de restauration"](#)¹ au sein des disciplines consacrées à la chimie. Chaque année se renouvelle l'intérêt des jeunes élèves pour la composante technique visant à réduire les risques dus à l'exposition aux substances chimiques employées pour la conservation des biens culturels.

 L'alliance de la connaissance et de la passion professionnelle accroient la vigilance et offrent des "outils" utiles pour réduire les risques² présents durant les phases opératoires de restauration et assurer le niveau de qualité des interventions.

 Parmi les mesures techniques aptes à réduire les risques chimiques et à augmenter le niveau de qualité des interventions de conservation-restauration, la connaissance théorique et pratique des propriétés des solvants³ est un « outil » enseigné depuis plus de vingt ans dans les cours de Chimie Appliquée. Une grande place est accordée au Triangle de Teas⁴, qui renseigne sur les solvants et les aires de solubilités des substances naturelles et synthétiques employées en restauration. Il permet, durant les phases de nettoyage des surfaces, d'enlèvement des produits d'altération ou d'application de substances protectrices entre autres, de remplacer les solvants toxiques et cancérigènes par des mélanges substitutifs de faible toxicité et d'en utiliser sélectivement le pouvoir solvant⁵.



Triangle des solubilités



En effet, il est possible d'associer à chaque solvant pur un point sur le Triangle des solvants, défini à partir des valeurs des trois paramètres de solubilité fd, fp et fh⁶, lequel point représente le pouvoir solvant. Le triangle ne considère que les solvants non réactifs, c'est-à-dire ceux qui interagissent uniquement par « mécanisme » de type physique, et ne

¹Transparents des cours dispensés sur « Les risques chimiques en atelier et sur les chantiers de restauration », disponibles sur le site : http://www.iscr.beniculturali.it/images/stories/file/TriSolv/doc/rischio_chimico.pdf (english)-M. Coladonato

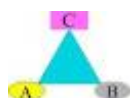
²Pour les matériaux employés en restauration, il convient de souligner, en plus du risque toxique, l'inflammabilité, la réactivité et d'autres aspects encore. Se reporter aux Actes du Colloque : Il restauro visto da vicino – Roma, La Sapienza 18-19 juin 2004.

³Masschelein Kleiner, L. - "Les Solvants", Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles -1991.

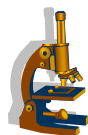
⁴Teas, J. P. – Graphic analysis of Resin Solubilities. Journal Paint Technology – vol. 40 n. 516 , pages 19-25 - 1968

⁵Talarico F., Coladonato M. – Impiego dei parametri di solubilità nel restauro – Materiali e strutture, a.VII, n. 1 – 1997

⁶Barton A. F. M., CRC Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters, 4th ed, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida 1998.

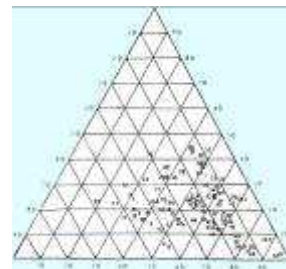


transforment pas leur propre nature chimique ni celles des matériaux mis à leur contact.



Le sujet à lui seul appelle une étude plus approfondie: les limites et les avantages d'un instrument, quel qu'il soit, lui sont intrinsèquement liés et dépendent aussi de la "perspicacité" acquise par l'alliance de l'expérience et de la connaissance théorique.

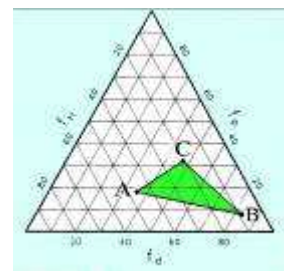
Cette notice présente le **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**® qui permet de formuler des mélanges avec les paramètres exacts de solubilité sans recourir à la méthode graphique, simple⁷ mais approximative, ni à celle mathématique, précise mais complexe⁸.



Triangle des solvants

Il est possible, sur le **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**®, en temps réel:

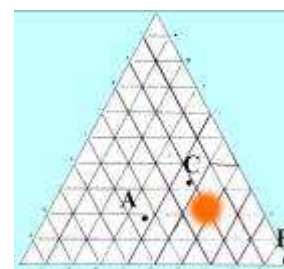
1- De centrer à l'aide du pointeur de la souris, à l'intérieur du triangle formé par trois solvants prédéfinis A, B et C, une triade de paramètres de solubilité f_d , f_p et f_h . On obtient ainsi la composition d'un mélange formé de A, B et C ayant les mêmes valeurs de paramètres centrées par le pointeur.



Mélanges ternaires

2- De formuler des mélanges⁹ ayant des paramètres de solubilité relatifs aux solvants purs « virtuels »: le comportement de ces mélanges est, du point de vue des paramètres de solubilité, équivalent à celui d'un hypothétique solvant pur, situé lui aussi sur le même point sur le Triangle de Teas.

3- D'isoler en sélectionnant un point sur une aire de solubilité de substances naturelles ou synthétiques¹⁰ et obtenir les

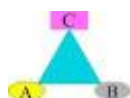


⁷ Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pages. 31-33.

⁸ Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pages. 33-34.

⁹ Les rapports pour la formulation des mélanges sont exprimés en volume ; les résultats expérimentaux montrent que la différence entre Volume et Volume Molaire, lequel est plus correct du point de vue théorique, n'est pas significative sur le plan opératoire.

¹⁰ Les aires de solubilité des résines naturelles et synthétiques inscrites sur la liste sont extraites du texte de Horie, C. V., Materials for conservation. Organic Consolidants, Adhesives and Coatings – Butterworth-Heinemann, Oxford - 1987. Le contour en pointillé des aires indique que les mélanges situés à leur voisinage pourraient agir avec une efficacité légère.

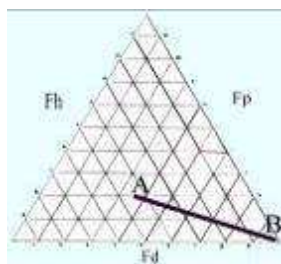


mélanges de solvants prédéfinis A, B et C, aptes à dissoudre ceux-là, même si A, B et C, pris individuellement, ne solubilisent pas ces mêmes produits. Dans l'exemple sur la figure, les trois solvants A, B et C, pris isolément ne « coïncident » pas avec l'aire de solubilité colorée en orange, mais, associés, permettent d'obtenir des mélanges qui se situent, eux, à l'intérieur de l'aire .

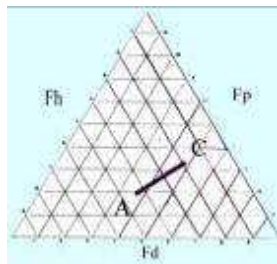
4-De sélectionner un solvant pur¹¹, un mélange¹² de solvants purs ou encore une formule commerciale¹³ dans le menu *Liste des solvants et des mélanges* et obtenir le mélange de substitution souhaité, du moment qu'il coïncide avec l'aire délimitée par les solvants A, B et C.

5-De sélectionner une substance dans le menu *Aires de solubilité* (en rapport avec les résines naturelles et synthétiques) pour le superposer aux aires d'autres substances naturelles et de là, formuler des mélanges capables de dissoudre sélectivement les substances qui nous intéressent¹⁴.

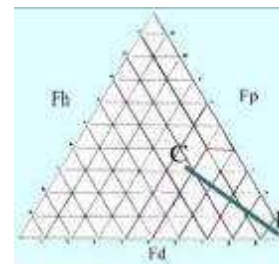
6-D'inscrire les pourcentages des trois solvants A, B et C prédéfinis, pour obtenir les paramètres de solubilité Fd, Fp et Fh du mélange binaire (indiquant valeur zéro pour le pourcentage d'un des solvants) ou ternaire recherché ainsi que sa position sur le Triangle.



Mélange Binaire AB



Mélange Binaire AB



Mélange Binaire AB

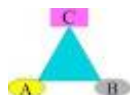
¹¹ Par solvant pur, on entend un produit ayant une concentration égale à ou proche de 100% (réactifs à taux analytique ou pour les analyses).

¹² Parmi la liste des solvants, on peut consulter des mélanges "historiques" remplaçables par des mélanges composés de solvants moins toxiques. Voir Talarico F., Coladonato M. – op. cit. , pages. 35-37.

¹³ Des produits commercialisés comme le *diluent* ou le *nitro* sont peu indiqués pour la restauration parce qu'ils présentent, outre le risque toxique, des formules variées sous la même appellation ; ceci implique une difficulté supplémentaire pour connaître avec exactitude les compositions des produits commercialisés et, par conséquent, une incertitude sur leur pouvoir solvant.

¹⁴ Des expériences ont été menées en ce sens lors de chantiers et dans les ateliers de l'ICR avec des résultats positifs. Citons par exemple:

- l'enlèvement d'acrylique sur une couche picturale à l'huile - Cappella della Madonna – S. Giovanni Fiorentini – Roma 1995
- nettoyage de cire d'abeille appliquée sur la couche picturale de la Casa dei Vetti, Pompeï, 1996
- refixage d'une couche picturale à l'acrylique sur des peintures exécutées à la détrempe -Istituto Studi Romani-Roma 1998
- mélange pour l'application d'un polymère acrylique protectif sur la statue de Satyre de Mazara del Vallo – 2002



7-De préparer des mélanges *ad hoc* pour les expérimenter sur les produits à enlever ou à appliquer, parallèlement ou en alternative aux essais de solubilité proposés par Feller¹⁵, Wolbers¹⁶ ou plus récemment Cremonesi¹⁷. L'annexe 2 propose quelques exemples faciles à reproduire du point de vue pratique.

Ce qui a été expliqué permet de définir les multiples applications pour formuler, en temps réel, des mélanges au moyen du **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS ®.**

Les solvants actuellement proposés sont au nombre de sept et appartiennent aux classes des:

A – Alcools

B – Hydrocarbures aliphatiques

C – Cétones

Les trois sortes d'interactions fh, fd et fp, qui participent à la formation des forces intermoléculaires sont ainsi désignées:

1 – forces de liaison hydrogène (fh)

2 – forces dipôle instantané - dipôle instantané (Van der Waals) (fd)

3 – forces dipôle – dipôle (fp)

Voici les solvants prédéfinis disponibles:

-Alcools: alcool éthylique¹⁸, alcool isopropylique

-Hydrocarbures: iso- octane, n- octane¹⁹, n- nonane

-Cétones: diméthylcétone, méthyléthylcétone

Les raisons qui ont guidé le choix des ces solvants, qui constituent la base des mélanges désignés depuis 1995 sous l'appellation TaCo dans les ateliers de restauration de l'ICR²⁰ et aujourd'hui complétés sont:

¹⁵ Feller, Robert L., The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent Type Coatings, in "Preprints of the IIC Congress, Lisbon", pages. 158-161, London, 1972.

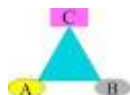
¹⁶ Wolbers, Richard - "Methods of cleaning Painted Surfaces", Archetype Publications, London 2000.

¹⁷ Cremonesi, P. – Signorini, E. – "L'uso dei solventi organici neutri nella pulitura dei dipinti: un nuovo test di solubilità. Progetto restauro n. 31/2004.

¹⁸ l'alcool éthylique forme avec l'eau un azeotrope (95 :5) ; l'emploi de l'alcool à 95% en mélange avec d'autres solvants donne des résultats comparables à ceux de l'alcool à 99% - 100% (les paramètres de solubilité varient peu : respectivement, fd : 35 – 36, fp 19 –18, fh 46 – 46). L'eau mélangée à des solvants non réactifs contribue aux interactions de type physique ; les interactions chimiques interviennent en présence d'acides ou de bases mais ne sont pas reproductibles sur le Triangle de Teas.

¹⁹ le n-octane se situe, du point de vue des caractéristiques chimico-physiques, entre l'iso-octane et le n-nonane (tableau en annexe 1). Son emploi peut être utile pour former des mélanges de volatilité moyenne.

²⁰ c'est ainsi que, depuis 1995, les élèves de l'Ecole de l'ICR ont baptisé quelques-uns des mélanges substitutifs au diluant *nitro*, ayant fp=60, 65, 70 et respectivement trois diverses volatilités, proposés dans: Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pages. 37-39.



1-Leur faible toxicité: les valeurs de CMA, de l'ordre de 200 à 1000mg/mc (ppm ; annexe 1) sont parmi les plus élevées si l'on considère les solvants organiques employés en restauration et correspondent à la tranche de faible risque toxique. La faible toxicité ne profite pas seulement au technicien, les bénéfices se répercutent aussi sur l'environnement. A ce propos, le stockage, la récolte et le traitement des déchets toxiques et nocifs sont l'objet de procédures bien définies²¹.



56° cours. Elèves après les leçons sur le risque toxique.

2-Leur degré élevé de pureté²², qui se traduit univoquement par:

- les paramètres de solubilité
- la valeur toxique
- la position sur le Triangle des solvants
- la vitesse d'évaporation

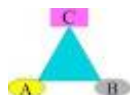
3-Au sein de l'aire de solubilité délimitée par les trois classes de solvants sur le triangle, on peut établir la formule de mélanges substitutifs aux solvants purs ou à leur mélange avec des paramètres de solubilités situés sur l'aire délimitée. La superposition d'un point correspondant à des paramètres précis de solubilités avec les aires de solubilité des substances naturelles ou synthétiques caractérise la capacité des mélanges formés à solubiliser les produits à enlever ou à appliquer.

4-La différence de vitesse d'évaporation des solvants homologués au sein des trois classes prédéfinies permet de formuler, selon les exigences, des mélanges ayant des paramètres de solubilité équivalents mais des temps de mise en contact sur les surfaces plus ou moins prolongés²³.

²¹ Transparents des cours dispensés sur « Les risques chimiques en atelier et sur les chantiers de restauration », *op. cit.*

²² le coût élevé des solvants purs à taux de concentration analytique se justifie par le souci majeur d'assurer la sécurité des techniciens (précision des paramètres de toxicité, d'inflammabilité, de réactivité, absence d'impuretés) et de l'œuvre (précision des paramètres de solubilité, de rétention, de tension des vapeurs).

²³ l'emploi de gel, comme support et en suspension contribue au contrôle opératoire, du point de vue toxique, environnemental et de la prestation, diffusion, rétention et volatilité des solvants et des mélanges ; une vaste bibliographie existe, nous citerons ici : P. Cremonesi, F. Talarico, R. Wolbers.



AVERTISSEMENT



CETTE PRÉSENTATION DU **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**® EST AVANT TOUT UN STIMULUS À POURSUIVRE SUR LA VOIE DE LA CONSCIENCE À SUIVRE TOUT EN CONTINUANT «D'APPRENDRE À APPRENDRE»²⁴ PUISQUE, NOUS L'AVONS DÉJÀ ÉNONCÉ, LA CONNAISSANCE ET LA PASSION SONT LES “OUTILS” QUI PROTÈGENT LE TECHNICIEN ET LES BIENS SOUMIS AUX INTERVENTIONS DE CONSERVATION-RESTAURATION.

LE **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**® EST UN “OUTIL ÉVOLUÉ”: À LA BASE DE SON FONCTIONNEMENT, AU-DELÀ D'UNE EXPÉRIENCE DE VINGT ANS D'APPLICATION ET DE DIDACTIQUE DÉDIÉE À SON UTILISATION, S'AJOUTENT UNE MULTIPLICITÉ D'INFORMATIONS ET DE “CHOIX” PHILOSOPHIQUES AINSI QUE MÉTHODOLOGIQUES NON ÉVIDENTS DE PRIME ABORD.

POUR CETTE RAISON, IL EST PRÉFÉRABLE D'ÉVITER L'EMPLOI DE CET “OUTIL”, SANS AVOIR PRÉALABLEMENT PRIS CONNAISSANCE DU SUPPORT FORMATIF, LORS D'INTERVENTIONS QUI POURRAIENT, EN CONSÉQUENCE, MENER À DES RÉSULTATS NON EXEMPTS DE RISQUES.

L'EMPLOI DE MÉLANGES SUBSTITUTIFS OBTENUS AU MOYEN DU **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**® SANS LA PRÉPARATION ADÉQUATE NI LA CONNAISSANCE THÉORIQUE ET PRATIQUE PEUT ENTRAÎNER DES EFFETS IMPRÉVUS ET INDÉSIRABLES.

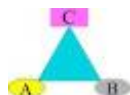
EN CONSÉQUENCE, LES AUTEURS DÉGAGENT LEUR RESPONSABILITÉ DE TOUT USAGE INAPPROPRIÉ FAIT PAR L'UTILISATEUR DU TRIANGLE.

IL EST INTERDIT DE REPRODUIRE OU DE PUBLIER, MÊME EN PARTIE, LES TEXTES ET LES IMAGES DU **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**® SANS L'AUTORISATION DES AUTEURS.

CONTACTS: maurizio.coladonato@beniculturali.it

paolo.scarpitti@beniculturali.it

²⁴ Kopp S.B., “If you meet the Buddha on the road, kill him.”, Scienze and Behavior Books Inc., Palo Alto, California, 1972



ANNEXE 1

Solvants prédéfinis au sein du **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**®

INFLAMMABILITÉ, TOXICITÉ, TAUX D'ÉVAPORATION ET POINT DE SÉCURITÉ RELATIF

SOLVANTS	Te	P.E.	P.I.	CMA (ppm)	T.E.R.	P.S.R.
-----------------	-----------	-------------	-------------	----------------------	---------------	---------------

ALCOOLS						
ETHANOL	78	16	14	1000	8,3	8300
ISOPROPANOL	82	20		400	21	8400

HYDROCARBURES						
ISO-OCTANE	99	-12		300		
N-OCTANE	126	22	15	300		
N-NONANE	151		31	200		

CÉTONES						
ACETONE	56	-9	-17	500	2,1	1050
METHYLETHYLCETONE	80	-5,6	-7	200	3,1	620

CMA = concentration maximale admissible (ppm; 8^h/jour – 5 jours/semaine)

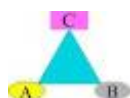
T.E.R. = taux d'évaporation relatif (par rapport au diéthyléther)

P.S.R. = point de sécurité relatif (CMA × T.E.R.)

Te = température d'ébullition (°C)

P.E. = point éclair: température (°C) en vase clos (*flash point*)

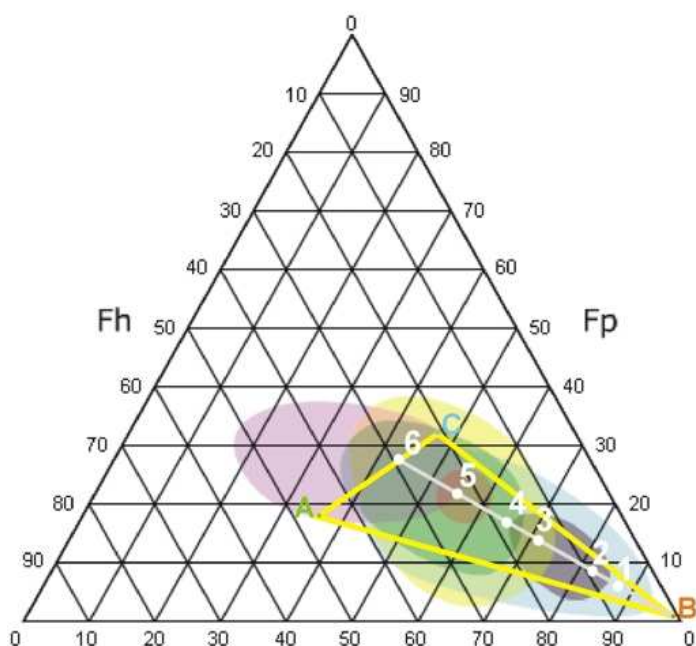
P.I. = point d'inflammation: température (°C) en vase ouvert (*fire point*)



ANNEXE 2

Mélanges pour les essais de solubilité avec le **TRIANGLE INTERACTIF DES SOLVANTS ET DES SOLUBILITÉS**®

FIGURE 1- Mélange pour les essais de solubilité



Etant donné un mélange 6 composé des solvants **A** et **C**, il est possible de le diluer avec un solvant **B** pour obtenir une série de mélanges alignés le long du segment **B-6**. Ceux-ci désignent des mélanges utiles pour les essais de solubilité sur les substances représentées par les aires sur lesquelles les mélanges sont situés successivement.

Sur la figure 1, les mélanges 1, 2, 3, 4 et 5 sont obtenus en diluant le solvant **B** – isooctane – avec des aliquotes diverses du mélange 6 (30% d'alcool éthylique **A** et 70% d'acétone **C**) dont les valeurs, exprimées en pourcentage, sont reportées dans les colonnes 6, 8 et 10 du tableau 2. Dans la colonne 9 sont mises en évidence les aires de solubilité sur lesquelles sont situés les mélanges.

On remarque que le rapport entre **A** et **C** demeure constant dans tous les mélanges compris entre 1 et 5 inclus²⁵

n	Fd	Fp	Fh	solvant A	%A	solvant B	%B	solvant C	%C	notes
1	87	6	7	ETHANOL	6	ISOOCTANE	80	ACETONE	14	hw-H
2	82	9	9	ETHANOL	9	ISOOCTANE	70	ACETONE	21	hw-H, C
3	71	14	15	ETHANOL	15	ISOOCTANE	50	ACETONE	35	hw-H, C, RS
4	65	17	18	ETHANOL	18	ISOOCTANE	40	ACETONE	42	hw-H, RS, RN
5	55	22	23	ETHANOL	24	ISOOCTANE	20	ACETONE	56	hw-H, HV, RS, RN
6	44	28	28	ETHANOL	30	ISOOCTANE	0	ACETONE	70	hw-H, RS, RN, PP

TAB 2 - paramètres de solubilité et pourcentage en volume des constituants des mélanges 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Légende: PP=protéines et polysaccharides, RN=résines naturelles, RS=résines synthétiques, H=huiles, HV=huiles vieilles, C=cires

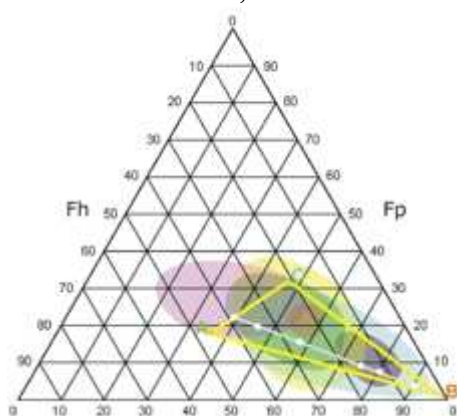


fig.2

Il est possible, en suivant le même procédé, et selon les exigences, de formuler une série de mélanges en partant de pourcentages divers entre les solvants **A** et **C** (fig.2) ou encore d'un mélange initial composé de **A** et **B** pour l'associer avec **C** (fig.3). Selon la même logique, il est tout aussi valide d'adjoindre à **A** un mélange composé de **B** et **C**.

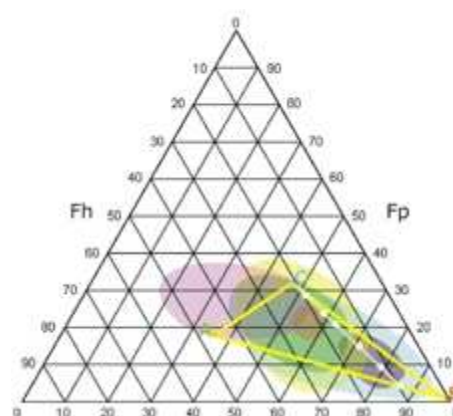
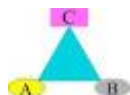


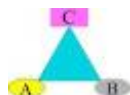
fig.3

²⁵ si l'on considère les propriétés géométriques du diagramme ternaire



Notes et références bibliographiques

- Ashland Chemical Co. Bulletin 1585, Predicting Resin Solubility. Columbus, OH: Ashland, 1984
- Atti del convegno: Il restauro visto da vicino – Roma, La Sapienza 18-19 giugno 2004
- Crisostomi, P. – Giovagnoli, A. – Tocci, A.M. – Vigliano, M.G. (CD a cura di) “*Alcuni prodotti e materiali impiegati nel restauro delle opere mobili*”
- Cremonesi, P. “*L’uso dei Solventi Organici nella pulitura di opere policrome*”, Il Prato, 2000
- Cremonesi, P. – Signorini, E. “*L’uso dei solventi organici neutri nella pulitura dei dipinti: un nuovo test di solubilità*”. Progetto restauro n. 31/2004
- Barton A. F. M. “*CRC Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters*”, 4th ed, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida 1998.
- Crowley, James D., O. S. Teague, Jr., and Jack W. Lowe, Jr., “*A Three Dimensional Approach to Solubility*” Journal of Paint Technology, Vol. 38, No. 496, 1966
- Feller, Robert L. “*The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent Type Coatings*” in Preprints of the IIC Congress, Lisbon, London, 1972
- Feller, R. L., “*Solubility Parameter*”. Bulletin of the American Group-IIC 8 (2), 1968
- Feller, R. L., Stolow, N., and Jones, E. H. “*On picture varnishes and their solvents*, revised and enlarged edition” National Gallery of Art, Washington DC, 1985
- Feller, R.L. and M. Curan. “*Changes in Solubility and Removability of Varnish Resins with Age*” Bulletin of the American Institute for Conservation, vol. 15, no. 2, 1975
- “*Handbook of Chemistry and Physics*”, 76a ed., D. R. Lide, ed. Boca Raton: CRC Press, 1995-96
- Hansen, C. M.. “*The Three Dimensional Solubility Parameter - Key to Paint Component Affinities: I. Solvents Plasticizers, Polymers, and Resins*” II. Dyes, emulsifiers, mutual solubility and compatibility, 1967
- Hedley, G.. “*Solubility parameters and varnish removal: a survey*”. The Conservator, 1980
- Horie, C. V. “*Materials for conservation. Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*” Butterworth-Heinemann, Oxford - 1987
- Kopp, S. B. “*Se incontri il Buddha per strada uccidilo*”, Casa Editrice Astrolabio, Roma, 1975
- Masschelein Kleiner “*Les Solvants*”, Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1994
- Merck Index Twelfth edition, 1996



- Mora, L. S., P. Mora, and P. Philippot. “*Le nettoyage des peintures murales*”. Bulletin IRPA/ KIK, 1975
- Talarico F., Coladonato M. “*Impiego dei parametri di solubilità nel restauro*”, Materiali e strutture, a.VII, n. 1, 1997
- Teas, Jean. “*Graphic Analysis of Resin Solubilities*” The Journal of Paint Technology, vol. 40, no. 516, January 1968
- Torraca, “*Solubilità e Solventi: note per i restauratori*”, Centro studi per la conservazione della carta, 1975
- Wolbers, “*Methods of cleaning Painted Surfaces*”, Archetype Publications, London 2000

Link

- http://www.iscr.beniculturali.it/images/stories/file/TriSolv/doc/rischio_chimico.pdf (english),
Transparents des cours dispensés sur « Les risques chimiques en atelier et sur les chantiers de restauration » – Corso Alta Formazione per Restauratori, Istituto Centrale Restauro - M. Coladonato, 2008
- <http://palimpsest.stanford.edu/byauth/stavroudis/mcp>
- http://palimpsest.stanford.edu/packages/solvent_solver.html
- http://www.phaseitalia.com/PHASE_catalogo_giugno_2007.pdf
- <http://www.tsienn.it/g/feller/triangolo-solubilita1.2.php>