

# Apport de l'Intelligence Artificielle dans l'analyse d'images et les études trafic

CTT 5 juin 2023

Jean-Marc Naude  
Valérie Leray

---

# Flash back

---

De tout temps, les gestionnaires de voirie scrutent leurs infrastructures afin de connaître ce qui y circule et comment.

Les premières études se faisaient manuellement par des observations et des comptages.

Puis, avec l'évolution des technologies, les capteurs de trafic ont été utilisés.

# Exemples de technologies de capteurs de trafic

---

Les tubes

Les plaques

Les boucles électromagnétiques

Les barreaux piézoélectriques

Les radars ultrasons / Doppler

Les radars multivoies

Les radars FMCW (modulation de fréquence)

Les magnétomètres

Les télémètres laser / à balayage

Les capteurs Bluetooth / Wi-Fi

Les capteurs pyroélectrique / infrarouge

La vidéo (y compris thermique, infrarouge)

Les LAPI

# Exemples de technologies de capteurs de trafic

---



# Qu'est-ce que l'IA ?

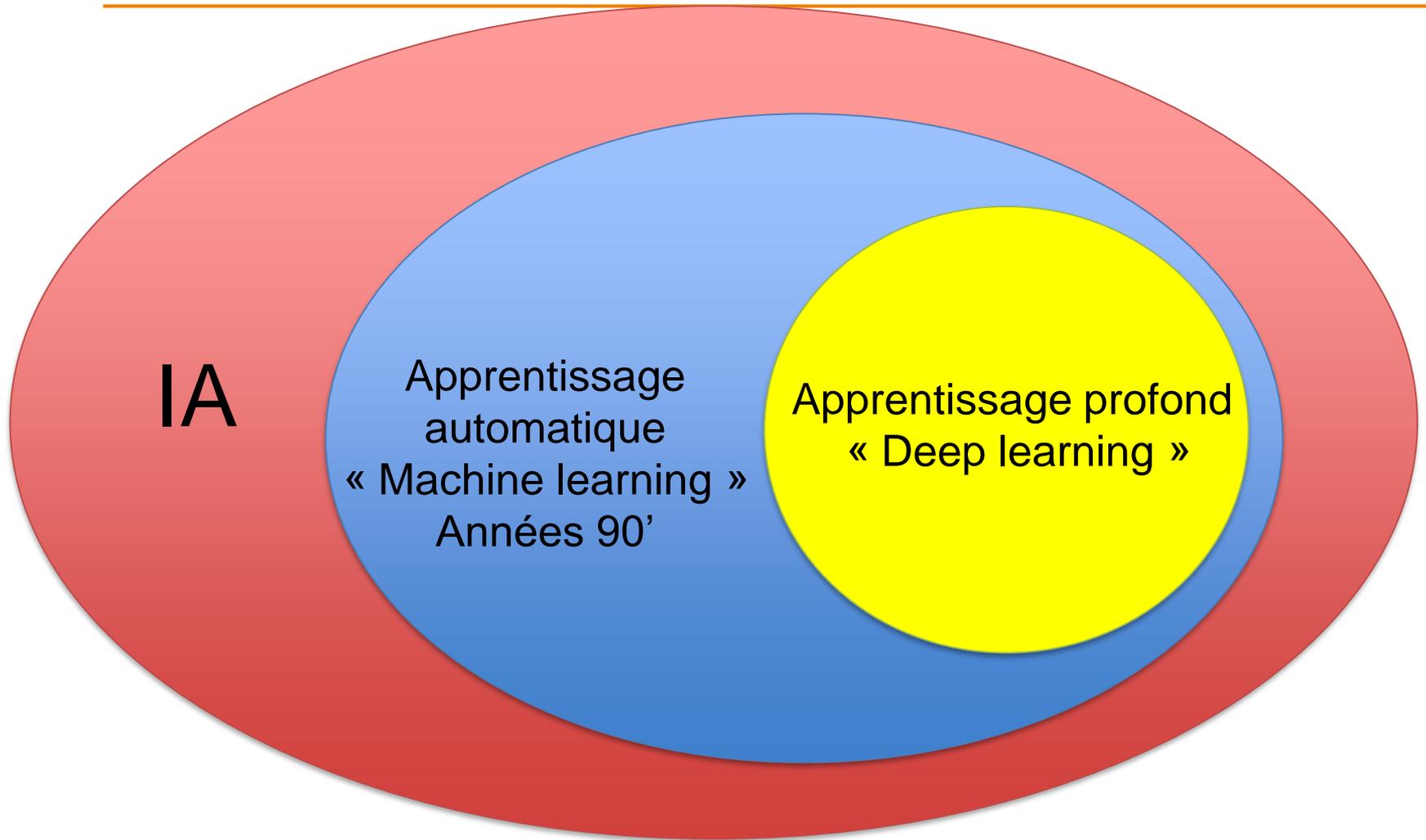
---



L'IA consiste à mettre en œuvre des actions ou techniques visant à permettre aux machines d'imiter l'intelligence humaine.

# Qu'est-ce que l'IA ?

---

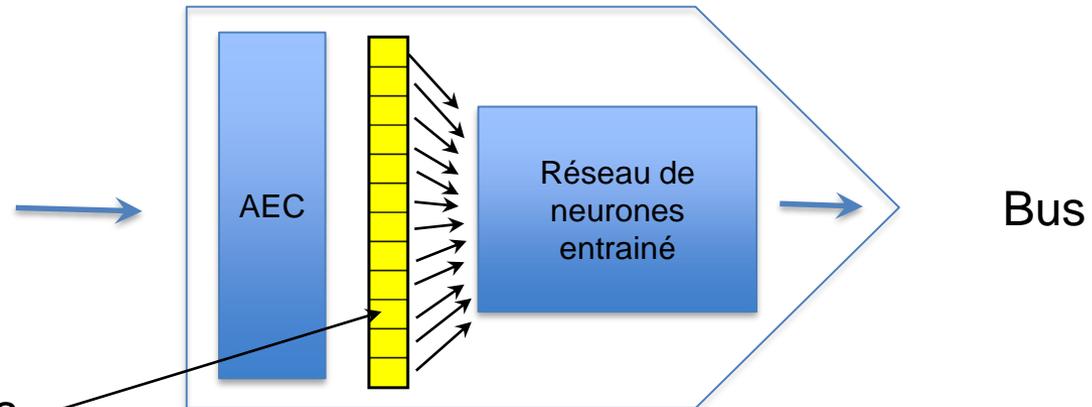


# Application du « machine learning » à l'analyse d'images



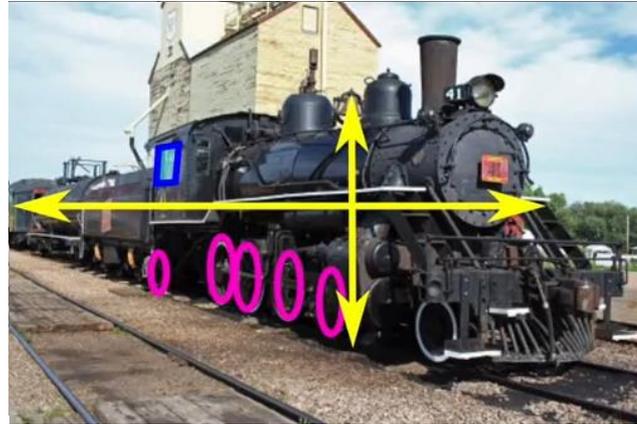
Train ?  
Bus ?  
Voiture ?  
Tramway ?  
...

Pour cela, on doit utiliser un Algorithme d'Extraction de Caractéristiques (AEC) qui sera le point d'entrée du réseau de neurones pour la reconnaissance des véhicules.



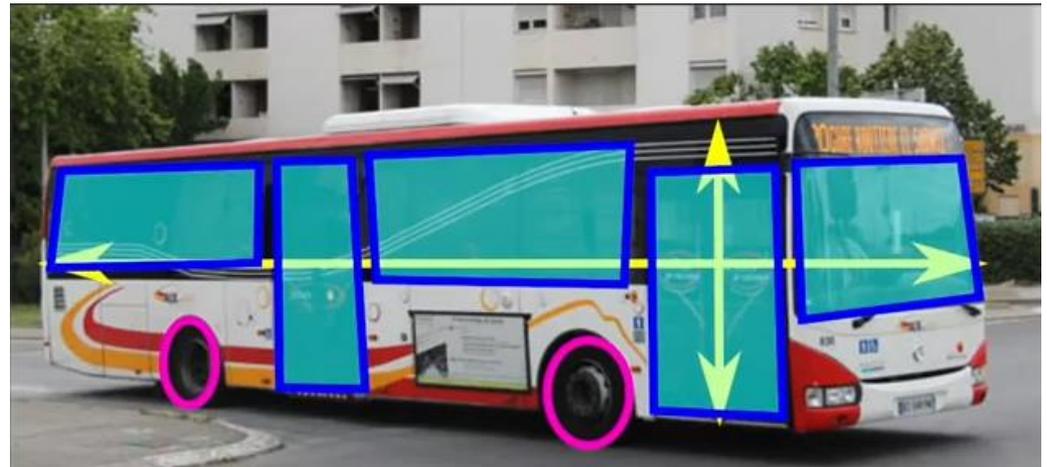
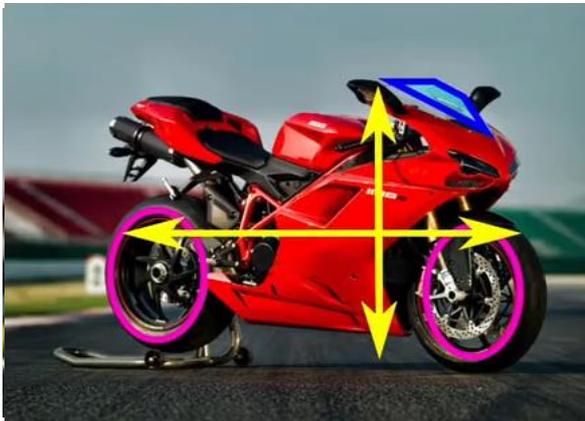
Liste de caractéristiques

# Application du « machine learning » à l'analyse d'images



Nombre de roues  
Rapport longueur/hauteur  
Couleur dominante  
Quantité de surface vitrée  
Nombre de vitres, formes  
....

Les caractéristiques intermédiaires de l'image doivent être définies par un expert du domaine.



# « Machine Learning » et « Deep Learning »

---

La qualité (la justesse) des résultats de l'analyse par « machine learning » est tributaire des compétences du concepteur des algorithmes d'extraction des caractéristiques.

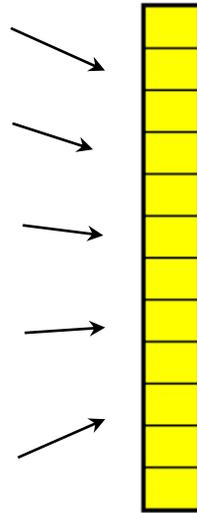
En 1990, Yann Le Cun utilise pour la première fois le « Deep Learning ».

En 2013, les résultats supplantent largement ceux du « machine learning ».

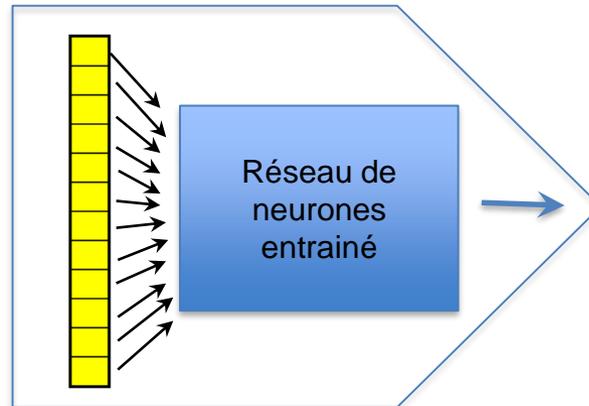
- Evolution des algorithmes
- Evolution des matériels (principalement des cartes graphiques)
- Mise en ligne de banques d'images par la société ImageNet (plus de 15 millions d'images dans plus de 10 000 catégories).

Le « Deep Learning » consiste à fournir une banque d'images en entrée de ce que l'on souhaite reconnaître. Ce processus crée, grâce à ces images, les caractéristiques principales et intermédiaires.

# « Deep Learning »



Plus le nombre d'images est important, meilleure sera la reconnaissance de l'objet



Bus

# Application à l'analyse du trafic

---

Opportunité de mieux appréhender le comportement de tous les usagers

# Principes d'analyse vidéo par IA détection

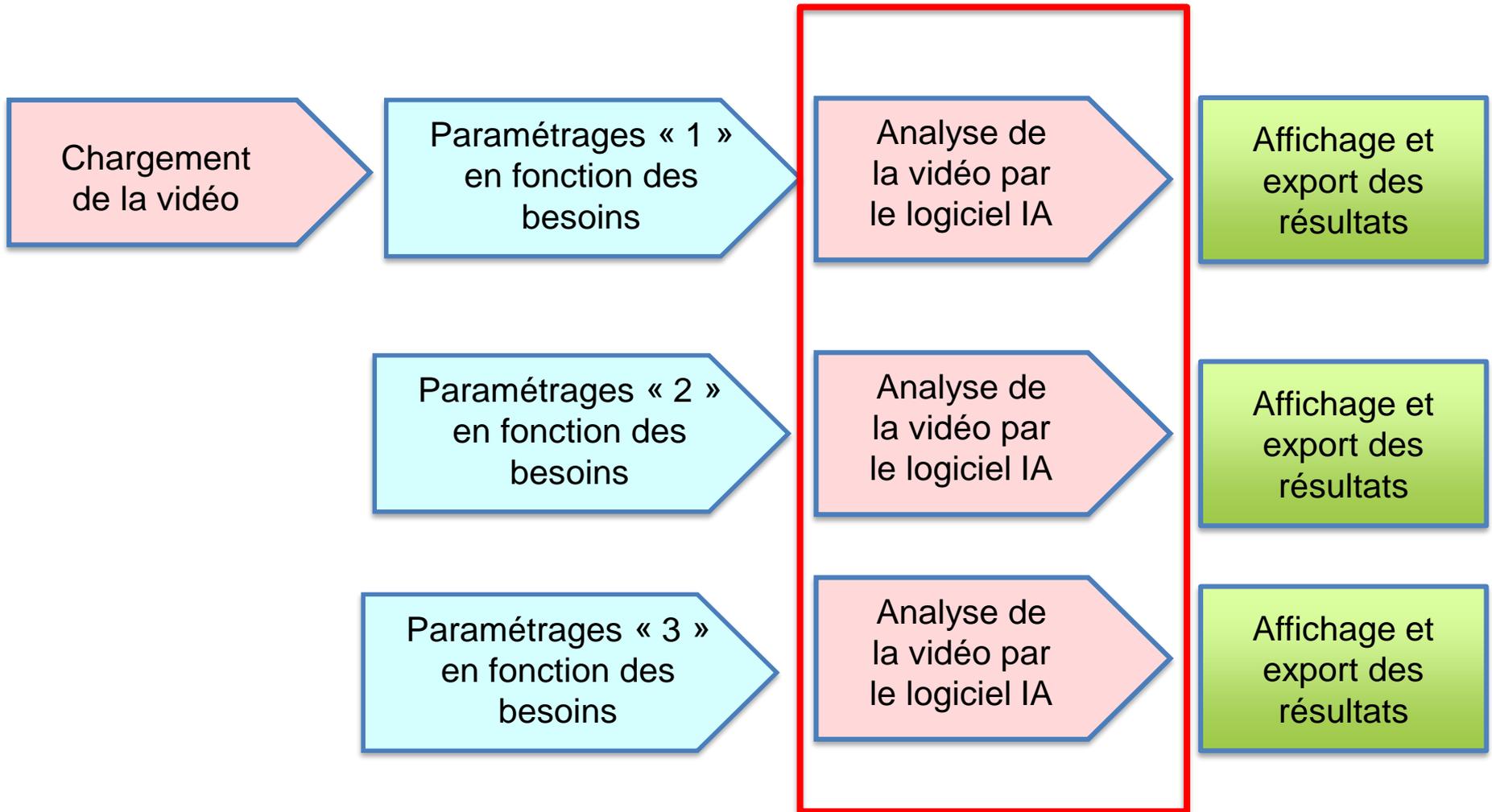
---

- 2 grands principes différents

## **1 - Logiciel à post-traitement**

- L'utilisateur charge sa vidéo, paramètre les zones de détections, définit les indicateurs de sortie
- Le logiciel analyse suivant les besoins et le paramétrage effectué par l'utilisateur

# Chaine d'analyse Post-traitement



# Principes d'analyse vidéo par IA détection

---

- 2 grands principes différents :

## **1 - Logiciel à post-traitement**

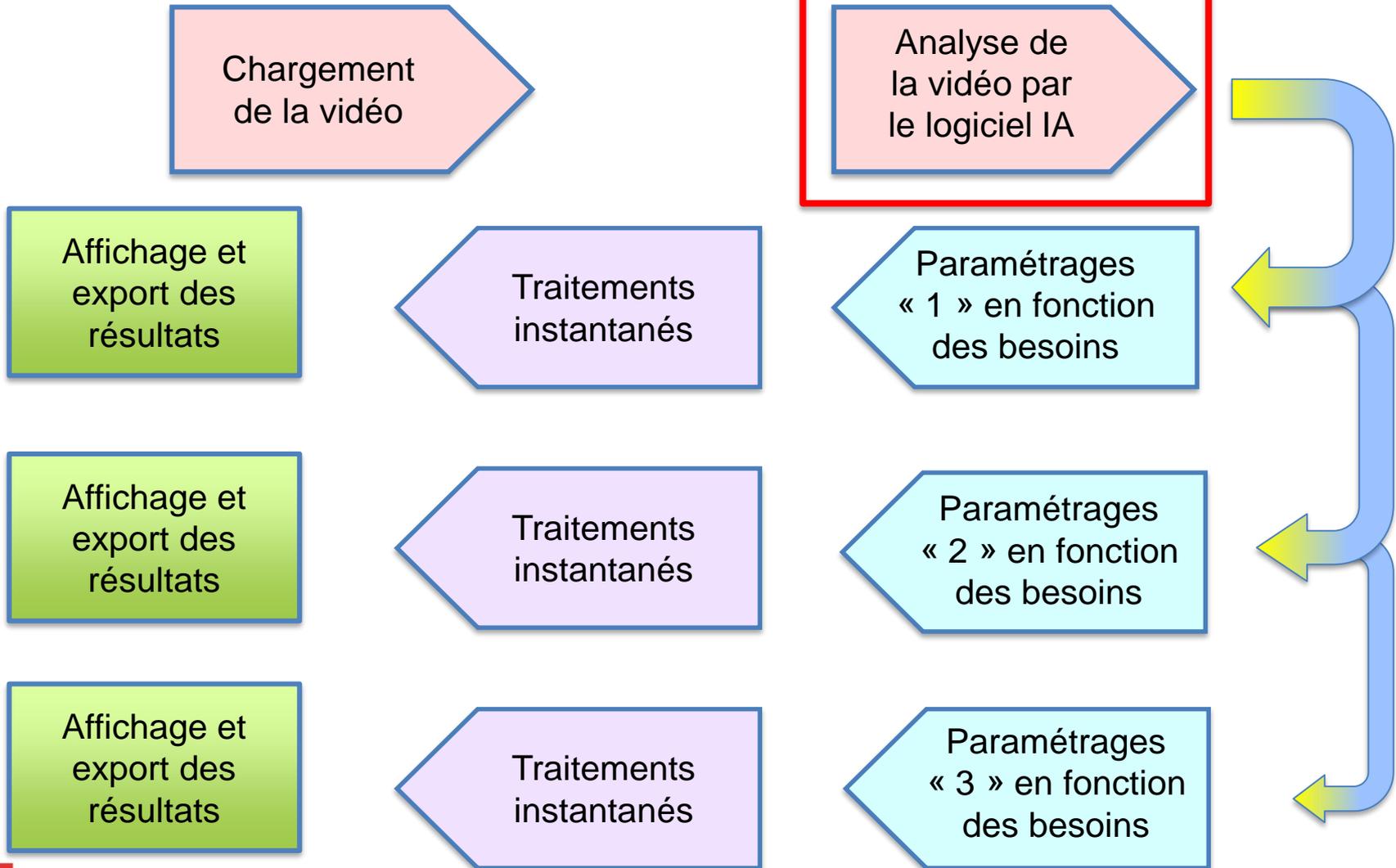
- L'utilisateur charge sa vidéo, paramètre les zones de détections, définit les indicateurs de sortie
- Le logiciel analyse suivant les besoins et le paramétrage effectué par l'utilisateur

## **2 - Logiciel à pré-traitement**

- L'utilisateur charge sa vidéo
- Le logiciel analyse toute la vidéo
- L'utilisateur paramètre les zones de détections, définit les indicateurs de sortie

# Chaine d'analyse Pré-traitement

Temps long



# Temps d'analyse

---

Ceux-ci sont très variables en fonction du logiciel utilisé, de son mode de traitement et du matériel informatique utilisé.

En règle général ce temps n'excède pas la durée de la vidéo analysée.

1h de vidéo à analyser



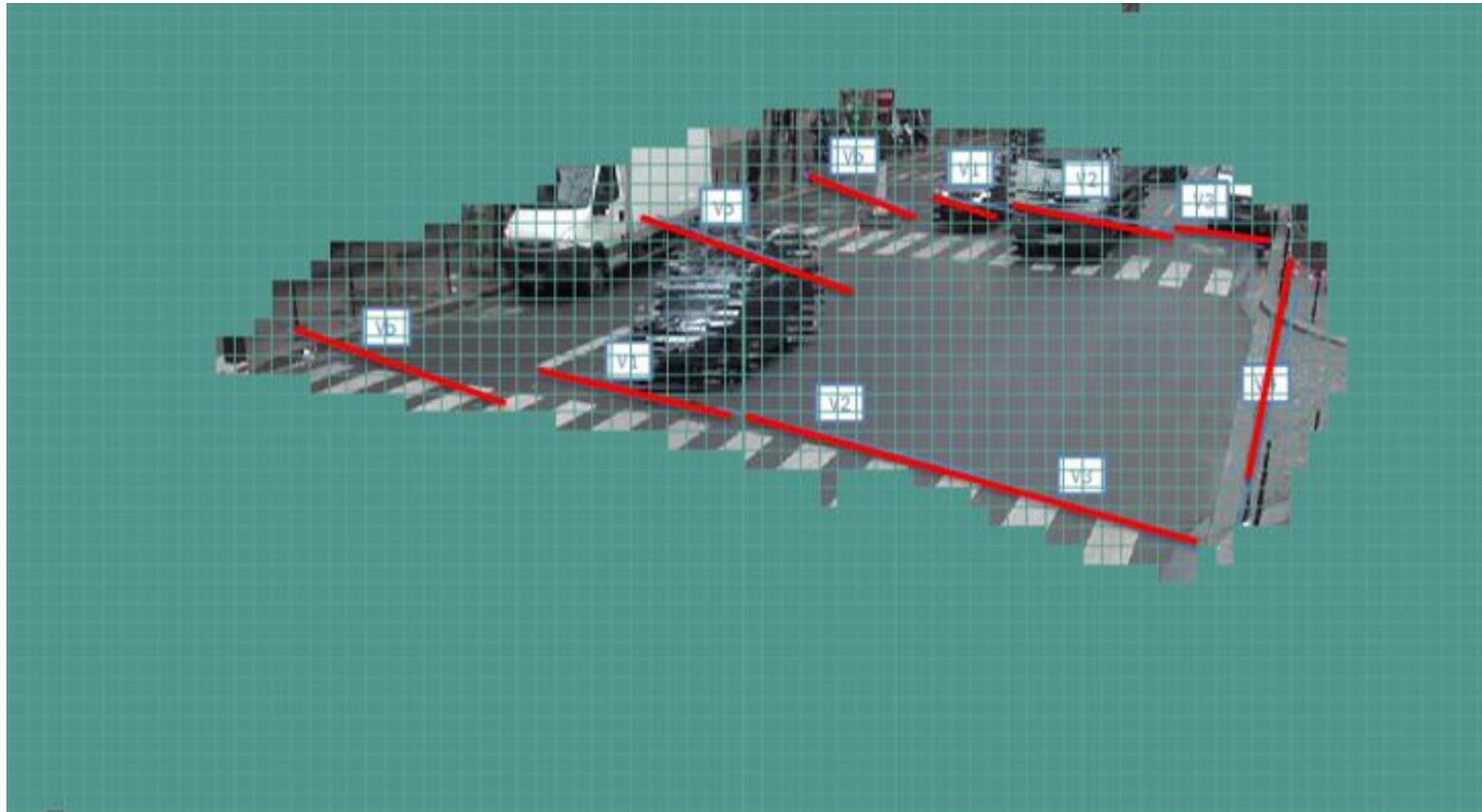
Entre 5 minutes et 1heure

# Masque de paramétrage (urbain)

---

A partir d'une image de la vidéo à analyser

- Création d'un masque d'analyse en fonction des données de sortie désirées :



# Natures de mesures et indicateurs

---

## **Objets détectés et classifiés** (suivant le logiciel utilisé)

- Piétons
- Vélos
- 2RM
- VL
- VUL
- PL (2 catégories)
- Bus

## **Natures de mesures**

- Débits par zones ou sur ligne
- Vitesses individuelles
- Vitesses moyennes
- Analyses par type d'objets, zones, trajectoires, etc
- O/D dans l'image (Changement de file, giratoire, intersection...)

# Export des résultats

---

## Séquencement des résultats

Données individuelles ou agrégées (minimum 1 min)

## Format des exports

- Format tableur « .csv » ou « .xls »
- Format de diffusion « .pdf »
- Format images « .png »
- Format vidéo « .mp4 »

## Rapports de sortie (exemples non exhaustifs)

- Fichier de données individuelles
- Fichier de données agrégées
- Rapport avec/sans carte géolocalisée du point de mesure
- Cartographie de densité (débits, vitesses, trajectoires...)
- Rejeu de l'analyse

# Exemples d'indicateurs

Avec les fichiers de données individuelles, nombreux indicateurs accessibles par **classe d'usagers**, par **zone** de circulation par **période** temporelle :

- Débits par catégorie d'usagers
- Taux d'usage de zone (voie et inter-voie)
- Vitesses moyennes par voie et inter-voie
- Respect de la réglementation CIF
- V85, V50, Vx
- Taux de dépassement de seuil de vitesse (VMA) par plage (+10, +20, +40km/h...)
- Origine destination (giratoire, intersection, changement de file...)
- Suivi comportemental (trajectoire, respect des feux de signalisation)

# Points importants pour une bonne analyse d'images

---

- La base d'entraînement du logiciel doit être **majoritairement constituée de véhicules circulant sur nos routes** (or nombreuses bases existantes sur des voiries en Inde, Chine et Etats-Unis, peu en Europe)
- Avoir la possibilité de **rejouer les analyses effectuées** et la capacité de **corriger** la discrimination d'un objet (ou autre indicateur) si le logiciel se trompe
- Connaître les **préconisations de prise de vues optimales** (largeur de champ, focale, résolution, hauteur d'installation de la caméra...)
- Optimiser la définition du masque de paramétrage le cas échéant.

# Points importants pour une bonne analyse d'images

Le choix du matériel de captation et le mode d'installation des dispositifs de prises de vues sont également très importants.

Il faut suivre les préconisations mentionnées par l'industriel commercialisant le logiciel pour un résultat optimal d'analyse

- Hauteur de prise de vue
- Angle de la caméra de captation
- Largeur de champs de vision de la caméra
- Résolution des images
- Luminosité
- Contraste
- Frame rate (nombre d'images par secondes)
- Encodage ou débit de données

# Optimisation du « Deep Learning »

- Augmenter le volume de la « base d'apprentissage »
- Réinjecter les images corrigées dans la base d'apprentissage (à chaque objet l'IA attribue une note de validation, en cas de doute celle-ci sera faible).
- Optimiser le matériel : (Carte graphique puissante, microprocesseur, RAM...)

## Exemples de fichiers de sortie de type images



# Exemple du logiciel DataFromSky



# Exemple sur 2 x 3 voies : Logiciel AI4Traffic de Logiroad



# BriskSynergies : Rejeu « Brut » sur voirie urbaine



# Exemple sur une coulée verte : Logiciel minUI d'Alyce



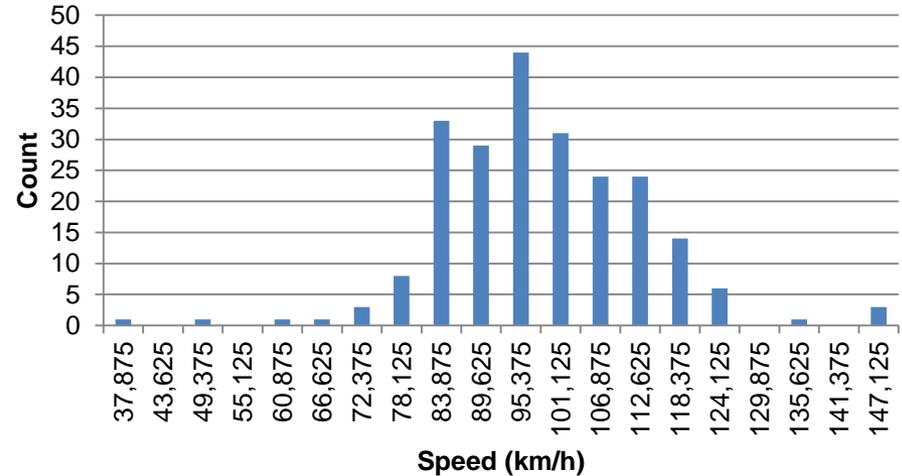
# Exemples de fichiers de données individuelles

Date	Heure	ID	Entrée	Sortie	Catégorie	X	Y	Largeur	Hauteur	Vitesse
jeudi 11 mai 2017	08:01:14	1	V2	V2	Véhicule Léger	720	379	113	175	78
jeudi 11 mai 2017	08:01:14	2	V5	V5	Véhicule Léger	255	210	119	114	80
jeudi 11 mai 2017	08:01:15	3	V1	V1	Utilitaire, Van	883	362	168	202	66
jeudi 11 mai 2017	08:01:15	4	V5	V5	Véhicule Léger	323	161	96	99	80
jeudi 11 mai 2017	08:01:16	5	V2	V2	Poids Lourd	864	148	279	610	72
jeudi 11 mai 2017	08:01:16	6	V3	V3	Véhicule Léger	571	414	69	148	72
jeudi 11 mai 2017	08:01:16	7	IF2	V3	Moto, Vélo	335	170	85	89	103
jeudi 11 mai 2017	08:01:17	8	V5	V5	Véhicule Léger	751	413	120	178	79
jeudi 11 mai 2017	08:01:18	9	V6	V6	Véhicule Léger	422	162	85	108	93
jeudi 11 mai 2017	08:01:18	10	V4	V4	Véhicule Léger	255	156	92	86	77
jeudi 11 mai 2017	08:01:18	11	V3	V3	Véhicule Léger	514	411	129	165	89
jeudi 11 mai 2017	08:01:20	12	V5	V5	Véhicule Léger	742	396	67	162	77
jeudi 11 mai 2017	08:01:21	13	IF2	IF2	Moto, Vélo	318	180	92	96	92
jeudi 11 mai 2017	08:01:21	14	V1	V1	Véhicule Léger	880	400	133	160	57
jeudi 11 mai 2017	08:01:21	15	V4	V4	Utilitaire, Van	200	140	122	125	79
jeudi 11 mai 2017	08:01:21	16	IF2	V3	Moto, Vélo	655	405	62	136	77
jeudi 11 mai 2017	08:01:21	17	V3	V3	Véhicule Léger	543	403	120	178	61
jeudi 11 mai 2017	08:01:21	18	IF3	V5	Poids Lourd	269	72	199	221	80
jeudi 11 mai 2017	08:01:23	19	V6	V6	Véhicule Léger	419	176	88	106	97
jeudi 11 mai 2017	08:01:23	20	IF2	IF2	Véhicule Léger	647	413	76	136	71
jeudi 11 mai 2017	08:01:23	21	V2	V2	Véhicule Léger	751	405	129	192	69
jeudi 11 mai 2017	08:01:23	23	V3	V3	Véhicule Léger	500	405	133	172	59
jeudi 11 mai 2017	08:01:23	24	V6	V6	Véhicule Léger	442	175	78	89	91
jeudi 11 mai 2017	08:01:24	25	V1	V1	Véhicule Léger	905	379	131	149	55
jeudi 11 mai 2017	08:01:24	26	IF3	IF3	Moto, Vélo	320	107	113	149	80
jeudi 11 mai 2017	08:01:24	28	V2	V2	Véhicule Léger	738	392	129	193	64
jeudi 11 mai 2017	08:01:25	29	V3	V3	Véhicule Léger	527	401	124	171	62

# Exemples de fichiers de données individuelles

First Seen	Last Seen	Median Speed	Type
2012/05/25 08:31:00	2012/05/25 08:31:01	96,49	car
2012/05/25 08:31:00	2012/05/25 08:31:02	111,88	car
2012/05/25 08:31:01	2012/05/25 08:31:03	111,54	car
2012/05/25 08:31:02	2012/05/25 08:31:04	97,73	car
2012/05/25 08:31:03	2012/05/25 08:31:06	20,37	car
2012/05/25 08:31:03	2012/05/25 08:31:05	106,12	car
2012/05/25 08:31:04	2012/05/25 08:31:06	108,01	car
2012/05/25 08:31:04	2012/05/25 08:31:06	97,27	car
2012/05/25 08:31:05	2012/05/25 08:31:06	92,46	car
2012/05/25 08:31:05	2012/05/25 08:31:07	111,21	motorcycle
2012/05/25 08:31:06	2012/05/25 08:31:07	109,33	car
2012/05/25 08:31:06	2012/05/25 08:31:08	90,52	car
2012/05/25 08:31:07	2012/05/25 08:31:09	91,24	car
2012/05/25 08:31:07	2012/05/25 08:31:09	113,94	car
2012/05/25 08:31:08	2012/05/25 08:31:10	94,05	car
2012/05/25 08:31:09	2012/05/25 08:31:11	89,21	car
2012/05/25 08:31:09	2012/05/25 08:31:11	104,31	car
2012/05/25 08:31:10	2012/05/25 08:31:11	116,34	car
2012/05/25 08:31:10	2012/05/25 08:31:13	92,83	car
2012/05/25 08:31:11	2012/05/25 08:31:12	115,29	car
2012/05/25 08:31:12	2012/05/25 08:31:13	115	car
2012/05/25 08:31:13	2012/05/25 08:31:14	101,89	car
2012/05/25 08:31:13	2012/05/25 08:31:15	92,79	bus
2012/05/25 08:31:13	2012/05/25 08:31:14	118,06	car
2012/05/25 08:31:13	2012/05/25 08:31:15	98,03	car
2012/05/25 08:31:14	2012/05/25 08:31:16	101,99	car
2012/05/25 08:31:14	2012/05/25 08:31:16	116,72	car
2012/05/25 08:31:17	2012/05/25 08:31:18	125,86	car
2012/05/25 08:31:18	2012/05/25 08:31:19	144,52	motorcycle
2012/05/25 08:31:19	2012/05/25 08:31:20	20,73	truck
2012/05/25 08:31:19	2012/05/25 08:31:21	109,8	car

## RU1 Speed Distribution



# Matrices O / D (dans l'image) - Global ou par classe d'utilisateurs

Catégorie : Véhicule Léger

Démarrer	Fin	Vb					V1					V2					V3					TOTAL	
		Vb	V1	V2	V3	V4	Vb	V1	V2	V3	V4	Vb	V1	V2	V3	V4	Vb	V1	V2	V3	V4		
12:36	12:42	5	2	0	0	0	3	24	0	0	0	0	0	15	0	8	0	0	0	0	0	1	58
12:42	12:48	1	0	0	0	0	5	28	2	0	0	0	21	0	14	0	0	0	0	0	1	72	
12:48	12:54	7	1	0	0	0	3	30	2	0	0	0	49	0	10	0	0	0	0	0	0	102	
12:54	13:00	9	0	0	0	0	2	20	0	0	0	0	39	0	5	0	0	0	0	0	0	75	
13:00	13:06	6	1	0	0	0	4	31	2	0	0	0	36	0	7	0	0	0	0	0	5	92	
13:06	13:12	2	0	0	0	0	1	10	0	0	0	1	14	1	2	0	0	0	1	3	35		
TOTAL		30	4	0	0	0	18	143	6	0	0	0	1	174	1	46	0	0	0	1	10	434	

VL 2R UT PL UVP Tous

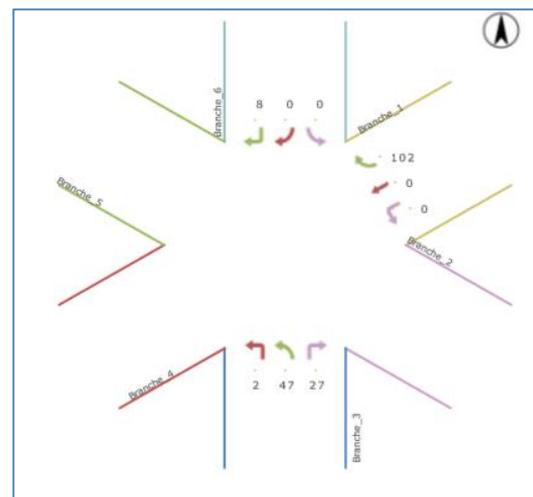
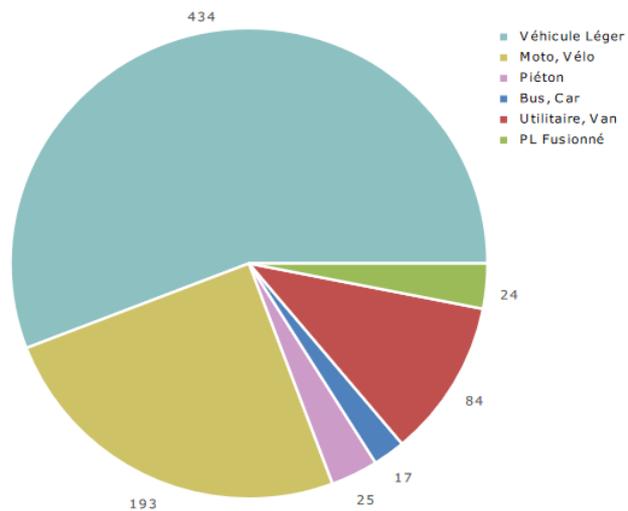
# Matrices O / D (dans l'image), autre exemple - Global ou par classe d'utilisateurs

Début de période	Vb					V1					V2					V3					Total
	(Direction Est)					(Direction Nord)					(Direction Sud-Est)					(Direction Ouest)					
	↖	↗	↘	↙	↕	↖	↗	↘	↙	↕	↖	↗	↘	↙	↕	↖	↗	↘	↙	↕	
07 - 12:36	0	1	0	7	2	1	0	0	4	30	12	0	0	0	30	4	0	0	0	0	91
07 - 12:42	0	1	0	8	4	6	0	0	7	41	18	0	0	0	42	4	0	0	0	0	131
07 - 12:48	0	2	0	13	2	3	0	0	3	46	13	2	0	1	72	2	1	0	0	1	161
07 - 12:54	0	1	0	17	0	2	0	0	4	41	11	7	0	2	77	5	2	0	0	0	169
07 - 13:00	0	1	0	16	1	3	1	0	5	44	10	2	0	3	60	8	4	0	0	2	160
07 - 13:06	0	0	0	10	0	1	0	0	1	15	3	1	0	2	23	7	2	0	0	0	65
Total	0	6	0	71	9	16	1	0	24	217	67	12	0	8	304	30	9	0	0	3	777

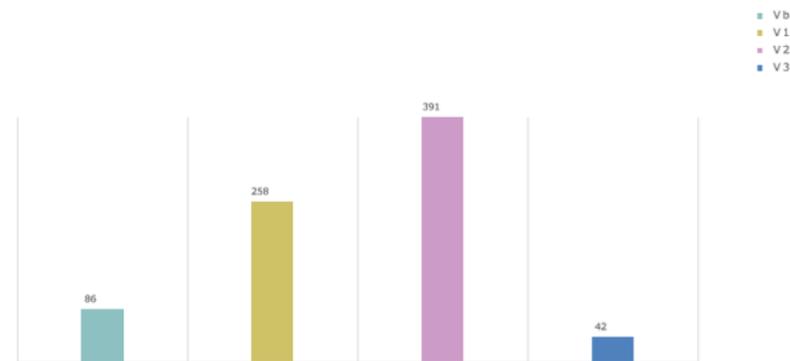
# Exemples de graphiques

## Répartition des véhicules

Par catégories



Par entrées (et compteurs)



# Exemple du déroulement d'un marché

---

- Publication du Marché
- Réception des offres des candidats
- Demi-journée d'**évaluation métrologique** de la solution proposée avec chaque candidat (Valise de référence Cerema composée de 3 vidéos)
- Mise à disposition des évaluateurs, chaque solution pendant 1 mois pour l'**évaluation fonctionnelle**
- Notation de chaque candidat comprenant :
  - L'analyse du mémoire technique
  - Résultats de l'évaluation métrologique
  - Résultats de l'évaluation fonctionnelle

# Aide au choix d'un logiciel d'analyse vidéo par IA

- **Lister ses besoins** en termes de :
  - Détection des types usagers : (Piéton, Cycles, 2RM, VL, PL, Bus...)
  - Natures de mesures et précisions (% max erreur), par exemple : débits à +/- 5%, vitesses individuelles à +/- 10% , etc. (par type d'usagers si besoin)
  - Fonctionnalités du logiciel, par exemple :  
Replay des vidéos analysées, cartographie de densité des trajectoires ou des débits, paramétrage de lignes, zones, zone d'exclusion, possibilité de mettre des vidéos en liste d'attente d'analyse, format de vidéos acceptées etc.
  
- **Prévoir une journée de test des performances** réelles du logiciel :
  - préparer 1 à 3 vidéos étalons, d'environ 20 à 30 minutes chacune préalablement dépouillées précisément en terme de débit par type d'usagers, par voie/zone, (vitesses prises par radar de référence sur site durant l'enregistrement), etc.
  - Le prestataire/candidat devra charger chaque vidéo étalon et l'analyser « en live ». Ses résultats seront comparés à la référence et permettront de s'assurer des réelles performances du logiciel
  
- Demander au prestataire/candidat de laisser **l'accès au logiciel pendant au moins 1 mois** afin de tester toutes les fonctionnalités

# Conclusion

---

- Nombreuses sociétés de développement se sont mises sur le marché de l'IA et de l'analyse d'images
- Développements personnalisés en fonction des besoins
- Respect du RGPD par les 2 parties
- Justesse des résultats très hétéroclite, à **vérifier systématiquement**. Elle est dépendante du mode de reconnaissance d'objets (algorithme) et des bases d'apprentissages utilisées
- Les prises de vues sont très importantes, il faut tenir compte des préconisations liées au logiciel IA
- Outil pertinent pour les études trafic et d'analyses comportementales, concernant tous types d'utilisateurs et d'environnements

# Merci de votre attention

---



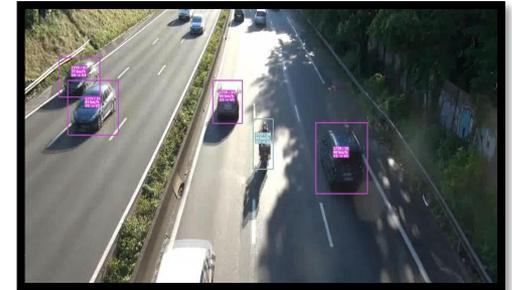
[valerie.leray@cerema.fr](mailto:valerie.leray@cerema.fr)

[jean-marc.naude@cerema.fr](mailto:jean-marc.naude@cerema.fr)



# Aspects réglementaires RGPD

- Besoin d'images
- Identification de personnes ou plaques ?
  - Si non : Pas RGPD
  - Si oui : Répondre à l'usage
- Usage :
  - Editorial ou recherche sans croisement de données → Pas RGPD
  - Commercial : RGPD



## MISE EN ŒUVRE RGPD

- Tenue d'un registre interne : Localisation, matériel, durée, but
- Apposition d'une affichette sur le lieu de prise de vue comprenant :
  - Rappel des textes de loi et droits d'accès aux données
  - Numéro de contact pour l'accès aux données
  - Durée de stockage des données

## Site placé sous enregistrement vidéo



Ce site fait l'objet d'un enregistrement vidéo (conforme au code de la sécurité intérieure suivant les articles : L223-1 à L223-9, L251-1 à L255-1, L613-13 et R251-1 à R253-4) dans le but de réaliser une étude expérimentale sur les véhicules routiers automatisés pour le compte de l'ADEME. Les données à caractère personnel sont collectées dans le cadre des missions d'intérêt général qu'elle exerce.

Les images seront conservées pendant la durée de l'étude Jusqu'au 30 juin 2023

Conformément au Règlement Général sur la Protection des Données, vous avez la possibilité d'accéder aux images vous concernant en contactant notre délégué à la protection des données (en précisant le lieu, la date et l'heure de l'enregistrement) :

*Par téléphone au : 01 34 82 12 25*

*Par mail à : [dpo.MOB.DTerIDF@cerema.fr](mailto:dpo.MOB.DTerIDF@cerema.fr)*

Conformément au Règlement Général sur la Protection des Données, vous avez également la possibilité d'introduire une réclamation auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés ([www.cnil.fr](http://www.cnil.fr)).