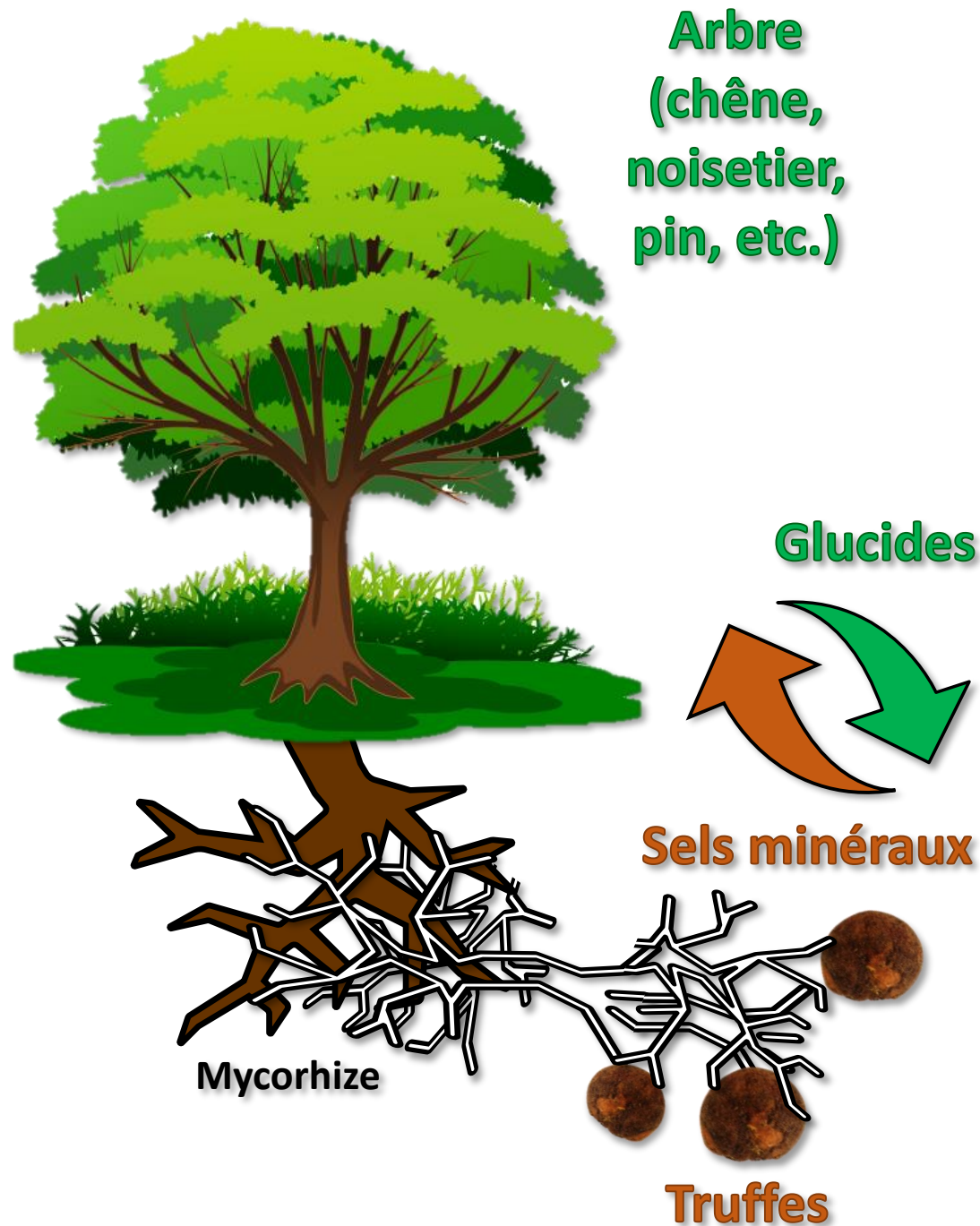


David Fortier

*Université Laval - Sous la direction du  
Pr. Normand Voyer*

# Qu'est-ce qu'une truffe?

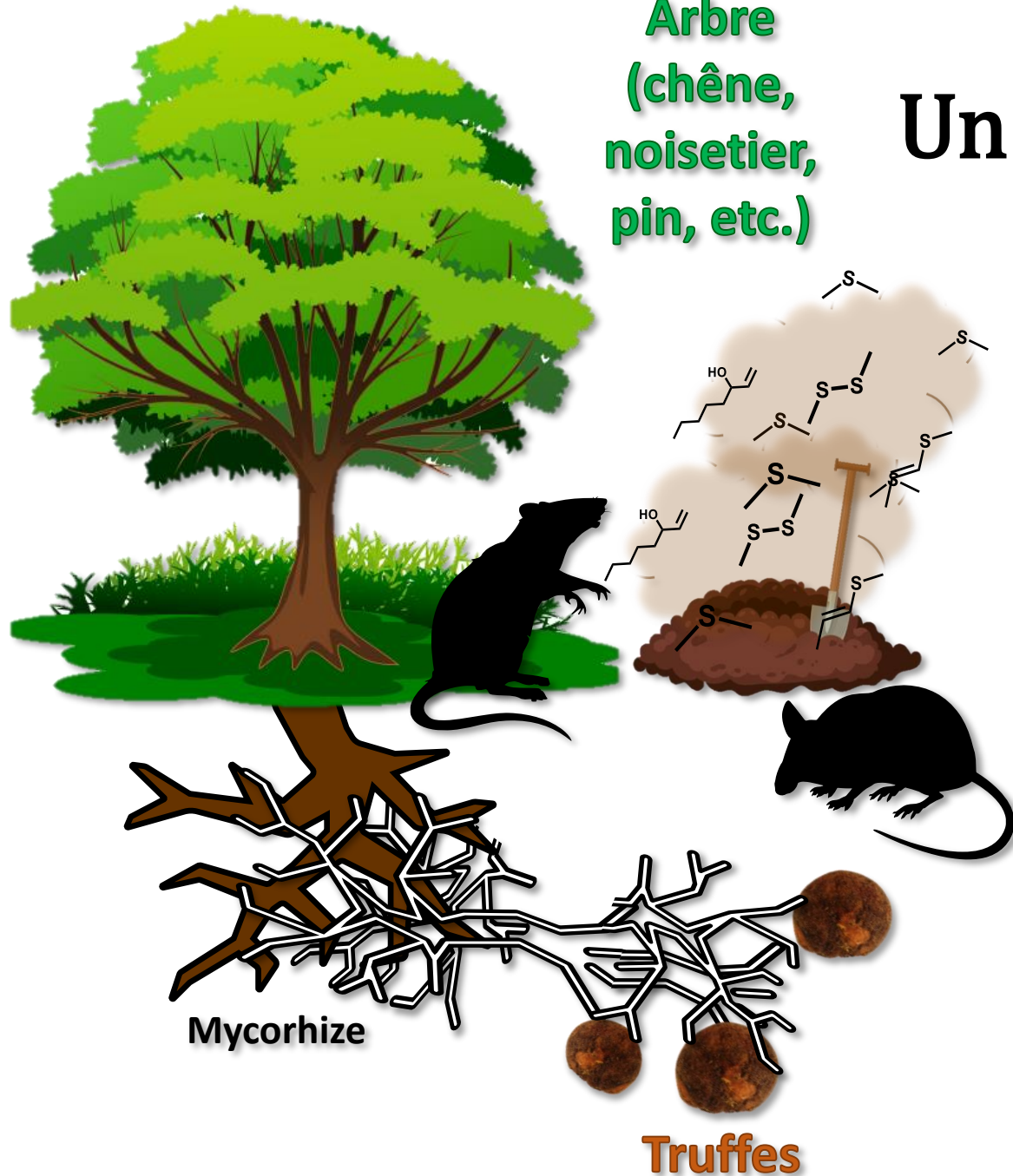


- Champignon hypogé (souterrain)
- Ectomycorhize (symbiose) avec différentes espèces d'arbres qui sont nécessaires pour sa croissance
- Plus de 180 espèces (*Tuber sp.*)

**Arbre  
(chêne,  
noisetier,  
pin, etc.)**

# Un mode de reproduction bien particulier

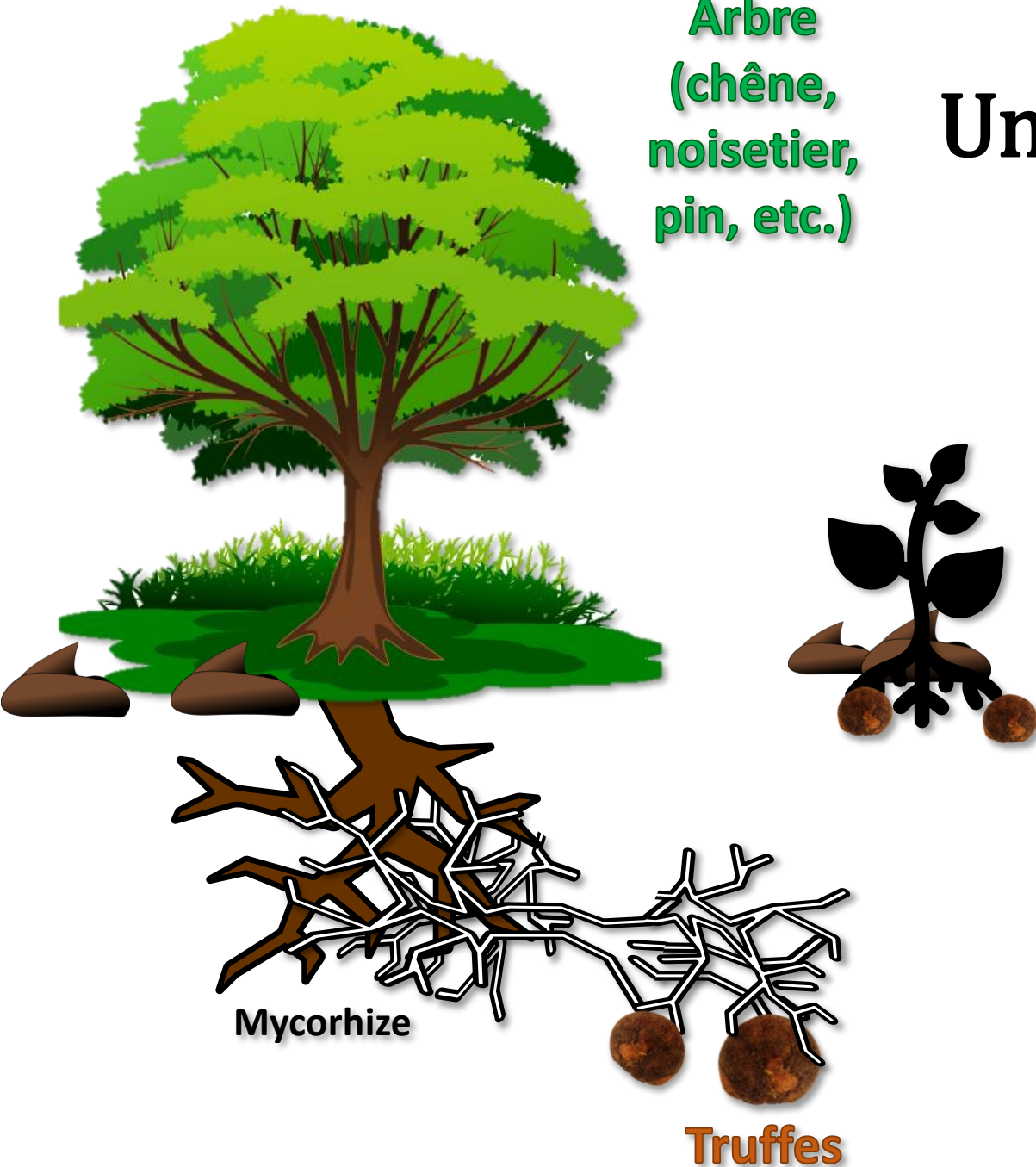
- Les spores sont coincés à l'intérieur de la truffe qui doit être déterrée disperser ces derniers.
- La truffe doit produire un cocktail de molécules à l'arôme assez puissant pour être détectée dans le sol par les animaux à distance.
- Les animaux (micromammifères) sont ainsi attirés par l'odeur de la truffe et vont creuser pour aller la chercher.



Arbre  
(chêne,  
noisetier,  
pin, etc.)

# Un mode de reproduction bien particulier

- Les animaux (micromammifères) sont ainsi attirés par l'odeur de la truffe et vont creuser pour aller la chercher et la manger.
- Les spores sont dispersés par les fèces et vont pouvoir permettre le développement de nouvelles mycorhizes



# Importance économique

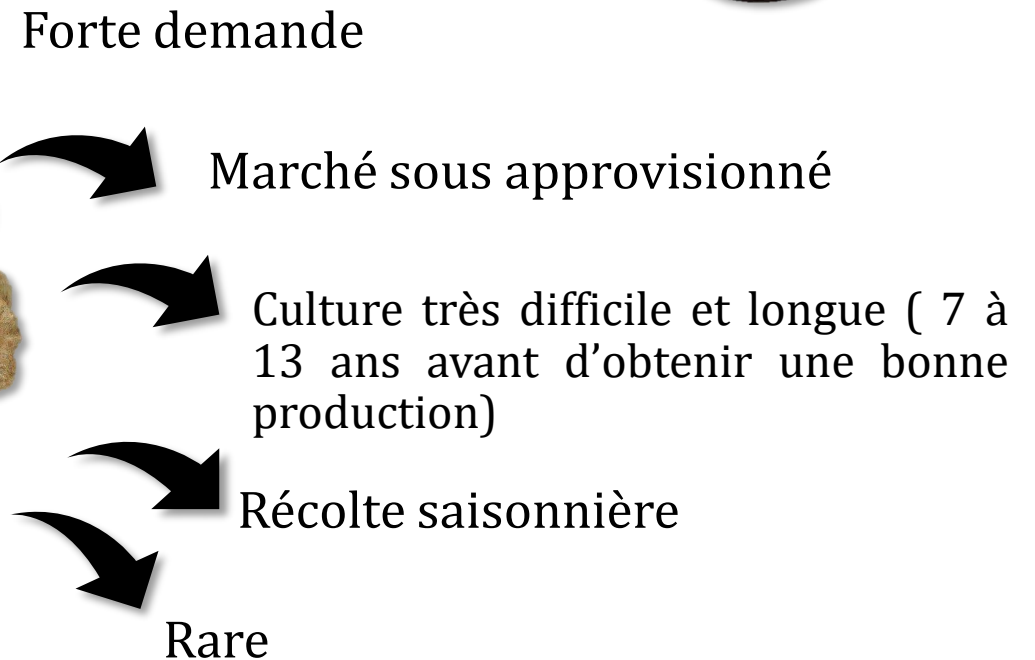
- Les truffes sont situées au sommet de la liste des aliments de luxe accompagnés du champagne et du caviar.
- Ce n'est pas uniquement la rareté qui explique leur prix élevé, mais surtout, leur arôme unique!



**Truffe noir du Périgord**  
*Tuber melanosporum*  
**5 000 \$/Kg**



**Truffe blanche du Piedmont**  
*Tuber magnatum*  
**15 000 \$/Kg !**



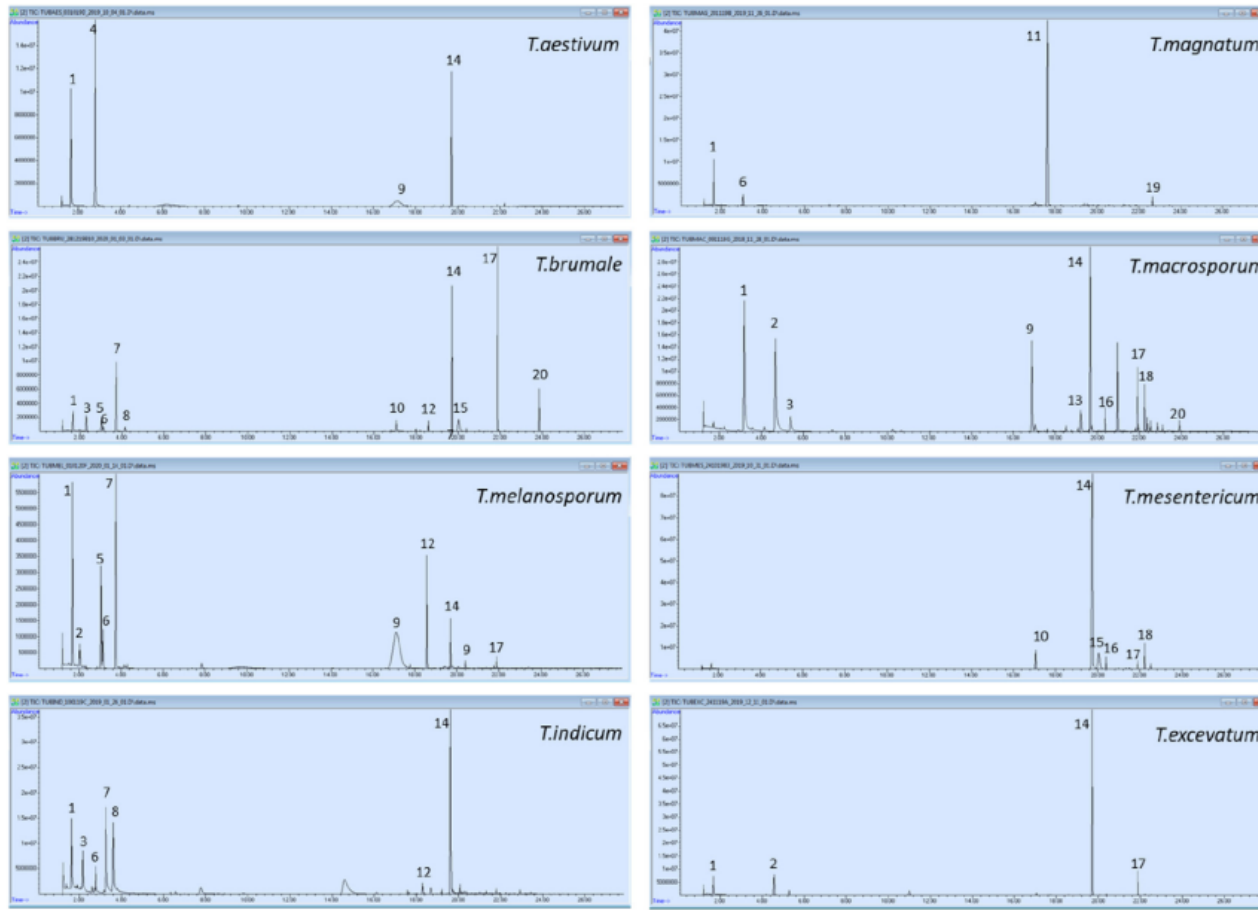
# Développement économique au Québec

- Depuis à peine une dizaine d'années, la culture des truffes est maintenant possible au Québec grâce à Jérôme Quirion (Arborinnov) pionnier de la trufficulture en Amérique du Nord

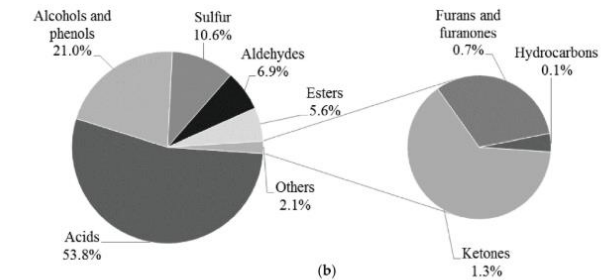
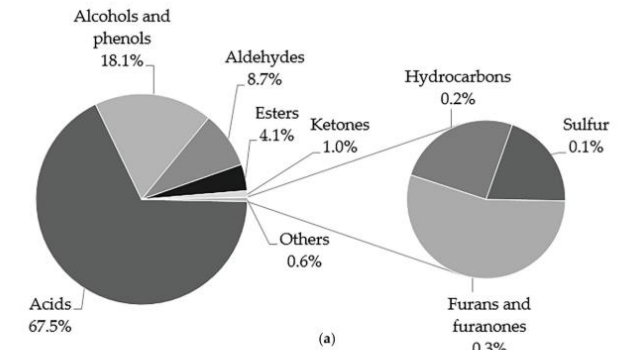


# Pourquoi caractériser l'arôme?

## 1-Outil d'identification de l'espèce



**Fig. 1.** Gas chromatographic profile of the headspace components sampled by solid-phase microextraction from the fresh truffle species: *T.aestivum*, *T. magnatum*, *T. brumale*, *T. macrosporum*, *T. melanosporum*, *T. mesentericum*, *T.indicum* and *T. excevatum*. Peak identification: 1 = Dimethyl sulfide, 2 = Acetone, 3 = Formic acid, 1-methylethyl ester, 4 = 2-Butanone, 5 = Butanal, 2-methyl, 6 = Butanal, 3-methyl, 7 = Formic acid, 1-methylpropyl ester, 8 = Formic acid, 2-methyl propyl ester, 9 = 1-Butanol, 2-methyl, 10 = 3-Octanone, 11 = 2,4-dithiapentane, 12 = Anisole, 13 = 3-Octanol, 14 = Benzene, 1-methoxy-3-methyl-, 15 = 1-Octen-3-ol, 16 = 2,3-Dimethylanisole, 17 = Benzene, 1,4-dimethoxy-, 18 = Benzene, 1,4-dimethoxy-2-methyl-, 19 = 2-Methylthioacetic acid, 20 = 1,2,4-Trimethoxybenzene.

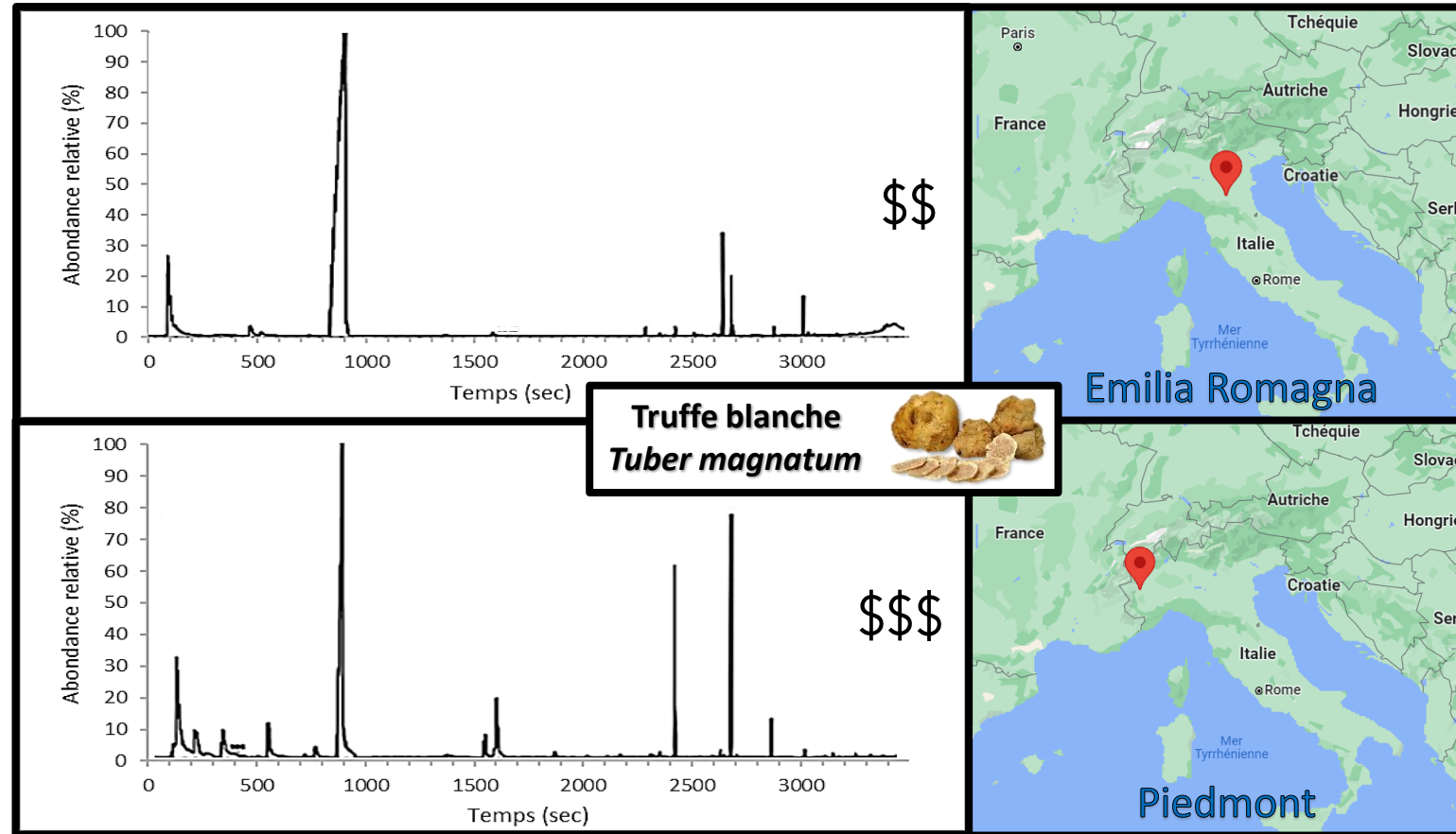


**Figure 2.** Variability of the compositions in fruiting bodies of BT (a) and WT (b) based on concentrations.

- Zhang, N.; Chen, H.; Sun, B.; Mao, X.; Zhang, Y.; Zhou, Y., Comparative Analysis of Volatile Composition in Chinese Truffles via GC × GC/HR-TOF/MS and Electronic Nose. *International Journal of Molecular Sciences* **2016**, *17* (4), 412.
- Strojnik, L.; Grebenc, T.; Ogrinc, N., Species and Geographic Variability in Truffle Aromas. *Food Chem. Toxicol.* **2020**, *142*, 111434-111445.
- Images des truffes repérées sur : <https://www.gourmetfoodworld.com/>

# Pourquoi caractériser l'arôme:

## 2-Reconnaitre l'origine géographique



<https://www.google.ca/maps>

- Gioacchini, A. M.; Menotta, M.; Bertini, L.; Rossi, I.; Zeppa, S.; Zambonelli, A.; Piccoli, G.; Stocchi, V., Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry: A New Method for Species Identification of Truffles. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2005**, 19 (17), 2365-2370.

# Pourquoi caractériser l'arôme?

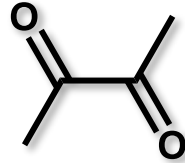
## 3- Connaitre les composés responsables de l'arôme

Structure et odeur des composés clés de l'arôme de (A) la Truffe blanche d'Alba et (B) la truffe de bourgogne

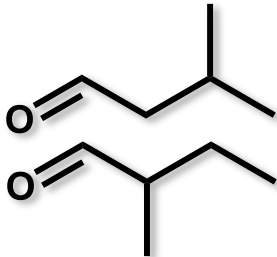
**A**



**3-(méthylthio)propanal**  
*Pomme de terre cuite*



**2,3-butanedione**  
*Beurre*

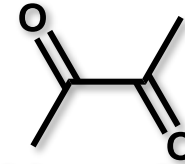


**2- et 3-méthylbutanal**  
*Malt*

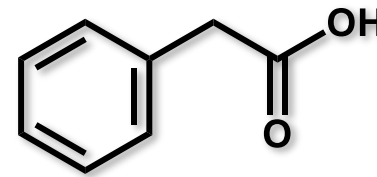


**2,4-dithiapentane**  
*Soufré, ail*

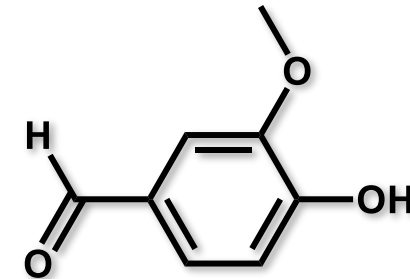
**B**



**2,3-butanedione**  
*Beurre*



**Acide phénylacétique**  
*Miel*



**Vanilline**  
*Vanille*

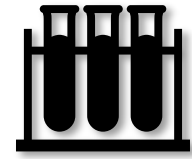
# Pourquoi caractériser l'arôme?

- Différencier et valoriser les truffes du Québec par rapport aux autres espèces connues.

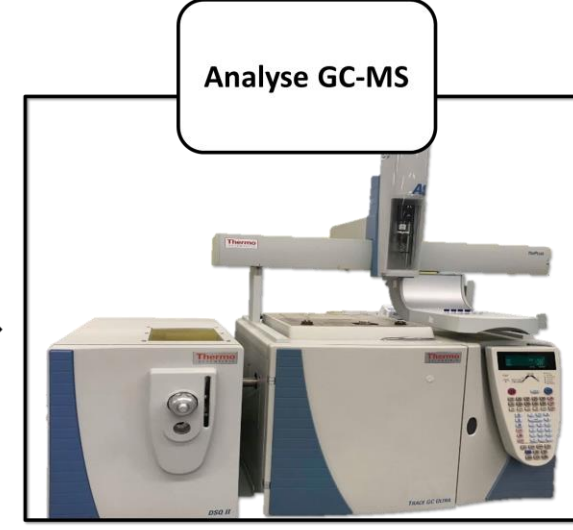
# Méthodologie

1. Échantillonnage  

2. Extraction 

3. Séparation 

4. Identification 



## 1. Échantillonnage 🍄

## 2. Extraction 🧪

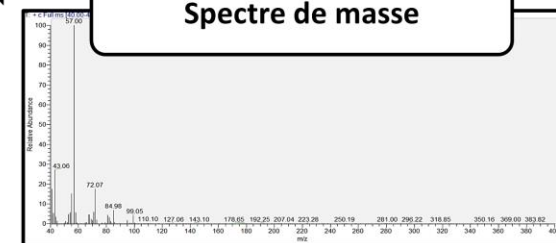
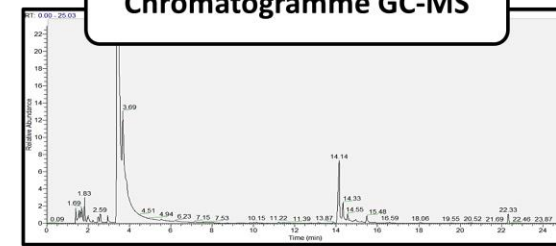
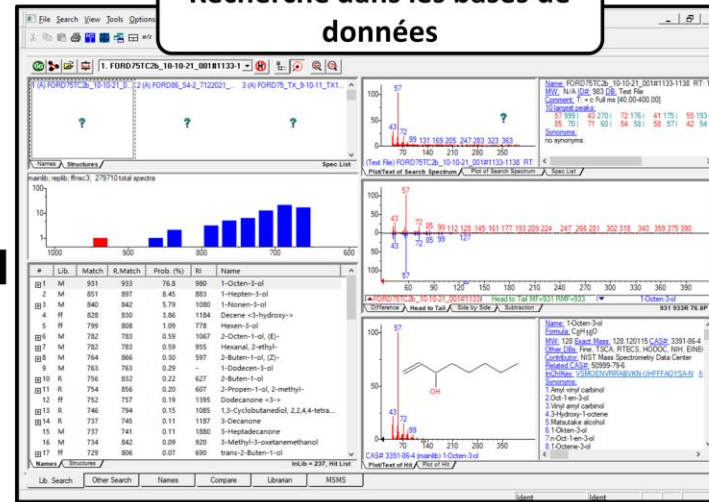
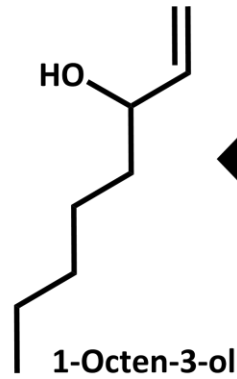
## 3. Séparation 📊

Identification d'un composé volatil

Recherche dans les bases de données

Chromatogramme GC-MS

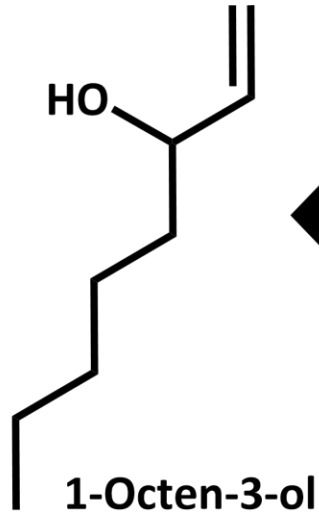
Spectre de masse



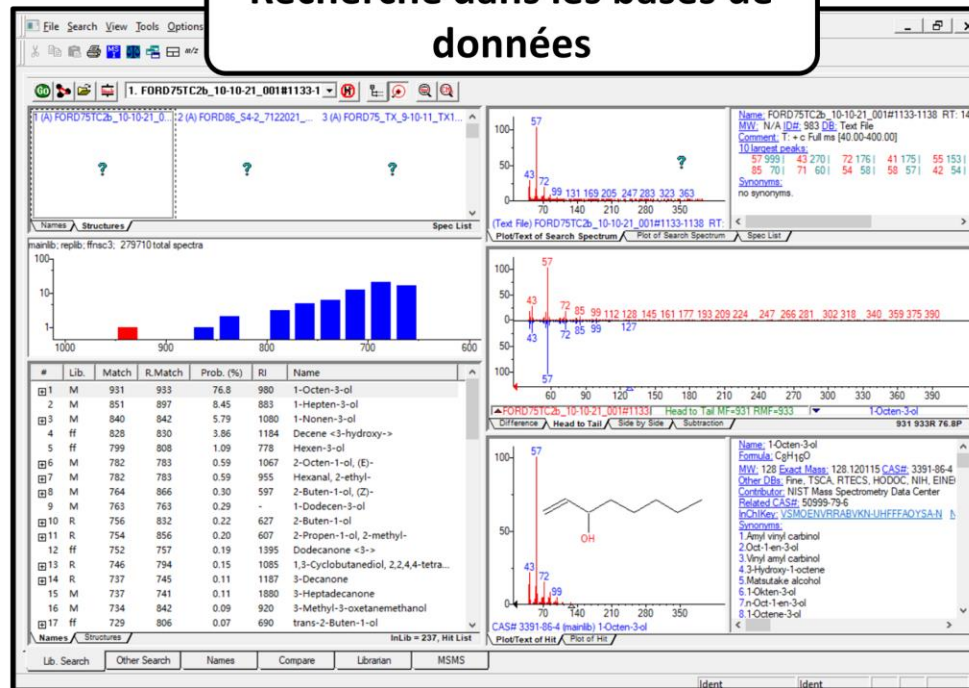
## 4. Identification 🔍

# Identification des composés

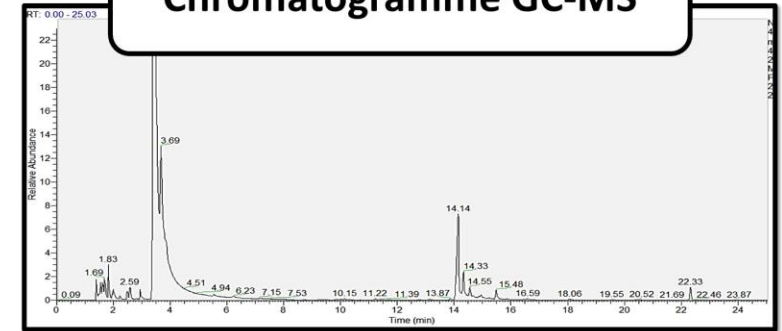
Identification d'un  
composé volatil



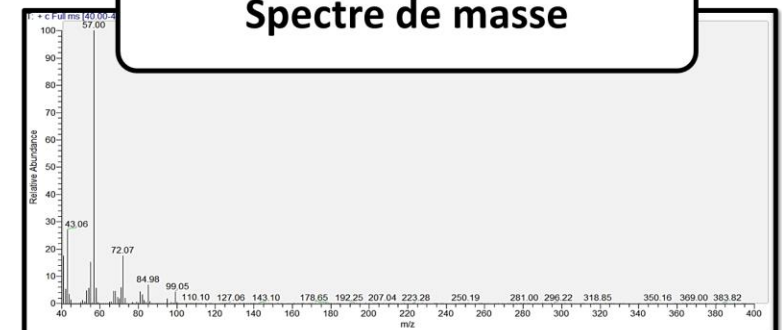
Recherche dans les bases de  
données



Chromatogramme GC-MS



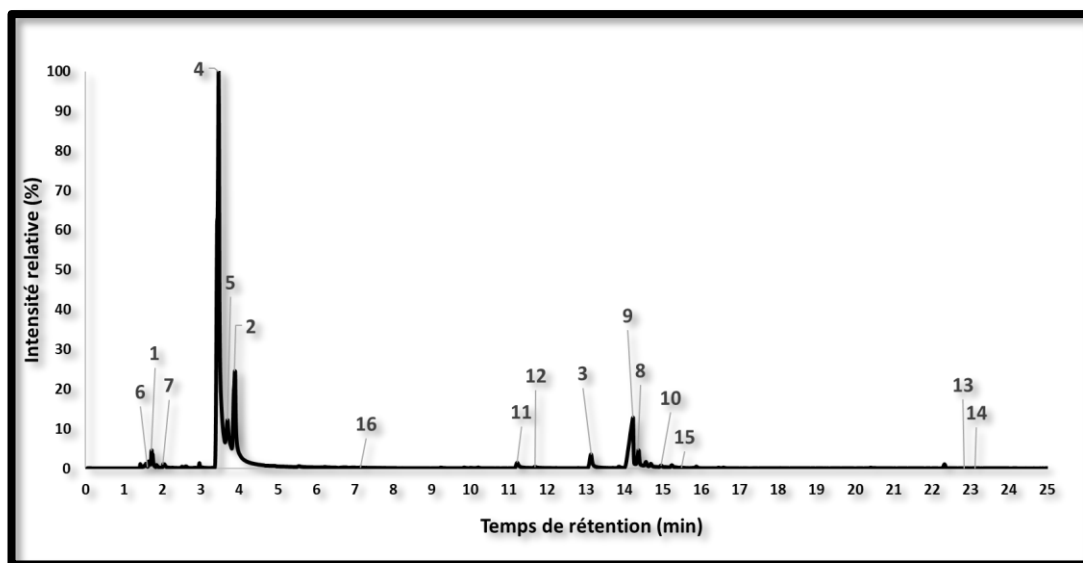
Spectre de masse



# Résultats

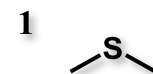
- 30 composés volatils ont été identifiés dans *Tuber canaliculatum*

## Chromatogramme GC-MS

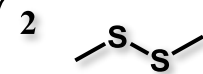


## Composés majoritaires

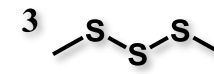
### Composés soufrés



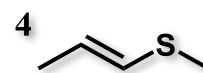
Diméthylsulfure  
(1,4 ± 0,5) %



Diméthyldisulfure  
(10,2 ± 4,8) %



Diméthyltrisulfure  
(1,3 ± 0,8) %

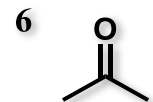


(E)-1-Méthylthio-1-propène  
(58,1 ± 4,9) %

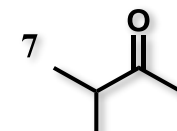


(Z)-1-Méthylthio-1-propène  
(9,6 ± 1,3) %

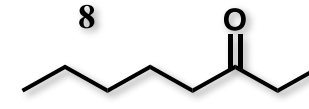
### Cétones



Acétone  
(0,9 ± 0,4) %

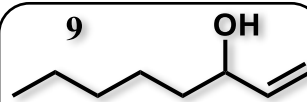


2-Butanone  
(0,5 ± 0,2) %

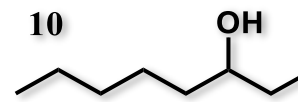


1-Octan-3-one  
(1,6 ± 0,4) %

### Alcools



1-Octène-3-ol  
(11,5 ± 4,6) %



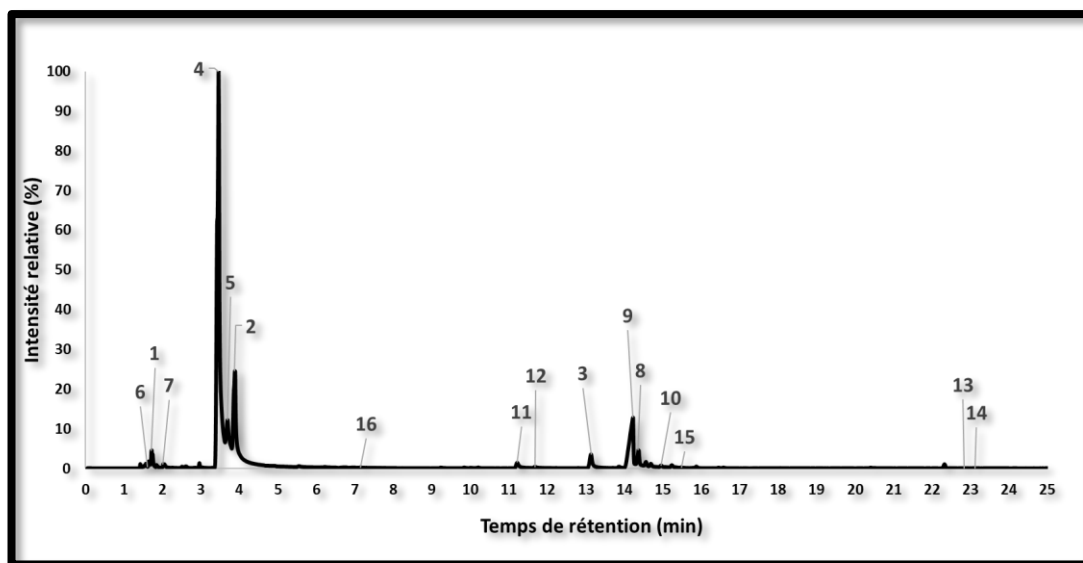
3-Octanol  
(0,4 ± 0,2) %

- Fortier, D.; Séguin, J.-C.; Voyer, N., Characterization of the Volatilome of *Tuber canaliculatum* Harvested in Quebec, Canada. *ACS Omega* **2022**, 7 (33), 29038-29045.

# Résultats

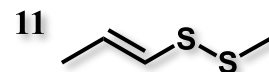
- 30 composés volatils ont été identifiés dans *Tuber canaliculatum*

## Chromatogramme GC-MS



## Composés nouveaux

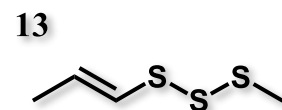
### Composés soufrés



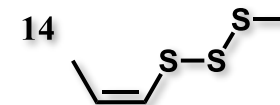
(E)-1-Méthyl-2-(propényle)disulfure  
(0,2 ± 0,1) %



(Z)-1-Méthyl-2-(propényle)disulfure  
(0,5 ± 0,3) %

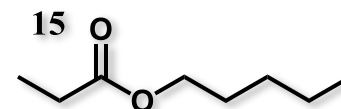


(E)-1-Méthyl-3-(propényle)trisulfure  
(Trace)



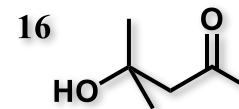
(Z)-1-Méthyl-3-(propényle)trisulfure  
(Trace)

### Ester



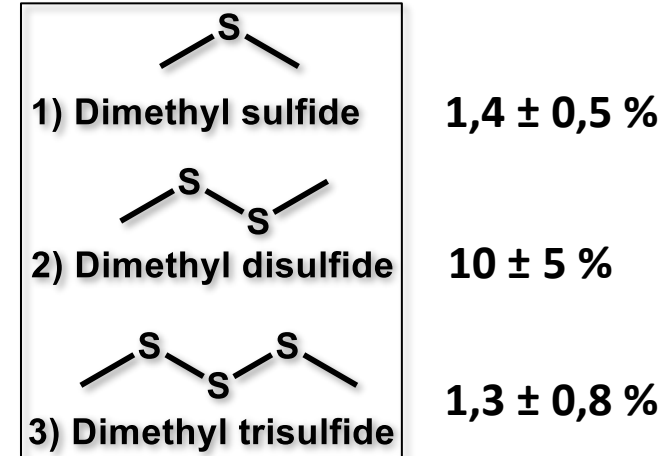
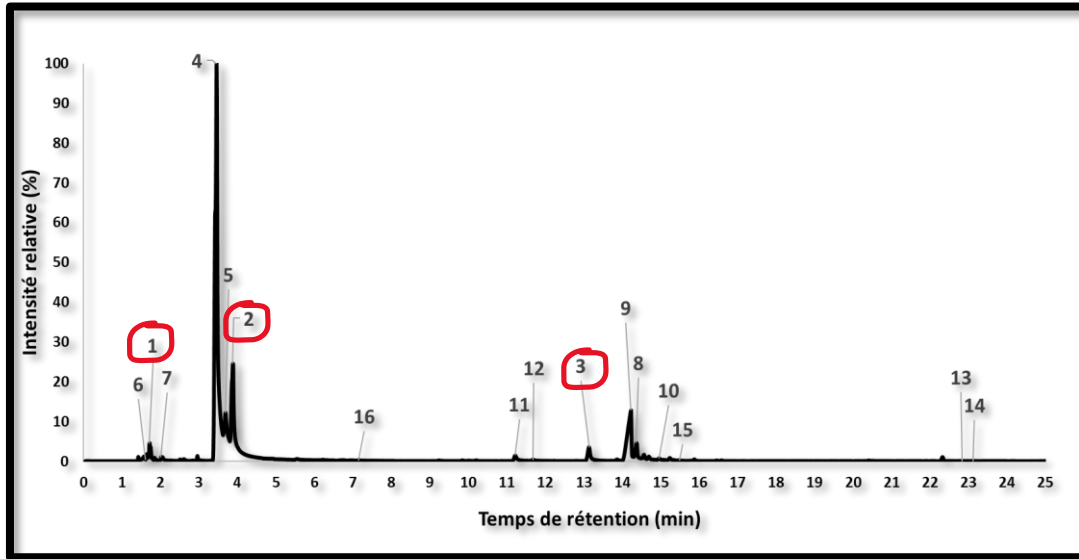
Propanoate de pentyle  
(0,1 ± 0,0) %

### Autre



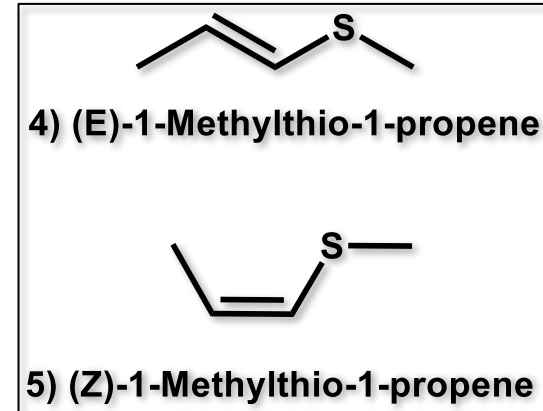
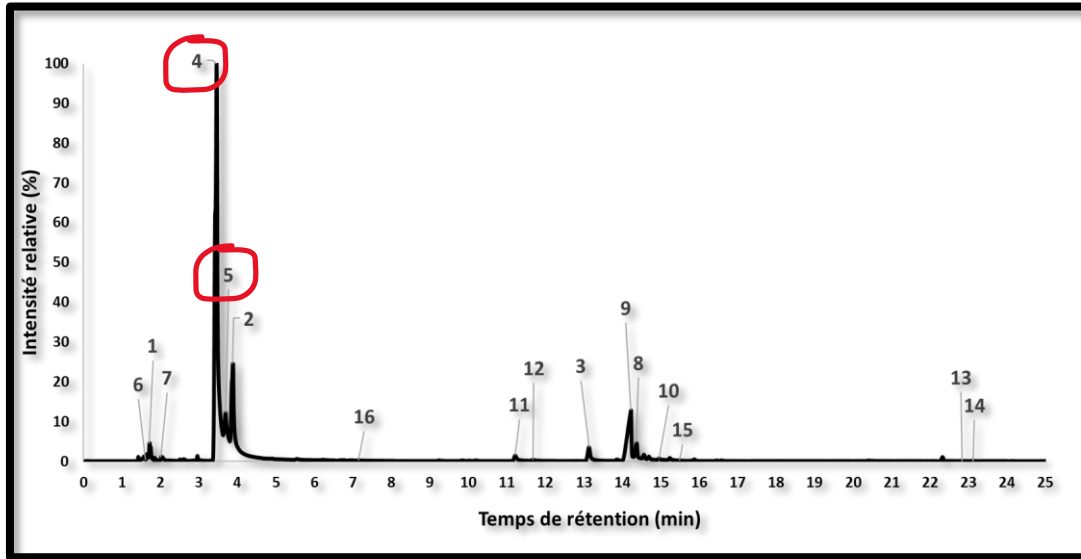
4-Hydroxy-4-méthyl-2-pentanone  
(Trace)

# Résultats



- Odeur forte rappelant le chou pourri ou les légumes crucifères cuits
- Présent dans de nombreuses espèces de truffes
- Des spécimens de *T. canaliculatum* moins frais avaient une teneur plus importante en ces composés.

# Résultats

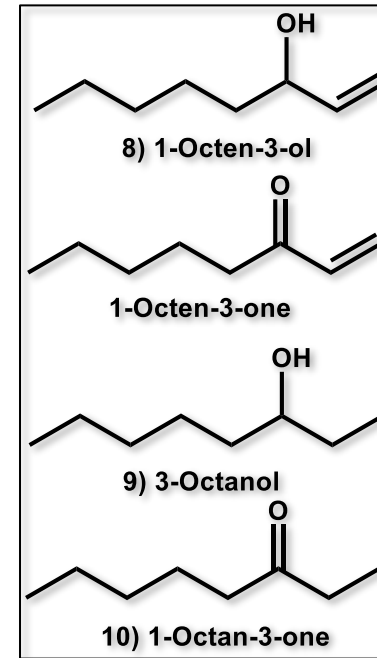
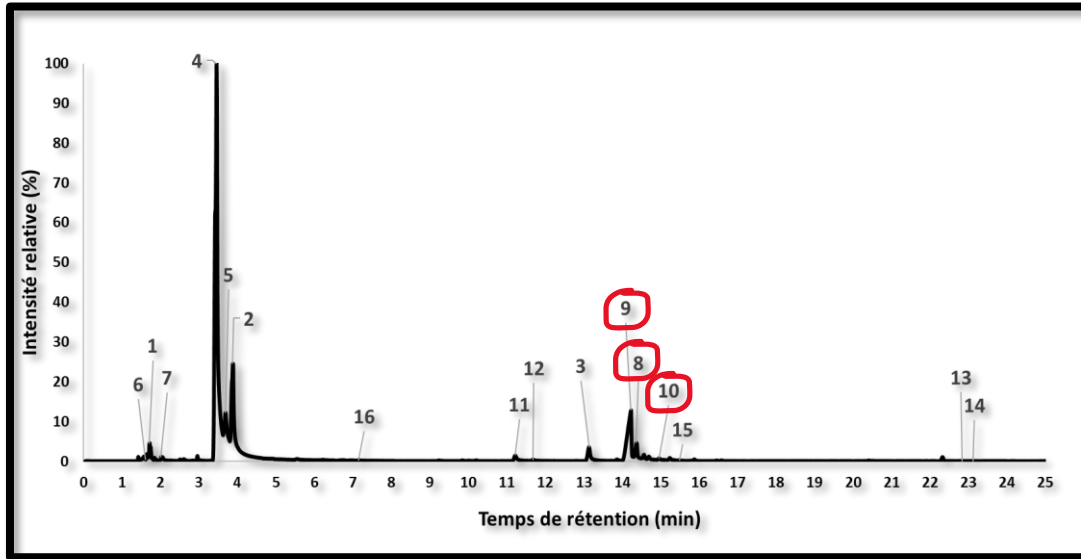


$58 \pm 5 \%$

$10 \pm 1 \%$

- Composés majoritaires
- Odeur alliacée
- Présent aussi dans *T. macrosporum* et *T. excavatum* en proportion importante

# Résultats



$12 \pm 5 \%$

Trace

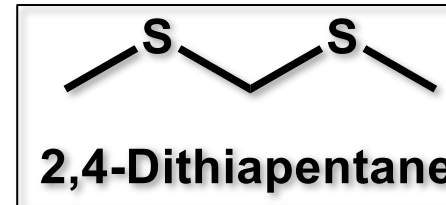
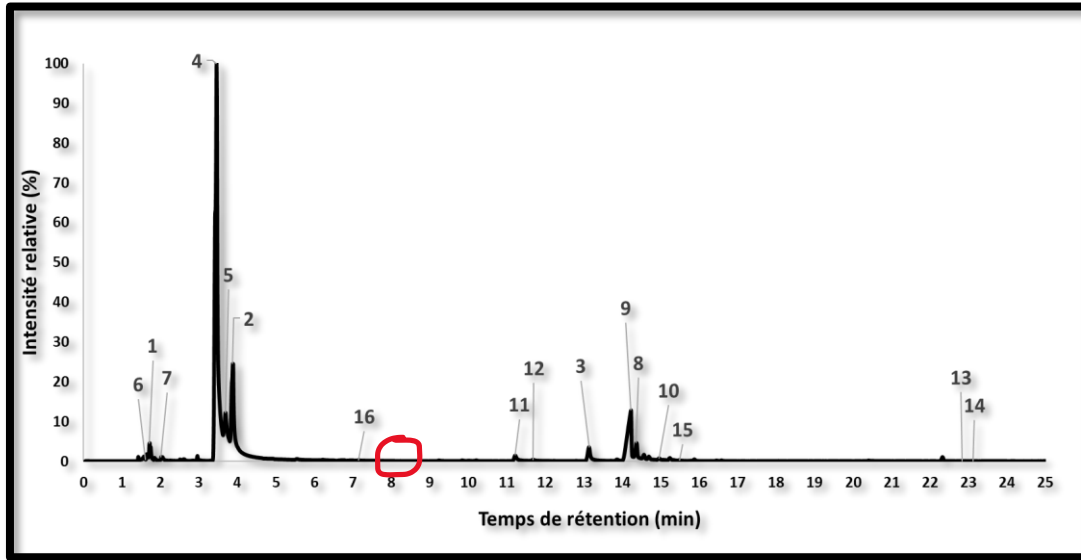
$0,4 \pm 0,2 \%$

$1,6 \pm 0,4 \%$

- Composés C8, typiquement retrouvé dans les champignons
- Responsable de l'odeur typique de 'champignon'
- Rôle important dans différents processus biologiques des champignons
- Concentration très variable en fonction de la maturité, fraîcheur et de variations géographiques (chimiotype) ou du génotype

- Emilie Combet, J. H., Daniel C. Eastwood, Kerry S. Burton, Eight-Carbon Volatiles in Mushrooms and Fungi: Properties, Analysis, and Biosynthesis. *Mycoscience* **2006**, 47, 317-326.
- Splivallo, R.; Valdez, N.; Kirchhoff, N.; Ona, M. C.; Schmidt, J. P.; Feussner, I.; Karlovsky, P., Intraspecific Genotypic Variability Determines Concentrations of Key Truffle Volatiles. *New Phytol.* **2012**, 194 (3), 823-835.

# Résultats



Trace

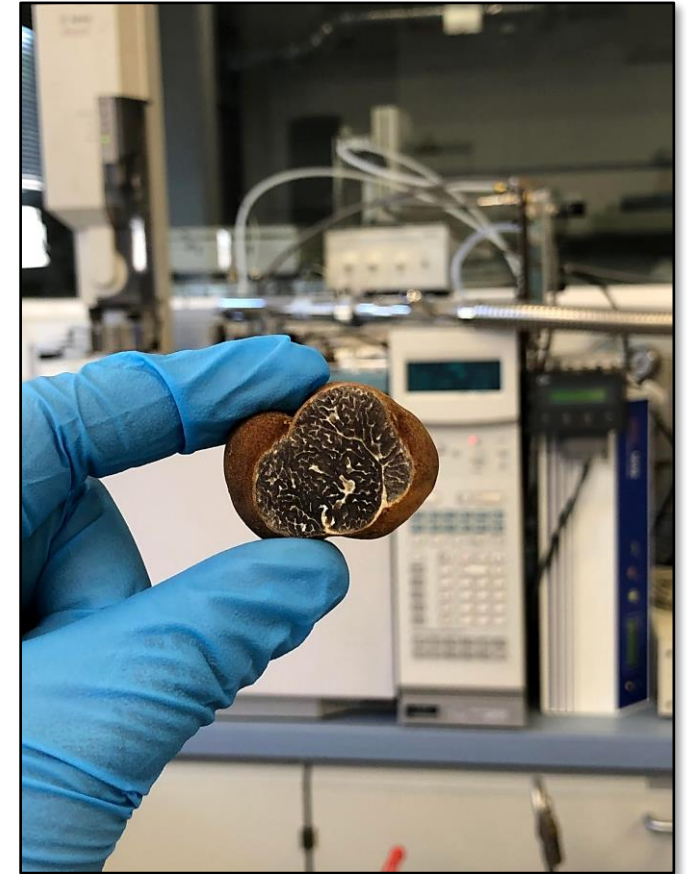
- Composé majoritaire dans la truffe blanche *Tuber magnatum*.
- Également présent dans d'autres espèces de truffes en faible quantité.
- Fréquemment ajouté aux huiles de truffes synthétiques pour donner l'arôme typique de la truffe.

- Schmidberger, P. C.; Schieberle, P., Characterization of the Key Aroma Compounds in White Alba Truffle (*Tuber magnatum* pico) and Burgundy Truffle (*Tuber uncinatum*) by Means of the Sensomics Approach. *J. Agric. Food Chem.* **2017**, 65 (42), 9287-9296.
- Zhang, N.; Chen, H.; Sun, B.; Mao, X.; Zhang, Y.; Zhou, Y., Comparative Analysis of Volatile Composition in Chinese Truffles via GC × GC/HR-TOF/MS and Electronic Nose. *Int. J. Mol. Sci.* **2016**, 17 (4), 412.
- Torregiani, E.; Lorier, S.; Sagratini, G.; Maggi, F.; Vittori, S.; Caprioli, G., Comparative Analysis of the Volatile Profile of 20 Commercial Samples of Truffles, Truffle Sauces, and Truffle-Flavored Oils by Using HS-SPME-GC-MS. *Food Anal. Methods* **2017**, 10 (6), 1857-1869.

# Perspectives

Actuellement à l'Université Côte d'Azur à Nice en France pour 3 mois

- Déterminer la contribution réelle de chaque molécule individuelle à l'arôme global par GC-Olfactométrie.
- Comparer la composition de *Tuber canaliculatum* à d'autres truffes génétiquement proche ou ayant une composition d'arôme similaire : *Tuber excavatum* et *Tuber macrosporum*.
- Analyser d'autres espèces de truffes du Québec et les comparer à des espèces européennes.

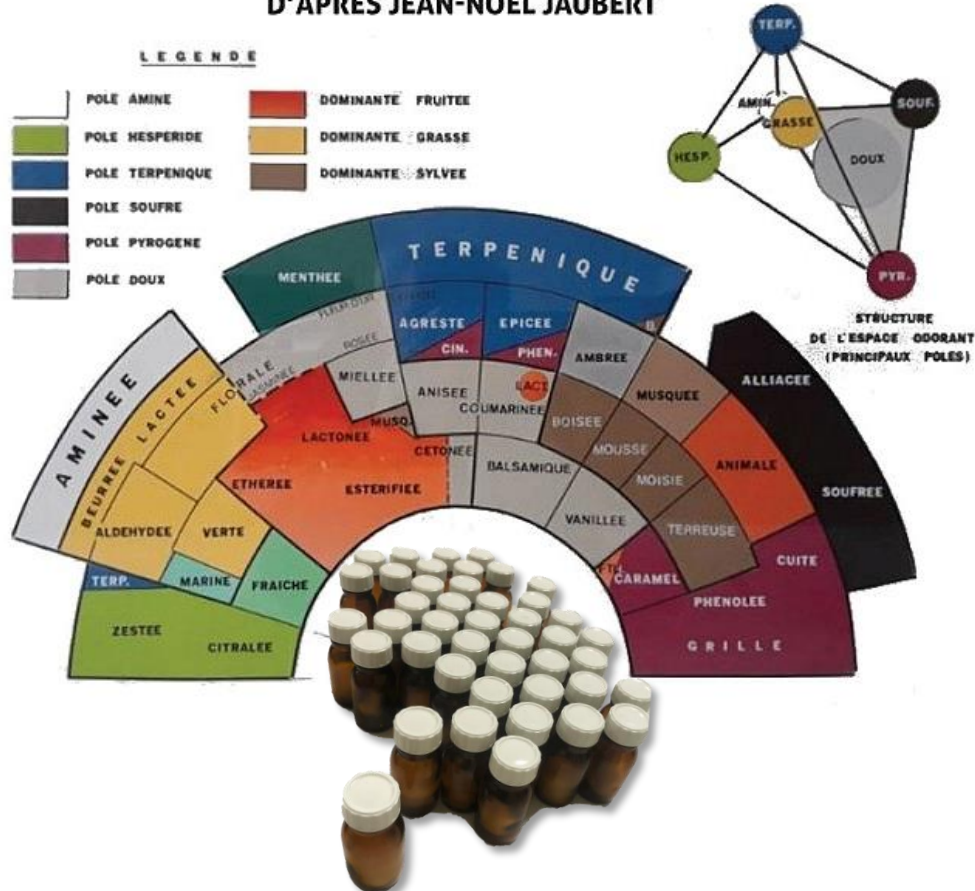


# GC-Olfactométrie

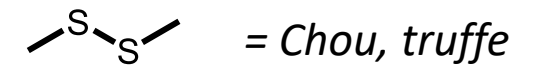
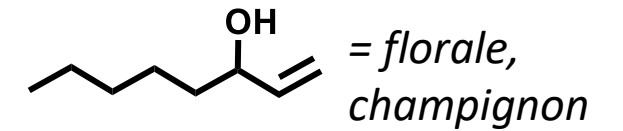
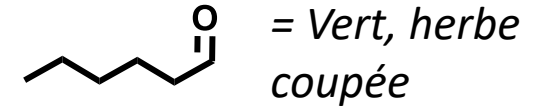
- Déterminer la contribution individuelle de chaque composé à l'arôme de la truffe

## CHAMP DES ODEURS

D'APRÈS JEAN-NOEL JAUBERT



GC-Olfactométrie



# Merci!

- Mon directeur de recherche Normand Voyer et mon collègue Jean-Christophe Séguin ;
- Jérôme Quirion d'Arborinnov et Maude Lemire-Comeau de Truffes Québec ;
- Xavier Fernandez de l'Université Côte d'Azur et son équipe;
- Sentinelle Nord pour la bourse mobilité;
- PROTEO pour le financement à la maîtrise ;
- FRQNT et CRSNG pour le financement de la recherche.



Sentinelle  
Nord



Fonds de recherche  
sur la nature  
et les technologies

Québec 



**PROTEO**  
FONCTION | INGÉNIERIE | APPLICATIONS  
DES PROTÉINES