

# Mise en œuvre de techniques d'apprentissage supervisé pour l'analyse automatique de marquages routiers

HOLLER Colin

**Master 2 CSMI**

*Encadrants* : Valérie Muzet, Christophe Heinkelé

25 Août, 2022

# Introduction générale

## Signalisation horizontale

- Fonction de guidage et d'alerte
- Règles de circulation



# Introduction générale

## Signalisation horizontale

- Fonction de guidage et d'alerte
- Règles de circulation

## Marquage routier

- ★ Conforme à la réglementation
- ★ Entretenu

# Introduction générale

## Signalisation horizontale

- Fonction de guidage et d'alerte
- Règles de circulation

## Marquage routier

- ★ Conforme à la réglementation
- ★ Entretenu

① Étude **quantitative** et **qualitative**

# Introduction générale

## Signalisation horizontale

- Fonction de guidage et d'alerte
- Règles de circulation

## Marquage routier

- ★ Conforme à la réglementation
- ★ Entretenu

- ① Étude **quantitative** et **qualitative**
- ② Appareil d'évaluation : **Ecodyn**

# Introduction générale

## Signalisation horizontale

- Fonction de guidage et d'alerte
- Règles de circulation

## Marquage routier

- ★ Conforme à la réglementation
- ★ Entretenu

- 1 Étude **quantitative** et **qualitative**
- 2 Appareil d'évaluation : **Ecodyn**
- 3 Traitement des données long et fastidieux

# Plan de l'exposé

## Mise en œuvre de techniques d'apprentissage supervisé pour l'analyse automatique de marquages routiers

- 1 Introduction
- 2 Contexte et objectifs
- 3 Segmentation automatique des marquages routiers
- 4 Identification des marquages routiers
- 5 Analyse sémantique

## Cerema

Centre d'**E**tudes et d'expertise sur les **R**isques, l'**E**nvironnement, la **M**obilité et l'**A**ménagement



★ 23 sites en France



## Cerema

Centre d'**E**tudes et d'expertise sur les **R**isques, l'**E**nvironnement, la **M**obilité et l'**A**ménagement



- ★ 23 sites en France
- ★ Missions d'essai, de contrôles, de recherches et d'innovations

## Cerema

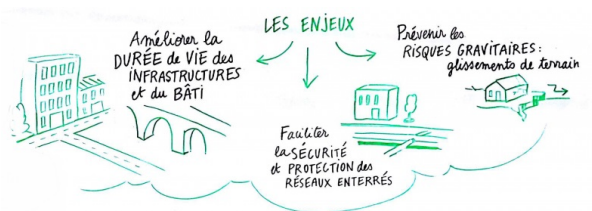
Centre d'**E**tudes et d'expertise sur les **R**isques, l'**E**nvironnement, la **M**obilité et l'**A**ménagement



- ★ 23 sites en France
- ★ Missions d'essai, de contrôles, de recherches et d'innovations
- ★ 5 groupes d'activités

## ENDSUM

Évaluation Non Destructive des Structures et Matériaux  
3 sites : Angers, Rouen, Strasbourg



# Contexte

## Contexte : La perception des marquages routiers

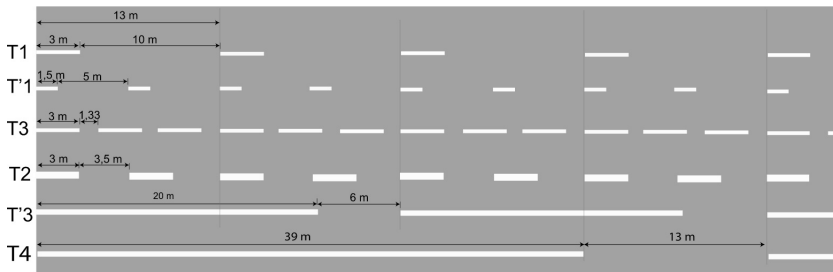
Éléments de **guidage** pour les **conducteurs** et les **véhicules automatisés**



# Contexte

## Contexte : La perception des marquages routiers

Caractérisé par leur géométrie (IISR), couleur et leur **performance**

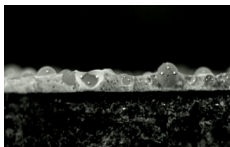


# Contexte

## Contexte : La perception des marquages routiers

Sa performance est définie dans une **norme** (EN1436)

- Visibilité de jour :  $Q_d$  en  $mcd.m^{-2}.lx^{-1}$
- Visibilité de nuit : **rétroreflexion**  $R_L$  en  $mcd.m^{-2}.lx^{-1}$



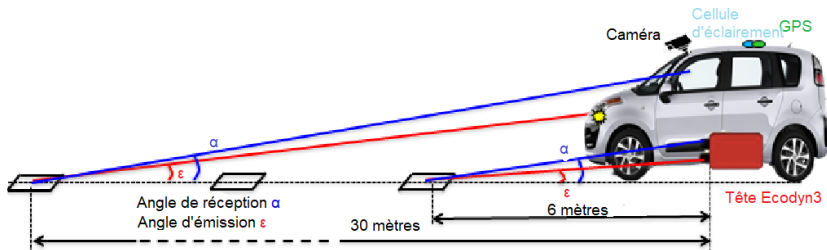
# Appareil de mesure : Ecodyn

- **Réflexomètre** mobile à grand rendement



# Appareil de mesure : Ecodyn

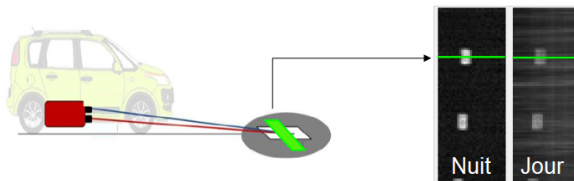
- **Réflectomètre** mobile à grand rendement
- Géométrie réduite d'un conducteur regardant un marquage éclairé



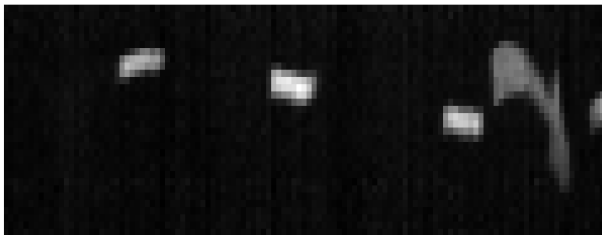


# Appareil de mesure : Ecodyn

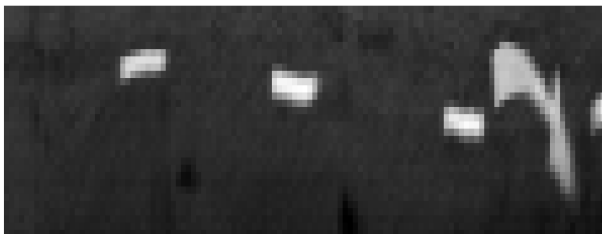
- **Réflexomètre** mobile à grand rendement
- Géométrie réduite d'un conducteur regardant un marquage éclairé
- Zone de mesure :
  - ★ **40cm** de long
  - ★ **90cm** de large



# Signaux sous forme d'images



Rétro réflexion



Luminance

# Contexte et objectifs

## Objectifs du stage

- **Valider** et **industrialiser** les méthodes de **segmentation**

# Contexte et objectifs

## Objectifs du stage

- **Valider** et **industrialiser** les méthodes de **segmentation**
- **Identification** de la **typologie des marquages**

# Contexte et objectifs

## Objectifs du stage

- **Valider** et **industrialiser** les méthodes de **segmentation**
- **Identification** de la **typologie des marquages**
- **Analyse sémantique** des marquages routiers

# Contexte et objectifs

## Objectifs du stage

- **Valider** et **industrialiser** les méthodes de **segmentation**
- **Identification** de la **typologie des marquages**
- **Analyse sémantique** des marquages routiers

→ Développement **solution logicielle** :

- ★ Besoins des utilisateurs
- ★ Traitement automatisé des mesures

# Outils et logiciels utilisés

- Programmation : Python sous un environnement Anaconda
- Bibliothèque Tensorflow et Keras pour l'implémentation des modèles de **deep learning**
- Expériences réalisées sur une station de travail avec deux processeurs graphiques (**GPU**) NVIDIA Quadro RTX 5000
- Logiciel d'annotation existant : **Vérité Terrain Ecodyn**

# Vérité Terrain Ecodyn

Images de base

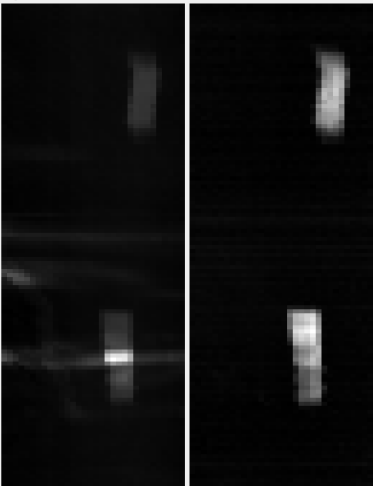



Image Segmentée et Outils

216.04 m



192.16 m



Pixel values

Pixel coords	Nuit	16.7
5 24	Jour	401.1
Distance	Type	BG
193.17		

Nom Session

choix troncon  Valider





Mode







Labélisation

Zone

Type



BG 

RM 

UNKNOWN

FLECHE

Navigation



9/36

0401.36 m / 0.001 km

Export .json

Divers

Activer grille ☐



# Vérité Terrain Ecodyn



# Vérité Terrain Ecodyn



# Vérité Terrain Ecodyn



# Vérité Terrain Ecodyn



# Vérité Terrain Ecodyn



# Vérité Terrain Ecodyn



# Vérité Terrain Ecodyn



# Segmentation automatique

## Segmentation automatique

→ étiqueter chaque pixel d'une image avec une classe correspondante à ce qui est représenté.

### Travail réalisé

- Recherches bibliographiques



# Segmentation automatique

## Segmentation automatique

→ étiqueter chaque pixel d'une image avec une classe correspondante à ce qui est représenté.

### Travail réalisé

- Recherches bibliographiques
- **Données :**
  - ★ Spécificité des données
  - ★ Spécificité du jeu d'apprentissage/test

# Segmentation automatique

## Segmentation automatique

→ étiqueter chaque pixel d'une image avec une classe correspondante à ce qui est représenté.

### Travail réalisé

- Recherches bibliographiques
- **Données :**
  - ★ Spécificité des données
  - ★ Spécificité du jeu d'apprentissage/test
- **Apprentissage supervisé :**
  - ★ Mise en place d'un **UNet**
  - ★ Influence du nombre de paramètres du **UNet**
  - ★ Évaluation des réseaux

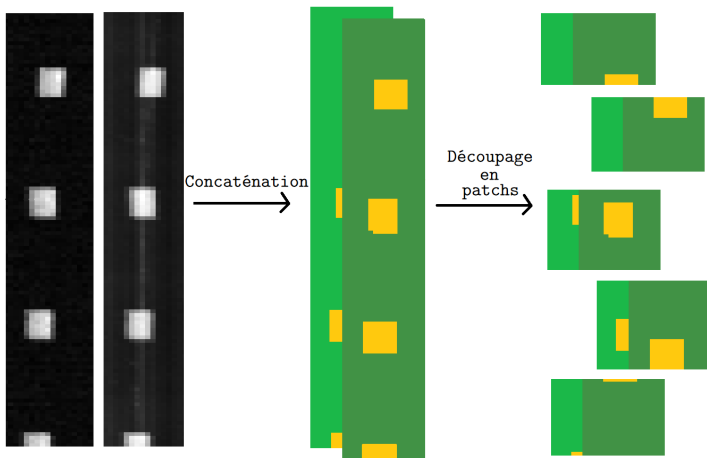
# Jeu de données

- Concaténation des données de **rétroréflexion** et de **luminance**  
↔ Images à 2 canaux

# Jeu de données

- Concaténation des données de **rétroréflexion** et de **luminance**  
↔ Images à 2 canaux
- Division des données en **patches**

# Jeu de données



# Jeu de données

- Concaténation des données de **rétroréflexion** et de **luminance**  
↪ Images à 2 canaux
- Division des données en **patches**
- Valeurs de **luminance** hétérogènes entre 5 et  $100\,000\text{cd.m}^{-2}$   
↪ **Normalisation** des données

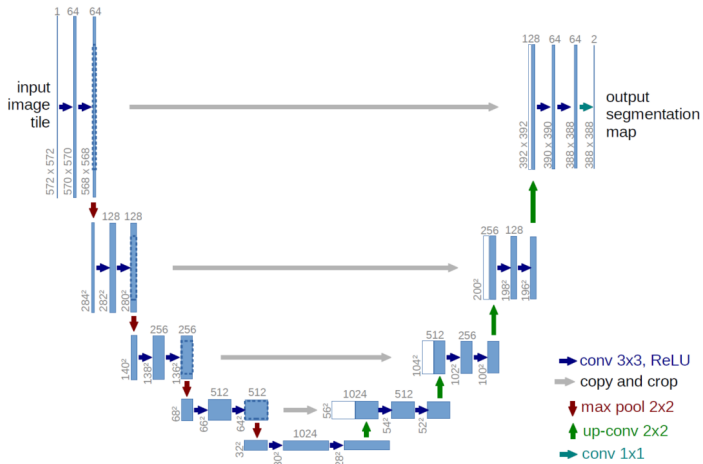
# Jeu de données

- Concaténation des données de **rétroréflexion** et de **luminance**  
↪ Images à 2 canaux
- Division des données en **patches**
- Valeurs de **luminance** hétérogènes entre 5 et  $100\,000\text{cd.m}^{-2}$   
↪ **Normalisation** des données

	Base d' <b>entraînement</b>	Base <b>test</b>
<i>Taille (km)</i>	218.37	48.71
<i>Nombre de <b>patches</b></i>	15 173	5 001

# U-net

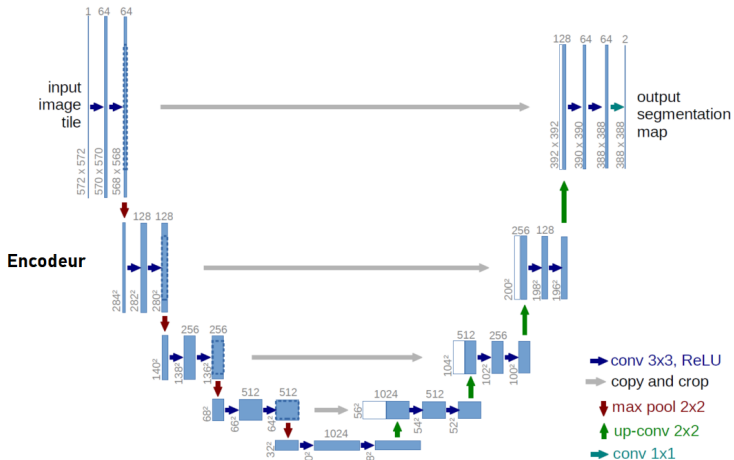
*Olaf Ronneberger, Phillip Fischer, et Thomas Brox (2015)*





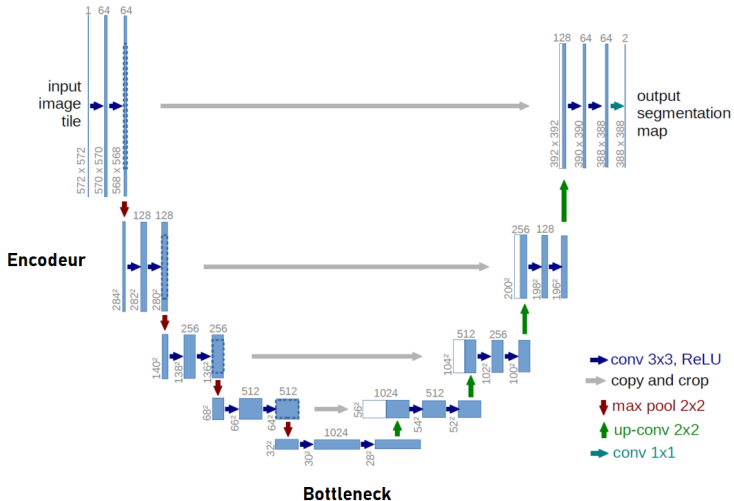
# U-net

*Olaf Ronneberger, Phillip Fischer, et Thomas Brox (2015)*



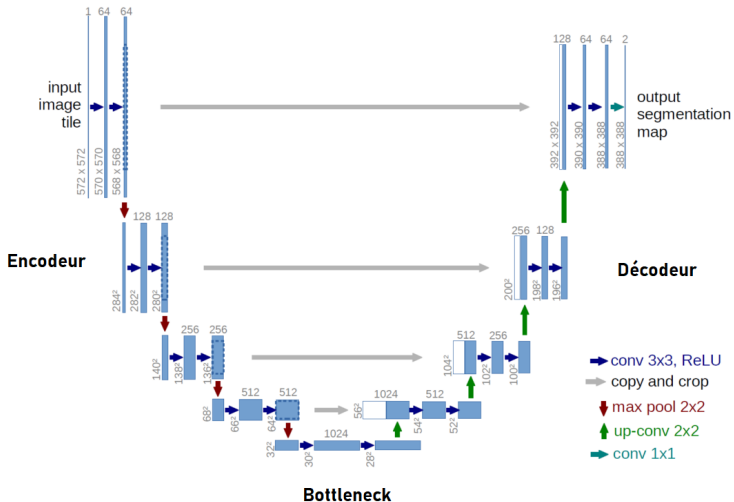
# U-net

*Olaf Ronneberger, Phillip Fischer, et Thomas Brox (2015)*



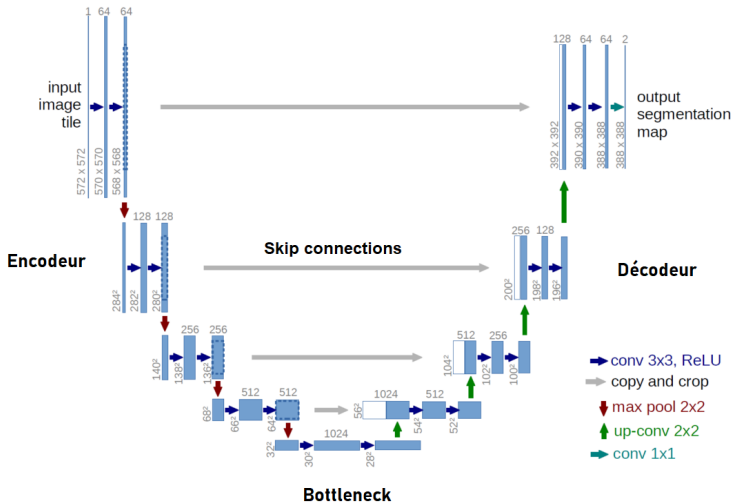
# U-net

*Olaf Ronneberger, Phillip Fischer, et Thomas Brox (2015)*



# U-net

*Olaf Ronneberger, Phillip Fischer, et Thomas Brox (2015)*



# Simplification du UNet

- Plusieurs profondeurs du **UNet** testées

Profondeur	Nombre de paramètres	Temps d'entraînement pour 200 époques (s)
0	2 786	619
1	26 066	893
2	118 194	1 213
3	484 722	1 762
4	1 354 077	2 103

# Évaluation des modèles

## Métriques d'évaluation

- **Rappel** : Pourcentage de vrai positifs bien prédits

# Évaluation des modèles

## Métriques d'évaluation

- **Rappel** : Pourcentage de vrai positifs bien prédits  
↪ Ne dit rien sur le nombre de pixels mal classifiés en classe *marquage*

# Évaluation des modèles

## Métriques d'évaluation

- **Rappel** : Pourcentage de vrai positifs bien prédits  
↪ Ne dit rien sur le nombre de pixels mal classifiés en classe *marquage*
- **Précision** : Pourcentage de prédictions positives bien effectuées



# Évaluation des modèles

## Métriques d'évaluation

- **Rappel** : Pourcentage de vrai positifs bien prédits  
⇒ Ne dit rien sur le nombre de pixels mal classifiés en classe *marquage*
- **Précision** : Pourcentage de prédictions positives bien effectuées  
⇒ Ne dit rien sur le nombre de pixels qui n'ont pas été classifiés en classe *marquage*

# Évaluation des modèles

## Métriques d'évaluation

- **Rappel** : Pourcentage de vrai positifs bien prédits  
↪ Ne dit rien sur le nombre de pixels mal classifiés en classe *marquage*
- **Précision** : Pourcentage de prédictions positives bien effectuées  
↪ Ne dit rien sur le nombre de pixels qui n'ont pas été classifiés en classe *marquage*
- **Score F1** : Moyenne harmonique entre le **Rappel** et la **Précision**

# Évaluation des modèles

## Métriques d'évaluation

- **Rappel** : Pourcentage de vrai positifs bien prédits  
↪ Ne dit rien sur le nombre de pixels mal classifiés en classe *marquage*
- **Précision** : Pourcentage de prédictions positives bien effectuées  
↪ Ne dit rien sur le nombre de pixels qui n'ont pas été classifiés en classe *marquage*
- **Score F1** : Moyenne harmonique entre le **Rappel** et la **Précision**  
↪ Compromis selon le problème

# Évaluation du modèle

## Performances sur base test

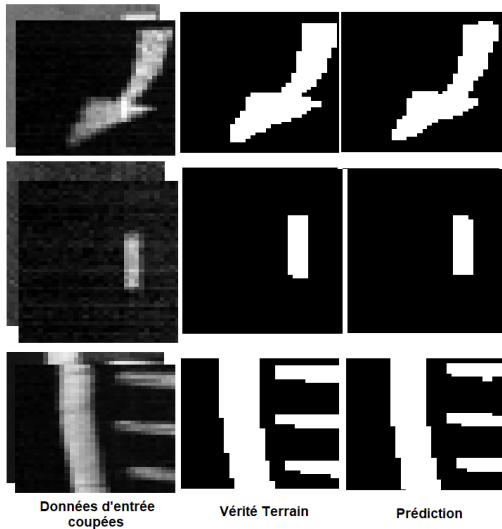
	Précision (%)	Rappel (%)	F1 (%)	Nombre de paramètres	Temps d'inférence (s)
0	90.91	88.76	90.91	<b>2 786</b>	<b>0.0018</b>
1	93.17	<b>92.41</b>	92.88	26 066	0.026
2	94.23	91.88	92.69	118 194	0.034
3	93.22	92.12	92,71	484 722	0.039
4	<b>94.81</b>	91.82	<b>93.21</b>	1 354 077	0.061

# Évaluation du modèle

## Performances sur base test

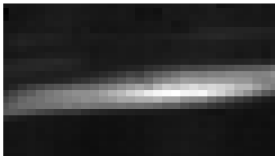
	Précision (%)	Rappel (%)	F1 (%)	Nombre de paramètres	Temps d'inférence (s)
0	90.91	88.76	90.91	<b>2 786</b>	<b>0.0018</b>
1	93.17	<b>92.41</b>	92.88	26 066	0.026
2	94.23	91.88	92.69	118 194	0.034
3	93.22	92.12	92,71	484 722	0.039
4	<b>94.81</b>	91.82	<b>93.21</b>	1 354 077	0.061

# Évaluation du modèle



# Évaluation du modèle

**Luminance**



**Rétroréflexion**



**Prédiction**



**Situation réelle**

# Identification géométrique

## Identification géométrique

→ étiqueter chaque marquage selon son type suivant la norme (**IISR**)



# Identification géométrique

## Identification géométrique

→ étiqueter chaque marquage selon son type suivant la norme (**IISR**)

### Travail réalisé

- Classification avec **UNet multi-classes** (?)

# Identification géométrique

## Identification géométrique

→ étiqueter chaque marquage selon son type suivant la norme (**IISR**)

### Travail réalisé

- Classification avec **UNet multi-classes (?) NON**

# Identification géométrique

## Identification géométrique

→ étiqueter chaque marquage selon son type suivant la norme (**IISR**)

### Travail réalisé

- Classification avec **UNet multi-classes (?) NON**
- Identification **géométrique** :
  - ★ Statistiques sur les marquages
  - ★ Création d'intervalles d'appartenances

# Identification géométrique

## Identification géométrique

→ étiqueter chaque marquage selon son type suivant la norme (**IISR**)

### Travail réalisé

- Classification avec **UNet multi-classes (?) NON**
- Identification **géométrique** :
  - ★ Statistiques sur les marquages
  - ★ Création d'intervalles d'appartenances
- Évaluation de l'identification :
  - ★ Matrice de confusion

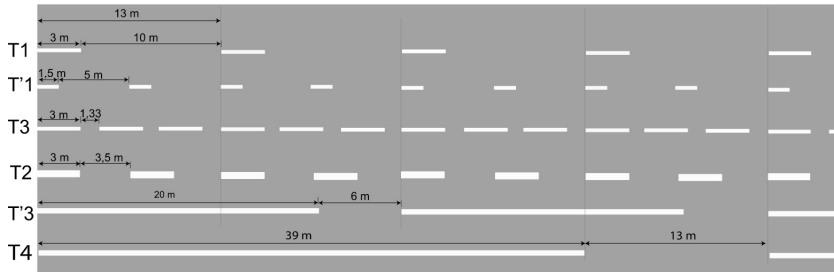
# Construction d'intervalles d'appartenance

## Identification géométrique sans apprentissage

Marquage rectangulaire caractérisé par

- **Longueur**
- **Inter-distance**

Marquages rares et non rectangulaires classés en type inconnu

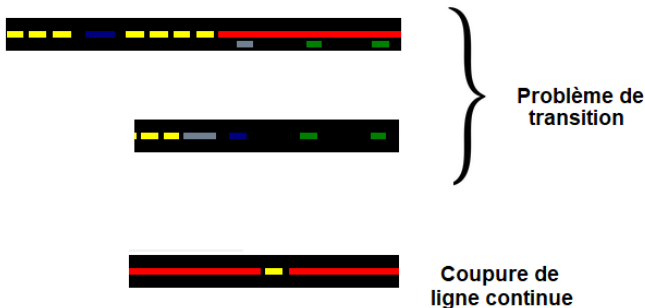


# Évaluation de l'identification géométrique

- Mise en place d'une **matrice de confusion**

Vérité Terrain	Prédiction						
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T' <sub>3</sub>	LC	UNK
	T <sub>1</sub>	<b>6 695</b>	19	57	0	0	321
	T <sub>2</sub>	13	<b>4 514</b>	46	0	1	8
	T <sub>3</sub>	39	81	<b>4 837</b>	0	0	64
	T <sub>4</sub>	0	0	0	<b>499</b>	2	121
	T' <sub>3</sub>	1	1	1	0	<b>74</b>	40
	LC	2	15	51	0	3	<b>70</b>
	UNK	16	150	229	1	0	<b>108</b>

# Limites de l'identification géométrique



# Limites de l'identification géométrique





## Analyse sémantique

↔ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

→ **Problème** : Un marquage dépend des marquages qui l'entourent

## Analyse sémantique

↪ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

↪ **Problème** : Un marquage dépend des marquages qui l'entourent ↪

**Solution** : Méthodes du **traitement de langage naturel**

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

### Travail réalisé

- Mise en place d'un lien entre la sémantique des marquages et le traitement naturel du langage

# Analyse sémantique

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

### Travail réalisé

- Mise en place d'un lien entre la sémantique des marquages et le traitement naturel du langage :
  - ★ Mise en place d'un alphabet représentant la route

# Analyse sémantique

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

### Travail réalisé

- Mise en place d'un lien entre la sémantique des marquages et le traitement naturel du langage :
  - ★ Mise en place d'un alphabet représentant la route
- Recherches bibliographiques et mise en place de modèles pour le traitement naturel du langage

# Analyse sémantique

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

### Travail réalisé

- Mise en place d'un lien entre la sémantique des marquages et le traitement naturel du langage :
  - ★ Mise en place d'un alphabet représentant la route
- Recherches bibliographiques et mise en place de modèles pour le traitement naturel du langage :
  - ★ Réseaux de neurones récurrents (**RNN**, **LSTM**)

# Analyse sémantique

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

### Travail réalisé

- Mise en place d'un lien entre la sémantique des marquages et le traitement naturel du langage :
  - ★ Mise en place d'un alphabet représentant la route
- Recherches bibliographiques et mise en place de modèles pour le traitement naturel du langage :
  - ★ Réseaux de neurones récurrents (**RNN**, **LSTM**)
  - ★ Mécanisme d'attention des **Transformers**



# Analyse sémantique

## Analyse sémantique

→ détecter des erreurs issues de la **segmentation**, de l'**identification** ou bien liées à la route

### Travail réalisé

- Mise en place d'un lien entre la sémantique des marquages et le traitement naturel du langage :
  - ★ Mise en place d'un alphabet représentant la route
- Recherches bibliographiques et mise en place de modèles pour le traitement naturel du langage :
  - ★ Réseaux de neurones récurrents (**RNN**, **LSTM**)
  - ★ Mécanisme d'attention des **Transformers**
- Évaluation des modèles

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)  
↳ couche **Dense** possédant une mémoire

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↪ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↪ **MAIS** à court terme

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↪ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↪ **MAIS** à court terme
- Réseaux de neurones récurrents **LSTM**

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↳ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↳ **MAIS** à court terme
- Réseaux de neurones récurrents **LSTM**
  - ↳ mémoire à court terme **ET** à long terme

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↪ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↪ **MAIS** à court terme
- Réseaux de neurones récurrents **LSTM**
  - ↪ mémoire à court terme **ET** à long terme
  - ↪ notion d'oubli de l'information

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↪ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↪ **MAIS** à court terme
- Réseaux de neurones récurrents **LSTM**
  - ↪ mémoire à court terme **ET** à long terme
  - ↪ notion d'oubli de l'information

## Mécanisme d'attention

- Mécanisme d'attention des **Transformers**



# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↪ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↪ **MAIS** à court terme
- Réseaux de neurones récurrents **LSTM**
  - ↪ mémoire à court terme **ET** à long terme
  - ↪ notion d'oubli de l'information

## Mécanisme d'attention

- Mécanisme d'attention des **Transformers**
  - ↪ Basé sur la similitude de deux vecteurs euclidiens à travers le produit scalaire

# Modèles du traitement de langage naturel

## Réseaux récurrents

- Réseaux de neurones récurrents simples (**RNN**)
  - ↪ couche **Dense** possédant une mémoire
  - ↪ **MAIS** à court terme
- Réseaux de neurones récurrents **LSTM**
  - ↪ mémoire à court terme **ET** à long terme
  - ↪ notion d'oubli de l'information

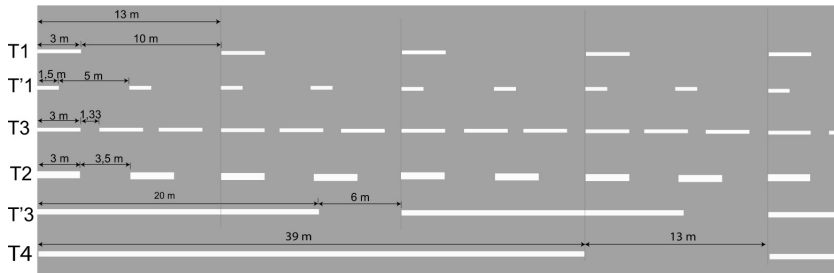
## Mécanisme d'attention

- Mécanisme d'attention des **Transformers**
  - ↪ Basé sur la similitude de deux vecteurs euclidiens à travers le produit scalaire
  - ↪ Notion de **tête** ~ se focaliser sur plusieurs **caractéristiques** et **parallélisme**

# Préparation des données

Association des **marquages** à des **lettres**

$$A_{\text{marquage}} = \begin{cases} M_1 & \longrightarrow \{\text{marquages de 3 mètres}\} \equiv \{T_1, T_2, T_3\} \\ M_2 & \longrightarrow \{\text{marquage de 20 mètres}\} \equiv \{T'_3\} \\ M_3 & \longrightarrow \{\text{marquage de 39 mètres}\} \equiv \{T_4\} \\ LC & \longrightarrow \{\text{ligne continu}\} \equiv \{LC\} \\ UNK & \longrightarrow \mathcal{E}_{UNK} \end{cases}$$

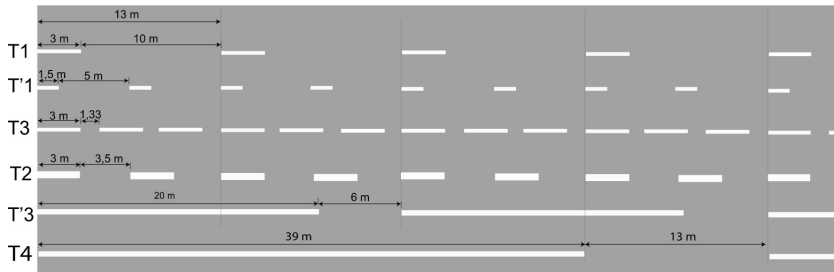


# Préparation des données

Association des **inter-marquages** à des **lettres**

$$\mathcal{E}_{\text{type}} = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T'_1, LC, \text{UNK}\}$$

$$\mathcal{A}_{\text{inter-marquage}} = \{\text{BG\_}x \mid x \in \mathcal{E}_{\text{type}}\} \cup \{\text{BG\_}x\_y \mid x, y \in \mathcal{E}_{\text{type}}, x \neq y\}$$



# Préparation des données

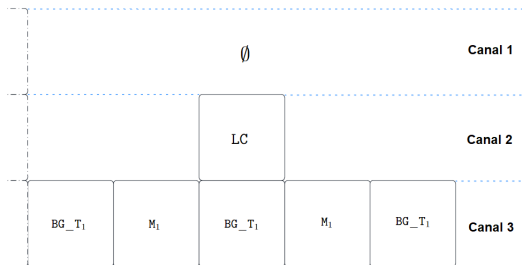
Association des **inter-marquages** à des **lettres**

$$\mathcal{E}_{\text{type}} = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T'_3, LC, UNK\}$$

$$\mathcal{A}_{\text{inter-marquage}} = \{BG\_x \mid x \in \mathcal{E}_{\text{type}}\} \cup \{BG\_x\_y \mid x, y \in \mathcal{E}_{\text{type}}, x \neq y\}$$

$$\mathcal{A} = \mathcal{A}_{\text{marquage}} \cup \mathcal{A}_{\text{inter-marquage}}$$

# Préparation des données



# Préparation des données

Base Axe		
	Train	Test
<i>Taille (km)</i>	100.88	43.04
<i>Nombre de séquences</i>	8124	8368

Base Rive		
	Train	Test
<i>Taille (km)</i>	29.47	15.9
<i>Nombre de séquences</i>	1736	1873

Base mélangée		
	Train	Test
<i>Taille (km)</i>	146.54	75.39
<i>Nombre de séquences</i>	9819	16621

# Évaluation

## Base Axe

	Précision (%)	Rappel (%)	F1 (%)	Nombre de paramètres	Temps (s)
RNN	99.57	99.87	99.72	<b>6 593</b>	0.033
LSTM	99.59	<b>100.0</b>	<b>99.81</b>	15 905	<b>0.011</b>
Trans <sub>2</sub>	<b>99.84</b>	99.74	99.79	43 486	0.025
Trans <sub>1</sub>	99.72	99.87	99.79	26 910	0.019



# Évaluation

## Base Rive

	Précision (%)	Rappel (%)	F1 (%)	Nombre de paramètres	Temps (s)
RNN	94.66	89.06	91.76	<b>6 593</b>	0.027
LSTM	93.68	90.86	92.25	15 905	<b>0.012</b>
Trans <sub>2</sub>	<b>95.42</b>	90.53	<b>92.91</b>	43 486	0.015
Trans <sub>1</sub>	94.23	<b>91.09</b>	92.63	26 910	0.017

# Évaluation

## Base mélangée

	Précision (%)	Rappel (%)	F1 (%)	Nombre de paramètres	Temps (s)
RNN	99.12	94.46	96.73	<b>6593</b>	0.028
LSTM	99.05	<b>94.76</b>	<b>96.87</b>	15 905	<b>0.016</b>
Trans <sub>2</sub>	99.30	94.21	96.09	43486	0.071
Trans <sub>1</sub>	<b>99.31</b>	94.23	96,71	26 910	0.031

# Modification du logiciel Vérité Terrain Ecodyn

Images de base

Nuit

Jour

216.04 m

Axe

Pixel values

Coordonnées	
62.29	
Distance	192.16
Nuit	4.8
Jour	925.6
Type	BG

Mode

Navigation

Décalage images :

192.16 m

Labelisation

Zone

Axe

Rive

Inconnue

Type

BG

RM

T1

T2

UNKNOWN

PETON

FLECHE

21000089\_Test1\_+\_PR0\_PR10\_Axe\_new

Choix du tronçon :

Notes

Segmentation

Schema linéaire

# Conclusion et Perspectives

## Travail réalisé

- Mise en œuvre d'une segmentation **UNet**
- Identification géométrique
- Analyse sémantique satisfaisante

## Perspectives

- Incorporation des algorithmes dans le logiciel
- Perfectionnement des modèles
  - ↪ Apprentissage incrémentiel, architecture
- Outil d'analyse automatique d'un itinéraire complet

# Bibliographie I



M. Soilán, B. Riveiro, J. Martínez-Sánchez, and P. Arias, “Segmentation and classification of road markings using MLS data,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 123, pp. 94–103, Jan. 2017. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271616303173>








C. Chun, T. Lee, S. Kwon, and S.-K. Ryu, “Classification and Segmentation of Longitudinal Road Marking Using Convolutional Neural Networks for Dynamic Retroreflection Estimation,” *Sensors*, vol. 20, no. 19, p. 5560, Jan. 2020, number: 19 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/19/5560>



J. S. Sepp Hochreiter, “Long shot-term memory.”

# Bibliographie II

-  “Attention Is All You Need.” [Online]. Available: <https://arxiv.labs.arxiv.org/html/1706.03762>
-  “[1505.04597] U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation.” [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1505.04597>
-  “Overfitting - Wikipedia.” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Overfitting>
-  “Incremental learning,” Apr. 2022, page Version ID: 1080634548. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Incremental\\_learning&oldid=1080634548](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Incremental_learning&oldid=1080634548)
-  “Instruction interministérielle sur la signalisation routière,” Oct. 1963.

# Bibliographie III



“ENDSUM : Évaluation Non Destructive des StrUctures et des Matériaux.” [Online]. Available:

<http://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/recherche/equipes/endsum-evaluation-non-destructive-structures-materiaux>



K. Team, “Keras documentation: Text classification with Transformer.” [Online]. Available:

[https://keras.io/examples/nlp/text\\_classification\\_with\\_transformer/](https://keras.io/examples/nlp/text_classification_with_transformer/)



“TensorFlow.” [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/?hl=fr>