

# Remploi et recyclage des métaux ferreux dans la construction gothique

Maxime L'Héritier\*, Philippe Dillmann\*\*

\* Université Paris 8, HPSS, EA 1571 Histoire des Pouvoirs, Savoirs et Sociétés

\*\* Laboratoire Archéomatériaux et Prédiction de l'Altération UMR5060 IRAMAT CNRS  
et UMR3685 NIMBE CEA/CNRS

# Récupération et recyclage : quelles évidences ?

De rares évidences morphologiques (objets)



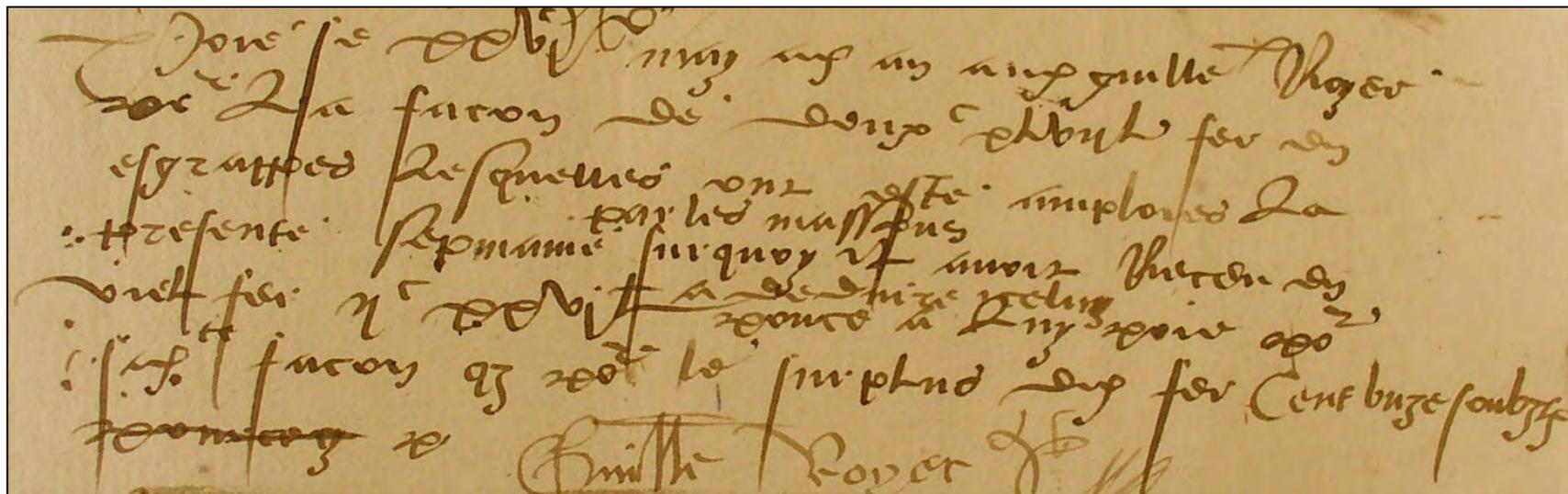
Agrafe de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes  
(XVIe s.)

**Fréquence ? Economie ? (approche diachronique)**

# 1. L'apport des sources comptables

Comptes de fabrique d'églises (Rouen, Troyes ; XIVe-XVIe s.)

- Quantités des matières récupérées
- Circuit de la récupération
- Economies engendrées



# 1. L'apport des sources comptables

Réfection des baies hautes de la cathédrale de Rouen (XVe s.)

- Chœur (1430-1433)

 – 5 *parva forma*

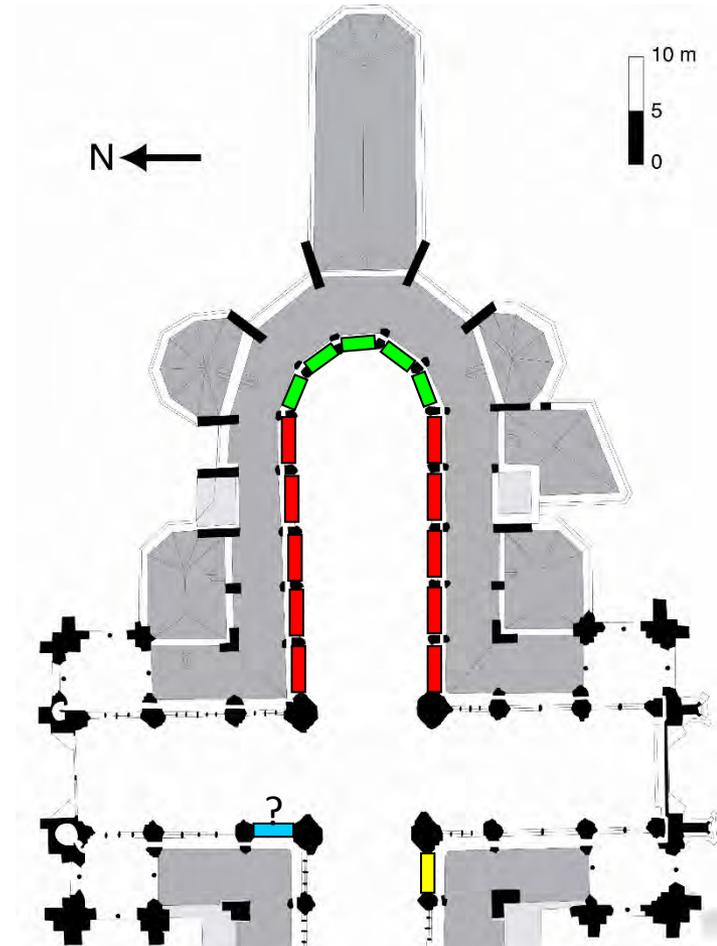
 – 10 *magna forma*

- Nef (1434-1435)

 – 1<sup>ère</sup> forme de la nef

- Transept (1484-1485)

 – 1 forme du transept





# 1. L'apport des sources comptables

Fenêtre du chœur	<i>Ferro novo</i>	<i>Ferro antico</i>
1 <sup>a</sup> <i>parva forma</i>	161,75 lb.	504 lb.
2 <sup>a</sup> <i>parva forma</i>	159 lb.	
3 <sup>a</sup> <i>parva forma</i>	159 lb.	
4 <sup>a</sup> <i>parva forma</i>	225 lb.	164 lb.
5 <sup>a</sup> <i>parva forma</i>	228 lb.	162 lb.
1 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	379,5 lb.	337 lb.
2 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	378,5 lb.	332 lb.
3 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	379,5 lb.	337 lb.
4 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	383 lb.	334 lb.
5 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	385,5 lb.	335 lb.
6 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	385 lb.	333 lb.
7 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	411,5 lb.	336 lb.
8 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	386 lb.	331 lb.
9 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	406 lb.	324 lb.
10 <sup>a</sup> <i>magna forma</i>	406 lb.	324 lb.
<b>Total</b>	<b>4833,25 lb.</b>	<b>4153 lb.</b>

## Prix du fer

**Fer neuf ouvré : 13 d.t. la livre**

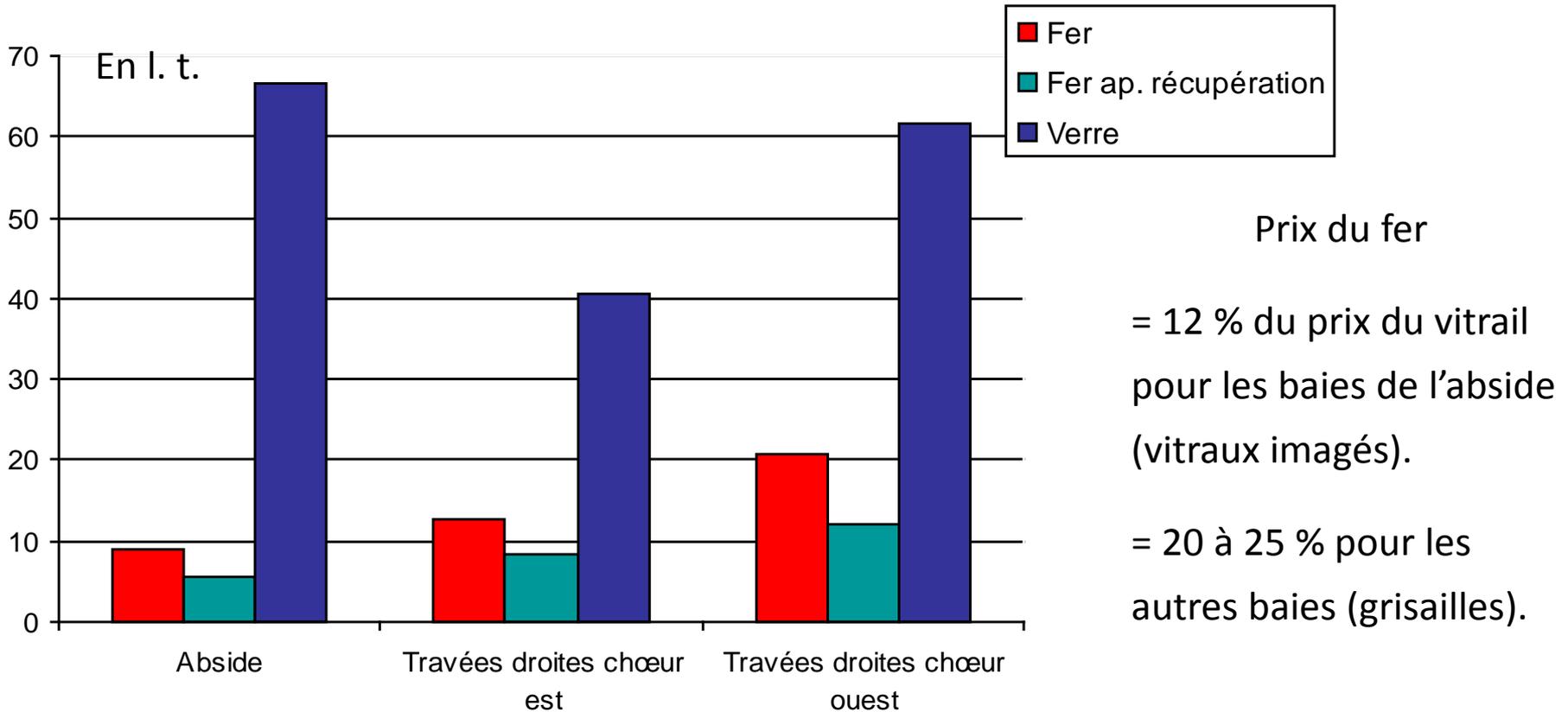
**Fer ancien : 6 d.t. la livre puis 5 d.t. la livre.**



**40-45 % d'économie**

**≈ 2 tonnes récupérées en 4 ans**

# 1. L'apport des sources comptables



- Plus de *ferro novo* que de *ferro antico* dans ces verrières  
=> réduction du coût des fers de 30 à 40%
- Réduction de 7,5 % du coût total des vitraux du chœur

Une récupération omniprésente pour la construction et l'entretien des verrières

# 1. L'apport des sources comptables

➤ Remploi des barlotières lors de la suppression de châssis de bois

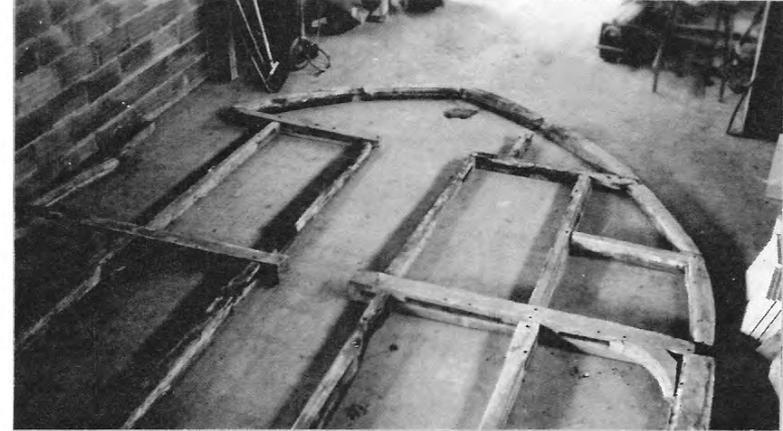
➤ Cathédrale de Chartres, verrière de Saint-Lubin, compte de 1415-1416 :

- Verrière assise en bois.
- Allongement de 21 barreaux de la verrière en ajoutant en chaque bout 2 livres de fer (soudure).

➔ allongement d'environ 10 cm par côté

➤ Cathédrale de Poitiers, verrière de la Crucifixion (fin XIIe), comptes du 21 novembre 1777 :

- allongement de 8 barres transversales par soudure.
- Coupement et réajustement de 19 autres barres avec soudures éventuelles.



Châssis de bois découverts dans l'église Saint-Pantaléon de Troyes, clichés. S. Morisseau.

# 1. L'apport des sources comptables

Serrurier Jean de Hérupi (cathédrale de Rouen, 1487-1488)

Reçoit 612 lb. de « vieille feraille » à 25 sous le cent. (3 d. la livre)

=> **Économie de 33 %** par rapport au fer neuf (8-9 d. la livre)

Serrurier Guillaume Royer (église Saint Jean de Troyes, 1548-1549)

Reçoit 226 lb. de « viel fer à deduire » pour 247 lb. de fer en agrafes

=> **Economie de 30 %** par rapport au fer neuf (8 d. la livre)

Serrurier Jaquinot L'avocat (cathédrale de Troyes, 1432-1433)

*A ly [Jaquenot L'Advocat] pour l iour de ly et son varlet à **despecier II grosses chaesnes de fer** qu'avoit données à l'euvre Huet Lesguisé, pour ledit jour, V s. X d. (environ 1 d. la livre)*

*Item a ly pour avoir **forgé et fais du fer desdites chaesnes** (10 d. la l.)*

=> **Économie de 27 %** par rapport au fer neuf (15 d. la livre)

# 1. L'apport des sources comptables

Année	Bâtiment	Prix du vieux fer A	Prix du fer brut neuf B	Prix du fer ouvré neuf C	Eco- nomie A/C
<b>1429-31</b>	Cathédrale de Rouen	6 d. t.		13 d. t.	46 %
<b>1431-35</b>	Cathédrale de Rouen	5 d. t.		13 d. t.	38 %
<b>1432-33</b>	Cathédrale de Troyes	?	5,4 à 6 d. t.	11-15 d. t.	?
<b>1487-88</b>	Cathédrale de Rouen	3 d. t.		9 d. t.	33 %
<b>1491-92</b>	Cathédrale de Troyes	≈ 2,5 d. t.	3 d. t.	8 d. t.	32 %
<b>1505-06</b>	Cathédrale de Troyes	3 d. t.	3 à 3,6 d. t.	6-7 d. t. / 10 d.t.	25-50 %
<b>1507-08</b>	Cathédrale de Troyes	2 d. t.	3 à 3,6 d. t.	6-7 d. t. / 12 d. t.	12-33 %
<b>1508-09</b>	Cathédrale de Rouen	3 d. t.		8-9 d. t.	33-38 %
<b>1511-12</b>	Cathédrale de Rouen	3 d. t.		9 d. t.	33 %
<b>1548-49</b>	Saint-Jean de Troyes	?	6,5 à 7,2 d.t.	12-15 d. t.	≈ 60 %
<b>Fin XVIIe - XVIIIe s.</b>	Inventaires du Kent (Woodward)	1 d.	2,1-3 d.		

# 1. L'apport des sources comptables

- Vieux fer légèrement inférieur au prix du fer non ouvré
- Economie de l'ordre de 30 à 45 % par rapport au fer neuf
- Le forgeron intervient toujours dans la séquence du recyclage, même si les vieux fers peuvent être stockés par la fabrique.
- Une qualité moindre du vieux fer ?

## Comptes de la cathédrale de Troyes (1509-1510)

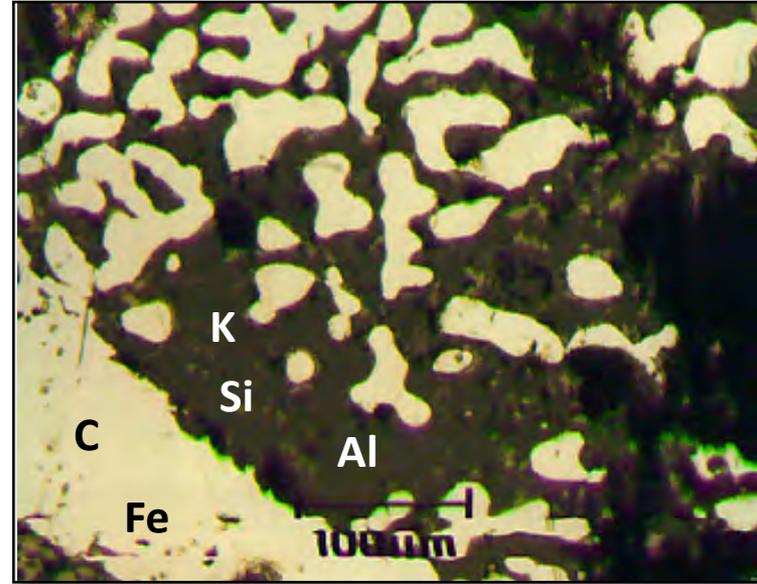
*Item (...) lesdictz lians et esquiarre sont de fer prins cheux Paillot comme apperra par ses parties, **pour ce que le viel fer n'y eust rien valu.***

*Item pour avoir fait le pivot, pailley et virolle de ladicte grue nouvellement ediffiée du fer dudit Paillot **pour ce que le viel fer n'y eust pas esté seur....*** Arch. dép. Aube, G 1579, fol. 107 v°

# 2. Lire le recyclage dans la matière

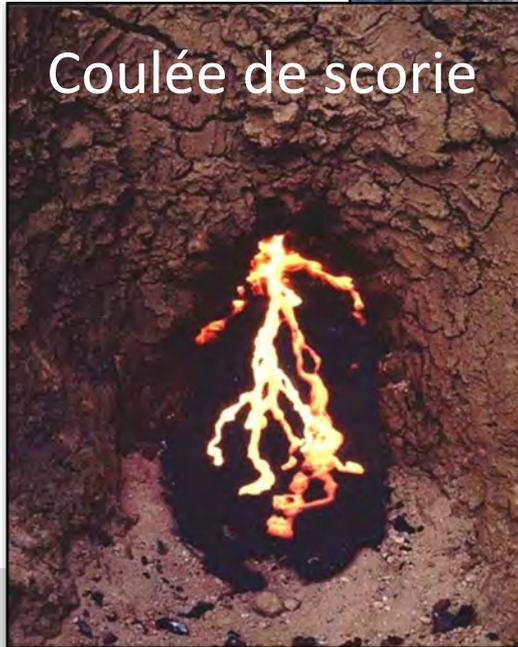
Minerai

FeO  
SiO<sub>2</sub>  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
K<sub>2</sub>O  
CaO...



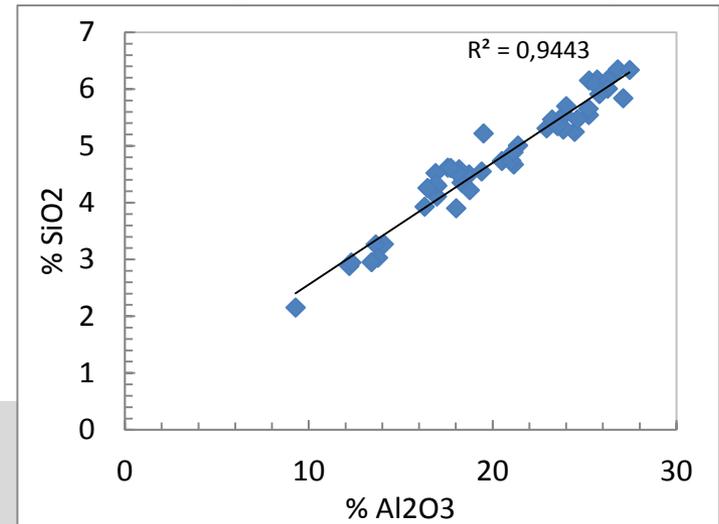
Matrice de fer + inclusion de scories

Coulée de scorie

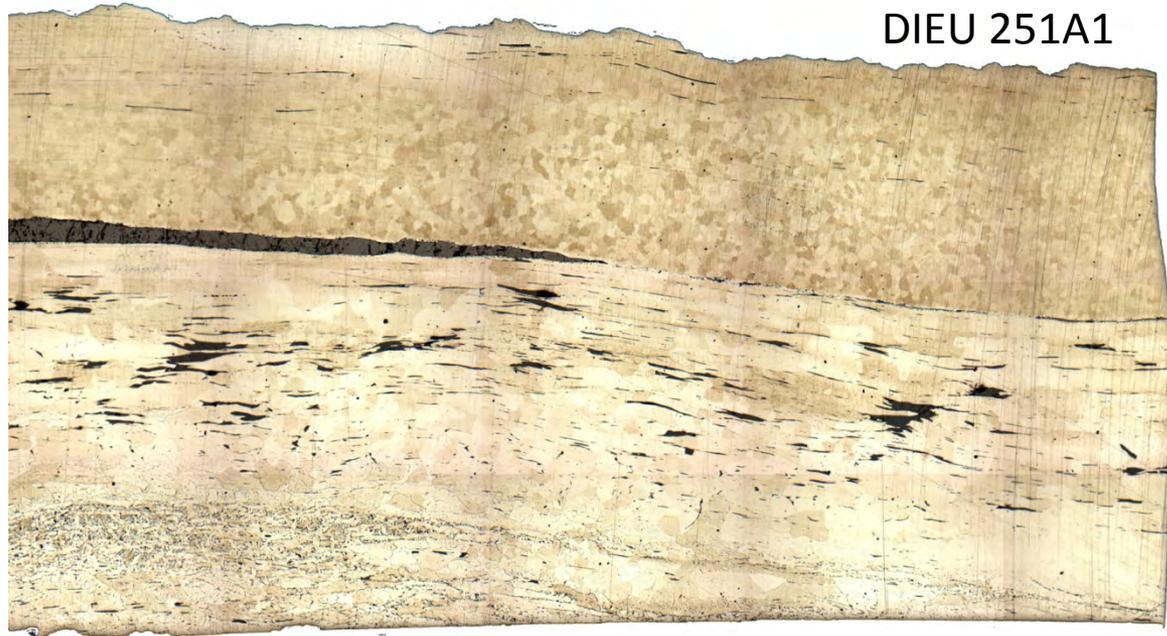


Les inclusions portent la signature chimique de l'atelier :

- Minerai
- Charbon
- Parois du four
- Ajouts

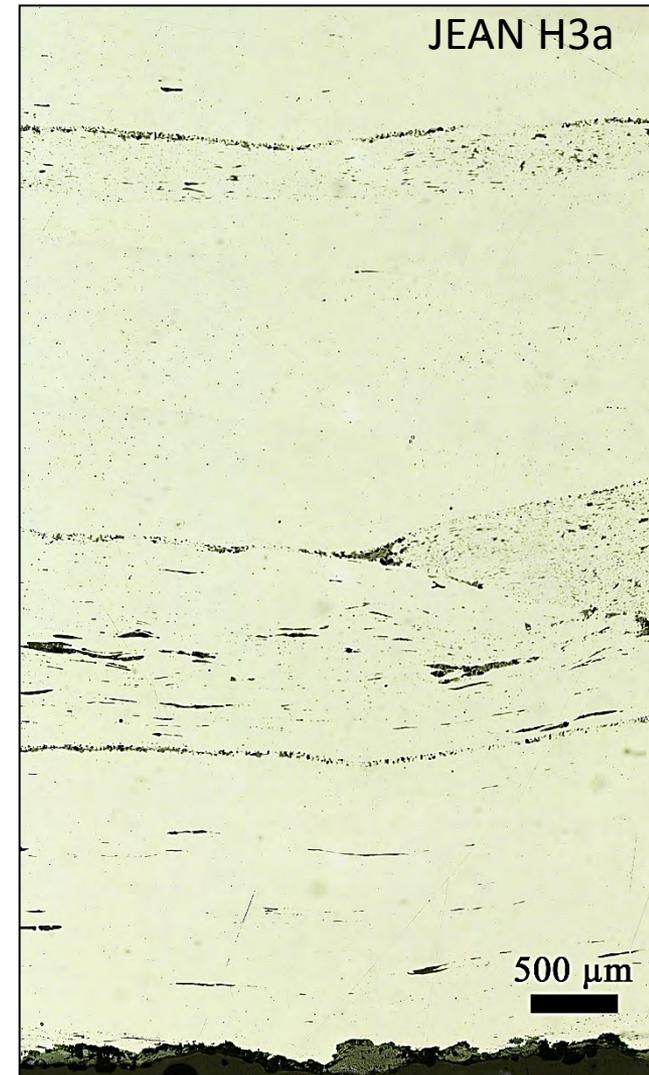
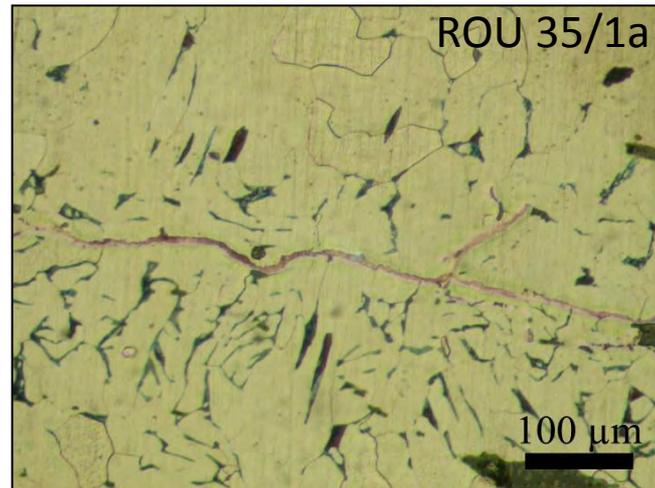


## 2. Lire le recyclage dans la matière



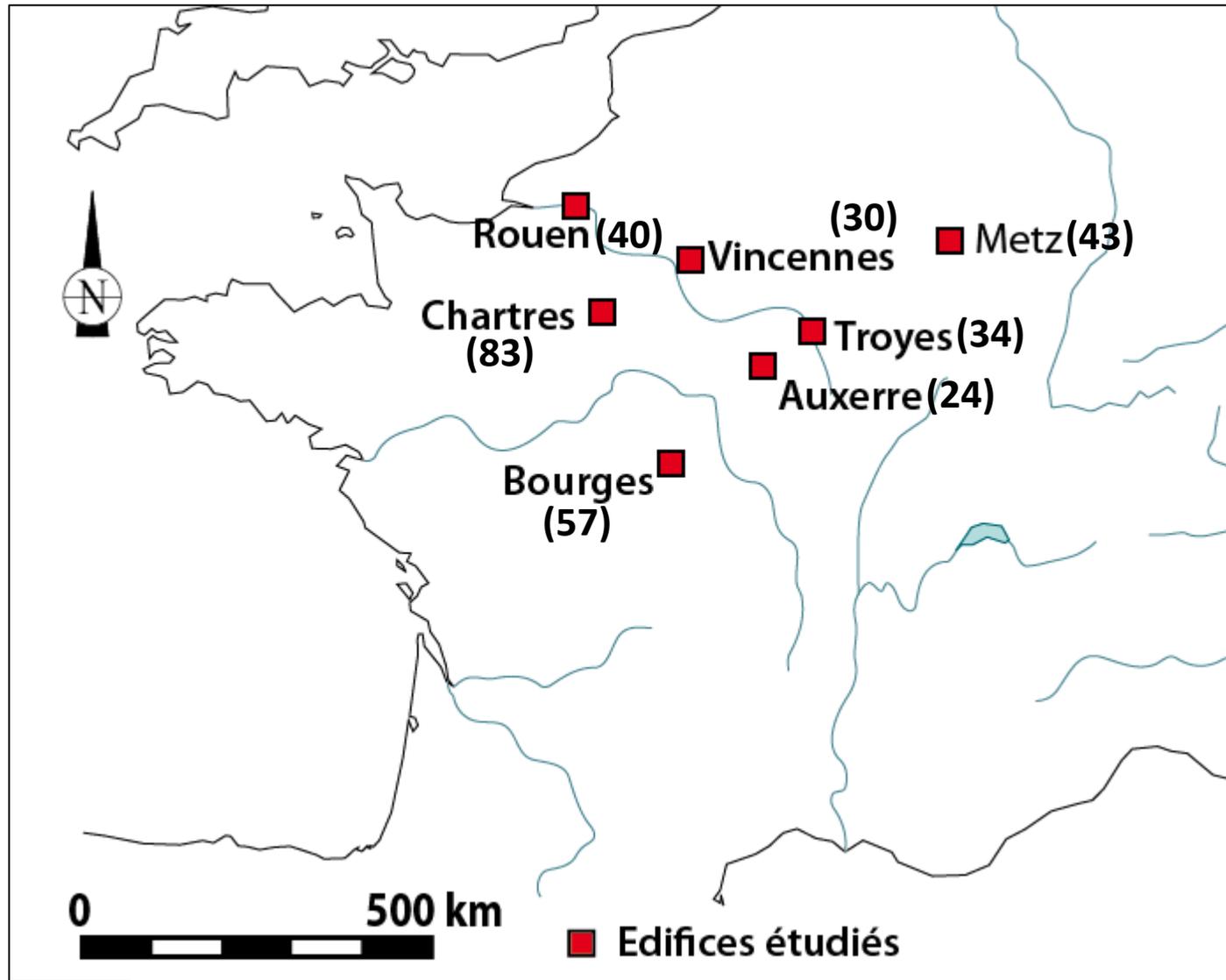
5 mm

Lignes  
de  
soudure





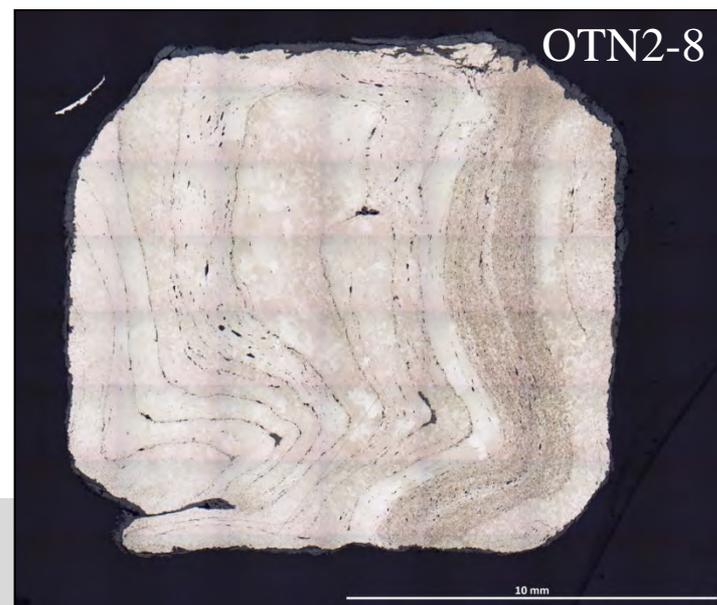
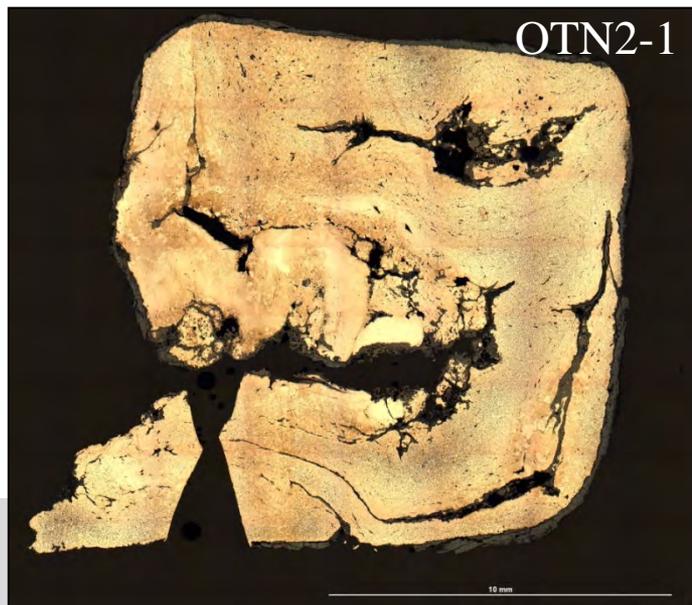
### 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux



Analyse de plus de 300 armatures de fer (XIIIe-XVIe s.)

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux

- Identification de 10 à 30 % de fers issus du corroyage de fers d'origines distinctes
- Proportion de corroyage variable selon les dimensions :
  - Chartres (goujons, tenons de moins de 200 g) : 30 %
  - Metz (barres de 1-5 kg) : < 10 %
  - Bourges (barres de 3-8 kg) : 10-15 %



Chartres  
Tenons « roulés »  
Corroyage de  
vieilles ferailles

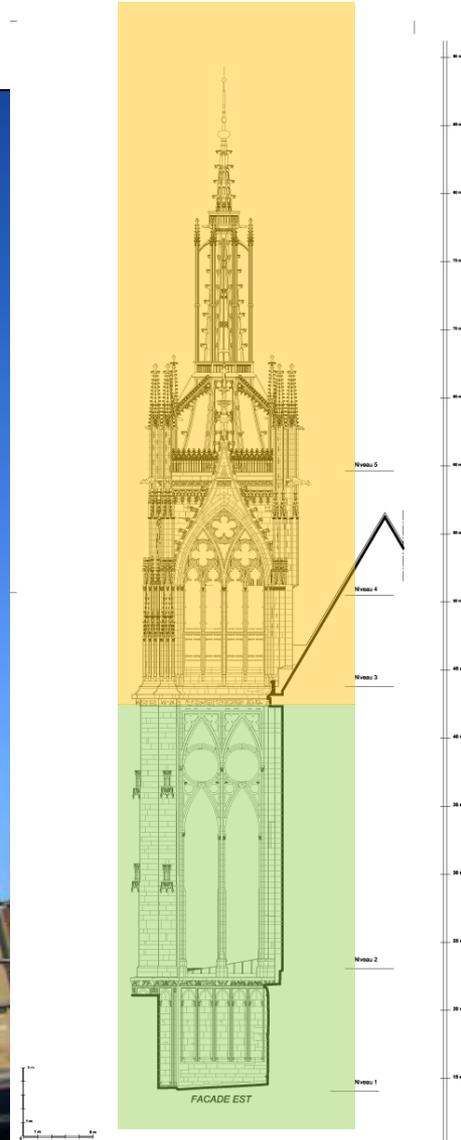
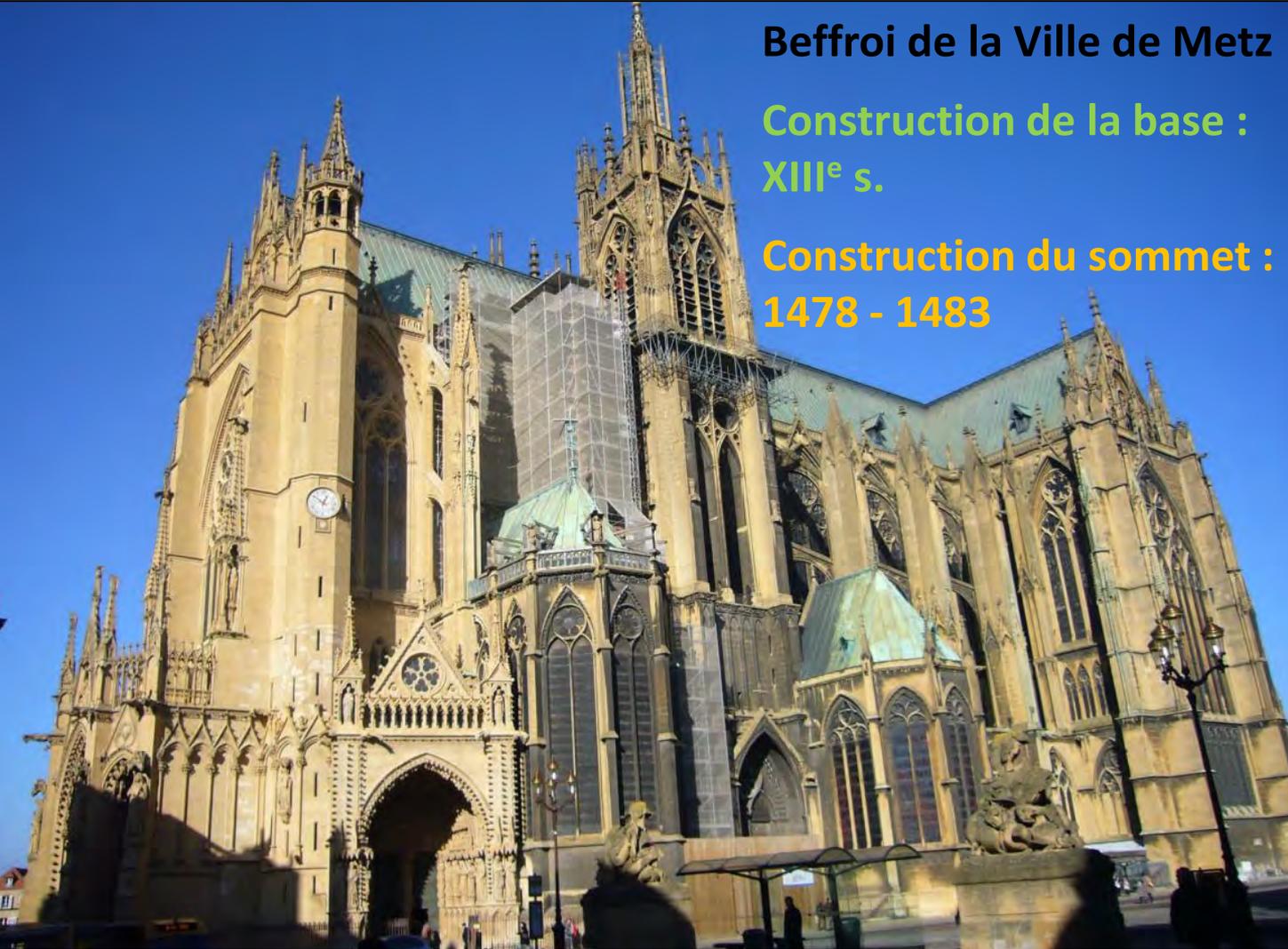
# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux

## La tour de Mutte de la Cathédrale de Metz

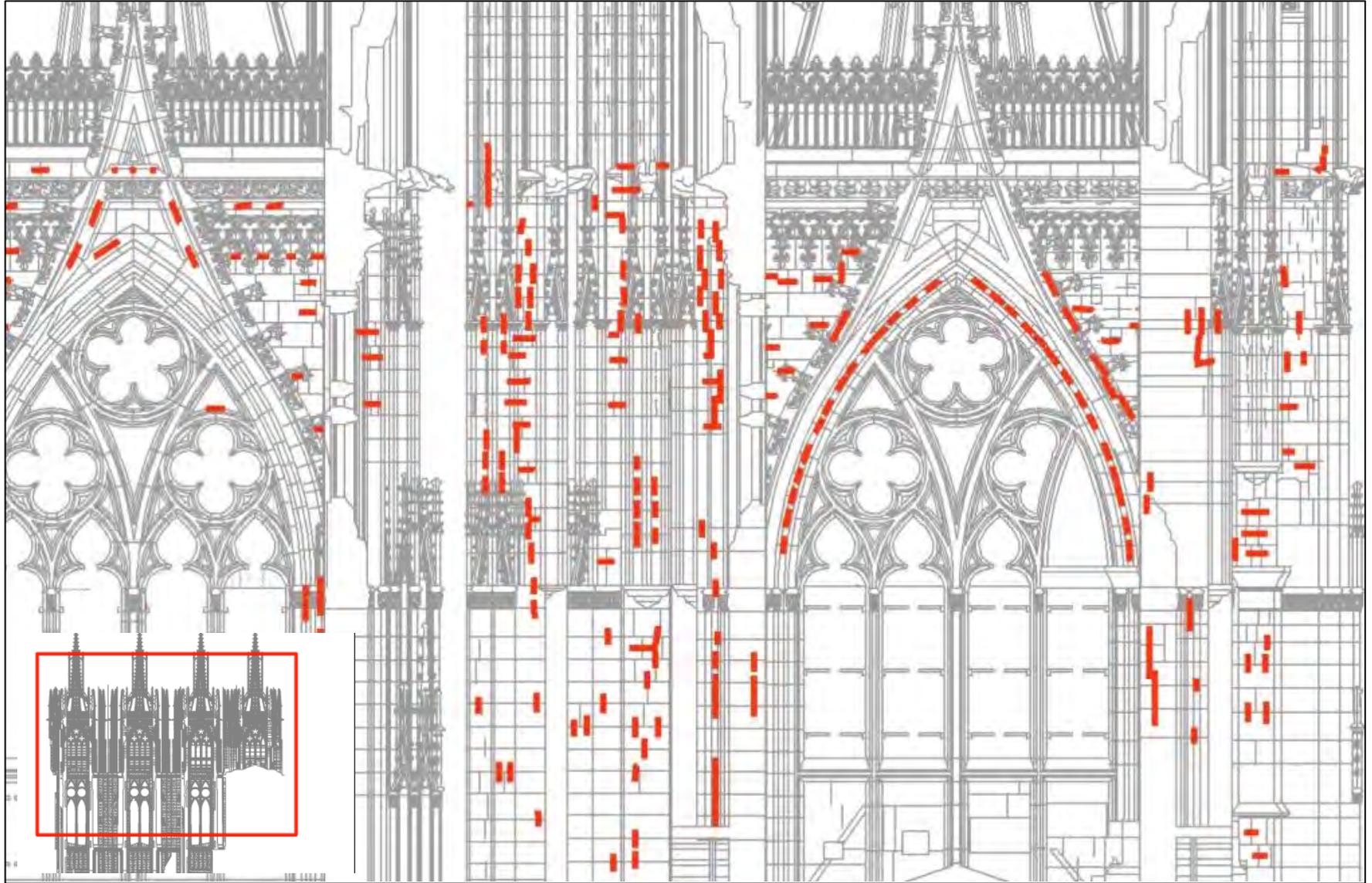
Beffroi de la Ville de Metz

Construction de la base :  
XIII<sup>e</sup> s.

Construction du sommet :  
1478 - 1483

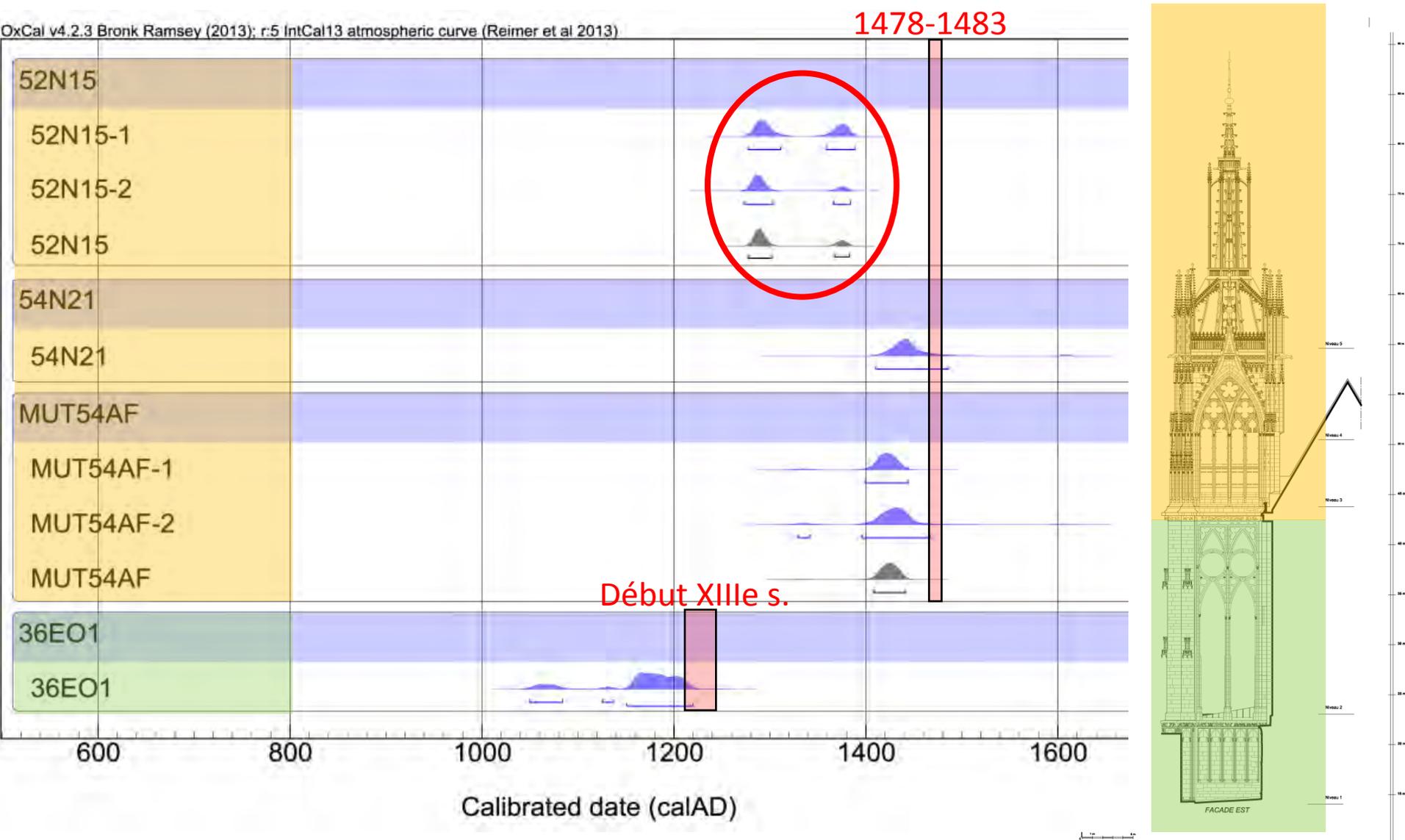


# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux



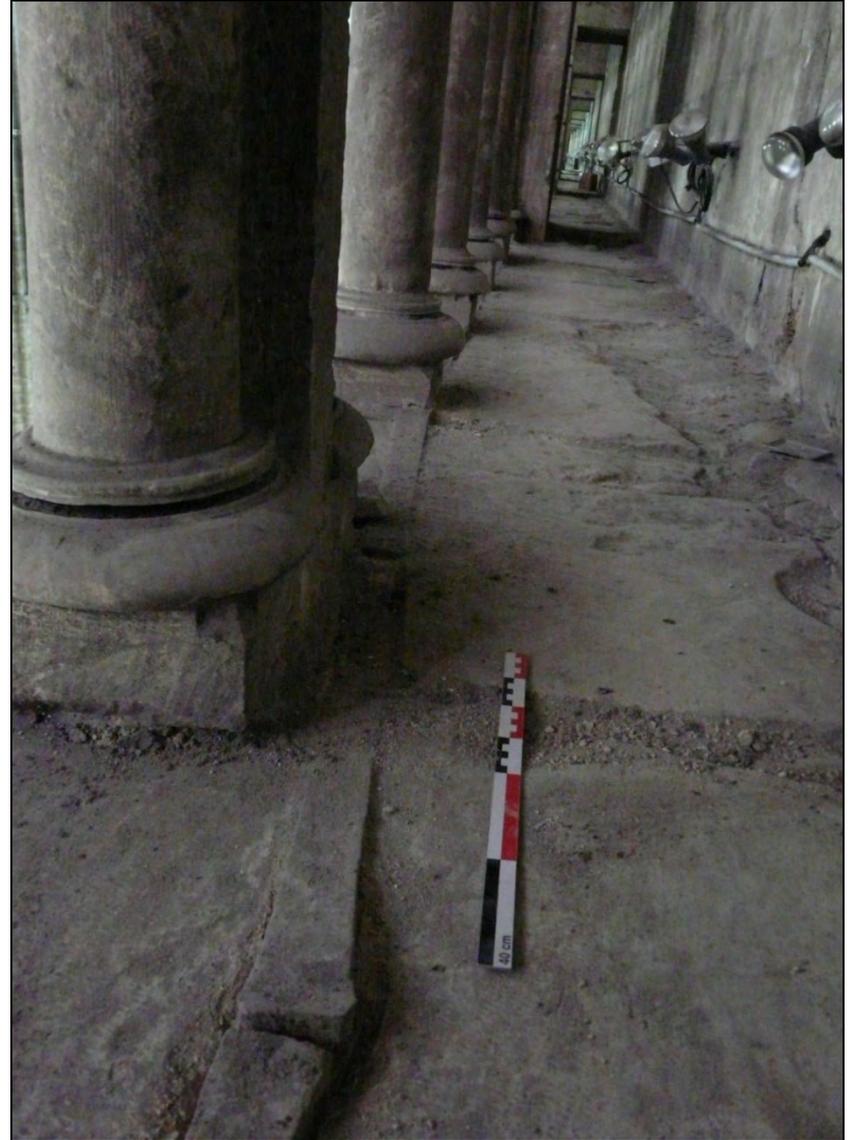
43 agrafes analysées / 4 soudures

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux



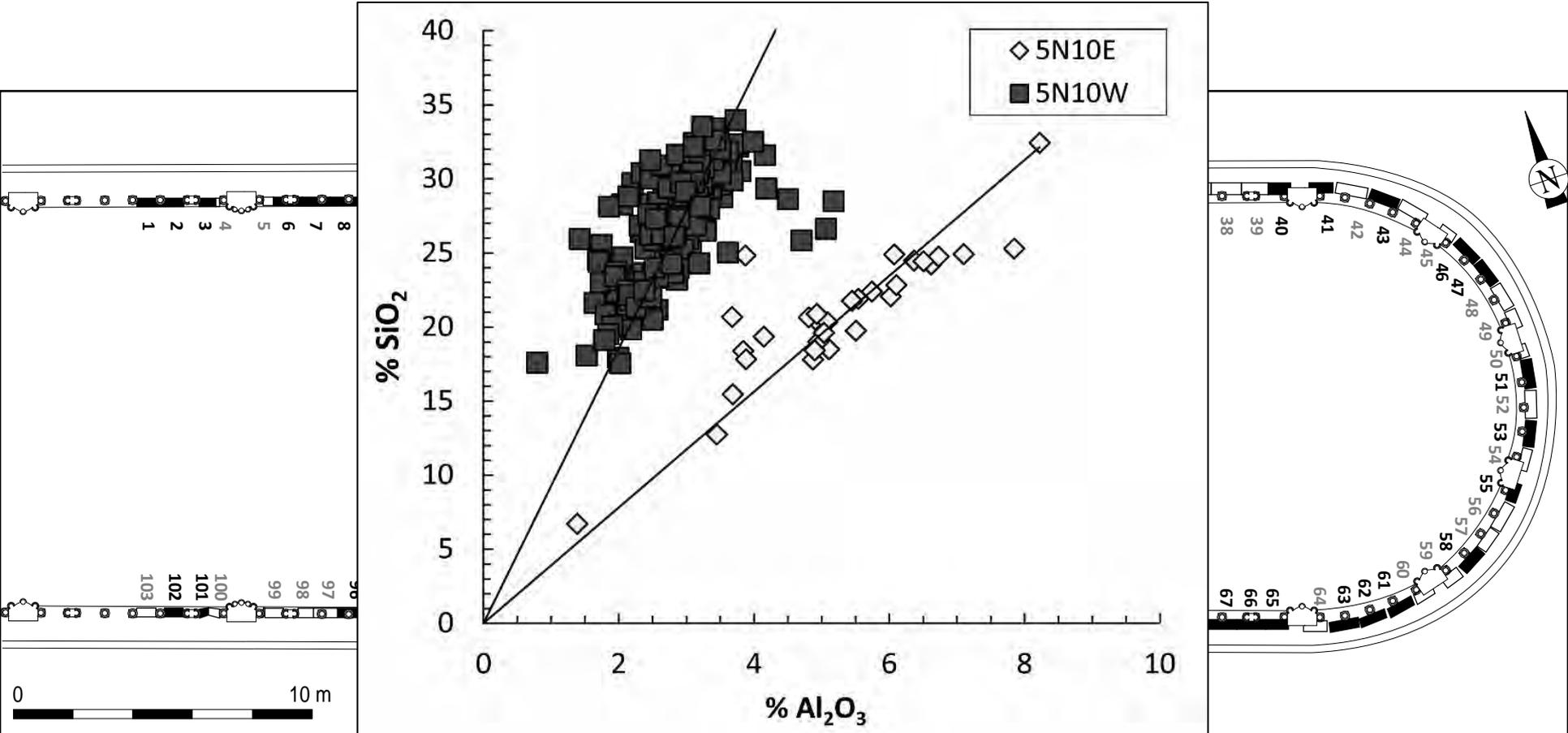
Datation radiocarbone : fer « neuf » et récupération

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux



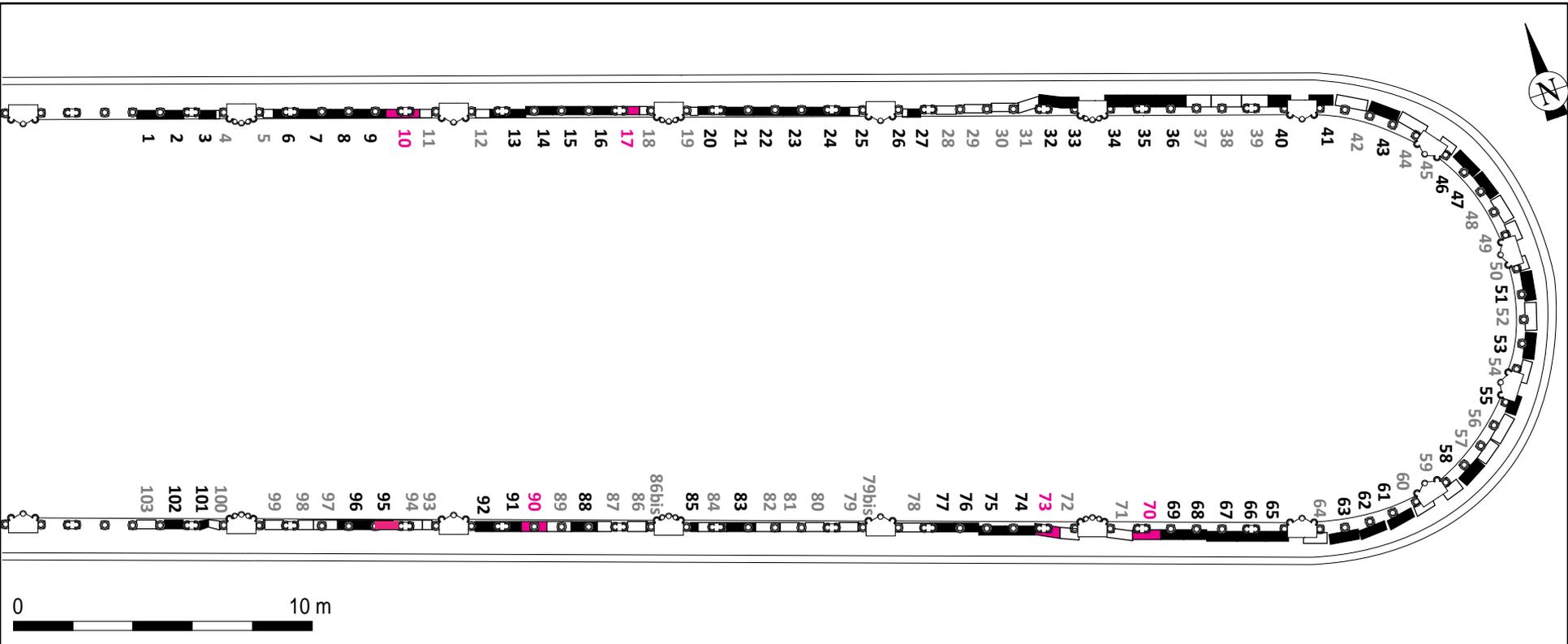
Cathédrale de Bourges : chaînage du triforium

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux



Cathédrale de Bourges : chaînage du triforium

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux

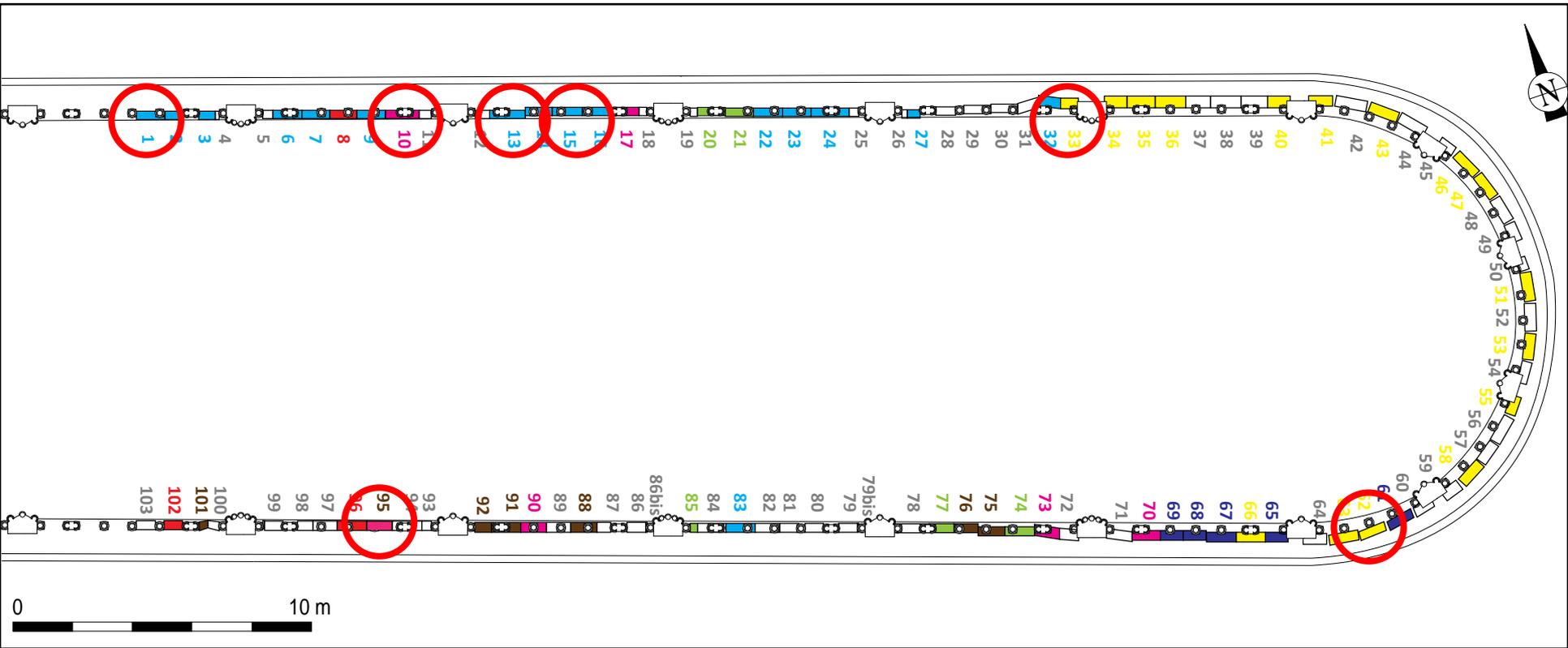


Recyclé (7 fers soient 12 %)

Cathédrale de Bourges : chaînage du triforium

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux

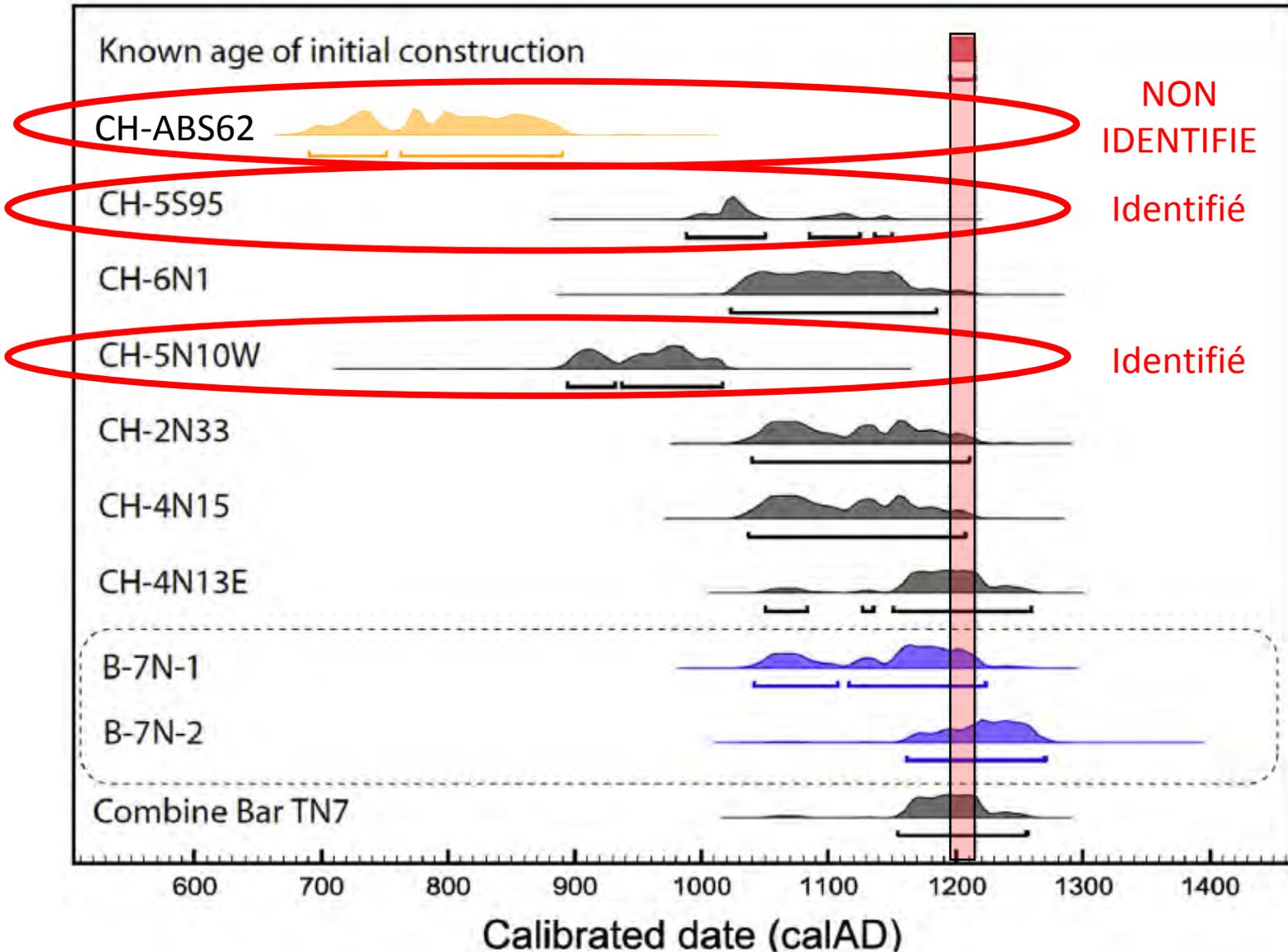
Prélèvements pour datation  $^{14}\text{C}$



Recyclé   Groupe A   Groupe B1   Groupe B2   Groupe C1   Groupe C2

Cathédrale de Bourges : chaînage du triforium

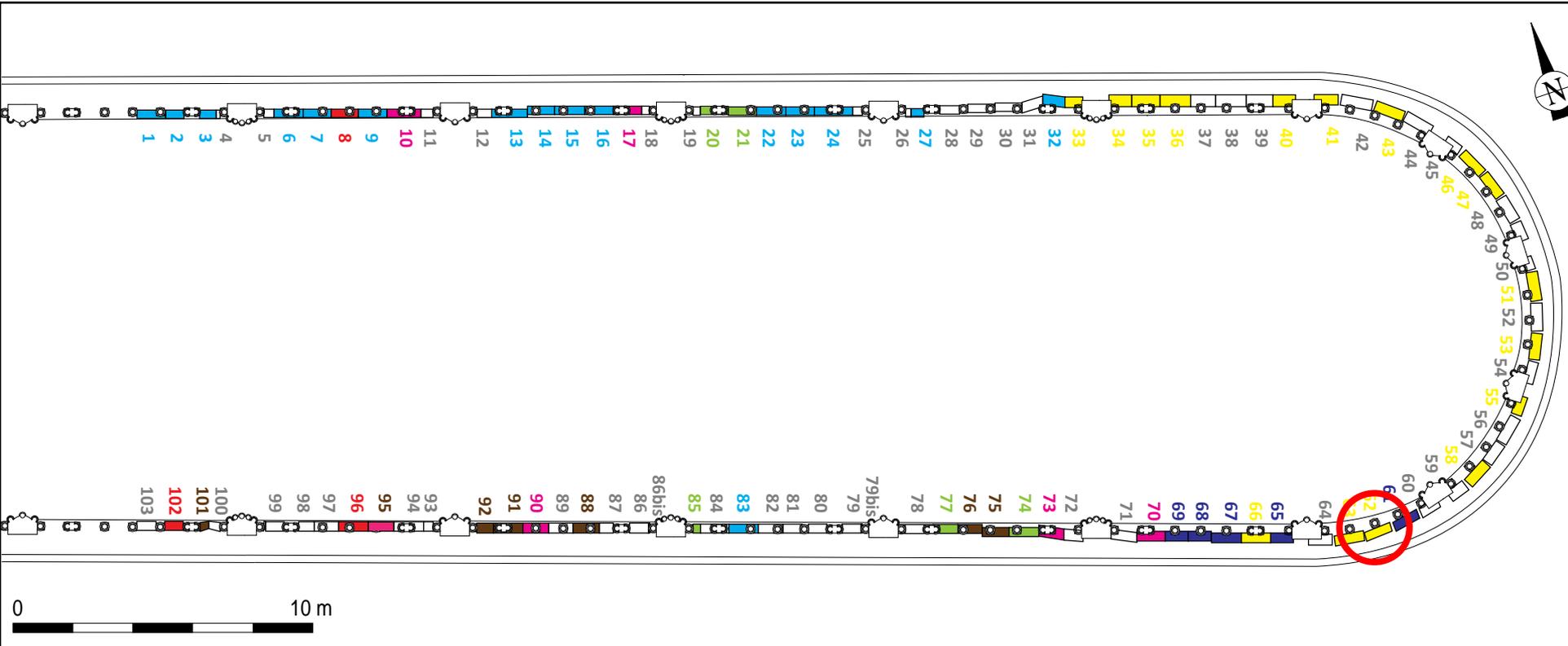
# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux



Davantage de fers de récupération ?

# 3. Recyclage et remploi des fers architecturaux

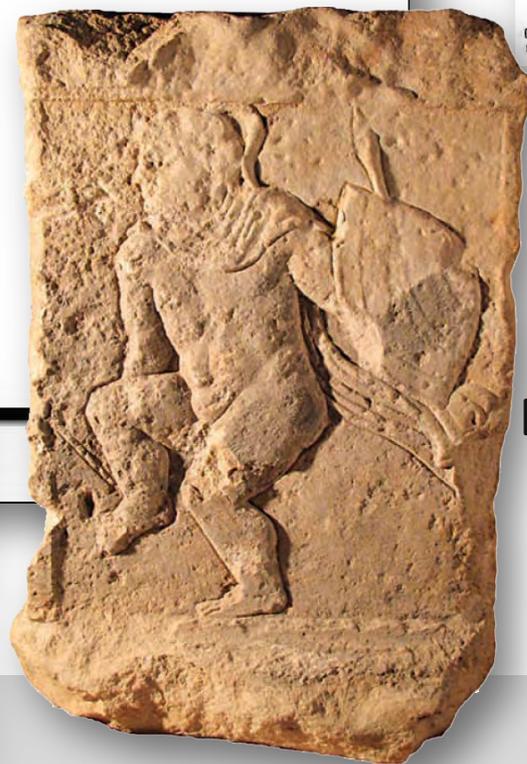
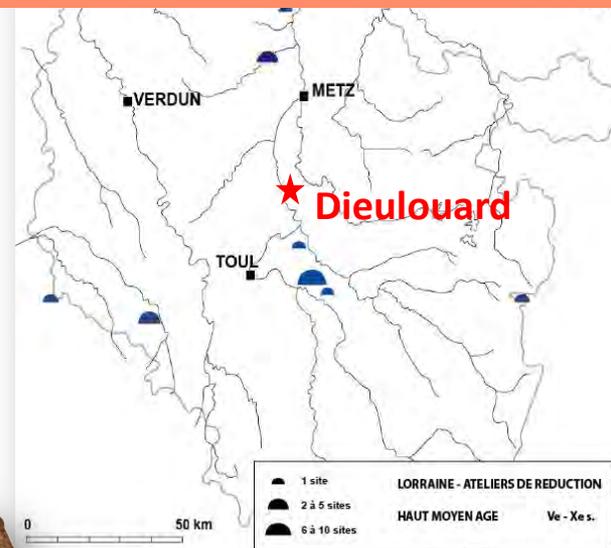
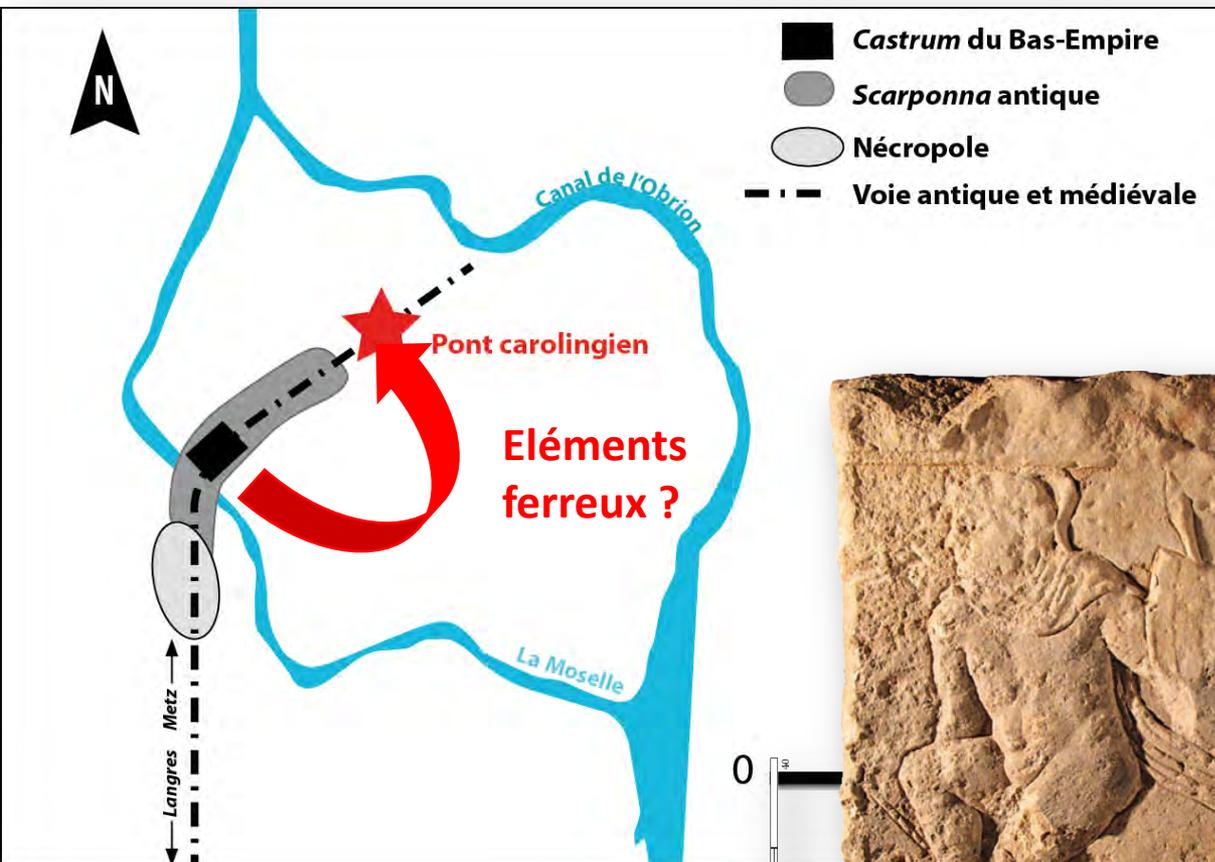
Une importante récupération de vieux fers au début du chantier ?



Recyclé **Groupe A** Groupe B1 Groupe B2 Groupe C1 Groupe C2

# 3bis. ... et à l'époque carolingienne

## Pont de Dieulouard Scarponna (fin IXe s.)



Réemploi  
d'éléments  
lapidaires

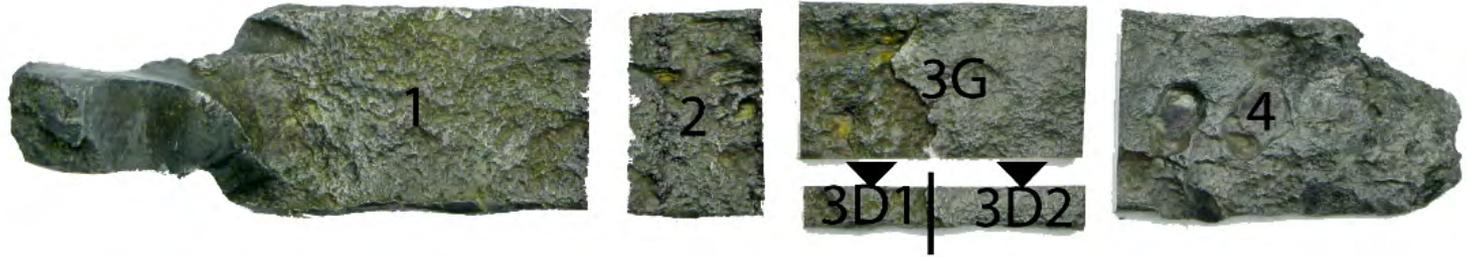
Etude métallographique  
+  
Datation <sup>14</sup>C  
(LMC14-CEA Saclay)

Pont en pierre de grand  
appareil avec crampons de fer

Remploi au IXe s. ?

# 3bis. ... et à l'époque carolingienne

12 crampons étudiés par métallographie



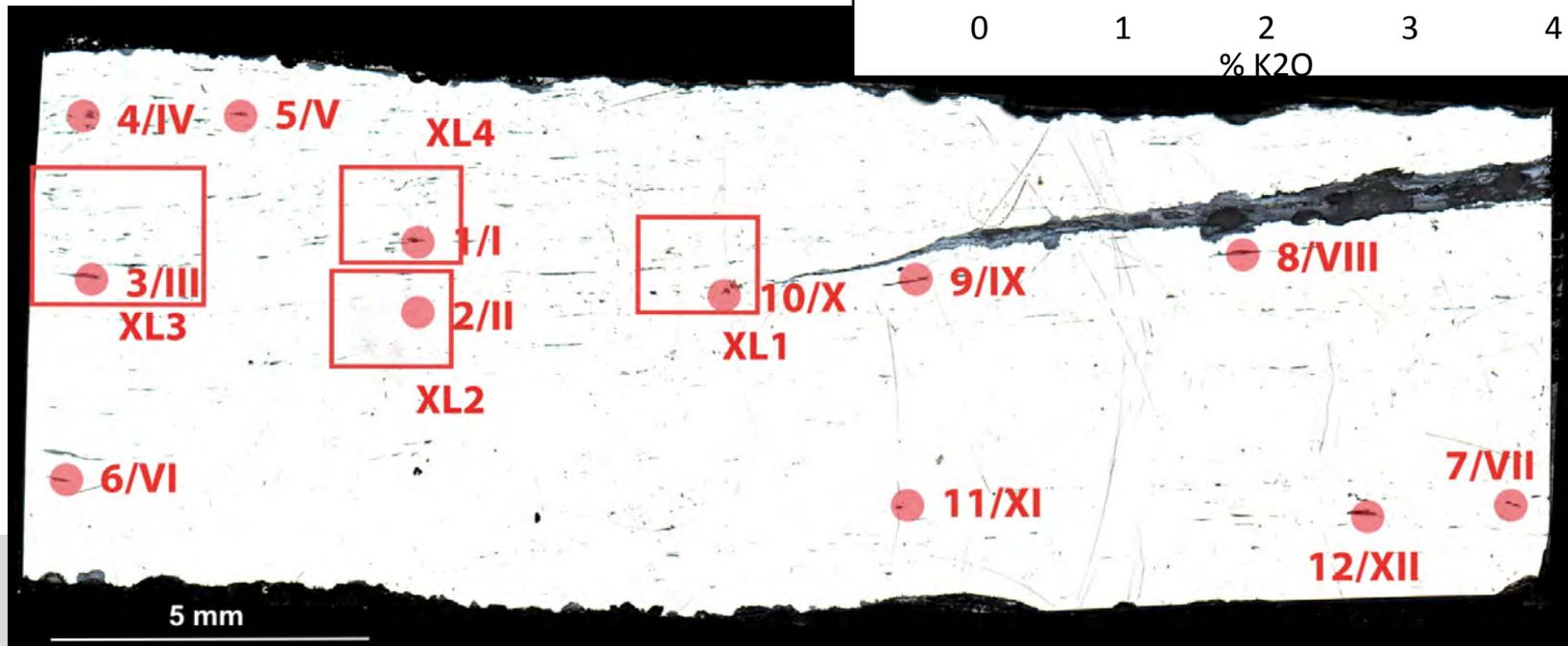
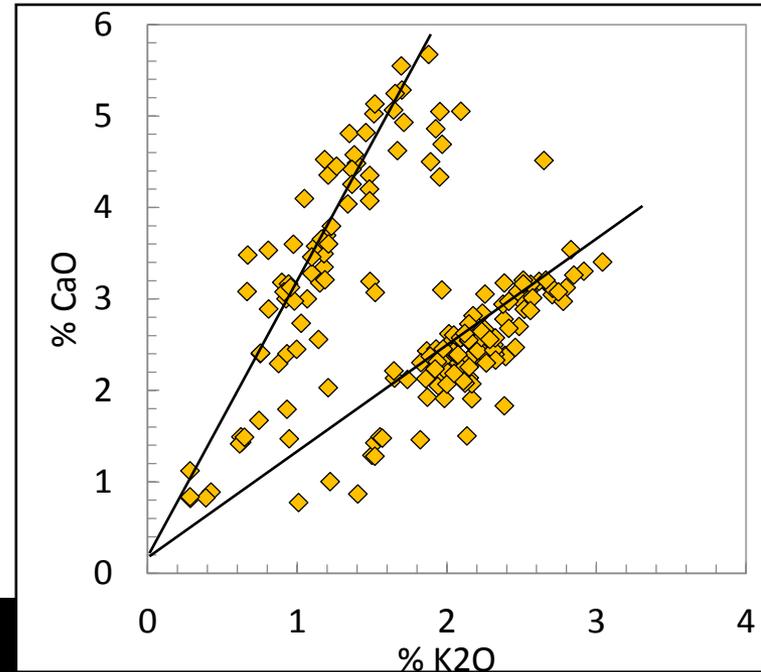
1219A2



# 3bis. ... et à l'époque carolingienne

12 crampons étudiés  
par métallographie

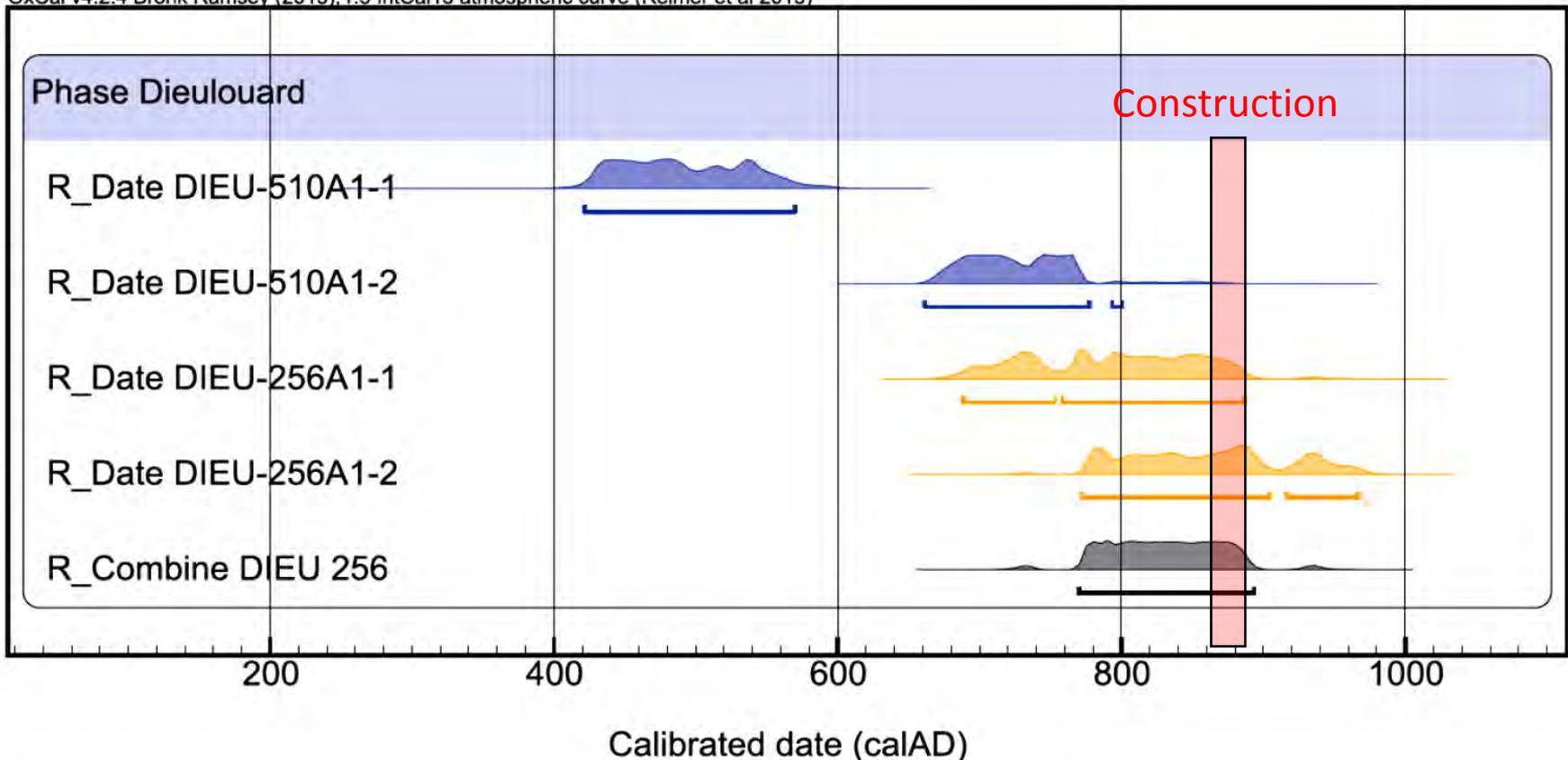
3 avec soudure de  
fers distincts (25 %)



# 3bis. ... et à l'époque carolingienne

- 2 crampons datés : - 1 contemporain  
- 1 recyclé... mais non gallo-romain

OxCal v4.2.4 Bronk Ramsey (2013); r:5 IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)



Fer « neuf » et récupération... de fers du VIe et VIIIe s.

# Conclusions et perspectives

- De premières estimations des quantités de fers architecturaux recyclés par corroyage (10 % à + de 30 %) :
  - Pas de différence notable entre les édifices (mais différence milieu urbain / rural et début / fin du Moyen Age)
- ➔ Disponibilité du matériau / évolutions techniques (réduction indirecte)
- Plus de récupération sur les petits objets (technique)
- Récupération systématique mais relevant d'opportunités / circuit court où intervient le forgeron
- Economie du coût du matériau brut. Qualité inférieure
- De nouvelles méthodes pour appréhender la récupération (datation  $^{14}\text{C}$ )