

Capteurs

micro-330

Chapitre 0

v. 2025

Vos enseignants



Giovanni Boero



Herbert Shea

Q&A – «Office hours» durant le semestre

- L'enseignant répondra aux questions des étudiants sur le **cours** et sur les **exercices**.
- Les enseignants sont disponibles les semaines où ils enseignent (et par mail)



Giovanni Boero

Mardi de 17h00-19h00
- dans son bureau (BM 3 110)
- Et sur ZOOM
<https://epfl.zoom.us/j/82116693424>



Herbert Shea

Mardi de 15h15-17h00
- dans son bureau (ME A2 399)
- Et sur ZOOM
<https://epfl.zoom.us/j/61957814210?pwd=ZUpGYktYNmRla082enhxejYwYkIKUT09>

Q&A – Office hours après le semestre (juin)

- Il y aura des sessions Q&A supplémentaires entre la fin des cours et l'examen

Examen

- Examen écrit de 3h (session d'examen de juin/juillet 2025)
- L'examen de 2024 sera disponible sur moodle
- Seul le formulaire que nous distribuons est autorisé à l'examen
 - Le formulaire d'examen 2025 (très similaire au formulaire d'examen 2024, dispo sur moodle) sera mis à votre disposition plus tard fin mai 2025.
 - Une copie imprimée du formulaire d'examen 2025 vous sera fourni lors de l'examen avec l'énoncé de l'examen.

Videos du cours

- Vidéos de 2021 du cours Capteurs (G. Boero et Ph. Renaud)

<https://mediaspace.epfl.ch/channel/MICRO-330+%28Capteurs%29/30233?>

Les chapitres du cours

- 1. Mesure
- 2. Capacitifs
- 3. Inductifs
- 4. Magnétiques
- 5. Optiques
- 6. Thermiques
- 7. Piezorésistif
- 8. Piezo-électrique
- 9. Résonants
- 10. Chimique

Planning du semestre

Les 9 chapitres sont indépendants:
l'ordre dans lesquels ils sont donnés n'est pas important

	Date	Heures	Thème	Enseignant
1	17 fév.	3	Thermique	HS
2	18 fév.	2	Thermique	HS
3	24 fév.	3	Thermique	HS
4	25 fév.	2	Piezorésistif	HS
5	3 mars	3	Piezorésistif	HS
6	4 mars	2	Piezorésistif	HS
7	10 mars	3	Piezoelectrique	HS
8	11 mars	2	Piezoelectrique	HS
9	17 mars	3	Piezoelectrique	HS
10	18 mars	2	Résonant	HS
11	24 mars	3	Résonant	HS
12	25 mars	2	Résonant	HS
13	31 mars	3	Chimique	HS
14	1 avril	2	Chimique	HS
15	7 avril	3	Mesure	GB
16	8 avril	2	Mesure	GB
17	14 avril	3	Mesure	GB
18	15 avril	2	Capacitifs	GB
	21 avril			
	22 avril			
19	28 avril	3	Capacitifs	GB
20	29 avril	2	Inductifs	GB
21	5 mai	3	Inductifs	GB
22	6 mai	2	Inductifs	GB
23	12 mai	3	Magnétiques	GB
24	13 mai	2	Magnétiques	GB
25	19 mai	3	Magnétiques	GB
26	20 mai	2	Optiques	GB
27	26 mai	3	Optiques	GB
28	27 mai	2	Optiques	GB

Capteurs

- **Un capteur est un élément qui génère un signal en fonction de paramètres de l'environnement**
- Sortie: grandeur électrique (ou numérique...)

- Énorme diversité de Capteurs !
 - Pression
 - Type de gaz
 - Image
 - Température
 - Déformation
 - Chimique (glucose)
 - Distance
 - Accélération
 - Flux
 - Rotation
 - ...

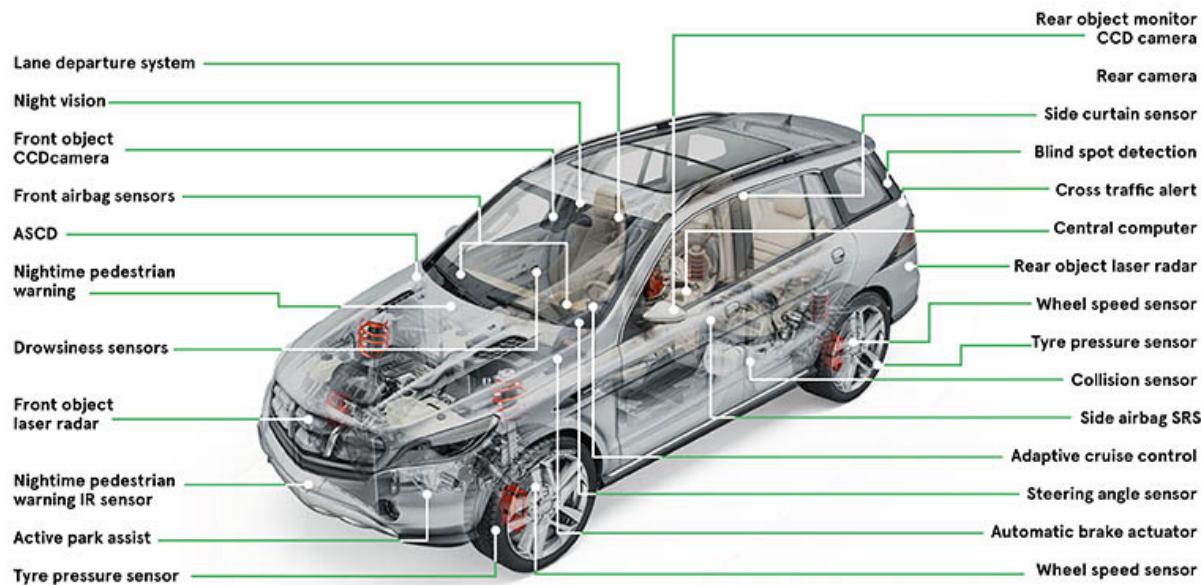
Domaines physiques et mesurandes

Domaine physique :

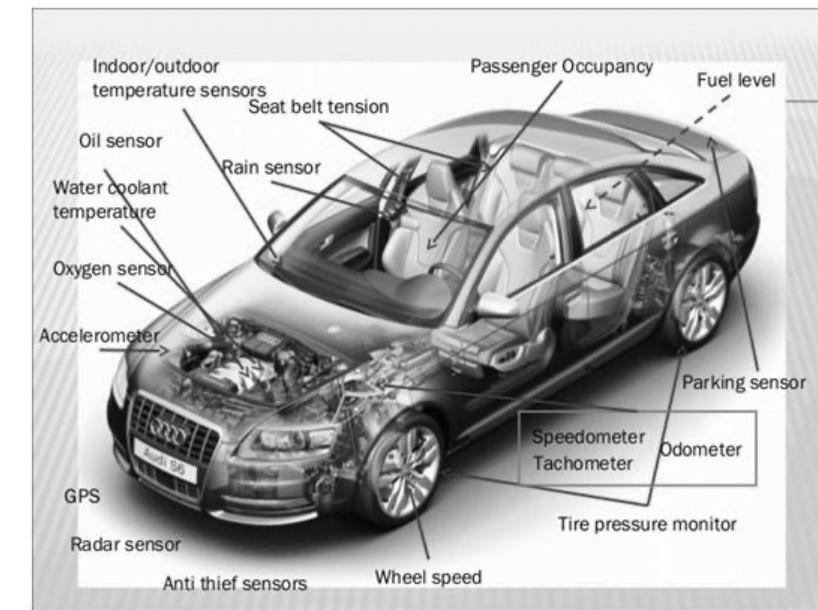
- Thermique:
- Mécanique:
- Biochimique:
- Electromagnétique:

Mesurande (grandeur à mesurer):

température, flux de chaleur, ...
force, pression, vitesse, accélération, position, masse,...
concentration, composition, taux de réaction, ...
champ magnétique, champ électrique, aimantation,
nombre de photons, tension, courant, charge,



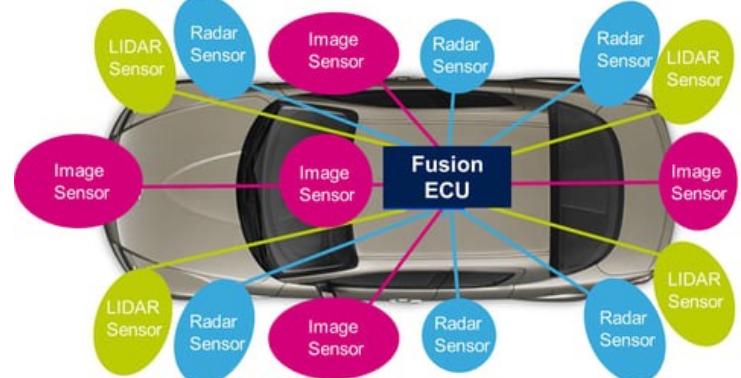
<https://my.avnet.com/abacus/solutions/markets/automotive-and-transportation/automotive/communications-and-connectivity/automotive-sensors/>



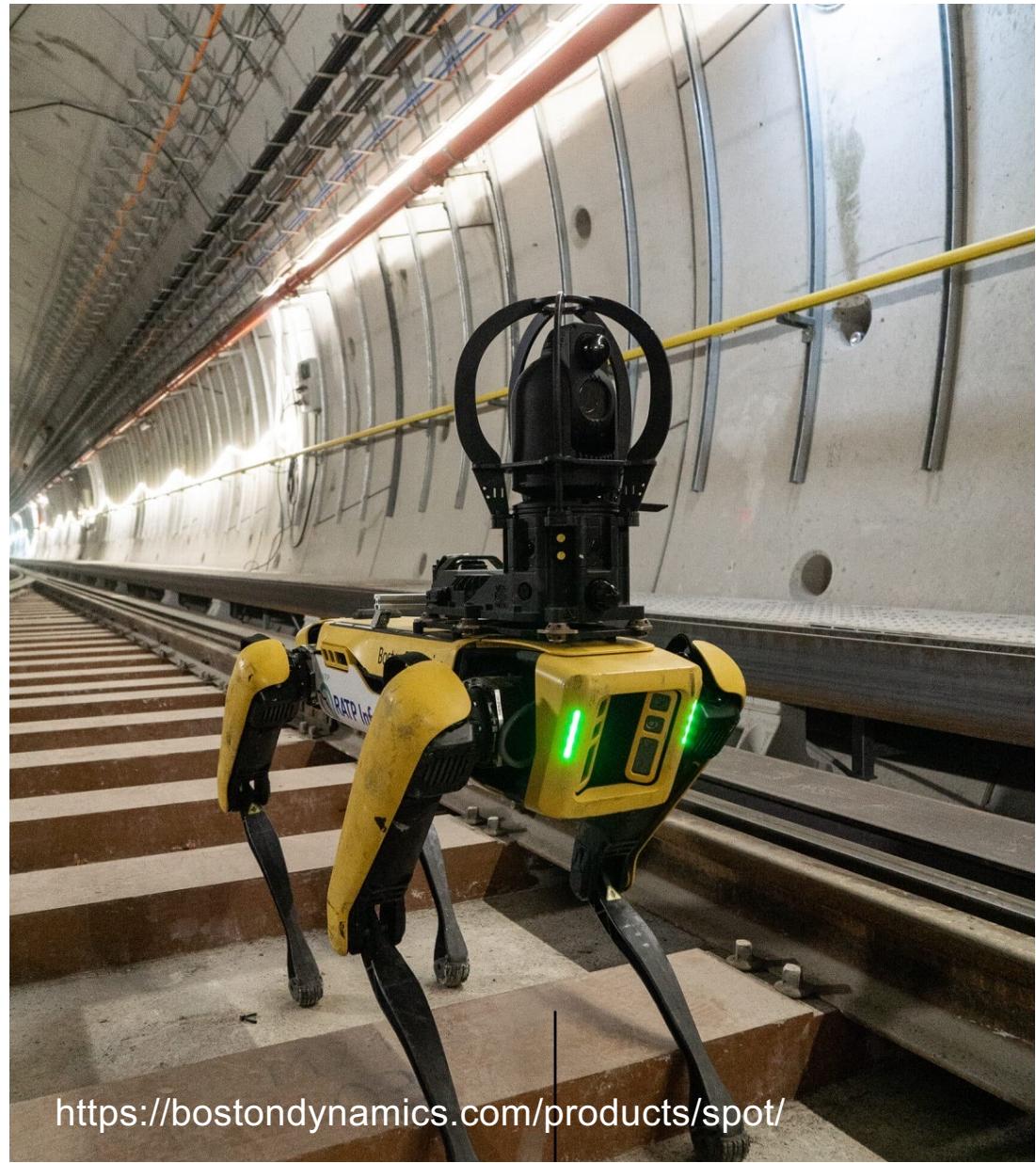
<https://www.test-and-measurement-world.com/articles/automotive/automotive-car-sensors-guide>



<https://www.theengineerspost.com/types-of-car-sensors/>



<https://www.fierceelectronics.com/components/three-sensor-types-drive-autonomous-vehicles>



Skky3.5 <https://skkyfpv.com/>





1. Motion & Orientation Sensors

- **Accelerometer:** Detects movement, tilt, and orientation changes.
- **Gyroscope:** Provides precise rotational motion tracking, useful for gaming and AR.
- **Magnetometer (Compass):** Measures the Earth's magnetic field to determine direction.

2. Environmental Sensors

- **Barometer:** Measures air pressure to estimate altitude changes (e.g., stair climbing).
- **Ambient Light Sensor:** Adjusts screen brightness based on surrounding light levels.
- **Proximity Sensor:** Detects when the phone is near your face to turn off the display during calls.

3. Biometric & Security Sensors

- **Face ID (TrueDepth Camera with Infrared Sensors):** Uses structured light and infrared for facial recognition.
- **Touch ID (Fingerprint Sensor):** Found in older models for biometric authentication.

4. Imaging & Depth Sensors

- **LiDAR Scanner:** Measures distances using laser pulses for enhanced AR and low-light photography.
- **Time-of-Flight (ToF) Sensor:** Used in some models for better depth perception in portraits and AR.

5. Audio & Communication Sensors

- **Microphone Array:** Captures sound for voice recognition, calls, and noise cancellation.

6. Wireless & Connectivity Sensors

- **GPS Sensor:** Provides location tracking and navigation.
- **NFC Sensor:** Enables Apple Pay and quick data exchange.
- **U1 Ultra-Wideband (UWB) Sensor:** Used for precise location tracking and AirTag detection.

Nice app to play with the sensors you have in your smart phones: PHYPHOX



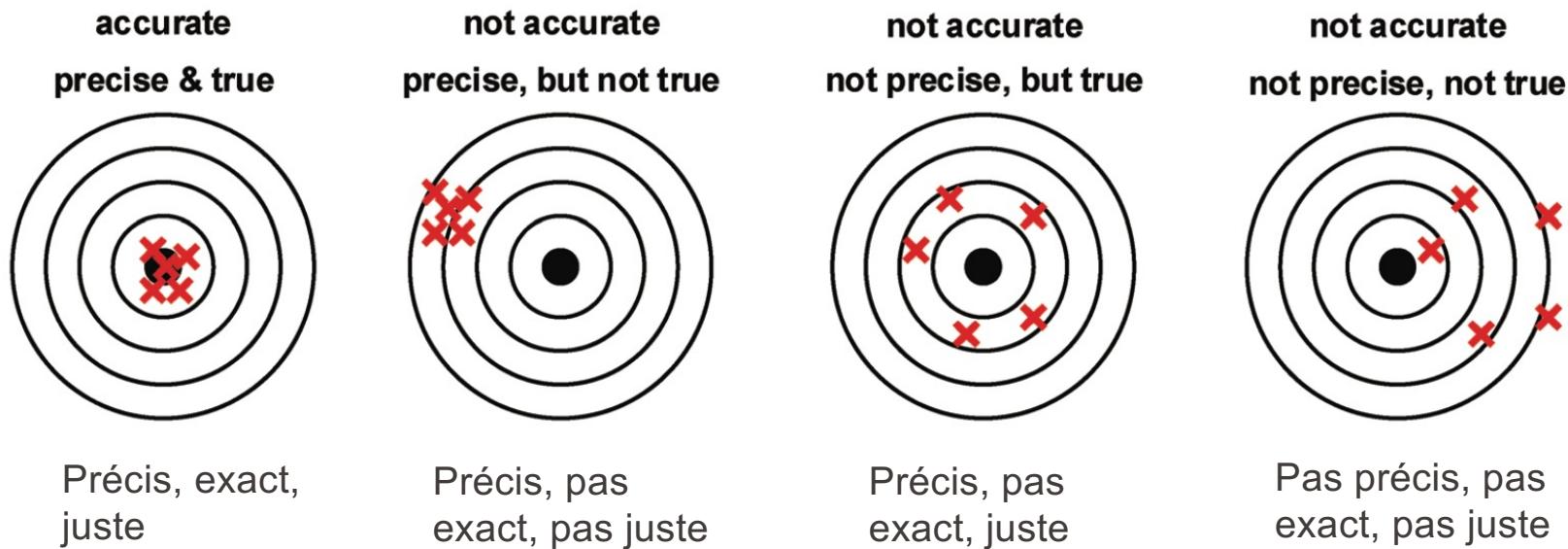
<https://youtu.be/lCf05Hc83Y>

Capteurs – essentiels pour presque tout!

Un bon capteur:

- possède une **haute sensibilité** au paramètre qu'on souhaite mesurer
- a **zéro sensibilité** à tous les autres paramètres
- **N'influence pas le système sous mesure**

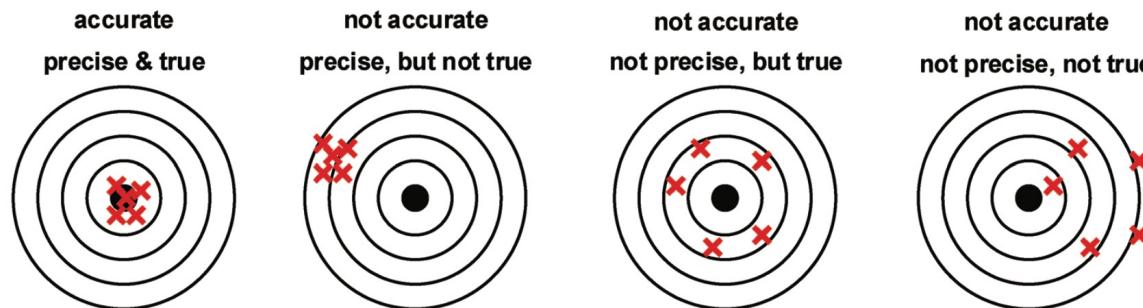
Exactitude et précision (justesse de mesure, fidélité, exactitude...)



Accuracy

The closeness (*precision and trueness*) of the sensor's output compared to the real value of a measurand. To determine the accuracy, the sensing system should be either tested with a standard measurand (with a known value), or its reading must be checked against a benchmark system with very high accuracy.

Precision	Trueness
A measure of statistical variability (<i>random error</i>) which can be assessed by the standard deviation. Within precision, two terms can be differentiated:	The closeness of the average results of a sensor to the real value of a measurand (<i>systematic error</i>).
Repeatability The degree of agreement between independent measurements taken under the identical conditions (same operator, instrumentation, material/analyte, and in a short-time interval).	Reproducibility The level of agreement when the measurements are conducted under various conditions (different operators, instrumentation, materials/analytes and in long-time interval).



Sensitivity

The ratio of the change in the output signal of a sensor (Δy) to the variation of the measured quantity (Δx). This rate is either constant (linear) or vary (nonlinear) over the whole range of measurement.

Limit of detection (LOD)

The lowest concentration of an analyte which can be measured against a blank sample with reasonable reliability.

Selectivity

The capability of a sensor to gauge a measurand in the presence of other interferences.

Limit of quantification (LOQ)

The smallest concentration of an analyte that can be determined with acceptable accuracy.

Drift (*operational stability*)

The long-term stability of the sensor's output signal without changing the input. It can be induced by the changes in temperature, humidity, or by the degradation of sensor's transducers or electronics, between others.

Stability (*storage*)

The capability of a sensor to generate the same output signal when measuring a standard measurand (with a known value) over a period of time.

Response time

The required period of time for the output signal of a sensor to reach a stable value within a certain tolerance if it exposed to a measurand.

<https://doi.org/10.1002/adma.201806739>

Caractéristiques statiques des capteurs

x : grandeur d'entrée (mesurande)

y : signal de sortie (tension, courant,...)

Sensibilité (sensitivity) :

Rapport entre la variation du signal de sortie et la variation correspondante de la grandeur d'entrée.

$$S_0 = \frac{dy}{dx}$$

Résolution (resolution):

Plus petite variation de la grandeur physique d'entrée (mesurande) mesurable.

Exprimée en unités du mesurande.

$$\Delta x_{\min} = \frac{y_{n,rms}}{S_0}$$

Exactitude (accuracy):

Ecart entre la valeur indiquée par le capteur (valeur mesurée) et la valeur réelle.

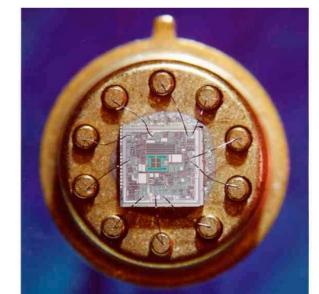
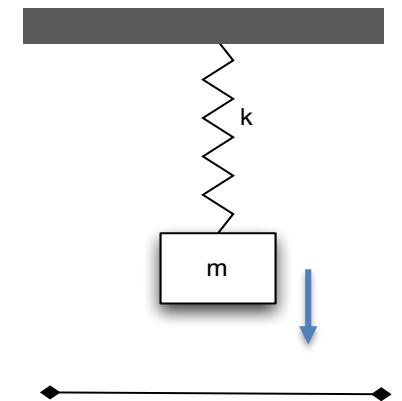
Exprimée en unités du mesurande.

Déterminée par les «erreurs systématiques»: la stabilité de l'offset et de la sensibilité, l'hystérèse et la répétabilité, la discrétion (influence de la présence du capteur sur la mesurande), les erreurs de calibration,..

Note: Résolution \neq Exactitude

Sensibilité d'un accéléromètre

- Accéléromètre simple. Conversion accélération en déplacement
 - $S_x = \frac{\text{déplacement}}{\text{accélération}} = \frac{m}{k}$.
 - La sensibilité mécanique S_x à l'accélération (x/a) peut être entièrement déterminée par la fréquence de résonance, indépendamment des paramètres mécaniques :
- $$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad S_x = \frac{1}{\omega_0^2}$$
- Pour trouver la sensibilité, il suffit de connaître la fréquence de résonance !
Exemple : ADXL50 $\omega_0=24$ kHz => le calcul simple donne $S_x=1,7$ nm/g (cela implique que la mesure du déplacement est d'une précision atomique...).
 - Vrai Sensibilité mécanique mesurée en ADXL50 $dx/da = 0,43$ nm/g
 - Une accélération minimale plus petite nécessite un S_x plus grand (pour x_{\min} fixe), d'où un dispositif plus lent: compromis Bande passante vs. sensibilité.



- Exemple de capteur de force souple du LMTS

B. Aksoy, Y. Hao, G. Grasso, K. M. Digumarti, V. Cacucciolo, and H. Shea
“Shielded soft force sensors”
Nature Communications, vol. 13, p. 4649 (2022)

