



UNIVERSITÉ PARIS 1

PANTHÉON SORBONNE



# L'utilisation du charbon de terre dans les chaînes opératoires dans le nord de la France de l'Antiquité jusqu'au second Moyen Âge



IRAMAT - UMR 5060

**LMC**

Laboratoire de Métallurgies et Cultures

***Benjamin JAGOU, INRAP Hauts-de-France  
UMR 7041 ArScan, équipe TranSphères (principal)  
UMR 5060 IRAMAT, LMC (secondaire)***

## SOMMAIRE

1 / Qu'est-ce que le charbon de terre ?

2/ Une recherche récente

3/ Recensement des mentions et des découvertes de charbon en Flandre et en Hainaut

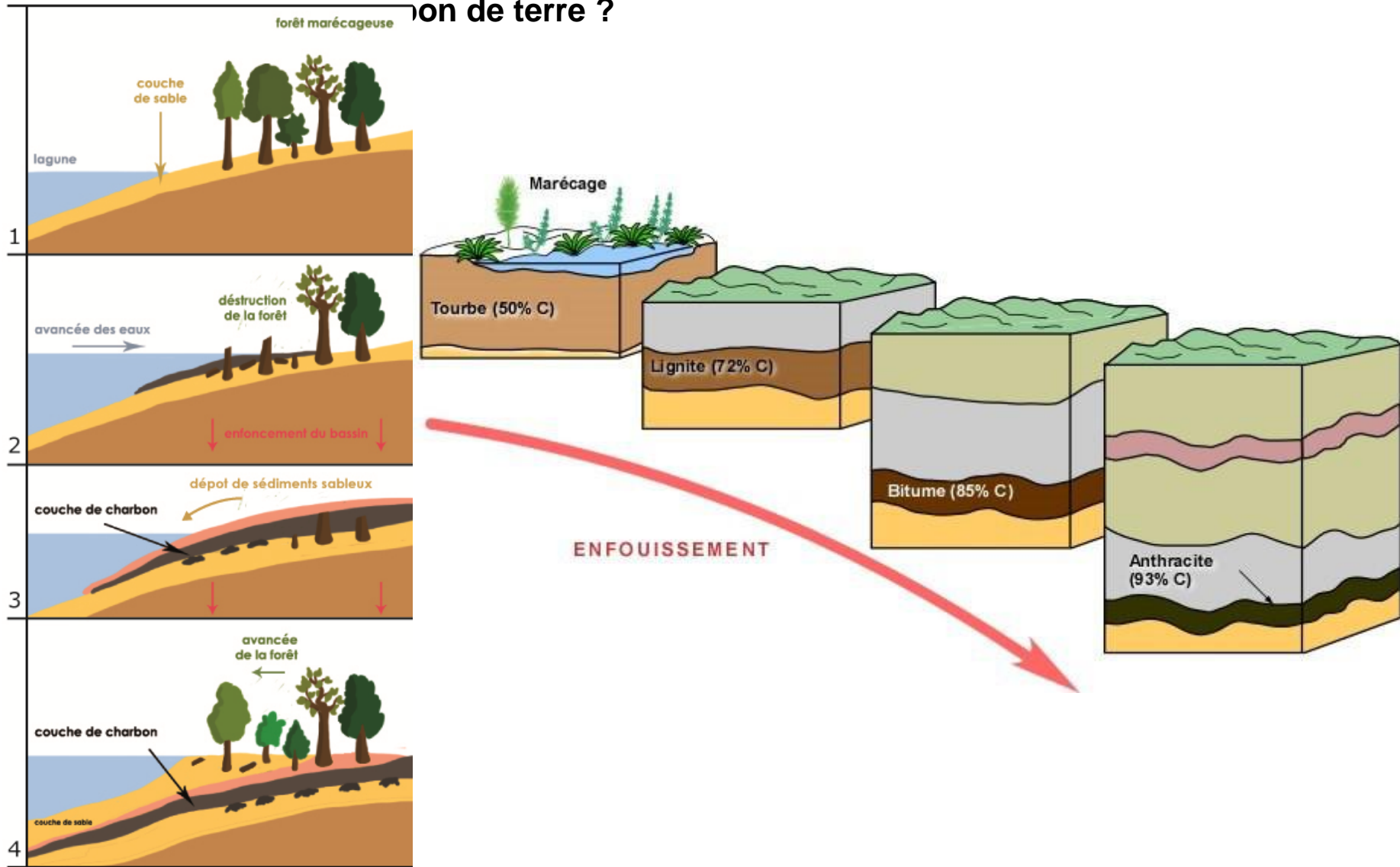
4/ Des déchets de forge caractéristiques d'un tel usage

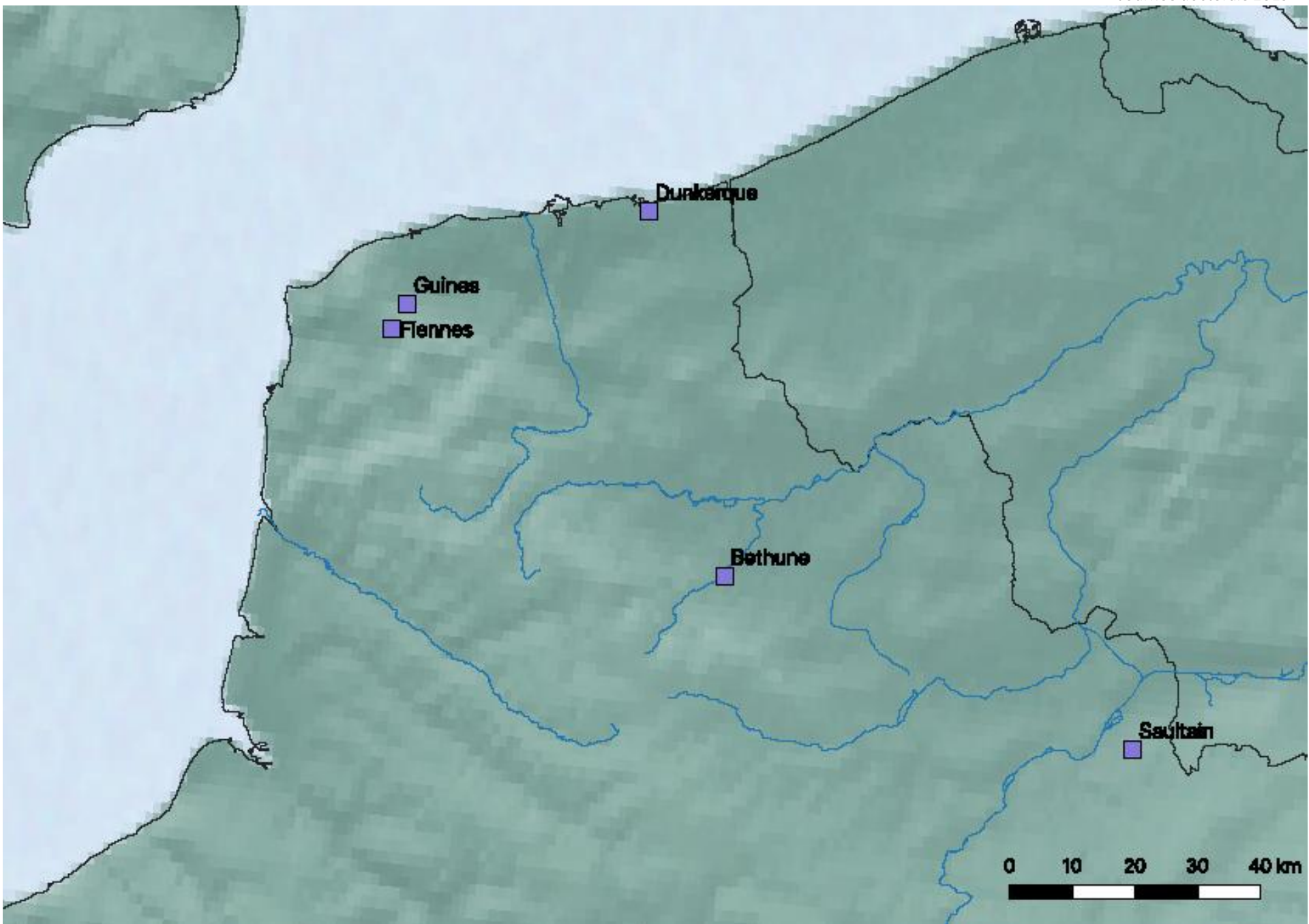
5/ Les raisons de son emploi et réseaux d'approvisionnement

## 1. Qu'est-ce que le charbon de terre ?

- Le terme charbon de terre sert à désigner la roche fossile servant de combustible
- Il porte ce nom en opposition au charbon végétal
- Ce combustible est mentionné de différentes manières dans les sources anciennes : « *carbo, carbon de fèvres, charbon de pierre, etc.* »

# Charbon de terre ?



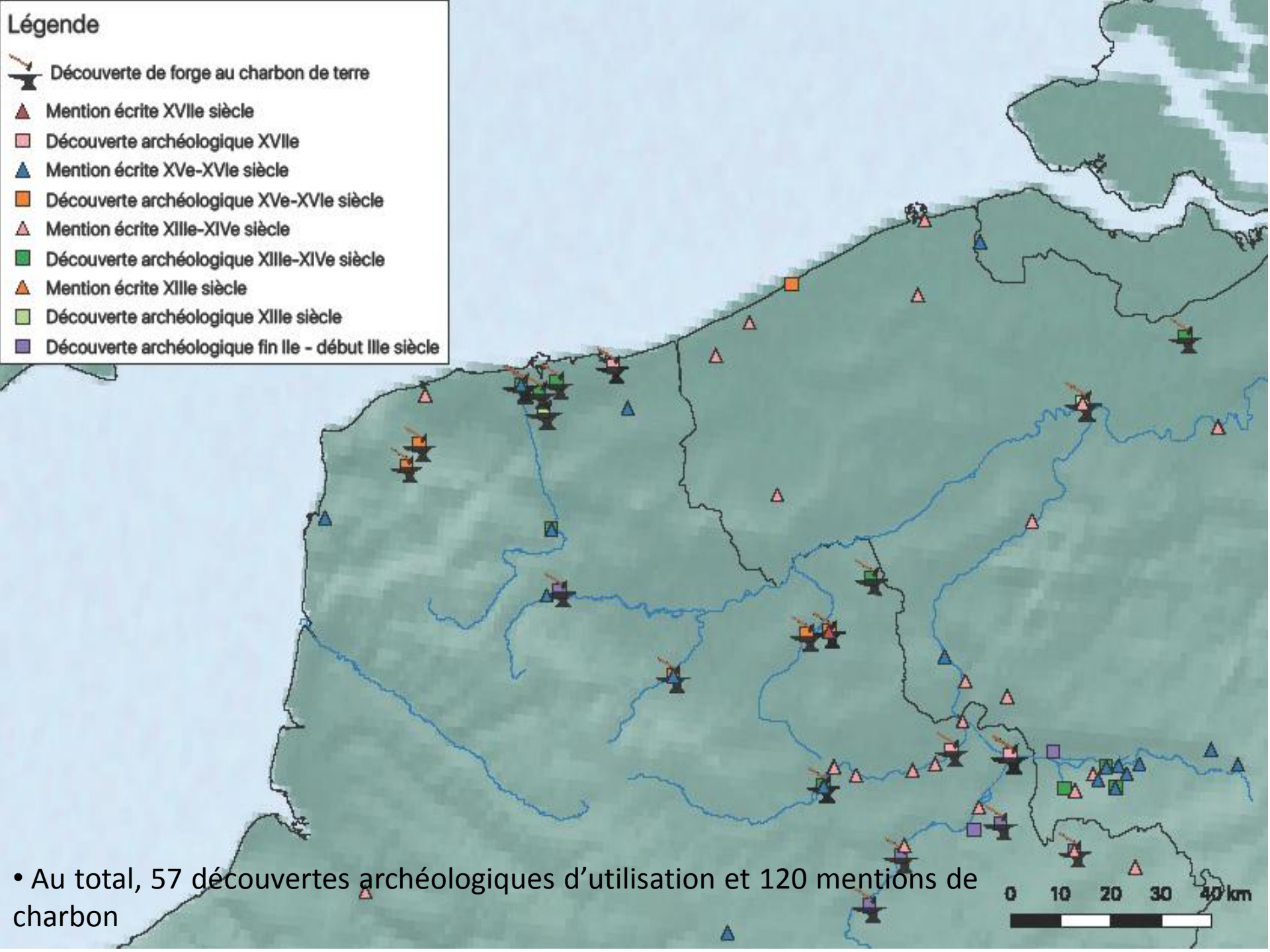


### 3. Inventaire des mentions et des découvertes de charbon

- Des premières problématiques de recherche ont été établies à la suite de ces découvertes :
  - Cette utilisation était-elle occasionnelle ou est-ce un phénomène régional ?
  - D'autres chaînes opératoires utilisaient-elles ce combustible ?
- Pour répondre à ces premières problématiques et comprendre l'importance ou non de l'emploi du charbon de terre dans la région, il était indispensable de réaliser un inventaire des découvertes archéologiques liées à cette ressource, ainsi qu'un recensement de ses mentions dans la documentation écrite médiévale.

# Légende

-  Découverte de forge au charbon de terre
-  Mention écrite XVIIe siècle
-  Découverte archéologique XVIIe
-  Mention écrite XVe-XVIe siècle
-  Découverte archéologique XVe-XVIe siècle
-  Mention écrite XIIIe-XIVe siècle
-  Découverte archéologique XIIIe-XIVe siècle
-  Mention écrite XIIIe siècle
-  Découverte archéologique XIIIe siècle
-  Découverte archéologique fin IIe - début IIIe siècle



• Au total, 57 découvertes archéologiques d'utilisation et 120 mentions de charbon



### 3. Recensement des mentions et des découvertes de charbon en



- Archéologiquement : découvertes de restes de charbon de terre associés à des scories atypiques

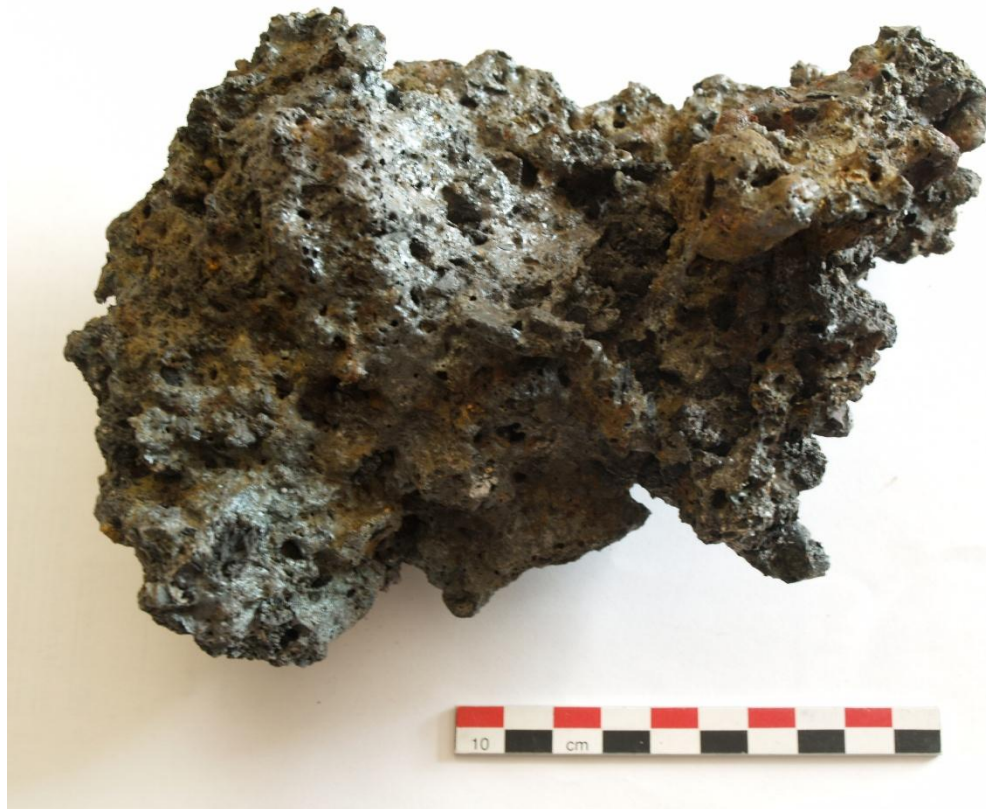


#### 4. Des déchets de forge caractéristiques d'un tel usage

- Les études paléométallurgiques réalisées sur les nombreux sites de forge au charbon de terre découverts dans la zone d'étude ont permis de mettre en évidence la formation de scories en culot caractéristiques d'une telle utilisation
- La combustion du charbon de terre et la libération des matières volatiles ainsi que l'interaction entre la scorie et les éléments constitutifs du charbon vont avoir un impact sur la formation du culot et jouer un rôle sur différents aspects de ces rebuts :
  - Macroscopique
  - Microscopique
  - Chimique

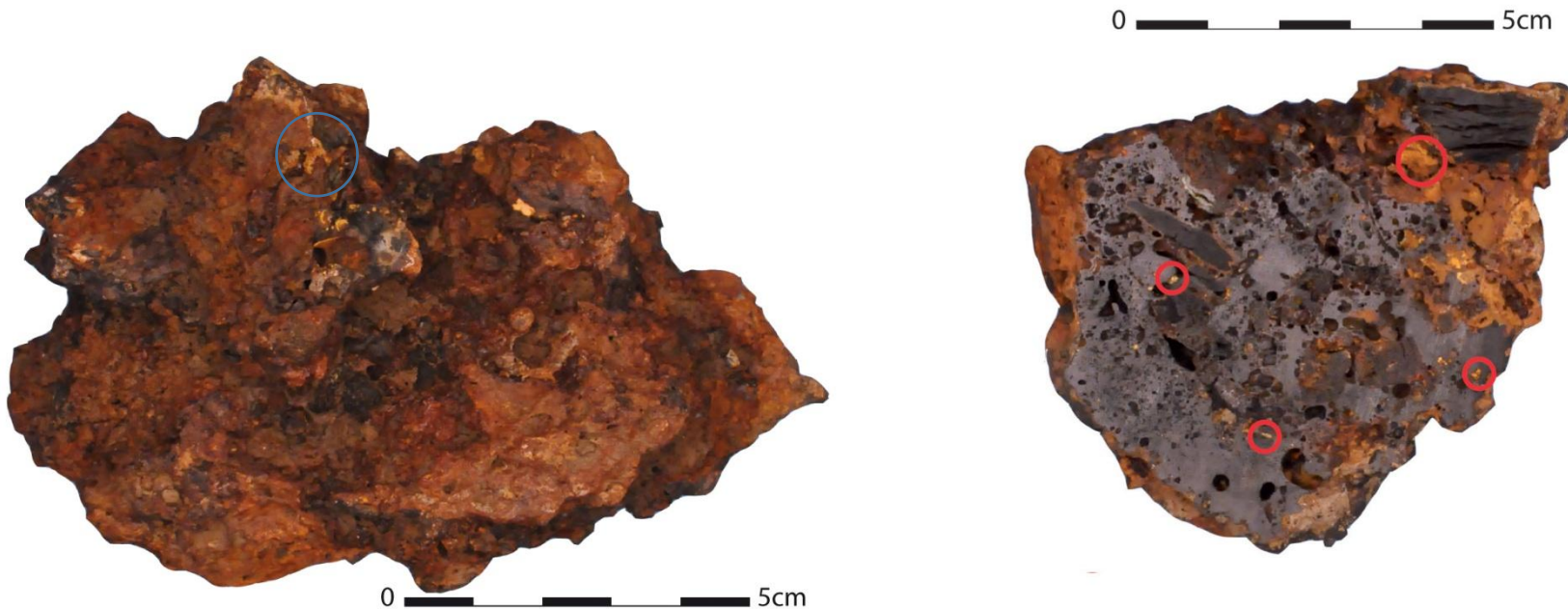
- Macroscopique

- Un aspect extérieur très irrégulier et une forte présence de porosités
- Une densité plus faible que les culots « classiques »



- Macroscopique

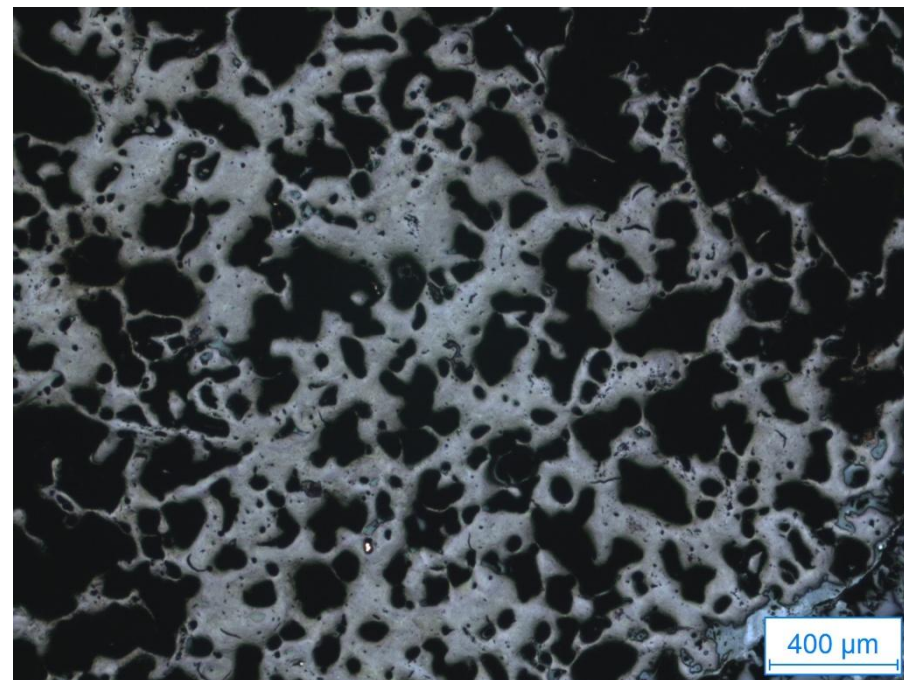
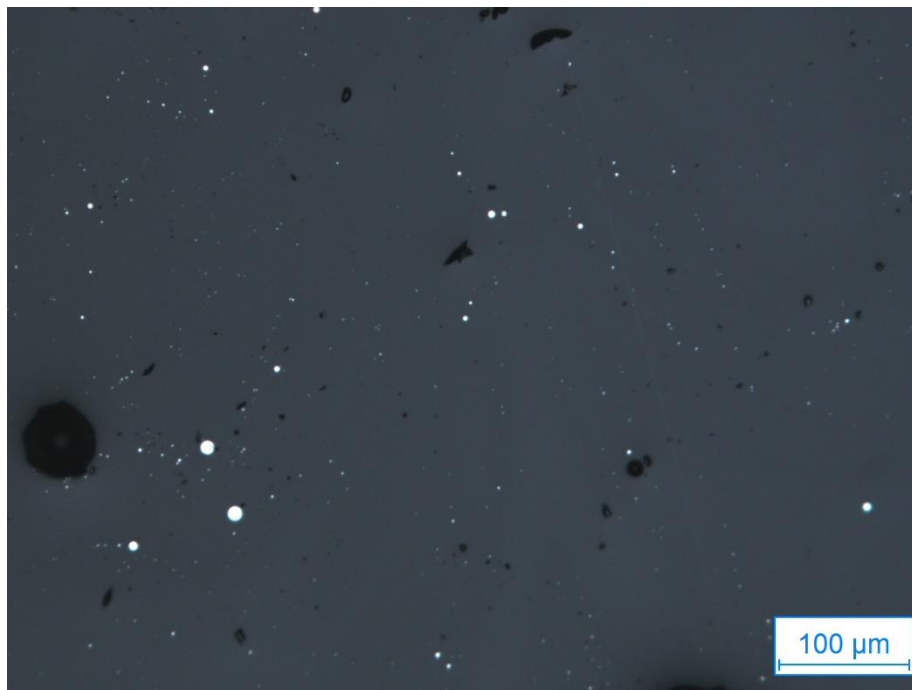
- Présence de dépôts jaunes/oranges dans les cavités extérieures et intérieures des culots



- Microscopique

- Des matrices très fortement siliceuses

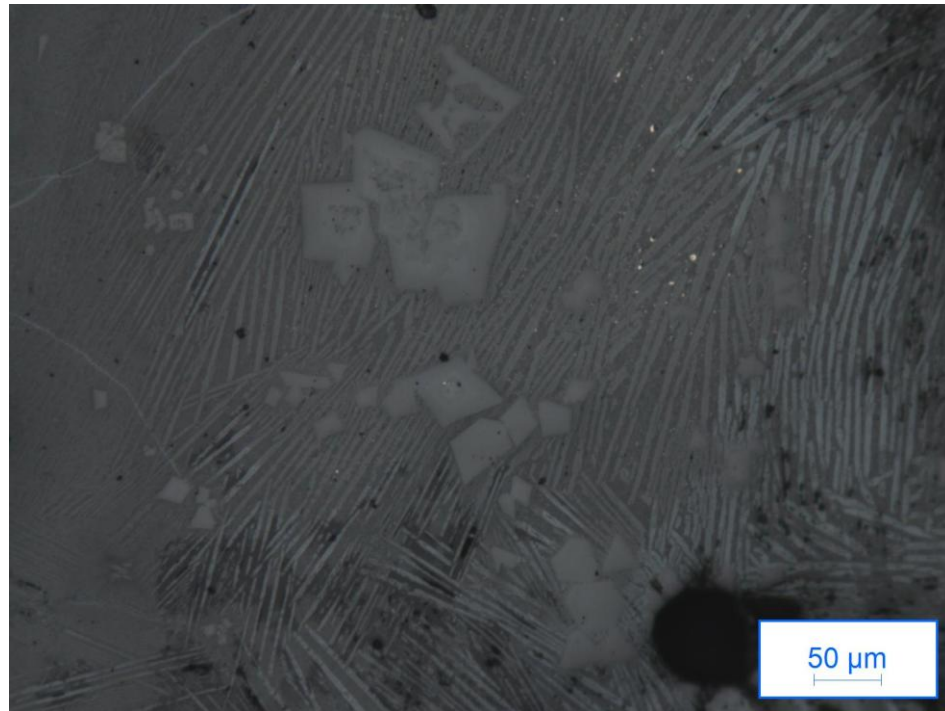
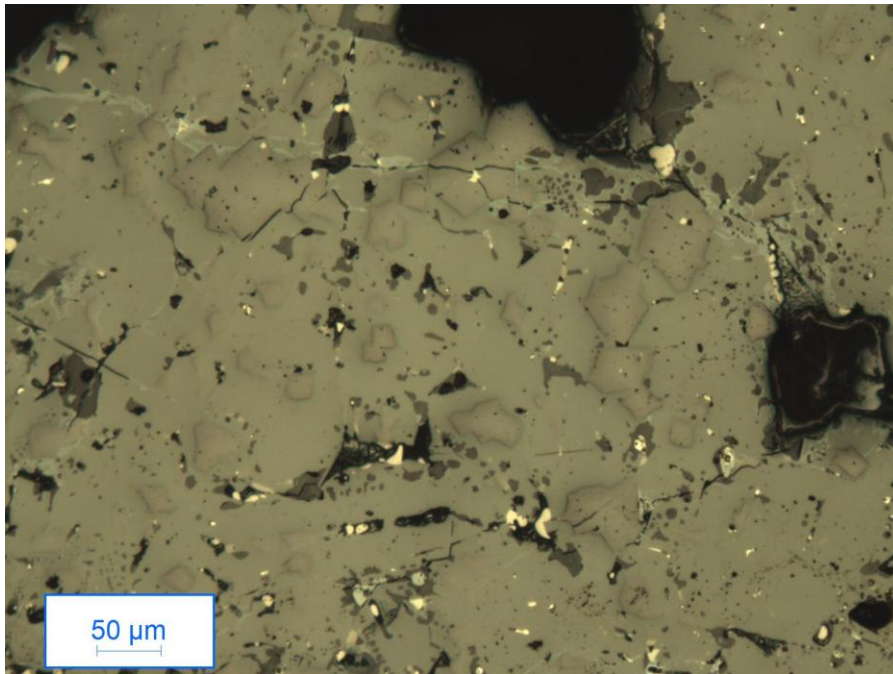
- Présence de fragments de charbon de terre piégés





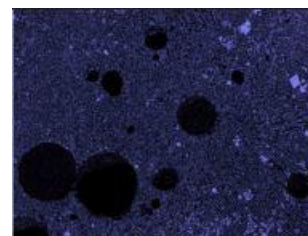
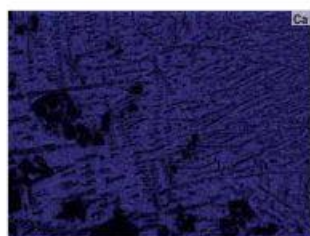
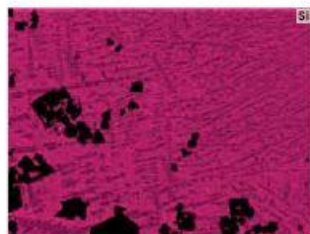
- Microscopique

- Présence de cristaux angulaires de hercynite ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ )

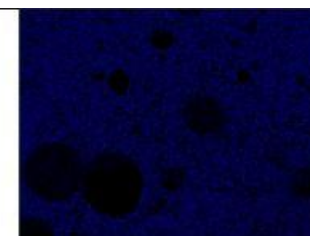


- Chimique

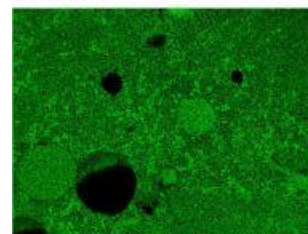
- Présence de soufre et d'aluminium



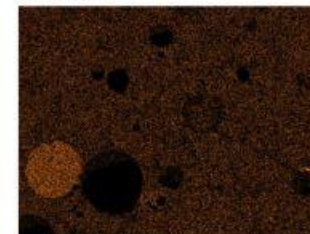
Cartographie A, zone 2, mise en évidence de l'aluminium.



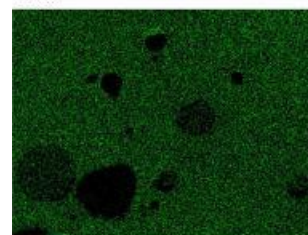
Cartographie B, zone 2, mise en évidence du calcium.



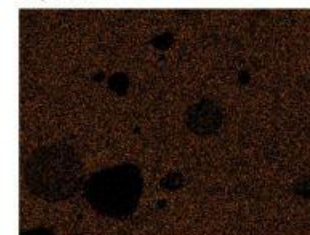
Cartographie C, zone 2, mise en évidence du fer.



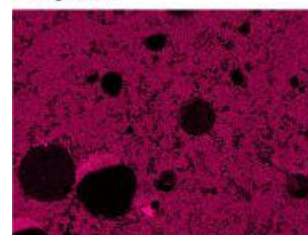
Cartographie D, zone 2, mise en évidence du potassium.



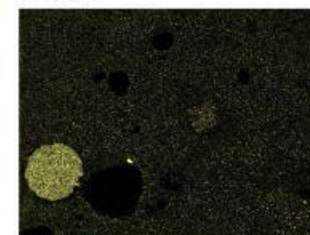
Cartographie E, zone 2, mise en évidence du magnésium.



Cartographie F, zone 2, mise en évidence du sodium.



Cartographie G, zone 2, mise en évidence du silicium.



Cartographie H, zone 2, mise en évidence du soufre.



• Chimique

➤ Formation de jarosite ( $K^+Fe^{3+}_3(OH^-)_6(SO_4^{2-})_2$ )

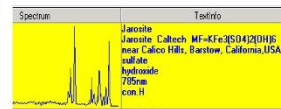
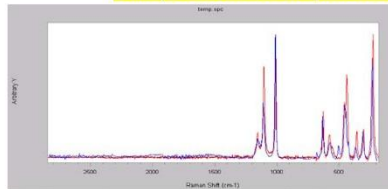


**Echantillon :**  
 156130\_112\_390\_14  
**Désignation :** SCORIE  
**Type majoritaire :** SFR  
**Masse :** 14  
**Dimension :** 29X27X19  
**Magnétique :** OUI

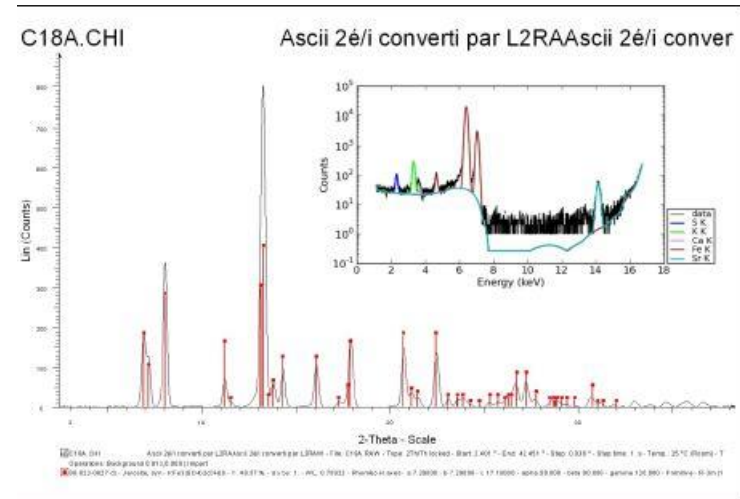
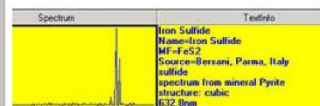
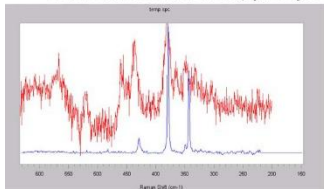
**Observations :** Traces jaunes dans la porosité/ irrite légèrement les voies respiratoire

**Métrologie/morphologie :**

Analyse Raman sur prélèvement « poudre jaune » :



Identification de Jarosite (hydroxyde ferreux de soufre) dans les alvéoles de la scorie



• S, Al et K sont donc les principaux éléments provenant du charbon de terre et se retrouvant dans la composition de la scorie

## 6. Les raisons de son emploi et réseaux d'approvisionnement

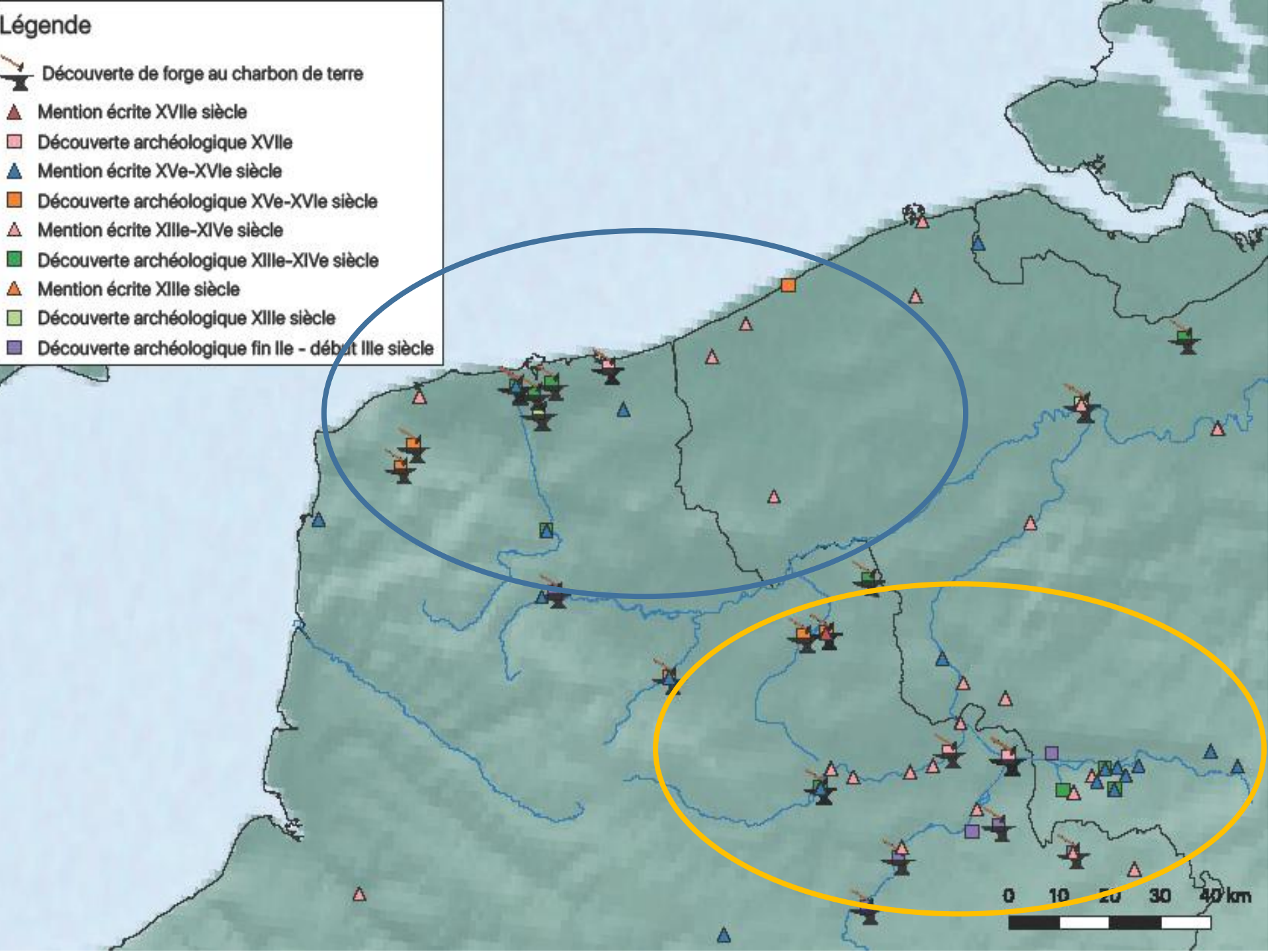
- Quelles sont les causes de cette utilisation ?
  - Malgré quelques traces d'utilisations antiques, ce phénomène apparaît dans le nord de la France vers la fin du XII<sup>e</sup> et le début du XIII<sup>e</sup> siècle.
  - Cette période est marquée par l'expansion des grandes villes du nord.
  - Cette augmentation démographique et urbaine nécessite de nouveaux espaces agricoles, à la fois pour nourrir les villes et fournir l'industrie drapière

- Quelles sont les causes de cette utilisation ?
  - Déboisement important (principalement en Flandre) pour gagner des terres agricoles
  - Une diminution des couverts forestiers, baisse de qualité des essences, inflations des prix du bois
- Conséquences
  - Contrôle direct des espaces forestiers par le pouvoir comtal
  - Demande aux artisans gros consommateurs de bois de trouver des combustibles alternatifs
  - Les échanges entre l'Angleterre et la Flandre, facilités par les différentes hanses commerciales, ont certainement facilité le transfert technique vers l'utilisation du charbon de terre comme combustible

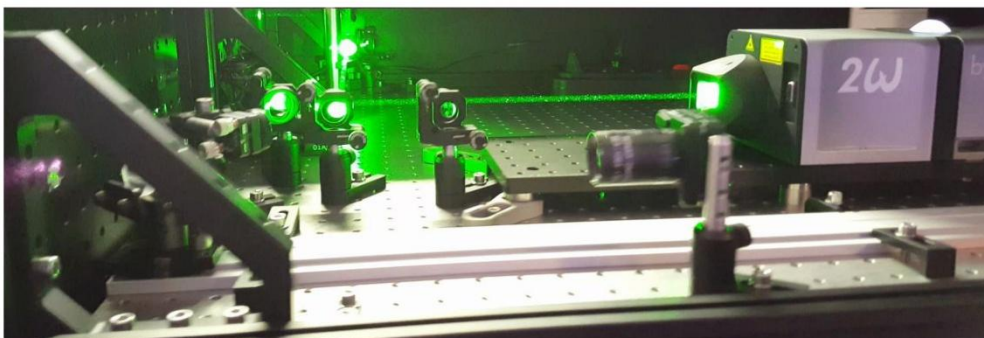
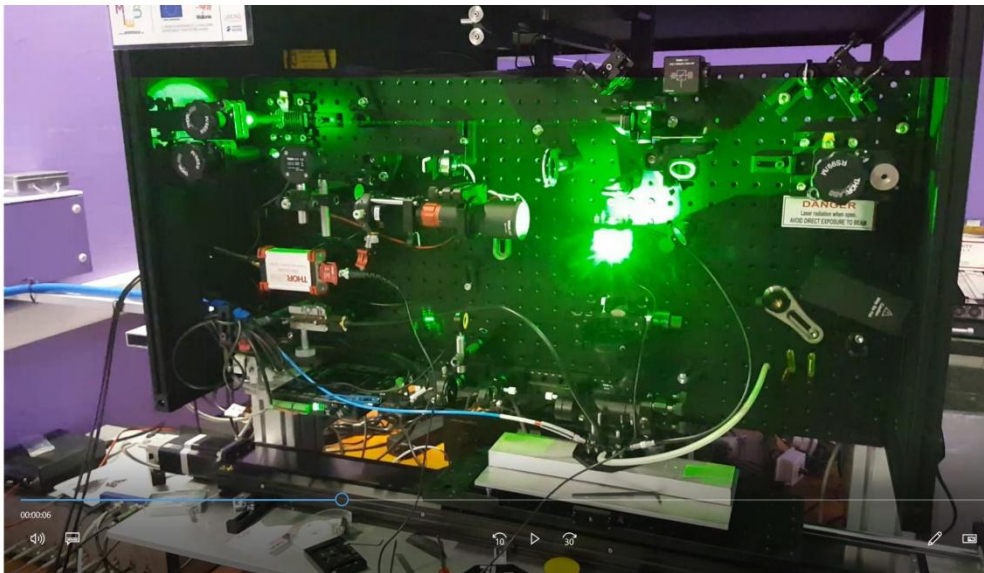
- La provenance du charbon
  - L'ancienne région administrative du Nord-Pas-de-Calais dispose d'une telle ressource dans son sous-sol. Mais, pour des raisons techniques et d'accessibilité, ces couches de charbon ne seront exploitées qu'à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle et la fondation de la compagnie minière d'Anzin (59).
  - Par conséquent, le charbon utilisé dans ces nombreuses forges était importé depuis des sites plus ou moins éloignés
  - Le travail effectué sur la documentation écrite montre l'existence au cours du second Moyen Âge de deux circuits d'importation :

# Légende

- 🔧 Découverte de forge au charbon de terre
- ▲ Mention écrite XVIIe siècle
- ◻ Découverte archéologique XVIIe
- ▲ Mention écrite XVe-XVIe siècle
- ◻ Découverte archéologique XVe-XVIe siècle
- ▲ Mention écrite XIIIe-XIVe siècle
- ◻ Découverte archéologique XIIIe-XIVe siècle
- ▲ Mention écrite XIIIe siècle
- ◻ Découverte archéologique XIIIe siècle
- ◻ Découverte archéologique fin Ile - début IIIe siècle



- Réalisation d'analyses de provenance du charbon
  - Utilisation d'un nouveau protocole d'analyse de composition à l'aide du LIPS (Laser-Induced Breakdown Spectrometry) et élaboré par Jean-Marc Baele de l'Université de géologie de Mons (Belgique)



## The LIBS system at UMONS

Nd:YAG pulsed laser (5 ns – 400 mJ @ 20 Hz)

Wavelength : 1064, 532 and 266 nm

Off- and on-axis detection

9 channel Czerny-Turner spectrometer  
 (0.04 to 0.20 nm resolution) – CCD detector

1 ms minimum integration time

Spot size : 50 – 500  $\mu\text{m}$  (circular or linear)

Motorized XY stage (100 x 750 mm)  
 + 1 m core adapter

SpectraGryph© software (Dr F. Menges)  
 (<https://www.ffmpeg2.de/spectragryph/>)



Future development :

Micro-LIBS

Raman spectroscopy (532 nm)



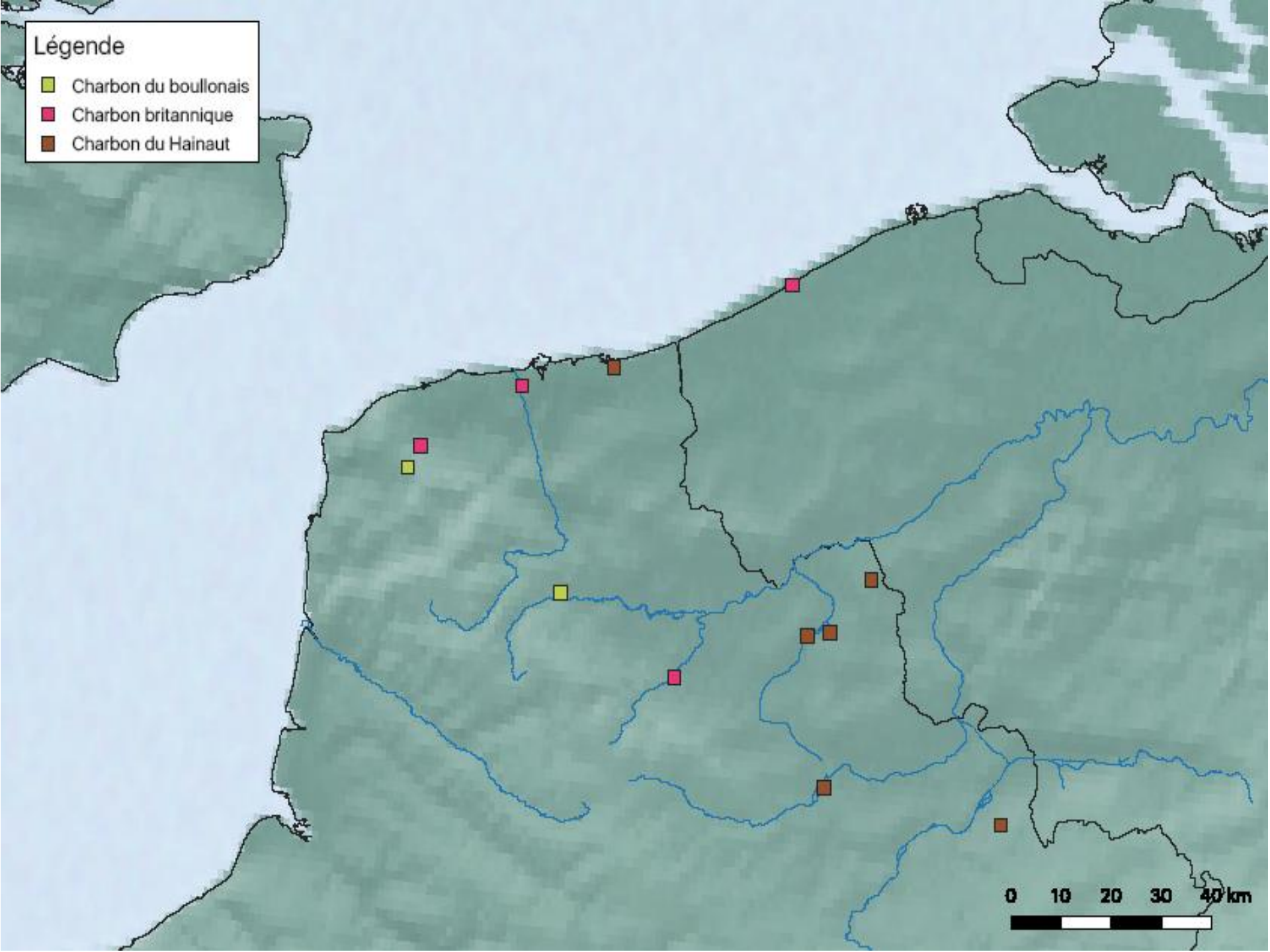
## ➤ 33 échantillons de charbon archéologique ont été analysés par cette méthode

Sample NORM C	Site	Si	Al	P	Ca	Mg	Mn	Fe	Ba	Sr	Ti	Zr	Cr	V	Li	K	Na	Rb	Cs	Cu	Zn	H	S	N	O
Bet_fm_3243_1	BJM	0,02	0,14	0,00	0,12	0,00	0,03	0,08	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,668	1,54	0,03	0,00	0,01	0,01	2,76	0,02	0,83	3,26
Bet_fm_3587_1	BJM	0,00	0,08	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,165	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32	0,00	0,76	2,82
Bet_fm_3587_2	BJM	0,05	0,54	0,01	0,19	0,00	0,03	0,03	0,17	0,16	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	2,159	1,85	0,11	0,00	0,00	0,00	2,11	0,06	0,78	3,04
Bet_fm_2167_1	BJM	0,19	1,58	0,01	0,62	0,02	0,04	0,05	0,18	0,12	0,26	0,01	0,02	0,01	0,00	3,041	4,89	0,34	0,01	0,05	0,02	1,96	0,02	0,78	3,52
Din_rat_03202_1	Dinant	0,92	2,98	0,03	1,73	0,13	0,13	0,38	1,17	0,77	1,34	0,01	0,10	0,08	0,01	20,00	7,07	0,84	0,01	0,11	0,02	4,03	0,03	0,96	4,37
Din_bpc_sr07_1	Dinant	0,03	0,11	0,03	0,33	0,00	0,26	0,04	0,07	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,689	1,39	0,04	0,00	0,12	0,04	4,60	0,02	0,78	2,96
Din_bpc_sr39_1	Dinant	0,01	0,07	0,01	0,05	0,00	0,06	0,01	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,578	0,80	0,00	0,00	0,05	0,02	4,56	0,00	0,81	3,05
Din_chu_02032_1	Dinant	0,03	0,24	0,06	0,57	0,01	0,03	0,03	0,11	0,16	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	1,607	2,14	0,04	0,00	0,19	0,04	5,31	0,03	0,88	3,29
Douai_sy_8222_1	Douai	0,01	0,10	0,12	1,62	0,00	0,09	0,01	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,036	1,87	0,02	0,00	0,26	0,01	3,13	0,03	0,52	2,25
Douai_sy_8264_1	Douai	0,01	0,08	0,01	0,93	0,00	0,02	0,01	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,867	2,22	0,01	0,00	0,08	0,01	2,73	0,02	0,92	3,87
Dun-pm_4031_1	Dunkerke	0,03	0,07	0,01	0,41	0,01	0,04	0,16	0,05	0,13	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	1,483	1,62	0,01	0,00	0,02	0,01	3,77	0,02	0,63	2,54
Dun-pm_4033_2	Dunkerke	0,04	0,11	0,02	0,57	0,01	0,07	0,14	0,02	0,14	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	1,452	1,23	0,02	0,00	0,04	0,01	4,79	0,04	0,88	3,47
Dun-pm_4031_3	Dunkerke	0,02	0,06	0,01	0,37	0,00	0,02	0,14	0,02	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	1,523	1,30	0,02	0,00	0,02	0,01	4,80	0,04	0,83	3,34
Fiennes	Fiennes	0,31	0,45	0,02	1,00	0,05	0,23	0,81	0,23	0,33	0,62	0,00	0,04	0,06	0,01	5,014	2,11	0,16	0,00	0,03	0,01	3,12	0,04	0,58	2,40
Gra_ir_1724_1	Gravelines	0,01	0,06	0,02	0,59	0,00	0,03	0,02	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,963	2,68	0,02	0,00	0,02	0,01	2,43	0,02	0,66	2,64
Gui_rd_502_3	Guines	0,02	0,46	0,02	3,10	0,00	0,07	0,06	0,12	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	2,095	2,59	0,06	0,00	0,05	0,00	3,02	0,05	0,80	3,50
Gui_rd_502_2	Guines	0,46	3,59	0,02	0,77	0,07	0,08	0,16	0,39	0,19	0,67	0,01	0,04	0,04	0,01	7,088	4,82	1,09	0,02	0,06	0,01	1,98	0,03	0,97	4,64
Gui_rd_502_1	Guines	0,68	4,93	0,01	0,70	0,11	0,06	0,18	0,49	0,24	1,11	0,01	0,04	0,04	0,01	9,163	6,32	1,15	0,02	0,03	0,01	2,78	0,04	1,22	6,07
Lille_sau_3611_1	Lille	0,00	0,12	0,03	2,51	0,00	0,42	0,15	0,41	0,15	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	1,189	2,46	0,02	0,00	0,03	0,01	3,15	0,05	0,78	3,08
Lille_sau_3611_2	Lille	0,00	0,08	0,01	1,76	0,00	0,03	0,01	0,04	0,09	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	1,100	1,43	0,04	0,00	0,03	0,01	2,39	0,03	0,57	2,31
Loos_cp_525_1	Loos	1,52	9,88	0,04	1,30	0,30	0,19	0,55	0,88	0,33	2,26	0,03	0,11	0,08	0,01	15,788	12,88	2,15	0,02	0,04	0,04	2,98	0,00	2,39	13,67
Loos_cp_525_2	Loos	0,17	1,68	0,01	1,49	0,03	0,06	0,20	0,19	0,14	0,49	0,01	0,02	0,01	0,00	4,075	3,58	0,18	0,00	0,02	0,02	2,18	0,07	0,98	4,34
Loos_cp_D3_1	Loos	0,04	0,30	0,01	1,36	0,00	0,47	0,08	0,13	0,09	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	3,458	4,78	0,10	0,00	0,06	0,00	2,67	0,05	0,79	3,42
Sau_rb_33_1	Sau11	0,07	0,34	0,01	2,04	0,01	1,10	0,13	0,23	0,20	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	1,778	3,78	0,06	0,00	0,03	0,00	2,67	0,00	0,73	3,01
Sau_rb_33_2	Sau11	0,12	0,71	0,01	0,96	0,00	0,14	0,11	0,15	0,15	0,10	0,00	0,01	0,01	0,00	2,295	4,73	0,16	0,00	0,01	0,01	2,54	0,02	0,78	3,37
Sau_bar	Sau11	0,12	0,55	0,01	1,40	0,02	0,30	0,14	0,15	0,13	0,15	0,00	0,02	0,01	0,00	1,871	3,25	0,12	0,00	0,04	0,01	1,82	0,01	0,72	3,26
Sta_diag_7_1	St-Augustin	0,48	3,55	0,03	2,22	0,08	0,11	0,47	0,69	0,49	1,23	0,01	0,06	0,05	0,01	11,337	8,33	0,52	0,01	0,08	0,01	3,93	0,04	1,02	4,65
Sta_diag_7_2	St-Augustin	0,86	5,36	0,04	9,09	0,11	0,58	0,64	1,41	1,00	1,56	0,01	0,09	0,07	0,02	22,941	9,57	1,25	0,02	0,13	0,02	5,06	0,05	0,88	4,48
Tou_gp_011045_1	Tourcoing	0,12	0,55	0,01	0,32	0,02	0,33	0,16	0,09	0,03	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	3,158	1,49	0,06	0,00	0,00	0,00	4,12	0,02	0,81	3,22
Tou_gp_01205_1	Tourcoing	0,02	0,08	0,02	0,95	0,00	0,04	0,04	0,11	0,08	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	1,787	2,04	0,02	0,00	0,07	0,01	6,86	0,03	1,01	4,11
Tou_gp_011091_1	Tourcoing	0,05	0,16	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04	0,24	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,727	0,57	0,01	0,00	0,00	0,00	5,23	0,01	0,76	2,91
Tou_gp_011091_2	Tourcoing	0,10	0,48	0,00	0,41	0,01	0,12	0,12	0,27	0,06	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	2,814	1,30	0,06	0,00	0,01	0,00	5,91	0,01	0,99	3,93
Tou_gp_01405_1	Tourcoing	0,03	0,13	0,00	0,11	0,00	0,07	0,05	0,21	0,12	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	1,260	1,09	0,01	0,00	0,01	0,00	4,86	0,03	0,88	3,47

- Des premiers résultats encourageants qui demandent de poursuivre les analyses d'échantillons archéologiques et d'échantillons géologiques afin de mieux distinguer les marqueurs chimiques

## Légende

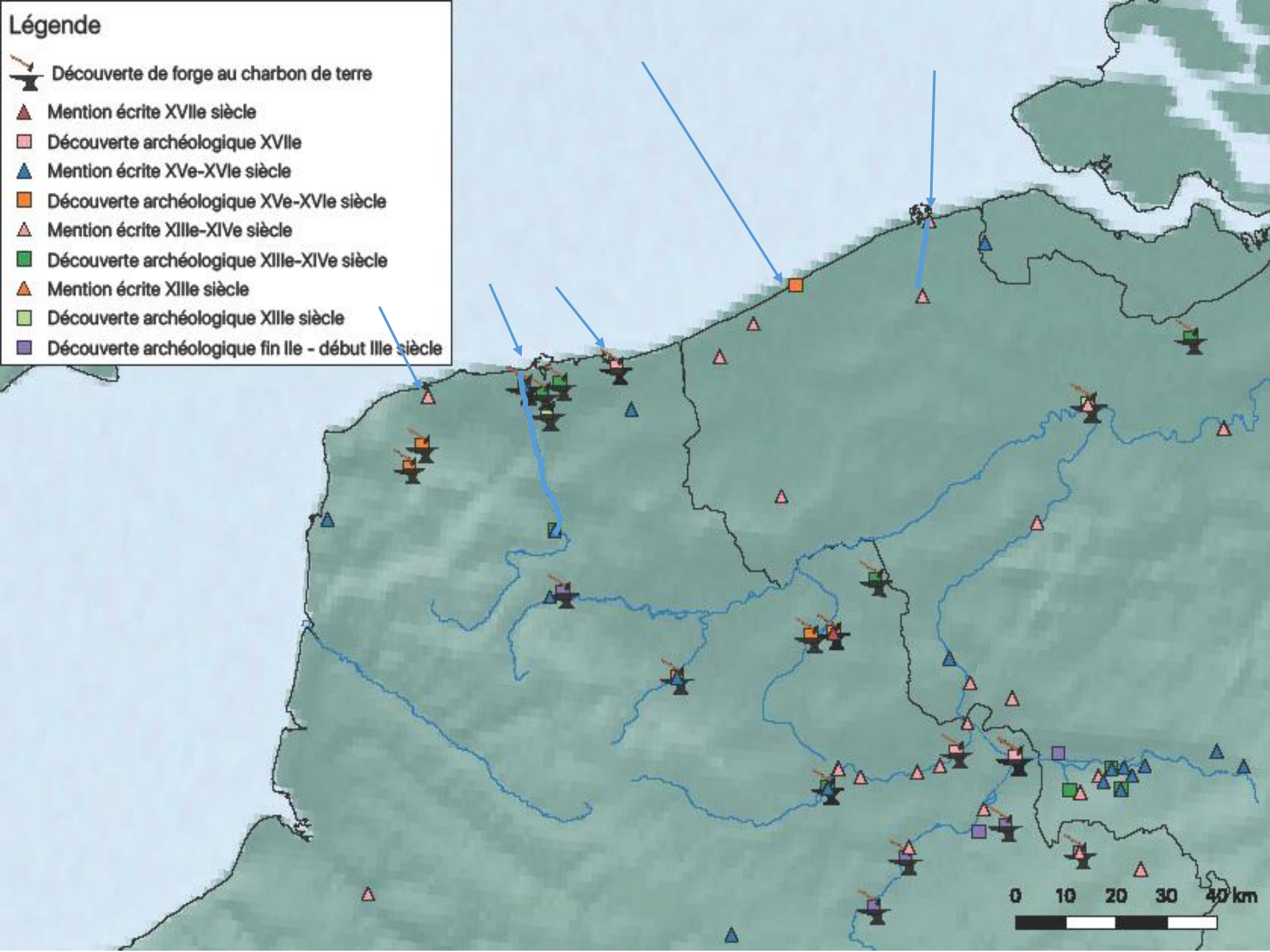
- Charbon du boullonnais
- Charbon britannique
- Charbon du Hainaut



0 10 20 30 40 km











# Légende

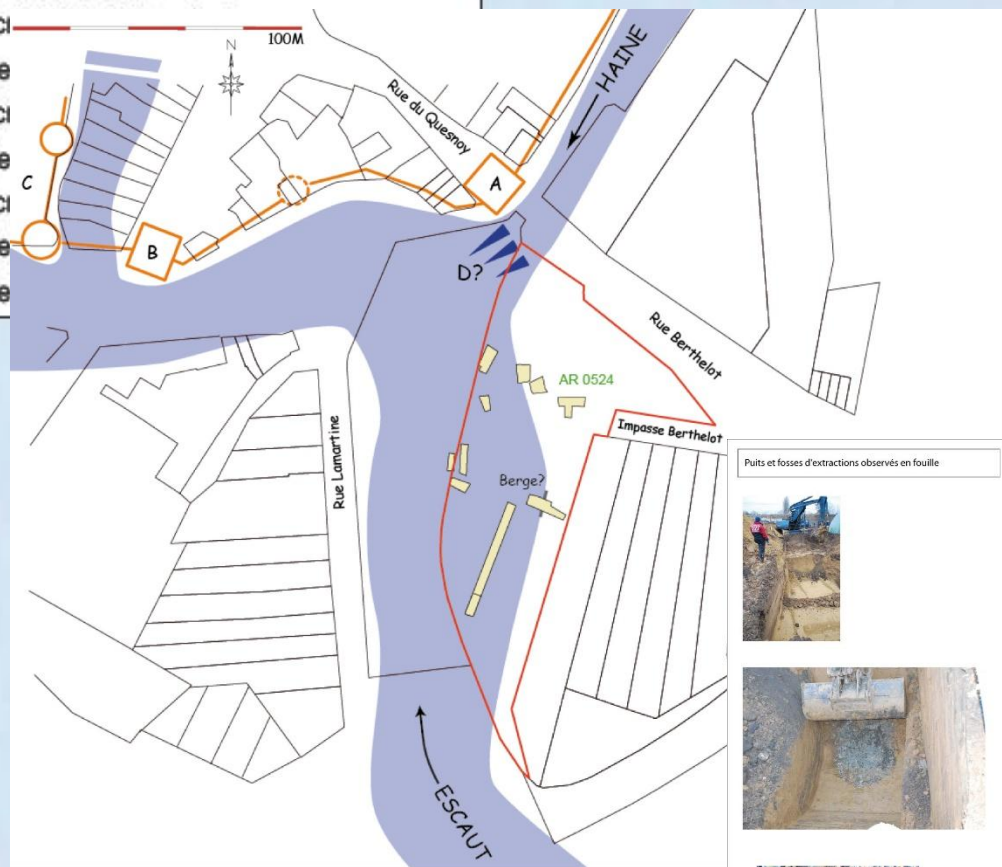
-  Découverte de forge au charbon de terre
-  Mention écrite XVIIe siècle
-  Découverte archéologique XVIIe
-  Mention écrite XVe-XVIe siècle
-  Découverte archéologique XVe-XVIe siècle
-  Mention écrite XIIIe-XIVe siècle
-  Découverte archéologique XIIIe-XIVe siècle
-  Mention écrite XIIIe siècle
-  Découverte archéologique XIIIe siècle
-  Découverte archéologique fin Ile - début IIIe siècle





# Légende

-  Découverte de forge au charbon de terre
-  Mention écrite XVIIe siècle
-  Découverte archéologique XVIIe
-  Mention écrite
-  Découverte
-  Mention écrite
-  Découverte
-  Mention écrite
-  Découverte
-  Découverte



Puits et fosses d'extractions observés en fouille



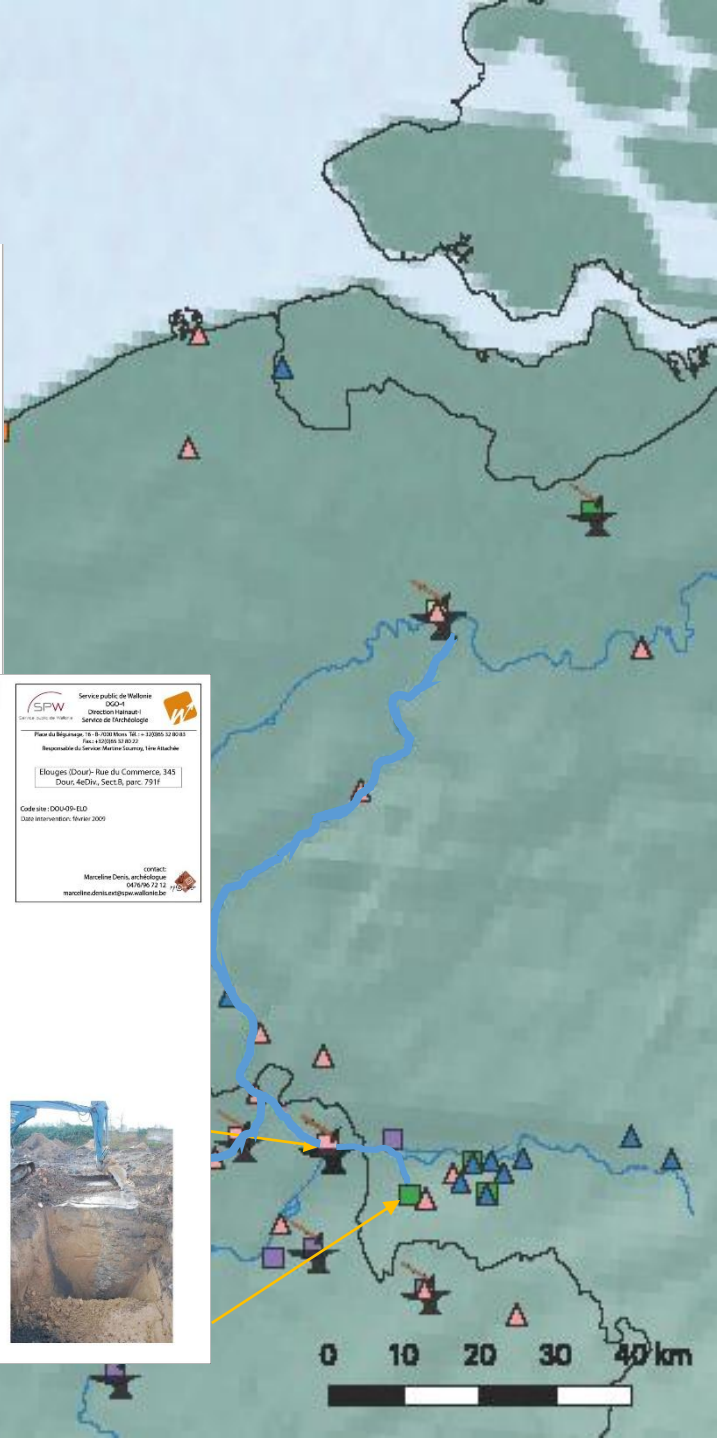
Service public de Wallonie  
 00014  
 Direction Régionale  
 Service de l'Archéologie

Place du Bâtiment, 10 - B-1028 Mons BE - t: 069 52 80 33  
 Fax: +32 69 52 80 22  
 Responsable de Service: Marcine Guesny, Line Kibbide

Elouges (Douai) - Rue du Commerce, 345  
 Deux-4eCliv, Sect. B, par. 7911

Code site : DD009-EL0  
 Date intervention: février 2009

contact:  
 Marceline Denis, archéologue  
 0478/90 72 12  
 marceline.denis@spw.wallonie.be



## Conclusions

- Il existe donc une spécificité en Flandre dès le XIII<sup>e</sup> siècle d'une métallurgie employant le charbon de terre comme combustible
- Ces ateliers sont alimentés soit par du charbon provenant des affleurements de la région de Mons ou des Iles britanniques
- Mieux cerner la place de ces artisanats et la question de la pollution liée à la combustion du charbon (fumées, mauvaises odeurs, etc.)

Merci de votre attention