



LES MATÉRIAUX DU PATRIMOINE : UNE LEÇON DE L'HISTOIRE

Isabelle Pallot-Frossard

Conservateur général du patrimoine

Directeur du Centre de recherche et de restauration des musées de France

PATRIMOINE ET RESSOURCES MINÉRALES : UNE DUALITÉ

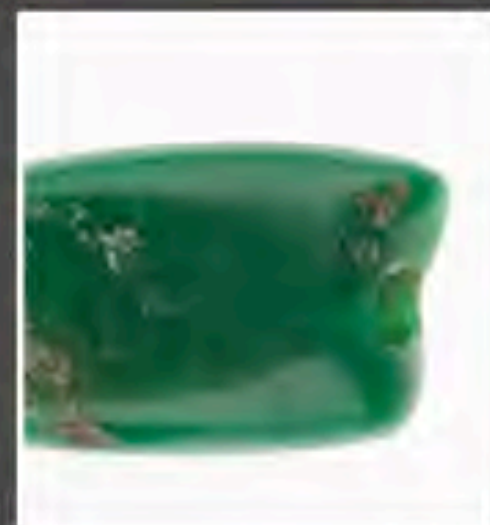
- Privilégier la qualité des matériaux:
 - Provenance de parures néolithiques en variscite : à la recherche d'un long voyage
 - La fourniture de pierres pour la construction des cathédrales : d'hier à aujourd'hui
- Utiliser les ressources locales :
 - Les matériaux du verre pour le vitrail
 - Les ciments naturels du XIXe siècle à nos jours

I - LA QUALITÉ AU PRIX DU VOYAGE



PROVENANCE
DES PARURES EN VARISCITE
DES SITES NÉOLITHIQUES DE L'OUEST
DE LA FRANCE

G. Querré, Th. Calligaro, S. Cassen, M.-P. Dabard



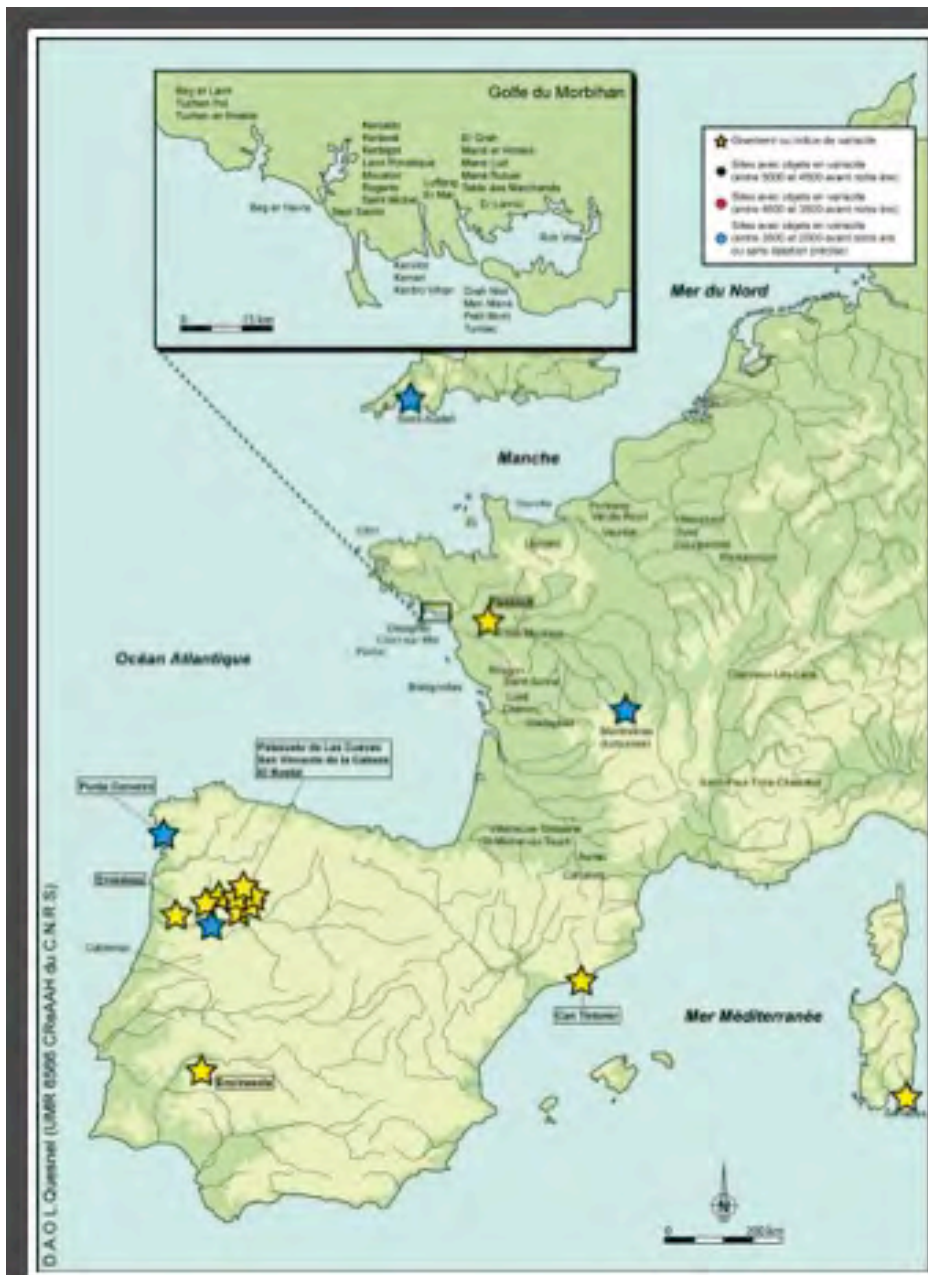
Lames de haches en
jadéite, en fibrolite,
éléments de parure
en callaïs
(variscite :
phosphate
d'aluminium)...

A la fin du XIX^{ème} siècle, les fouilles des monuments mégalithiques de la région de Carnac mettent au jour de nombreuses sépultures datant du Néolithique (5^e au 3^e m. av. JC)



Questions d'histoire :

- Nature minéralogique des objets
- Echanges de proximité ou à longue distance ?
- Approvisionnement des néolithiques à partir d'une ou plusieurs sources ?
- Evolution des approvisionnements au cours des 3 millénaires ?
- Répartition spatiale des sites en fonction des sources de variscite ?

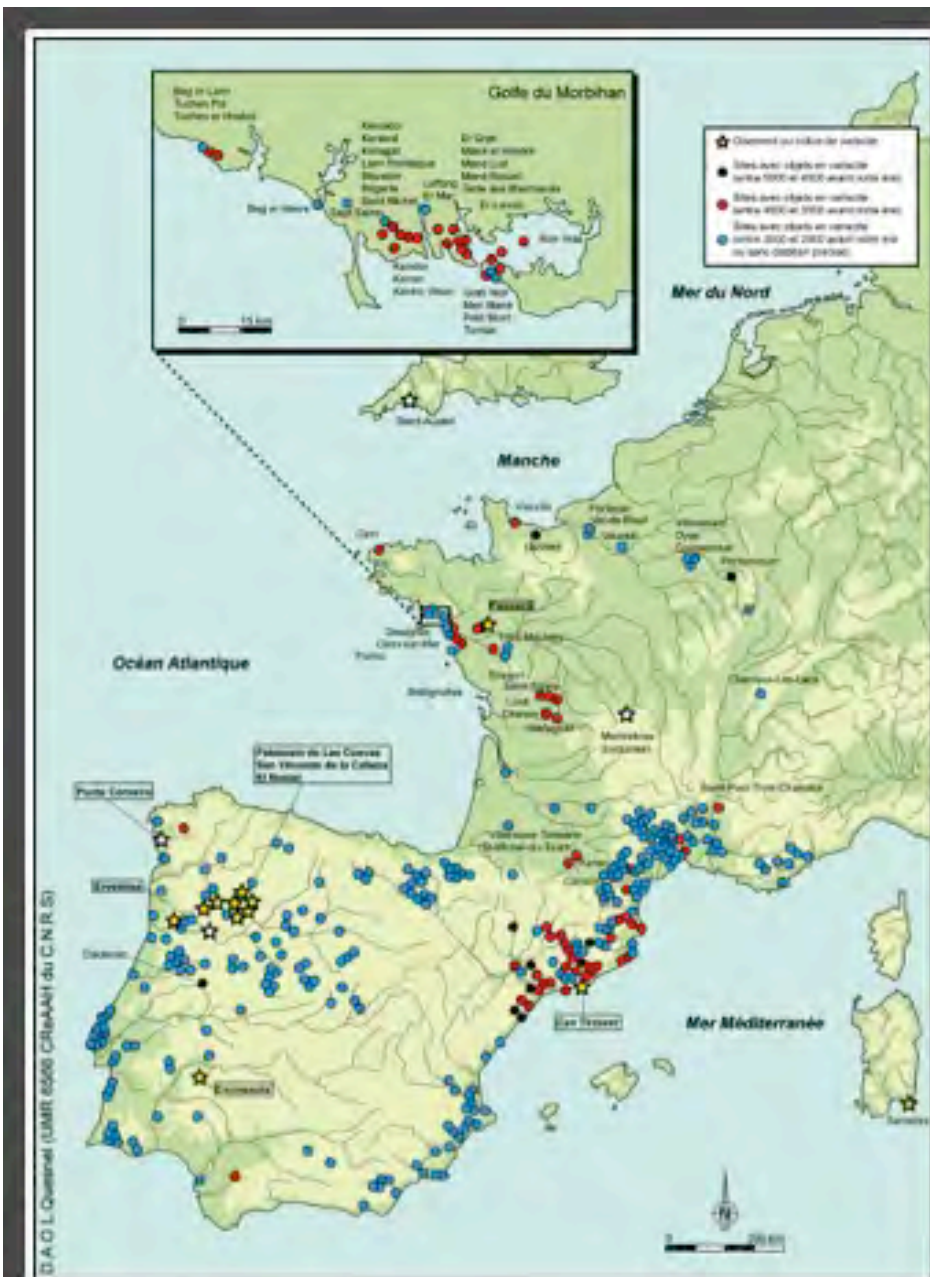


Encinasola, ES



Gavà, ES

Différents gisements de variscite et turquoise d'Europe occidentale.

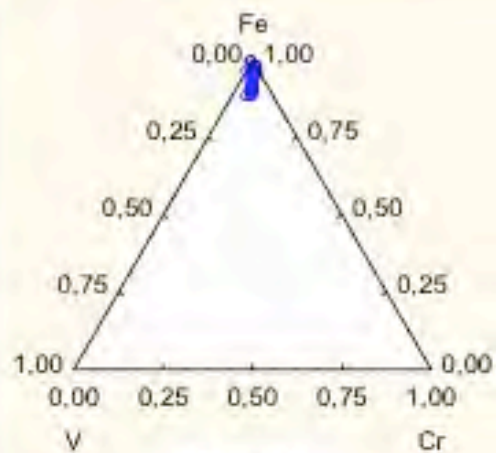


Les sites archéologiques préhistoriques présentant des bijoux en variscite

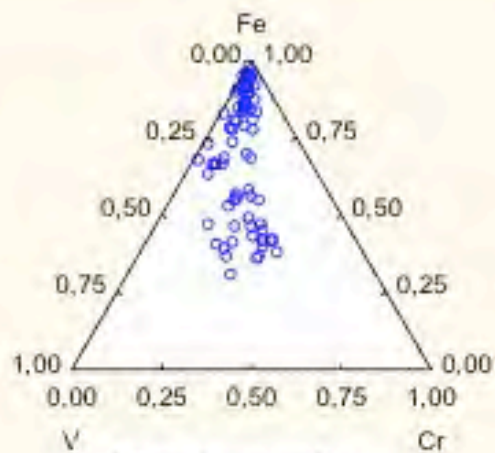


ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE RÉFÉRENCES PAR PIXE

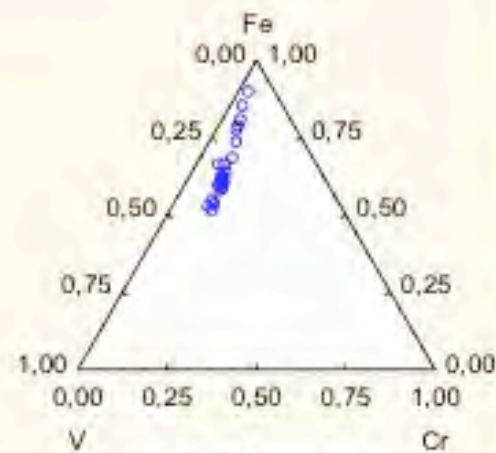
Utilisation du faisceau extrait d'AGLAE pour une analyse chimique
élémentaire à l'air libre.



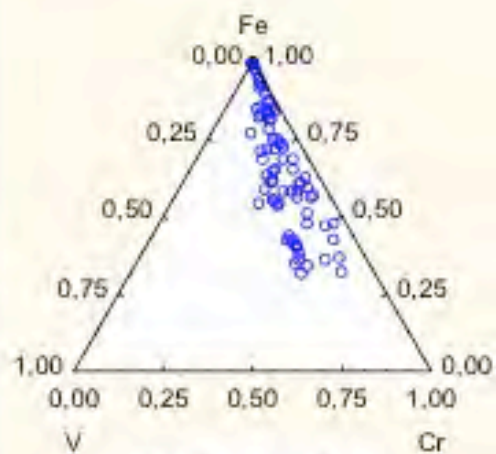
Gavà



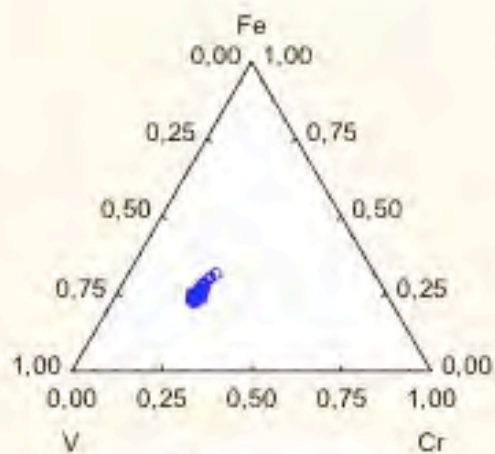
Encinasola



El Bostal



Palazuelo



Pannecé

Diagramme ternaire Vanadium – Chrome - Fer

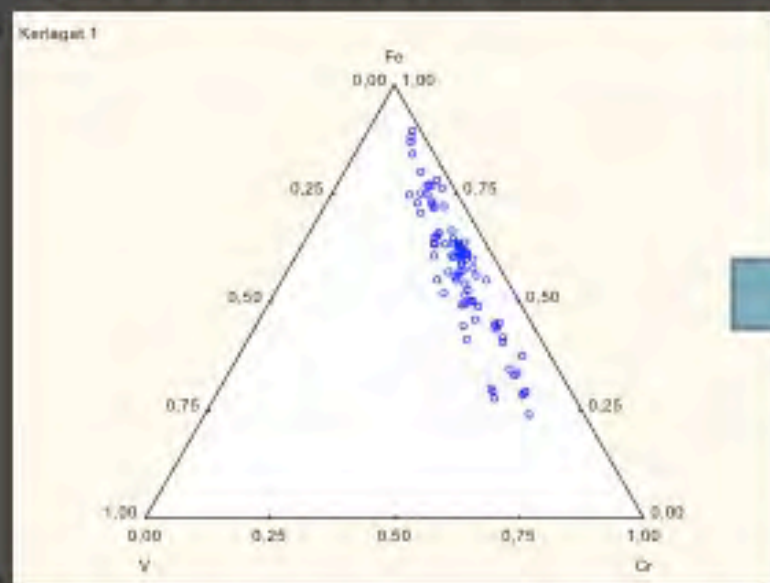




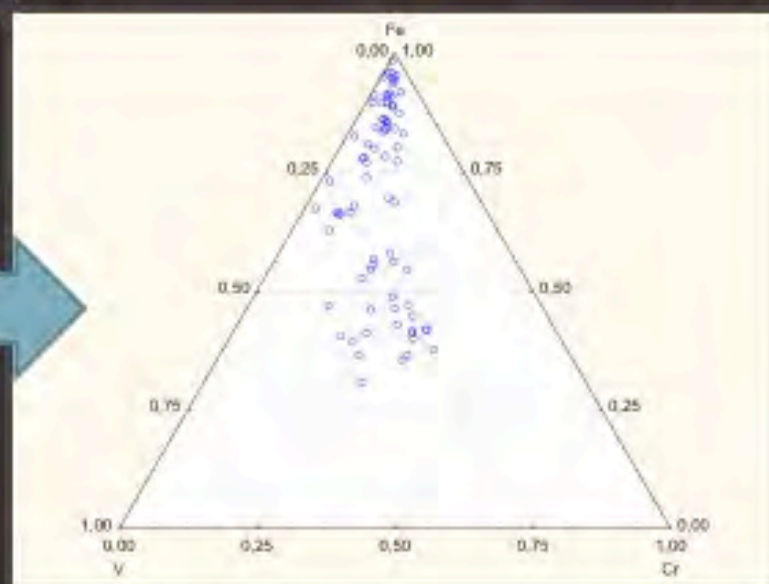
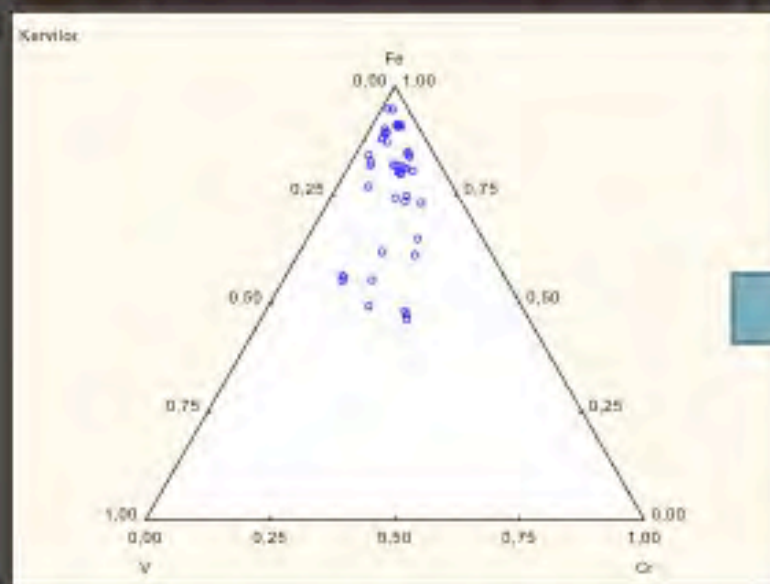
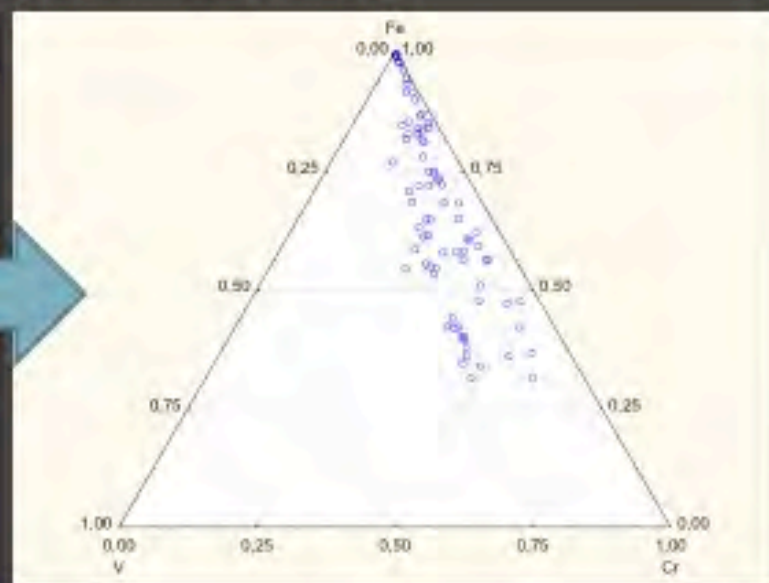
Analyse des objets archéologiques par PIXE

882 analyses d'objets de 25 sites
archéologiques de l'ouest de la
France

Tombe à couloir de Kerlagat (56)



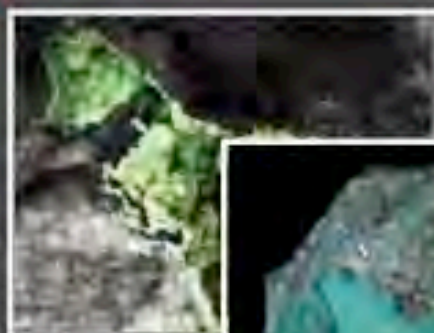
Gisement de Palazuelo



Tombe à couloir de Kervilor (56)

Gisement d'Encinasola

Nom site
Bougon
Carnac
Colombelle
Er-Grah
Ile Carn
Kercado
Kervilor
Keryaval
La Joselière
Mane er Hroëck
Mané Rutual
Plichancourt
Table-des-Marchands
Tumiac
Tumulus St Michel
Petit Mont
Er Hourich
Kerlagad
Luffang
Mané Lud
Roh Vras
Er Lannic
Couronne-Blanche
Kerbospern
Kerdro Vihan
Le Moustoir



Nature des perles et pendeloques en callais

Toutes en variscite

Une exception :
2 perles de turquoise
parmi les 138 objets
du Tumulus St Michel

Origine des perles et pendeloques en variscite

Conclusion

Aucun objet provenant de Pannecé.

Deux sources ibériques:

► Encinasola et Palazuelo.



Evolution de la provenance de la variscite de l'ouest de la France au cours du Néolithique



5.000 – 4.800 av. J.C.



4.700 – 4.300 av. J.C.



4.300 – 4.000 av. J.C.



4.000 – 3.800 av. J.C.



3.500 – 3.300 av. J.C.

CHANGEMENT D'APPROVISIONNEMENT VERS 4.000 ANS av. J.C.

Quelles sont les causes de ce changement ?

- La mine d'Encinasola n'est pas épuisée.
- Le gisement de Palazuelo a été découvert à cette période et entre en concurrence avec celui d'Encinasola.
- Le gisement de Palazuelo est plus proche de la péninsule Armoricaine.
- Relations entre les populations néolithiques de la péninsule Ibérique et de la péninsule Armoricaine évoluent (conflits, difficultés d'accès aux mines d'Encinasola...).

I - LA QUALITÉ AU PRIX DU VOYAGE



LES PIERRES DE CONSTRUCTION CARRIÈRES ET APPROVISIONNEMENT

Lise Leroux, Annie Blanc, LRMH

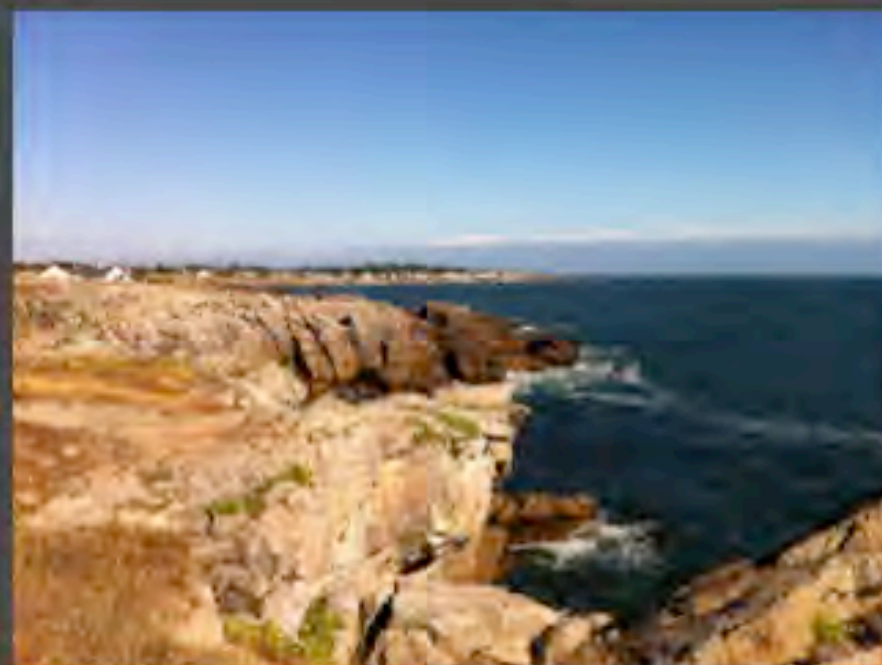
LES CHANTIERS DES CATHÉDRALES : PIERRES LOCALES OU IMPORTATION ?

Le choix des pierres de construction dépend :

- De l'usage : soubassement, parement, modénature, sculpture
- De l'aspect souhaité : couleur, texture, volume (débit)
- De la disponibilité des carrières en fonction des époques de construction
- Des ressources économiques du chantier
- De la propriété de la carrière (Bercheriae Episcopi vers 1250)
- Des habitudes du maître d'œuvre ?

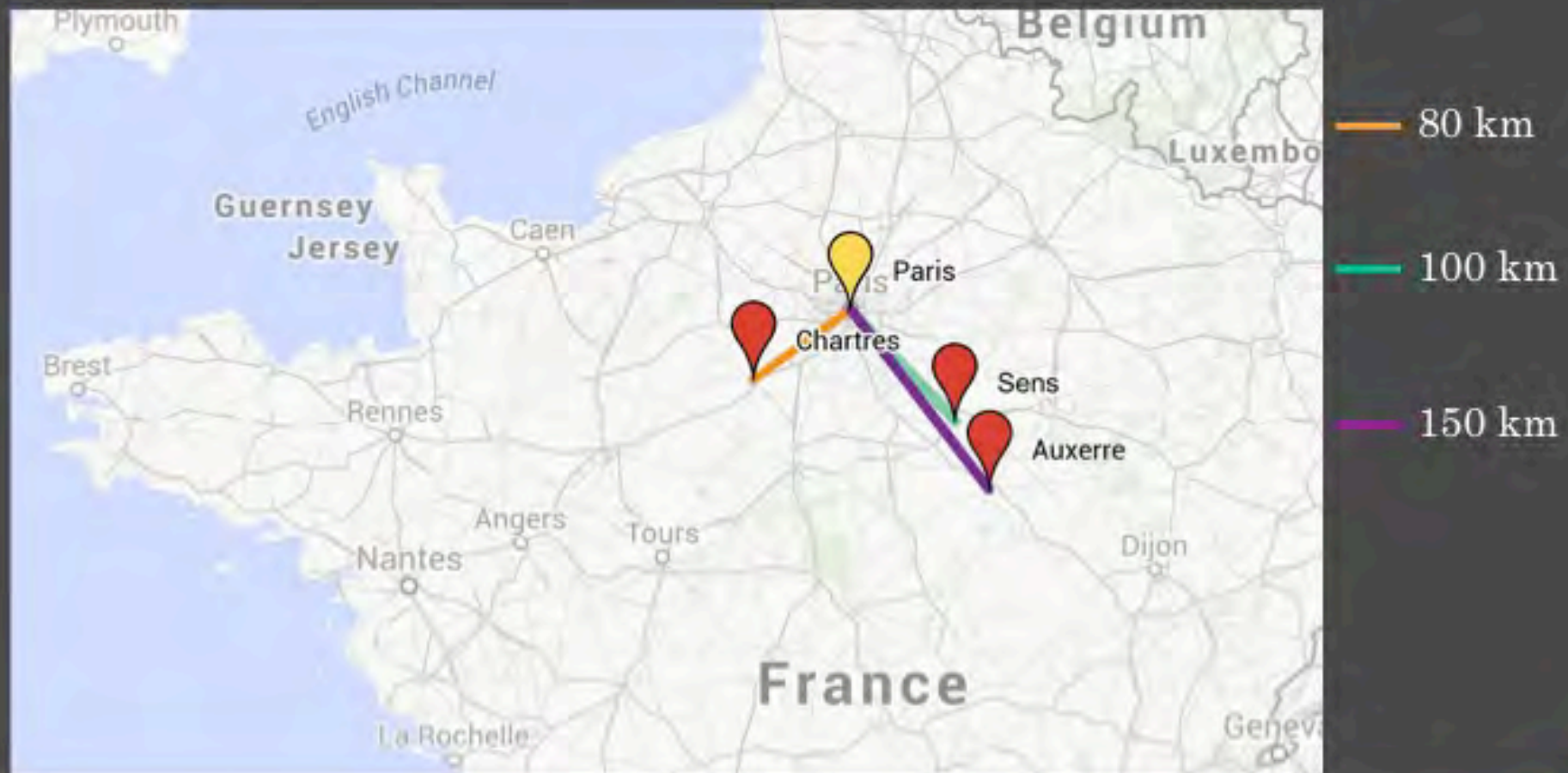


TOUTES LES RESSOURCES SONT EXPLOITÉES



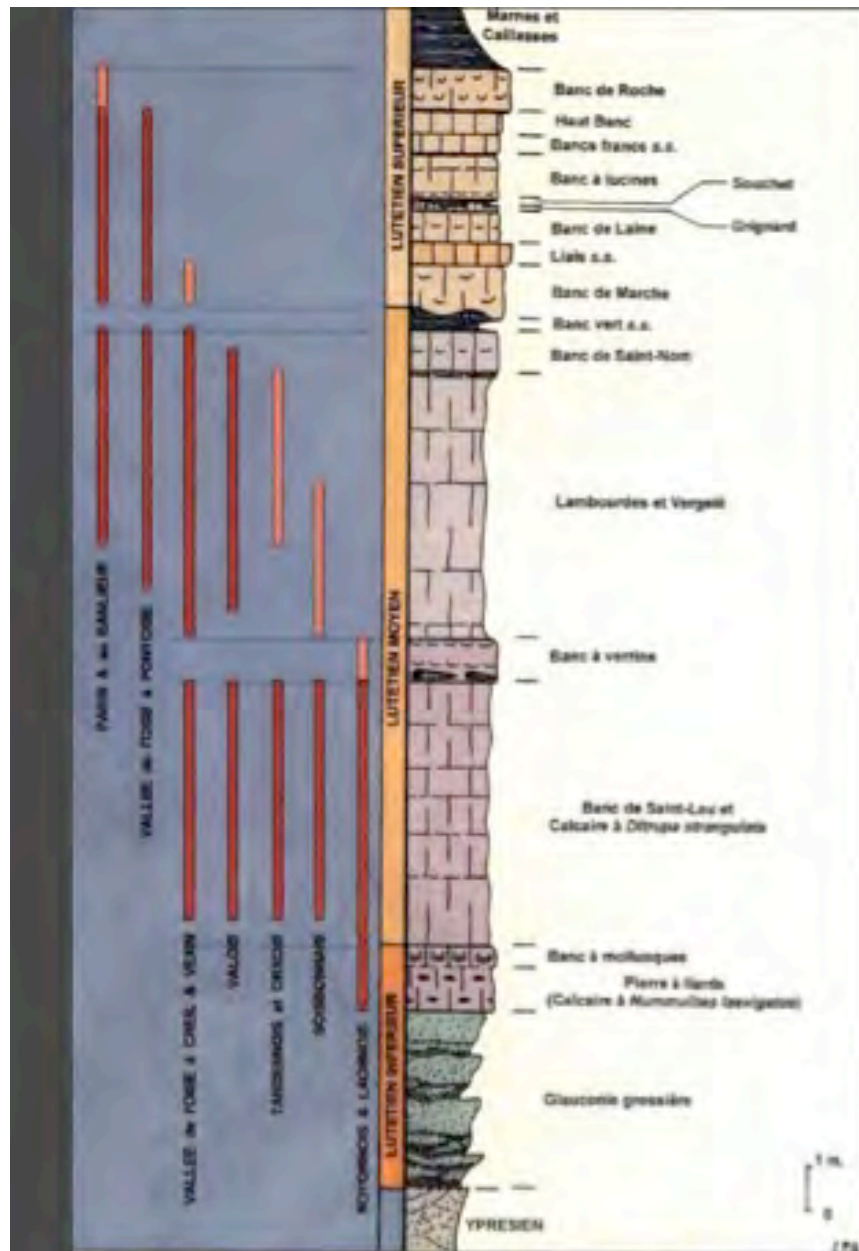
Exploitation de pierres sur la côte bretonne jusqu'au XVIIe siècle

LA PIERRE DE PARIS APPROVISIONNE LES CHANTIERS DE CHARTRES, SENS, AUXERRE AU MOYEN AGE



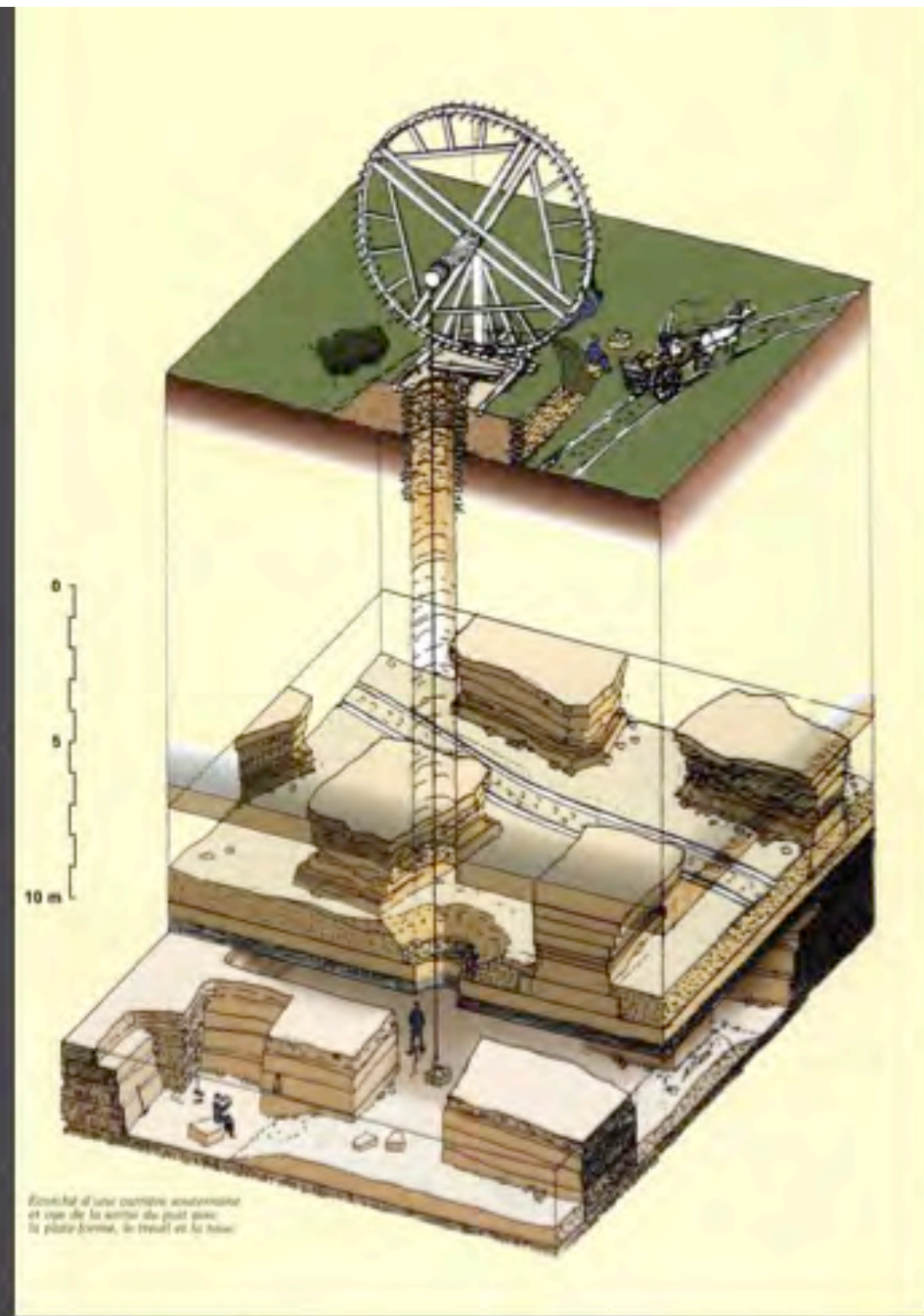
UN MÊME TERRITOIRE ECCLÉSIASTIQUE : L'ARCHIDIOCÈSE DE SENS AU MOYEN-AGE





Position stratigraphique des exploitations de pierre de taille

Log synthétique du Lutétien marin du Bassin Parisien avec les noms actuels des bancs et des faciès



Exemple d'une carrière souterraine et vue de la sortie du puits pour la pierre formée, le moule et la base

D'après Blanc, Gély, Viré (2000)



Chartres



Sens

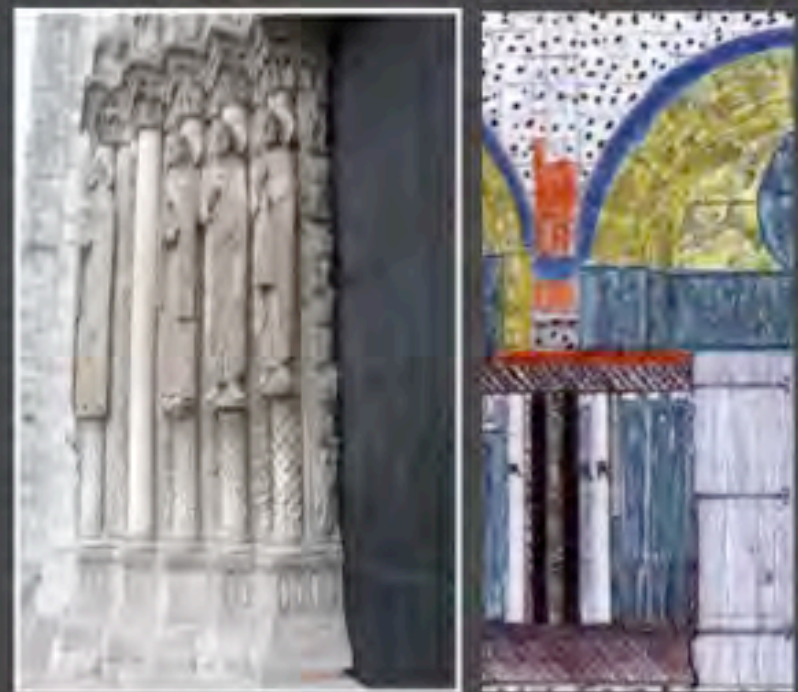


Auxerre

LA CATHÉDRALE DE CHARTRES

CHANGEMENTS DE PARTI

- Au XII^e siècle (façade occidentale):
 - Ensemble de la construction : calcaire lacustre de Beauce : Pierre de Berchères, 8 km
 - Tout le parement des portails : calcaire lutétien (Mantois)
 - Les sculptures : calcaire fin type liais de Paris, posé en délit, 80 km
- Au XIII^e siècle (porches et portails du transept)
 - Porches en pierre de Berchères
 - Sculptures en calcaire de Paris
 - Une partie des voussures sud en craie blanche de Normandie



Calcaires utilisés pour les portails	Calcaires utilisés pour les restaurations
Calcaire de Beauce, pierre de Berchères	Calcaire fin de l'Évêque, du type Saint-Maximin
Calcaire fin liais de type liais de Paris	Calcaire à Chartres, type Saint-Louis (Oise)
Calcaire liais localistique	Calcaire molléque de Paris, type Chartrigny
Calcaire liais coquillier à mollusques	Calcaire fin de Tignes, posé en 1969
Calcaire liais à patine rose et striées	Craie de restauration rose claire



Chartres, cathédrale, porche sud



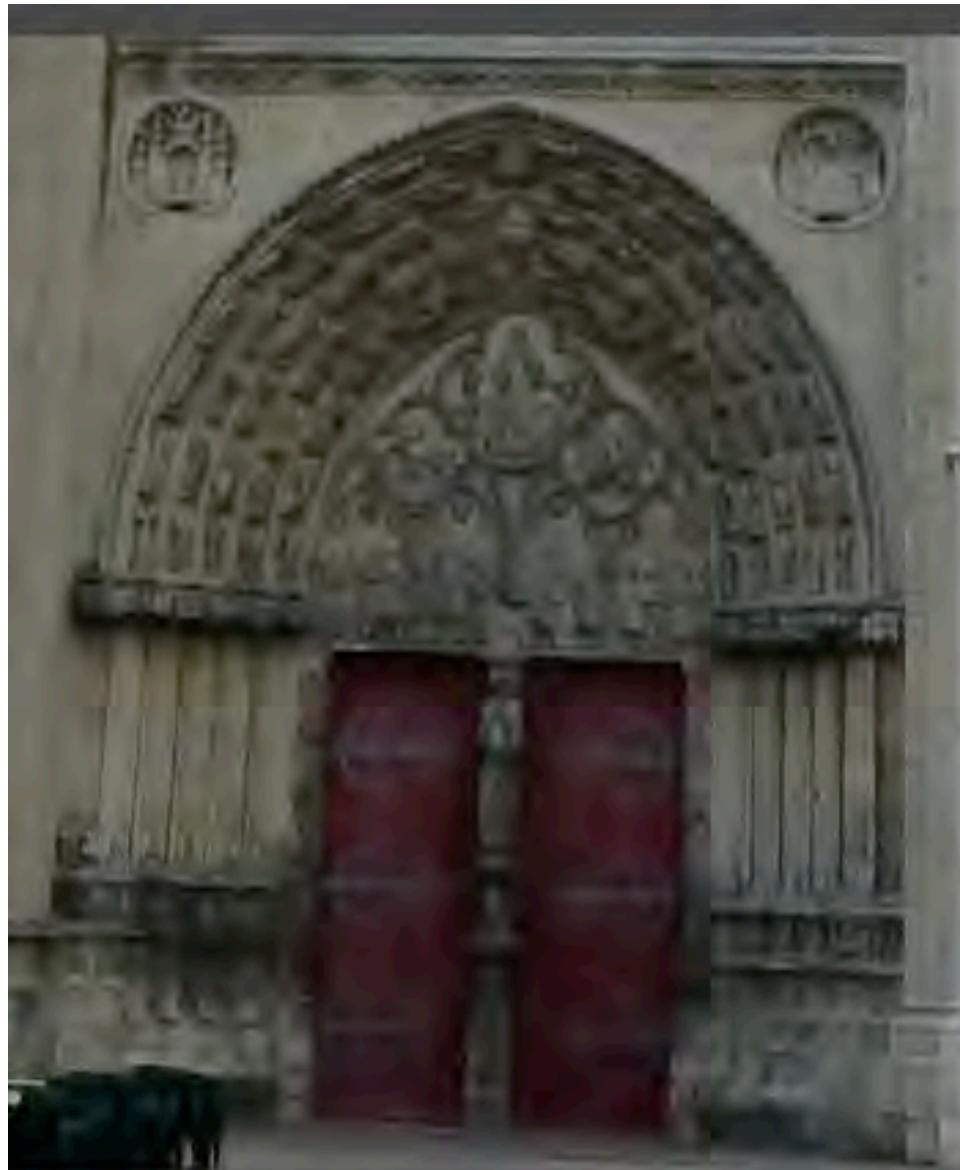
Relevé lithologique Annie Blanc-Lise Leroux - LRMH

LA CATHÉDRALE DE SENS AUX XII^E ET XIII^E SIÈCLE

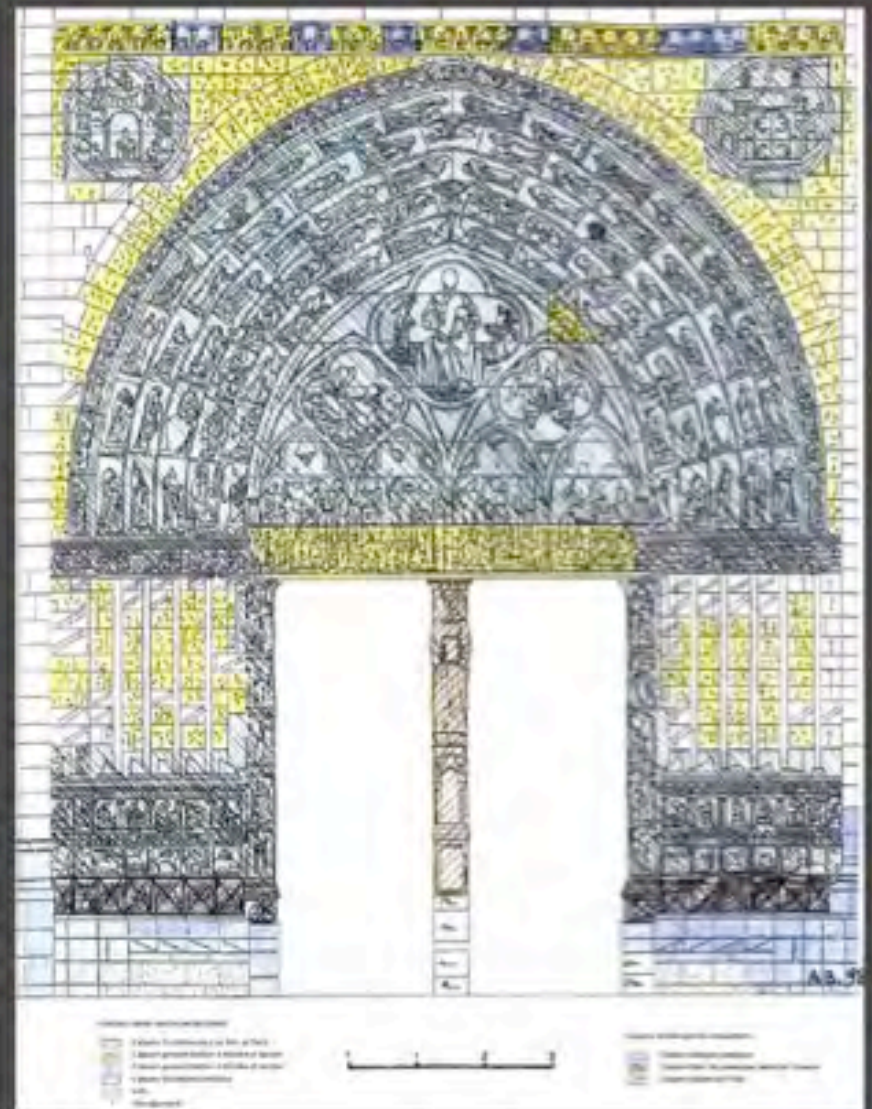
- Pas de carrières de pierre de taille
- Des fournitures variées :
 - Au portail central : large usage du calcaire parisien, même en parement.
 - Au bras nord du transept :
 - Base en craie à silex de Normandie
 - Calcaire à *ditrupa* de l'Oise
 - Un texte de 1341 mentionne des achats de pierre à la carrière d'Ivry par Jean de Varinfroy
 - Transport par bateau et par chariots
 - Le transport double le prix de la fourniture



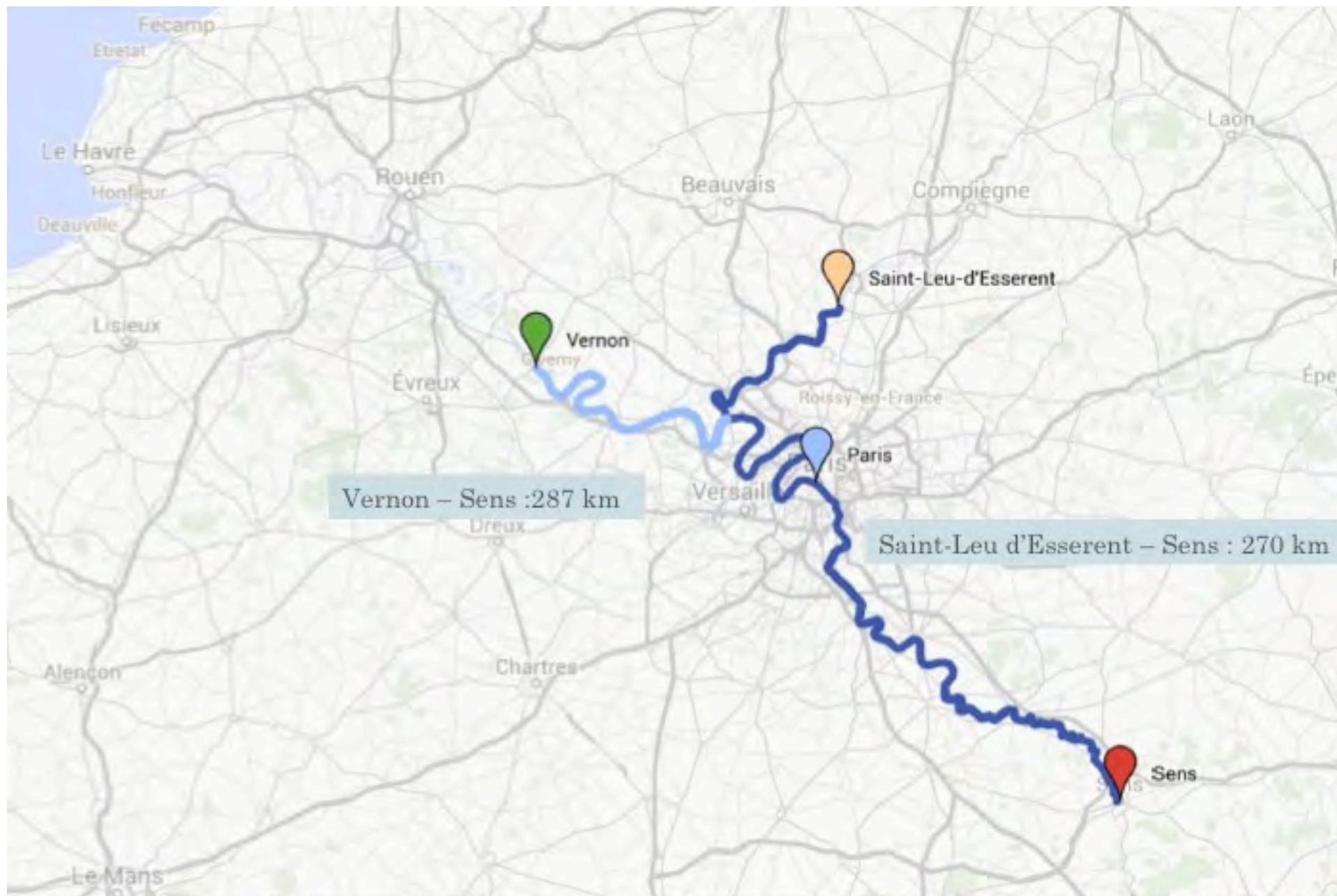
Saint Etienne, monolithe
de 4,50 m, 6 tonnes



Portail occidental, XIIIe siècle

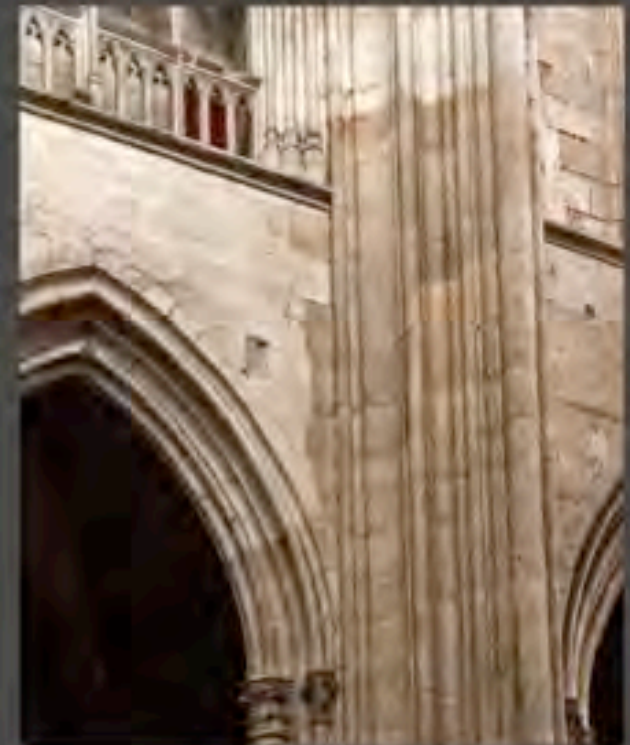


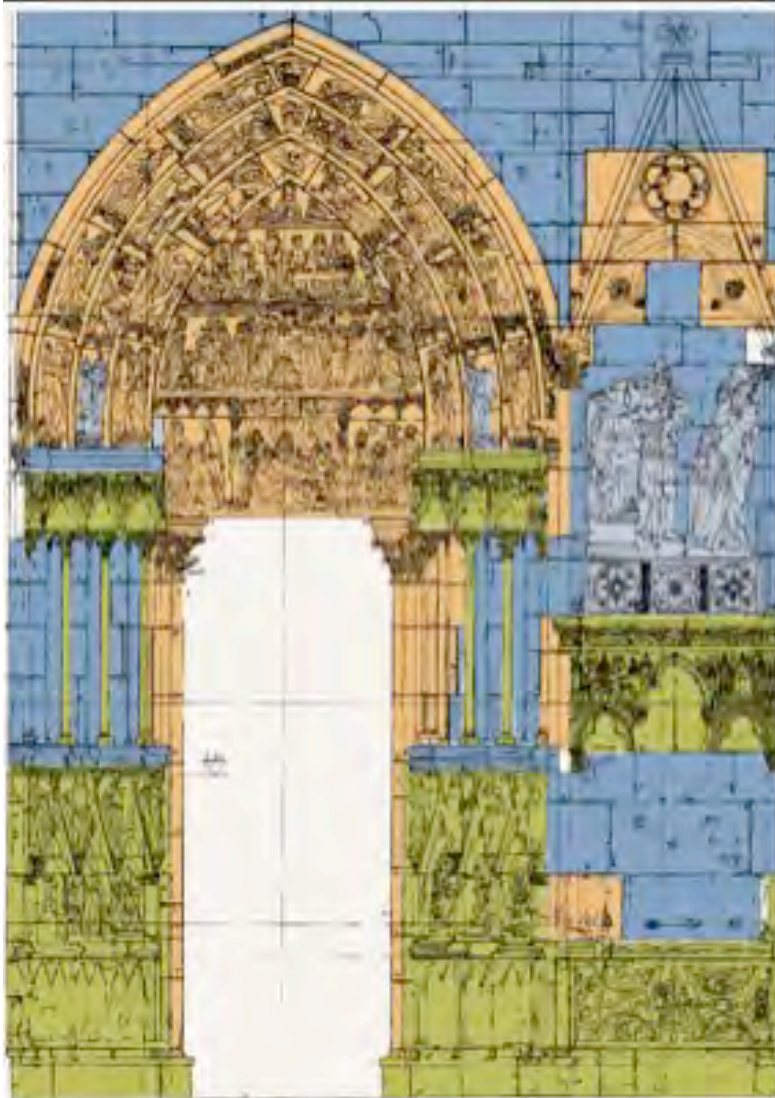
Relevé lithologique Annie Blanc – Lise Leroux - LRMH



LA CATHÉDRALE D'AUXERRE : UN PARADOXE

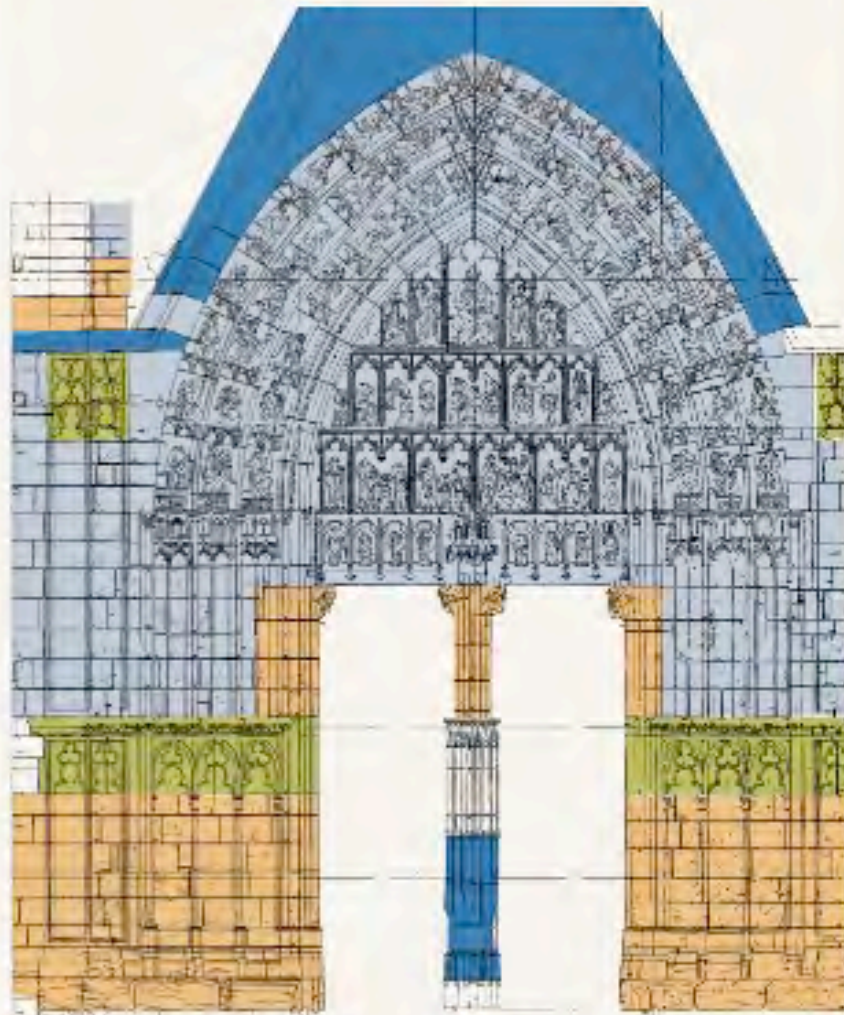
- Des ressources locales variées
 - Calcaires jurassiques supérieurs (Portlandien et Pierre de Tonnerre)
 - Calcaires jurassiques moyens
 - Calcaires du Crétacé
- Un usage privilégié des calcaires parisiens en sculpture
- Une évolution des approvisionnements en fonction de la production des carrières
 - XIIe et XIIIe siècles : les carrières souterraines de Paris produisent beaucoup
 - XIVe , XVe siècles : les carrières locales passent en souterrain et fournissent de grandes quantités





- Calcaire dur et fin, à coquilles (Lutétien - Région parisienne)
- Lias (Lutétien - Région parisienne)
- Calcaire blanc de Tonnerre (Kimmeridgien - Yonne)
- Calcaire à coquilles et entroques (Bejocien - Yonne)

Facade occidentale, portail sud,
XIIIe siècle



- Calcaire dur et fin, à coquilles (Lutétien - Région parisienne)
- Lias (Lutétien - Région parisienne)
- Calcaire blanc de Tonnerre (Kimmeridgien - Yonne)
- Calcaire à coquilles et entroques (Bejocien - Yonne)

Bras sud du transept, XIVe siècle

CONSERVER LE PATRIMOINE BÂTI: UN GESTE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les pierres s'altèrent sous l'effet de l'environnement :

- Conserver au maximum le matériau d'origine
 - Préserver l'authenticité du monument
 - Préserver la ressource
- Retrouver la pierre d'origine
- Ou trouver une pierre compatible
- Rouvrir des carrières anciennes



CONSERVER AVEC DES MATÉRIAUX LOCAUX : LA « LOI SUR LES CARRIÈRES »

L'arrêté du 26 décembre 2006 simplifie les procédures
d'ouverture et d'exploitation de carrières pour:

- la restauration de monuments historiques classés ou inscrits ou édifices en secteur sauvegardé
- lorsque la quantité de matériaux à extraire est inférieure à 100 mètres cubes par an et que la quantité totale d'extraction n'excède pas 500 mètres cubes



Restauration de la cathédrale de Chartres avec de la pierre de Berchères



II – L'ÉCONOMIE DE LA PROXIMITÉ



VITRAUX : LES MATIÈRES PREMIÈRES DU VERRE

Claudine Loisel, LRMH

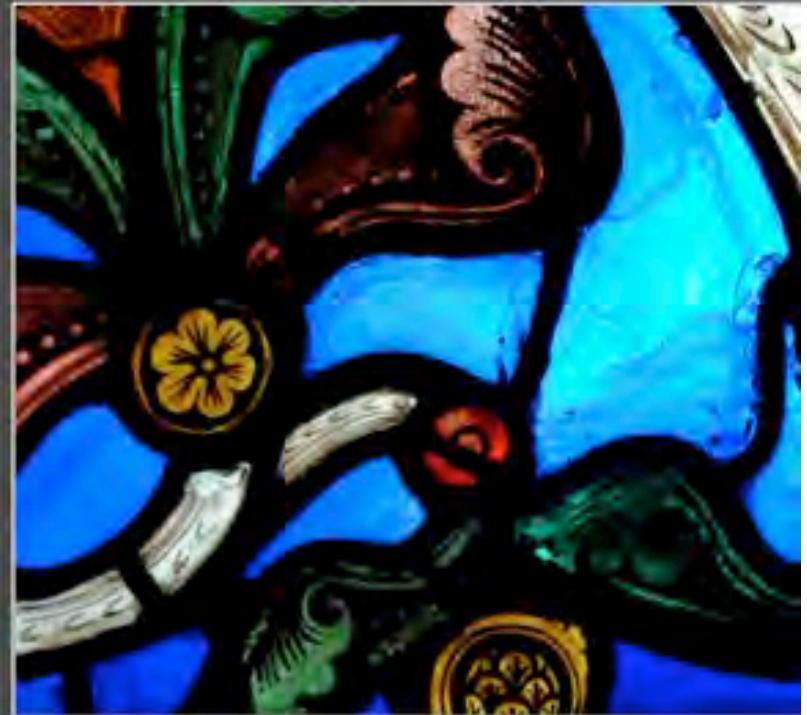
LE VERRE BLEU AU XII^e SIÈCLE : MATIÈRE ET SYMBOLE



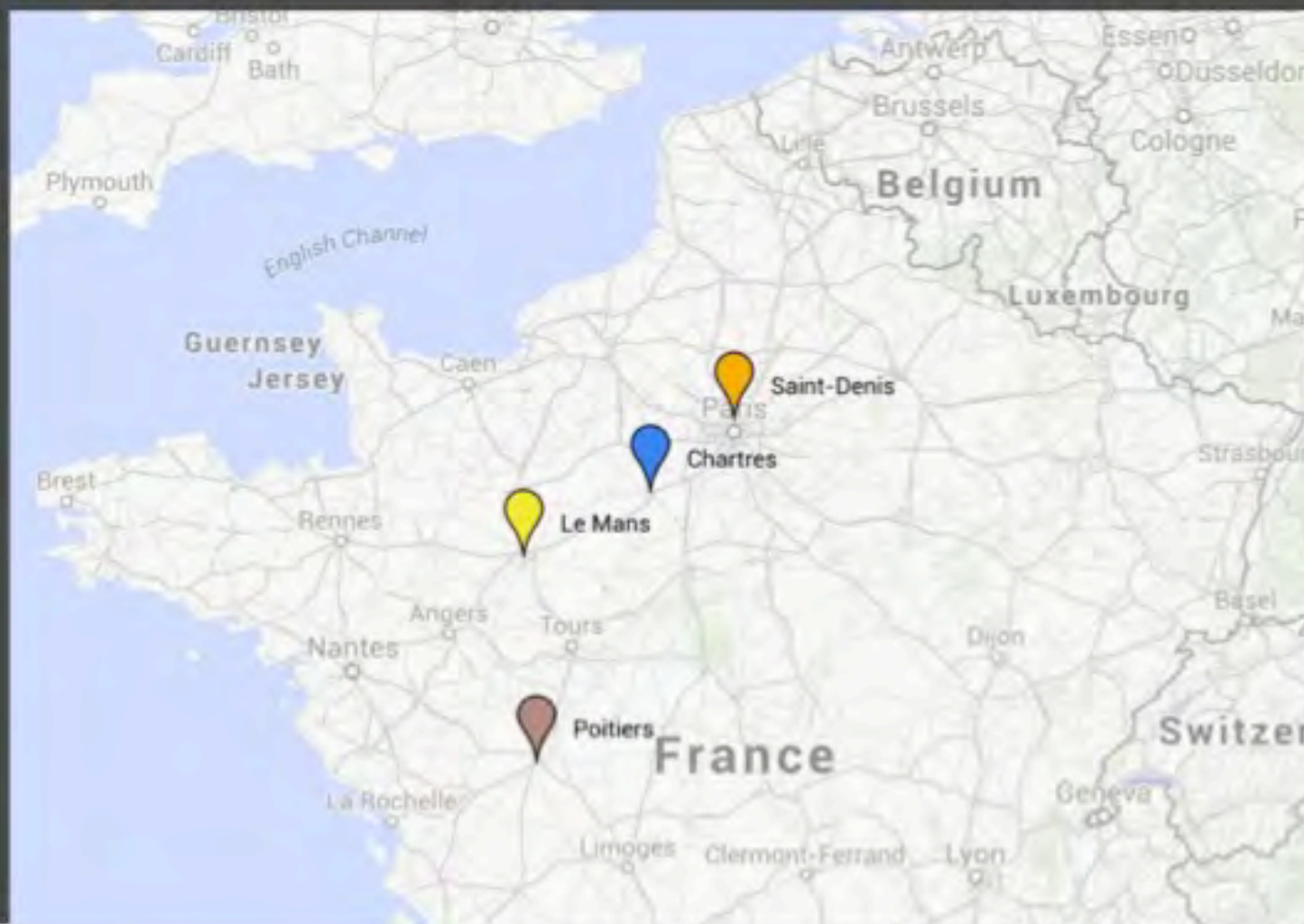
Saint-Denis,
cathédrale, *arbre de
Jessé*, XII^e siècle

LE VERRE BLEU « DE CHARTRES » MYTHE ET RÉALITÉ

- La couleur bleue devient à partir du XIIe siècle la *couleur dominante et privilégiée* dans l'iconographie et la société.
- L'abbé Suger à Saint-Denis parle de *travail merveilleux et d'une grande richesse de verre peint et de la matière de saphir* (verre bleu - verre au cobalt)
- Les verres bleus des vitraux du XIIe siècle en France présentent des compositions analogues et spécifiques : Chartres, Le Mans, Poitiers, Saint-Denis



QUELQUES GRANDS ENSEMBLES DU XII^e SIÈCLE



LES VERRES: LA COMPOSITION

Vitrifiant

(fond de 1700°C à 2000°C)

Sable de silice



Stabilisant

Calcaire



Fondant

(abaisse la T° de fusion à 1050°C)

Sodique

Natron, cendre de végétaux marins

Verres sodiques (stables)



Potassique

Cendre de végétaux terrestres

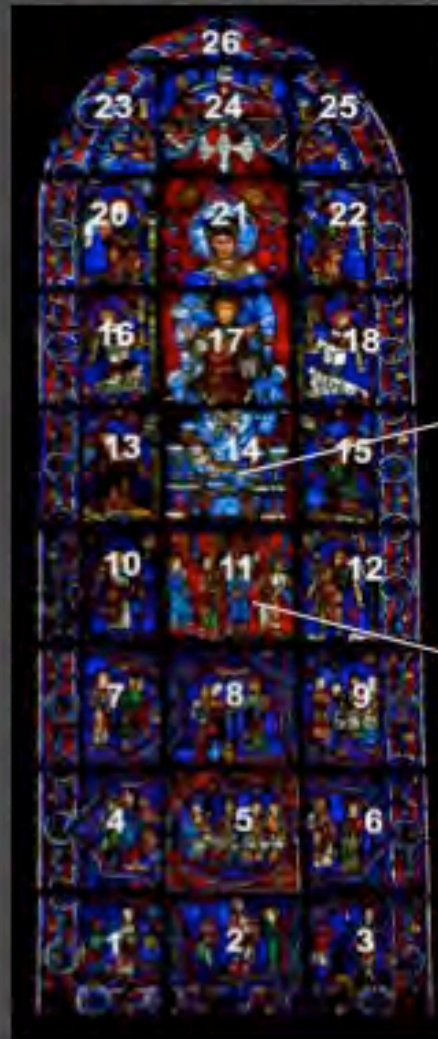
Verres potassiques (verres peu stables)



Manuscrit de
*Sir John's
Mandeville's
travel*, vers
1420)
(Du Pasquier
2005)



LES ÉTUDES DE COMPOSITION DES VERRES PAR DES MÉTHODES NON INVASIVES (PIXE-PIGE)



Chartres,
cathédrale,
Notre-Dame de
la Belle-
Verrière, XIIe
et XIIIe S.



XIIe s.

-Bleu : verre sodique
coloré au Cu + Co

-autres couleurs:
verre potassiques



XIIIe s.

-toutes couleurs:
verres potassiques

-bleu : coloré au Co
+Cu

ORIGINE DES MATIÈRES PREMIÈRES

Le XIIe siècle est une période de transition:

- Usage de matières premières locales (sable, cendres végétales, chaux) pour l'ensemble des verres colorés sauf les bleus
- Importation de verres bleus, de soude ?
- Recyclage de verre creux bleu (Théophile) ?



II – L'ÉCONOMIE DE LA PROXIMITÉ



UNE RESSOURCE LOCALE QUI TRANSFORME LE PAYSAGE CONSTRUIT LES CIMENTS NATURELS AU XIX^E SIÈCLE

Myriam Bouichou, LRMH

UNE RESSOURCE EXPLOITÉE DES LE DÉBUT DU XIX^e SIÈCLE



Louis Vicat

1756 : John Smeaton découvre que les meilleures chaux contiennent de 5 à 20% d'argiles

1802 - Plâtre-ciment de Boulogne sur Mer, ciment à prise rapide fabriquée à partir de la plage de galets de Boulogne

1818 - Publication des travaux de Louis Vicat sur la fabrication artificielle de chaux hydrauliques.

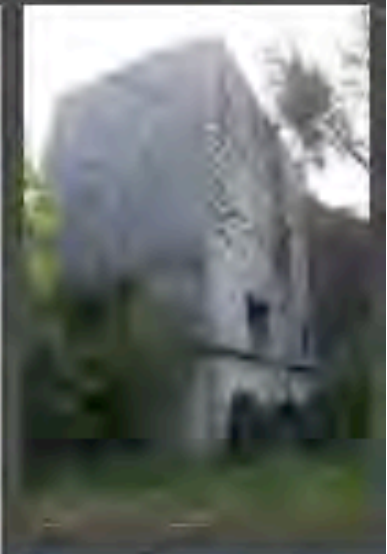
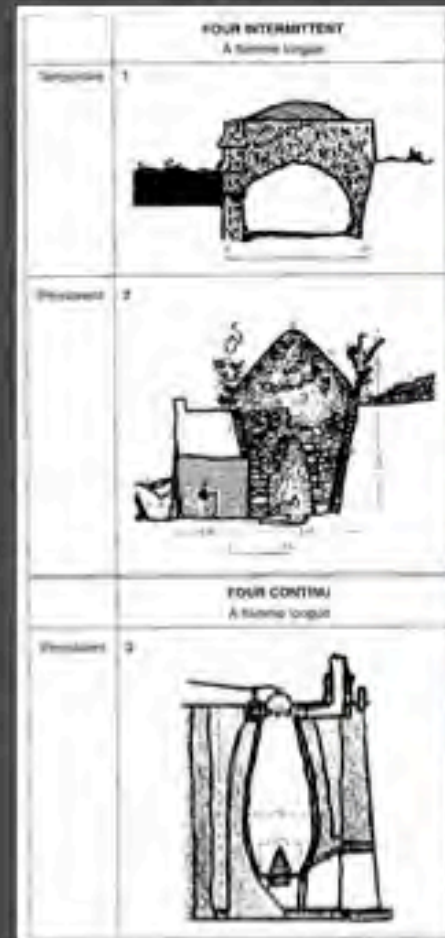
1827 - Fabrication des ciments de Pouilly (ciments naturels à prise rapide) en Saône et Loire par Alexandre Lacordaire.

1842 - Apparition des ciments Prompts de la Porte de France (Grenoble)

1855 - Construction de La Casamaures utilisant le ciment Prompt

CIMENTS NATURELS ?

- Issus de l'extraction d'une seule pierre de carrière, un calcaire argileux (22 à 24% d'argile)
- Cuisson à faible température dans des fours verticaux pour obtenir du clinker
- Une couleur variant du beige à l'ocre rouge
- Différentes prises et appellations : très rapide, prompt, demi-prompt, demi-lent, lent...
- Facile à mouler, durable



RESSOURCES LOCALES

Blanchard, 1929



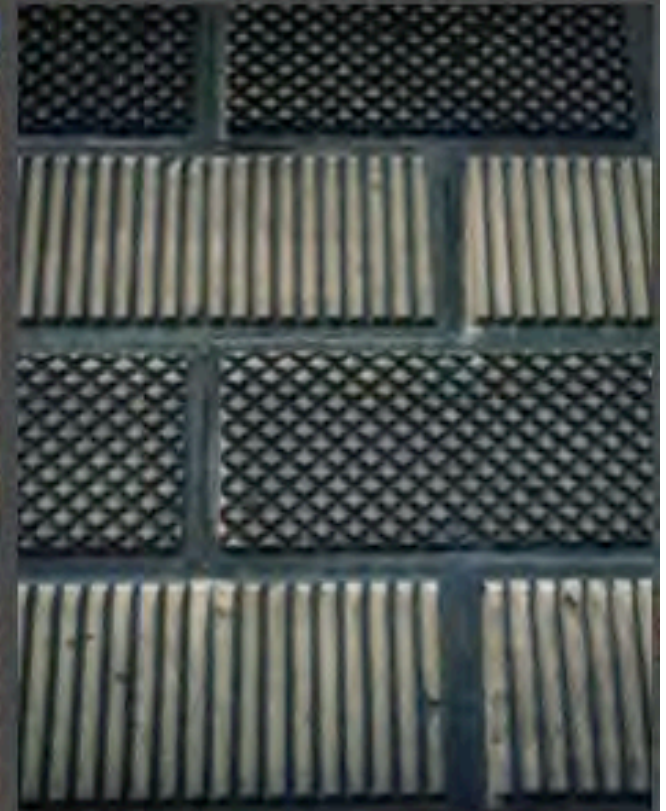
APPLICATIONS : PIERRES FACTICES



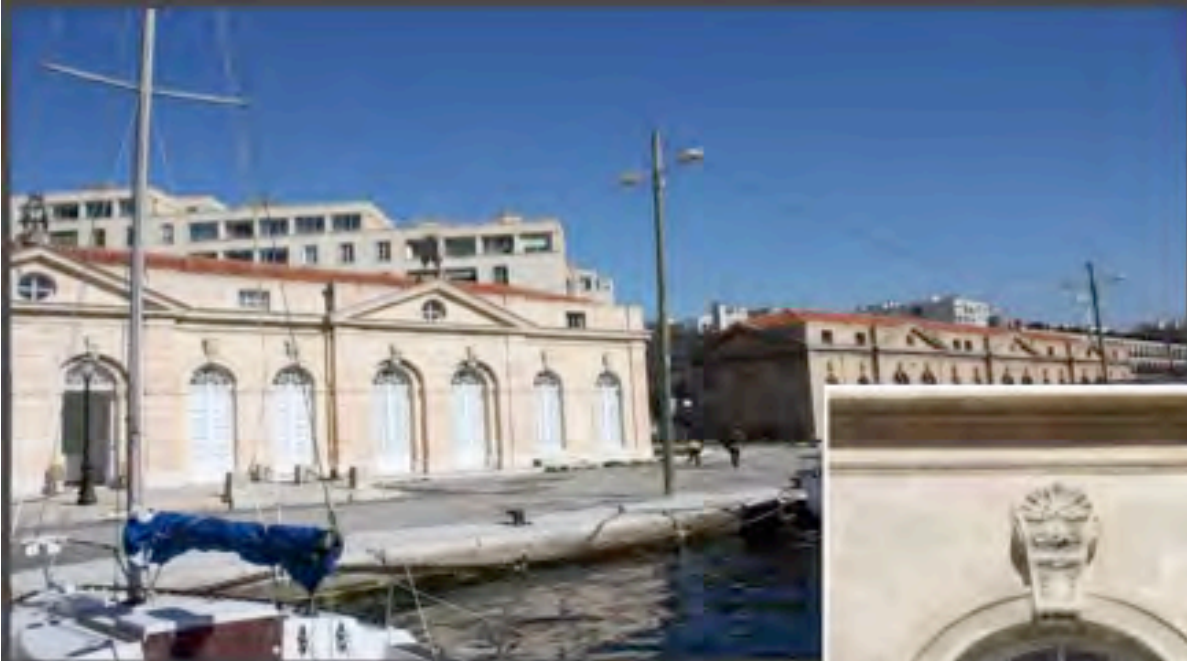
La Casamaures, Saint-
Martin-le-Vinoux



Église de Saint-Bruno, Grenoble



UNE ÉCONOMIE DE MOYENS



Bâtiments de la consigne sanitaire,
1858, Vieux-Port, Marseille (PACA)



UN MATÉRIAU PLASTIQUE ET ECONOMIQUE POUR LA RESTAURATION DE SCULPTURES



Cathédrale d'Angers



Cathédrale de Troyes

CONCLUSION

L'étude archéométrique des matériaux du patrimoine permet de mettre en évidence :

- des provenances, des routes commerciales parfois insoupçonnées,
- des approvisionnements variés suivant les époques en fonction de deux logiques différentes qui peuvent coexister :
 - Le choix de la qualité en dépit de distances importantes à parcourir et d'un coût élevé : qualité et richesse du commanditaire
 - Le choix de la proximité permettant de meilleures conditions économiques : production de série, usages plus modestes.

REMERCIEMENTS

- **Thomas Calligaro**, ingénieur de recherche, Centre de recherche et de restauration des musées de France
- **Myriam Bouichou**, ingénieur de recherche, Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH)
- **Lise Leroux**, ingénieur de recherche, (LRMH)
- **Claudine Loisel**, ingénieur de recherche (LRMH)
- **Elise Leboucher**, responsable du centre de documentation du LRMH

