



Arkheia
www.arkheia.fr



Rapport de stage : Master 1 Chimie

Etude de faisabilité de rénovation des prises et voies d'escalade



Structures d'accueil :
la mairie d'Orpierre
et
Arkheia

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
Présentation du village d’Orpierre	4
Présentation d’Arkheïa	5
I. Présentation du contexte et de la problématique	6
1) Environnement de l’étude.....	6
2) Présentation et identification des échantillons.....	6
3) Contraintes.....	7
4) Pistes envisagées.....	7
II. Attaque par de l’acide	8
1) Généralités.....	8
2) Test préalable :.....	8
3) Essais avec compresse et à différentes concentrations.....	9
4) Essais avec différents gels.....	9
5) Essais avec plusieurs applications, et applications de plusieurs heures.....	10
6) Essais avec passages rapides.....	10
7) Essais complémentaires.....	11
8) Conclusion.....	11
III. Ajout d’enduit	12
1) Généralités.....	12
2) Essais couleurs.....	12
4) Conclusion.....	15
IV. Attaque par sablage	16
1) Généralités.....	16
2) Pré-test.....	16
3) Essai en sablage seul.....	16
a) Démarche.....	16
b) Résultats et synthèse.....	17
4) Essai avec grille.....	17
a) Démarche.....	17
b) Résultats et synthèse.....	17
5) Conclusion.....	17
V. Autres pistes	18
1) Vernis et produits antidérapants.....	18
2) Vernis avec sable.....	18
VI. Synthèse	19
CONCLUSION	20
BIBLIOGRAPHIE	21
ANNEXE	22

INTRODUCTION

Depuis le milieu des années 75, de nombreuses falaises ont été équipées pour l'escalade.

L'essor de la pratique de ce sport a conduit à une fréquentation, plus ou moins importante, de ces différents sites. Or, sur les plus fréquentés, le rocher se polit du fait des frottements répétés des mains et des chaussons des grimpeurs sur les prises. Il apparaît alors ce que l'on appelle de la patine, qui rend le rocher lisse et glissant.

Le village d'Orpierre (05) est un lieu reconnu de l'escalade dont l'aménagement s'est particulièrement développé dans les années 90. Beaucoup de grimpeurs (européens essentiellement) y viennent de la mi-mars à la mi-novembre. La forte fréquentation fait que la patine est aujourd'hui bien présente dans de nombreuses voies.

De manière générale, cette patine est la plus présente sur les voies les plus accessibles, par rapport à la marche d'approche et à la difficulté de la voie, ainsi que sur les « spots » les plus célèbres, la nature de la pierre influant également sur la facilité de sa formation.

Le problème vient du fait que la patine, en diminuant l'adhérence au rocher, diminue le plaisir de grimper et fausse les cotations. En effet, il n'est pas agréable de prendre appui sur une prise glissante. Cela gêne la fluidité du mouvement puisque le grimpeur n'a pas confiance en ses appuis, et les prises patinées se remarquant par leur brillance, cela diminue la sensation de découverte d'une voie. De plus, en rendant l'ascension plus ardue, la patine devient un problème pour des voies d'initiation et elle fausse la cotation initiale.

Il est difficile de mesurer si la forte présence de patine a provoqué une diminution de la fréquentation de certains lieux, mais il reste que l'effet est négatif et qu'à terme le risque est que les voies s'avèrent impraticables, notamment pour les grimpeurs occasionnels.

C'est pourquoi le village d'Orpierre, tourné vers l'escalade, a initié ce sujet de recherche dont l'objectif est de trouver une ou plusieurs méthodes pour enlever la patine et redonner de l'adhérence, dans le contexte du rocher calcaire de son site.

Pour trouver une solution la mairie d'Orpierre s'est rapprochée de l'entreprise Arkheïa (Arles) spécialisée dans les bétons ainsi que dans la recherche de nouveaux procédés, et où les expériences ont été menées.

Afin de présenter le travail effectué et dans la perspective de le rendre accessible à tous les acteurs qui pourraient être touchés par ce sujet, nous allons en premier lieu préciser toute la problématique rattachée à ce contexte particulier de voies d'escalade en milieu naturel.

Ensuite, nous détaillerons les trois pistes étudiées initialement, qui sont une attaque par de l'acide, un ajout d'enduit et une attaque par sablage. Le point suivant indiquera les autres pistes envisagées et en dernier lieu nous ferons une synthèse des essais effectués en les classant selon plusieurs critères, dont le potentiel de succès en application falaise.

Présentation du village d'Orpierre

Orpierre est un village d'environ 330 habitants situé dans les Hautes-Alpes, dont le cœur de l'activité économique est le tourisme, et particulièrement celui de l'escalade, dans une saison qui s'étend de la mi-mars à la mi-novembre et qui procure jusqu'à une trentaine d'emploi. Sa clientèle est principalement européenne (française, allemande, suisse, belge, néerlandaise...) mais aussi internationale.

Parmi les différentes structures qui y sont installées (magasins, restaurants, hébergements, entreprises), se trouve une maison d'enfants, « Les Lavandes », pôle expérimental spécialisé dans le diagnostic et la prise en charge des troubles spécifiques du langage et des apprentissages.

Depuis 1984, la commune a construit un site d'escalade de renommée européenne qui a été intégré dans un aménagement global comprenant accueil au village, parking, signalétique, chemin d'accès, équipement des voies, sécurisation des rochers... La communication et la promotion du lieu ont en partie été assurés par des revues et livres spécialisés telles que *Alpirando* (numéro 86), *Montagnes Magazine* (en 1994), *National Geography* (2011) ou *Grimper*, ainsi que par plusieurs colloques.

Ce site n'a cessé de se développer depuis 28 ans grâce à l'implication des différents acteurs locaux (clubs d'escalade, Fédération Française de Montagne et d'Escalade, professionnels de l'escalade), et à l'investissement de la commune, qui a reconduit des programmes successifs avec l'aide du Conseil Général des Hautes-Alpes, de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, de l'Etat et de l'Europe.

Il y a ainsi aujourd'hui plus de 360 voies (soit environ 500 longueurs) qui sont équipées.

Le village dispose d'une très bonne image pour sa beauté, son atmosphère, son accueil et en ce qui concerne les grimpeurs, pour la qualité des voies et de leur équipement (la présence de patine revenant parfois dans les conversions et sur Internet).

Présentation d'Arkheïa

L'entreprise Arkheïa est une filiale du LERM (Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux) qui a débuté son activité en avril 2004 à Arles, et qui compte aujourd'hui 6 salariés.

Elle est née de la volonté de mettre à la disposition des acteurs de la création architecturale, industrielle et artistique, des matériaux minéraux innovants qui soient développés sur mesure. Ainsi, elle s'est spécialisée dans la mise au point de ces matières et de procédés associés pour le moulage d'art, la restauration d'œuvre, la décoration, la création artistique et la réalisation ou la conception d'objets design.

Cette innovation a conduit Arkheïa à breveter une gamme de mortiers de moulage et de bétons à vocation artistique et à être soutenue par l'ANVAR (agence nationale de valorisation de la recherche).

Son savoir-faire se développe autour de trois axes : l'ingénierie, les produits prêts à l'emploi et le design.

L'ingénierie, au cœur de l'activité, consiste en une prestation de conseil et d'assistance et en une recherche de nouveaux matériaux et procédures sur mesure.

Les matériaux créés peuvent être vendus comme tels ou il peut y avoir élaboration de moules et d'objets. On est alors dans le cadre des produits prêts à l'emploi ou du design.

Depuis sa création, Arkheïa s'est associé à des designers (Eric Rolland et Urbanoïd by Cyril et Nathalie Daniel) et a participé à plusieurs réalisations dont :

- Le parement décoratif du Lobby d'un hôtel à Monaco pour SCI Métropole en 2004 (avec l'atelier Mérindol et SMBR)
- Une reproduction de statues pour le département de Loire Atlantique en 2007 (avec l'atelier Mérindol)
- La fourniture de béton avec un aspect de pierre de dallage pour le Théâtre Antique d'Arles en 2009

Arkheïa est également associée à des partenaires industriels tels que SUPRA (entreprise spécialisée dans le chauffage), LEGRAND (société de produits et systèmes pour installations électriques et réseaux d'information) et CESA (fabricant et distributeur de chaux naturelles et de mortiers).

I. Présentation du contexte et de la problématique

La solution recherchée prend place dans un milieu naturel qu'il faut en premier lieu caractériser tout comme les échantillons mis à notre disposition. Cet environnement impose également certaines contraintes particulières que l'on détaillera. Nous discuterons ensuite des solutions qui ont été envisagées dans un premier temps.

1) Environnement de l'étude

Les falaises équipées à Orpierre (dont les plus patinées) sont formées d'une roche calcaire tithonique dont la caractéristique est d'être marneuse et de type lithographique, soit, un calcaire avec des parties plus tendres (dues à la présence d'argile) et à pâte fine, formé par des cristaux de l'ordre du micromètre. A noter qu'il existe une différence entre le rocher de face sud et le rocher de face nord, moins adhérent naturellement.

Ainsi, on n'observe pas sur ces roches (face nord ou sud) un grain ou une rugosité marqué, constitution qui explique probablement la rapidité de ce calcaire à se patiner et la difficulté rencontrée pour le « dé-patiner ».

Il faut aussi noter que le sujet d'étude étant des prises d'escalade, celles-ci peuvent présenter des formes très diverses. La patine peut alors se retrouver sur des surfaces presque planes, sur de faibles reliefs qu'il faudra préserver puisqu'ils constituent la prise, sur des rebords plus ou moins importants comme pour les « gouttes d'eau » mais aussi dans des espaces plus ou moins cachés. Il faut donc envisager différentes solutions selon le type de prise rencontrée.

2) Présentation et identification des échantillons

On remarque que les prises ne présentent pas toutes la même patine, à la fois dans son aspect et dans la sensation tactile (elles sont plus moins glissantes). On a donc voulu caractériser les échantillons prélevés selon plusieurs critères que sont :

- le type de relief sur lequel se trouve la patine
- l'état de la patine (le niveau d'adhérence de la roche) qui est évaluée par comparaison tactile et placée dans une échelle arbitraire
- l'étendue de la patine (également évaluée de manière arbitraire)
- la couleur de l'échantillon (en classe de nuances RAL)

[Cette classification se trouve en annexe.]

Pour caractériser de façon objective la rugosité, nous avons fait des tests en traitant des photos macros mais sans résultats probants. Par suite, pour avoir une échelle de rugosité, on a fait des empreintes de quelques échantillons représentatifs qui se sont avérés significatifs visuellement mais non tactilement (on ne sent pas les aspérités).

3) Contraintes

On devra, dans l'établissement d'une solution, tenir compte de nombreux paramètres qui sont les suivants :

- Importance du facteur environnement dans le cadre de ce travail en milieu naturel
- Difficulté d'accès aux voies et aux prises patinées du fait des sentiers et de la hauteur de certaines prises
- Aspect économique
- Aspect esthétique
- Durabilité de la solution mise en place par rapport à la difficulté et au temps de mise en œuvre
- Solution probablement non unique et différente selon les types de prises (accès et formes)

4) Pistes envisagées

Le problème des voies patinées touchant de nombreux sites depuis plusieurs années, certaines actions sur falaise ont déjà été entreprises.

Par exemple, un produit est versé sur le grès de Fontainebleau afin d'en ralentir l'érosion et dans la dalle de Duingt en Haute-Savoie, de la résine a été rajoutée sur les voies.

Lors de problème de prise cassée ou de manque de prise, il est aussi arrivé que certains taillent des prises dans la roche ou colle à la résine Sika des pierres (efficaces mais voyant). Ces méthodes utilisant la taille et la résine sont peu esthétiques et sont désapprouvées par de nombreux grimpeurs.

Par ailleurs certains d'entre eux signalent avoir déjà attaqué la patine de certains sites calcaires à l'acide chlorhydrique.

En ce qui concerne notre recherche, l'idée initiale était que pour redonner de l'adhérence on pouvait soit attaquer la patine, soit rajouter de la matière (ce qui pourrait également permettre de créer des prises sur une partie lisse d'une voie facile afin de la rendre praticable à ce niveau).

Pour attaquer la patine, comme on est en présence d'une roche calcaire, la solution de l'acide et plus particulièrement de l'acide chlorhydrique a été envisagée (c'est par ailleurs une des méthodes utilisées dans le bâtiment). Il est également possible d'attaquer la pierre de façon mécanique, c'est la piste du sablage. L'ajout de matière se fait par application d'un enduit minéral que l'on colorera avec des pigments.

II. Attaque par de l'acide

1) Généralités

a) Objectif et principe:

Par passage ou application d'un acide (liquide, en gel, imbibé dans un support), on cherche à attaquer la patine de la pierre calcaire pour recréer une adhérence.

Le calcaire du site est principalement constitué de calcite CaCO_3 donc a priori la patine aussi.

Les acides forts tels que l'acide chlorhydrique (que l'on utilisera pour cette caractéristique), en réagissant avec la calcite, la dissolvent par la réaction suivante :

$\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} (\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2 (\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ (d'où un dégagement gazeux).

b) Précaution :

Les acides et en particulier l'acide chlorhydrique, sont à manier avec prudence (il faut une blouse pour les projections, des lunettes et un masque pour les vapeurs).

De plus, comme ils dissolvent la pierre il faudra également prendre garde à ce qui concerne l'infiltration de la solution dans la pierre, puisqu'elle risque de la fragiliser en profondeur. Le mode d'application est donc très important tant au point de vu de la sécurité que de l'efficacité du traitement.

2) Test préalable :

Nous avons vérifié que la pierre que l'on avait se dissolvait effectivement dans une solution acide, puis nous avons calculer la concentration théorique d'acide chlorhydrique (solution abrégée par la suite en « HCl ») nécessaire pour dissoudre 1cm^2 de calcaire sur une hauteur de 1mm. On obtient une valeur de $1,35\text{mol/L}$ ($\text{pH}\approx 0,13$) (avec comme hypothèses une densité moyenne de 2,72 et une réaction totale avec la calcite).

En conséquence, l'acide chlorhydrique utilisé devrait permettre de dissoudre la patine puisqu'il est concentré à 23%, soit une concentration d'environ 7 mol/L.

Un premier test a été fait avec une compresse imbibée d'acide chlorhydrique concentré, la pierre a pris le motif de la compresse avec un gain intéressant de rugosité :



Nous avons par la suite testé différents gels, différentes concentrations et différentes applications sur pierre et sur béton. Ce dernier, également sensible à l'acide, permet de faire des premiers tests sans utiliser d'échantillons.

3) Essais avec compresse et à différentes concentrations

a) Démarche

Le risque lié à l'utilisation d'HCl est fonction de sa concentration. C'est pourquoi, on observe d'abord sur béton l'effet de plusieurs dilutions sur la force de l'attaque en apposant 30 minutes (et 1 heure) des compresses imbibées de différentes solutions.

[Protocole et détails des expériences en annexe]

b) Résultats et synthèse

L'attaque du béton diminue avec la concentration et aux moins élevées en particulier, la surface prend la forme de la compresse, la constance de la quantité imbibée influant beaucoup [photo en annexe]. De plus, entre une concentration de 0,6M et de 0,4M la différence dans l'attaque n'est plus vraiment visible et ne permet pas de gain de rugosité.

4) Essais avec différents gels

a) Démarche

On voudrait avoir un gel pour appliquer la solution d'acide et parmi ceux à notre disposition : alginate (polysaccharides venant d'algues), « carbogel » (acide polyacrylique neutralisé) et méthylcellulose, on cherche le plus efficace (sachant qu'ils peuvent réagir avec l'acide). On utilisera également des compresses, avec des essais sur bétons et sur pierres.

[Protocole et détails des expériences en annexe]

b) Résultats et synthèse

On déduit des essais que l'on pourra utiliser le coton (assez efficace, le problème étant l'adhérence au support et l'imbibition) et la méthylcellulose (aussi efficace que le coton et de bonne viscosité dont le problème serait l'homogénéisation du gel).

On laissera de côté l'alginate et le carbogel car l'alginate réagit avec l'acide et le gel n'attaque presque pas le béton et que le carbogel, bien qu'efficace, n'est pas pratique d'utilisation du fait d'une consistance grumeleuse.

D'autres gels pourraient être efficaces comme la « laponite » et la silice pyrogénée.

Pour l'attaque, la pierre est moins sensible que le béton et si la surface rocheuse change d'aspect (couleur uniforme plus sombre), il n'y a pas d'amélioration de rugosité.

5) Essais avec plusieurs applications, et applications de plusieurs heures

a) Démarche

Précédemment l'attaque était insuffisante. Pour voir si c'est une question de temps d'action et de pénétration, nous allons laisser agir plus longtemps sur béton et sur pierre.

Dans un même temps, nous allons mener des tests avec plusieurs applications successives d'acide, à des intervalles de 20 minutes.

Nous prendrons la solution à 0,35mol/L ($\text{pH}\approx 0,4$) et nous appliquerons aussi sur des planches de béton verticales pour en observer la tenue.

[Détails des expériences en annexe]

b) Résultats et synthèse

On voit que laisser agir plusieurs heures n'apporte pas d'amélioration (à 30 minutes l'attaque est la même qu'à 1 ou 2 heures) et ceci d'autant plus que gel et coton sèchent après quelques heures (l'idée de les protéger semble néanmoins peu prometteuse au vu des résultats).

L'application à plusieurs reprises apparaît plus efficace mais non applicable en falaise et il n'y a pas d'amélioration suffisante sur pierre. On peut aussi noter que l'attaque horizontale est un peu plus efficace que la verticale.

Les tests indiquent donc qu'il est inutile de laisser agir plusieurs heures.

6) Essais avec passages rapides

a) Démarche

Au vu de la rapidité d'action de l'acide, nous allons, avec un coton imbibé de solutions plus ou moins concentrées, repasser rapidement sur la même zone à plusieurs reprises.

[Détails des expériences en annexe]

b) Synthèse

En faible concentration sur le béton, on a une amélioration en repassant plusieurs fois. Sur pierre, à une concentration de 7mol/L, en repassant à de nombreuses reprises, on observe un changement d'aspect important et un adoucissement des reliefs qui étaient présents mais sans que l'attaque n'apporte d'amélioration dans la rugosité.



Avant passage



Après

7) Essais complémentaires

a) Pierre en solution acide

Pour voir l'action prolongée de l'acide sur la pierre, nous avons immergé pendant une nuit, dans une solution à 0,35mol/L d'HCl, une partie de pierre pour un résultat relativement identique à celui de passages répétés d'un coton imbibé d'HCl à 7mol/L.

b) Acide sur pierres non patinées

Afin de voir si c'est la patine qui réagit de manière particulière ou si cela vient de la structure de la roche, on a attaqué à l'acide le côté d'un échantillon patiné et une surface adhérente. Le résultat est qu'on poli la pierre et donc qu'une telle réaction provient bien de la composition de cette roche.

8) Conclusion

L'application d'acide chlorhydrique provoque une attaque sur le béton qui prend un autre aspect et devient rugueux car les granulats le composant sont alors à découvert.

Sur la pierre cependant, bien que l'on pensait que cela l'attaquerait et que le problème serait concentré sur l'application d'un acide aussi nocif que l'acide chlorhydrique, les derniers essais ont montré que la rugosité n'était pas améliorée. En effet, si l'aspect change (la pierre s'assombrit et devient d'une couleur plus uniforme) et qu'il y a une petite différence tactile entre la patine et l'endroit attaqué, cela n'est pas suffisant. On a même plutôt l'impression que l'acide patine la pierre.

Le fait que la roche soit composée de grains très fins conduit à une structure compacte et homogène et peut expliquer que l'acide attaque uniformément l'ensemble de la surface en mettant à découverte une surface non poreuse qui ne donne alors pas de rugosité.

On a vu qu'on obtenait un relief et une rugosité supplémentaire en appliquant une compresse d'acide (test réitéré sur une autre pierre pour un même résultat) mais en emploi falaise la méthode n'est pas compatible.

Une autre possibilité pour profiter de l'action qu'a l'acide sur la pierre est que son application pourrait augmenter l'efficacité d'un sablage.

III. Ajout d'enduit

1) Généralités

a) Objectif et démarche:

En ajoutant un enduit de la même couleur que la pierre au niveau de la patine, on veut recréer de la rugosité.

Les couleurs étant très variées, le but est d'obtenir toutes celles voulues par le mélange de quelques enduits (idéalement trois à quatre).

b) Démarche

Avec les premiers enduits obtenus, on fait des mélanges que l'on applique d'abord sur une planche afin de constituer une palette des différentes couleurs possibles. En fonction du visuel on en essaye quelques unes sur pierre et on affine les couleurs au fur et à mesure des résultats. De plus, l'ajout d'enduit peut se faire en couche mince ou en couche épaisse et dans ce dernier cas il pourrait servir à créer de plus grosse prise (sur une partie lisse d'une voie plus aisée notamment) et/ou à avoir une sorte de « réserve ». En effet on pourrait imaginer que si la surface se polit, il suffirait de brosser la prise pour retrouver de la rugosité.

c) Problèmes spécifiques :

Les paramètres fondamentaux vont être l'adhérence, la tenue et la couleur.

Au niveau esthétique, une des difficultés est que la couleur de l'enduit ne se voit qu'après séchage, qu'elle change selon l'épaisseur de la couche et qu'il est donc ardu de savoir si on a la bonne couleur au moment où on l'applique (d'autant plus que les pierres n'ont pas des tons unis). L'aspect et le relief donnés à l'enduit ainsi que son raccord avec la pierre poseront aussi question.

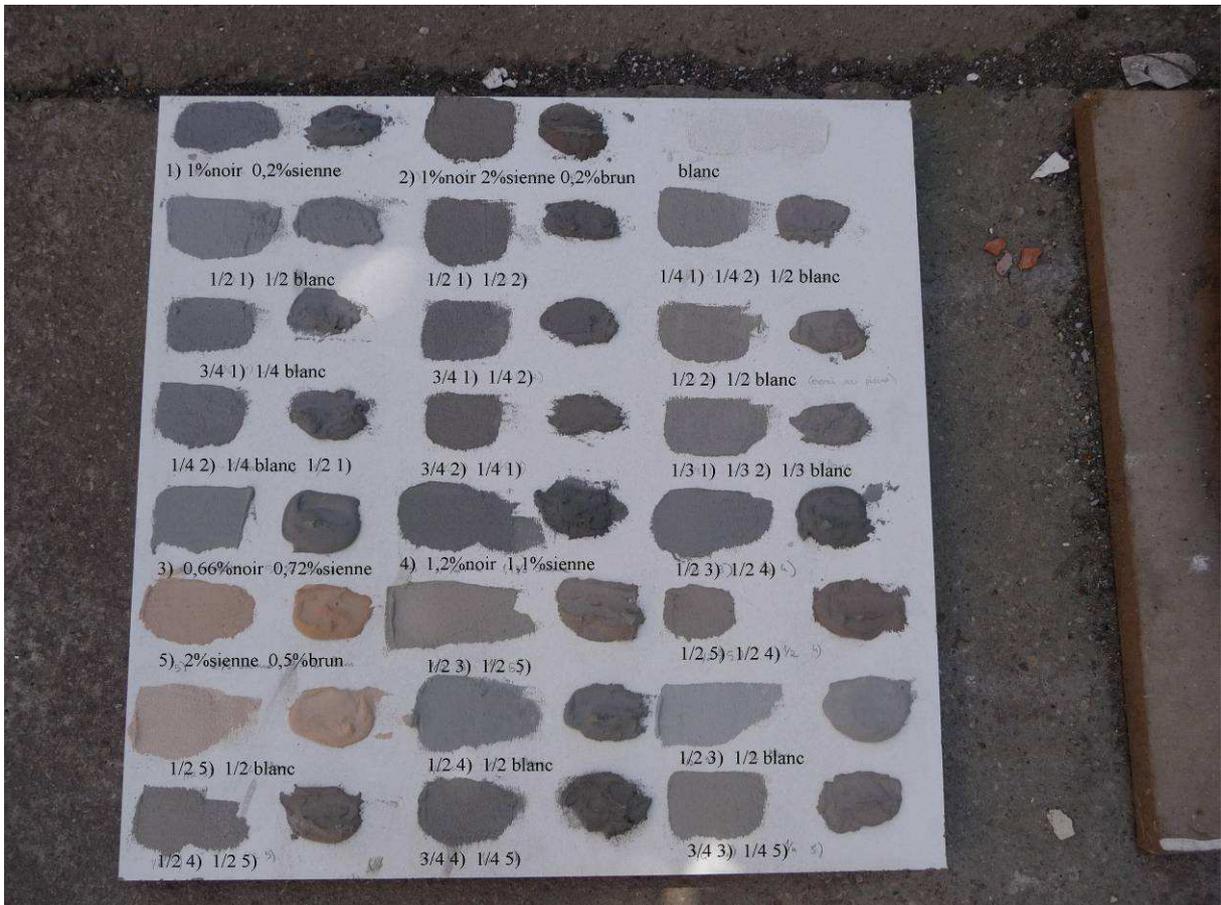
Le rajout d'enduit en lui-même ne pose pas de problème de dégradation de la pierre, puisqu'il est minéral.

2) Essais couleurs

[Descriptif du protocole, des compositions des couleurs et démarche précise en annexe]

a) Essais

Pour débiter, on s'est appuyé sur des échantillons de couleur de béton et après plusieurs essais et corrections, voici l'ensemble des couleurs obtenues :



Ainsi que quelques rendus sur pierre [détaillés en annexe] :



b) Synthèse :

Les couleurs obtenues avec des mélanges d'enduits gris clair ou gris foncé (3, 4, 8, 10), d'enduit blanc et d'enduits marron-orange (5, 9) sont ceux qui donnent la meilleure satisfaction. C'est donc ce type d'association que nous utiliserons.

3) Essai avec sable incorporé

a) Essais

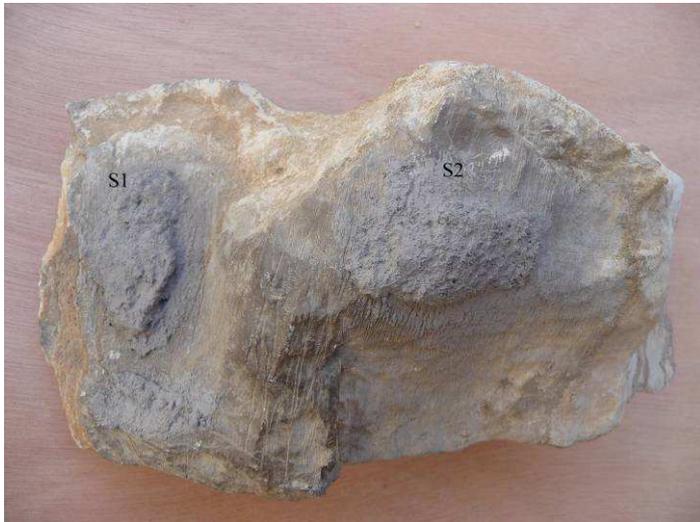
Dans le cadre de l'ajout d'une couche épaisse d'enduit, avec possibilité de brossage ultérieur, pour avoir et conserver une bonne rugosité, on rajoute du sable dans l'enduit.

On a essayé avec un sable noir de granulométrie entre 0,6 et 1,25mm et un blanc entre 1 et 2,5mm, avec l'une des couleurs qui fonctionnait sur pierre.

[Détails en annexe]

b) Résultat et synthèse

Malgré l'ajout de matière, la couleur apparaît toujours assez adéquat. Pour l'adhérence (et un peu pour l'aspect), le brossage permet de se rapprocher de celle d'une pierre témoin pour le sable de plus faible granulométrie. Cela peut aussi permettre d'améliorer le raccord enduit - pierre. Le sable de diamètre le plus important est moins esthétique sur la pierre d'essai.



S1 : 1-2,5mm et S2 : 0,6-1,25mm

4) Conclusion

Pour obtenir la couleur désirée, le plus efficace semble donc être un mélange de 3 à 4 enduits : un blanc, sans pigment ajouté, un marron-orange, un gris foncé et peut-être un gris plus clair. L'adhérence obtenue avec ou sans sable est satisfaisante, très proche de celle d'une pierre témoin (de type rocher de face sud) sauf dans le cas de la granulométrie de 1 à 2,5mm, où le rendu est plus marqué.

Le frottement d'une brosse métallique attaque efficacement l'enduit (dans des conditions expérimentales où l'enduit n'était cependant pas encore au maximum de sa dureté) et permet d'avoir un aspect plus naturel.

En ce qui concerne la tenue de l'enduit, il est à noter que sa robustesse dépend de la quantité d'eau introduite au départ (d'autres essais pourront alors être fait en diminuant les 24% d'eau initiaux) ainsi que du temps durant lequel il a été laissé au repos (après 28 jours on considère qu'il a environ 90% de sa dureté finale).

Des essais effectués, l'enduit se tient bien à la patine de la pierre mais ses arêtes minces se cassent et il a tendance à s'effriter (d'autant plus si sa couche est mince), il faudrait donc des essais supplémentaires pour en apprécier la tenue dans des conditions d'escalade.

IV. Attaque par sablage

1) Généralités

a) Objectif :

On cherche à attaquer la patine en projetant à forte pression un abrasif sur la pierre pour retrouver de la rugosité.

b) Problèmes spécifiques :

Le sablage demande un certain matériel dont l'acheminement et l'utilisation en falaise peut s'avérer compliqué. En effet, il faut un groupe électrogène, un compresseur, la sableuse et l'abrasif choisi. En cas de succès de cette méthode, il faudra donc veiller à ce qu'elle soit compatible avec des appareils utilisables en falaises. La composante environnement sera également très importante dans le choix de l'abrasif utilisé puisque celui-ci se retrouvera en quantité non négligeable dans la nature environnante.

2) Pré-test

Pour voir l'effet du sablage et appréhender son fonctionnement, des premiers essais sont faits avec du « SB1 » (sable siliceux fin) et avec une pression de 3 bars sur des plaques de béton, l'une tendre et l'autre plus dure, ainsi que sur pierre.

Le résultat est que le sablage attaque et donne de la rugosité sur le béton tendre. En revanche, sur le béton dur et sur la pierre, si l'abrasif attaque bien les deux, on a tendance à polir la pierre.

Nous allons donc jouer avec les différents types d'abrasifs, les pressions et le débit d'air pour tenter d'attaquer la pierre afin d'obtenir le résultat escompté. Pour essayer de donner du relief nous pensons également à utiliser une grille métallique.

3) Essai en sablage seul

a) Démarche

Un fois l'équipement de protection revêtu, on sable à une faible distance (une dizaine de centimètres, distance qui permet de toucher une surface correspondant à celle d'une prise). La durée de sablage n'excédera pas quelques secondes dans la plupart des cas.

On changera les paramètres au fur et à mesure des sablages pour en observer les effets.

A cette occasion, on regardera aussi les effets que peut avoir une attaque acide sur le sablage (attaque réalisée avec HCl concentré à 23%, par quelques tamponnages successifs).

Des échantillons ont également été envoyés à l'entreprise SEDA qui les a sablés avec du corindon à forte pression avec une sableuse portative (ibix 9f2).

[Détails des essais en annexe]

b) Résultats et synthèse

Le sablage sur les pierres montre que l'attaque change l'aspect de la pierre, en particulier avec le corindon, mais qu'il a tendance à polir la pierre avec les faibles granulométries et malgré une différence tactile, il est difficile de dire si la rugosité s'est améliorée. On a également vérifié que cette attaque était la même sur un rocher adhérent, de face nord ou de face sud. Le sablage seul, avec les abrasifs utilisés ici, de petits diamètres, n'est donc pas concluant (l'utilisation d'acide, tel que réalisée au cours du procédé, n'y apportant pas d'amélioration).

4) Essai avec grille

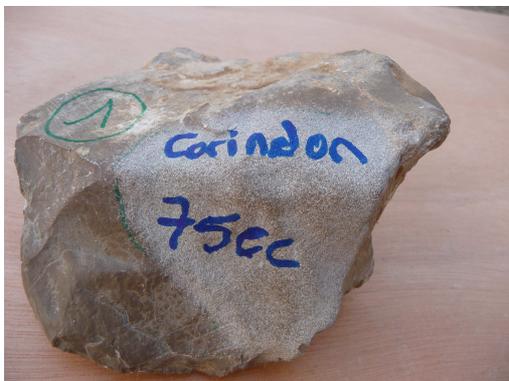
a) Démarche

On sable de la même manière qu'auparavant mais on place sur la pierre une grille de diamètre plus ou moins grand en espérant créer de cette façon un relief rugueux.

[Détails des essais en annexe]

b) Résultats et synthèse

La grille permet bien de créer un relief supplémentaire sur la pierre mais ce relief n'apporte pas d'amélioration satisfaisante d'adhérence car les arêtes qui le composent sont lisses.



Essai SEDA

5) Conclusion

Le sablage à l'aide des abrasifs SB1 et corindon ne permet pas d'améliorer l'adhérence du support, seul, avec attaque acide, ou avec apposition de grille. Des effets observés l'augmentation du débit semble améliorer la puissance de l'attaque (tout comme la pression), le corindon paraît plus abrasif que le SB1. De part sa nature, le corindon était indiqué pour l'attaque de pierre et de plus, sa granulométrie était un peu plus grande que le SB1 mais inférieure à 2,5mm.

Une piste pour que cela puisse fonctionner serait de prendre un sable de plus grande granulométrie avec le risque d'être assez destructif par rapport au relief de la pierre.

V. Autres pistes

1) Vernis et produits antidérapants

a) Objectif

Il existe dans les traitements pour béton et pour pierres naturelles plusieurs vernis de finition ainsi que des solutions antiglisse. On s'est demandé dans quelle mesure ils pouvaient être efficaces dans le cas présent. Il faut noter que dans le cas d'application de solution, il s'agit souvent de produit à base d'acide (chlorhydrique et souvent fluorhydrique pour les pierres car il s'attaque à la silice). Beaucoup de produits sont également étudiés pour être efficaces sur surface mouillée. Néanmoins un grand nombre de produits différents sont disponibles sur le marché, ce qui en fait une piste intéressante.

b) Démarche

On a appliqué plusieurs vernis et on a également testé un spray antidérapant pour céramique. [Détails du protocole et des expériences en annexe]

c) Résultats et synthèse

Le vernis apporte de la brillance sans ajout d'adhérence et le spray antidérapant utilisé n'a pas donné de résultat. Pour augmenter la rugosité en prenant le même type d'application, on a pensé au vernis avec un sable intégré.

2) Vernis avec sable

a) Objectif

On veut augmenter la rugosité par ajout de matière, ici par du vernis et du sable.

b) Démarche

On applique du vernis sur lequel on verse du sable et une autre couche de vernis.

[Détails du protocole et des essais en annexe]

c) Synthèse

Le rendu tactile est bon mais la difficulté reste au niveau de l'aspect visuel et de la tenue du sable et du vernis en situation de falaise et de frottements répétés.



VI. Synthèse

Essais	Acide 23% +compresse	Passage d'acide	Longue application d'acide	Enduit
Mise en place	3	1	2	2
Esthétisme	1	1	1	2
Durabilité	?	?	?	?
Environnement	3	3	3	1
Economie	1	1	1	2
Gain de rugosité	1	3	3	1
Potentiel de succès				
Essais	Enduit+sable	Sablage	Sablage+grille	Sablage+acide
Mise en place	2	3	3	3
Esthétisme	2	2	2	2
Durabilité	?	?	?	?
Environnement	1	2	2	3
Economie	2	3	3	3
Gain de rugosité	1	2	2	2
Potentiel de succès				
Essais	Produits antiglisse	Vernis+sable		
Mise en place	1	1		
Esthétisme	1	2		
Durabilité	?	?		
Environnement	?	2		
Economie	2	2		
Gain de rugosité	3	1		
Potentiel de succès				

Notations :

- Niveau 1 : niveau proche de l'idéal
- Niveau 2 : demande plus de travail
- Niveau 3 : présente plus de difficulté

Pour le potentiel de succès :

- Couleur verte : méthode prometteuse
- Couleur orange : demanderait une recherche plus poussée
- Couleur rouge : impasse apparente

CONCLUSION

Un ensemble d'essais a été mené en laboratoire sur des échantillons de pierres patinées prises au pied des voies du site d'escalade d'Orpierre.

Les techniques d'attaque « classiques » de la pierre telles que le sablage et l'utilisation d'acide (méthodes utilisées dans le bâtiment) ont bien entamés la pierre et sa patine. Cependant, du fait de la structure de celle-ci, son adhérence ne s'en est pas retrouvée améliorée. L'aspect de la pierre s'est modifié et on a souvent eu l'impression de la polir.

Dans le cadre du sablage, on peut signaler que l'emploi de sable de plus grande granulométrie (>2mm) serait peut-être à tenter.

Les techniques consistant en l'ajout de matière semblent, elles, plus efficaces. En effet, les enduits et le vernis avec sable ont donné dans l'ensemble de bons résultats en terme d'adhérence et de tenue.

Les difficultés se trouvent dans l'esthétique du résultat, dans son adéquation avec le milieu (résistance aux conditions météorologiques et au frottement) et dans sa tenue. Pour cela, il faut d'autres essais, ceux en falaises étant prévus dans quelques semaines.

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

I. Présentation du contexte et de la problématique

2) Présentation et identification des échantillons

a) Classification

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	2	1	E	2	gris clair
	2	2	D	2	gris
	2	3	C	2	gris clair

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	1	F	2	gris
	1-2	3	E	3	gris clair
	1-2	4	D	2	gris
	1-2	5	E	2	gris

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	6	D	2	gris clair
	1-2	7	E	2	gris
	1-2	8	D	2	gris marron
	1-2	9	D	3	gris clair

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	10	D	2	gris clair
	1-2	11	E	3	gris
	1-2	12	E	3	gris clair
	1-2	13	F	3	gris marron

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	14	D	2	gris clair
	1-2	15	D	3	gris clair
	1-2	16	D	1	gris marron
	1-2	17	D	3	gris

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	18	E	1	gris clair
	1-2	19	C	3	gris clair
	1-2	20	E	2	gris
	1-2	21	E	3	gris

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	22	E	2	gris marron
	1-2	23	D	1	gris blanc marron
	1-2	24	D	2	gris marron
	1-2	25	D	2	gris marron

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	26	E	2	gris marron
	1-2	27	D	2	gris
	1-2	28	D	2	gris clair
	1-2	29	D	2	gris

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1-2	30	E	2	gris marron
	1-2	31	D	2	gris marron
	1-2	32	D	2	gris marron
	1	1	D	1	gris marron

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1	2	D	2	gris blanc
	1 (2)	3	D	1	gris clair
	1 (2)	4	E	2	gris marron
	1	5	C	2	gris clair

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1	6	D	1	Gris
	1	7	D	1	gris marron
	1 (2)	8	E	3	gris marron
	1	9	D	1	gris marron

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	1	10	E	2	gris marron
	3-2	1	E	2	gris
	3-2	2	D	1	gris blanc marron
	3-2	3	E	2	gris

Photo	Catégorie(s)*	N°	Etat de la patine*	Etendue*	Couleur*
	3-1	1	F	3	gris
	3	1	E	2	gris

***Signification des différentes évaluations :**

État de la patine :

- A correspond à la rugosité d'une roche de face sud
- B correspond à la rugosité d'une roche de face nord
- F correspond à la patine la plus "lisse" dont l'échantillon représentatif est le n°8

Étendue :

Augmente de 1 à 3

Catégories:

- 1 correspond à la présence d'une ou plusieurs arêtes patinées (au milieu d'une surface ou à un angle)
- 2 correspond à la présence de patine sur une surface plus ou moins plane (présence de petits reliefs, de bosses)
- 3 correspond à la présence sur tout un rebord d'un "arrondi" patiné très marqué (type prise assez franche)

Couleur :

- gris clair pour des nuances RAL tel que 7000, 7005, 7033, 7037, 7042
- gris pour des nuances RAL tel que 7000, 7003, 7005, 7009, 7037, 7043

- gris marron pour des nuances RAL tel que 7002, 7005, 7032, 7033, 7034, 7037, 8000
- gris blanc marron pour des nuances RAL tel que 7002, 7005, 7037, 7038, 7047, 8000
- gris pour des nuances RAL tel que 7005, 7037, 7042, 7047, 9002

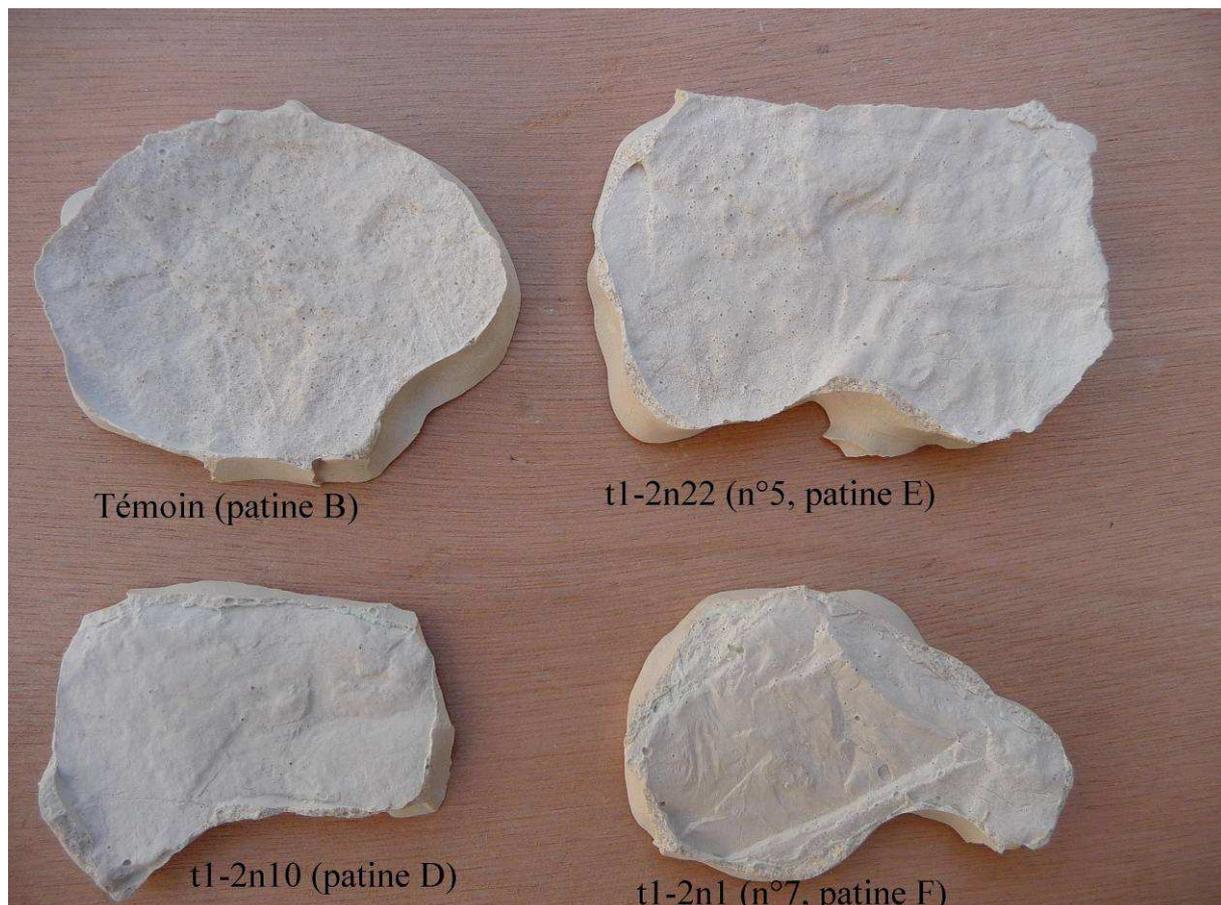
b) Test avec photos macros

Les tests faits pour caractériser la rugosité de façon objective avec des photos macros de plusieurs échantillons (patinés ou non) ont principalement consisté en la décomposition des différents niveaux de détails en niveaux de gris (par l'application « wavelet decompose » sous le logiciel GIMP) et en l'observation de l'histogramme des nuances ainsi obtenu. On n'a alors pas observé de corrélation avec l'état de la pierre.

c) Protocole des empreintes

Pour les empreintes représentatives de différentes rugosités, nous avons appliqué sur les pierres de la cire, puis une pâte faite d'alginate. Après durcissement ($\approx 2h$, laissée trop longtemps cette pâte devient cassante), nous avons coulé du béton à prise rapide sur les différentes empreintes obtenues pour avoir nos témoins.

Exemple d'empreintes :



II. Attaque par de l'acide

3) Essais avec compresse et à différentes concentrations

a) Protocole

On prend la solution de HCl à 23% et on la dilue progressivement. Pour la première dilution, par 2, on mesure un même volume en eau et en HCl à 23% et on verse l'acide dans l'eau. Sur la base de ce même volume on continue les dilutions jusqu'à une dilution par 20 qui correspondra donc à 19 volumes d'eau et un volume de HCl à 23%.

On trempe deux compresses dans chacune des solutions et on les presse uniformément pour enlever l'excès de liquide. On les appose ensuite sur une petite plaque de béton et on les laisse poser 30 minutes pour l'une et 1h pour l'autre.

b) Essais

Test	Support	Résultat
HCl à 7mol/L (23%)	béton	Bonne attaque, pas de différence notable entre 30 minutes et 1h
HCl à 3,5mol/L (dilution par 2)	béton	Bonne attaque, pas de différence notable entre 30 minutes et 1h
HCl à 0,9mol/L (dilution par 8)	béton	Attaque moyenne, pas de différence notable entre 30 minutes et 1h
HCl à 0,6mol/L (dilution par 11)	béton	Attaque moyenne, pas de différence notable entre 30 minutes et 1h
HCl à 0,4mol/L (dilution par 16)	béton	Attaque moyenne, pas de différence notable entre 30 minutes et 1h

c) Photo

A gauche, béton attaqué avec HCl à 7mol/L et à droite avec HCl à 0,9mol/L



4) Essais avec différents gels

a) Protocole

On utilise principalement la solution d'acide chlorhydrique commerciale à 23% et sa dilution par 20.

Pour l'alginate, afin d'obtenir la pâte à appliquer, on mélange 3 volumes d'alginate avec 2 volumes de solution.

Pour le « carbogel », il faut mélanger environ 1 volume de carbogel avec 9 volumes de solution.

Pour la méthylcellulose, on en mélange environ 6 volumes avec un volume de solution de manière assez énergique pour obtenir une pâte homogène.

b) Essais

Test	Support	Résultats
Alginate + HCl à 7mol/L	béton	Pas de différence visible ou tactile
Alginate + HCl à 0,35mol/L	béton	Pas d'effet, visible ou tactile
Carbogel + HCl à 7mol/L	béton	Attaque (semblable à celle obtenue avec le coton dans les mêmes conditions)
Carbogel + HCl à 0,35mol/L	béton	Attaque très légère, on voit une différence d'aspect mais pas de toucher
Carbogel + HCl à 1mol/L et à 0,47mol/L	pierre (n°4)	Différence d'aspect visible mais pas de rugosité supplémentaire
Méthylcellulose + HCl à 0,7mol/L	béton	Bonne attaque visible et tactile
Méthylcellulose + HCl à 0,35mol/L	pierre (t1-2n28)	Différence d'aspect visible (légère) mais pas d'amélioration d'adhérence
Compresse + HCl à 7mol/L (23%)	béton	Bonne attaque
Compresse + HCl à 0,35mol/L	béton	Attaque faible
Compresse + HCl à 0,35mol/L	pierre (t1-2n28)	Légère différence visuelle mais tactilement pas de changement d'adhérence.

5) Essais avec plusieurs applications et applications de plusieurs heures

Tests	Support	Application	Résultat
Compresse	Béton horizontal	En 4 fois	Petite attaque
Compresse	Béton vertical	En 4 fois	Petite attaque (mieux que méthylcellulose et compresse plusieurs heures)
Compresse	Pierre (t3n1)	En 4 fois	Pas d'amélioration d'adhérence, attaque visible par la couleur
Méthylcellulose	Béton vertical	En 4 fois	Petite attaque, visuellement plus clair qu'en laissant plusieurs heures et plus de grain au toucher.
Compresse	Béton horizontal	On retire à 30 min, 1h, 2h et 4h	Pas de vraie différence visuelle ou tactile entre différentes heures d'autant qu'après 2h le coton a commencé à sécher complètement.
Méthylcellulose	Béton horizontal	On retire à 30 min, 1h, 2h et 4h	Attaque à peu près autant que le coton. Il y des différences d'attaques sur la plaque avec les différentes heures mais cela semble venir d'une mauvaise homogénéisation du gel (1h étant plus attaqué que 4h notamment). Ce gel sèche également pour former une pellicule au bout de quelques heures (entre 2h et 4h) dans les conditions ensoleillées que l'on avait.
Compresse	Béton vertical	Apposée 6h30	Légère attaque
Méthylcellulose	Béton vertical	Apposé 6h30	Légère attaque (moins que le coton et que la même application horizontale)
Compresse	Pierre (t3n1)	Apposée 6h30	Pas de différence notable dans le toucher et le visuel excepté que l'aspect donne l'impression d'avoir poli la pierre
Méthylcellulose	Pierre (t3n1)	Apposé 6h30	Pas de différence notable dans le toucher et le visuel excepté que l'aspect donne l'impression d'avoir poli la pierre

6) Essais avec passages rapides

Tests	Support	Résultats
HCl à 7mol/L Un passage	béton	Petite attaque (plus de grain au toucher)
HCl à 3,5mol/L Un passage	béton	Attaque visible mais pas de différence tactile
HCl à 2,3mol/L Un passage	béton	Attaque non visible
HCl à 2,3mol/L 5 passages (environ)	béton	Petite attaque ressentie au toucher (et à vue)
HCl à 1,75mol/L 5 passages (environ)	béton	Attaque peu visible et aucune différence tactile
HCl à 0,35mol/L 10 passages (environ)	béton	Attaque peu visible et aucune différence tactile
HCl à 7mol/L Plusieurs passages pendant 20 minutes (avec des passages appuyés)	pierre (n°4)	Important changement d'aspect, pierre plus foncée, plus uniforme mais apparaissant presque plus polie sans amélioration marquante de rugosité ou d'adhérence

7) Essais complémentaires

a) Pierre en solution acide, détail du résultat:

La pierre choisie est une de celle dont l'empreinte a été prise et sur cette partie qui a été plongée dans l'acide, il y a eu un changement de rugosité mais après essai complémentaire sur d'autres pierres, il apparaît que cela correspondrait à une spécificité de cette pierre en particulier.

III. Ajout d'enduit

3) Essais couleur

a) Protocole

On utilise comme enduit de l'« isochaux » (enduit entièrement minéral), on rajoute les pigments souhaités et 24% d'eau et on crée à chaque essai un enduit blanc (aucun pigments ajoutés).

Pour obtenir un mélange homogène avec le robot utilisé on pèse 1kg d'isochaux auquel on ajoute les pigments. On mélange à petite vitesse pendant 30 secondes pour avoir un mélange homogène puis on rajoute doucement l'eau et on laisse mélanger pendant 3 minutes. On augmente la vitesse pendant 1 minute et l'enduit est prêt.

b) Démarche dans les essais

1° essai :

On obtient dans un premier temps deux enduits :

N°	1	2
Enduit	1% noir 0,2% sienne	1% noir 2% sienne 0,2% brun
Rendu visuel	trop gris	trop marron

Parmi les mélanges permettant les couleurs les plus proches on trouve les mélanges suivants :

Mélanges	1/3 1) ; 1/3 2) ; 1/3 blanc	1/2 1) ; 1/2 2)
Enduits correspondants	0,66% noir 0,72% sienne 0,06% de brun	1% de noir 1,1% de sienne
Rendu visuel	trop marron	pas assez foncé

2° essai :

En s'appuyant sur les mélanges les plus intéressants on produit les enduits 3 et 4. On trouve aussi, parfois, des filons orangés dans la pierre d'où dans un premier temps l'essai de l'enduit orangé 5.

N°	3	4	5
Enduit	0,66% noir 0,72% sienne	1,2% noir 1,1% sienne	2% sienne 0,5% brun
Rendu visuel	pas assez marron	pas assez marron	orangé

Les mélanges de 3 et 4 avec l'enduit 5 donnent de bonnes couleurs dont un en particulier :

Mélange	3/4 3) ; 1/4 5)
Enduit correspondant	0,5% noir 1% sienne 0,1% brun
Rendu visuel	marche bien sur pierre de teinte claire

3° essai :

Parmi les couleurs obtenues il n'y en a pas encore qui soit assez foncée pour se rapprocher d'une des couleurs souhaitées. C'est pourquoi on double les valeurs de l'enduit 6 avec l'idée que, mélangé avec l'enduit blanc, on devrait réobtenir la couleur qui fonctionnait.

En s'aidant d'une couleur obtenue sur béton, on produit également l'enduit 7 où l'ajout du pigment rouge devrait aider à se rapprocher de la couleur souhaitée.

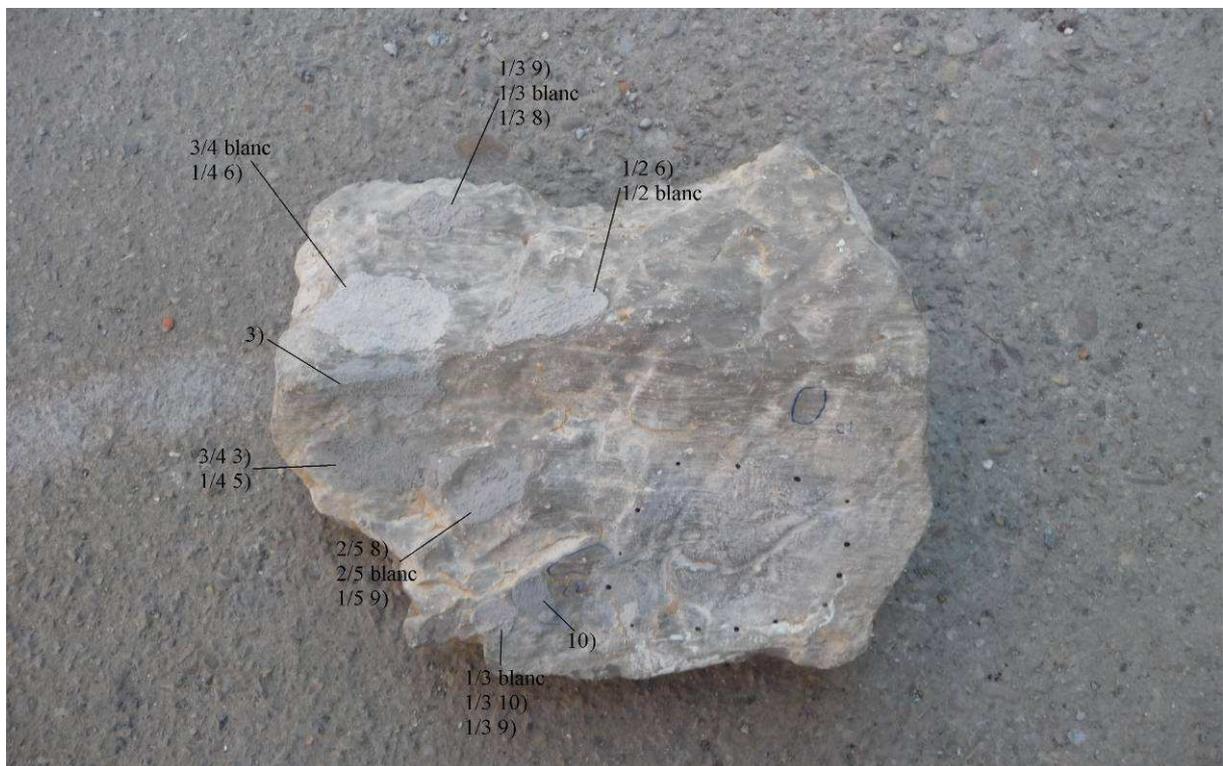
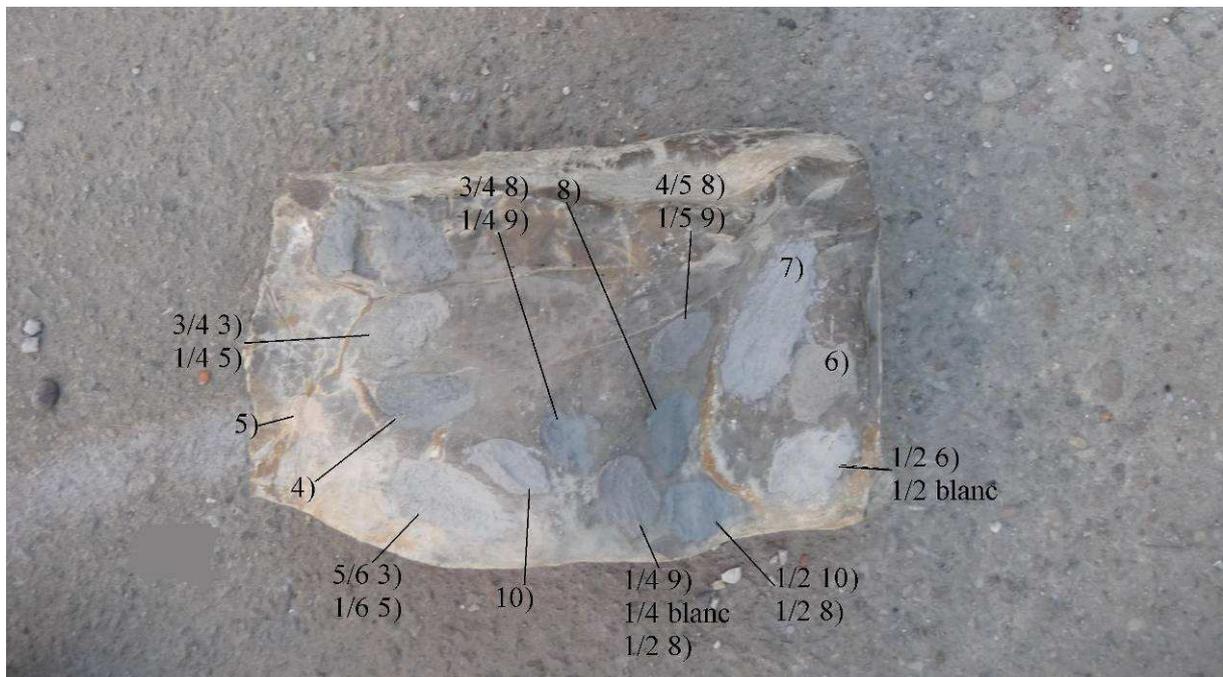
N°	6	7
Enduit	1% noir 2% sienne 0,2% brun	1% noir 0,5% sienne 0,02% rouge
Rendu visuel		pas assez foncé

4° essai :

Puisque dans le 2° essai, le mélange entre des enduits plutôt gris et un enduit vraiment marron avait plutôt bien fonctionné, dans cette idée on a créé l'enduit 8 plus foncé que le 7 et l'enduit marron 9. L'enduit 10 a été testé pour voir comment la couleur 7 noircissait par l'ajout du pigment sienne.

N°	8	9	10
Enduit	2% noir 0,5% sienne	2% sienne 0,8% brun	1% noir 0,75% sienne 0,02% rouge

c) Détails des essais sur pierres :



4) Protocoles des essais d'enduit avec sable incorporé

On prend un mélange qui apparaissait adéquat sur pierre, ici on a choisi l'enduit avec 1% de noir, 0,75% de sienne et 0,2% de brun. On mélange 1kg d'isochaux avec les pigments et l'eau et quand le mélange apparaît homogène (après environ 2 minutes) on ajoute 500g de sable.

On laisse mélanger pendant 2 minutes à petite vitesse puis 1 minute à grande vitesse.

On a essayé avec deux sables de granulométries et de couleurs différentes :

- un sable noir de granulométrie entre 0,6 et 1,25mm
- un sable blanc (Grani Calcium) de granulométrie entre 1 et 2,5mm

Pour voir le rendu on applique ces enduits sur de petites plaques de béton, sur la planche servant de palette et sur pierre.

IV. Attaque par sablage

3) Essais en sablage seul

Tests	Abrasif	Pression	Débit d'air	Résultat
≈15 s	SB1	3 bars	faible	Poli la surface enterrée
≈60 s	SB1	3 bars	faible	Poli la surface
≈15 s	SB1	5 bars	fort	Impression donnée de polir la surface
≈10 s	corindon	3 bars	faible	Aspect changé (points blancs) Pas amélioration rugosité
≈10 s sur pierre attaquée préalablement par HCl concentré	corindon	4 bars	faible	Pas de changement visuel et tactile par rapport à une pierre sans attaque acide
≈10 s sur pierre attaquée postérieurement par HCl concentré	corindon	4 bars	faible	Le rendu visuel est entre le sablage et l'attaque acide. Tactilement il est difficile de voir s'il y a eu amélioration de l'adhérence, reste qu'elle n'est pas suffisante
Quelques secondes (<10) (SEDA, sableuse ibix 9f2)	corindon	7bars		Changement d'aspect (points blancs) et tactile mais pas d'amélioration nette de rugosité

4) Essais avec grille

Tests	Abrasif	Pression	Débit d'air	Pierre	Résultat
Grille métallique de grand diamètre Sablage sur une surface d'environ 10cm×2cm ≈10s	SB1	3 bars	faible	t1-2n3	Voit la forme de la grille sans résultat sur l'adhérence
Même grille Surface de quelques cm ² ≈15s	SB1	5 bars	faible	t1-2n8/9	Crée un relief de la forme de la grille mais l'adhérence n'est pas notablement améliorée (rebord du relief assez lisse)
Même grille Même surface ≈15s	SB1	5 bars	fort	t1-2n8/9	Même remarque que précédemment
Grille métallique de petit diamètre Surface de quelques cm ² ≈10s	SB1	4,5bars	fort	t1-2n11/12	Forme de la grille observable et tactile mais pas d'amélioration de rugosité
Même grille Même surface ≈30s	SB1	5bars	fort	t1-2n11/12	Relief créé de la forme de la grille important mais les bords sont lisses au toucher. Le rendu de l'adhérence ne semble donc pas satisfaisant

Tests	Abrasif	Pression	Débit d'air	Pierre	Résultat
Grille métallique au diamètre important Sablage sur une surface d'environ 15cm×8cm ≈10s	corindon	4bars	faible	t1-2n7	Forme de la grille bien visible mais tactilement pas de différence notable entre les points sablés et les autres. Pas d'amélioration d'adhérence
Grille métallique de petit diamètre Surface de quelques cm ² ≈15s	corindon	5bars	fort		Relief créé marqué mais tactilement l'impression est donnée que la surface est polie (et plus que dans le cas du SB1)

V. Autres pistes

3) Vernis et produits antidérapants

a) Protocole

Dans le cas de l'application de vernis, le protocole suivi était celui indiqué sur les différentes bouteilles à savoir qu'on applique le vernis, qu'on attend quelques heures que ça sèche (3h ou 4h selon les cas) et qu'on repasse une couche.

L'antidérapant en spray et sans acide, en spray était de la gamme « stabibain céramique » de Neovia et son application se fait en quelques jets. Le résultat se voit après une dizaine de minutes.

b) Essai

Essai	Support	Résultat
Verni 3V3 (2 couches, 3h entre)	pierre t1-2n28	Pas plus de rugosité et aspect plus brillant
Verni Sikagard 681 (2 couches, 4h entre)	pierre t1-2n10	Pas plus de rugosité et aspect plus brillant
Verni Repox (2 couches, 4h entre)	pierre n°7	Pas plus de rugosité et aspect plus brillant
Verni Sikagard 907W	pierre	Tactilement semble être plus rugueux et aspect plus

(2 couches, Spray Stabibain Céramique	t2n1 pierre n°4	brillant Pas d'amélioration de la rugosité et pas de changement visuel notable
---	-----------------------	--

4) Verni avec sable

Essai	Support	Résultat
Repoxy + Sable	pierre n°4	Un premier toucher donne une rugosité identique aux pierres témoins de face sud mais le sable part très rapidement, en quelques frottements
Repoxy + Sable avec plus de sable et de vernis versé par dessus	pierre t1-2n21	La rugosité obtenue est aussi bonne que lors du premier essai et le sable tient bien mieux. Il part toujours un peu et de part la couleur du sable notamment, le rendu n'est pas esthétique

Fiches techniques